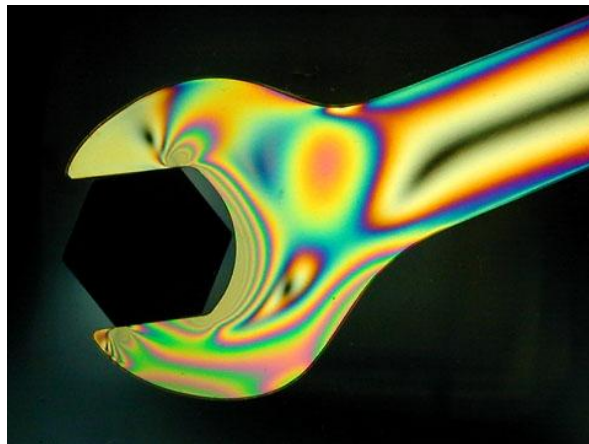


ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ



## ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΑΣΕΩΝ ΣΕ  
ΔΟΚΙΜΙΑ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ ΦΩΤΟΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ  
ΚΑΙ ΤΩΝ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ



**ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ:**

ΔΗΜΗΤΡΟΠΟΥΛΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΑΜ:5620  
ΚΑΜΑΡΙΝΟΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΑΜ:5703

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:**

ΣΤΕΦΑΝΟΣ ΤΣΙΝΟΠΟΥΛΟΣ, ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ.

ΠΑΤΡΑ 2013



## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματοποιήθηκε στο χώρο του εργαστηρίου Αντοχής των Υλικών του Τμήματος Μηχανολογίας του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Πάτρας με τίτλο “Πειραματική και Αριθμητική ανάλυση τάσεων σε δοκίμια με την μέθοδο της φωτοελαστικότητας και των πεπερασμένων στοιχείων”. Η μελέτη επετεύχθη με πειράματα φωτοελαστικότητας στο χώρο του εργαστηρίου σε συνδυασμό με την μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων με την χρήση του λογισμικού ANSYS.

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά τον επιβλέποντα Επίκουρο Κ. Στέφανο Τσινόπουλο, Επίκουρο Καθηγητή του τμήματος Μηχανολογίας, για τις συμβουλές, τη συνεργασία και την πολύτιμη καθοδήγησή του σε όλα τα στάδια της εργασίας, καθώς και τον κ. Αχιλλέα Παπαθανασόπουλο, υπεύθυνο του εργαστηρίου Αντοχής των Υλικών για τη βοήθεια που μας πρόσφερε καθ’ όλη την διαδικασία του πειραματικού μέρους.



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην πτυχιακή εργασία μας πραγματοποιούνται πειράματα φωτοελαστικότητας με χρήση της συσκευής του Πολωσιοσκοπίου που διαθέτει το Εργαστήριο της Αντοχής των Υλικών του Τμήματος Μηχανολογίας του ΤΕΙ Πάτρας και μέσω αυτών πραγματοποιείται μελέτη της κατανομής των τάσεων στα υπό εξέταση δοκίμια. Τα πειράματα διεξάγονται για διάφορες γωνίες πόλωσης του φωτός και διάφορες συνθήκες πόλωσης.

Παράλληλα, σχεδιαστήκαν τα πειραματικά δοκίμια με τις ακριβείς διαστάσεις στο υπολογιστικό πρόγραμμα ANSYS και προσομοιώνεται η καταπόνηση τους. Οι κατανομές των τάσεων, όπως προκύπτουν από τις αριθμητικές αναλύσεις συγκρίνονται με τις αντίστοιχες των πειραμάτων της φωτοελαστικότητας.

Στο τέλος της Πτυχιακής υπάρχουν παραρτήματα όπου δίνονται οι οδηγίες χρήσης της πειραματικής συσκευής και η βήμα προς βήμα επίλυση των προβλημάτων με τη χρήση του ANSYS.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΘΕΩΡΙΑ ΤΗΣ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

|   |    |
|---|----|
| 1.1.Τάση  | 2  |
| 1.2.Εφελκυσμός  | 3  |
| 1.3.Παραμόρφωση   | 4  |
| 1.4.Ελαστική και πλαστική συμπεριφορά                       | 5  |
| 1.5.Όλκιμα - ψαθυρά υλικά                                   | 6  |
| 1.6.Καμπύλη τάσης - ανηγμένης παραμόρφωσης                  | 7  |
| 1.7.Μέτρο ελαστικότητας                                     | 9  |
| 1.8.Νόμος του Poisson                                       | 9  |
| 1.9.Ιδιότητες υλικών  | 10 |
| 1.10.Ταξινόμηση των υλικών                                  | 10 |
| 1.11.Αστοχία των υλικών                                     | 10 |
| 1. Λόγω υπερβολικής ελαστικής παραμόρφωσης                  | 10 |
| 2. Λόγω πλαστικής ροής η υπερβολικής πλαστικής παραμόρφωσης | 11 |
| 3. Λόγω θραύσης   | 11 |

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΘΕΩΡΙΑ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ

|  |    |
|--|----|
| Θεωρία του φωτός   | 14 |
| 2.1. Φωτοελαστικότητα (οπές-ρωγμές)                      | 15 |
| 2.2. Διπλοδιάθλαση και φωτοτασεοπτικός νόμος             | 16 |
| 2.3. Πόλωση του φωτός                                    | 18 |
| 2.4. Ισοχρωματικές και ισοκλινείς καμπύλες               | 19 |
| 2.5. Πολωσιοσκόπιο $gs\ 2c$                              | 21 |
| 2.6. Λειτουργία πολωσιοσκοπίου $gs\ 2c$                  | 23 |
| 2.7. Plexiglas   | 25 |
| 2.8. Κατασκευή δοκιμίων                                  | 30 |
| 2.9. Διεξαγωγή πειράματος-Ιδιότητες υλικών               | 31 |
| 2.9.1.Ανάλυση επίπεδης ορθογώνιας πλάκας με οπή          | 32 |
| 2.9.2. Ανάλυση συμμετρικού σώματος                       | 35 |
| 2.9.3. Ανάλυση συμμετρικού σώματος με τόξα έπτο p1m-4b   | 38 |
| 2.9.4. Ανάλυση συμμετρικού σώματος με τόξα από Plexiglas | 41 |
| 2.9.5. Ανάλυση ορθογώνιας πλάκας με 3 εγκάρσιες οπές     | 44 |
| 2.9.6. Ανάλυση ορθογώνιας πλάκας με 2 οπές               | 47 |
| 2.9.7. Ανάλυση ορθογώνιας πλάκας με ρωγμές               | 50 |

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ**

|   |    |
|---|----|
| Μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων              | 54 |
| 3.1. Πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων ansys | 54 |
| 3.1.1. Δυνατότητες επίλυσης                 | 54 |
| 3.1.2. Βασικές λειτουργίες προγράμματος     | 57 |

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΕΠΙΛΥΣΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΗΚΩΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ANSYS**

|   |    |
|---|----|
| 4. Επίλυση χαρακτηριστικών προβλημάτων με τη χρήση ansys      | 64 |
| 4.1. Ανάλυση επίπεδης ορθογώνιας πλάκας με οπή                | 64 |
| 4.2. Ανάλυση συμμετρικού σώματος                              | 68 |
| 4.3. Ανάλυση συμμετρικού σώματος με τόξα έπο ρlm-4b           | 72 |
| 4.4. Ανάλυση συμμετρικού σώματος με τόξα από Plexiglas.       | 76 |
| 4.5. Ανάλυση ορθογώνιας πλάκας με 3 εγκάρσιες οπές            | 80 |
| 4.6. Ανάλυση ορθογώνιας πλάκας με 2 οπές                      | 84 |
| 4.7. Ανάλυση ορθογώνιας πλάκας με ρωγμές                      | 88 |
| 4.8. Σύγκριση δοκιμίων του σχεδιαστικού- πειραματικού μέρους. | 92 |
| Συμπεράσματα  | 99 |

### **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ**

|   |     |
|---|-----|
| Π.1. Οδηγίες χρήσης πολωσιοσκοπίου  | 100 |
| Π.2. Βήμα προς βήμα κατασκευή των μοντέλων (tutorials) των προβλημάτων του κεφ. 4 | 103 |
| Π1. πρόβλημα 4.1. Ανάλυση επίπεδης ορθογώνιας πλάκας με οπή                       | 103 |
| Π2. πρόβλημα 4.2. Ανάλυση συμμετρικού σώματος                                     | 120 |
| Π3. πρόβλημα 4.3. Ανάλυση συμμετρικού σώματος με τόξα έπο ρlm-4b                  | 140 |
| Π4. πρόβλημα 4.4. Ανάλυση συμμετρικού σώματος με τόξα από Plexiglas.              | 158 |
| Π5. πρόβλημα 4.5. Ανάλυση ορθογώνιας πλάκας με 3 εγκάρσιες οπές                   | 176 |
| Π6. πρόβλημα 4.6. Ανάλυση ορθογώνιας πλάκας με 2 οπές                             | 193 |
| Π7. πρόβλημα 4.7. Ανάλυση ορθογώνιας πλάκας με ρωγμές                             | 209 |

### **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ**

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| Βιβλιογραφικές αναφορές | 226 |
|-------------------------|-----|





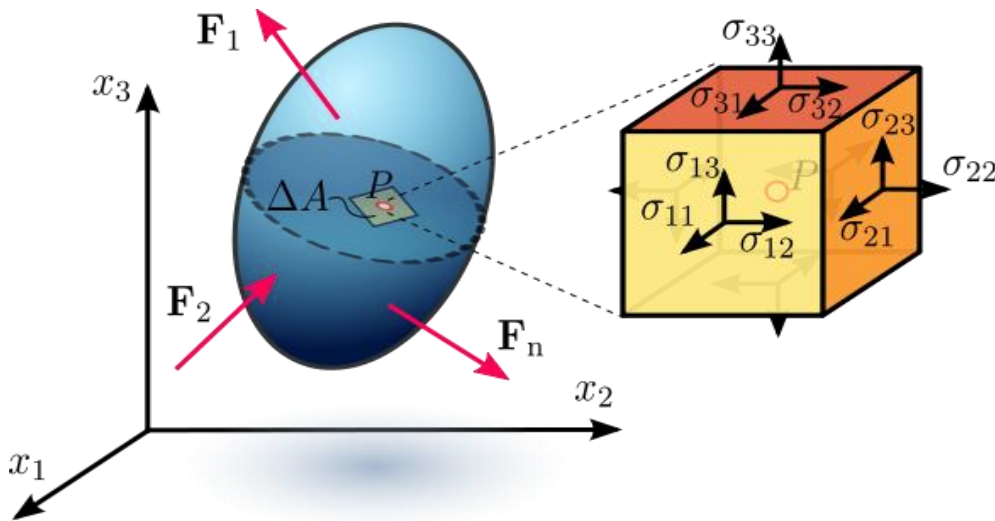
# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΘΕΩΡΙΑ ΤΗΣ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

## 1.1. ΤΑΣΗ

Τα εξωτερικά φορτία  $F_1, F_2, \dots, F_N$  και οι αντιδράσεις στήριξης σε ένα στερεό σώμα, όταν αυτό βρίσκεται σε στατική ισορροπία, οδηγούν στην ανάπτυξη εσωτερικών δυνάμεων οι οποίες κατανέμονται σε όλη τη διατομή του φορέα όπως φαίνεται στο Σχ. 1.1. Η ένταση των στοιχειωδών δυνάμεων στη γειτονιά ενός σημείου ορίζουν τον ταυστή των τάσεων στο σημείο αυτό. Γενικά, η τάση έχει τα χαρακτηριστικά δύναμης ως προς επιφάνεια:

$$\sigma = \frac{\text{ΔΥΝΑΜΗ}}{\text{ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ}} \quad (1.1)$$

Στο SI, μονάδα μέτρησης της τάσης είναι το Pa το οποίο ισούται με 1N ανά m<sup>2</sup>.



**Σχήμα 1.1. :** Εμφάνιση εξωτερικών δυνάμεων και ανάλυση συνιστωσών των ορθών τάσεων σε έναν φορέα.

Ο ταυστής των τάσεων, όπως φαίνεται στο Σχ. 1.2, μπορεί να αναλυθεί σε συνιστώσες:

1. Τις **ορθές τάσεις** :

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1.2)$$

όπου  $\sigma$  η ορθή τάση (normal ή axial longitudinal),  $F$  η συνισταμένη των στοιχειωδών δυνάμεων που έχουν κατανεμηθεί στην θεωρούμενη επιφάνεια και είναι κάθετες σε αυτή και  $A$  το εμβαδό της θεωρούμενης επιφάνειας.

Οι ορθές τάσεις αναπτύσσονται συνήθως από δυνάμεις που είναι κάθετες στην εγκάρσια διατομή (cross-sectional area) του σώματος.

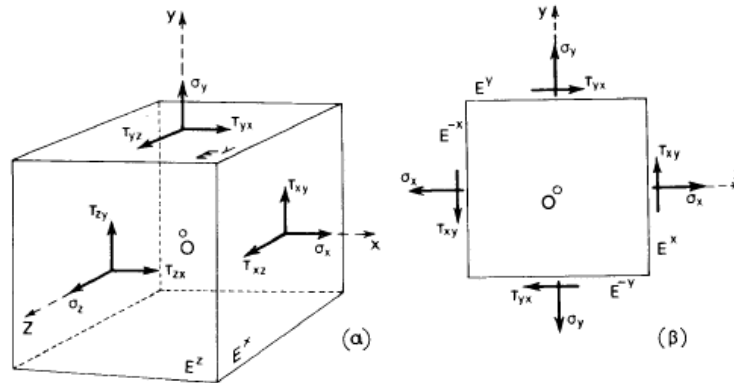
Υπάρχουν δυο είδη ορθών τάσεων, η **εφελκυστική** και η **θλιπτική τάση**. Εμείς θα αναλύσουμε την Εφελκυστική τάση λόγω του πειράματος της φωτοελαστικότητας.

2. Τις **διατμητικές τάσεις**:

$$\tau = \frac{Q}{A} \quad (1.3)$$

όπου  $\tau$  (shear ή transverse stress) η Διατμητική ή εγκάρσια τάση,  $Q$  η συνισταμένη των στοιχειωδών δυνάμεων που έχουν κατανομηθεί στην θεωρούμενη επιφάνεια και είναι παράλληλες με αυτή και  $A$  : το εμβαδό της θεωρούμενης επιφάνειας.

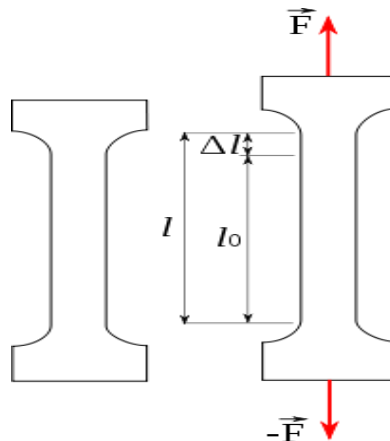
Οι διατμητικές τάσεις αναπτύσσονται συνήθως από δυνάμεις που εφαρμόζονται παράλληλα με την εγκάρσια διατομή του σώματος.



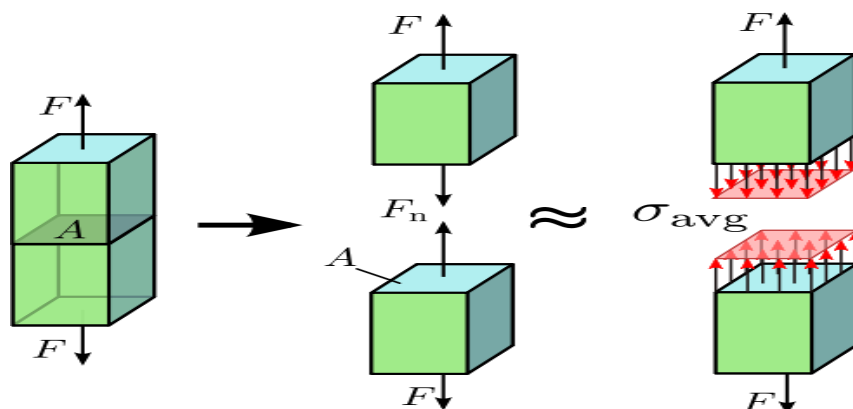
Σχήμα 1.2. :Συνδυασμένες ορθές τάσεις και διατμητικές τάσεις σε ένα ορθογώνιο .

## 1.2. ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ

Η πιο απλή περίπτωση εφελκυσμού είναι αυτή μιας ευθείας πλαστικής ή μεταλλικής ράβδου με σταθερή εγκάρσια διατομή σε όλο το μήκος της , η οποία φορτίζεται στα άκρα της από δυο ομοαξονικές και αντίθετες δυνάμεις, όπως φαίνεται στο Σχ. 1.3. Οι δυνάμεις αυτές βρίσκονται στον άξονα της ράβδου, ο οποίος περνά από το κέντρο βάρους κάθε διατομής. Για να έχουμε στατική ισορροπία οι δυνάμεις πρέπει να έχουν **Ίσα μέτρα** και **Αντίθετες φορές**. Αν οι δυνάμεις κατευθύνονται από την ράβδο προς το εξωτερικό της, λέμε ότι η ράβδος βρίσκεται σε εφελκυσμό. Στον εφελκυσμό σε εγκάρσιες διατομές αναπτύσσονται μόνο ορθές τάσεις, η κατανομή των οποίων σε εγκάρσιες διατομές μακριά από τα άκρα είναι σταθερή σε κάθε σημείο αυτής (Σχ. 1.4).



Σχήμα 1.3:Παράδειγμα εφελκυσμού.

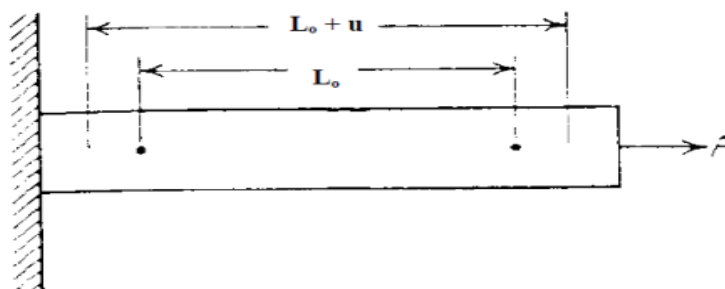


**Σχήμα 1.4.** : Καταπόνηση δοκιμίου σε εντατική κατάσταση κατά την καταπόνηση σε εφελκυσμό.

### 1.3. ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ

Η παραμόρφωση (strain) είναι το αποτέλεσμα της επίδρασης των τάσεων στα στερεά σώματα. Οι ορθές τάσεις προκαλούν ορθές παραμορφώσεις και οι διατμητικές τάσεις, διατμητικές παραμορφώσεις. Στην κυλινδρική ράβδο του Σχ. 1.5, βάζουμε δύο σημάδια που απέχουν μεταξύ τους απόσταση  $L_0$ . Εφαρμόζοντας ένα εφελκυστικό φορτίο  $P$  στη ράβδο, θα διαπιστώσουμε ότι η απόσταση μεταξύ των δύο σημαδιών θα έχει αυξηθεί κατά μία ποσότητα  $u$  και θα είναι τώρα  $L_f = L_0 + u$ . Η ποσότητα  $u$  ονομάζεται **επιμήκυνση** (elongation). Η ονομαστική ορθή παραμόρφωση ή απλώς ορθή παραμόρφωση (nominal ή engineering strain)  $\varepsilon$  ορίζεται ως:

$$\varepsilon = \frac{L_f - L_0}{L_0} = \frac{L_0 + u - L_0}{L_0} = \frac{u}{L_0} \quad (1.4)$$



**Σχήμα 1.5.** : Καταπόνηση ράβδου σε εφελκυσμό καθώς επιμηκύνεται.

#### 1.4. ΕΛΑΣΤΙΚΗ ΚΑΙ ΠΛΑΣΤΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ

Η συμπεριφορά των στερεών υλικών και κατά συνέπεια των μετάλλων και των πλαστικών έχει δείξει ότι όλα τα υλικά παραμορφώνονται, δηλαδή υφίστανται μεταβολές των διαστάσεων ή και του σχήματός τους, κάτω από την επίδραση εξωτερικών φορτίων.

Επίσης, έχει βρεθεί ότι για κάθε υλικό υπάρχει μία οριακή τιμή φορτίου, η οποία εάν δεν ξεπεραστεί τότε το υλικό επανέρχεται στις αρχικές του διαστάσεις μόλις απομακρυνθεί το φορτίο. Η επαναφορά ενός σώματος που έχει υποστεί παραμόρφωση στις αρχικές του διαστάσεις, μόλις απομακρυνθεί το φορτίο, ονομάζεται **ελαστική συμπεριφορά** (Σχ. 1.6).

Αντίστοιχα, η παραμόρφωση αυτού του είδους ονομάζεται ελαστική παραμόρφωση. Η οριακή τιμή του φορτίου που δέχεται το υλικό, η οποία όταν ξεπεραστεί τότε το υλικό παύει να συμπεριφέρεται ελαστικά, ονομάζεται **όριο ελαστικότητας** (elastic limit). Όσον αφορά ειδικότερα τα μέταλλα, το οριακό αυτό φορτίο συνήθως αναφέρεται σαν όριο ροής (yield stress).

Στα περισσότερα στερεά υλικά, όσο τα εξωτερικά φορτία είναι μικρότερα από το όριο ελαστικότητας, η παραμόρφωση (δηλαδή η ελαστική παραμόρφωση) είναι ευθέως και γραμμικά ανάλογη προς το φορτίο. Η γραμμική αυτή συσχέτιση μεταξύ φορτίου και παραμόρφωσης στην ελαστική περιοχή είναι γνωστή ως νόμος του Hooke. Ο νόμος του Hooke, δηλαδή η γραμμική σχέση ανάμεσα στην τάση (stress) και την ελαστική παραμόρφωση, ισχύει σε όλα τα μεταλλικά και πλαστικά υλικά για μικρές παραμορφώσεις.

Όταν τα εξωτερικά φορτία υπερβούν το όριο ελαστικότητας (ή το όριο ροής) του υλικού, τότε το στερεό σώμα υφίσταται μία μόνιμη μεταβολή των διαστάσεων ή και του σχήματός του, η οποία παραμένει ακόμη και μετά την απομάκρυνση του φορτίου. Ένα σώμα που παραμορφώνεται μόνιμα κατ' αυτό τον τρόπο λέγεται ότι έχει υποστεί **πλαστική παραμόρφωση** (Σχ. 1.6).

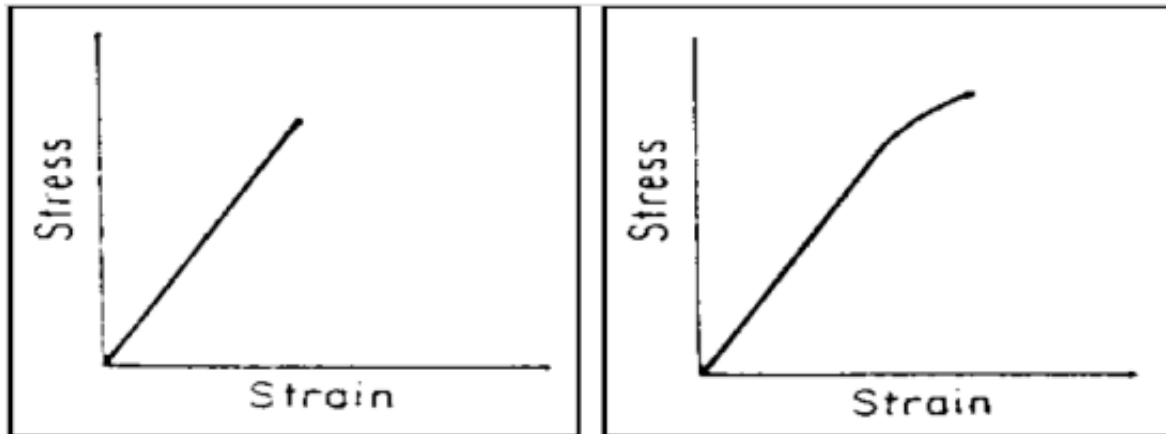


Σχήμα 1.6. :Διάγραμμα τάσης-παραμόρφωσης σε σχέση με την συμπεριφορά του υλικού.

## 1.5. ΟΛΚΙΜΑ - ΨΑΘΥΡΑ ΥΛΙΚΑ

Γενικά, η συμπεριφορά των υλικών κάτω από την επίδραση εξωτερικών φορτίων χαρακτηρίζεται ως όλκιμη (ductile) ή ως ψαθυρή (brittle), ανάλογα με το αν το υλικό εμφανίζει τη δυνατότητα να υποστεί πλαστική παραμόρφωση ή όχι σε συνθήκες θερμοκρασιακές συνθήκες φόρτισης.

Αντίθετα, ένα πολύ ψαθυρό υλικό κατά τη δοκιμή εφελκυσμού δεν μπορεί να παραλάβει σχεδόν καθόλου πλαστική παραμόρφωση, με αποτέλεσμα να σπάει αμέσως μόλις η τιμή της τάσης φτάσει στο όριο ελαστικότητας του υλικού (Σχ.1.7). Υπάρχουν και κάποια υλικά, όπως οι λευκοί χυτοσίδηροι, που παρουσιάζουν πολύ μικρή πλαστικότητα προτού υποστούν θραύση (Σχ.1.8).



Διαγράμματα τάσεων –παραμορφώσεων.

**Σχήμα 1.7.:**Ελαστική συμπεριφορά **Σχήμα 1.8. :**Ελαστική και πλαστική συμπεριφορά.

Είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι το πόσο ψαθυρό ή όλκιμο είναι ένα μέταλλο ή πλαστικό δεν είναι μία απόλυτη ιδιότητα του υλικού.

Σημαντικό ρολό έχει και η **θερμοκρασία** ενός υλικού, για παράδειγμα, το βολφράμιο, που είναι ψαθυρό σε θερμοκρασία δωματίου, είναι αρκετά όλκιμο σε υψηλότερες θερμοκρασίες. Επίσης, ένα μέταλλο που μπορεί να εμφανίζει ψαθυρή συμπεριφορά κατά τη δοκιμή εφελκυσμού, μπορεί να είναι αρκετά όλκιμο κάτω από συνθήκες **υδροστατικής πίεσης**.

Επομένως, ορισμένες φορές η συμπεριφορά ενός υλικού εξαρτάται και από τη συγκεκριμένη **εντατική κατάσταση** στην οποία υπόκειται. Ακόμη, υπάρχουν υλικά που ενώ σε θερμοκρασία δωματίου εμφανίζουν όλκιμη συμπεριφορά όταν εφελκύνονται, μπορεί να συμπεριφερθούν με έντονα ψαθυρό τρόπο όταν υπάρχουν σε αυτά **εγκοπές** ή **ρήγματα** και βρεθούν σε χαμηλή θερμοκρασία.

Διαπιστώνουμε, λοιπόν, ότι το κατά πόσο ένα υλικό θα συμπεριφερθεί όλκιμα ή ψαθυρά εξαρτάται και από πολλούς παράγοντες.

## 1.6. ΚΑΜΠΥΛΗ ΤΑΣΗΣ - ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ

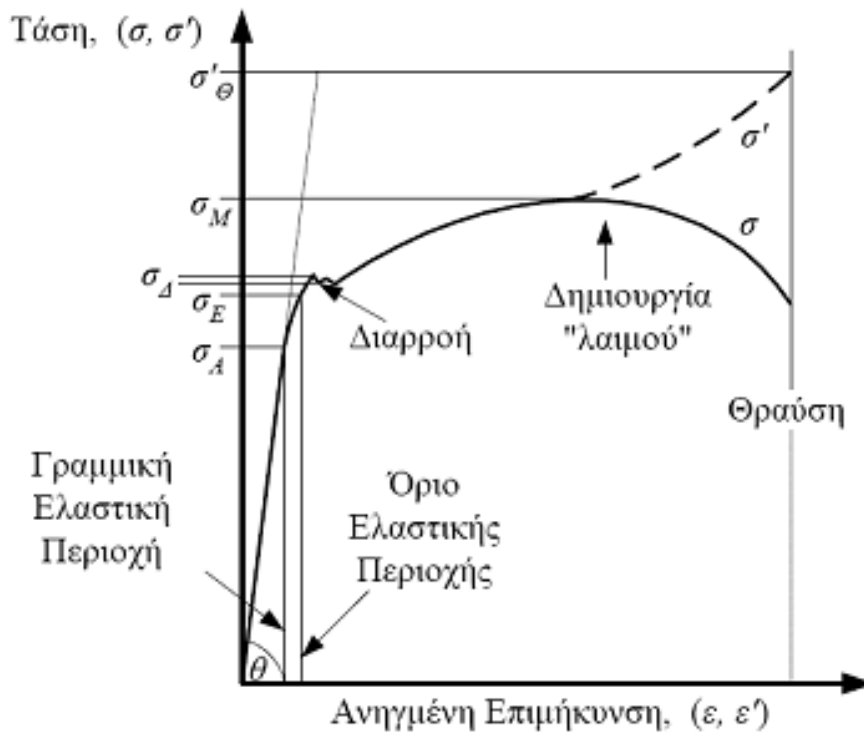
Κατά τη διάρκεια ενός πειράματος εφελκυσμού, καθώς το αξονικό φορτίο αυξάνεται βαθμιαία, μετρείται η συνολική επιμήκυνση σε κάθε αύξηση αυτού και αυτό συνεχίζεται μέχρι να συμβεί θραύση του δοκιμίου. Αφού γνωρίζουμε το αρχικό εμβαδό της διατομής του δοκιμίου, η μέση ορθή τάση  $\sigma$ , μπορεί να υπολογιστεί για οποιαδήποτε τιμή του αξονικού φορτίου από τον τύπο :

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (1.5)$$

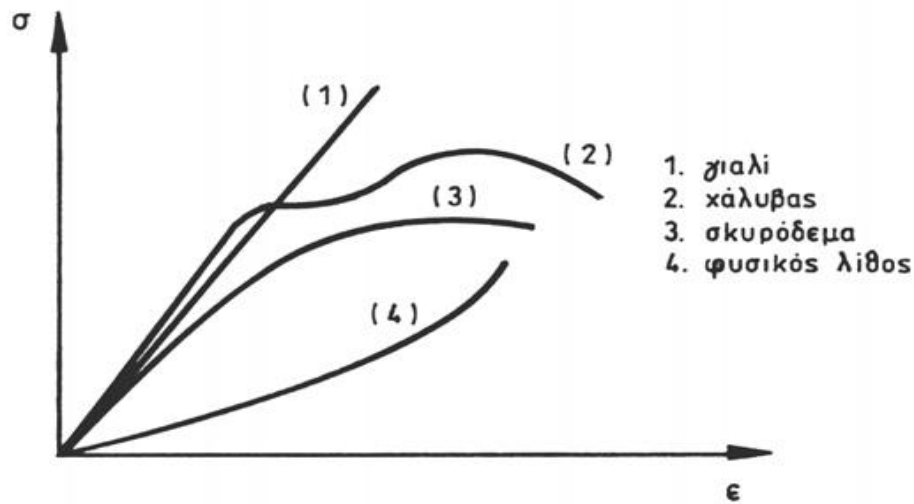
όπου το  $P$  : συμβολίζει το αξονικό φορτίο και το  $A$  : είναι το αρχικό εμβαδό της εγκάρσιας διατομής συνήθως κυκλική ή ορθογωνική.

Έχοντας πολλά ζεύγη τιμών, ορθής τάσης  $\sigma$  και ορθής παραμόρφωσης  $\varepsilon$ , σχηματίζεται το διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων του υλικού για αυτόν τον τύπο φόρτισης. Τα διαγράμματα τάσεων-ανηγμένων παραμορφώσεων έχουν πολύ διαφορετικές μορφές για τα διάφορα υλικά (Σχ. 1.9 και Σχ. 1.10)

Τα υλικά διακρίνονται σε **απολύτως ελαστικά** (π.χ. γυαλί, πλαστικό), **ιξώδη** (π.χ. ασφαλτικά υλικά) και **βισκοελαστικά** (π.χ. σκυρόδεμα).

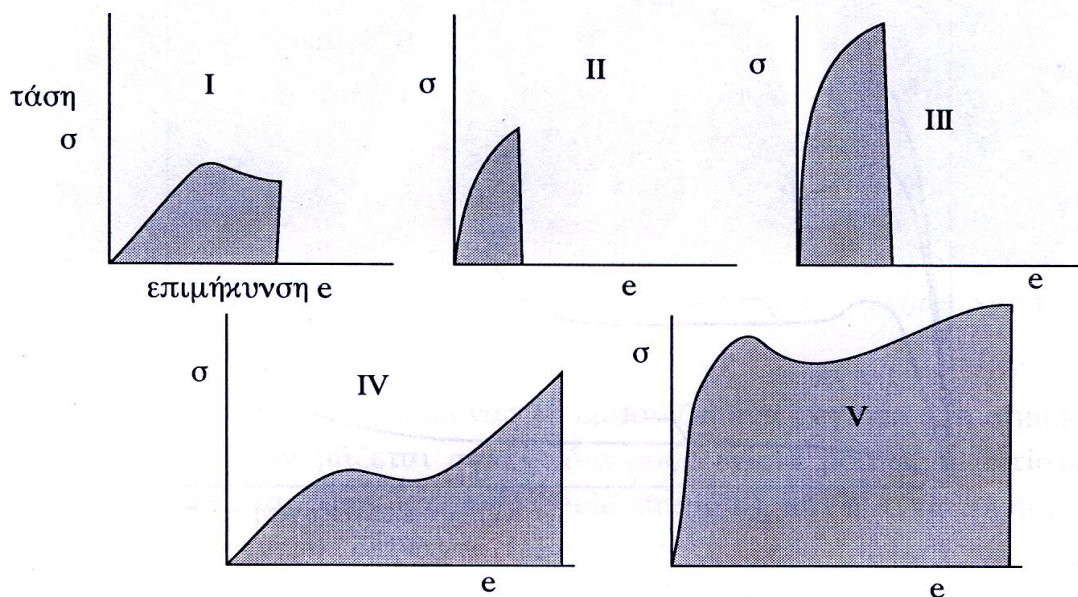


Σχήμα 1.9. : Καμπύλη τάσης- παραμόρφωσης για τον χάλυβα.



**Σχήμα 1.10.** : Διαγράμματα τάσεων – παραμορφώσεων για χαρακτηριστικά δομικά υλικά.

Επίσης ανάλογα με το υλικό, σημαντικό ρόλο έχουν και οι μηχανικές ιδιότητες των υλικών, όπως φαίνεται στο Σχ. 1.11.



**Σχήμα 1.11.:** Διαγράμματα τάσεων – παραμορφώσεων ανάλογα με τις μηχανικές ιδιότητες των υλικών .

- I. Μαλακά και ασθενή , II. Σκληρά και εύθραυστα , III. Σκληρά και δύσκαμπτα ,  
IV. Μαλακά και δύσκαμπτα , V. Σκληρά και δύσκαμπτα.

Η μορφή των διαγραμμάτων τάσης παραμόρφωσης είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για την κατάταξη των υλικών ως προς τη μηχανική τους συμπεριφορά. Με βάση το προηγούμενο διάγραμμα, έχουμε :

1. Τύπος I : Μαλακά και ασθενή.  
Χαρακτηριστικά : χαμηλό μέτρο ελαστικότητας, Σημείο διαρροής.
2. Τύπος II: Σκληρά και εύθραυστα.  
Χαρακτηριστικά : υψηλό μέτρο ελαστικότητας, Όχι σημείο διαρροής.
3. Τύπος III : Σκληρά και στιβαρά ή δύσκαμπτα .  
Χαρακτηριστικά : Πολύ υψηλό μέτρο ελαστικότητας, Υψηλή αντοχή σε εφελκυσμό. Όχι σημείο διαρροής.
4. Τύπος I: Μαλακά και δύσθραυστα.  
Χαρακτηριστικά : Χαμηλό μέτρο ελαστικότητας, Υψηλή επιμήκυνση κατά τη θραύση, Σημείο διαρροής.
5. Τύπος V : Σκληρά και δύσθραυστα.  
Χαρακτηριστικά : Πολύ υψηλό μέτρο ελαστικότητας, Υψηλή αντοχή σε εφελκυσμό, Υψηλή επιμήκυνση κατά τη θραύση, Σημείο διαρροής.

### 1.7. ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ.

Το μέτρο ελαστικότητας ενός υλικού, ως φυσική έννοια, εκφράζει την **αντίσταση** που προβάλλει το υλικό σε **ελαστική παραμόρφωση** και εξαρτάται άμεσα από την ισχύ των χημικών δεσμών μεταξύ των ατόμων του υλικού.

Έτσι, υλικά που σχηματίζουν ισχυρούς χημικούς δεσμούς, όπως τα μέταλλα (μεταλλικοί δεσμοί) και τα κεραμικά (ομοιοπολικοί ή ετεροπολικοί δεσμοί), χαρακτηρίζονται από υψηλό μέτρο ελαστικότητας. Αυτό σημαίνει ότι απαιτούνται σχετικά μεγάλες τάσεις για να παραχθεί σχετικά μικρή ελαστική παραμόρφωση.

Αντίθετα, υλικά όπως τα πολυμερή και τα ελαστομερή, των οποίων οι μοριακές αλυσίδες συγκρατούνται μεταξύ τους με ασθενείς χημικούς δεσμούς (π.χ. Van der Waals), χαρακτηρίζονται από χαμηλό μέτρο ελαστικότητας, που σημαίνει ότι σχετικά μικρές τάσεις μπορούν να προκαλέσουν μεγάλες ελαστικές παραμορφώσεις.

Το μέτρο ελαστικότητας ενός υλικού εξαρτάται επίσης από την θερμοκρασία. Επειδή όσο αυξάνεται η θερμοκρασία τα άτομα των υλικών γίνονται πιο κινητικά, αυτό έχει σαν συνέπεια την χαλάρωση της ισχύος των χημικών δεσμών που τα συγκρατούν στις θέσεις ισορροπίας τους, με αποτέλεσμα να μειώνεται και το μέτρο ελαστικότητας του υλικού.

### 1.8. ΝΟΜΟΣ ΤΟΥ POISSON

Όταν μια ράβδος καταπονείται με απλό εφελκυσμό κατά τη διεύθυνση  $x$ , αυξάνεται το μήκος της κατά την διεύθυνση του φορτίου ( $\epsilon_x$ ) αλλά μειώνονται οι άλλες διαστάσεις κάθετα στην διεύθυνση του φορτίου ( $\epsilon_y$  και  $\epsilon_z$ ). Ο λόγος της εγκάρσιας παραμόρφωσης προς την αξονική παραμόρφωση ονομάζεται λόγος Poisson, και δίνεται από την Σχέση 1.6. :

$$\nu = -\frac{\epsilon_y}{\epsilon_x} \quad (1.6)$$



## 1.9. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΛΙΚΩΝ

Στον πίνακα 1.1 παρουσιάζονται το μέτρο ελαστικότητας και ο λόγος Poisson συνήθων μηχανολογικών υλικών.

| Υλικό                   | Μέτρο ελαστικότητας<br>E (σε GPa) | Λόγος Poisson<br>$\nu$ |
|-------------------------|-----------------------------------|------------------------|
| Κράματα αλουμινίου (Al) | 72,4                              | 0,31                   |
| Χαλκός (Cu)             | 110                               | 0,33                   |
| Χάλυβες                 | 210                               | 0,33                   |
| Ανοξείδωτοι χάλυβες     | 193                               | 0,28                   |
| Τιτάνιο (Ti)            | 117                               | 0,31                   |
| Βολφράμιο (W)           | 400                               | 0,27                   |
| Plexiglas (PMMA)        | 3                                 | 0,35                   |
| PLM-4B                  | 0,13                              | 0,45                   |

Πίνακας 1.1. : Χαρακτηριστικές ιδιότητες των υλικών.

## 1.10. ΑΣΤΟΧΙΑ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Τα διάφορα στοιχεία μιας κατασκευής μπορεί να αποτύχουν στην εκτέλεση των λειτουργιών για τις οποίες χρησιμοποιούνται, δηλαδή μπορεί να υποστούν αστοχία (failure), με τρεις κυρίως τρόπους:

1. Λόγω υπερβολικής ελαστικής παραμόρφωσης.
2. Λόγω πλαστικής ροής ή υπερβολικής πλαστικής παραμόρφωσης.
3. Λόγω θραύσης.

### ΥΠΕΡΒΟΛΙΚΗ ΕΛΑΣΤΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ

Η πλήρης κατανόηση των πιθανών τρόπων αστοχίας είναι ιδιαίτερα σημαντική για τον σωστό και ασφαλή σχεδιασμό δομικών στοιχείων.

Η αστοχία ενός δομικού στοιχείου λόγω υπερβολικής ελαστικής παραμόρφωσης μπορεί να εμφανιστεί με δύο μορφές:

1. Υπερβολική ελαστική παραμόρφωση κάτω από συνθήκες στατικής ισορροπίας, όπως για παράδειγμα είναι η ελαστική κάμψη μίας δοκού υπό την επίδραση σταδιακά αυξανόμενου φορτίου.
2. Λυγισμός (buckling) στοιχείων που δέχονται θλιπτικά αξονικά φορτία (π.χ. ράβδοι), κάτω από συνθήκες ασταθούς στατικής ισορροπίας.

Η αστοχία ενός δομικού στοιχείου λόγω υπερβολικής ελαστικής παραμόρφωσης μπορεί να είναι εξίσου επιζήμια και καταστροφική για μία μηχανή ή γενικότερα για μία κατασκευή, όσο θα ήταν ακόμη και αν αυτό έσπαγε τελείως.

Η συμπεριφορά των υλικών σε ελαστική παραμόρφωση καθορίζεται και εξαρτάται αποκλειστικά από το:

1. Μέτρο ελαστικότητας (E)

Μεγάλο μέτρο ελαστικότητας σημαίνει ότι το υλικό παρουσιάζει μεγάλη αντίσταση σε ελαστικές παραμορφώσεις.

Επειδή δεν μπορούμε να παρέμβουμε τεχνητά στο είδος των χημικών δεσμών, επομένως δεν μπορούμε να βελτιώσουμε και το μέτρο ελαστικότητας του υλικού, σε εφαρμογές που απαιτείται μεγάλη δυσκαμψία πρέπει να επιλέγονται υλικά με υψηλό μέτρο ελαστικότητας.

2. Και **OXI** από την αντοχή του κάθε υλικού (π.χ. όριο ροής).

#### **ΛΟΓΩ ΠΛΑΣΤΙΚΗΣ ΡΟΗΣ Η ΥΠΕΡΒΟΛΙΚΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ.**

Αστοχία λόγω πλαστικής ροής ή υπερβολικής πλαστικής παραμόρφωση εμφανίζεται όταν :

1. Τα εξωτερικά φορτία που καταπονούν ένα δομικό στοιχείο είναι αρκετά μεγάλα, ώστε οι τάσεις που αναπτύσσονται στο υλικό να υπερβούν το όριο ροής του.

Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την πλαστική παραμόρφωση του δομικού στοιχείου, δηλαδή την μόνιμη αλλαγή των διαστάσεων ή και του σχήματός του, γεγονός που μπορεί να το καταστήσει ανίκανο να συνεχίσει να λειτουργεί ομαλά και με ασφάλεια.

Η πλαστική ροή σπάνια οδηγεί σε θραύση, διότι εμφανίζεται το φαινόμενο της εργοσκληρυνσης (work - hardening), που σημαίνει ότι όσο αυξάνεται η πλαστική παραμόρφωση του υλικού, τόσο υψηλότερη τάση απαιτείται για να συνεχιστεί περαιτέρω η παραμόρφωση.

2. Η αστοχία λόγω υπερβολικής πλαστικής παραμόρφωσης εξαρτάται από το όριο ροής (yield-stress) σε συνθήκες ομοαξονικής φόρτισης (εφελκυσμού ή θλίψης).

Σε πιο περίπλοκες εντατικές καταστάσεις και πάλι το όριο ροής είναι η κυρίαρχη παράμετρος, προσαρμοσμένο όμως σε κάποια ειδικά κριτήρια πλαστικής ροής. Τα πιο σημαντικά από αυτά κριτήρια είναι :

- A. το κριτήριο μέγιστης Διατμητικής τάσης (ή κριτήριο Tresca)
- B. Το κριτήριο στροφικής ενέργειας (ή κριτήριο Von Misses)

Τέλος, η εμφάνιση αστοχίας λόγω υπερβολικής πλαστικής παραμόρφωσης αποκτά ιδιαίτερη σημασία όταν η θερμοκρασία λειτουργίας του δομικού στοιχείου είναι υψηλή. Τότε, ελλείπει του φαινομένου της εργοσκληρυνσης, τα μεταλλικά υλικά παρουσιάζουν συνεχώς αυξανόμενη πλαστική παραμόρφωση ακόμη και κάτω από σταθερή τάση. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **ερπυσμός** (creep).

#### **ΛΟΓΩ ΘΡΑΥΣΗΣ.**

Αστοχία λόγω θραύσης (fracture) εμφανίζεται όταν σε ένα υλικό προϋπάρχουν ή δημιουργούνται ρήγματα (cracks), τα οποία κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες μηχανικής καταπόνησης προωθούνται, ακαριαία ή σταδιακά, και οδηγούν στην καταστροφή του δομικού στοιχείου. Η θραύση είναι ένας πολύ επικίνδυνος τρόπος αστοχίας, ειδικά στα ψαθυρά (brittle) υλικά, διότι συμβαίνει ακαριαία και πολλές φορές χωρίς να δώσει προηγουμένως κάποια προειδοποιητική ένδειξη. Στα όλκιμα (ductile) υλικά η κατάσταση είναι καλύτερη, διότι εκεί της θραύσης προηγείται συνήθως εκτεταμένη πλαστική παραμόρφωση, η οποία μπορεί να γίνει ευκολότερα αντιληπτή και να οδηγήσει στην πρόληψη της καταστροφικής θραύσης. Η θραύση στα μεταλλικά υλικά εμφανίζεται γενικά με δύο μορφές:

- A. ακαριαία ψαθυρή θραύση και
- B. σταδιακή θραύση ή κόπωση (fatigue).

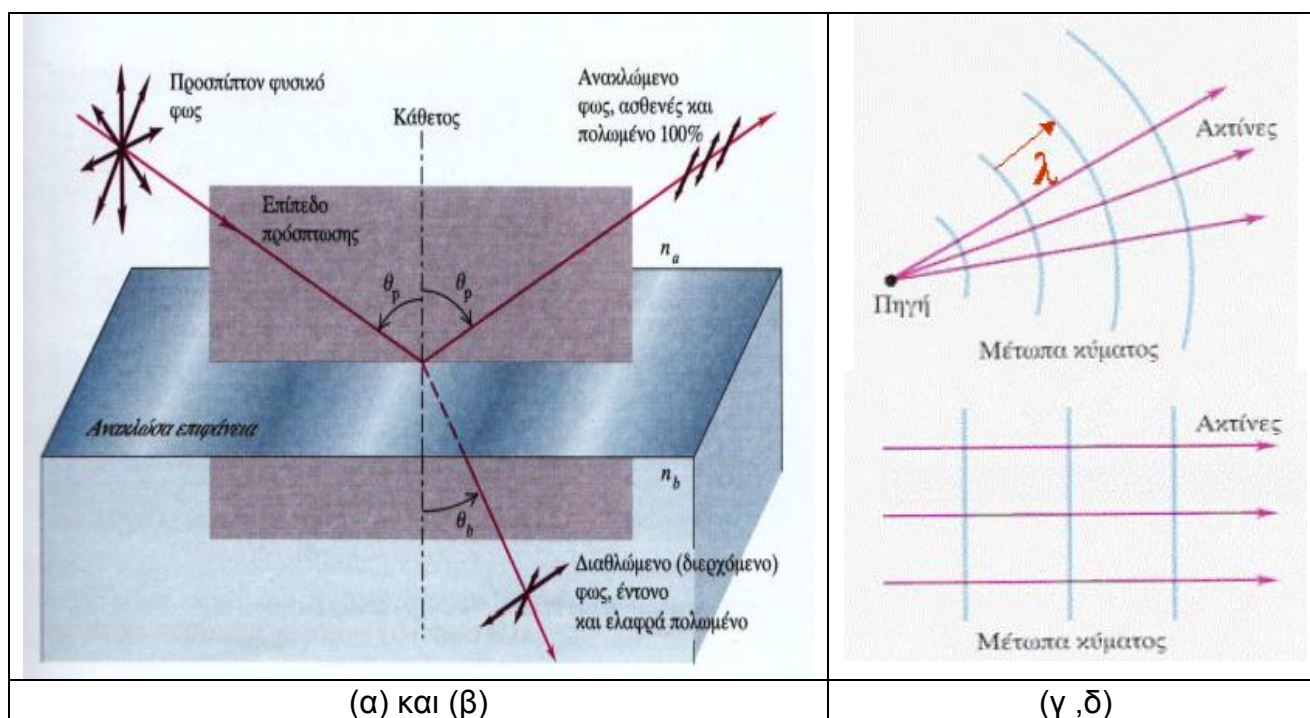
Η ξαφνική ψαθυρή θραύση εμφανίζεται στα ψαθυρά υλικά, χωρίς να έχει προηγηθεί σχεδόν καθόλου πλαστική παραμόρφωση σε αυτά. Ψαθυρή θραύση μπορεί να εμφανιστεί και σε όλκιμα μεταλλικά υλικά, κάτω από ορισμένες προϋποθέσεις. Το συνηθέστερο παράδειγμα αυτής της κατηγορίας είναι οι απλοί ανθρακούχοι χάλυβες κατασκευών, οι οποίοι σε χαμηλές θερμοκρασίες (συνήθως κάτω από  $0^{\circ}\text{C}$ ) παρουσιάζουν μια μετάβαση από όλκιμη σε ψαθυρή συμπεριφορά, γεγονός που καθιστά πιθανή μια ξαφνική θραύση τους χωρίς να έχει προηγηθεί σημαντική πλαστική παραμόρφωσή τους.

Η μετάβαση από όλκιμη σε ψαθυρή θραύση ευνοείται από την μείωση της θερμοκρασίας όπως αναφέρθηκε, αλλά και από την αύξηση του ρυθμού φόρτισης, δηλαδή πόσο γρήγορα εφαρμόζεται μία δύναμη επάνω στο δομικό στοιχείο. Για παράδειγμα, ενώ όταν ένα φορτίο μεγέθους  $F$  εφαρμοστεί σιγά-σιγά σε ένα υλικό τότε αυτό δεν υφίσταται θραύση, μπορεί το ίδιο φορτίο  $F$  όταν εφαρμοστεί με μεγάλη ταχύτητα (π.χ. σαν κρουστικό φορτίο) να οδηγήσει το ίδιο υλικό σε ψαθυρή θραύση. Για την ανάλυση προβλημάτων ψαθυρής θραύσης υπάρχει μία ισχυρή θεωρία που ονομάζεται **θραυστομηχανική** (fracture mechanics).



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΘΕΩΡΙΑ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ

Κατά την σωματιδιακή θεωρία του φωτός, τα σωματίδια που εκπέμπονται από τη φωτεινή πηγή κινούνται ευθύγραμμα εντός του μέσου έως ότου συναντήσουν την επιφάνεια ενός άλλου μέσου όπου ανακλώνται ή διαθλώνται, όπως χαρακτηριστικά φαίνεται στο σχήμα 2.1.



**Σχήμα 2.1.** : (α) Ανάκλαση, (β) Διάθλαση φωτεινών ακτίνων και (γ, δ) Διάδοση μετώπων Κύματος

Σύμφωνα με την κυματική θεωρία του φωτός, από σημειακή πηγή  $\Pi$  εκπέμπεται ένα κύμα που γεννάται από τις δονήσεις των ατόμων της πηγής. Το κύμα διαδίδεται στο χώρο με ταχύτητα  $U$ , όπου  $U$  η ταχύτητα διαδόσεως του φωτός στο χώρο της πηγής. Το κύμα διαδιδόμενο προς όλες τις επιφάνειες σχηματίζει σφαιρικές επιφάνειες ακτίνες  $R$ , δίνετε από την σχέση 2.1.:

$$R = U * t. \quad (2.1)$$

όπου  $t$  ο χρόνος.

Όλα τα σημεία της σφαίρας ευρίσκονται σε φάση. Οι επιφάνειες αυτές αποτελούν τα μέτωπα του κύματος. Τα σημεία του πρώτου μετώπου καθίστανται νέες φωτεινές πηγές που σχηματίζουν νέα μέτωπα κύματος και η περιβάλλουσα των επί μέρους μετώπων σχηματίζει το νέο μέτωπο κύματος σύμφωνα με την αρχή του Huygens. Τα σφαιρικά μέτωπα του κύματος πολύ μακριά της πηγής  $\Pi$  καθίστανται σχεδόν επίπεδα έτσι ώστε σε άπειρη απόσταση από την πηγή  $\Pi$  τα μέτωπα θεωρούνται επίπεδα κάθετα στις φωτεινές ακτίνες, όπως φαίνεται στο Σχ. 2.1 γ.

Σύμφωνα με την θεωρία του φωτός και την αρχή του Huygens, μπορεί εύκολα να εξηγηθεί η ανάκλαση και η διάθλαση του φωτός. Έτσι, όταν ένα μέτωπο κύματος φθάσει στην διαχωριστική επιφάνεια τότε τα σημεία της διαχωριστικής επιφάνειας καθίστανται δευτερεύουσες πηγές κυμάτων με αποτέλεσμα ένα νέο μέτωπο κύματος να γεννάται και αφ' ενός μεν να ανακλάται αφ' ετέρου δε να διαθλάται.

## 2.1. ΦΩΤΟΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ

Η Φωτοελαστικότητα είναι μια πειραματική μέθοδος ανάλυσης και υπολογισμού των τάσεων που εμφανίζονται σε ένα ελαστικά συμπεριφερόμενο σώμα .

Απαιτεί τη χρησιμοποίηση φωτεινής πηγής και την γνώση οπτικών τεχνικών μέσων όπως της κυματικής θεωρίας διάδοσης του φωτός.

Βασίζεται στην ιδιότητα που εμφανίζουν μερικά διαφανή πλαστικά υλικά να επηρεάζουν την πορεία του φωτός που διέρχεται μέσα από αυτά, όταν μεταβάλλεται η εντατική τους κατάσταση.

Η συσκευή που χρησιμοποιείται στην φωτοελαστικότητα είναι το πολωσιοσκόπιο και συνεπάγεται ότι η κατασκευή των δοκιμίων-μοντέλων γίνεται από διαφανής πλαστικό υλικό.

Με την μέθοδο αυτή παίρνουμε άμεσες ποιοτικές πληροφορίες σχετικά με την κατανομή των τάσεων, τις θέσεις συγκεντρώσεων τάσεων, τις κύριες τάσεις, καθώς και για τις περιοχές χαμηλών τάσεων.

Με βάση αυτά τα αποτελέσματα, οι μελέτες μπορούν να τροποποιηθούν ώστε να μειωθούν ή να διασκορπιστούν οι συγκεντρώσεις των τάσεων ή να αφαιρεθεί πλεονάζον υλικό από περιοχές χαμηλών τάσεων, με αποτέλεσμα μείωση του βάρους και του κόστους μιας κατασκευής.

Από την στιγμή που η φωτοελαστική ανάλυση μπορεί να εκτελεστεί στο μοντέλο μιας κατασκευής υπό μελέτη, δηλαδή πριν αρχίσει η παραγωγή, μπορούμε να αποφύγουμε ενδεχόμενες αστοχίες ή αποτυχίες κατά την παραγωγή, δαπανηρές σχεδιαστικές μετατροπές, καθώς και επανεκατεργασίες. Ακόμα και στην περίπτωση εμφάνισης αστοχίας η μέθοδος αυτή είναι αποτελεσματική για την διερεύνηση της και συχνά παρέχει πολύτιμες πληροφορίες που οδηγούν σε επιτυχή επανασχεδιασμό.

## 2.2. ΔΙΠΛΟΔΙΑΘΛΑΣΗ ΚΑΙ ΦΩΤΟΤΑΣΕΟΠΤΙΚΟΣ ΝΟΜΟΣ

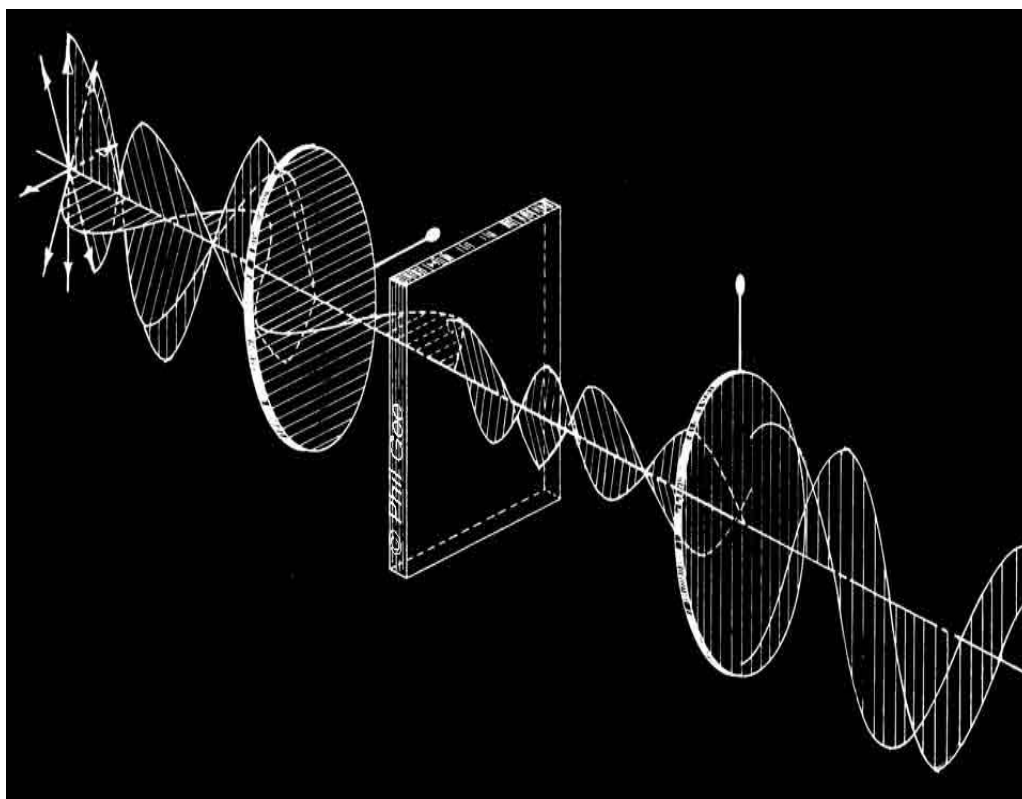
Τα φωτοελαστικά μοντέλα κατασκευάζονται από ειδικά διαφανή υλικά που, όταν καταπονούνται παρουσιάζουν την ιδιότητα της **διπλοδιάθλασης**. Τα υλικά αυτά ονομάζονται διπλοθλαστικά.

Η φωτεινή ακτινοβολία κατά την πρόσπτωση της, σε διπλοδιαθλαστικό σώμα, υπό εντατική κατάσταση, διαχωρίζεται σε δυο επίπεδα πολωμένες δέσμες κάθετες μεταξύ τους. Οι διευθύνσεις τους σε οποιοδήποτε σημείο συμπίπτουν με τις διευθύνσεις των κύριων τάσεων. Οι ταχύτητες των φωτεινών αυτών δεσμών είναι ανάλογες του μεγέθους των αντίστοιχων κύριων τάσεων σε κάθε διεύθυνση.

Έχει αποδειχθεί πειραματικά ότι η εφαρμογή εντατικής καταστάσεως σε ισότροπα υλικά προκαλεί διπλοδιάθλαση, που σε κάθε σημείο του σώματος είναι ανάλογη προς τη διαφορά των κύριων τάσεων σ' αυτό το σημείο, στην περιοχή των καταπονήσεων, που ισχύει ο νόμος του Hooke. Η αναλογία μεταξύ της διπλοδιάθλασης και της εντατικής κατάστασης συνδέεται με την ακόλουθη μαθηματική σχέση 2.2., είναι γνωστή ως **φωτοτασεοπτικός νόμος**.

$$\sigma_1 - \sigma_2 = \frac{f}{s} N \quad (2.2)$$

Όπου  $\sigma_1, \sigma_2$  : η διαφορά των κυρίων τάσεων,  $f$  : είναι η σταθερά της φωτοελαστικότητας του υλικού,  $s$ : το πάχος του φωτοελαστικού μοντέλου και  $N$ : ο αριθμός των κροσσών που εμφανίζονται στο προς μελέτη μοντέλο.



Σχήμα 2.2. : Δέσμες του Φωτός.

Η διάφορα φάσης των δυο φωτεινών δεσμών όπου εξέρχονται από το φωτοελαστικό μοντέλο δίνεται από την σχέση 2.3.:

$$\Delta = 2 * \pi * \frac{s}{\lambda} * (n1 - n2) \quad (2.3)$$

Όπου  $\Delta$  : η διαφορά φάσης των δυο φωτεινών δεσμών,  $n_1, n_2$ : οι δείκτες διάθλασης του καταπονούμενου μοντέλου στις δυο κάθετες μεταξύ τους διευθύνσεις,  $\lambda$  : το μήκος κύματος φωτός πηγής και  $s$  το πάχος του φωτοελαστικού μοντέλου.

Επίσης σύμφωνα με τον νόμο του Hooke προκύπτει:

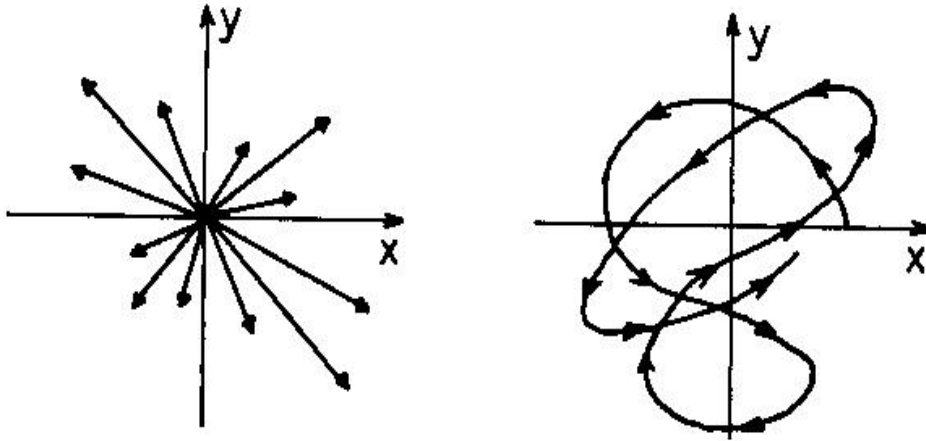
$$n1 - n2 = c * (\sigma1 - \sigma2) \quad (2.4)$$

Όπου  $n_1, n_2$ : οι δείκτες διάθλασης του καταπονούμενου μοντέλου στις δυο κάθετες μεταξύ τους διευθύνσεις,  $c$  : η σταθερά του υλικού και  $\sigma_1, \sigma_2$  : η διαφορά των κυρίων τάσεων.



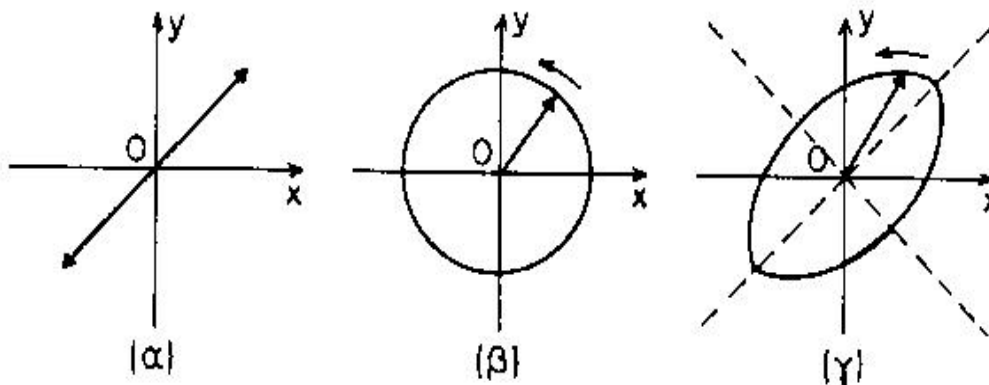
### 2.3. ΠΟΛΩΣΗ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ

Σύμφωνα με την κυματική θεωρία του φωτός, το κοινό φως αποτελείται από εγκάρσια κύματα διαφόρων συχνοτήτων και διευθύνσεων, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.3.



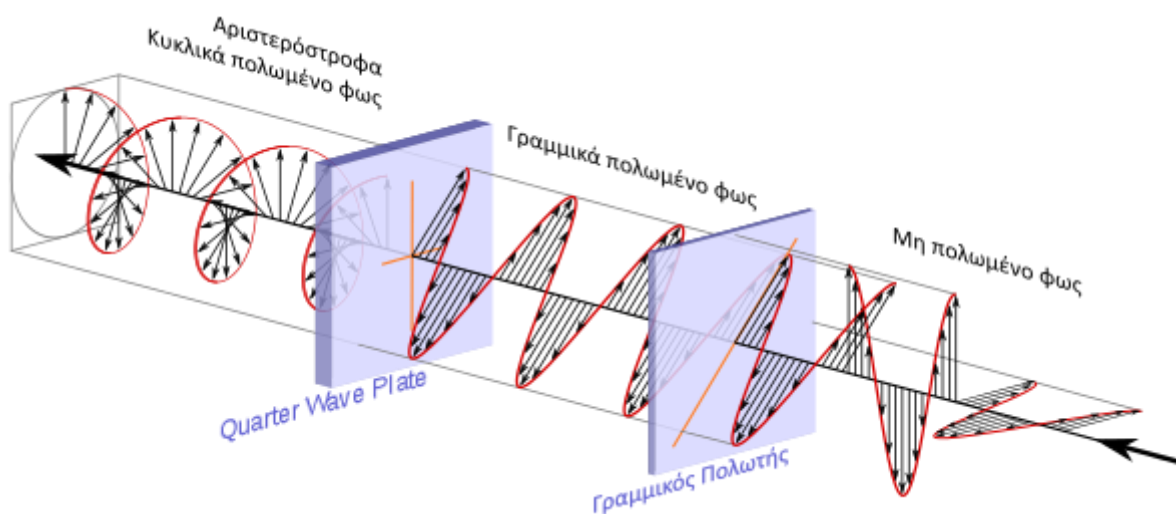
Σχήμα 2.3. : Εγκάρσια κύματα φωτός διαφόρων συχνοτήτων και διευθύνσεων.

Εάν το κοινό φως πέσει σε μια υάλινη πλάκα με κατάλληλη γωνία πρόσπτωσης τότε το ανακλώμενο φως αποτελείται από εγκάρσια κύματα με επίπεδα ταλάντωσης παράλληλα μεταξύ τους και κάθετα στην διάδοση του κύματος. Στην περίπτωση αυτή το φως καλείται **πολωμένο**, Σχ. 2.5. Το διάνυσμα του πολωμένου φωτός κινείται πάνω σε ορισμένη τροχιά, κάθετη στην διεύθυνση του κύματος, Χαρακτηριστικό είναι το Σχ. 2.4.



Σχήμα 2.4. : (α) Επίπεδα πολωμένο φως, (β) Κυκλικά πολωμένο φως, (γ) Ελλειπτικά πολωμένο φως.

- **Επίπεδα πολωμένο φως:** είναι το φως όπου το διάνυσμα του φωτός βρίσκεται πάνω σε ευθεία γραμμή κάθετη προς την διεύθυνση διάδοσης ,χαρακτηριστικό είναι το Σχ. 2.5.
- **Κυκλικά πολωμένο φως:** είναι το φως όπου το διάνυσμα του φωτός κινείται σε κυκλική τροχιά ,το επίπεδο της οποίας είναι κάθετο στην διεύθυνση διάδοσης. Επομένως κατά την διάδοση του κυκλικά πολωμένου φωτός σχηματίζεται κυκλική έλικα. ,χαρακτηριστικό είναι το Σχ. 2.5.
- **Ελλειπτικά πολωμένο φως:** είναι το φως όπου το διάνυσμα του φωτός κινείται επί ελλειπτικής τροχιάς στο επίπεδο της οποίας είναι κάθετο στην διεύθυνση διάδοσης. Κατά την διάδοση του ελλειπτικά πολωμένου φωτός σχηματίζεται ελλειπτική έλικα.



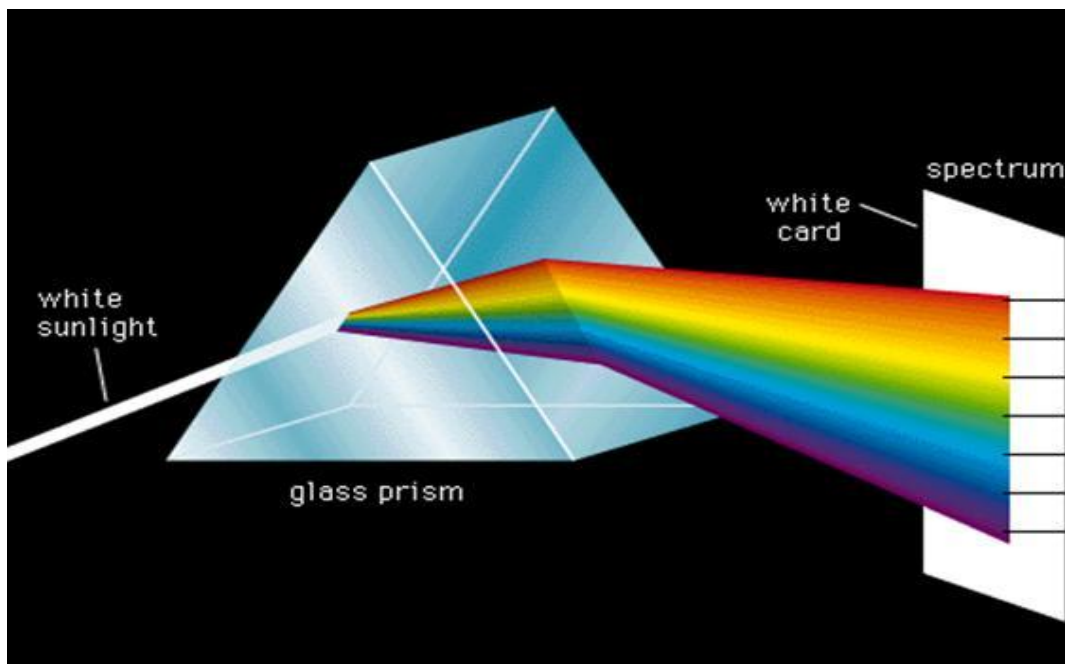
**Σχήμα 2.5.** : Απεικονίζεται στην Δεξιά πλευρά το επίπεδο πολωμένο φως και στην αριστερή πλευρά το κυκλικό πολωμένο φως.

## 2.4. ΙΣΟΧΡΩΜΑΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΙΣΟΚΛΙΝΕΙΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ

Όταν οι δυο φωτεινές δέσμες φτάσουν στον αναλυτή σε κάθετη διάταξη αυτός θα επιτρέψει να διέλθουν μόνο οι οριζόντιες συνιστώσες. Ένας παρατηρητής βλέπει μέσα από τον αναλυτή την συνιστάμενη τους. Οι συνιστώσες αυτές συνδυάζονται και σχηματίζουν τους **κροσσούς** συμβολής , χαρακτηριστικό είναι το Σχ. 2.6.

Αν η πηγή δίνει **μονοχρωματικό φως**, π.χ. πράσινο του υδράργυρου ή κίτρινο του νατρίου, τότε οι κροσσοί εμφανίζονται ως διακριτικές **μαύρες ζώνες** σε ένα ομοιόμορφο πράσινο ή κίτρινο φόντο. Φυσικά αυτές οι μαύρες ζώνες αντιστοιχούν σε σημεία όπου η διάφορα φάσης μεταξύ των δυο φωτεινών δεσμών, που εξέρχονται από το φωτοελαστικό μοντέλο, είναι ακέραιο πολλαπλάσιο του μήκους κόμματος  $\lambda$  και επομένως προκύπτουν σκοτεινές γραμμές που ονομάζονται **ισοχρωματικές**.

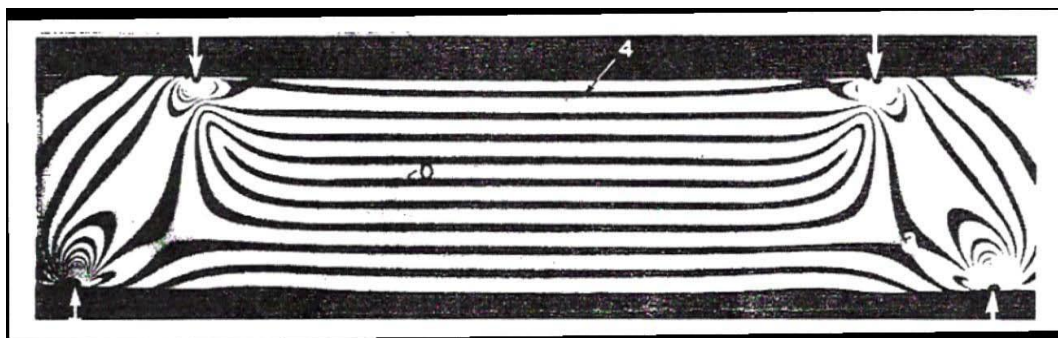
Σε αντίθετη περίπτωση αν η πηγή δίνει **λευκό φως**, δηλαδή φως με όλα τα μήκη κύματος, τότε οι κροσσοί εμφανίζονται με διάφορα χρώματα. Κάθε μήκος κύματος θα δημιουργήσει ισοχρωματικές και ο παρατηρητής θα βλέπει μια **έγχρωμη εικόνα** ισοχρωματικών.



Σχήμα 2.6. : Εμφάνιση έγχρωμων ισοχρωματικών λόγω λευκού φωτός.

Οι **μονοχρωματικές πηγές** προτιμούνται για ακριβείς φωτοελαστικές μετρήσεις, καθώς μπορούμε να διακρίνουμε καθαρά ένα μεγάλο αριθμό κροσσών, όπως π.χ. σε θέσεις συγκέντρωσης τάσεων.

Τώρα αν η πηγή δίνει μονοχρωματικό φως, στην περίπτωση του επίπεδου **πολωμένου φωτός**, φαίνονται **σκοτεινά** όλα τα σημεία του μοντέλου με διάφορα φάσης  $\Delta=1,2,3,4,5$  κ.τ.λ. Παρατηρούνται δε στο μοντέλο σκοτεινές γραμμές, οι ισοχρωματικές, Σχ. 2.7.

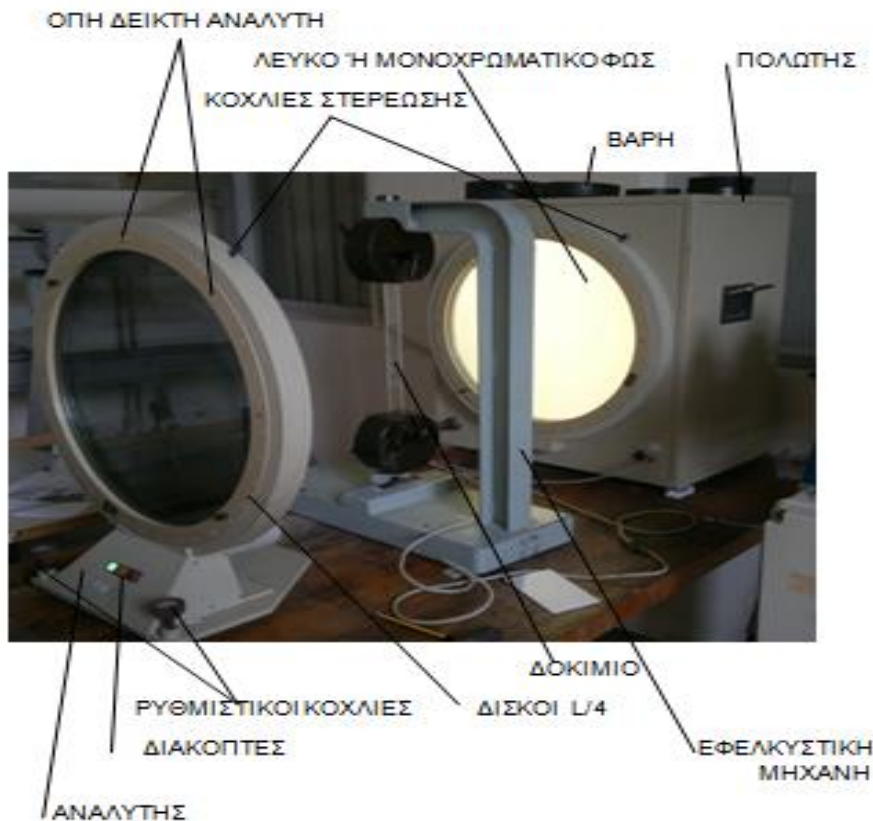


Σχήμα 2.7. : Το δίκτυο των ισόχρωμων σε δοκίμιο καθαρής κάμψης.

Στην περίπτωση πάντα του επίπεδου πολωμένου φωτός και ανεξάρτητα από το είδος της φωτεινής πηγής, στο μοντέλο εκτός από τις ισοχρωματικές εμφανίζονται και άλλες μαύρες γραμμές στα σημεία που η διεύθυνση της μιας κύριας τάσης συμπίπτει με τον άξονα πόλωσης. Οι γραμμές αυτές ονομάζονται **ισοκλινείς**.

## 2.5. ΠΟΛΩΣΙΟΣΚΟΠΙΟ GS 2 C

Τα πειράματα της φωτοελαστικότητας έγιναν με χρήση της συσκευής του Πολωσιοσκοπίου GS 2 C που διαθέτει το Εργαστήριο της Αντοχής των Υλικών του Τμήματος Μηχανολογίας του ΤΕΙ Πάτρας, χαρακτηριστικό είναι το Σχ.2.8. και μέσω αυτών πραγματοποιείται μελέτη της κατανομής των τάσεων στα υπό εξέταση δοκίμια.



**Σχήμα 2.8.** : Πολωσιοσκόπιο GS 2 C που διαθέτει το Εργαστήριο της Αντοχής των Υλικών του Τμήματος Μηχανολογίας του ΤΕΙ Πάτρας.

Το πολωσιοσκόπιο GS 2 C είναι ένας φορητός ελεγκτής τάσεων με διαχεόμενο φως. Η διάμετρος του πεδίου είναι 300 ή 450 mm. Αυτά τα όργανα αποτελούνται από δύο μέρη :

### 1. Μέρος P με τον πολωτή

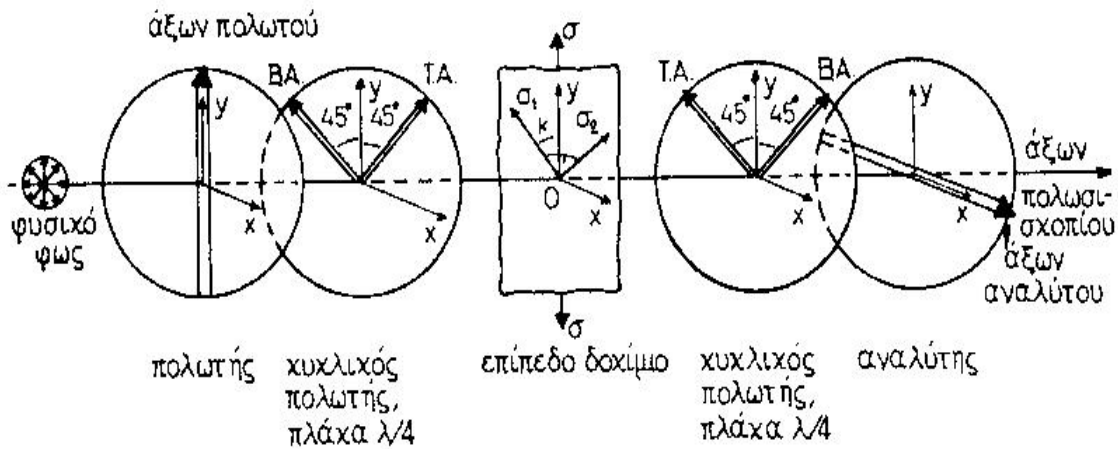
Στο τμήμα P υπάρχουν φωτεινές πηγές για άσπρο και για μονοχρωματικό φως (λάμπες ατμού νατρίου) ένας διάχυτης φωτός, ο πραγματικός πολωτής με ένα βέλος στην περιφέρεια, ένας δίσκος L/4 με σημεία από 0° έως 45° και στο τέλος ένα προστατευτικό γυαλί. Ο πολωτής και ο δίσκος L/4 είναι περιστρεφόμενοι. Για την ανάγνωση της γωνίας υπάρχει μια κλίμακα από 0° έως 180° και στις δυο διευθύνσεις υποδιαιρεμένη σε θέσεις ανά 10 βαθμούς και μια οπή δείκτης στην κορυφή .

## 2. Μέρος A με τον αναλυτή

- Το τμήμα A απαρτίζεται από ένα προστατευτικό γυαλί, δίσκο L/4 με κλίμακα για γωνίες από  $0^\circ$  έως  $180^\circ$  και στις δύο διευθύνσεις υποδιαιρεμένη σε  $1/1^\circ$ , ένας πολωτής σαν πραγματικός αναλυτής με ένα βέλος στην περιφέρεια και ένα δεύτερο προστατευτικό γυαλί.
- Ο δίσκος L/4 και ο πολωτής είναι επίσης περιστρεφόμενοι, η κλίμακα μέτρησης της γωνίας είναι από  $0^\circ$  έως  $180^\circ$  και στις δύο διευθύνσεις υποδιαιρεμένη σε θέσεις ανά 10 βαθμούς με οπή δείκτη στην κορυφή. Στην βάση του τμήματος A υπάρχουν διακόπτης για φωτισμό και συγχρονισμό αποτελούμενο από μια σύγχρονη γεννήτρια και ένα σύγχρονο κινητήρα.

Τα μέρη P και A τοποθετούνται το ένα απέναντι στο άλλο και συνδέονται με ένα καλώδιο. Ο πολωτής και ο αναλυτής πρέπει να είναι παράλληλοι και η απόσταση μεταξύ τους όχι μεγαλύτερη από την πρέπουσα, περίπου 1 m. Το προς εξέταση αντικείμενο πρέπει να τοποθετηθεί κοντά στον πολωτή. Όταν παίρνουμε φωτογραφία με φωτογραφική μηχανή η απόσταση μοντέλου και αναλυτή πρέπει να είναι μικρή. Το μήκος ακτινοσκοπήσεως των φακών πρέπει να είναι μεγάλο.

Στο σχήμα 2.9 απεικονίζεται το πολωσιοσκόπιο GS 2



Σχήμα 2.9. : απεικόνιση πολωσιοσκόπιο GS 2 c.

## 2.6. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΠΟΛΩΣΙΟΣΚΟΠΙΟΥ GS 2 C

### 1. Ηλεκτρική Ενέργεια: 220 V, 50 Hz.

Το πολωσιοσκόπιο, συνδέεται με ηλεκτρικό ρεύμα 200 V, συχνότητα 50 Hz και τέλος ένας ανεμιστήρας ξεκινά αυτομάτως στον πολωτή για την ψύξη.

### 2. Φωτισμός: Λευκός ή μονοχρωματικός.

Οι διακόπτες για τους φωτισμούς είναι στη βάση του αναλυτή. Ο διακόπτης του λευκού φωτός έχει το γράμμα "L" και για το μονοχρωματικό φως το γράμμα "N". Οι λάμπες ατμών Νατρίου θέλουν 5 λεπτά για να παράγουν μονοχρωματικό φως και οι δυο φωτεινές πηγές μπορούν αμέσως να ανάψουν ύστερα από σβήσιμο χωρίς κίνδυνο. Ο διακόπτης "A" είναι για το SYNCHRO.

### 3. Η χρήση του SYNCHRO

Για να χρησιμοποιήσουμε το SYNCHRO, πρέπει :

- Πολωτής και αναλυτής να είναι στη θέση μηδέν (γραμμική πόλωση) ή στην διαγώνια θέση (κυκλική πόλωση)
- Τα συνδετικά τσιμπιδάκια στον αναλυτή και στον πολωτή να είναι στην κατάλληλη θέση.
- Οι κοχλίες στον πολωτή και στον αναλυτή να είναι χαλαρωμένοι.

Πιέζουμε τον διακόπτη A στη βάση του αναλυτή. Όταν στρέφουμε τον συνδεδεμένο δίσκο L/4 και τον πολωτή στον αναλυτή με το χέρι, ο δίσκος L/4 και ο πολωτής επίσης συνδεδεμένα στον πολωτή ακολουθούν αυτομάτως και συγχρόνως την ίδια διεύθυνση και η γωνία παραμένει ή ίδια.

**ΠΡΟΣΟΧΗ:** Αυτή ή μετακίνηση πρέπει να είναι αργή και απαλή.

Στην περίπτωση λάθους σβήνουμε το SYNCHRO και κάνουμε επανεκκίνηση

### 4. Είδος πόλωσης: Γραμμική και κυκλική

Το είδος της πόλωσης είναι δυνατό να μεταβληθεί με την περιστροφή των τεσσάρων στοιχείων πόλωσης. Για κάθε θέση υπάρχουν μερικά ενδεικτικά σημεία και κλίμακες. Κατ' αρχάς υπάρχουν δύο σταθερές ενδεικτικές οπές στην κορυφή του πολωτή και αναλυτή για γωνίες στην περιφέρεια από 0° έως 180° προς τις δύο διευθύνσεις υποδιαιρεμένες σε θέσεις ανά 10 βαθμούς. Στην περιστρεφόμενη πλάκα L/4 του πολωτή οι θέσεις είναι περιφερειακά των 0° και 45°. Επί της περιστρεφόμενης πλάκας L/4 του αναλυτή υπάρχει περιφερειακά μια κλίμακα από 0° έως 180° προς τις δύο διευθύνσεις υποδιαιρεμένες σε 1/1°. Οι περιστρεφόμενοι πολωτές στον πολωτή και τον αναλυτή δείχνουν μόνο ένα βέλος στην περιφέρεια τους. Αυτά τα βέλη είναι διευθετημένα με τέτοιο τρόπο ώστε όταν συμπέσουν η θέα του πεδίου γίνεται μαύρη.

### *i. Γραμμική πόλωση (θέση 0)*

Πριν ενεργοποιήσουμε τη γραμμική πόλωση χαλαρώνουμε τις δυο βίδες και θέτουμε όλα τα σημεία των πολωτών και των πλακών L/4 στην θέση μηδέν των κλιμάκων. Εάν όλα τα σημεία μηδέν συμπίπτουν, έχουμε γραμμική πόλωση και θέα μαύρου πεδίου. Για καλύτερο έλεγχο μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τους ρυθμιζόμενους κοχλίες στη βάση του αναλυτή. Οι πολωτές στον πολωτή και αναλυτή είναι πολωμένοι σταυρωτά και οι δίσκοι L/4 αποδεικνύονται μη επαρκείς.

Λαμβάνοντας υπόψη την σπουδαιότητα αυτής της θέσεως ένα τσιμπιδάκι ασφαλείας σε μορφή φορτισμένου συνδετικού ελατηρίου προστίθεται στον πολωτή και αναλυτή. Εφόσον τα ελατηριωτά τσιμπιδάκια δρουν, οι πολωτές και οι πλάκες L/4 στρέφονται μόνο συγχρόνως. Έτσι είναι απαραίτητο για να πάρουμε συγχρονισμένη περιστροφική κίνηση.

### *ii. Κυκλική πόλωση (διαγώνιος θέση)*

Για την κυκλική πόλωση, ο πολωτής στον πολωτή και η πλάκα L/4 στον αναλυτή πρέπει να είναι στη θέση μηδέν. Για να κρατήσουμε αυτά τα στοιχεία σε αυτές τις θέσεις χρησιμοποιούμε τους δύο κοχλίες στον πολωτή και αναλυτή. Τότε απομακρύνουμε τα δύο συνδετικά τσιμπιδάκια και στρέφουμε τις πλάκες L/4 στον πολωτή και τον πολωτή στον αναλυτή 45 βαθμούς κατά διεύθυνση αντίθετη προς την φορά των δεικτών του ρολογιού. Σε αυτές τις θέσεις θα βρούμε τότε νέες οπές για τα συνδετικά τσιμπιδάκια, για να διατηρήσουμε τη κλίση για κυκλικά πολωμένο φως.

## **5. Μετρήσεις των φωτοελαστικών δεδομένων με την βοήθεια των δίσκων L/4 (μέθοδος SENARMONT)**

Για να αρχίσουμε τις μετρήσεις των φωτοελαστικών δεδομένων σε διαφανές μοντέλο με το πολωσιοσκόπιο πρέπει:

- Όλες οι θέσεις πρέπει να είναι στο μηδέν.
- Το φως πρέπει να είναι μονοχρωματικό.
- Ο διακόπτης A πρέπει να είναι στη θέση ON.

Παρατηρώντας μέσα από τον αναλυτή παρατηρούμε γραμμές έγχρωμες και μαύρες στο μοντέλο που θα εξεταστεί. Υπάρχει ένα μαύρο πεδίο γύρω από το αντικείμενο. Στρέφοντας το αντικείμενο οι έγχρωμες γραμμές δεν αλλάζουν, οι μαύρες γραμμές όμως κινούνται. Αυτές είναι οι **ισοκλινείς γραμμές**.

Στην πράξη δεν πρέπει να στρέφεται το μοντέλο που εξετάζεται. Ο κατασκευαστής του πολωσιοσκοπίου επιτρέπει να στρέφεται ο αναλυτής. Πρώτα στρέφουμε τον αναλυτή έως ότου μια ισοκλινής επανεμφανισθεί στο σημείο έρευνας του μοντέλου. Τότε στρέφουμε το SYNCHRO κατά 45° κατά την διεύθυνση των δεικτών του ρολογιού και σβήνουμε το SYNCHRO. Αυτό καταλήγει σε κυκλικά πολωμένο φως. Μετά σφίγγουμε τις βίδες στον αναλυτή, τραβάμε έξω τα ελατήρια συνδέσεως και στρέφουμε τον πολωτή στον αναλυτή έως ότου η ισοκλινής επανεμφανισθεί στο προς ερευνά σημείο.

Η γωνία στροφής W μπορεί να διαβαστεί στον αναλυτή και χρησιμοποιούμε τον ακόλουθο τύπο για τον υπολογισμό του:

$$g = 589 * \frac{10^{-6}}{180} * W \text{ (mm)} \quad (2.5)$$

Τη διαφορά των κροσσών ενός μοντέλου την υπολογίζουμε ως εξής :

$$n_1 - n_2 = 589 * \frac{10^{-6}}{180} * \frac{W}{d} \quad (mm) \quad (2.6)$$

## 2.7. PLEXIGLAS

**Πολύμεθακρυλικό μεθύλιο (PMMA)** είναι ένα διαφανές θερμοπλαστικό υλικό, χρησιμοποιείται συχνά ως ένα ελαφρύ ή αντιθραυστικά εναλλακτική λύση για το γυαλί. Αν και δεν είναι τεχνικά ένα είδος γυαλιού, η ουσία έχει μερικές φορές ιστορικά κληθεί **ακρυλικό γυαλί**. Χημικώς, είναι το συνθετικό πολυμερές του μεθακρυλικού μεθυλίου. Το υλικό αυτό αναπτύχθηκε το 1928 σε διάφορα εργαστήρια από πολλούς χημικούς, όπως τους William Chalmers, Otto Rohm και Walter Bauer και το έφεραν για πρώτη φορά στην αγορά το 1933 από την εταιρία Rohm και Raas, σύμφωνα με το εμπορικό σήμα της Plexiglas. Από τότε έχει πωληθεί με πολλά διαφορετικά ονόματα, συμπεριλαμβανομένων των ACRYLITE, Lucite και Perspex.

Το PMMA προτιμάται λόγω των μέτριων ιδιοτήτων του, τον εύκολο χειρισμό, την επεξεργασία και το χαμηλό κόστος. Το PMMA συμπεριφέρεται με ένα εύθραυστο τρόπο όταν φορτώνεται, ειδικά από μία δύναμη κρούσης.

### ΙΣΤΟΡΙΑ

Το πρώτο ακρυλικό οξύς δημιουργήθηκε το 1843. Από το Μεθακρυλικό, προέρχεται το ακρυλικό οξύ και διατυπώθηκε το 1865. Η αντίδραση μεταξύ του μεθακρυλικού οξέος και της μεθανόλης έχει σαν αποτελέσματα το μεθακρυλικό μεθύλιο. Οι Γερμανοί χημικοί Wilhelm Rudolph Fittig και Paul ανακάλυψαν το 1877 τη διαδικασία πολυμερισμού που μετατρέπει το μεθακρυλικό μεθύλιο σε Πολύμεθακρυλικό μεθύλιο. Το 1933 ένας άλλος Γερμανός χημικός, ο **Otto Rohm**, κατοχύρωσε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας το Plexiglas με εμπορικό σήμα. Το 1936 η πρώτη εμπορικά βιώσιμη παραγωγή ακρυλικού γυαλιού ασφαλείας ξεκίνησε από την ICI Acrylics (τώρα Lucite International Εικ. 2.2.). Κατά την διάρκεια του Β Παγκοσμίου Πολέμου το ακρυλικό γυαλί χρησιμοποιείται για υποβρύχια, παρμπρίζ, στέγαστρα και σε αεροπλάνα, χαρακτηριστική είναι η Εικ. 2.1.



**Εικόνα 2.1.** :Το διαμέρισμα της μύτης του βομβαρδιστικού είναι κατασκευασμένο από Plexiglas (1943).



**Εικόνα 2.2.** : Αγαπημένη καρφίτσα Lucite.



## ΟΝΟΜΑΤΑ

Το PMMA έχει πωληθεί κάτω από μια ποικιλία από μάρκες και κοινές ονομασίες. Αν και ακρυλικό μπορεί επίσης να αναφέρεται σε άλλα πολυμερή ή συμπολυμερή που περιέχουν πολυακρυλονιτρίλιο. Άλλες αξιοσημείωτες εμπορικές ονομασίες είναι:

- ACRYLITE
- Lucite
- Plexiglas
- Optix (Plaskolite)
- Perspex
- Oroglas
- Altuglas

## ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Η θερμοκρασία μετάπτωσης υάλου (Tg) του PMMA είναι 105 ° C (221 ° F). Οι τιμές Tg των εμπορικών ποιοτήτων της σειράς PMMA είναι από 85 έως 165 ° C (185 έως 329 ° F). Η επεξεργασία μπορεί να γίνει με χύτευση συμπεριλαμβανομένης της χύτευσης με έγχυση , χύτευση με συμπίεση , και εξώθηση . Τα υψηλότερα ποιότητα φύλλα PMMA παράγονται από χύτευση κυττάρου , αλλά σε αυτή την περίπτωση, οι βαθμίδες πολυμερισμού και χυτεύσεως συμβαίνουν ταυτόχρονα. Η αντοχή του υλικού είναι υψηλότερη από τους βαθμούς χυτεύσεως λόγω της εξαιρετικά υψηλής μοριακής μάζας .

Επίσης χρησιμοποιείτε καουτσούκ σκλήρυνσης για να αυξήσει την αντοχή του, επειδή το PMMA έχει φαθυρή συμπεριφορά όταν εφαρμόζονται φορτία.

## ΑΚΡΥΛΙΚΗ ΡΗΤΙΝΗ ΧΥΤΕΥΣΗΣ

Το μεθακρυλικό μεθύλιο " ή συνθετική ρητίνη " για χύτευση μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με έναν καταλύτη πολυμερισμού όπως το MEKP , έτσι παράγονται διαφανές PMMA υλικά σε οποιοδήποτε σχήμα, από ένα καλούπι.

Το PMMA είναι ένα ισχυρό και ελαφρύ υλικό. Έχει πυκνότητα από 1.17 έως 1.20 gr / cm<sup>3</sup>, η οποία είναι μικρότερη από το ήμισυ του γυαλιού. Επίσης, έχει καλή αντοχή σε κρούση, ,ωστόσο η αντοχή του PMMA εξακολουθεί να είναι σημαντικά χαμηλότερη από ένα πολυανθρακικό υλικό .Το PMMA αναφλέγεται στους 460 ° C (860 ° F) σχηματίζοντας διοξείδιο του άνθρακα , νερό , μονοξείδιο του άνθρακα.

Το PMMA μεταδίδει έως 92% του ορατού φωτός (3 mm πάχος), και δίνει μια αντανάκλαση περίπου 4% σε κάθε μια επιφάνεια του, βάση του δείκτη διάθλασης . Φιλτράρει το υπεριώδης (UV) φως σε μήκη κύματος κάτω από 300 nm (παρόμοια με συνηθισμένο γυαλί). Στο PMMA περνά υπέρυθρο φως μέχρι 2800 nm .

Το PMMA έχει μία μέγιστη αναλογία νερού απορρόφησης 0,3 - 0,4 % κατά βάρος. Η αντοχή σε εφελκυσμό μειώνεται με αυξημένη απορρόφηση ύδατος. Ο συντελεστής θερμικής διαστολής είναι σχετικά υψηλός σε  $(5^{-10}) \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$  .

## ΥΠΟΚΑΤΑΣΤΑΤΟ ΤΟΥ ΓΥΑΛΙΟΥ

Το PMMA ακρυλική ύαλος χρησιμοποιείται συνήθως για την κατασκευή κατοικιών και εμπορικών ενυδρείων . Το PMMA χρησιμοποιείται στους φακούς ,στα εξωτερικά φώτα των αυτοκινήτων. Η προστασία των θεατών στο χόκεϊ επί πάγου -παγοδρόμια γίνεται από PMMA.

Ιστορικά το PMMA ήταν μια σημαντική βελτίωση στο σχεδιασμό των παραθύρων των αεροσκαφών, ώστε να καταστεί δυνατή, όπως το διαφανές διαμέρισμα του Bombardier στην Boeing B-17 .

Οχήματα Αστυνομίας για τον έλεγχο , έχουν αντικαταστήσει το γυαλί με ακρυλικό PMMA για την προστασία των επιβατών από εκτοξευόμενα αντικείμενα. Το PMMA (με την επωνυμία "Lucite") χρησιμοποιήθηκε για την οροφή του Χιούστον Astrodome, χαρακτηριστική είναι η Εικ. 2.3.



**Εικόνα 2.3:** οροφή του Χιούστον Astrodome.



**Εικόνα 2.4 :** Βαθυσκάφος Trieste.

Το Βαθυσκάφος Trieste έχει κωνικό μονό παράθυρο κατασκευασμένο από PMMA (Plexiglas). Ο πολύ μικρός μαύρος κύκλος είναι η εσωτερική πλευρά του πλαστικού "παράθυρου", και είναι μόνο μερικά εκατοστά σε διάμετρο. Η μεγαλύτερη κυκλική διαυγής μαύρη περιοχή αντιπροσωπεύει την μεγαλύτερη εξωτερική πλευρά του κώνου το οποίο είναι ένα παχύ πλαστικό "παράθυρο", χαρακτηριστική είναι η Εικ. 2.4.

## ΙΑΤΡΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΙ ΕΜΦΥΤΕΥΜΑΤΑ

- Το PMMA έχει ένα καλό βαθμό συμβατότητας με το ανθρώπινο ιστό και χρησιμοποιείται στην παρασκευή άκαμπτων ενδοφθάλμιων φακών στο μάτι, κυρίως για την θεραπεία καταρρακτών. Αυτή η συμβατότητα ανακαλύφθηκε το Β' Παγκόσμιο Πόλεμο.
- Σκληροί φακοί επαφής ήταν συχνά κατασκευασμένοι από αυτό το υλικό. Οι μαλακοί φακοί επαφής κατασκευάζονται συχνά από ένα σχετικό πολυμερές.
- Στην ορθοπεδική χειρουργική το PMMA οστών τσιμέντο χρησιμοποιείται για επέμβαση και τα εμφυτεύματα τοποθετούνται και αναδιαμορφώνουν τα κατεστραμμένα οστά. Παρέχεται ως μία σκόνη με υγρό μεθακρυλικό μεθυλεστέρα (MMA).

Οι χειρουργοί μπορούν να κρίνουν την θεραπεία του οστικού τσιμέντου PMMA πιέζοντας τον αντίχειρά τους σε αυτό. Μολονότι το PMMA είναι βιολογικά συμβατό, το MMA θεωρείται να είναι ένα ερεθιστικό και πιθανό καρκινογόνο. Το PMMA έχει συνδεθεί επίσης με καρδιοπνευμονικά γεγονότα στο χειρουργείο λόγω υπόστασης.

Ένα μειονέκτημα αυτού του οστικού τσιμέντου είναι ότι θερμαίνεται μέχρι  $82.5^{\circ}\text{C}$  ( $160.5^{\circ}\text{F}$ ) ενώ η ρύθμιση που δέχεται μπορεί να προκαλέσει θερμική νέκρωση του γειτονικού ιστού. Επειδή το PMMA έχει ένα Μέτρο Young μεταξύ 18 και 31 GPa, η οποία είναι μεγαλύτερη από εκείνη του φυσικού οστού (περίπου 14 GPa για ανθρώπινη φλοιώδες οστό), οι τάσεις φορτώνονται μέσα στο τσιμέντο και έτσι το οστό δεν λαμβάνει πλέον μηχανικά σήματα να συνεχίσουν ανάπτυξη του οστού.

- Οδοντοστοιχίες κατασκευάζονται συχνά από PMMA, και μπορεί να χρωματίζονται και να ταιριάζουν με τα δόντια του ασθενούς και του ιστού των ούλων
- Στην αισθητική χειρουργική, μικροσκοπικά PMMA μικροσφαιρίδια αναστέλλονται σε κάποιο βιολογικό υγρό που τοποθετείται κάτω από το δέρμα για να μειώσει τις ρυτίδες και ουλές μόνιμα.

### ΚΑΛΛΙΤΕΧΝΙΚΕΣ ΚΑΙ ΑΙΣΘΗΤΙΚΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ

- Μοντέρνα έπιπλα, ειδικά στη δεκαετία του 1960 και του 1970, σκοπός τους ήταν να δώσουν στα προϊόντα τους μια αισθητική διαστημικής εποχής. Η Lucite ενσωμάτωσε και άλλα προϊόντα από PMMA σε σχέδια τους. Πολλά άλλα προϊόντα (για παράδειγμα, κιθάρες), μερικές φορές κατασκευάστηκαν με ακρυλικό γυαλί για να κάνουν τα συχνά αδιαφανή αντικείμενα ημιδιαφανές.
- Η Diasac είναι μια διαδικασία η οποία χρησιμοποιεί ακρυλικό γυαλί ως υποκατάστατο του κανονικού γυαλιού. Αυτό γίνεται για σχετικά χαμηλό κόστος, μικρό βάρος, αντοχή θραύσης και αισθητική.
- Από περίπου το 1960 και μετά, γλύπτες και καλλιτέχνες γυαλιού, όπως ο Leroy Lamis άρχισε να χρησιμοποιεί ακρυλικά, λαμβάνοντας πλεονεκτήματα της ευελιξίας του υλικού, το ελαφρύ βάρος, το κόστος και την ικανότητά της να διαθλούν το φως και το φιλτράρισμα.
- Στη δεκαετία του 1950 και του 1960, το Lucite ήταν ένα εξαιρετικά δημοφιλές υλικό για κοσμήματα, με αρκετές εταιρείες που ειδικεύονται στην δημιουργία υψηλής ποιότητας κομμάτια από το υλικό αυτό. Οι Lucite χάντρες και στολίδια εξακολουθούν να πωλούνται από τους προμηθευτές.
- Τα ακρυλικά φύλλα παράγονται σε δεκάδες βασικά χρώματα, συνήθως πωλούνται με τη χρήση χρωμάτων όπου αναπτύχθηκε από την Rohm & Haas το 1950.



**Εικόνα 2.5:** Γλυπτική αυτοκίνητου Perspex.

## ΆΛΛΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ

- Ακρυλικό χρησιμοποιείται σε κρεβάτια μαυρίσματος, όπως η διαφανές επιφάνεια που χωρίζει τον επιβάτη από τις λάμπες μαυρίσματος. Αυτή η ένωση επιτρέπει την διέλευση των υπεριωδών ακτινών.
- Τα φύλλα PMMA χρησιμοποιούνται συνήθως στην βιομηχανία , κυμαίνονται από πάχη 3 έως 25 χιλιοστά (0.1 έως 1.0 in).
- Τα PMMA χρησιμοποιούνται σε laser disc οπτικά μέσα ( CDs και DVDs) .
- Χρησιμοποιείται ως ένας οδηγός φωτός για τις back lights σε TFT-LCD .
- Πλαστική Οπτική Ίνα χρησιμοποιείται για την επικοινωνία ,για μικρή απόσταση η οπτική πλαστική ίνα κατασκευάζεται από PMMA και υπερφθοριωμένα PMMA, επιστρωμένα με φθοριούχο PMMA.
- Το PMMA επίσης χρησιμοποιείται εκτενώς ως ένας υβριδικός πύραυλος καυσίμων.
- Στη δεκαετία του 1960, αναπτύχθηκε μια σειρά από ηλεκτρικές κιθάρες και τα μπάσα των οποίων τα σώματα έγιναν εντελώς από ακρυλικό. Τα μέσα αυτά διατίθενται στο εμπόριο με την Ampreg μάρκα. Η Ibanez και η BC Rich έχουν επίσης ακρυλικές κιθάρες.
- Ludwig-Musser κάνει μια σειρά από ακρυλικά τύμπανα που ονομάζεται Vistalites, και χρησιμοποιούνται από τους Led Zeppelin, με ντράμερ τον John Bonham .
- Τα τεχνητά νύχια ενίοτε κατασκευάζονται από ακρυλικό.

## 2.8. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

Στο χώρο του μηχανολογικού εργαστηρίου του Τμήματος Μηχανολογίας πραγματοποιήθηκε ένα μεγάλο μέρος κατασκευής των δοκιμίων από ακρυλικά φύλλα μικρών διαστάσεων Plexiglas (PMMA) για την διεξαγωγή των πειραμάτων.

Τα πειραματικά δοκίμια κόπηκαν αρχικά σε μορφή ορθογωνίου παραλληλεπίπεδου για να βολεύουν στη στήριξη κατά το πείραμα.

Στην συνέχεια πιάνοντας τα στην δέστρα δημιουργήσαμε οπές με το δράπανο, αρχικά με μικρής διαμέτρου τρυπάνι και σιγά-σιγά αυξάναμε τη διάμετρο, χαρακτηριστική είναι η Εικ.2.6 και Εικ 2.7. Για να μην υπάρξουν ρωγμές πιέσαμε πολύ μαλακά προς τα κάτω το τρυπάνι.



**Εικόνα 2.6. :** Διάνοξη οπών αρχικά με μικρής διαμέτρου τρυπάνι.



**Εικόνα 2.7. :** Διάνοξη οπών με μεγαλύτερης διαμέτρου τρυπάνι.

Στην συνέχεια τα τοποθετήσαμε τα δοκίμια στην πειραματική συσκευή πολωσιοσκοπίου όπου βρίσκεται στο εργαστήριο Αντοχής των Υλικών.

## 2.9. ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Για το πείραμα χρησιμοποιήθηκαν τρία δοκίμια υλικού PLM-4B τα οποία έχουν ελαστική συμπεριφορά και σε μεγάλο βαθμό οπτική ευκρίνεια και πέντε δοκίμια των ακρυλικών PMMA (το λεγόμενο Plexiglas) τα οποία χρησιμοποιήθηκαν λόγω της ευκολίας εύρεσης καθώς και της χρησιμοποίησής τους στο εμπόριο.

### ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΛΙΚΩΝ

Στον πίνακα 2.1. δίνονται οι μηχανικές ιδιότητες του PLM-4B και του Plexiglas (PMMA).

| PLM-4B                                    | Plexiglas (PMMA)                       |
|---|--|
| Μέτρο Ελαστικότητας $E= 0.13 \text{ GPa}$ | Μέτρο Ελαστικότητας $E= 3 \text{ GPa}$ |
| Λόγος Poisson $\nu=0,45$                  | Λόγος Poisson $\nu=0,35$               |
| Πυκνότητα $\rho=2680 \text{ kg/m}^3$      | Πυκνότητα $\rho=1200 \text{ kg/m}^3$   |

**Πίνακας 2.1.** :Σύγκριση ιδιοτήτων υλικών.

Παρόλα αυτά υπάρχουν απώλειες στην απεικόνιση των φωτογραφιών λόγω σφαλμάτων που παρατηρήθηκαν στην πειραματική συσκευή (πολωσιοσκόπιο) παρόλη την προσπάθεια που έγινε για τη συντήρησή της. Επίσης λόγω της χρόνιας φθοράς των υπαρχόντων δοκιμίων καθώς και ορισμένα φθαρμένα σημεία στις επιφάνειες στήριξης των δοκιμίων είχαν ως αποτέλεσμα παρατήρηση απωλειών. Απώλειες παρατηρήθηκαν επίσης και στην ψηφιακή μηχανή.

