



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ  
ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Διπλωματική Εργασία

**Αναλυτική Διερεύνηση  
της Συμπεριφοράς Υποστυλωμάτων  
Οπλισμένου Σκυροδέματος  
υπό Κρουστική Φόρτιση**

**ΝΙΚΕΛΛΗΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ**

Επιβλέπων : ΖΕΡΗΣ ΧΡΗΣΤΟΣ

Αθήνα, 2012

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στον Τομέα Δομοστατικής της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω τον Επίκουρο Καθηγητή κ.Χρήστο Ζέρη για την ευκαιρία που μου έδωσε να εκπονήσω την συγκεκριμένη διπλωματική εργασία καθώς επίσης και για την πολύτιμη βοήθειά του κατά την διάρκεια της εκπόνησής της.

Νικέλλης Αλέξανδρος

## Περιεχόμενα

### **1) Αντικείμενο Διπλωματικής Εργασίας 1**

#### **2) Opensees 2**

Μορφοποίηση του Φορέα 3

Εντολές για τα υλικά του φορέα 5

Εντολές για τη δημιουργία της διατομής 9

Εντολή δημιουργίας μη γραμμικού στοιχείου (element) δοκού υποστυλώματος 14

Καταγραφείς απόκρισης του προσομοιώματος 15

Εντολές για την ανάλυση του προσομοιώματος 17

### **3) Θεωρητική διερεύνηση της συμπεριφοράς υποστυλωμάτων οπλισμένου σκυροδέματος από κρουστική φόρτιση 18**

Υπολογισμός  $P'_{op1}$ ,  $P'_{op2}$ ,  $L_{eff}$ ,  $P_d$  20

### **4) Επεξήγηση του κώδικα των προγραμμάτων εύρεσης διαγραμμάτων αλληλεπίδρασης ροπών και αξονικών δυνάμεων για ορθογωνικές διατομές σκυροδέματος (με χρήση συντελεστή πληρώσεως και συντελεστή κέντρου βάρους για το παραβολικό-ορθογωνικό διάγραμμα τάσεως της θλιβόμενης ζώνης του σκυροδέματος) 23**

Νόμος Σκυροδέματος 23

Πρόγραμμα MU 26

Πρόγραμμα MY 50

Πρόγραμμα Mcr 51

Διαγράμματα Αλληλεπίδρασης Ροπών και Αξονικών Δυνάμεων 53

### **5) Προγράμματα Fibers 55**

Νόμος Σκυροδέματος 55

Πρόγραμμα FibersMU 58

Πρόγραμμα FibersMY 60

Πρόγραμμα FibersMcr 61

Διαγράμματα Αλληλεπίδρασης Ροπών και Αξονικών Δυνάμεων 62

**6) Σύγκριση των Αποτελεσμάτων των Προγραμμάτων  
MU,MY,Mc<sub>r</sub>,FibersMU,FibersMY,FibersMc<sub>r</sub> 64**

**7) Πρόγραμμα Moment-Curvature 65**

**8) Θεωρητική Επίλυση – Αποτελέσματα 67**

**9) Αναλύσεις με Χρήση του OPENSEES 73**

N=0 kN 73

N=-500 kN 92

N=-1000 kN 111

**10) Συμπεράσματα 134**

**11) Βιβλιογραφία 136**

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α :** Κώδικες Προγραμμάτων Fortran

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β :** Κώδικας Opensees

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ:** Συντελεστής πληρώσεως και συντελεστής κέντρου βάρους για το παραβολικό-ορθογωνικό διάγραμμα τάσεως της θλιβόμενης ζώνης του σκυροδέματος

## Αντικείμενο Διπλωματικής Εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στον Τομέα Δομοστατικής της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του ΕΜΠ και έχει ως αντικείμενο την μελέτη της μηχανικής συμπεριφοράς υποστυλωμάτων οπλισμένου σκυροδέματος υπό κρουστική φόρτιση στο μέσον του ανοίγματός τους. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων Opensees.

Επίσης χρησιμοποιήθηκε και η μέθοδος του Leff που αποτελεί μια μεθοδολογία για την μελέτη της κρούσης δοκιμίων οπλισμένου σκυροδέματος από την οποία εξήχθησαν χρήσιμες σχέσεις για τον υπολογισμό του Leff και των αντοχών των υποστυλωμάτων.

Ακόμα φτιάχτηκαν προγράμματα σε γλώσσα προγραμματισμού fortran τα οποία υπολογίζουν διαγράμματα αλληλεπίδρασης ροπών και αξονικών δυνάμεων διατομών οπλισμένου σκυροδέματος καθώς επίσης και πρόγραμμα το οποίο υπολογίζει διαγράμματα ροπών-καμπυλοτήτων διατομών οπλισμένου σκυροδέματος.

## OpenSees

Στην παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων Opensees

Στη σύγχρονη μελέτη των κτιρίων απαιτείται προσομοίωση μέσω Η/Υ των κτιρίων ή των μελών τους και ανάλυση της απόκρισής τους σε κάθε είδους φορτία και μετακινήσεις στα οποία μπορεί να υποβληθούν. Με την υποστήριξη του National Science Foundation, το Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER) έχει αναπτύξει το Open System for Earthquake Engineering Simulation, OpenSees για συντομία, ως μια πλατφόρμα λογισμικού για την έρευνα και την εφαρμογή της προσομοίωσης για δομικά και γεωτεχνικά συστήματα.

Το OPENSEES παρέχει στον χρήστη μια αρκετά μεγάλη βιβλιοθήκη με υλικά και στοιχεία που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την προσομοίωση των κτιρίων καθώς επίσης μπορεί να πραγματοποιήσει μεγάλο εύρος στατικών και δυναμικών αναλύσεων γεγονός που το καθιστά εξαιρετικό εργαλείο στα χέρια του μηχανικού.

Μοναδικά ίσως μειονεκτήματα του OPENSEES αποτελούν η απουσία γραφικού περιβάλλοντος, η οποία βοηθάει στην προσομοίωση του μοντέλου, και το γεγονός ότι τα αποτελέσματα πρέπει να αναλύονται μέσω φύλλων excel ή matlab.

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται οι εντολές που χρησιμοποιήθηκαν για την μορφοποίηση του φορέα και την ανάλυσή του.

## Μορφοποίηση του Φορέα

Αρχικά πρέπει να ορίσουμε την γεωμετρία του φορέα δηλαδή τις διαστάσεις του , τους κόμβους και τα στοιχεία από τα οποία αποτελείται . Θα πρέπει επίσης να ορίσουμε τις απαραίτητες μετακινησιακές δεσμεύσεις του φορέα στους κόμβους του φορέα.

Λόγω της διπλής συμμετρίας της δοκού προσομοιώθηκε μόνο το μισό υποστύλωμα με μήκος 1,5m και τετραγωνική διατομή 0,35mΧ0,35m

### **Εντολή Basic Model Builder**

Αυτή η εντολή χρησιμοποιείται για να κατασκευαστεί το προσομοίωμα του φορέα. Μέσω της εντολής προσδιορίζεται ο αριθμός των διαστάσεων και των βαθμών ελευθερίας του φορέα

```
model basic -ndm 2 -ndf 3
```

Δηλαδή δηλώσαμε ότι το μοντέλο είναι δισδιάστατο και κάθε κόμβος έχει 3 βαθμούς ελευθερίας (δύο μετακινήσεις και μια στροφή)

### **Εντολή Node**

Μέσω αυτής της εντολής ορίζουμε τις συντεταγμένες των κόμβων του φορέα

πχ : node 1 0.15 0.0 με την εντολή αυτή ορίσαμε τον κόμβο 1 με συντεταγμένες (0.15 , 0.0)

Στον φορέα μας δηλώσαμε 10 nodes.

### **Εντολή Mass**

Μέσω αυτής της εντολής ορίζουμε την μάζα που αντιστοιχεί σε ένα κόμβο του προσομοιώματος

```
πχ : mass 1 0.03440 0.03440 0.0
```

με την εντολή αυτή ορίσαμε στον κόμβο 1 μάζα με τιμές 0.0344 για τους μετακινησιακούς βαθμούς ελευθερίας και μηδέν για το στροφικό βαθμό

Έχοντας δηλώσει 10 nodes στο υποστύλωμα που θα αναλύσουμε ουσιαστικά έχουμε κατανείμει την μάζα του υποστυλώματος. Το προσομοίωμά μας έχει δηλαδή την εξής μορφή :



Όπου στους κόμβους φαίνεται η μάζα που τους αναλογεί και οι κόμβοι συνδέονται μεταξύ τους με στοιχεία (elements)

### Εντολή fix

Μέσω αυτής της εντολής ορίζουμε τις δεσμεύσεις των κόμβων του φορέα.

Στο φορέα ορίζονται οι εξής δεσμεύσεις :

α) fix 1 1 1 0

Δηλαδή στον κόμβο 1 δεσμεύουμε τους μετακινησιακούς βαθμούς ελευθερίας

β) fix 10 0 0 1

Δηλαδή στον κόμβο 10 δεσμεύουμε μόνο τον στροφικό βαθμό ελευθερίας (κυλιόμενη πάκτωση)

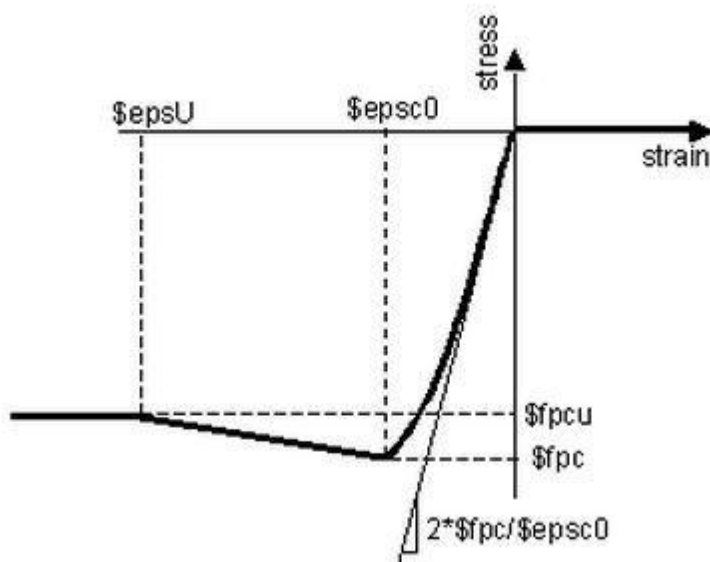


## Εντολές για τα υλικά του φορέα

Στον φορέα χρησιμοποιήθηκαν χάλυβας B500C για τους οπλισμούς , σκυρόδεμα C25 και περισιφιγμένο σκυρόδεμα υψηλότερων αντοχών.

### **Απερίσιφιγκτο σκυρόδεμα :**

Χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο CONCRETE01-Zero Tensile Strength. Το συγκεκριμένο μοντέλο δεν διαθέτει εφελκυστική αντοχή και ακολουθεί το νόμο τάσεων παραμορφώσεων του σκυροδέματος που προτάθηκε από τους Kent-Scott-Park.



Η εντολή που χρησιμοποιήθηκε για το απερίσιφιγκτο σκυρόδεμα είναι :

```
uniaxialMaterial Concrete01 $IDconcCover -$fc1u -$eps1u -$fc2u -$eps2u
```

όπου ορίζεται το υλικό με όνομα IDconcCover και χαρακτηριστικά :

fc1u : 25000 kPa

eps1u : -0,002

fc2u : 21250 kPa

eps2u :-0,0035

Το μειονέκτημα αυτού του μοντέλου είναι ότι μετά την παραμόρφωση αστοχίας eps2u η αντοχή του υλικού δεν μηδενίζεται αλλά διατηρείται

σταθερή. Επομένως μέχρι την αστοχία του πυρήνα της διατομής , όπου θεωρούμε και την αστοχία της διατομής, η επικάλυψη υπάρχει και η τάση της συνυπολογίζεται στην ολοκλήρωση των τάσεων της διατομής για την εύρεση των δυνάμεων και των ροπών , ενώ κανονικά η επικάλυψη έχει αστοχήσει.

### **Περισφιγμένο σκυρόδεμα :**

Για το περισφιγμένο σκυρόδεμα χρησιμοποιείται η ίδια εντολή με το απερίσφιγτο σκυρόδεμα όμως τα χαρακτηριστικά του νόμου τάσεων παραμορφώσεων του περισφιγμένου σκυροδέματος είναι καλύτερα από αυτά του απερίσφιγτου σκυροδέματος.

Το προσομοίωμα, στο οποίο έχουν βασισθεί οι σχετικές διατάξεις του Ελληνικού Κανονισμού και του Ευρωκώδικα 8 προτείνει τις ακόλουθες σχέσεις για τα μηχανικά χαρακτηριστικά του περισφιγμένου σκυροδέματος :

Μέγιστη θλιπτική αντοχή FCC:

$$FCC=(1+2,5*a*\omega_w)*FCUN , a*\omega_w\leq 0,1$$

$$FCC=(1,125+1,25*a*\omega_w)*FCUN , a*\omega_w>0,1$$

Παραμόρφωση για την μέγιστη θλιπτική αντοχή FCC :

$$ECC=(FCC/FCUN)^2 * ECUN$$

(όπου ECUN η παραμόρφωση του απερίσφιγτου σκυροδέματος για την μέγιστη θλιπτική αντοχή του απερίσφιγτου σκυροδέματος FCUN)

Παραμόρφωση για την τελική αντοχή FCCMAX :

$$ECCMAX=ECUNMAX+0,1* a*\omega_w$$

Όπου :

$$\omega_w = \frac{\text{ογκος συνδετήρων}}{\text{όγκος πυρήνα σκυροδέματος}} * \frac{F_{sy}}{F_c}$$

a : αποτελεσματικότητα της περίσφιξης με :

$$a=a_n * a_s$$

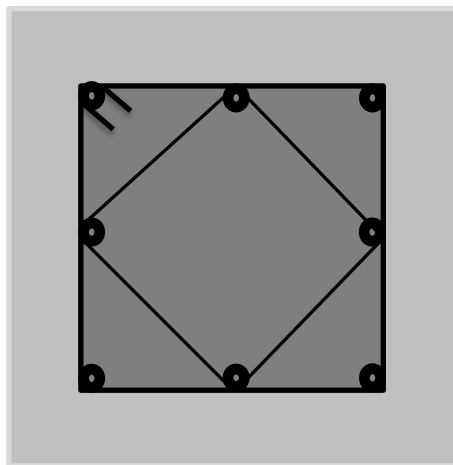
$a_n$  : αποτελεσματικότητα εντός της διατομής. Εκφράζει το ποσοστό της διατομής που περισφίγγεται και εξαρτάται από την εντός της διατομής διάταξη των συνδετήρων

$a_n = 1-8/3/n$  όπου n είναι το πλήθος των διαμήκων ράβδων που είναι δεμένες σε γωνία συνδετήρα

$a_n$  : αποτελεσματικότητα καθ' ύψος. Εξαρτάται από την απόσταση των συνδετήρων.

$a_s = (1-s/b/2)^2$  όπου  $s$  είναι η απόσταση των συνδετήρων και  $b$  είναι η διάσταση του πυρήνα της διατομής

Στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία το υποστύλωμα οπλίζεται με συνδετήρες  $\Phi 10/9$  όπως στο επόμενο σχήμα και η απόδοση της περισφιξης υπολογίζεται με βάση αυτή την όπλιση :



Η τελική αντοχή FCCMAX λαμβάνεται ίση με το 85% της μέγιστης αντοχής FCC

Η εντολή που χρησιμοποιήθηκε για το περισφιγμένο σκυρόδεμα είναι :

```
uniaxialMaterial Concrete01 $IDconcCore -$fc1c -$eps1c -$fc2c -$eps2c
```

όπου ορίζεται το υλικό με όνομα IDconcCore και χαρακτηριστικά :

fc1c : 34317 kPa

eps1c :-0,003769

fc2c : 29169 kPa

eps2c : -0,023316

## Χάλυβας :

Η εντολή που χρησιμοποιήθηκε για τον χάλυβα είναι :

uniaxialMaterial Steel01 3 500000.0 200000000.0 0.0

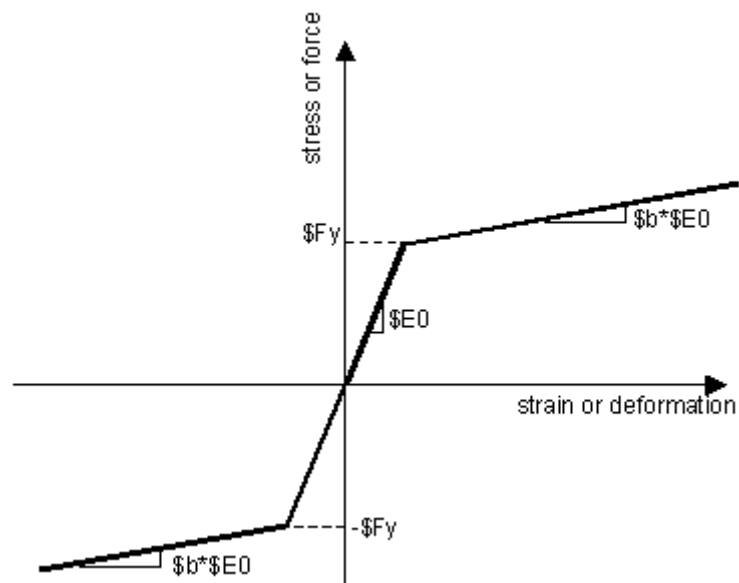
όπου ορίζεται το υλικό με όνομα Steel01 και τα χαρακτηριστικά :

$F_y = 500000$  kPa τάση διαρροής

$E_0 = 200000000$  kPa μέτρο ελαστικότητας του υλικού

Δεν δίνεται κράτυνση στον χάλυβα

Το διάγραμμα τάσεων παραμορφώσεων του χάλυβα :



## Εντολές για τη δημιουργία της διατομής

Αρχικά ορίζουμε κάποια σημεία της διατομής μας τα οποία θα τα χρησιμοποιήσουμε στη συνέχεια για να ορίσουμε την διατομή του υποστυλώματος

$coverY = HSec/2.0$  η απόσταση από τον άξονα z μέχρι το εξωτερικό σύνορο της επικάλυψης

$coverZ = BSec/2.0$  η απόσταση από τον άξονα y μέχρι το εξωτερικό σύνορο της επικάλυψης

$coreY = coverY - coverSec$  η απόσταση από τον άξονα z μέχρι το σύνορο της επικάλυψης και του πυρήνα της διατομής

$coreZ = coverZ - coverSec$  η απόσταση από τον άξονα y μέχρι το σύνορο της επικάλυψης και του πυρήνα της διατομής

Στη συνέχεια ορίζουμε τον αριθμό των ινών στις οποίες θα χωρίσουμε την διατομή κατά τη διεύθυνση του άξονα z και κατά την διεύθυνση του άξονα y

$nfCoreY = 50$  χωρίζουμε τον πυρήνα της διατομής σε 50 ίνες κατά τη διεύθυνση του άξονα y

$nfCoreZ = 50$  χωρίζουμε τον πυρήνα της διατομής σε 50 ίνες κατά τη διεύθυνση του άξονα z

$nfCoverY = 25$  χωρίζουμε την επικάλυψη της διατομής σε 50 ίνες κατά τη διεύθυνση του άξονα y

$nfCoverZ = 25$  χωρίζουμε την επικάλυψη της διατομής σε 50 ίνες κατά τη διεύθυνση του άξονα z

Ορίζουμε την διατομή του σκυροδέματος και τους οπλισμούς της διατομής.

Η εντολή που χρησιμοποιούμε είναι :

```
section fiberSec 1 {; # Define the fiber section
```

```
    # Define the core patch
```

```
    patch quadr $IDconcCore $nfCoreZ $nfCoreY -$coreY $coreZ -$coreY  
    -$coreZ $coreY -$coreZ $coreY $coreZ
```

```
    #
```

# Define the four cover patches

```
patch quadr $IDconcCover $nfCoverZ $nfCoverY -$coverY $coverZ -  
$scoreY $scoreZ $scoreY $scoreZ $coverY $coverZ
```

```
patch quadr $IDconcCover $nfCoverZ $nfCoverY -$scoreY -$scoreZ -  
$coverY -$coverZ $coverY -$coverZ $scoreY -$scoreZ
```

```
patch quadr $IDconcCover $nfCoverZ $nfCoverY -$coverY $coverZ -  
$coverY -$coverZ -$scoreY -$scoreZ -$scoreY $scoreZ
```

```
patch quadr $IDconcCover $nfCoverZ $nfCoverY $scoreY $scoreZ  
$scoreY -$scoreZ $coverY -$coverZ $coverY $coverZ
```

Μέσω των εντολών `patch quadr` δημιουργούμε τετράπλευρα στο χώρο και πρακτικά χωρίζουμε την διατομή στις τέσσερις επικαλύψεις και τον πυρήνα τα οποία και ορίζουμε στο χώρο. Για να ορίσουμε την διατομή οφείλουμε να ορίσουμε το υλικό από το οποίο αποτελείται η διατομή καθώς επίσης και των αριθμών των ινών στις οποίες έχουμε χωρίσει την διατομή.

πχ : patch quadr \$IDconcCover \$nfCoverZ \$nfCoverY -\$coverY \$coverZ -  
 \$scoreY \$scoreZ \$scoreY \$scoreZ \$coverY \$coverZ

Μέσω αυτής της εντολής ορίζουμε το τετράπλευρο με όνομα IDconcCover και το χωρίζουμε σε nfCoverZ ίνες κατά τη διεύθυνση του άξονα Z και σε nfCoverY ίνες κατά τη διεύθυνση του άξονα Y. Στη συνέχεια ορίζουμε το τετράπλευρο στο τοπικό σύστημα συντεταγμένων δίνοντας αντιωρολογιακά τα σημεία I,J,K,L που φαίνονται στο επόμενο σχήμα. Δηλαδή :

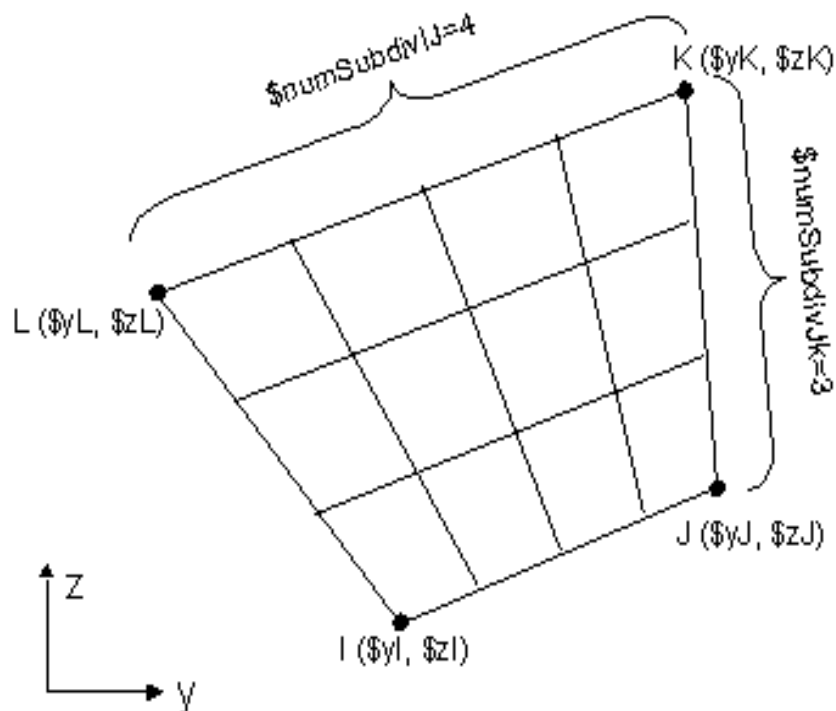
I = -\$coverY \$coverZ

J = -\$scoreY \$scoreZ

K = \$scoreY \$scoreZ

L = \$coverY \$coverZ

Έτσι ορίσαμε την άνω επικάλυψη της διατομής



Για να ορίσουμε τους οπλισμούς της διατομής χρησιμοποιούμε την εντολή :

```
# Define reinforcement layers
```

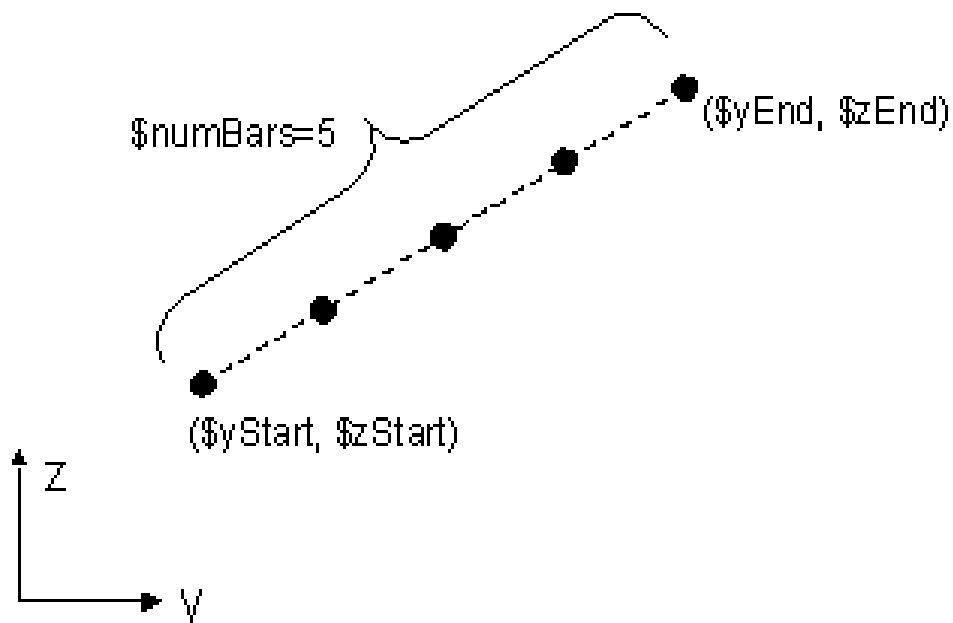
```
layer straight 3 3 $As $scoreY -$scoreZ $scoreY $scoreZ;# top layer reinforcement
```

```
layer straight 3 2 $As 0.0 -$scoreZ 0.0 $scoreZ; # middle layer reinforcement
```

```
layer straight 3 3 $As -$scoreY -$scoreZ -$scoreY $scoreZ; # bottom layer reinforcement
```

```
}; # end of fibersection definition
```

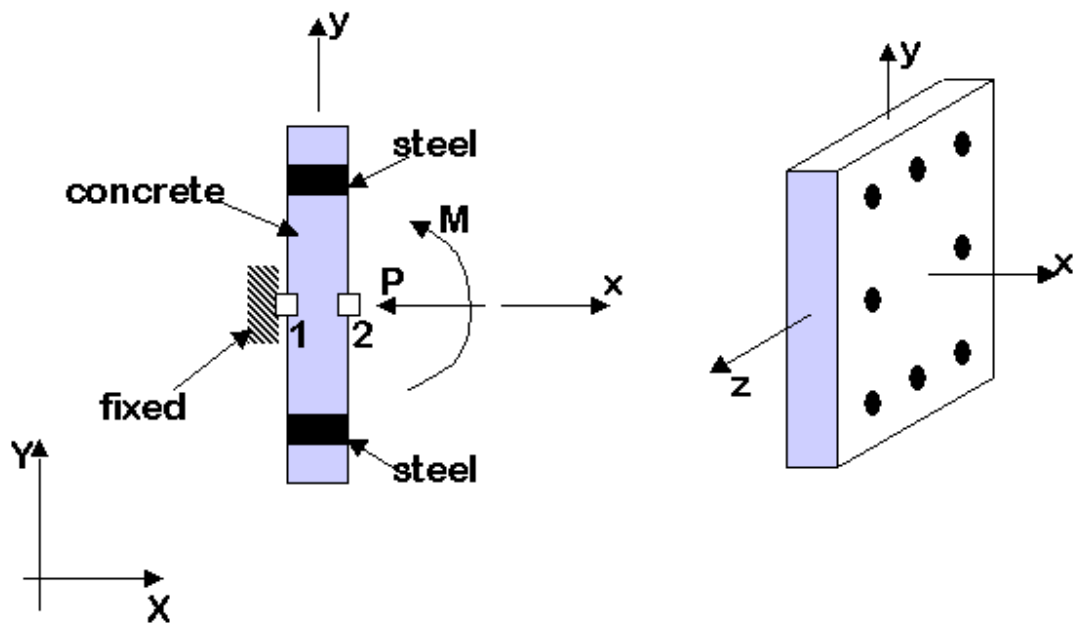
πχ : Μέσω της εντολής `layer straight 3 3 $As $scoreY -$scoreZ $scoreY $scoreZ` ορίζονται οι άνω οπλισμοί της διατομής οι οποίοι είναι από υλικό 3 ( τον χάλυβα που έχουμε ήδη ορίσει) , είναι 3 ράβδοι με εμβαδό διατομής  $A_s$  η κάθε μια και ισομοιράζονται στο ευθύγραμμο τμήμα που ορίζεται από τα σημεία  $(\$scoreY, -\$scoreZ)$  και  $(\$scoreY, \$scoreZ)$ .