Οι φωτογραφίες-μετρήσεις έγιναν ως εξής:

1<sup>η</sup> φωτογραφία: Αφόρτιστο σώμα

2<sup>η</sup> φωτογραφία: Φορτισμένο σώμα γραμμική πόλωση  $0^\circ$

3<sup>η</sup> φωτογραφία: Φορτισμένο σώμα γραμμική πόλωση  $90^\circ$

3<sup>η</sup> φωτογραφία: Φορτισμένο σώμα κυκλική πόλωση  $0^\circ$

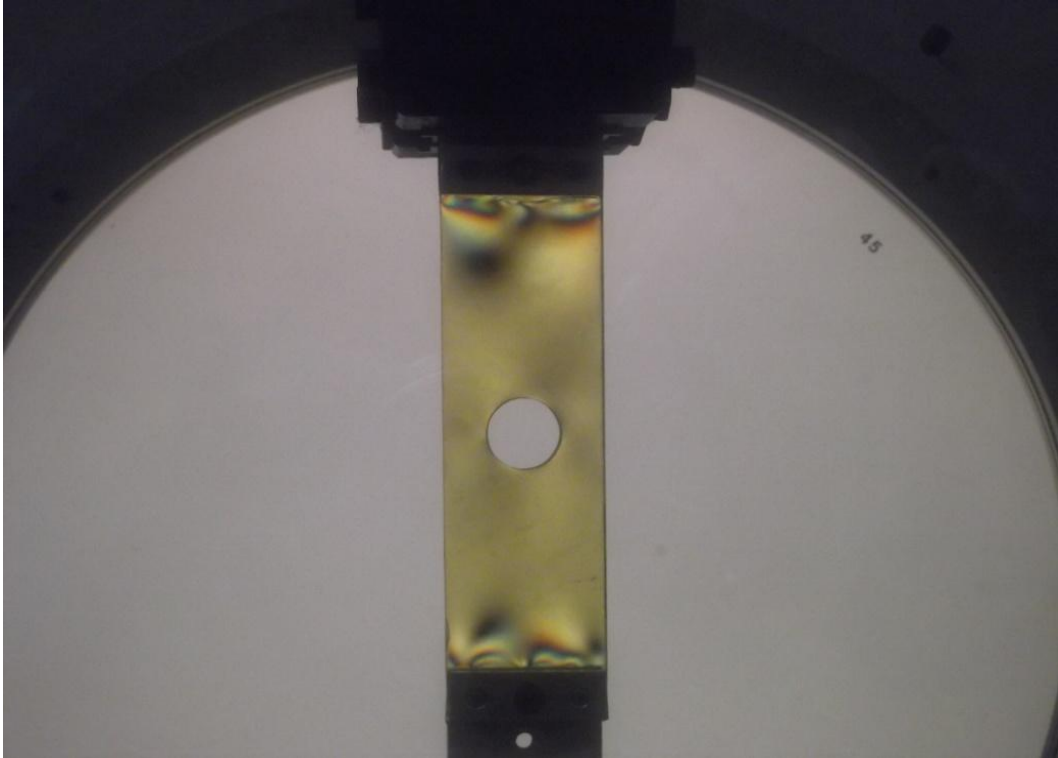
5<sup>η</sup> φωτογραφία: Φορτισμένο σώμα κυκλική πόλωση  $90^\circ$

6<sup>η</sup> φωτογραφία: Υπερφορτισμένο σώμα κυκλική πόλωση  $90^\circ$

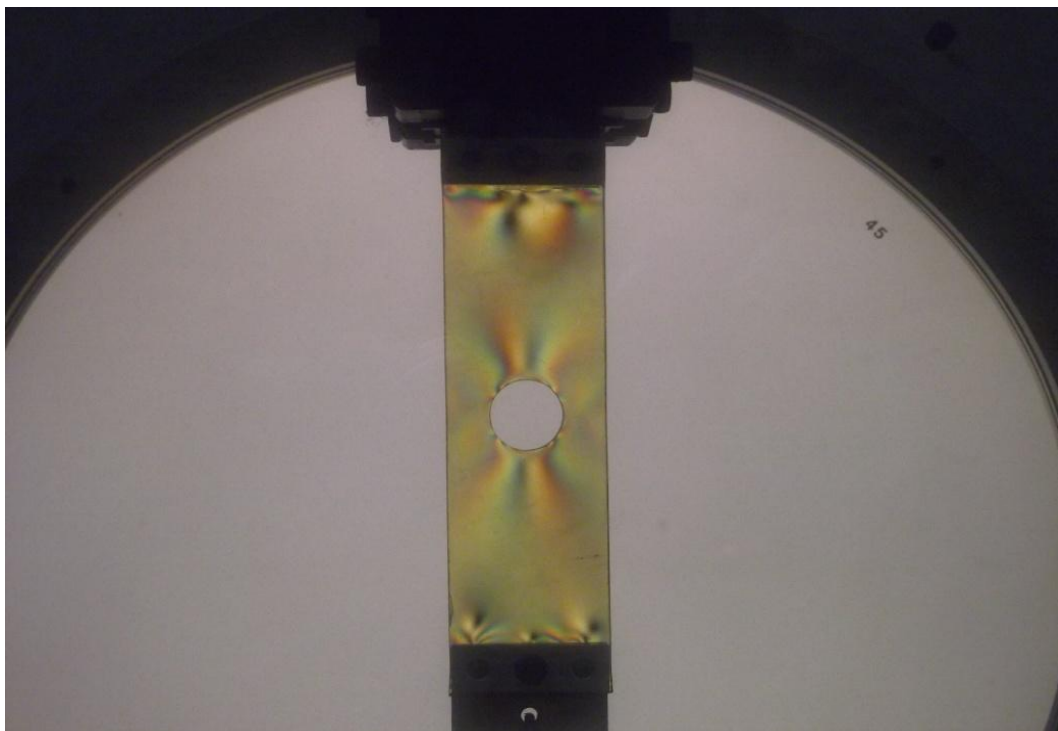
Τα δοκίμια PLM-4B τα φορτίζαμε με 400 gr βάρος και με σταθερό φορτίο παίρναμε τις απαιτούμενες μετρήσεις περιστρέφοντας όποτε χρειαζόνταν τον αναλυτή. Στις περιπτώσεις που υπερφορτίζονται ασκούμε βάρος ίσο με 1200 gr. Στα δοκίμια PMMA απλά ασκούμε εφελκυστικές δυνάμεις μέχρι να παρατηρήσουμε αλλαγή στην οπτική συμπεριφορά των δοκιμίων. Στις περιπτώσεις του υπερφορτισμένου σώματος ασκούμε εφελκυστική δύναμη λίγο πριν την εμφάνιση ρωγμής και παράλληλα αστοχία του υλικού.

### 2.9.1. ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΠΙΠΕΔΗΣ ΟΡΘΟΓΩΝΙΑΣ ΠΛΑΚΑΣ ΜΕ ΟΠΗ.

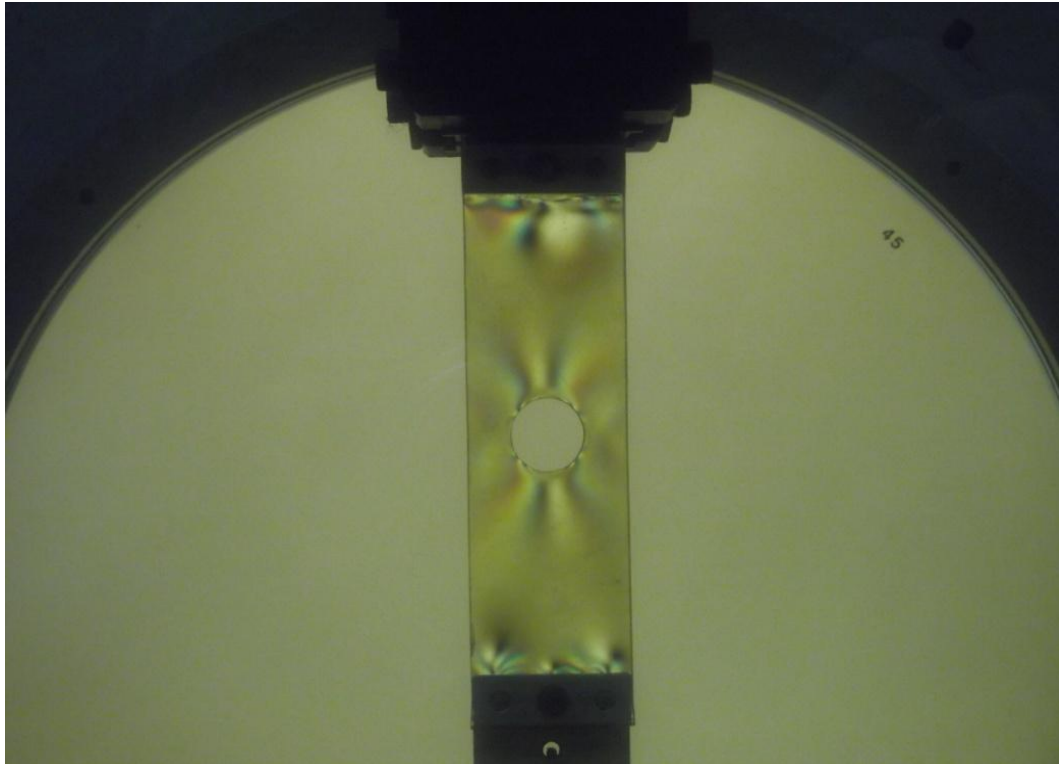
Στις εικόνες 2.8 έως 2.13 παρουσιάζονται οι φωτογραφίες που λήφθηκαν κατά τη διάρκεια του φωτοελαστικού πειράματος με τη σειρά που αναφέρεται στην Παράγραφο 2.9.



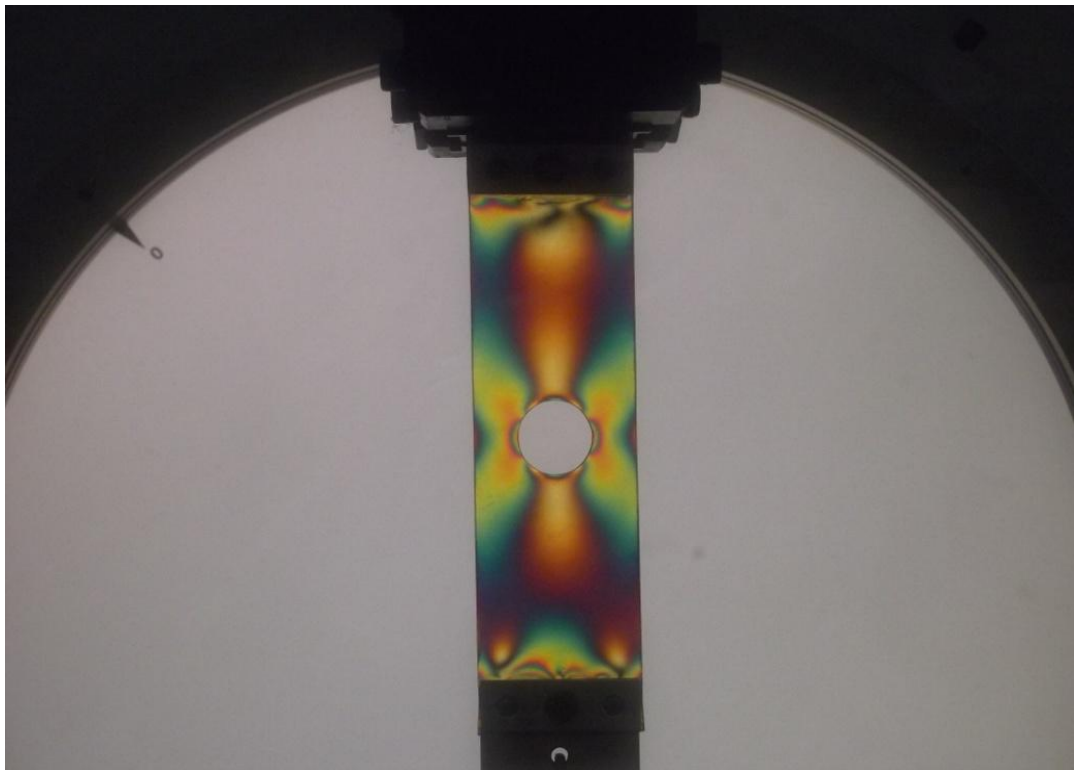
**Εικόνα 2.8.** : Αφόρτιστο σώμα.



**Εικόνα 2.9.:** Φορτισμένο σώμα γραμμική πόλωση  $0^\circ$ .

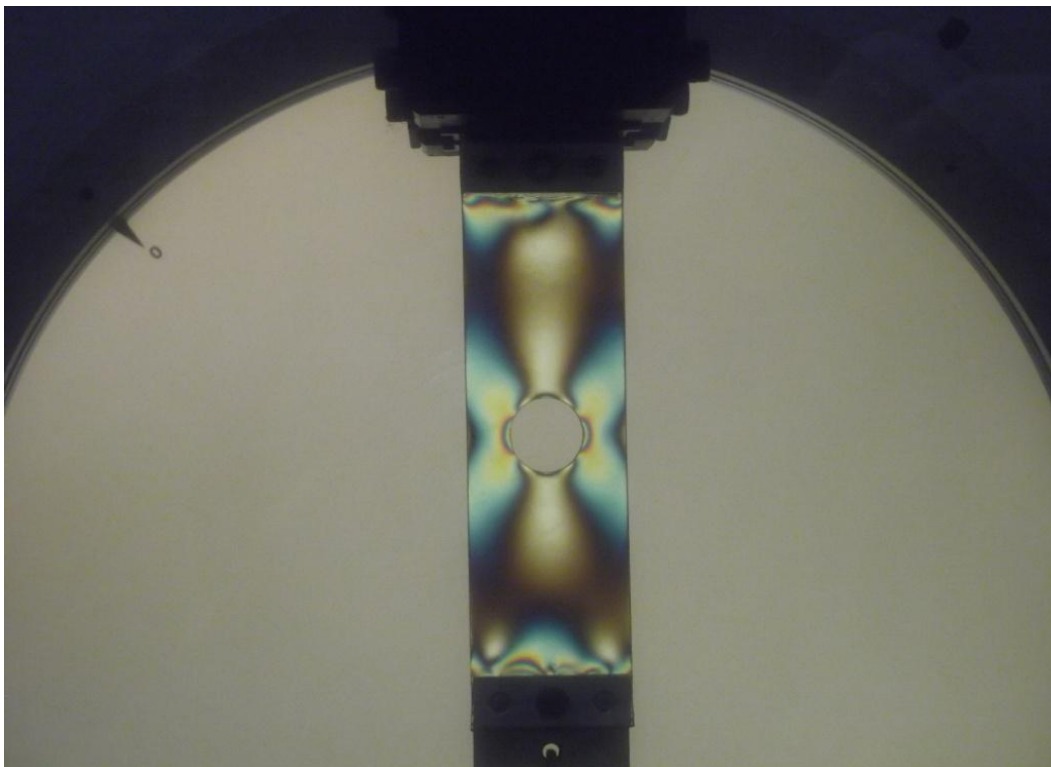


**Εικόνα 2.10.** : Φορτισμένο σώμα γραμμική πόλωση  $90^\circ$ .

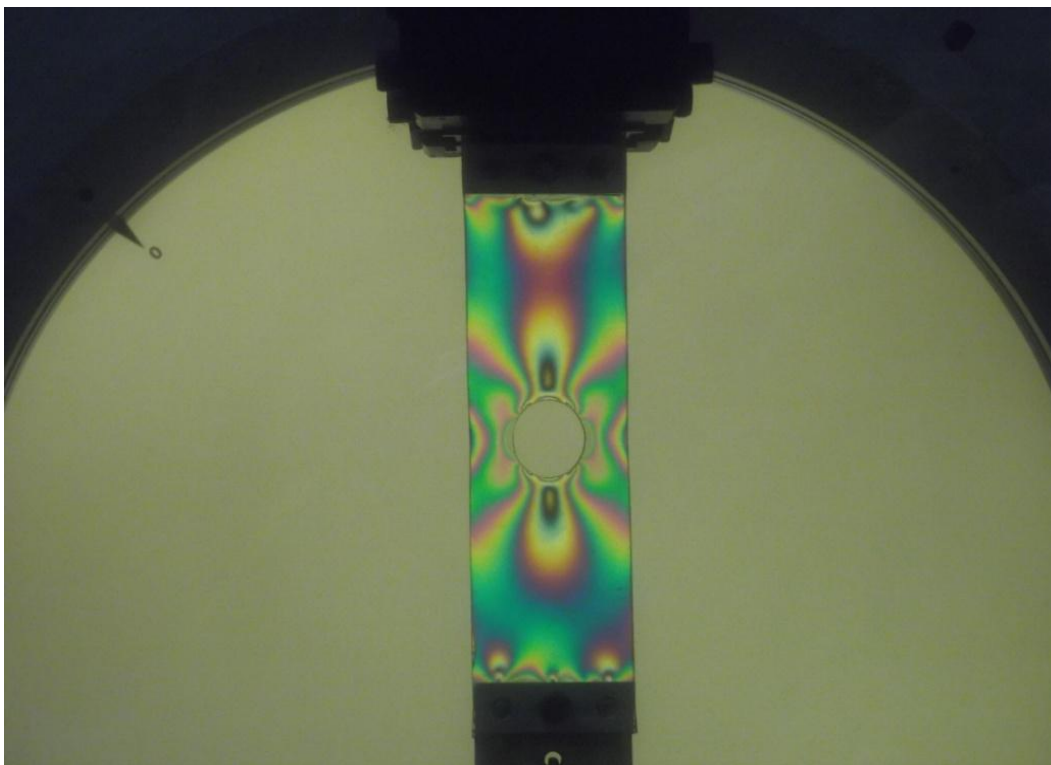


**Εικόνα 2.11.** : Φορτισμένο σώμα κυκλική πόλωση  $0^\circ$ .





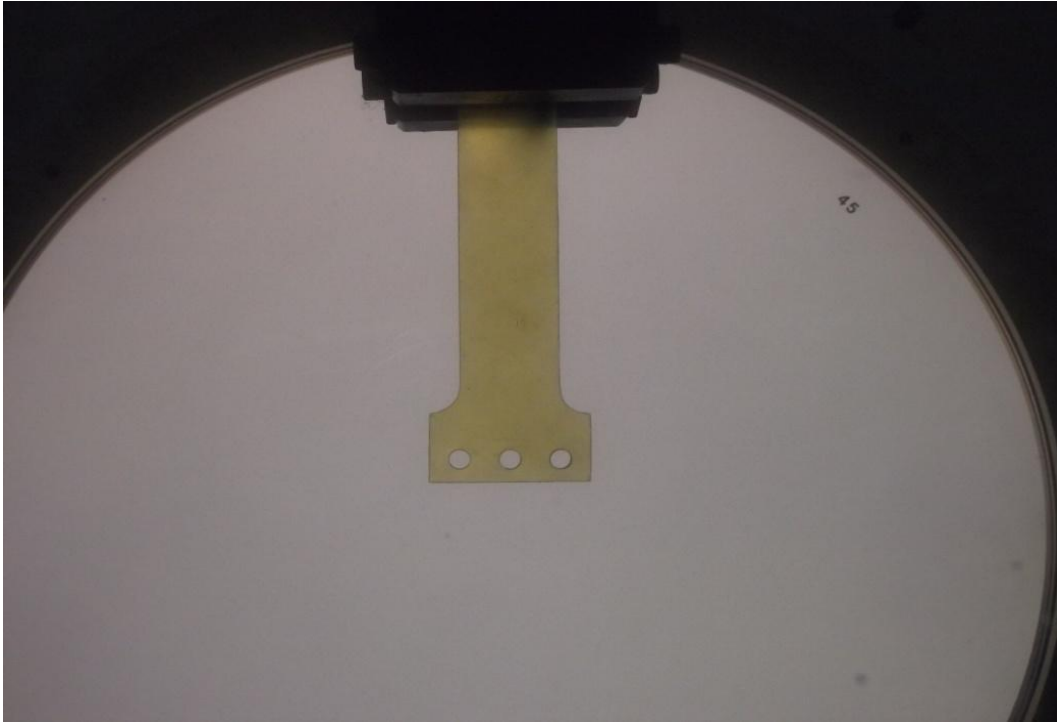
**Εικόνα 2.12.** : Φορισμένο σώμα κυκλική πόλωση  $90^\circ$ .



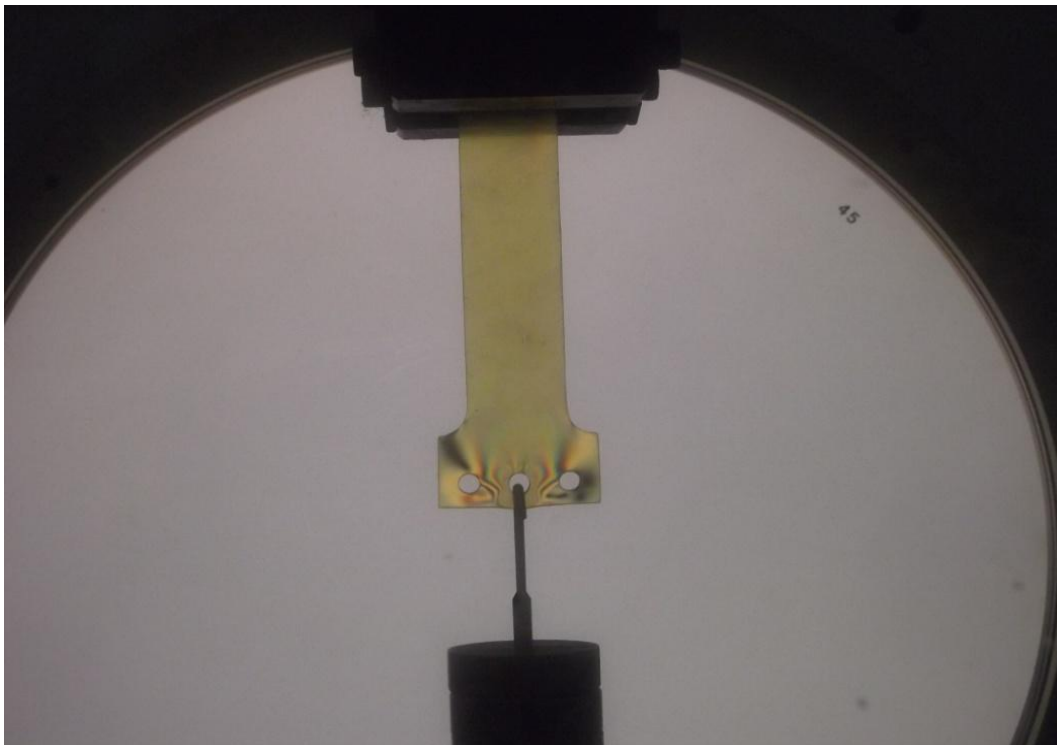
**Εικόνα 2.13.** : Υπερφορισμένο σώμα κυκλική πόλωση  $90^\circ$ .

### 2.9.2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΜΜΕΤΡΙΚΟΥ ΣΩΜΑΤΟΣ.

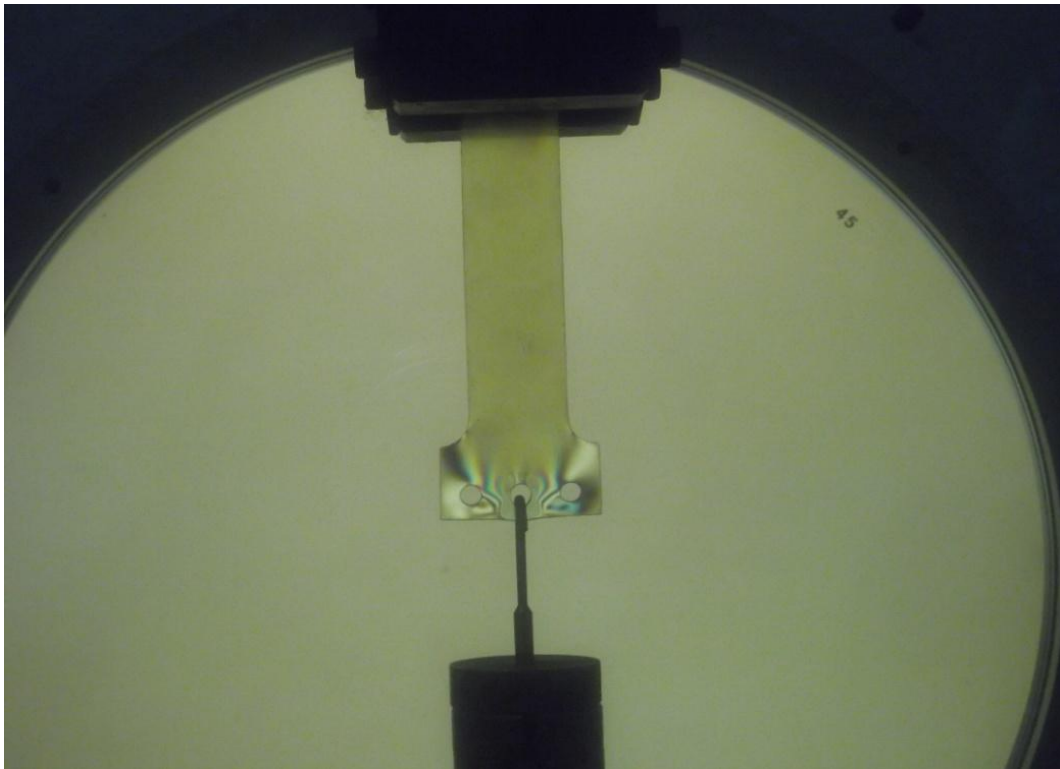
Στις εικόνες 2.14 έως 2.19 παρουσιάζονται οι φωτογραφίες που λήφθηκαν κατά τη διάρκεια του φωτοελαστικού πειράματος με τη σειρά που αναφέρεται στην Παράγραφο 2.9.



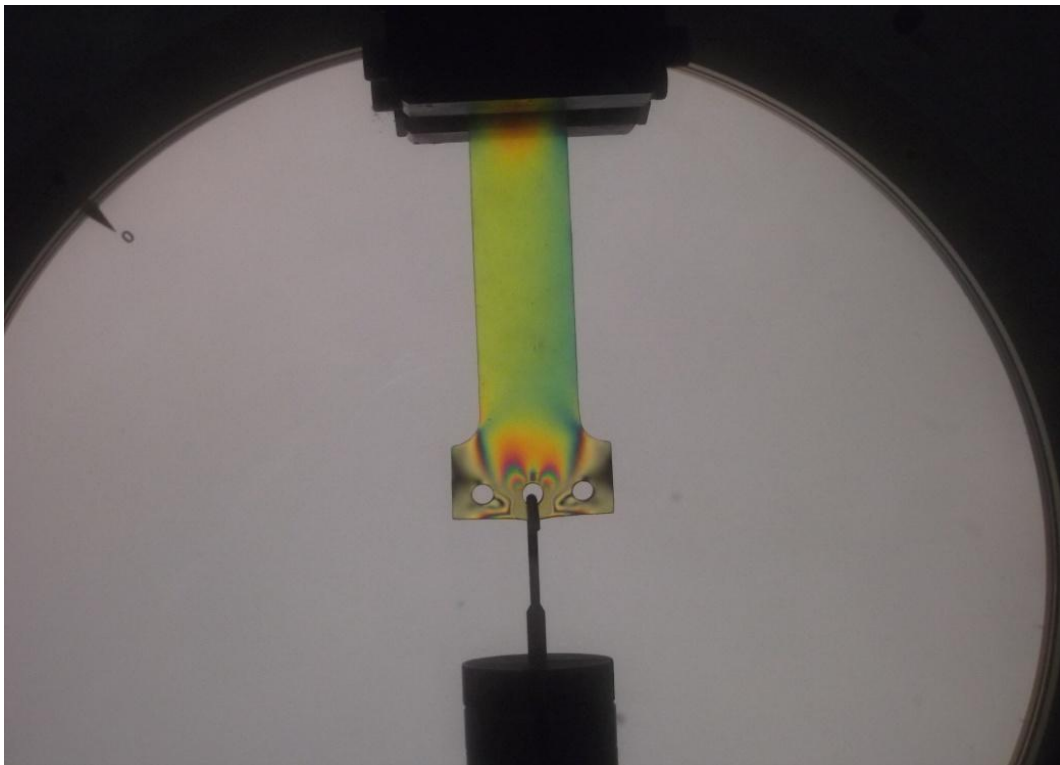
**Εικόνα 2.14.** : Αφόρτιστο σώμα.



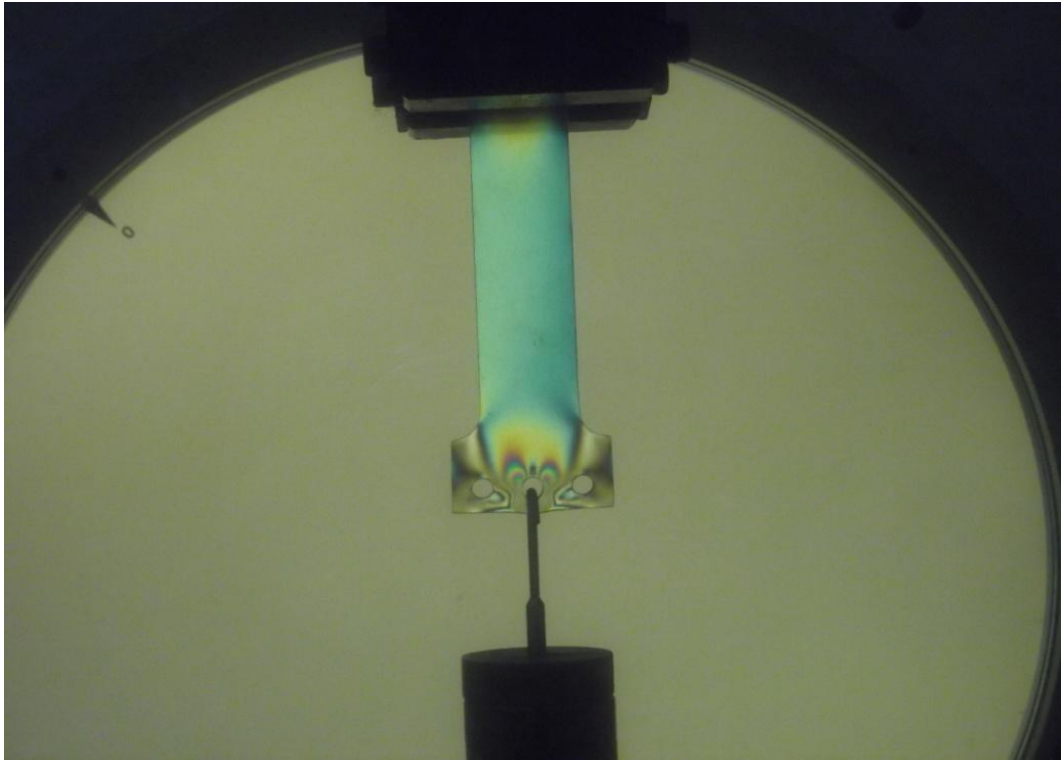
**Εικόνα 2.15.** : Φορτισμένο σώμα γραμμική πόλωση  $0^\circ$ .



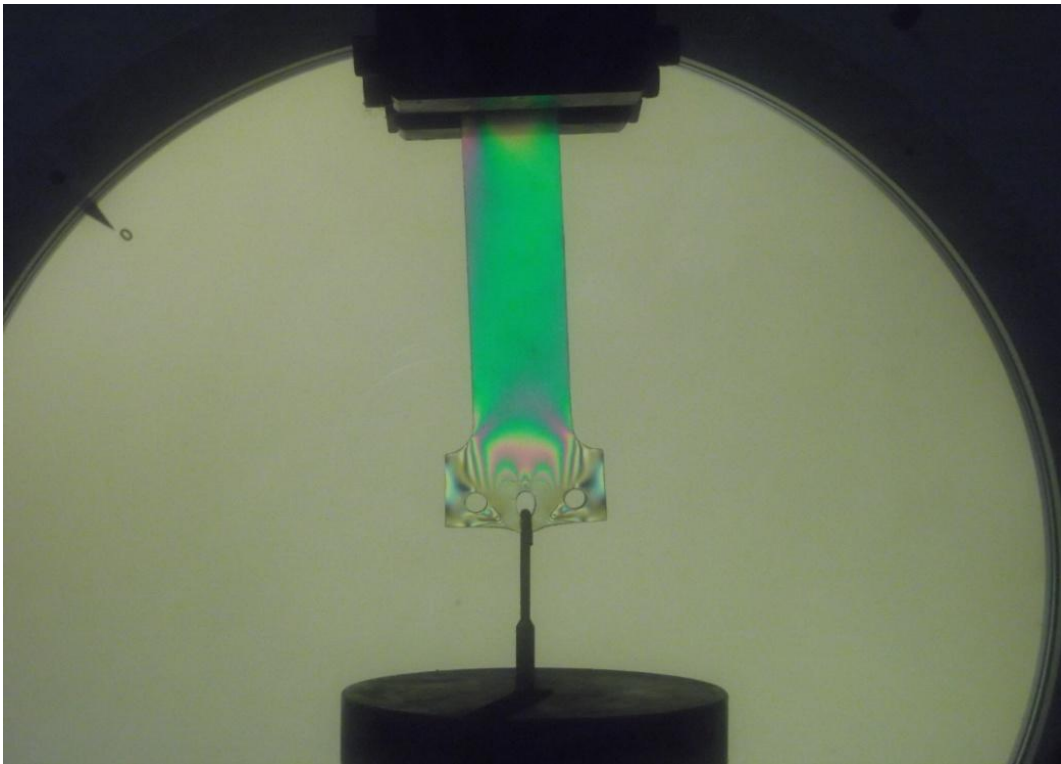
**Εικόνα 2.16.:** Φορτισμένο σώμα γραμμική πόλωση  $90^\circ$ .



**Εικόνα 2.17.:** Φορτισμένο σώμα κυκλική πόλωση  $0^\circ$ .



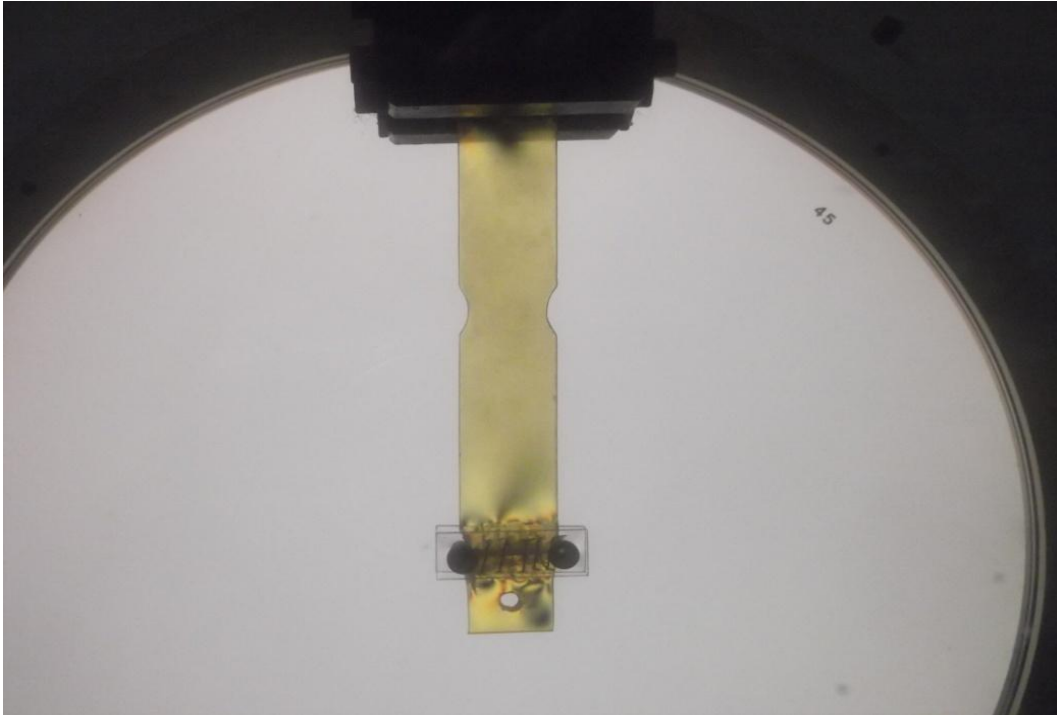
**Εικόνα 2.18.** : Φορτισμένο σώμα κυκλική πόλωση  $90^\circ$ .



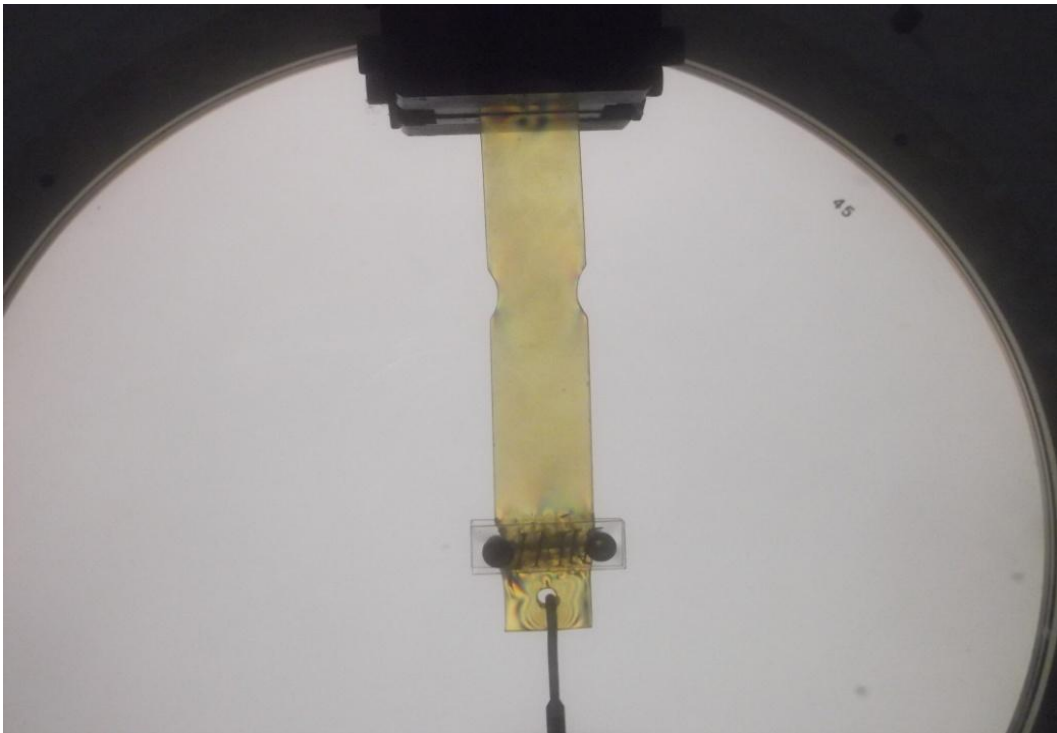
**Εικόνα 2.19.** : Υπερφορτισμένο σώμα κυκλική πόλωση  $90^\circ$ .

### 2.9.3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΜΜΕΤΡΙΚΟΥ ΣΩΜΑΤΟΣ ΜΕ ΤΟΞΑ ΑΠΟ PLM-4B.

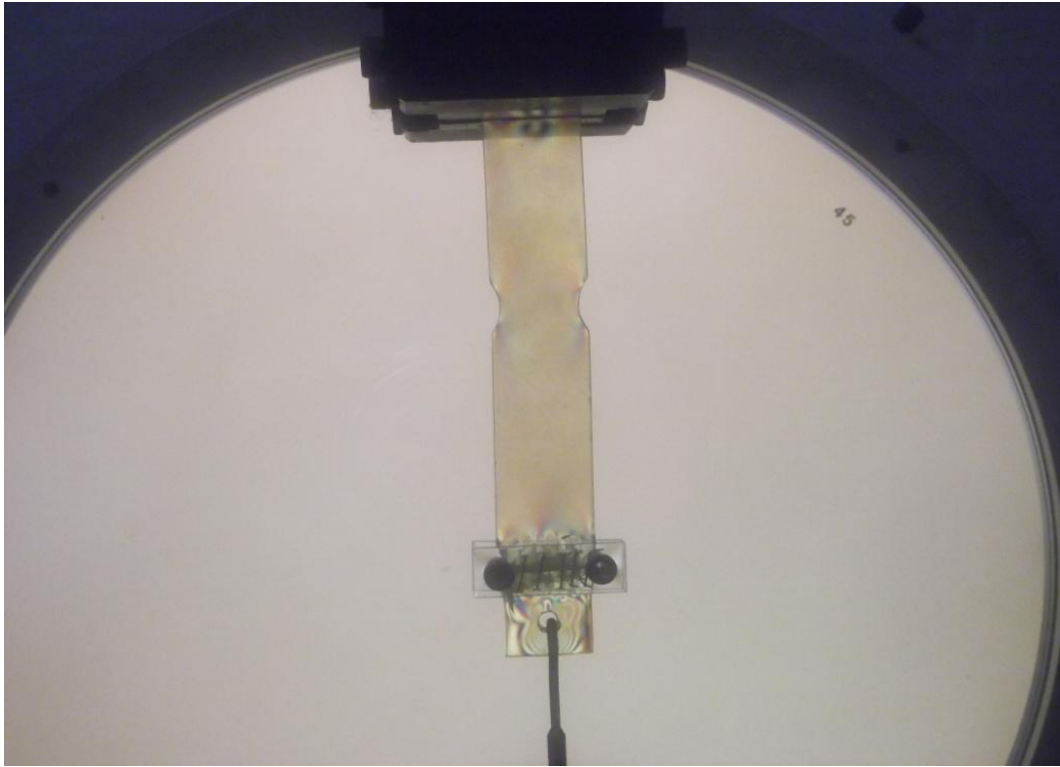
Στις εικόνες 2.20 έως 2.25 παρουσιάζονται οι φωτογραφίες που λήφθηκαν κατά τη διάρκεια του φωτοελαστικού πειράματος με τη σειρά που αναφέρεται στην Παράγραφο 2.9.



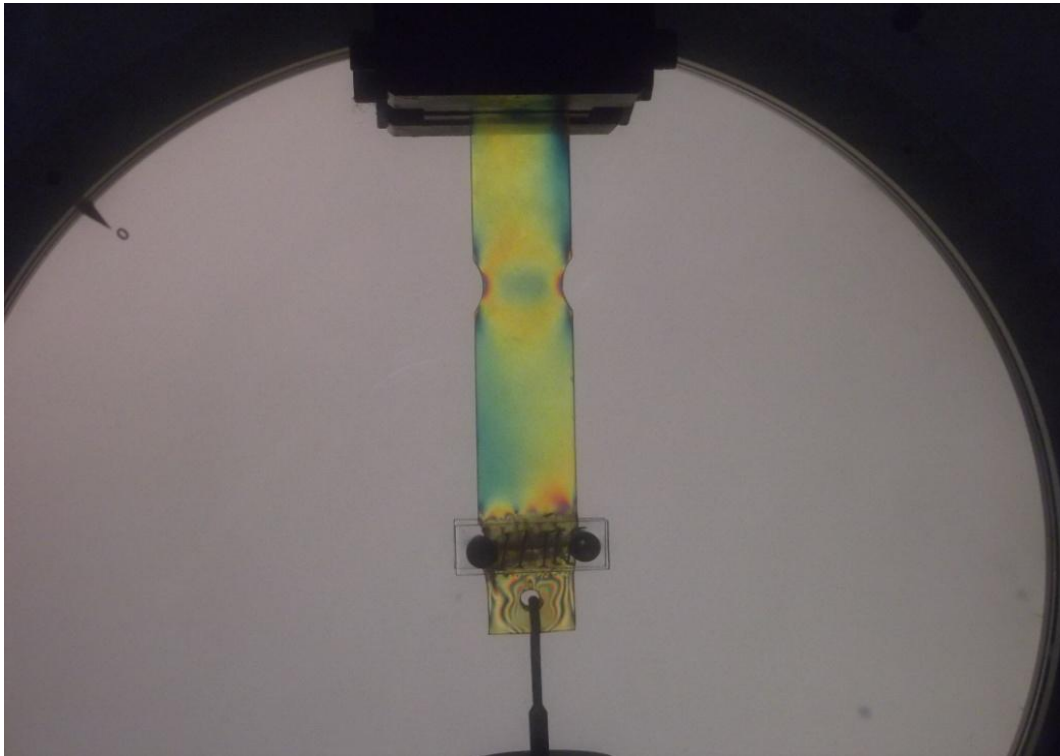
**Εικόνα 2.20.** : Αφόρτιστο σώμα.



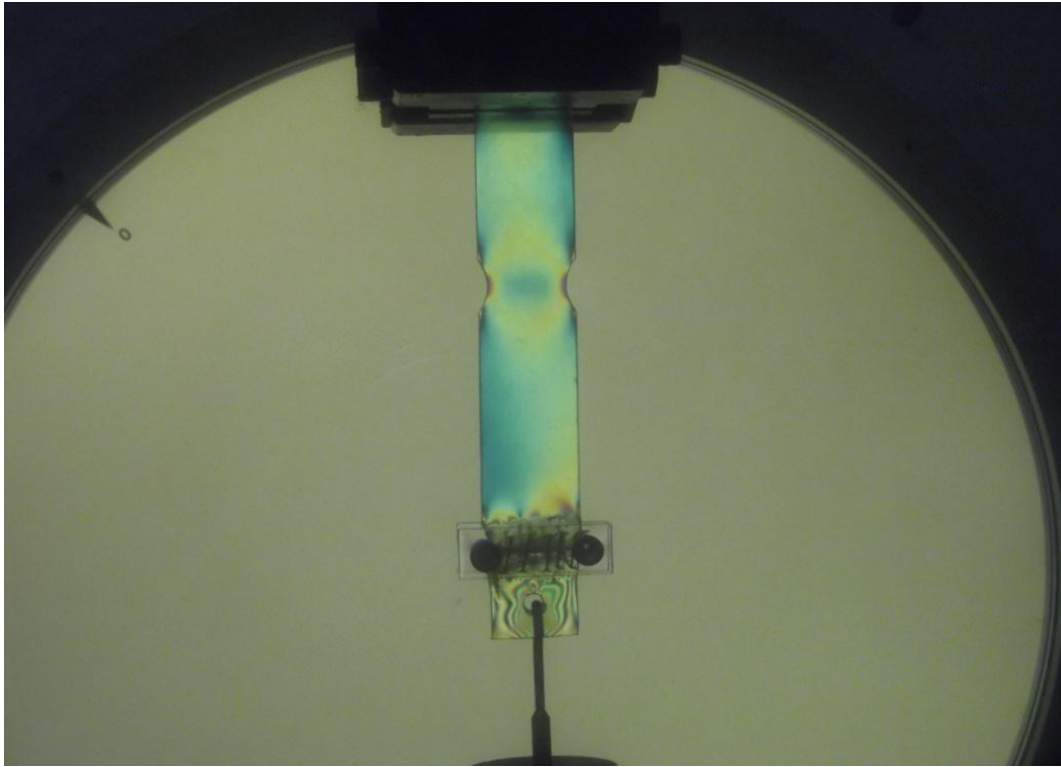
**Εικόνα 2.21.** : Φορτισμένο σώμα γραμμική πόλωση  $0^\circ$ .



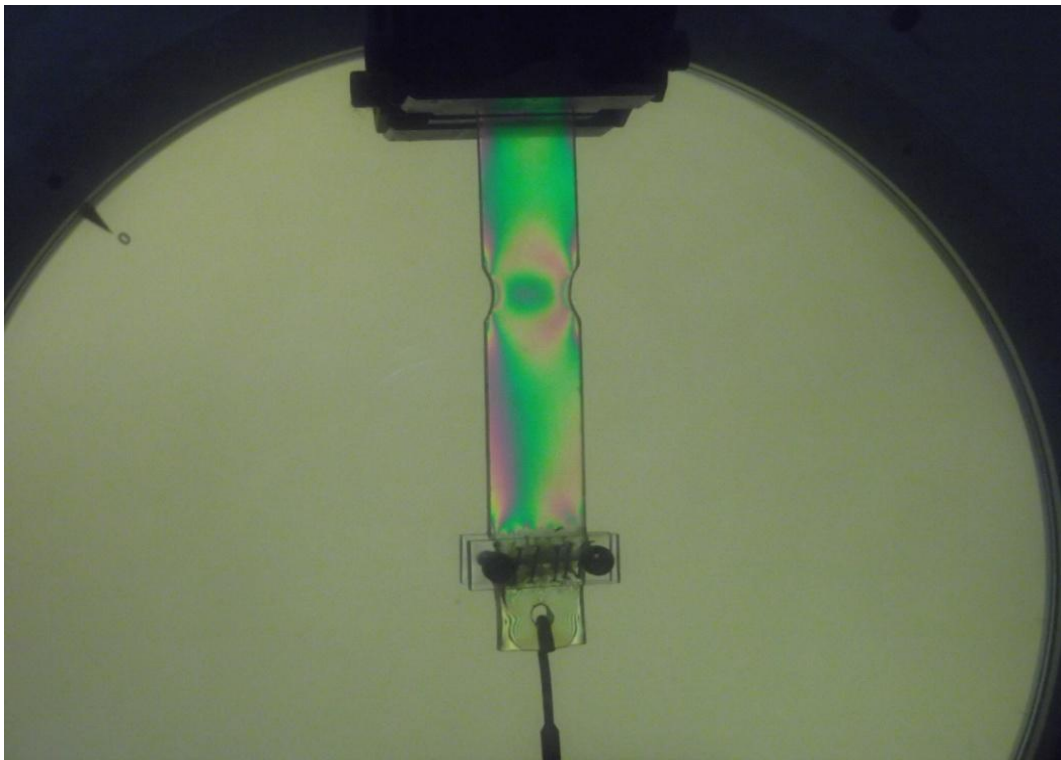
**Εικόνα 2.22.** : Φορτισμένο σώμα γραμμική πόλωση  $90^\circ$ .



**Εικόνα 2.23.** : Φορτισμένο σώμα κυκλική πόλωση  $0^\circ$ .



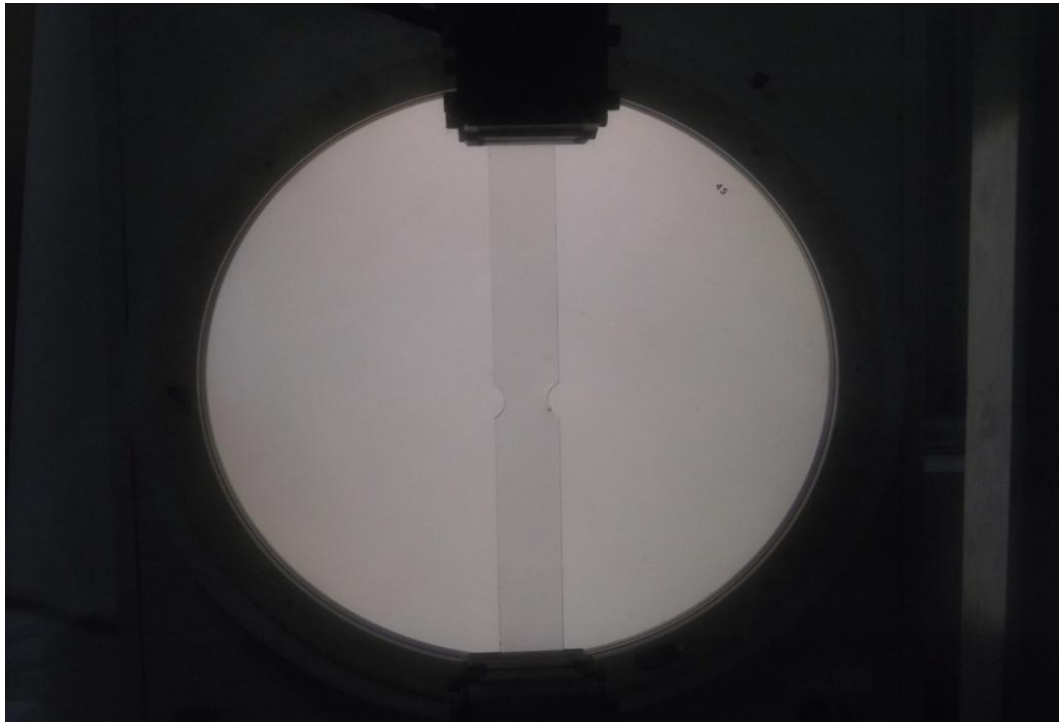
**Εικόνα 2.24. :** Φορτισμένο σώμα κυκλική πόλωση  $90^\circ$ .



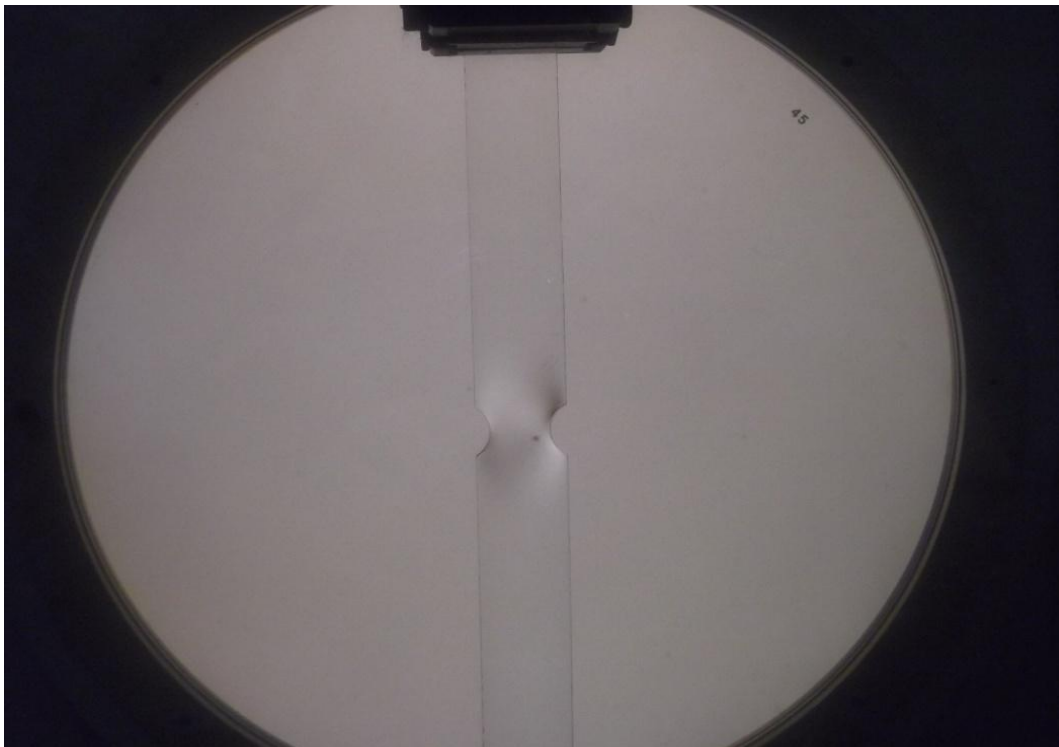
**Εικόνα 2.25. :** Υπερφορτισμένο σώμα κυκλική πόλωση  $90^\circ$ .

#### 2.9.4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΜΕΤΡΙΚΟΥ ΣΩΜΑΤΟΣ ΜΕ ΤΟΞΑ ΑΠΟ PLEXIGLAS.

Στις εικόνες 2.26 έως 2.31 παρουσιάζονται οι φωτογραφίες που λήφθηκαν κατά τη διάρκεια του φωτοελαστικού πειράματος με τη σειρά που αναφέρεται στην Παράγραφο 2.9.

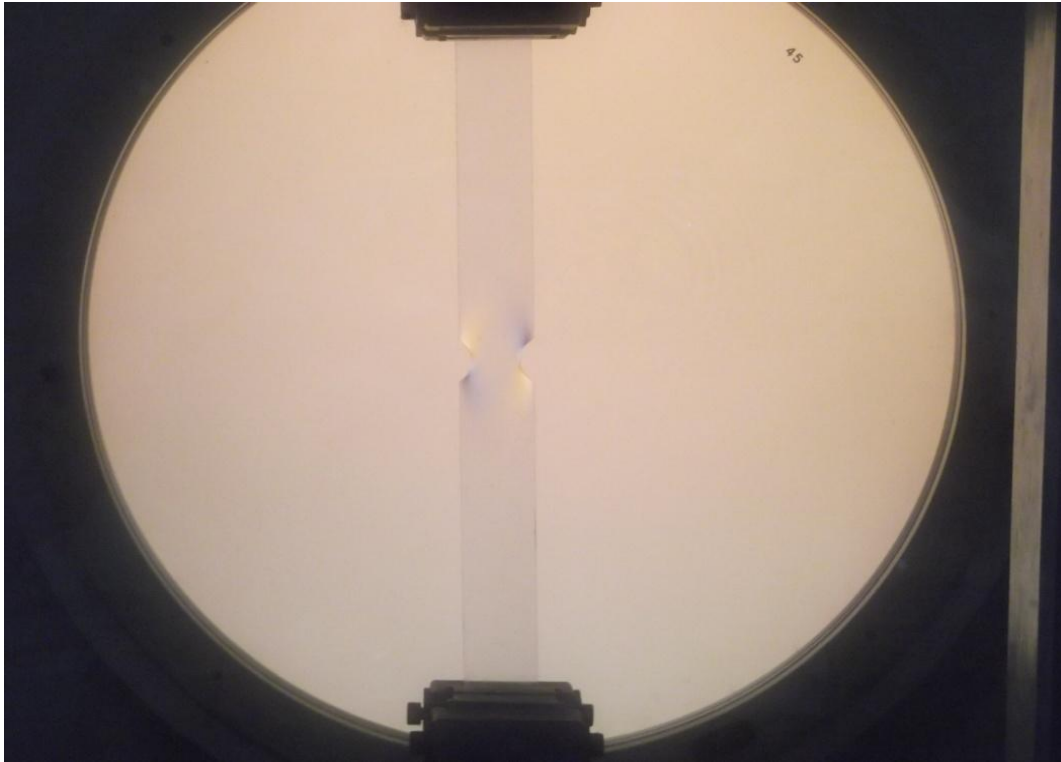


**Εικόνα 2.26.** : Αφόρτιστο σώμα.

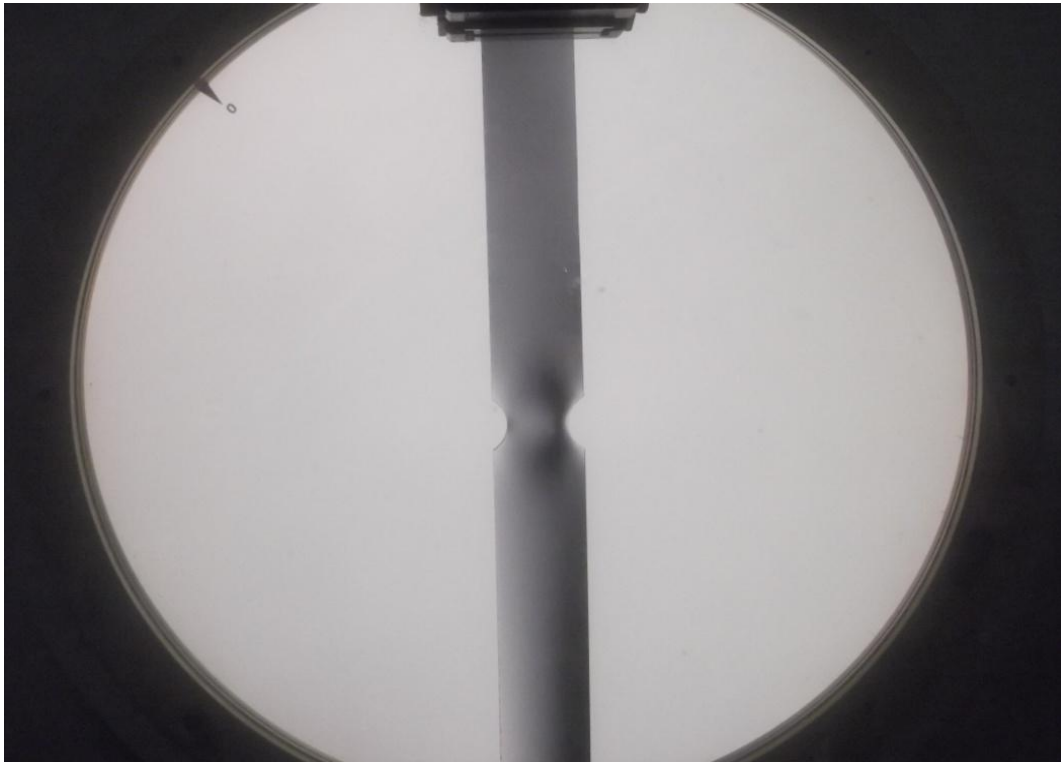


**Εικόνα 2.27.** : Φορτισμένο σώμα γραμμική πόλωση  $0^\circ$ .

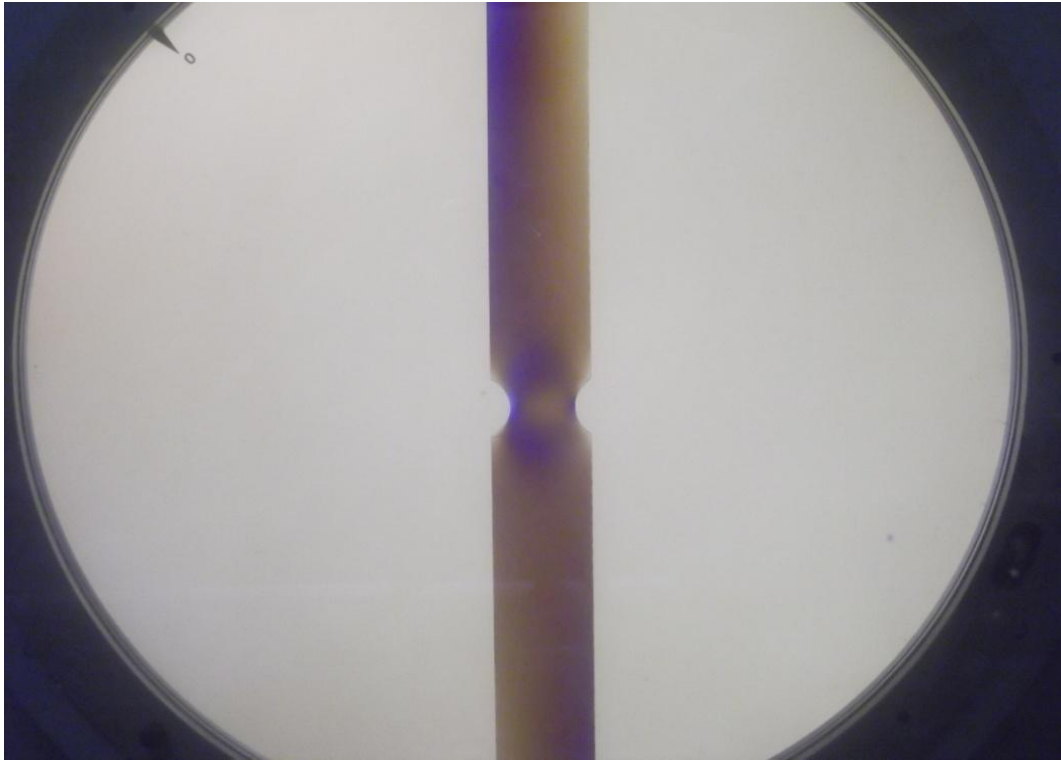




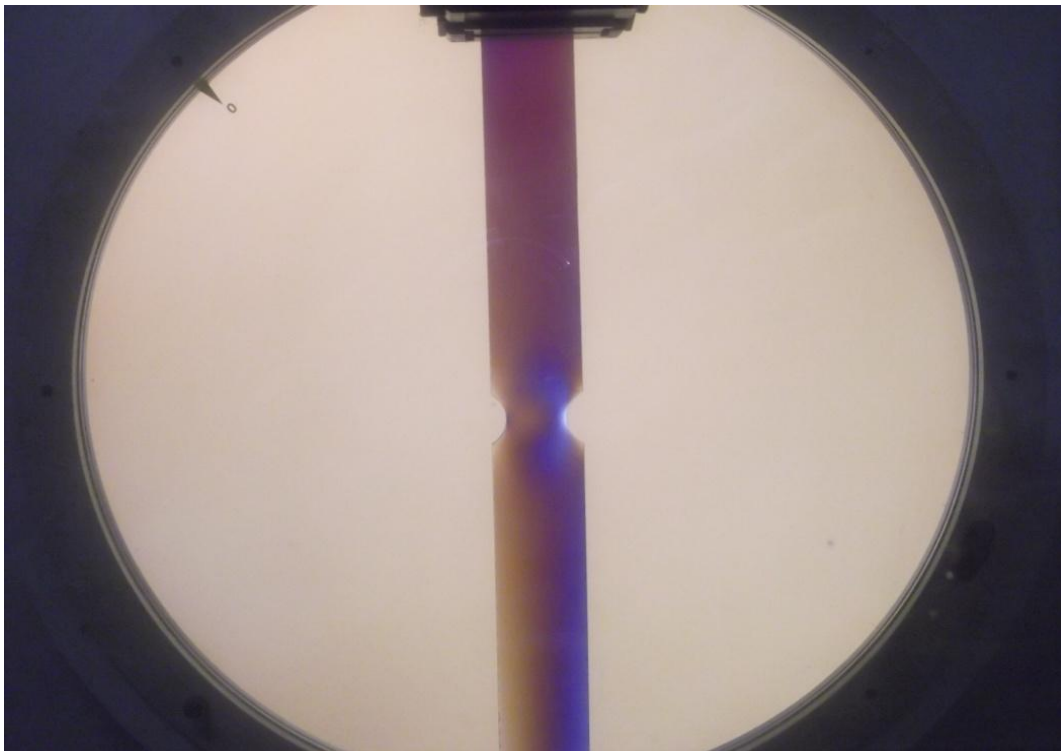
**Εικόνα 2.28.** :Φορτισμένο σώμα γραμμική πόλωση  $90^\circ$ .



**Εικόνα 2.29.** : Φορτισμένο σώμα κυκλική πόλωση  $0^\circ$ .



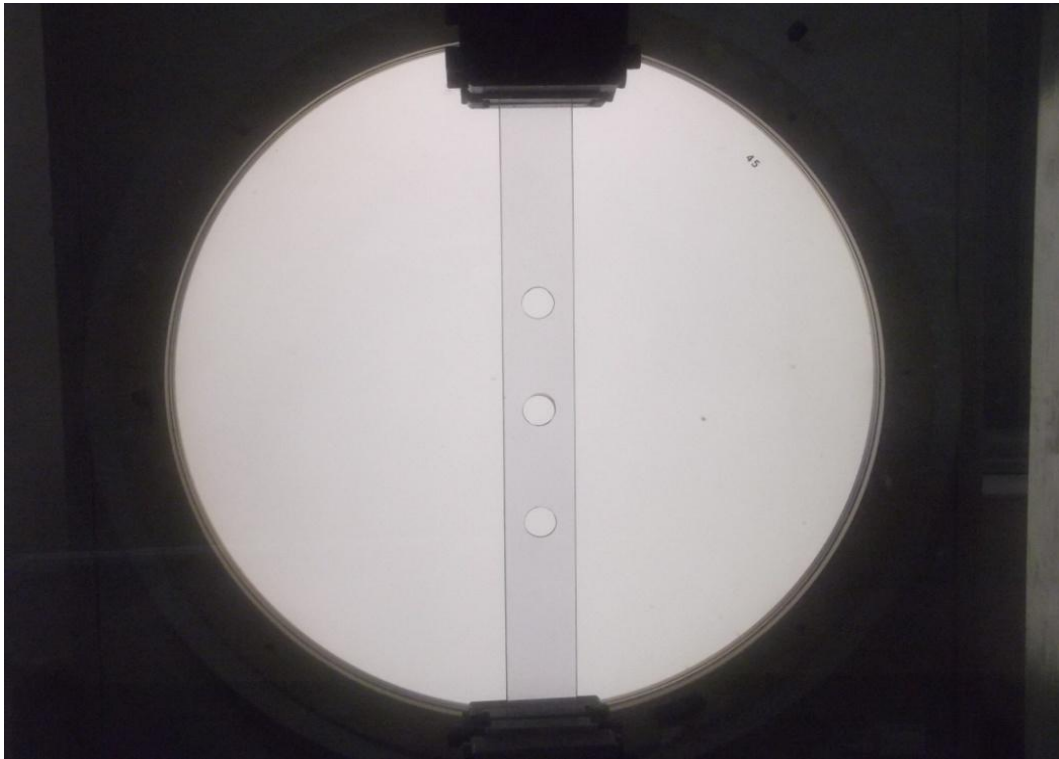
**Εικόνα 2.30.** : Φορτισμένο σώμα κυκλική πόλωση  $90^\circ$ .



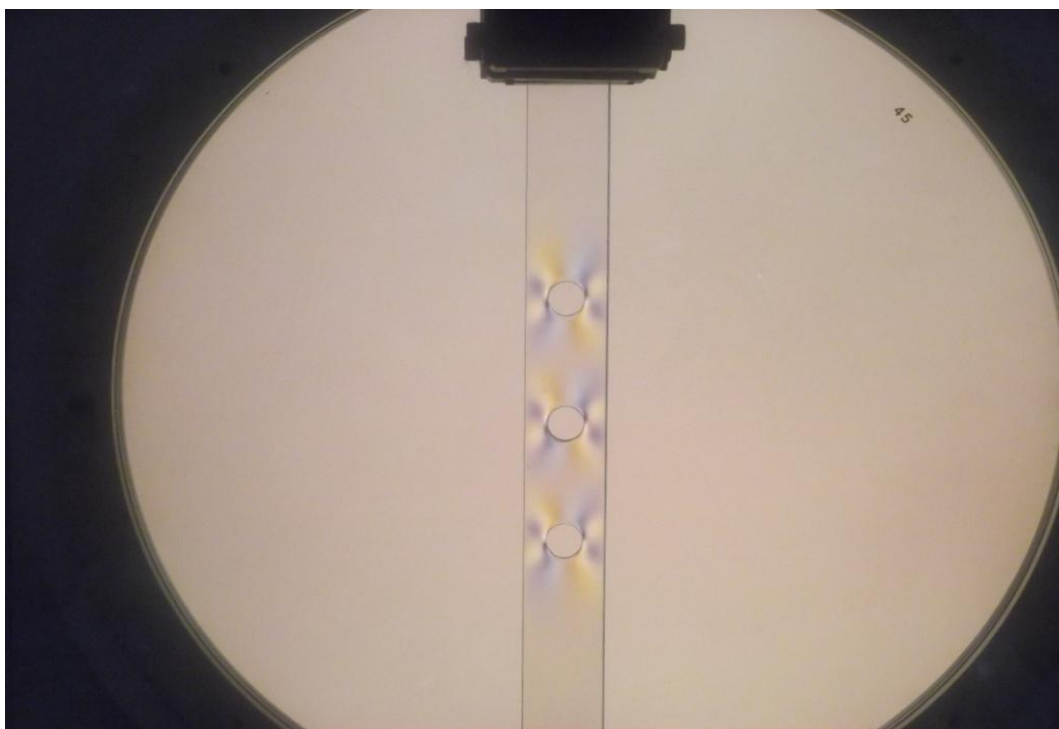
**Εικόνα 2.31.** : Υπερφορτισμένο σώμα κυκλική πόλωση  $90^\circ$ .

### 2.9.5. ΑΝΑΛΥΣΗ ΟΡΘΟΓΩΝΙΑΣ ΠΛΑΚΑΣ ΜΕ 3 ΕΓΚΑΡΣΙΕΣ ΟΠΕΣ.

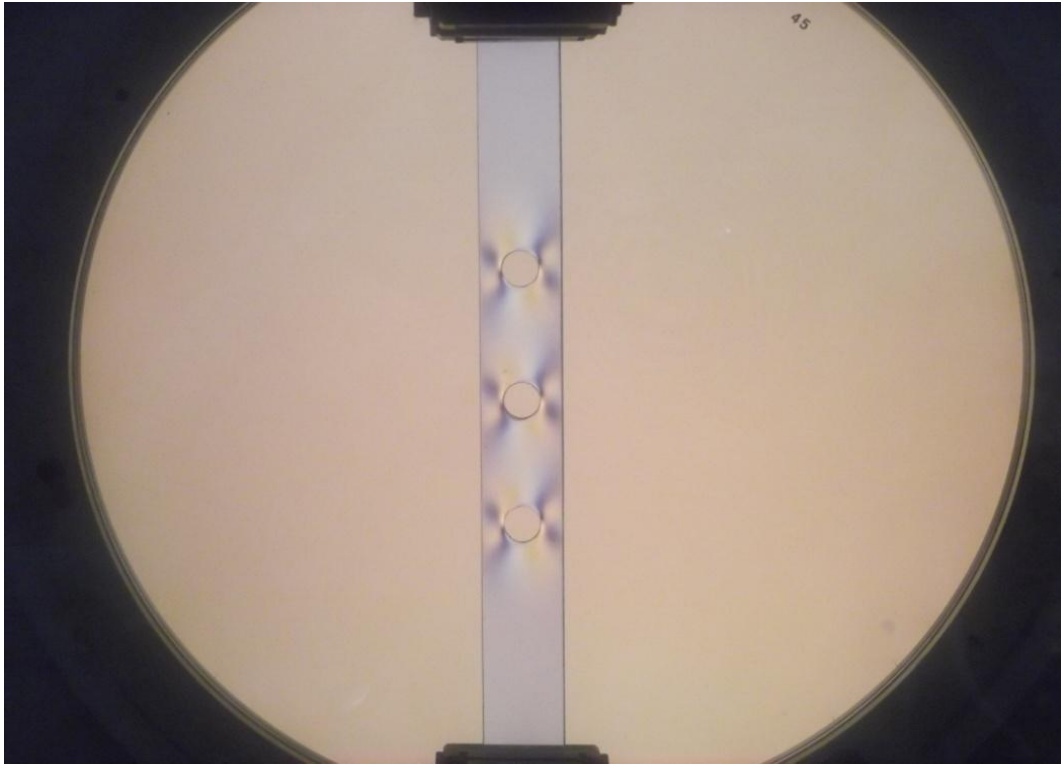
Στις εικόνες 2.32 έως 2.37 παρουσιάζονται οι φωτογραφίες που λήφθηκαν κατά τη διάρκεια του φωτοελαστικού πειράματος με τη σειρά που αναφέρεται στην Παράγραφο 2.9.



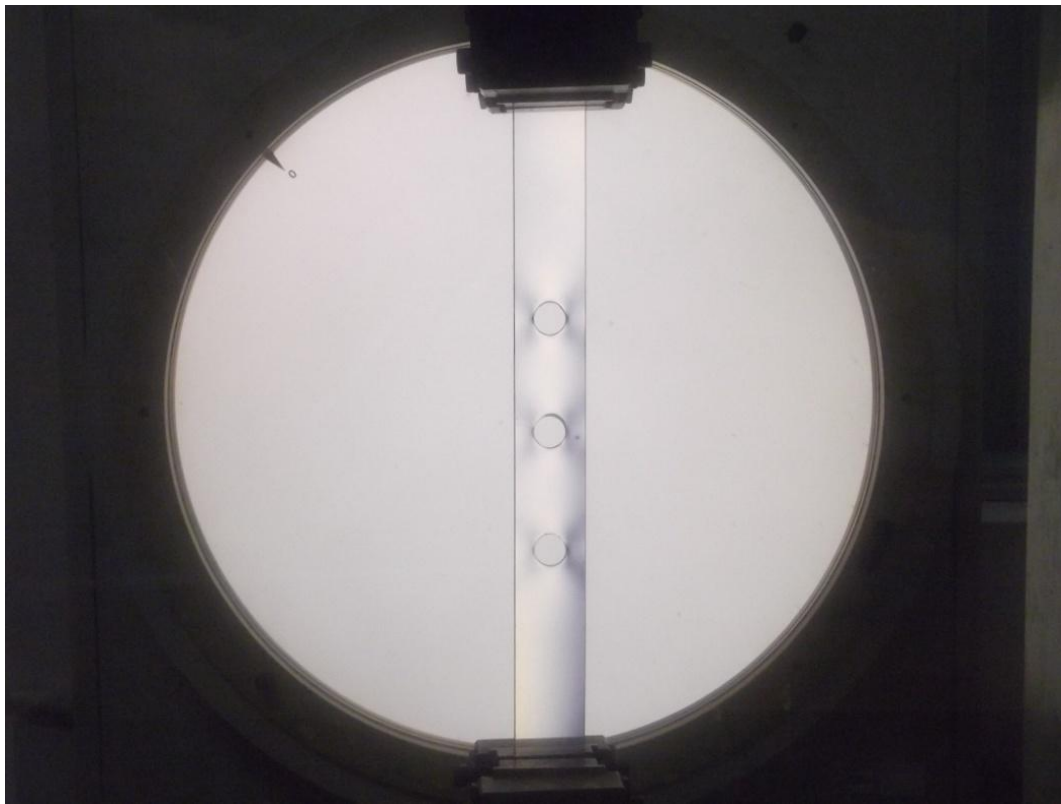
**Εικόνα 2.32. :** Αφόρτιστο σώμα.



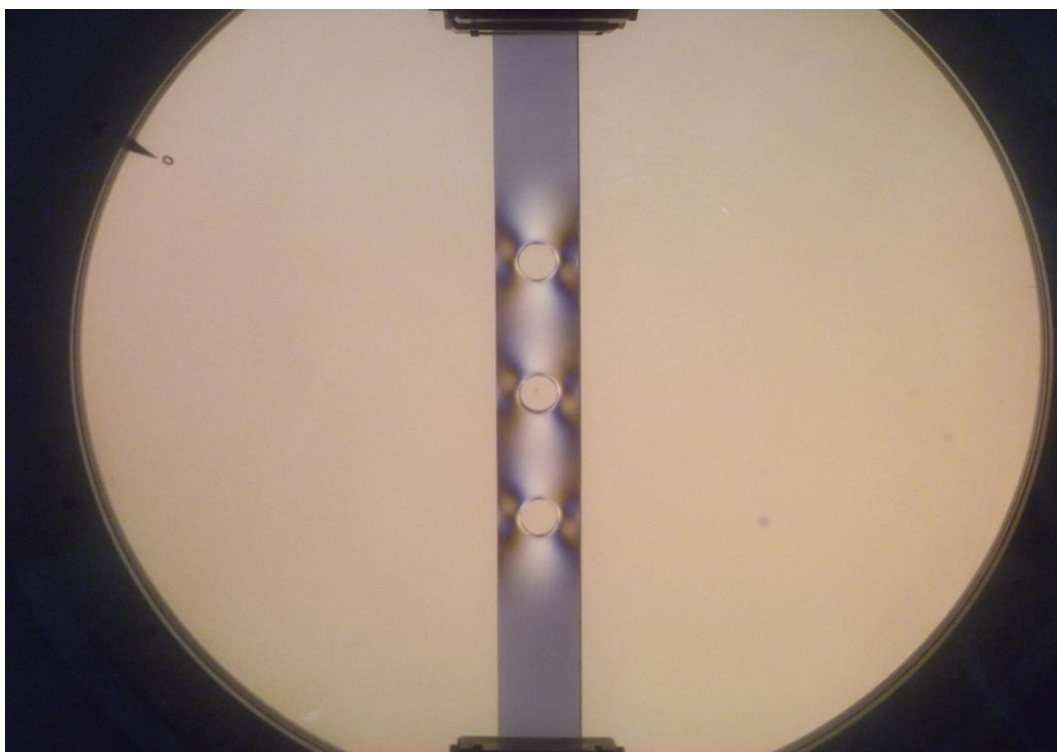
**Εικόνα 2.33. :** Φορτισμένο σώμα γραμμική πόλωση  $0^\circ$ .



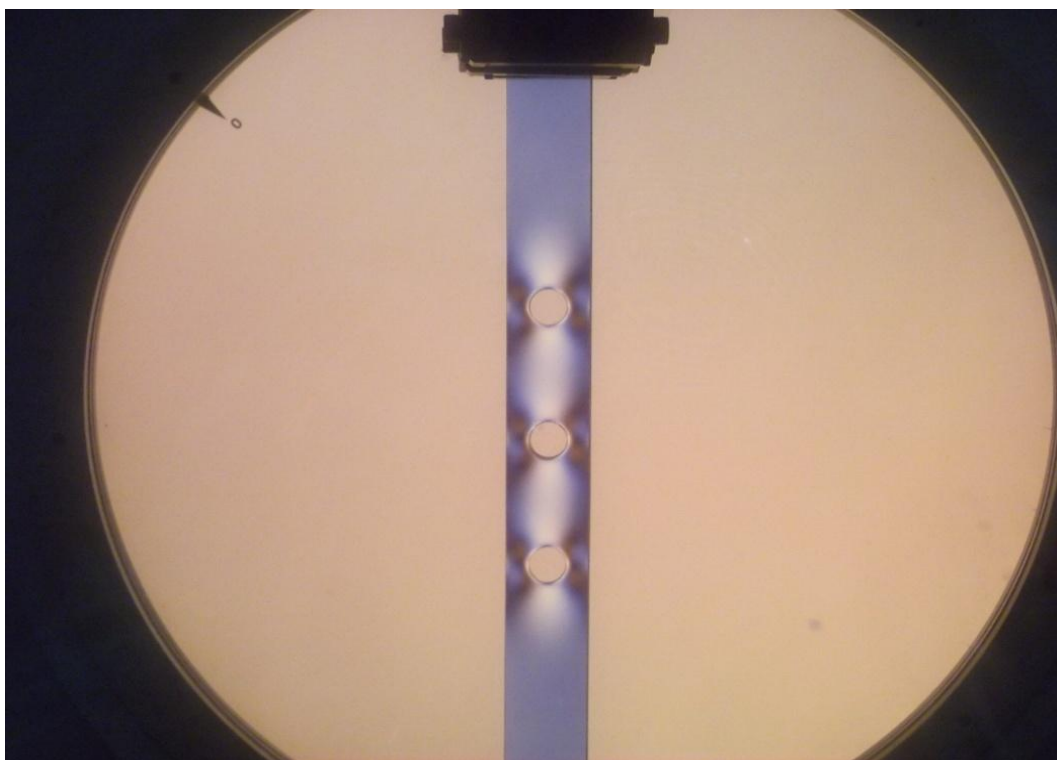
**Εικόνα 2.34.** : Φορτισμένο σώμα γραμμική πόλωση  $90^\circ$ .



**Εικόνα 2.35.** : Φορτισμένο σώμα κυκλική πόλωση  $0^\circ$ .



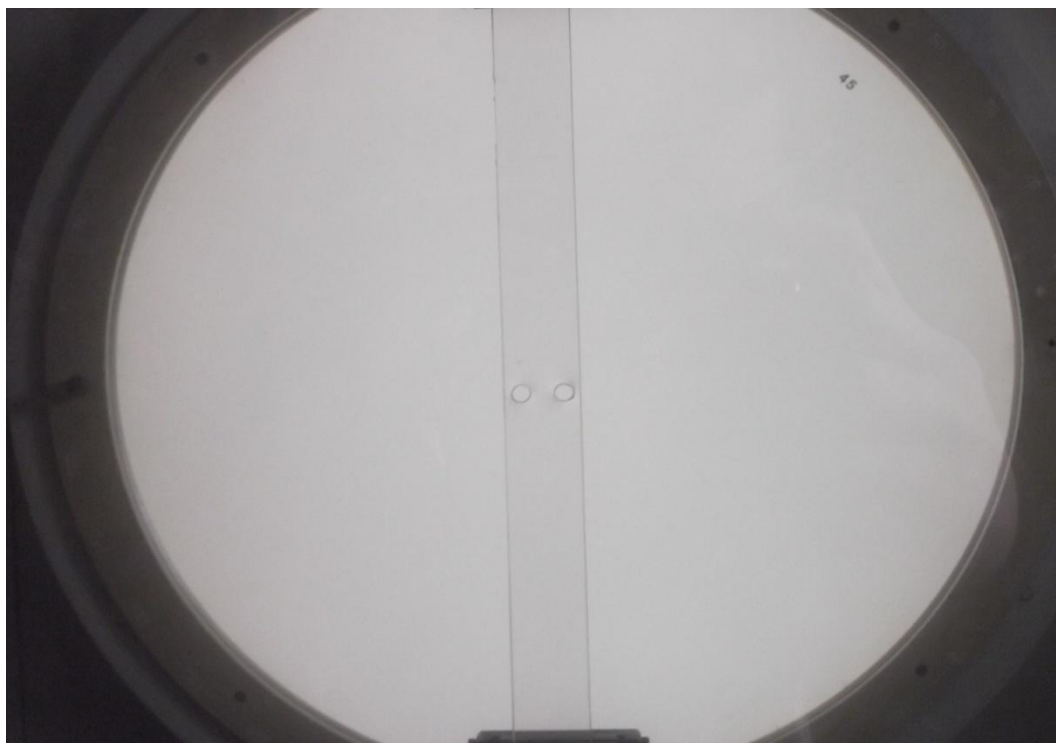
**Εικόνα 2.36. :** Φορτισμένο σώμα κυκλική πόλωση  $90^\circ$ .



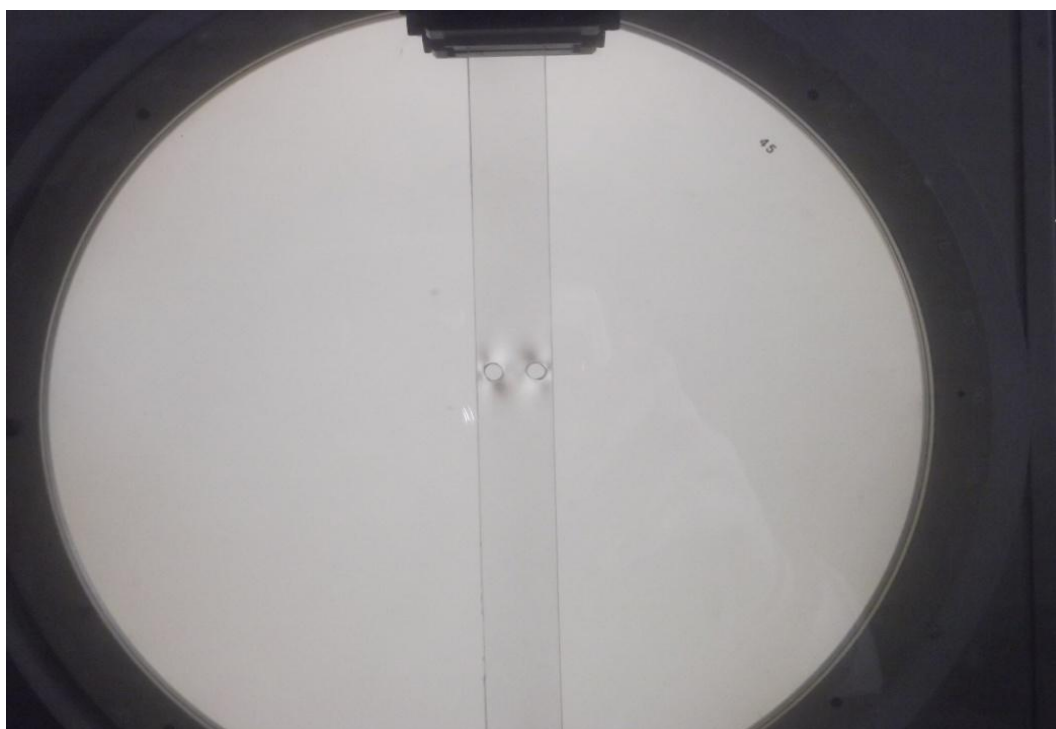
**Εικόνα 2.37. :** Υπερφορτισμένο σώμα κυκλική πόλωση  $90^\circ$ .

### 2.9.6. ΑΝΑΛΥΣΗ ΟΡΘΟΓΩΝΙΑΣ ΠΛΑΚΑΣ ΜΕ 2 ΟΠΕΣ.

Στις εικόνες 2.38 έως 2.43 παρουσιάζονται οι φωτογραφίες που λήφθηκαν κατά τη διάρκεια του φωτοελαστικού πειράματος με τη σειρά που αναφέρεται στην Παράγραφο 2.9.



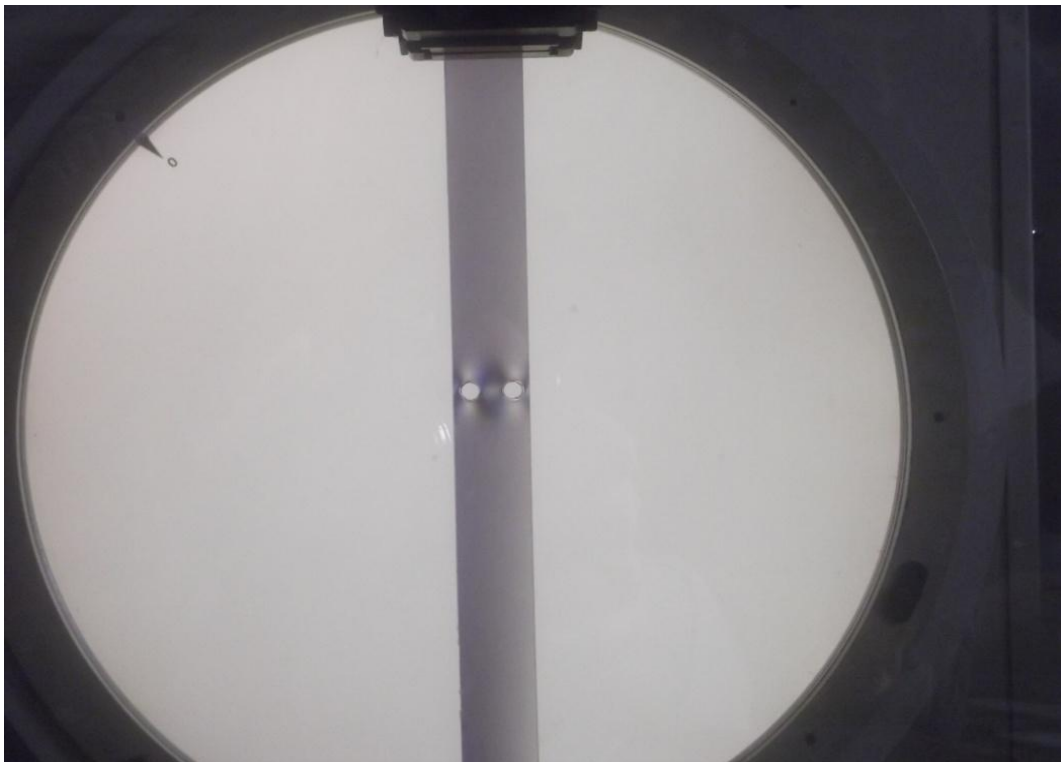
**Εικόνα 2.38.** : Αφόρτιστο σώμα.



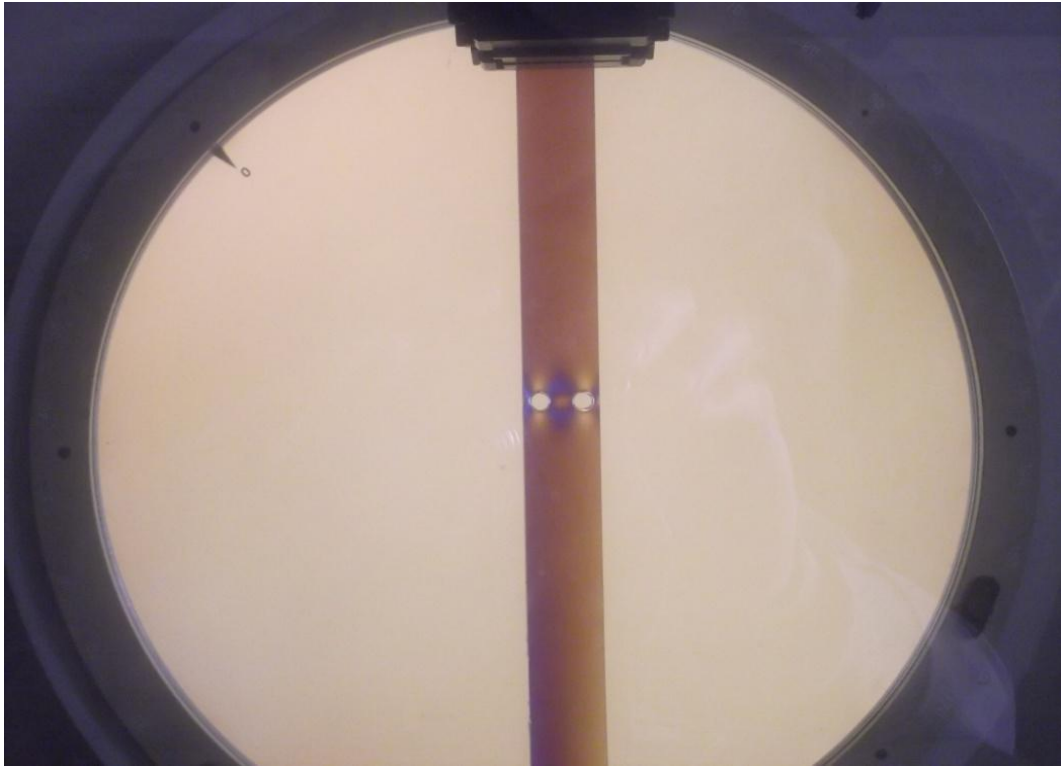
**Εικόνα 2.39.** : Φορτισμένο σώμα γραμμική πόλωση  $0^\circ$ .



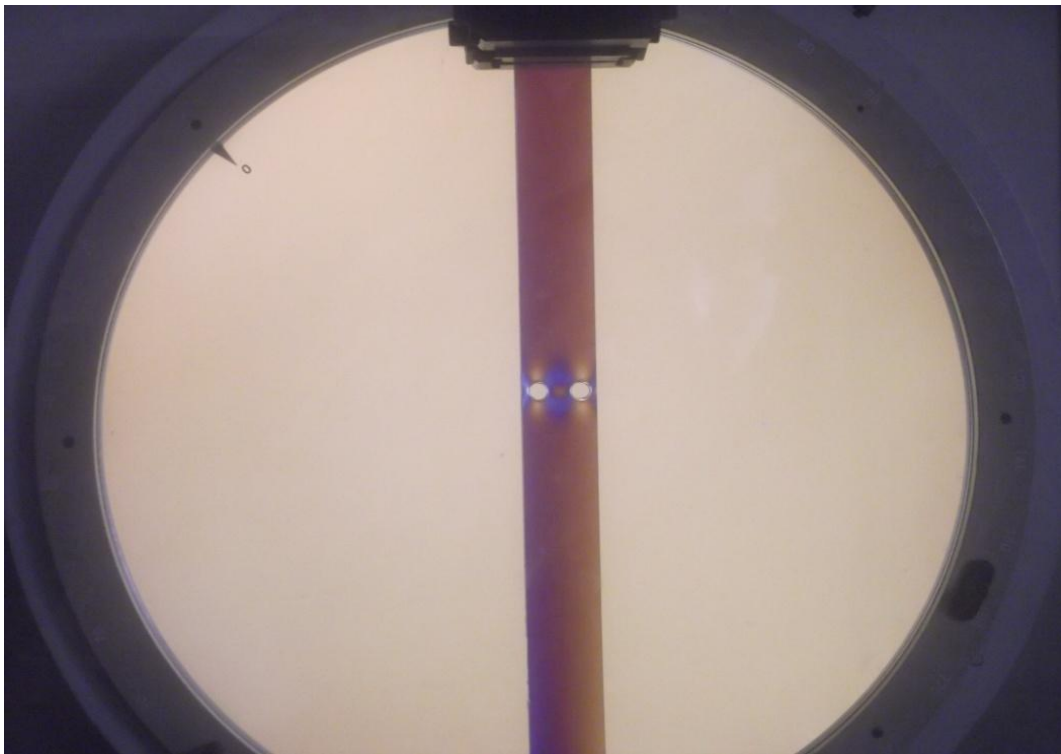
**Εικόνα 2.40.** : Φορτισμένο σώμα γραμμική πόλωση  $90^\circ$ .



**Εικόνα 2.41.** : Φορτισμένο σώμα κυκλική πόλωση  $0^\circ$ .



**Εικόνα 2.42.** : Φορτισμένο σώμα κυκλική πόλωση  $90^\circ$ .

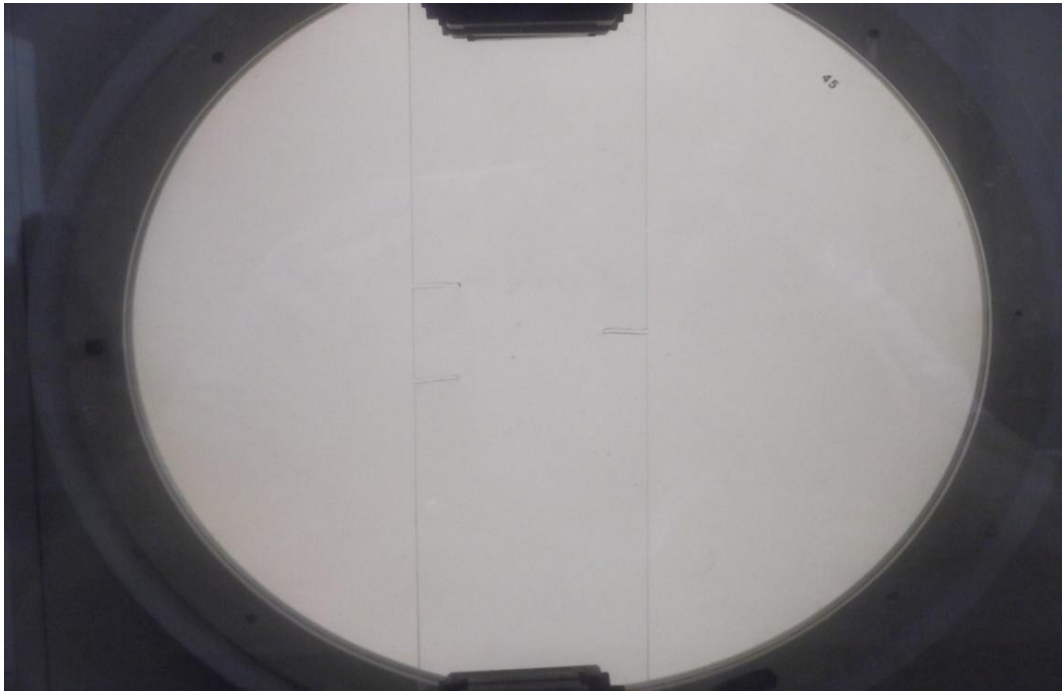


**Εικόνα 2.43.** : Υπερφορτισμένο σώμα κυκλική πόλωση  $90^\circ$ .

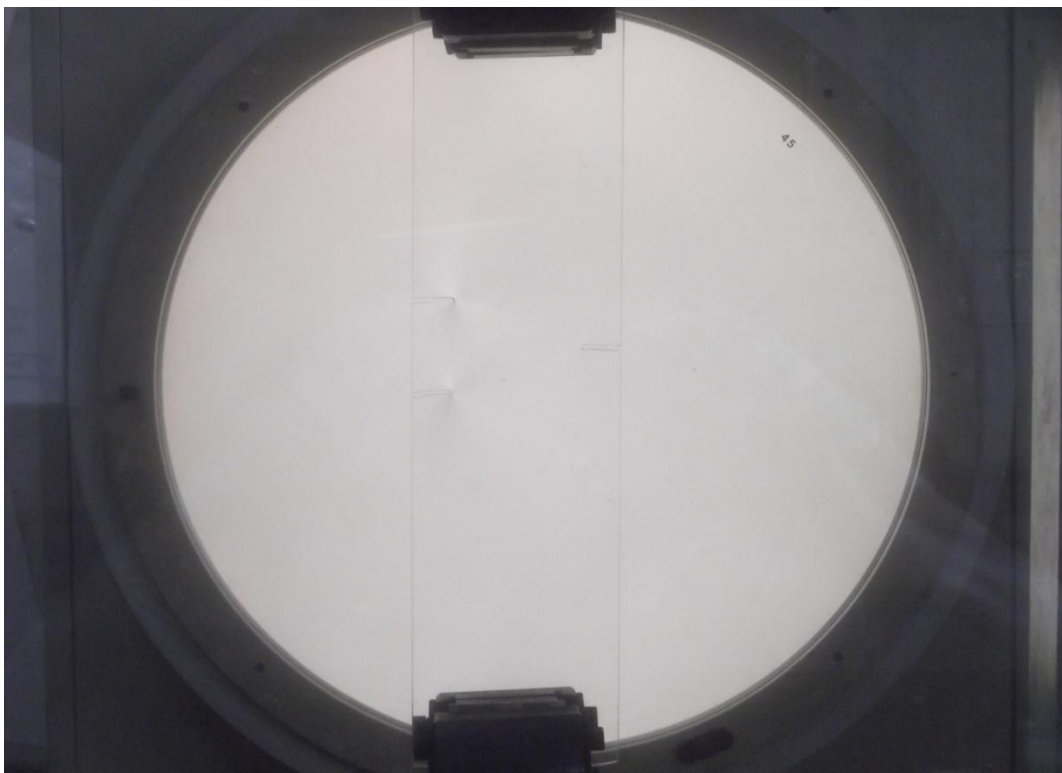


### 2.9.7. ΑΝΑΛΥΣΗ ΟΡΘΟΓΩΝΙΑΣ ΠΛΑΚΑΣ ΜΕ ΡΩΓΜΕΣ.

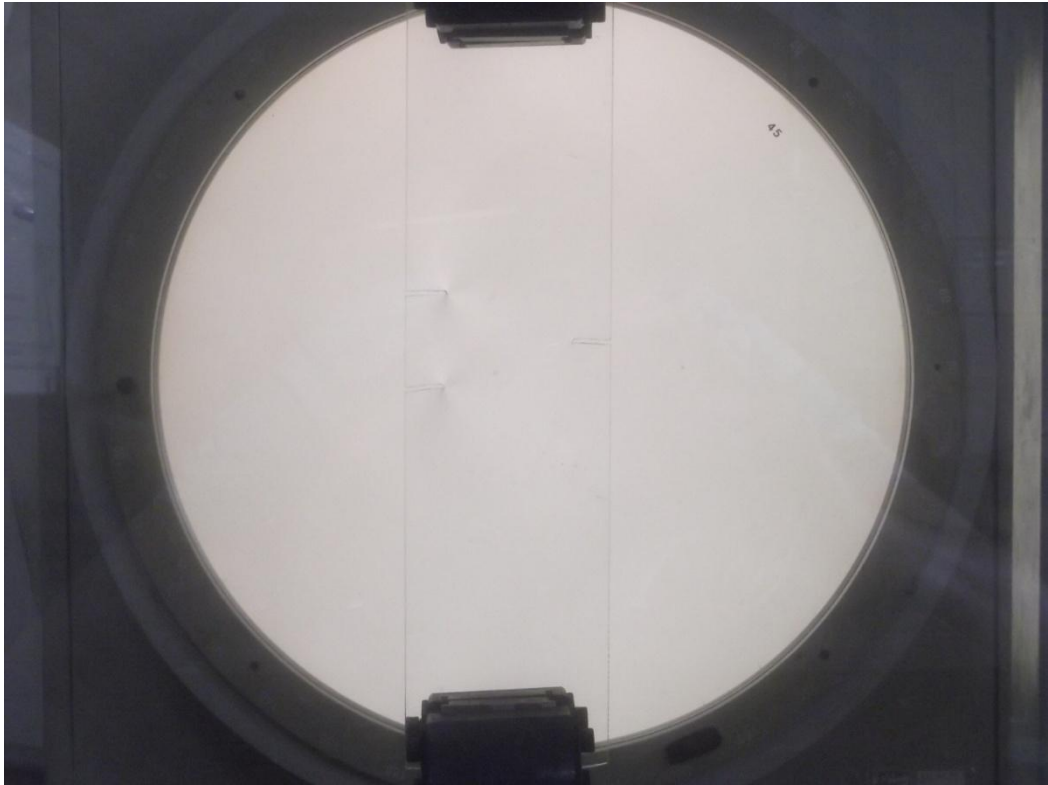
Στις εικόνες 2.44 έως 2.49 παρουσιάζονται οι φωτογραφίες που λήφθηκαν κατά τη διάρκεια του φωτοελαστικού πειράματος με τη σειρά που αναφέρεται στην Παράγραφο 2.9.



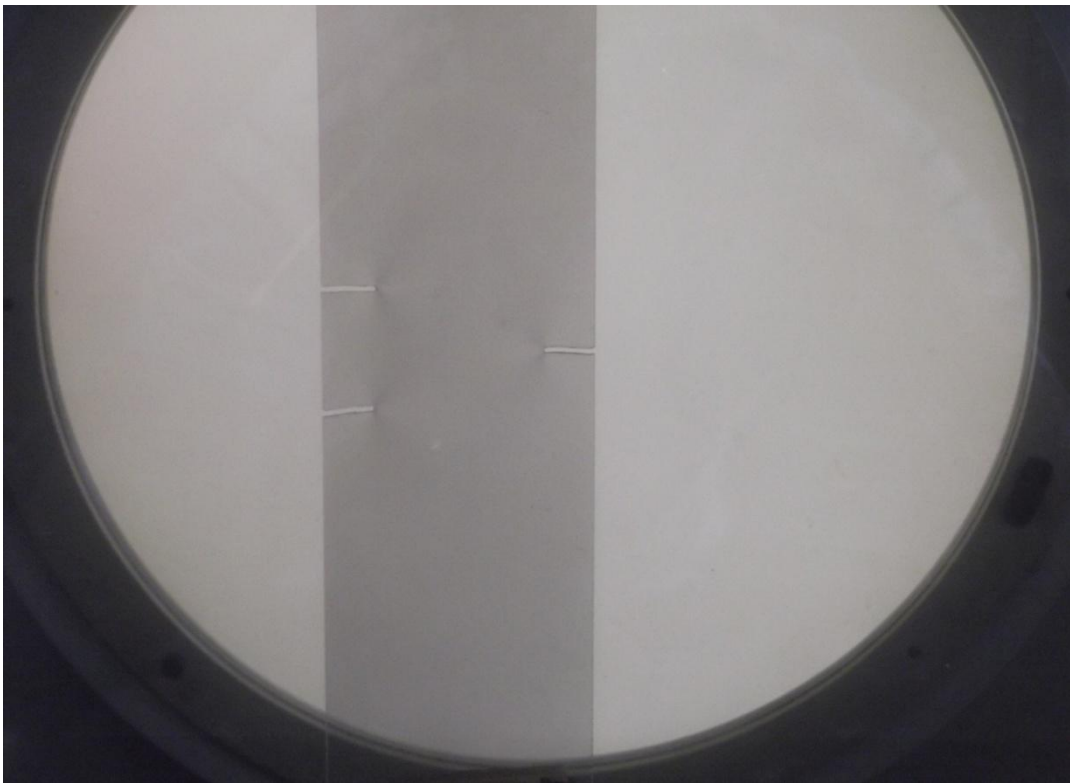
**Εικόνα 2.44.** : Αφόρτιστο σώμα.



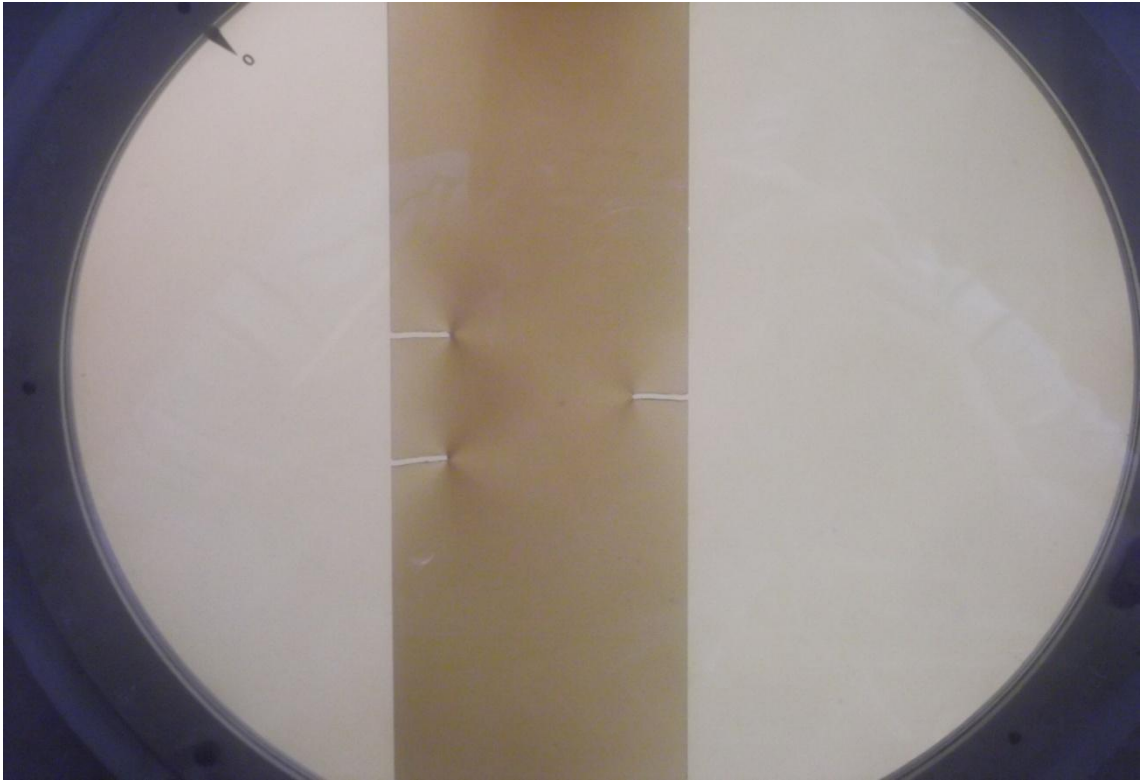
**Εικόνα 2.45.** : Φορτισμένο σώμα γραμμική πόλωση 0°.



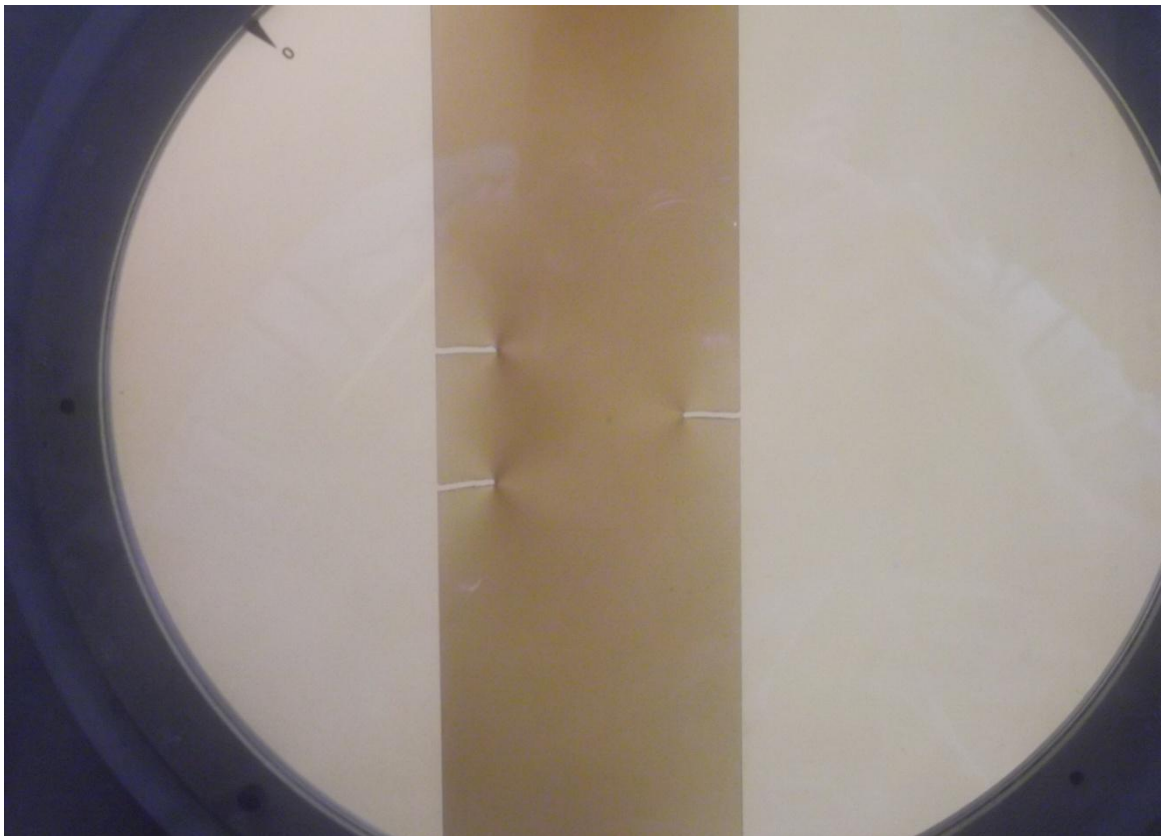
**Εικόνα 2.46.** : Φορτισμένο σώμα γραμμική πόλωση  $90^\circ$ .



**Εικόνα 2.47.** : Φορτισμένο σώμα κυκλική πόλωση  $0^\circ$ .

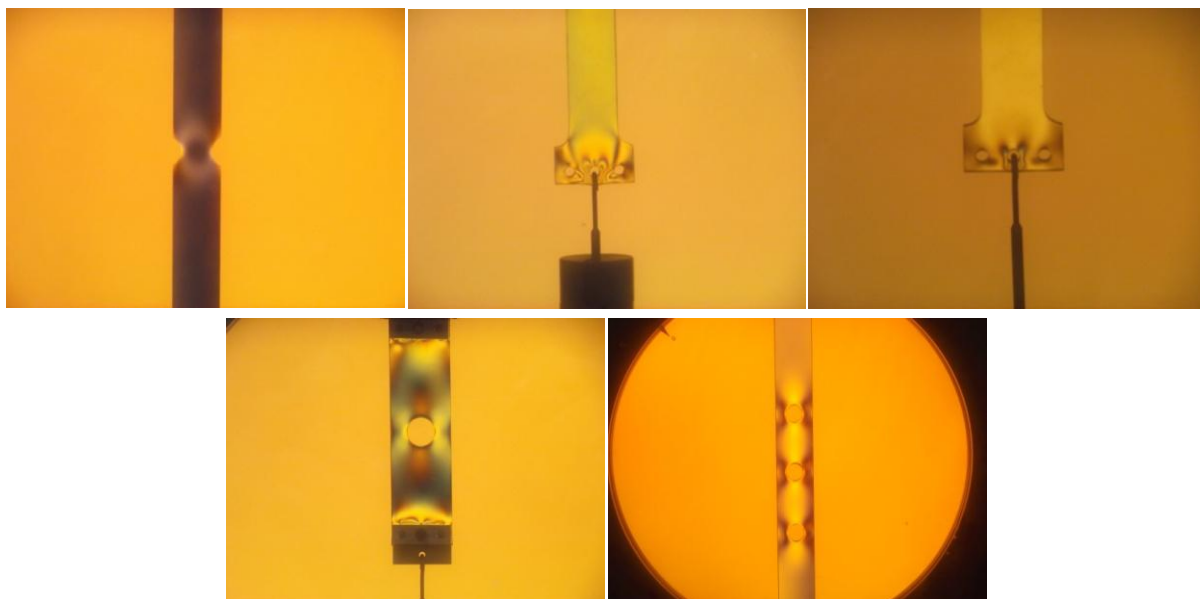


**Εικόνα 2.48.** : Φορτισμένο σώμα κυκλική πόλωση  $90^\circ$ .



**Εικόνα 2.49.** : Υπερφορτισμένο σώμα κυκλική πόλωση  $90^\circ$ .

Στις εικόνες 2.50 παρουσιάζονται ορισμένα δείγματα εικόνων όπου το πολωσιοσκόπιο είναι σε λειτουργία και οι λάμπες ατμού Νάτρίου παράγουν στο σύστημα μονοχρωματικό φως.



**Εικόνα 2.50.** : Δείγματα εικόνων όπου το πολωσιοσκόπιο είναι σε λειτουργία και οι λάμπες ατμού Νάτρίου παράγουν στο σύστημα μονοχρωματικό φως.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

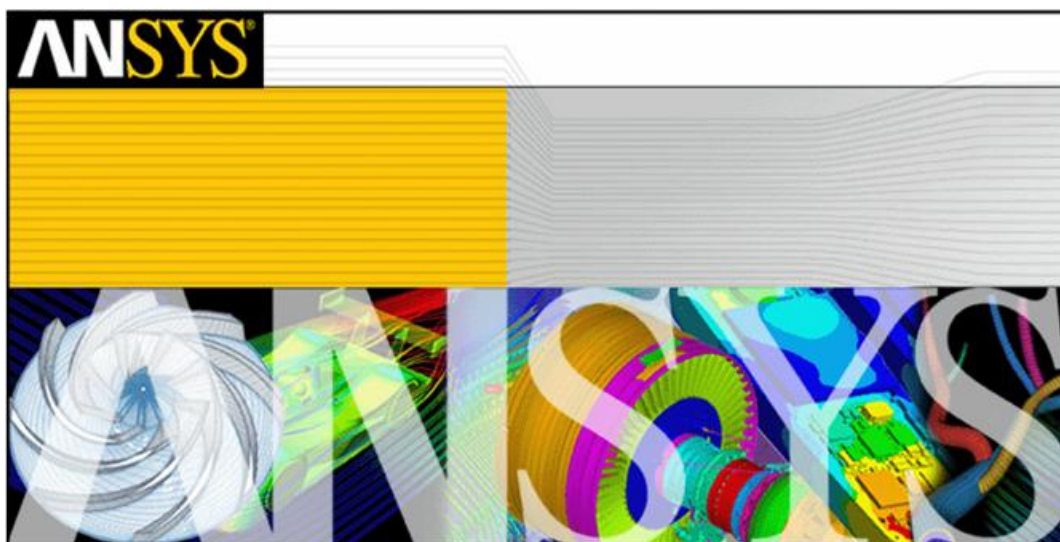
Η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων χρησιμοποιείται ευρέως σε πολλά επιστημονικά προβλήματα. Τα κυριότερα πεδία εφαρμογής αυτής της αριθμητικής μεθόδου είναι γραμμικά ή μη-γραμμικά προβλήματα μηχανικών συνεχών μέσων ρευστομηχανικής, μετάδοση θερμότητας, ηλεκτρομαγνητισμού κλπ.

Η βασική αρχή των πεπερασμένων στοιχείων είναι να διαιρέσουμε ένα μεγάλο σύστημα σε μικρές συνιστώσες ή στοιχεία των οποίων την συμπεριφορά είναι εύκολο να μελετήσουμε και κατόπιν να αναδημιουργήσουμε το αρχικό σύστημα από την ανάλυση των συνιστωσών του. Αυτός είναι ένας φυσικός τρόπος με τον οποίο ο μηχανικός, ο επιστήμονας ή ο οικονομολόγος αντιμετωπίζει την λύση πολλών προβλημάτων. Σε πολλές περιπτώσεις ένα μοντέλο λαμβάνεται με τη χρήση ενός πεπερασμένου αριθμού συνιστωσών. Η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων μπορεί να ορισθεί ως την τεχνική της προσέγγισης προβλημάτων συνεχών μέσων έτσι ώστε το συνεχές μέσο να διαιρείται σε ορισμένο αριθμό στοιχείων (πεπερασμένων στοιχείων).

### 3.1. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ANSYS

#### 3.1.1. ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ

Το ANSYS είναι ένα πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων γενικού σκοπού, χαρακτηριστική είναι η Εικ.3.1. Έχει την δυνατότητα επίλυσης στατικών και δυναμικών προβλημάτων ροής ρευστών, ανάλυσης κατασκευών, μετάδοσης θερμότητας, ακουστικής, ηλεκτρισμού και ηλεκτρομαγνητισμού. Με βάση τις δυνατότητες επίλυσης και το μερίδιο που κατέχει στην αγορά, θεωρείται ένα από τα σημαντικότερα πακέτα πεπερασμένων στοιχείων για πάνω από 30 έτη. Έχει χρήση σε πολλούς τομείς εφαρμοσμένης μηχανικής, συμπεριλαμβανομένης της αεροδιαστημικής, αυτοκίνητης, ηλεκτρονικής και πυρηνικής. Στο σημείο αυτό όμως πρέπει να επισημανθεί ότι προκειμένου να χρησιμοποιήσει κανείς το ANSYS ή γενικότερα οποιοδήποτε άλλο πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων γενικού σκοπού, είναι επιτακτικό να καταλαβαίνει πλήρως τις βασικές έννοιες και τους περιορισμούς της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων.

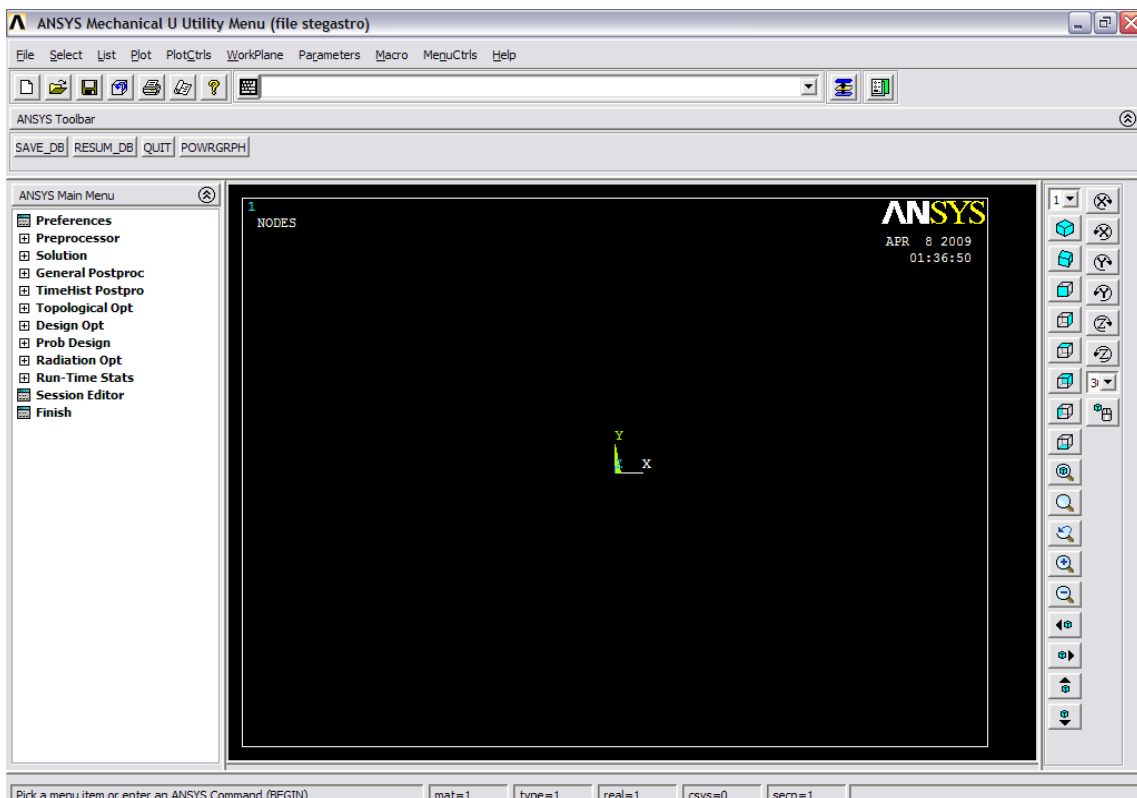


Εικόνα 3.1. : Άνοιγμα του υπολογιστικού προγράμματος ANSYS.

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία χρησιμοποιήθηκε η έκδοση ANSYS 14.00. Το περιβάλλον αυτής της έκδοσης περιέχει δύο παράθυρα: το κύριο παράθυρο ,Εικ.3.2. και ένα παράθυρο πληροφοριών, Εικ. 3.3. . Το κύριο παράθυρο αποτελείται από πέντε τμήματα :

- 1. Μενού βοηθημάτων (Utility menu):** Περιέχει τις λειτουργίες που είναι διαθέσιμες σχεδόν σε όλο το φάσμα λειτουργιών του ANSYS, όπως οι έλεγχοι αρχείων (file), η επιλογή (select), οι γραφικοί έλεγχοι (Plot Controls), ο ορισμός και η διαχείριση παραμέτρων (Parameters) και το σύστημα βοήθειας (help). Αναλυτικά το utility menu περιέχει τις εξής λειτουργίες:
  - **File:** Έχουμε τη δυνατότητα να εμφανίσουμε ένα αρχείο που είναι αποθηκευμένο στη βάση δεδομένων του υπολογιστή ή να δημιουργήσουμε ένα καινούριο και να το αποθηκεύσουμε.
  - **Select:** Είναι μια δυναμική εντολή με την οποία έχουμε τη δυνατότητα να απομονώσουμε και να επεξεργαστούμε ένα τμήμα του μοντέλου. Κατά την επεξεργασία το πρόγραμμα λαμβάνει υπόψη μόνο το επιλεγμένο τμήμα του μοντέλου.
  - **List:** Έχουμε τη δυνατότητα να εμφανίσουμε καταλόγους που είναι αποθηκευμένοι στη βάση δεδομένων του προγράμματος. Οι κατάλογοι μπορούν να περιέχουν σημεία, γραμμές, επιφάνειες, όγκους, στοιχεία και κόμβους, τα οποία ακολουθούνται από μια συγκεκριμένη αρίθμηση που γίνεται αυτόματα από το πρόγραμμα.
  - **Plot:** Μπορούμε να προβάλλουμε στο παράθυρο σχεδίασης (ανάλογα με το τι θέλουμε να επεξεργαστούμε) σημεία, γραμμές, επιφάνειες, κλπ. , του μοντέλου.
  - **Plot controls:** Περιέχει λειτουργίες που ελέγχουν τα χαρακτηριστικά των γραφικών επιδείξεων.
  - **Work plane:** Η χρήση της εντολής αυτής προσφέρει μεγάλη ευκολία στη δημιουργία στερεών πρότυπων μοντέλων. Μας δίνει τη δυνατότητα να μεταφέρουμε ή και να περιστρέψουμε όπου επιθυμούμε τους άξονες συντεταγμένων.
  - **Help:** Είναι το σύστημα βοήθειας του προγράμματος στο οποίο μπορούμε να ανατρέξουμε για οποιαδήποτε πληροφορία.
- 2. Κύριο μενού (Main menu):** Περιέχει τις όλες τις εντολές του ANSYS που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του μοντέλου, την επίλυση του προβλήματος και την επεξεργασία των αποτελεσμάτων. Οι εντολές έχουν οργανωθεί σε τρεις βασικούς επεξεργαστές, στον **Preprocessor** ο οποίος περιλαμβάνει όλες τις διαθέσιμες εντολές για την κατασκευή του μοντέλου, στον **Solution** ο οποίος περιλαμβάνει όλες τις διαθέσιμες εντολές για τον ορισμό της ανάλυσης καθώς επίσης και τις εντολές επίλυσης και τέλος στον **Post processor** μέσω του οποίου ο χρήστης επεξεργάζεται τα αποτελέσματα.
- 3. Μπάρα εργαλείων (Toolbar):** Περιέχει κουμπιά με τα οποία μπορούμε να εκτελέσουμε εντολές και λειτουργίες που χρησιμοποιούνται επανειλημμένα κατά τη διαδικασία επίλυσης ενός προβλήματος. Επίσης η μπάρα εργαλείων περιέχει κουμπιά επαναφοράς (Resume\_db) αμέσως προηγούμενων αποθηκευμένων μοντέλων.

4. **Πεδίο εντολών (Input field):** Το πεδίο εντολών μας δίνει τη δυνατότητα να εισάγουμε άμεσα τις εντολές της γλώσσας προγραμματισμού APDL που διαθέτει το ANSYS. Η χρήση εντολών προγραμματισμού είναι ένας εναλλακτικός τρόπος δημιουργίας ενός μοντέλου αντί αυτού μέσω των καρτελών εισαγωγής δεδομένων και ενδείκνυται στην περίπτωση πολύ μεγάλων μοντέλων καθώς επίσης και στην περίπτωση των παραμετρικών αναλύσεων. Όλες οι πρόσφατα δακτυλογραφημένες εντολές αποθηκεύονται σε ένα μενού καταγραφής για εύκολη πρόσβαση.
5. **Γραφικό παράθυρο (Graphics Window):** Είναι το παράθυρο, όπου το μοντέλο αναπαρίσταται γραφικά στα διάφορα στάδια της κατασκευής καθώς επίσης και τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την ανάλυση.



Εικόνα 3.2. : Κύριο παράθυρο εργασίας.

```

ANSYS 9.0 Output Window

START-UP FILE MODE           = READ
STOP FILE MODE               = READ
GRAPHICS DEVICE REQUESTED   = win32
GRAPHICAL ENTRY              = YES
LANGUAGE                     = en-us
INITIAL DIRECTORY = C:\Documents and Settings\paris\Πρόγραμμα
ansys\stegastro

00200445      VERSION=INTEL NT      RELEASE= 9.0      UP20041104
CURRENT JOBNAME=file stegastro 01:58:59 APR 08, 2009 CP=      0.484

/SHOW SET WITH DRIVER NAME= WIN32 , RASTER MODE, GRAPHIC PLANES =
RUN SETUP PROCEDURE FROM FILE= C:\Program Files\Ansys Inc\90\ANSYS\an
ans
/INPUT FILE= menust.tmp LINE=      0
/INPUT FILE= C:\Program Files\Ansys Inc\90\ANSYS\apdl\start90.ans L
ACTIVATING THE GRAPHICAL USER INTERFACE <GUI>. PLEASE WAIT...
CUTTING PLANE SET TO THE WORKING PLANE
PRODUCE MODAL PLOT IN DSYS= 0
TURN OFF WORKING PLANE DISPLAY

```

Εικόνα 3.3. : Παράθυρο πληροφοριών.

### 3.1.2. ΒΑΣΙΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

Για την ανάλυση ενός προβλήματος με το ANSYS ακολουθούμε τα εξής βασικά βήματα :

#### 1. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΕΝΤΟΛΩΝ ΤΟΥ PREPROCESSOR

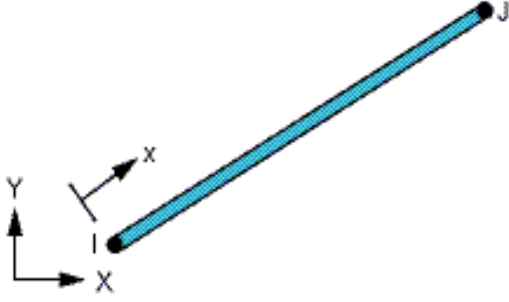
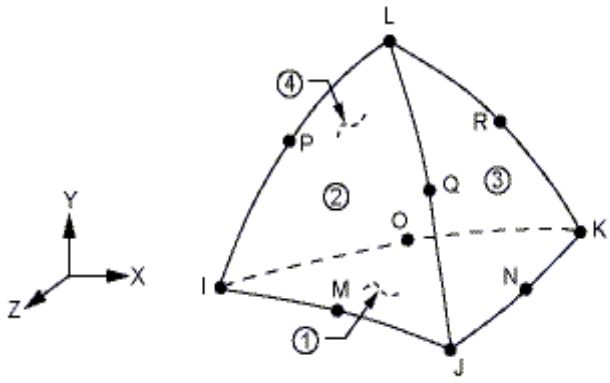
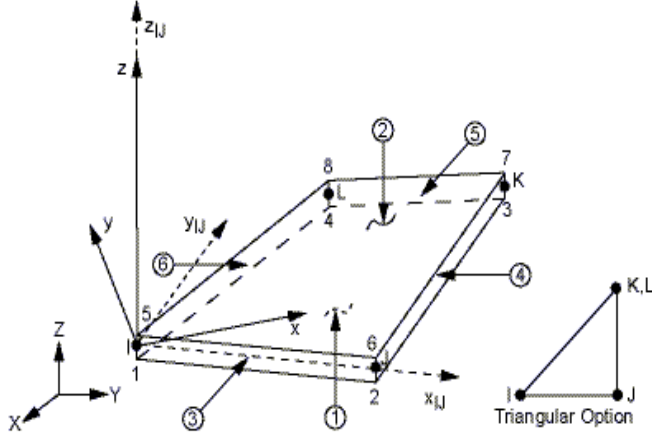
Οι σημαντικότερες εργασίες που γίνονται για την κατασκευή ενός μοντέλου είναι οι εξής:

- **Ορισμός του τύπου στοιχείων (element type):** Το ANSYS ανάλογα με τη γεωμετρία, το φυσικό χαρακτήρα του προβλήματος (στατικό, θερμικό, ροή ρευστού, ηλεκτρομαγνητικό) και την μηχανική συμπεριφορά των υλικών της κατασκευής (γραμμικά, μη-γραμμικά, ισότροπα, ανισότροπα) και των συναρτήσεων που θα χρησιμοποιηθούν για την προσέγγιση των αγνώστων πεδίων του προβλήματος, διαθέτει 160 στοιχεία για την ανάλυση όλων των ειδών προβλημάτων. Είναι εύκολα κατανοητό ότι η επιλογή του κατάλληλου είδους στοιχείου είναι πολύ σημαντική για τη διαδικασία της ανάλυσης. Κάθε ένα από τα στοιχεία προσδιορίζεται από την ονομασία μιας κατηγορίας και ακολουθείται από έναν χαρακτηριστικό αριθμό, π.χ. link10, beam3, solid44. Οι βασικές κατηγορίες των διαθέσιμων στοιχείων είναι οι εξής:



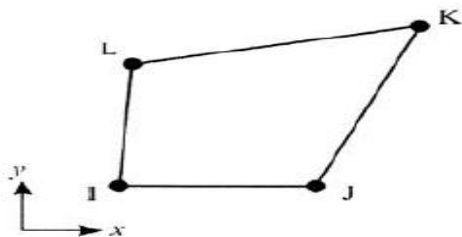
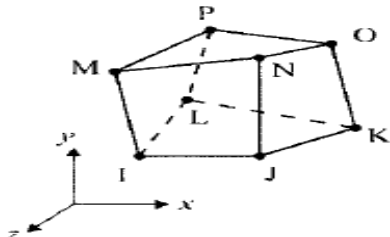
- Δομικά στοιχεία (structural):** Σε αυτή την ομάδα στοιχείων οι βαθμοί ελευθερίας στους κόμβους, είναι συνήθως οι μετατοπίσεις και οι στροφές. Στις δομικές αναλύσεις περιλαμβάνονται, επίπεδα στοιχεία (plane elements), ραβδωτά στοιχεία (link elements), στοιχεία δοκού (beam elements), στερεά στοιχεία (solid elements), ή και κελυφωτά στοιχεία (shell elements). Όλα αυτά τα στοιχεία περιέχουν ένα πλήθος υποκατηγοριών στοιχείων με διαφορετικούς κόμβους ο αριθμός των οποίων καθορίζεται από το είδος και το βαθμό των συναρτήσεων προσέγγισης των αγνώστων πεδίων. Για παράδειγμα τα δισδιάστατα στερεά στοιχεία ορίζονται από την κατηγορία plane. Επιπλέον το στοιχείο plane 42 είναι ένα τετράπλευρο στοιχείο τεσσάρων κόμβων με δύο βαθμούς ελευθερίας σε κάθε κόμβο, μεταφορά σε  $x$  και  $y$  κατευθύνσεις και χρησιμοποιείται για την μοντελοποίηση δομικών στερεών προβλημάτων (structural solid). Στον πίνακα 3.1. απεικονίζονται μερικά αντιπροσωπευτικά δομικά στοιχεία.

|  |  |
|--|--|
|  | <p>Το στοιχείο (PLANE82) καθορίζεται από 8 κόμβους, με δύο βαθμούς ελευθερίας σε κάθε κόμβο (τις μετατοπίσεις στις κομβικές κατευθύνσεις X και Y)</p>  |
|  | <p>Αξονικά δισδιάστατα στοιχεία (BEAM 3), τα οποία καθορίζονται από τρεις βαθμούς ελευθερίας σε κάθε κόμβο (μετατοπίσεις στις κομβικές κατευθύνσεις X και Y και περιστροφή για τον κομβικό Z άξονα).</p>                         |
| <p>If node K is omitted, the element y-axis is parallel to the global X-Y plane</p> <p>x, y, z defines the element coordinate system orientation</p> | <p>Το στοιχείο PIPES 16 είναι ένα αξονικό στοιχείο και καθορίζεται από έξι βαθμούς ελευθερίας σε δύο κόμβους (μετατοπίσεις στις κομβικές κατευθύνσεις X, Y και Z και τις περιστροφές περί τους κομβικούς άξονες X, Y, και Z)</p> |

|   |  |
|---|--|
|    | <p>Ραβδωτά στοιχεία (LINK), τα οποία είναι τρισδιάστατα στοιχεία γραμμής με δύο κόμβους και τρεις βαθμούς ελευθερίας ανά κόμβο (μετατοπίσεις σε κάθε άξονα)</p>  |
|    | <p>Το στοιχείο (SOLID 187) έχει 10 κόμβους με τρεις βαθμούς ελευθερίας ανά κόμβο: τις μετατοπίσεις στις κομβικές κατευθύνσεις X, Y, και Z. Το στοιχείο έχει τη δυνατότητα επίλυσης προβλημάτων πλαστικότητας, υπερελαστικότητας, ερπυσμού και προβλημάτων με μεγάλες μετατοπίσεις.</p> |
|  | <p>Το στοιχείο (SHELL 63) έχει έξι βαθμούς ελευθερίας σε κάθε κόμβο: μετατοπίσεις στις κομβικές κατευθύνσεις X, Y και Z και τις περιστροφές περί τους κομβικούς άξονες X, Y, και Z.</p>  |

Πίνακα 3.1. : Αντιπροσωπευτικά δομικά στοιχεία του ANSYS.

2. **ΘΕΡΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ (THERMAL):** Σε αυτή τη ομάδα στοιχείων οι βαθμοί ελευθερίας στους κόμβους, είναι οι θερμοκρασίες. Στις θερμικές αναλύσεις περιλαμβάνονται στοιχεία μάζας (mass), ραβδωτά (link), στερεά (solid) ή και κελυφωτά (shell) στοιχεία. Στον πίνακα 3.2. απεικονίζονται μερικά από τα θερμικά στοιχεία.

|  |  |
|--|--|
| <p>PLANE55 - 2-D THERMAL<br/>(DOF: TEMPERATURE)</p>   | <p>Το στοιχείο (PLANE 44), είναι ένα τετράπλευρο στοιχείο, έχει τέσσερεις θερμικούς βαθμούς ελευθερίας (θερμοκρασία σε κάθε κόμβο) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο για δισδιάστατο πρόβλημα.</p> |
| <p>SOLID70 - 3-D THERMAL<br/>(DOF: TEMPERATURE)</p>  | <p>Το τρισδιάστατο στοιχείο (SOLID 70), είναι ένα κυβικό στοιχείο, έχει οκτώ θερμικούς βαθμούς ελευθερίας (θερμοκρασία σε κάθε κόμβο).</p>   |

Πίνακας 3.2. : Αντιπροσωπευτικά θερμικά στοιχεία του ANSYS.

3. **ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΡΕΥΣΤΟΥ (FLUID ELEMENTS):** Για αυτήν την ομάδα στοιχείων, ανάλογα με τον τύπο και τους βαθμούς ελευθερίας εμφανίζονται συνήθως ως ζευγάρι στους κόμβους, ταχύτητα-πίεση ή πίεση-θερμοκρασία.

- **Καθορισμός των πραγματικών σταθερών (Real Constants):** Οι πραγματικές σταθερές χρησιμοποιούνται για τον ορισμό των παραμέτρων του είδους του στοιχείου (element type) που έχει ήδη επιλεγεί. Ανάλογα με το στοιχείο που χρησιμοποιείται μπορεί να εκφράζουν επιφάνεια, πάχος, εσωτερική-εξωτερική διάμετρος, κ.λπ. Είναι προφανές ότι μερικοί τύποι στοιχείων, όπως για παράδειγμα τα στερεά (solids), δεν απαιτούν τον ορισμό πραγματικών σταθερών.
- **Καθορισμός των ιδιοτήτων των υλικών (Material Properties):** Ανάλογα με τον τύπο της ανάλυσης που θα διεξαχθεί, απαιτείται ο ορισμός κάποιων συγκεκριμένων μηχανικών ιδιοτήτων των υλικών της κατασκευής, όπως είναι για παράδειγμα το μέτρο ελαστικότητας, ο λόγος Poisson, η πυκνότητα, ο συντελεστής θερμικής διαστολής, κ.α. Η μηχανική συμπεριφορά των υλικών μπορεί να είναι:

- Γραμμική ή μη γραμμική.
- Ισότροπη ή ανισότροπη.

- **Σχεδιασμός της πρότυπης γεωμετρίας της κατασκευής:** Αποτελεί το σχεδιαστικό μέρος της κατασκευής του μοντέλου, όπου με τις κατάλληλες εντολές τύπου CAD, δημιουργούμε την γεωμετρία της κατασκευής που θέλουμε να αναλύσουμε. Έχουμε τη δυνατότητα να δημιουργήσουμε σημεία, γραμμές, επιφάνειες και όγκους.
- **Διακριτοποίηση (meshing).** Ο σχεδιασμός της γεωμετρίας της υπό ανάλυση κατασκευής γίνεται αποκλειστικά και μόνο για να δημιουργηθεί το πλέγμα της γεωμετρίας, όσο δυνατόν πιο εύχρηστα και αποτελεσματικά. Μόλις ολοκληρωθεί το στερεό πρότυπο, ο χρήστης προβαίνει στην διακριτοποίηση του μοντέλου, αφού πρώτα έχει ορίσει το τύπο των στοιχείων και τις πραγματικές σταθερές αν αυτές χρειάζονται καθώς επίσης και το υλικό του υπό διακριτοποίηση τμήματος της κατασκευής. Το ANSYS προσφέρει διάφορες επιλογές για να επιτευχθεί η ιδανικότερη διακριτοποίηση. Αυτές είναι η ελεύθερη (free) και χαρτογραφημένη (mapped) διακριτοποίηση. Επίσης παρέχονται στον χρήστη πολλές δυνατότητες για την ρύθμιση του μεγέθους του πλέγματος. Γενικά, ένας μεγάλος αριθμός στοιχείων παρέχει μια καλύτερη προσέγγιση της λύσης. Εντούτοις, σε μερικές περιπτώσεις, ένας υπερβολικός αριθμός στοιχείων μπορεί αυξήσει την πιθανότητα λάθους. Επομένως, είναι σημαντικό το μέγεθος του πλέγματος να είναι επαρκώς αραιό ή πυκνό στις κατάλληλες περιοχές. Πόσο αραιό ή πυκνό πρέπει να είναι το πλέγμα σε αυτές τις περιοχές είναι μια σημαντική ερώτηση. Δυστυχώς, δεν υπάρχει μια συγκεκριμένη απάντηση για τον καθορισμό εξ' αρχής του κατάλληλου πλέγματος, δεδομένου ότι εξαρτάται από το συγκεκριμένο φυσικό πρόβλημα που αναλύεται κάθε φορά. Εντούτοις, υπάρχουν μερικές τεχνικές που να είναι χρήσιμες για τον καθορισμό του κατάλληλου μεγέθους του πλέγματος. Μια από αυτές τις τεχνικές είναι η εξής: Το μοντέλο αναλύεται με ένα αρχικό μέγεθος πλέγματος και κατόπιν αναλύεται ξανά με ένα διαφορετικό μέγεθος πλέγματος (συνήθως μιάμιση έως δύο φορές πιο πυκνό). Οι δύο λύσεις συγκρίνονται και εάν τα αποτελέσματα συγκλίνουν μεταξύ τους, η αρχική διαμόρφωση πλέγματος θεωρείται επαρκής. Εάν υπάρχουν ουσιαστικές διαφορές μεταξύ των δύο, η ανάλυση πρέπει να συνεχιστεί με πιο πυκνά μεγέθη πλεγμάτων και να συγκρίνονται τα αποτελέσματα μέχρι να επιτευχθεί η σύγκλιση.

#### 4. ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΕΝΤΟΛΩΝ ΤΟΥ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΤΗ SOLUTION.

Οι σημαντικότερες εργασίες που γίνονται στο στάδιο αυτό είναι οι εξής:

- Ορισμός του είδους της ανάλυσης (analysis type) που θα διεξαχθεί. Το ANSYS ως πρόγραμμα γενικού σκοπού έχει τη δυνατότητα να επιλύσει ένα ευρύ φάσμα προβλημάτων εφαρμοσμένης μηχανικής. Με έμφαση τα προβλήματα του ενδιαφέροντος ενός Μηχανολόγου Μηχανικού εστιάζουμε στα παρακάτω είδη ανάλυσης:

I. **Δομική ανάλυση:** Στις αναλύσεις αυτές ζητούμενο είναι η εύρεση της κατανομής των τάσεων, παραμορφώσεων, πιέσεων επιφανείας, καθώς επίσης και των δυνάμεων αντίδρασης σε ένα στερεό σώμα. Μερικές υποκατηγορίες διαθέσιμων αναλύσεων είναι οι εξής:

- **Στατική ανάλυση:** Τα εφαρμοσμένα φορτία και οι συνθήκες στήριξης του στερεού σώματος δεν αλλάζουν με το χρόνο.
- **Ιδιομορφική ανάλυση:** Με αυτό τον τύπο ανάλυσης υπολογίζονται οι φυσικές συχνότητες της ελεύθερης ταλάντωσης της κατασκευής καθώς επίσης και οι αντίστοιχες ιδιομορφίες.
- **Αρμονική ανάλυση:** Με την ανάλυση αυτή μελετούμε τη συμπεριφορά μόνιμης κατάστασης μιας κατασκευής που υποβάλλεται σε φορτία αρμονικά σε σχέση με το χρόνο.
- **Μεταβατική ανάλυση:** Τα εφαρμοσμένα φορτία ή και οι συνθήκες στήριξης του στερεού σώματος αλλάζουν ως συναρτήσεις του χρόνου. Αυτός ο τύπος των αναλύσεων είναι συνήθως και ο πιο χρονοβόρος μιας η λύση προκύπτει κατόπιν ολοκλήρωσης σε όλο το χρόνο εξέλιξης του φαινομένου του προβλήματος.

II. **Ορισμός συνοριακών συνθηκών (Boundary conditions).** Το ANSYS έχει τη δυνατότητα να ορίσει σε ένα πρόβλημα φορτία, πιέσεις, στηρίξεις και αντιδράσεις, ανάλογα με το είδος της ανάλυσης. Όλα αυτά για λόγους ευχρηστίας μπορούν να οριστούν πάνω σε σημεία, γραμμές, επιφάνειες, κόμβους και σε στοιχεία και να μεταφερθούν αυτόματα τελικά στους κόμβους του πλέγματος, όπως απαιτείται από τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων.

III. **Επίλυση του προβλήματος.** Το ANSYS επιλύει το πρότυπο πεπερασμένο μοντέλο. Ο χρόνος επίλυσης του προβλήματος εξαρτάται κάθε φορά από το είδος της ανάλυσης, την ιδιαιτερότητα της γεωμετρίας του μοντέλου, το μέγεθος του πλέγματος και από τη πολυπλοκότητα των οριακών συνθηκών.

## 5. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΕΝΤΟΛΩΝ ΤΟΥ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΤΗ POST PROCESSOR:

Σε αυτόν τον επεξεργαστή παρατίθενται τα αποτελέσματα τα οποία μπορεί να είναι διανυσματικές επιδείξεις, λίστες αποτελεσμάτων, το παραμορφωμένο σώμα, κατανομή μετατοπίσεων και τάσεων.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΕΠΙΛΥΣΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΗΚΩΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ANSYS

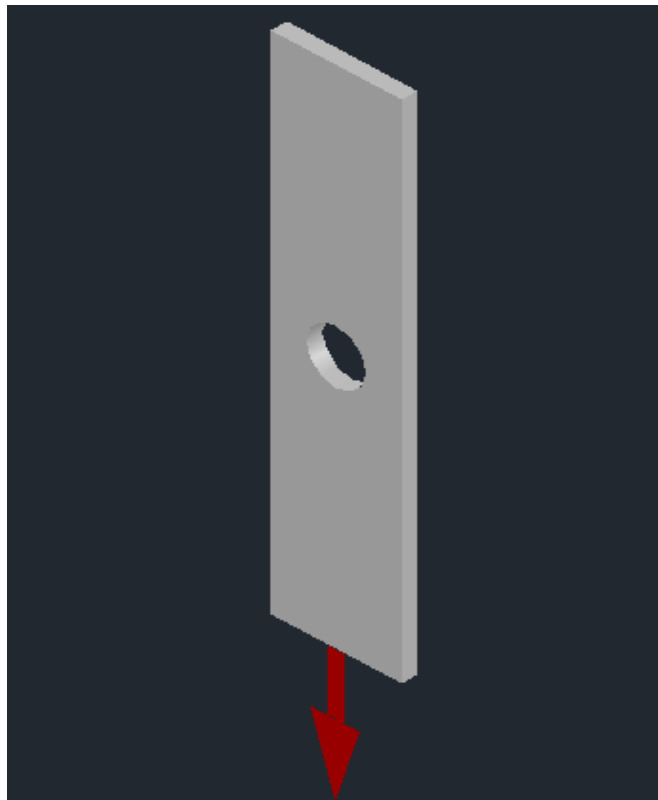
### 4. ΕΠΙΛΥΣΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΗΚΩΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ANSYS.

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται αναλυτικά η σχεδίαση και η επίλυση επτά χαρακτηριστικών παραδειγμάτων με τη χρήση του προγράμματος ANSYS, ως αντιπροσωπευτικό δείγμα των προβλημάτων που επιλύθηκαν στα αντίστοιχα πειράματα.

#### 4.1. ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΠΙΠΕΔΗΣ ΟΡΘΟΓΩΝΙΑΣ ΠΛΑΚΑΣ ΜΕ ΟΠΗ

##### ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Έστω μια ορθογώνια πλάκα από υλικό PLM-4B διατάσεων 40 mm x 170 mm x 5 mm , η οποία είναι κατασκευασμένη από ισότροπο ομογενές υλικό με μέτρο Ελαστικότητας  $E=0.13$  GPa και λόγο Poisson  $\nu = 0.45$ . Στο κέντρο της πλάκας υπάρχει μια κυκλική οπή διαμέτρου 18 mm, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.1.1.



**Σχήμα 4.1.1.** : Εφελκυσμός ορθογώνιας πλάκας με κυκλική οπή στο κέντρο της.

Η πλάκα στην επάνω πλευρά της είναι πακτωμένη ενώ στην κάτω πλευρά της εφελκύεται με μια ορθή τάση 4 N.

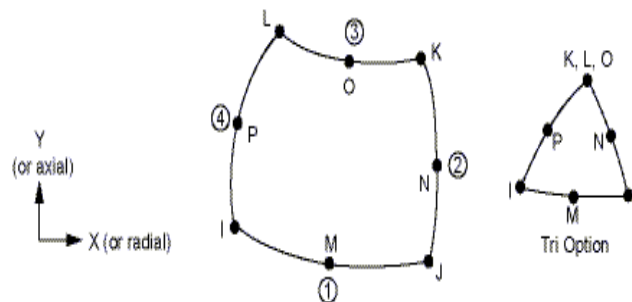
Σκοπός του προβλήματος είναι ο υπολογισμός της συγκέντρωσης των τάσεων που αναπτύσσονται, λόγω της ύπαρξης της οπής, γύρω από αυτή. Συνοπτικά όλα τα δεδομένα του προβλήματος παρουσιάζονται στον πίνακα 4.1.1.

| Γεωμετρικά χαρακτηριστικά πλάκας | (mm)     |
|----------------------------------|----------|
| Ύψος (height)                    | 170      |
| Πλάτος (width)                   | 40       |
| Πάχος (thickness)                | 5        |
| Ακτίνα οπής (radius)             | 9        |
| <b>Ιδιότητες υλικού:</b>         |          |
| Μέτρο ελαστικότητας E            | 0.13 GPa |
| Υλός Poisson $\nu$               | 0.45     |
| <b>Φόρτιση</b>                   |          |
| Εφελκυστική ορθή τάση            | 4 N      |

**Πίνακας 4.1.1.:** Δεδομένα του προβλήματος

### ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

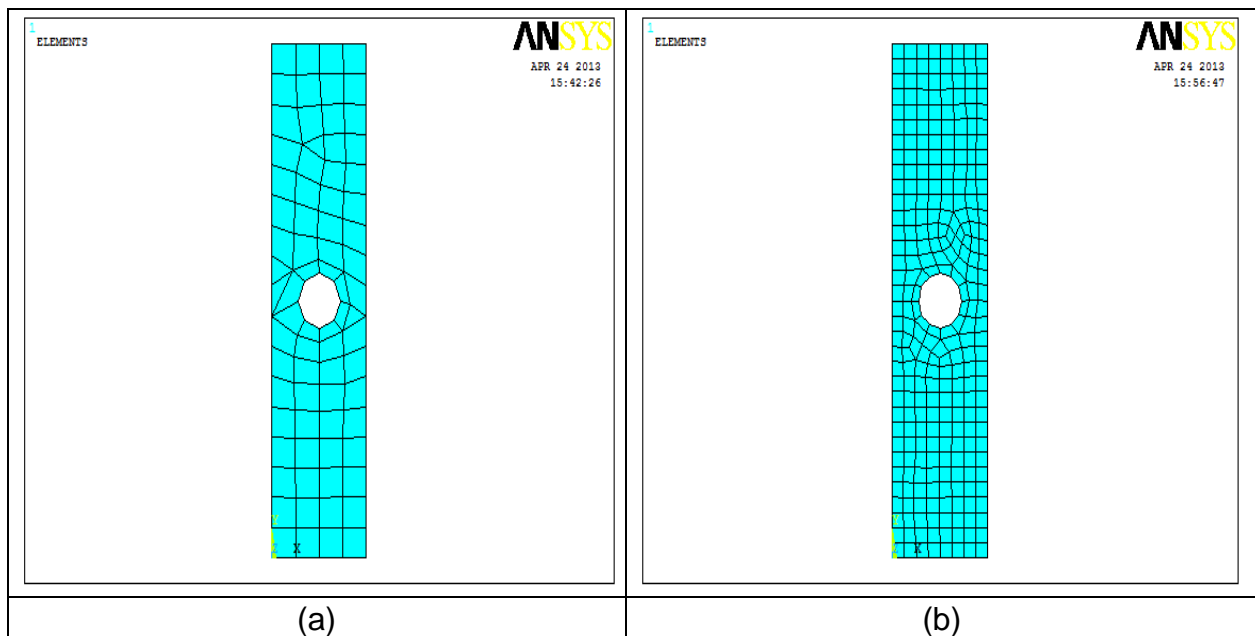
Λόγω του μικρού πάχους της πλάκας σε σχέση με τις άλλες διαστάσεις της, για την μοντελοποίηση θεωρούμε ότι κατά την καταπόνηση της αναπτύσσεται επίπεδη κατάσταση τάσεων (plane stress). Για το λόγο αυτό για την κατασκευή του μοντέλου των πεπερασμένων στοιχείων χρησιμοποιούνται επιφανειακά τρισδιάστατα στοιχεία (PLANE 183), διακριτοποιώντας την μέση επιφάνεια της πλάκας και το πάχος της λαμβάνεται υπόψη ως ιδιότητα του στοιχείου (στο ANSYS μέσω του ορισμού ενός real constant). Το στοιχείο (PLANE 183) καθορίζεται από 18 κόμβους, με τρεις βαθμούς ελευθερίας σε κάθε κόμβο. Στο σχήμα 4.1.2 που ακολουθεί φαίνεται η γεωμετρία, η τοποθεσία των κόμβων, και το σύστημα συντεταγμένων για το στοιχείο PLANE 183.



**Σχήμα 4.1.2.:** Απεικόνιση του στοιχείου PLANE 183.



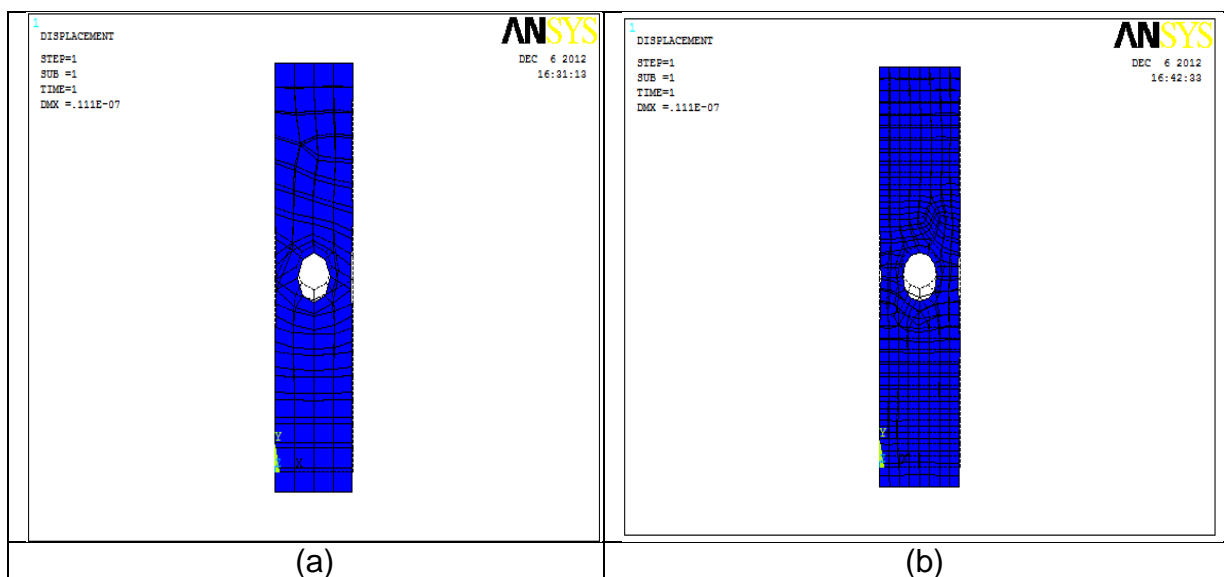
Με σκοπό την πιστοποίηση της σύγκλισης των αποτελεσμάτων η πλάκα διαφοροποιήθηκε με δυο διαφορετικά μεγέθη πλέγματος. Το πλέγμα 1 (το πιο αραιό), σχήμα 4.1.3.a, αποτελείται από 75 PLANE 183 στοιχεία ενώ το πλέγμα 2 (το πιο πυκνό), σχήμα 4.1.3.b, από 272 PLANE 183.



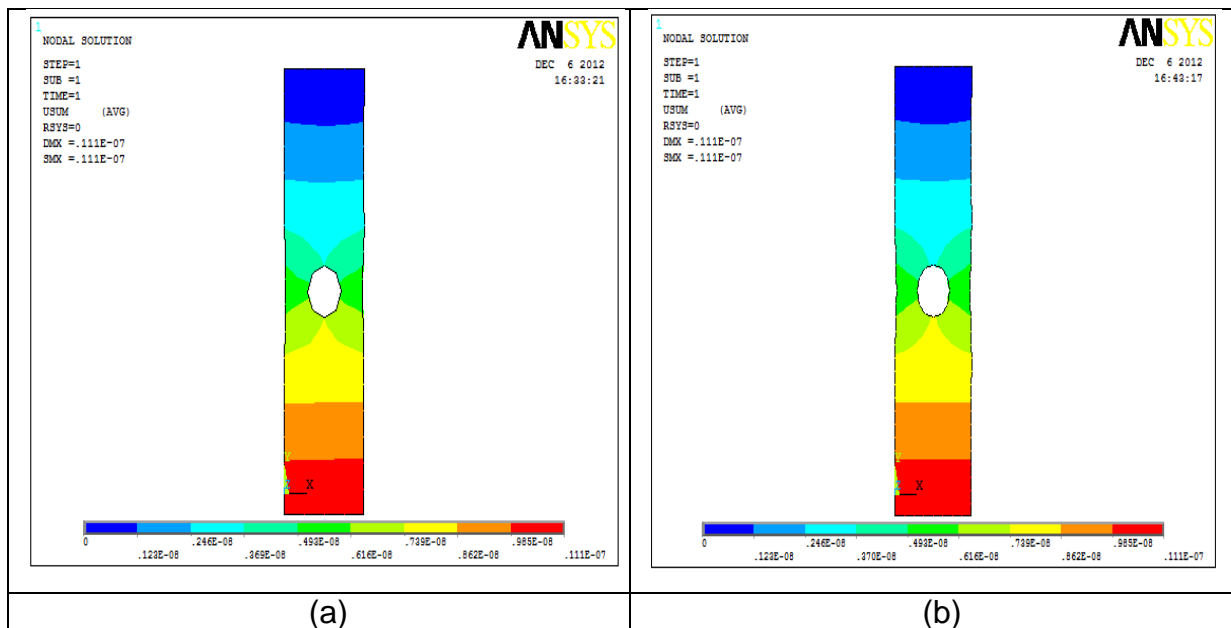
**Σχήμα 4.1.3.** : (a) Πλέγμα 1 (75 elements) και (b) Πλέγμα 2 (272 elements).

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στα σχήματα 4.1.4. και 4.1.5. παρουσιάζονται η παραμορφωμένη πλάκα και η κατανομή των μετατοπίσεων, αντίστοιχα, όπως προκύπτει από την επίλυση του προβλήματος με τη χρήση των δύο πλεγμάτων. Παρατηρώντας το σχήμα της παραμορφωμένης πλάκας, διαπιστώνει κανείς ότι λόγω της οπής υπάρχει στο μέσο της πλάκας μια μέγιστη εγκάρσια μετατόπιση, ενώ το σχήμα της οπής από κυκλικό γίνεται οβάλ με το μεγάλο άξονα της έλλειψης να είναι παράλληλος με τη φόρτιση.

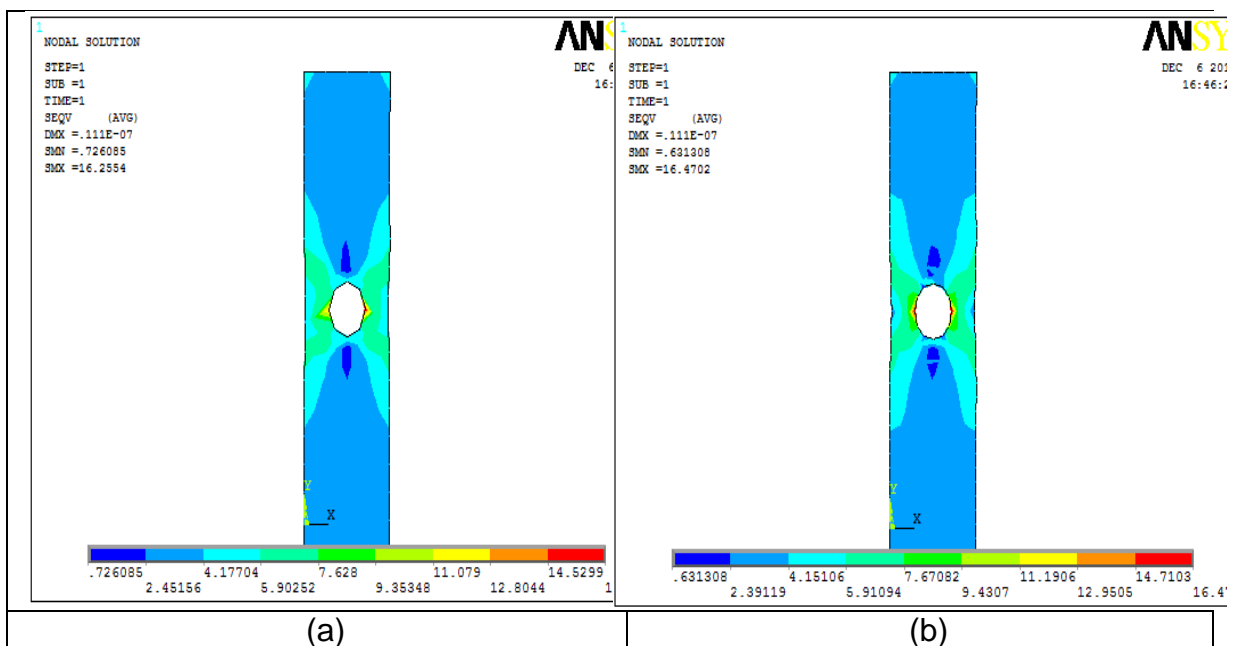


**Σχήμα 4.1.4.** : Παραμορφωμένη πλάκα.



Σχήμα 4.1.5. : Κατανομή των μετατοπίσεων.

Στο σχήμα 4.1.6. , παρουσιάζεται η κατανομή της ισοδύναμης τάσης όπως αυτή προκύπτει από το κριτήριο αστοχίας Von Mises για τα πλέγματα 1 και 2, αντίστοιχα.

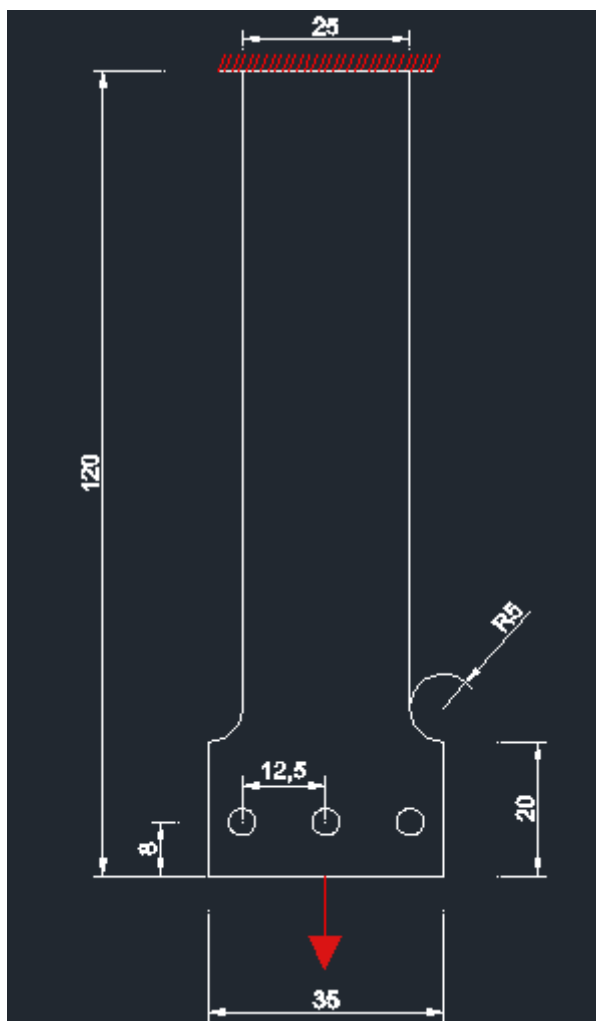


Σχήμα 4.1.6.: Κατανομή των τάσεων.

## 4.2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΜΜΕΤΡΙΚΟΥ ΣΩΜΑΤΟΣ

### ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Έστω ένα συμμετρικό σώμα από υλικό PLM-4B, ως προς τη γεωμετρία, σχήμα με διαστάσεις όπως φαίνονται στο σχήμα 4.2.1. Όλα τα μέλη του είναι κατασκευασμένα από ισότροπο ομογενές υλικό με μέτρο ελαστικότητας  $E=0.13 \text{ GPa}$  και λόγο Poisson  $\nu=0.45$ .



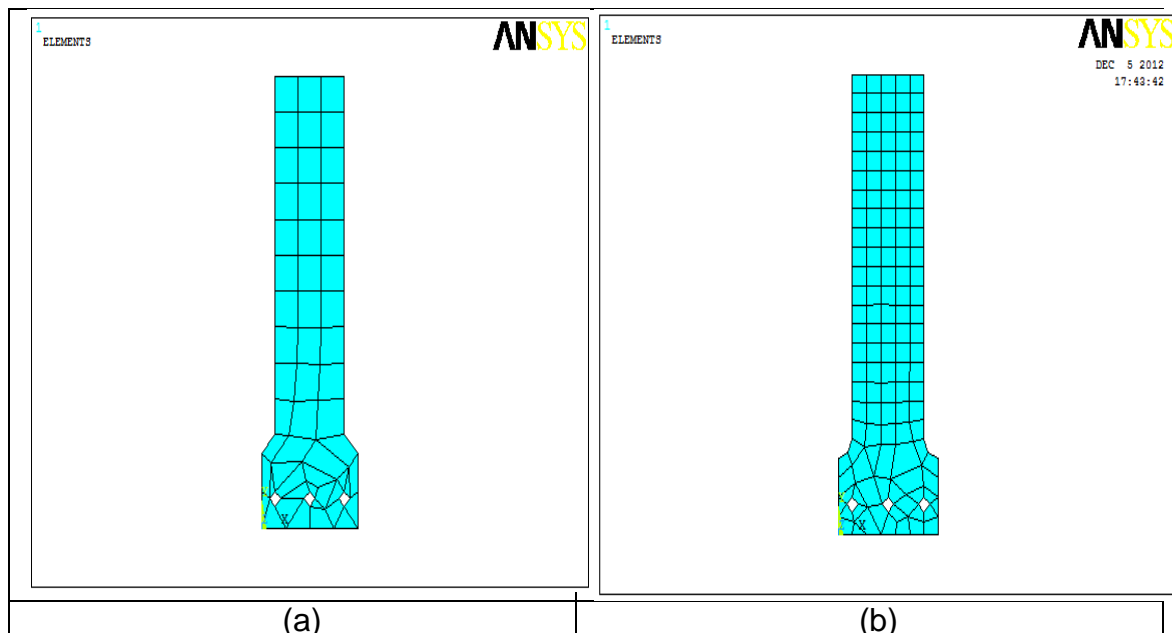
Σχήμα 4.2.1.: Συμμετρικό σχήμα.

Η πλάκα στην επάνω πλευρά της είναι πακτωμένη ενώ στην κάτω πλευρά της εφελκύεται με μια ορθή τάση 4 N. Σκοπός του προβλήματος είναι ο υπολογισμός της συγκέντρωσης των τάσεων που αναπτύσσονται, λόγω της ύπαρξης των οπών, γύρω από αυτή. Συνοπτικά όλα τα δεδομένα του προβλήματος παρουσιάζονται στον πίνακα 4.2.1.

| ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΛΑΚΑΣ | (mm)                    |
|----------------------------------|-------------------------|
| Ύψος (height)                    | 120                     |
| Πλάτος (width)                   | 35                      |
| Πάχος (thickness)                | 5                       |
| Ακτίνα οπών (radius)             | 2                       |
| Τόξο (Arc)                       | 5                       |
| Πυκνότητα                        | 2680 gr/cm <sup>3</sup> |
| <b>Ιδιότητες υλικού:</b>         |                         |
| Μέτρο ελαστικότητας $E$          | 0.13 GPa                |
| Βλόγος Poisson $\nu$             | 0.45                    |
| <b>Φόρτιση</b>                   |                         |
| Εφελκυστική ορθή τάση            | 4 N                     |

**Πίνακας 4.2.1. :** Δεδομένα του προβλήματος.

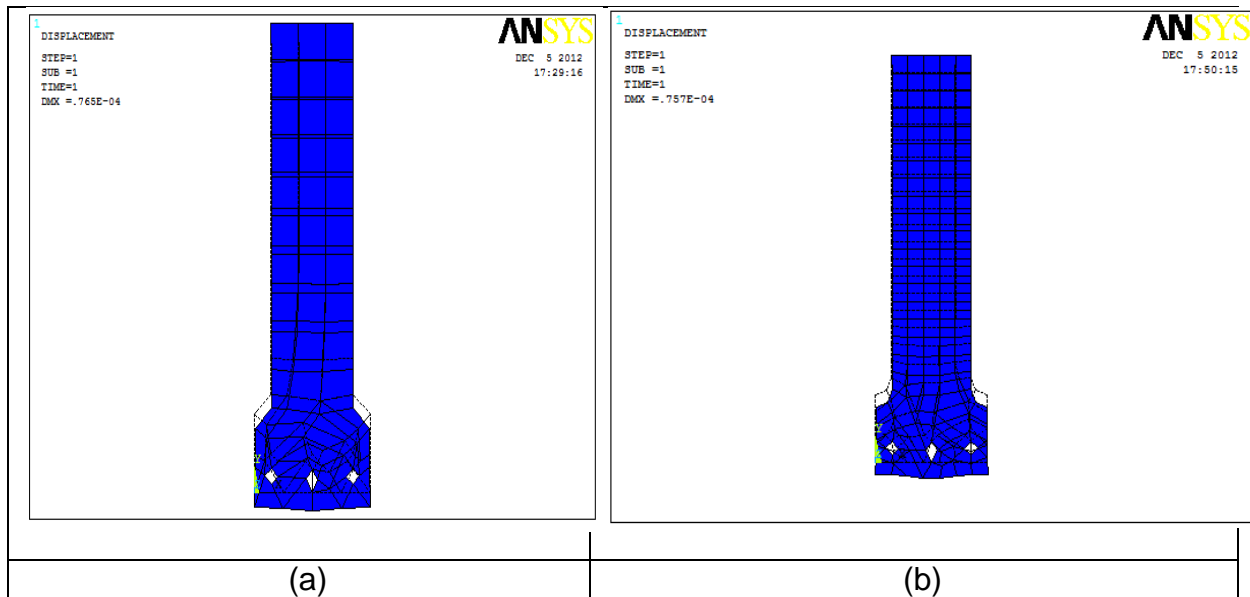
### ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ



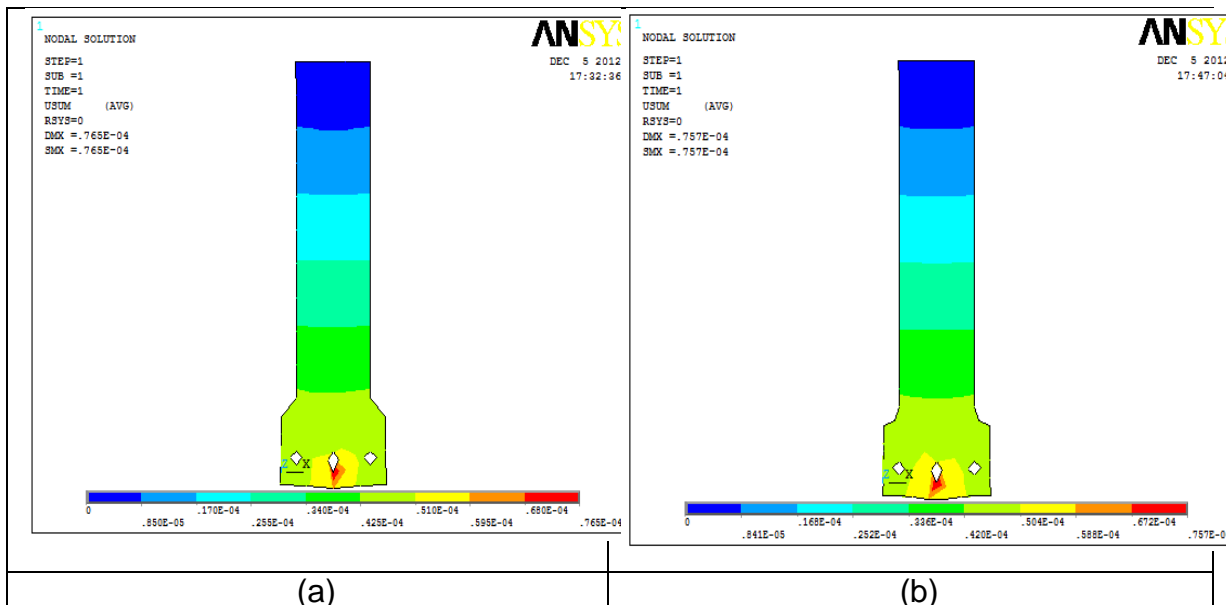
**Σχήμα 4.2.2. :** (a) Πλέγμα 1 (56 elements) και (b) Πλέγμα 2 (154 elements).

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στα σχήματα 4.2.3 και 4.2.4 παρουσιάζονται η παραμορφωμένη πλάκα και η κατανομή των μετατοπίσεων, αντίστοιχα, όπως προκύπτει από την επίλυση του προβλήματος με τη χρήση των δύο πλεγμάτων. Παρατηρώντας το σχήμα της παραμορφωμένης πλάκας, διαπιστώνει κανείς ότι λόγω των οπών υπάρχει στο κάτω άκρο πλάκας μια μέγιστη εγκάρσια μετατόπιση, επίσης υπάρχει και παραμόρφωση στα τόξα του σώματος λόγω των γωνιών που έχουν δημιουργηθεί, ενώ το σχήμα των οπών από κυκλικό γίνεται οβάλ με το μεγάλο άξονα της έλλειψης να είναι παράλληλος με τη φόρτιση.

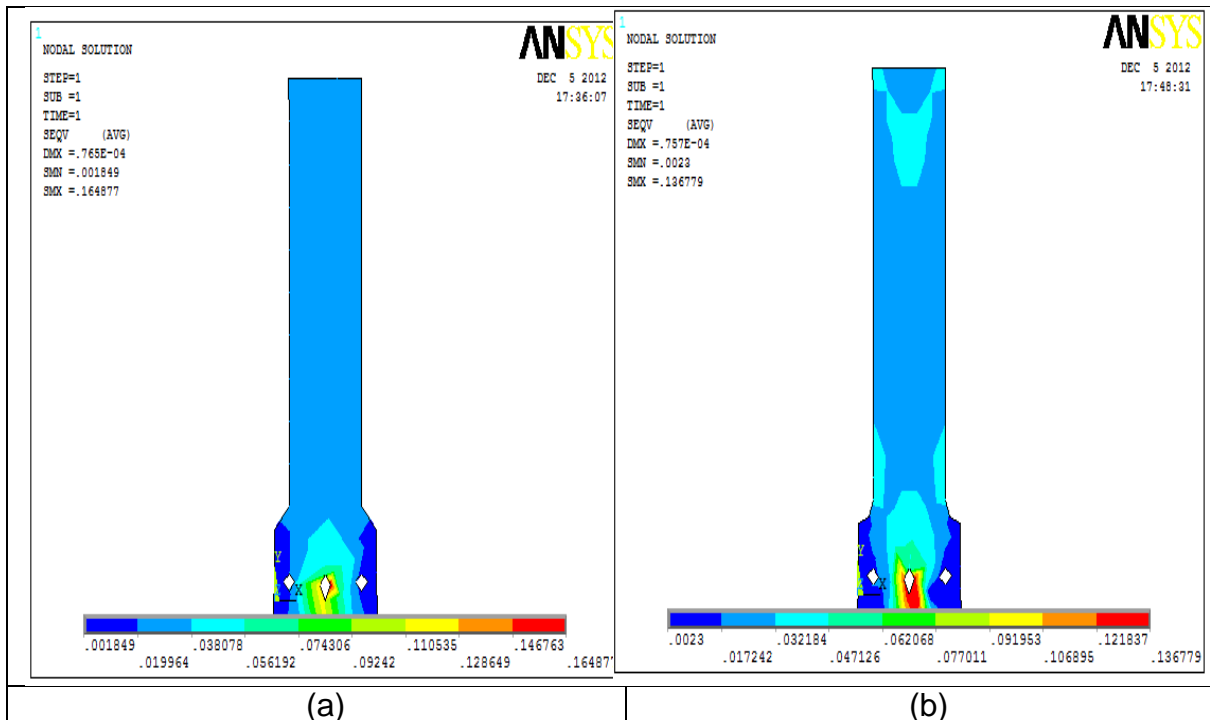


Σχήμα 4.2.3. : Παραμορφωμένη πλάκα.



Σχήμα 4.2.4. : Κατανομή των μετατοπίσεων.

Στο σχήμα 4.2.5., παρουσιάζεται η κατανομή της ισοδύναμης τάσης όπως αυτή προκύπτει από το κριτήριο αστοχίας Von Mises για τα πλέγματα 1 και 2, αντίστοιχα.

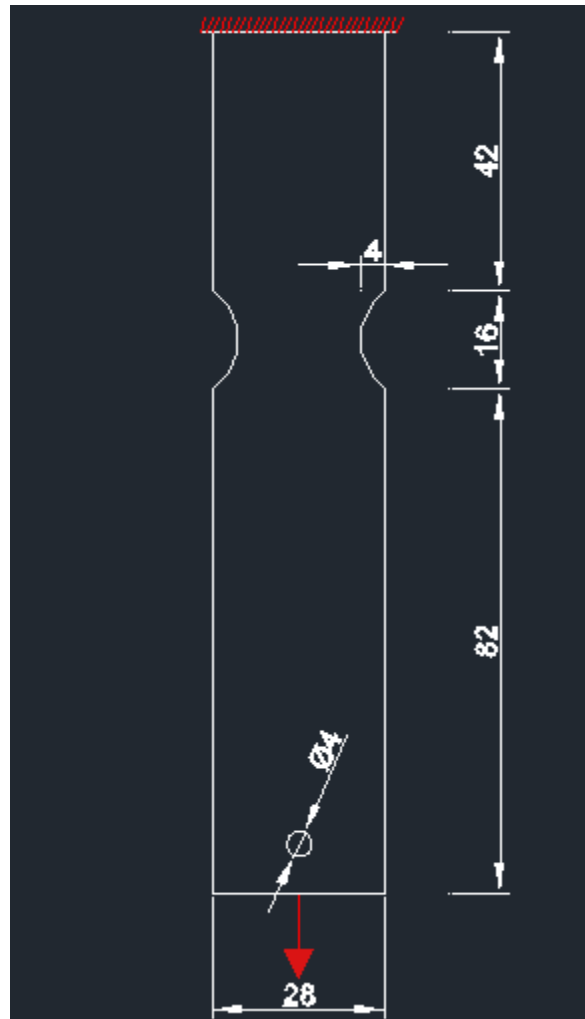


Σχήμα 4.2.5. : Κατανομή των τάσεων.

### 4.3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΜΜΕΤΡΙΚΟΥ ΣΩΜΑΤΟΣ ΜΕ ΤΟΞΑ ΑΠΟ PLM-4B

#### ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Το παρακάτω συμμετρικό σχήμα έχει 2 τόξα στις κάθετες πλευρές τους, και μια οπή για την τοποθέτηση του βαριδίου. Η πλάκα είναι κατασκευασμένη από ισότροπο υλικό PLM-4B με μέτρο ελαστικότητας  $E=0.13 \text{ GPa}$  και λόγο Poisson  $\nu=0.45$ .



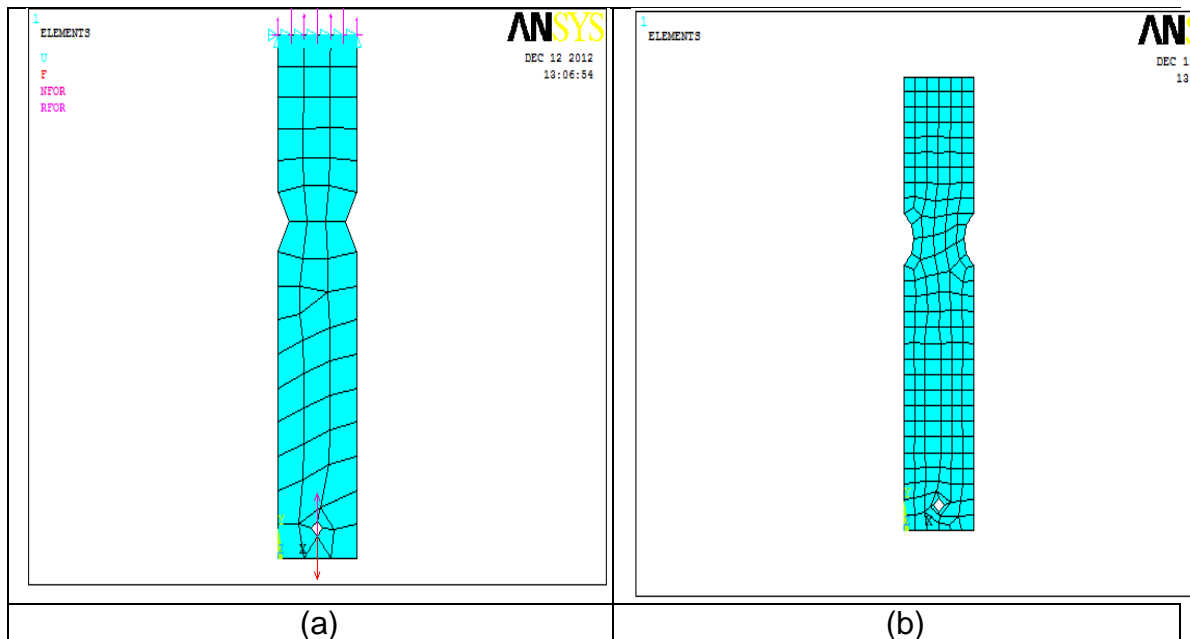
Σχήμα 4.3.1.: Συμμετρικό σχήμα.

Η πλάκα είναι πακτωμένη ενώ στην κάτω πλευρά, από την οπή, εφελκύεται με μια ορθή τάση 4 N. Σκοπός του προβλήματος είναι ο υπολογισμός της συγκέντρωσης των τάσεων που αναπτύσσονται, λόγω της ύπαρξης των οπών, γύρω από αυτή. Συνοπτικά όλα τα δεδομένα του προβλήματος παρουσιάζονται στον πίνακα 4.3.1.

| ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΛΑΚΑΣ | (mm)                    |
|----------------------------------|-------------------------|
| Ύψος (height)                    | 140                     |
| Πλάτος (width)                   | 28                      |
| Πάχος (thickness)                | 5                       |
| Ακτίνα οπών (radius)             | 2                       |
| Πυκνότητα                        | 2680 gr/cm <sup>3</sup> |
| <b>Ιδιότητες υλικού:</b>         |                         |
| Μέτρο ελαστικότητας E            | 0.13 GPa                |
| Υπόλογος Poisson ν               | 0.45                    |
| <b>Φόρτιση</b>                   |                         |
| Εφελκυστική ορθή τάση            | 4 N                     |

Πίνακας 4.3.1.: Δεδομένα του προβλήματος.

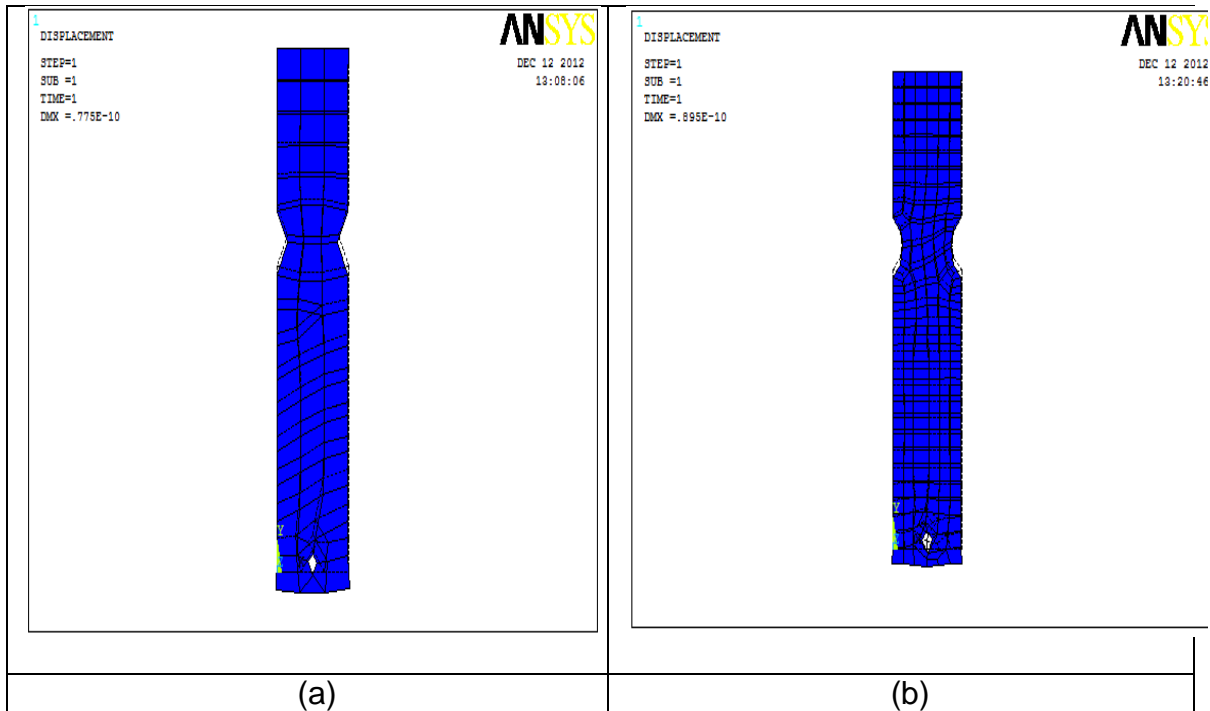
### ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ



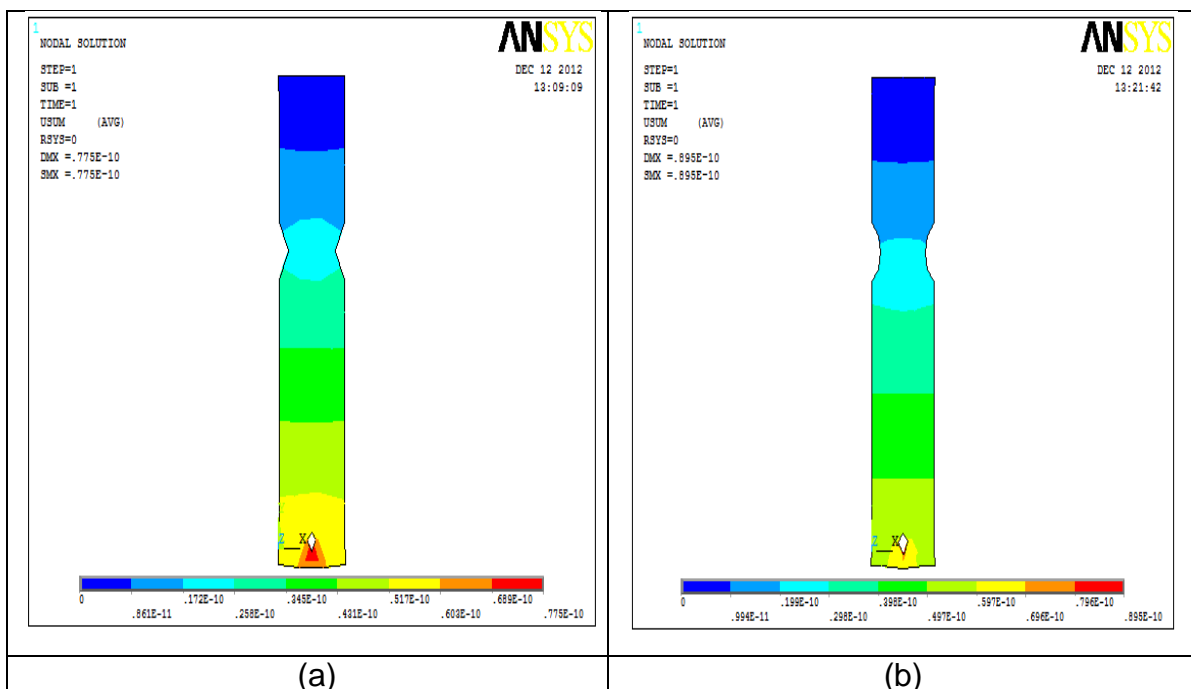
Σχήμα 4.3.2. : (a) Πλέγμα 1 (50 elements) και (b) Πλέγμα 2 (145 elements).



## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

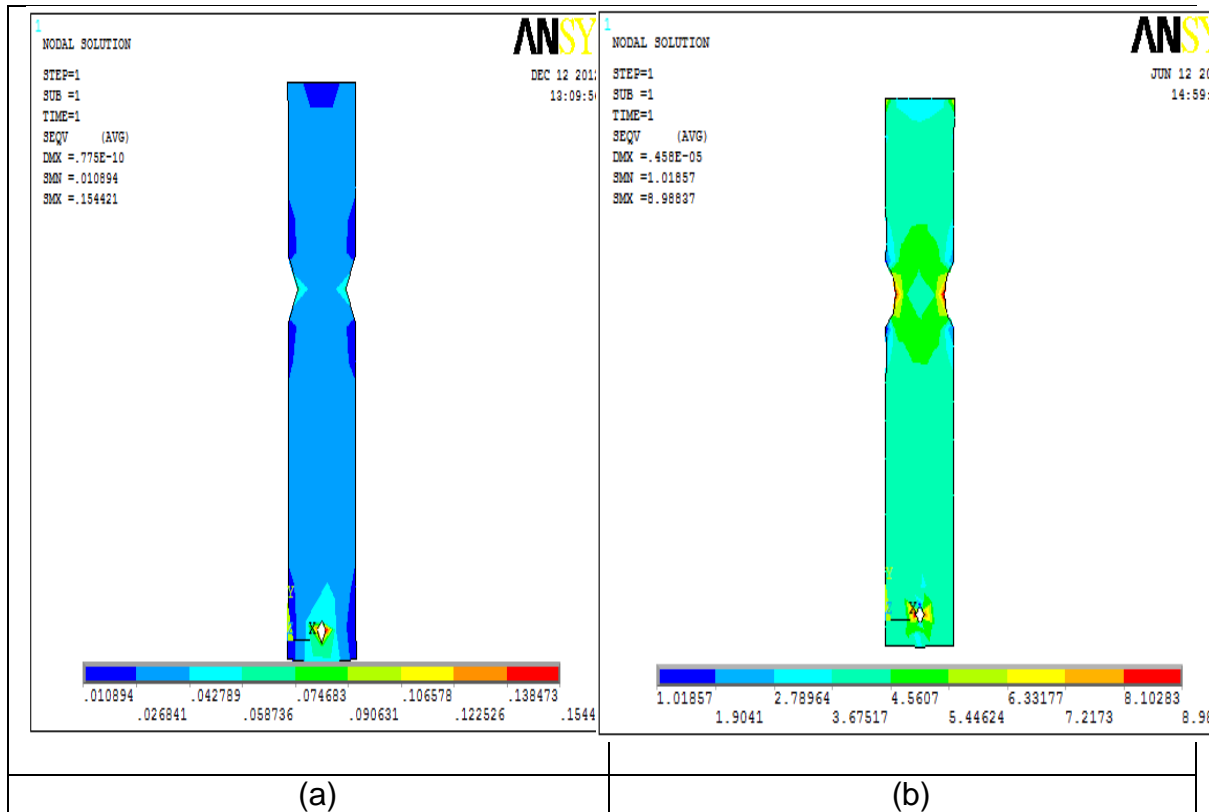


Σχήμα 4.3.3. : Παραμορφωμένη πλάκα.



Σχήμα 4.3.4. : Κατανομή των μετατοπίσεων.

Στο σχήμα 4.3.5., παρουσιάζεται η κατανομή της ισοδύναμης τάσης όπως αυτή προκύπτει από το κριτήριο αστοχίας Von Mises για τα πλέγματα 1 και 2, αντίστοιχα.



Σχήμα 4.3.5. : Κατανομή των τάσεων.

#### 4.4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΜΜΕΤΡΙΚΟΥ ΣΩΜΑΤΟΣ ΜΕ ΤΟΞΑ ΑΠΟ PLEXIGLAS

##### ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Σε ένα συμμετρικό σχήμα από υλικό Plexiglas με 2 τόξα στις κάθετες πλευρές τους, όπως φαίνετε στο παρακάτω σχήμα. Η πλάκα είναι κατασκευασμένη από ισότροπο υλικό με μέτρο ελαστικότητας  $E=3 \text{ GPa}$  και λόγο Poisson  $\nu=0.35$ .



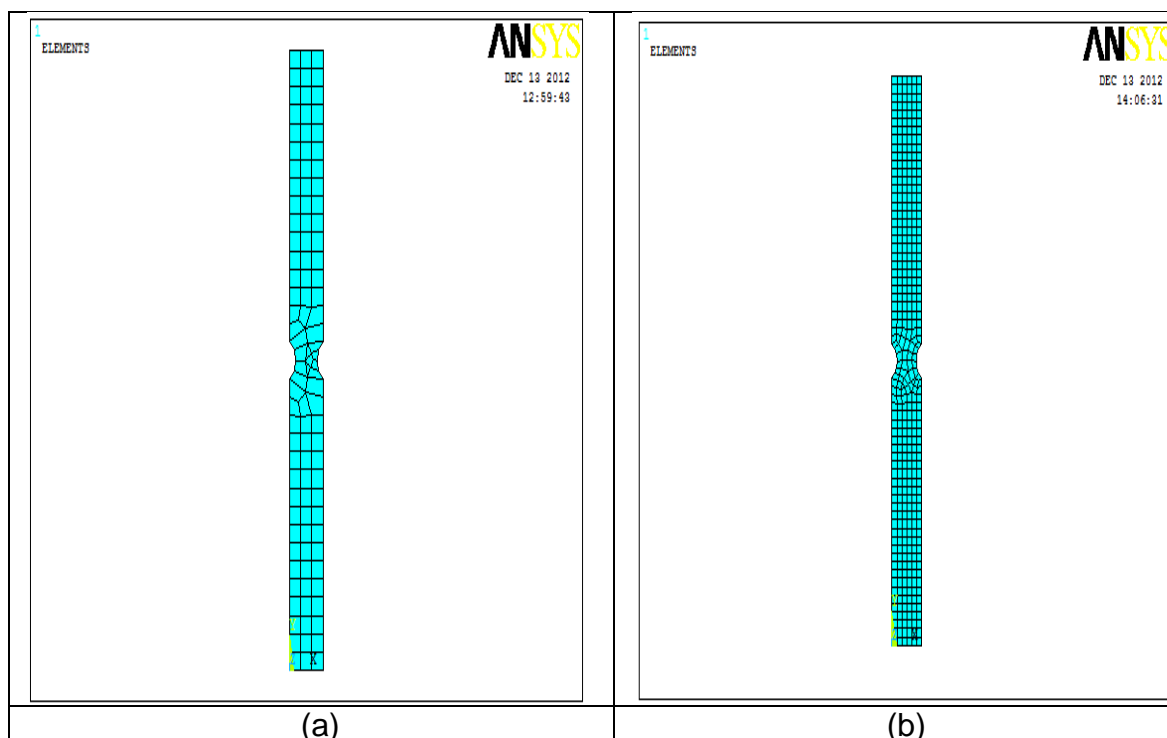
**Σχήμα 4.4.1.:** Συμμετρικό σχήμα.

Η πλάκα στην κάτω πλευρά της είναι πακτωμένη ενώ στην πάνω πλευρά της εφελκύεται με μια ορθή τάση 10 N. Σκοπός του προβλήματος είναι ο υπολογισμός της συγκέντρωσης των τάσεων που αναπτύσσονται, λόγω της ύπαρξης των τόξων, γύρω από αυτά. Συνοπτικά όλα τα δεδομένα του προβλήματος παρουσιάζονται στον πίνακα 4.4.1.

| ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΛΑΚΑΣ | (mm)                    |
|----------------------------------|-------------------------|
| Ύψος (height)                    | 330                     |
| Πλάτος (width)                   | 30                      |
| Πάχος (thickness)                | 3                       |
| Ακτίνα τόξων (radius)            | 5                       |
| Πυκνότητα                        | 1200 gr/cm <sup>3</sup> |
| <b>Ιδιότητες υλικού:</b>         |                         |
| Μέτρο ελαστικότητας $E$          | 3 GPa                   |
| Ν Λόγος Poisson $\nu$            | 0.35                    |
| <b>Φόρτιση</b>                   |                         |
| Εφελκυστική ορθή τάση            | 10 N                    |

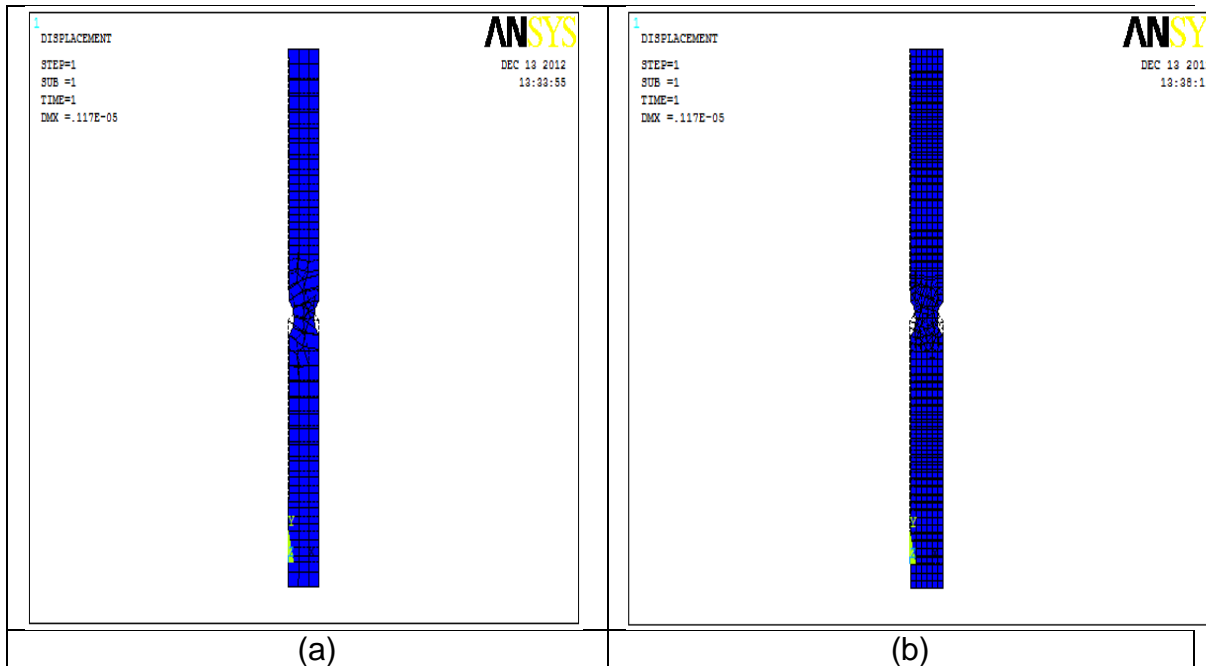
Πίνακας 4.4.1: Δεδομένα του προβλήματος.

#### ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

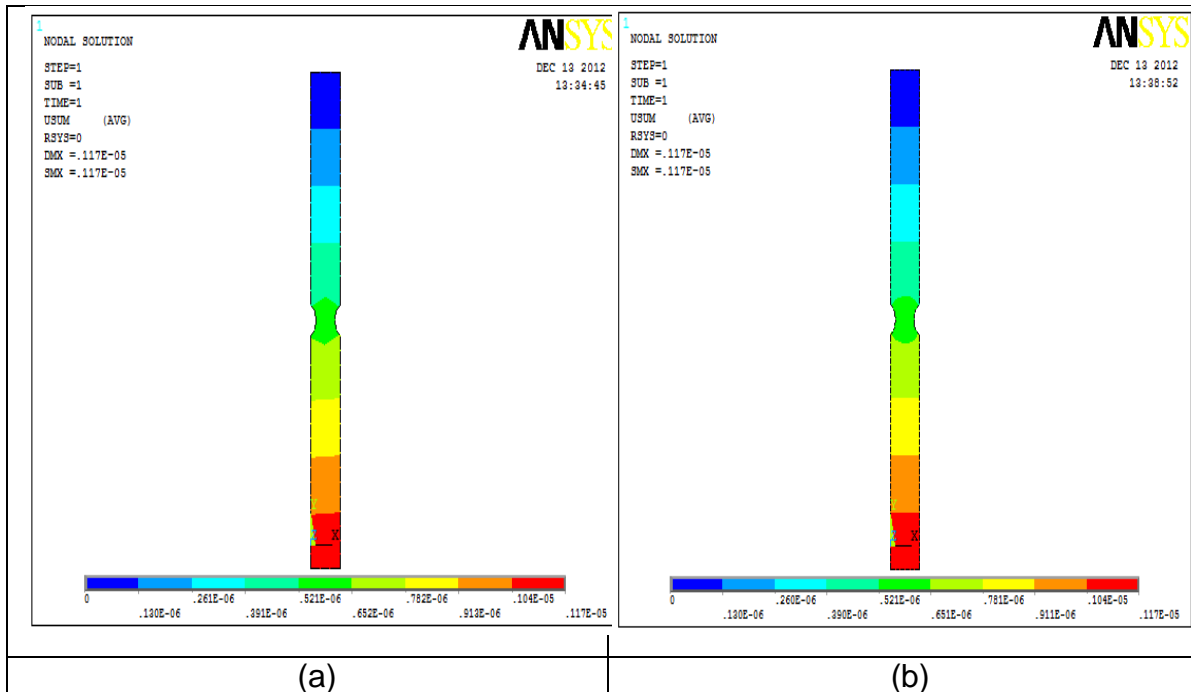


Σχήμα 4.4.2. : (a) Πλέγμα 1 (109 elements) και (b) Πλέγμα 2 (404 elements).

# ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

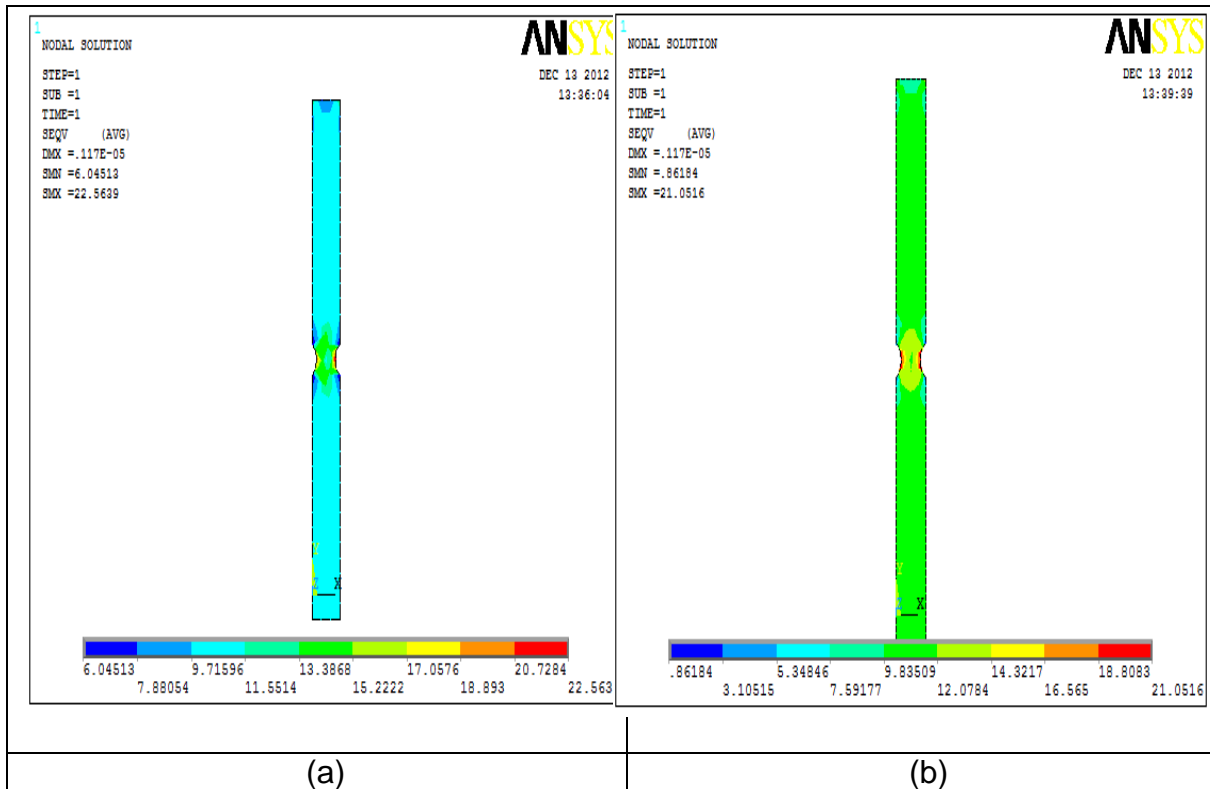


Σχήμα 4.4.3. : Παραμορφωμένη πλάκα.



Σχήμα 4.4.4. : Κατανομή των μετατοπίσεων.

Στο σχήμα 4.4.5., παρουσιάζεται η κατανομή της ισοδύναμης τάσης όπως αυτή προκύπτει από το κριτήριο αστοχίας Von Mises για τα πλέγματα 1 και 2, αντίστοιχα.

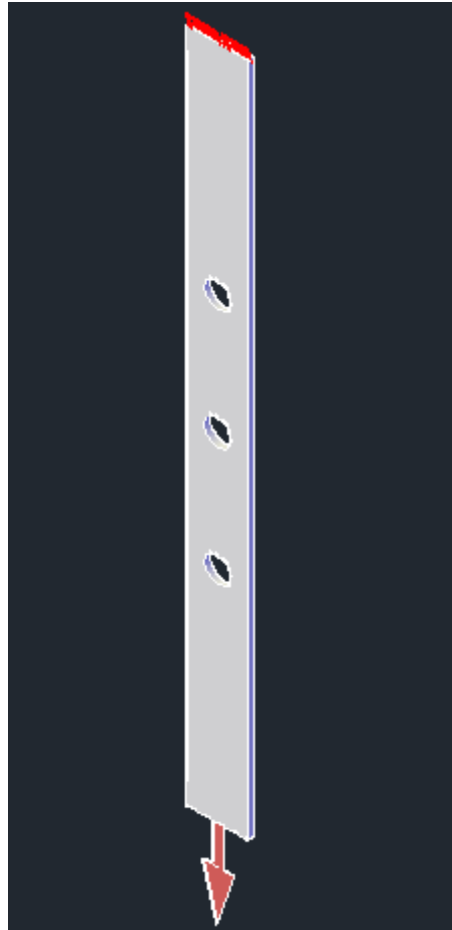


Σχήμα 4.4.5. : Κατανομή των τάσεων.

## 4.5. ΑΝΑΛΥΣΗ ΟΡΘΟΓΩΝΙΑΣ ΠΛΑΚΑΣ ΜΕ 3 ΕΓΚΑΡΣΙΕΣ ΟΠΕΣ

### ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Η παρακάτω ορθογώνια πλάκα έχει διαστάσεις 30 mm x 340 mm x 3 mm η οποία είναι κατασκευασμένη από ισότροπο ομογενές υλικό με μέτρο Ελαστικότητας  $E=3 \text{ GPa}$  και λόγο Poisson  $\nu = 0.35$ . Στο κέντρο της πλάκας υπάρχουν 3 κυκλικές οπές διαμέτρου 14 mm, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.5.1.



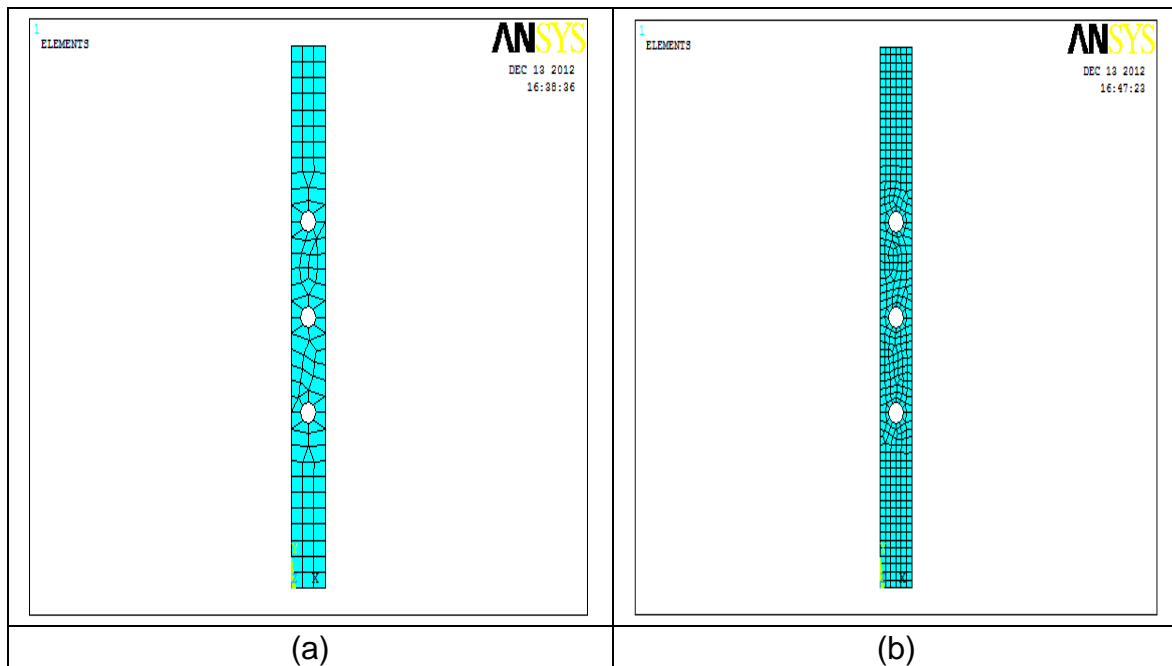
Σχήμα 4.5.1. : Εφελκυσμός ορθογώνιας πλάκας .

Η πλάκα είναι πακτωμένη στην πάνω πλευρά της ενώ στην κάτω πλευρά της εφελκύεται με μια ορθή τάση 10 N. Σκοπός του προβλήματος είναι ο υπολογισμός της συγκέντρωσης των τάσεων που αναπτύσσονται, λόγω της ύπαρξης της οπής, γύρω από αυτή. Συνοπτικά όλα τα δεδομένα του προβλήματος παρουσιάζονται στον πίνακα 4.5.1.

| ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΛΑΚΑΣ | (mm)                    |
|----------------------------------|-------------------------|
| Ύψος (height)                    | 340                     |
| Πλάτος (width)                   | 30                      |
| Πάχος (thickness)                | 3                       |
| Ακτίνα σπής (radius)             | 7                       |
| Πυκνότητα                        | 1200 gr/cm <sup>3</sup> |
| <b>Ιδιότητες υλικού:</b>         |                         |
| Μέτρο ελαστικότητας $E$          | 3 GPa                   |
| $\nu$ Λόγος Poisson $\nu$        | 0.35                    |
| <b>Φόρτιση</b>                   |                         |
| Εφελκυστική ορθή τάση            | 10 N                    |

**Πίνακας 4.5.1. :** Δεδομένα του προβλήματος.

#### ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

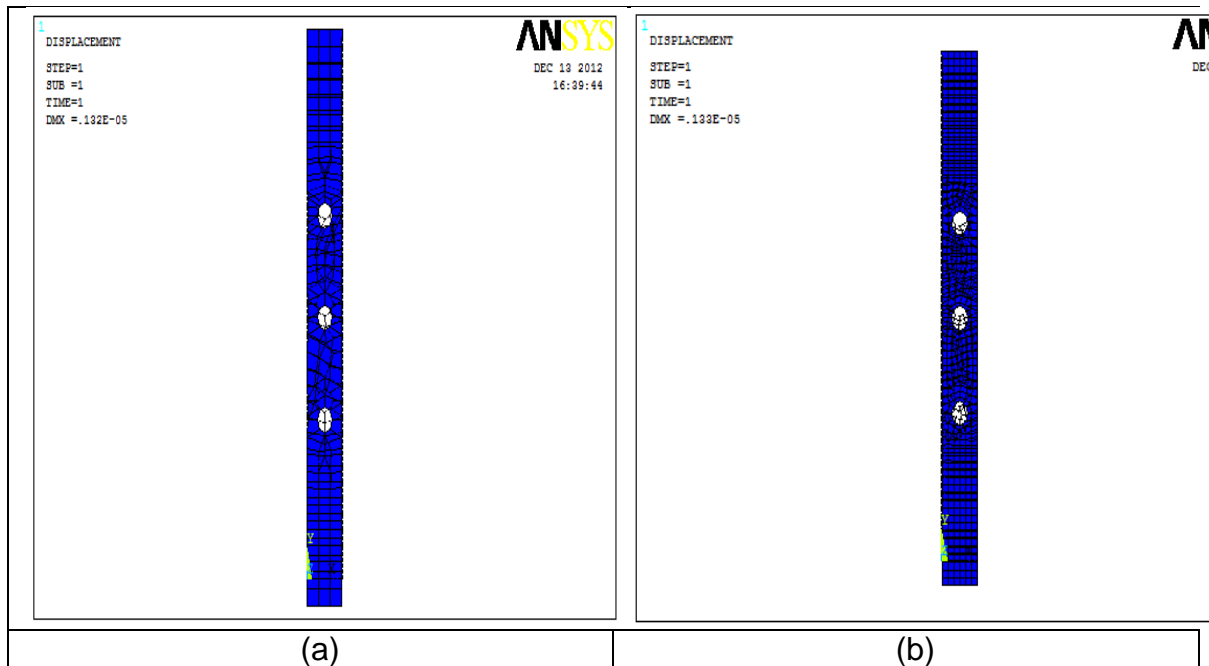


**Σχήμα 4.5.2. :** (a) Πλέγμα 1 (96 elements) και (b) Πλέγμα 2 (398 elements).

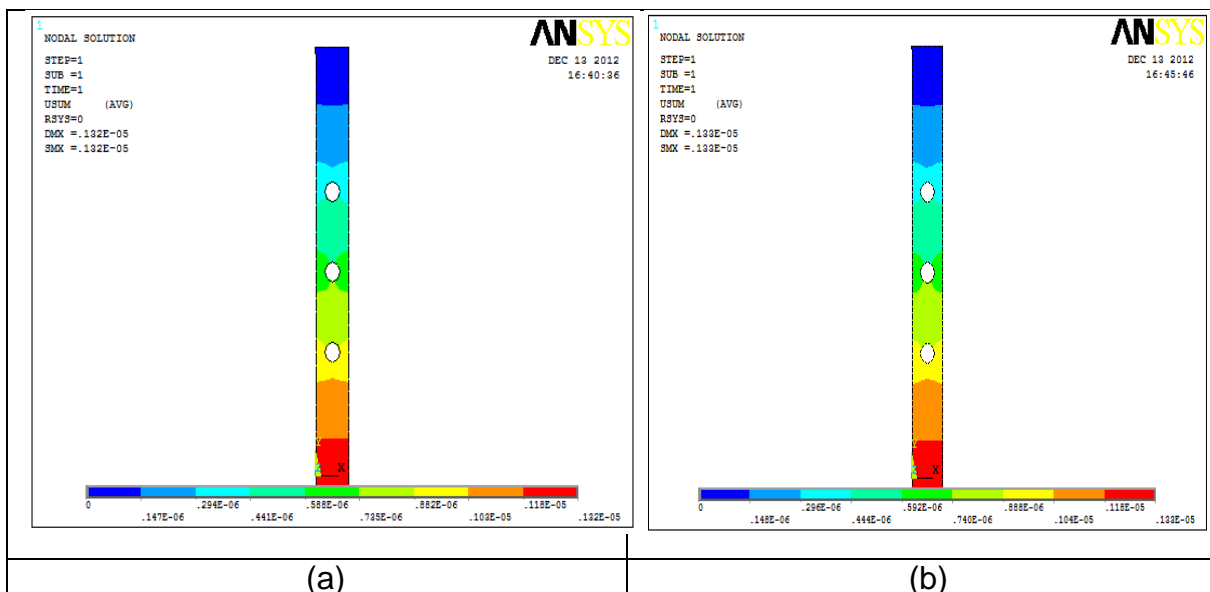


## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στα σχήματα 4.5.3 και 4.5.4., παρουσιάζονται η παραμορφωμένη πλάκα και η κατανομή των μετατοπίσεων, αντίστοιχα, όπως προκύπτει από την επίλυση του προβλήματος με τη χρήση των δύο πλεγμάτων. Παρατηρώντας το σχήμα της παραμορφωμένης πλάκας, διαπιστώνει κανείς ότι λόγω της οπών που υπάρχουν στο μέσο της πλάκας υπάρχει μια μέγιστη εγκάρσια μετατόπιση, ενώ το σχήμα της οπής από κυκλικό γίνεται οβάλ με το μεγάλο άξονα της έλλειψης να είναι παράλληλος με τη φόρτιση.

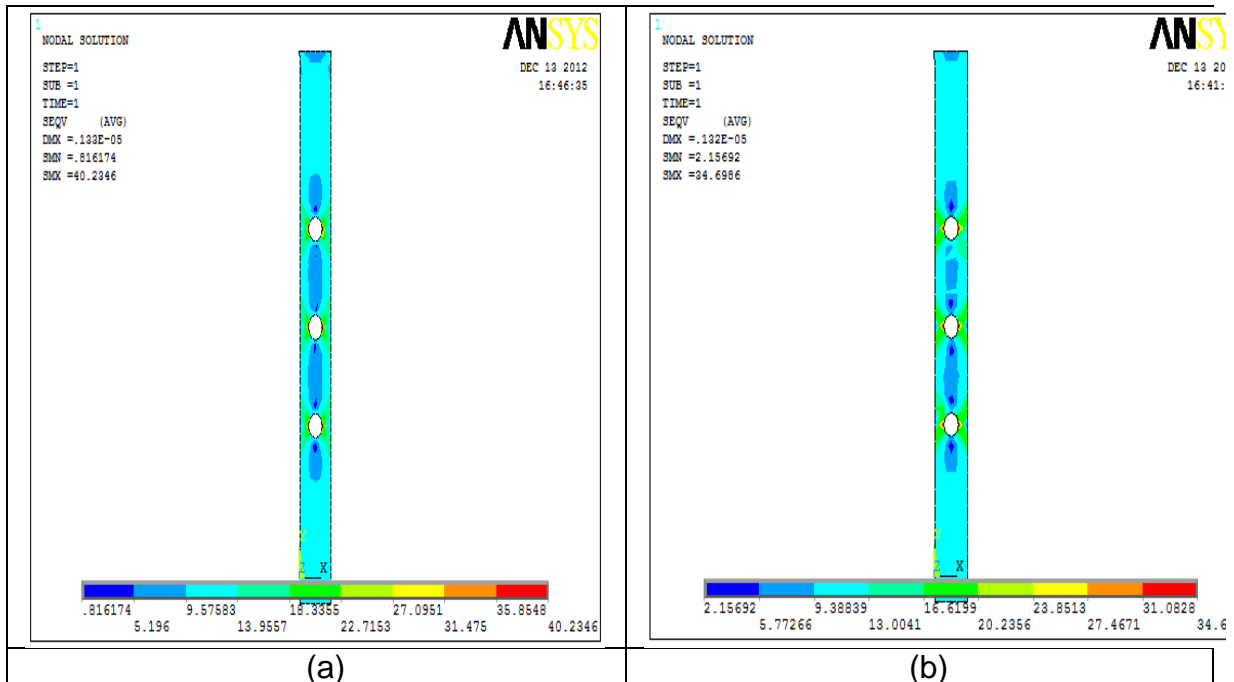


Σχήμα 4.5.3. : Παραμορφωμένη πλάκα.



Σχήμα 4.5.4. : Κατανομή των μετατοπίσεων.

Στο σχήμα 4.5.5. , παρουσιάζεται η κατανομή της ισοδύναμης τάσης όπως αυτή προκύπτει από το κριτήριο αστοχίας Von Mises για τα πλέγματα 1 και 2, αντίστοιχα.

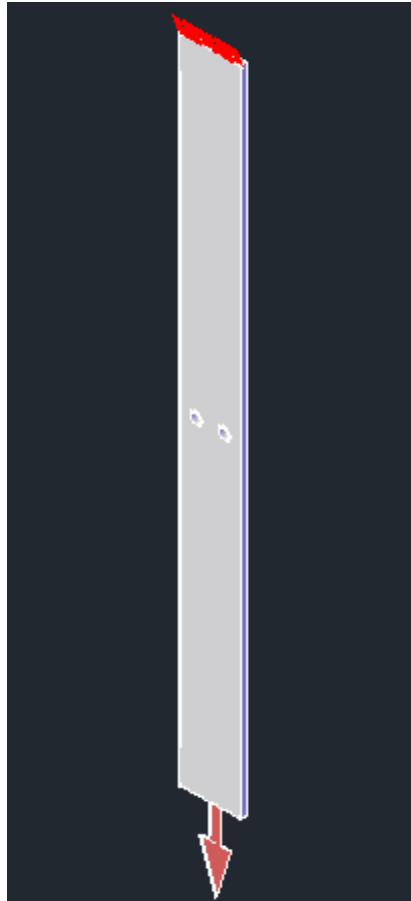


Σχήμα 4.5.5. : Κατανομή των τάσεων.

## 4.6. ΑΝΑΛΥΣΗ ΟΡΘΟΓΩΝΙΑΣ ΠΛΑΚΑΣ ΜΕ 2 ΟΠΕΣ

### ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Η παρακάτω πλάκα έχει διαστάσεις 30 mm x 340 mm x 3 mm η οποία είναι κατασκευασμένη από ισότροπο ομογενές υλικό με μέτρο Ελαστικότητας  $E = 3 \text{ GPa}$  και λόγο Poisson  $\nu = 0.35$ . Στο κέντρο της πλάκας υπάρχουν 2 κυκλικές οπές διαμέτρου 6 mm, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.6.1.



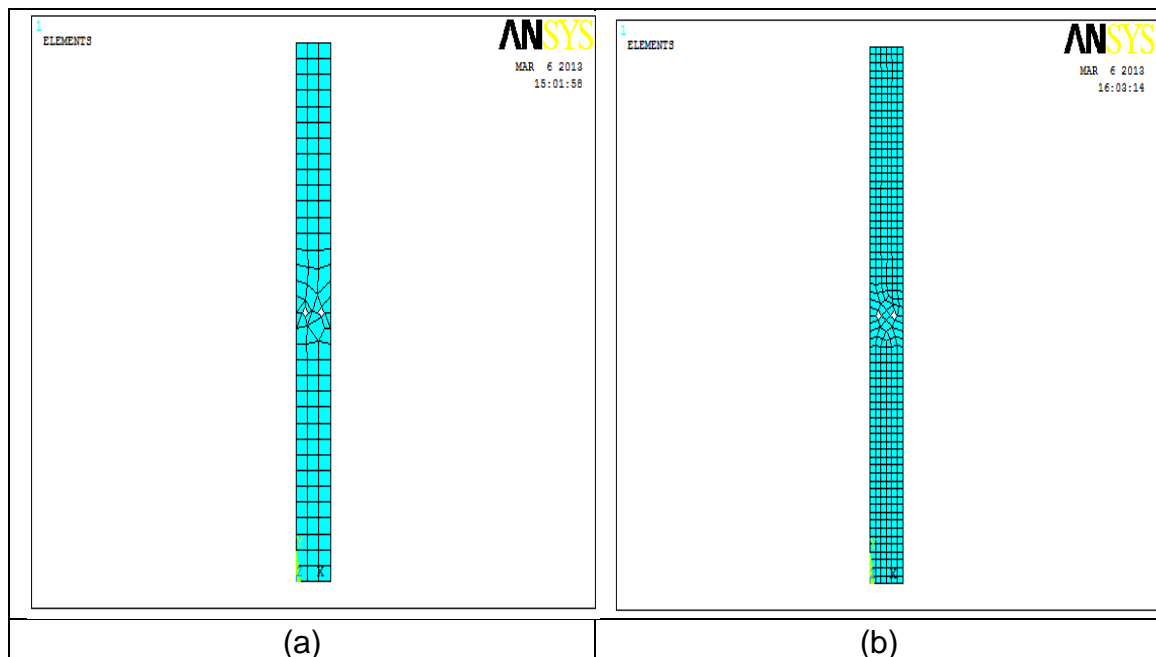
Σχήμα 4.6.1. : Εφελκυσμός ορθογώνιας πλάκας .