### Εντολή Linear Transformation :

Χρησιμοποιήσαμε την εντολή αυτή έτσι ώστε να μεταφερθούμε από το τοπικό σύστημα αξόνων στο καθολικό. Στην περίπτωση μας όμως επειδή αναλύουμε μόνο ένα υποστυλωμα και επειδή η ανάλυσή μας είναι 2D οι τοπικοί άξονες του υποστυλώματος είναι και καθολικοί. Πιο συγκεκριμένα οι άξονες X, Y είναι καθολικοί άξονες και ο άξονας Z ορίζεται από τον κανόνα του δεξιού χεριού όπως δείχνει και το παρακάτω σχήμα. Ο άξονας X ενώνει τα elements και ο Y είναι κάθετος στον X εντός του επιπέδου.



## Εντολή δημιουργίας μη γραμμικού στοιχείου (element) δοκού υποστυλώματος

Χρησιμοποιήθηκε η εντολή :

```
element nonlinearBeamColumn $eleTag $iNode $jNode $numIntgrPts  
$secTag $transfTag <-iter $maxIters $tol>
```

πχ : `element nonlinearBeamColumn 1 1 2 10 1 1 20 1.0e-8`

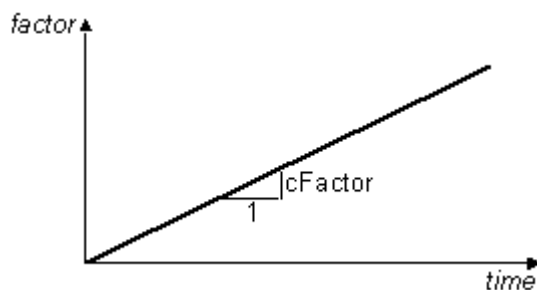
Η εντολή αυτή δημιουργεί το element “1” το οποίο ενώνει τους κόμβους 1 και 2 , έχει 10 σημεία ολοκλήρωσης στα οποία χρησιμοποιείται η προηγουμένως ορισμένη διατομή “1” και ο προηγουμένως ορισμένος γεωμετρικός μετασχηματισμός “1” και βρίσκει τις παραμορφώσεις με 20 επαναλήψεις και με ακρίβεια 1.0E-8.

### **Εντολή Linear TimeSeries :**

Η εντολή αυτή χρησιμοποιείται για την δημιουργία μιας ιστορίας όπου ο φορτικός συντελεστής έχει γραμμική εξάρτηση με τον χρόνο.

$$\lambda = f(t) = cFactor * t$$

όπου c ο γραμμικός συντελεστής και είναι προεπιλεγμένος ίσος με 1



### **Εντολή Pattern Plain :**

Με την εντολή αυτή δημιουργούμε ένα συνδυασμό φορτίσεων και τον επιβάλλουμε στο προσομοίωμά μας.

πχ : `set axialP 1000.0`

```
pattern Plain 1 Linear { nd FX FY MZ  
load 10 [expr -$axialP] 0.0 0.0}
```

Με την εντολή αυτή δημιουργείται το pattern Plain 1 που χρησιμοποιεί Linear Time Series και ασκεί θλιπτικό φορτίο 1000kN κατά τον άξονα X.

## Καταγραφείς απόκρισης του προσομοιώματος

Για να μπορέσουμε να δούμε τα αποτελέσματα των αναλύσεων που κάναμε μέσω του OPENSEES οφείλουμε να τα ζητήσουμε μέσω της εντολής recorder

**Εντολή Node Recorder :**

**recorder Node <-file \$fileName> <-xml \$fileName> <-binary \$fileName> <-time> <-node \$node1 \$node2 ...> -dof (\$dof1 \$dof2 ...) \$respType'**

<b>\$fileName</b>	Όνομα του αρχείου στο οποίο θα καταγράφονται τα αποτελέσματα
<b>-time</b>	Εντολή που καταγράφει το χρόνο της απόκρισης σε κάθε βήμα
<b>\$node1 \$node2 ..</b>	Αριθμοί των κόμβων των οποίων καταγράφεται η απόκριση τους
<b>\$dof1 dof2 ...</b>	Οι βαθμοί ελευθερίας των οποίων καταγράφονται οι αποκρίσεις
<b>\$respType</b>	Το είδος της απόκρισης που θα καταγράφεται

πχ : recorder Node -file nodeyall\_1000.out -time -node 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 -dof 2 disp

Με τη συγκεκριμένη εντολή καταγράφουμε την μετατόπιση των κόμβων 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 στον βαθμό ελευθερίας 2 , δηλαδή κατά τον άξονα Y και τα αποτελέσματα καταγράφονται στο αρχείο με όνομα «nodeyall».

## Εντολή Element Recorder :

Με την εντολή αυτή καταγράφεται η απόκριση ενός στοιχείου ή μιας ομάδας στοιχείων σε κάθε βήμα της ανάλυσης.

```
recorder Element <-file $fileName> <-xml $fileName> <-binary $fileName> <-time> <-ele ($ele1 $ele2 ...)> <-eleRange $startEle $endEle> $arg1 $arg2 ...
```

**\$fileName** Όνομα του αρχείου στο οποίο θα γίνει η καταγραφή της απόκρισης

**time** Ζητείται να καταγράφεται και ο χρόνος σε κάθε βήμα της απόκρισης

**\$ele1 \$ele2** Αριθμοί των στοιχείων στα οποία θα γίνεται η καταγραφή

**\$arg1 \$arg2** Το είδος της απόκρισης που επιθυμούμε να καταγράψουμε

πχ : recorder Element -file elem9\_1000.out -time -ele 9 globalForce

Με την εντολή αυτή καταγράφουμε τα εντατικά μεγέθη του στοιχείου 9 στο καθολικό σύστημα και τα αποτελέσματα καταγράφονται στο φάκελο με όνομα elem9\_1000

Εάν επιθυμούμε να καταγράψουμε τις τάσεις και τις παραμορφώσεις στο επίπεδο της διατομής τότε πρέπει να δώσουμε το ακριβές σημείο της διατομής στο οποίο θέλουμε να τις καταγράψουμε.

πχ : recorder Element -file ele9sec1StressStrainAPERISFIKTOANO.out -time -ele 9 section 1 fiber 0.175 0.0 \$IDconcCover stressStrain

Με την εντολή αυτή καταγράφουμε τη τάση και την παραμόρφωση της ακραίας άνω ίνας της διατομής «1», στο element 9. Δηλώνουμε το σημείο (οι αποστάσεις μετράνε από το κέντρο της διατομής) πάνω στην διατομή στην οποία θέλουμε να καταγράψουμε την τάση και την παραμόρφωση του απερίσφιγκτου σκυροδέματος (IDconcCover) και ζητάμε να καταγράφεται και ο χρόνος με την εντολή time. Τέλος τα αποτελέσματα καταγράφονται στον φάκελο με όνομα «ele9sec1StressStrainAPERISFIKTOANO».

## Εντολές για την ανάλυση του προσομοιώματος

Για την ανάλυση του προσομοιώματος πρέπει να δώσουμε κάποιες επιμέρους εντολές :

1. **ConstraintHandler** – Καθορίζει το πώς χειρίζεται το OPENSEES τις συνοριακές συνθήκες
2. **DOF\_Numberer** – Προσδιορίζει τη σχέση μεταξύ των αριθμών των εξισώσεων και των βαθμών ελευθερίας
3. **Integrator** – καθορίζει το βήμα για χρόνο  $t+dt$
4. **SolutionAlgorithm** – Καθορίζει τον αλγόριθμο με βάση τον οποίο θα λυθεί η μη γραμμική εξίσωση στο εκάστοτε χρονικό βήμα
5. **SystemOfEqn/Solver** – Καθορίζει πώς να αποθηκεύονται και να επιλύονται τα συστήματα των εξισώσεων μέσα στον αλγόριθμο επίλυσης
6. **Convergence Test** – Καθορίζει το πότε έχει επιτευχθεί σύγκλιση

Για τις στατικές αναλύσεις χρησιμοποιήσαμε Integrator “Load Step” και για την δυναμική ανάλυση Central Difference και Newmark Method και αλγόριθμο Newton.

### Εντολή Απόσβεσης Rayleigh

Το μητρώο απόσβεσης  $C$  ορίζεται σαν ένας αναλογικός συνδυασμός των μητρώων μάζας και δυσκαμψίας σύμφωνα με την σχέση  $C = \alpha M + \beta K_{init}$ .

$\alpha$  συντελεστής του μητρώου μάζας

$\beta$  συντελεστής του αρχικού μητρώου δυσκαμψίας

Για την εύρεση του μητρώου απόσβεσης χρησιμοποιήθηκαν η  $1^{\eta}$  και η  $3^{\eta}$  ιδιομορφή με λόγο απόσβεσης 5%.

### Εντολή wipe

Η εντολή αυτή χρησιμοποιείται για να σβήνουμε από την μνήμη του προγράμματος όλα τα έως τότε δημιουργημένα στοιχεία, προσομοιώματα και αποτελέσματα αναλύσεων.

## **Θεωρητική διερεύνηση της συμπεριφοράς υποστυλωμάτων οπλισμένου σκυροδέματος από κρουστική φόρτιση**

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η μηχανική συμπεριφορά διαφόρων υποστυλωμάτων οπλισμένου σκυροδέματος υπό εγκάρσια συγκεντρωμένη κρουστική φόρτιση και υπό αξονική συγκεντρωμένη φόρτιση. Η μελέτη βασίστηκε σε προηγούμενες έρευνες, σχετικές με την απόκριση του σκυροδέματος σε μονοαξονική θλίψη και εφελκυσμό, οι οποίες απέδειξαν ότι οι μηχανικές ιδιότητες του σκυροδέματος είναι ανεξάρτητες από τον ρυθμό επιβολής της φόρτισης. Επομένως στη παρούσα αριθμητική διερεύνηση θεωρούμε πως τα μηχανικά χαρακτηριστικά τόσο του σκυροδέματος όσο και του χάλυβα είναι ανεξάρτητα από την ταχύτητα επιβολής του εξωτερικού φορτίου και τον ρυθμό παραμόρφωσης που υφίσταται ο εξεταζόμενος φορέας, με αποτέλεσμα η όποια αλλαγή παρατηρείται στη συμπεριφορά του φορέα λόγω της ταχύτητας επιβολής του εξωτερικού φορτίου να αποδίδεται αποκλειστικά στις αδρανειακές δυνάμεις που αναπτύσσονται μέσα στη μάζα του φορέα (Cotsovos 2004, Cotsovos & Pavlovic 2005). Η υπόθεση αυτή έρχεται σε αντίθεση με την επικρατούσα αντίληψη του σχεδιασμού και έτσι δίνει εντελώς διαφορετική εξήγηση σε ό,τι αφορά τις αιτίες που προκαλούν την ανελαστική απόκριση των υποστυλωμάτων οπλισμένου σκυροδέματος κάτω από μεγάλες ταχύτητες επιβολής φορτίου και την εξέλιξη της ρηγμάτωσής τους.

Επίσης τονίζεται ότι τα πειραματικά συμπεράσματα από δοκιμές πρισματικών και κυλινδρικών δοκιμίων υπό κατακόρυφη συγκεντρωμένη δυναμική φόρτιση αδυνατούν να περιγράψουν τη γενικότερη συμπεριφορά του οπλισμένου σκυροδέματος υπό παρόμοιες φορτίσεις σε επίπεδο υλικού. Και αυτό, διότι το εκάστοτε στοιχείο οπλισμένου σκυροδέματος πρέπει να εξετάζεται ως ξεχωριστός φορέας-κατασκευή, του οποίου η απόκριση εξαρτάται από την γεωμετρία του, την αδρανειακή συμπεριφορά της μάζας του και τις συνοριακές συνθήκες που του έχουν επιβληθεί κατά τη διάρκεια της φόρτισης.

Η επιβολή ενός συγκεντρωμένου φορτίου σε ένα δομικό στοιχείο από σκυρόδεμα οδηγεί στο σχηματισμό ενός πολύπλοκου τριαξονικού εντατικού πεδίου το οποίο εντείνεται περαιτέρω λόγω της διαδικασίας της ρηγμάτωσης του σκυροδέματος και της επακόλουθης ανακατανομής των τάσεων (Cotsovos & Pavlovic 1995). Επιπλέον η επιβολή μιας εγκάρσιας δυναμικής φόρτισης σε ένα δομικό στοιχείο από οπλισμένο σκυρόδεμα οδηγεί στον σχηματισμό κύματος το οποίο διαδίδεται μέσω του σκυροδέματος μακριά από την περιοχή επιβολής του φορτίου. Η μορφή και η ταχύτητα διάδοσης του κύματος εξαρτάται από τις ιδιότητες των υλικών, ενώ η ένταση του κύματος σχετίζεται με την ένταση του επιβαλλόμενου φορτίου και των συνεπαγόμενων

αδρανειακών δυνάμεων. Ο σχηματισμός του κύματος επηρεάζει το τριαξονικό εντατικό πεδίο και προκαλεί συγκεντρώσεις τάσεων σε συγκεκριμένες περιοχές του φορέα. Αυτές οι συγκεντρώσεις τάσεων οδηγούν σε τοπική εφελκυστική αστοχία και ρηγμάτωση του σκυροδέματος. Η πολυπλοκότητα του παραπάνω εντατικού πεδίου γίνεται ακόμα πιο έντονη λόγω του γεγονότος ότι τα κύματα ανακλώνται στα σύνορα του φορέα αλλά και στις ρωγμές που δημιουργούνται στο σκυρόδεμα καθώς επίσης και στις στηρίξεις του φορέα. Γίνεται επομένως αντιληπτό ότι η διερεύνηση της συμπεριφοράς των στοιχείων από οπλισμένο σκυρόδεμα κάτω από δυναμική φόρτιση είναι ένα εξαιρετικά σύνθετο μη γραμμικό δυναμικό πρόβλημα και συγκεκριμένα ένα πρόβλημα διάδοσης κυμάτων μέσα σε μη συνεχές μέσο στο χώρο. Για το λόγο αυτό επικεντρώνουμε την προσοχή μας κυρίως στη μεταβολή του τριαξονικού εντατικού πεδίου εξαιτίας της δυναμικής φόρτισης.

Πειράματα, τα οποία έχουν γίνει σε δοκούς έδειξαν ότι για μικρές τιμές του δυναμικού φορτίου η συμπεριφορά της δοκού μοιάζει πολύ με την αντίστοιχη υπό στατική φόρτιση. Όσο όμως ο ρυθμός επιβολής της φόρτισης αυξάνεται, τόσο αυξάνεται και η συνολική δυσκαμψία της δοκού και η αντοχή της, ενώ παράλληλα μειώνεται η κατακόρυφη μετακίνηση αστοχίας στο μέσον της.

Ακόμα στα πειράματα αυτά παρατηρήθηκε ότι όσο ο ρυθμός της φόρτισης αυξάνεται, τόσο μειώνεται το μήκος της δοκού που επηρεάζεται από την φόρτιση αυτή. Τα όρια του μήκους αυτού είναι τα σημεία απότομης αλλαγής της κλίσης στο προφίλ των κατακόρυφων μετακινήσεων. Η αλλαγή στην κλίση δεν δικαιολογείται από την στήριξη του φορέα αλλά οφείλεται στην κατανομή του φορτίου μέσα στον φορέα λόγω της δυναμικής απόκρισης. Το μήκος αυτό ονομάζεται  $L_{eff}$  (effective response length) και εντός αυτού παρατηρείται μεγάλη αύξηση των κατακόρυφων μετακινήσεων και συγκέντρωση της ρηγμάτωσης. Επίσης όπως αναφέρεται και πιο πάνω το  $L_{eff}$  μειώνεται όσο αυξάνεται ο ρυθμός επιβολής της φόρτισης.

Πρακτικά, τα όρια του  $L_{eff}$  καθορίζονται για μεγάλους ρυθμούς επιβολής φόρτισης από την εμφάνιση εφελκυστικών ρωγμών στην πάνω παρειά της δοκού. Δηλαδή, τα σημεία από τα οποία ξεκινά η εμφάνιση εφελκυστικών ρωγμών στην πάνω παρειά είναι τα όρια του  $L_{eff}$ . Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, για μεγάλους ρυθμούς επιβολής φόρτισης, το στατικό σύστημα της δοκού να αλλάζει και η δοκός να συμπεριφέρεται σαν αμφίπακτη με μήκος ίσο με το  $L_{eff}$ , σε αντίθεση με την περίπτωση τόσο της στατικής φόρτισης όσο και της δυναμικής με μικρό ρυθμό επιβολής του φορτίου, κατά τις οποίες η δοκός λειτουργούσε σαν αμφιαρθρωτή με μήκος ίσο με το πραγματικό της μήκος  $L$ .

Οι παραπάνω παρατηρήσεις, οι οποίες έγιναν για δοκούς, αποδεικνύεται στην εργασία αυτή ότι παρατηρούνται και στην περίπτωση των υποστυλωμάτων.

## Υπολογισμός $P'_{op1}$ , $P'_{op2}$ , $L_{eff}$ , $P_d$

Ορίζονται δύο οριακές τιμές του ρυθμού επιβολής του φορτίου:

α) Η  $P'_{op1}$  είναι η τιμή εκείνη του ρυθμού μέχρι την οποία το υποστούλωμα συμπεριφέρεται ως αμφιέρειστο μήκους  $L$ .

β) Η  $P'_{op2}$  είναι η τιμή του ρυθμού από την οποία και μετά το υποστούλωμα συμπεριφέρεται ως αμφίπακτο μήκους  $L_{eff}$ .

Για ρυθμούς μεταξύ  $P'_{op1}$  και  $P'_{op2}$  οι τιμές της αντοχής  $P_d$  του υποστυλώματος προκύπτουν μέσω γραμμικής παρεμβολής.

Για τον υπολογισμό των οριακών αυτών τιμών του ρυθμού επιβολής του φορτίου αλλά και των αντίστοιχων τιμών τόσο του  $L_{eff}$  όσο και της αντοχής  $P_d$  του υποστυλώματος είναι απαραίτητη η γνώση των συντελεστών  $\alpha$  και  $\beta$ . Ο συντελεστής  $\alpha$  ορίζεται ως ο λόγος της ροπής ρηγμάτωσης,  $M_{cr}$ , προς την ροπή αντοχής,  $M_u$ , του υποστυλώματος δηλαδή  $\alpha = M_{cr} / M_u$ . Ο συντελεστής  $\beta$  είναι ο λόγος της αρνητικής ροπής αντοχής,  $M_u'$ , προς την αντίστοιχη θετική  $M_u$ , δηλαδή  $\beta = M_u' / M_u$ . Στην περίπτωση μας εξετάζουμε υποστυλώματα με συμμετρικό σπλισμό, επομένως  $M_u' = M_u$  και  $\beta = 1$ .

Η πρώτη ιδιοσυχνότητα του υποστυλώματος δίνεται από τη σχέση:

$$\omega_1 = (\pi/L)^2 \cdot \sqrt{EI/\rho A} \text{ όπου : } L: \text{ το μήκος του υποστυλώματος (m)}$$

$E$ : το μέτρο ελαστικότητας του σκυροδέματος (Pa)

$I$ : η ροπή αδράνειας της διατομής ( $m^4$ )

$\rho$ : η πυκνότητα του σκυροδέματος ( $kg/m^3$ )

$A$ : το εμβαδό της διατομής ( $m^2$ )

Η πρώτη ιδιοπερίοδος δίνεται από την σχέση:  $T_1 = 2\pi/\omega_1$  (sec)

Όταν η διάρκεια της φόρτισης είναι μικρότερη από την ιδιοπερίοδο (άρα έχουμε μεγάλους ρυθμούς φόρτισης) τότε η αστοχία εμφανίζεται πριν προλάβει το υποστούλωμα να ταλαντωθεί πλήρως. Για διάρκεια φόρτισης ίση ή μεγαλύτερη από την ιδιοπερίοδο (δηλαδή για μικρότερους ρυθμούς φόρτισης) το υποστούλωμα αναμένεται να εμφανίσει φέρουσα ικανότητα ίση με αυτή που έχει υπό στατική φόρτιση. Επομένως ο ρυθμός επιβολής που αντιστοιχεί σε διάρκεια φόρτισης ίση με την ιδιοπερίοδο  $T_1$  (δηλαδή το  $P'_{op1}$ ) αναμένεται ίσος με το λόγο της στατικής φέρουσας ικανότητας προς την ιδιοπερίοδο  $T_1$ . Δηλαδή:  $P'_{op1} = \max P_s / T_1$

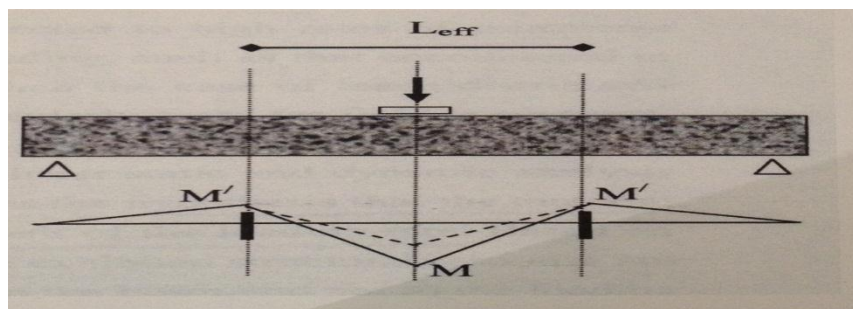


Για ρυθμό επιβολής μικρότερο ή ίσο του  $P'_{op1}$ , η φέρουσα ικανότητα  $P_d$  δίνεται από τη σχέση:  $P_d=4M/L$  (σαν αμφιέρειστο υποστύλωμα υπό στατική φόρτιση:  $M=PL/4$ ).

Για ρυθμό επιβολής μεγαλύτερο ή ίσο από  $P'_{op2}$  το υποστύλωμα συμπεριφέρεται ως αμφίπακτο με μήκος το εκάστωτε  $L_{eff}$  (με αύξηση του ρυθμού επιβολής παρατηρείται μείωση του  $L_{eff}$ ).

### Εύρεση του $P'_{op2}$

Για ένα αμφίπακτο υποστύλωμα με μήκος  $L_{eff}$  έχουμε ότι



$$M = P_d * L_{eff}/4 - M' \text{ όπου:}$$

$$M' = \alpha * M_u' = \alpha * \beta * M_u$$

$$M = \alpha * M_u$$

$$P_d = P' * \Delta t_c$$

$$L_{eff} = 2 * u'_w * \Delta t_c \text{ (1) με ταχύτητα διάδοσης του κύματος στο σκυρόδεμα}$$

$$u'_w = \sqrt{G/\rho} \text{ όπου } G=[E/(2+2\nu)] \text{ και } \rho \text{ η πυκνότητα του σκυροδέματος}$$

$$\text{Οπότε : } \Delta t_c = \sqrt{4*\alpha*\beta*M_u/(P'*u_w)}$$

$$\text{Τελικά από την (1) προκύπτει ότι: } P'_{op2} = 16*\alpha*\beta * M_u * u'_w / L^2$$

Για ρυθμό επιβολής μεγαλύτερο του  $P'_{op2}$ , η φέρουσα ικανότητα  $P_d$  δίνεται από την σχέση:  $P_d=4*(1+\beta)*M_u/ L_{eff}$

Για ρυθμό επιβολής μεταξύ  $P'_{op1}$  και  $P'_{op2}$  η φέρουσα ικανότητα  $P_d$  προκύπτει μέσω γραμμικής παρεμβολής.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετάμε τη συμπεριφορά συγκεκριμένων υποστυλωμάτων από οπλισμένο σκυρόδεμα υπό εγκάρσια κρουσική φόρτιση που κυμαίνεται από 200kN/sec μέχρι 1000000kN/sec σε συνδυασμό με την εκάστοτε αξονική φόρτιση του υποστυλώματος.

Η παραπάνω θεωρητική προσέγγιση συνοψίζεται στο περιεχόμενο του πίνακα που ακολουθεί:

Loading Rate (P')	$\Delta t_c$	$L_{eff}$	maxPd
200 kN/sec	$\max P_s / P'$	$2 * \Delta t_c * u'_w > 2,7 \text{ m}$	$4 * M_U / L$
2000 kN/sec	$\max P_s / P'$	$2 * \Delta t_c * u'_w > 2,7 \text{ m}$	$4 * M_U / L$
$P'_{op1}$	$\max P_s / P'_{op1}$	$2 * \Delta t_c * u'_w > 2,7 \text{ m}$	$4 * M_U / L$
20000 kN/sec			Γραμ. παρεμβολή
$P'_{op2}$	$\sqrt{4 * \alpha * \beta * M_U / (P'_{op2} * u'_w)}$	$2 * \Delta t_c * u'_w = 2,7 \text{ m}$	$4 * (1 + \beta) * M_U / L$
200000 kN/sec	$\sqrt{4 * \alpha * \beta * M_U / (P' * u'_w)}$	$2 * \Delta t_c * u'_w < 2,7 \text{ m}$	$4 * (1 + \beta) * M_U / L$
1000000 kN/sec	$\sqrt{4 * \alpha * \beta * M_U / (P' * u'_w)}$	$2 * \Delta t_c * u'_w < 2,7 \text{ m}$	$4 * (1 + \beta) * M_U / L$

**Επεξήγηση του κώδικα των προγραμμάτων εύρεσης διαγραμμάτων αλληλεπίδρασης ροπών και αξονικών δυνάμεων για ορθογωνικές διατομές σκυροδέματος (με χρήση συντελεστή πληρώσεως και συντελεστή κέντρου βάρους για το παραβολικό-ορθογωνικό διάγραμμα τάσεως της θλιβόμενης ζώνης του σκυροδέματος)**

**ΝΟΜΟΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ**

**Απερίσφιγκτο Σκυρόδεμα:**

Στα δεδομένα του προγράμματος έχουμε την δυνατότητα να δηλώσουμε τα χαρακτηριστικά του απερίσφιγκτου σκυροδέματος που επιθυμούμε να χρησιμοποιήσουμε.

$FCUN=25000$  kPa : Μέγιστη τάση απερίσφιγκτου σκυροδέματος

$ECUN=-0.002$  : Παραμόρφωση του σκυροδέματος που αντιστοιχεί στην μέγιστη τάση του απερίσφιγκτου σκυροδέματος

$ECUNMAX=-0.0035$  : Μέγιστη παραμόρφωση απερίσφιγκτου σκυροδέματος

**Περισφιγμένο Σκυρόδεμα :**

Στα δεδομένα του προγράμματος έχουμε την δυνατότητα να δηλώσουμε τα χαρακτηριστικά του περισφιγμένου σκυροδέματος που επιθυμούμε να χρησιμοποιήσουμε.