Η πλάκα είναι πακτωμένη ενώ στην κάτω πλευρά της εφελκύεται με μια ορθή τάση 10 N. Σκοπός του προβλήματος είναι ο υπολογισμός της συγκέντρωσης των τάσεων που αναπτύσσονται, λόγω της ύπαρξης των οπών στην ίδια θέση, γύρω από αυτές. Συνοπτικά όλα τα δεδομένα του προβλήματος παρουσιάζονται στον πίνακα 4.6.1.

| ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΛΑΚΑΣ | (mm)  |
|----------------------------------|-------|
| Ύψος (height)                    | 340   |
| Πλάτος (width)                   | 30    |
| Πάχος (thickness)                | 3     |
| Ακτίνα οπής (radius)             | 3     |
| <b>Ιδιότητες υλικού:</b>         |       |
| Μέτρο ελαστικότητας $E$          | 3 GPa |
| $\nu$ Λόγος Poisson $\nu$        | 0.35  |
| <b>Φόρτιση</b>                   |       |
| Εφελκυστική ορθή τάση            | 10 N  |

**Πίνακας 4.6.1. :** Δεδομένα του προβλήματος.

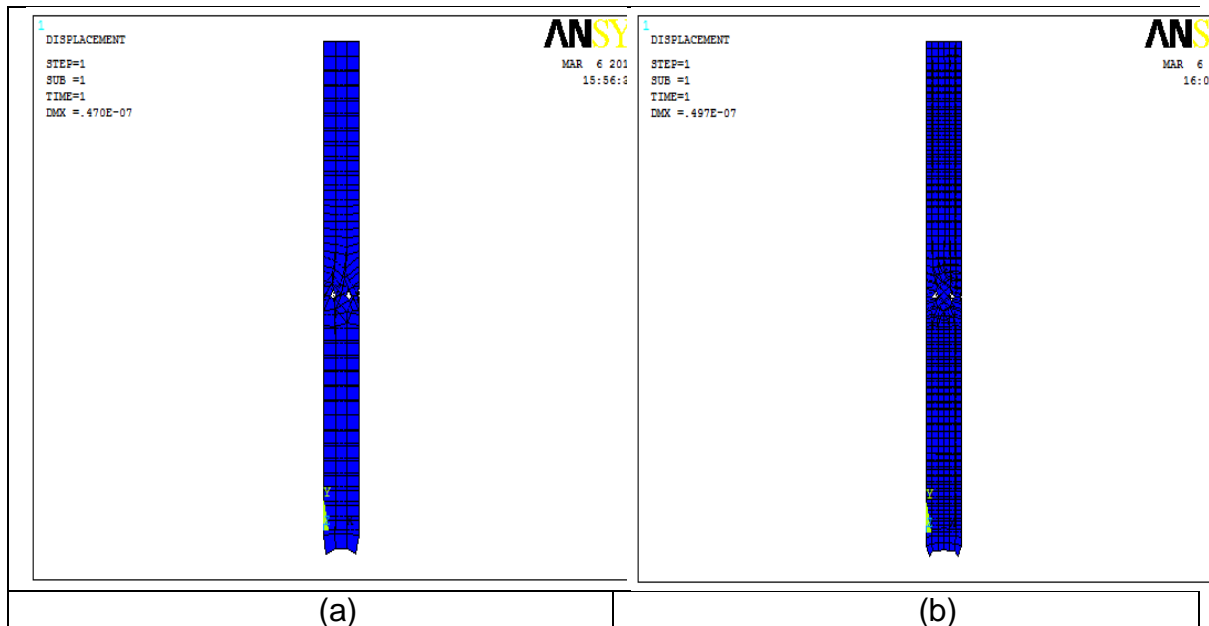
### ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ



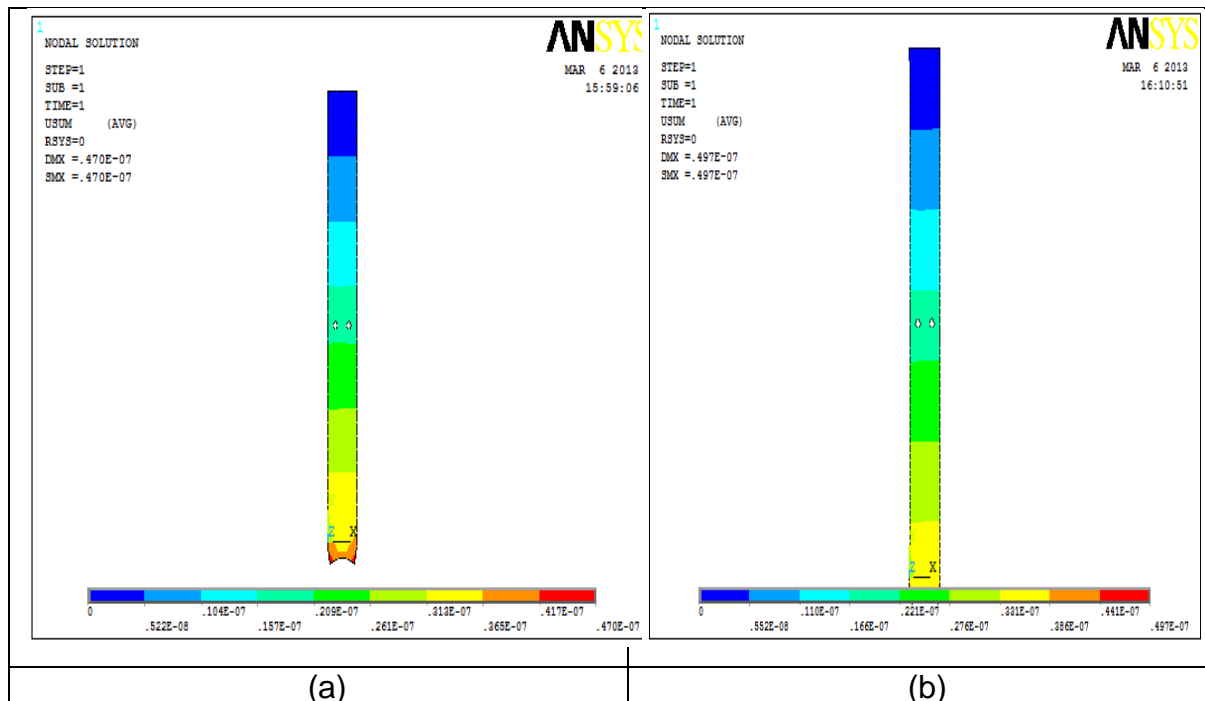
**Σχήμα 4.6.2. :** (a) Πλέγμα 1 (115 elements) και (b) Πλέγμα 2 (421 elements).

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στα σχήματα 4.6.3. και 4,6,4., παρουσιάζονται η παραμορφωμένη πλάκα και η κατανομή των μετατοπίσεων, αντίστοιχα, όπως προκύπτει από την επίλυση του προβλήματος με τη χρήση των δύο.

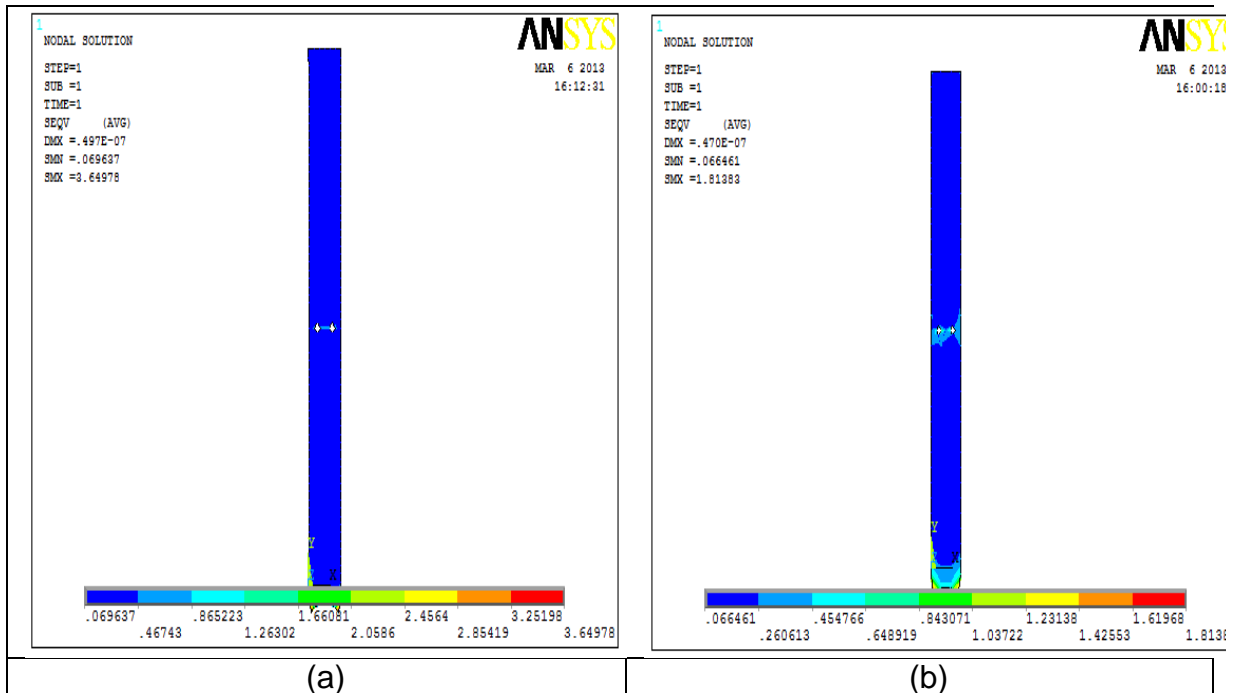


Σχήμα 4.6.3. : Παραμορφωμένη πλάκα.



Σχήμα 4.6.4. : Κατανομή των μετατοπίσεων.

Στο σχήμα 4.6.5., παρουσιάζεται η κατανομή της ισοδύναμης τάσης όπως αυτή προκύπτει από το κριτήριο αστοχίας Von Mises για τα πλέγματα 1 και 2, αντίστοιχα.

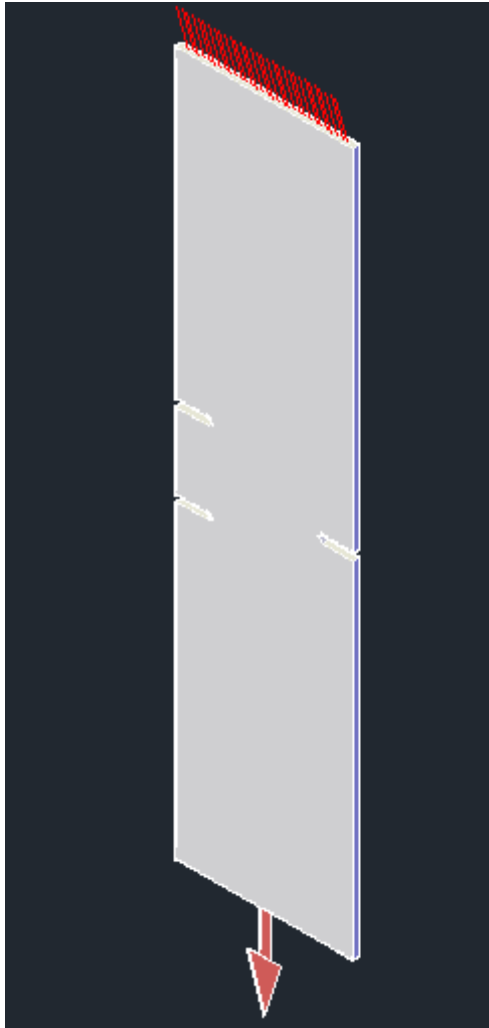


Σχήμα 4.6.5. : Κατανομή των τάσεων.

## 4.7. ΑΝΑΛΥΣΗ ΟΡΘΟΓΩΝΙΑΣ ΠΛΑΚΑΣ ΜΕ ΡΩΓΜΕΣ

### ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Η παρακάτω ορθογώνια πλάκα έχει διαστάσεις 85 mm x 340 mm x 3 mm η οποία είναι κατασκευασμένη από ισότροπο ομογενές υλικό με μέτρο Ελαστικότητας  $E=3 \text{ GPa}$  και λόγο Poisson  $\nu = 0.35$ . Στην πλάκα υπάρχουν 3 ρωγμές μήκους 16 mm και πάχους 2 mm, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.7.1.



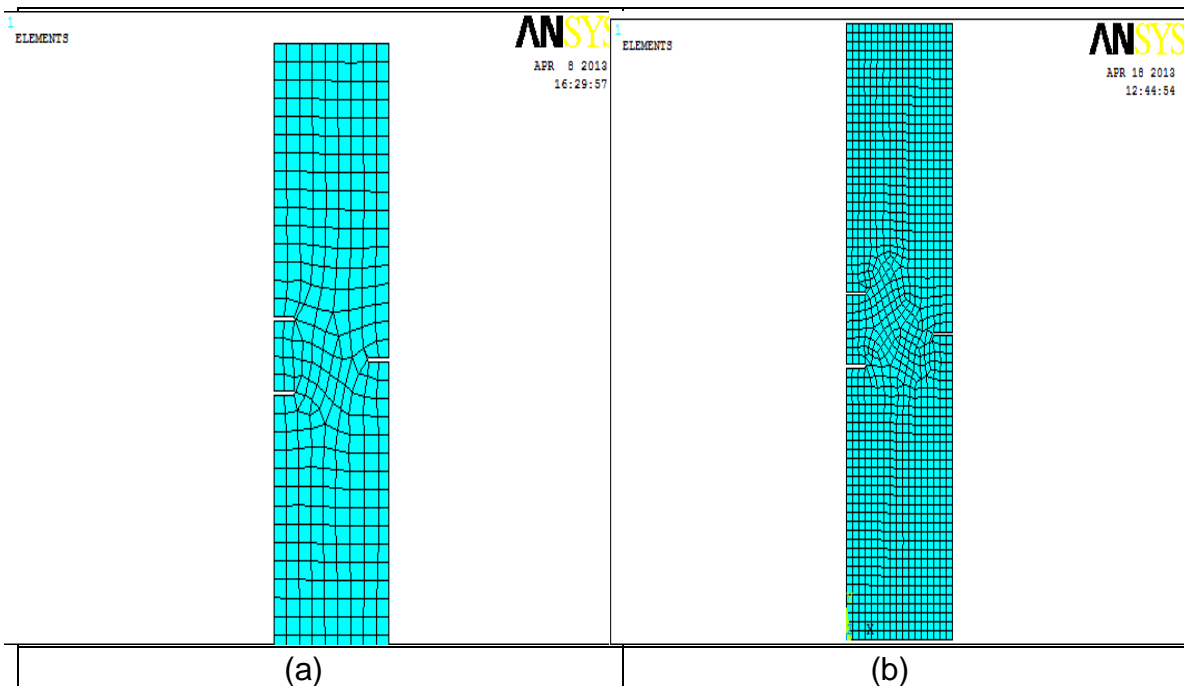
Σχήμα 4.7.1 : Εφελκυσμός ορθογώνιας πλάκας .

Η πλάκα είναι πακτωμένη ενώ στην κάτω πλευρά της εφελκύεται με μια ορθή τάση 10 N. Σκοπός είναι ο υπολογισμός της συγκέντρωσης των τάσεων που αναπτύσσονται, λόγω της ύπαρξης της οπής, γύρω από αυτή. Συνοπτικά όλα τα δεδομένα του προβλήματος παρουσιάζονται στον πίνακα 4.7.1.

| Γεωμετρικά χαρακτηριστικά πλάκας | (mm)  |
|----------------------------------|-------|
| Ύψος (height)                    | 340   |
| Πλάτος (width)                   | 85    |
| Πάχος (thickness)                | 3     |
| <b>Ιδιότητες υλικού:</b>         |       |
| Μέτρο ελαστικότητας $E$          | 3 GPa |
| $\nu$ Λόγος Poisson $\nu$        | 0.35  |
| <b>Φόρτιση</b>                   |       |
| Εφελκυστική ορθή τάση            | 10 N  |

Πίνακας 4.7.1. : Δεδομένα του προβλήματος.

### ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

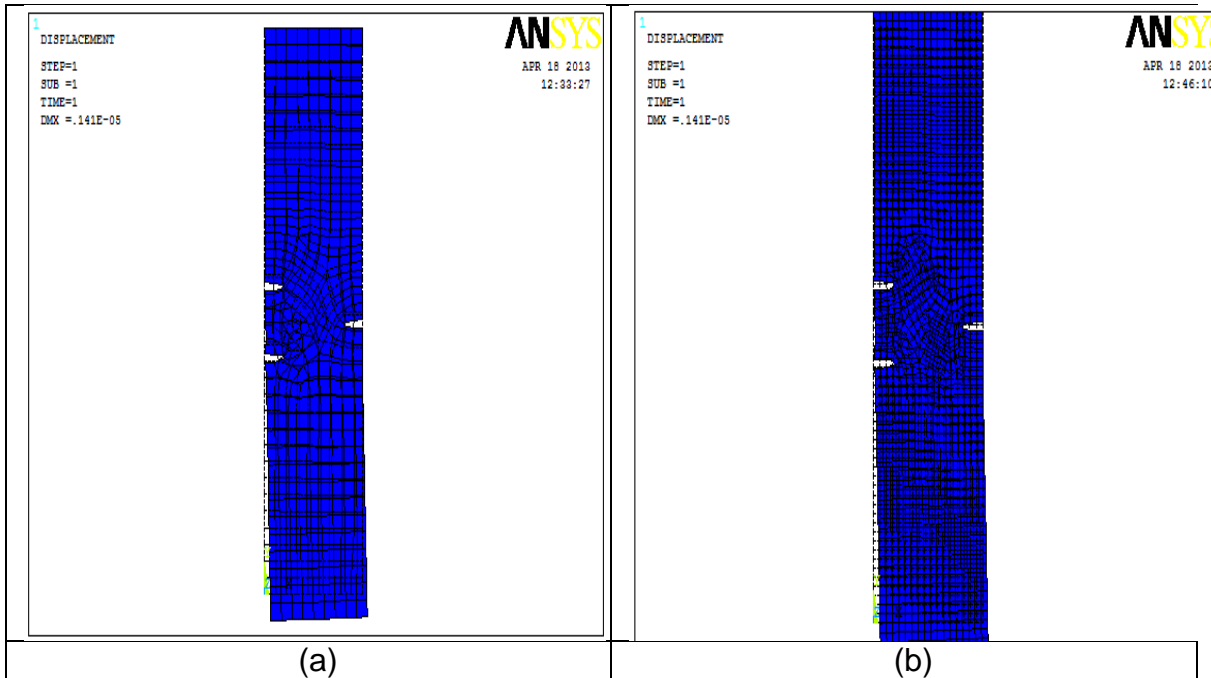


Σχήμα 4.7.2. : (a) Πλέγμα 1 (319 elements) και (b) Πλέγμα 2 (1174 elements).

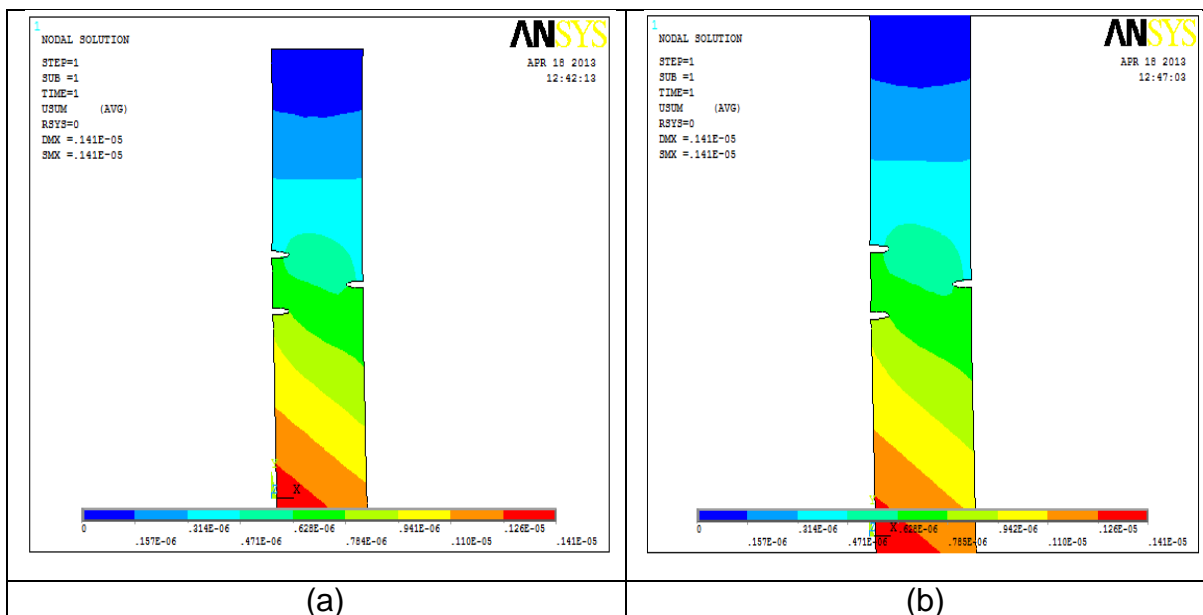


## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στα σχήματα 4.7.3 και 4.7.4., παρουσιάζονται η παραμορφωμένη πλάκα και η κατανομή των μετατοπίσεων, αντίστοιχα, όπως προκύπτει από την επίλυση του προβλήματος με τη χρήση των δύο πλεγμάτων. Παρατηρώντας το σχήμα της παραμορφωμένης πλάκας, διαπιστώνει κανείς ότι λόγω των ρωγμών υπάρχει στα άκρα της πλάκας μια μέγιστη εγκάρσια μετατόπιση, ενώ το πάχος της ρωγμής αυξάνετε κατά την διεύθυνση του φορτίου.

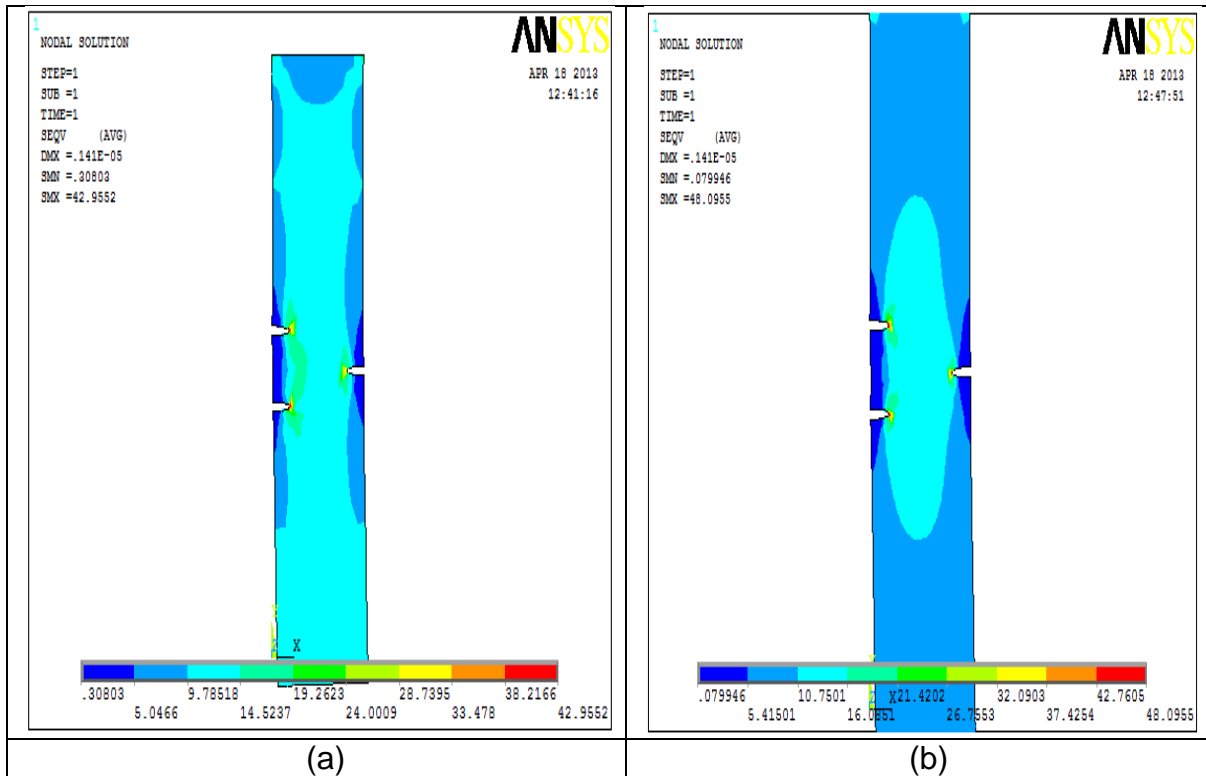


Σχήμα 4.7.3. : Παραμορφωμένη πλάκα.



Σχήμα 4.7.4.: Κατανομή των μετατοπίσεων.

Στο σχήμα 4.7.5. , παρουσιάζεται η κατανομή της ισοδύναμης τάσης όπως αυτή προκύπτει από το κριτήριο αστοχίας Von Mises για τα πλέγματα 1 και 2, αντίστοιχα.

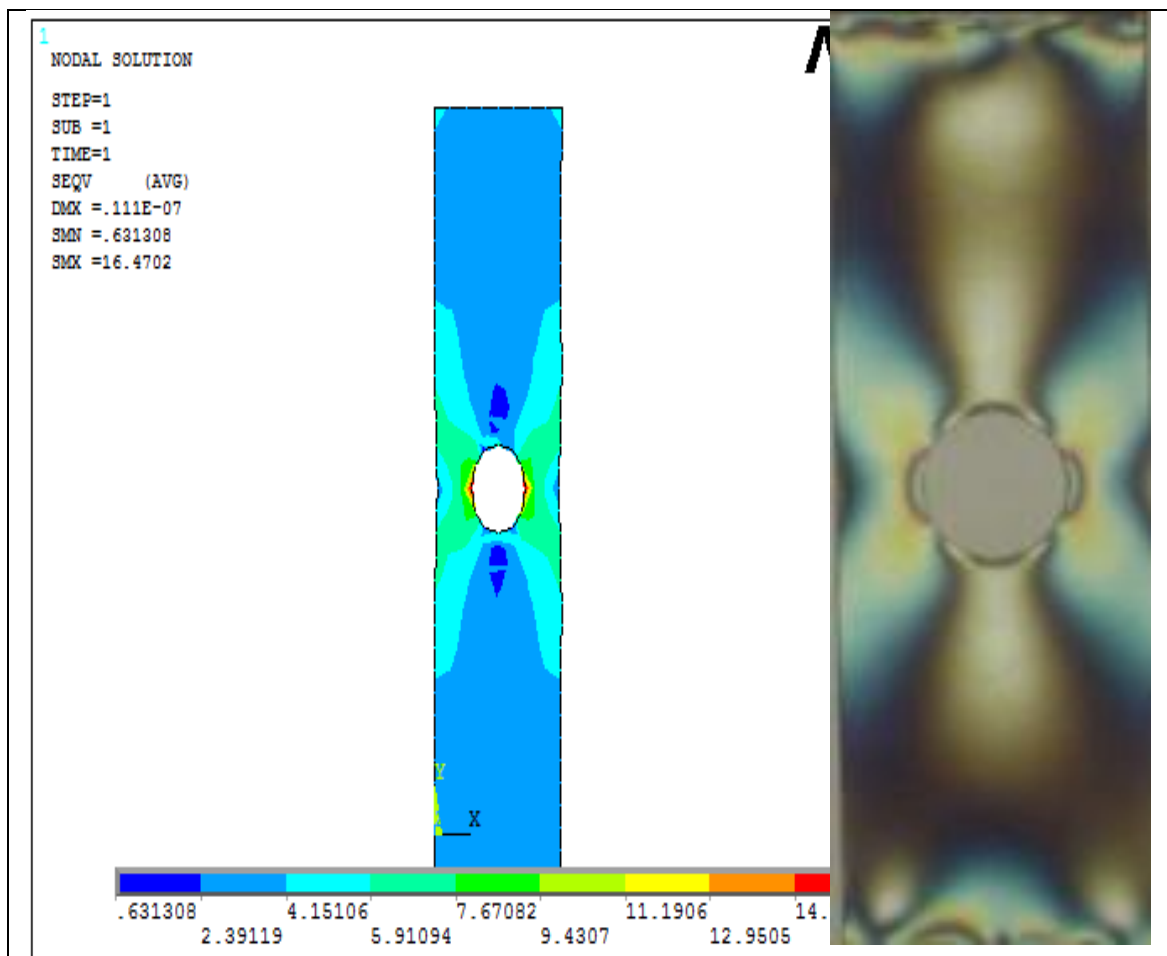


Σχήμα 4.7.5. : Κατανομή των τάσεων.

#### 4.8. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΟΥ- ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΥ ΜΕΡΟΥΣ

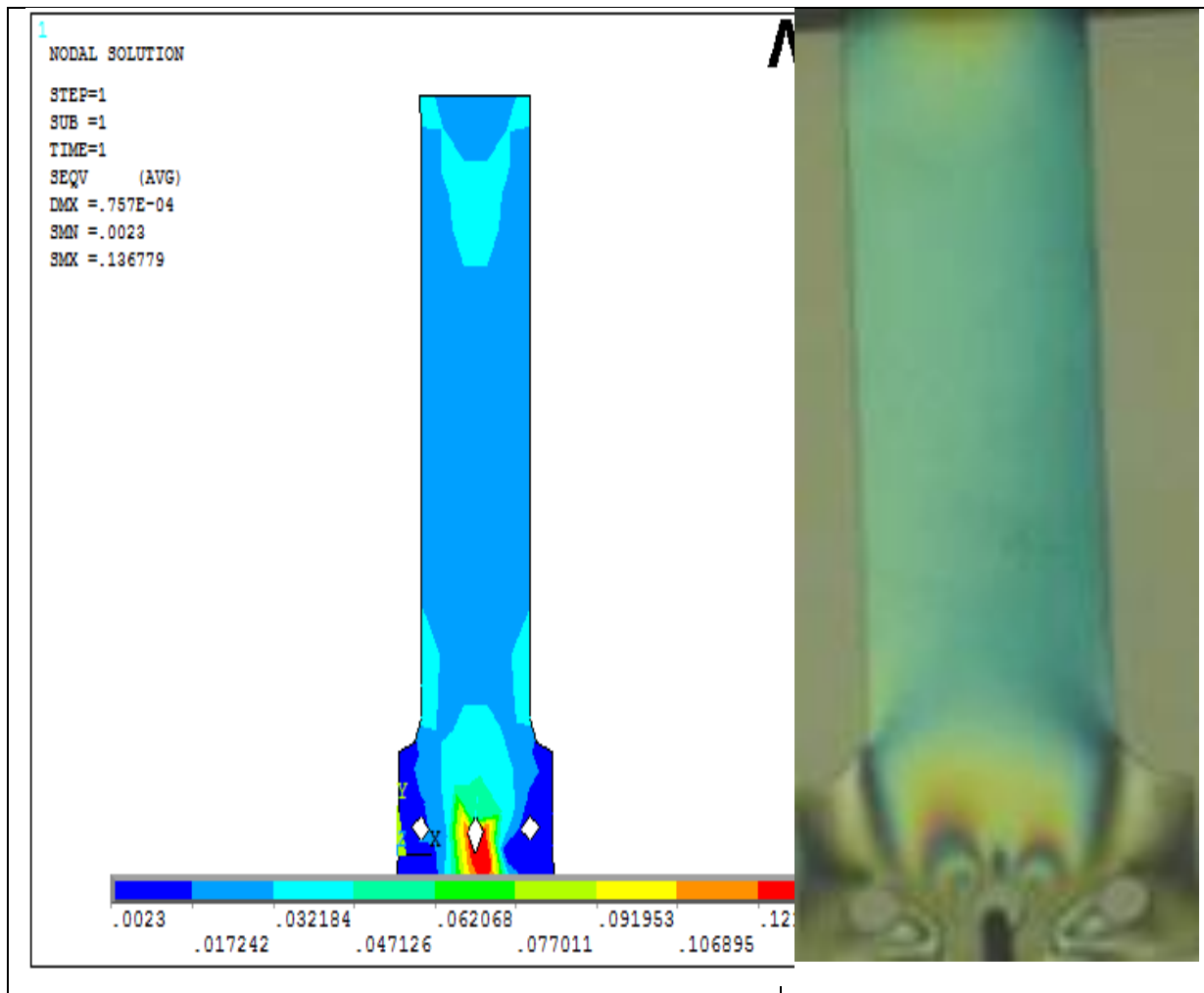
Παρακάτω απεικονίζεται μια σύγκριση μεταξύ δοκιμών μέσω του πειράματος της φωτοελαστικότητας με αυτά όπου σχεδιάστηκαν στο λογισμικό πρόγραμμα ANSYS. Πιο συγκεκριμένα επιλέχτηκαν τα δοκίμια που ασκείται εφελκυστική φορτία, η πειραματική συσκευή είναι ρυθμισμένη με κυκλική πόλωση και ο δίσκος L/4 είναι τοποθετημένος στις 90°. Όσον αφορά το σχεδιαστικό μέρος επιλέχτηκαν τα δοκίμια που είναι διακριτοποιημένα με το πυκνότερο 2° πλέγμα.

Στην Εικόνα 4.1 παρουσιάζεται η σύγκριση της κατανομής των τάσεων για την επίπεδη ορθογώνια πλάκας με οπή.



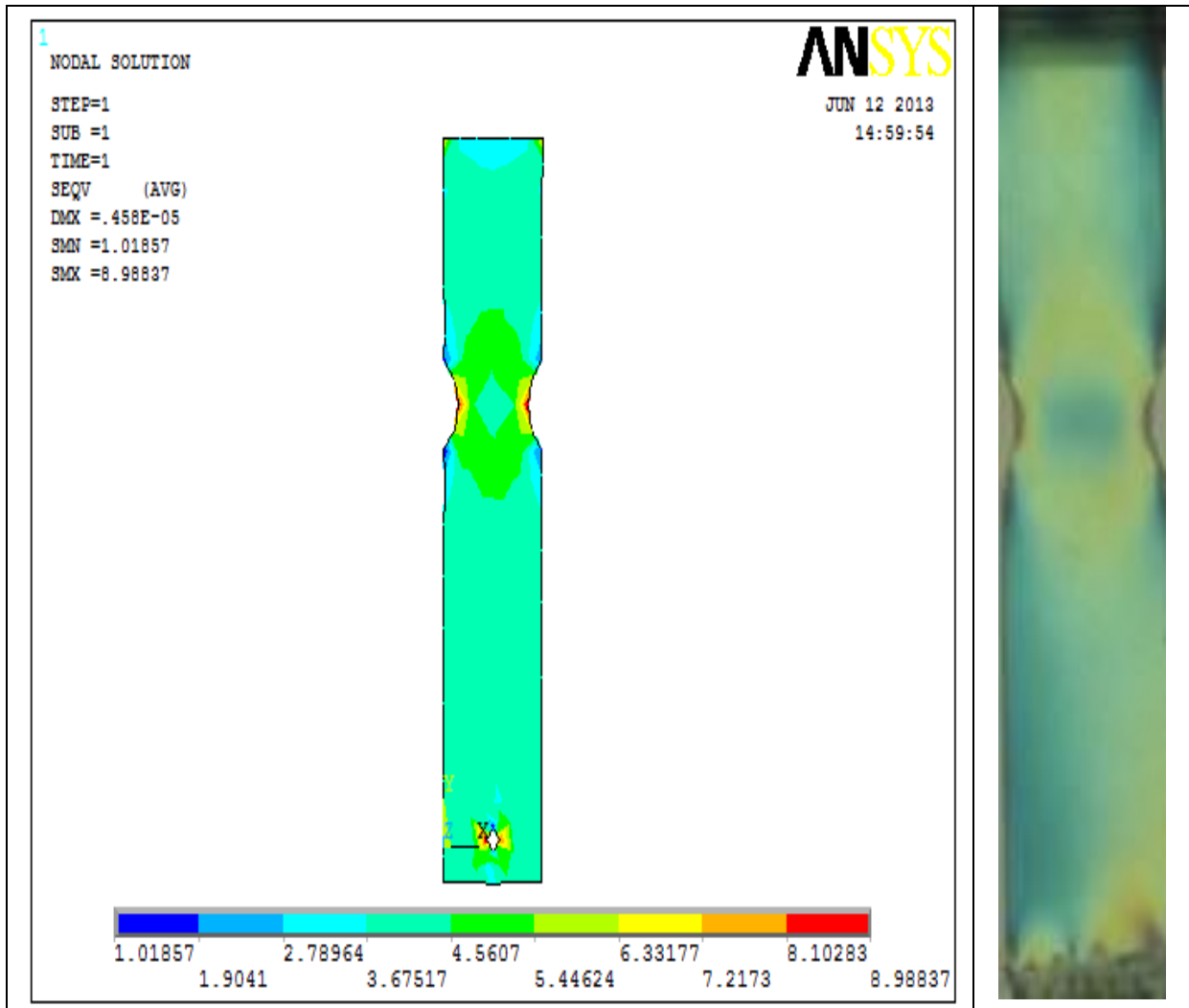
Εικόνα 4.1.: Σύγκριση επίπεδης ορθογώνιας πλάκας με οπή.

Στην Εικόνα 4.2 παρουσιάζεται η σύγκριση της κατανομής των τάσεων για το συμμετρικό σώμα.



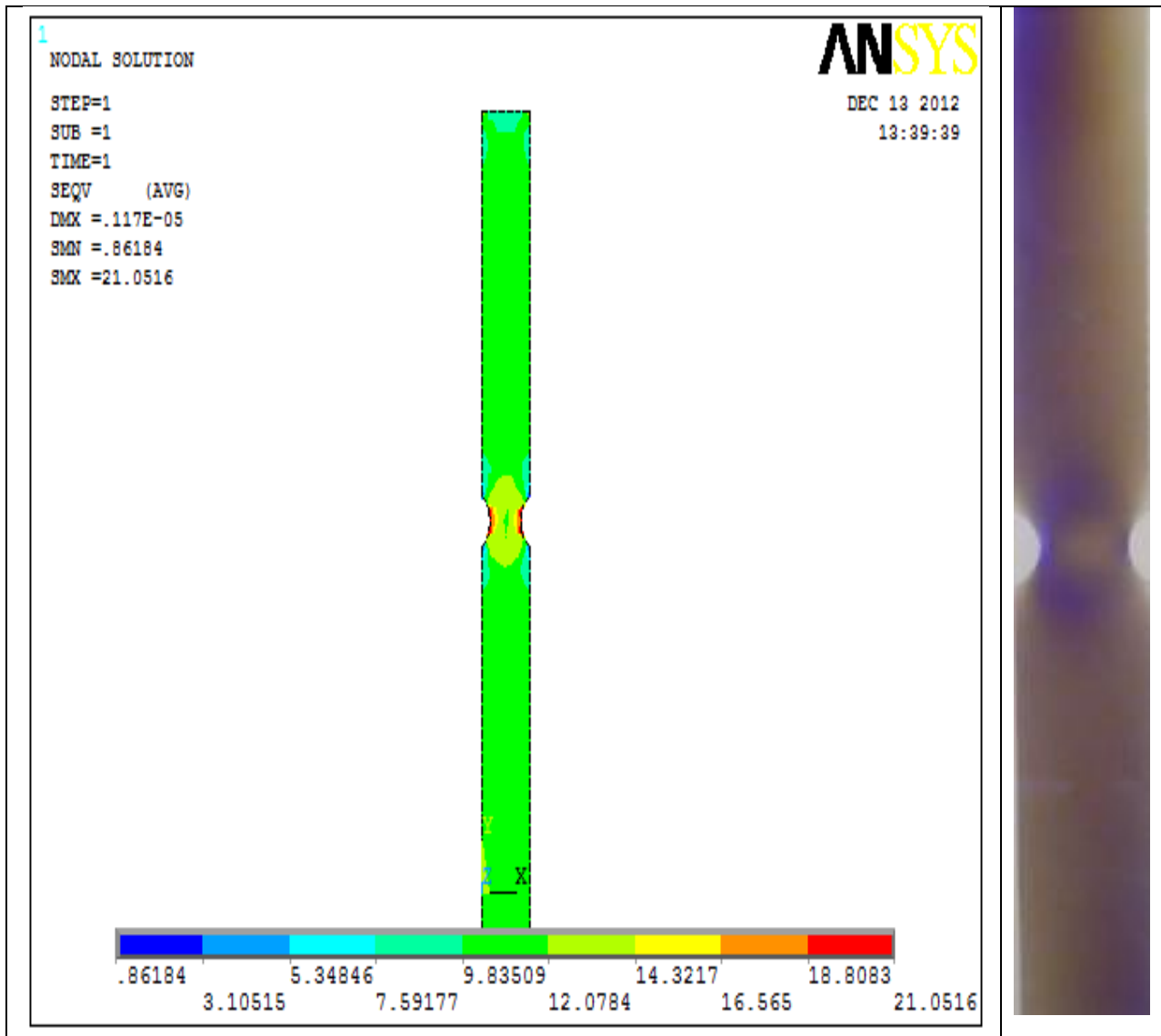
Εικόνα 4.2. : Σύγκριση συμμετρικού σώματος.

Στην Εικόνα 4.3 παρουσιάζεται η σύγκριση της κατανομής των τάσεων του συμμετρικού σώματος με τόξα από PLM-4B.



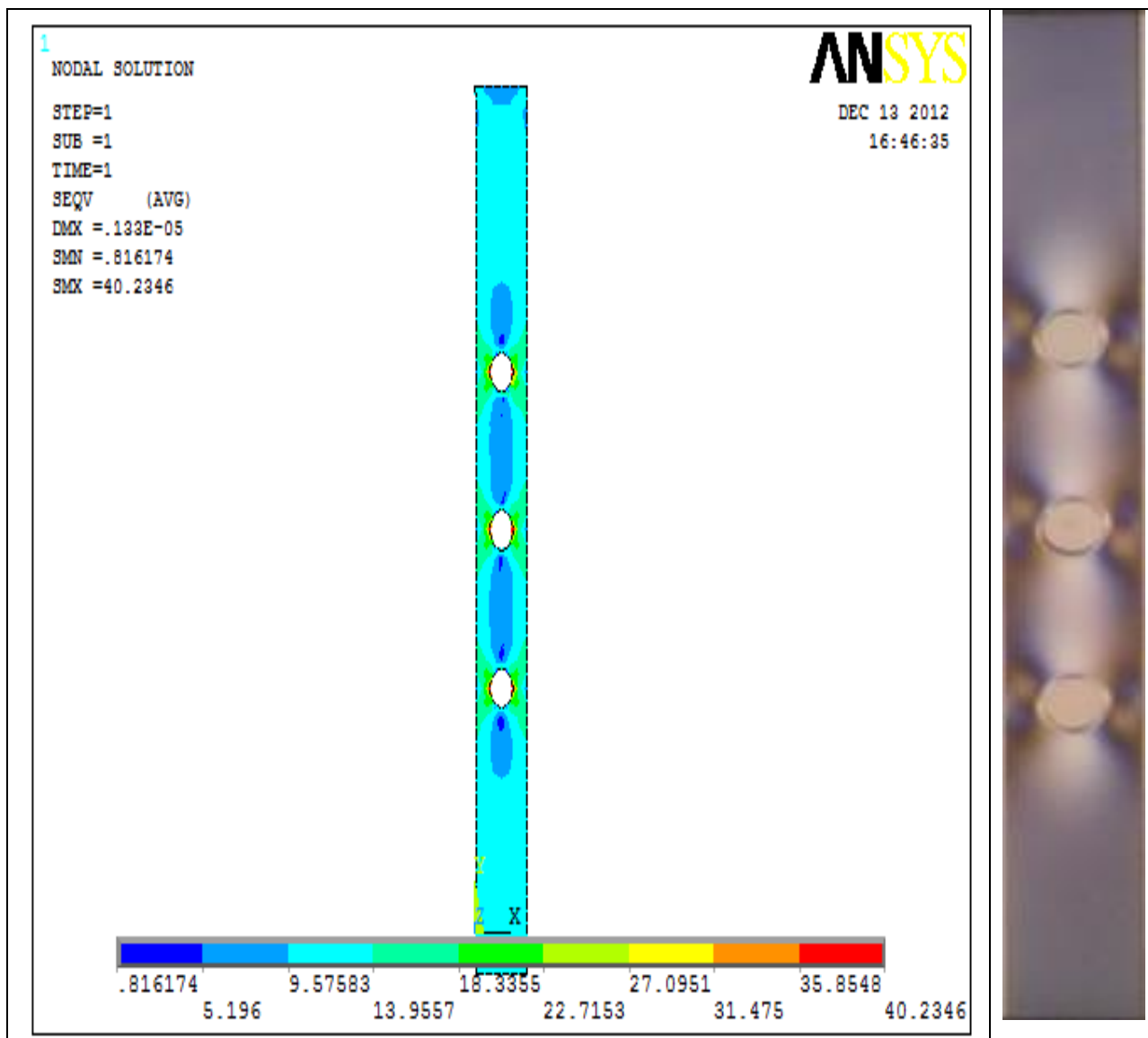
Εικόνα 4.3. : Σύγκριση συμμετρικού σώματος με τόξα από PLM-4B.

Στην Εικόνα 4.4. παρουσιάζεται η σύγκριση της κατανομής των τάσεων για το συμμετρικό σώμα με τόξα από PLEXIGLAS.



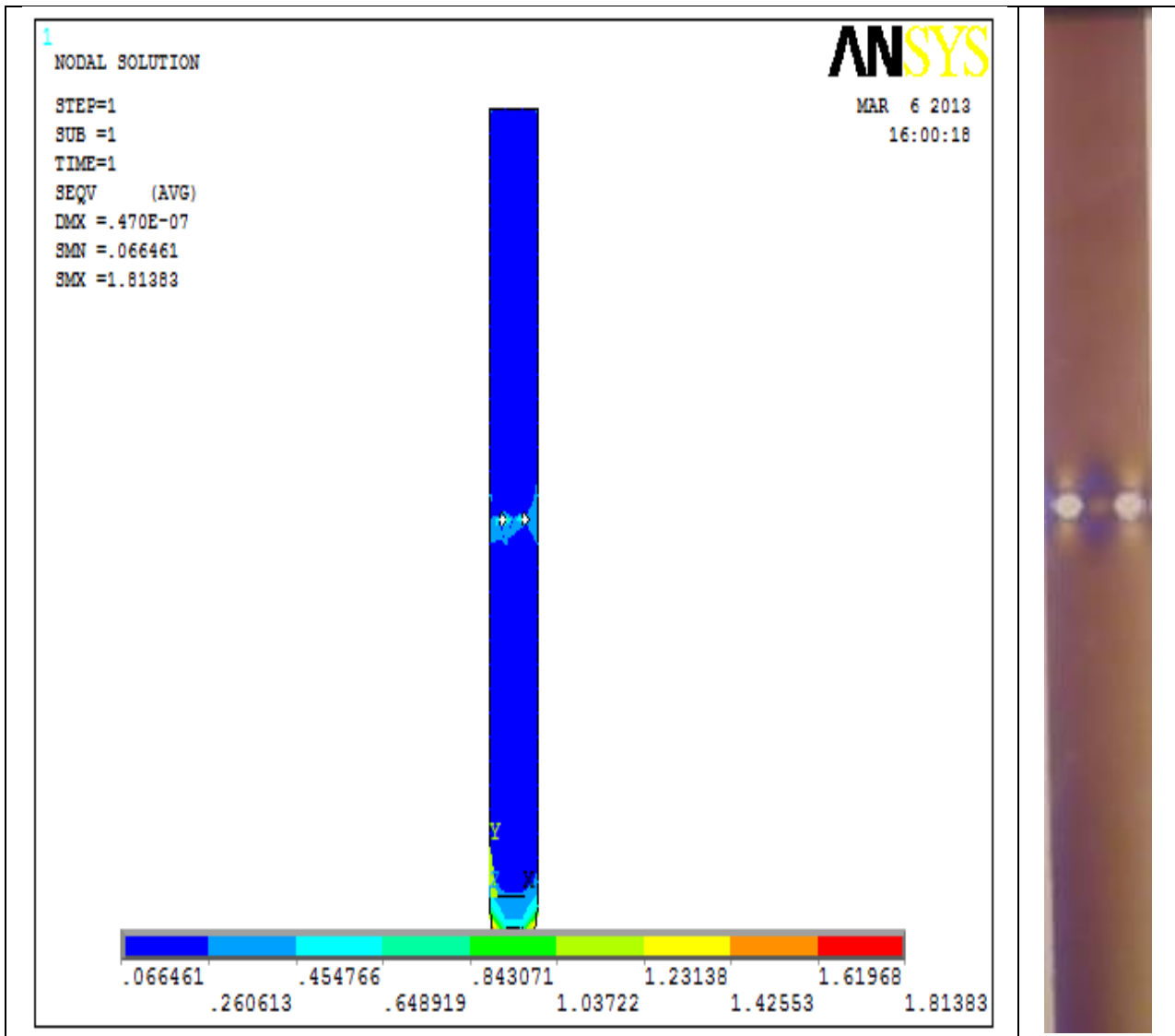
**Εικόνα 4.4.** : Σύγκριση συμμετρικού σώματος με τόξα από PLEXIGLAS.

Στην Εικόνα 4.5. παρουσιάζεται η σύγκριση της κατανομής των τάσεων για την ορθογώνια πλάκα με 3 εγκάρσιες οπές.



Εικόνα 4.5. : Σύγκριση ορθογώνιας πλάκας με 3 εγκάρσιες οπές.

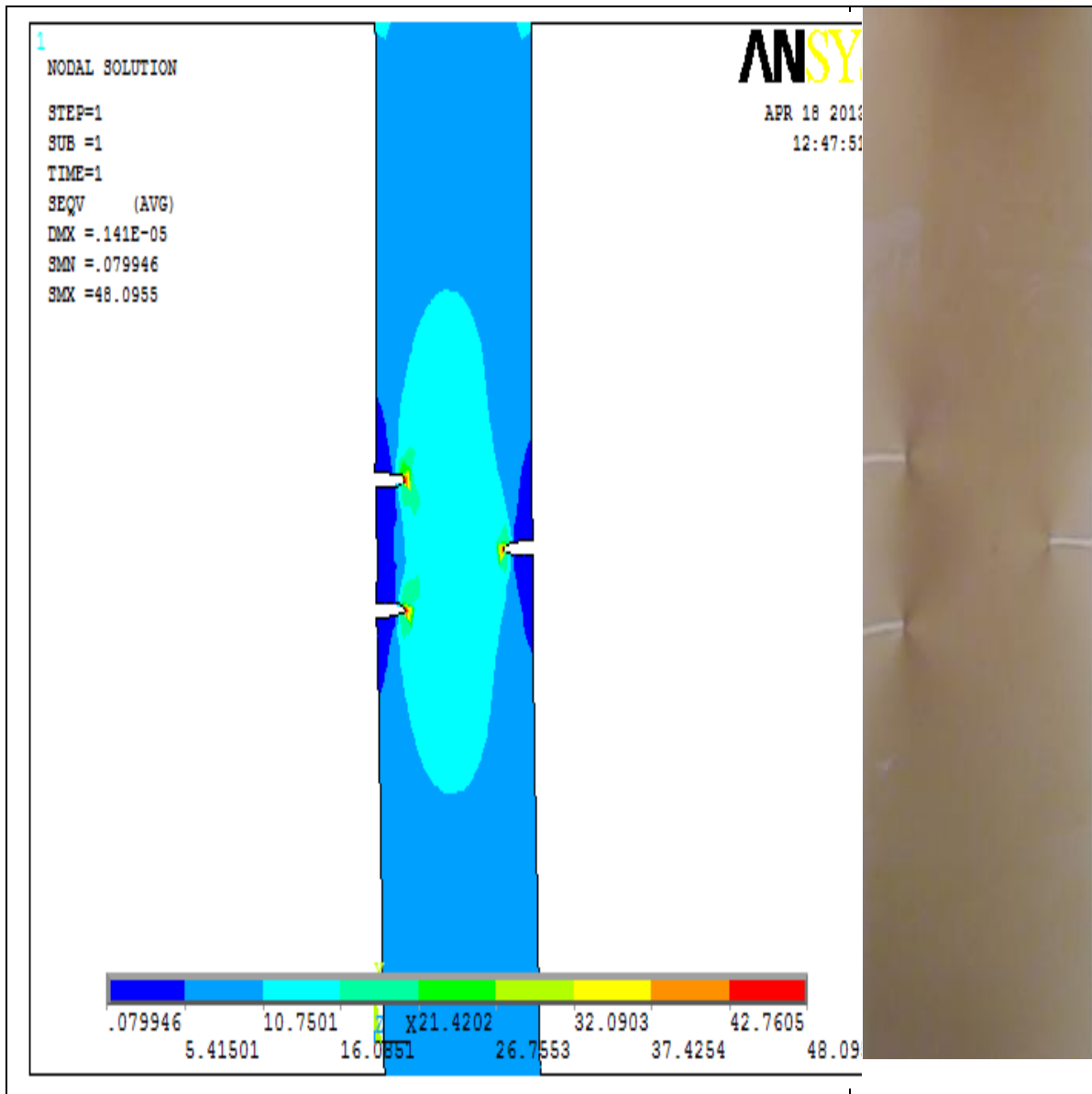
Στην Εικόνα 4.6. παρουσιάζεται η σύγκριση της κατανομής των τάσεων για την ορθογώνια πλάκα με 2 οπές.



Εικόνα 4.6. : Σύγκριση ορθογώνιας πλάκας με 2 οπές.



Στην Εικόνα 4.7. παρουσιάζεται η σύγκριση της κατανομής των τάσεων για την ορθογώνια πλάκα με ρωγμές.



**Εικόνα 4.7.** : Σύγκριση ορθογώνιας πλάκας με ρωγμές.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία προσδιορίστηκε πειραματικά και αριθμητικά η κατανομή των τάσεων σε 3 πλάκες από PLM-4B και 4 πλάκες από Plexiglas σε απλές περιπτώσεις στατικών καταπονήσεων. Ο πειραματικός προσδιορισμός έγινε με τη μέθοδο της φωτοελαστικότητας με τη χρήση πολωσιοσκοπίου, ενώ ο αριθμητικός με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων. Οι πειραματικές κατανομές προσδιορίστηκαν για διάφορες γωνίες πόλωσης του φωτός και διάφορες συνθήκες πόλωσης, επισημαίνοντας ότι τα καλύτερα αποτελέσματα ήταν αυτά με κυκλική πόλωση στις  $90^\circ$ .

Η από τη σύγκριση των πειραματικών και αριθμητικών κατανομών προκύπτει ότι υπάρχει αρκετά ικανοποιητική σύγκλιση όσον αφορά τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των κατανομών, ειδικά στις κρίσιμες περιοχές της συγκέντρωσης τάσεων.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

### Π.1. ΟΔΗΓΙΕΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΟΛΩΣΙΟΣΚΟΠΕΙΟΥ

#### 5. Ηλεκτρική Ενέργεια: 220 V, 50 Hz.

Το πολωσιοσκόπιο είναι ένας ερευνητής τάσεων με διάχυτο φως για διαφανή μοντέλα, συνδέεται με ηλεκτρικό ρεύμα 200 V, συχνότητα 50 Hz και τέλος ένας ανεμιστήρας ξεκινά αυτομάτως στον πολωτή για την ψύξη.

#### 6. Φωτισμός: Λευκός ή μονοχρωματικός.

Οι διακόπτες για τους φωτισμούς είναι στη βάση του αναλυτή. Ο διακόπτης του λευκού φωτός έχει το γράμμα "L" και για το μονοχρωματικό φως το γράμμα "N". Οι λάμπες ατμών Νατρίου θέλουν 5 λεπτά για να παράγουν μονοχρωματικό φως και οι δυο φωτεινές πηγές μπορούν αμέσως να ανάψουν ύστερα από σβήσιμο χωρίς κίνδυνο. Ο διακόπτης "A" είναι για το SYNCHRO.

#### 6. Η χρήση του SYNCHRO

Για να χρησιμοποιήσουμε το SYNCHRO :

- πολωτής και αναλυτής πρέπει να είναι στη θέση μηδέν (γραμμική πόλωση) ή στην διαγώνια θέση (κυκλική πόλωση)
- τα συνδετικά τσιμπιδάκια στον αναλυτή και στον πολωτή πρέπει να είναι στην κατάλληλη θέση.
- οι κοχλίες στον πολωτή και στον αναλυτή πρέπει να είναι χαλαρωμένοι.

Πιέζουμε τον διακόπτη A στη βάση του αναλυτή. Όταν στρέφουμε τον συνδεδεμένο δίσκο L/4 και τον πολωτή στον αναλυτή με το χέρι, ο δίσκος L/4 και ο πολωτής επίσης συνδεδεμένα στον πολωτή ακολουθούν αυτομάτως και συγχρόνως την ίδια διεύθυνση και η γωνία παραμένει ή ίδια.

**ΠΡΟΣΟΧΗ:** Αυτή ή μετακίνηση πρέπει να είναι αργή και απαλή.

Στην περίπτωση λάθους σβήνουμε το SYNCHRO και κάνουμε επανεκκίνηση

#### 7. Είδος πόλωσης: Γραμμική και κυκλική.

Το είδος της πόλωσης είναι δυνατό να μεταβληθεί με την περιστροφή των τεσσάρων στοιχείων πόλωσης. Για κάθε θέση υπάρχουν μερικά ενδεικτικά σημεία και κλίμακες. Κατ' αρχάς υπάρχουν δύο σταθερές ενδεικτικές οπές στην κορυφή του πολωτή και αναλυτή για γωνίες στην περιφέρεια από 0° έως 180° προς τις δύο διευθύνσεις υποδιαιρεμένες σε θέσεις ανά 10 βαθμούς. Στην περιστρεφόμενη πλάκα L/4 του πολωτή οι θέσεις περιφερειακά των 0 και 45 βαθμών γωνίες. Επί της περιστρεφόμενης πλάκας L/4 του αναλυτή υπάρχει περιφερειακά μια κλίμακα από 0° έως 180° προς τις δύο διευθύνσεις υποδιαιρεμένες σε 1/1°. Οι περιστρεφόμενοι πολωτές στον πολωτή και τον αναλυτή δείχνουν μόνο ένα βέλος στην περιφέρεια τους. Αυτά τα βέλη είναι διευθετημένα με τέτοιο τρόπο ώστε όταν συμπέσουν η θέα του πεδίου γίνεται μαύρη.

### **iii. Γραμμική πόλωση (θέση 0)**

Πριν ενεργοποιήσουμε τη γραμμική πόλωση χαλαρώνουμε τις δυο βίδες και θέτουμε όλα τα σημεία των πολωτών και των πλάκων L/4 στην θέση μηδέν των κλιμάκων. Εάν όλα τα σημεία μηδέν συμπίπτουν, έχουμε γραμμική πόλωση και θέα μαύρου πεδίου. Για καλύτερο έλεγχο μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τους ρυθμιζόμενους κοχλίες στη βάση του αναλυτή. Οι πολωτές στον πολωτή και αναλυτή είναι πολωμένοι σταυρωτά και οι δίσκοι L/4 αποδεικνύονται μη επαρκείς.

Λαμβάνοντας υπόψη την σπουδαιότητα αυτής της θέσεως ένα τσιμπιδάκι ασφαλείας σε μορφή φορτισμένου συνδετικού ελατηρίου προστίθεται στον πολωτή και αναλυτή. Εφόσον τα ελατηριωτά τσιμπιδάκια δρουν, οι πολωτές και οι πλάκες L/4 στρέφονται μόνο συγχρόνως. Έτσι είναι απαραίτητο για να πάρουμε συγχρονισμένη περιστροφική κίνηση.

### **iv. Κυκλική πόλωση(διαγώνιος θέση)**

Για την κυκλική πόλωση ο πολωτής στον πολωτή και η πλάκα L/4 στον αναλυτή πρέπει να είναι στη θέση μηδέν. Για να κρατήσουμε αυτά τα στοιχεία σε αυτές τις θέσεις χρησιμοποιούμε τους δύο κοχλίες στον πολωτή και αναλυτή. Τότε απομακρύνουμε τα δύο συνδετικά τσιμπιδάκια και στρέφουμε τις πλάκες L/4 στον πολωτή και τον πολωτή στον αναλυτή 45 βαθμούς κατά διεύθυνση αντίθετη προς την φορά των δεικτών του ρολογιού. Σε αυτές τις θέσεις θα βρούμε τότε νέες οπές για τα συνδετικά τσιμπιδάκια, για να διατηρήσουμε τη κλίση για κυκλικά πολωμένο φως.

## **8. Μετρήσεις των φωτοελαστικών δεδομένων με την βοήθεια των δίσκων L/4(μέθοδος SENARMONT)**

Για να αρχίσουμε τις μετρήσεις των φωτοελαστικών δεδομένων σε διαφανές μοντέλο με το πολωσιοσκόπιο πρέπει:

- Όλες οι θέσεις πρέπει να είναι στο μηδέν.
- Το φως πρέπει να είναι μονοχρωματικό.
- Ο διακόπτης A πρέπει να είναι στη θέση ON.

Παρατηρώντας μέσα από τον αναλυτή θα αναγνωρίσετε τότε γραμμές έγχρωμες και μαύρες στο μοντέλο που θα εξεταστεί. Υπάρχει ένα μαύρο πεδίο γύρω από το αντικείμενο. Στρέφοντας το αντικείμενο οι έγχρωμες γραμμές δεν αλλάζουν, οι μαύρες γραμμές όμως κινούνται. Αυτές είναι οι ισοκλινείς γραμμές.

Στην πράξη δεν πρέπει να στρέφεται το μοντέλο που εξετάζεται. Το πολωσιοσκόπιο επιτρέπει να στρέφεται ο αναλυτής. Πρώτα στρέφουμε τον αναλυτή έως ότου μια ισοκλινής επανεμφανισθεί στο σημείο ερευνάς του μοντέλου. Τότε στρέφουμε το SYNCHRO κατά 45° κατά την διεύθυνση των δεικτών του ρολογιού και σβήνουμε το SYNCHRO. Αυτό καταλήγει σε κυκλικά πολωμένο φως. Μετά σφίγγουμε τις βίδες στον αναλυτή, τραβάμε έξω τα ελατήρια συνδέσεως και στρέφουμε τον πολωτή στον αναλυτή έως ότου η ισοκλινής επανεμφανισθεί στο προς ερευνά σημείο.

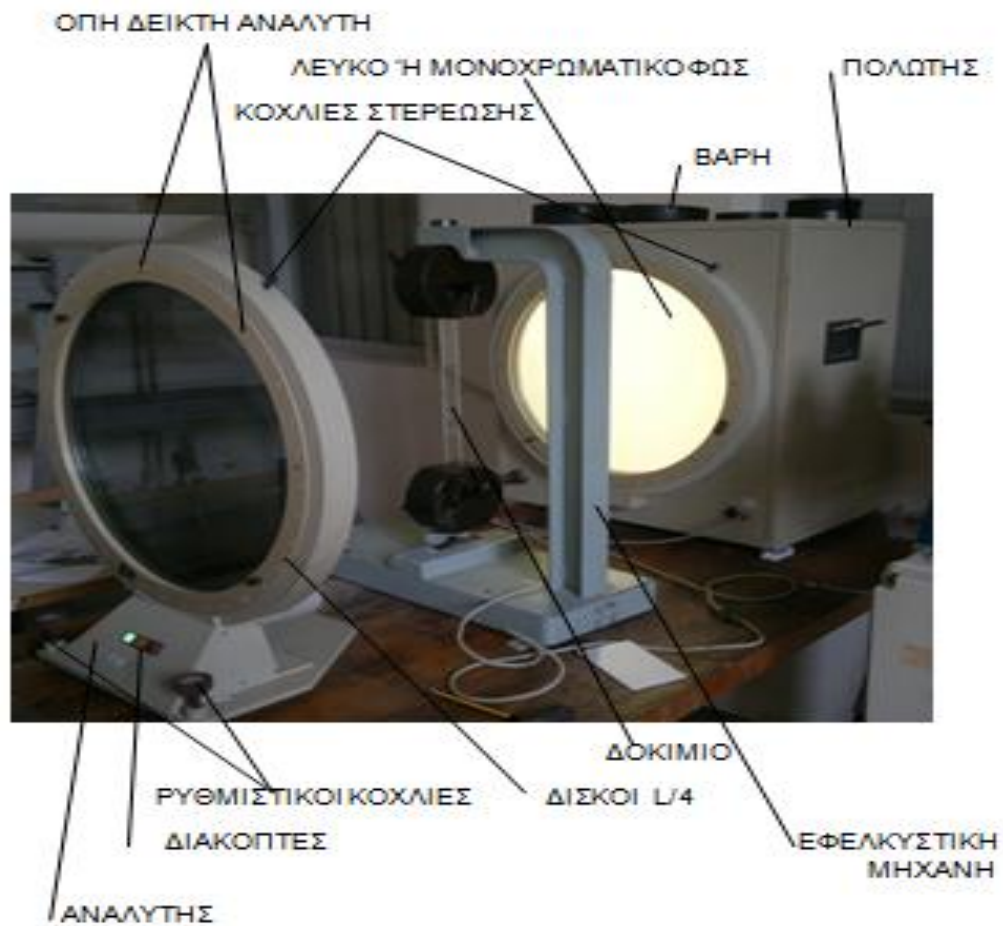
Η γωνία στροφής W μπορεί να διαβαστεί στον αναλυτή και χρησιμοποιούμε τον ακόλουθο τύπο για τον υπολογισμό του:

$$g = 589 * \frac{10^{-6}}{180} * W \text{ (mm)} \quad (2.6.1)$$

Την διαφορά των κροσσών στο προς ερευνά σημείο του μοντέλου την υπολογίζουμε ως εξής. :

$$n_1 - n_2 = 589 * \frac{10^{-6}}{180} * \frac{W}{d} \quad (mm) \quad (2.6.2)$$

### ΠΟΛΩΣΙΟΣΚΟΠΕΙΟ



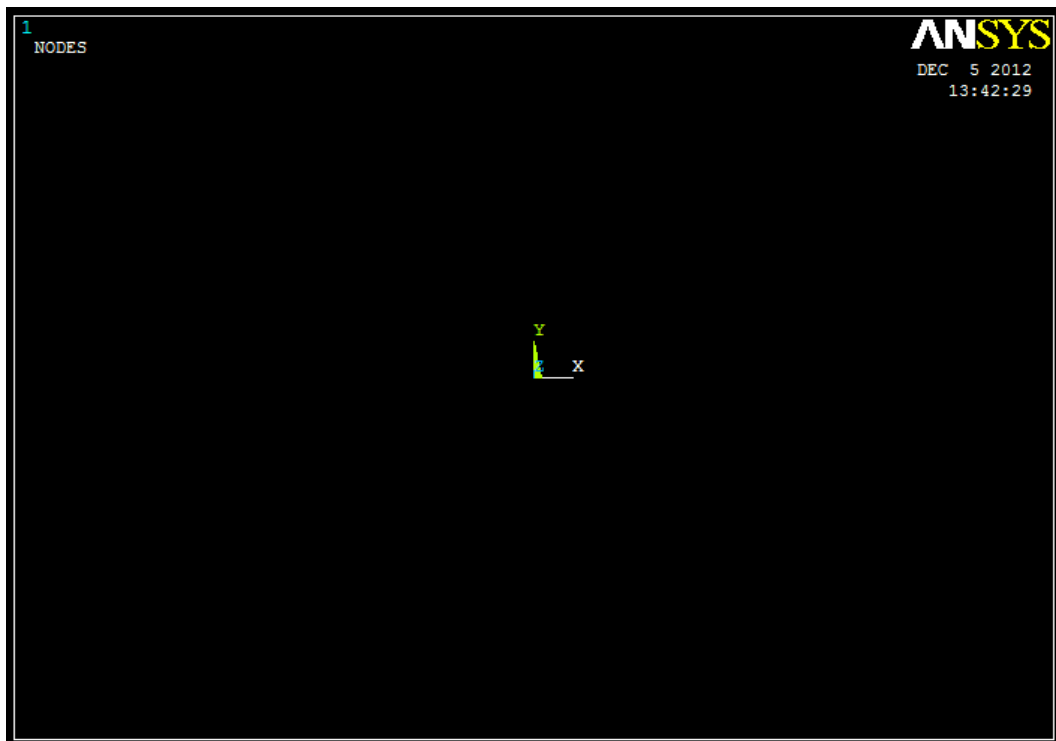
## Π.2. ΒΗΜΑ ΠΡΟΣ ΒΗΜΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ (TUTORIALS) ΤΩΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΚΕΦ. 4

Συγκεκριμένα στα πειράματα μας αναπτύσσεται ο σχεδιασμός του πραγματικών δοκιμίων. Με την βοήθεια του περιβάλλοντος του προγράμματος Ansys 14 προσομοιώνεται ο τρόπος φόρτισης τους, με βάση τις πραγματικές φορτίσεις. Τα βήματα που ακολουθήθηκαν είναι τα παρακάτω:

- I. Κατασκευή της γεωμετρίας των δοκιμίων στο σχεδιαστικό περιβάλλον του προγράμματος.
- II. Ορισμός των φυσικών και των μηχανικών ιδιοτήτων των υλικών με βάση τα δεδομένα της βιβλιογραφίας.
- III. Επιλογή του είδους των πεπερασμένων στοιχείων που θα χρησιμοποιηθούν για την διακριτοποίηση της γεωμετρίας, και πλεγματοποίηση.
- IV. Επιλογή του είδους των οριακών συνθηκών και επιβολή διαφόρων φορτίσεων.
- V. Επιλογή του τρόπου επίλυσης του προβλήματος και επίλυση.

### Π.1. ΠΡΟΒΛΗΜΑ 4 .1: ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΠΙΠΕΔΗΣ ΟΡΘΟΓΩΝΙΑΣ ΠΛΑΚΑΣ

Ανοίγουμε το **ANSYS.14**. Αρχικά στο **file management=>working directory** και αποθηκεύουμε σε ένα φάκελο με όνομα **job name** για να αποθηκευτεί η εργασία μας. Στη συνέχεια επιλέγουμε **RUN** και εμφανίζετε το περιβάλλον εργασίας του υπολογιστικού προγράμματος πεπερασμένων στοιχείων ANSYS 14.



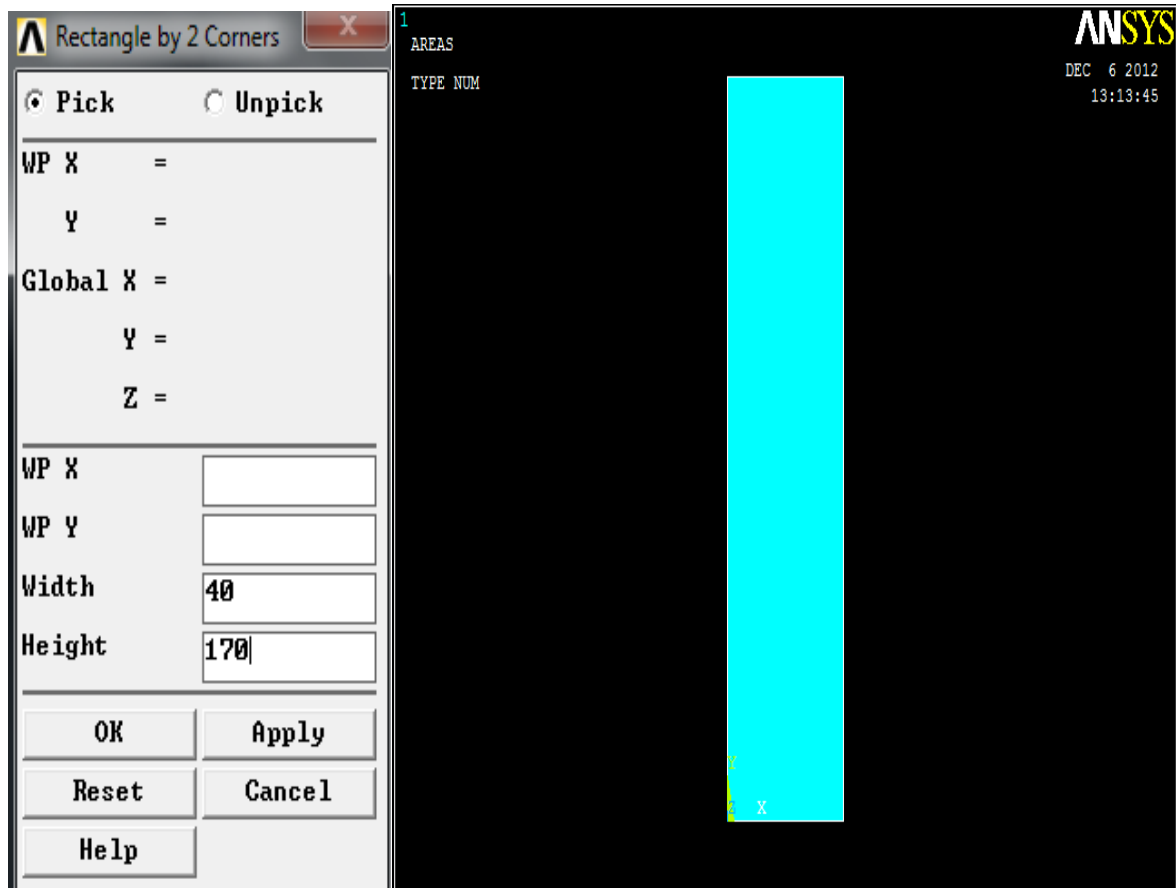
## 1.ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

### ΒΗΜΑ1<sup>ο</sup>: ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΕΤΡΑΓΩΝΟΥ.

Στο *main menu* επιλέγουμε για να δημιουργήσουμε το τετράγωνο :

**Preprocessor =>Modeling =>Create => Areas => Rectangle=>by 2 Corners**

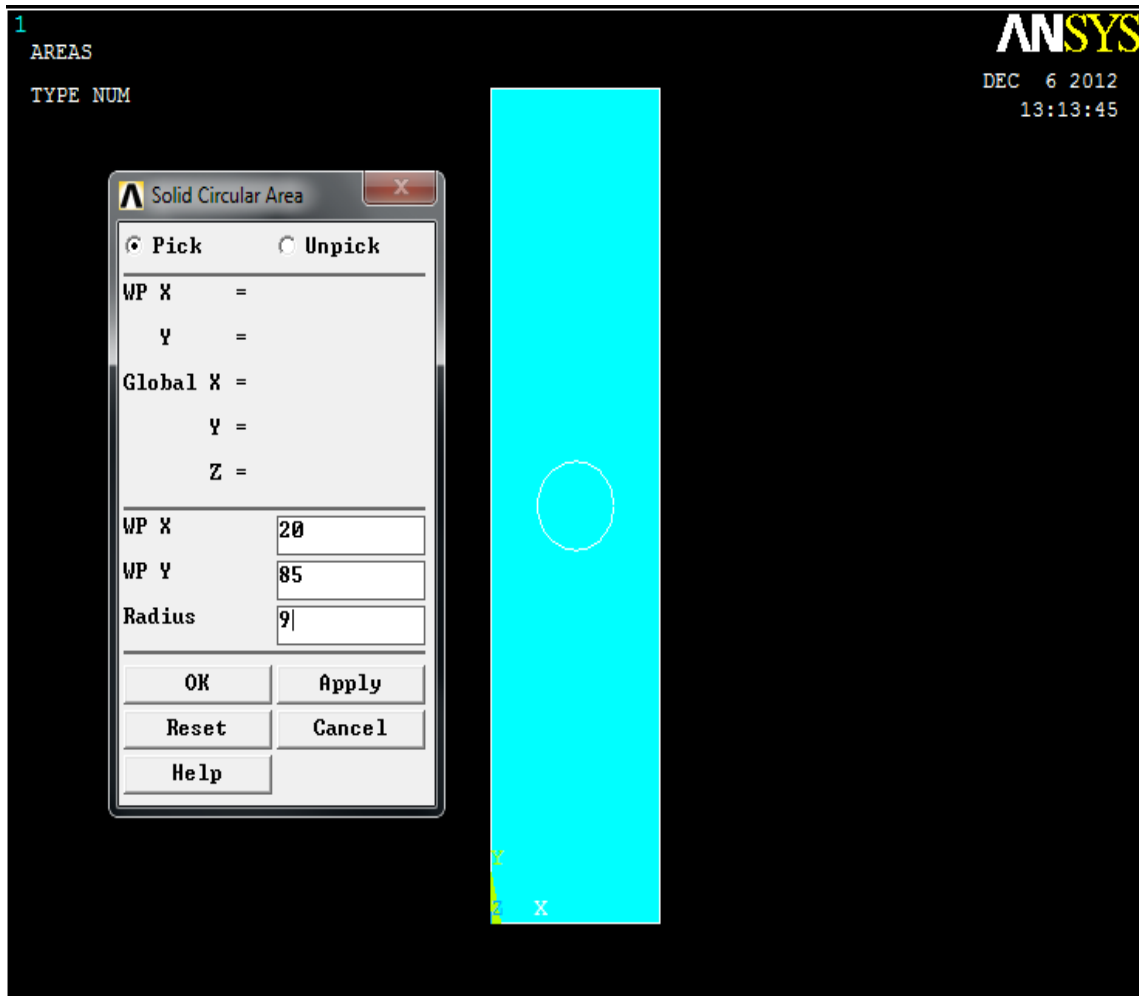
Εμφανίζεται η παρακάτω καρτέλα, δίνοντας διαστάσεις 40 mm X 170 mm:



## ΒΗΜΑ 2<sup>ο</sup>: ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΟΠΗΣ ΑΚΤΙΝΑΣ 9 mm.

Για να δημιουργήσουμε την οπή ακολουθούμε την εξής διαδικασία. Από το αριστερό μενού επιλέγουμε:

**Preprocessor =>Modelling=>Create=>Areas=>Circle=>Solid circle**



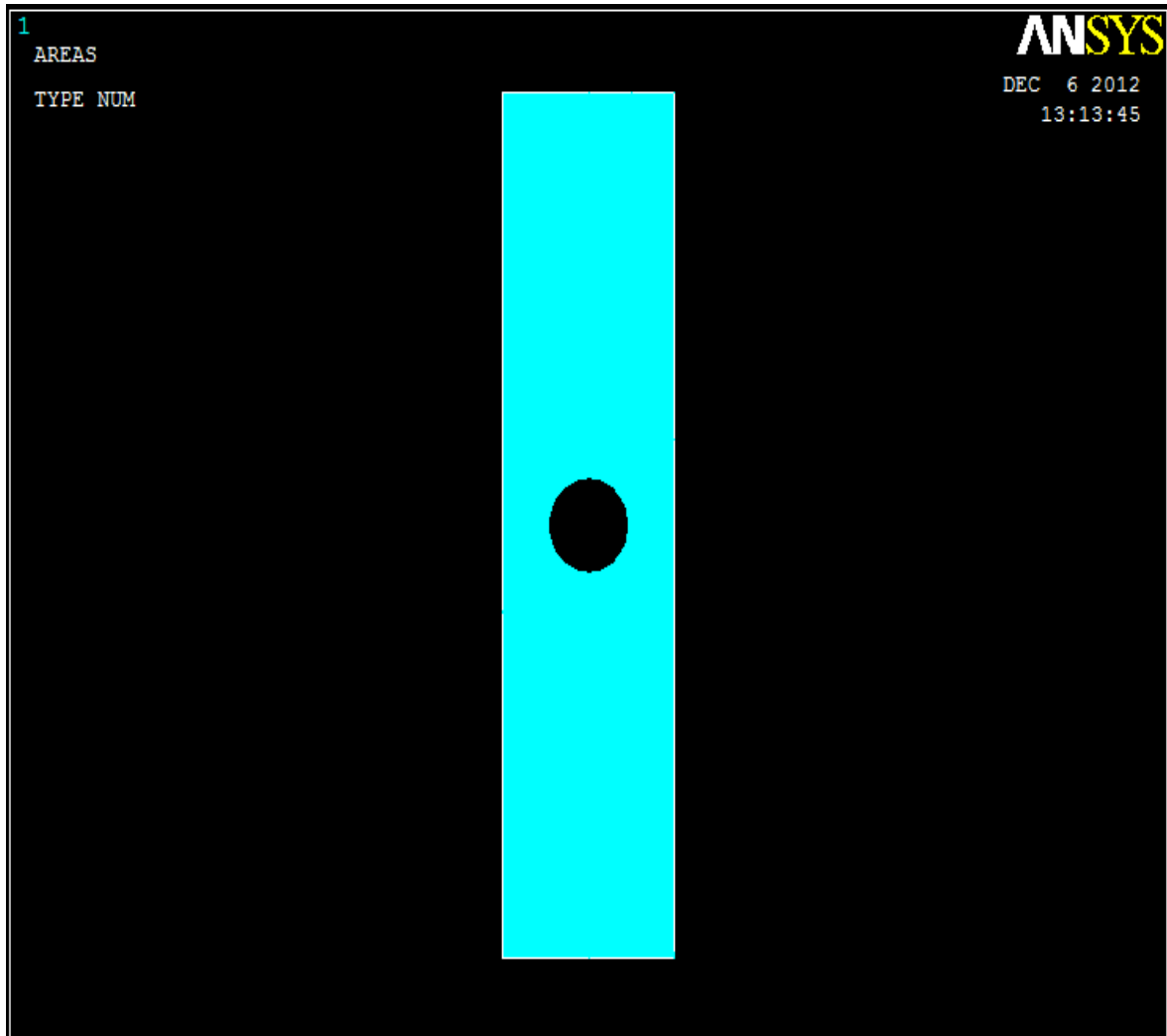


### ΒΗΜΑ 3<sup>ο</sup>: ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΟΠΗΣ

Στην συνέχεια αφαιρούμε την οπή με την παρακάτω διαδικασία :

**Preprocessor =>Modelling =>Operate=>Booleans=>Subtract => Areas**

Επιλεγούμε την βασική επιφάνεια και με την εντολή **Apply** επιλέγουμε την αφαιρούμενη επιφάνεια.

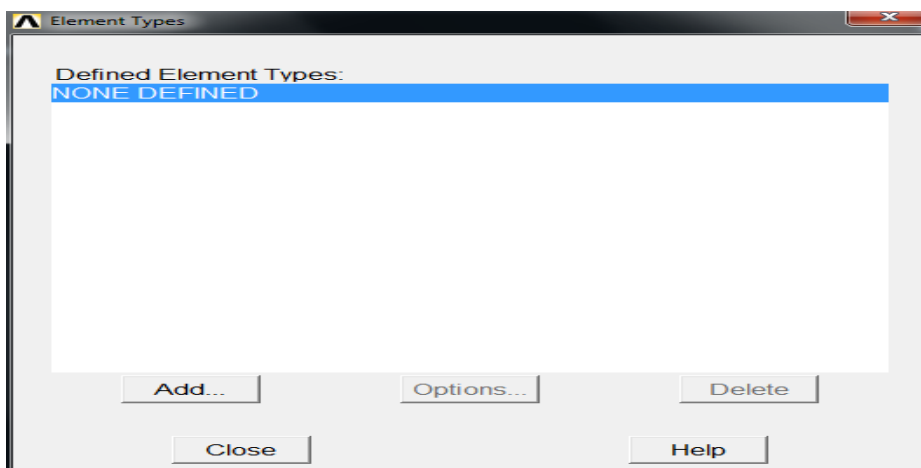


## ΒΗΜΑ 4<sup>ο</sup>: ΟΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

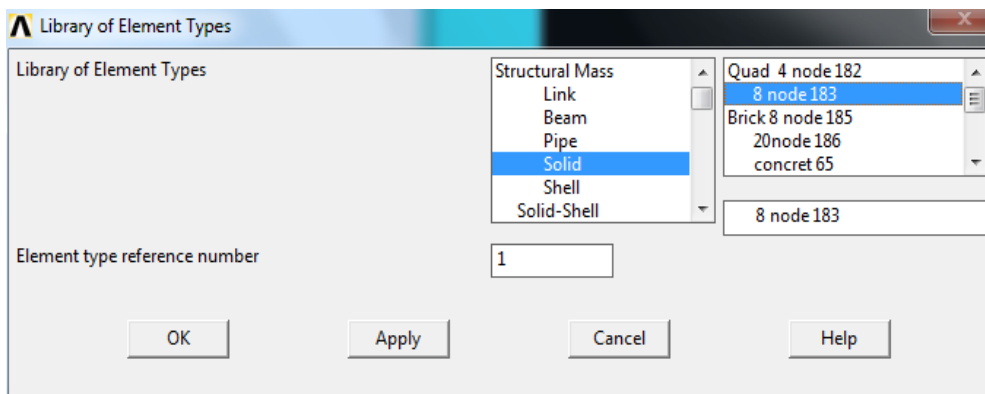
Από το αριστερό μενού επιλέγουμε :

**Preprocessor =>Element Type =>Add/Edit/Delete**

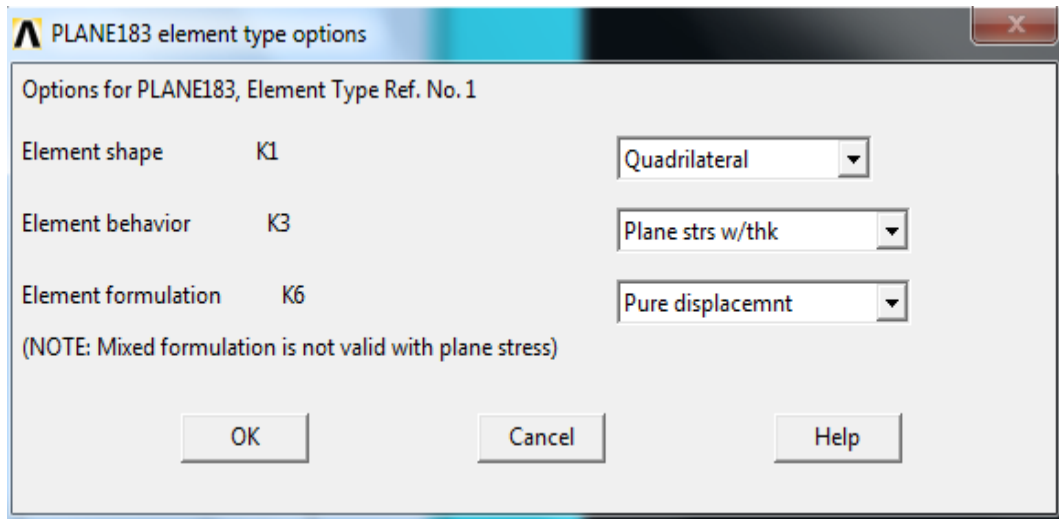
Στην καρτέλα που εμφανίζεται πατάμε **Add**. Σε αυτήν την καρτέλα μπορούμε να προσθέσουμε ένα στοιχείο (**Add**), να διαγράψουμε ένα επιλεγμένο στοιχείο (**Delete**) ή να ελέγξουμε τα χαρακτηριστικά του στοιχείου (**Options**).



Έπειτα στην καρτέλα που εμφανίζεται από το μενού **solid** επιλέγουμε το στοιχείο **8node183** και πατάμε **OK**.



Στην συνέχεια , εφόσον επιλέξουμε το **OK** από την επιλογή του στοιχείου εμφανίζεται η παρακάτω καρτέλα , όπου πρέπει να του δώσουμε τις Χαρακτηριστικές ιδιότητες του υλικού, δηλαδή το σχήμα (**K1**), εμείς επιλέξαμε τετράπλευρο .Στην συνέχεια αναφέρουμε πως συμπεριφέρεται το υλικό (**K3**) με επίπεδη εντακτική κατάσταση τόσο στο πάχος όσο και στο μήκος και τέλος πως διατυπώνεται το στοιχείο , δηλαδή πως μετατοπίζεται (**K5**).

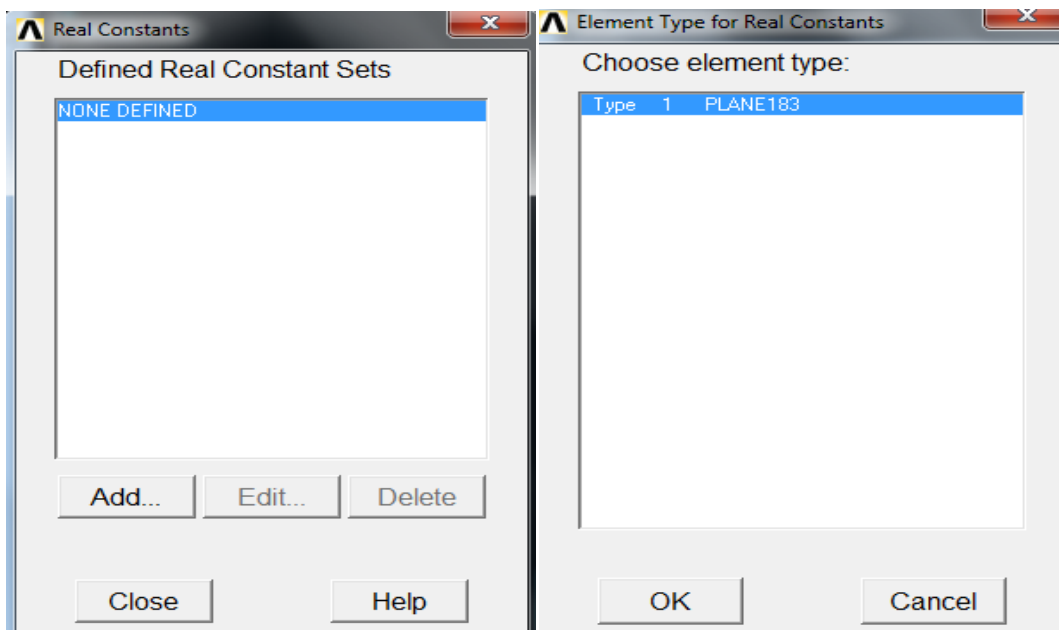


### ΒΗΜΑ 5<sup>ο</sup>: ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ

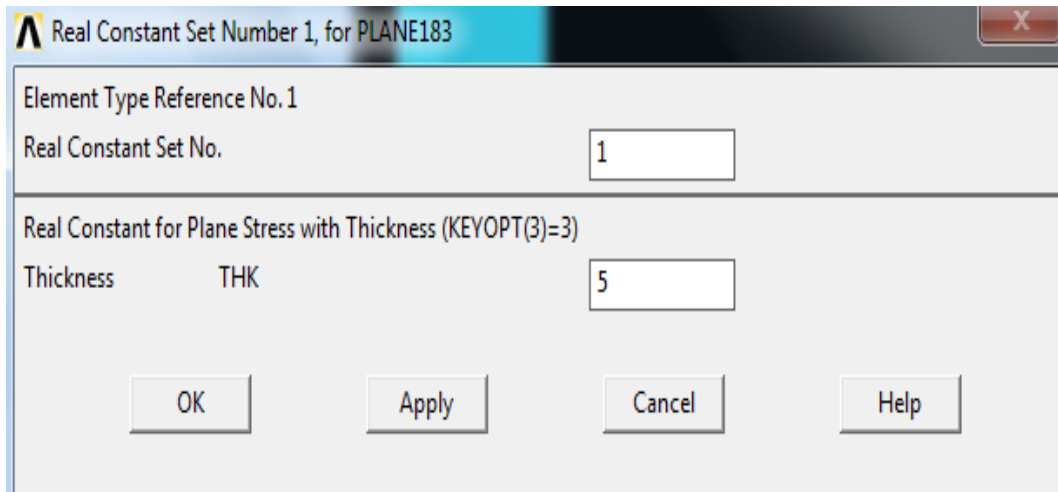
Από το αριστερό μενού επιλέγουμε :

**Preprocessor =>Element Type =>Add/Edit/Delete**

Επιλέγουμε **Add** και στην συνέχεια **OK** στην καρτέλα που εμφανίζεται.



Στην συνέχεια επιλεγούμε τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του υλικού. Για την συγκεκριμένη περίπτωση το πάχος είναι 5 mm.

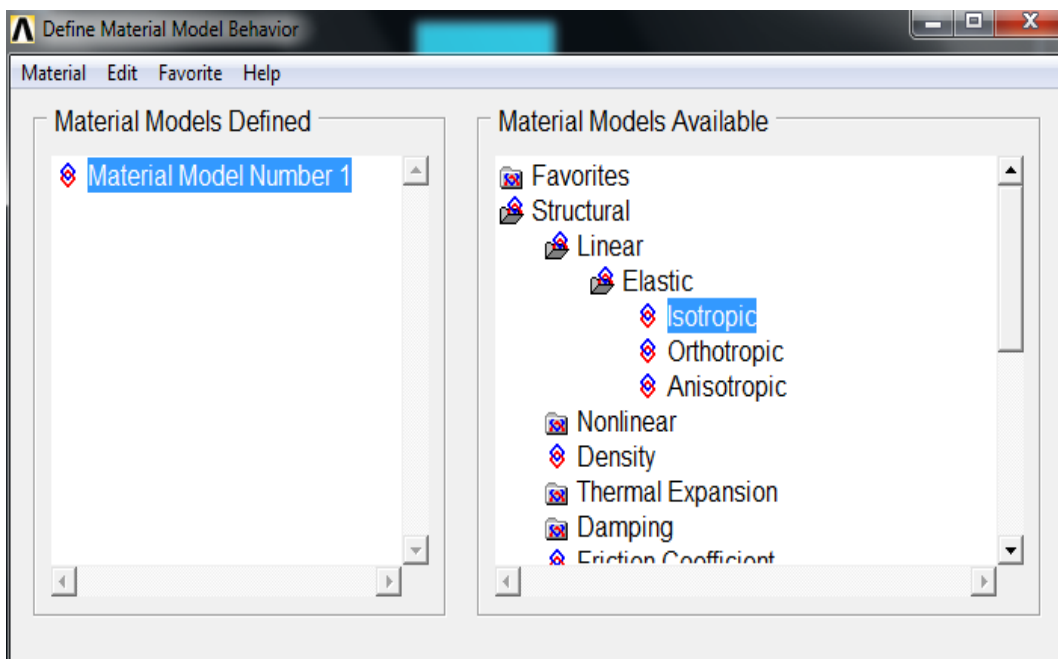


### ΒΗΜΑ 6<sup>ο</sup>: ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΛΙΚΟΥ.

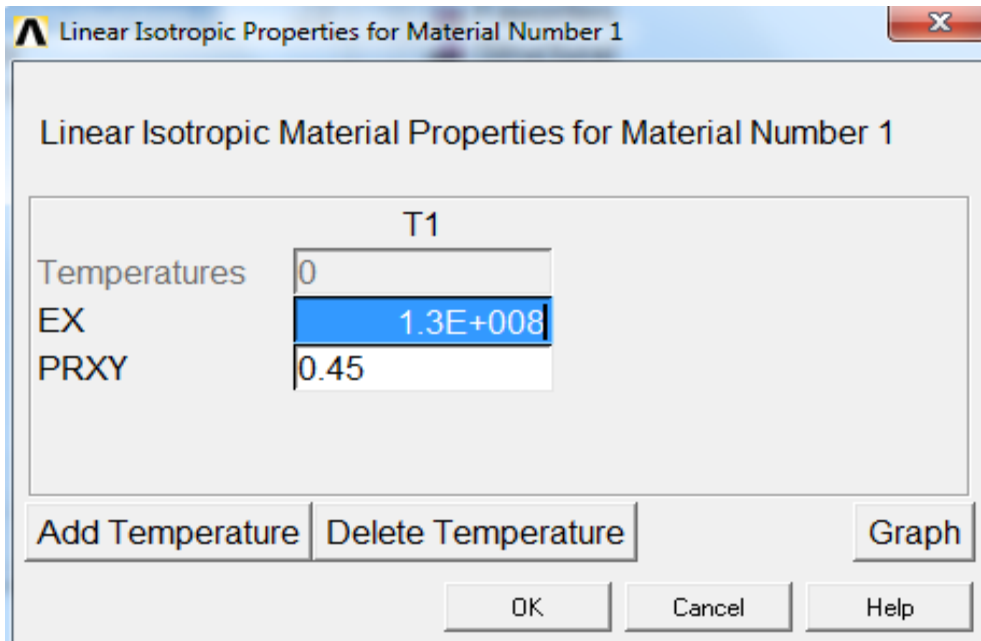
Ο ορισμός του υλικού θα γίνει ως εξής: Από το αριστερό μενού επιλέγουμε :

**Preprocessor => Material Props => Material Models =>Structural =>Linear =>Elastic  
=>Isotropic**

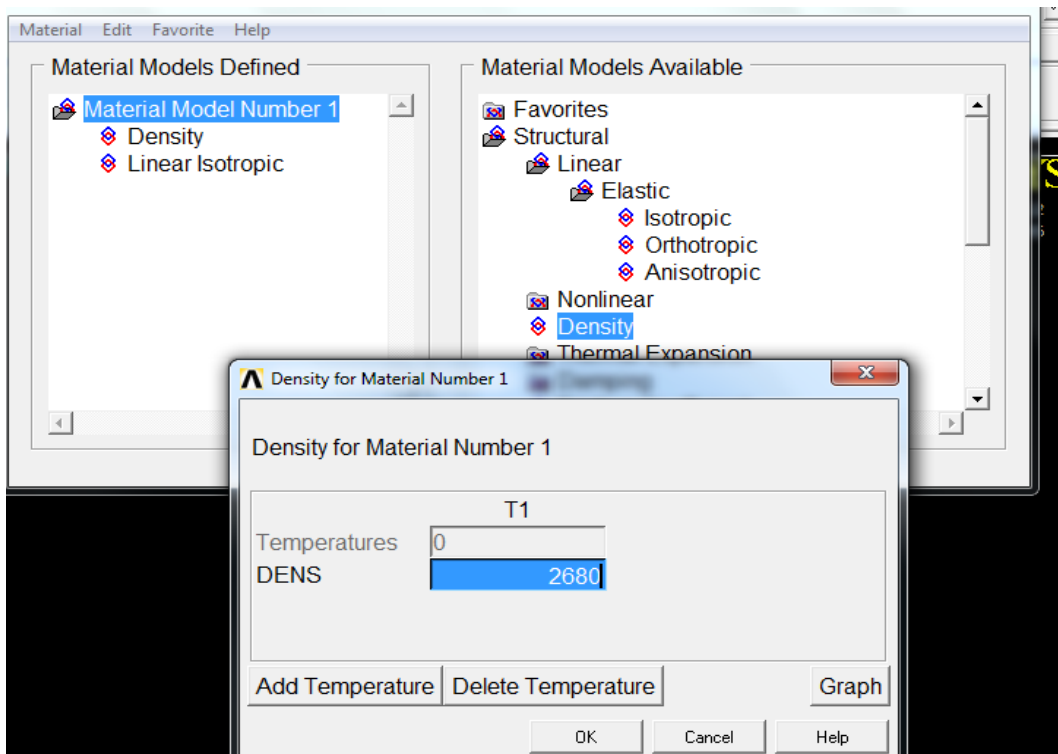
Όπως φαίνεται παρακάτω Επιλέγουμε την συμπεριφορά του υλικού (ΙΣΟΤΡΟΠΟ ΥΛΙΚΟ).



Στην καρτέλα που εμφανίζεται παρακάτω συμπληρώνουμε το μέτρο ελαστικότητας **EX** και το λόγο Poisson **PRXY** και επιλέγουμε το **OK** .Όπου **EX=0,13 GPa** και **PRXY=0,45**



Επίσης στην ίδια καρτέλα επιλέγουμε την εντολή **Density** και ορίζουμε την πυκνότητα υλικού: **DENS=2680 kg/m<sup>3</sup>** .

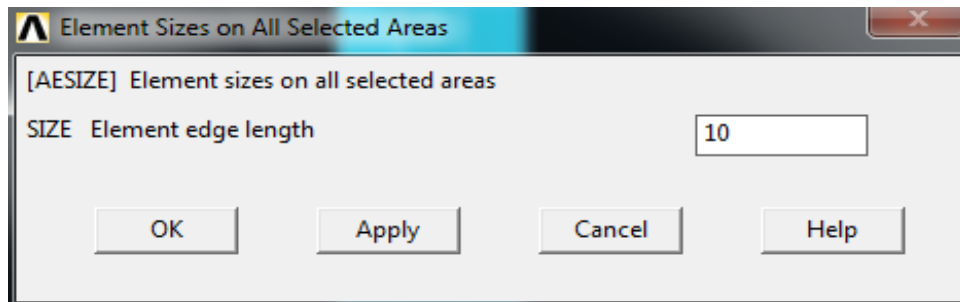


## ΒΗΜΑ 7<sup>ο</sup>: ΜΕΓΕΘΟΣ ΠΡΩΤΟΥ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ

Η επιλογή του μήκους των στοιχείων γίνεται ως εξής: Από το αριστερό μενού επιλέγουμε :

**Preprocessor =>Meshing=>Size Controls=>Manual Size=>Areas  
=>All Areas**

Εμφανίζεται η παρακάτω καρτέλα όπου συμπληρώνουμε σε πόσα τμήματα θα διαχωριστεί το στοιχείο και πατάμε **OK**, εμείς επιλέξαμε 10 τμήματα.

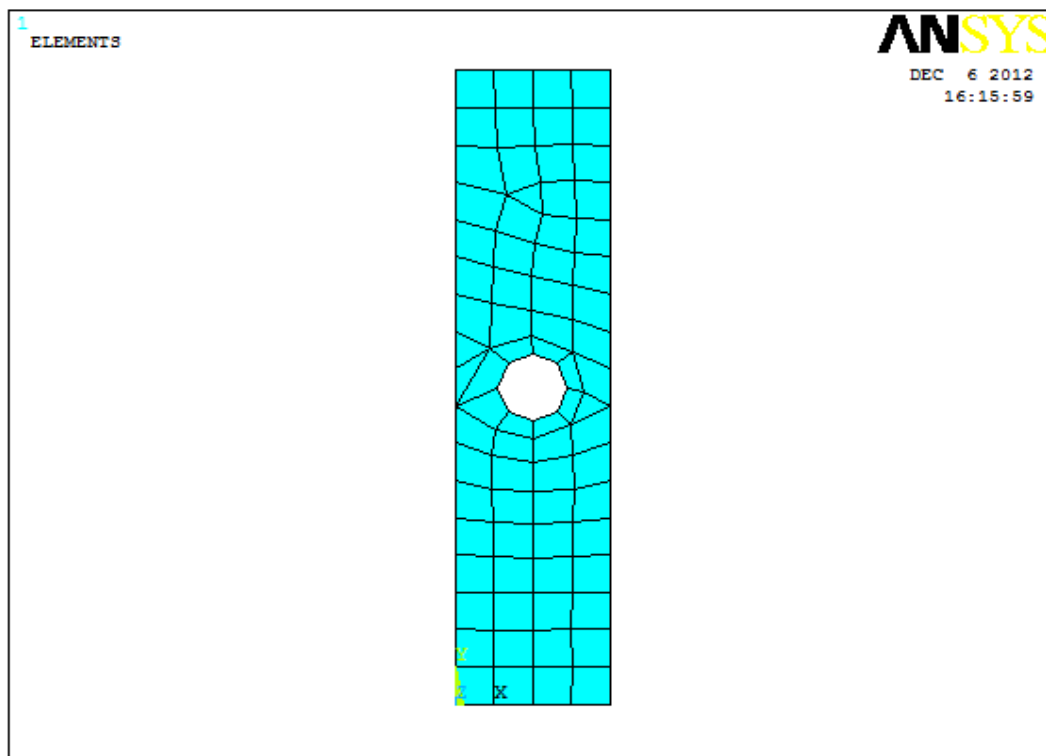


## ΒΗΜΑ 8<sup>ο</sup>: ΔΙΑΚΡΙΤΟΠΟΙΗΣΗ (ΠΡΩΤΟ ΠΛΕΓΜΑ ΣΕ 10 ΤΜΗΜΑΤΑ).

Από το αριστερό μενού επιλέγουμε :

**Preprocessor=>Meshing=>Mesh=>Volumes=>Free**

Στην καρτέλα που εμφανίζεται πατάμε **pick all** για να επιλεγεί ολόκληρη η επιφάνεια.

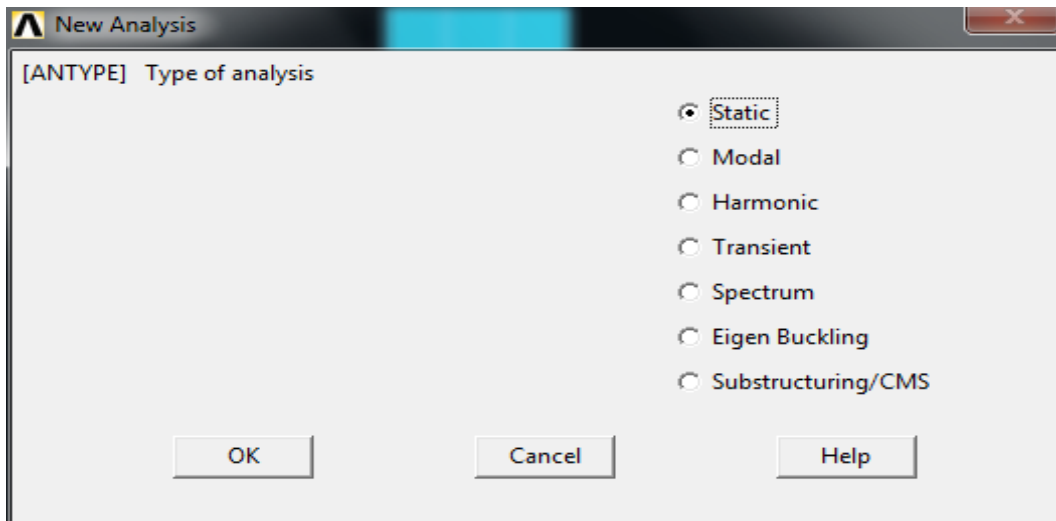


## ΒΗΜΑ 9<sup>ο</sup>: ΟΡΙΣΜΟΣ ΕΙΔΟΥΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Το είδος της ανάλυσης ορίζεται ως εξής, Από το αριστερό μενού επιλέγουμε :

**Solution =>Analysis Type => New Analysis**

Στην καρτέλα που εμφανίζεται πατάμε **static**.

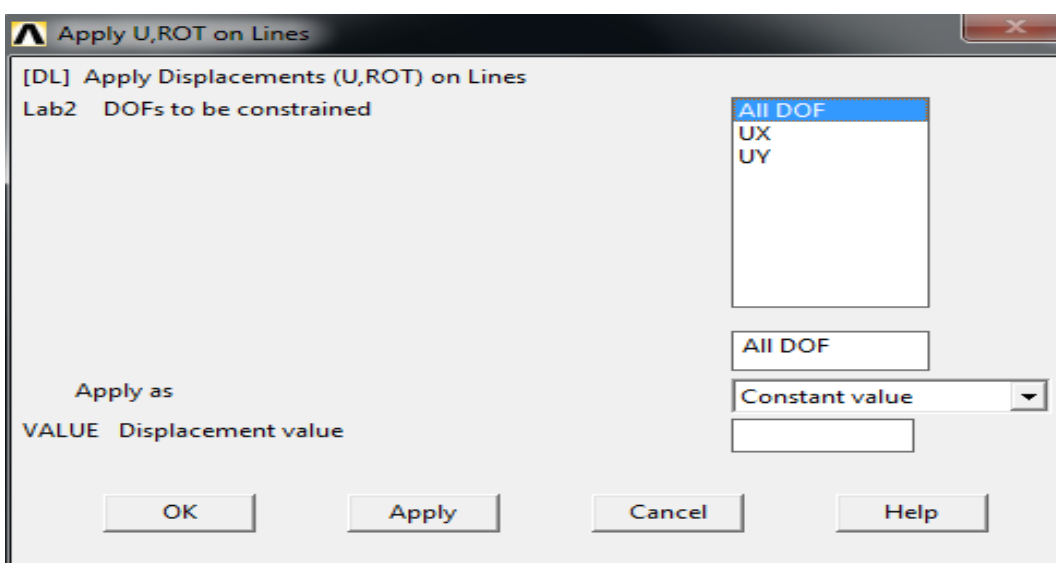


## ΒΗΜΑ 10<sup>ο</sup>: ΟΡΙΣΜΟΣ ΣΤΗΡΙΞΕΩΝ

Για να ορίσουμε τις στηρίξεις ακολουθούμε την εξής διαδικασία: Από το αριστερό μενού επιλέγουμε :

**Solution =>Define Loads =>Apply =>Structural =>Displacement**

Επιλέγουμε την εντολή **On Areas** και στην καρτέλα που εμφανίζεται πατάμε **Pick All**. Αφού επιλέξουμε την επιφάνεια που θέλουμε να πακτώσουμε, έπειτα στη νέα καρτέλα που εμφανίζεται επιλέγουμε **All Dof** και πατάμε **OK**.

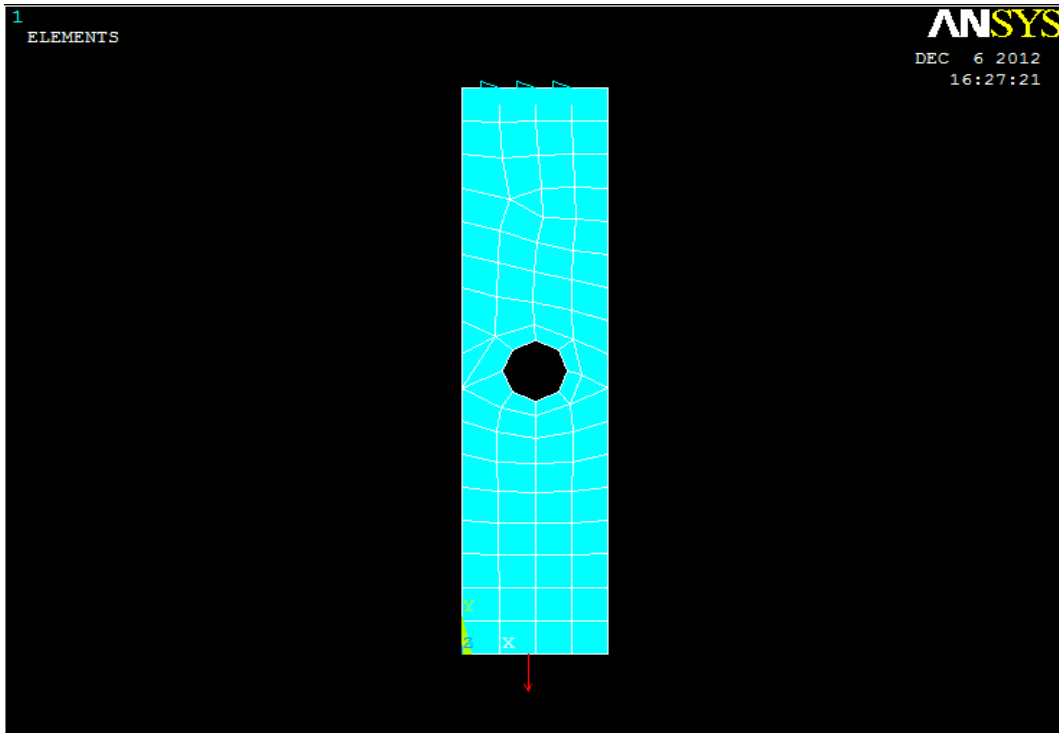


## ΒΗΜΑ 11<sup>ο</sup>: ΟΡΙΣΜΟΣ ΔΥΝΑΜΕΩΝ

Για να ορίσουμε την τιμή και την διεύθυνση του φορτίου ακολουθούμε τις εξής εντολές:

**Solution =>Define Loads =>Apply =>Structural =>Pressure =>On Lines.**

Στη συνέχεια επιλέγουμε τη κάτω γραμμή της πλάκας, πατάμε **OK** και στην καρτέλα που εμφανίζεται συμπληρώνουμε την τιμή του φορτίου (-4 KP). Το φορτίο έχει αρνητικό πρόσημο διότι το **ANSYS** αντιλαμβάνεται τα εφελκυστικά φορτία ως αρνητικά και τα θλιπτικά ως θετικά.

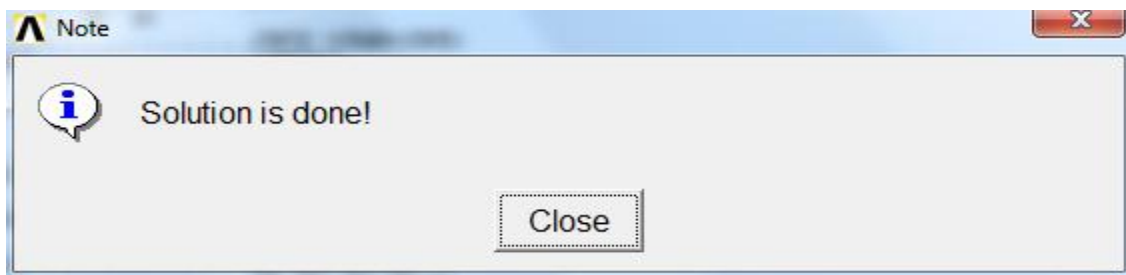


## ΒΗΜΑ 12<sup>ο</sup>: ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ.

Εκτελούμε την επίλυση από το αριστερό μενού :

**Solution=>Solve=>Current LS.**

Όταν τελειώσουν οι υπολογισμοί το πρόγραμμα μας ενημερώνει με το παρακάτω μήνυμα:



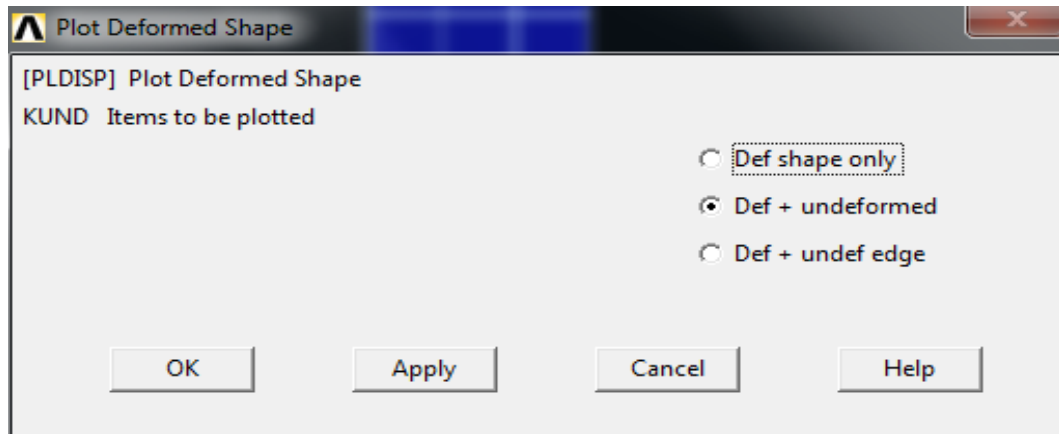


## ΒΗΜΑ 13<sup>ο</sup>: ΠΡΟΒΟΛΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.

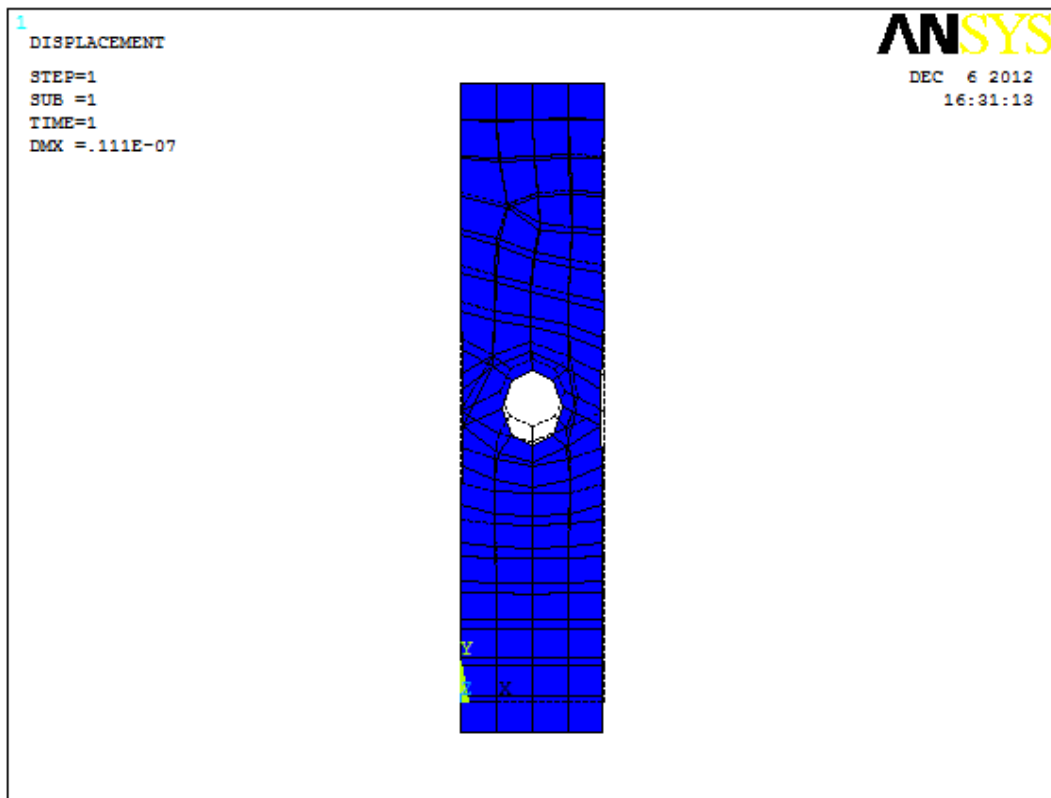
### Α) ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟ ΣΩΜΑ

Το **ANSYS** μας δίνει την δυνατότητα απεικόνισης του παραμορφωμένου σώματος. Από το αριστερό μενού ακολουθούμε την γνωστή ακολουθία :

**General Postproc =>Plot Results=>Deformed Shape=>def + undeformed**



Και στην καρτέλα που εμφανίζεται πατάμε **OK**. Έπειτα εμφανίζεται το παραμορφωμένο σώμα .



## B) ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΕΩΝ

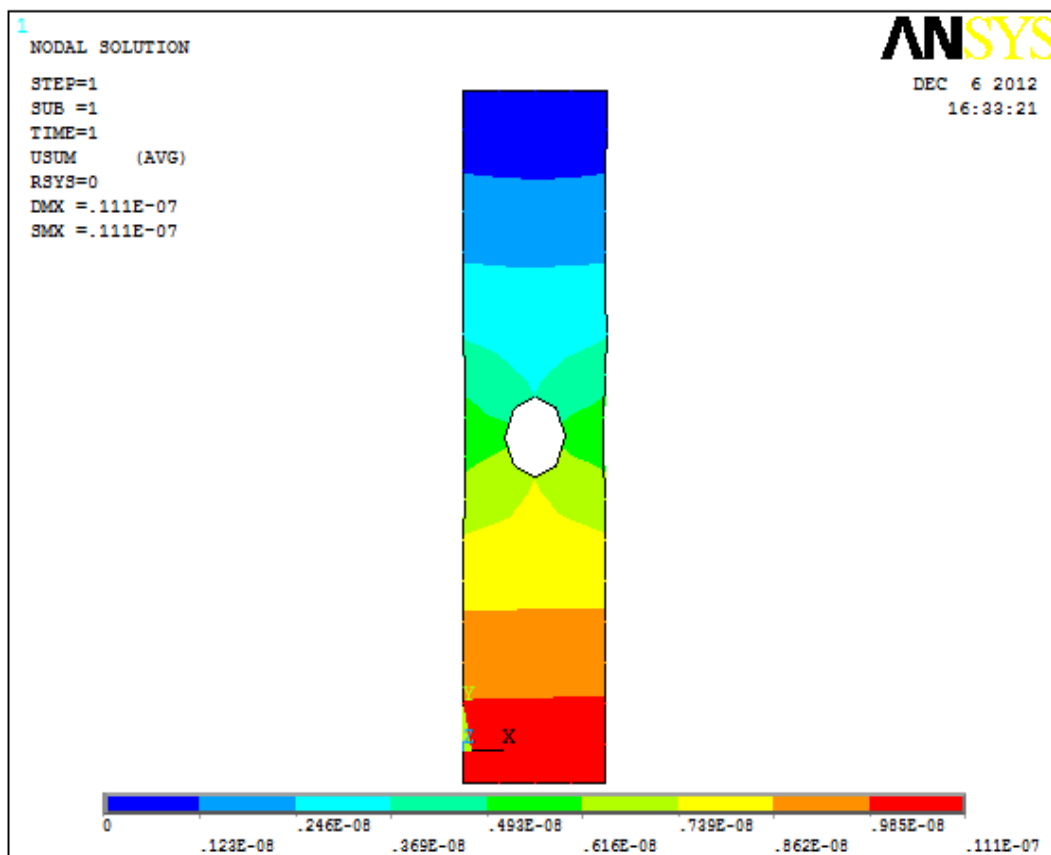
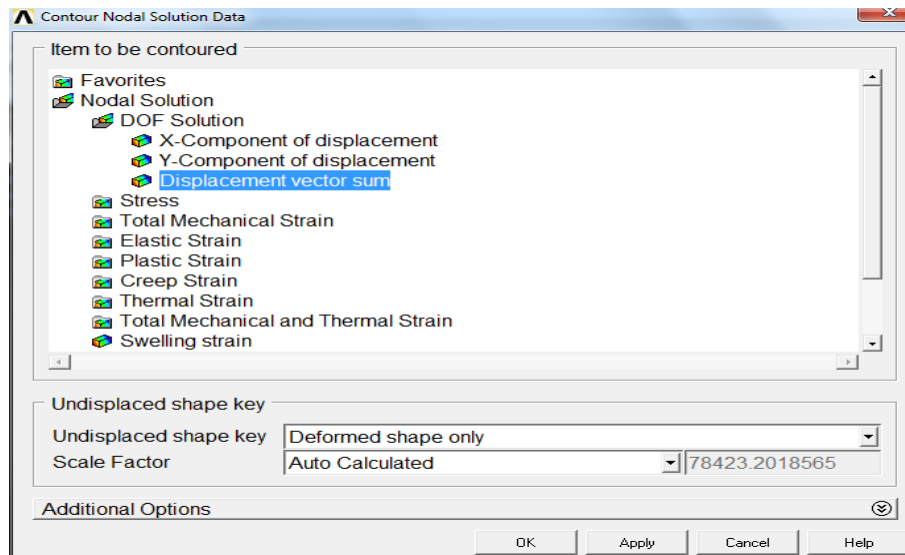
Από το αριστερό μενού επιλέγουμε :

**General Postproc=>Plot Results=>Contour Plot=>Nodal Solution**

Στην καρτέλα που εμφανίζεται παρακάτω επιλέγουμε:

**DOF Solution =>Displacement vector sum** και έπειτα επιλέγουμε **OK**

Οπότε εμφανίζεται το σχήμα των μετατοπίσεων.



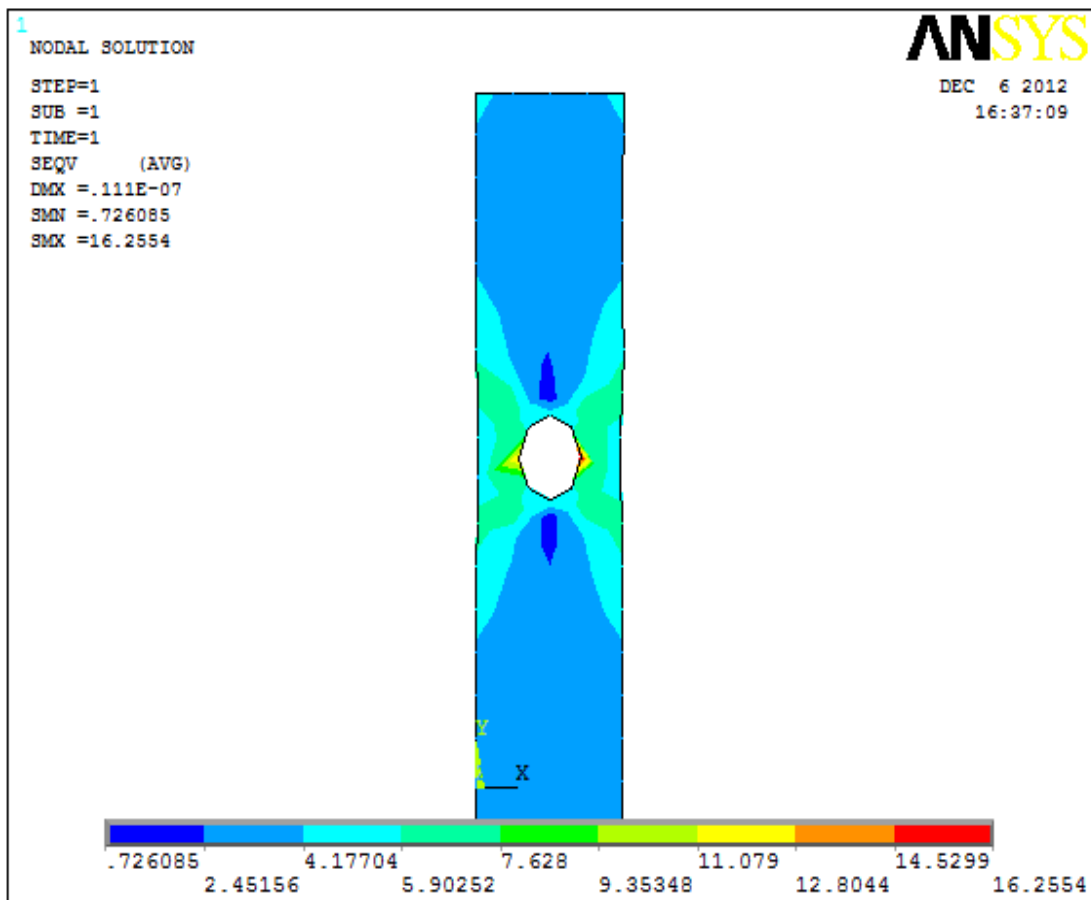
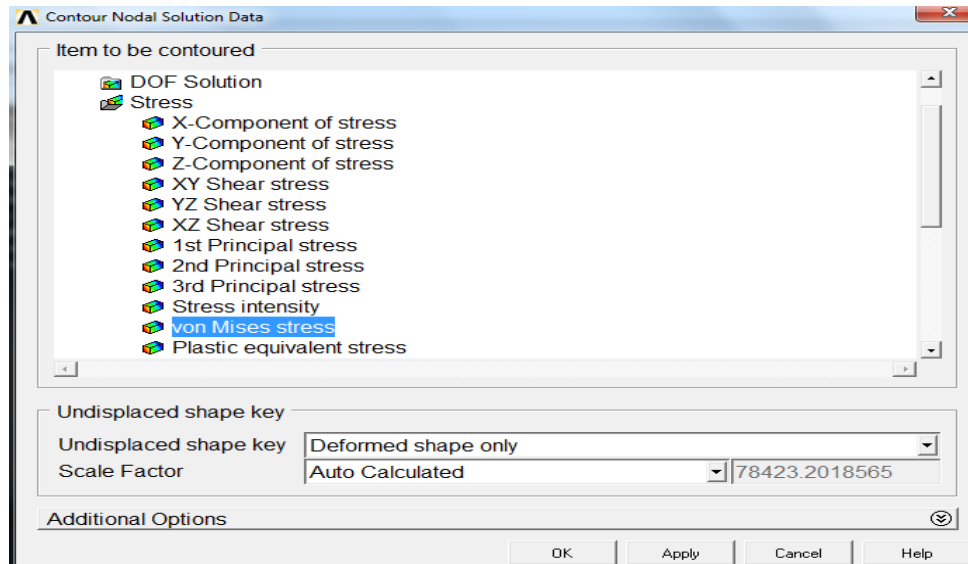
## Γ) ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΤΑΣΕΩΝ

Εκτελούμε πάλι την ίδια διαδικασία από το αριστερό μενού:

**General Postproc =>Plot Results =>Contour Plot =>Nodal Solution**

Και στην ίδια καρτέλα που εμφανίζεται αυτή τη φορά επιλέγουμε:

**Stress =>Von Mises Stress** και πατάμε **OK**.

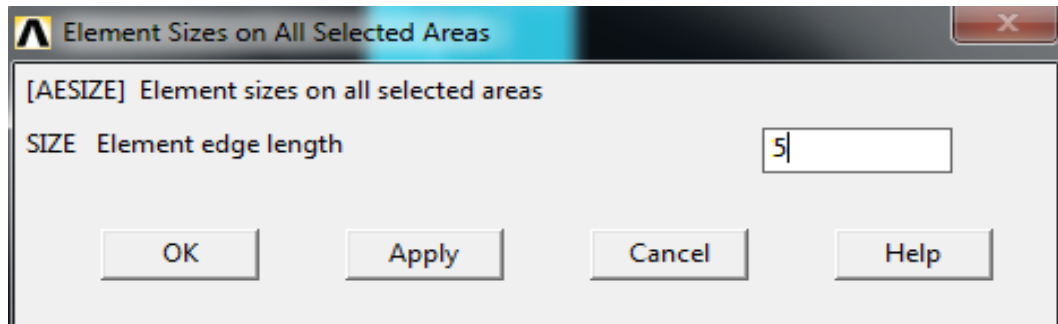


### ΒΗΜΑ 13<sup>ο</sup>: ΔΙΑΚΡΙΤΟΠΟΙΗΣΗ (ΔΕΥΤΕΡΟ ΠΛΕΓΜΑ).

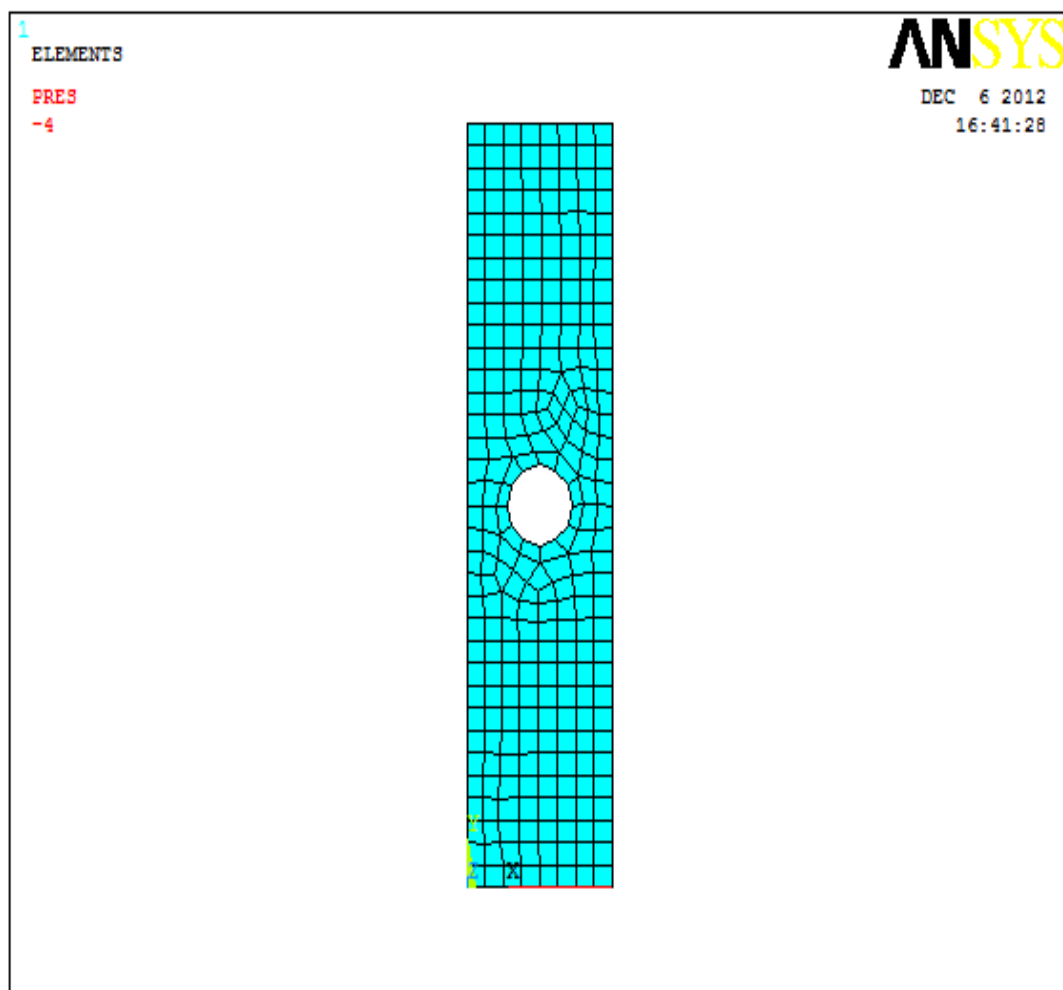
Με σκοπό την σύγκριση των αποτελεσμάτων το δοκίμιο διακριτοποιείται πάλι με διαφορετικό μέγεθος στοιχείων. Οπότε ακολουθούμε την εξής διαδικασία:

**Preprocessor =>Meshing =>Size Controls=>Manual Size =>Areas>All Areas**

Στην καρτέλα που εμφανίζεται συμπληρώνουμε το νέο μήκος στοιχείων.

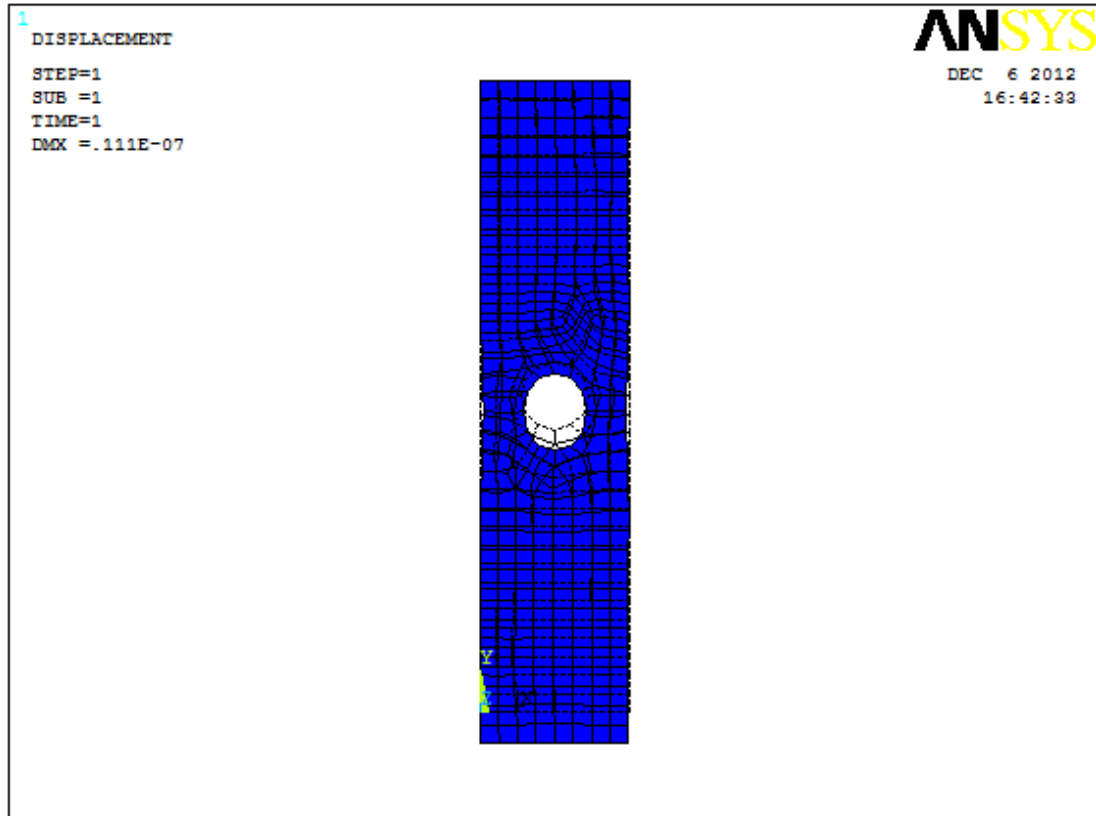


### ΔΙΑΚΡΙΤΟΠΟΙΗΣΗ:

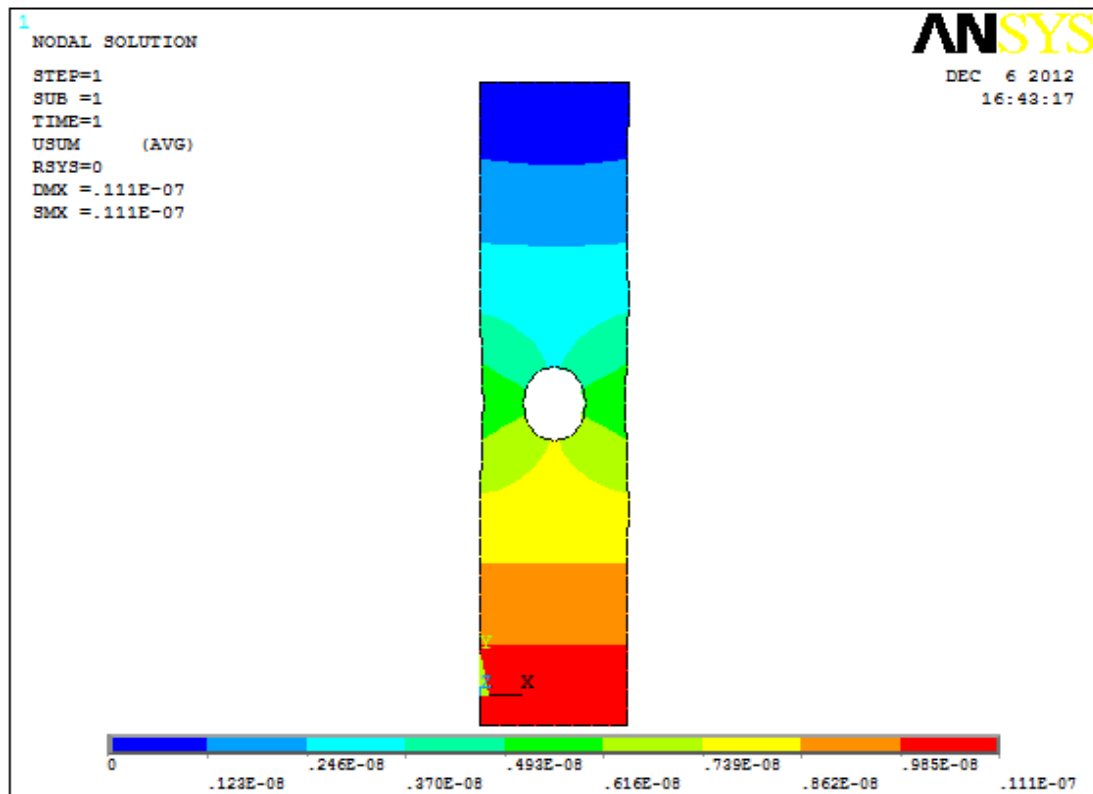


Λύνουμε το σύστημα και παίρνουμε τα δεύτερα αποτελέσματα:

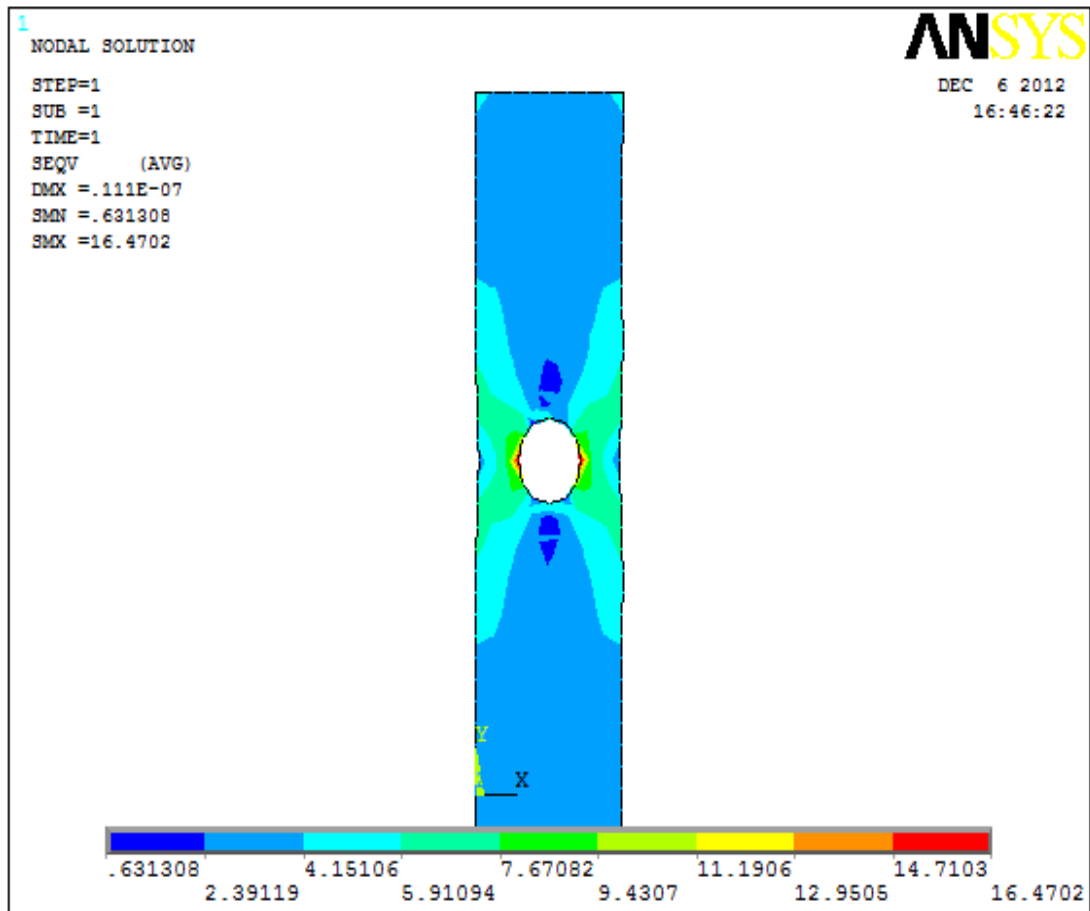
### A) ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟ ΣΩΜΑ:



### B) ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΕΙΣ:



## Γ) ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΑΣΕΩΝ



## Π.2. ΠΡΟΒΛΗΜΑ 4 .2: ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΜΜΕΤΡΙΚΟΥ ΣΩΜΑΤΟΣ.

Ανοίγουμε το **ANSYS.14**. Αρχικά στο **File management=>working directory** και αποθηκεύουμε σε ένα φάκελο με όνομα **job name** για να αποθηκευτεί η εργασία μας. Στη συνέχεια επιλέγουμε **RUN** και εμφανίζεται το σχεδιαστικό περιβάλλον του προγράμματος ANSYS.



## 1. ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

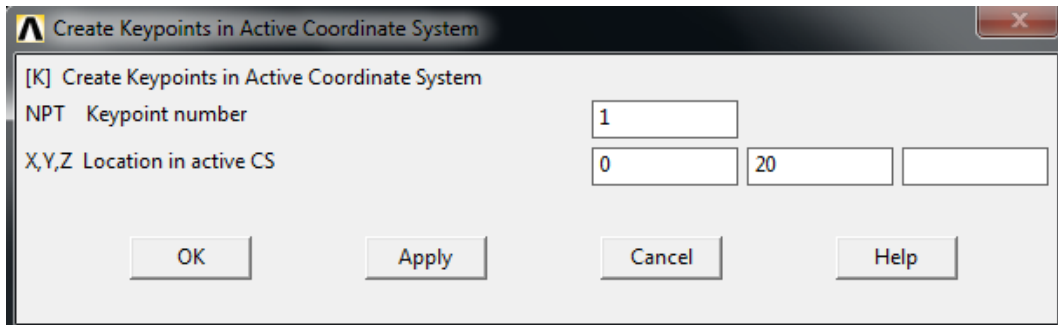
### ΒΗΜΑ 1<sup>ο</sup>: ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΣΗΜΕΙΩΝ

Στο *main menu* επιλέγουμε:

**Preprocessor =>modelling =>create =>key points =>in active CS**

Και στην καρτέλα που εμφανίζεται δίνουμε τα παρακάτω σημεία .

Επιλέγουμε το **Apply** βάζοντας όλα τα σημεία και αντίστοιχα επιλέγουμε το **OK**.



Στον παρακάτω πίνακα αναλύονται οι συντεταγμένες για την δημιουργία του σχεδίου.

| <b>α/α</b> | <b>X</b> | <b>Y</b> |
|------------|----------|----------|
| 0          | 0        | 0        |
| 1          | 0        | 20       |
| 2          | 5        | 25       |
| 3          | 5        | 120      |
| 4          | 30       | 120      |
| 5          | 30       | 25       |
| 5          | 35       | 20       |
| 7          | 35       | 0        |
| 8          | 0        | 0        |

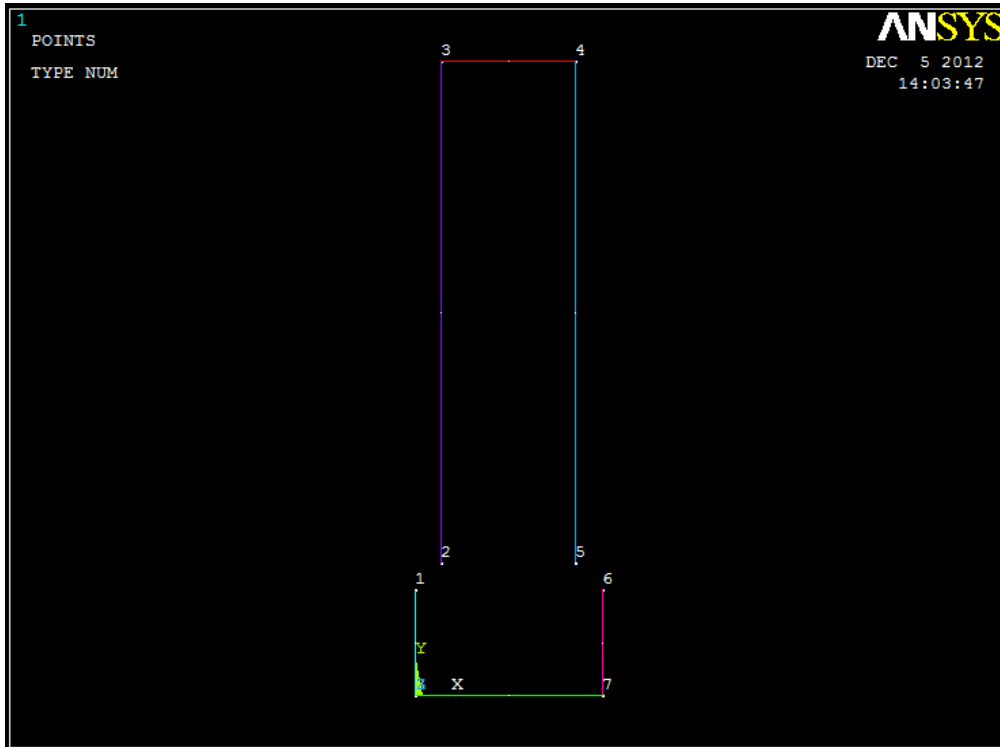


## ΒΗΜΑ 2<sup>ο</sup>: ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΣΗΜΕΙΩΝ

Τα σημεία τα ενώνουμε ως εξής:

**Preprocessor =>modelling =>create=>Lines=>Lines=>Straight line.**

Εμφανίζεται ένα καρτελάκι και ο κέρσορας γίνεται ένα ενεργό βέλος. Έπειτα επιλέγουμε τα σημεία των ευθειών γραμμών, και προκύπτει :

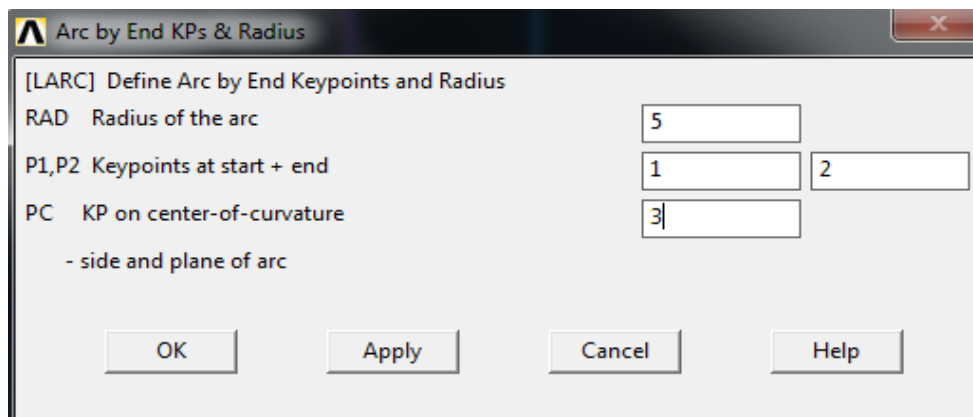


## ΒΗΜΑ 3<sup>ο</sup>: ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΤΩΝ ΤΟΞΩΝ.

Από το αριστερό μενού :

**Preprocessor =>Modelling =>Create =>Lines =>Arcs =>By End KPs & Rad**

Εμφανίζεται η παρακάτω καρτέλα όπου Δημιουργούμε τόξο στα σημεία 1 και 2 :

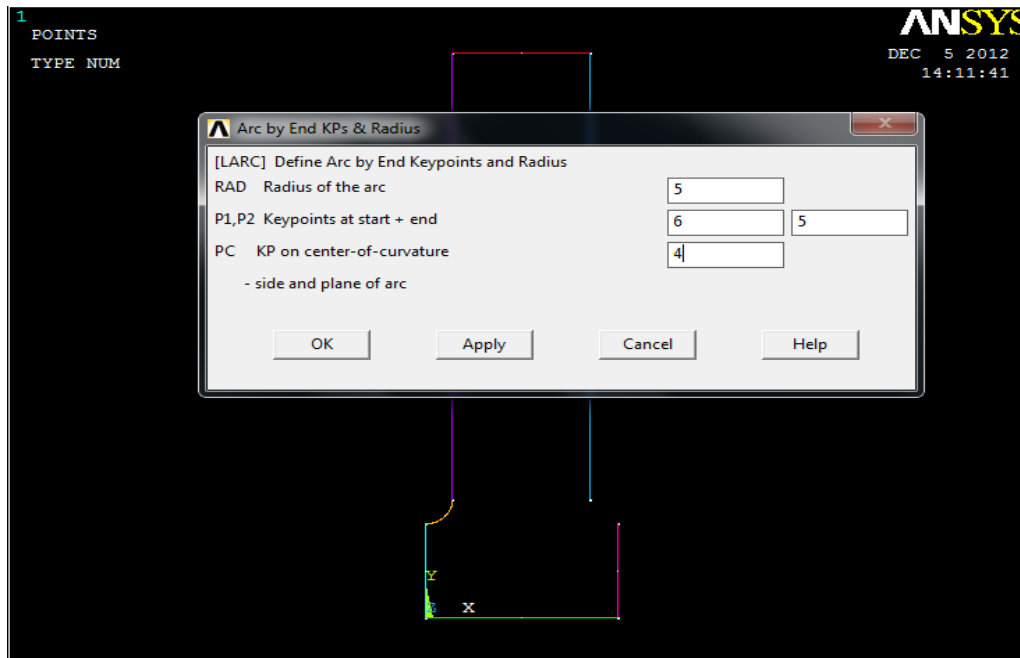


Όπου **RAD** : Ακτίνα του τόξου (5 mm)

**P1, P2**: Τα σημεία ένωσης ( $1^0-2^0$ ) με τόξο και στην συνέχεια ενώνονται τα σημεία ( $5^0-6^0$ )

**PC KP**: Το κέντρο της κυρτότητας του τόξου ως προς το σημείο ( $3^0$ ) και στην συνέχεια με την ίδια διαδικασία επιλέγουμε το σημείο ( $4^0$ ).

Επιλέγουμε το επόμενο σημείο, όπου είναι το κέντρο της κυρτότητας και πατάμε **OK**.



Παρακάτω απεικονίζεται η ολοκλήρωση των τόξων .

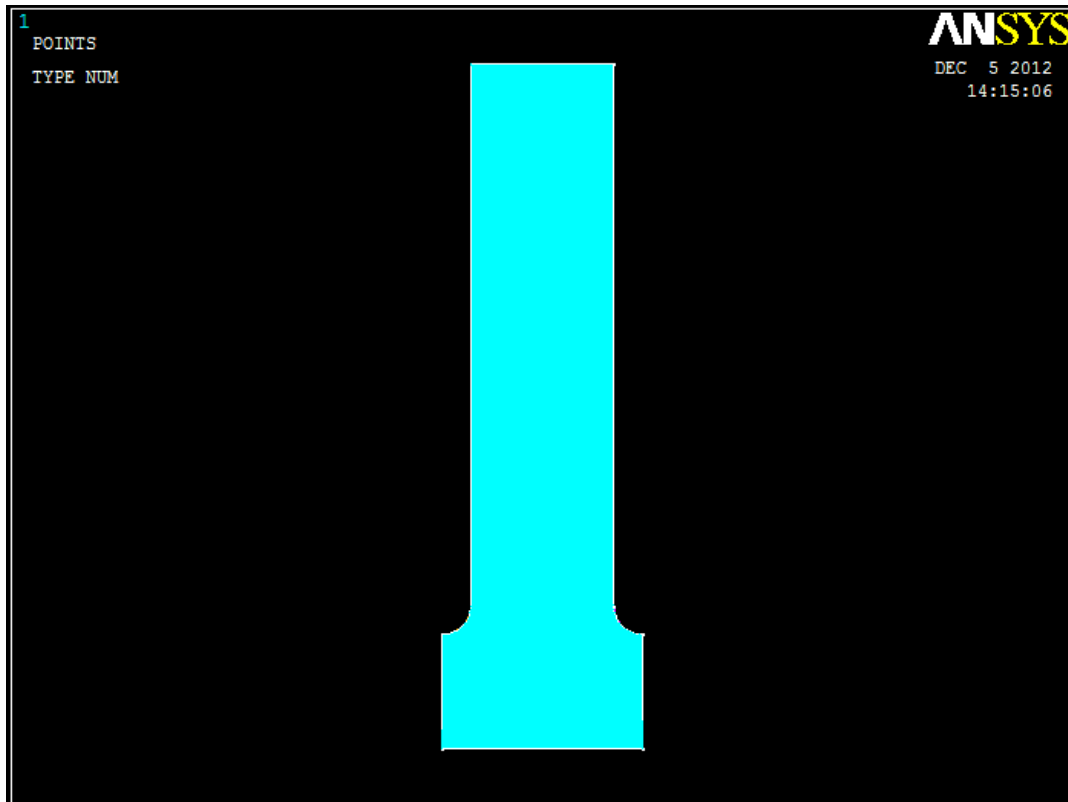


## ΒΗΜΑ 4<sup>ο</sup>: ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ

Από το αριστερό μενού επιλέγουμε:

**Preprocessor =>Modelling =>Create =>Areas =>Arbitrary=>By lines**

Επιλέγουμε το περίγραμμα του σχήματος και πατάμε **OK**.



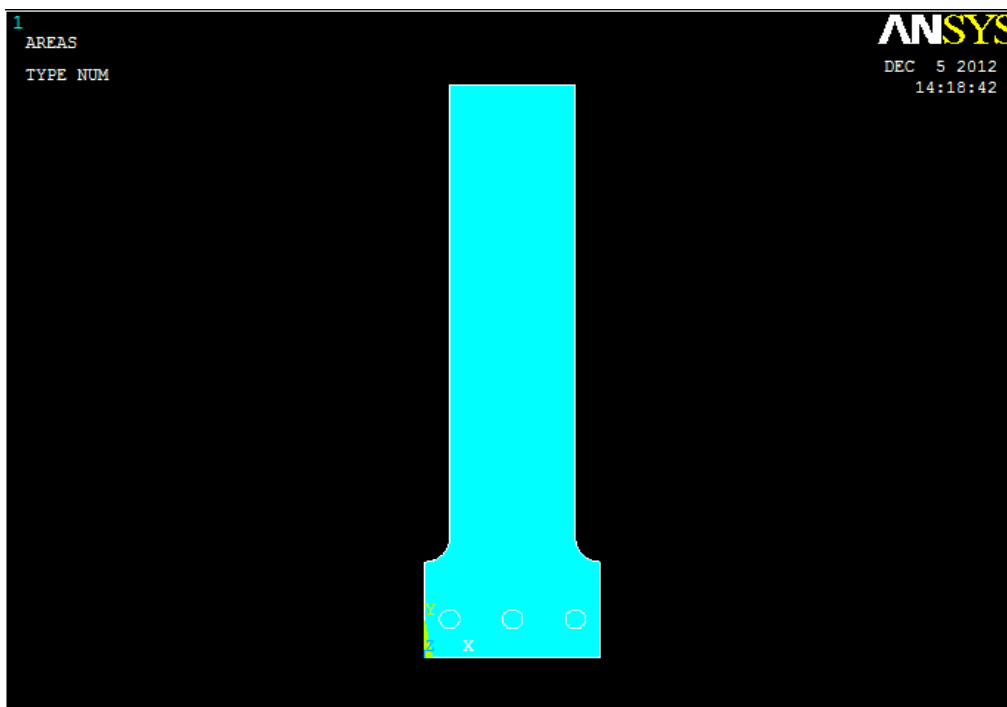
## ΒΗΜΑ 5<sup>ο</sup>: ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΟΠΗΣ

Για να δημιουργήσουμε την οπή ακολουθούμε την εξής διαδικασία. Από το αριστερό μενού επιλέγουμε:

**Preprocessor =>Modelling =>Create =>Areas=>Circle=>Solid circle**

Τοποθετούμε τα παρακάτω σημεία με την εντολή **Apply** και τέλος επιλέγουμε το **OK** για να αποθηκευτούν.

| $\alpha/\alpha$ | X    | Y | R |
|-----------------|------|---|---|
| 1               | 5    | 8 | 2 |
| 2               | 17.5 | 8 | 2 |
| 3               | 30   | 8 | 2 |

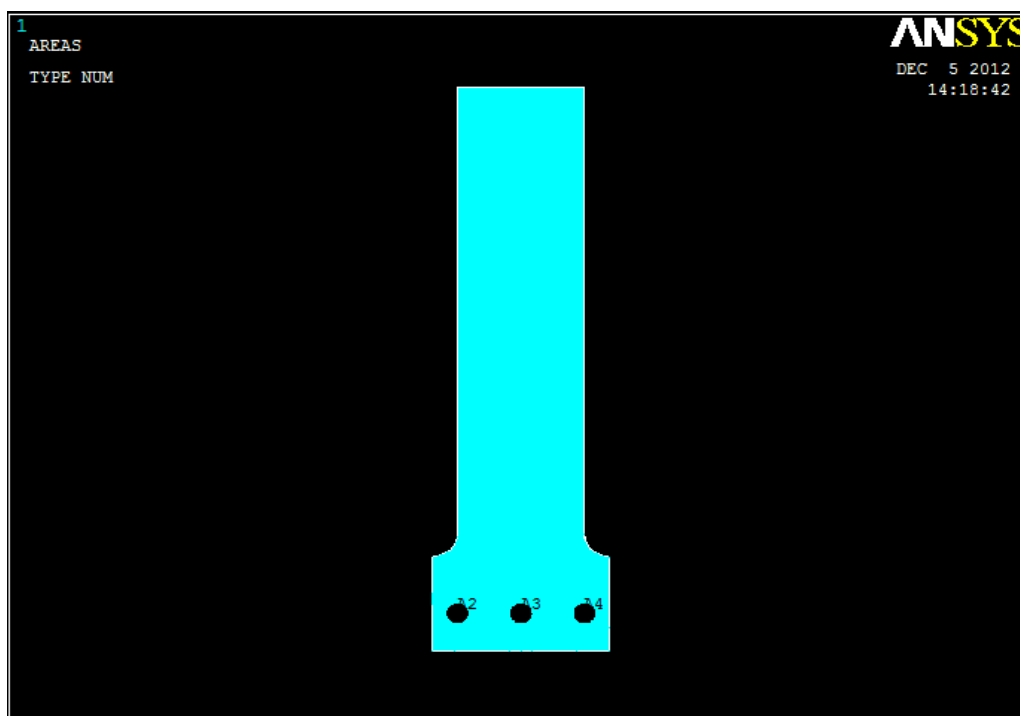


### ΒΗΜΑ 5<sup>ο</sup>: ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΟΠΩΝ.

Για να αφαιρέσουμε την οπή ακολουθούμε την εξής διαδικασία. Από το αριστερό μενού επιλέγουμε:

**Preprocessor =>Modelling =>Operate =>Booleans =>Subtract =>Areas**

Επιλέγουμε την βασική επιφάνεια και με την εντολή **Apply** επιλέγουμε τις αφαιρούμενες επιφάνειες.

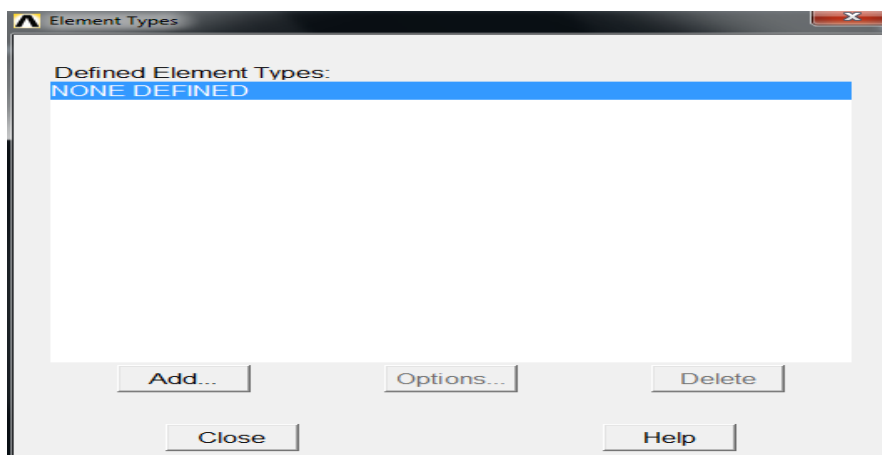


## ΒΗΜΑ 7<sup>ο</sup>: ΟΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

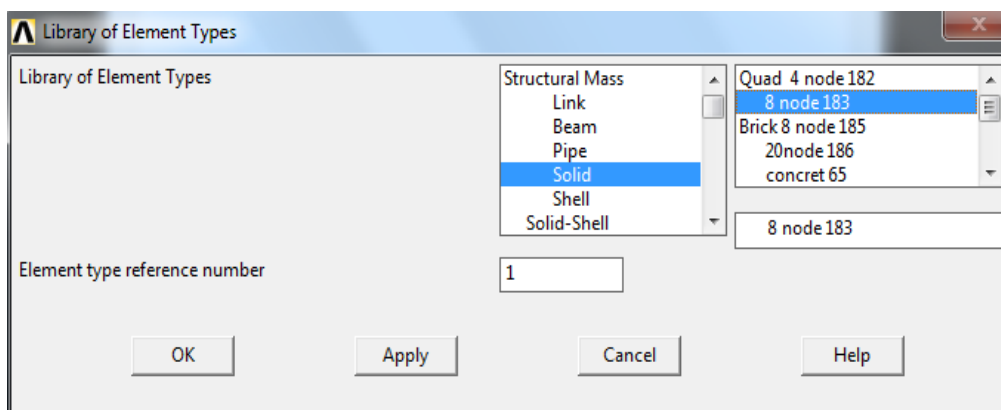
Από το αριστερό μενού επιλέγουμε :

**Preprocessor => Element Type =>Add/Edit/Delete**

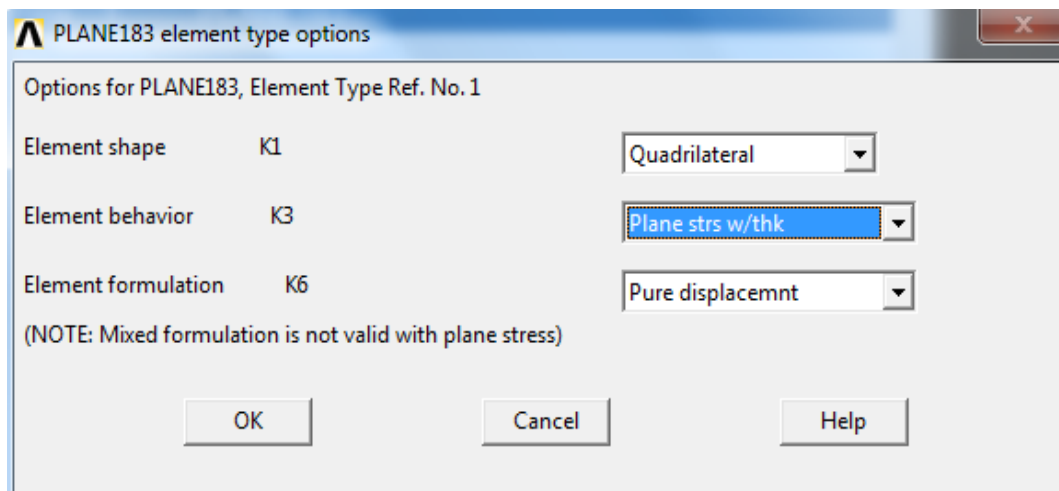
Εμφανίζεται η παρακάτω καρτέλα όπου μπορούμε να προσθέσουμε ένα στοιχείο (**Add**) , να διαγράψουμε ένα επιλεγμένο στοιχείο (**Delete**) ή να ελέγξουμε τα χαρακτηριστικά του στοιχείου (**Options**).



Στην καρτέλα που εμφανίζεται πατάμε **Add** και στην νέα καρτέλα από το μενού **Solid** ,επιλέγουμε **8node183** και στην συνέχεια πατάμε **OK**



Στην συνέχεια από την παραπάνω καρτέλα που εμφανίστηκε ,επιλέγουμε την εντολή **options** και ελέγχουμε τα χαρακτηριστικά του στέρεου σώματος . Προκύπτει η παρακάτω καρτέλα.



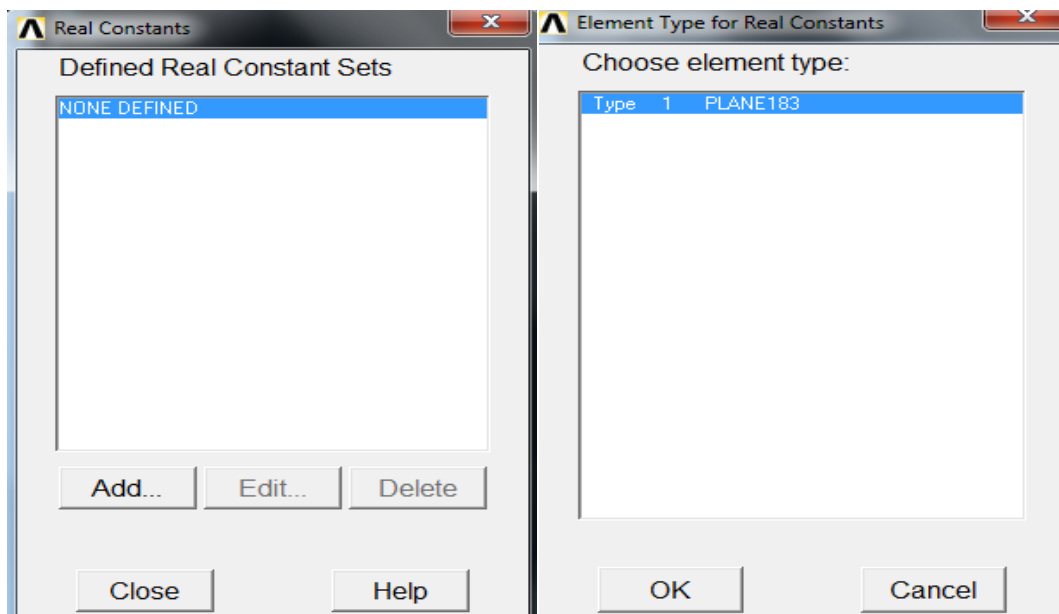
Για να ορίσουμε την συμπεριφορά του υλικού πρέπει να του δώσουμε αρχικά το σχήμα (**K1**), εμείς επιλέξαμε τετράπλευρο. Στην συνέχεια αναφέρουμε πως συμπεριφέρεται το υλικό (**K3**) με επίπεδη εντατική κατάσταση τόσο στο πάχος όσο και στο μήκος και τέλος πως διατυπώνεται το στοιχείο, δηλαδή πως μετατοπίζεται (**K5**).

### ΒΗΜΑ 8<sup>ο</sup>: ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ

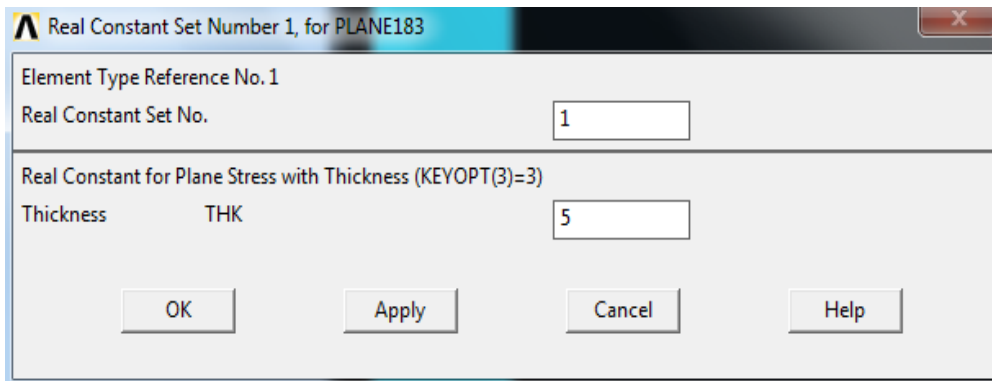
Από το αριστερό μενού :

**Preprocessor => Real Constants => Add/Edit/Delete**

Επιλέγουμε **Add** και στην συνέχεια **OK** στην καρτέλα που εμφανίζεται επιλεγούμε το στοιχείο.



Στην παρακάτω καρτέλα καθορίζουμε τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του στοιχείου **PLANE 183**, με πάχος πλάκας **5 mm**.

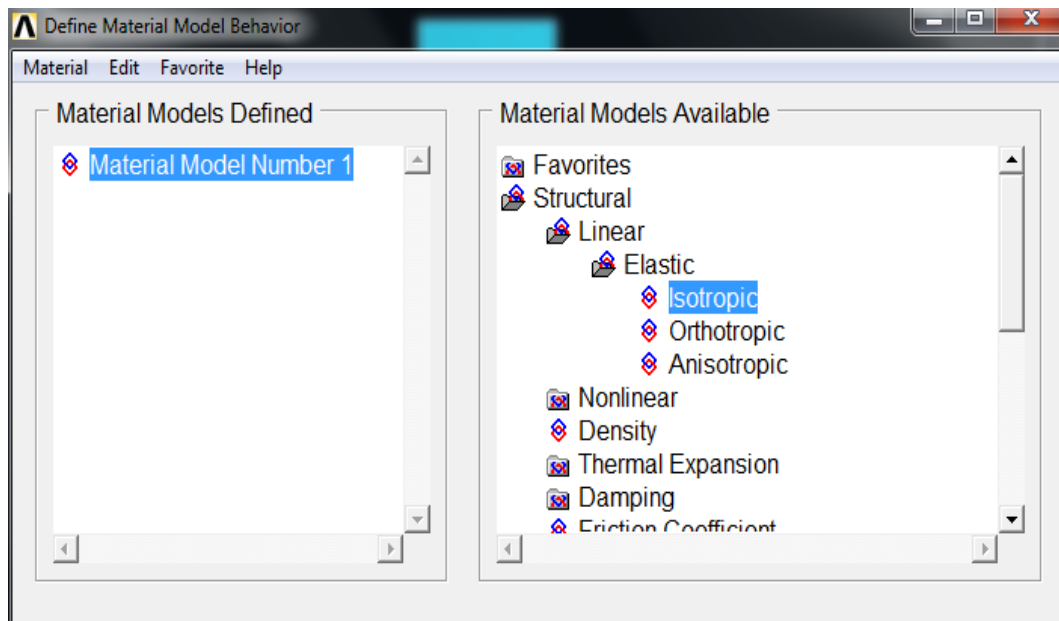


## ΒΗΜΑ 9<sup>ο</sup>: ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΛΙΚΟΥ

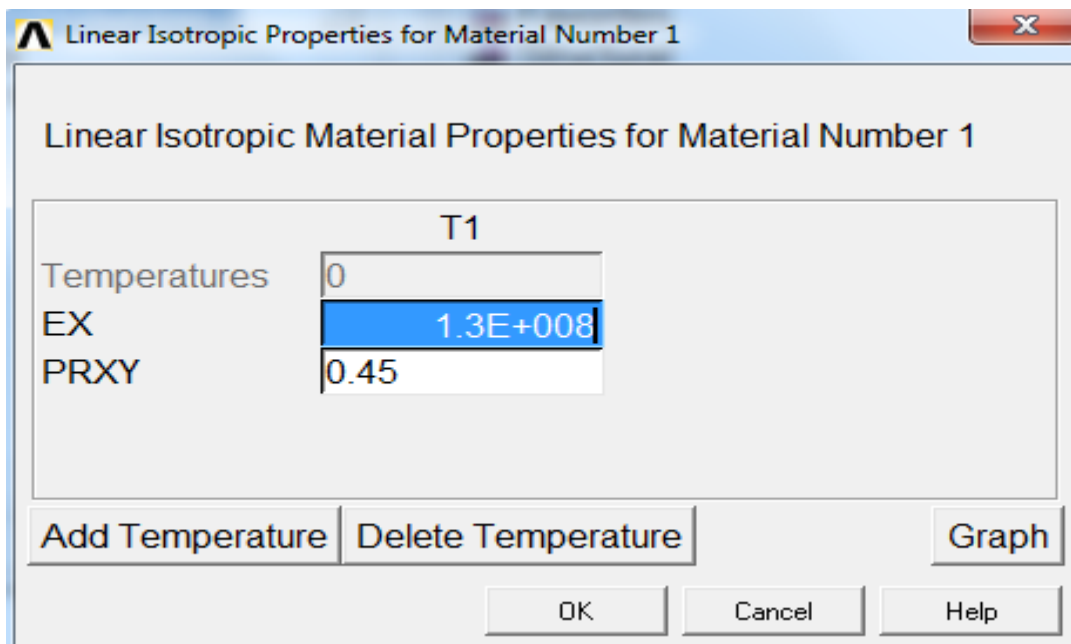
Ο ορισμός του υλικού θα γίνει ως εξής: Από το αριστερό μενού επιλέγουμε :

**Preprocessor => Material Props => Material Models => Structural => Linear => Elastic => Isotropic**

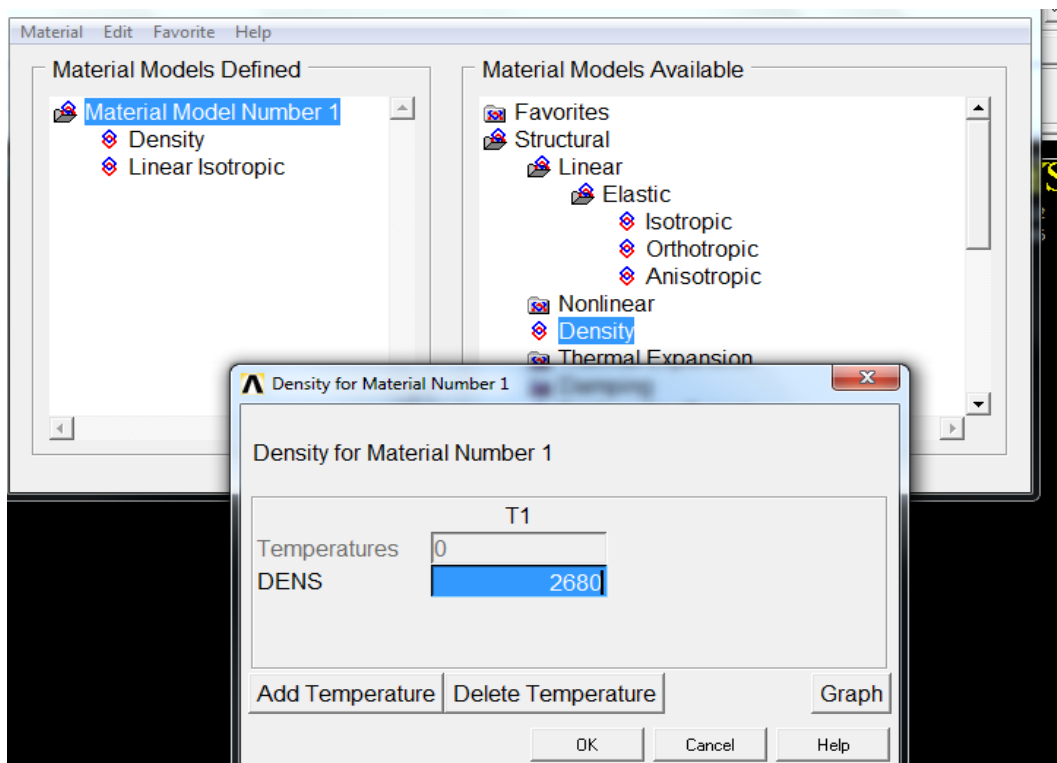
όπως φαίνεται παρακάτω:



Στην καρτέλα που εμφανίζεται παρακάτω συμπληρώνουμε το μέτρο ελαστικότητας **EX** και το λόγο Poisson **PRXY**. Όπου **EX=0,13 GPa** και **PRXY=0,45**



Επίσης στην ίδια καρτέλα επιλέγουμε την εντολή **Density** και ορίζουμε την πυκνότητα του υλικού: **DENS=2680 kg/m<sup>3</sup>**



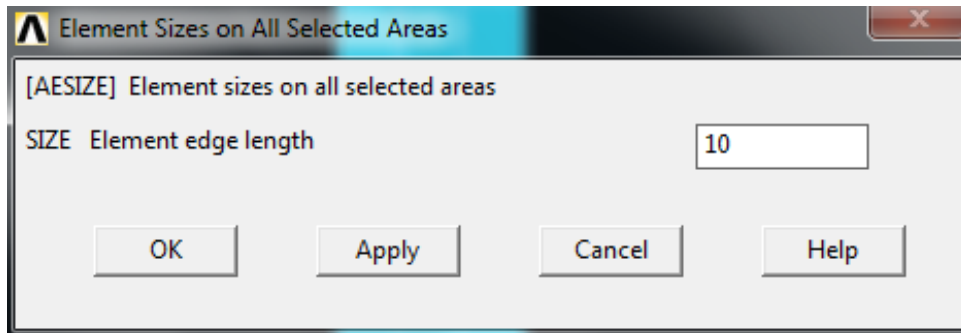


## ΒΗΜΑ 10<sup>ο</sup>: ΜΕΓΕΘΟΣ ΠΡΩΤΟΥ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ (10 ΤΜΗΜΑΤΑ)

Η επιλογή του μήκους των στοιχείων γίνεται ως εξής: Από το αριστερό μενού επιλέγουμε :

**Preprocessor => Meshing => Size Controls => Manual Size => Areas => All Areas**

Εμφανίζεται η παρακάτω καρτέλα όπου συμπληρώνουμε το μήκος των στοιχείων και πατάμε **OK**.

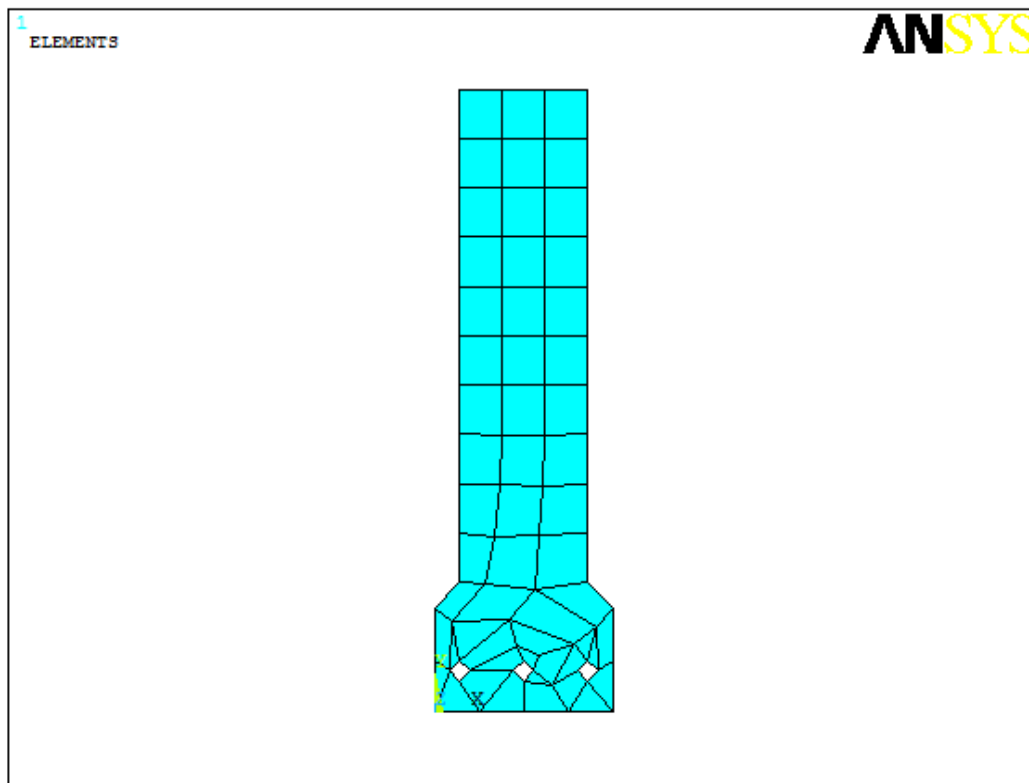


## ΒΗΜΑ 11<sup>ο</sup>: ΔΙΑΚΡΙΤΟΠΟΙΗΣΗ (ΠΡΩΤΟ ΠΛΕΓΜΑ)

Από το αριστερό μενού επιλέγουμε :

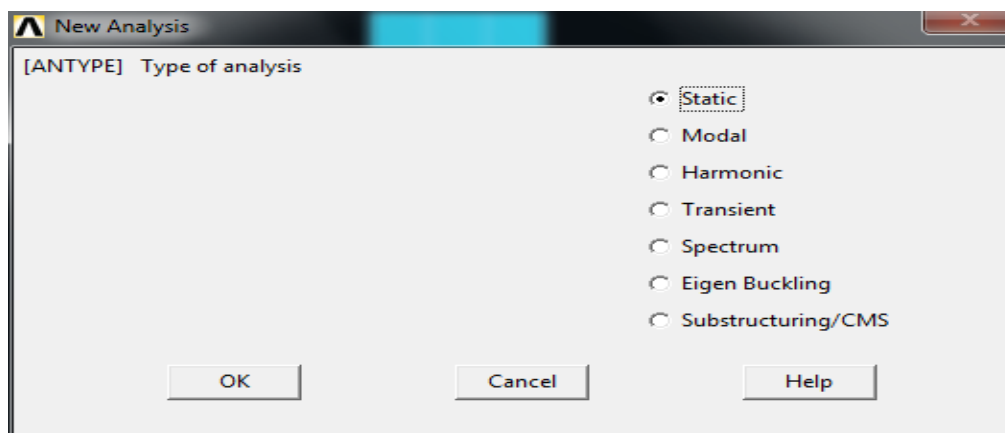
**Preprocessor=>Meshing=>Mesh=>Volumes=>Free**

Στην καρτέλα που εμφανίζεται πατάμε **Pick All** για να επιλεγεί ολόκληρη η επιφάνεια και προκύπτει.



## ΒΗΜΑ 12<sup>ο</sup>: ΟΡΙΣΜΟΣ ΕΙΔΟΥΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Το είδος της ανάλυσης ορίζεται ως εξής: Από το αριστερό μενού επιλέγουμε:  
**Solution=>Analysis Type=>New Analysis**  
και στην καρτέλα που εμφανίζεται πατάμε **Static**.



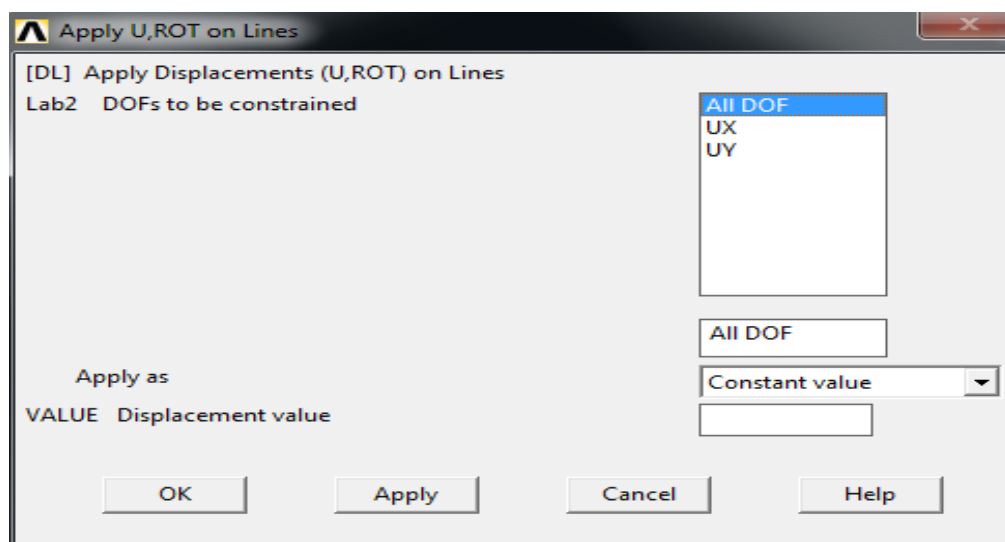
## ΒΗΜΑ 13<sup>ο</sup>: ΟΡΙΣΜΟΣ ΣΤΗΡΙΞΕΩΝ

Για να ορίσουμε τις στηρίξεις ακολουθούμε την εξής διαδικασία:

**Solution =>Define Loads =>Apply =>Structural =>Displacement**

Επιλέγουμε **On Areas** και στην καρτέλα που εμφανίζεται πατάμε **Pick All**.

Αφού επιλέξουμε την επιφάνεια που θέλουμε να πακτώσουμε έπειτα στη νέα καρτέλα που εμφανίζεται επιλέγουμε **All Dof** και πατάμε **OK**.

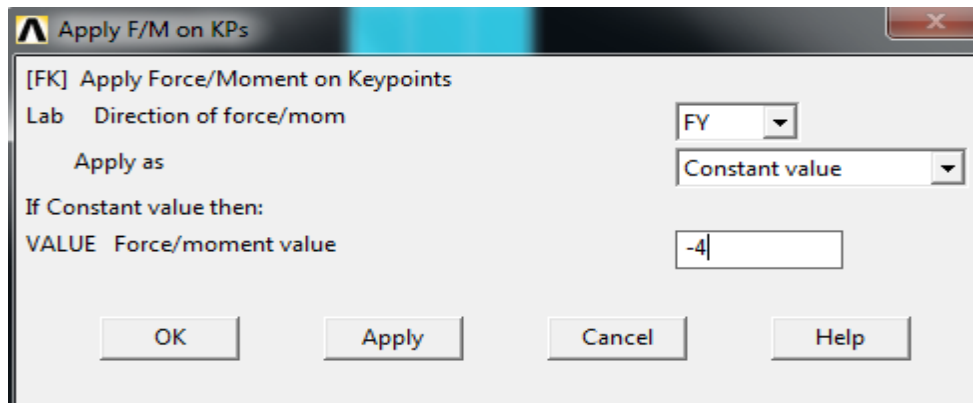


## ΒΗΜΑ 14<sup>ο</sup>: ΟΡΙΣΜΟΣ ΔΥΝΑΜΕΩΝ

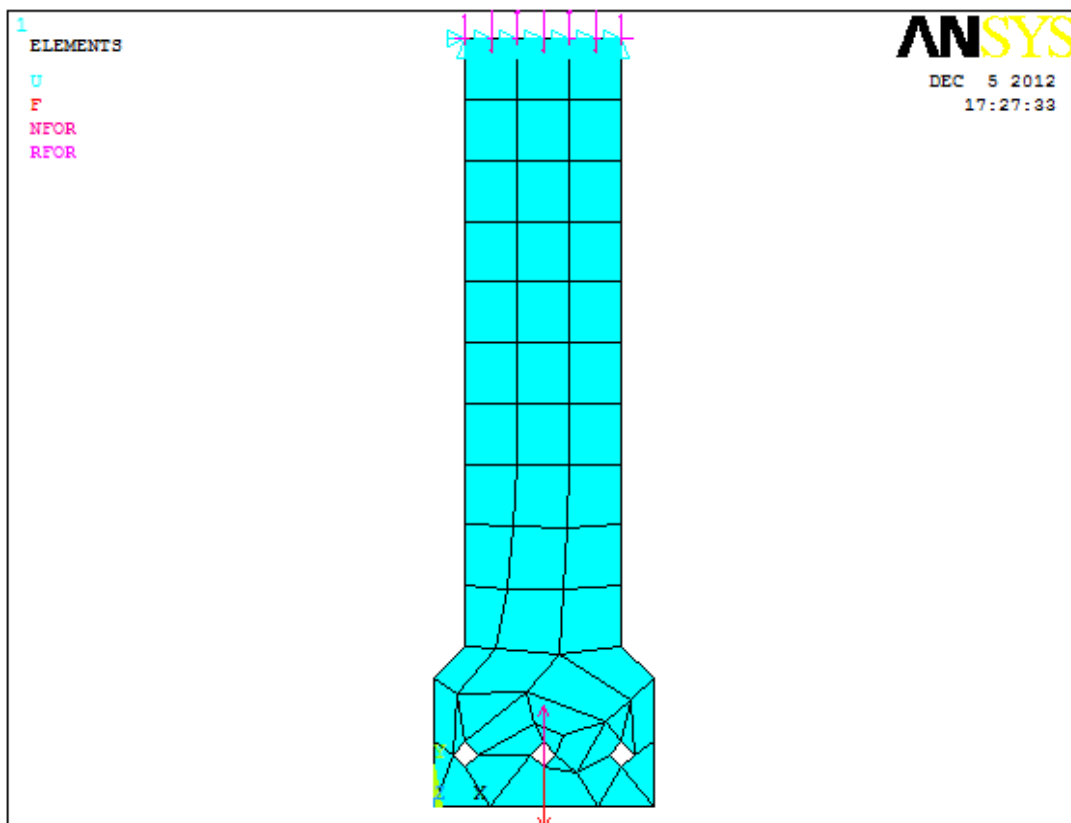
Για να ορίσουμε την τιμή και την διεύθυνση του φορτίου ακολουθούμε τις εξής εντολές:

**Solution =>Define Loads =>Apply =>Structural =>Force/Moment=>  
On Key points**

Επιλέγουμε το κάτω μέρος της μεσαίας στήλης, επιλέγουμε τον άξονα εφαρμογής της δύναμης (FY) και εφαρμόζουμε δύναμη 4N (με πρόσημο μείων(-)).



Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζονται οι δυνάμεις και τα σημεία στήριξης.

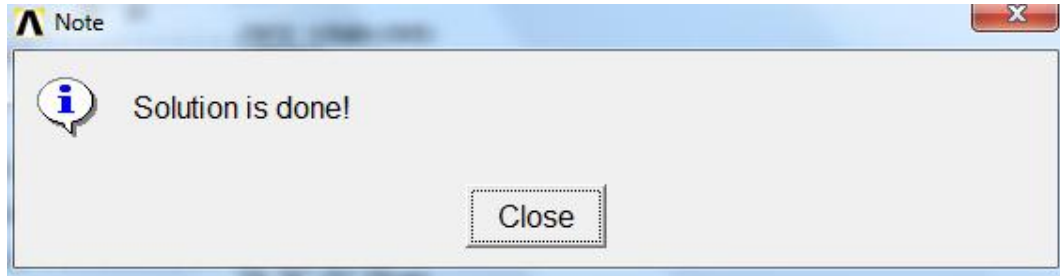


## ΒΗΜΑ 15<sup>ο</sup>: ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Εκτελούμε την επίλυση από το αριστερό μενού :

**Solution=>Solve=>Current LS.**

Όταν τελειώσουν οι υπολογισμοί το πρόγραμμα μας ενημερώνει με το παρακάτω μήνυμα:



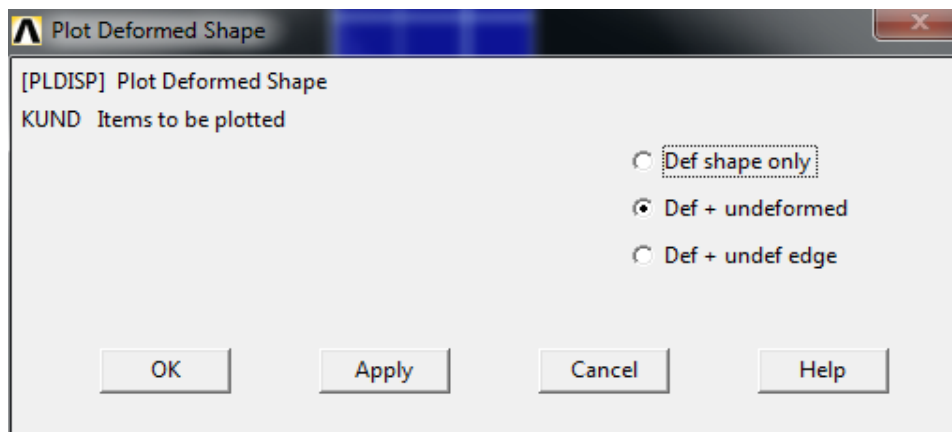
## ΒΗΜΑ 16<sup>ο</sup>: ΠΡΟΒΟΛΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

### Α) ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟ ΣΩΜΑ

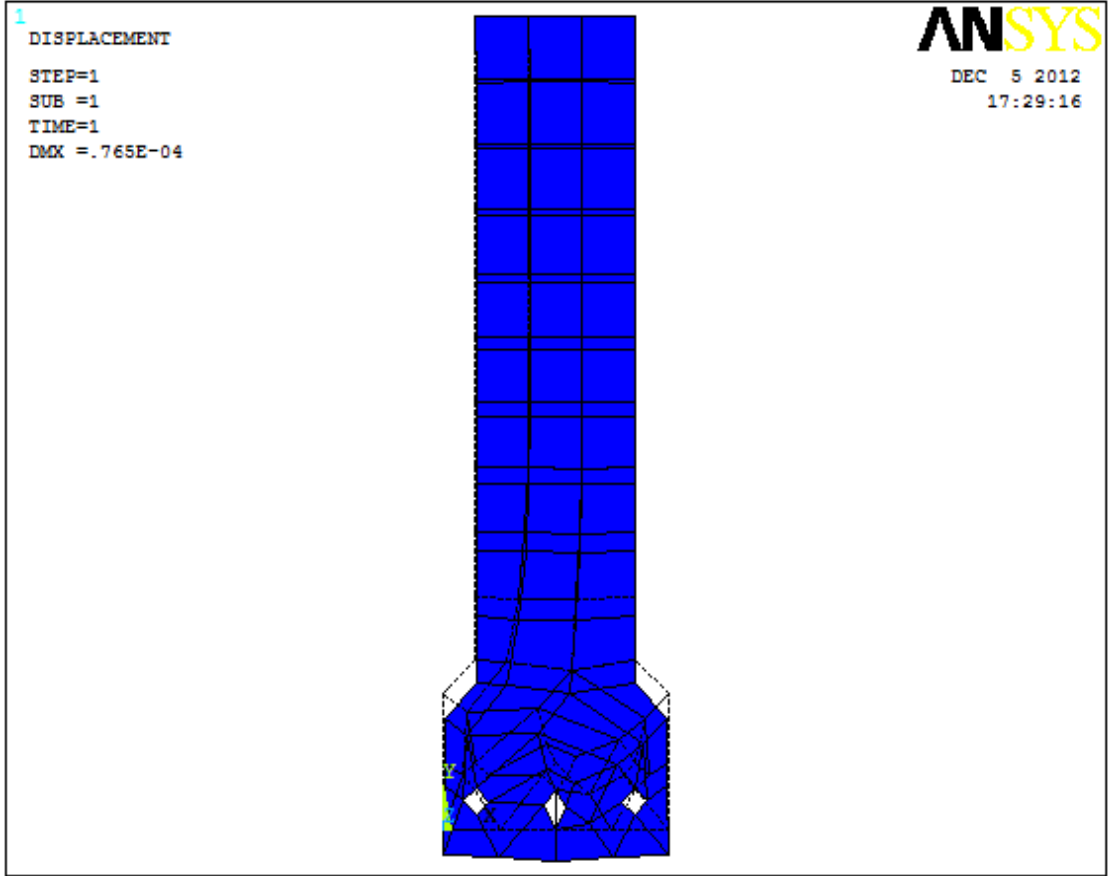
Το **ANSYS** μας δίνει την δυνατότητα απεικόνισης του παραμορφωμένου σώματος. Από το αριστερό μενού ακολουθούμε την γνωστή ακολουθία :

**General Postproc=>Plot Results=>Deformed Shape=>def + undeformed**

Και στην καρτέλα που εμφανίζεται πατάμε **OK**.



Στην συνέχεια κάνουμε εφαρμογή με την εντολή **APPLY** και επιλέγουμε το σχέδιο , έπειτα επιλέγουμε το **OK** και εμφανίζεται το παρακάτω σχέδιο:



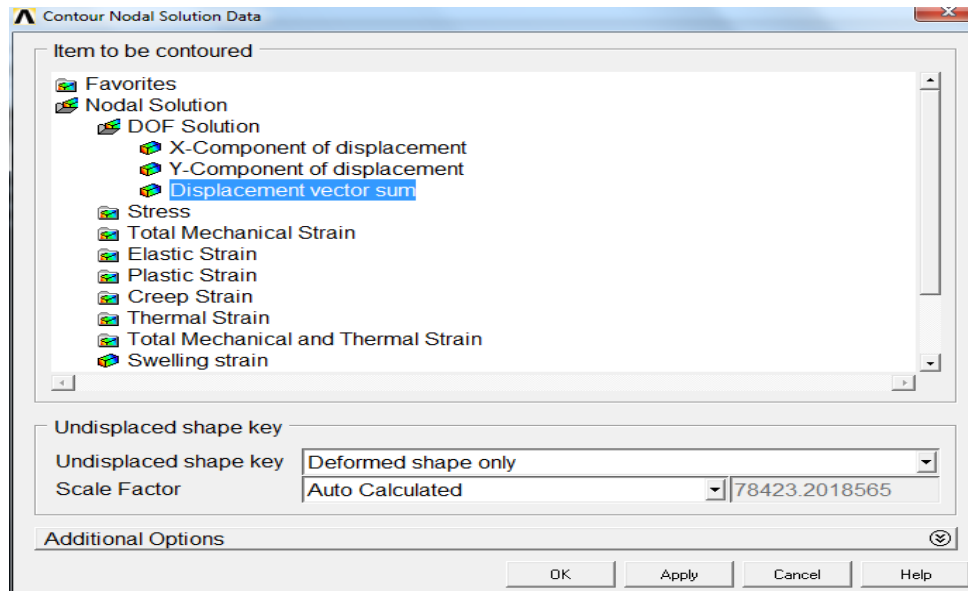
## B) ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΕΩΝ

Από το αριστερό μενού επιλέγουμε

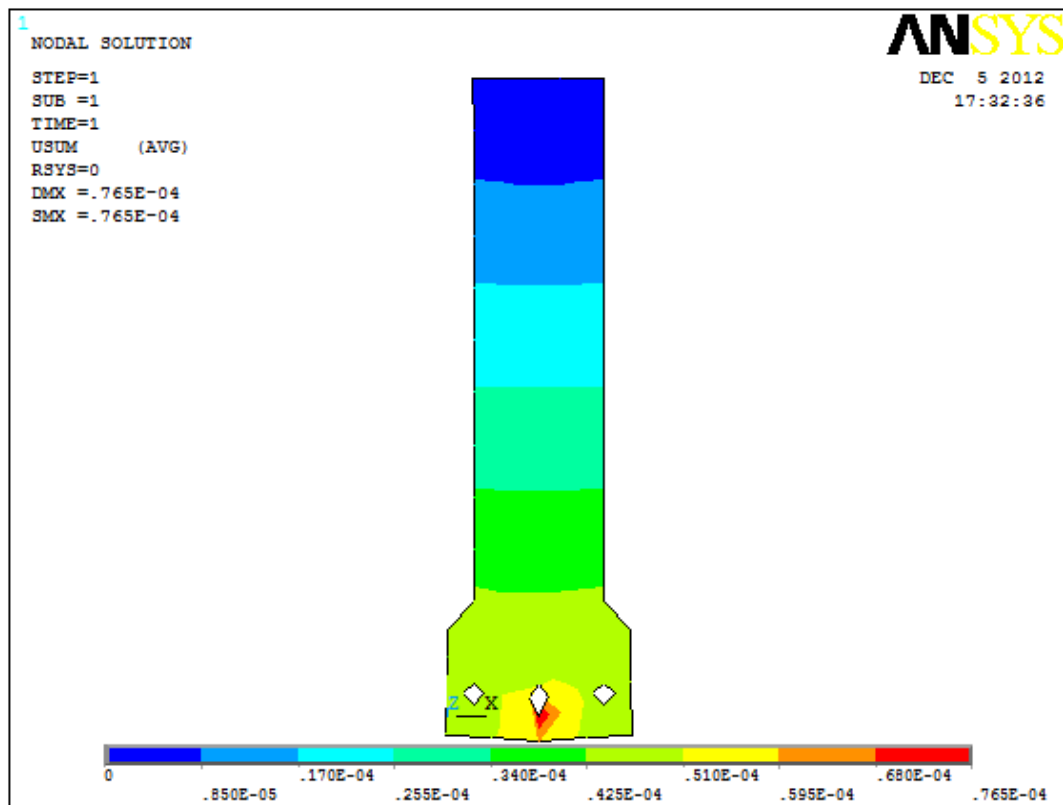
**General postproc =>Plot Results=>Contour Plot=>Nodal Solution**

Στην καρτέλα που εμφανίζεται παρακάτω επιλέγουμε :

**DOF Solution=>Displacement vector Sum** πατάμε **OK** και εμφανίζεται το σχήμα των μετατοπίσεων.



Όταν επιλέξουμε το **OK** .Το σχήμα των μετατοπίσεων γίνεται:



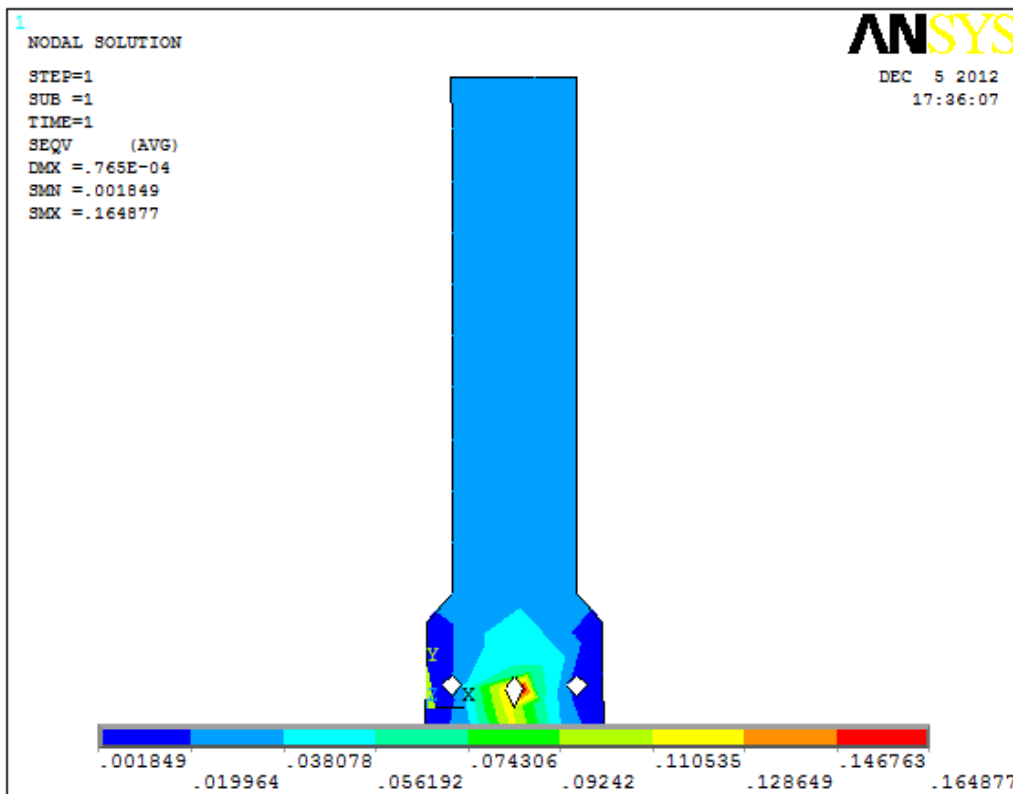
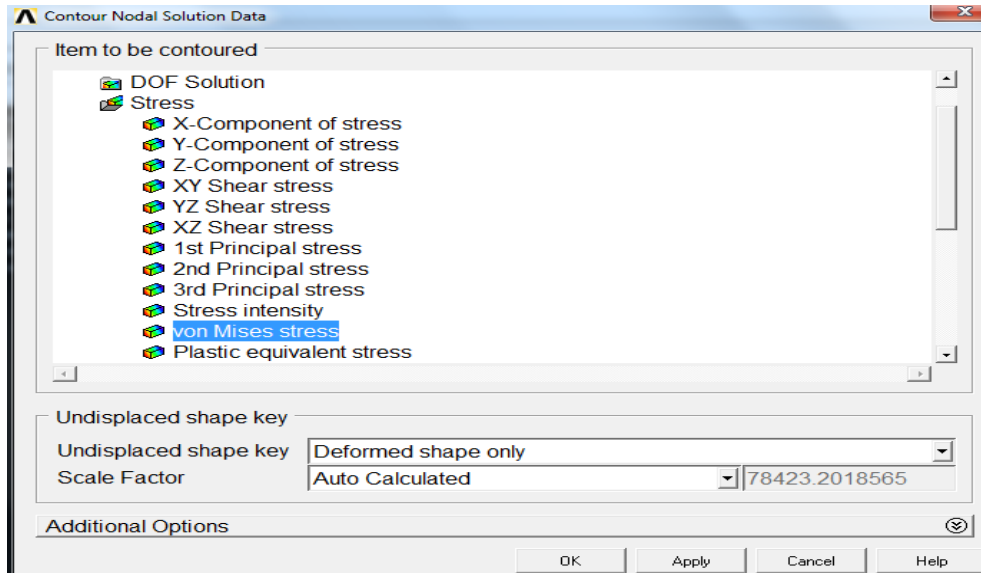
## Γ) ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΤΑΣΕΩΝ

Εκτελούμε πάλι την ίδια διαδικασία από το αριστερό μενού :

**General postproc >Plot Results>Contour Plot>Nodal Solution**

Και στην ίδια καρτέλα που εμφανίζεται αυτή τη φορά επιλέγουμε :

**Stress>Von Misses Stress** και πατάμε **OK** .Το παρακάτω σχήμα είναι το σχήμα των τάσεων.

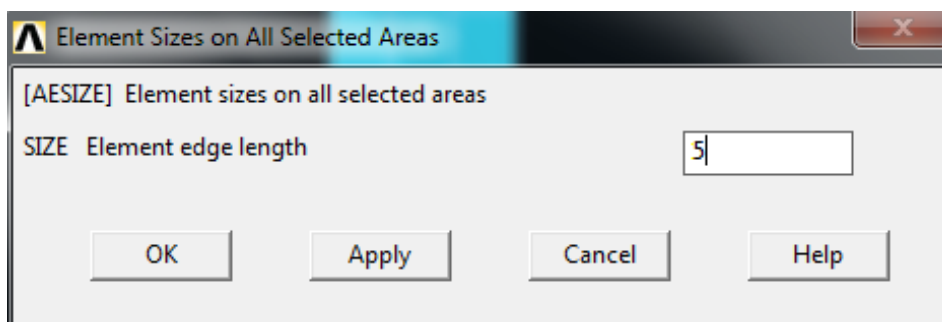


## ΒΗΜΑ 17<sup>ο</sup>: ΔΙΑΚΡΙΤΟΠΟΙΗΣΗ (ΔΕΥΤΕΡΟ ΠΛΕΓΜΑ)

Με σκοπό την σύγκλιση των αποτελεσμάτων το δοκίμιο μας διακριτοποιείται πάλι με διαφορετικό μέγεθος στοιχείων. Οπότε ακολουθούμε την εξής διαδικασία:

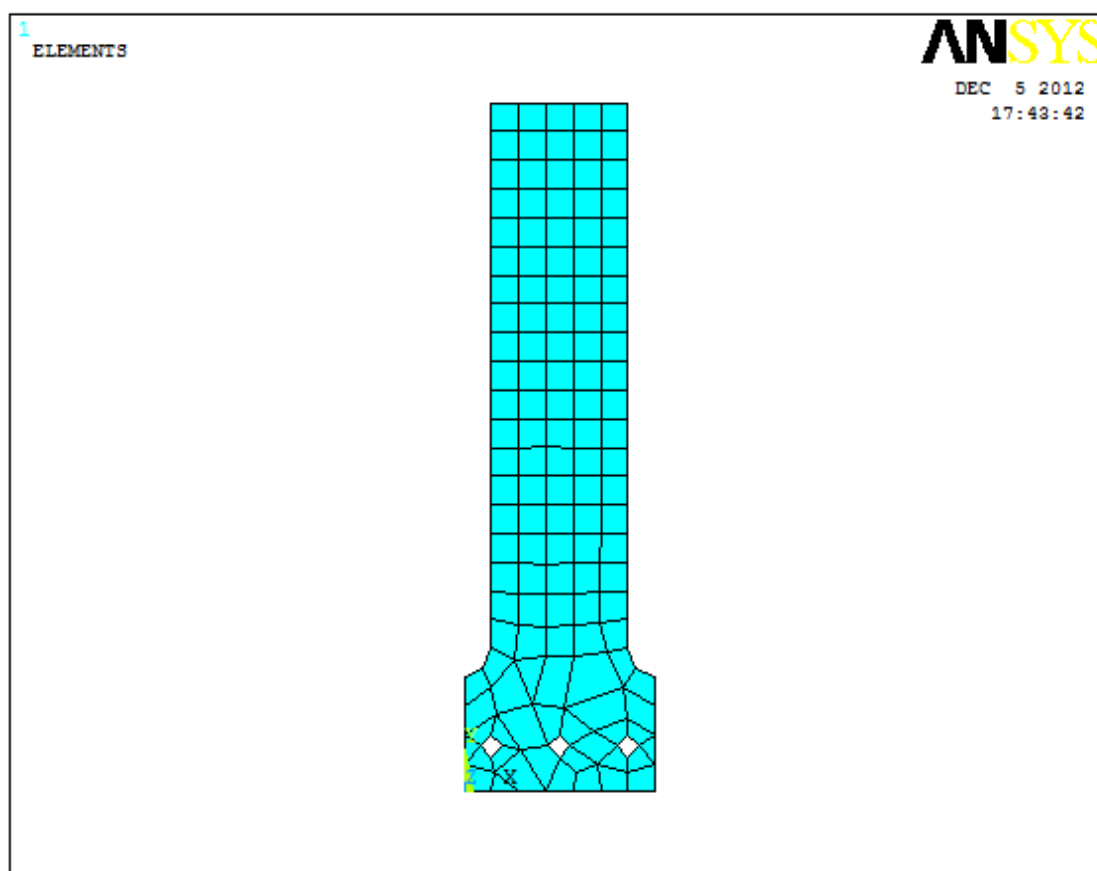
**Preprocessor =>Meshing =>Size Controls => Manual Size =>Areas =>All Areas**

Στην καρτέλα που εμφανίζεται παρακάτω συμπληρώνουμε το νέο μήκος στοιχείων.



Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται το δοκίμιο με το δεύτερο μέγεθος πλέγματος όποτε με την ίδια διαδικασία έχουμε:

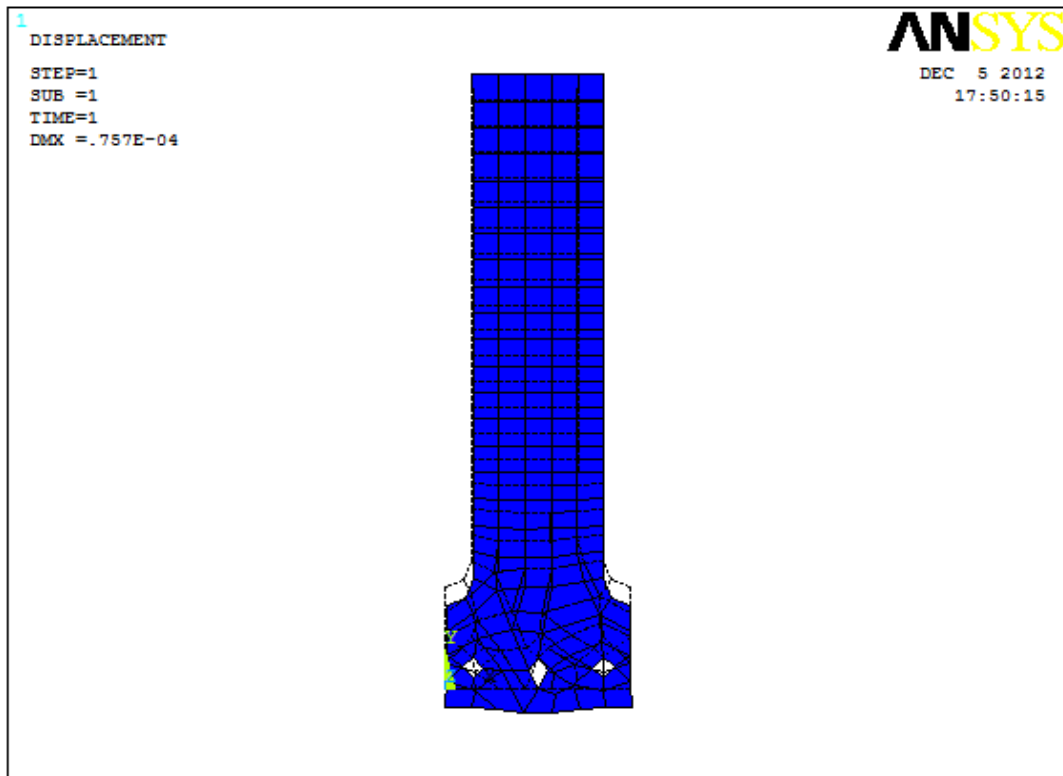
### ΔΙΑΚΡΙΤΟΠΟΙΗΣΗ:



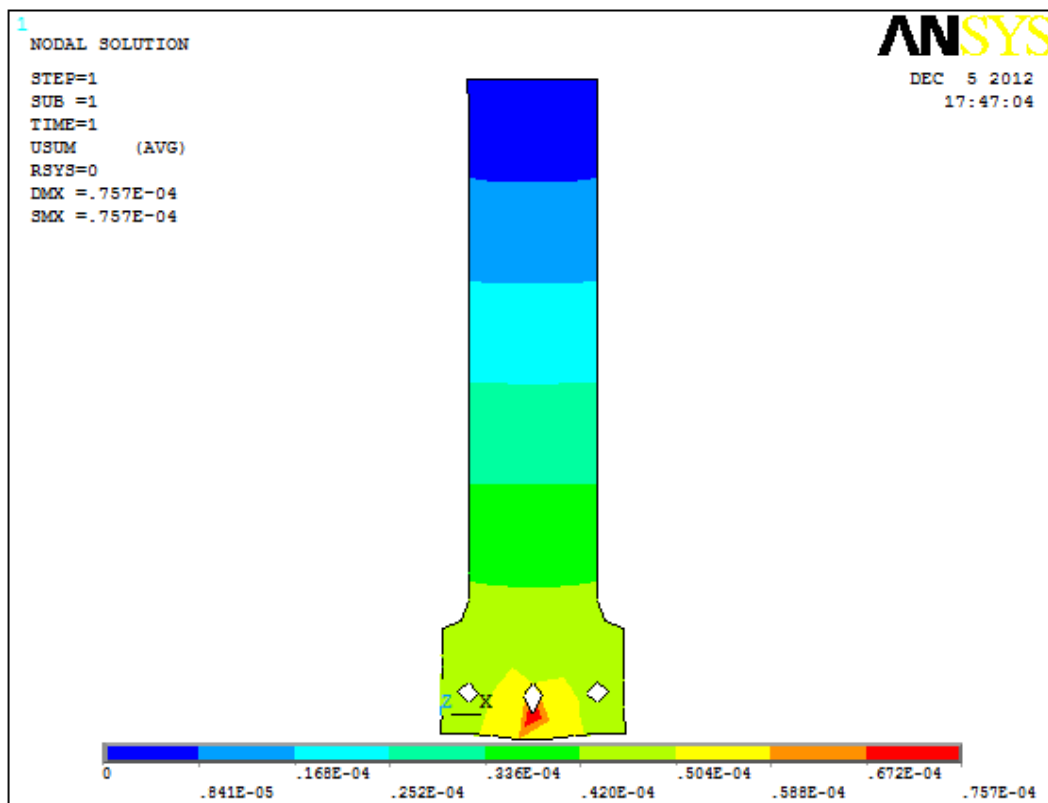


Λύνουμε το σύστημα και παίρνουμε τα δεύτερα αποτελέσματα:

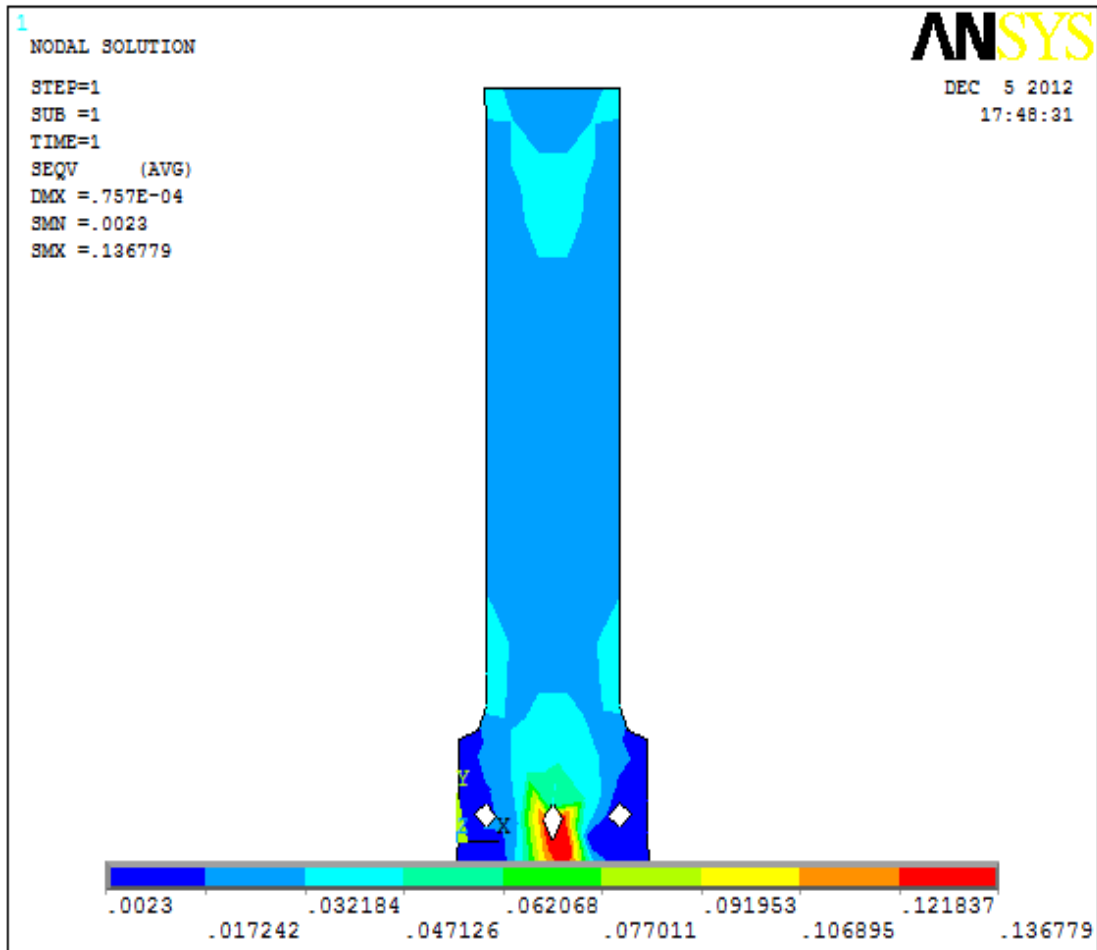
### A) ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟ ΣΩΜΑ:



### B) ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΕΙΣ:

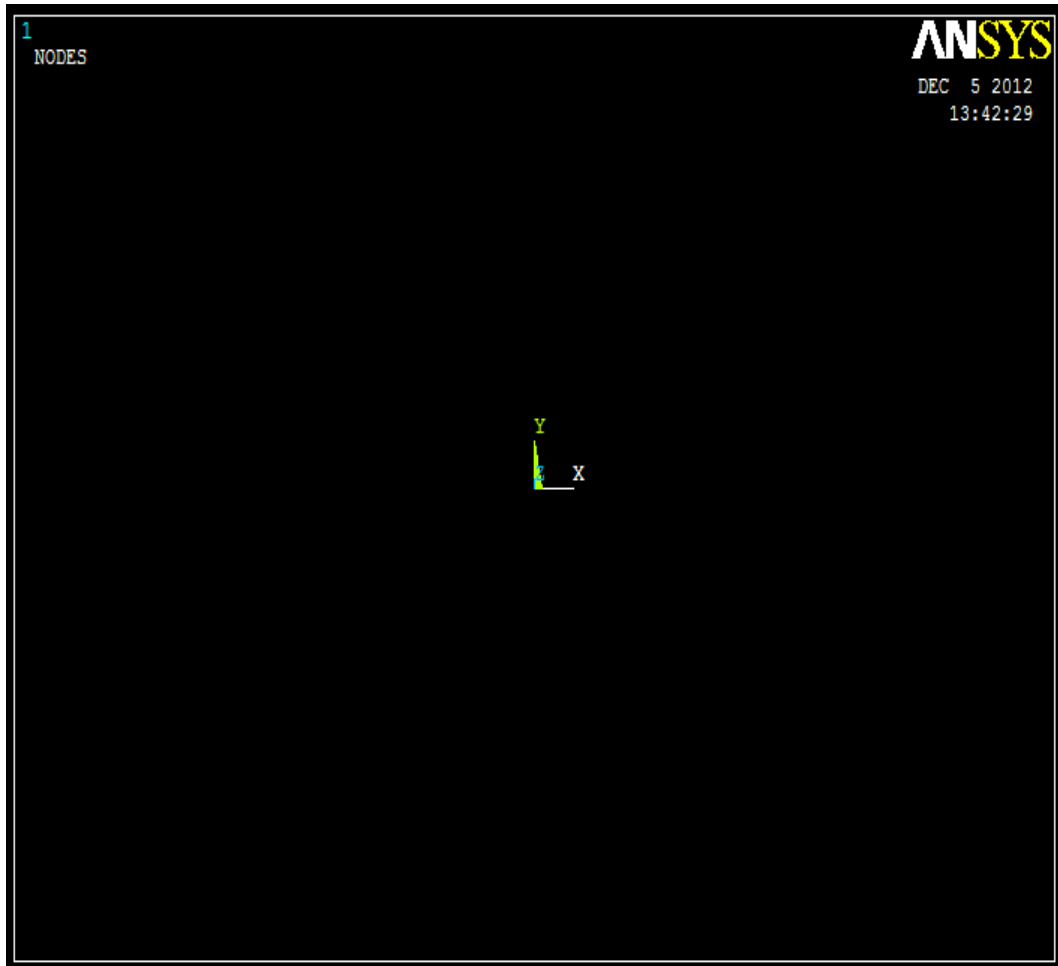


### Γ) ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΑΣΕΩΝ:



### Π.3. ΠΡΟΒΛΗΜΑ : ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΜΕΤΡΙΚΟΥ ΣΩΜΑΤΟΣ ΜΕ ΤΟΞΑ ΑΠΟ PLM-4B

Ανοίγουμε το **ANSYS 14**. Αρχικά στο **File management=>working directory** και αποθηκεύουμε σε ένα φάκελο με όνομα **job name** για να αποθηκευτεί η εργασία μας. Στη συνέχεια επιλέγουμε **RUN** και εμφανίζετε το σχεδιαστικό περιβάλλον του προγράμματος ANSYS.