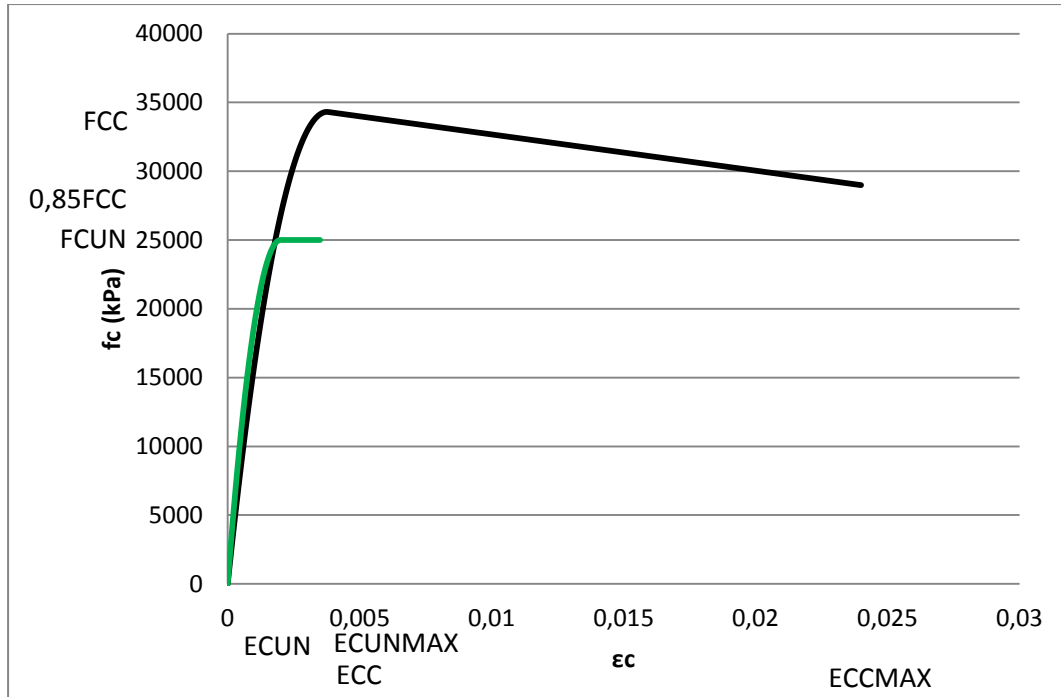
$FCC=34317$  kPa : Μέγιστη τάση περισφιγμένου σκυροδέματος

$ECC=-0,003769$  : Παραμόρφωση του σκυροδέματος που αντιστοιχεί στην μέγιστη τάση του περισφιγμένου σκυροδέματος

$ECCMAX=-0,023316$  : Μέγιστη παραμόρφωση περισφιγμένου σκυροδέματος

Ο κλάδος του νόμου τάσεων-παραμορφώσεων από παραμόρφωση 0 έως την παραμόρφωση  $ECC$  είναι παραβολή της μορφής  $y=ax^2+bx+c$

Ο φθίνων κλάδος του νόμου τάσεων-παραμορφώσεων αρχίζει από τάση  $FCC$  και καταλήγει σε τάση  $0,85FCC$  (η οποία αντιστοιχεί σε παραμόρφωση  $ECCMAX$ )



Το προσομοίωμα, στο οποίο έχουν βασισθεί οι σχετικές διατάξεις του Ελληνικού Κανονισμού και του Ευρωκώδικα 8 προτείνει τις ακόλουθες σχέσεις για τα μηχανικά χαρακτηριστικά του περισιφισμένου σκυροδέματος :

$$FCC = (1 + 2,5 \cdot a \cdot \omega_w) \cdot FCUN \quad , \quad a \cdot \omega_w \leq 0,1$$

$$FCC = (1,125 + 1,25 \cdot a \cdot \omega_w) \cdot FCUN \quad , \quad a \cdot \omega_w > 0,1$$

$$ECC = (FCC / FCUN)^2 \cdot ECUN$$

$$ECCMAX = ECUNMAX + 0,1 \cdot a \cdot \omega_w$$

Όπου :

$$\omega_w = \frac{\text{όγκος συνδετήρων}}{\text{όγκος πυρήνα σκυροδέματος}} \cdot \frac{F_{sy}}{F_c}$$

a : αποτελεσματικότητα της περίσφιξης με :

$$a = a_n \cdot a_s$$

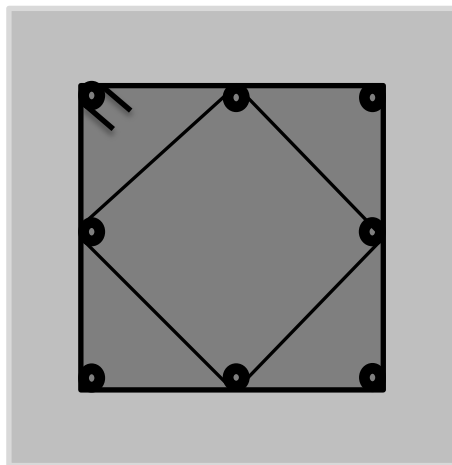
$a_n$  : αποτελεσματικότητα εντός της διατομής. Εκφράζει το ποσοστό της διατομής που περισιφίγεται και εξαρτάται από την εντός της διατομής διάταξη των συνδετήρων

$a_n = 1 - 8/3/n$  όπου n είναι το πλήθος των διαμήκων ράβδων που είναι δεμένες σε γωνία συνδετήρα

$a_s$  : αποτελεσματικότητα καθ' ύψος. Εξαρτάται από την απόσταση των συνδετήρων.

$a_s = (1-s/b/2)^2$  όπου  $s$  είναι η απόσταση των συνδετήρων και  $b$  είναι η διάσταση του πυρήνα της διατομής

Στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία το υποστύλωμα οπλίζεται με συνδετήρες  $\Phi 10/9$  όπως στο σχήμα:



## Πρόγραμμα ΜΥ

Στο συγκεκριμένο πρόγραμμα «αγκυρώνουμε» στη στάθμη της πλέον θλιβόμενης ίνας σκυροδέματος σε κάποια παραμόρφωση (ECU1) και βρίσκουμε τα ζεύγη ροπών και αξονικών δυνάμεων για παραμορφώσεις (EC2) της πλέον εφελκυσμένης ίνας σκυροδέματος της διατομής από 0 έως την παραμόρφωση EC2MAX, παραμόρφωση για την οποία ο πλέον εφελκυσμένος χάλυβας της διατομής αστοχεί (παραμόρφωση για τον χάλυβα ίση με  $ES2(L)=0.07$ ).

Ο κώδικας χωρίζεται σε τρεις περιπτώσεις ανάλογα με το βάθος της θλιβόμενης ζώνης του σκυροδέματος. Στη συνέχεια σε κάθε περίπτωση και για την εκάστοτε παραμορφωσιακή κατάσταση της διατομής μέσω της ισοδυναμίας των εσωτερικών και εξωτερικών δυνάμεων βρίσκουμε την αξονική δύναμη και την αντίστοιχη ροπή ( ως προς το κέντρο της διατομής και με θετική φορά την αντιωρολογιακή φορά) που οδηγούν την διατομή σε αστοχία.

### Εύρεση παραμορφωσιακής κατάστασης διατομής :

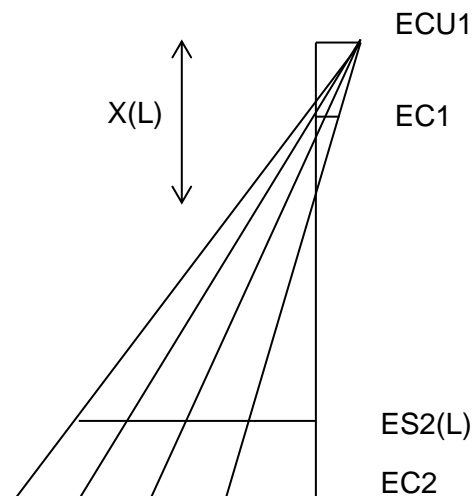
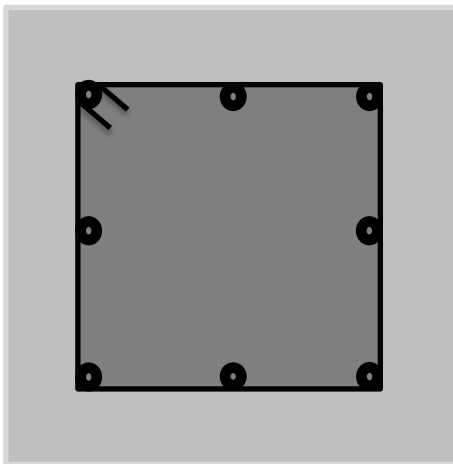
DO EC2=0.0,EC2MAX,STEP

$X(L)=ABS(ECU1)*h/(ABS(EC2)+ABS(ECU1))$

$EC1=(X(L)-C)*ECU1/X(L)$

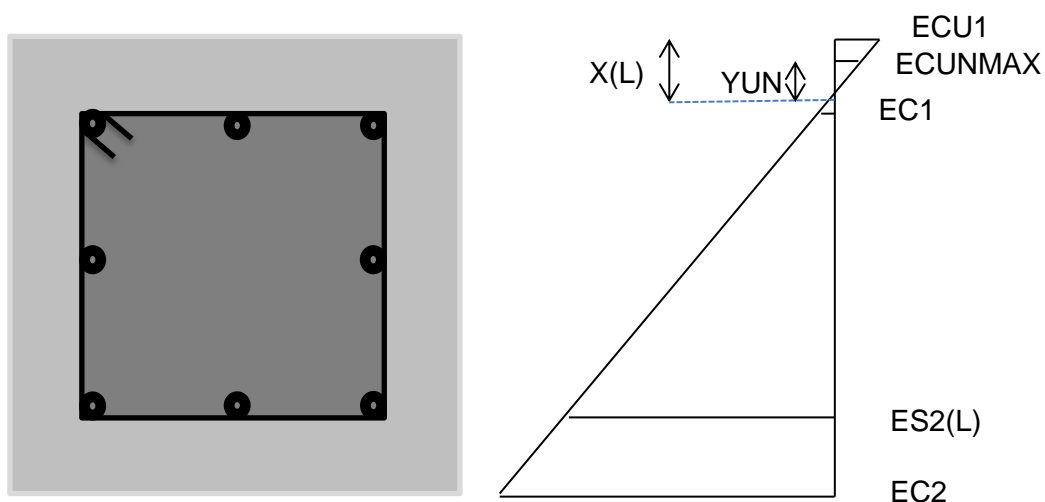
$ES2(L)=ABS(ECU1)*(d-X(L))/X(L)$

Μέσω αυτού του βρόχου δίνουμε διάφορες τιμές στην παραμόρφωση (EC2) της πλέον εφελκυσμένης ίνας του σκυροδέματος (από 0 έως EC2MAX με βήμα STEP=1/50\*EC2MAX), έχοντας «αγκυρώσει» σε κάποια παραμόρφωση (ECU1) στην πλέον θλιβόμενη ίνα του σκυροδέματος (την τιμή της ECU1 η οποία δίνει τη μέγιστη ροπή για την οποία αστοχεί η διατομή και στην οποία «αγκυρώνουμε» την βρίσκουμε μέσω του προγράμματος MY) , και βρίσκουμε το βάθος της θλιβόμενης ζώνης του σκυροδέματος X(L) , την παραμόρφωση EC1 της πλέον θλιβόμενης ίνας του περισφιγμένου σκυροδέματος και την παραμόρφωση (ES2(L)) του πλέον εφελκυσμένου χάλυβα.



## 1<sup>η</sup> Περίπτωση

Το βάθος της θλιβόμενης ζώνης  $X(L)$  εντός της άνω επικάλυψης



- α)  $ECU1 < ECUN$

A: συντελεστής πλήρωσης για παραμόρφωση σκυροδέματος μικρότερη του  $ECUN(=0.002)$

Z: συντελεστής κέντρου βάρους για το παραβολικό-ορθογωνικό διάγραμμα τάσεως της θλιβόμενης ζώνης του σκυροδέματος για παραμόρφωση μικρότερη του  $ECUN(=0.002)$

FCUN1: δύναμη σκυροδέματος

RMCUN1: ροπή σκυροδέματος

- β)  $ECUN(=0.002) < ECU1 < ECUNMAX(=0.0035)$

A: συντελεστής πλήρωσης για παραμόρφωση σκυροδέματος μεγαλύτερη του  $ECUN(=0.002)$  και μικρότερη του  $ECUNMAX(=0.0035)$ .

PARANOMZ: παρανομαστής του συντελεστή κέντρου βάρους για το παραβολικό-ορθογωνικό διάγραμμα τάσεως της θλιβόμενης ζώνης του



σκυροδέματος για παραμόρφωση μεγαλύτερη του  $ECUN(=0.002)$  και μικρότερη του  $ECUNMAX(=0.0035)$ .

Z: συντελεστής κέντρου βάρους για το παραβολικό-ορθογωνικό διάγραμμα τάσεως της θλιβόμενης ζώνης του σκυροδέματος για παραμόρφωση μεγαλύτερη του  $ECUN(=0.002)$  και μικρότερη του  $ECUNMAX(=0.0035)$ .

FCUN1: δύναμη σκυροδέματος

RMCUN1: ροπή σκυροδέματος

- γ)  $ECU1 > ECUNMAX(=0.0035)$

$YUN=ABS(ECUNMAX)*X(L)/ABS(ECU1)$  το ύψος στο οποίο η παραμόρφωση του σκυροδέματος είναι 0.0035( μετράει από το τέλος του X(L))

A: συντελεστής πλήρωσης για παραμόρφωση σκυροδέματος μεγαλύτερη του  $ECUN(=0.002)$  και μικρότερη του  $ECUNMAX(=0.0035)$ .

PARAZ: παρανομαστής του συντελεστή κέντρου βάρους για το παραβολικό-ορθογωνικό διάγραμμα τάσεως της θλιβόμενης ζώνης του σκυροδέματος για παραμόρφωση ίση με  $ECUNMAX(=0.0035)$

Z: συντελεστής κέντρου βάρους για το παραβολικό-ορθογωνικό διάγραμμα τάσεως της θλιβόμενης ζώνης του σκυροδέματος για παραμόρφωση μεγαλύτερη του  $ECUN(=0.002)$  και μικρότερη του  $ECUNMAX(=0.0035)$

FCUN1: δύναμη απερίσφιγκτου σκυροδέματος

RMCUN1: ροπή απερίσφιγκτου σκυροδέματος

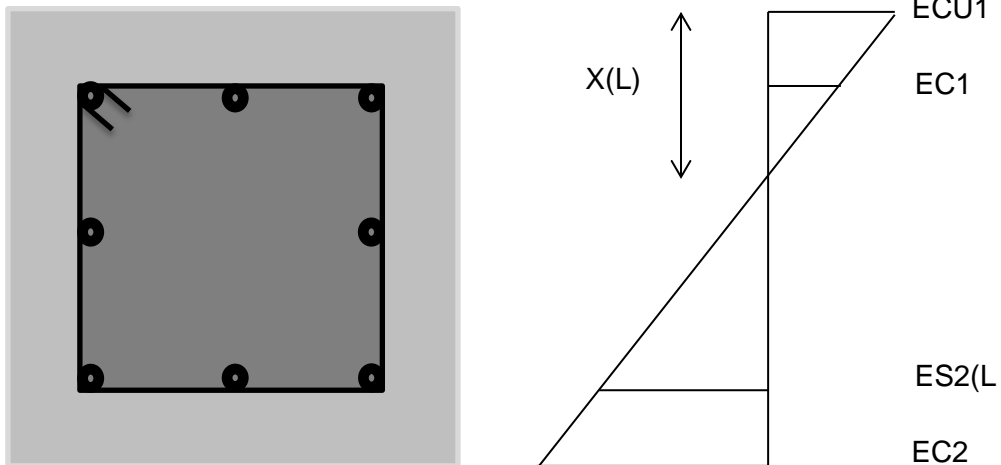
Και στις τρεις περιπτώσεις παραμόρφωσης το περισφιγμένο σκυρόδεμα δεν ενεργοποιείται ( είναι υπό εφελκυσμό) οπότε:

FCCONFINED=0 δύναμη περισφιγμένου σκυροδέματος

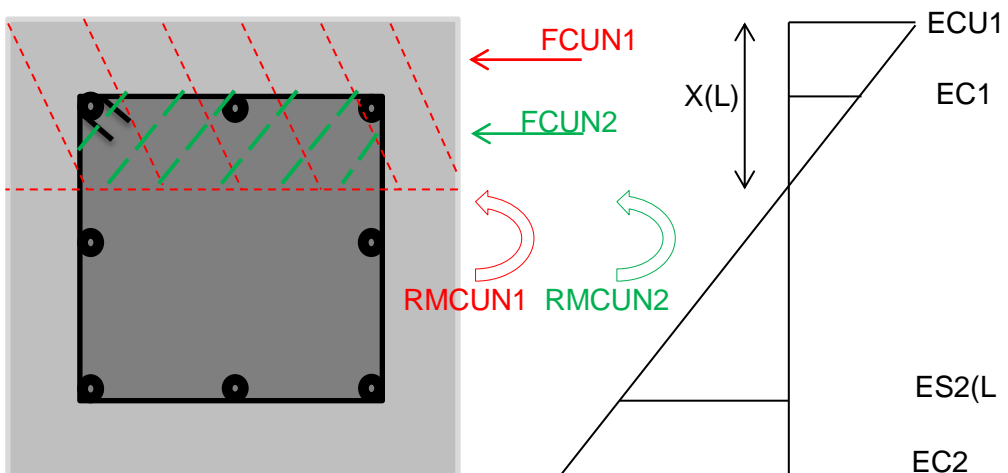
RMCCONFINED=0 ροπή περισφιγμένου σκυροδέματος

## 2<sup>η</sup> Περίπτωση

Το βάθος της θλιβόμενης ζώνης  $X(L)$  εντός του περισφιγμένου κορμού της διατομής



- α)  $ECU1 < ECUN (=0.002)$



A: συντελεστής πλήρωσης για παραμόρφωση σκυροδέματος μικρότερη του 0.002

Z: συντελεστής κέντρου βάρους για το παραβολικό-ορθογωνικό διάγραμμα τάσεως της θλιβόμενης ζώνης του σκυροδέματος για παραμόρφωση μικρότερη του 0.002

FCUN1: δύναμη απερίσφιγκτου σκυροδέματος σε όλη τη θλιβόμενη ζώνη

RMCUN1: ροπή λόγω FCUN1

AUN2: συντελεστής πλήρωσης για παραμόρφωση σκυροδέματος μικρότερη του 0.002

ZUN2: συντελεστής κέντρου βάρους για το παραβολικό-ορθογωνικό διάγραμμα τάσεως της θλιβόμενης ζώνης του σκυροδέματος για παραμόρφωση μικρότερη του 0.002

FCUN2: δύναμη απερίσφιγκτου σκυροδέματος στην περιοχή του περισφιγμένου σκυροδέματος

RMCUN2: ροπή λόγω FCUN2

FCUNCONFINED=FCUN1-FCUN2 συνολική δύναμη απερίσφιγκτου σκυροδέματος

RMCUNCONFINED=RMCUN1-RMCUN2 συνολική ροπή απερίσφιγκτου σκυροδέματος

- $\beta) ECUN(=0.002) < ECU1 < ECUNMAX (=0.0035)$

A: συντελεστής πλήρωσης για παραμόρφωση σκυροδέματος μεγαλύτερη του  $ECUN(=0.002)$  και μικρότερη του  $ECUNMAX(=0.0035)$ .

PARANOMZ: παρανομαστής του συντελεστή κέντρου βάρους για το παραβολικό-ορθογωνικό διάγραμμα τάσεως της θλιβόμενης ζώνης του σκυροδέματος για παραμόρφωση μεγαλύτερη του  $ECUN(=0.002)$  και μικρότερη του  $ECUNMAX(=0.0035)$ .

Z: συντελεστής κέντρου βάρους για το παραβολικό-ορθογωνικό διάγραμμα τάσεως της θλιβόμενης ζώνης του σκυροδέματος για παραμόρφωση μεγαλύτερη του  $ECUN(=0.002)$  και μικρότερη του  $ECUNMAX(=0.0035)$ .

FCUN1: δύναμη απερίσφιγκτου σκυροδέματος σε όλη τη θλιβόμενη ζώνη

RMCUN1: ροπή λόγω FCUN1

FCUN2: δύναμη απερίσφιγκτου σκυροδέματος στην περιοχή του περισφιγμένου σκυροδέματος

Για την δύναμη FCUN2 γίνεται διερεύνηση για το αν η παραμόρφωση της πλέον θλιβόμενης ίνας του περισφιγμένου σκυροδέματος EC1 είναι μικρότερη ή μεγαλύτερη της  $ECUN(=0.002)$  έτσι ώστε να χρησιμοποιηθούν ο σωστός

συντελεστής πλήρωσης AUN2 και ο σωστός συντελεστής κέντρου βάρους για το παραβολικό-ορθογωνικό διάγραμμα τάσεως της θλιβόμενης ζώνης του σκυροδέματος ZUN2.

RMCUN2: ροπή λόγω FCUN2

FCUNCONFINED=FCUN1-FCUN2   συνολική δύναμη απερίσφιγκτου σκυροδέματος

RMCUNCONFINED=RMCUN1-RMCUN2   συνολική ροπή απερίσφιγκτου σκυροδέματος

**Εύρεση Δύναμης και Ροπής για το Περισφιγμένο Σκυρόδεμα για τις περιπτώσεις 2α και 2β.**

Για τον υπολογισμό της δύναμης και της ροπής του περισφιγμένου σκυροδέματος θα πρέπει να βρούμε το εμβαδό των θλιπτικών του τάσεων. Με βάση των νόμο τάσεων παραμορφώσεων του περισφιγμένου σκυροδέματος η σχέση μεταξύ των τάσεων και των παραμορφώσεων ,για παραμορφώσεις μέχρι και ECC, είναι παραβολική. Επομένως για τον υπολογισμό αυτών των τάσεων χωρίζουμε την περιοχή του περισφιγμένου σκυροδέματος που βρίσκεται σε θλίψη σε τραπεζοειδείς ίνες.

$Y=X(L)-c$  : το βάθος της περιοχής του περισφιγμένου σκυροδέματος που βρίσκεται σε θλίψη

$Y1=Y/FIBERS$  : το πλάτος της κάθε ίνας

STRAIN(I) : η παραμόρφωση στην κορυφή κάθε ίνας

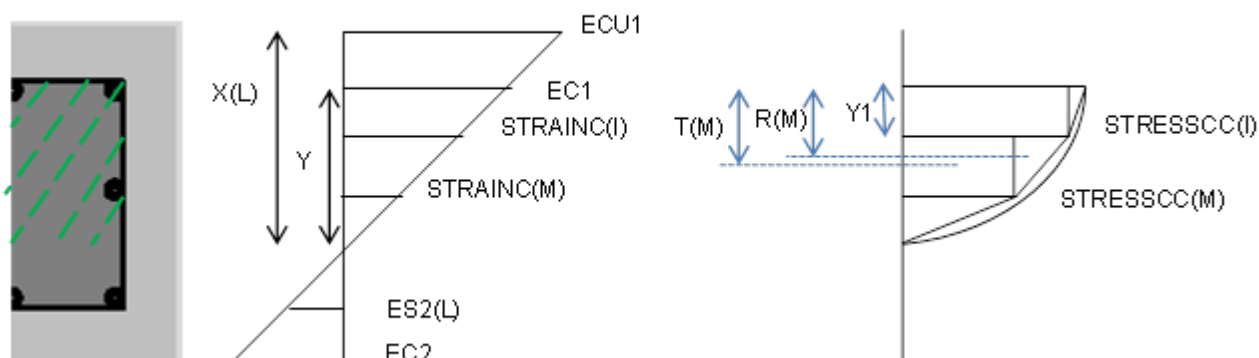
STRESSCC(I) : η τάση στην κορυφή κάθε ίνας

STRAIN(M) : η παραμόρφωση στη βάση κάθε ίνας

STRESSCC(M) : η τάση στη βάση κάθε ίνας

AREA(M) : το εμβαδό της τάσης κάθε ίνας

AREATOTAL : το συνολικό εμβαδό των τάσεων όλων των ινών



## Εύρεση του μοχλοβραχίονα της δύναμης του περισφιγμένου σκυροδέματος για τον υπολογισμό της ροπής του

Εφόσον οι ίνες είναι τραπεζοειδείς μπορούμε να τις χωρίσουμε σε παραλληλόγραμμα και τρίγωνα.

$R(M)$  : η απόσταση του κέντρου βάρους του παραλληλόγραμμου κάθε ίνας από την πλέον θλιβόμενη ίνα του περισφιγμένου σκυροδέματος

$T(M)$  : η απόσταση του κέντρου βάρους του τριγώνου κάθε ίνας από την πλέον θλιβόμενη ίνα του περισφιγμένου σκυροδέματος.

$AREATRIANG(M)$  : το εμβαδό του τριγώνου κάθε ίνας

$AREAREC(M)$  : το εμβαδό του παραλληλόγραμμου κάθε ίνας

$G$  : η απόσταση του κέντρου βάρους του παραβολικού διαγράμματος τάσεως της θλιβόμενης ζώνης του περισφιγμένου σκυροδέματος

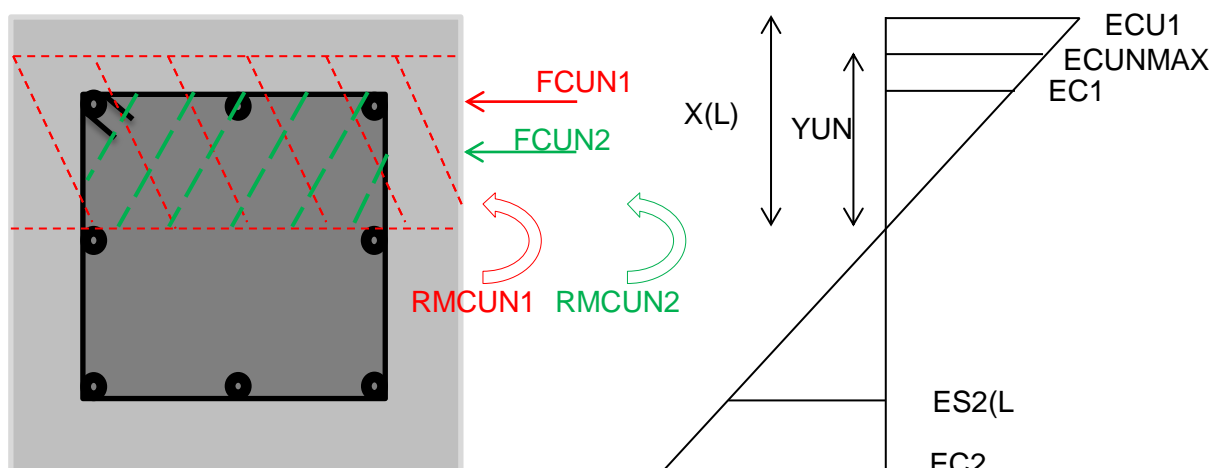
$FCCONFINED$  : δύναμη του περισφιγμένου σκυροδέματος

$RMCCONFINED$  : ροπή του περισφιγμένου σκυροδέματος

- γ)  $ECU1 > ECUNMAX (=0.0035)$

Βρίσκουμε την απόσταση  $YUN$  από την αρχή της θλιβόμενης ζώνης έως το σημείο με παραμόρφωση ίση με  $ECUNMAX (=0.0035)$

1)  $X(L) - YUN < c$  (σχ)



A: συντελεστής πλήρωσης για παραμόρφωση σκυροδέματος ίση με  $ECUNMAX(=0.0035)$ .

PARAZ: παρανομαστής του συντελεστή κέντρου βάρους για το παραβολικό-ορθογωνικό διάγραμμα τάσεως της θλιβόμενης ζώνης του σκυροδέματος για παραμόρφωση ίση με  $ECUNMAX(=0.0035)$ .

Z: συντελεστής κέντρου βάρους για το παραβολικό-ορθογωνικό διάγραμμα τάσεως της θλιβόμενης ζώνης του σκυροδέματος για παραμόρφωση ίση με  $ECUNMAX(=0.0035)$ .

FCUN1: δύναμη σκυροδέματος

RMCUN1: ροπή σκυροδέματος

FCUN2: δύναμη απερίσφιγκτου σκυροδέματος στην περιοχή του περισφιγμένου σκυροδέματος

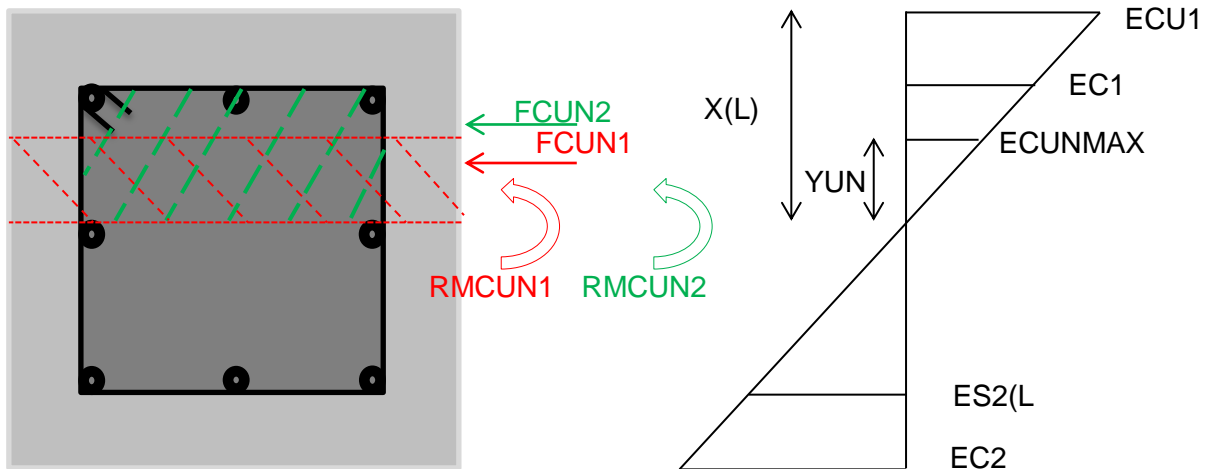
Για την δύναμη FCUN2 γίνεται διερεύνηση για το αν η παραμόρφωση της πλέον θλιβόμενης ίνας του περισφιγμένου σκυροδέματος EC1 είναι μικρότερη ή μεγαλύτερη της  $ECUN(=0.002)$  έτσι ώστε να χρησιμοποιηθούν ο σωστός συντελεστής πλήρωσης AUN2 και ο σωστός συντελεστής κέντρου βάρους για το παραβολικό-ορθογωνικό διάγραμμα τάσεως της θλιβόμενης ζώνης του σκυροδέματος ZUN2.