## 2. ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

### ΒΗΜΑ 1<sup>ο</sup>: ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΣΗΜΕΙΩΝ

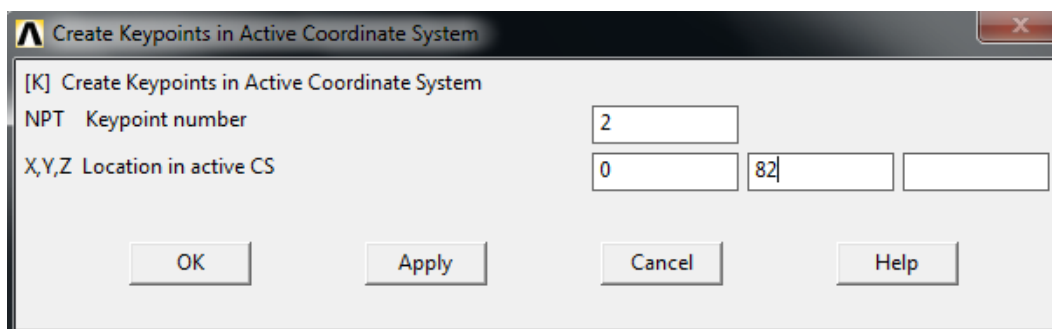
Για την τοποθέτηση των σημείων επιλεγούμε το **main menu** και στην συνέχεια :

**Pre-processor=>modelling=>create=>key points=>in active CS**

Και στην καρτέλα που εμφανίζεται δίνουμε τα παρακάτω σημεία:

| α/α | X  | Y   |
|-----|----|-----|
| 1   | 0  | 0   |
| 2   | 0  | 82  |
| 3   | 4  | 90  |
| 4   | 0  | 98  |
| 5   | 0  | 140 |
| 6   | 28 | 140 |
| 7   | 28 | 98  |
| 8   | 24 | 90  |
| 9   | 28 | 82  |
| 10  | 28 | 0   |
| 11  | 0  | 0   |

Αρχικά βάζουμε στην καρτέλα την κάθε μια συντεταγμένη όπου εμφανίζεται στον παραπάνω πίνακα (x,y,z location in active CS) .Έπειτα βάζουμε τον αύξοντα αριθμό για κάθε μια συντεταγμένη ( NPT key point number) ,επιλέγουμε την εντολή **apply** και αντίστοιχα επιλέγουμε το **OK** για όλα τα σημεία.

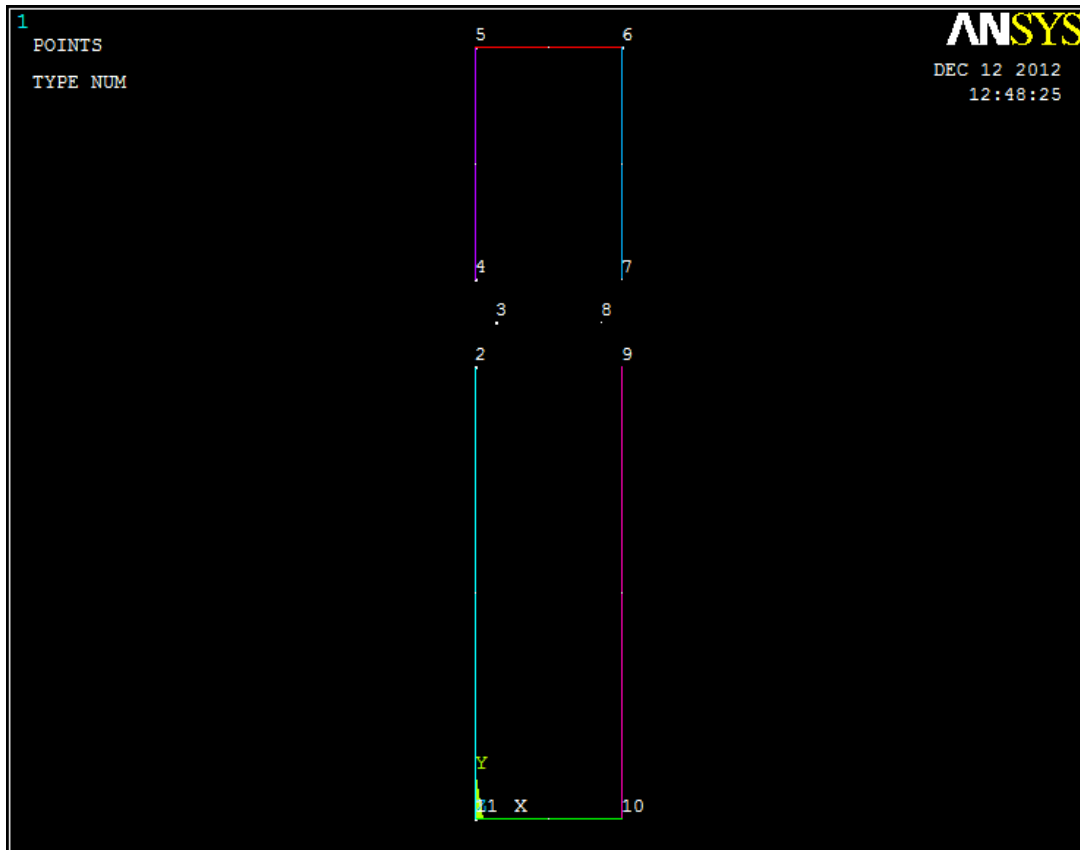


## ΒΗΜΑ 2<sup>ο</sup>: ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΣΗΜΕΙΩΝ

Ενώνουμε τα σημεία ως εξής:

**Pre-processor=>modelling=>create =>Lines =>Lines =>Straight line.**

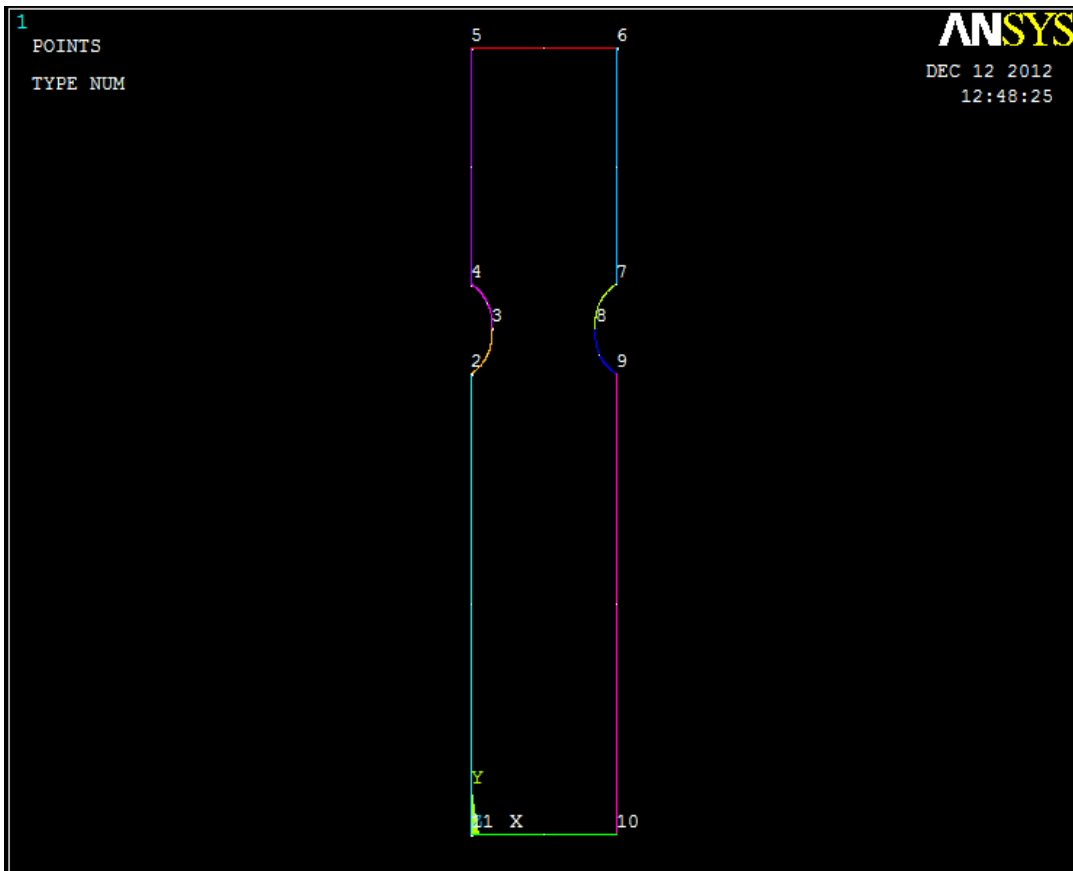
Εμφανίζεται ένα καρτελάκι και ο κέρσορας γίνεται ένα ενεργό βέλος. Έπειτα επιλέγουμε τα σημεία των ευθειών γραμμών.



### ΒΗΜΑ 3<sup>ο</sup>: ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΤΩΝ ΤΟΞΩΝ.

Από το αριστερό μενού:

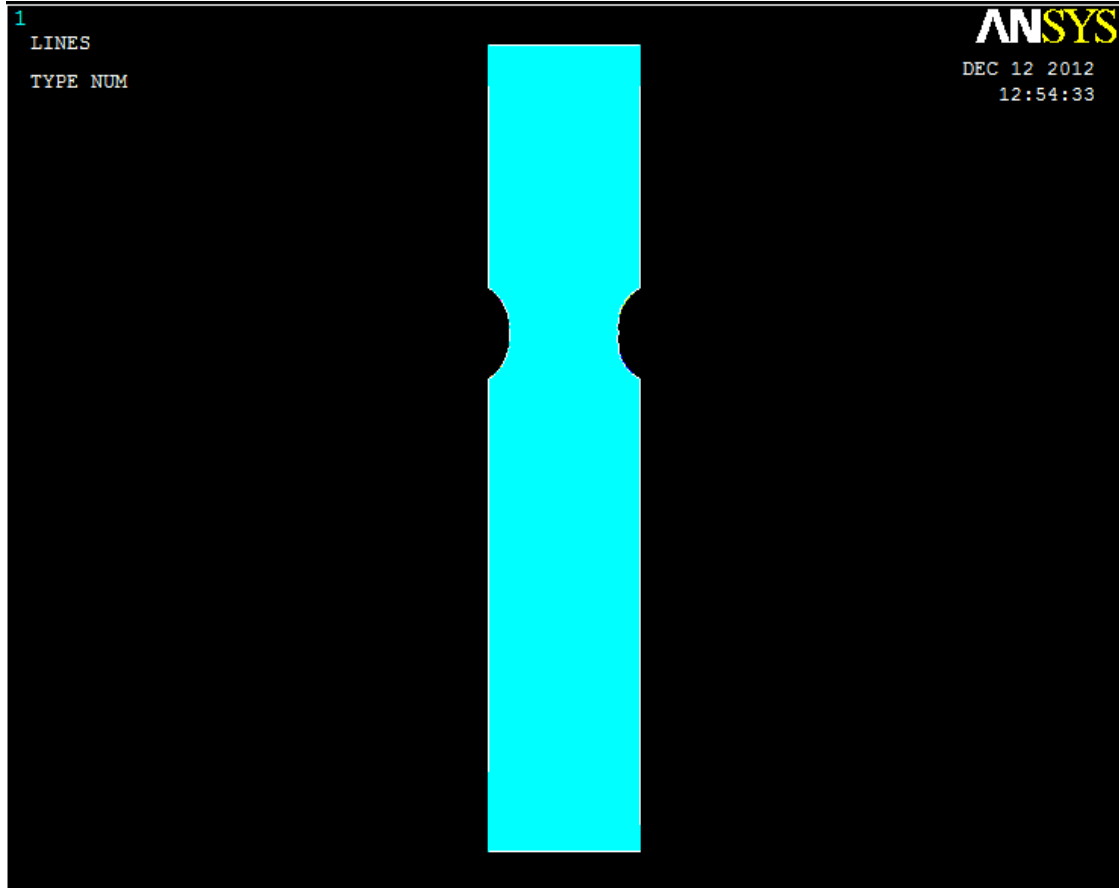
Pre-processor=>Modelling=>Create =>Lines => Arcs =>By End KPs & Rad



## ΒΗΜΑ 4<sup>ο</sup>: ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ

Από το αριστερό μενού επιλέγουμε:

**Pre-processor=>Modelling=>Create =>Areas =>Arbitrary => by lines**  
κλικάρουμε το περίγραμμα και πατάμε **OK**.



## ΒΗΜΑ 5<sup>ο</sup>: ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΟΠΗΣ- ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΟΠΗΣ

Για να δημιουργήσουμε την οπή ακολουθούμε την εξής διαδικασία. Από το αριστερό μενού επιλέγουμε:

**Pre-processor=>Modelling=>Create=>Areas=>Circle=>Solid circle**

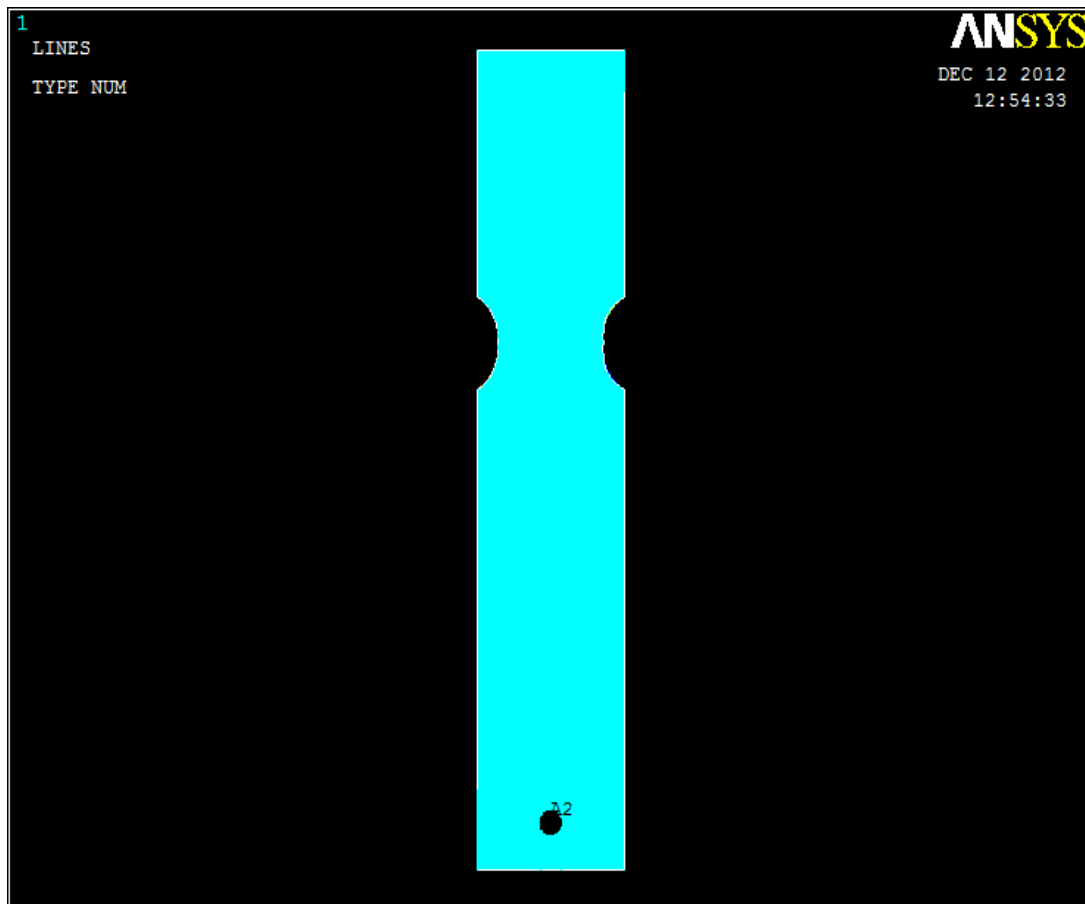
Εμφανίζετε ένα καρτελάκι και βάζουμε τα παρακάτω σημεία:

| $\alpha/\alpha$ | X  | Y | R |
|-----------------|----|---|---|
| 0               | 14 | 8 | 2 |

Έπειτα με την ίδια διαδικασία αφαιρούμε την οπή.:

**Pre-processor=>Modelling=>Operate =>Booleans=> Subtract Areas**

Επιλέγουμε την βασική επιφάνεια και με **Apply** επιλέγουμε την αφαιρούμενη επιφάνεια. Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζεται η οπή.



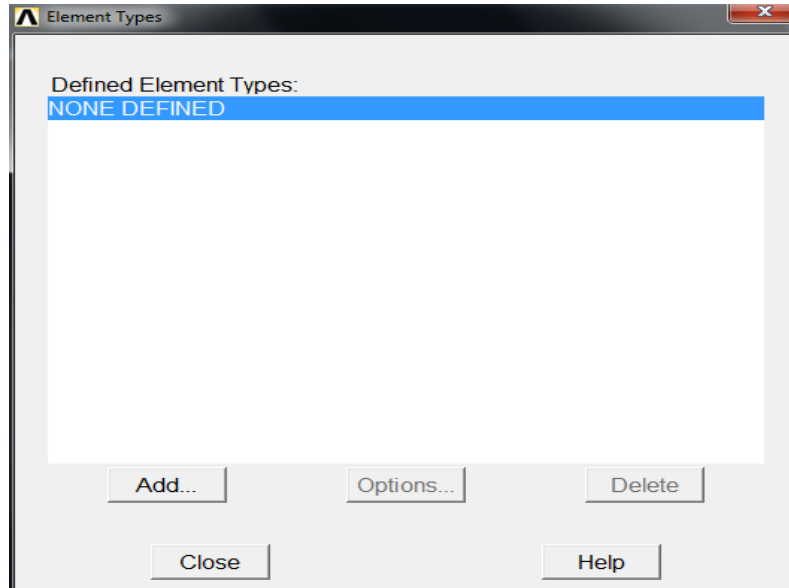


## ΒΗΜΑ 6<sup>ο</sup>: ΟΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

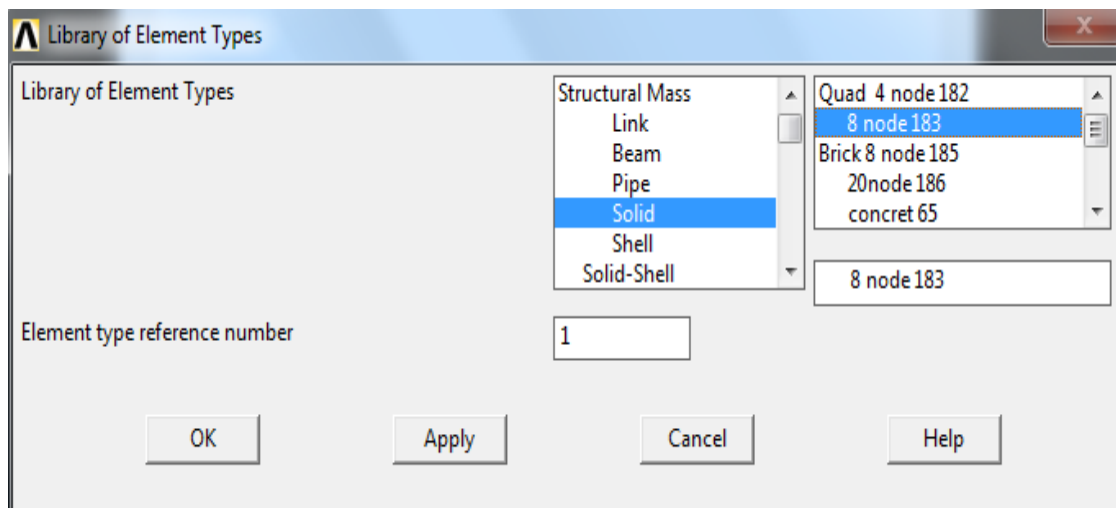
Από το αριστερό μενού επιλέγουμε :

**Preprocessor=>Element Type=>Add/Edit/Delete**

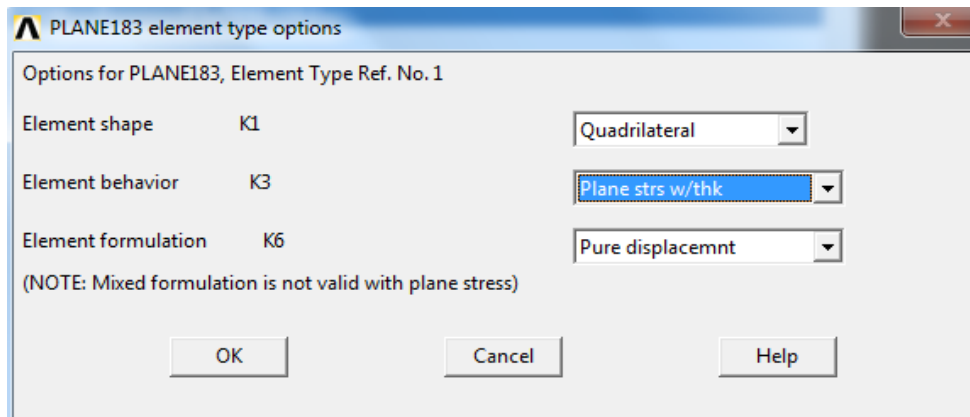
Στην καρτέλα που εμφανίζεται μπορούμε να επεξεργαστούμε τα χαρακτηριστικά του επιλεγμένου στοιχείου. Επιλέγουμε το **add** και εμφανίζεται η παρακάτω καρτέλα.



Στην καρτέλα που εμφανίζεται από το μενού **solid** επιλέγουμε **8node183** και πατάμε **OK**.



Επίσης μπορούμε να επεξεργαστούμε τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του επιλεγμένου στοιχείου.

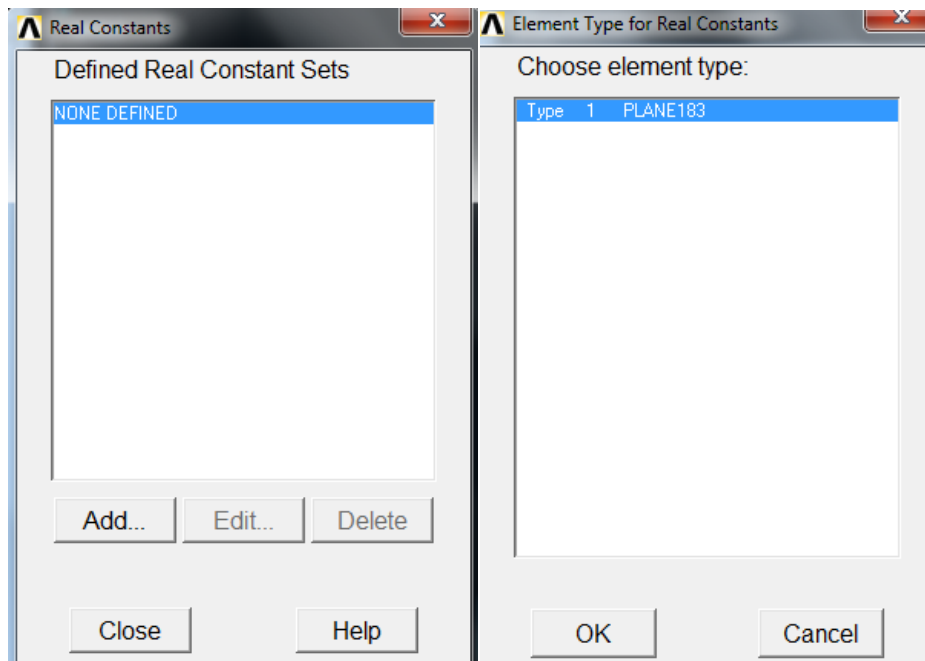


## ΒΗΜΑ 7<sup>ο</sup>: ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ

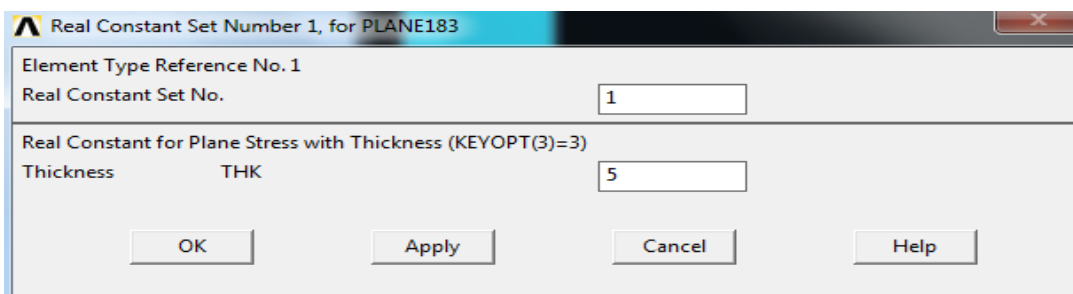
Από το αριστερό μενού επιλέγουμε.

**Preprocessor =>Real Constants =>Add/Edit/Delete**

Επιλέγουμε **Add** και στην συνέχεια **OK** στην καρτέλα που εμφανίζεται.



Εφόσον επιλέξουμε **OK** εμφανίζεται η ακόλουθη καρτέλα όπου βάζουμε πάχος 5 mm.

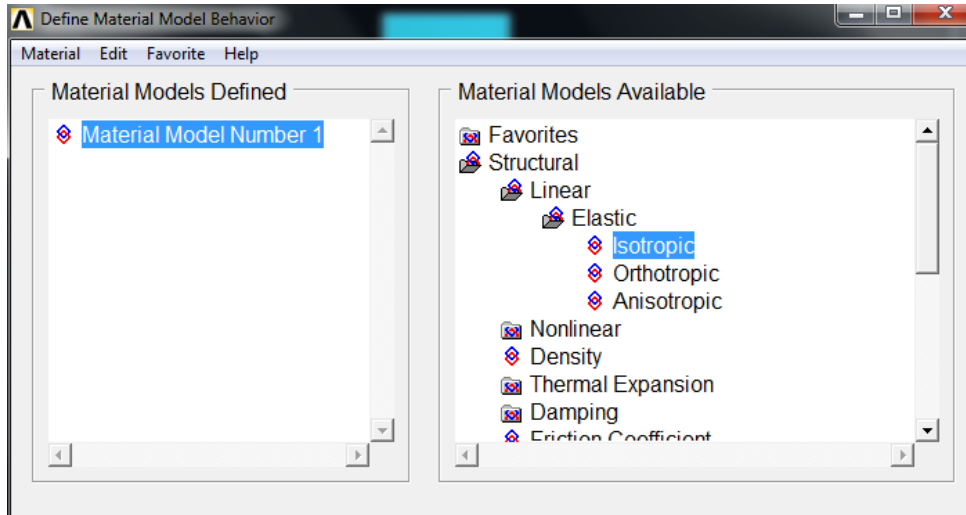


## ΒΗΜΑ 8<sup>ο</sup>: ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΛΙΚΟΥ

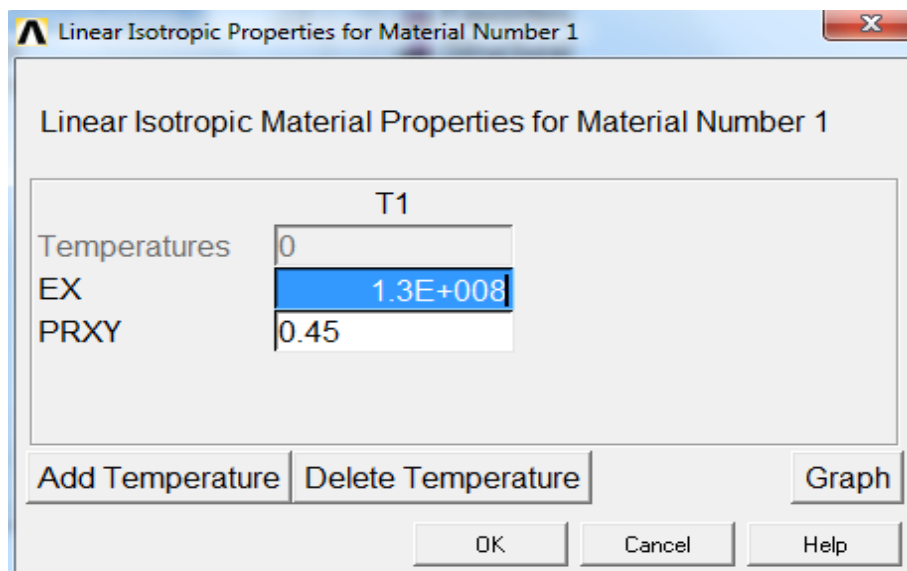
Ο ορισμός του υλικού θα γίνει ως εξής: Από το αριστερό μενού επιλέγουμε

**Preprocessor =>Material Props =>Material Models =>Structural =>Linear =>Elastic  
=>Isotropic**

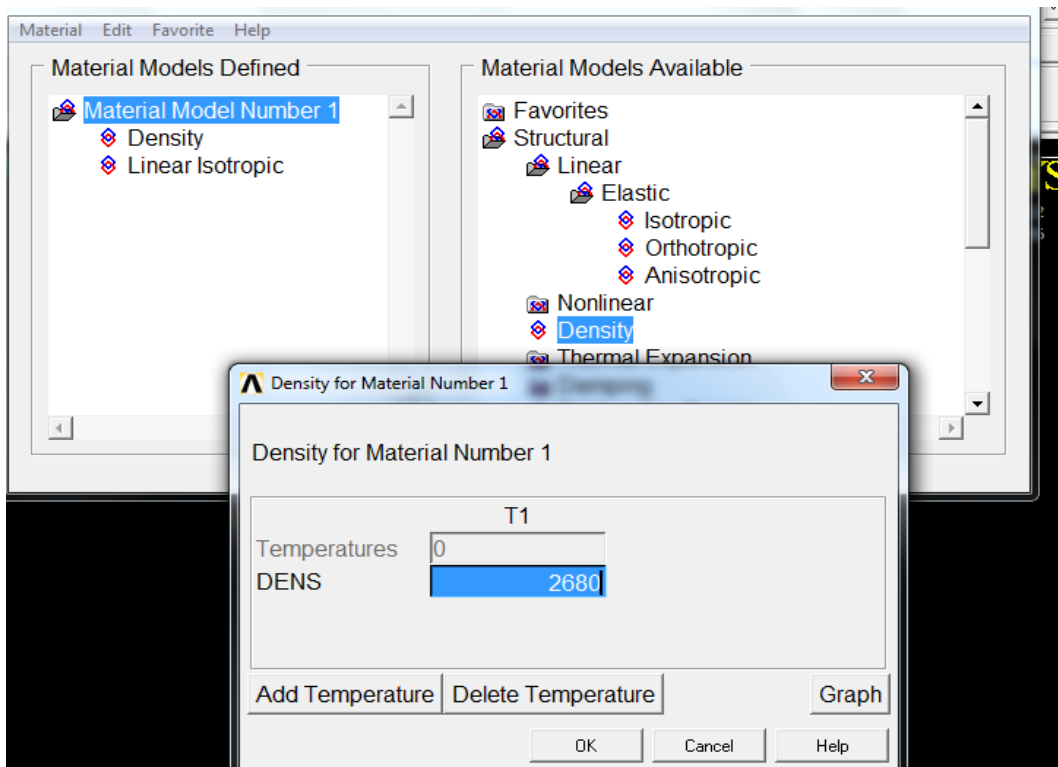
Όπως φαίνεται παρακάτω:



Στην καρτέλα που εμφανίζεται συμπληρώνουμε το μέτρο ελαστικότητας και το λόγο **Poisson**. Όπου **EX=0,13 GPa** και **PRXY=0,45**.

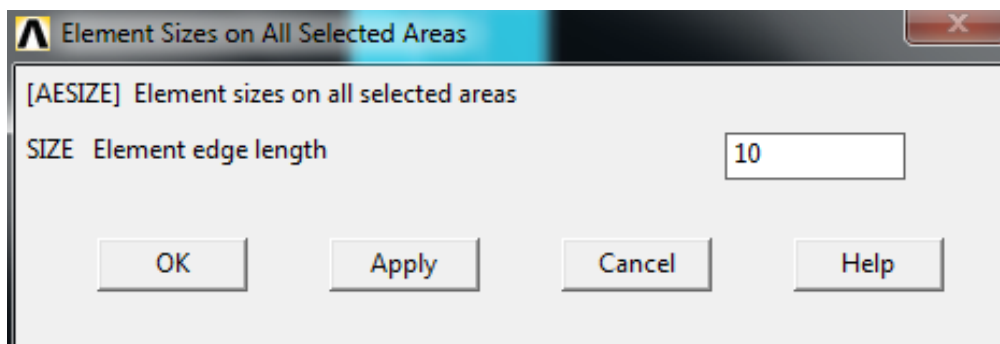


Επίσης στην ίδια καρτέλα επιλέγουμε την εντολή **Density** και ορίζουμε και πυκνότητα υλικού: **DENS=2680 kg/m<sup>3</sup>**.



### ΒΗΜΑ 9<sup>ο</sup>: ΜΕΓΕΘΟΣ ΠΡΩΤΟΥ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ

Η επιλογή του μήκους των στοιχείων γίνεται ως εξής: Από το αριστερό μενού επιλέγουμε **Pre-processor=>Meshing =>Size Controls =>Manual Size =>Areas =>All Areas** και εμφανίζεται η παρακάτω καρτέλα όπου συμπληρώνουμε το μήκος των στοιχείων και πατάμε **OK**.

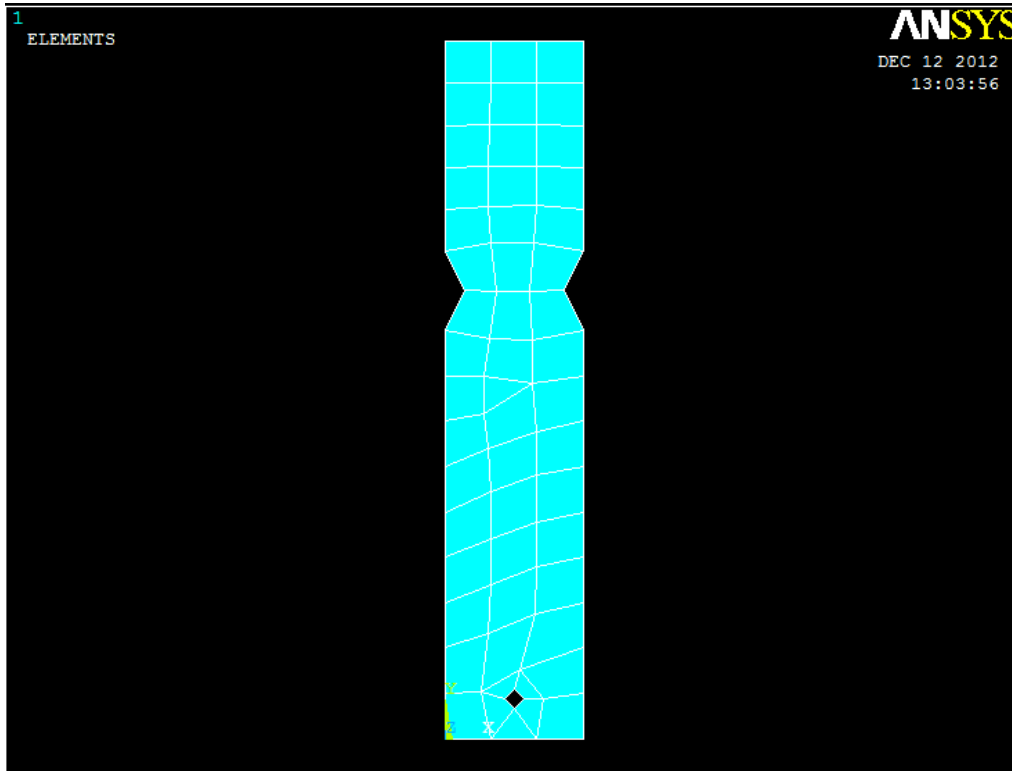


## ΒΗΜΑ 10<sup>ο</sup>: ΔΙΑΚΡΙΤΟΠΟΙΗΣΗ (ΠΡΩΤΟ ΠΛΕΓΜΑ)

Από το αριστερό μενού επιλέγουμε:

**Pre-processor=>Meshing=>Mesh=>Volumes=>Free**

Στην καρτέλα που εμφανίζεται πατάμε **Pick all** για να επιλεγεί ολόκληρη την επιφάνεια.

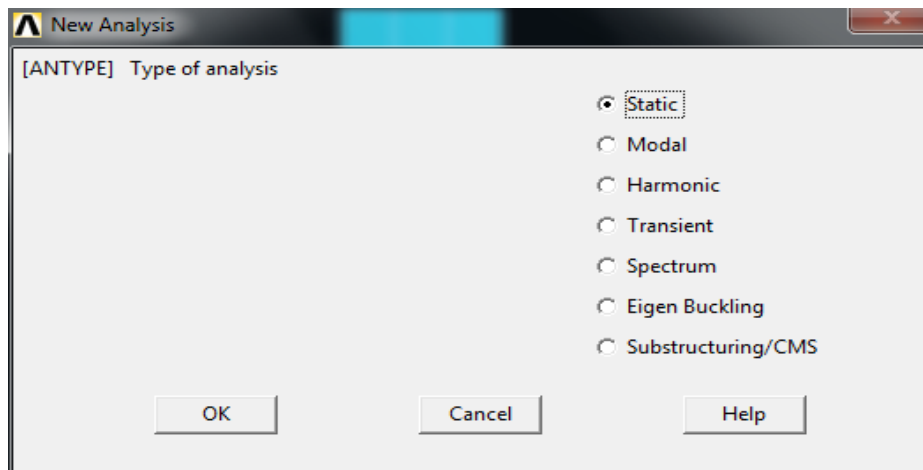


## ΒΗΜΑ 11<sup>ο</sup>: ΟΡΙΣΜΟΣ ΕΙΔΟΥΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Το είδος της ανάλυσης ορίζεται ως εξής: Από το αριστερό μενού επιλέγουμε :

**Solution=>Analysis Type=>New Analysis**

Και στην καρτέλα που εμφανίζεται πατάμε **static** .



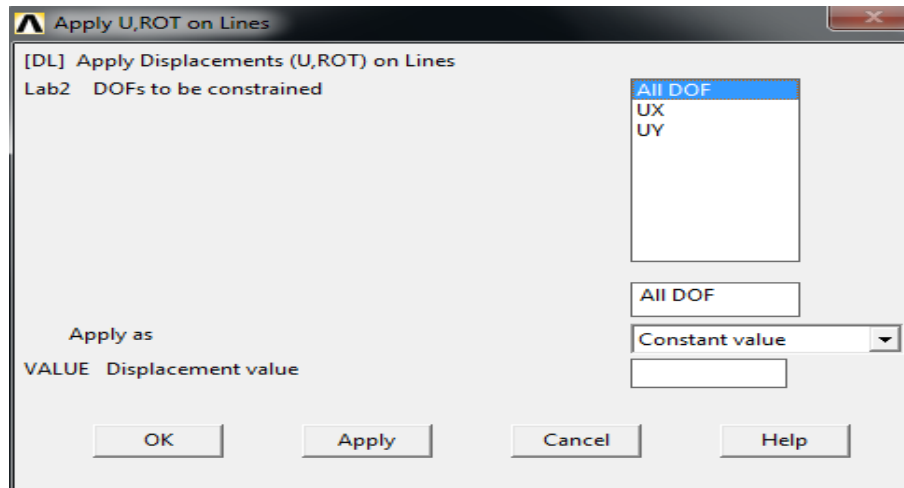
## ΒΗΜΑ 12<sup>ο</sup>: ΟΡΙΣΜΟΣ ΣΤΗΡΙΞΕΩΝ

Για να ορίσουμε τις στηρίξεις ακολουθούμε την εξής διαδικασία: Από το αριστερό μενού επιλέγουμε :

**Solution =>Define Loads =>Apply=> Structural =>Displacement**

Πατάμε **On Areas** και στην καρτέλα που εμφανίζεται πατάμε **Pick All**.

Αφού κλικάρουμε την επιφάνεια που θέλουμε να πακτώσουμε έπειτα στη νέα καρτέλα που εμφανίζεται επιλέγουμε **All Dof** και πατάμε **OK**.

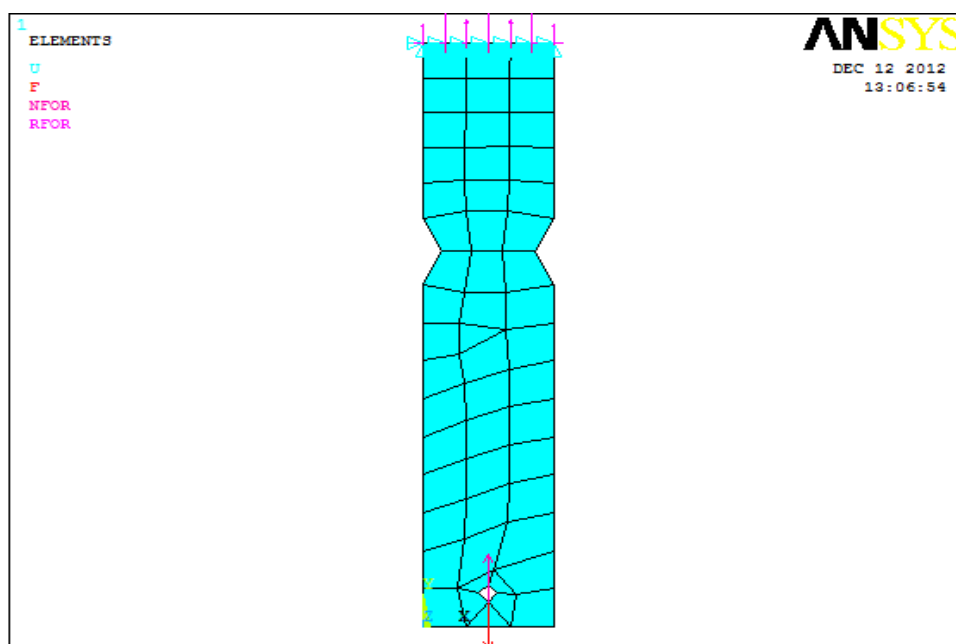


## ΒΗΜΑ 13<sup>ο</sup>: ΟΡΙΣΜΟΣ ΔΥΝΑΜΕΩΝ

Για να ορίσουμε την τιμή και την διεύθυνση του φορτίου ακολουθούμε τις εξής εντολές:

**Solution =>Define Loads =>Apply =>Structural =>Force/Moment=> On Key points**

Επιλέγουμε το κάτω μέρος της μεσαίας οπής, επιλέγουμε τον άξονα εφαρμογής της δύναμης (FY) και εφαρμόζουμε δύναμη 4N (με πρόσημο μείων(-)).

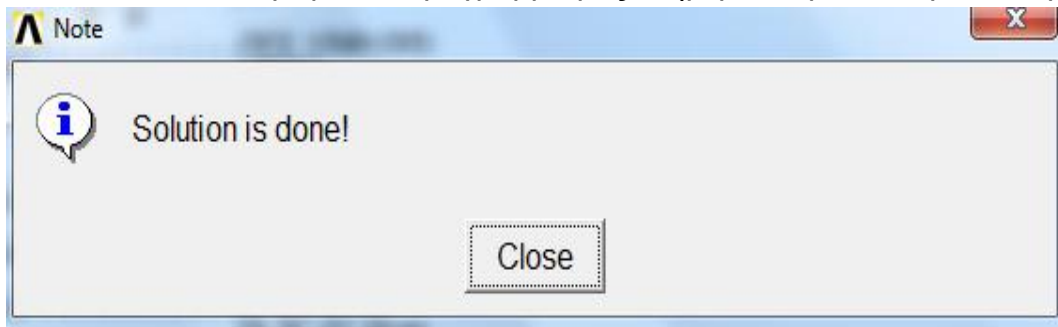


## ΒΗΜΑ 14<sup>ο</sup>: ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ.

Εκτελούμε την επίλυση από το αριστερό μενού:

**Solution =>Solve =>Current LS.**

Όταν τελειώσουν οι υπολογισμοί το πρόγραμμα μας ενημερώνει με το παρακάτω μήνυμα:



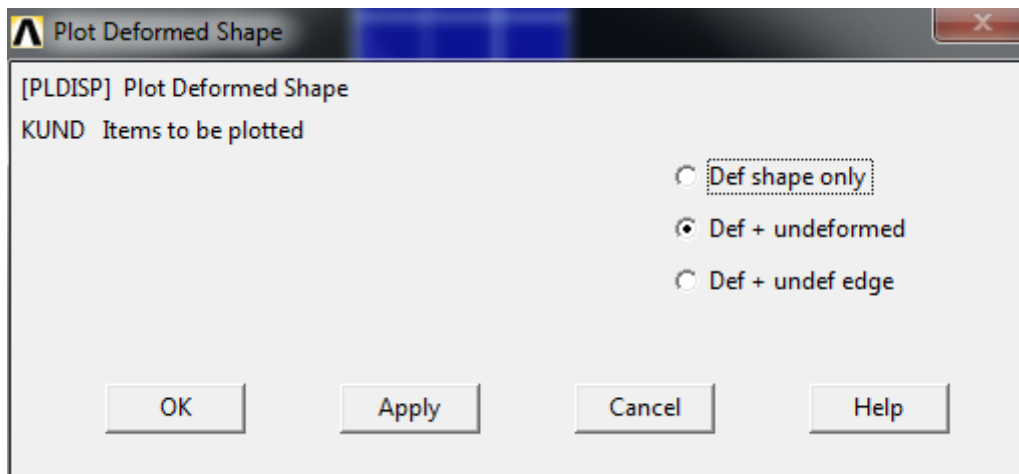
## ΒΗΜΑ 15<sup>ο</sup>: ΠΡΟΒΟΛΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

### Α) ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟ ΣΩΜΑ

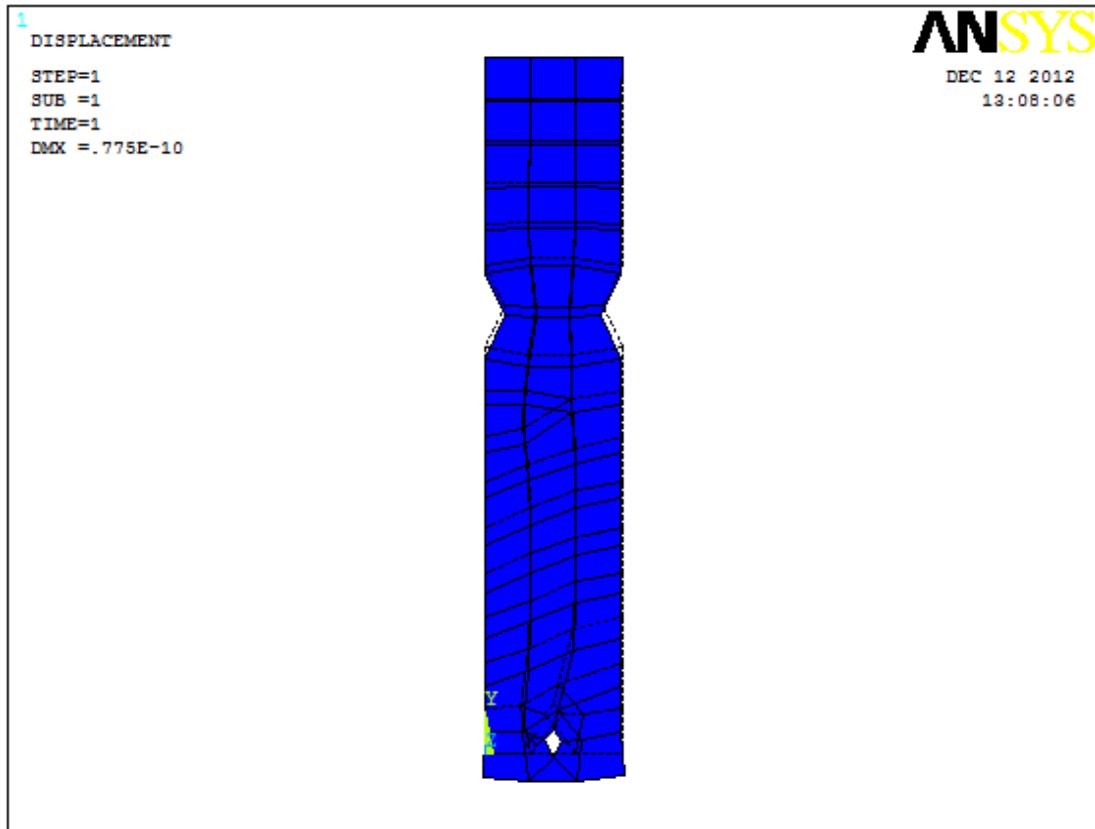
Το **ANSYS** μας δίνει την δυνατότητα απεικόνισης του παραμορφωμένου σώματος. Από το αριστερό μενού ακολουθούμε την γνωστή ακολουθία :

**General Postproc =>Plot Results=>Deformed Shape=>def+undeformed**

Και στην καρτέλα που εμφανίζεται πατάμε **OK**.



## ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟΥ ΣΩΜΑΤΟΣ



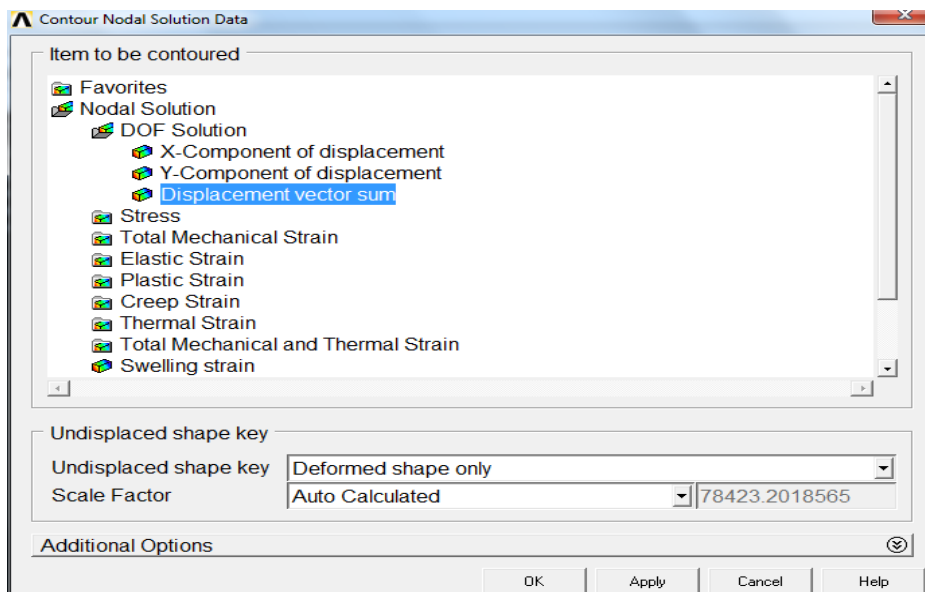
## Β) ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΕΩΝ

Από το αριστερό μενού επιλέγουμε :

**General Postproc=>Plot Results=>Contour Plot=>Nodal Solution**

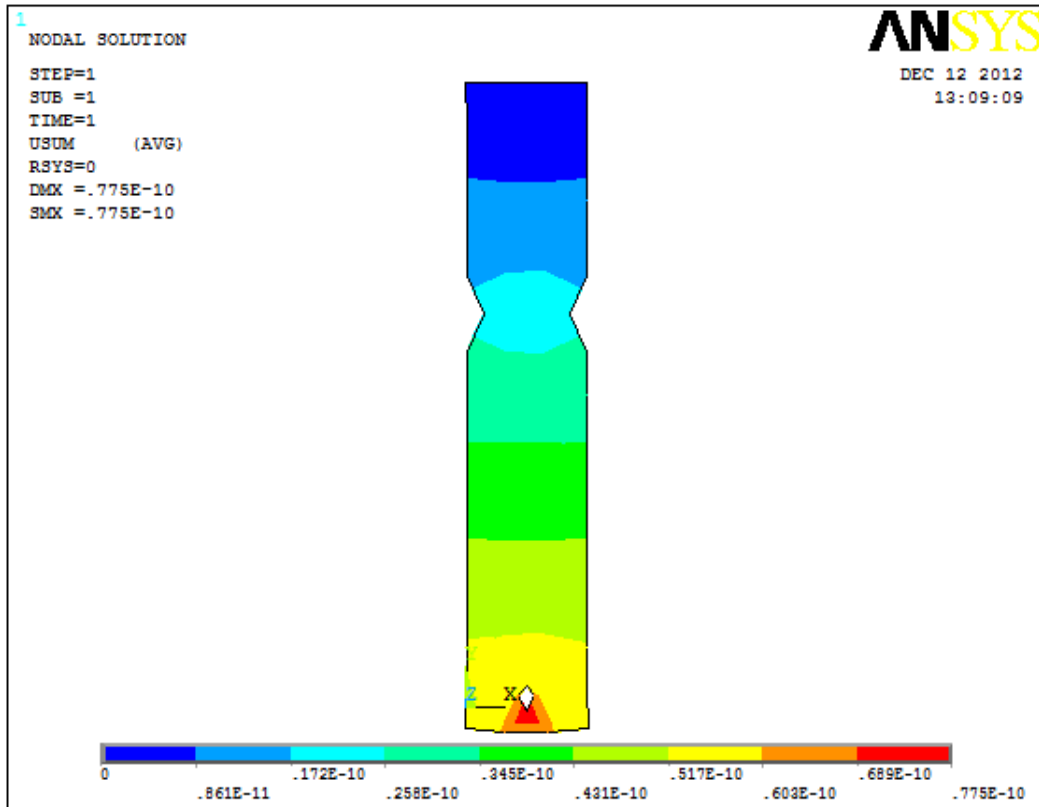
Στην καρτέλα που εμφανίζεται παρακάτω επιλέγουμε :

**DOF Solution => Displacement vector sum** πατάμε **OK** και εμφανίζεται το σχήμα των μετατοπίσεων.





## ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΕΙΣ



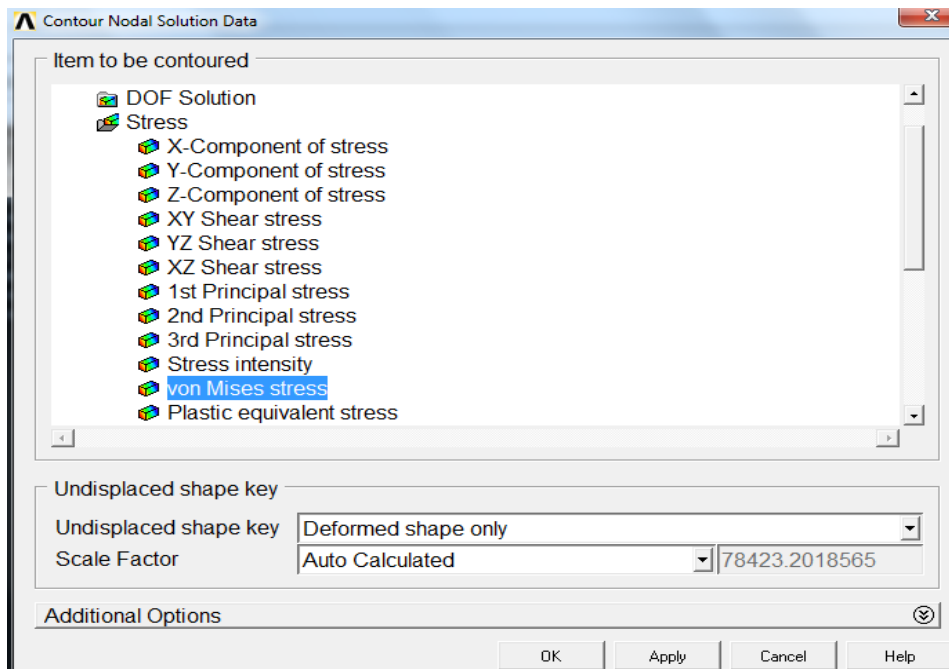
## Γ) ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΤΑΣΕΩΝ

Εκτελούμε πάλι την ίδια διαδικασία από το αριστερό μενού

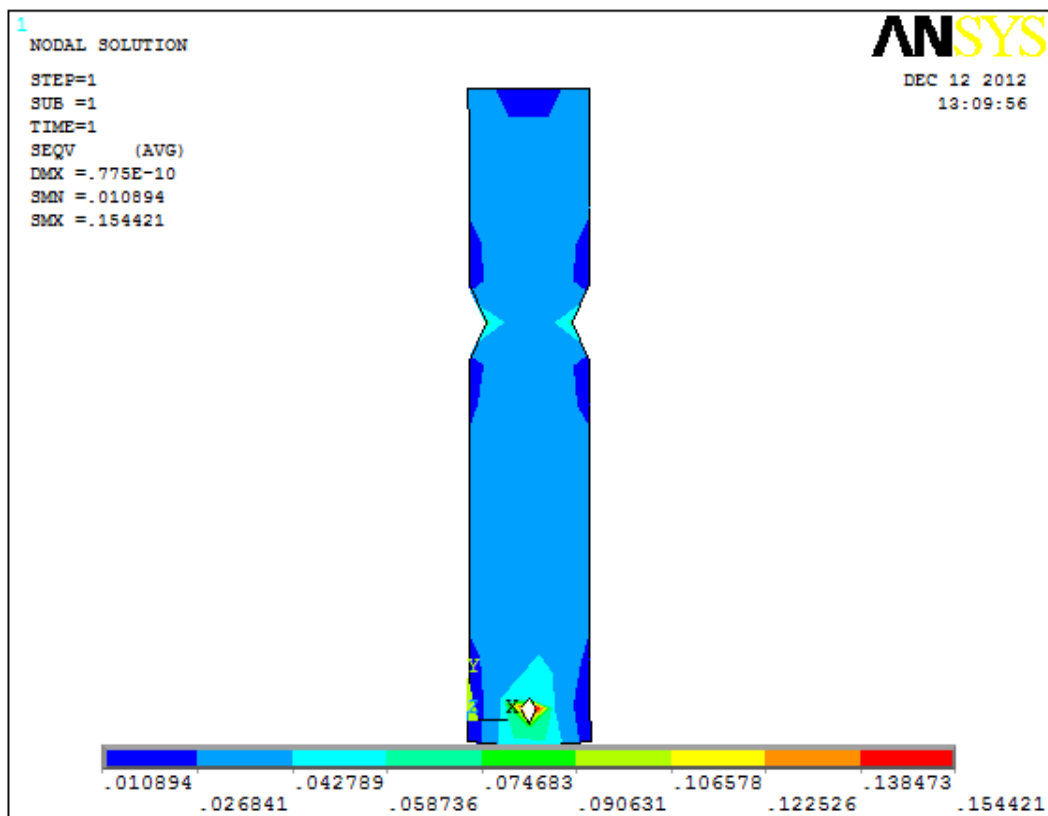
**General Postproc =>Plot Results =>Contour Plot =>Nodal Solution**

Και στην ίδια καρτέλα που εμφανίζεται αυτή τη φορά επιλέγουμε:

**Stress =>Von Misses Stress** και πατάμε **OK**. Το παρακάτω είναι το σχήμα των τάσεων.



## ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΑΣΕΩΝ

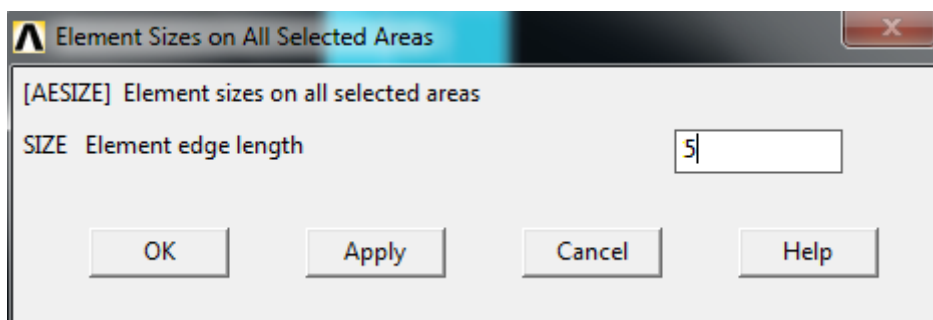


### ΒΗΜΑ 16<sup>ο</sup>: ΔΙΑΚΡΙΤΟΠΟΙΗΣΗ (ΔΕΥΤΕΡΟ ΠΛΕΓΜΑ)

Με σκοπό την σύγκλιση των αποτελεσμάτων το δοκίμιο διακριτοποιείται πάλι με διαφορετικό μέγεθος στοιχείων. Οπότε ακολουθούμε την εξής διαδικασία:

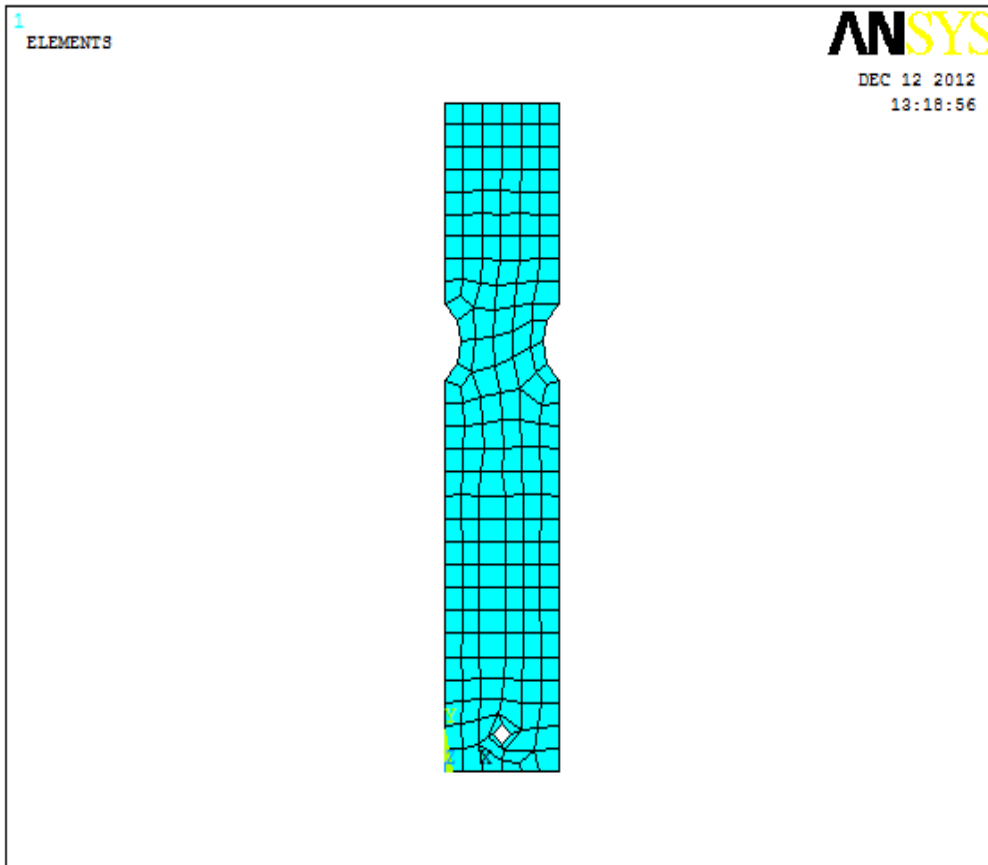
**Pre-processor=>Meshing=>Size Controls=>Manual Size=>Areas=>All Areas.**

Στην καρτέλα που εμφανίζεται συμπληρώνουμε το νέο μήκος στοιχείων.

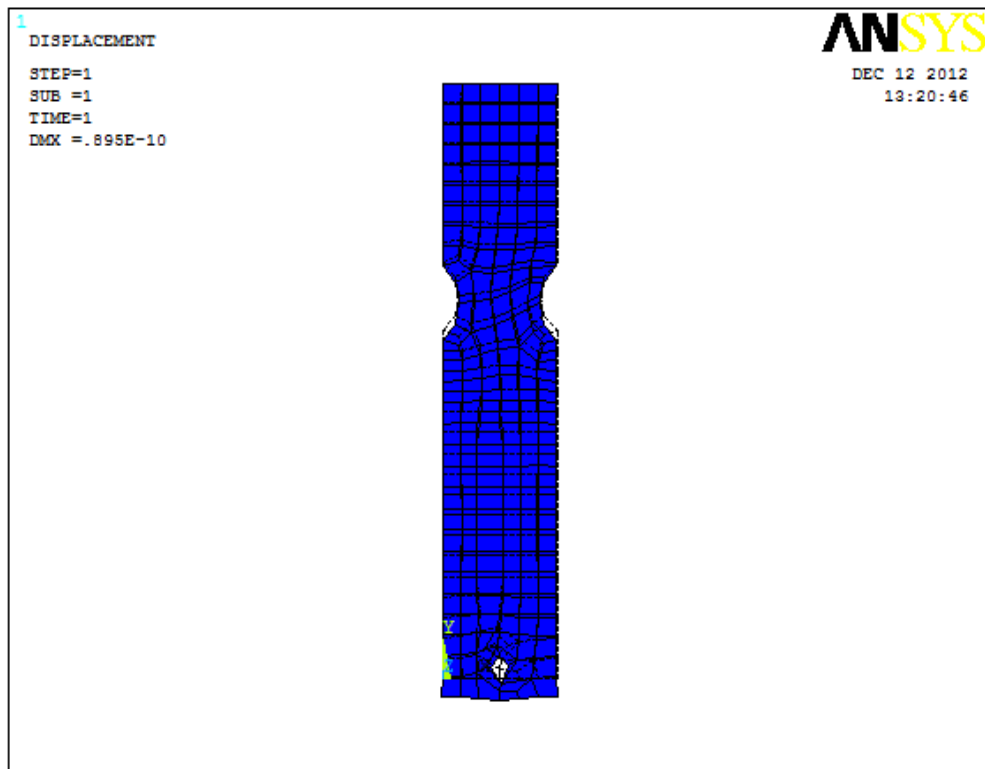


Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται το δοκίμιο με το δεύτερο μέγεθος πλέγματος, οπότε με την ίδια διαδικασία έχουμε:

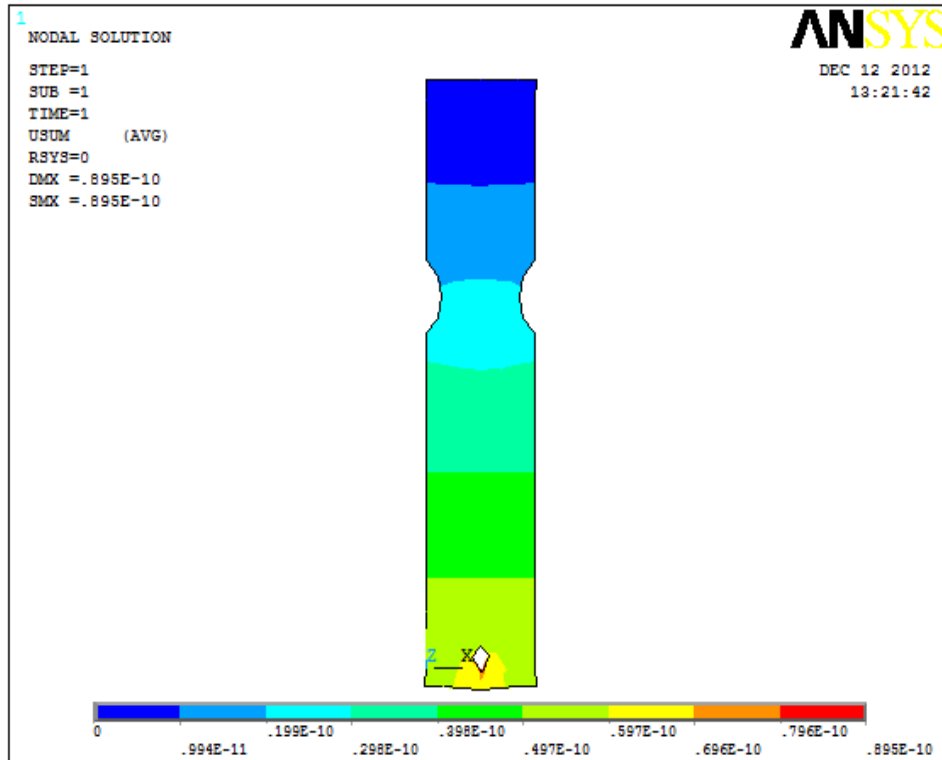
### ΔΙΑΚΡΙΤΟΠΟΙΗΣΗ:



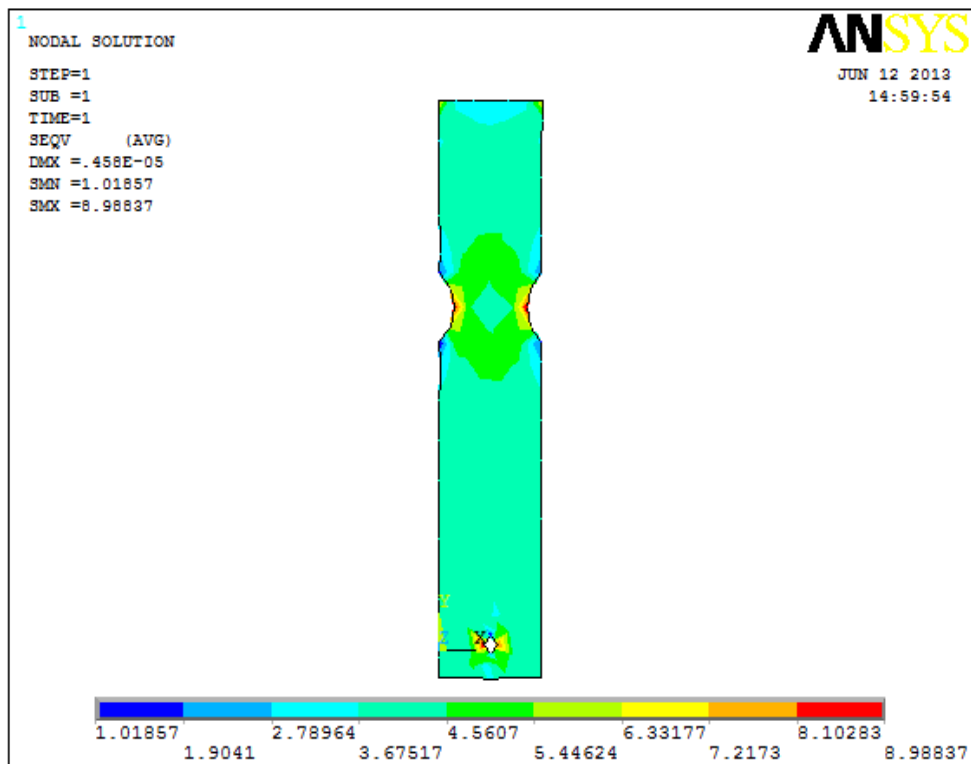
### A) ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟ ΣΩΜΑ:



## Β) ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΕΩΝ:



## Γ) ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΤΑΣΕΩΝ:



#### Π.4. ΠΡΟΒΛΗΜΑ : ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΜΕΤΡΙΚΟΥ ΣΩΜΑΤΟΣ ΜΕ ΤΟΞΑ ΑΠΟ PLEXIGLAS

Ανοίγουμε το **ANSYS 14**. Αρχικά στο **File management=>working directory** και αποθηκεύουμε σε ένα φάκελο με όνομα **job name** για να αποθηκευτεί η εργασία μας. Στη συνέχεια επιλέγουμε **RUN** και εμφανίζεται το σχεδιαστικό περιβάλλον του προγράμματος ANSYS.



## 1. ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

### ΒΗΜΑ 1<sup>ο</sup>: ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΣΗΜΕΙΩΝ.

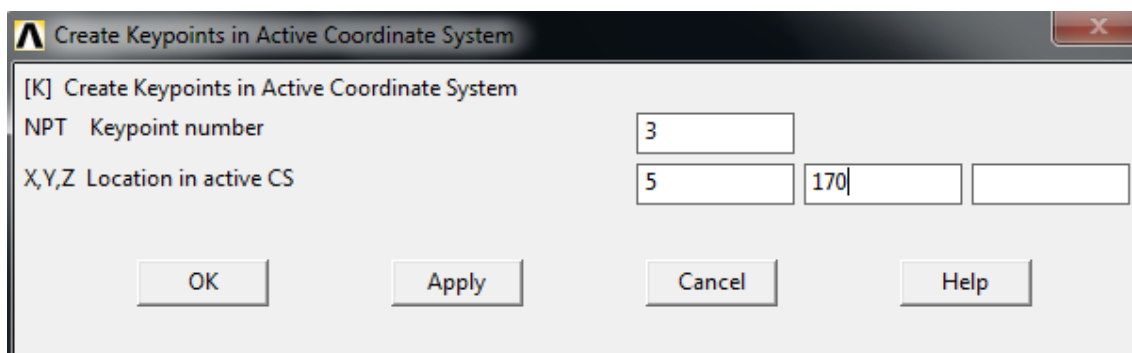
Στο **main menu** επιλέγουμε:

**Pre-processor=>modelling=>create =>key points=>in active CS**

Και στην καρτέλα που εμφανίζετε δίνουμε τα παρακάτω σημεία:

| α/α | X  | Y   |
|-----|----|-----|
| 1   | 0  | 0   |
| 2   | 0  | 160 |
| 3   | 5  | 170 |
| 4   | 0  | 180 |
| 5   | 0  | 340 |
| 6   | 30 | 340 |
| 7   | 30 | 180 |
| 8   | 25 | 170 |
| 9   | 30 | 160 |
| 10  | 30 | 0   |
| 11  | 0  | 0   |

Αρχικά βάζουμε στην καρτέλα την κάθε μια συντεταγμένη όπου εμφανίζεται στον παραπάνω πίνακα (x,y,z location in active CS ). Έπειτα βάζουμε τον αύξοντα αριθμό για κάθε μια συντεταγμένη ( NPT key point number) ,επιλέγουμε την εντολή **apply** και αντίστοιχα επιλέγουμε το **OK** για όλα τα σημεία.

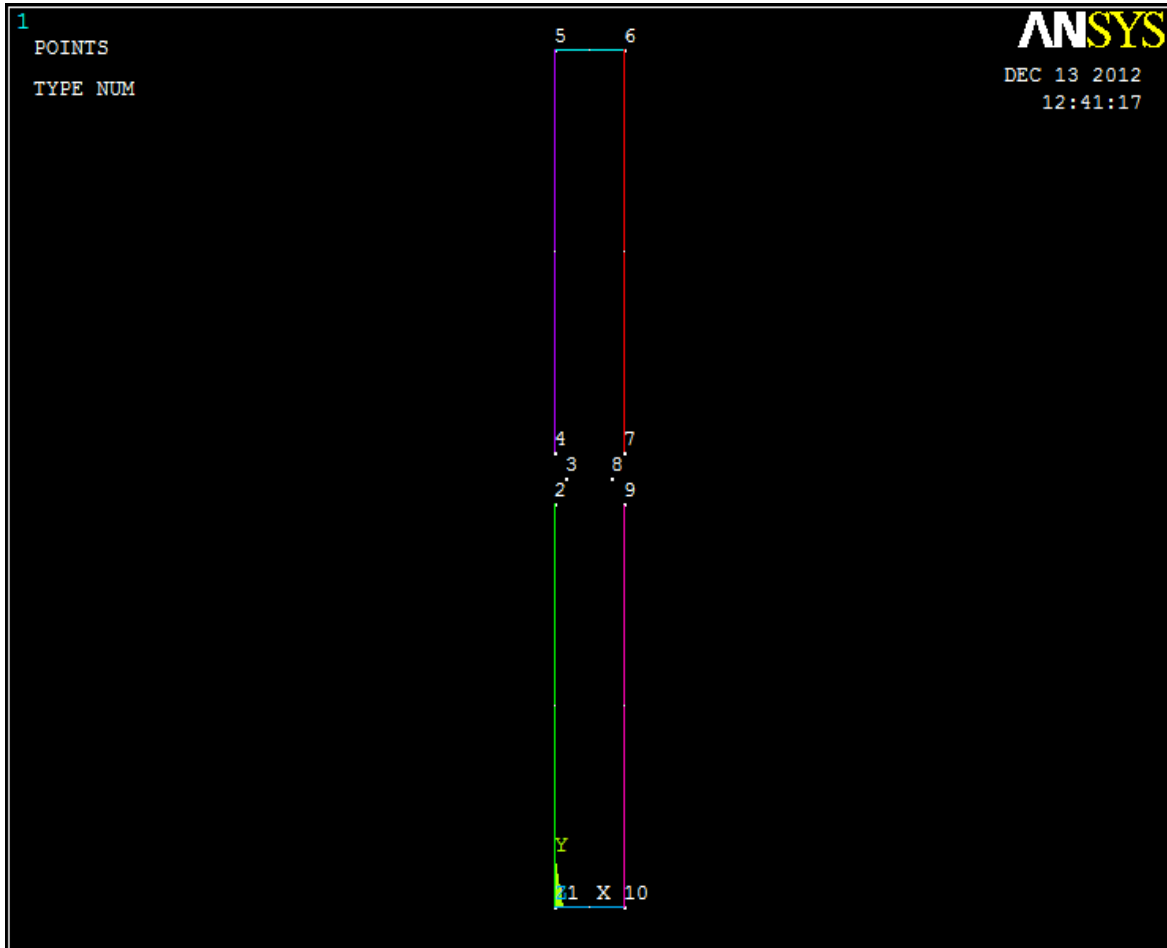


## ΒΗΜΑ 2<sup>ο</sup>: ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΣΗΜΕΙΩΝ

Ενώνουμε τα σημεία ως εξής :

**Pre-processor=>modelling=>create =>Lines => Lines =>Straight line.**

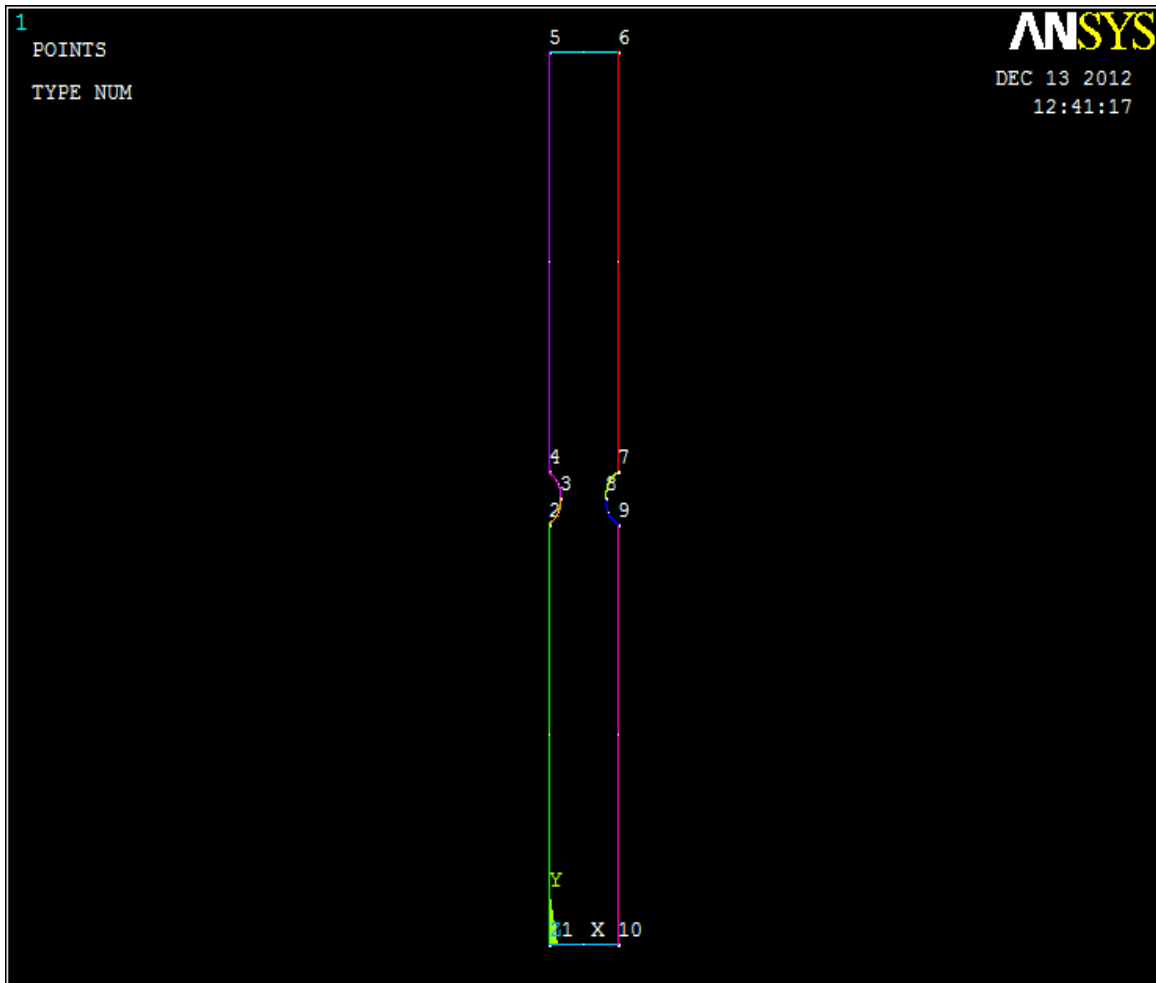
Εμφανίζεται ένα καρτελάκι και ο κέρσορας γίνεται ένα ενεργό βέλος. Έπειτα κλικάρουμε τα σημεία των ευθειών γραμμών.



### ΒΗΜΑ 3<sup>ο</sup>: ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΤΩΝ ΤΟΞΩΝ

Από το αριστερό μενού

Pre-processor =>Modelling=>Create =>Lines =>Arcs =>By End KPs & Rad



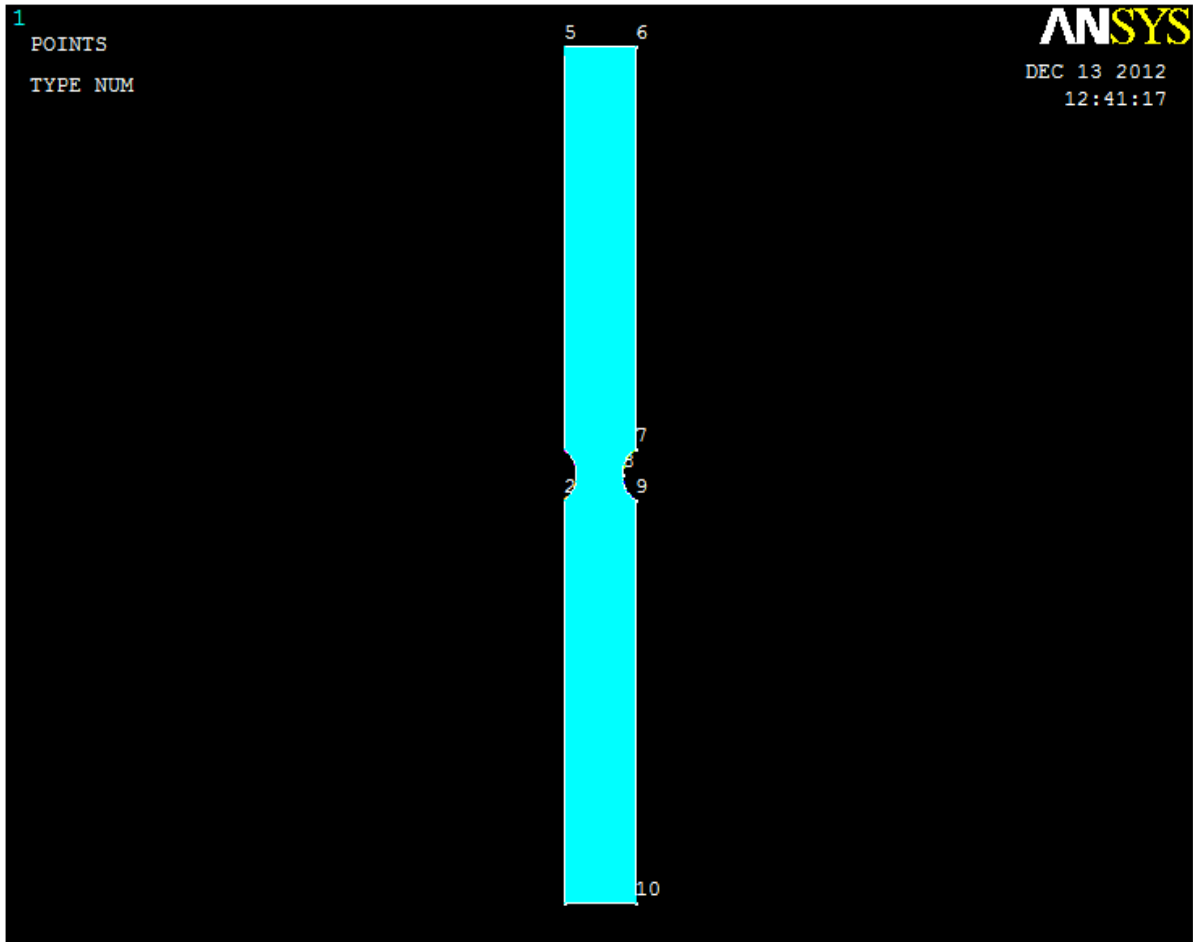


## ΒΗΜΑ 4<sup>ο</sup>: ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ

Από το αριστερό μενού επιλέγουμε

**Pre-processor=>Modelling=>Create =>Areas =>Arbitrary =>By lines**

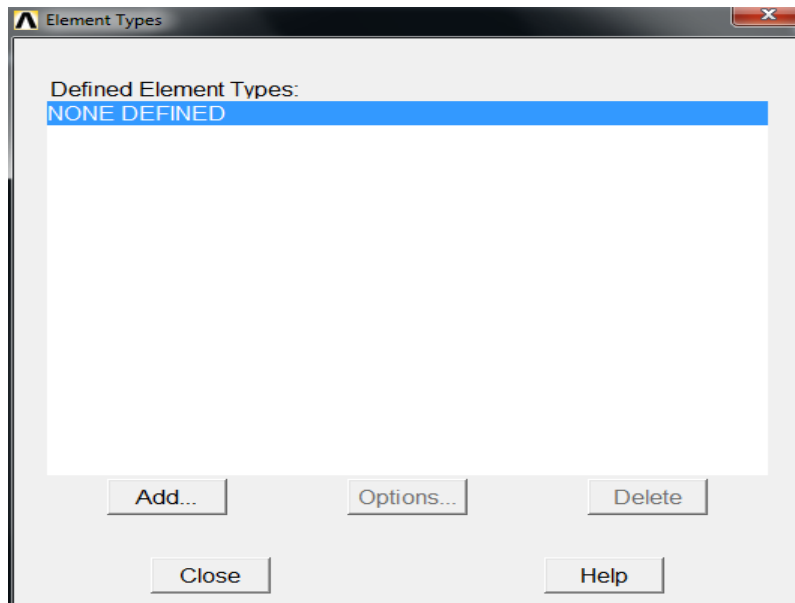
κλικάρουμε το περίγραμμα και πατάμε **OK**.



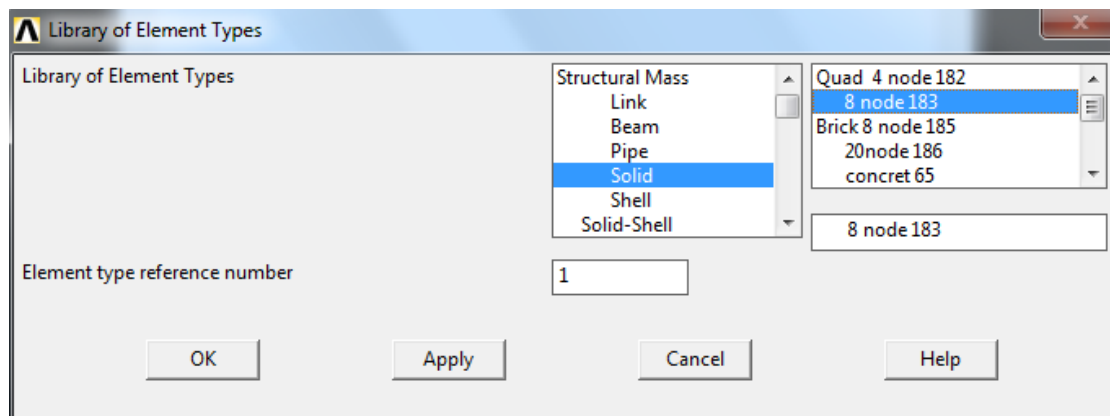
## ΒΗΜΑ 5<sup>ο</sup>: ΟΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Από το αριστερό μενού επιλέγουμε :

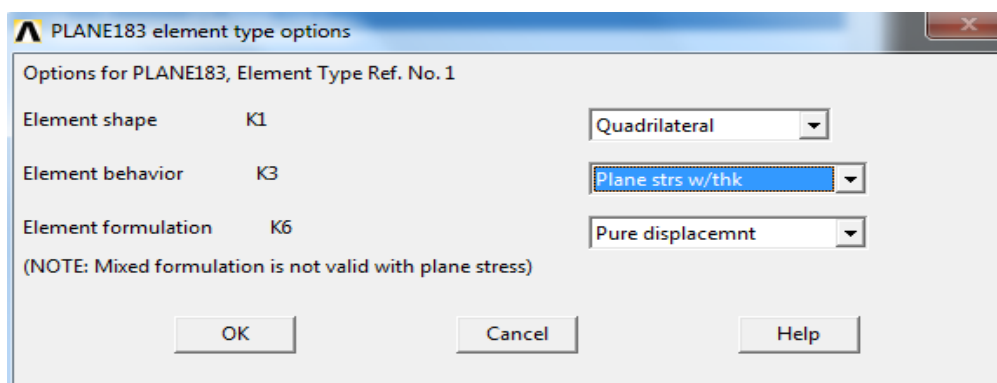
**Pre-processor=>Element Type=>Add/Edit/Delete**



Στην καρτέλα που εμφανίζεται πατάμε **Add** και στην νέα καρτέλα από το μενού **solid** επιλέγουμε **8node183** και πατάμε **OK**.



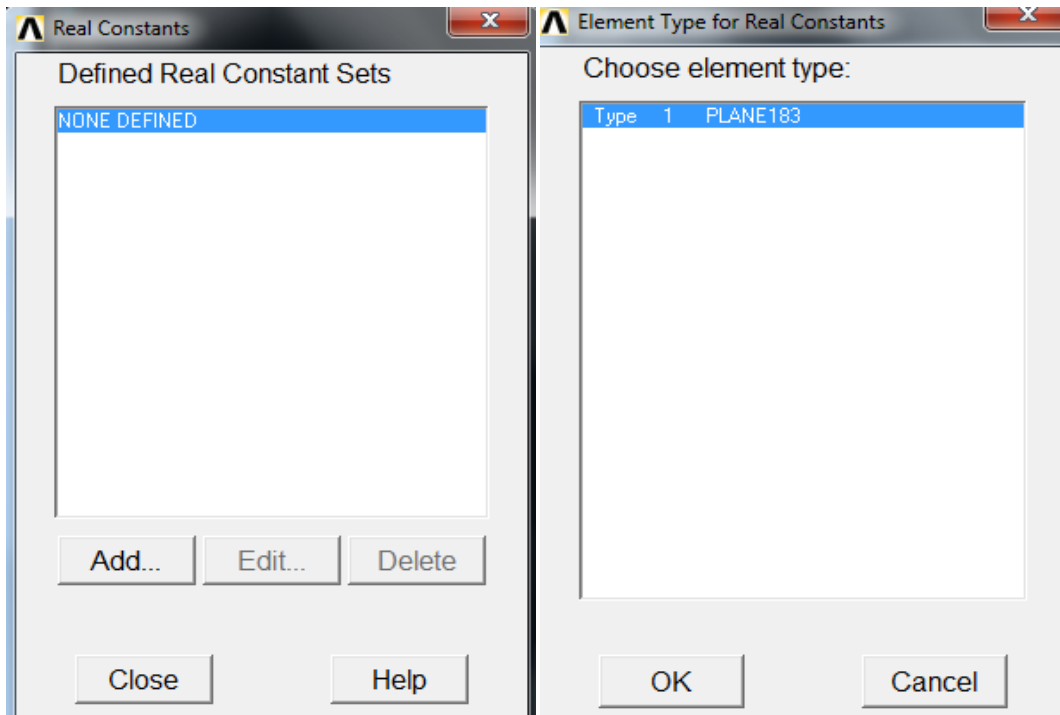
Στην συνέχεια επεξεργαζόμαστε τις ιδιότητες τους στοιχείου.



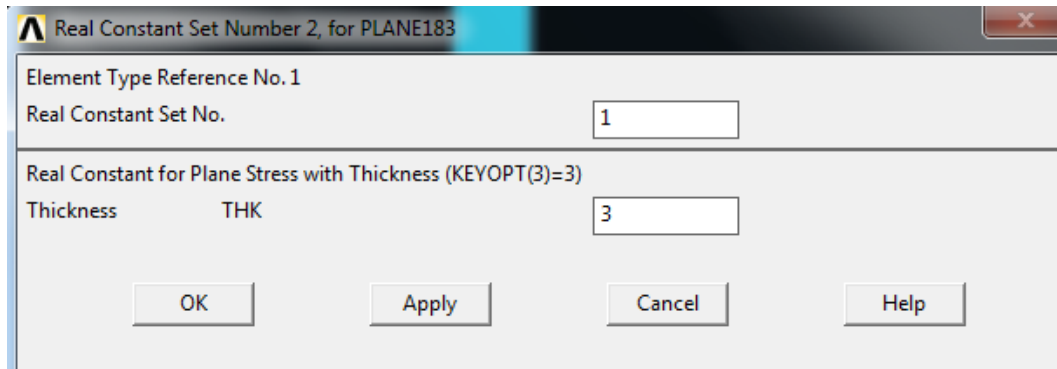
## ΒΗΜΑ 6<sup>ο</sup>: ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ.

Από το αριστερό μενού

**Pre-processor =>Real Constants =>Add/Edit/Delete**  
επιλέγουμε **Add** και στην συνέχεια **OK** στην καρτέλα που εμφανίζεται.



Στην ακόλουθη καρτέλα βάζουμε πάχος 3mm

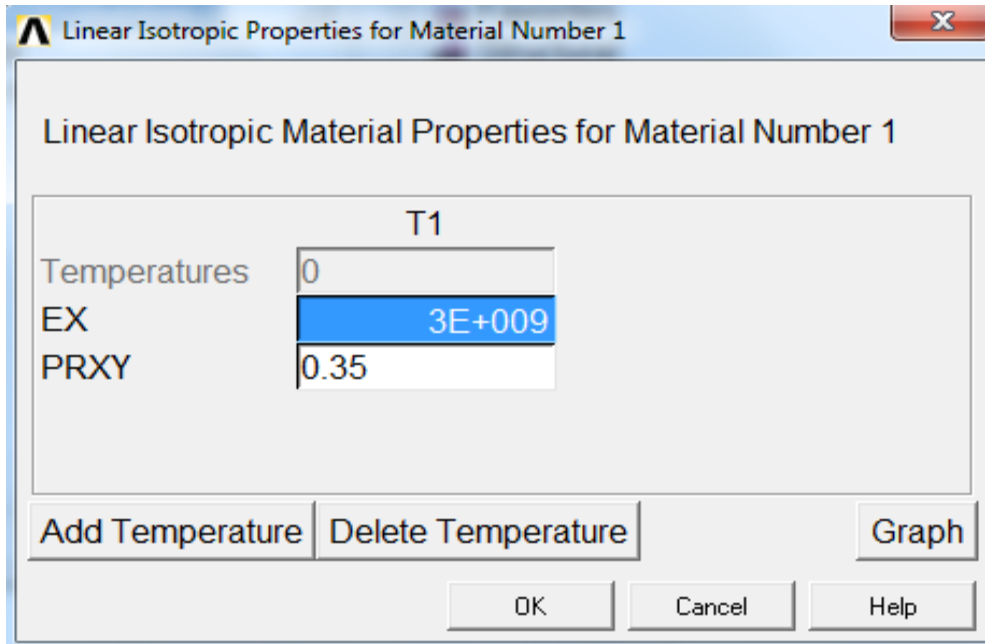


## ΒΗΜΑ 7<sup>ο</sup>: ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΛΙΚΟΥ.

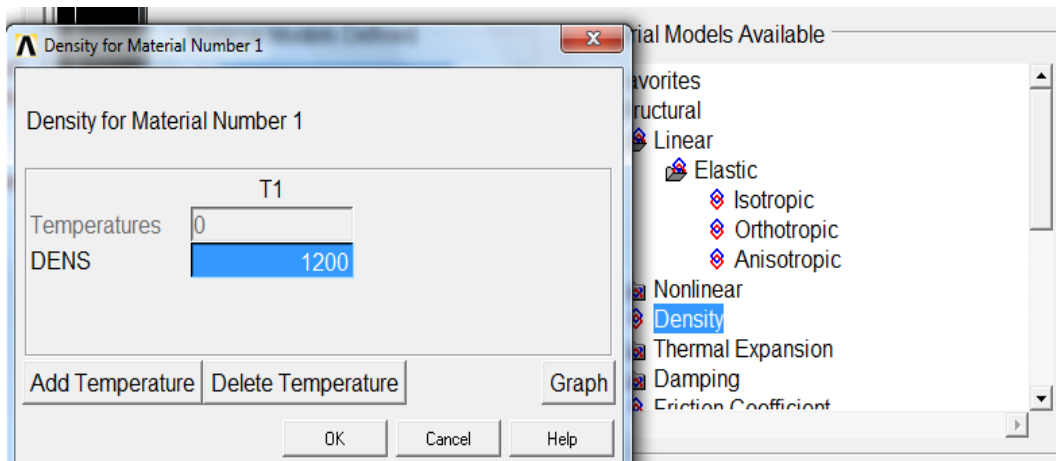
Ο ορισμός του υλικού θα γίνει ως εξής: Από το αριστερό μενού επιλέγουμε

**Pre-processor =>Material Props =>Material Models =>Structural =>Linear => Elastic  
=>Isotropic**

Στην καρτέλα που εμφανίζεται συμπληρώνουμε το μέτρο ελαστικότητας και το λόγο **Poisson**. Όπου **EX=3 GPa** και **PRXY=0,35**



Επίσης στην ίδια καρτέλα επιλέγουμε την εντολή **Density** και ορίζουμε και πυκνότητα υλικού: **DENS=1200 kg/m<sup>3</sup>**

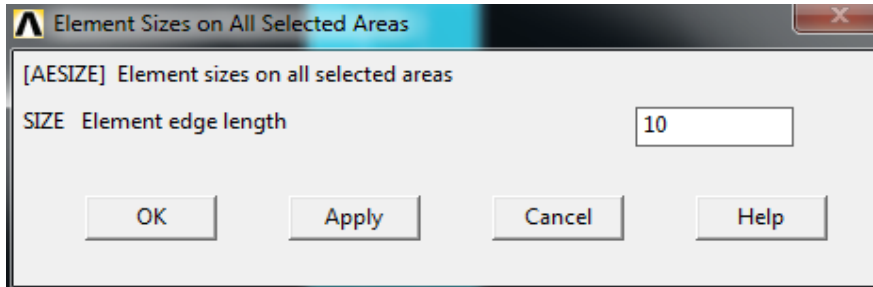


## ΒΗΜΑ 8<sup>ο</sup>: ΜΕΓΕΘΟΣ ΠΡΩΤΟΥ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ

Η επιλογή του μήκους των στοιχείων γίνεται ως εξής: Από το αριστερό μενού επιλέγουμε

**Pre-processor=>Meshing =>Size Controls => Manual Size =>Areas => All Areas**

Και εμφανίζεται η παρακάτω καρτέλα όπου συμπληρώνουμε το μήκος των στοιχείων και πατάμε **OK**.

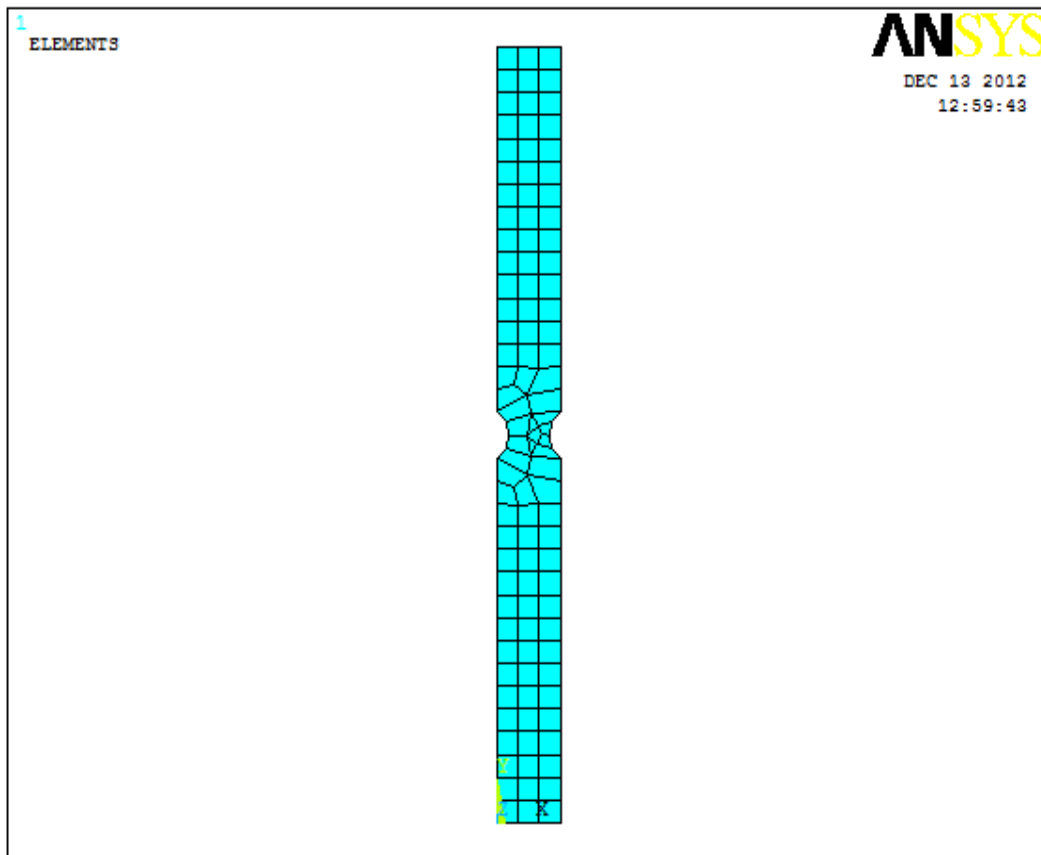


## ΒΗΜΑ 9<sup>ο</sup>: ΔΙΑΚΡΙΤΟΠΟΙΗΣΗ (ΠΡΩΤΟ ΠΛΕΓΜΑ)

Από το αριστερό μενού επιλέγουμε:

**Pre-processor=>Meshing=>Mesh=>Volumes=>Free**

Στην καρτέλα που εμφανίζεται πατάμε **Pick all** για να επιλεγεί ολόκληρη την επιφάνεια

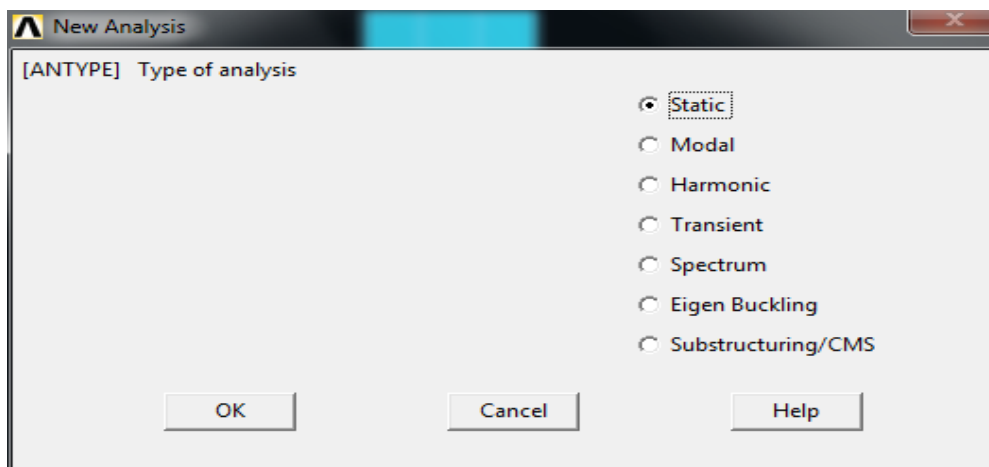


## ΒΗΜΑ 10<sup>ο</sup>: ΟΡΙΣΜΟΣ ΕΙΔΟΥΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Το είδος της ανάλυσης ορίζεται ως εξής: Από το αριστερό μενού επιλέγουμε:

**Solution=>Analysis Type=>New Analysis**

Και στην καρτέλα που εμφανίζεται πατάμε **static**.



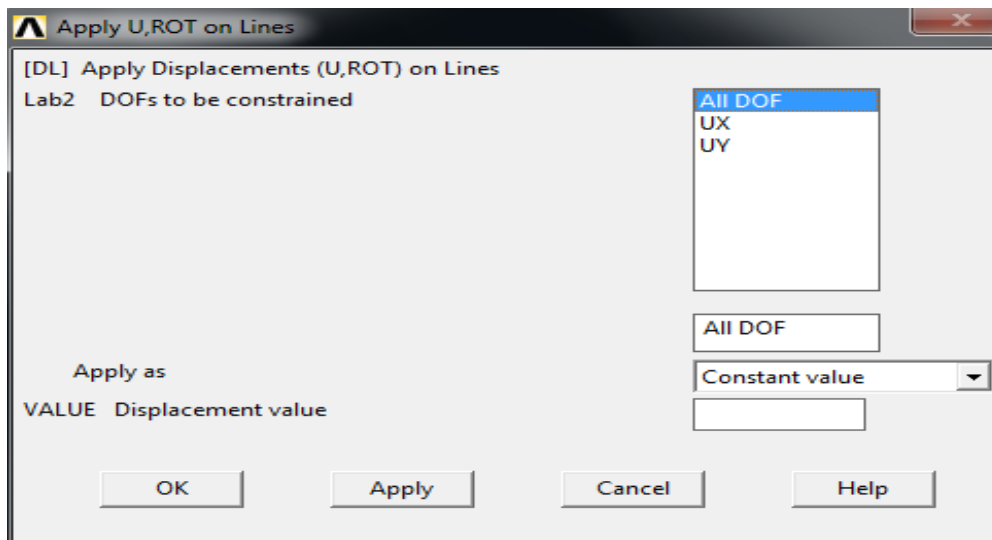
## ΒΗΜΑ 11<sup>ο</sup>: ΟΡΙΣΜΟΣ ΣΤΗΡΙΞΕΩΝ

Για να ορίσουμε τις στηρίξεις ακολουθούμε την εξής διαδικασία: Από το αριστερό μενού επιλέγουμε :

**Solution =>Define Loads =>Apply=>Structural =>Displacement**

πατάμε **On Areas** και στην καρτέλα που εμφανίζεται πατάμε **Pick All**.

Αφού κλικάρουμε την επιφάνεια που θέλουμε να πακτώσουμε έπειτα στη νέα καρτέλα που εμφανίζεται επιλέγουμε **All Dof** και πατάμε **OK**.