RMCUN2: ροπή λόγω FCUN2

$FCUNCONFINED=FCUN1-FCUN2$  συνολική δύναμη απερίσφιγκτου σκυροδέματος

$RMCUNCONFINED=RMCUN1-RMCUN2$  συνολική ροπή απερίσφιγκτου σκυροδέματος

$$2)X(L)-YUN \geq c$$



A: συντελεστής πλήρωσης για παραμόρφωση σκυροδέματος ίση με  $ECUNMAX(=0.0035)$ .

PARAZ: παρανομαστής του συντελεστή κέντρου βάρους για το παραβολικό-ορθογωνικό διάγραμμα τάσεως της θλιβόμενης ζώνης του σκυροδέματος για παραμόρφωση ίση με  $ECUNMAX(=0.0035)$ .

Z: συντελεστής κέντρου βάρους για το παραβολικό-ορθογωνικό διάγραμμα τάσεως της θλιβόμενης ζώνης του σκυροδέματος για παραμόρφωση ίση με  $ECUNMAX(=0.0035)$ .

FCUN1: δύναμη σκυροδέματος

RMCUN1: ροπή σκυροδέματος

AUN2: συντελεστής πλήρωσης για παραμόρφωση σκυροδέματος ίση με  $ECUNMAX(=0.0035)$ .

PARANOMZUN2: παρανομαστής του συντελεστή κέντρου βάρους για το παραβολικό-ορθογωνικό διάγραμμα τάσεως της θλιβόμενης ζώνης του σκυροδέματος για παραμόρφωση ίση με  $ECUNMAX(=0.0035)$ .

ZUN2: συντελεστής κέντρου βάρους για το παραβολικό-ορθογωνικό διάγραμμα τάσεως της θλιβόμενης ζώνης του σκυροδέματος για παραμόρφωση ίση με  $ECUNMAX(=0.0035)$ .

FCUN2: δύναμη απερίσφιγκτου σκυροδέματος στην περιοχή του περισφιγμένου σκυροδέματος

RMCUN2: ροπή λόγω FCUN2

FCUNCONFINED=FCUN1-FCUN2 συνολική δύναμη απερίσφιγκτου σκυροδέματος

RMCUNCONFINED=RMCUN1-RMCUN2 συνολική ροπή απερίσφιγκτου σκυροδέματος.

### **Εύρεση Δύναμης και Ροπής για το Περισφιγμένο Σκυρόδεμα**

Για την εύρεση της δύναμης και της ροπής του περισφιγμένου σκυροδέματος διακρίνουμε δυο περιπτώσεις οι οποίες εξαρτώνται από την παραμόρφωση EC1 της πλέον θλιβόμενης ίνας του περισφιγμένου σκυροδέματος.

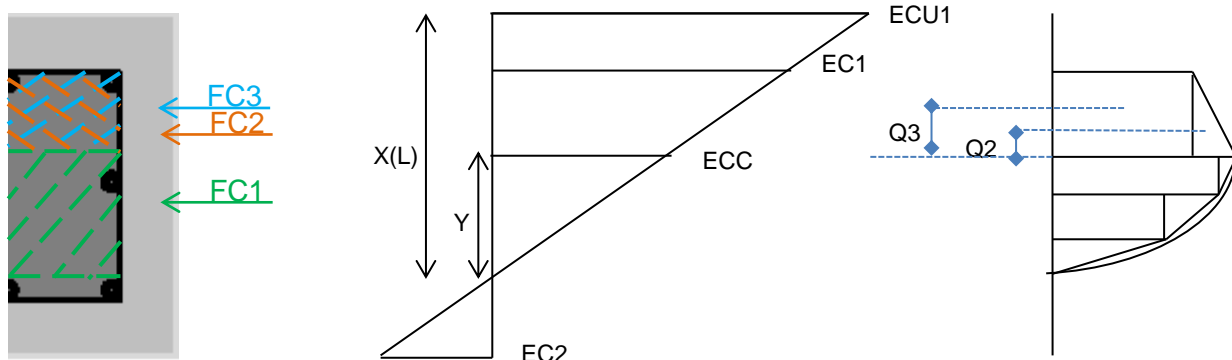
1)  $EC1 \leq ECC$

Σε αυτή την περίπτωση η εύρεση της δύναμης και τη ροπής του περισφιγμένου σκυροδέματος ακολουθεί την ίδια διαδικασία με αυτή των περιπτώσεων 2α και 2β.

2)  $EC1 \geq ECC$

Σε αυτή την περίπτωση εκτός από το πεδίο των τάσεων που αντιστοιχεί στο παραβολικό μέρος του νόμου τάσεων-παραμορφώσεων για το περισφιγμένο σκυρόδεμα ενεργοποιείται και το πεδίο των τάσεων που αντιστοιχούν στον ευθύγραμμο κατόντα κλάδο του νόμου τάσεων-παραμορφώσεων του περισφιγμένου σκυροδέματος. Για την ολοκλήρωση αυτών των τάσεων χωρίζουμε το τραπεζοειδές χωρίο του νόμου τάσεων παραμορφώσεων σε ένα παραλληλόγραμμο και σε ένα τρίγωνο.





FC1 : δύναμη περισφιγμένου σκυροδέματος που αντιστοιχεί στο πεδίο των τάσεων του παραβολικού μέρους του νόμου τάσεων-παραμορφώσεων

FC2 : δύναμη περισφιγμένου σκυροδέματος που αντιστοιχεί στο τριγωνικό μέρος του νόμου τάσεων παραμορφώσεων

FC3 : δύναμη περισφιγμένου σκυροδέματος που αντιστοιχεί στο παραλληλόγραμμο μέρος του νόμου τάσεων παραμορφώσεων

Q2 : η απόσταση του κέντρου βάρους του τριγωνικού μέρους του νόμου τάσεων παραμορφώσεων

Q3 : η απόσταση του κέντρου βάρους του παραλληλόγραμμου μέρους του νόμου τάσεων παραμορφώσεων

RMC1 : ροπή λόγω FC1

RMC2 : ροπή λόγω FC2

RMC3 : ροπή λόγω FC3

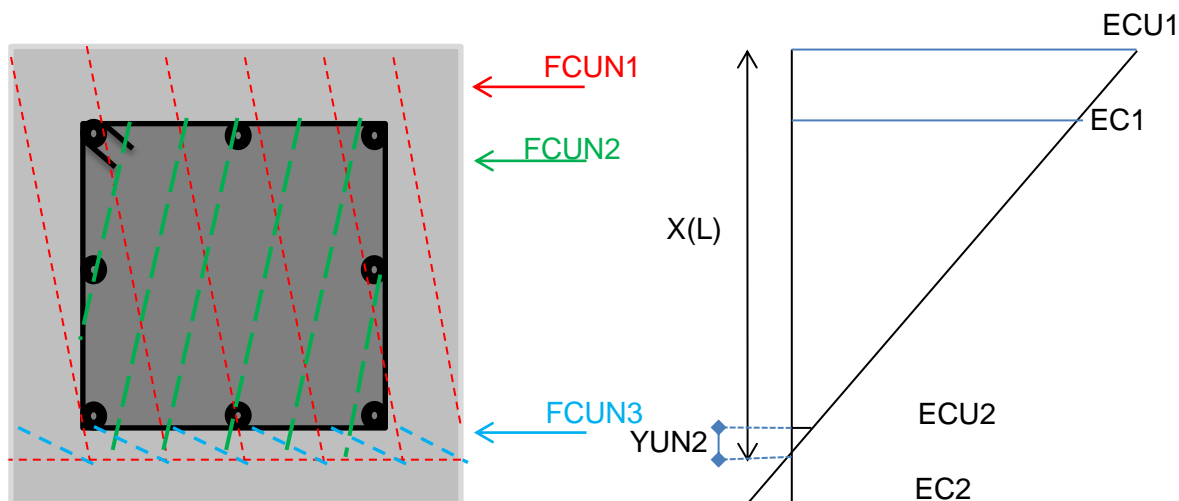
FCCONFINED : δύναμη του περισφιγμένου σκυροδέματος

RMCCONFINED : ροπή του περισφιγμένου σκυροδέματος

### 3<sup>η</sup> Περίπτωση

Το βάθος της θλιβόμενης ζώνης  $X(L)$  εντός της κάτω επικάλυψης

- α)  $ECU1 < ECUN (=0.002)$



A: συντελεστής πλήρωσης για παραμόρφωση σκυροδέματος μικρότερη του 0.002

Z: συντελεστής κέντρου βάρους για το παραβολικό-ορθογωνικό διάγραμμα τάσεως της θλιβόμενης ζώνης του σκυροδέματος για παραμόρφωση μικρότερη του 0.002

AUN2: συντελεστής πλήρωσης για παραμόρφωση σκυροδέματος μικρότερη του 0.002

ZUN2: συντελεστής κέντρου βάρους για το παραβολικό-ορθογωνικό διάγραμμα τάσεως της θλιβόμενης ζώνης του σκυροδέματος για παραμόρφωση μικρότερη του 0.002

AUN3: συντελεστής πλήρωσης για παραμόρφωση σκυροδέματος μικρότερη του 0.002

ZUN3: συντελεστής κέντρου βάρους για το παραβολικό-ορθογωνικό διάγραμμα τάσεως της θλιβόμενης ζώνης του σκυροδέματος για παραμόρφωση μικρότερη του 0.002

YUN2: απόσταση από την αρχή της θλιβόμενης ζώνης έως το σύνορο της κάτω επικάλυψης με τον περισφιγμένο πυρήνα σκυροδέματος

ECU2: παραμόρφωση του σκυροδέματος στην στάθμη της αρχής της κάτω επικάλυψης

FCUN1: δύναμη απερίσφιγκτου σκυροδέματος σε όλη τη θλιβόμενη ζώνη

RMCUN1: ροπή λόγω FCUN1

FCUN2: δύναμη απερίσφιγκτου σκυροδέματος στην περιοχή του περισφιγμένου σκυροδέματος

RMCUN2: ροπή λόγω FCUN2

FCUN3: δύναμη απερίσφιγκτου σκυροδέματος από την αρχή της θλιβόμενης ζώνης έως το σύνορο της κάτω επικάλυψης με τον περισφιγμένο πυρήνα σκυροδέματος

RMCUN3: ροπή λόγω FCUN3

FCUNCONFINED=FCUN1-FCUN2+FCUN3 συνολική δύναμη απερίσφιγκτου σκυροδέματος

RMCUNCONFINED=RMCUN1-RMCUN2+RMCUN3 συνολική ροπή απερίσφιγκτου σκυροδέματος

- $\beta) ECUN(=0.002) < ECU1 < ECUNMAX (=0.0035)$

A: συντελεστής πλήρωσης για παραμόρφωση σκυροδέματος μεγαλύτερη του  $ECUN(=0.002)$  και μικρότερη του  $ECUNMAX(=0.0035)$ .

PARANOMZ: παρανομαστής του συντελεστή κέντρου βάρους για το παραβολικό-ορθογωνικό διάγραμμα τάσεως της θλιβόμενης ζώνης του σκυροδέματος για παραμόρφωση μεγαλύτερη του  $ECUN(=0.002)$  και μικρότερη του  $ECUNMAX(=0.0035)$ .

Z: συντελεστής κέντρου βάρους για το παραβολικό-ορθογωνικό διάγραμμα τάσεως της θλιβόμενης ζώνης του σκυροδέματος για παραμόρφωση μεγαλύτερη του  $ECUN(=0.002)$  και μικρότερη του  $ECUNMAX(=0.0035)$ .

FCUN1: δύναμη απερίσφιγκτου σκυροδέματος σε όλη τη θλιβόμενη ζώνη

RMCUN1: ροπή λόγω FCUN1

YUN2: απόσταση από την αρχή της θλιβόμενης ζώνης έως το σύνορο της κάτω επικάλυψης με τον περισφιγμένο πυρήνα σκυροδέματος

ECU2: παραμόρφωση του σκυροδέματος στην στάθμη της αρχής της κάτω επικάλυψης

FCUN2: δύναμη απερίσφιγκτου σκυροδέματος στην περιοχή του περισφιγμένου σκυροδέματος

Για τη δύναμη FCUN2 γίνεται διερεύνηση για το αν η παραμόρφωση της πλέον θλιβόμενης ίνας του περισφιγμένου σκυροδέματος EC1 είναι μικρότερη ή μεγαλύτερη της ECUN(=0.002) έτσι ώστε να χρησιμοποιηθούν ο σωστός συντελεστής πλήρωσης AUN2 και ο σωστός συντελεστής κέντρου βάρους για το παραβολικό-ορθογωνικό διάγραμμα τάσεως της θλιβόμενης ζώνης του σκυροδέματος ZUN2.

FCUN3: δύναμη απερίσφιγκτου σκυροδέματος από την αρχή της θλιβόμενης ζώνης έως το σύνορο της κάτω επικάλυψης με τον περισφιγμένο πυρήνα σκυροδέματος

Για τη δύναμη FCUN3 γίνεται διερεύνηση για το αν η παραμόρφωση ECU2 στο σύνορο της κάτω επικάλυψης με τον περισφιγμένο πυρήνα σκυροδέματος είναι μικρότερη ή μεγαλύτερη της ECUN(=0.002) έτσι ώστε να χρησιμοποιηθούν ο σωστός συντελεστής πλήρωσης AUN3 και ο σωστός συντελεστής κέντρου βάρους για το παραβολικό-ορθογωνικό διάγραμμα τάσεως της θλιβόμενης ζώνης του σκυροδέματος ZUN3.

RMCUN2: ροπή λόγω FCUN2

RMCUN3: ροπή λόγω FCUN3

FCUNCONFINED=FCUN1-FCUN2+FCUN3 συνολική δύναμη απερίσφιγκτου σκυροδέματος

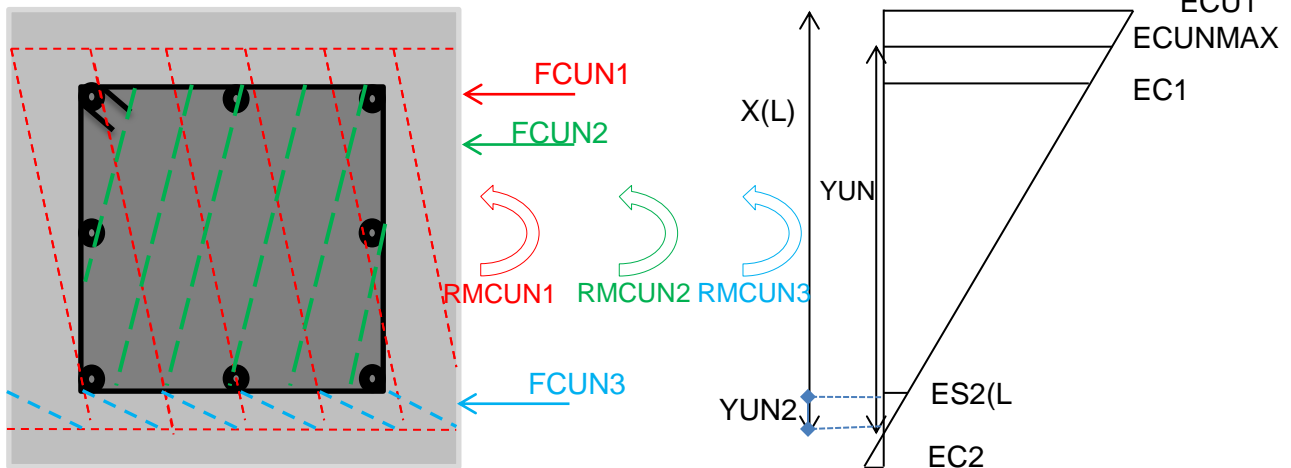
RMCUNCONFINED=RMCUN1-RMCUN2+RMCUN3 συνολική ροπή απερίσφιγκτου σκυροδέματος

- γ)  $ECU1 > ECUNMAX (=0.0035)$

Βρίσκουμε την απόσταση  $YUN$  από την αρχή της θλιβόμενης ζώνης έως το σημείο με παραμόρφωση ίση με  $ECUNMAX (=0.0035)$

1)  $X(L) - YUN < c$

Η μέγιστη παραμόρφωση για το απερίσφιγκτο σκυρόδεμα παρατηρείται εντός της άνω επικάλυψης



A: συντελεστής πλήρωσης για παραμόρφωση σκυροδέματος ίση με  $ECUNMAX (=0.0035)$ .

PARANOMZ: παρανομαστής του συντελεστή κέντρου βάρους για το παραβολικό-ορθογωνικό διάγραμμα τάσεως της θλιβόμενης ζώνης του σκυροδέματος για παραμόρφωση ίση με  $ECUNMAX (=0.0035)$ .

Z: συντελεστής κέντρου βάρους για το παραβολικό-ορθογωνικό διάγραμμα τάσεως της θλιβόμενης ζώνης του σκυροδέματος για παραμόρφωση ίση με  $ECUNMAX (=0.0035)$ .

$FCUN1$ : δύναμη σκυροδέματος

$RMCUN1$ : ροπή σκυροδέματος

$FCUN2$ : δύναμη απερίσφιγκτου σκυροδέματος στην περιοχή του περισφιγμένου σκυροδέματος

Για την δύναμη  $FCUN2$  γίνεται διερεύνηση για το αν η παραμόρφωση της πλέον θλιβόμενης ίνας του περισφιγμένου σκυροδέματος  $EC1$  είναι μικρότερη

ή μεγαλύτερη της  $ECUN(=0.002)$  έτσι ώστε να χρησιμοποιηθούν ο σωστός συντελεστής πλήρωσης  $AUN2$  και ο σωστός συντελεστής κέντρου βάρους για το παραβολικό-ορθογωνικό διάγραμμα τάσεως της θλιβόμενης ζώνης του σκυροδέματος  $ZUN2$ .

$RMCUN2$ : ροπή λόγω  $FCUN2$

$YUN2$ : απόσταση από την αρχή της θλιβόμενης ζώνης έως το σύνορο της κάτω επικάλυψης με τον περισφιγμένο πυρήνα σκυροδέματος

$ECU2$ : παραμόρφωση του σκυροδέματος στην στάθμη της αρχής της κάτω επικάλυψης

$FCUN3$ : δύναμη απερίσφιγτου σκυροδέματος από την αρχή της θλιβόμενης ζώνης έως το σύνορο της κάτω επικάλυψης με τον περισφιγμένο πυρήνα σκυροδέματος

Για τη δύναμη  $FCUN3$  γίνεται διερεύνηση για το αν η παραμόρφωση  $ECU2$  στο σύνορο της κάτω επικάλυψης με τον περισφιγμένο πυρήνα σκυροδέματος είναι μικρότερη ή μεγαλύτερη της  $ECUN(=0.002)$  έτσι ώστε να χρησιμοποιηθούν ο σωστός συντελεστής πλήρωσης  $AUN3$  και ο σωστός συντελεστής κέντρου βάρους για το παραβολικό-ορθογωνικό διάγραμμα τάσεως της θλιβόμενης ζώνης του σκυροδέματος  $ZUN3$ .

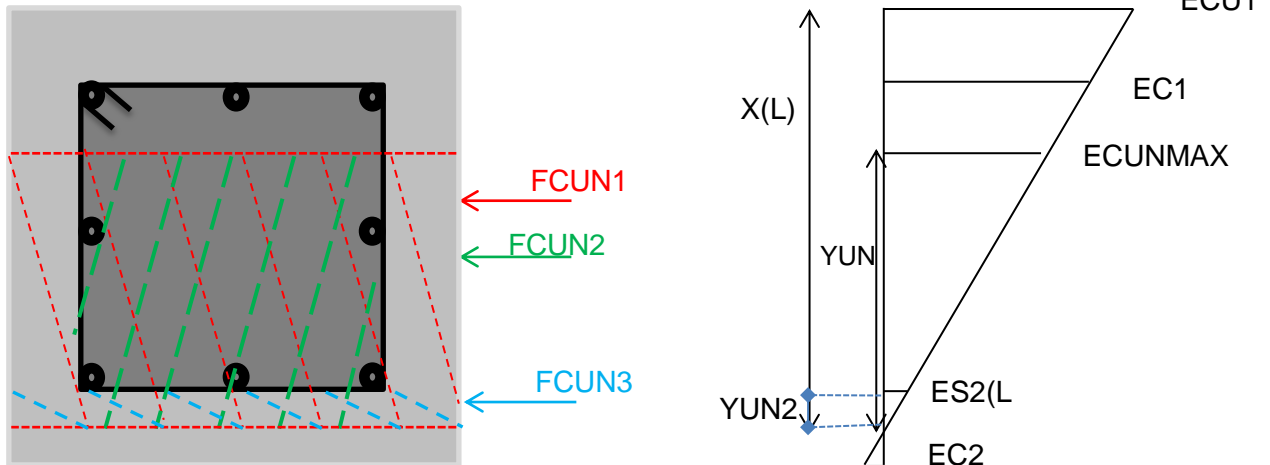
$RMCUN3$ : ροπή λόγω  $FCUN3$

$FCUNCONFINED=FCUN1-FCUN2+FCUN3$  συνολική δύναμη απερίσφιγτου σκυροδέματος

$RMCUNCONFINED=RMCUN1-RMCUN2+RMCUN3$  συνολική ροπή απερίσφιγτου σκυροδέματος

$$2) (X(L)-YUN) \leq c \text{ και } YUN \geq (X(L)-(h-c))$$

Η μέγιστη παραμόρφωση για το απερίσφιγκτο σκυρόδεμα παρατηρείται εντός της περιοχής του πυρήνα της διατομής



A: συντελεστής πλήρωσης για παραμόρφωση σκυροδέματος ίση με ECUNMAX(=0.0035).

PARANOMZ: παρανομαστής του συντελεστή κέντρου βάρους για το παραβολικό-ορθογωνικό διάγραμμα τάσεως της θλιβόμενης ζώνης του σκυροδέματος για παραμόρφωση ίση με ECUNMAX(=0.0035).

Z: συντελεστής κέντρου βάρους για το παραβολικό-ορθογωνικό διάγραμμα τάσεως της θλιβόμενης ζώνης του σκυροδέματος για παραμόρφωση ίση με ECUNMAX(=0.0035).

FCUN1: δύναμη απερίσφιγκτου σκυροδέματος

RMCUN1: ροπή απερίσφιγκτου σκυροδέματος

FCUN2: δύναμη απερίσφιγκτου σκυροδέματος στην περιοχή του περισφιγμένου σκυροδέματος

RMCUN2: ροπή λόγω FCUN2

YUN2: απόσταση από την αρχή της θλιβόμενης ζώνης έως το σύνορο της κάτω επικάλυψης με τον περισφιγμένο πυρήνα σκυροδέματος

ECU2: παραμόρφωση του σκυροδέματος στην στάθμη της αρχής της κάτω επικάλυψης

FCUN3: δύναμη απερίσφιγκτου σκυροδέματος από την αρχή της θλιβόμενης ζώνης έως το σύνορο της κάτω επικάλυψης με τον περισφιγμένο πυρήνα σκυροδέματος

Για τη δύναμη FCUN3 γίνεται διερεύνηση για το αν η παραμόρφωση ECU2 στο σύνορο της κάτω επικάλυψης με τον περισφιγμένο πυρήνα σκυροδέματος είναι μικρότερη ή μεγαλύτερη της ECUN(=0.002) έτσι ώστε να χρησιμοποιηθούν ο σωστός συντελεστής πλήρωσης AUN3 και ο σωστός συντελεστής κέντρου βάρους για το παραβολικό-ορθογωνικό διάγραμμα τάσεως της θλιβόμενης ζώνης του σκυροδέματος ZUN3.

RMCUN3: ροπή λόγω FCUN3

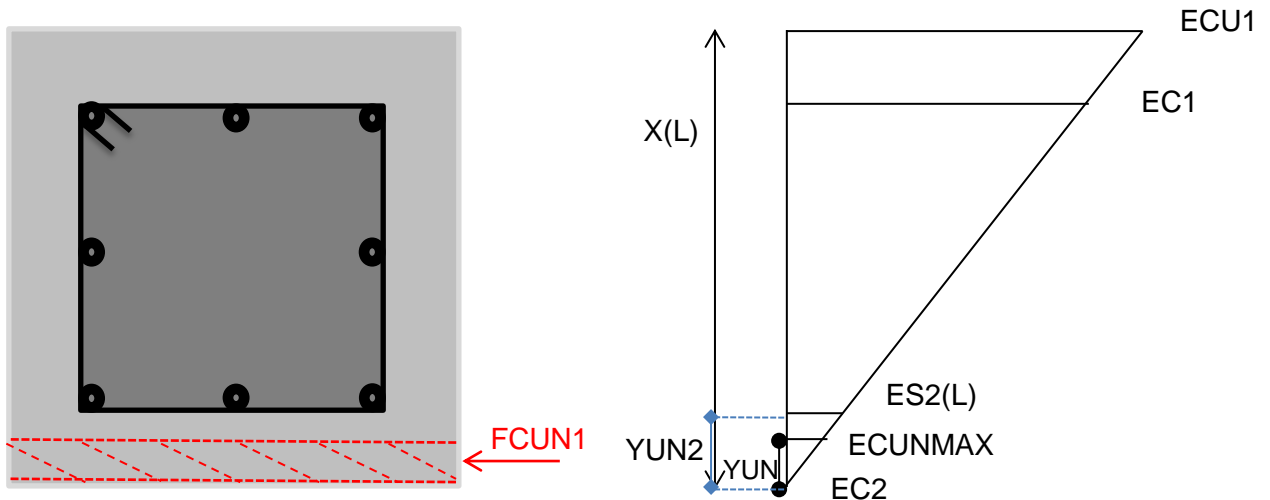
FCUNCONFINED=FCUN1-FCUN2+FCUN3 συνολική δύναμη απερίσφιγκτου σκυροδέματος

RMCUNCONFINED=RMCUN1-RMCUN2+RMCUN3      συνολική      ροπή  
απερίσφιγκτου σκυροδέματος



3)  $(X(L)-YUN) \geq c$  και  $YUN \leq (X(L)-(h-c))$

Η μέγιστη παραμόρφωση για το απερίσφιγκτο σκυρόδεμα παρατηρείται εντός της κάτω επικάλυψης



A: συντελεστής πλήρωσης για παραμόρφωση σκυροδέματος ίση με  $ECUNMAX(=0.0035)$ .

PARANOMZ: παρανομαστής του συντελεστή κέντρου βάρους για το παραβολικό-ορθογωνικό διάγραμμα τάσεως της θλιβόμενης ζώνης του σκυροδέματος για παραμόρφωση ίση με  $ECUNMAX(=0.0035)$ .

Z: συντελεστής κέντρου βάρους για το παραβολικό-ορθογωνικό διάγραμμα τάσεως της θλιβόμενης ζώνης του σκυροδέματος για παραμόρφωση ίση με  $ECUNMAX(=0.0035)$ .

FCUN1: δύναμη απερίσφιγκτου σκυροδέματος

RMCUN1: ροπή απερίσφιγκτου σκυροδέματος

FCUNCONFINED=FCUN1 συνολική δύναμη απερίσφιγκτου σκυροδέματος

RMCUNCONFINED=RMCUN1 συνολική ροπή απερίσφιγκτου σκυροδέματος

## Εύρεση Δύναμης και Ροπής για το Περισιφισμένο Σκυρόδεμα

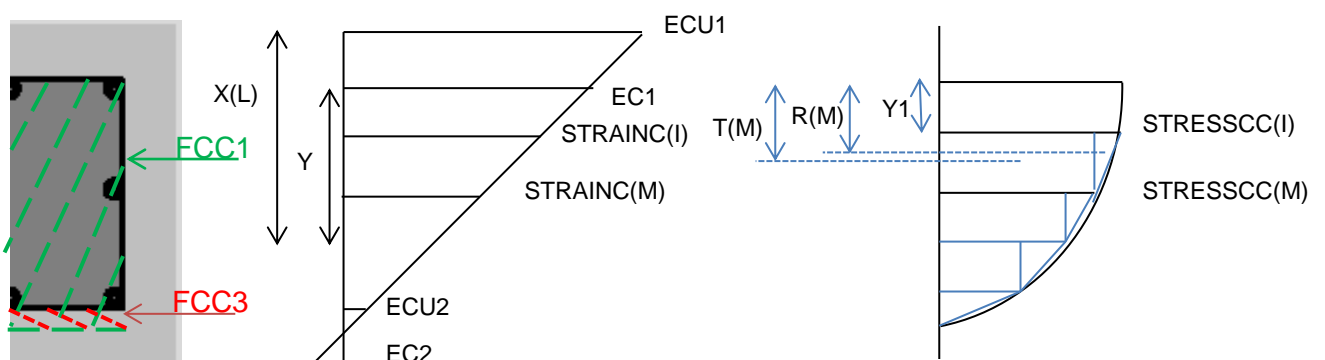
Για την εύρεση της δύναμης και της ροπής του περισιφισμένου σκυροδέματος διακρίνουμε δυο περιπτώσεις οι οποίες εξαρτώνται από την παραμόρφωση EC1 της πλέον θλιβόμενης ίνας του περισιφισμένου σκυροδέματος.

1)  $EC1 \leq ECC$

Σε αυτή την περίπτωση η εύρεση της δύναμης και τη ροπής του περισιφισμένου σκυροδέματος ακολουθεί την ίδια διαδικασία με αυτή των περιπτώσεων 2α και 2β. με μόνη διαφορά ότι για την εύρεση τα συνολικής δύναμης του περισιφισμένου σκυροδέματος αφαιρείται από την FCC1 η FCC3.

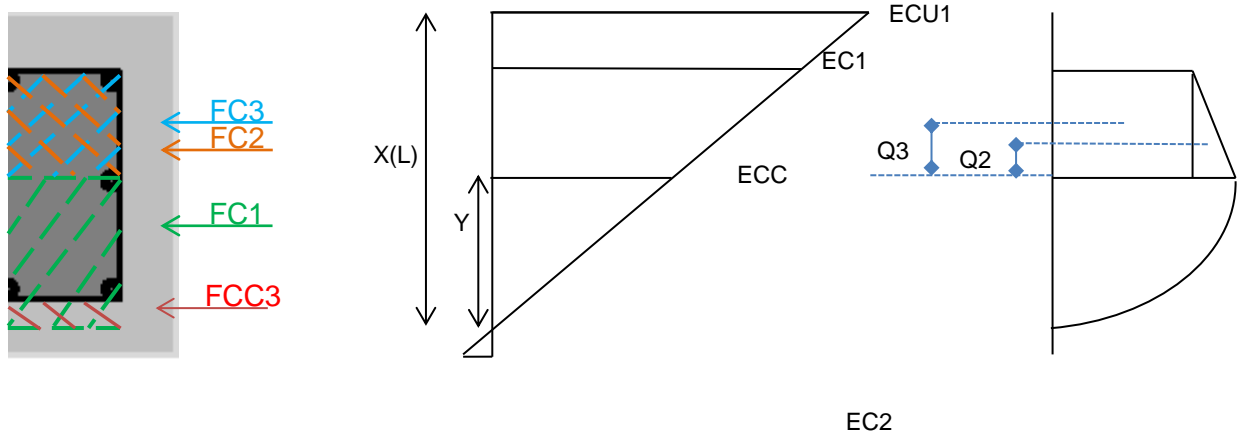
$$FCCONFINED = FCC1 - FCC3$$

$$RMCCONFINED = RMCC1 - RMCC3$$



## 2) $EC1 \geq ECC$

Σε αυτή την περίπτωση εκτός από το πεδίο των τάσεων που αντιστοιχεί στο παραβολικό μέρος του νόμου τάσεων-παραμορφώσεων για το περισφιγμένο σκυρόδεμα ενεργοποιείται και το πεδίο των τάσεων που αντιστοιχούν στον ευθύγραμμο κατιών κλάδο του νόμου τάσεων-παραμορφώσεων του περισφιγμένου σκυροδέματος. Για την ολοκλήρωση αυτών των τάσεων χωρίζουμε το τραπεζοειδές χωρίο του νόμου τάσεων παραμορφώσεων σε ένα παραλληλόγραμμο και σε ένα τρίγωνο.



FC1 : δύναμη περισφιγμένου σκυροδέματος που αντιστοιχεί στο πεδίο των τάσεων του παραβολικού μέρους του νόμου τάσεων-παραμορφώσεων

FC2 : δύναμη περισφιγμένου σκυροδέματος που αντιστοιχεί στο τριγωνικό μέρος του νόμου τάσεων παραμορφώσεων

FC3 : δύναμη περισφιγμένου σκυροδέματος που αντιστοιχεί στο παραλληλόγραμμο μέρος του νόμου τάσεων παραμορφώσεων του νόμου τάσεων παραμορφώσεων

FCC3 : δύναμη περισφιγμένου σκυροδέματος από την αρχή της θλιβόμενης ζώνης έως το σύνορο της κάτω επικάλυψης με τον περισφιγμένο πυρήνα σκυροδέματος

Q2 : η απόσταση του κέντρου βάρους του τριγωνικού μέρους του νόμου τάσεων παραμορφώσεων

Q3 : η απόσταση του κέντρου βάρους του παραλληλόγραμμου μέρους του νόμου τάσεων παραμορφώσεων

RMC1 : ροπή λόγω FC1

RMC2 : ροπή λόγω FC2

RMC3 : ροπή λόγω FC3

RMCC3 : ροπή λόγω FCC3

FCCONFINED=FC1+FC2+FC3-FCC3 δύναμη του περισφιγμένου σκυροδέματος

RMCCONFINED =RMC1+RMC2+RMC3-RMCC3 ροπή του περισφιγμένου σκυροδέματος

### **Υπολογισμός δυνάμεων και ροπών των οπλισμών της διατομής**

YIELD : παραμόρφωση διαρροής του χάλυβα

Αρχικά υπολογίζονται οι παραμορφώσεις των οπλισμών. Οι παραμορφώσεις είναι θετικές στην περίπτωση του εφελκυσμού και αρνητικές στην περίπτωση της θλίψης.

ES(1): παραμόρφωση του οπλισμού που βρίσκεται στο σύνορο της άνω επικάλυψης με τον περισφιγμένο πυρήνα σκυροδέματος

F(1): δύναμη του οπλισμού με παραμόρφωση ES(1). Εάν ο οπλισμός έχει διαρρεύσει τότε  $F(1)=AS*FY/10.0$ , ενώ αν δεν έχει διαρρεύσει τότε  $F(1)=AS*E*ABS(ES(1))/10.0$ . Η δύναμη F(1) υπολογίζεται πάντα θετική και στην συνέχεια γίνεται διερεύνηση για τον αν είναι εφελκυστική ή θλιπτική δύναμη και τις δίνεται το ανάλογο πρόσημο ( θετική για εφελκυσμό , αρνητική για θλίψη)

ES(K)=ES2(L) παραμόρφωση του οπλισμού που βρίσκεται στο σύνορο της κάτω επικάλυψης με τον περισφιγμένο πυρήνα σκυροδέματος

F(K) : δύναμη του οπλισμού με παραμόρφωση ES(K). Υπολογίζεται κατ'αναλογία με την F(1).

### **Εύρεση παραμορφώσεων και δυνάμεων ενδιάμεσων χαλύβων**

DY : Απόσταση μεταξύ των στάθμεων των οπλισμών

IMAX=K-2 αριθμός ενδιάμεσων χαλύβων

ES(1+I)=(X(L)-(I\*DY)-(c+DD/2.0))\*ECU1/X(L) Παραμορφώσεις ενδιάμεσων χαλύβων

$F(1+l)$  : δύναμη του οπλισμού με παραμόρφωση  $ES(1+l)$ . Υπολογίζεται κατ'αναλογία με την  $F(1)$ .

### Εύρεση ροπών χαλύβων

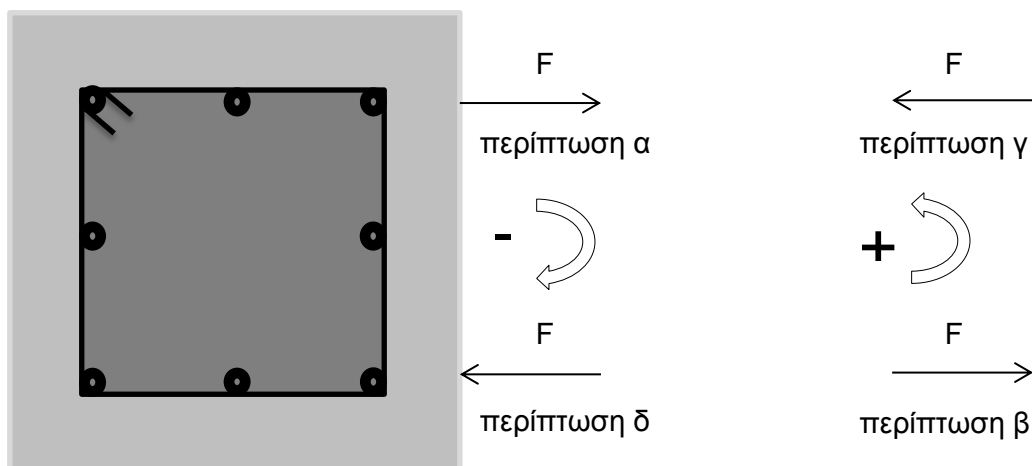
Αρχικά υπολογίζονται οι ροπές όλων των χαλύβων με θετικό πρόσημο και στη συνέχεια γίνεται η εξής διερεύνηση :

α) Ο χάλυβας βρίσκεται στο άνω μισό της διατομής και έχει θετική παραμόρφωση, επομένως η ροπή της δύναμης του ως προς το κέντρο της διατομής είναι αρνητική.

β) Ο χάλυβας βρίσκεται στο κάτω μισό της διατομής και έχει θετική παραμόρφωση, επομένως η ροπή της δύναμης του ως προς το κέντρο της διατομής είναι θετική.

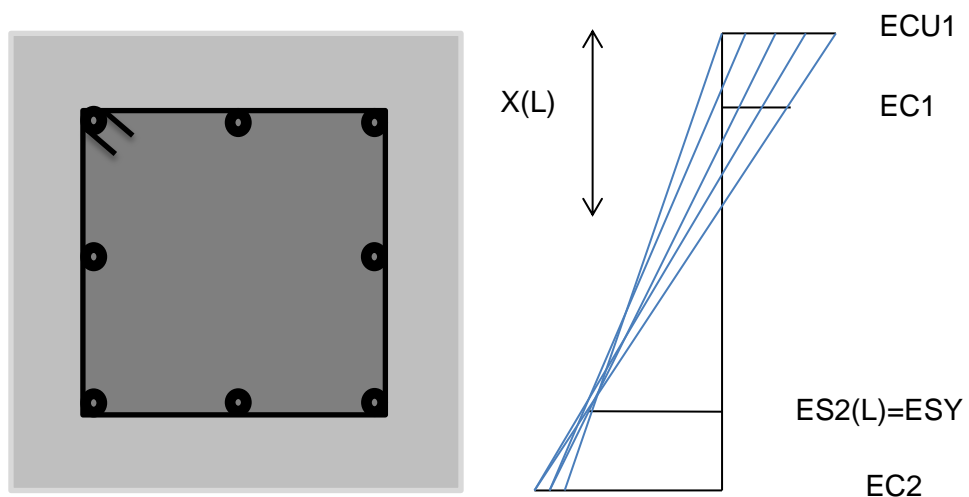
γ) Ο χάλυβας βρίσκεται στο άνω μισό της διατομής και έχει αρνητική παραμόρφωση, επομένως η ροπή της δύναμης του ως προς το κέντρο της διατομής είναι θετική.

δ) Ο χάλυβας βρίσκεται στο κάτω μισό της διατομής και έχει αρνητική παραμόρφωση, επομένως η ροπή της δύναμης του ως προς το κέντρο της διατομής είναι αρνητική.



## Πρόγραμμα ΜΥ

Στο συγκεκριμένο πρόγραμμα «αγκυρώνουμε» στη στάθμη του πλέον εφελκυσμένου χάλυβα σε παραμόρφωση ίση με την παραμόρφωση διαρροής του χάλυβα (στην διπλωματική εργασία χρησιμοποιείται χάλυβας B500C, με μέτρο ελαστικότητας  $E=200$  GPa και παραμόρφωση διαρροής  $\epsilon_y=0,0025$ ) και βρίσκουμε τα ζεύγη ροπών και αξονικών δυνάμεων για παραμορφώσεις της πλέον θλιβόμενης ίνας σκυροδέματος της διατομής από 0 έως την παραμόρφωση αστοχίας του περισφιγμένου σκυροδέματος.



### Εύρεση παραμορφωσιακής κατάστασης διατομής :

```
DO ECU1=ECCMAX,-0.00001,STEP
```

```
X(L)=ABS(ECU1)*d/(ABS(ECU1)+ABS(ESY))
```

```
EC1=(X(L)-C)*ECU1/X(L)
```

```
ES2(L)=ESY
```

Μέσω αυτού του βρόχου δίνουμε διάφορες τιμές στην παραμόρφωση της πλέον θλιβόμενης ίνας του σκυροδέματος (από  $ECCMAX$  έως  $-0.00001$  με βήμα  $STEP=1/50*ECCMAX$ ), έχοντας «αγκυρώσει» στην παραμόρφωση διαρροής  $ES2(L)=ESY$  του πλέον εφελκυσμένου χάλυβα, και βρίσκουμε το βάθος της θλιβόμενης ζώνης του σκυροδέματος  $X(L)$  και την παραμόρφωση  $EC1$  της πλέον θλιβόμενης ίνας του περισφιγμένου σκυροδέματος.

Το υπόλοιπο πρόγραμμα είναι ίδιο με το PROGRAM MU.

## Πρόγραμμα Mcr

Στο συγκεκριμένο πρόγραμμα «αγκυρώνουμε» στη στάθμη της πλέον εφελκυόμενης ίνας σκυροδέματος σε παραμόρφωση για την οποία αρχίζει η ρηγμάτωση του σκυροδέματος (στην διπλωματική εργασία χρησιμοποιείται σκυρόδεμα με μέτρο ελαστικότητας  $E_c=30.3 \text{ GPa}$ ) και βρίσκουμε τα ζεύγη ροπών και αξονικών δυνάμεων για παραμορφώσεις της πλέον θλιβόμενης ίνας σκυροδέματος της διατομής από 0 έως την παραμόρφωση αστοχίας του περισφιγμένου σκυροδέματος.

### Εύρεση παραμορφωσιακής κατάστασης διατομής :

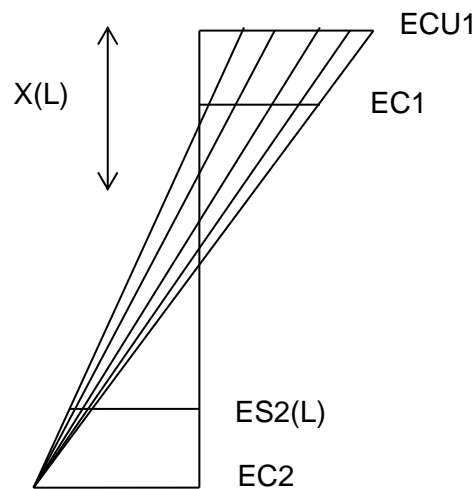
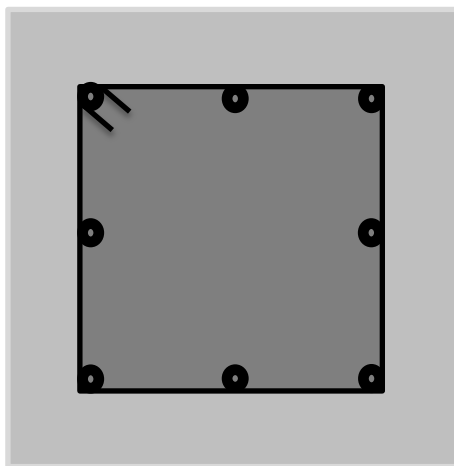
$$DO \ ECU1=ECCMAX,-0.00001,STEP$$

$$EC2=Ect$$

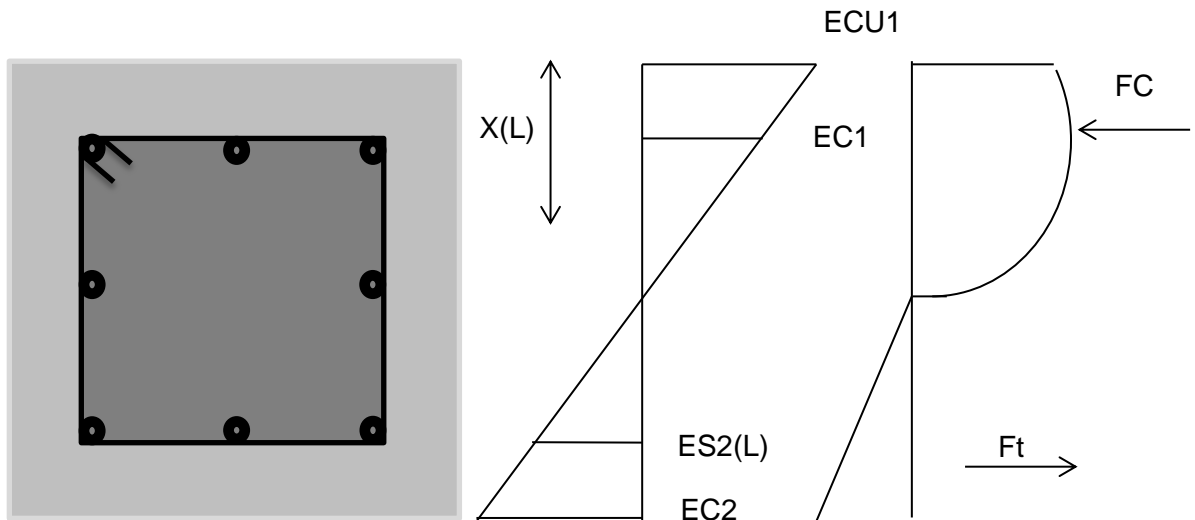
$$X(L)=ABS(ECU1)*h/(ABS(EC2)+ABS(ECU1))$$

$$EC1=(X(L)-C)*ECU1/X(L)$$

$$ES2(L)=ABS(ECU1)*(d-X(L))/X(L)$$



Επίσης θεωρούμε τριγωνική κατανομή τάσεων για τις εφελκυστικές τάσεις του σκυροδέματος



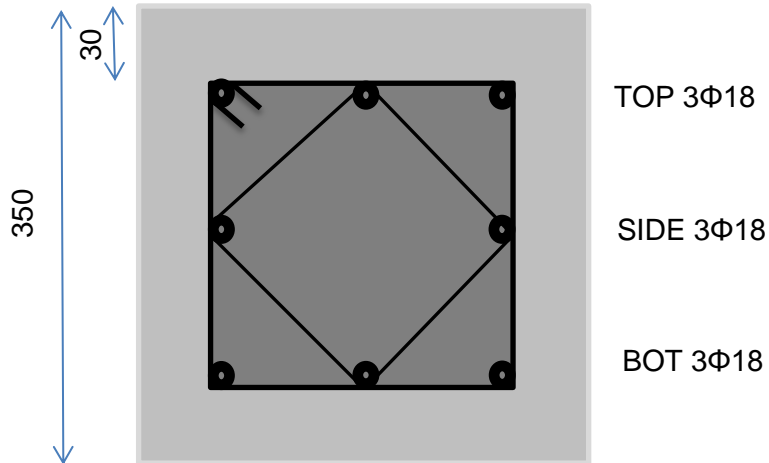
Το υπόλοιπο πρόγραμμα είναι ίδιο με το PROGRAM MU.

Σε όλα τα προγράμματα πριν το τέλος τους υπολογίζονται ξεχωριστά τα σημεία του διαγράμματος αλληλεπίδρασης με ροπή ίση με μηδέν, για καθαρό εφελκυσμό και καθαρή θλίψη. Το σημείο για καθαρή θλίψη υπολογίζεται για παραμόρφωση σκυροδέματος ίση με  $0,85 FCC$ . Στα προγράμματα FiberMcr και Mcr το σημείο της μέγιστης θλίψεως υπολογίζεται στο αρχικό πρόγραμμα και όχι μόνο του.

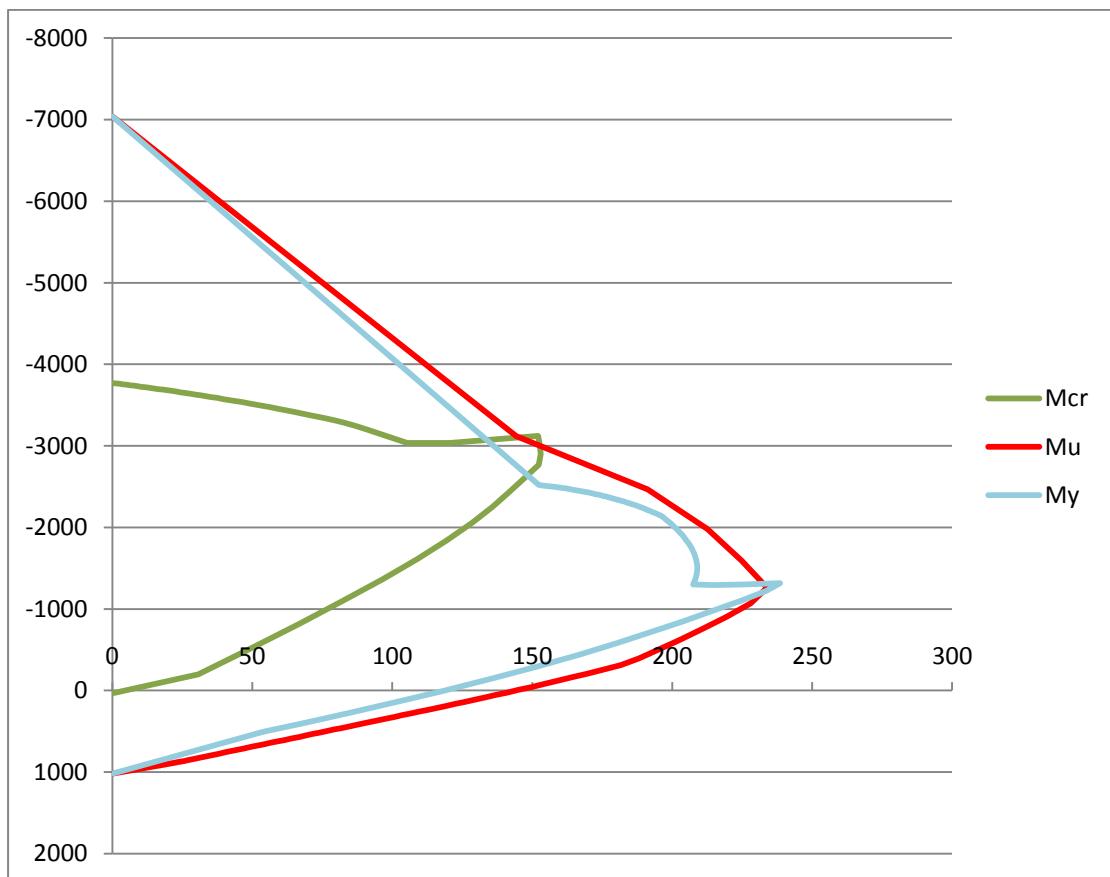


## Διαγράμματα Αλληλεπίδρασης Ροπών και Αξονικών Δυνάμεων

Παρουσιάζουμε τα διαγράμματα αλληλεπίδρασης για την διατομή του υποστυλώματος 0,35x0,35 η οποία επιλέχθηκε για την διπλωματική εργασία.



Διαγράμματα Αλληλεπίδρασης :



Σημειώνεται ότι το άλμα που παρατηρείται στα διαγράμματα αλληλεπίδρασης μετά την μέγιστη ροπή και προς την θλίψη οφείλεται στην αστοχία της επικάλυψης λόγω υπέρβασης της μέγιστης θλιπτικής παραμόρφωσης του απερίσφιγκτου σκυροδέματος.

## Προγράμματα Fibers

Για να ελέγξουμε την ορθότητα των προγραμμάτων MU ,MY, Mcr δημιουργήσαμε ακόμα τρία προγράμματα ,τα FibersMU,FibersMY,FibersMcr, τα οποία χωρίζουν την διατομή σε ίνες και έτσι ολοκληρώνουν τις τάσεις του σκυροδέματος. Ο αλγόριθμος αυτών των προγραμμάτων είναι τελείως διαφορετικός από τον αλγόριθμο των προγραμμάτων MU,MY,Mcr με αποτέλεσμα να οδηγούμαστε στο συμπέρασμα πως αν παρατηρηθεί σύγκλιση στα αποτελέσματα τους τότε τα προγράμματα είναι σωστά.

## ΝΟΜΟΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

### Απερίσφιγκτο Σκυρόδεμα:

Στα δεδομένα του προγράμματος έχουμε την δυνατότητα να δηλώσουμε τα χαρακτηριστικά του απερίσφιγκτου σκυροδέματος που επιθυμούμε να χρησιμοποιήσουμε.

FCUN=25000 kPa : Μέγιστη τάση απερίσφιγκτου σκυροδέματος

ECUN=-0.002 : Παραμόρφωση του σκυροδέματος που αντιστοιχεί στην μέγιστη τάση του απερίσφιγκτου σκυροδέματος

ECUNMAX=-0.0035 : Μέγιστη παραμόρφωση απερίσφιγκτου σκυροδέματος

Ο κλάδος του νόμου τάσεων-παραμορφώσεων από παραμόρφωση 0 εως την παραμόρφωση ECUN είναι παραβολή της μορφής  $y=ax^2+bx+c$

Ο κλάδος του νόμου τάσεων-παραμορφώσεων ο οποίος αρχίζει από παραμόρφωση ECUN και καταλήγει σε παραμόρφωση ECUNMAX είναι ευθεία γραμμή σταθερής τάσης FCUN

### Περισφιγμένο Σκυρόδεμα :

Στα δεδομένα του προγράμματος έχουμε την δυνατότητα να δηλώσουμε τα χαρακτηριστικά του περισφιγμένου σκυροδέματος που επιθυμούμε να χρησιμοποιήσουμε.