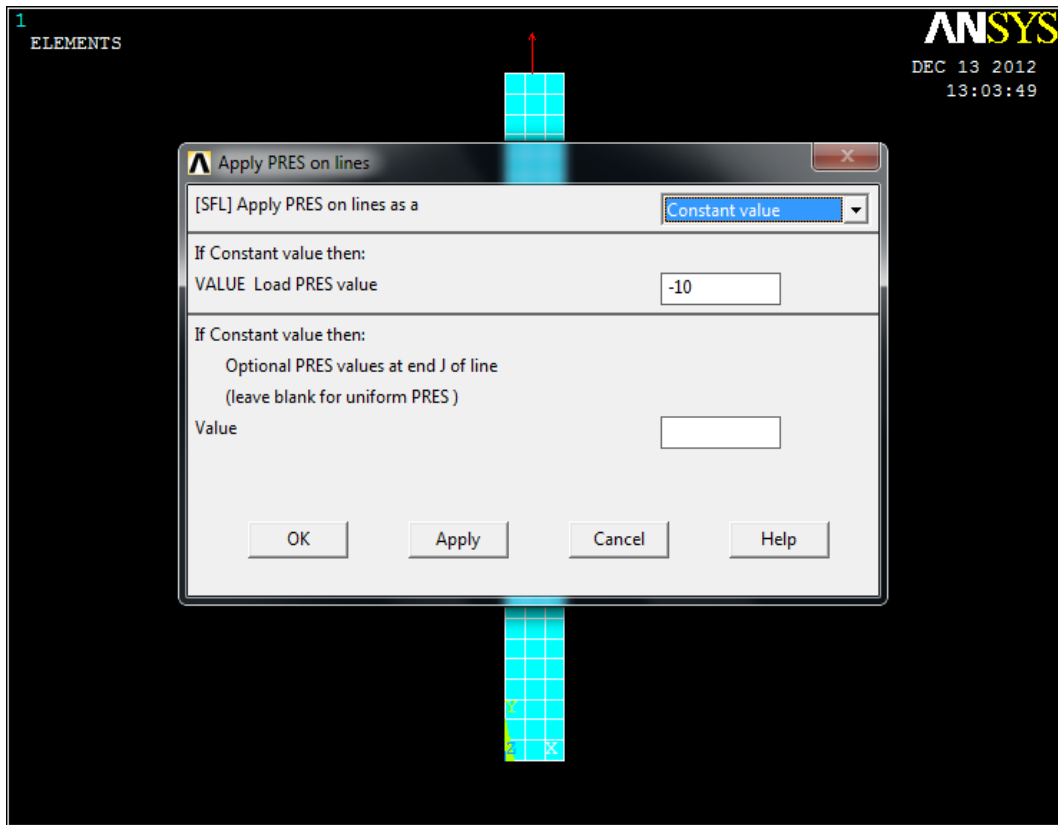


## ΒΗΜΑ 12<sup>ο</sup>: ΟΡΙΣΜΟΣ ΔΥΝΑΜΕΩΝ

Για να ορίσουμε την τιμή και την διεύθυνση του φορτίου ακολουθούμε τις εξής εντολές:

**Solution =>Define Loads =>Apply =>Structural =>Force/Moment=> On Key points**

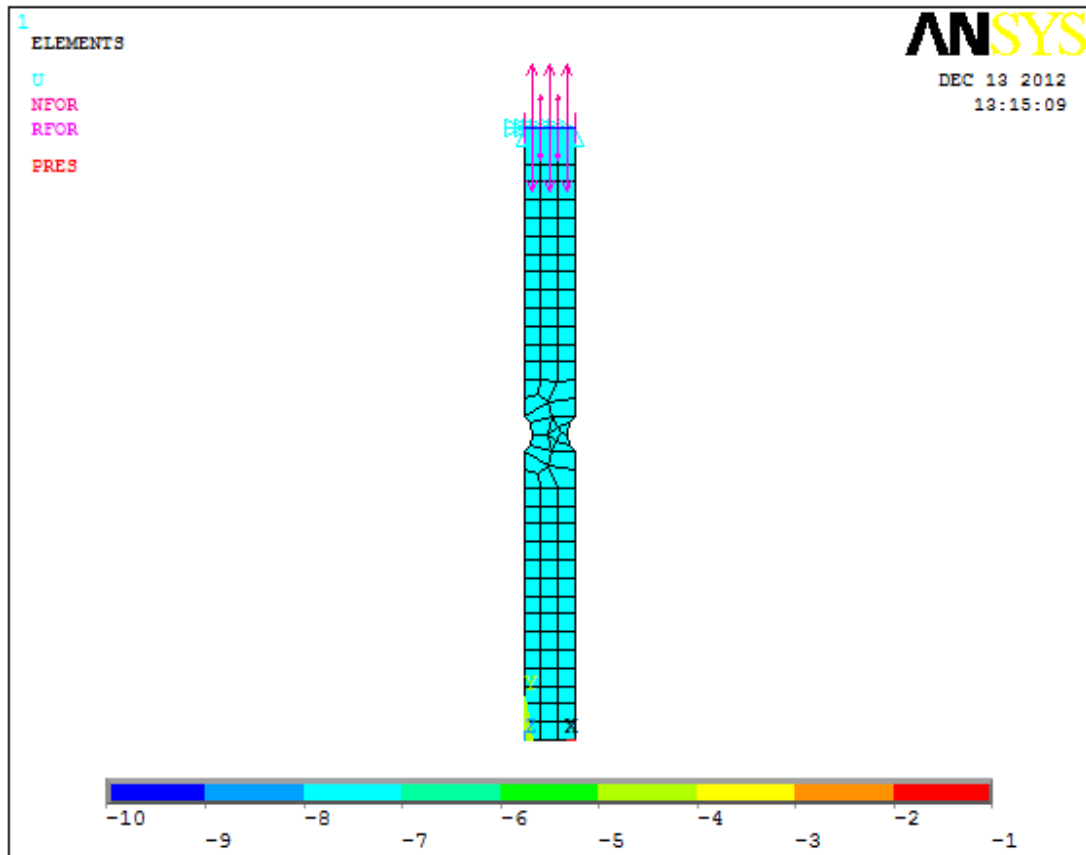
Επιλέγουμε το κάτω μέρος της επιφάνειας σε δυο σημεία(με Apply), επιλέγουμε τον άξονα εφαρμογής της δύναμης (FY) και εφαρμόζουμε δύναμη 10 N (με πρόσημο μείων(-))



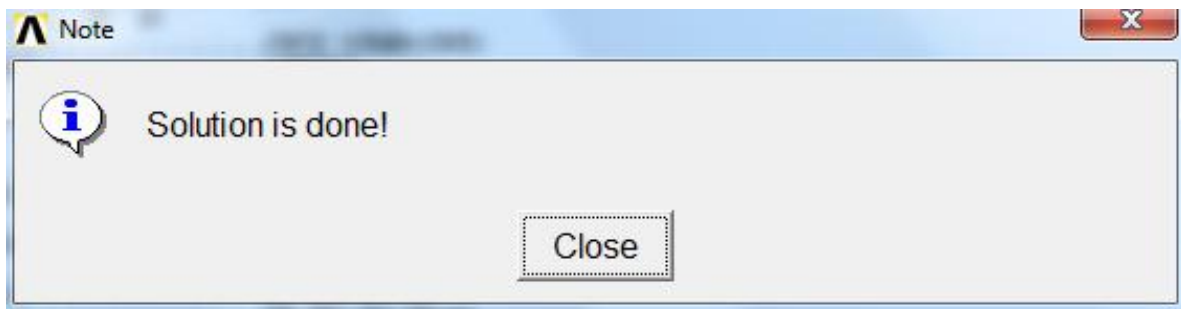
## ΒΗΜΑ 13<sup>ο</sup>: ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Εκτελούμε την επίλυση από το αριστερό μενού

**Solution =>Solve =>Current LS.**



Όταν τελειώσουν οι υπολογισμοί το πρόγραμμα μας ενημερώνει με το παρακάτω μήνυμα:



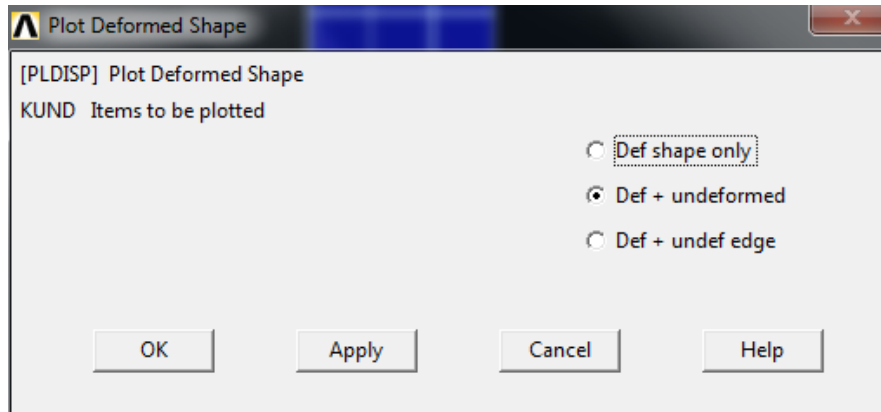


## ΒΗΜΑ 14<sup>ο</sup>: ΠΡΟΒΟΛΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

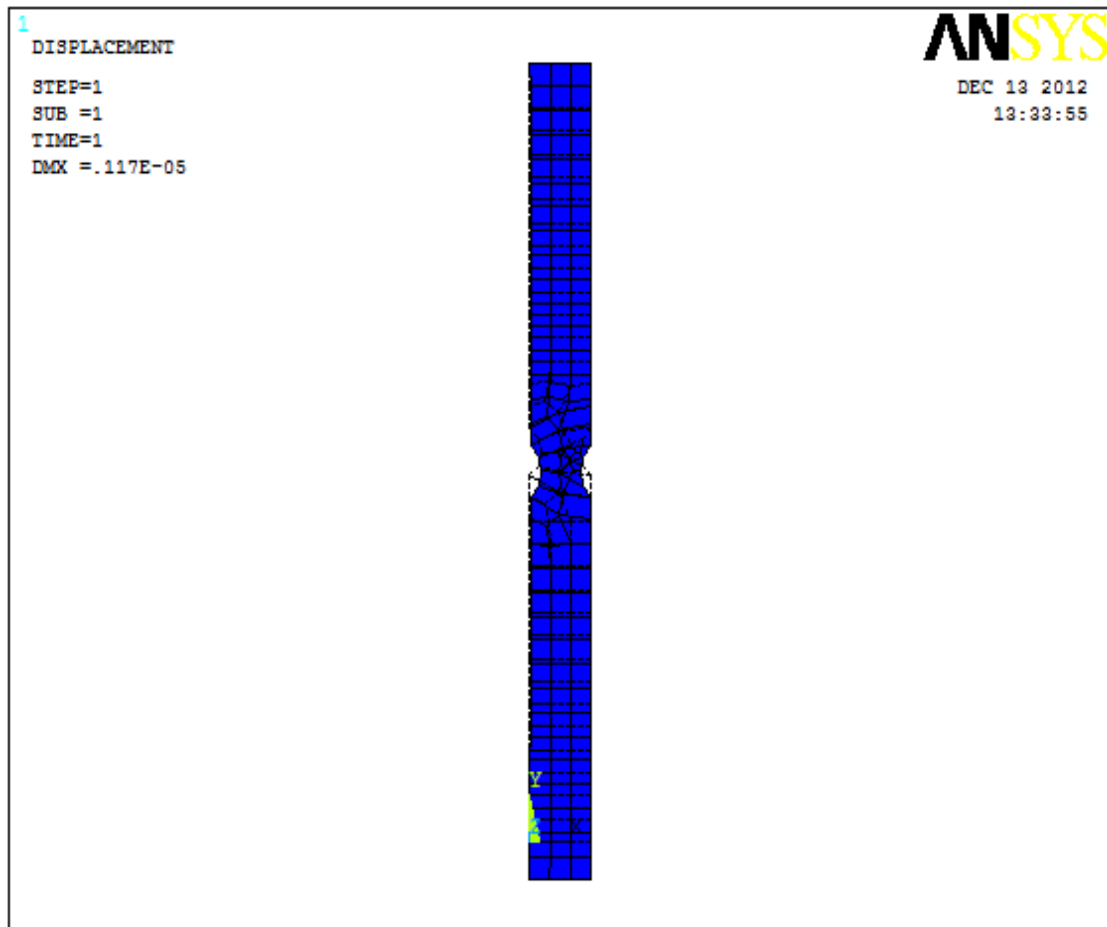
### Α) ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟ ΣΩΜΑ

Το **ANSYS** μας δίνει την δυνατότητα απεικόνισης του παραμορφωμένου σώματος. Από το αριστερό μενού ακολουθούμε την γνωστή ακολουθία:

**General Postproc=>Plot Results=>Deformed Shape=>def+undeformed**  
και στην καρτέλα που εμφανίζεται πατάμε **OK**.



### ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟ ΣΩΜΑ.



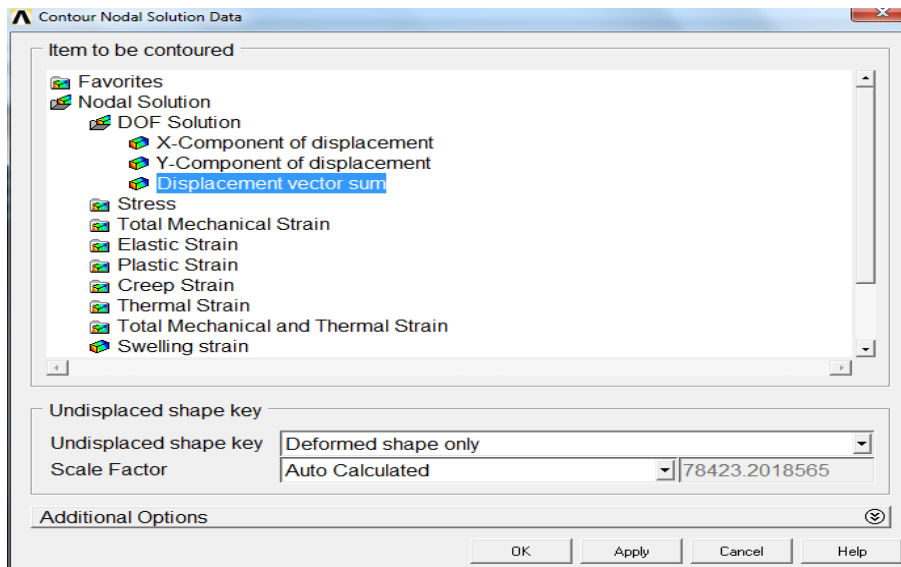
## B) ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΕΩΝ

Από το αριστερό μενού επιλέγουμε :

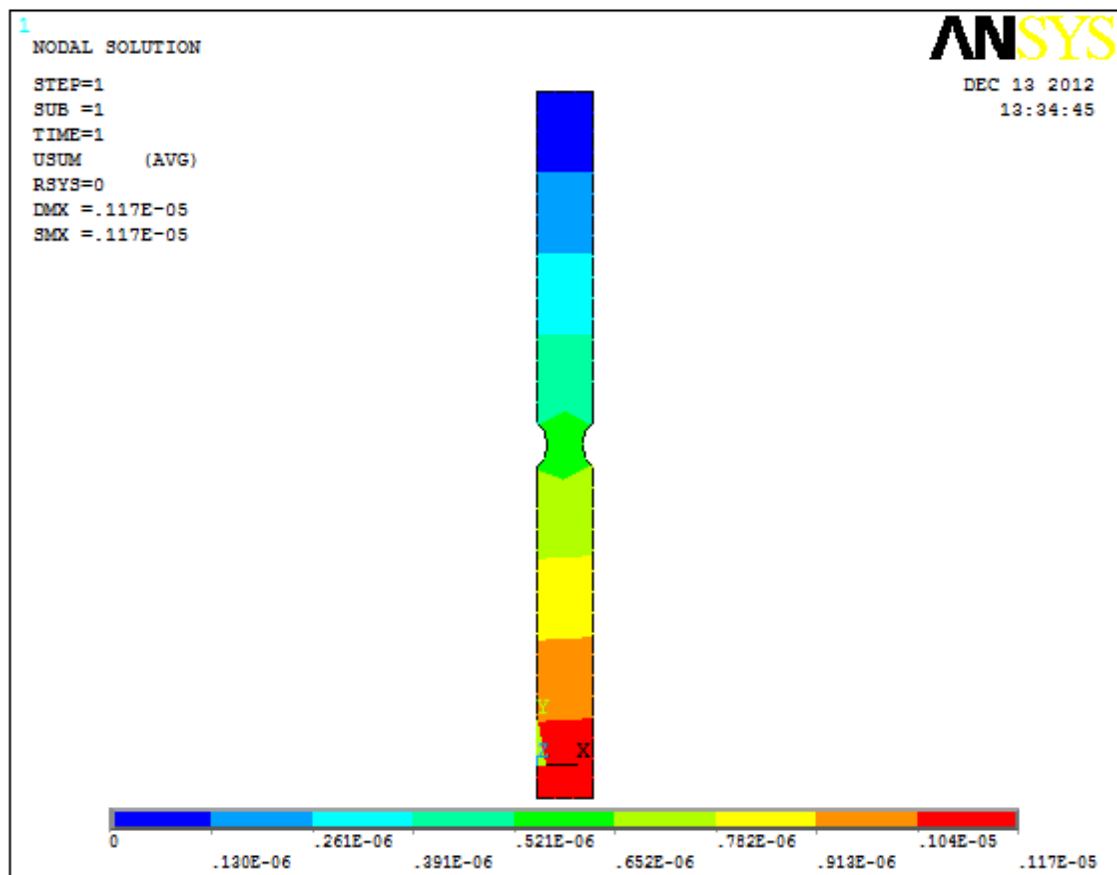
**General Postproc => Plot Results=>Contour Plot=>Nodal Solution**

Στην καρτέλα που εμφανίζεται παρακάτω επιλέγουμε

**DOF Solution > Displacement vector sum** πατάμε **OK** και εμφανίζεται το σχήμα των μετατοπίσεων.



### ΤΟ ΣΧΗΜΑ ΤΩΝ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΕΩΝ :



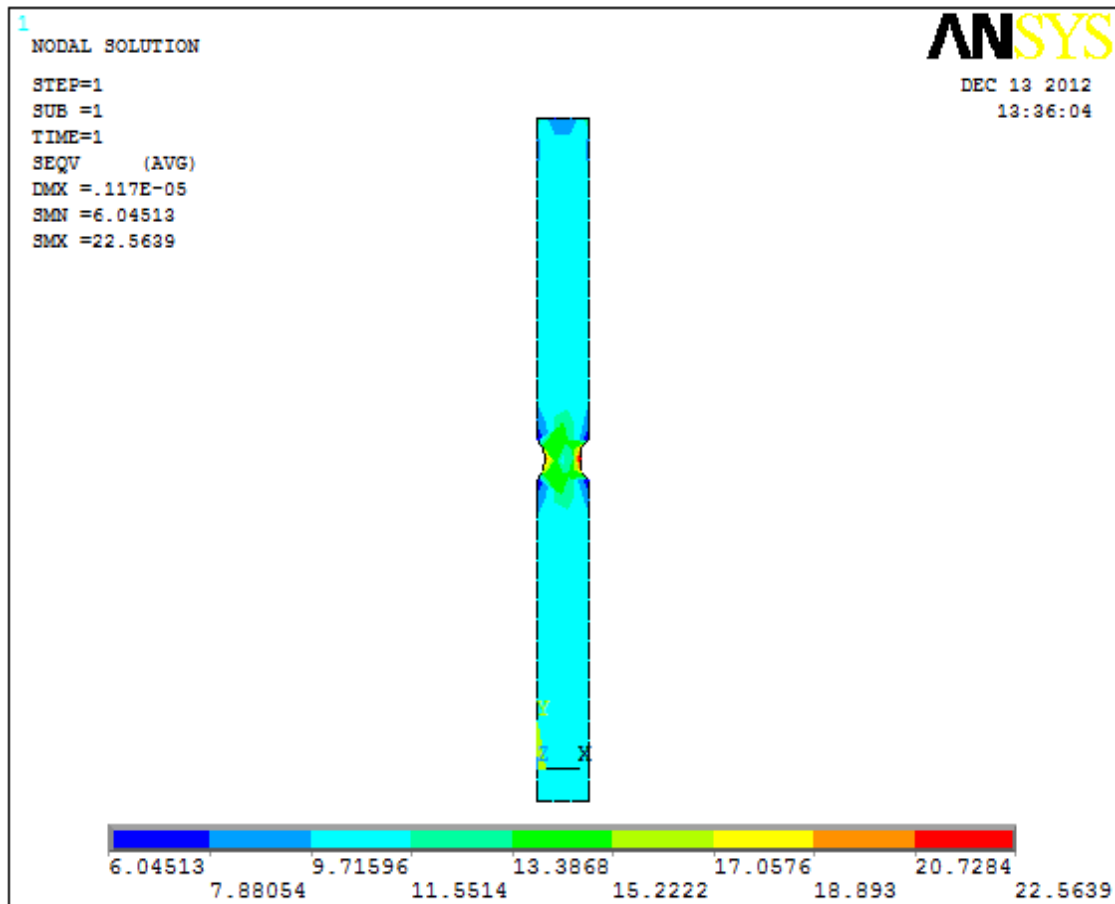
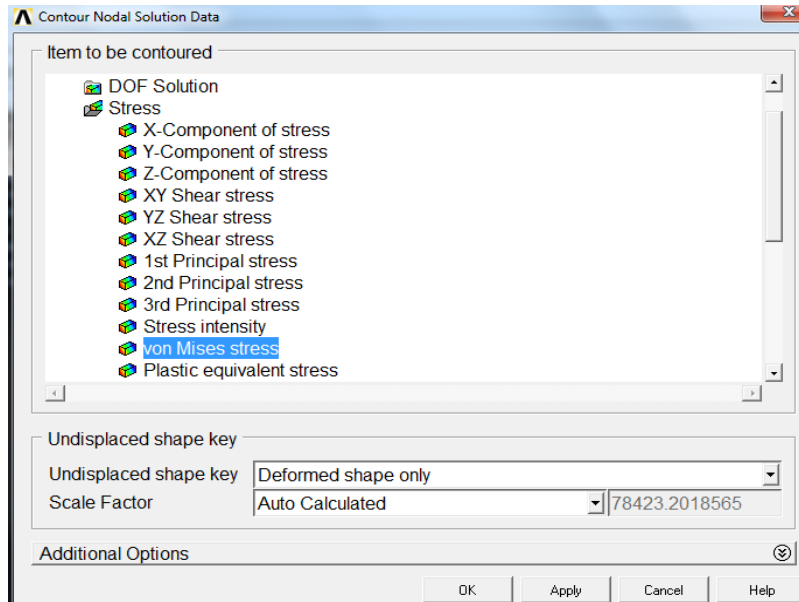
### Γ) ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΤΑΣΕΩΝ:

Εκτελούμε πάλι την ίδια διαδικασία από το αριστερό μενού :

**General Postproc => Plot Results =>Contour Plot =>Nodal Solution**

Και στην ίδια καρτέλα που εμφανίζεται αυτή τη φορά επιλέγουμε:

**Stress =>Von Misses Stress** και πατάμε **OK**. Το παρακάτω είναι το σχήμα των τάσεων.

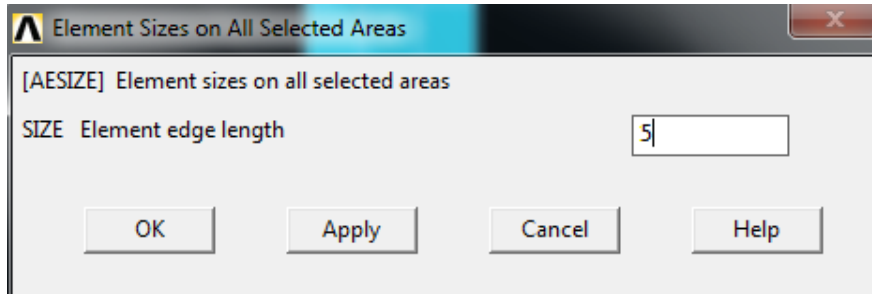


## ΒΗΜΑ 15<sup>ο</sup>: ΔΙΑΚΡΙΤΟΠΟΙΗΣΗ (ΔΕΥΤΕΡΟ ΠΛΕΓΜΑ)

Με σκοπό την σύγκλιση των αποτελεσμάτων το δοκίμιο διακριτοποιείται πάλι με διαφορετικό μέγεθος στοιχείων. Οπότε ακολουθούμε την εξής διαδικασία:

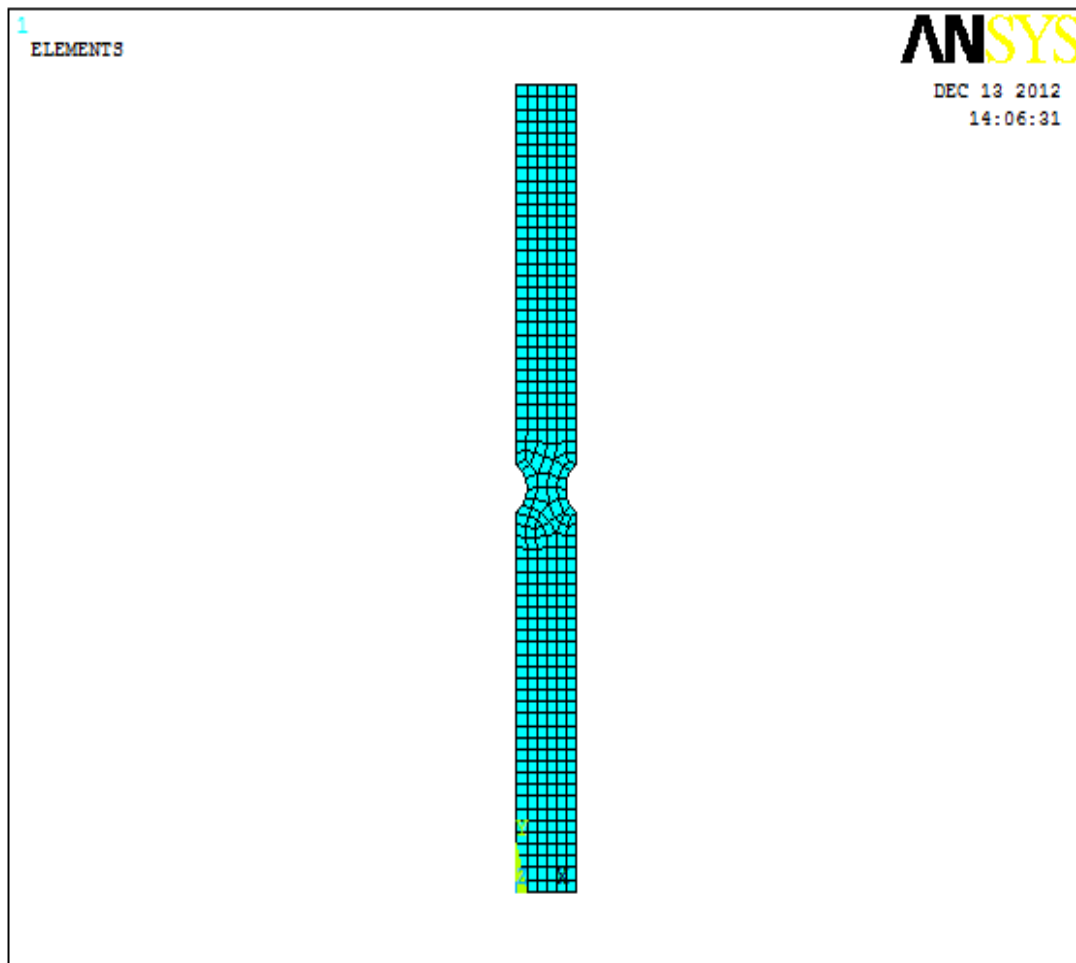
**Pre-processor=>Meshing=>Size Controls=>Manual Size=>Areas=>All Areas.**

Στην καρτέλα που εμφανίζεται συμπληρώνουμε το νέο μήκος στοιχείων.



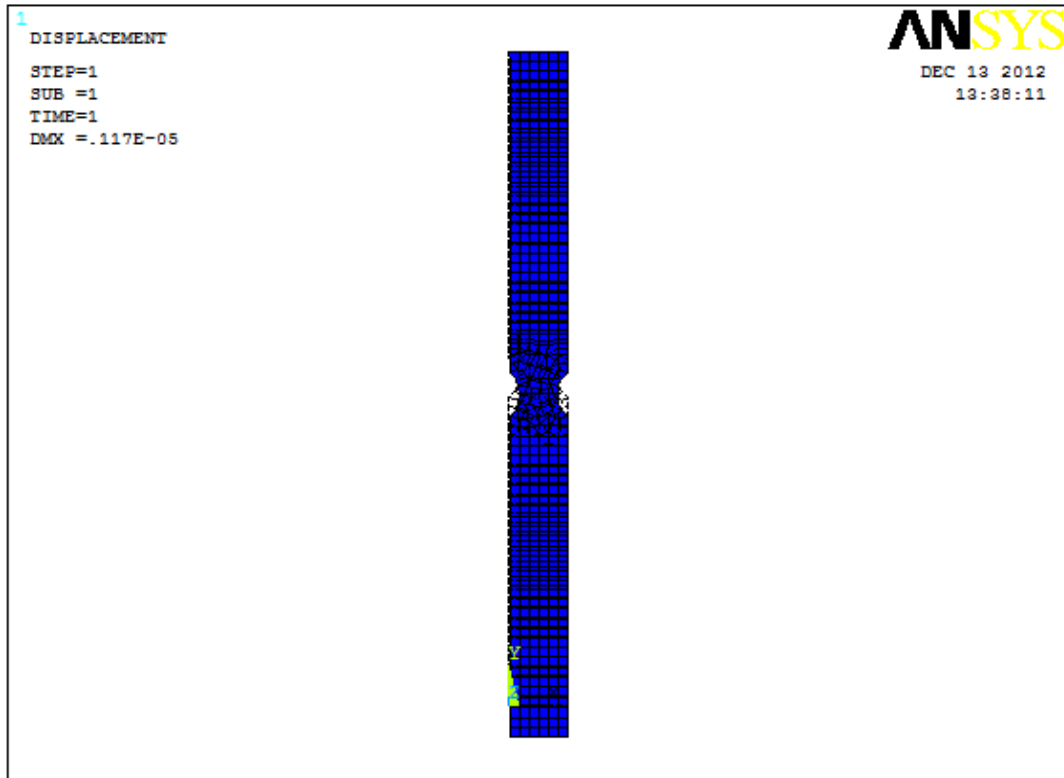
Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται το δοκίμιο με το δεύτερο μέγεθος πλέγματος όποτε με την ίδια διαδικασία έχουμε:

### ΔΙΑΚΡΙΤΟΠΟΙΗΣΗ:

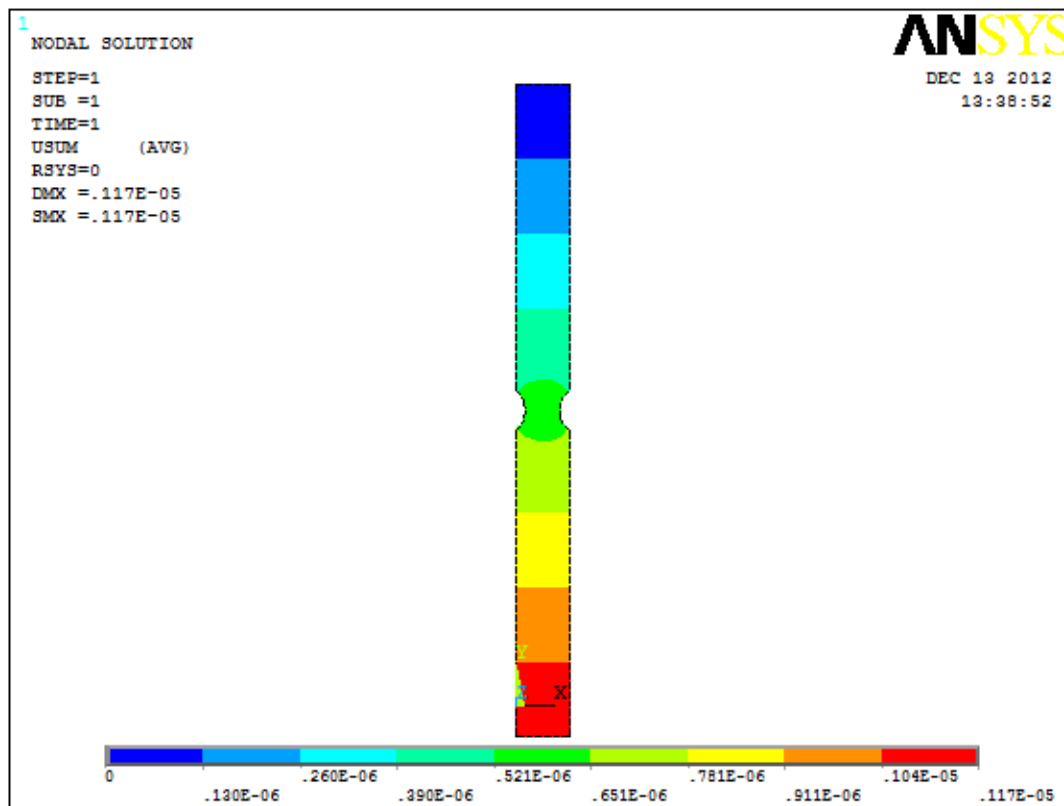


Λύνουμε το σύστημα και παίρνουμε τα δεύτερα αποτελέσματα:

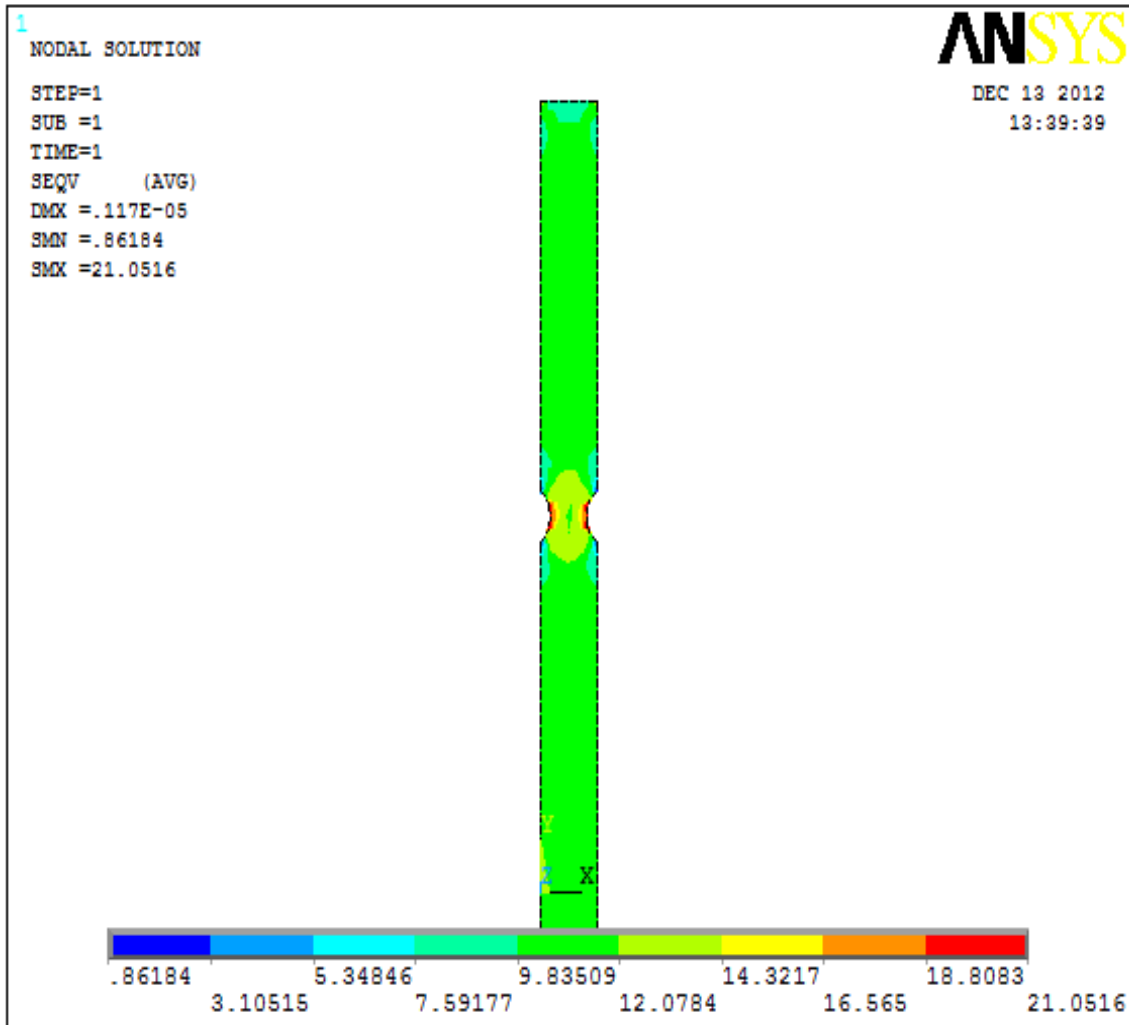
### A) ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟ ΣΩΜΑ:



### B) ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΕΙΣ:



### Γ) ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΑΣΕΩΝ:



## Π.5.ΠΡΟΒΛΗΜΑ : ΑΝΑΛΥΣΗ ΟΡΘΟΓΩΝΙΑΣ ΠΛΑΚΑΣ ΜΕ 3 ΕΓΚΑΡΣΙΕΣ ΟΠΕΣ

Ανοίγουμε το **ANSYS 14**. Αρχικά στο **File management=>working directory** και αποθηκεύουμε σε ένα φάκελο με όνομα **job name** για να αποθηκευτεί η εργασία μας. Στη συνέχεια επιλέγουμε **RUN** και εμφανίζεται το σχεδιαστικό περιβάλλον του προγράμματος ANSYS.



## 1.ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

### ΒΗΜΑ1<sup>ο</sup>: ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΕΤΡΑΓΩΝΟΥ

Στο **main menu** επιλέγουμε για να δημιουργήσουμε το τετράγωνο.

**Pre-processor =>Modeling =>Create =>Areas =>Rectangle =>by 2 Corners**

Εμφανίζεται η παρακάτω καρτέλα όπου βάζουμε τις ίδιες ακριβώς διαστάσεις:

**Rectangle by 2 Corners**

**Pick**       **Unpick**

---

**WP X**      =

**Y**      =

**Global X** =

**Y** =

**Z** =

---

**WP X**     

**WP Y**     

**Width**     

**Height**    

---

**OK**      **Apply**

**Reset**    **Cancel**

**Help**

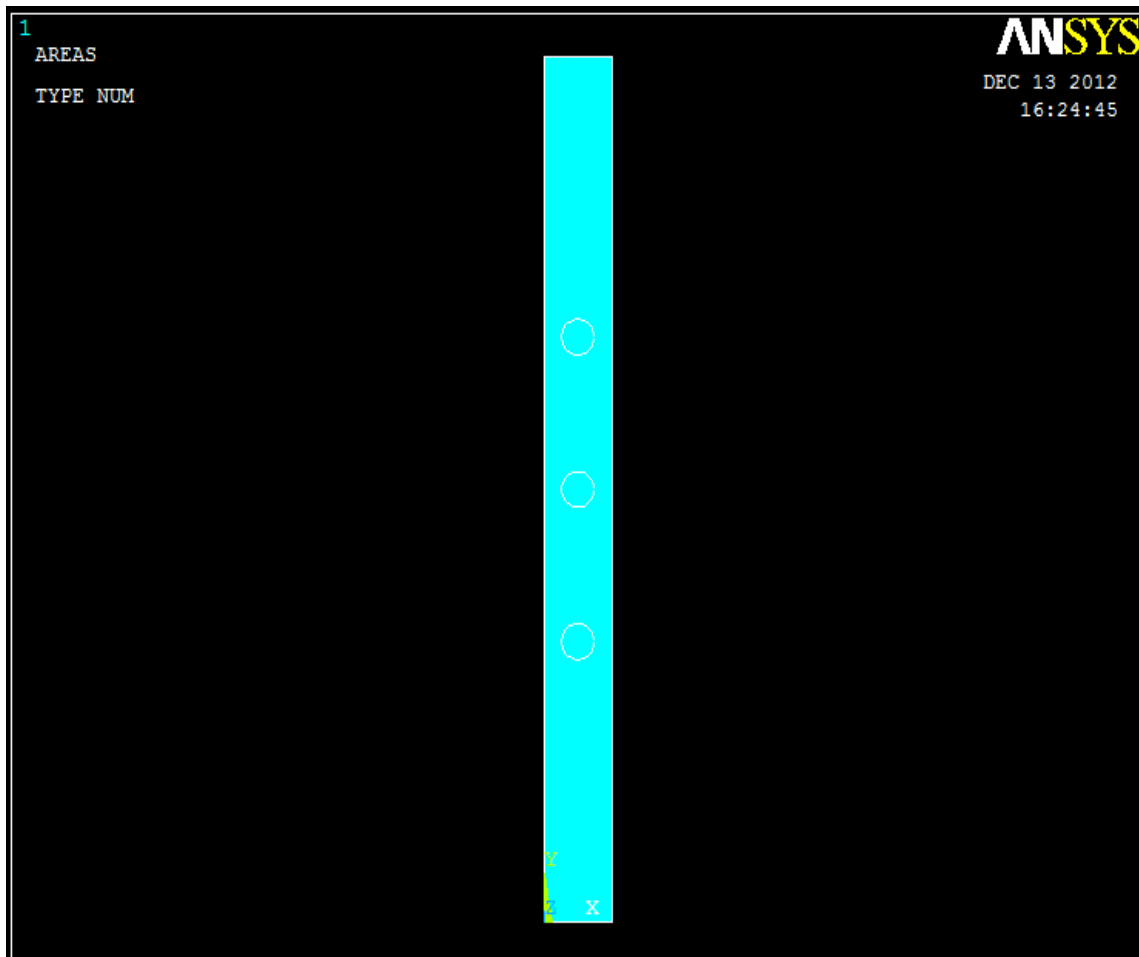


## ΒΗΜΑ 2<sup>ο</sup>: ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΟΠΩΝ

Για να δημιουργήσουμε τις οπές ακολουθούμε την εξής διαδικασία. Από το αριστερό μενού επιλέγουμε:

**Pre-processor=>Modelling=>Create=>Areas=>Circle=>Solid circle**

| $\alpha/\alpha$ | X  | Y   | R |
|-----------------|----|-----|---|
| 1               | 15 | 110 | 7 |
| 2               | 15 | 170 | 7 |
| 3               | 15 | 230 | 7 |



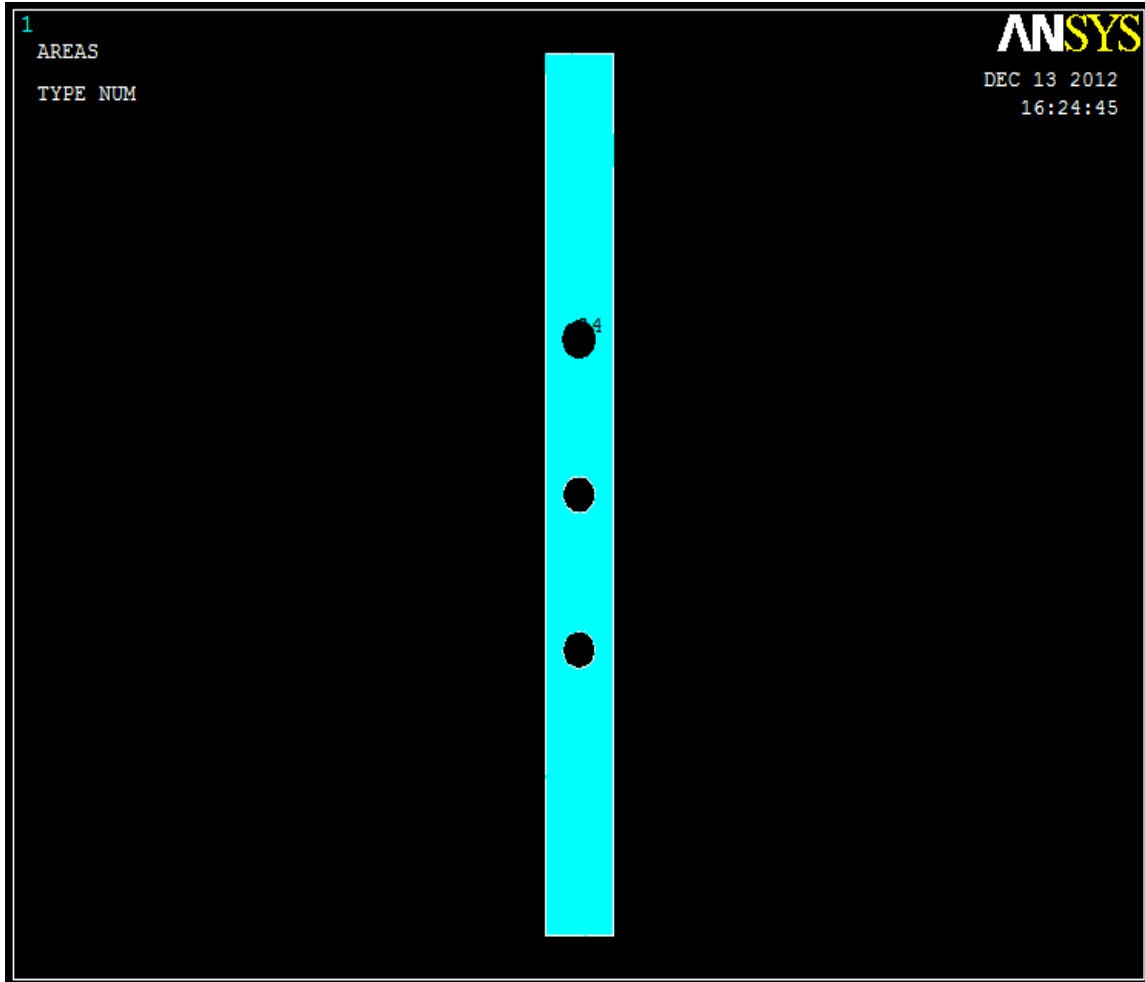
βάζουμε τα σημεία που υπολογίσαμε με **Apply** και τέλος **OK**.

### ΒΗΜΑ 3<sup>ο</sup>:ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΟΠΩΝ

Για να δημιουργήσουμε τις οπές ακολουθούμε την εξής διαδικασία. Από το αριστερό μενού επιλέγουμε:

**Pre-processor=>Modelling=>Operate =>Booleans=>Subtract =>Areas**

Κλικάρουμε την βασική επιφάνεια και με **Apply** επιλέγουμε τις αφαιρούμενες επιφάνειες.

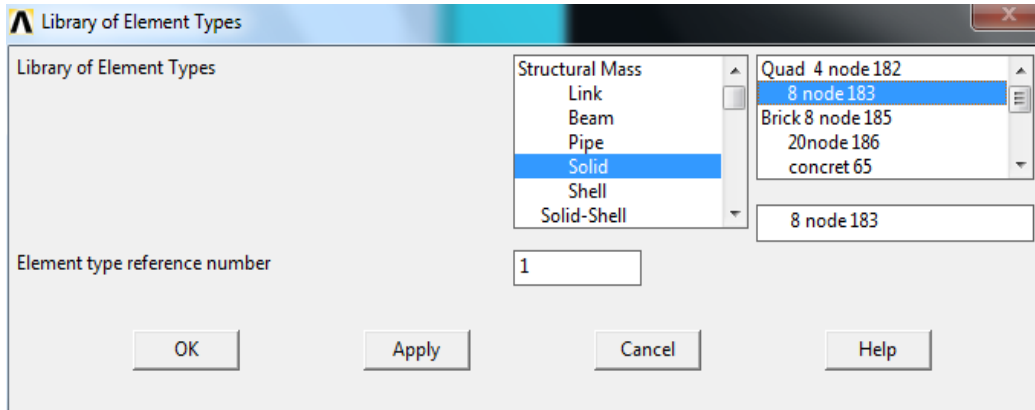


## ΒΗΜΑ 4<sup>ο</sup>: ΟΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

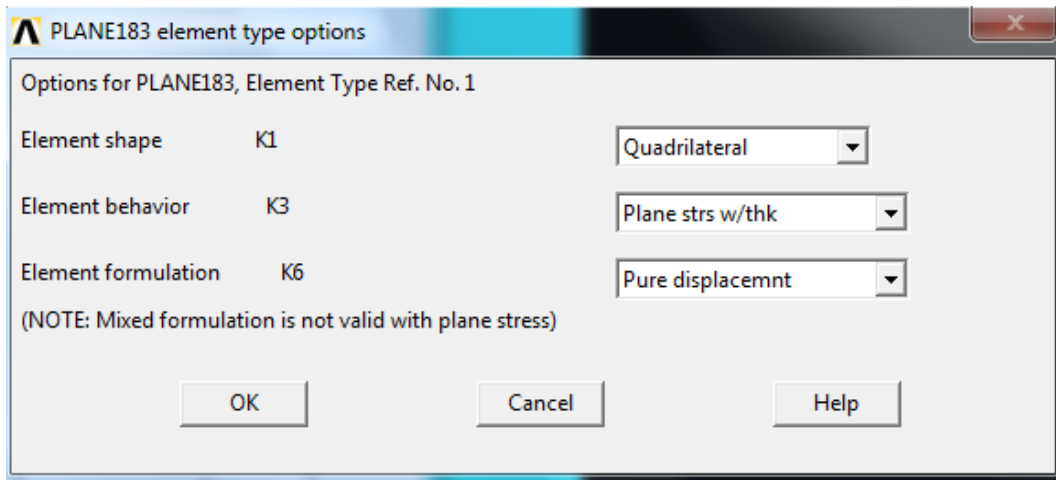
Από το αριστερό μενού επιλέγουμε :

**Pre-processor=>Element Type=>Add/Edit/Delete**

Στην καρτέλα που εμφανίζεται πατάμε **add** και στην νέα καρτέλα από το μενού **solid** επιλέγουμε **8node183** και πατάμε **OK**.



Στην συνέχεια μπορούμε να επεξεργαστούμε τα χαρακτηριστικά του στοιχείου.

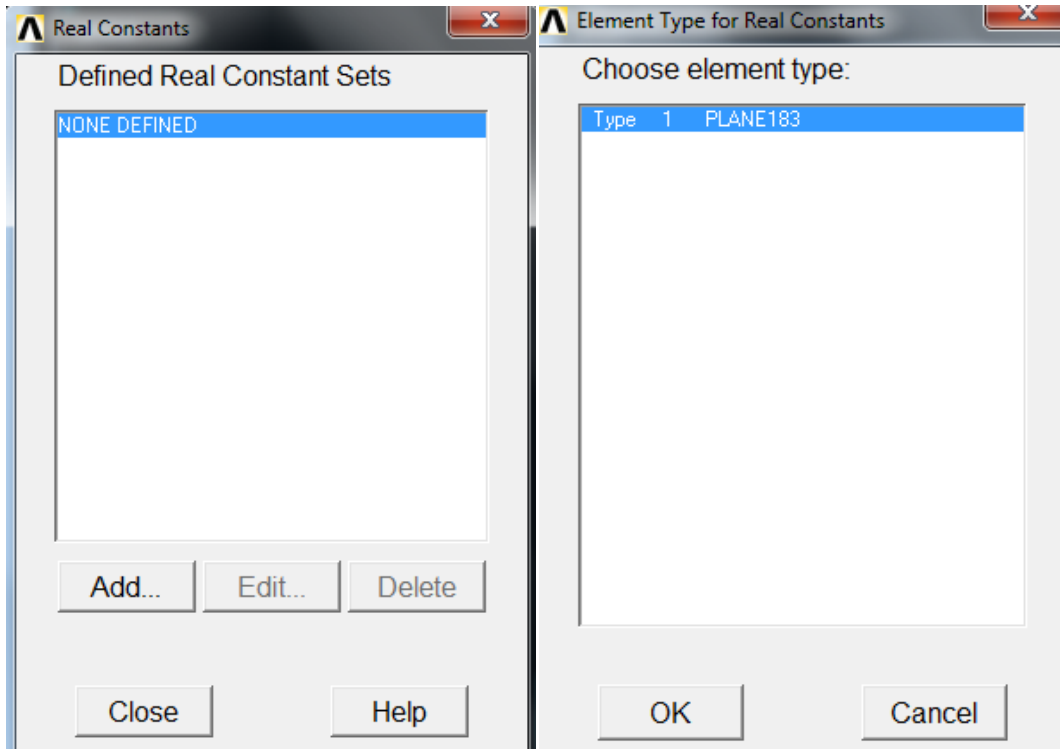


## ΒΗΜΑ 5<sup>ο</sup>: ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ

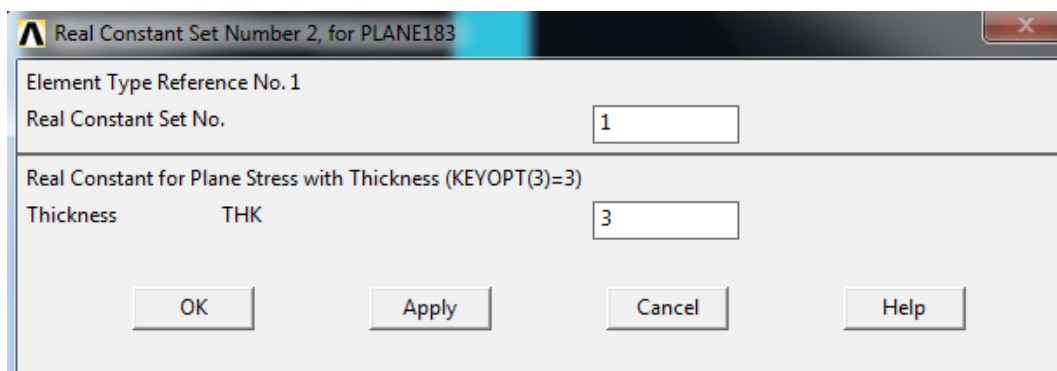
Από το αριστερό μενού :

**Preprocessor => Real Constants => Add/Edit/Delete**

επιλέγουμε **Add** και στην συνέχεια **OK** στην καρτέλα που εμφανίζεται.



Εφόσον επιλέξουμε το **OK** , εισάγουμε στην ακόλουθη καρτέλα το πάχος 3 mm.

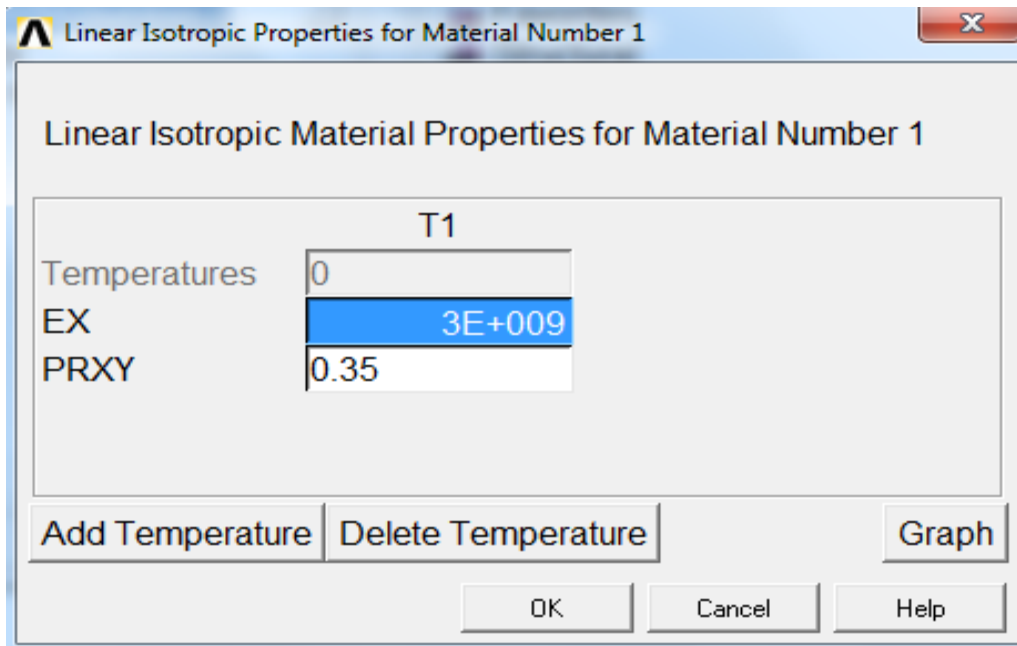


## ΒΗΜΑ 6<sup>ο</sup>: ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΛΙΚΟΥ

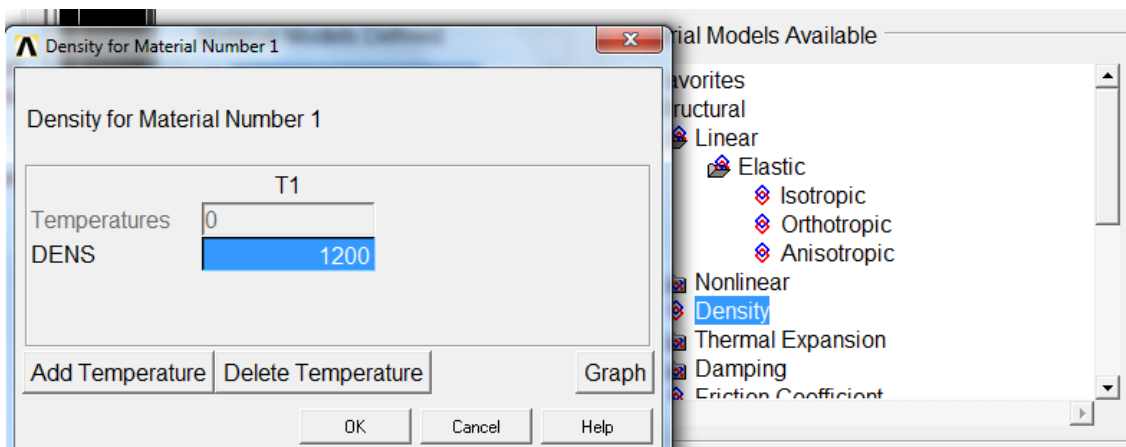
Ο ορισμός του υλικού θα γίνει ως εξής: Από το αριστερό μενού επιλέγουμε:

**Pre-processor =>Material Props =>Material Models =>Structural =>Linear => Elastic  
=>Isotropic**

Στην καρτέλα που εμφανίζεται συμπληρώνουμε το μέτρο ελαστικότητας και το λόγο **Poisson**. Όπου **EX=3 GPa** και **PRXY=0,35**.



Επίσης στην ίδια καρτέλα επιλέγουμε την εντολή **Density** και ορίζουμε και πυκνότητα υλικού: **DENS=1200 kg/m<sup>3</sup>**

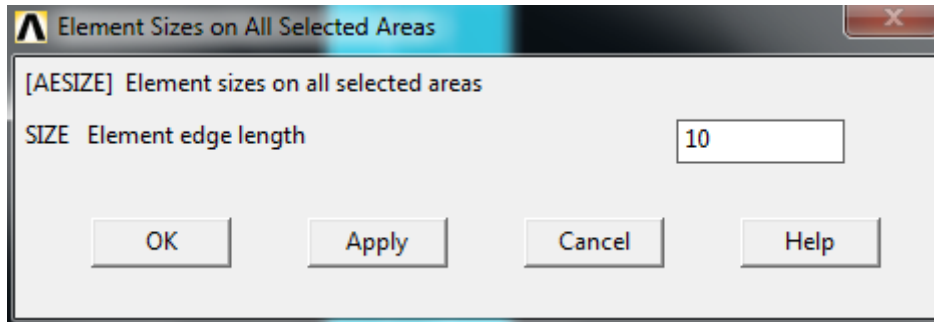


## ΒΗΜΑ 7<sup>ο</sup>: ΜΕΓΕΘΟΣ ΠΡΩΤΟΥ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ

Η επιλογή του μήκους των στοιχείων γίνεται ως εξής: Από το αριστερό μενού επιλέγουμε

**Pre-processor=>Meshing =>Size Controls =>Manual Size =>Areas > All Areas**

Και εμφανίζεται η παρακάτω καρτέλα όπου συμπληρώνουμε το μήκος των στοιχείων και πατάμε **OK**.

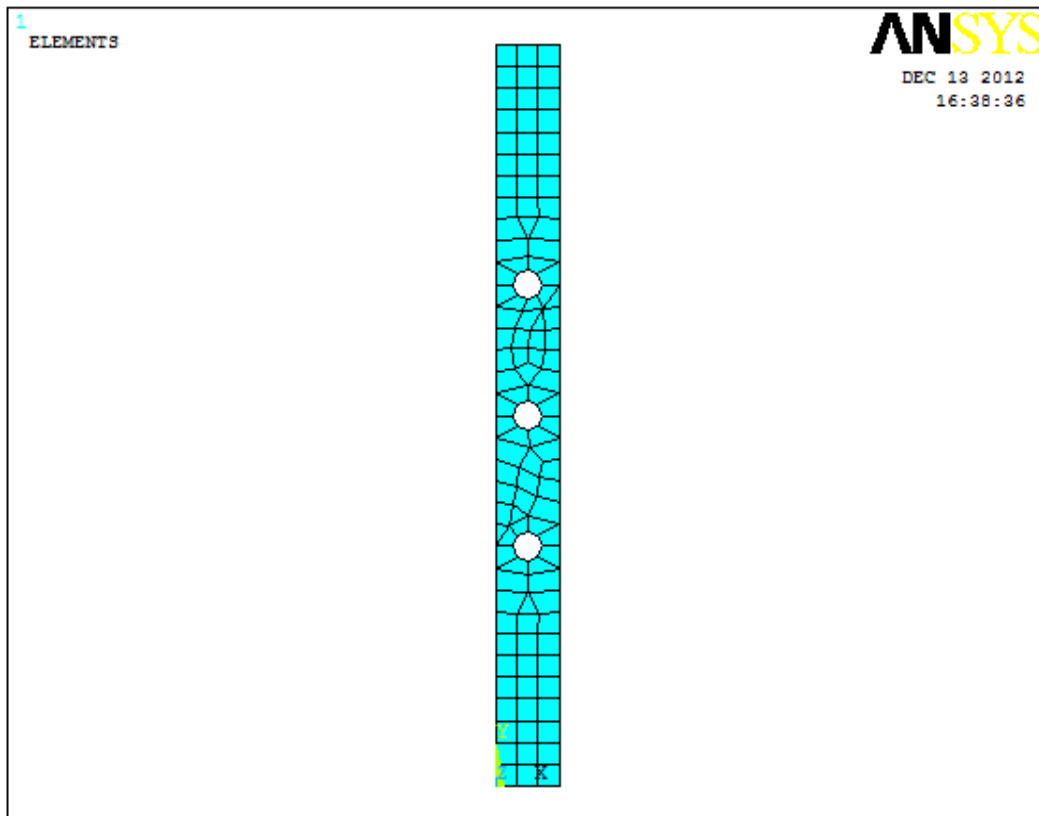


## ΒΗΜΑ 8<sup>ο</sup>: ΔΙΑΚΡΙΤΟΠΟΙΗΣΗ (ΠΡΩΤΟ ΠΛΕΓΜΑ)

Από το αριστερό μενού επιλέγουμε:

**Pre-processor=>Meshing=>Mesh=>Volumes=>Free**

Στην καρτέλα που εμφανίζεται πατάμε **Pick all** για να επιλεγεί ολόκληρη την επιφάνεια.

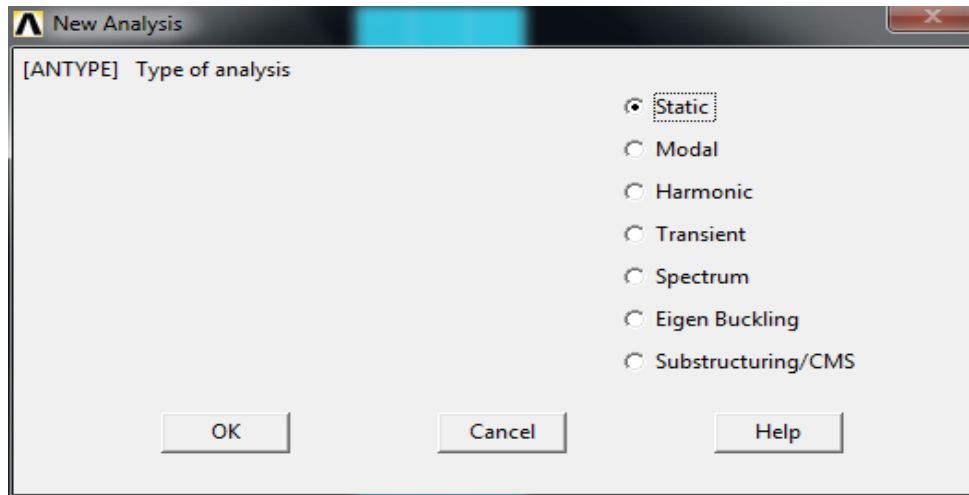


## ΒΗΜΑ 9<sup>ο</sup>: ΟΡΙΣΜΟΣ ΕΙΔΟΥΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Το είδος της ανάλυσης ορίζεται ως εξής: Από το αριστερό μενού επιλέγουμε :

**Solution=>Analysis Type=>New Analysis**

Και στην καρτέλα που εμφανίζεται πατάμε **static**.



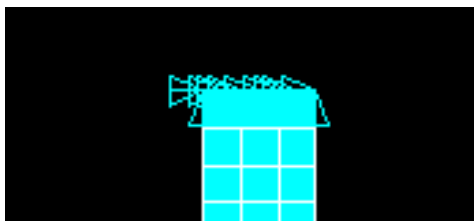
## ΒΗΜΑ 10<sup>ο</sup>: ΟΡΙΣΜΟΣ ΣΤΗΡΙΞΕΩΝ

Για να ορίσουμε τις στηρίξεις ακολουθούμε την εξής διαδικασία: Από το αριστερό μενού επιλέγουμε:

**Solution =>Define Loads =>Apply=>Structural =>Displacement**

Πατάμε **On Areas** και στην καρτέλα που εμφανίζεται πατάμε **Pick All**.

Αφού κλικάρουμε την επιφάνεια που θέλουμε να πακτώσουμε έπειτα στη νέα καρτέλα που εμφανίζεται επιλέγουμε **All Dof** και πατάμε **OK**.

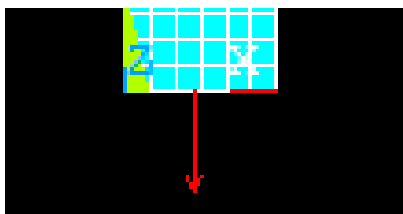


## ΒΗΜΑ 11<sup>ο</sup>: ΟΡΙΣΜΟΣ ΔΥΝΑΜΕΩΝ

Για να ορίσουμε την τιμή και την διεύθυνση του φορτίου ακολουθούμε τις εξής εντολές:

**Solution =>Define Loads =>Apply =>Structural =>Pressure=>On Lines**

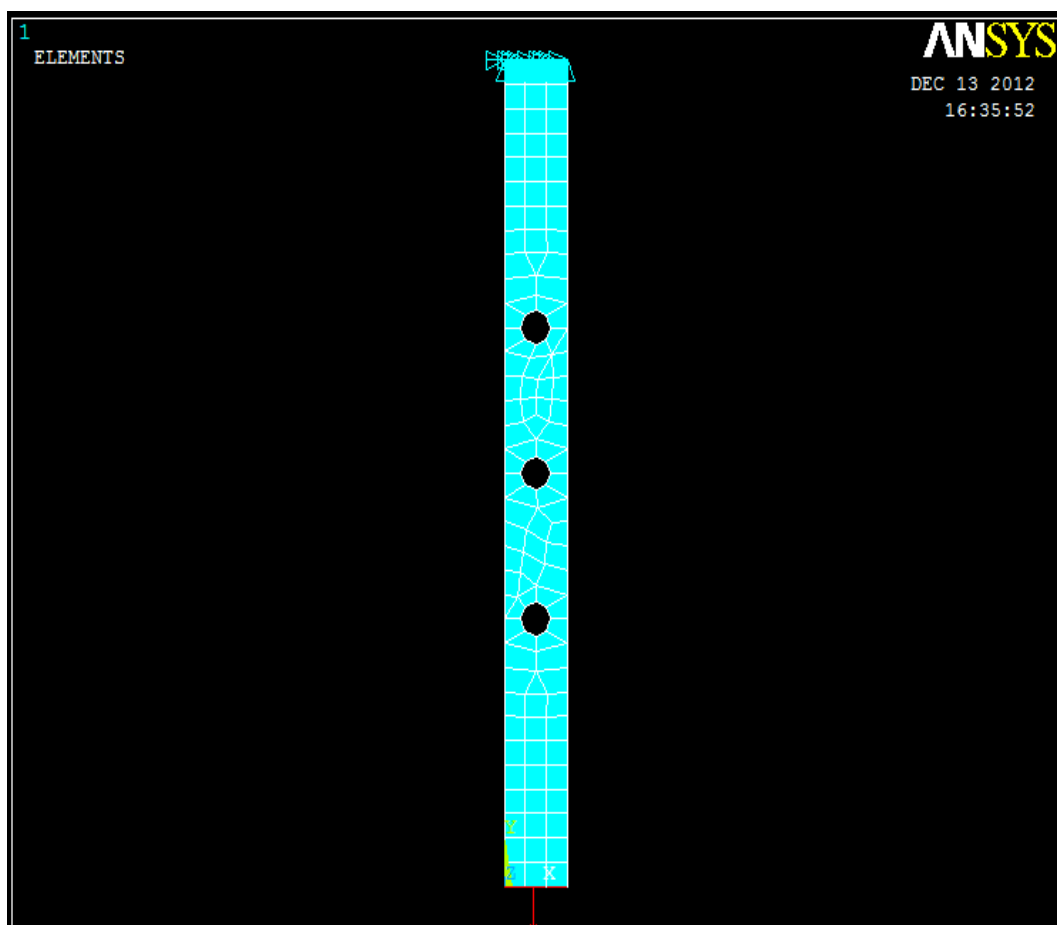
Επιλέγουμε το κάτω μέρος της επιφάνειας σε δυο σημεία (με Apply), επιλέγουμε τον άξονα εφαρμογής της δύναμης (FY) και εφαρμόζουμε δύναμη 10 N (με πρόσημο μείων(-)).



## ΒΗΜΑ 12<sup>ο</sup>: ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

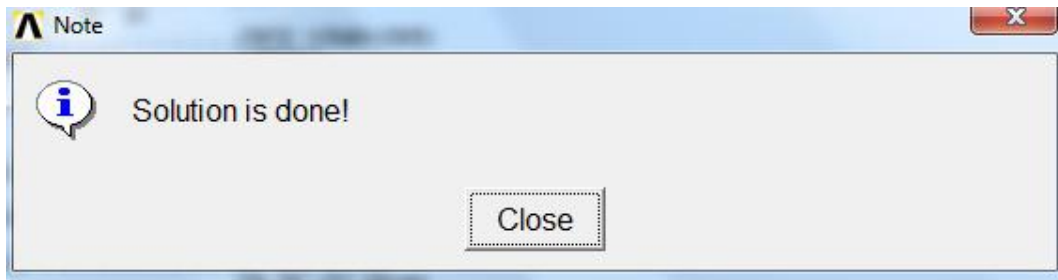
Εκτελούμε την επίλυση από το αριστερό μενού :

**Solution =>Solve =>Current LS.**





Όταν τελειώσουν οι υπολογισμοί το πρόγραμμα μας ενημερώνει με το παρακάτω μήνυμα:



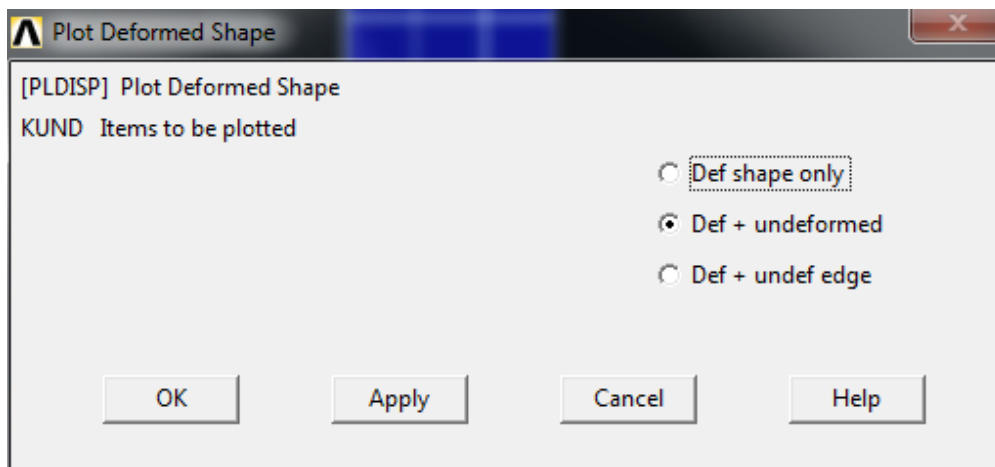
### ΒΗΜΑ 13<sup>ο</sup>: ΠΡΟΒΟΛΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

#### Α) ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟ ΣΩΜΑ:

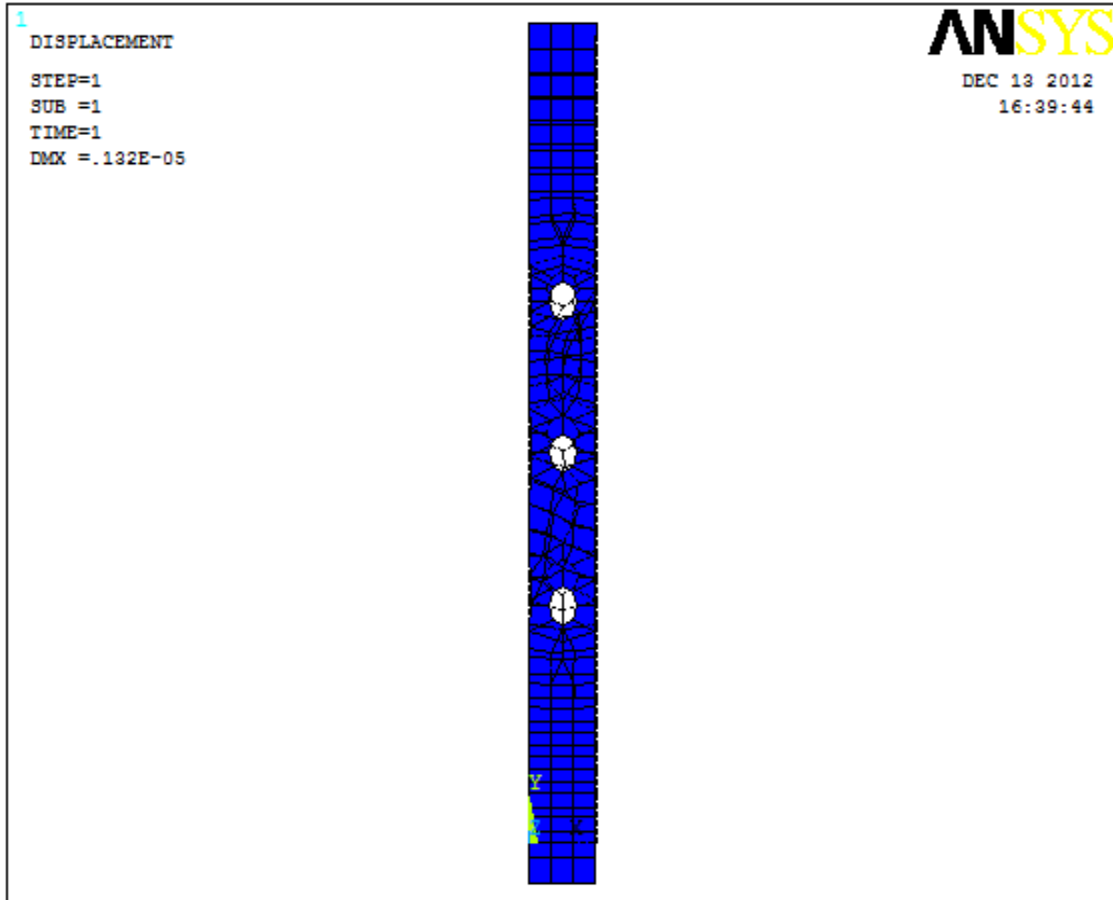
Το **ANSYS** μας δίνει την δυνατότητα απεικόνισης του παραμορφωμένου σώματος. Από το αριστερό μενού ακολουθούμε την γνωστή ακολουθία :

**General Postproc=>Plot Results=>Deformed Shape=>def+underformed**

Και στην καρτέλα που εμφανίζεται πατάμε **OK**.



## ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟΥ ΣΩΜΑΤΟΣ



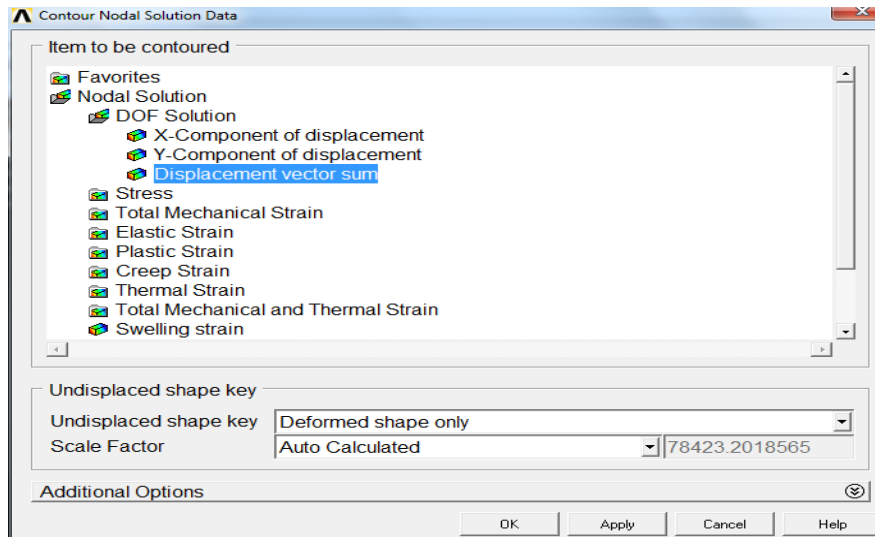
## B) ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΕΩΝ:

Από το αριστερό μενού επιλέγουμε

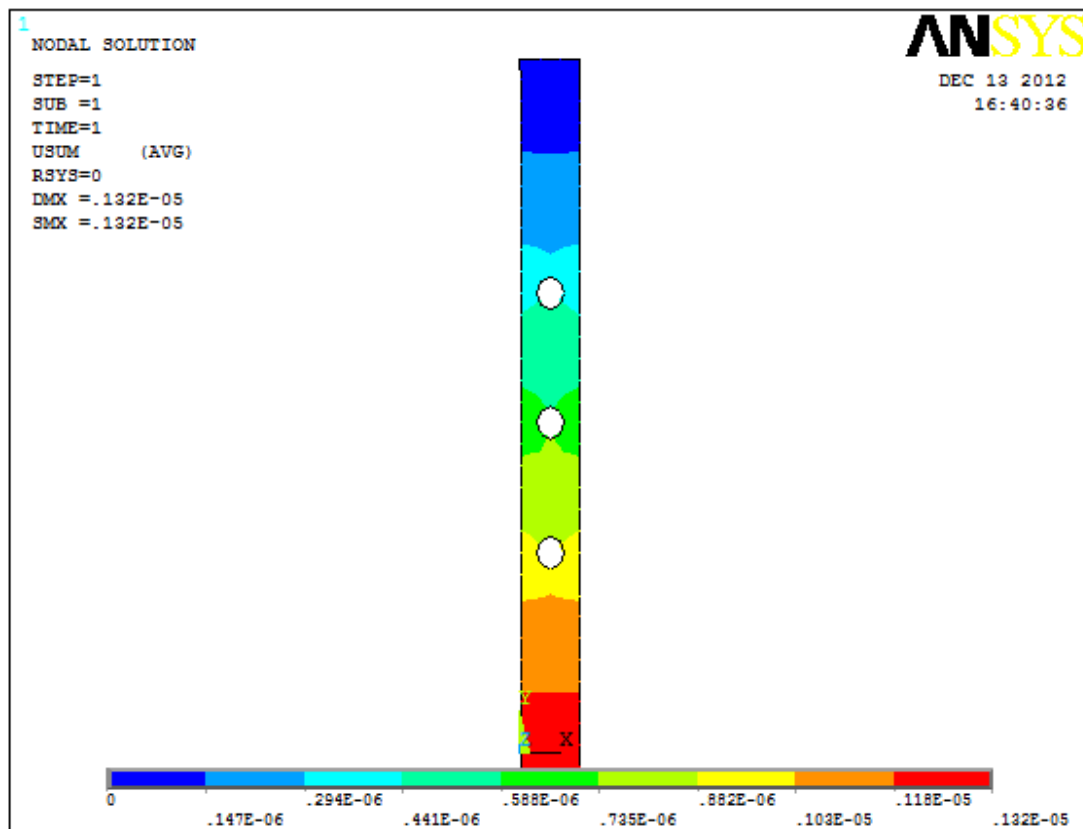
**General Postproc =>Plot Results=>Contour Plot=>Nodal Solution**

Στην καρτέλα που εμφανίζεται παρακάτω επιλέγουμε :

**DOF Solution =>Displacement vector sum** πατάμε **OK** και εμφανίζεται το σχήμα των μετατοπίσεων.



## ΤΟ ΣΧΗΜΑ ΤΩΝ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΕΩΝ



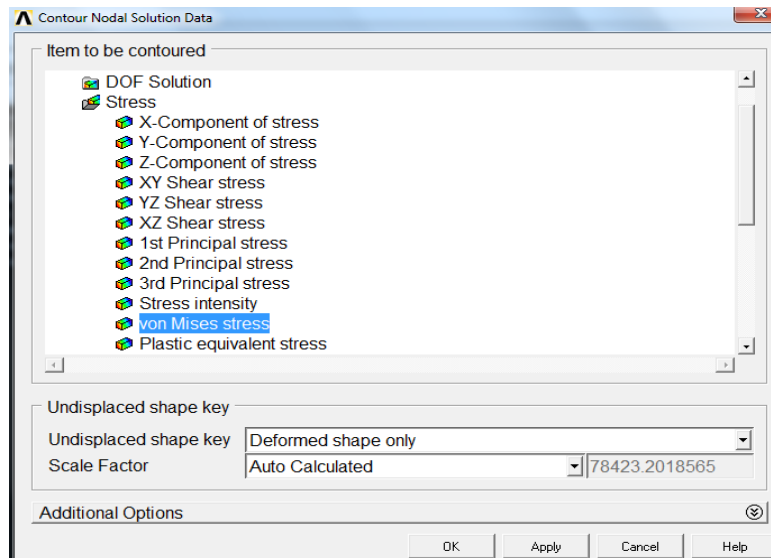
### Γ) ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΤΑΣΕΩΝ:

Εκτελούμε πάλι την ίδια διαδικασία από το αριστερό μενού:

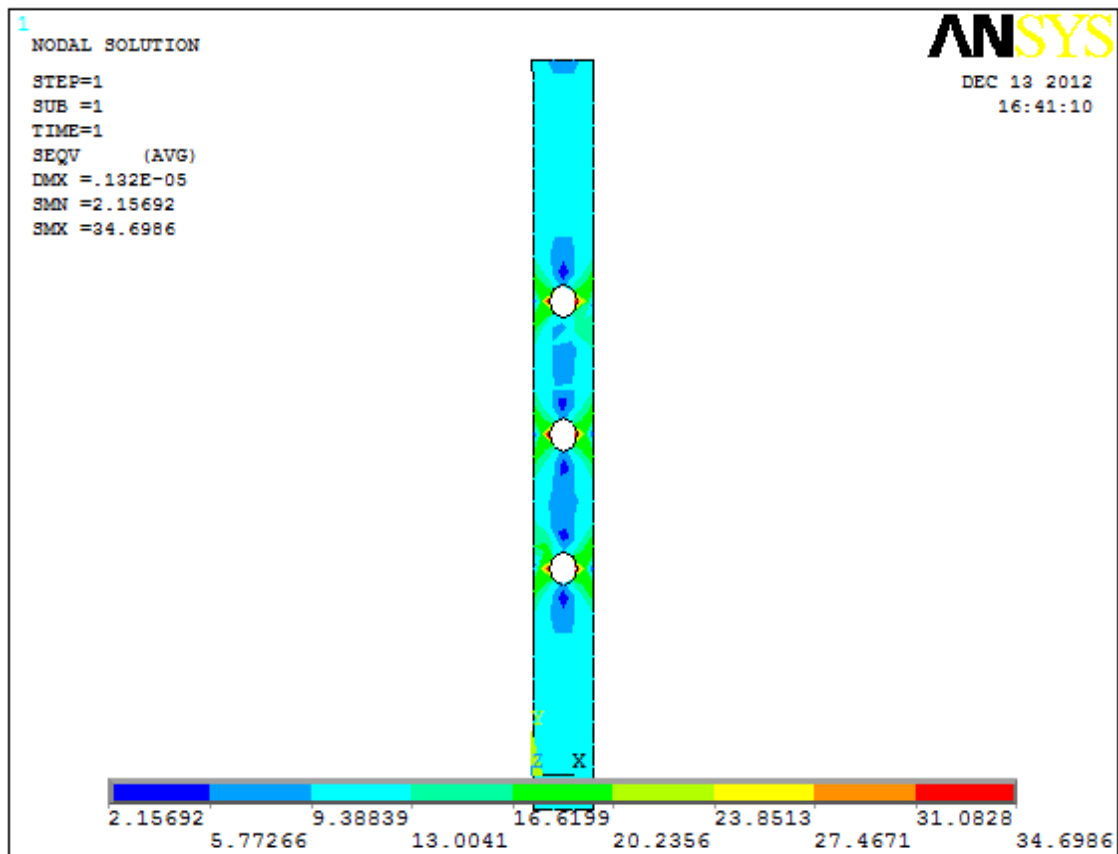
**General Postproc =>Plot Results =>Contour Plot =>Nodal Solution**

Και στην ίδια καρτέλα που εμφανίζεται αυτή τη φορά επιλέγουμε:

**Stress =>Von Misses Stress** και πατάμε **OK**.



### ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΑΣΕΩΝ

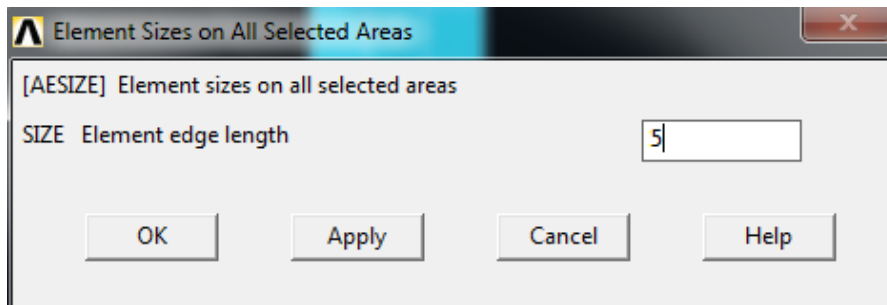


## ΒΗΜΑ 14<sup>ο</sup>: ΔΙΑΚΡΙΤΟΠΟΙΗΣΗ (ΔΕΥΤΕΡΟ ΠΛΕΓΜΑ)

Με σκοπό την σύγκλιση των αποτελεσμάτων το δοκίμιο διακριτοποιείται πάλι με διαφορετικό μέγεθος στοιχείων. Οπότε ακολουθούμε την εξής διαδικασία:

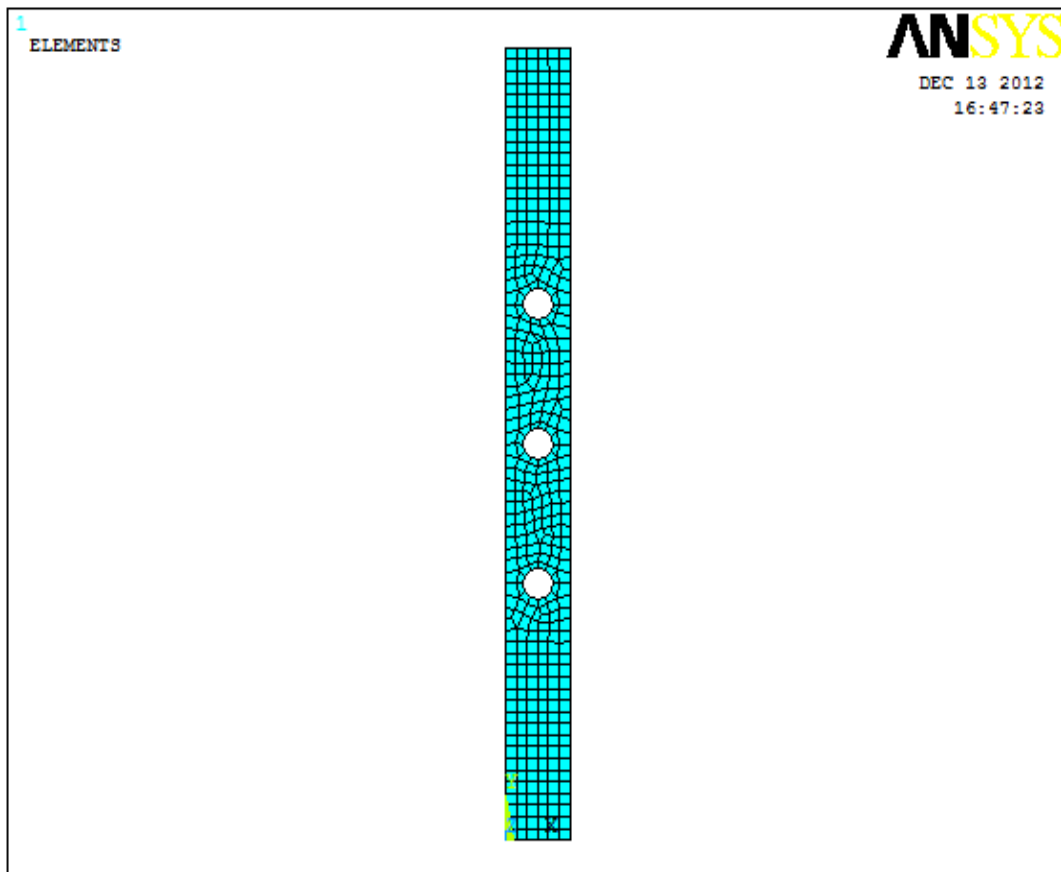
**Pre-processor=>Meshing=>Size Controls =>Manual Size=>Areas=>All Areas.**

Στην καρτέλα που εμφανίζεται συμπληρώνουμε το νέο μήκος στοιχείων.



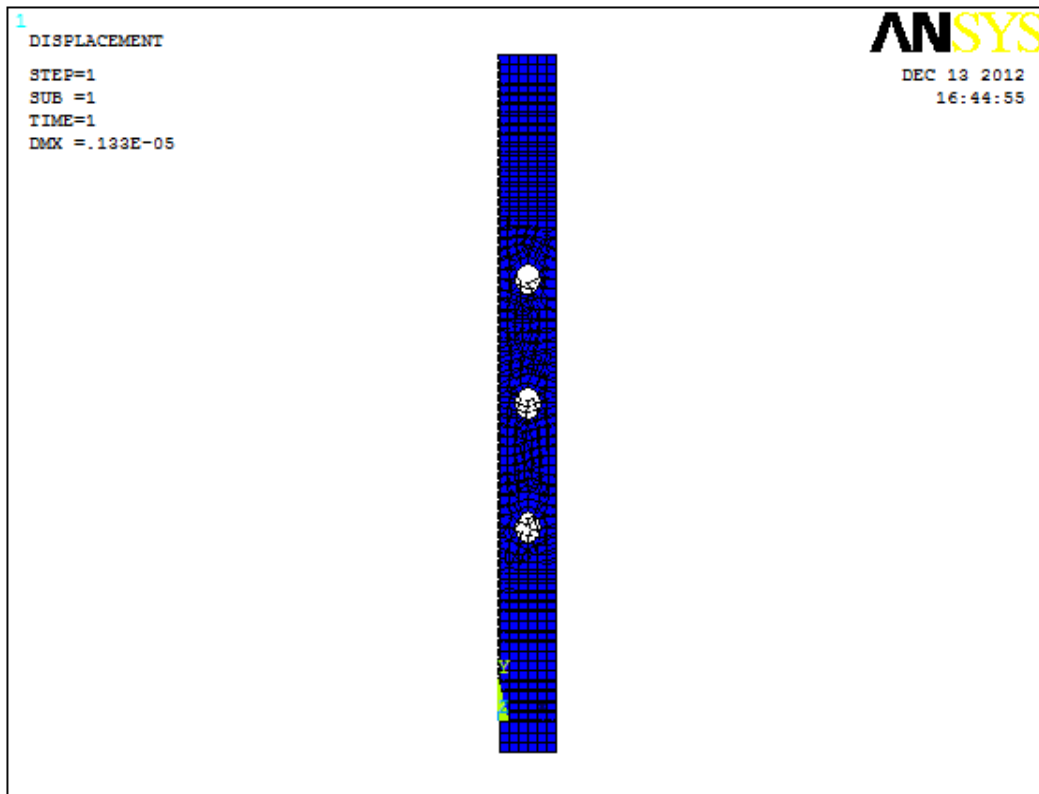
Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται το δοκίμιο με το δεύτερο μέγεθος πλέγματος όποτε με την ίδια διαδικασία έχουμε:

### ΔΙΑΚΡΙΤΟΠΟΙΗΣΗ:

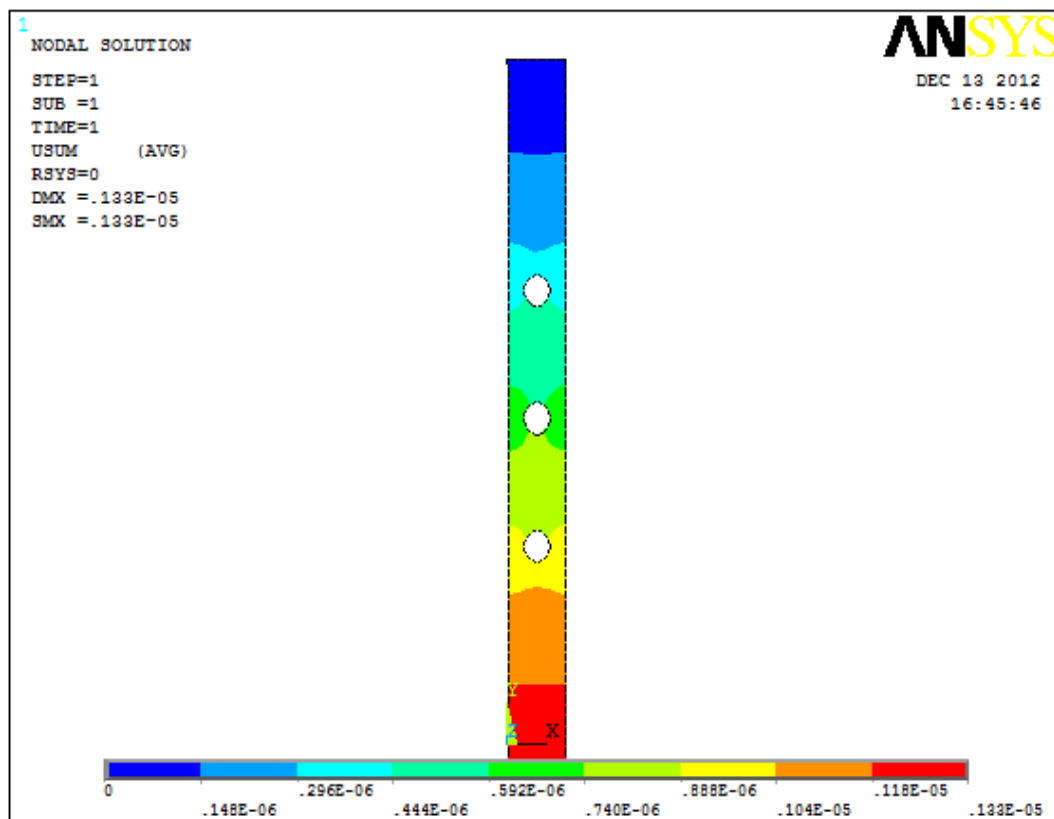


Λύνουμε το σύστημα και παίρνουμε τα δεύτερα αποτελέσματα:

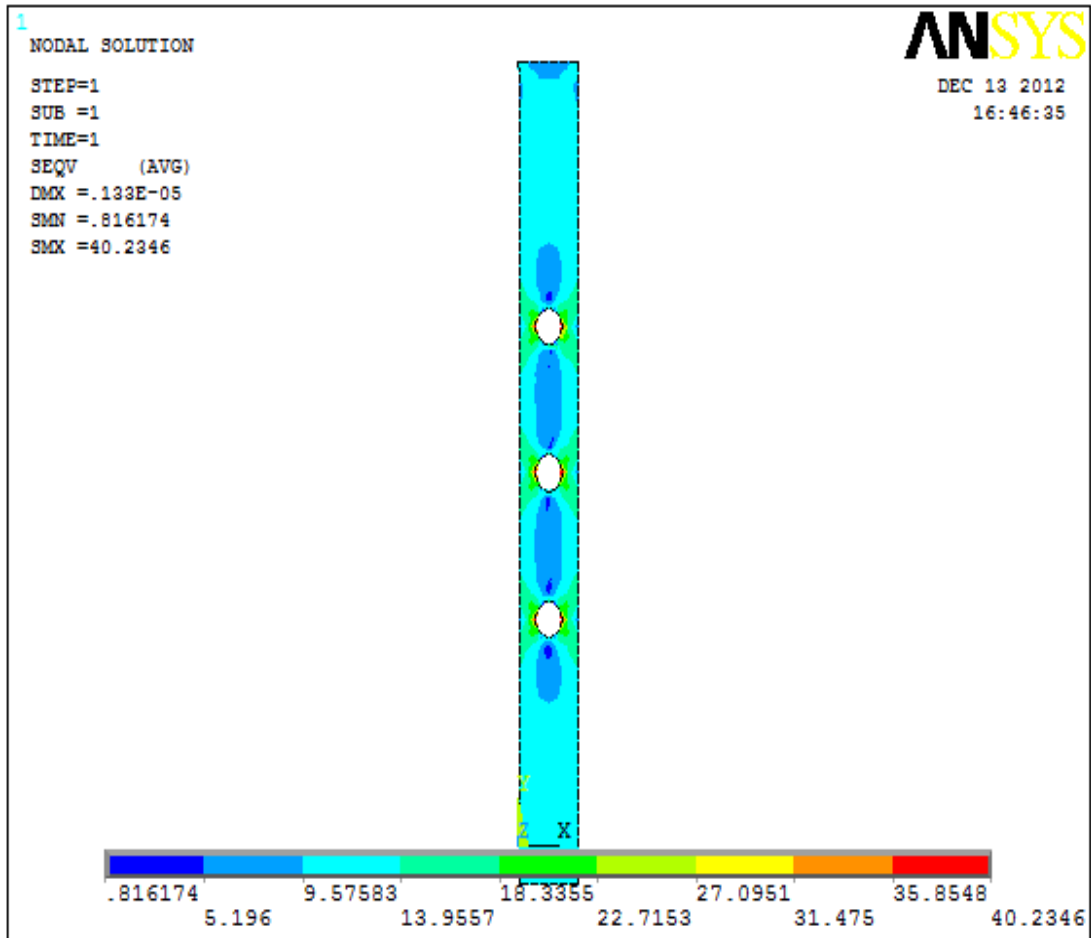
### A) ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟ ΣΩΜΑ:



### B) ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΕΙΣ:

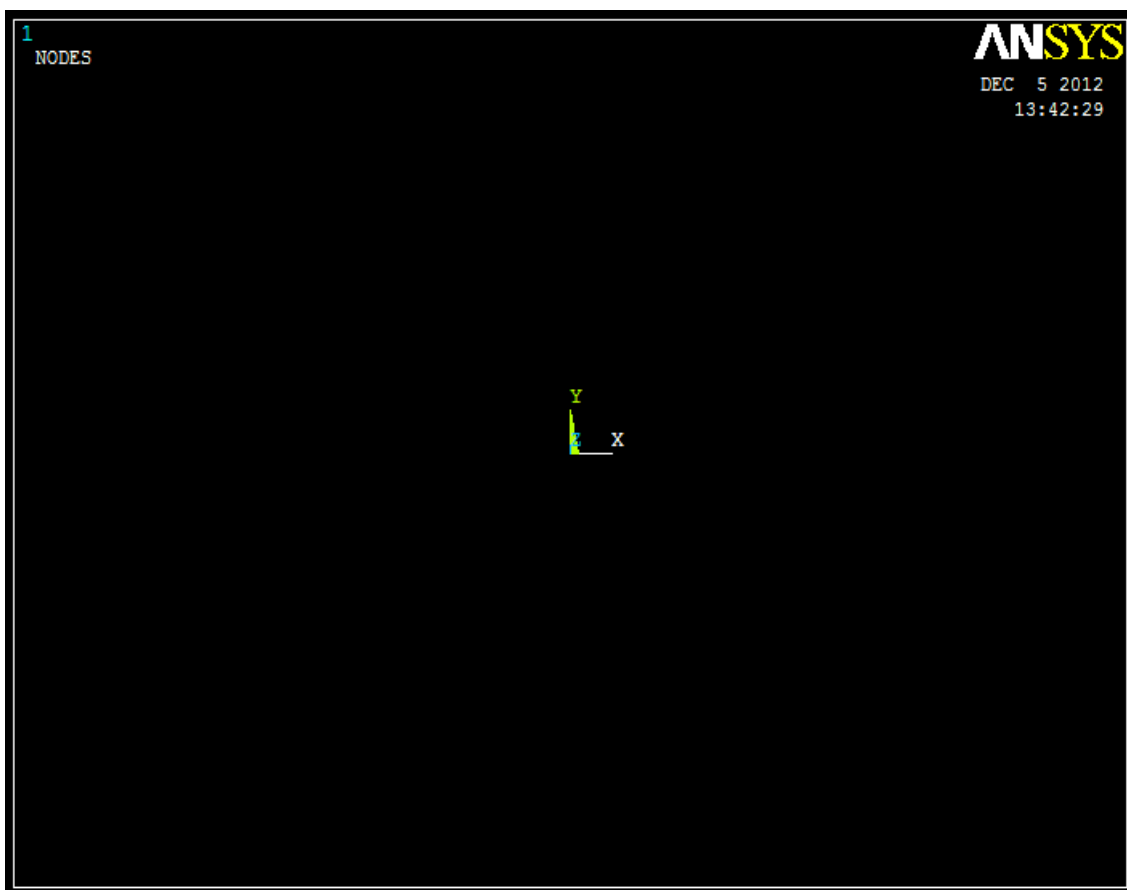


### Γ) ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΑΣΕΩΝ:



## Π.6. ΠΡΟΒΛΗΜΑ : ΑΝΑΛΥΣΗ ΟΡΘΟΓΩΝΙΑΣ ΠΛΑΚΑΣ ΜΕ 2 ΟΠΕΣ

Ανοίγουμε το **ANSYS 14**. Αρχικά στο *File management=>working directory* και αποθηκεύουμε σε ένα φάκελο με όνομα *job name* για να αποθηκευτεί η εργασία μας. Στη συνέχεια επιλέγουμε **RUN** και εμφανίζετε το σχεδιαστικό περιβάλλον του προγράμματος ANSYS.





## 1.ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

### ΒΗΜΑ1<sup>ο</sup>: ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΕΤΡΑΓΩΝΟΥ

Στο *main menu* επιλέγουμε για να δημιουργήσουμε το τετράγωνο.

**Pre-processor =>Modeling =>Create =>Areas =>Rectangle =>by 2 Corners**

Εμφανίζεται η παρακάτω καρτέλα όπου βάζουμε τις ίδιες ακριβώς διαστάσεις:

| Rectangle by 2 Corners                |                                  |
|---------------------------------------|----------------------------------|
| <input checked="" type="radio"/> Pick | <input type="radio"/> Unpick     |
| WP X =                                |                                  |
| Y =                                   |                                  |
| Global X =                            |                                  |
| Y =                                   |                                  |
| Z =                                   |                                  |
| WP X                                  | <input type="text"/>             |
| WP Y                                  | <input type="text"/>             |
| Width                                 | <input type="text" value="30"/>  |
| Height                                | <input type="text" value="340"/> |
| OK                                    | Apply                            |
| Reset                                 | Cancel                           |
| Help                                  |                                  |

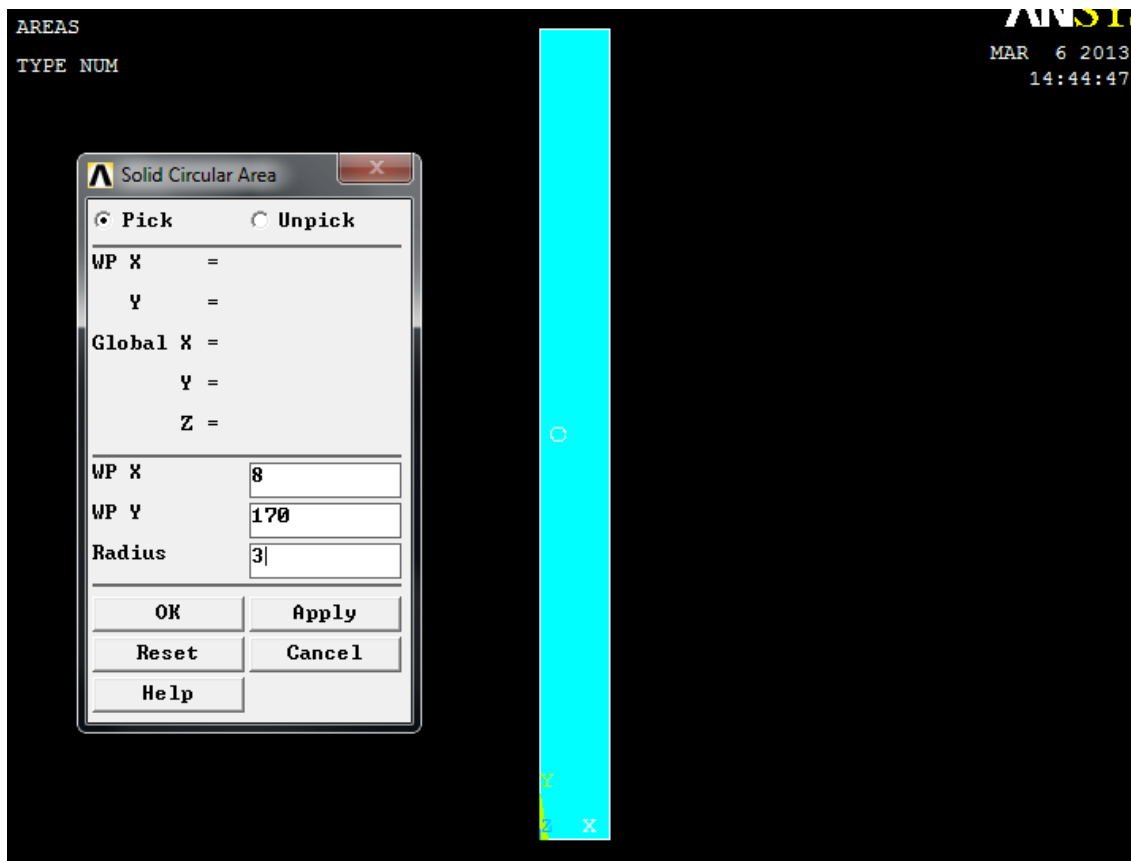
## ΒΗΜΑ 2<sup>ο</sup>: ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΟΠΩΝ

Για να δημιουργήσουμε τις οπές ακολουθούμε την εξής διαδικασία. Από το αριστερό μενού επιλέγουμε:

**Pre-processor =>Modelling =>Create =>Areas =>Circle =>Solid circle**

Τοποθετούμε τις συντεταγμένες στον πίνακα που εμφανίζεται και επιλέγουμε **apply** και στην συνέχεια **OK**.

| α/α | X  | Y   | R |
|-----|----|-----|---|
| 1   | 8  | 170 | 3 |
| 2   | 22 | 170 | 3 |

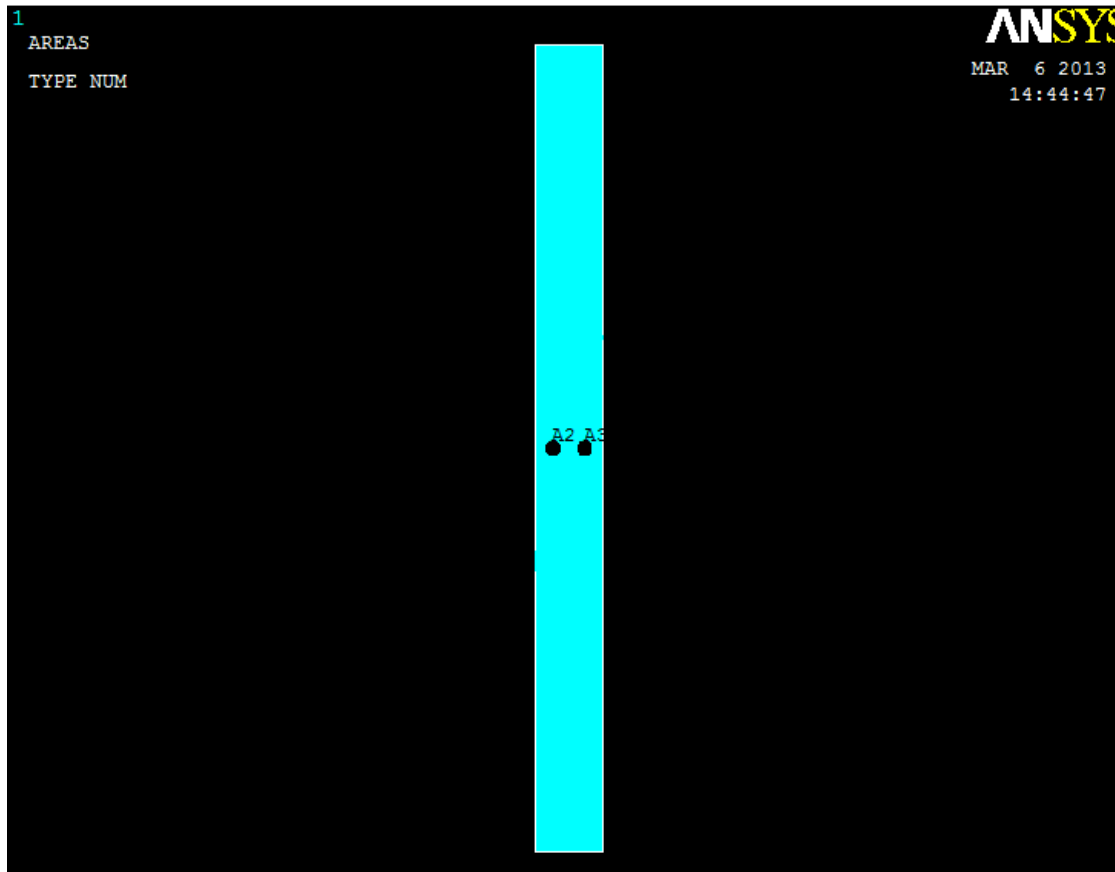


### ΒΗΜΑ 3<sup>ο</sup>: ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΑΟΠΩΝ

Για να αφαιρέσουμε σπές ακολουθούμε την εξής διαδικασία. Από το αριστερό μενού επιλέγουμε:

**Pre-processor=>Modelling=>Operate =>Booleans =>Subtract =>Areas**

Κλικάρουμε την βασική επιφάνεια και με **Apply** επιλέγουμε τις αφαιρούμενες επιφάνειες.

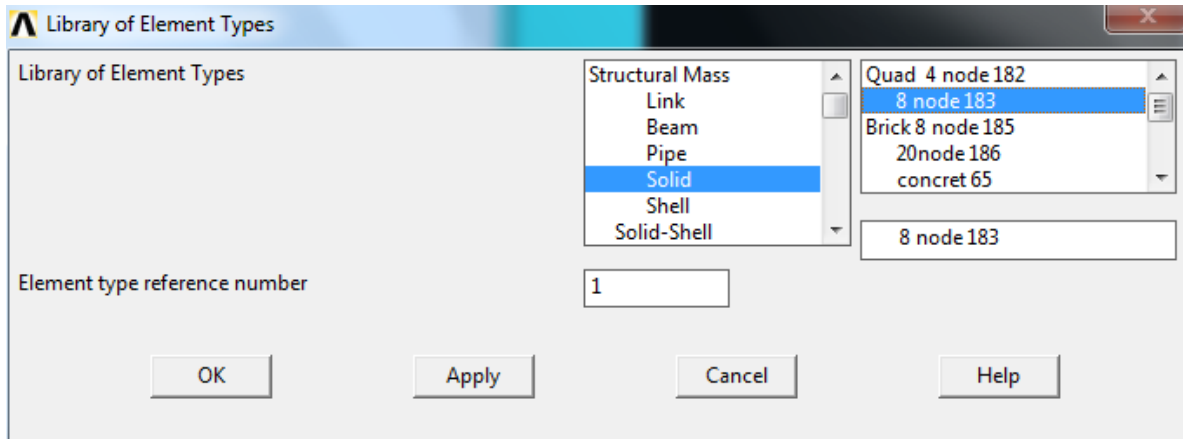


## ΒΗΜΑ 4<sup>ο</sup>: ΟΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

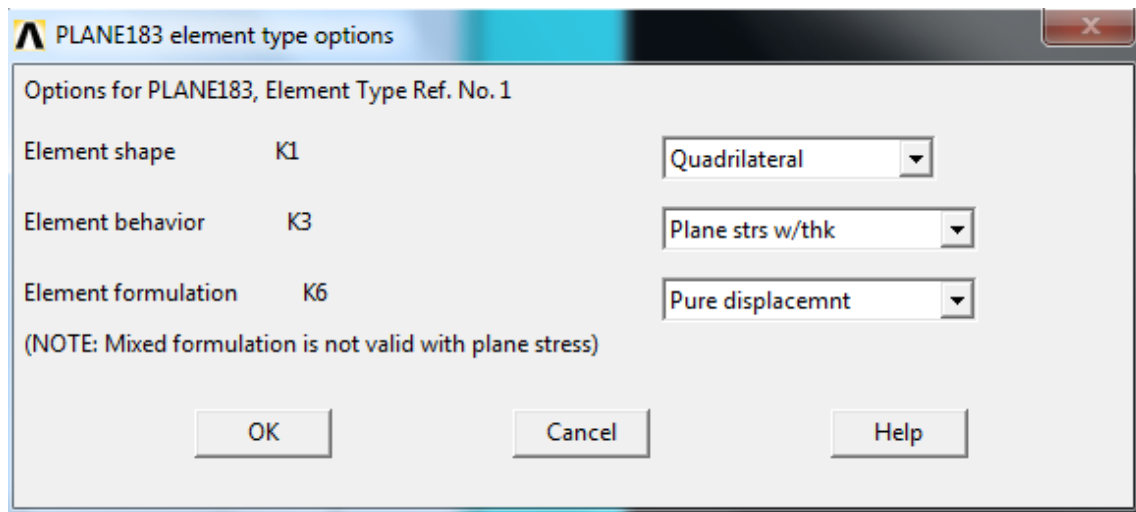
Από το αριστερό μενού επιλέγουμε

**Pre-processor=>Element Type =>Add/Edit/Delete**

Στην καρτέλα που εμφανίζεται πατάμε **Add** και στην νέα καρτέλα από το μενού **solid** επιλέγουμε **8node183** και πατάμε **OK**.



Έπειτα επεξεργαζόμαστε τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του επιλεγμένου στοιχείου.