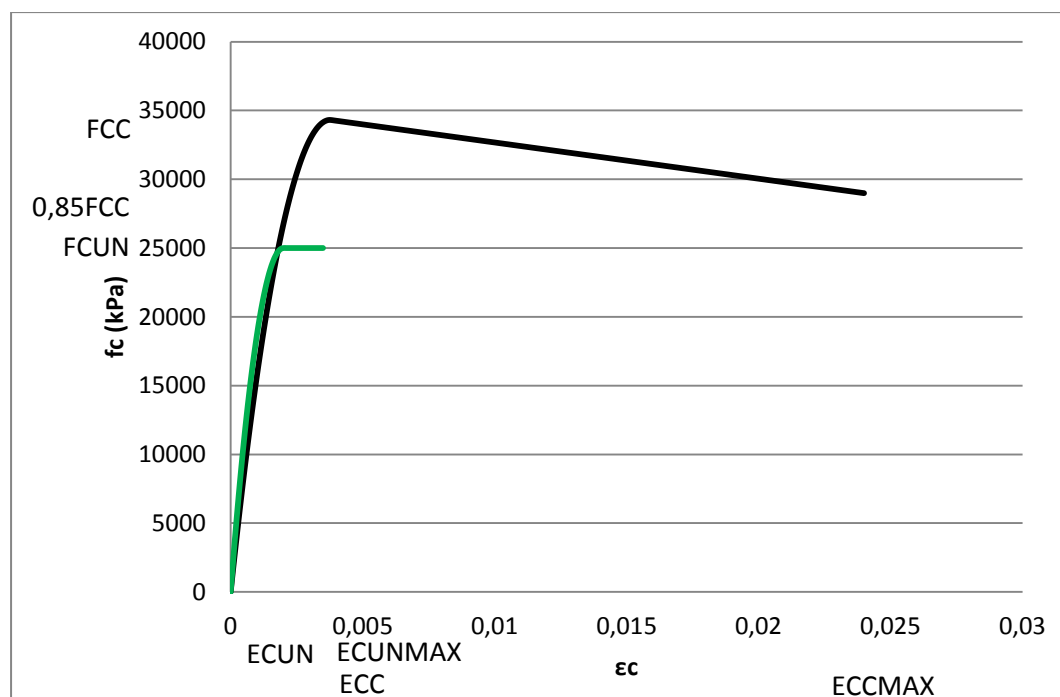
FCC=34317 kPa : Μέγιστη τάση περισφιγμένου σκυροδέματος

ECC=-0,003769 : Παραμόρφωση του σκυροδέματος που αντιστοιχεί στην μέγιστη τάση του περισφιγμένου σκυροδέματος

$ECC_{MAX} = -0,023316$  : Μέγιστη παραμόρφωση περισφιγμένου σκυροδέματος

Ο κλάδος του νόμου τάσεων-παραμορφώσεων από παραμόρφωση 0 έως την παραμόρφωση  $ECC$  είναι παραβολή της μορφής  $y = ax^2 + bx + c$

Ο φθιτός κλάδος του νόμου τάσεων-παραμορφώσεων ( $\sigma\epsilon$ ) αρχίζει από τάση  $FCC$  και καταλήγει σε τάση  $0,85FCC$  (η οποία αντιστοιχεί σε παραμόρφωση  $ECC_{MAX}$ )



Το προσομοίωμα, στο οποίο έχουν βασισθεί οι σχετικές διατάξεις του Ελληνικού Κανονισμού και του Ευρωκώδικα 8 προτείνει τις ακόλουθες σχέσεις για τα μηχανικά χαρακτηριστικά του περισφιγμένου σκυροδέματος :

$$FCC = (1 + 2,5 \cdot a \cdot \omega_w) \cdot FCUN \quad , \quad a \cdot \omega_w \leq 0,1$$

$$FCC = (1,125 + 1,25 \cdot a \cdot \omega_w) \cdot FCUN \quad , \quad a \cdot \omega_w > 0,1$$

$$ECC = (FCC / FCUN)^2 \cdot ECUN$$

$$ECC_{MAX} = ECUN_{MAX} + 0,1 \cdot a \cdot \omega_w$$

Όπου :

$$\omega_w = \frac{\text{ογκος συνδετήρων}}{\text{όγκος πυρήνα σκυροδέματος}} \cdot \frac{F_{sy}}{F_c}$$

$a$  : αποτελεσματικότητα της περίσφιξης με :

$$a = a_n \cdot a_s$$

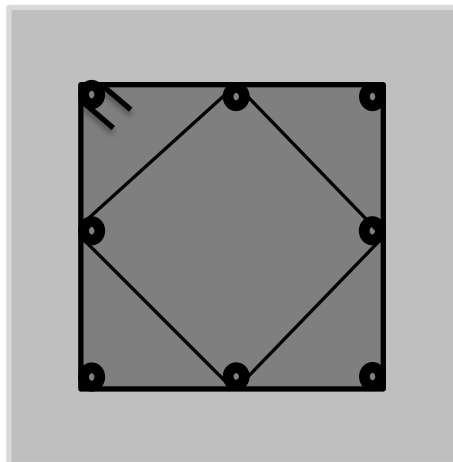
$a_n$  : αποτελεσματικότητα εντός της διατομής. Εκφράζει το ποσοστό της διατομής που περισφίγγεται και εξαρτάται από την εντός της διατομής διάταξη των συνδετήρων

$a_n = 1 - 8/3/n$  όπου  $n$  είναι το πλήθος των διαμήκων ράβδων που είναι δεμένες σε γωνία συνδετήρα

$a_n$  : αποτελεσματικότητα καθ' ύψος. Εξαρτάται από την απόσταση των συνδετήρων.

$a_s = (1 - s/b/2)^2$  όπου  $s$  είναι η απόσταση των συνδετήρων και  $b$  είναι η διάσταση του πυρήνα της διατομής

Στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία το υποσύλωμα οπλίζεται με συνδετήρες  $\Phi 10/9$  όπως στο ακόλουθο σχήμα :



## Πρόγραμμα FibersMU

Στο συγκεκριμένο πρόγραμμα «αγκυρώνουμε» στη στάθμη της πλέον θλιβόμενης ίνας σκυροδέματος σε κάποια παραμόρφωση (ECU1) και βρίσκουμε τα ζεύγη ροπών και αξονικών δυνάμεων για παραμορφώσεις (EC2) της πλέον εφελκυσμένης ίνας σκυροδέματος της διατομής από 0 έως την παραμόρφωση EC2MAX, παραμόρφωση για την οποία ο πλέον εφελκυσμένος χάλυβας της διατομής αστοχεί (παραμόρφωση για τον χάλυβα ίση με  $ES2(L)=0.07$ ).

### Εύρεση παραμορφωσιακής κατάστασης διατομής :

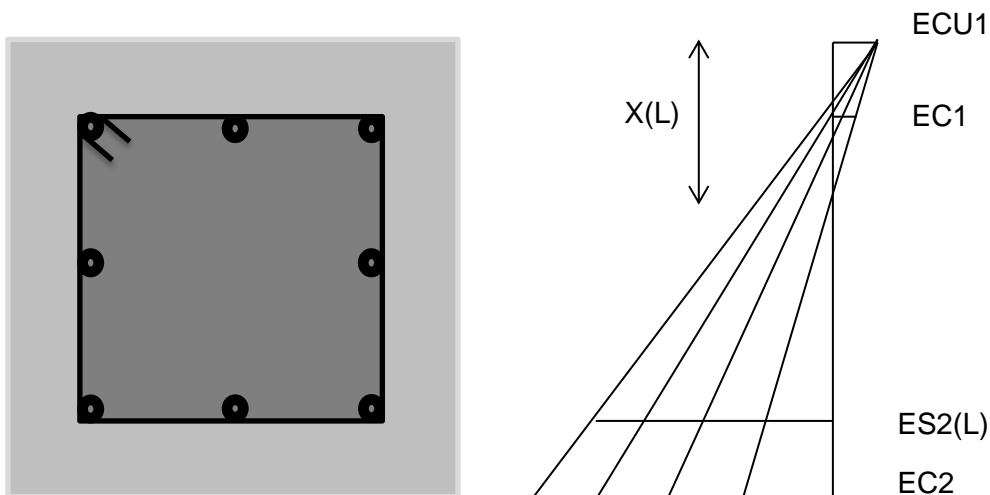
DO EC2=0.0,EC2MAX,STEP

$X(L)=ABS(ECU1)*h/(ABS(EC2)+ABS(ECU1))$

$EC1=(X(L)-C)*ECU1/X(L)$

$ES2(L)=ABS(ECU1)*(d-X(L))/X(L)$

Μέσω αυτού του βρόχου δίνουμε διάφορες τιμές στην παραμόρφωση (EC2) της πλέον εφελκυσμένης ίνας του σκυροδέματος (από 0 έως EC2MAX με βήμα  $STEP=1/50*EC2MAX$ ), έχοντας «αγκυρώσει» σε κάποια παραμόρφωση (ECU1) στην πλέον θλιβόμενη ίνα του σκυροδέματος (την τιμή της ECU1 η οποία δίνει τη μέγιστη ροπή για την οποία αστοχεί η διατομή και στην οποία «αγκυρώνουμε» την βρίσκουμε μέσω του προγράμματος MY) , και βρίσκουμε το βάθος της θλιβόμενης ζώνης του σκυροδέματος  $X(L)$  , την παραμόρφωση EC1 της πλέον θλιβόμενης ίνας του περισφιγμένου σκυροδέματος και την παραμόρφωση (ES2(L)) του πλέον εφελκυσμένου χάλυβα.



## Εύρεση της θέσης και της παραμόρφωσης του κέντρου βάρους των fibers

Έχοντας ορίσει διαφορετικό αριθμό ινών για την άνω επικάλυψη, το μεσαίο τμήμα της διατομής και την κάτω επικάλυψη (η άνω και η κάτω επικάλυψη έχουν ίδιο αριθμό ινών) ουσιαστικά έχουμε χωρίσει την διατομή σε τρεις περιοχές.

Αρχικά υπολογίζουμε την παραμόρφωση στο Κ.Β. της κάθε ίνας της άνω επικάλυψης.

$Y(I)$  : Η απόσταση του ΚΒ της ίνας από την πλέον θλιβόμενη ίνα

$ECY(I)$  : Η παραμόρφωση στο ΚΒ της ίνας

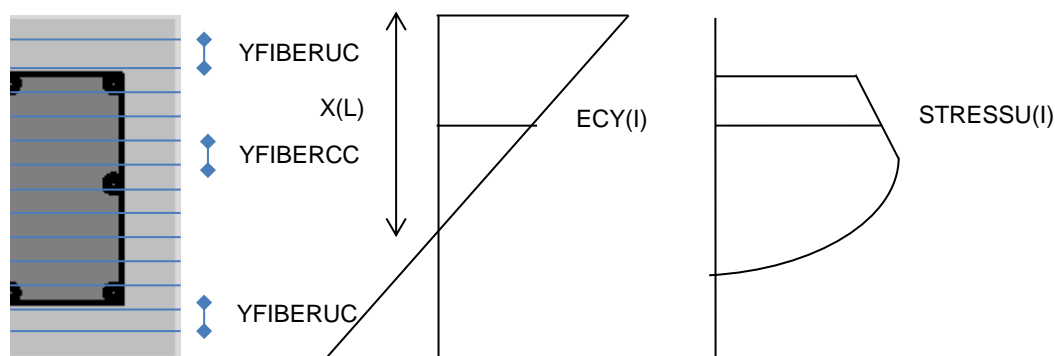
Ανάλογα με την παραμόρφωση της ίνας υπολογίζουμε την τάση του σκυροδέματος της ίνας με βάση τον νόμο τάσεων παραμορφώσεων που έχουμε ορίσει στα δεδομένα του προγράμματος.

$STRESSU(I)$  : Η τάση του σκυροδέματος στο ΚΒ της ίνας

Πολλαπλασιάζουμε την τάση του σκυροδέματος της κάθε ίνας με το εμβαδό την ίνας και έτσι υπολογίζουμε την δύναμη του σκυροδέματος στο ΚΒ της ίνας.

$FC(I)$  : Η δύναμη στο ΚΒ της κάθε ίνας

$RMC(I)$  : Η ροπή της δύναμης της κάθε ίνας ως προς το μέσον της διατομής

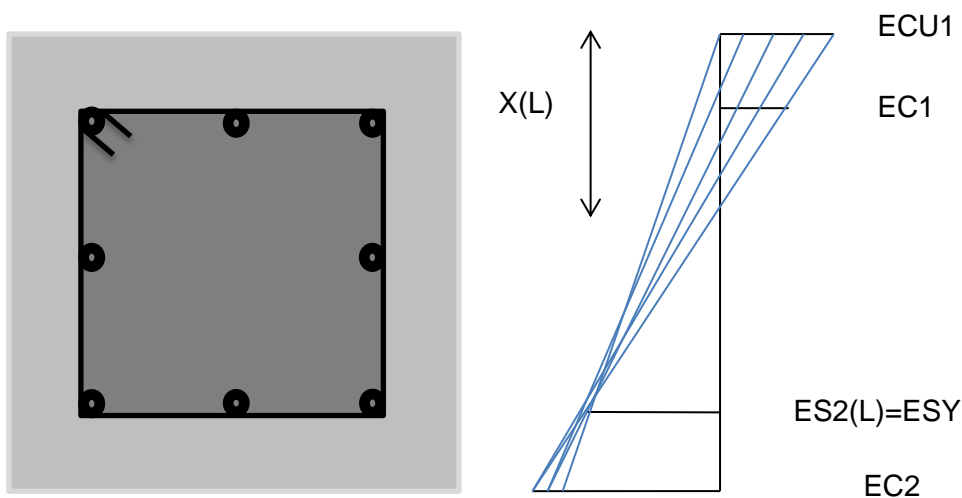


Τέλος αθροίζονται οι δυνάμεις και οι ροπές όλων των ινών της άνω επικάλυψης και αποθηκεύονται στις μεταβλητές  $RNCOCRETE$  και  $RMCONCRETE$  αντίστοιχα.

Η συγκεκριμένη διαδικασία εφαρμόζεται τόσο στο κεντρικό τμήμα της διατομής όσο και στην κάτω επικάλυψη και τελικά υπολογίζονται η συνολική δύναμη και ροπή του σκυροδέματος της διατομής. Στη δύναμη του σκυροδέματος και στην ροπή του προστίθενται οι δυνάμεις και οι ροπές των οπλισμών ( ο αλγόριθμος υπολογισμού των δυνάμεων και των ροπών των οπλισμών είναι ίδιος με αυτόν των προγραμμάτων MU,MY,McF) .

### Πρόγραμμα FibersMY

Στο συγκεκριμένο πρόγραμμα «αγκυρώνουμε» στη στάθμη του πλέον εφελκυόμενου χάλυβα σε παραμόρφωση ίση με την παραμόρφωση διαρροής του χάλυβα (στην διπλωματική εργασία χρησιμοποιείται χάλυβας B500C, με μέτρο ελαστικότητας  $E=200 \text{ GPa}$  και παραμόρφωση διαρροής  $\epsilon_y=0,0025$ ) και βρίσκουμε τα ζεύγη ροπών και αξονικών δυνάμεων για παραμορφώσεις της πλέον θλιβόμενης ίνας σκυροδέματος της διατομής από 0 έως την παραμόρφωση αστοχίας του περισφιγμένου σκυροδέματος.



### Εύρεση παραμορφωσιακής κατάστασης διατομής :

DO ECU1=ECCMAX,-0.00001,STEP

$X(L)=\text{ABS}(ECU1)*d/(\text{ABS}(ECU1)+\text{ABS}(ESY))$

$EC1=(X(L)-C)*ECU1/X(L)$

ES2(L)=ESY



Μέσω αυτού του βρόχου δίνουμε διάφορες τιμές στην παραμόρφωση της πλέον θλιβόμενης ίνας του σκυροδέματος (από ECCMAX έως -0.00001 με βήμα STEP=1/50\*ECCMAX), έχοντας «αγκυρώσει» στην παραμόρφωση διαρροής ES2(L)=ESY του πλέον εφελκυσμένου χάλυβα, και βρίσκουμε το βάθος της θλιβόμενης ζώνης του σκυροδέματος X(L) και την παραμόρφωση EC1 της πλέον θλιβόμενης ίνας του περισφιγμένου σκυροδέματος.

Το υπόλοιπο πρόγραμμα είναι ίδιο με το FibersMU.

### Πρόγραμμα FibersMcr

Στο συγκεκριμένο πρόγραμμα «αγκυρώνουμε» στη στάθμη της πλέον εφελκυσμένης ίνας σκυροδέματος σε παραμόρφωση για την οποία αρχίζει η ρηγμάτωση του σκυροδέματος (στην διπλωματική εργασία χρησιμοποιείται σκυρόδεμα με μέτρο ελαστικότητας  $E_c=30.3 \text{ GPa}$ ) και βρίσκουμε τα ζεύγη ροπών και αξονικών δυνάμεων για παραμορφώσεις της πλέον θλιβόμενης ίνας σκυροδέματος της διατομής από 0 έως την παραμόρφωση αστοχίας του περισφυγμένου σκυροδέματος.

### Εύρεση παραμορφωσιακής κατάστασης διατομής :

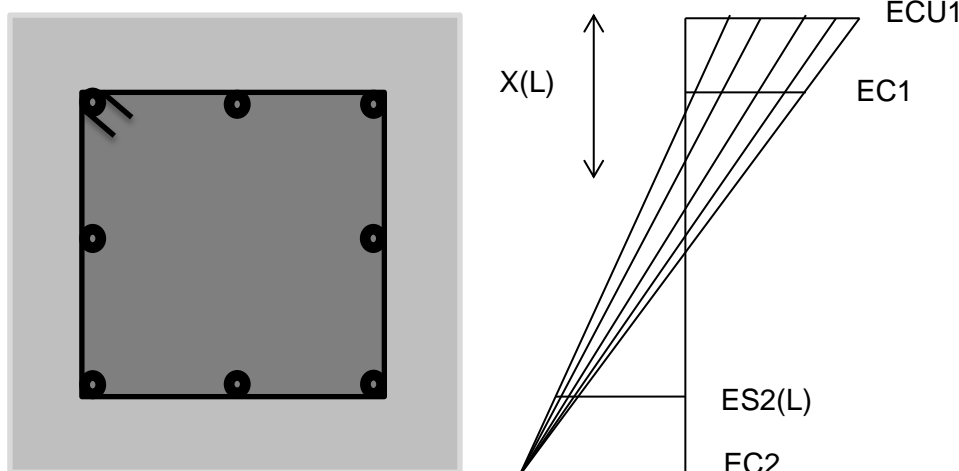
$$DO \ ECU1=ECCMAX,-0.00001,STEP$$

$$EC2=ECt$$

$$X(L)=ABS(ECU1)*h/(ABS(EC2)+ABS(ECU1))$$

$$EC1=(X(L)-C)*ECU1/X(L)$$

$$ES2(L)=ABS(ECU1)*(d-X(L))/X(L)$$

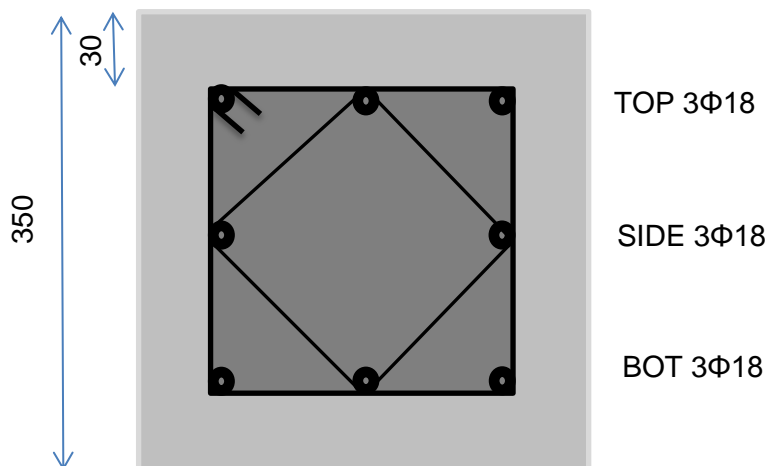


Στο συγκεκριμένο πρόγραμμα στην συνολική δύναμη και ροπή της διατομής συνυπολογίζονται και η δύναμη και η ροπή του σκυροδέματος λόγω των εφελκυστικών τάσεων του σκυροδέματος.

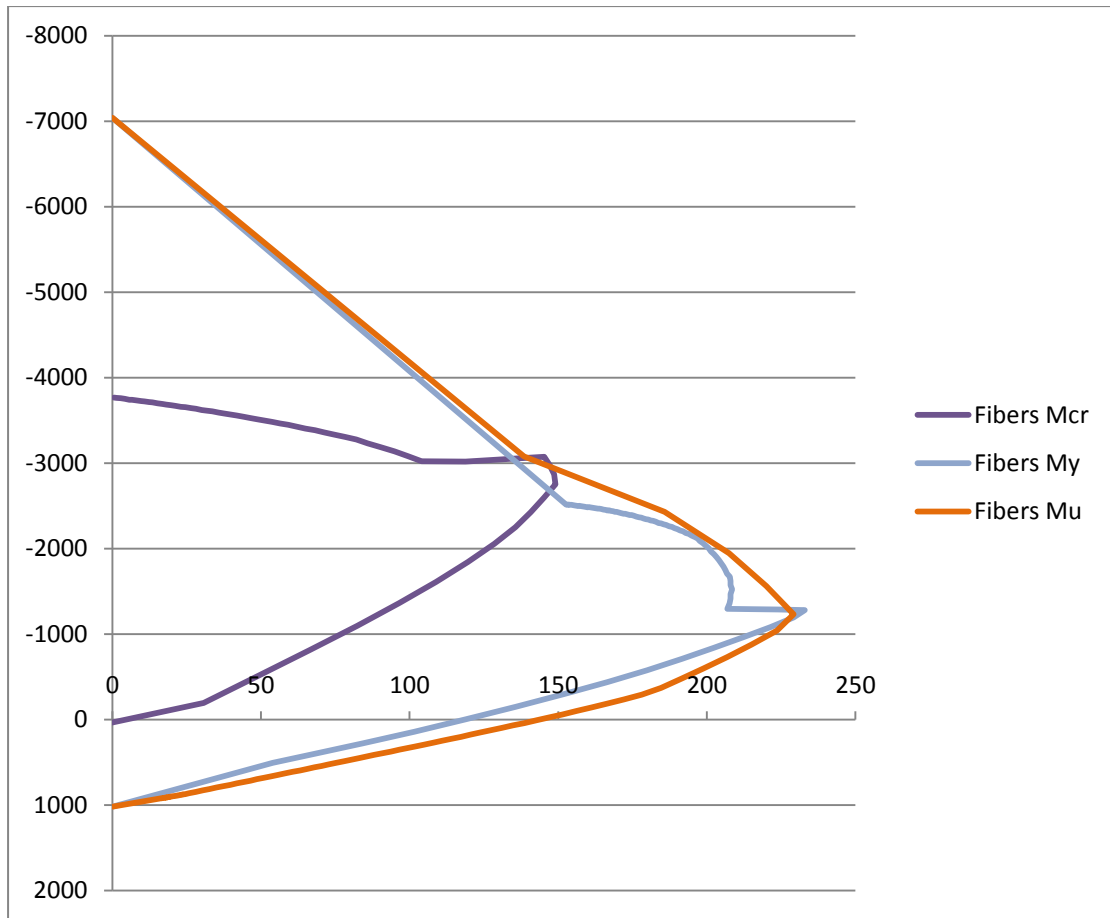
Το υπόλοιπο πρόγραμμα είναι ίδιο με το FibersMU.

### **Διαγράμματα Αλληλεπίδρασης Ροπών και Αξονικών Δυνάμεων**

Παρουσιάζουμε τα διαγράμματα αλληλεπίδρασης για την διατομή του υποστυλώματος 0,35x0,35 η οποία επιλέχθηκε για την διπλωματική εργασία.



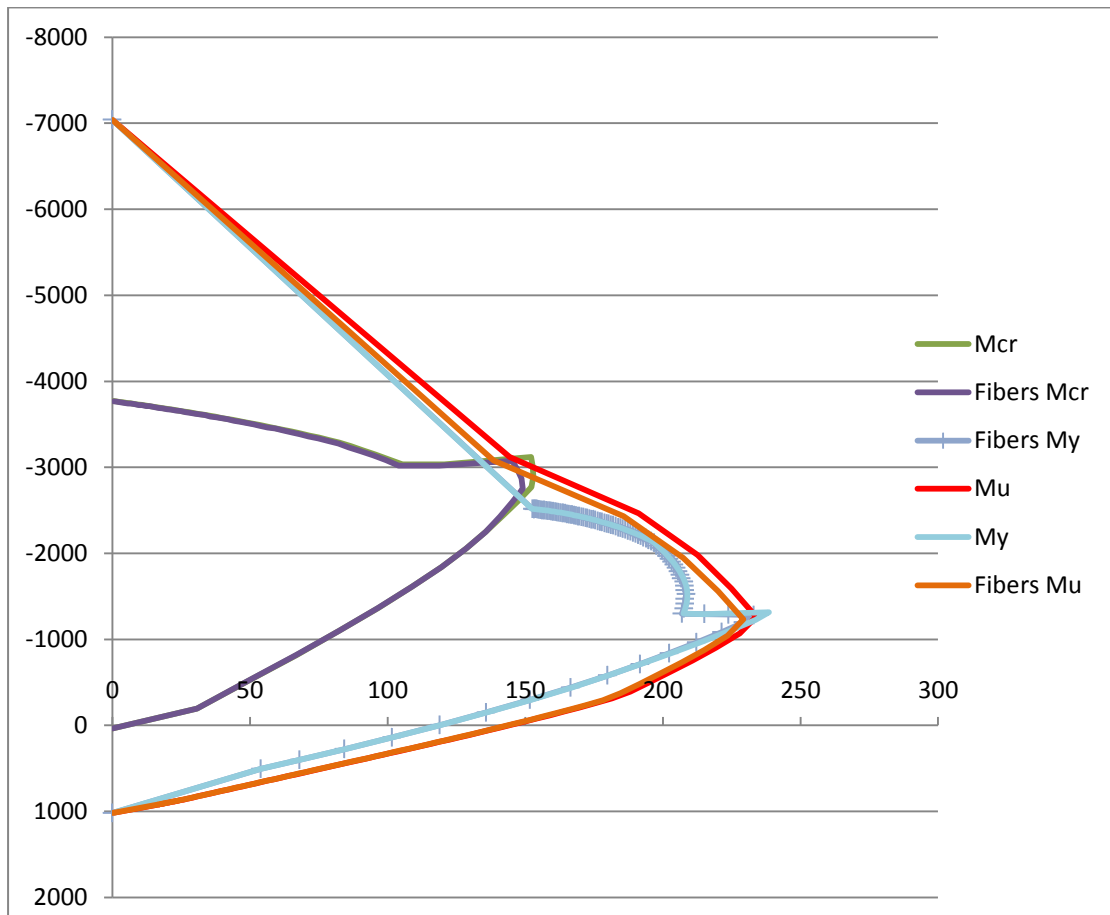
### Διαγράμματα Αλληλεπίδρασης :



Σημειώνεται ότι το άλμα που παρατηρείται στα διαγράμματα αλληλεπίδρασης μετά την μέγιστη ροπή και προς την θλίψη οφείλεται στην αστοχία της επικάλυψης λόγω υπέρβασης της μέγιστης θλιπτικής παραμόρφωσης του απερίσφιγκτου σκυροδέματος.

## Σύγκριση των Αποτελεσμάτων των Προγραμμάτων MU,MY,Mcr,FibersMU,FibersMY,FibersMcr

Παρατηρώντας το ακόλουθο διάγραμμα αλληλεπίδρασης ροπών και αξονικών δυνάμεων για την διατομή που έχουμε επιλέξει για τις αναλύσεις στην παρούσα διπλωματική αντιλαμβανόμαστε πως τα αποτελέσματα των προγραμμάτων MU,MY,Mcr συμπίπτουν με τα αποτελέσματα των προγραμμάτων FibersMU,FibersMY και FibersMcr αντίστοιχα. Επομένως οδηγούμαστε στο συμπέρασμα πως τα αποτελέσματα είναι ορθά εφόσον οι κώδικες των συγκριθέντων προγραμμάτων είναι τελείως διαφορετικοί μεταξύ τους. Οι μικρές διαφορές που παρατηρούμε είναι αποδεκτές (μικρότερες του 5%) και οφείλονται στο διαφορετικό τρόπο ολοκλήρωσης των τάσεων του σκυροδέματος στα συγκριθέντα προγράμματα.



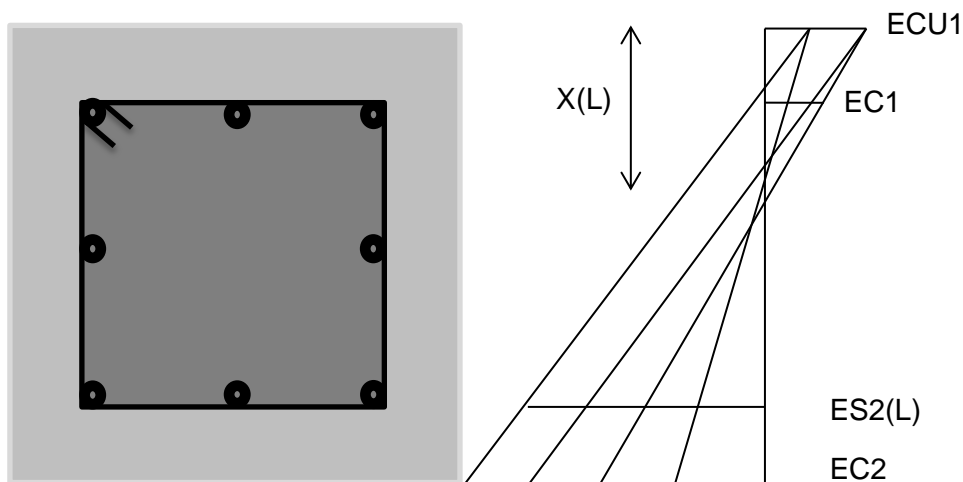
## Πρόγραμμα Moment-Curvature

Με το συγκεκριμένο πρόγραμμα υπολογίζουμε διαγράμματα ροπών καμπυλοτήτων .

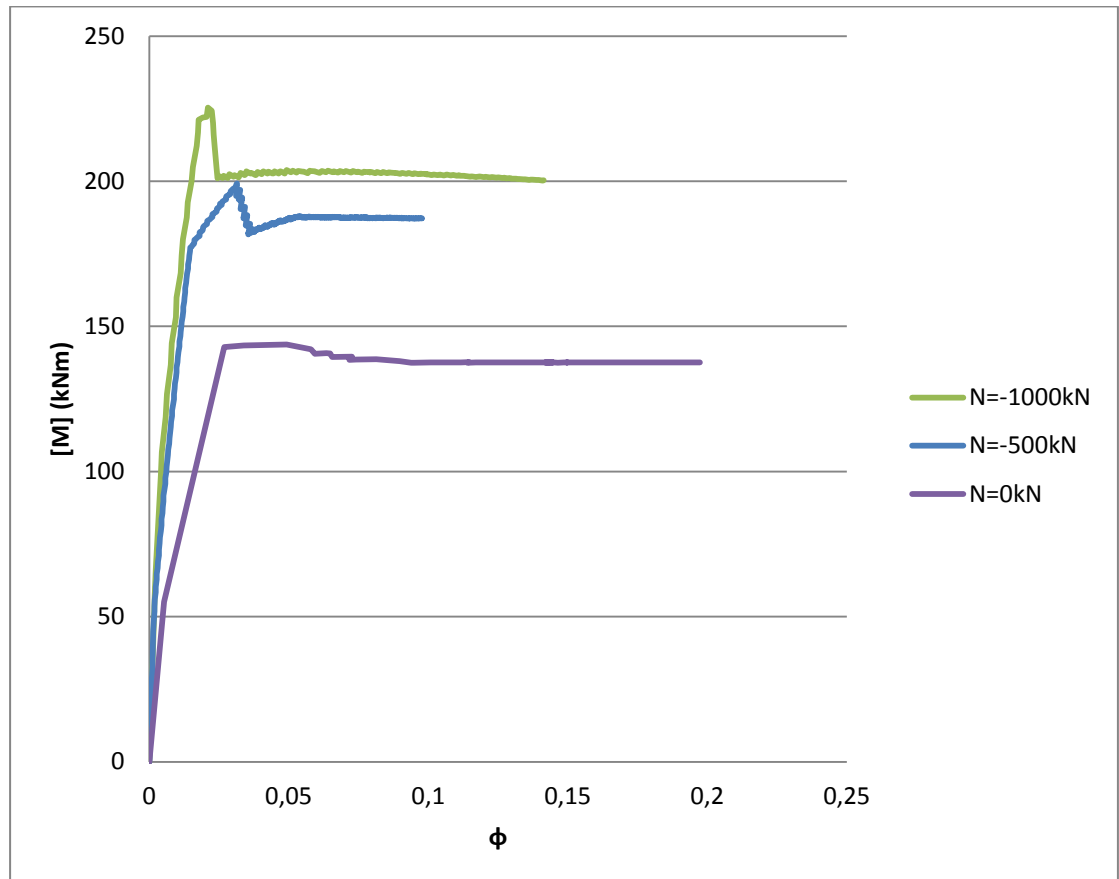
Με τη βοήθεια δύο βρόχων δίνουμε τιμές στη πλέον θλιβόμενη ίνα σκυροδέματος και στην συνέχεια διερευνούμε για παραμόρφωση της πλέον εφελκυσμένης ίνας που επιτυγχάνεται ισοδυναμία εσωτερικών και εξωτερικών δυνάμεων.

Επίσης στο πρόγραμμα δίνεται από τον χρήστη και μια τιμή για την ακρίβεια με την οποία θεωρείται αποδεκτή η ισοδυναμία αυτή. Όταν επιτευχθεί η ισοδυναμία με την ακρίβεια που έχουμε ορίσει τότε υπολογίζεται η ροπή και η καμπυλότητα.

Στο επόμενο σχήμα φαίνεται η λογική του προγράμματος με την οποία δίνει τιμές στις παραμορφώσεις της διατομής και βάση αυτής υπολογίζει την ροπή και την καμπυλότητα :



Δίνονται τα διαγράμματα ροπών καμπυλοτήτων για την διατομή που έχει επιλεγεί και για τις τρεις αξονικές φορτίσεις :



Το άλμα που παρατηρείται από την μέγιστη τιμή της ροπής έως το πλατό οφείλεται στην αστοχία της επικάλυψης λόγω θλίψης.

## Θεωρητική Επίλυση – Αποτελέσματα

Με χρήση των προγραμμάτων Mu,My,Mcr (ή των προγραμμάτων FibersMu,FibersMy,FibersMcr) υπολογίζουμε την ροπή αστοχίας Mu , τη ροπή ρηγμάτωσης Mcr , το φορτίο αστοχίας και τον συντελεστή α της διατομής για το εκάστοτε αξονικό φορτίο. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον επόμενο πίνακα

Διατομή	L (m)	N (kN)	Mu (kNm)	maxPs=4*Mu/L (kN)	Mcr (kNm)	α=Mcr/Mu
3Φ18Π,2Φ18Μ,3Φ18Κ	2,7	0	138	204,4444444	4,61	0,033406
3Φ18Π,2Φ18Μ,3Φ18Κ	2,7	500	188	278,5185185	48,37	0,257287
3Φ18Π,2Φ18Μ,3Φ18Κ	2,7	1000	205	303,7037037	76,91	0,375171

Η ταχύτητα διάδοσης του κύματος είναι  $u'_w = 2300\text{m/sec}$  (όπου θεωρήσαμε λόγο του Poisson ίσο με 0,2)

Η πρώτη ιδιοσυχνότητα δίνεται από τον τύπο :

$$\omega_1 = (\pi/L)^2 * \sqrt{EI/\rho A} \text{ όπου : } L = 2,7\text{m}$$

$$E = 30,5 \text{ GPa}$$

$$I = b*h^3/12 = 0,00125 \text{ m}^4$$

$$\rho = 2400 \text{ kg/m}^3$$

$$A = A_c = b*h = 0,35*0,35 = 0,1225 \text{ m}^2$$

Οπότε  $\omega_1 = 487,53\text{rad/sec}$  και  $T_1 = 2*\pi/\omega_1 = 0,0129\text{sec}$

Επομένως από τις σχέσεις:

$$P'_{op1} = \max P_s / T_1$$

και

$$P'_{op2} = 16 \cdot \alpha \cdot \beta \cdot M_u \cdot u'_w / L^2$$

Με  $\beta=1$  προκύπτουν τα ακόλουθα αποτελέσματα:

Διατομή	L (m)	N (kN)	P <sub>op</sub> '1 (kN/sec)	P <sub>op</sub> '2 (kN/sec)
3Φ18Π,2Φ18Μ,3Φ18Κ	2,7	0	15848,41	23271,33
3Φ18Π,2Φ18Μ,3Φ18Κ	2,7	500	21590,58	244172,29
3Φ18Π,2Φ18Μ,3Φ18Κ	2,7	1000	23542,92	388242,52



Πλέον μπορούμε να συμπληρώσουμε τον γενικό πίνακα , τον οποίο μορφώσαμε από την θεωρητική ανάπτυξη του κεφαλαίου και ο οποίος παρουσιάζεται πάλι εδώ :

<b>Loading Rate (P')</b>	<b><math>\Delta t_c</math></b>	<b><math>L_{eff}</math></b>	<b>maxPd</b>
200 kN/sec	$\max P_s / P'$	$2 * \Delta t_c * u'_w > 2,7 \text{ m}$	$4 * M_U / L$
2000 kN/sec	$\max P_s / P'$	$2 * \Delta t_c * u'_w > 2,7 \text{ m}$	$4 * M_U / L$
$P'_{op1}$	$\max P_s / P'_{op1}$	$2 * \Delta t_c * u'_w > 2,7 \text{ m}$	$4 * M_U / L$
20000 kN/sec			Γραμ. παρεμβολή
$P'_{op2}$	$\sqrt{4 * \alpha * \beta * M_U / (P'_{op2} * u'_w)}$	$2 * \Delta t_c * u'_w = 2,7 \text{ m}$	$4 * (1 + \beta) * M_U / L$
200000 kN/sec	$\sqrt{4 * \alpha * \beta * M_U / (P' * u'_w)}$	$2 * \Delta t_c * u'_w < 2,7 \text{ m}$	$4 * (1 + \beta) * M_U / L$
1000000 kN/sec	$\sqrt{4 * \alpha * \beta * M_U / (P' * u'_w)}$	$2 * \Delta t_c * u'_w < 2,7 \text{ m}$	$4 * (1 + \beta) * M_U / L$

**N=0 kN**

<b>Loading Rate (P')</b> (kN/sec)	<b><math>\Delta t_c</math></b> (sec)	<b>Leff</b> (m)	<b>maxPd</b> (kN)
200	1,022222222	4702,222222	204,4444444
2000	0,102222222	470,2222222	204,4444444
16519,09	0,0129	59,34	204,4444444
20000			322,95
23271,33	0,000586957	2,7	408,8888889
200000	0,000200217	0,920999457	1198,697775
1000000	8,95399E-05	0,411883479	2680,369709

**N=-500 kN**

<b>Loading Rate (P')</b> (kN/sec)	<b><math>\Delta t_c</math></b> (sec)	<b>Leff</b> (m)	<b>MaxPd</b> (kN)
200	1,392592593	6405,925926	278,5185185
2000	0,139259259	640,5925926	278,5185185
20000	0,013925926	64,05925926	278,5185185
22253,23	0,0129	59,34	278,5185185
200000			501,46
244172,3	0,000586957	2,7	557,037037
1000000	0,000290037	1,334172403	1127,290594

**N=-1000 kN**

<b>Loading Rate (P')</b> (kN/sec)	<b><math>\Delta t_c</math></b> (sec)	<b>Leff</b> (m)	<b>MaxPd</b> (kN)
200	1,518518519	6985,185185	303,7037037
2000	0,151851852	698,5185185	303,7037037
20000	0,015185185	69,85185185	303,7037037
25449,33	0,0129	59,34	303,7037037
200000			449,26
388242,524	0,000586957	2,7	607,4074074
1000000	0,000365727	1,682345981	974,8292078
2000000	0,000258608	1,189598252	1378,616687

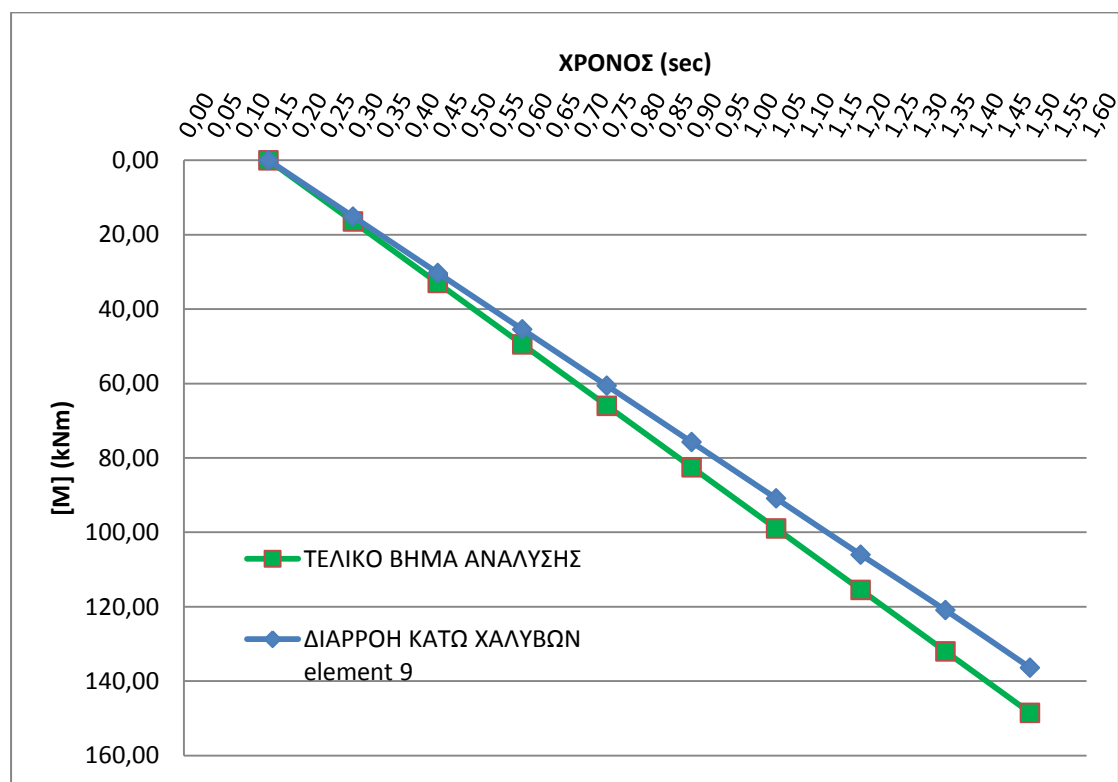
## Αναλύσεις με Χρήση του OPENSEES

### N=0 kN (static)

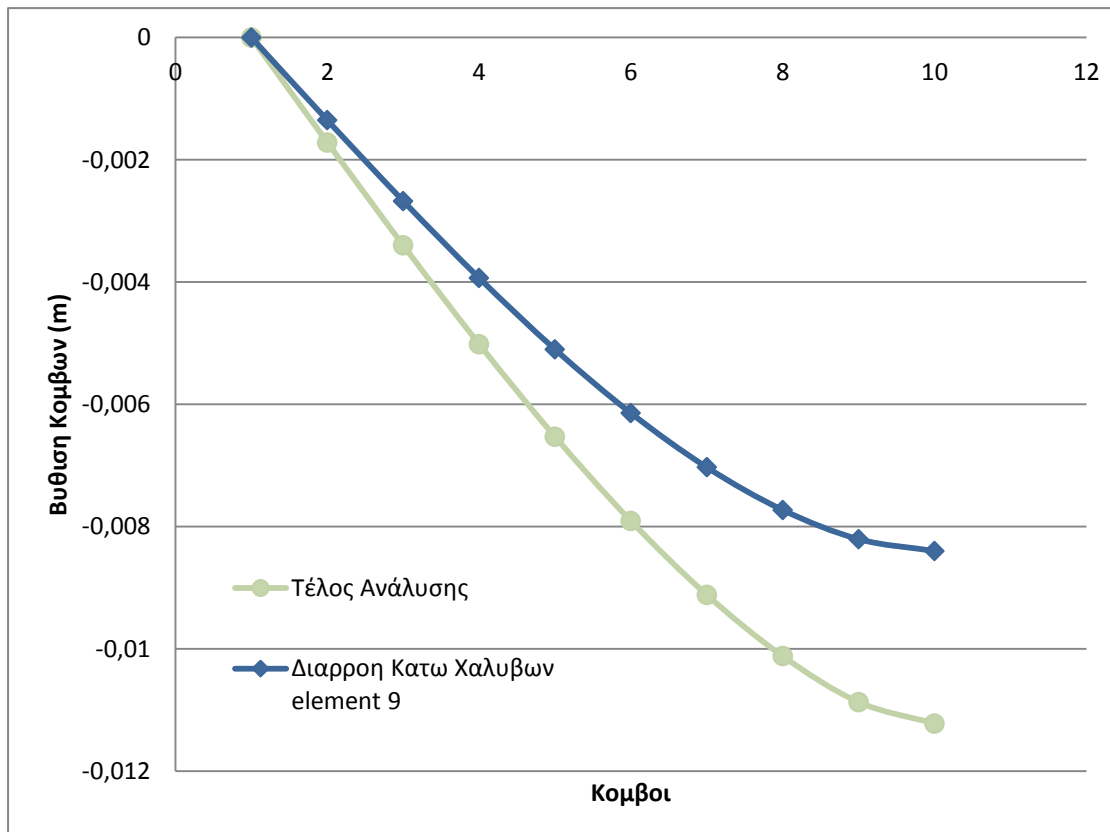
Για αυτή τη φόρτιση η ανάλυση σταματάει και το recorder των τάσεων- παραμορφώσεων δείχνει ότι η διατομή δεν έχει αστοχήσει αλλά μόνο οι κάτω χάλυβες έχουν διαρρεύσει.

	STRESS	STRAIN
ΑΠΕΡΙΣΦΙΓΚΤΟ ΑΝΩ	-23416,4	-0,0014966
ΑΝΩ ΙΝΑ CORE (CONCRETE)	-14805,5	-0,0009269
ΑΝΩ ΧΑΛΥΒΑΣ	-195617,0	-0,0009781
ΜΕΤΑΞΥ ΜΕΣΑΙΑΣ ΚΑΙ ΑΝΩ ΙΝΑΣ (CORE)	-65,9	-0,0000063
ΜΕΣΑΙΑ ΙΝΑ ΔΙΑΤΟΜΗΣ (CONCRETE)	0,0	0,0015282
ΜΕΣΑΙΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ	315867,0	0,0015793
ΜΕΤΑΞΥ ΜΕΣΑΙΑΣ ΚΑΙ ΚΑΤΩ ΙΝΑΣ (CORE)	0,0	0,0031649
ΚΑΤΩ ΧΑΛΥΒΑΣ	500000,0	0,0041368
ΑΠΕΡΙΣΦΙΓΚΤΟ ΚΑΤΩ	0,0	0,0046553

Η μέγιστη ροπή που καταγράφεται είναι 149 kNm (136kNm κατά την διαρροή των κάτω χάλυβων του element 9) και με βάση το διάγραμμα ροπών καμπυλοτήτων η ροπή αστοχίας της διατομής είναι 138 kNm.



Παρατηρώντας το διάγραμμα ροπών και την παραμορφωμένη κατάσταση του υποστυλώματος τη στιγμή της αστοχίας αντιλαμβανόμαστε πως το υποστύλωμα αποκρίνεται περίπου όπως στην στατική φόρτιση. Η παραμόρφωση του φορέα θυμίζει την 1<sup>η</sup> ιδιομορφή.



$$\max \delta = -0,011\text{m}$$

$$\delta y = -0,008\text{m}$$

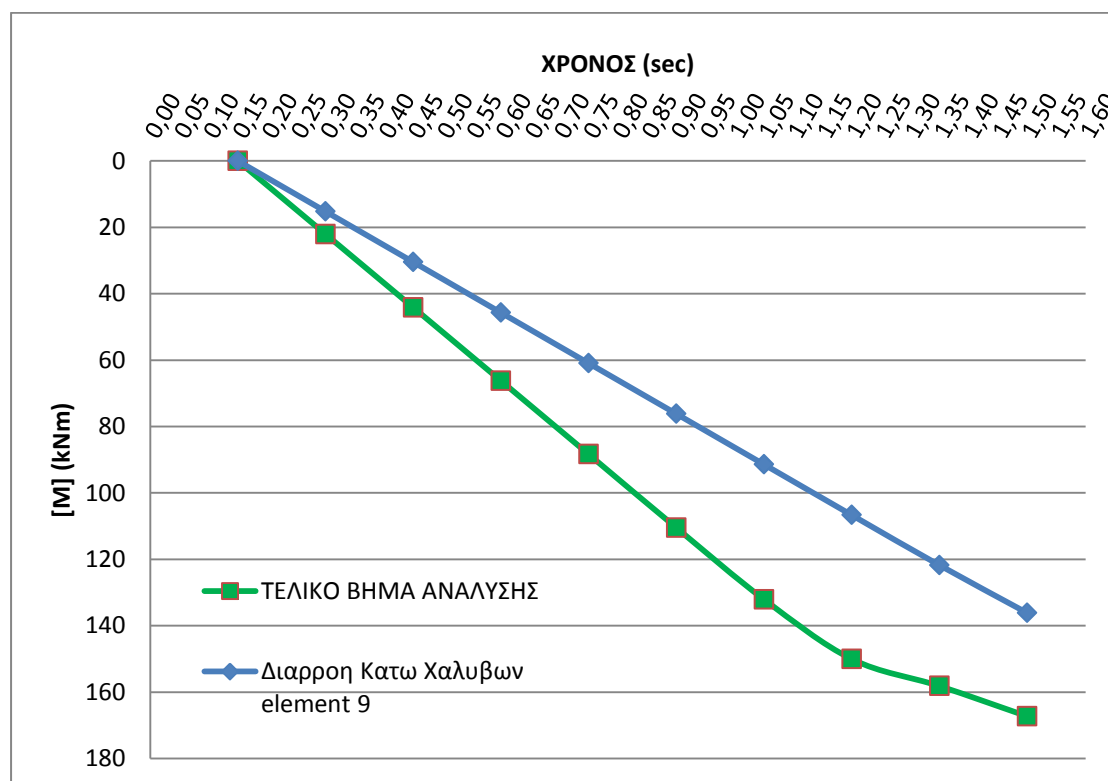
**N=0 kN**

**P=200kN/sec**

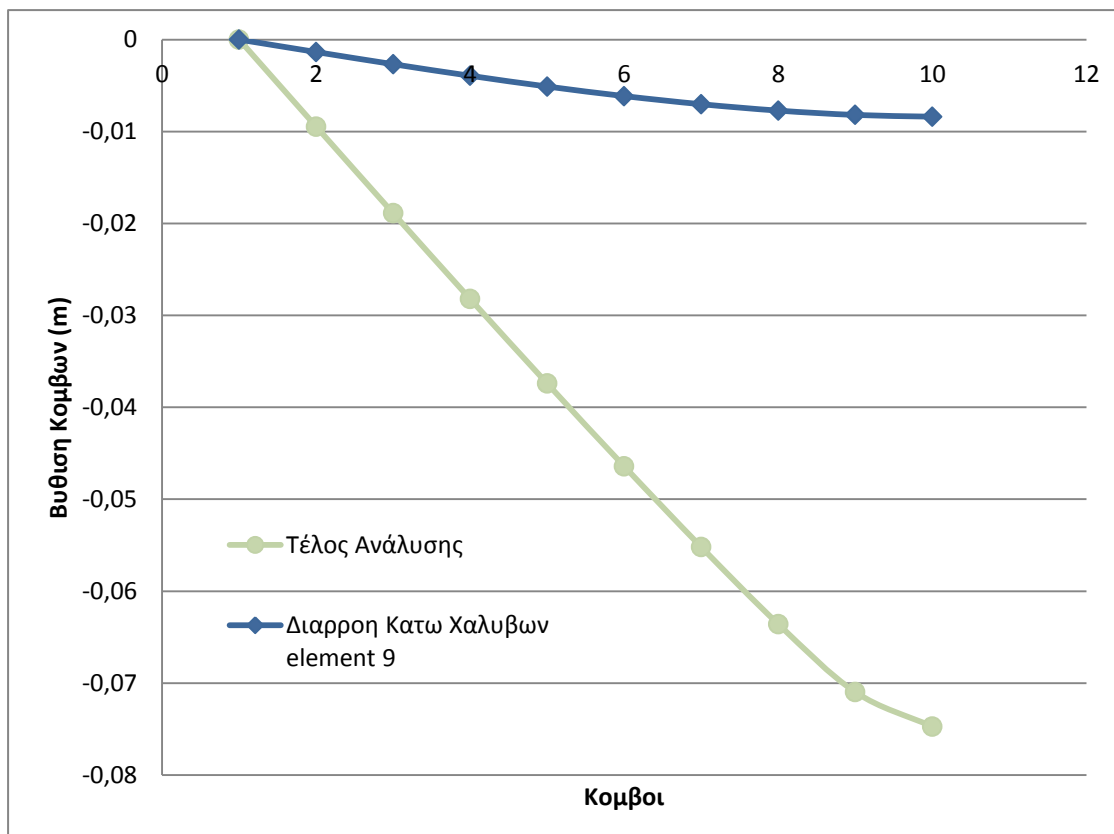
Για αυτή τη φόρτιση η ανάλυση σταματάει και το recorder των τάσεων- παραμορφώσεων δείχνει ότι ενώ η επικάλυψη της διατομής έχει αστοχήσει ο πυρήνας της διατομής δεν έχει αστοχήσει. Οι κάτω οπλισμοί όμως έχουν αστοχήσει και επομένως έχουμε ψαθυρή αστοχία.

	STRESS	STRAIN
ΑΠΕΡΙΣΦΙΓΚΤΟ ΑΝΩ	-25000,0	-0,0123475
ΑΝΩ ΙΝΑ CORE (CONCRETE)	-34202,4	-0,0039406
ΑΝΩ ΧΑΛΥΒΑΣ	-500000,0	-0,0046930
ΜΕΤΑΞΥ ΜΕΣΑΙΑΣ ΚΑΙ ΑΝΩ ΙΝΑΣ (CORE)	0,0	0,0096493
ΜΕΣΑΙΑ ΙΝΑ ΔΙΑΤΟΜΗΣ (CONCRETE)	0,0	0,0338079
ΜΕΣΑΙΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ	500000,0	0,0330580
ΜΕΤΑΞΥ ΜΕΣΑΙΑΣ ΚΑΙ ΚΑΤΩ ΙΝΑΣ (CORE)	0,0	0,0564504
ΚΑΤΩ ΧΑΛΥΒΑΣ	500000,0	0,0708090
ΑΠΕΡΙΣΦΙΓΚΤΟ ΚΑΤΩ	0,0	0,0784635

Η μέγιστη ροπή που καταγράφεται είναι 166 kNm (137kNm κατά την διαρροή των κάτω χαλύβων του element 9) και με βάση το διάγραμμα ροπών καμπυλοτήτων η ροπή αστοχίας της διατομής είναι 138 kNm.



Παρατηρώντας το διάγραμμα ροπών και την παραμορφωμένη κατάσταση του υποστυλώματος τη στιγμή της αστοχίας αντιλαμβανόμαστε πως το υποστύλωμα αποκρίνεται περίπου όπως στην στατική φόρτιση. Η παραμόρφωση του φορέα θυμίζει την 1<sup>η</sup> ιδιομορφή.



$$\max \delta = -0,075\text{m}$$

$$\delta y = -0,008\text{m}$$



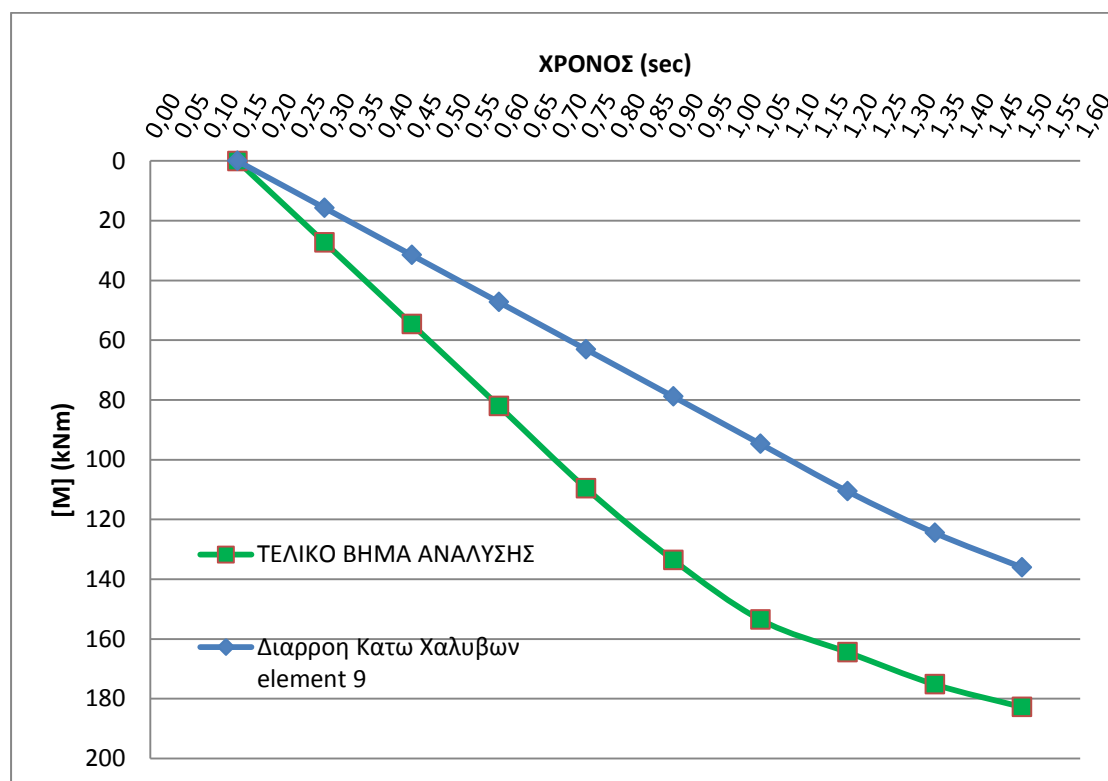
**N=0 kN**

**P=2000kN/sec**

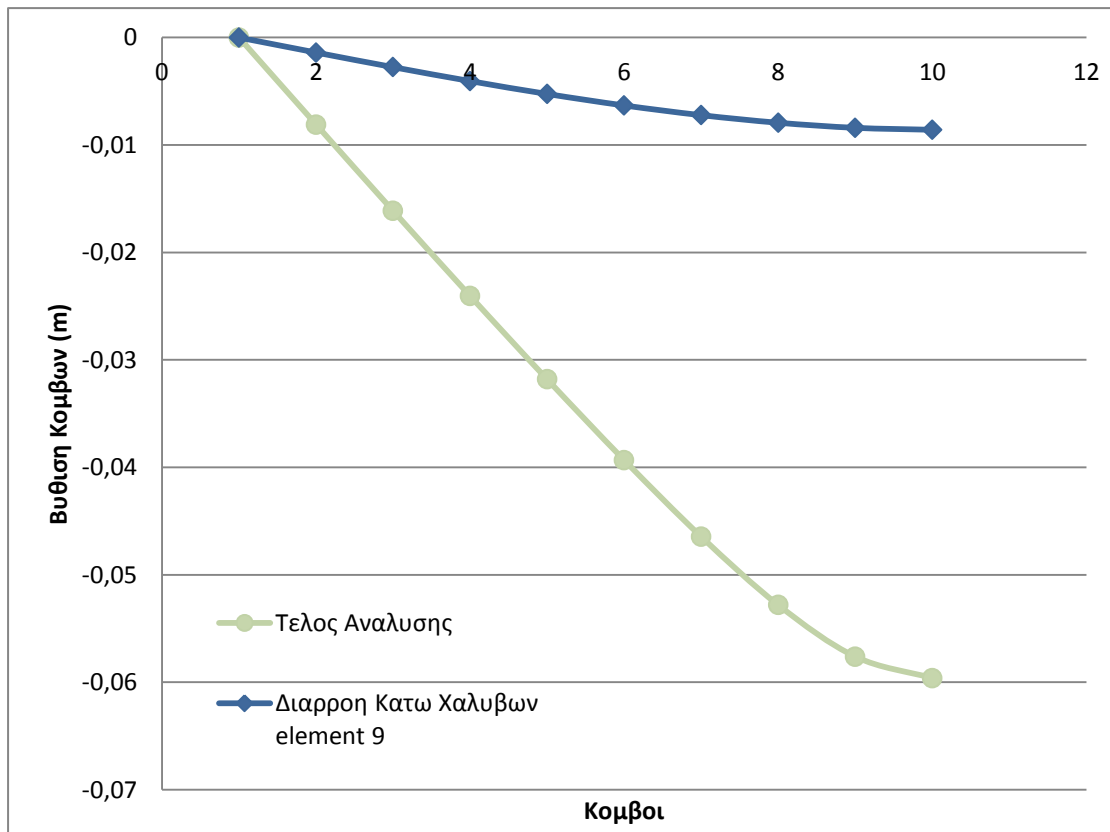
Για αυτή τη φόρτιση η ανάλυση σταματάει και το recorder των τάσεων- παραμορφώσεων δείχνει ότι ενώ η επικάλυψη της διατομής έχει αστοχήσει ο πυρήνας της διατομής δεν έχει αστοχήσει. Οι κάτω οπλισμοί όμως έχουν αστοχήσει και επομένως έχουμε ψαθυρή αστοχία.