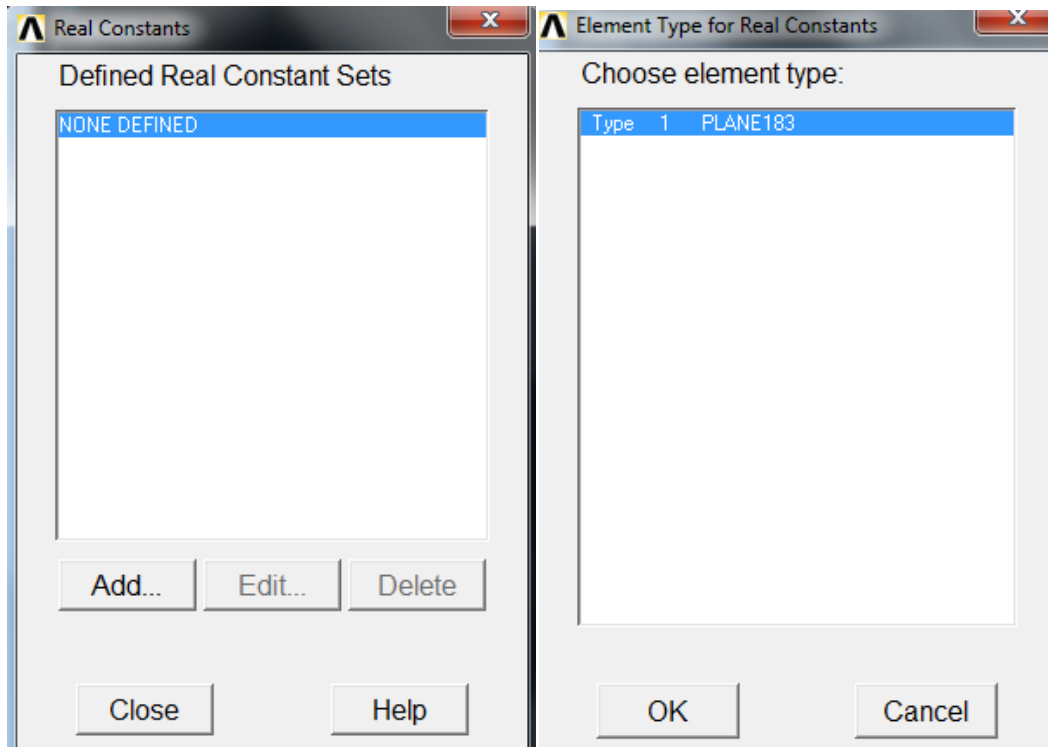


## ΒΗΜΑ 5<sup>ο</sup>: ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ

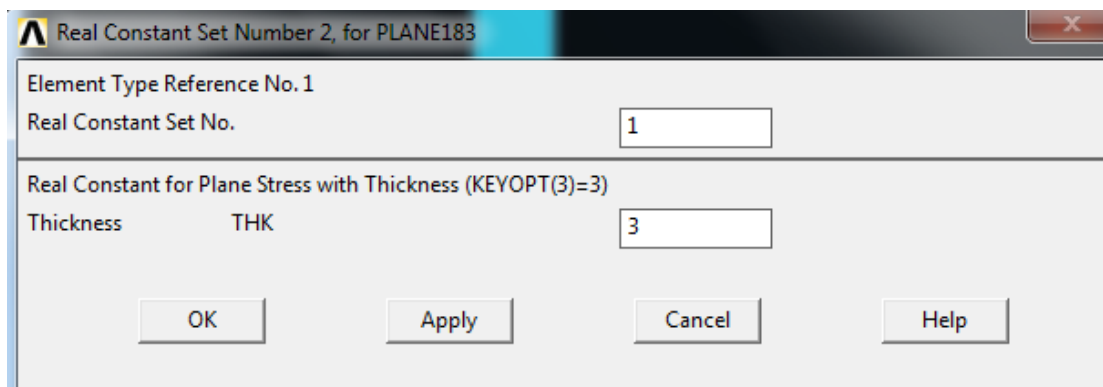
Από το αριστερό μενού:

**Pre-processor =>Real Constants=> Add/Edit/Delete**

Επιλέγουμε **Add** και στην συνέχεια **OK** στην καρτέλα που εμφανίζεται.



Στην ακόλουθη καρτέλα βάζουμε πάχος 3mm

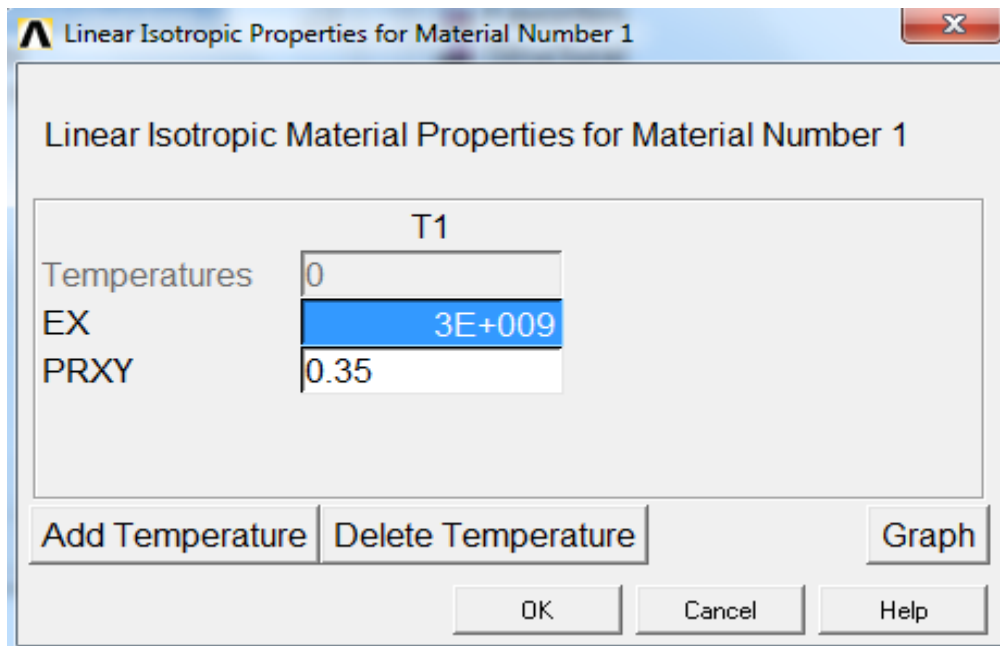


## ΒΗΜΑ 6<sup>ο</sup>: ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΛΙΚΟΥ

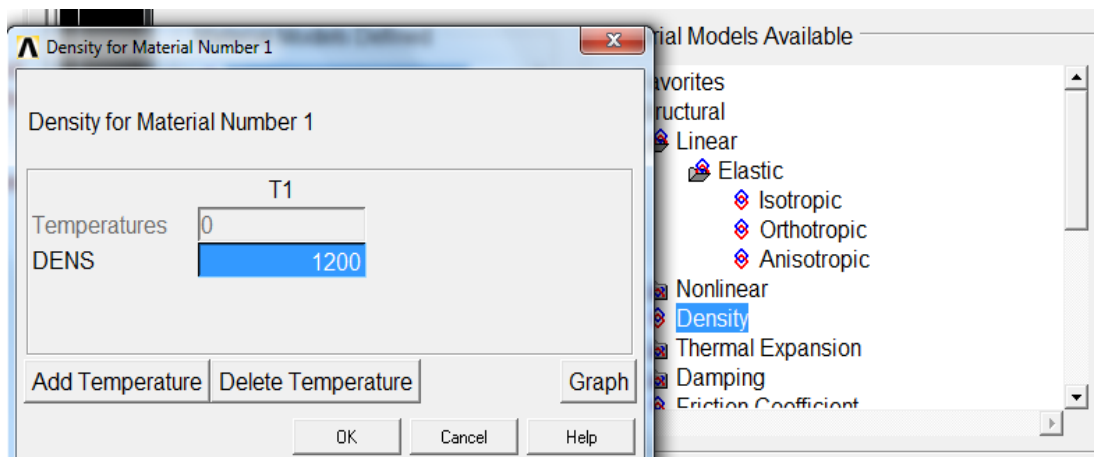
Ο ορισμός του υλικού θα γίνει ως εξής: Από το αριστερό μενού επιλέγουμε :

**Pre-processor =>Material Props =>Material Models =>Structural =>Linear =>Elastic =>Isotropic**

Στην καρτέλα που εμφανίζεται συμπληρώνουμε το μέτρο ελαστικότητας και το λόγο **Poisson**. Όπου **EX=3 GPa** και **PRXY=0,35**.



Επίσης στην ίδια καρτέλα επιλέγουμε την εντολή **Density** και ορίζουμε και πυκνότητα υλικού: **DENS=1200 kg/m<sup>3</sup>**.

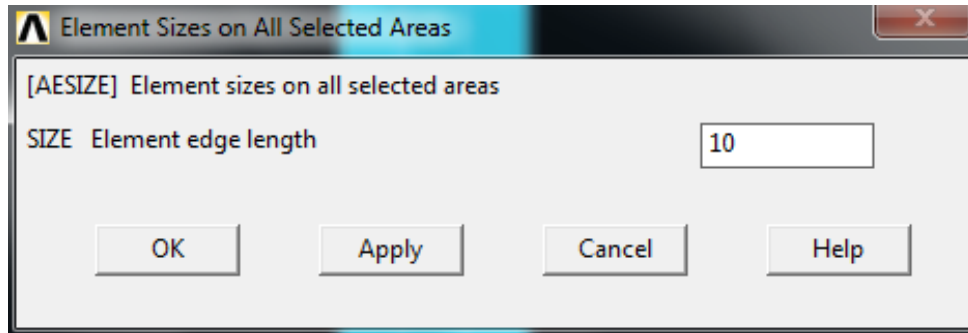


## ΒΗΜΑ 7<sup>ο</sup>: ΜΕΓΕΘΟΣ ΠΡΩΤΟΥ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ

Η επιλογή του μήκους των στοιχείων γίνεται ως εξής: Από το αριστερό μενού επιλέγουμε :

**Pre-processor=>Meshing =>Size Controls =>Manual Size =>Areas =>All Areas**

Και εμφανίζεται η παρακάτω καρτέλα όπου συμπληρώνουμε το μήκος των στοιχείων και πατάμε **OK**.

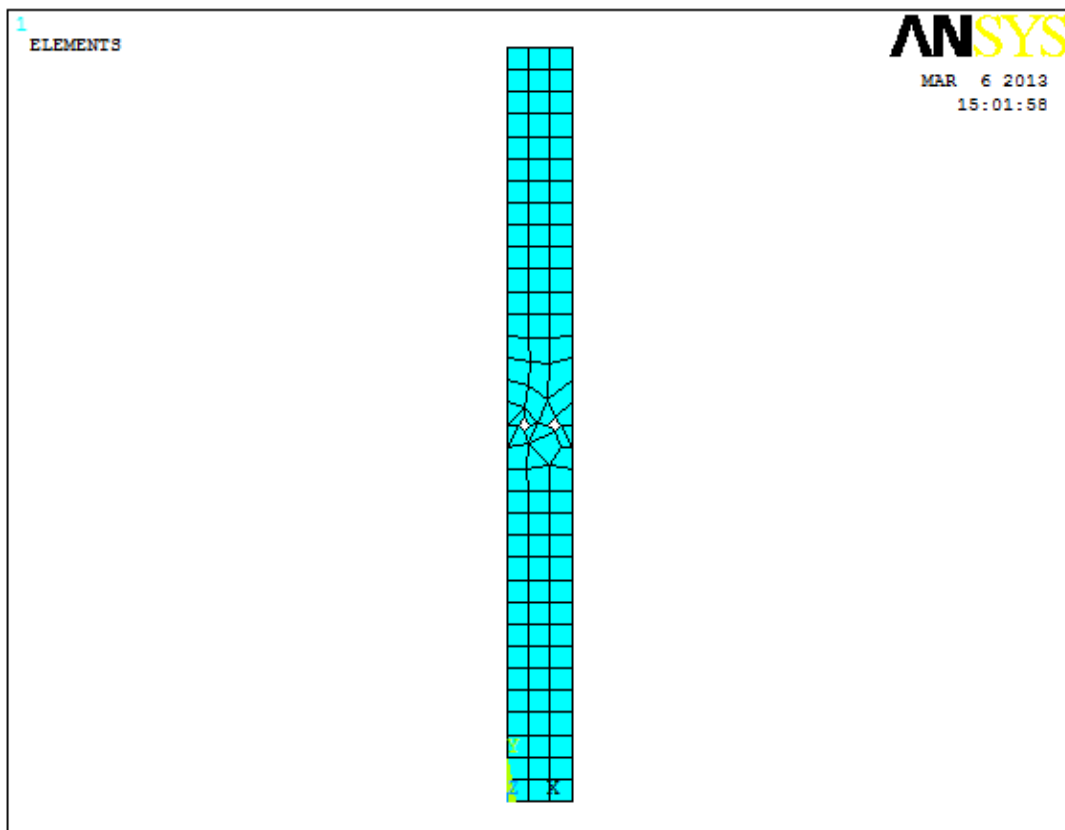


## ΒΗΜΑ 8<sup>ο</sup>: ΔΙΑΚΡΙΤΟΠΟΙΗΣΗ (ΠΡΩΤΟ ΠΛΕΓΜΑ)

Από το αριστερό μενού επιλέγουμε:

**Pre-processor =>Meshing =>Mesh =>Volumes => Free**

Στην καρτέλα που εμφανίζεται πατάμε **Pick all** για να επιλεγεί ολόκληρη την επιφάνεια.

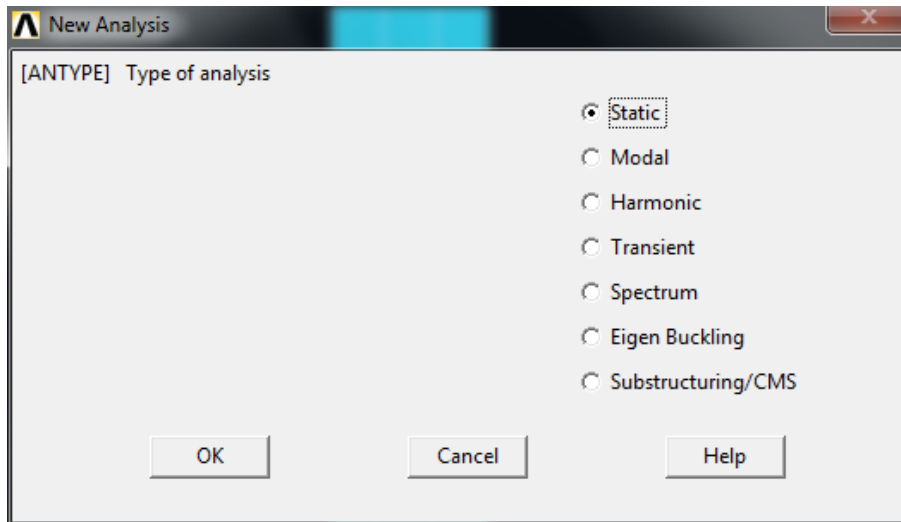


## ΒΗΜΑ 9<sup>ο</sup>: ΟΡΙΣΜΟΣ ΕΙΔΟΥΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Το είδος της ανάλυσης ορίζεται ως εξής: Από το αριστερό μενού επιλέγουμε.

**Solution=>Analysis Type=>New Analysis**

Και στην καρτέλα που εμφανίζεται πατάμε **static**.



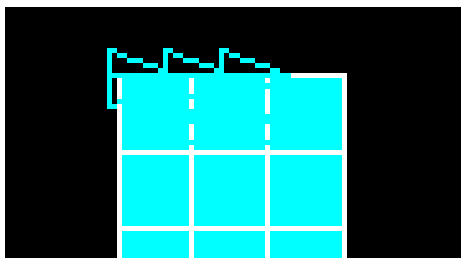
## ΒΗΜΑ 10<sup>ο</sup>: ΟΡΙΣΜΟΣ ΣΤΗΡΙΞΕΩΝ

Για να ορίσουμε τις στηρίξεις ακολουθούμε την εξής διαδικασία: Από το αριστερό μενού επιλέγουμε :

**Solution=>Define Loads=>Apply=>Structural=>Displacement**

Πατάμε **On Areas** και στην καρτέλα που εμφανίζεται πατάμε **Pick All**.

Αφού κλικάρουμε την επιφάνεια που θέλουμε να πακτώσουμε έπειτα στη νέα καρτέλα που εμφανίζεται επιλέγουμε **All Dof** και πατάμε **OK**.



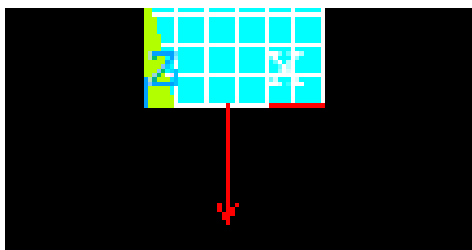


## ΒΗΜΑ 11<sup>ο</sup>: ΟΡΙΣΜΟΣ ΔΥΝΑΜΕΩΝ

Για να ορίσουμε την τιμή και την διεύθυνση του φορτίου ακολουθούμε τις εξής εντολές:

**Solution =>Define Loads =>Apply =>Structural =>Pressure=>On Lines.**

Επιλέγουμε το κάτω μέρος της επιφάνειας σε δυο σημεία(με Apply), επιλέγουμε τον άξονα εφαρμογής της δύναμης (FY) και εφαρμόζουμε δύναμη 10N(με πρόσημο μείων(-))

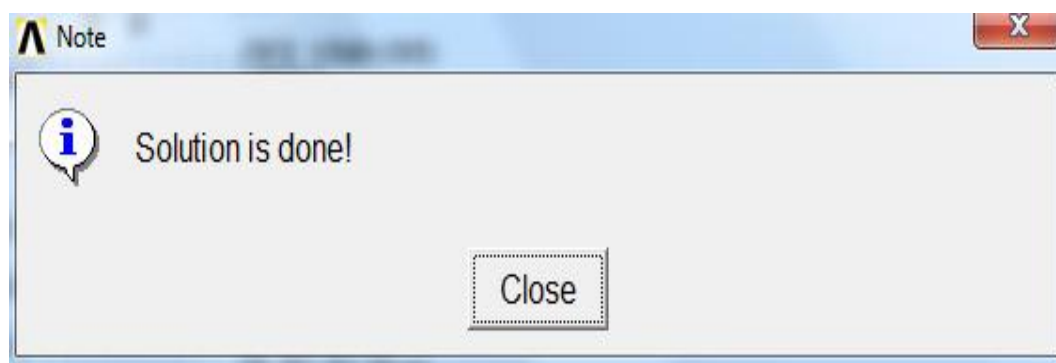


## ΒΗΜΑ 12<sup>ο</sup>: ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Εκτελούμε την επίλυση από το αριστερό μενού:

**Solution =>Solve =>Current LS.**

Όταν τελειώσουν οι υπολογισμοί το πρόγραμμα μας ενημερώνει με το παρακάτω μήνυμα:



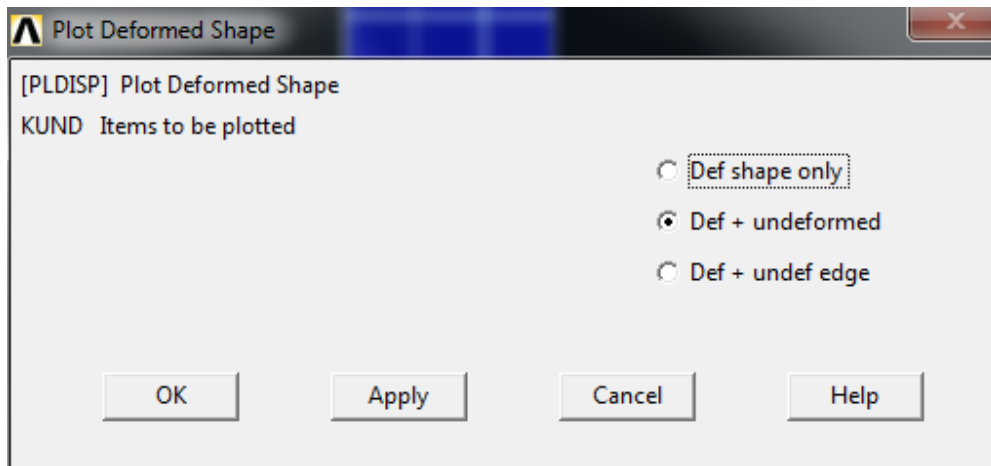
## ΒΗΜΑ 13<sup>ο</sup>: ΠΡΟΒΟΛΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

### Α) ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟ ΣΩΜΑ:

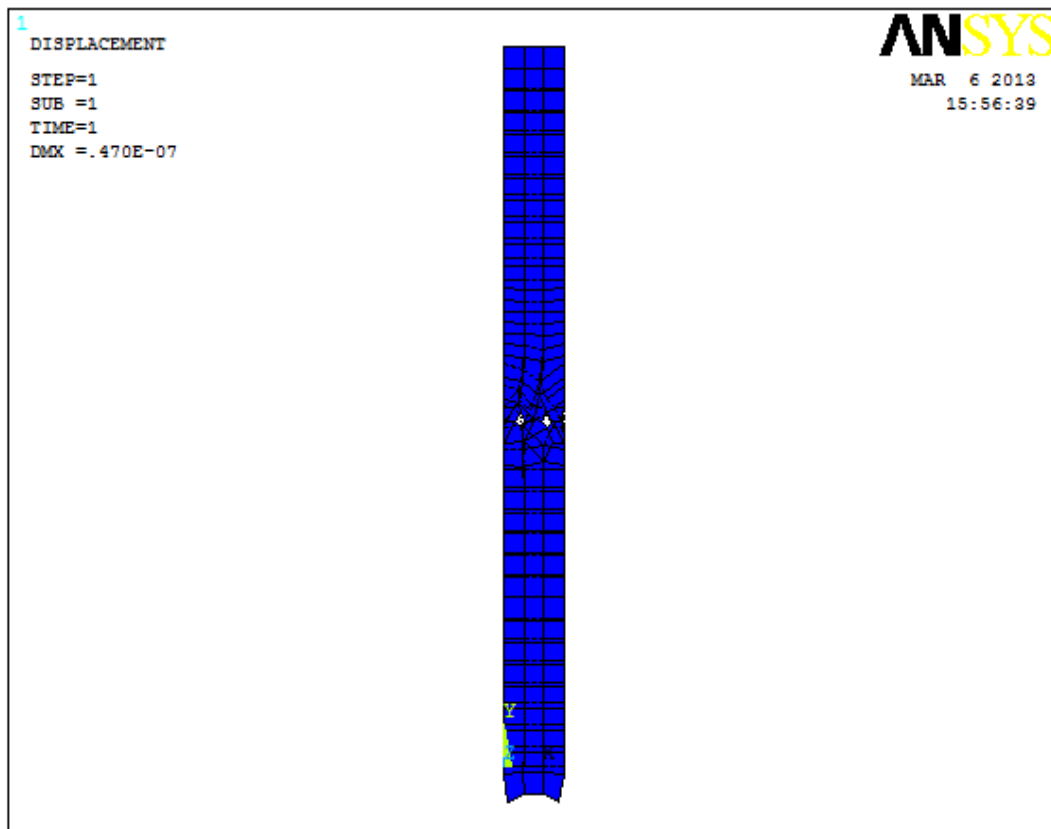
Το **ANSYS** μας δίνει την δυνατότητα απεικόνισης του παραμορφωμένου σώματος. Από το αριστερό μενού ακολουθούμε την γνωστή ακολουθία :

**General Postproc=>Plot Results =>Deformed Shape=>def+underformed**

Και στην καρτέλα που εμφανίζεται πατάμε **OK**.



### ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟΥ ΣΩΜΑΤΟΣ:



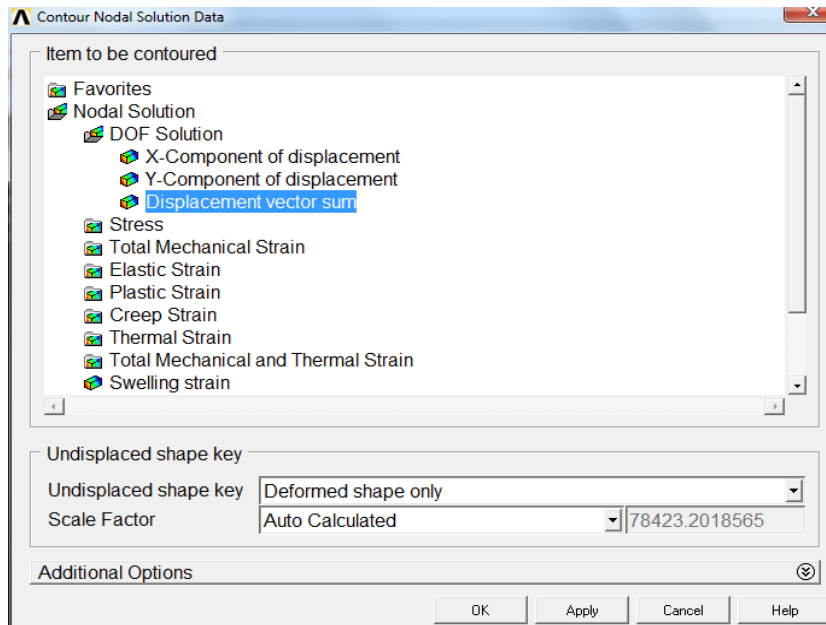
## B) ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΕΩΝ:

Από το αριστερό μενού επιλέγουμε:

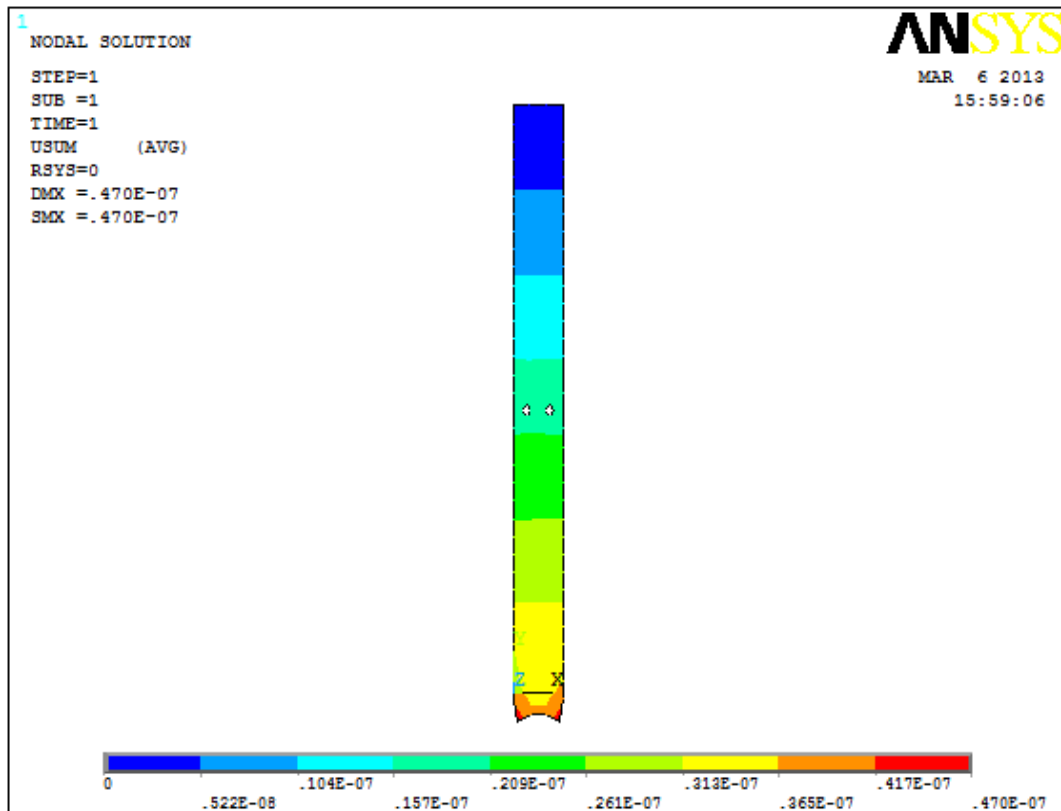
**General Postproc =>Plot Results=>Contour Plot=>Nodal Solution**

Στην καρτέλα που εμφανίζεται παρακάτω επιλέγουμε :

**DOF Solution =>Displacement vector sum** πατάμε **OK** και εμφανίζεται το σχήμα των μετατοπίσεων.



## ΤΟ ΣΧΗΜΑ ΤΩΝ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΕΩΝ

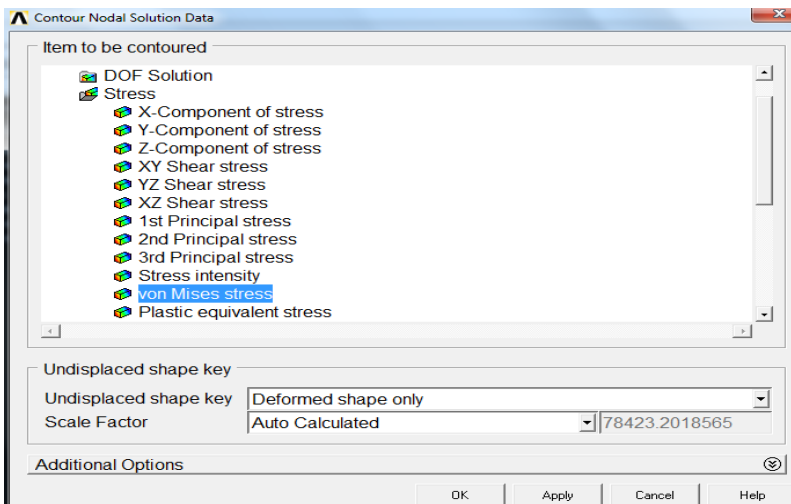


### Γ) ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΤΑΣΕΩΝ:

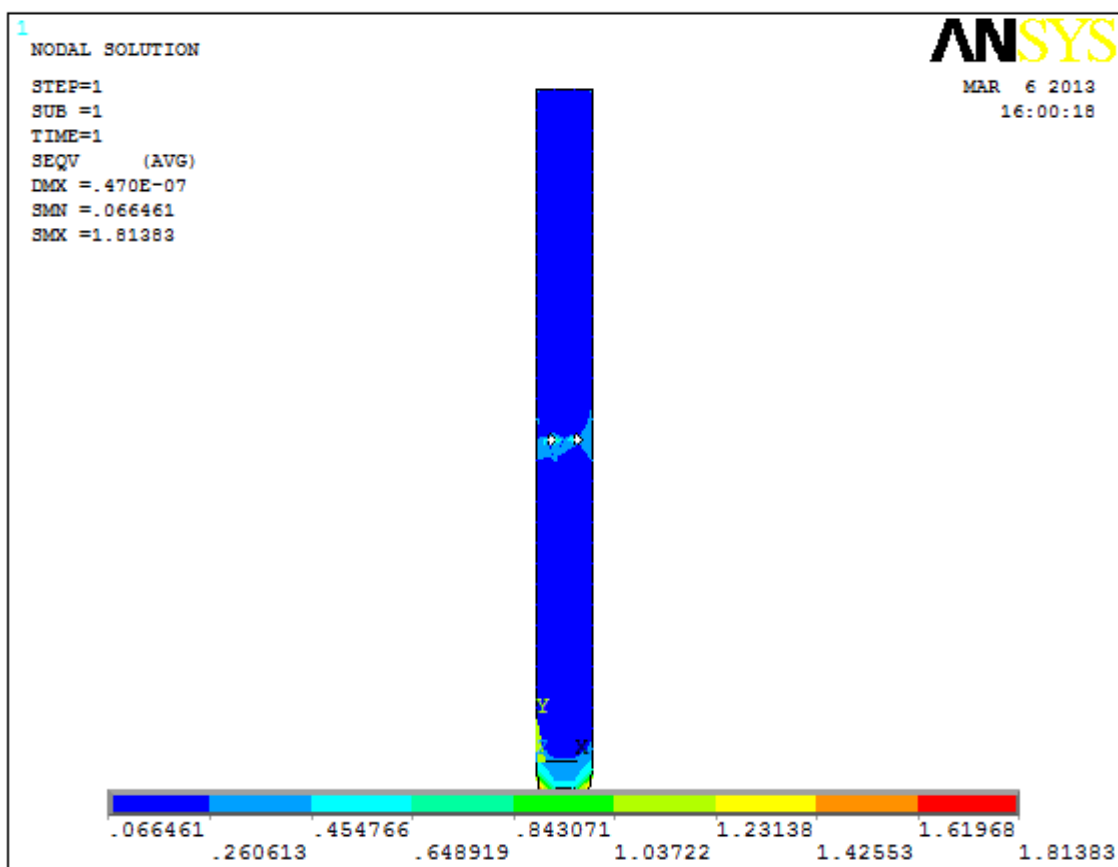
Εκτελούμε πάλι την ίδια διαδικασία από το αριστερό μενού :

**General Postproc =>Plot Results =>Contour Plot =>Nodal Solution** και στην ίδια καρτέλα που εμφανίζεται αυτή τη φορά επιλέγουμε:

**Stress =>Von Mises Stress** και πατάμε **OK**. Το παρακάτω είναι το σχήμα των τάσεων.



### ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΑΣΕΩΝ:

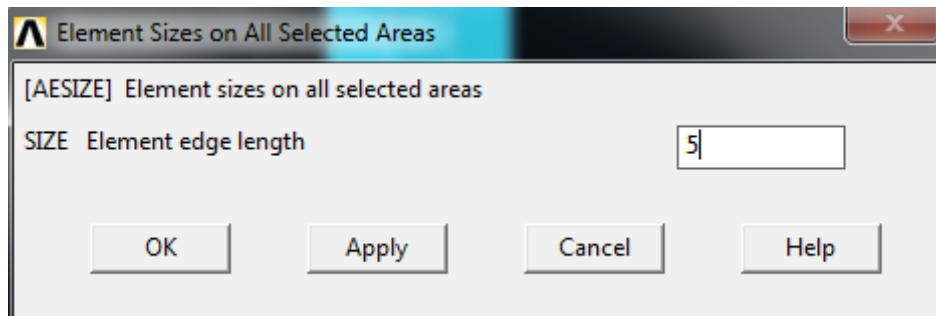


## ΒΗΜΑ 14<sup>ο</sup>: ΔΙΑΚΡΙΤΟΠΟΙΗΣΗ (ΔΕΥΤΕΡΟ ΠΛΕΓΜΑ):

Με σκοπό την σύγκλιση των αποτελεσμάτων το δοκίμιο διακριτοποιείται πάλι με διαφορετικό μέγεθος στοιχείων. Οπότε ακολουθούμε την εξής διαδικασία:

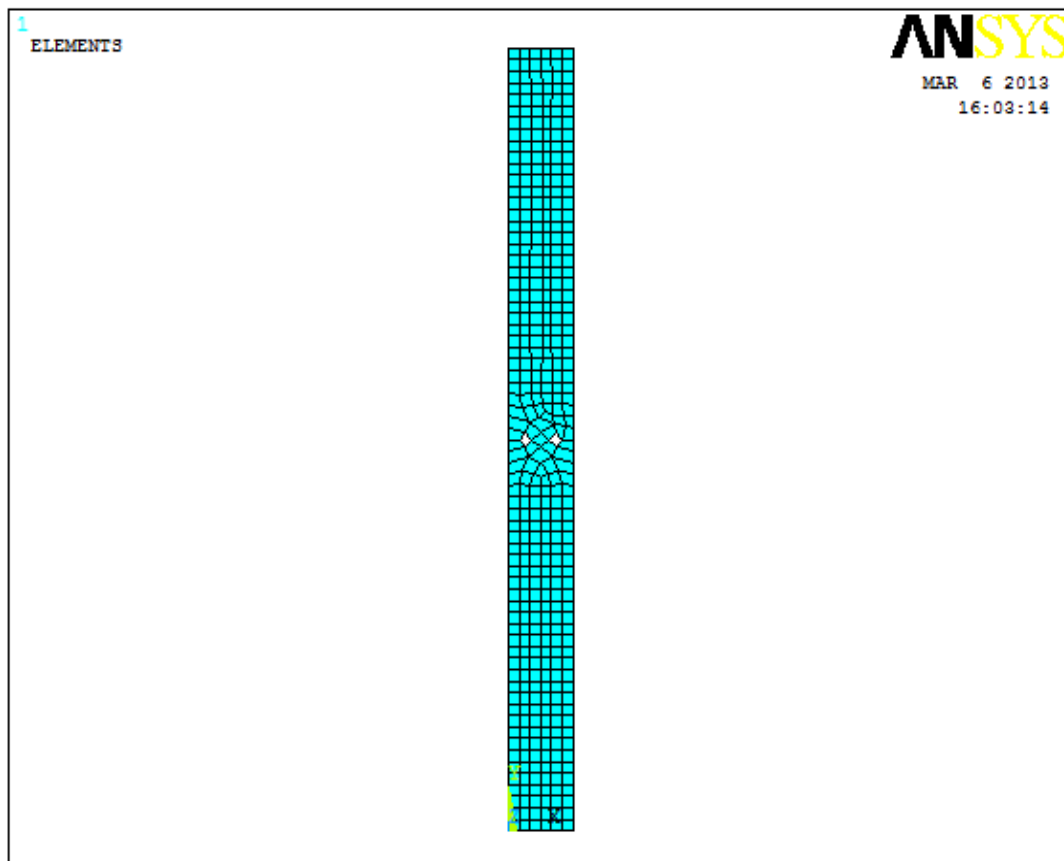
**Pre-processor=>Meshing=>Size Controls=>Manual Size=>Areas=>All Areas.**

Στην καρτέλα που εμφανίζεται συμπληρώνουμε το νέο μήκος στοιχείων.



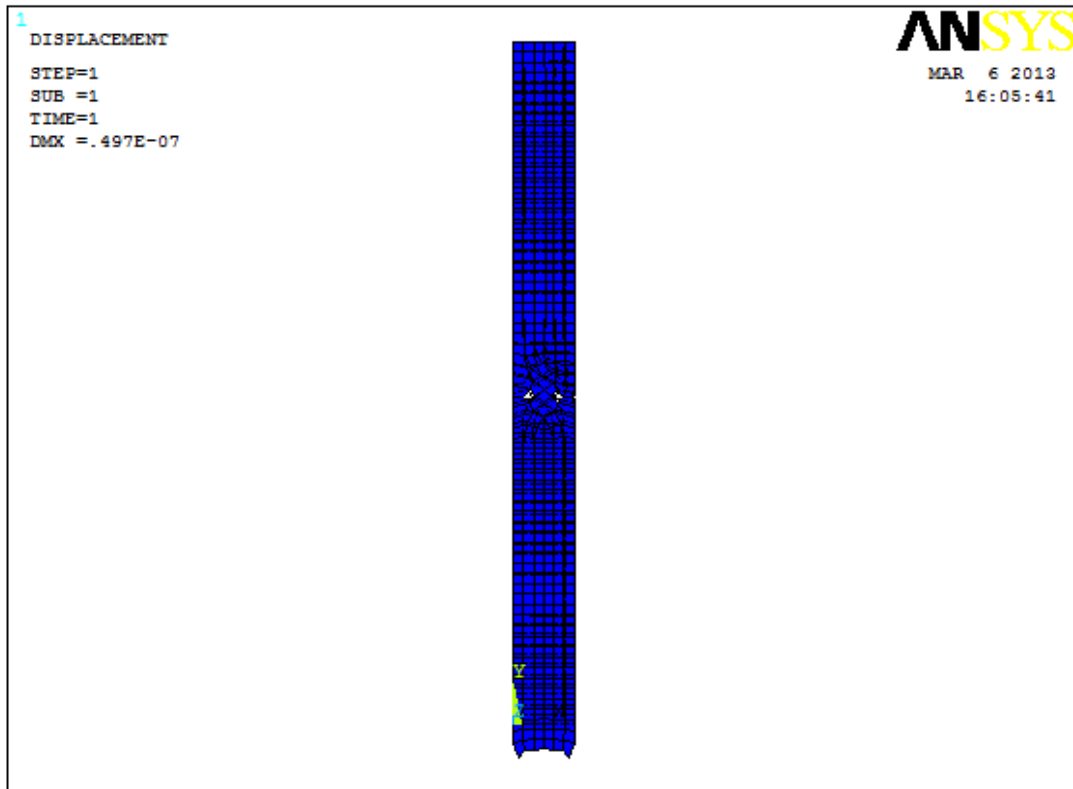
Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται το δοκίμιο με το δεύτερο μέγεθος πλέγματος όποτε με την ίδια διαδικασία έχουμε:

### ΔΙΑΚΡΙΤΟΠΟΙΗΣΗ

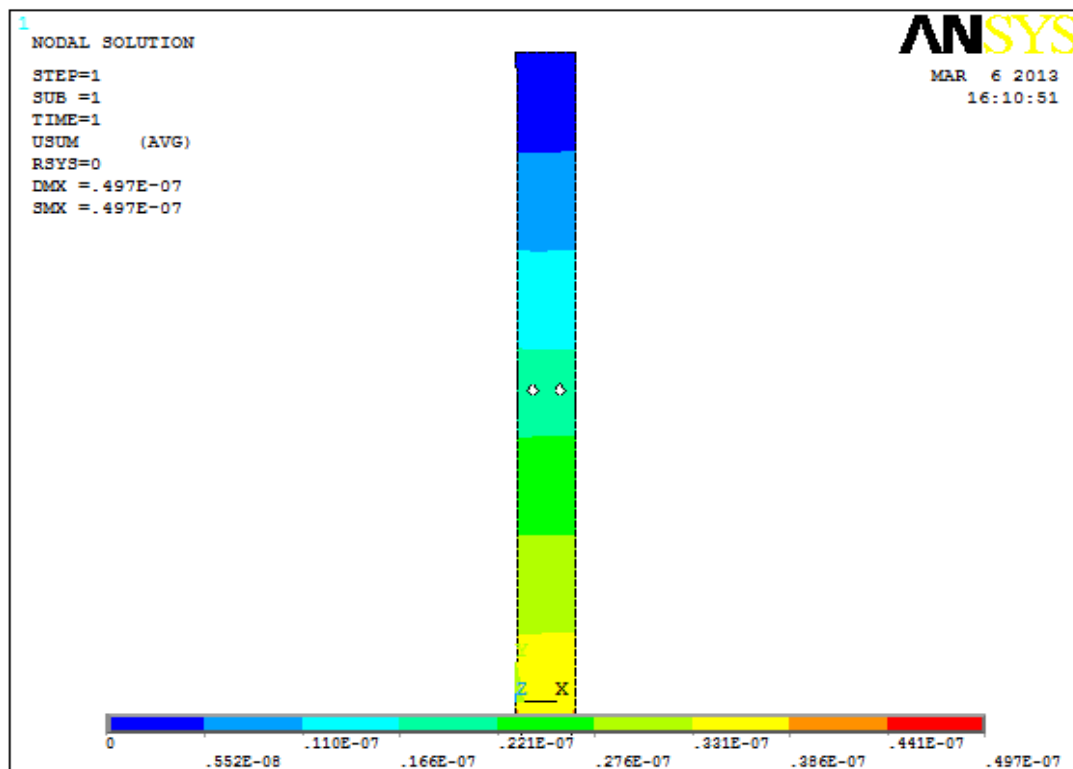


Λύνουμε το σύστημα και παίρνουμε τα δεύτερα αποτελέσματα:

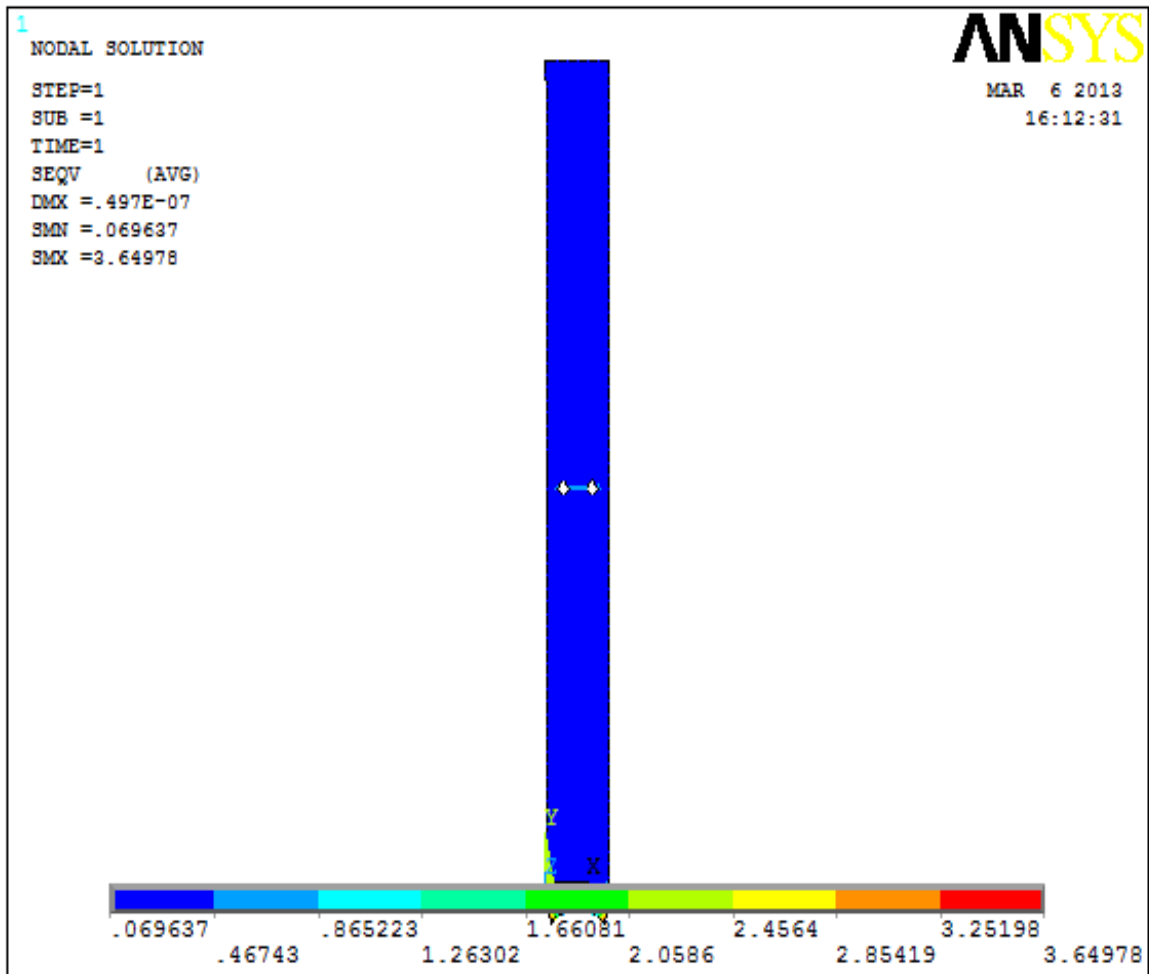
### A) ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟ ΣΩΜΑ:



### B) ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΕΙΣ:



### Γ) ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΑΣΕΩΝ:



## Π.7. ΠΡΟΒΛΗΜΑ : ΑΝΑΛΥΣΗ ΟΡΘΟΓΩΝΙΑΣ ΠΛΑΚΑΣ ΜΕ ΡΩΓΜΕΣ

Ανοίγουμε το **ANSYS 14**. Αρχικά στο *File management=>working directory* και αποθηκεύουμε σε ένα φάκελο με όνομα **job name** για να αποθηκευτεί η εργασία μας. Στη συνέχεια επιλέγουμε **RUN** και εμφανίζεται το σχεδιαστικό περιβάλλον του προγράμματος ANSYS.





## 1. ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

### ΒΗΜΑ 1<sup>ο</sup>:ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΣΗΜΕΙΩΝ.

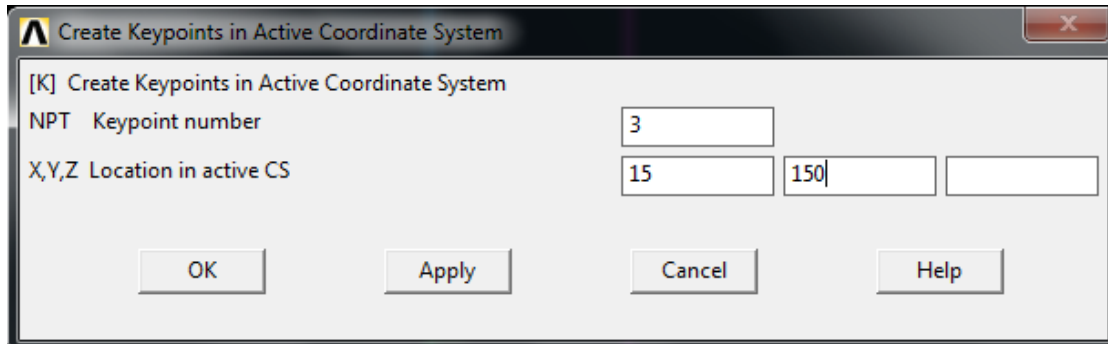
Στο **main menu** επιλέγουμε:

**Pre-processor =>modelling =>create =>key points =>in active CS**

Και στην καρτέλα που εμφανίζετε δίνουμε τα παρακάτω σημεία:

| α/α | X  | Y   |
|-----|----|-----|
| 1   | 0  | 0   |
| 2   | 0  | 150 |
| 3   | 15 | 150 |
| 4   | 16 | 151 |
| 5   | 15 | 152 |
| 6   | 0  | 152 |
| 7   | 0  | 190 |
| 8   | 15 | 190 |
| 9   | 16 | 191 |
| 10  | 15 | 192 |
| 11  | 0  | 192 |
| 12  | 0  | 340 |
| 13  | 85 | 340 |
| 14  | 85 | 170 |
| 15  | 70 | 170 |
| 16  | 69 | 169 |
| 17  | 70 | 168 |
| 18  | 85 | 168 |
| 19  | 85 | 0   |

Αρχικά βάζουμε στην καρτέλα την κάθε μια συντεταγμένη όπου εμφανίζεται στον παραπάνω πίνακα (x,y,z location in active CS ) .Έπειτα βάζουμε τον αύξοντα αριθμό για κάθε μια συντεταγμένη ( NPT key point number) ,επιλέγουμε την εντολή **apply** και αντίστοιχα επιλέγουμε το **OK** για όλα τα σημεία.



## ΒΗΜΑ 2<sup>ο</sup>: ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΣΗΜΕΙΩΝ

Ενώνουμε τα σημεία ως εξής :

**Pre-processor =>modelling =>create =>Lines => Lines =>Straight line.**

Εμφανίζεται ένα καρτελάκι και ο κέρσορας γίνεται ένα ενεργό βέλος. Έπειτα κλικάρουμε τα σημεία των ευθειών γραμμών.

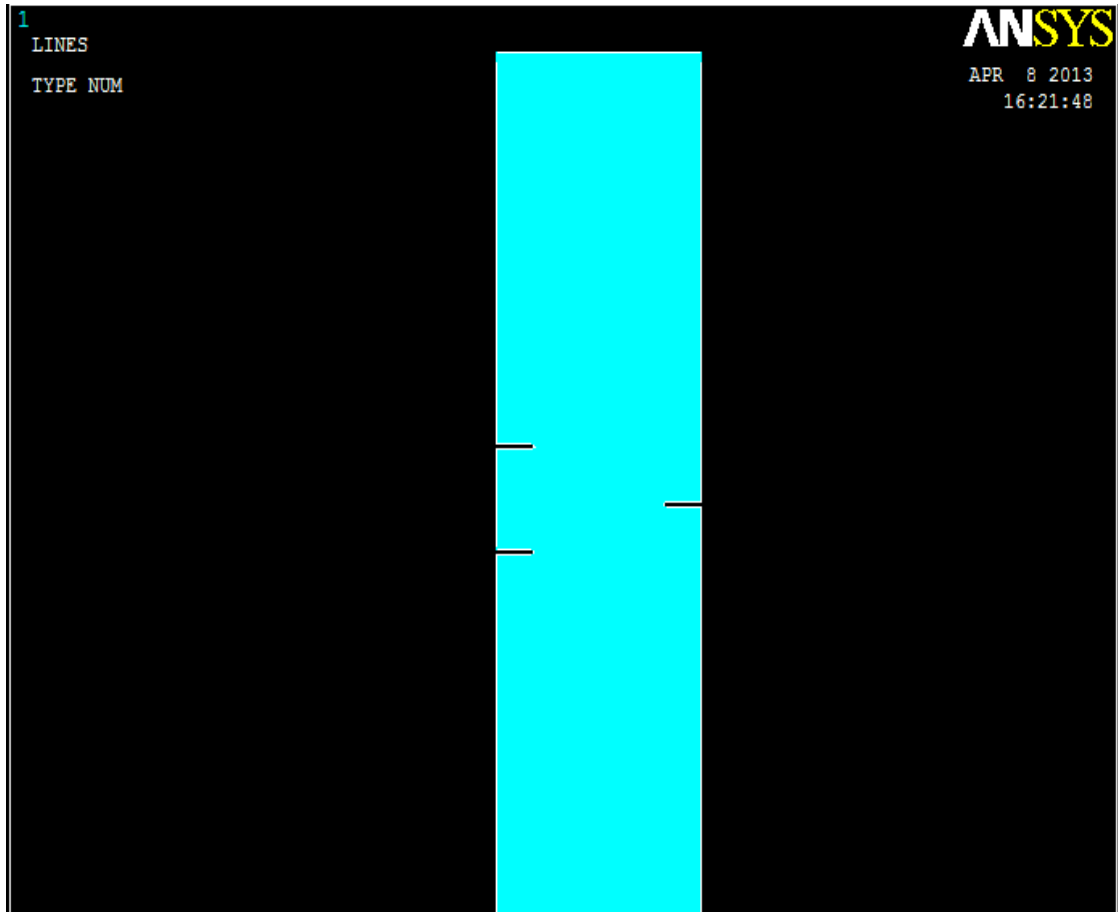


### ΒΗΜΑ3<sup>0</sup>: ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ

Από το αριστερό μενού επιλέγουμε

**Pre-processor=>Modelling =>Create =>Areas =>Arbitrary =>By lines**

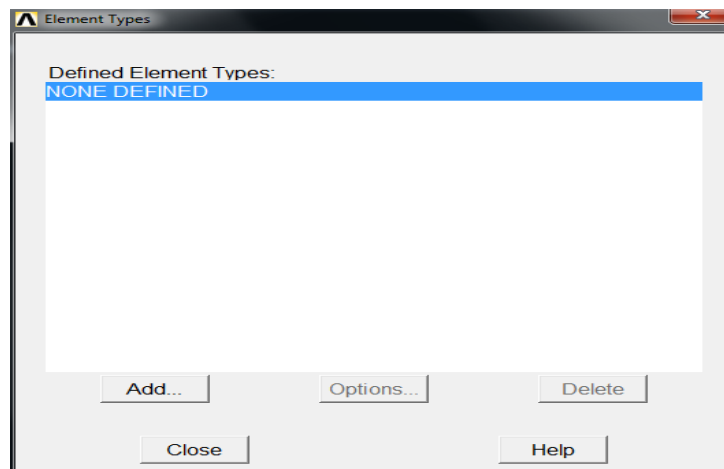
κλικάρουμε το περίγραμμα και πατάμε **OK**.



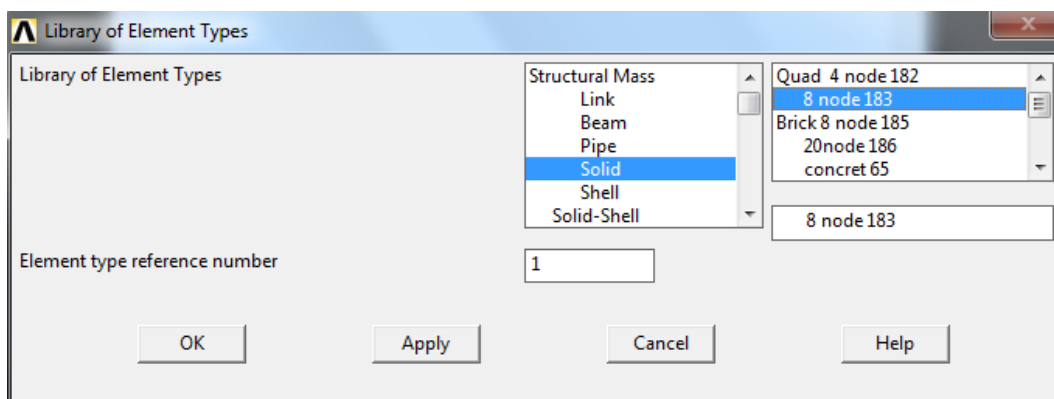
## ΒΗΜΑ 4<sup>ο</sup>: ΟΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Από το αριστερό μενού επιλέγουμε :

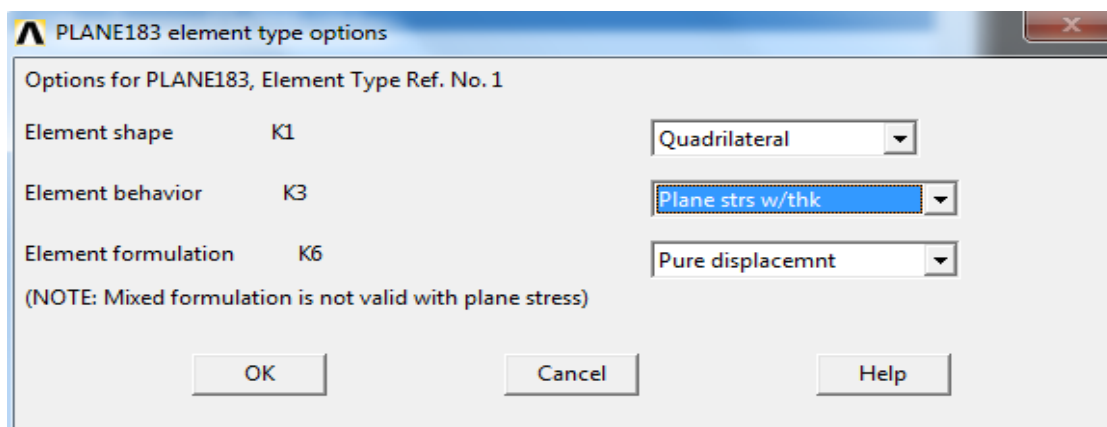
**Pre-processor=>Element Type=>Add/Edit/Delete**



Στην καρτέλα που εμφανίζεται πατάμε **Add** και στην νέα καρτέλα από το μενού **solid** επιλέγουμε **8node183** και πατάμε **OK**.



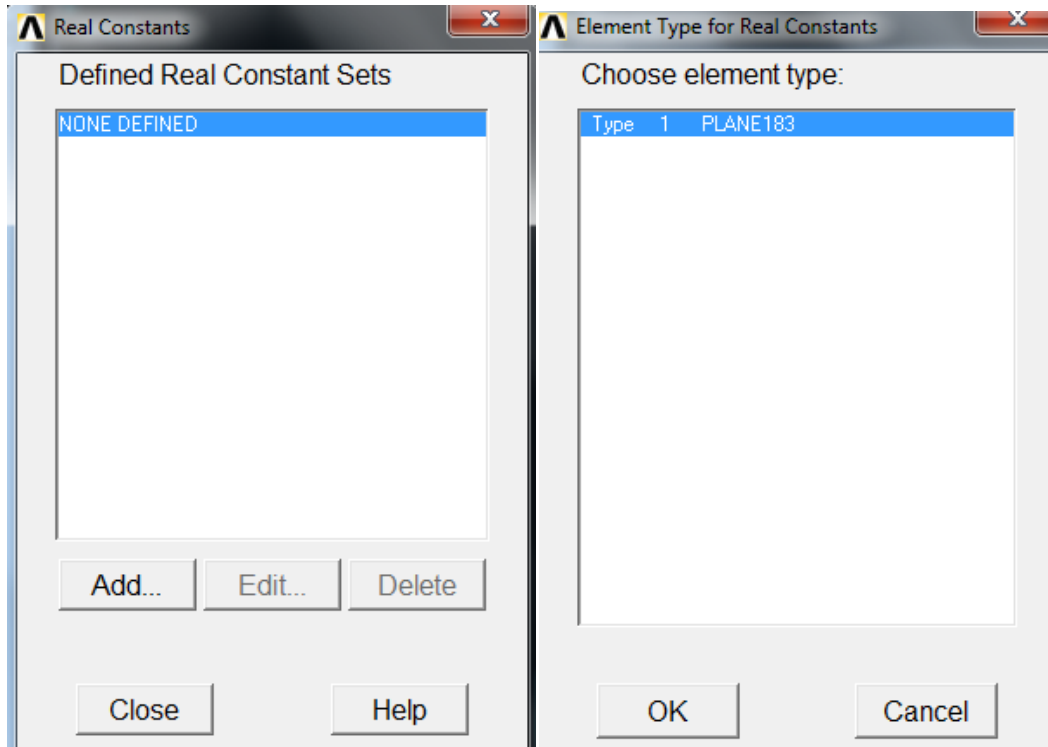
Στην συνέχεια επεξεργαζόμαστε τις ιδιότητες τους στοιχείου.



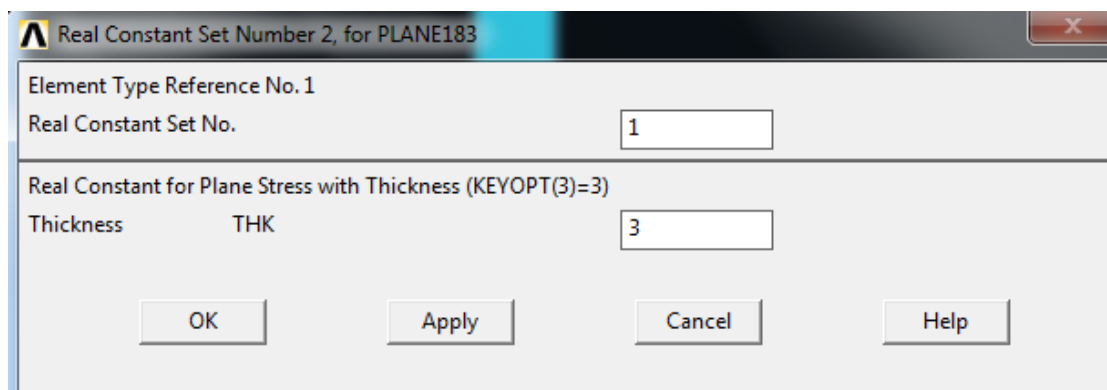
## ΒΗΜΑ 5<sup>ο</sup>: ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ

Από το αριστερό μενού:

**Pre-processor =>Real Constants =>Add/Edit/Delete**  
επιλέγουμε **Add** και στην συνέχεια **OK** στην καρτέλα που εμφανίζεται.



Στην ακόλουθη καρτέλα βάζουμε πάχος 3mm.

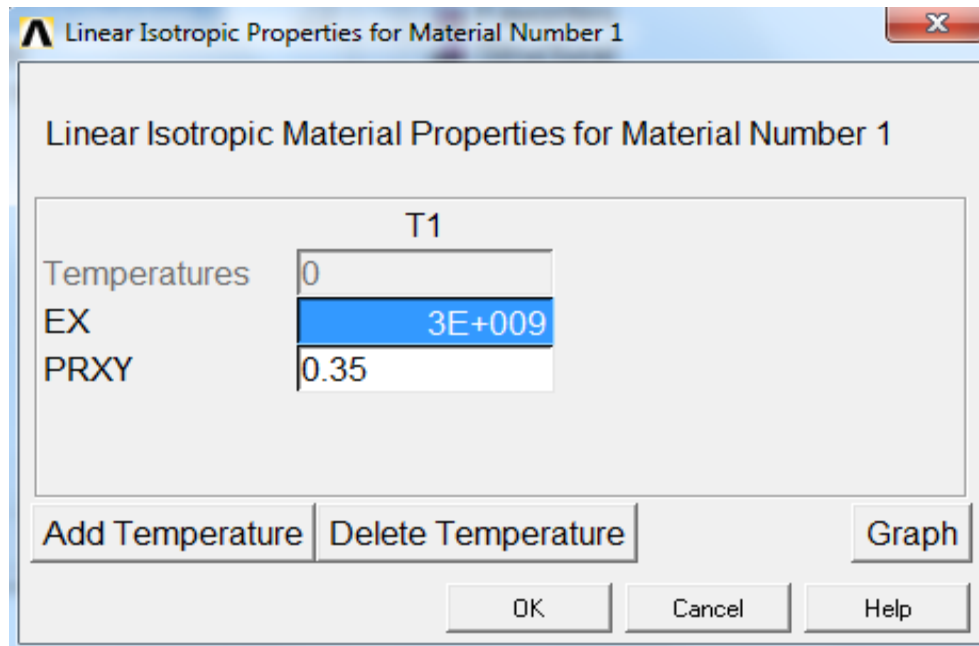


## ΒΗΜΑ 6<sup>ο</sup>: ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΛΙΚΟΥ

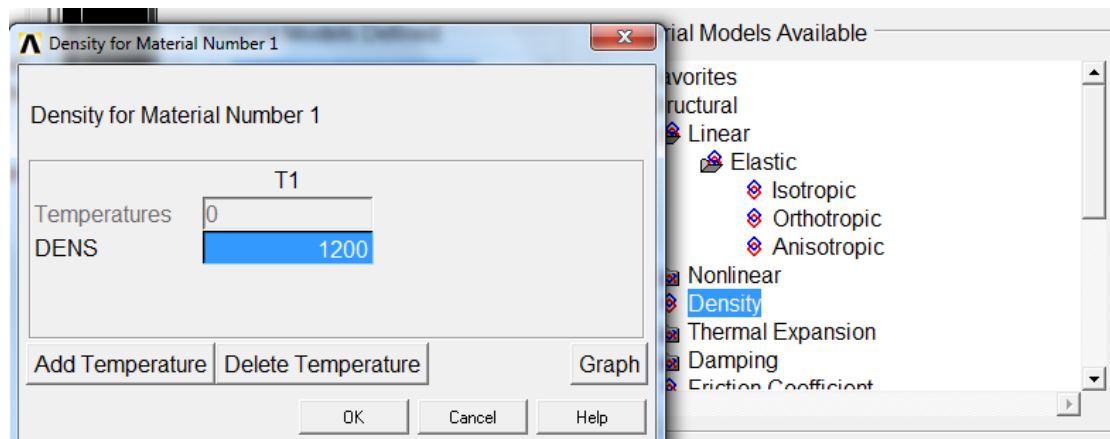
Ο ορισμός του υλικού θα γίνει ως εξής: Από το αριστερό μενού επιλέγουμε

**Pre-processor =>Material Props =>Material Models =>Structural =>Linear =>Elastic =>Isotropic**

Στην καρτέλα που εμφανίζεται συμπληρώνουμε το μέτρο ελαστικότητας και το λόγο **Poisson**. Όπου **EX=3 GPa** και **PRXY=0,35**.



Επίσης στην ίδια καρτέλα επιλέγουμε την εντολή **Density** και ορίζουμε και πυκνότητα υλικού: **DENS=1200 kg/m<sup>3</sup>**.

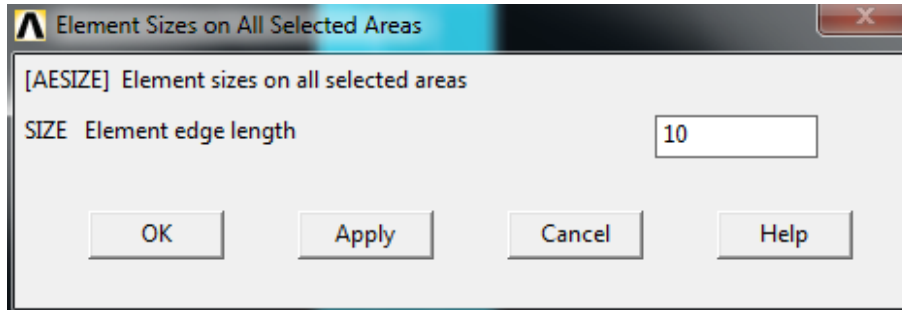


## ΒΗΜΑ 8<sup>ο</sup>: ΜΕΓΕΘΟΣ ΠΡΩΤΟΥ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ

Η επιλογή του μήκους των στοιχείων γίνεται ως εξής: Από το αριστερό μενού επιλέγουμε

**Pre-processor => Meshing => Size Controls => Manual Size => Areas => All Areas**

Και εμφανίζεται η παρακάτω καρτέλα όπου συμπληρώνουμε το μήκος των στοιχείων και πατάμε **OK**.

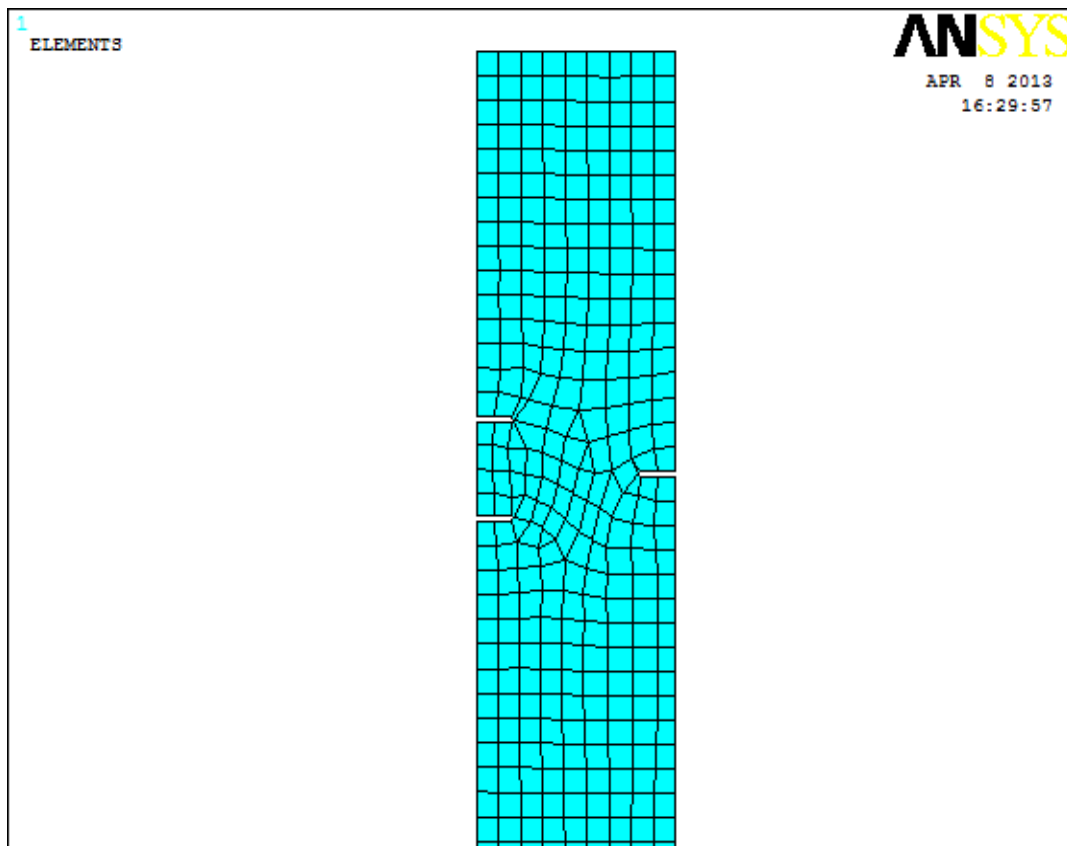


## ΒΗΜΑ 9<sup>ο</sup>: ΔΙΑΚΡΙΤΟΠΟΙΗΣΗ (ΠΡΩΤΟ ΠΛΕΓΜΑ)

Από το αριστερό μενού επιλέγουμε :

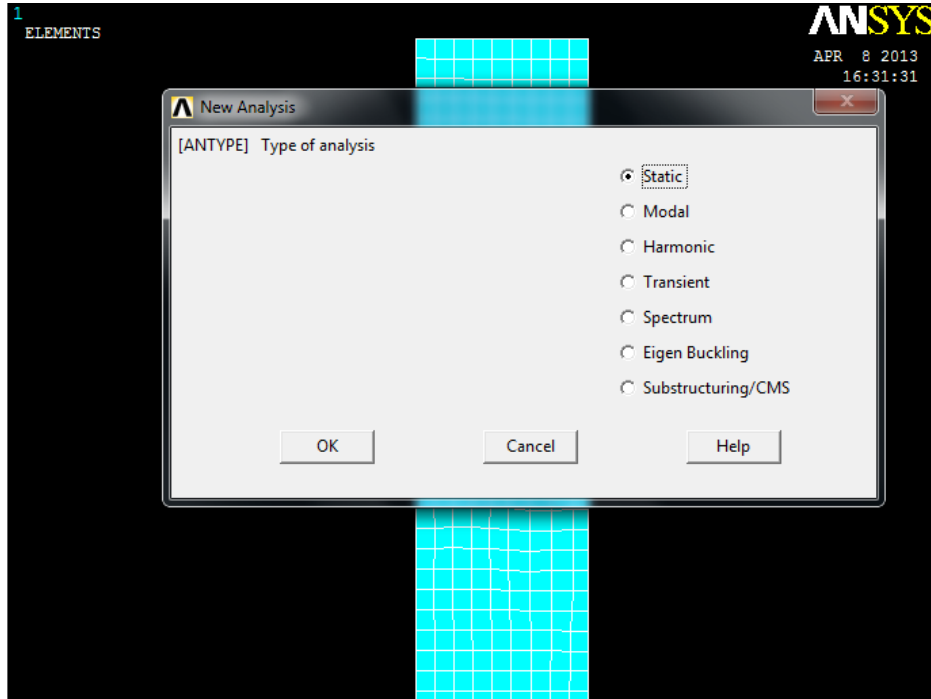
**Pre-processor=>Meshing=>Mesh=>Volumes=>Free**

Στην καρτέλα που εμφανίζεται πατάμε **Pick all** για να επιλεγεί ολόκληρη την επιφάνεια



## ΒΗΜΑ 9<sup>ο</sup>: ΟΡΙΣΜΟΣ ΕΙΔΟΥΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Το είδος της ανάλυσης ορίζεται ως εξής: Από το αριστερό μενού επιλέγουμε:  
**Solution=>Analysis Type=>New Analysis**  
Και στην καρτέλα που εμφανίζεται πατάμε **static**.

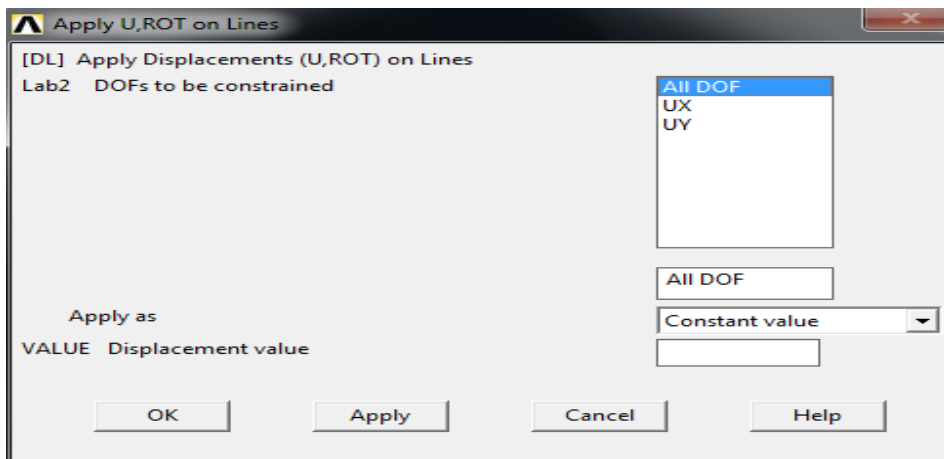


## ΒΗΜΑ 10<sup>ο</sup>: ΟΡΙΣΜΟΣ ΣΤΗΡΙΞΕΩΝ

Για να ορίσουμε τις στηρίξεις ακολουθούμε την εξής διαδικασία: Από το αριστερό μενού επιλέγουμε :

**Solution =>Define Loads =>Apply =>Structural =>Displacement**  
πατάμε **On Areas** και στην καρτέλα που εμφανίζεται πατάμε **Pick All**.

Αφού κλικάρουμε την επιφάνεια που θέλουμε να πακτώσουμε έπειτα στη νέα καρτέλα που εμφανίζεται επιλέγουμε **All Dof** και πατάμε **OK**.



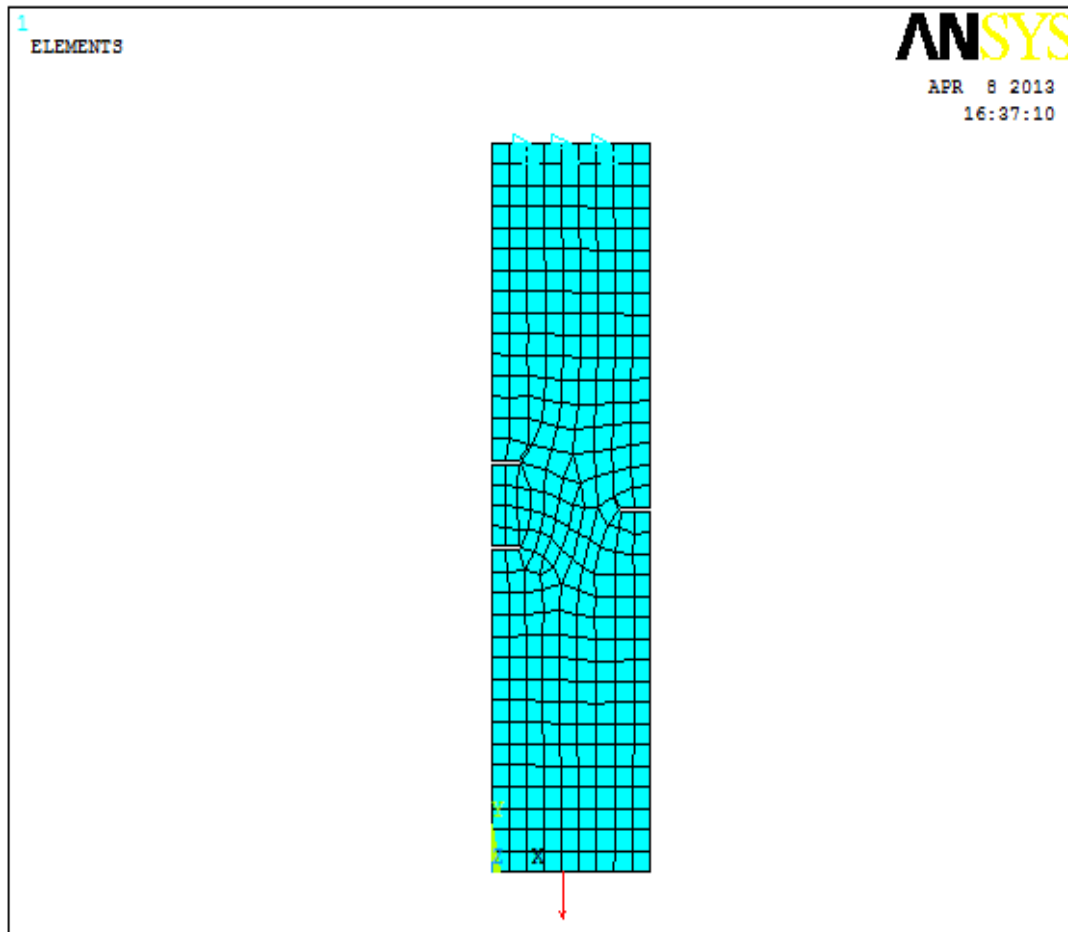


## ΒΗΜΑ 11<sup>ο</sup>: ΟΡΙΣΜΟΣ ΔΥΝΑΜΕΩΝ

Για να ορίσουμε την τιμή και την διεύθυνση του φορτίου ακολουθούμε τις εξής εντολές:

**Solution =>Define Loads =>Apply =>Structural =>Force/Moment=> On Key points**

Επιλέγουμε το κάτω μέρος της επιφάνειας σε δυο σημεία(με Apply), επιλέγουμε τον άξονα εφαρμογής της δύναμης (FY) και εφαρμόζουμε δύναμη 10N(με πρόσημο μείων(-)).

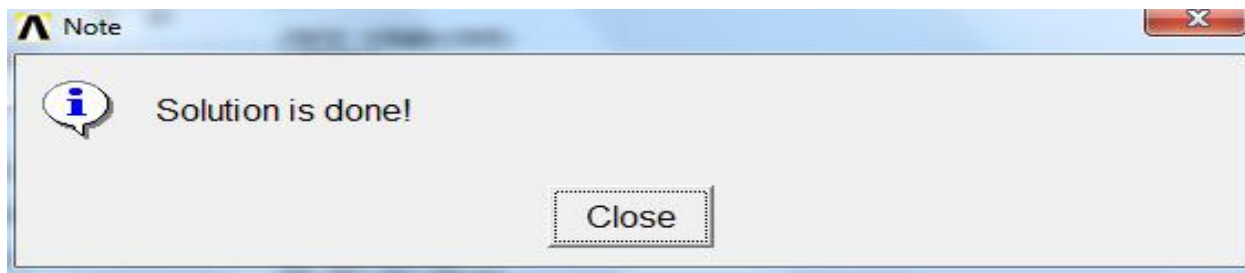


## ΒΗΜΑ 12<sup>ο</sup>: ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Εκτελούμε την επίλυση από το αριστερό μενού

**Solution > Solve > Current LS.**

Όταν τελειώσουν οι υπολογισμοί το πρόγραμμα μας ενημερώνει με το παρακάτω μήνυμα:

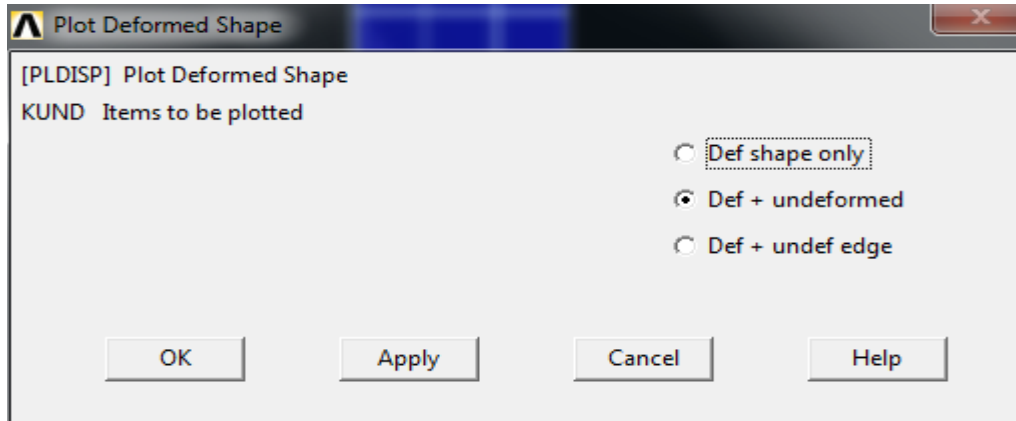


## ΒΗΜΑ 13<sup>ο</sup>: ΠΡΟΒΟΛΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

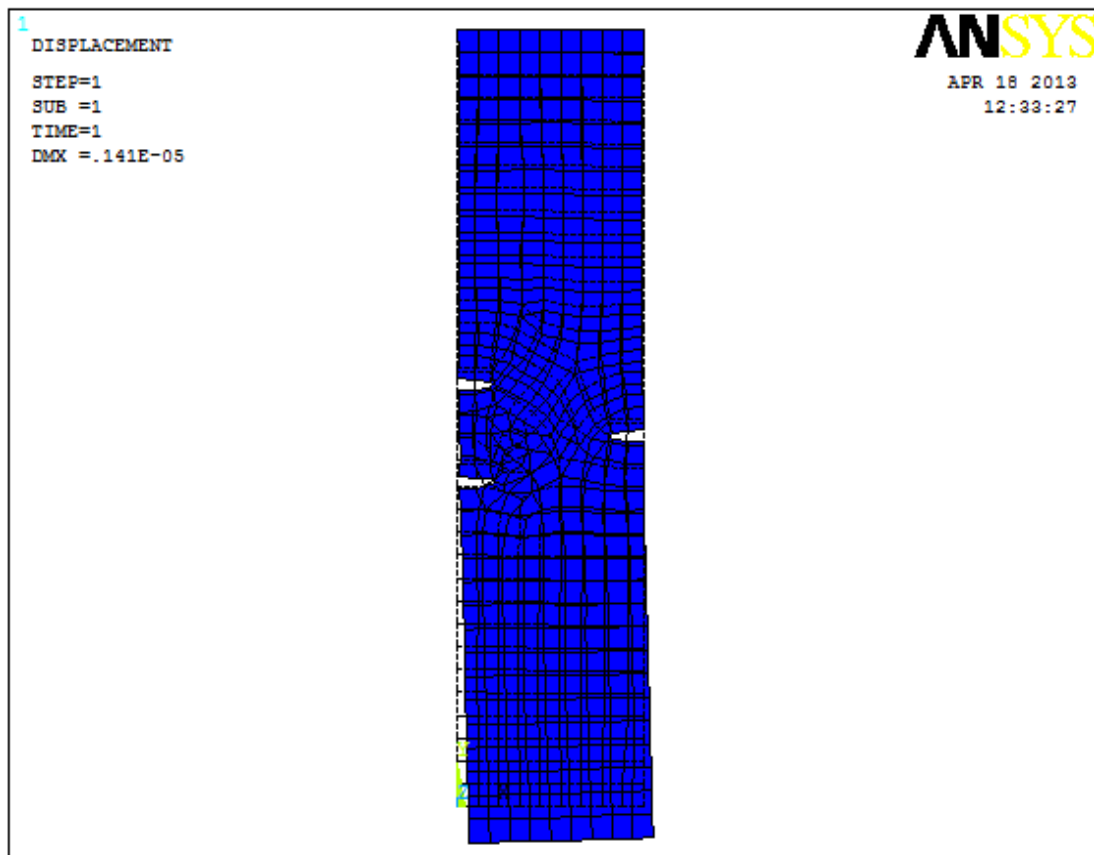
### Α) ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟ ΣΩΜΑ

Το **ANSYS** μας δίνει την δυνατότητα απεικόνισης του παραμορφωμένου σώματος. Από το αριστερό μενού ακολουθούμε την γνωστή ακολουθία:

**General Postproc=>Plot Results=>Deformed Shape=>def+undeformed**  
και στην καρτέλα που εμφανίζεται πατάμε **OK**.



### ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟΥ ΣΩΜΑΤΟΣ:



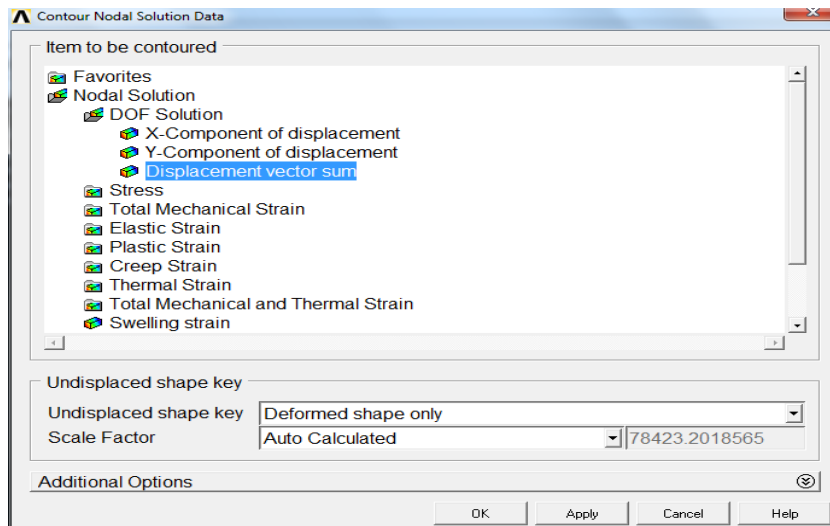
## B) ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΕΩΝ:

Από το αριστερό μενού επιλέγουμε :

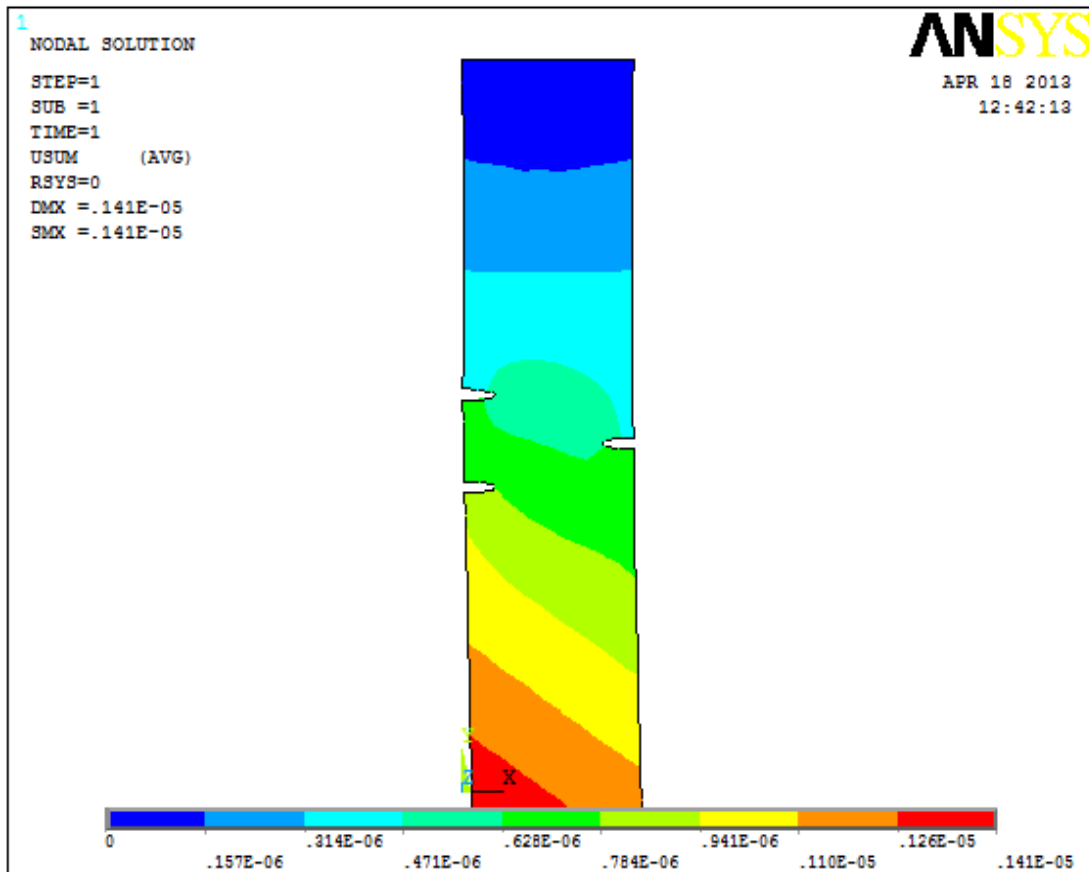
**General Postproc=>Plot Results=>Contour Plot=>Nodal Solution**

Στην καρτέλα που εμφανίζεται παρακάτω επιλέγουμε

**DOF Solution > Displacement vector sum** πατάμε **OK** και εμφανίζεται το σχήμα των μετατοπίσεων.



**ΤΟ ΣΧΗΜΑ ΤΩΝ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΕΩΝ ΕΙΝΑΙ ΤΟ ΠΑΡΑΚΑΤΩ:**



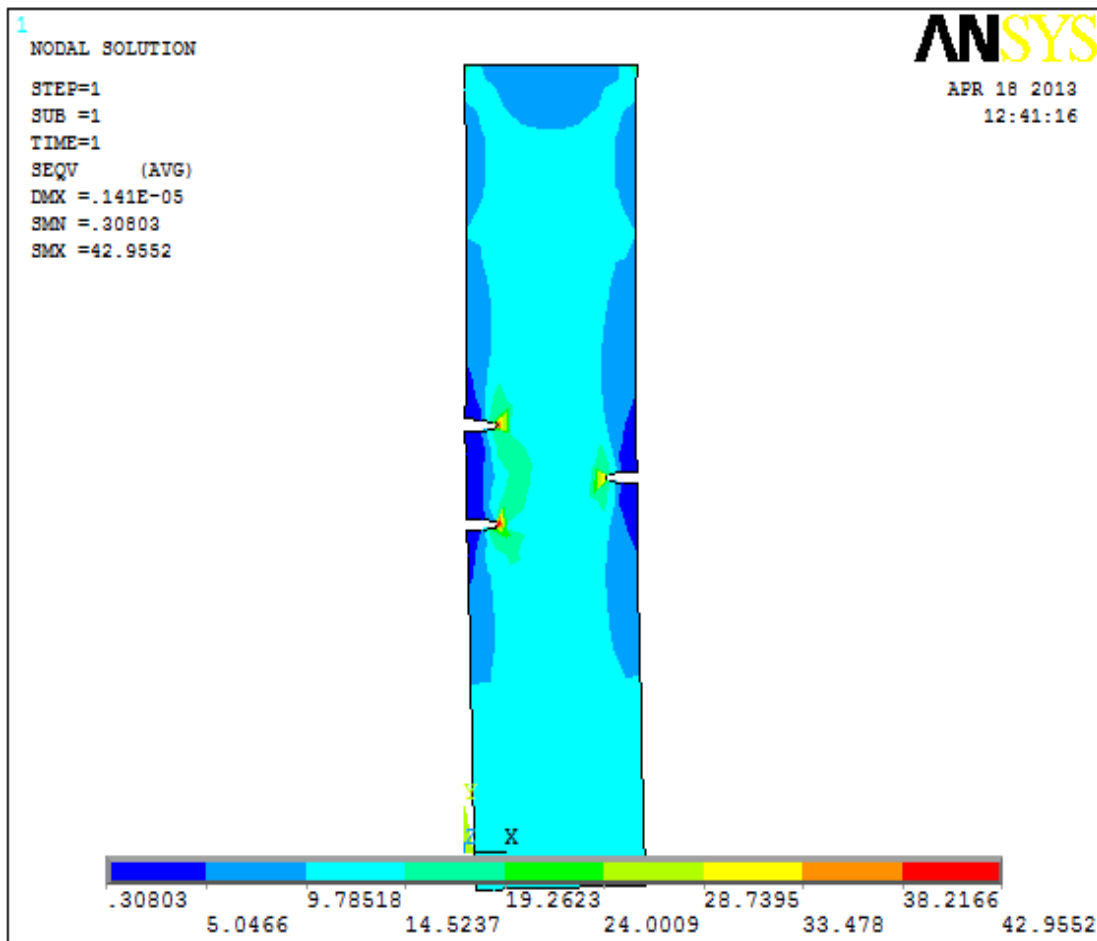
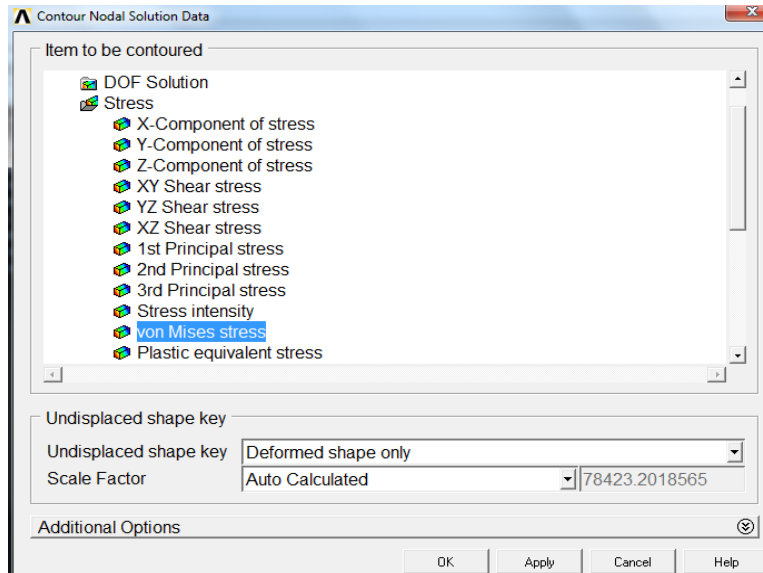
### Γ) ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΤΑΣΕΩΝ:

Εκτελούμε πάλι την ίδια διαδικασία από το αριστερό μενού :

**General Postproc => Plot Results =>Contour Plot =>Nodal Solution**

Και στην ίδια καρτέλα που εμφανίζεται αυτή τη φορά επιλέγουμε:

**Stress =>Von Misses Stress** και πατάμε **OK**. Το παρακάτω είναι το σχήμα των τάσεων.

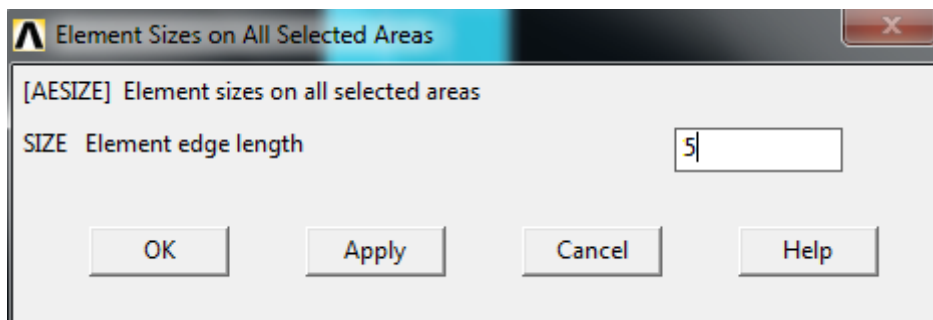


## ΒΗΜΑ 14<sup>ο</sup>: ΔΙΑΚΡΙΤΟΠΟΙΗΣΗ (ΔΕΥΤΕΡΟ ΠΛΕΓΜΑ)

Με σκοπό την σύγκλιση των αποτελεσμάτων το δοκίμιο διακριτοποιείται πάλι με διαφορετικό μέγεθος στοιχείων. Οπότε ακολουθούμε την εξής διαδικασία:

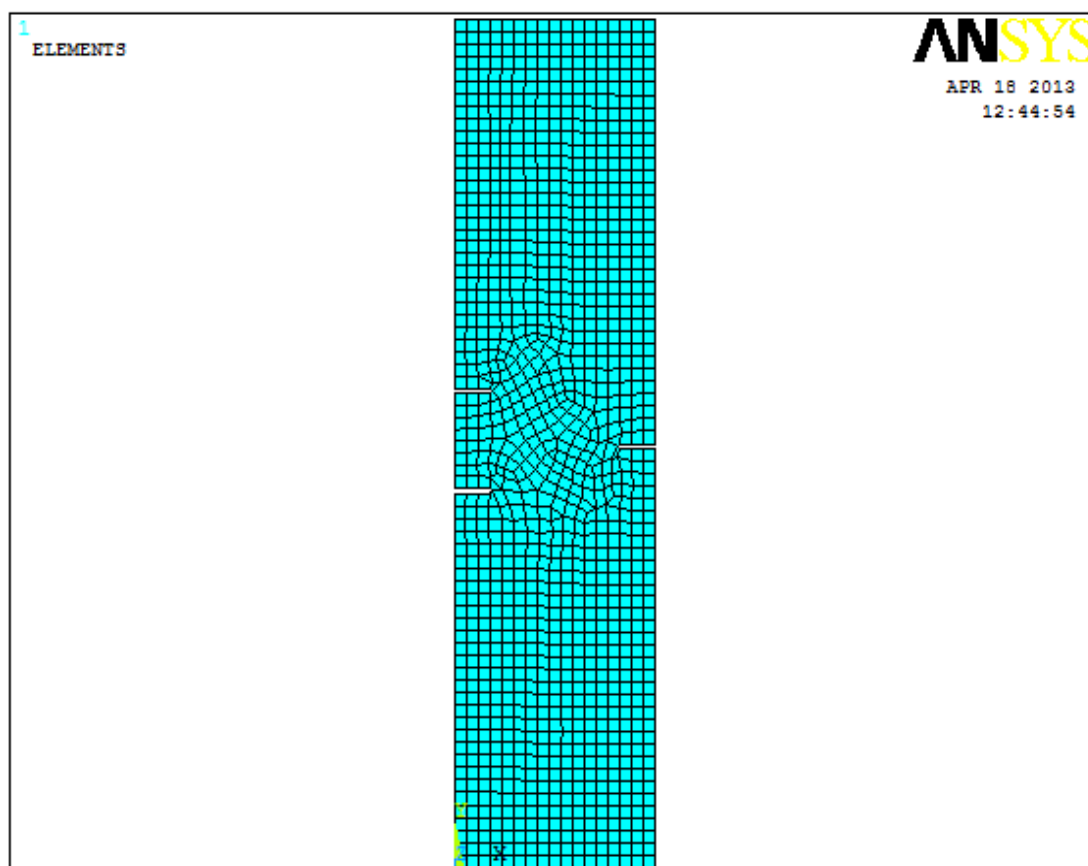
**Pre-processor=>Meshing=>Size Controls=>Manual Size=>Areas=>All Areas.**

Στην καρτέλα που εμφανίζεται συμπληρώνουμε το νέο μήκος στοιχείων.



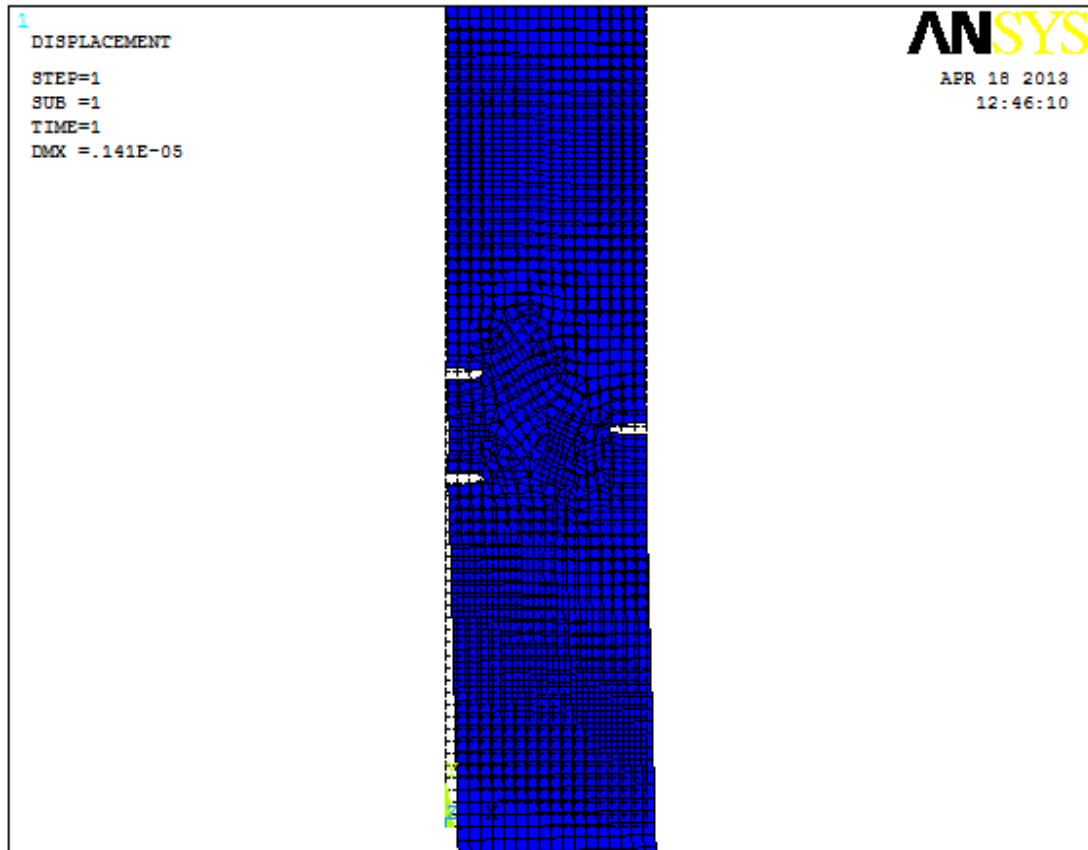
Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται το δοκίμιο με το δεύτερο μέγεθος πλέγματος όποτε με την ίδια διαδικασία έχουμε:

### ΔΙΑΚΡΙΤΟΠΟΙΗΣΗ:

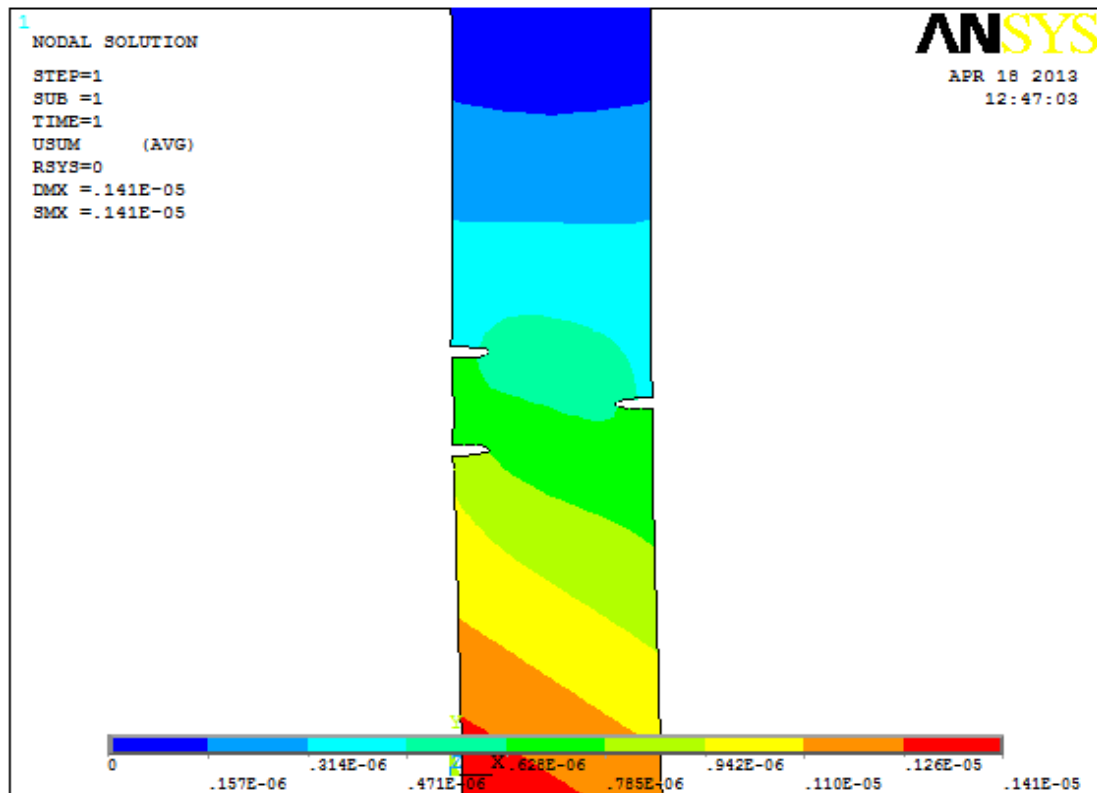


Λύνουμε το σύστημα και παίρνουμε τα δεύτερα αποτελέσματα:

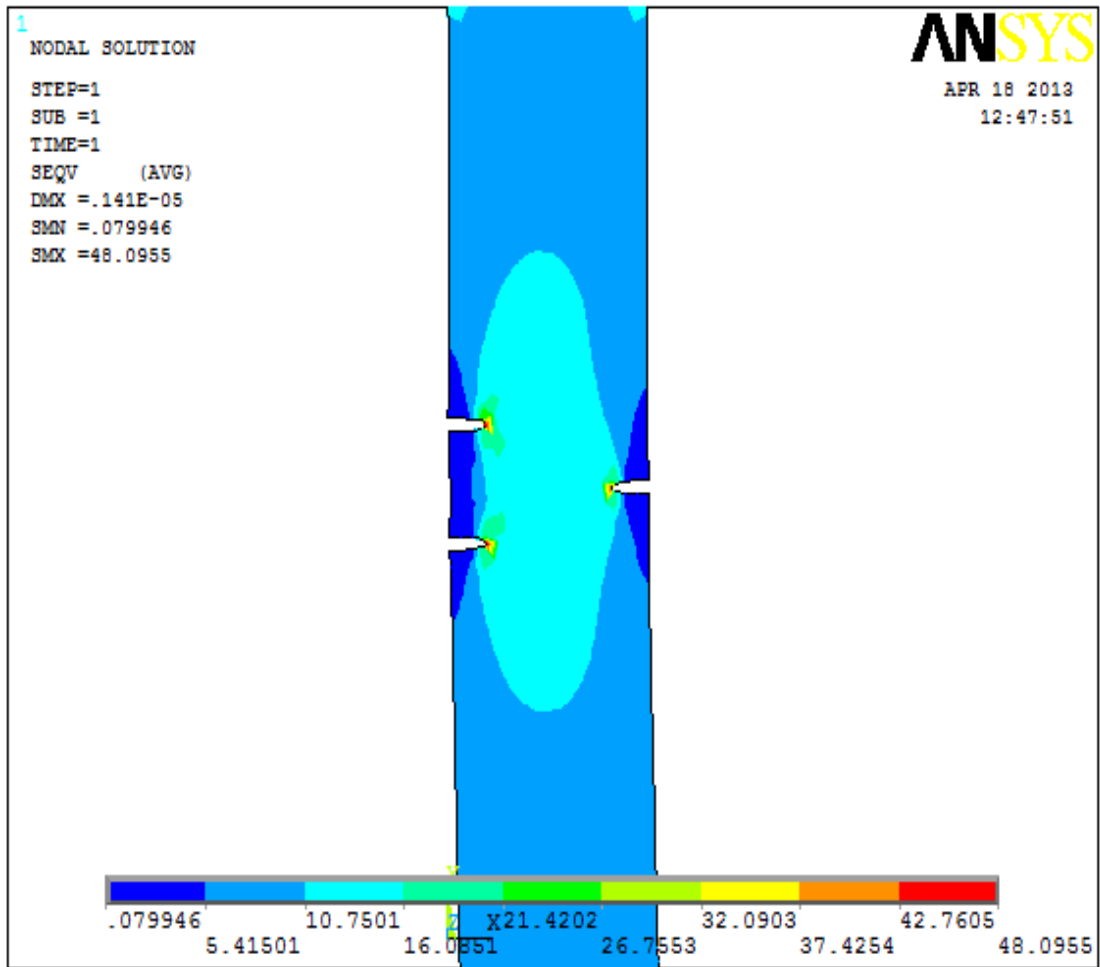
### A) ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟ ΣΩΜΑ:



### B) ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΕΙΣ:



### Γ) ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΑΣΕΩΝ:







## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- **ΤΣΑΜΑΣΦΥΡΟΣ Γ.Τ.** : Μηχανική Παραμορφώσιμων Σωμάτων Ι. - Εκδόσεις Συμμετρία.
- **ΤΣΑΜΑΣΦΥΡΟΣ Γ.Τ. ΚΑΙ ΘΕΟΤΟΚΟΓΛΟΥ Ε.** : Η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων, Αθήνα, 1994.
- **SAEED MOAVENI:** Minnesota State University, Mankato Prentice Hall, NJ1999- FEM (FINE ELEMENT ANALYSIS) theory and application with ansys.
- **ΔΡ. ΠΑΣΧΑΛΗΣ Κ. ΓΚΟΤΣΗΣ:** Πεπερασμένα στοιχεία, Ζήτη, Θεσσαλονίκη 2005.
- **ΔΡ. Π. Α. ΚΑΚΑΒΑΣ:** Η Μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων-Επιστημονικές εκδόσεις και λογισμικό, Πάτρα 2005.
- **JAMES W. DALLY & WILIAM F. RILEY:** Experimental stress analysis.
- **J.P.DEN HARTOG:** Strength of materials -Chapter X –Experimental-Elasticity.
- **STEPHEN P. TIMOSHENKO:** Strength of materials Part II- Advanced theory and problems -Mechanical properties of material.
- **ΔΡ. Γ. ΜΠΑΡΑΚΟΣ :** Εργαστηριακές σημειώσεις Μηχανική 2-Αντοχής υλικών.
- Σημειώσεις εργαστηρίου για την λειτουργία του πολωσιοσκοπίου.
- **T.E.THEORY:** An experimental introduction to photoelasticity.
- **ΠΟΛΩΣΙΟΣΚΟΠΙΟ:** gs 2 g.-Εργαστηριακές σημειώσεις-MannualΣυσκευής.
- [WWW.PLEXIGLAS WIKI.COM](http://WWW.PLEXIGLAS WIKI.COM)