	STRESS	STRAIN
ΑΠΕΡΙΣΦΙΓΚΤΟ ΑΝΩ	-25000,0	-0,0181196
ΑΝΩ ΙΝΑ CORE (CONCRETE)	-30901,0	-0,0088791
ΑΝΩ ΧΑΛΥΒΑΣ	-500000,0	-0,0097062
ΜΕΤΑΞΥ ΜΕΣΑΙΑΣ ΚΑΙ ΑΝΩ ΙΝΑΣ (CORE)	0,0	0,0060581
ΜΕΣΑΙΑ ΙΝΑ ΔΙΑΤΟΜΗΣ (CONCRETE)	0,0	0,0326119
ΜΕΣΑΙΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ	500000,0	0,0317876
ΜΕΤΑΞΥ ΜΕΣΑΙΑΣ ΚΑΙ ΚΑΤΩ ΙΝΑΣ (CORE)	0,0	0,0574992
ΚΑΤΩ ΧΑΛΥΒΑΣ	500000,0	0,0732814
ΑΠΕΡΙΣΦΙΓΚΤΟ ΚΑΤΩ	0,0	0,0816949

Η μέγιστη ροπή που καταγράφεται είναι 182 kNm (137kNm κατά την διαρροή των κάτω χαλύβων του element 9) και με βάση το διάγραμμα ροπών καμπυλοτήτων η ροπή αστοχίας της διατομής είναι 138 kNm.



Παρατηρώντας το διάγραμμα ροπών και την παραμορφωμένη κατάσταση του υποστυλώματος τη στιγμή της αστοχίας αντιλαμβανόμαστε πως το υποστύλωμα αποκρίνεται περίπου όπως στην στατική φόρτιση. Η παραμόρφωση του φορέα θυμίζει την 1<sup>η</sup> ιδιομορφή.



$$\max \delta = -0,06\text{m}$$

$$\delta y = -0,009\text{m}$$

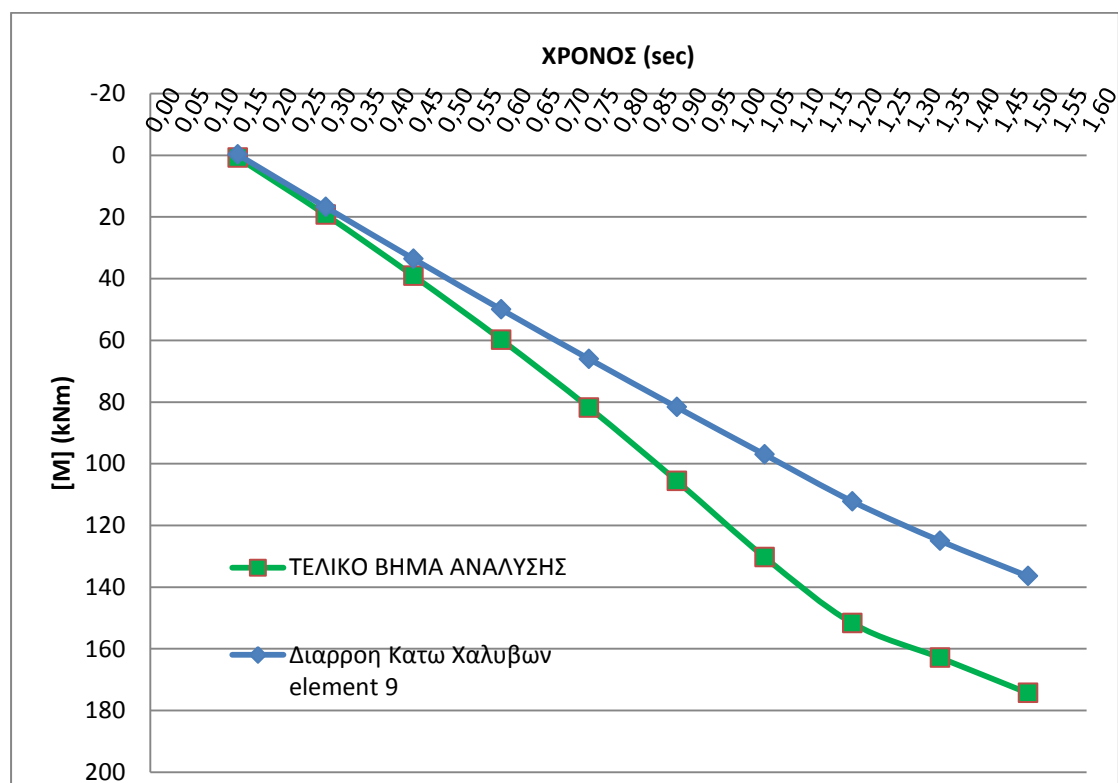
**N=0 kN**

**P=15848kN/sec**

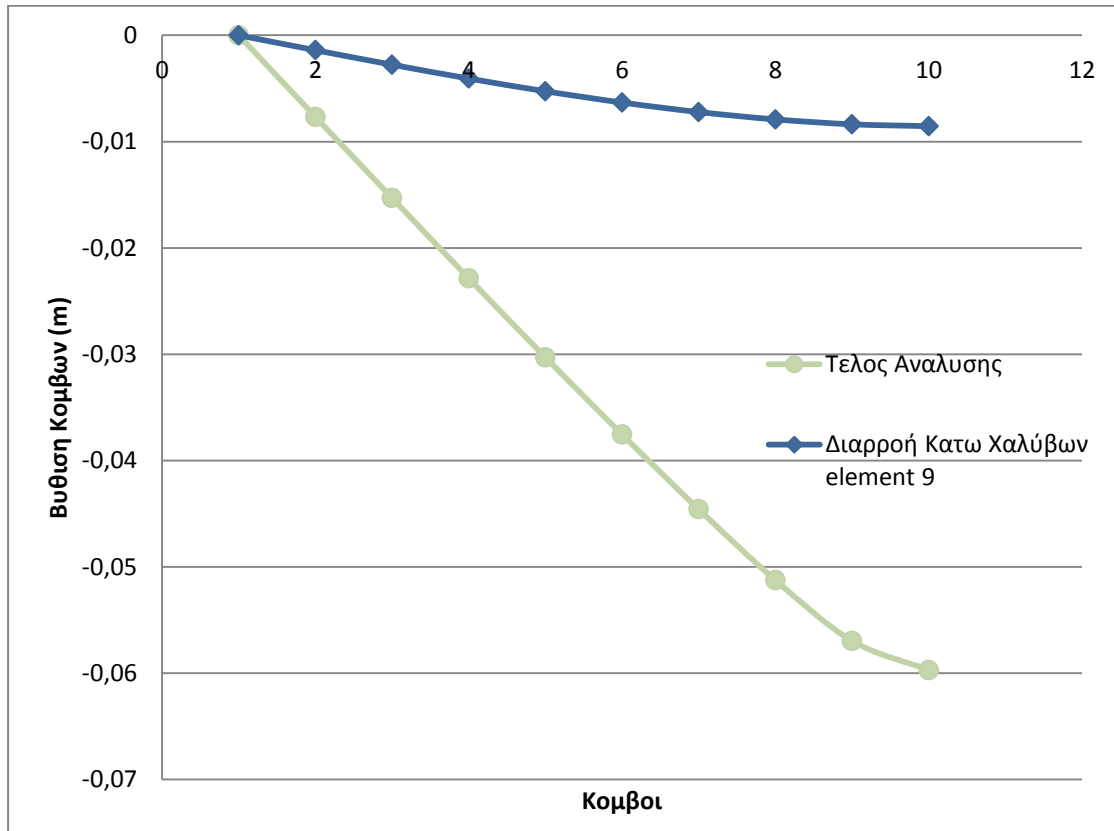
Για αυτή τη φόρτιση η ανάλυση σταματάει και το recorder των τάσεων- παραμορφώσεων δείχνει ότι ενώ η επικάλυψη της διατομής έχει αστοχήσει ο πυρήνας της διατομής δεν έχει αστοχήσει. Οι κάτω οπλισμοί όμως έχουν αστοχήσει και επομένως έχουμε ψαθυρή αστοχία.

	STRESS	STRAIN
ΑΠΕΡΙΣΦΙΓΚΤΟ ΑΝΩ	-25000,0	-0,0144526
ΑΝΩ ΙΝΑ CORE (CONCRETE)	-32913,2	-0,0058691
ΑΝΩ ΧΑΛΥΒΑΣ	-500000,0	-0,0066374
ΜΕΤΑΞΥ ΜΕΣΑΙΑΣ ΚΑΙ ΑΝΩ ΙΝΑΣ (CORE)	0,0	0,0080061
ΜΕΣΑΙΑ ΙΝΑ ΔΙΑΤΟΜΗΣ (CONCRETE)	0,0	0,0326721
ΜΕΣΑΙΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ	500000,0	0,0319065
ΜΕΤΑΞΥ ΜΕΣΑΙΑΣ ΚΑΙ ΚΑΤΩ ΙΝΑΣ (CORE)	0,0	0,0557902
ΚΑΤΩ ΧΑΛΥΒΑΣ	500000,0	0,0704504
ΑΠΕΡΙΣΦΙΓΚΤΟ ΚΑΤΩ	0,0	0,0782657

Η μέγιστη ροπή που καταγράφεται είναι 174 kNm (136kNm κατά την διαρροή των κάτω χαλύβων του element 9) και με βάση το διάγραμμα ροπών καμπυλοτήτων η ροπή αστοχίας της διατομής είναι 138 kNm.



Παρατηρώντας το διάγραμμα ροπών και την παραμορφωμένη κατάσταση του υποστυλώματος τη στιγμή της αστοχίας αντιλαμβανόμαστε πως το υποστύλωμα αποκρίνεται περίπου όπως στην στατική φόρτιση.



$$\max \delta = -0,06\text{m}$$

$$\delta y = -0,009\text{m}$$

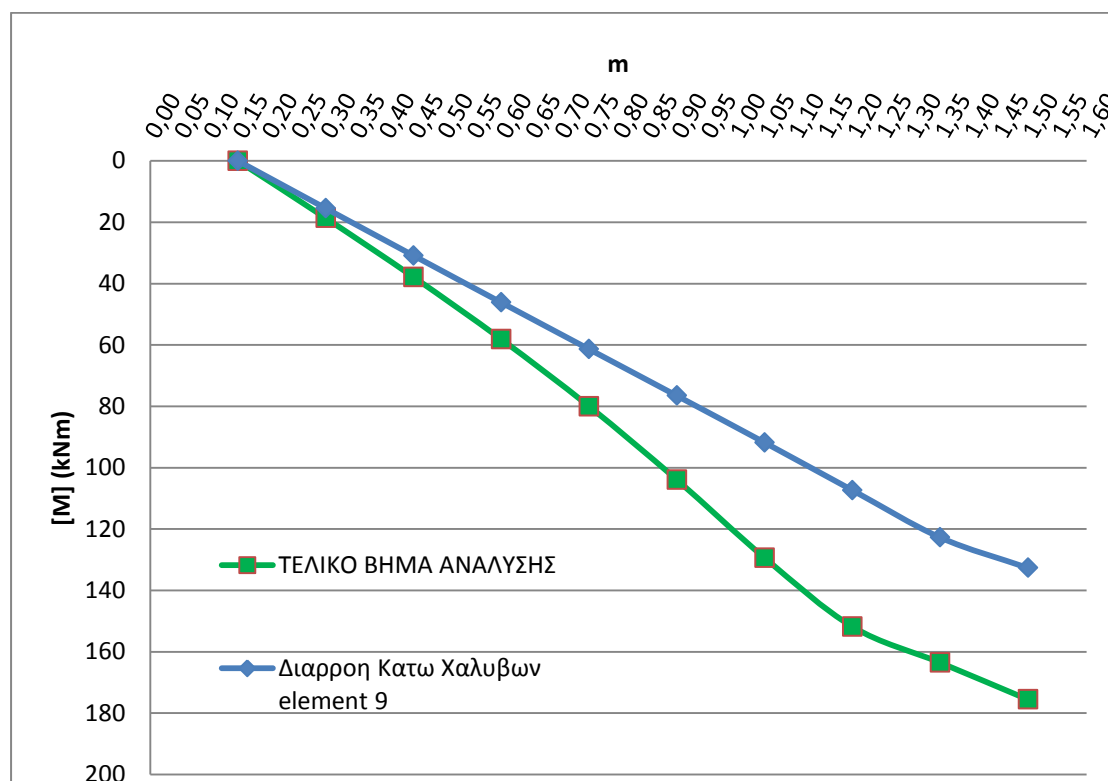
**N=0 kN**

**P=20000kN/sec**

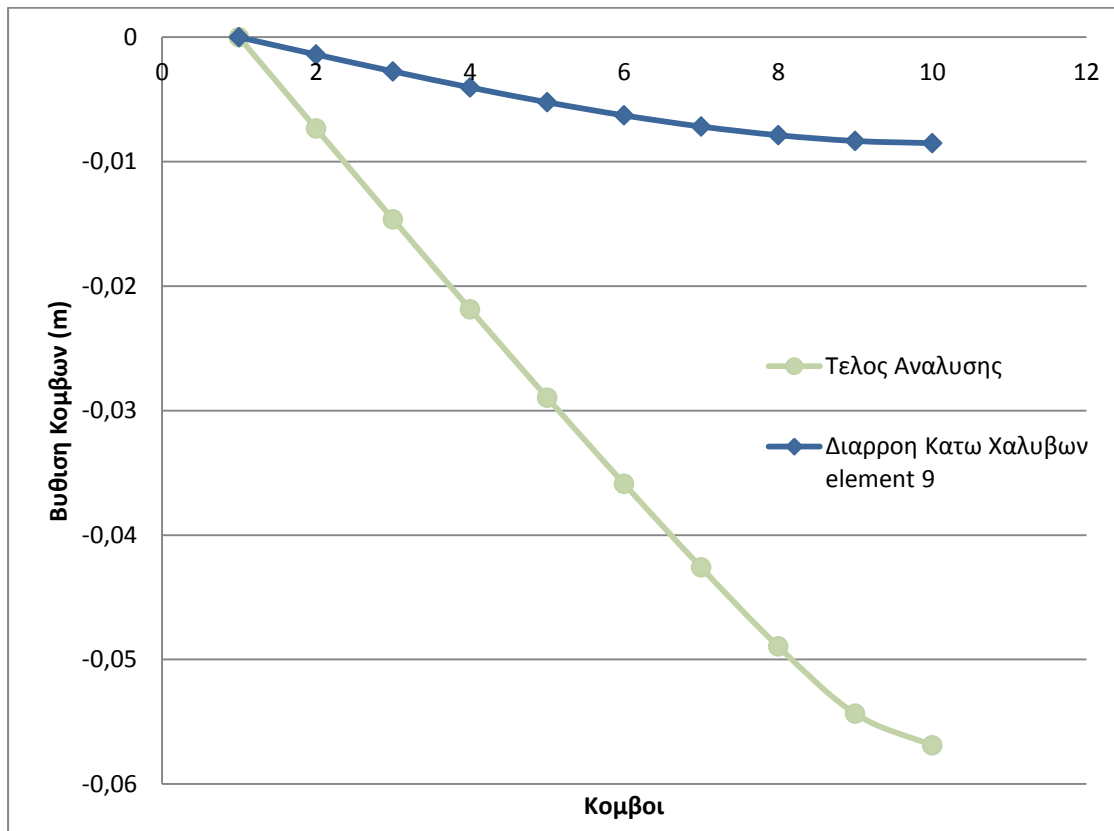
Για αυτή τη φόρτιση η ανάλυση σταματάει και το recorder των τάσεων- παραμορφώσεων δείχνει ότι ενώ η επικάλυψη της διατομής έχει αστοχήσει ο πυρήνας της διατομής δεν έχει αστοχήσει. Αστοχούν όμως οι κάτω χάλυβες και επομένως έχουμε ψαθυρή αστοχία.

	STRESS	STRAIN
ΑΠΕΡΙΣΦΙΓΚΤΟ ΑΝΩ	-25000,0	-0,0151246
ΑΝΩ ΙΝΑ CORE (CONCRETE)	-32562,7	-0,0063933
ΑΝΩ ΧΑΛΥΒΑΣ	-500000,0	-0,0071748
ΜΕΤΑΞΥ ΜΕΣΑΙΑΣ ΚΑΙ ΑΝΩ ΙΝΑΣ (CORE)	0,0	0,0077207
ΜΕΣΑΙΑ ΙΝΑ ΔΙΑΤΟΜΗΣ (CONCRETE)	0,0	0,0328111
ΜΕΣΑΙΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ	500000,0	0,0320323
ΜΕΤΑΞΥ ΜΕΣΑΙΑΣ ΚΑΙ ΚΑΤΩ ΙΝΑΣ (CORE)	0,0	0,0563270
ΚΑΤΩ ΧΑΛΥΒΑΣ	500000,0	0,0712395
ΑΠΕΡΙΣΦΙΓΚΤΟ ΚΑΤΩ	0,0	0,0791893

Η μέγιστη ροπή που καταγράφεται είναι 176 kNm (133kNm κατά την διαρροή των κάτω χάλυβων του element 9) και με βάση το διάγραμμα ροπών καμπυλοτήτων η ροπή αστοχίας της διατομής είναι 138 kNm.



Παρατηρώντας το διάγραμμα ροπών και την παραμορφωμένη κατάσταση του υποστυλώματος τη στιγμή της αστοχίας αντιλαμβανόμαστε πως το υποστύλωμα αποκρίνεται περίπου όπως στην στατική φόρτιση. Βέβαια η παραμόρφωση του φορέα αρχίζει να θυμίζει την ανώτερη ιδιομορφή το οποίο είναι λογικό διότι βρισκόμαστε στο κοντά στο σύνορο μεταξύ  $L_{eff}=2,7m$  και  $L_{eff}<2,7m$ .



$$\max \delta = -0,057m$$

$$\delta y = -0,009m$$

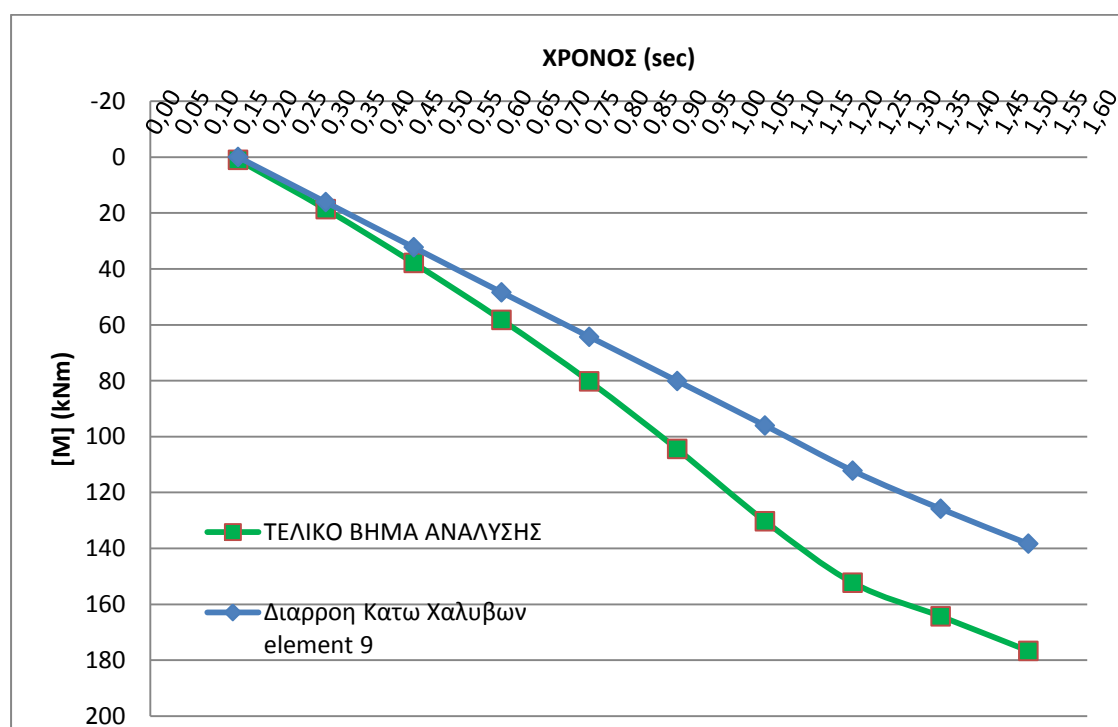
**N=0 kN**

**P=23271kN/sec**

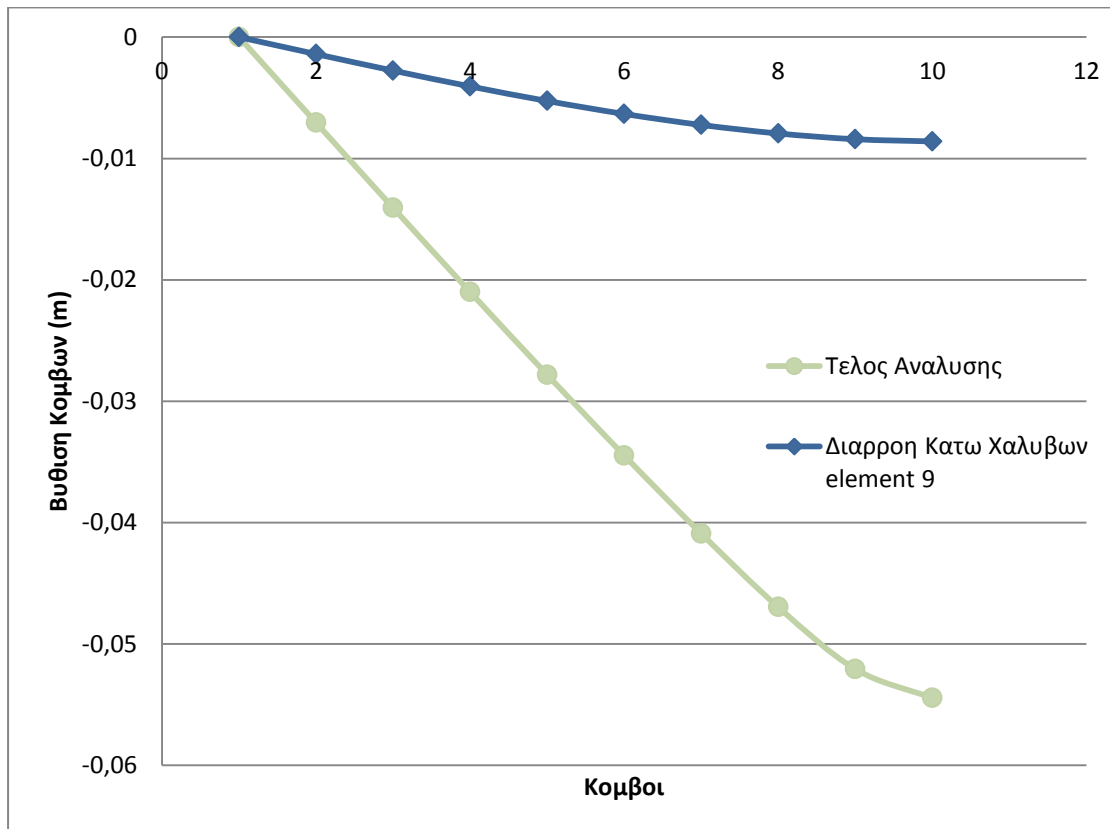
Για αυτή τη φόρτιση η ανάλυση σταματάει και το recorder των τάσεων- παραμορφώσεων δείχνει ότι ενώ η επικάλυψη της διατομής έχει αστοχήσει ο πυρήνας της διατομής δεν έχει αστοχήσει, επίσης όλοι οι χάλυβες έχουν διαρρεύσει.

	STRESS	STRAIN
ΑΠΕΡΙΣΦΙΓΚΤΟ ΑΝΩ	-25000,0	-0,0150575
ΑΝΩ ΙΝΑ CORE (CONCRETE)	-32485,1	-0,0065095
ΑΝΩ ΧΑΛΥΒΑΣ	-500000,0	-0,0072746
ΜΕΤΑΞΥ ΜΕΣΑΙΑΣ ΚΑΙ ΑΝΩ ΙΝΑΣ (CORE)	0,0	0,0073082
ΜΕΣΑΙΑ ΙΝΑ ΔΙΑΤΟΜΗΣ (CONCRETE)	0,0	0,0318720
ΜΕΣΑΙΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ	500000,0	0,0311095
ΜΕΤΑΞΥ ΜΕΣΑΙΑΣ ΚΑΙ ΚΑΤΩ ΙΝΑΣ (CORE)	0,0	0,0548942
ΚΑΤΩ ΧΑΛΥΒΑΣ	500000,0	0,0694936
ΑΠΕΡΙΣΦΙΓΚΤΟ ΚΑΤΩ	0,0	0,0772765

Η μέγιστη ροπή που καταγράφεται είναι 177 kNm (138kNm κατά την διαρροή των κάτω χάλυβων του element 9) και με βάση το διάγραμμα ροπών καμπυλοτήτων η ροπή αστοχίας της διατομής είναι 138 kNm.



Παρατηρώντας το διάγραμμα ροπών και την παραμορφωμένη κατάσταση του υποστυλώματος τη στιγμή της αστοχίας αντιλαμβανόμαστε πως το υποστύλωμα αποκρίνεται περίπου όπως στην στατική φόρτιση. Βέβαια η παραμόρφωση του φορέα αρχίζει να θυμίζει την ανώτερη ιδιομορφή το οποίο είναι λογικό διότι βρισκόμαστε στο σύνορο μεταξύ  $L_{eff}=2,7m$  και  $L_{eff}<2,7m$ .



$$\max \delta = -0,055m$$

$$\delta y = -0,009m$$



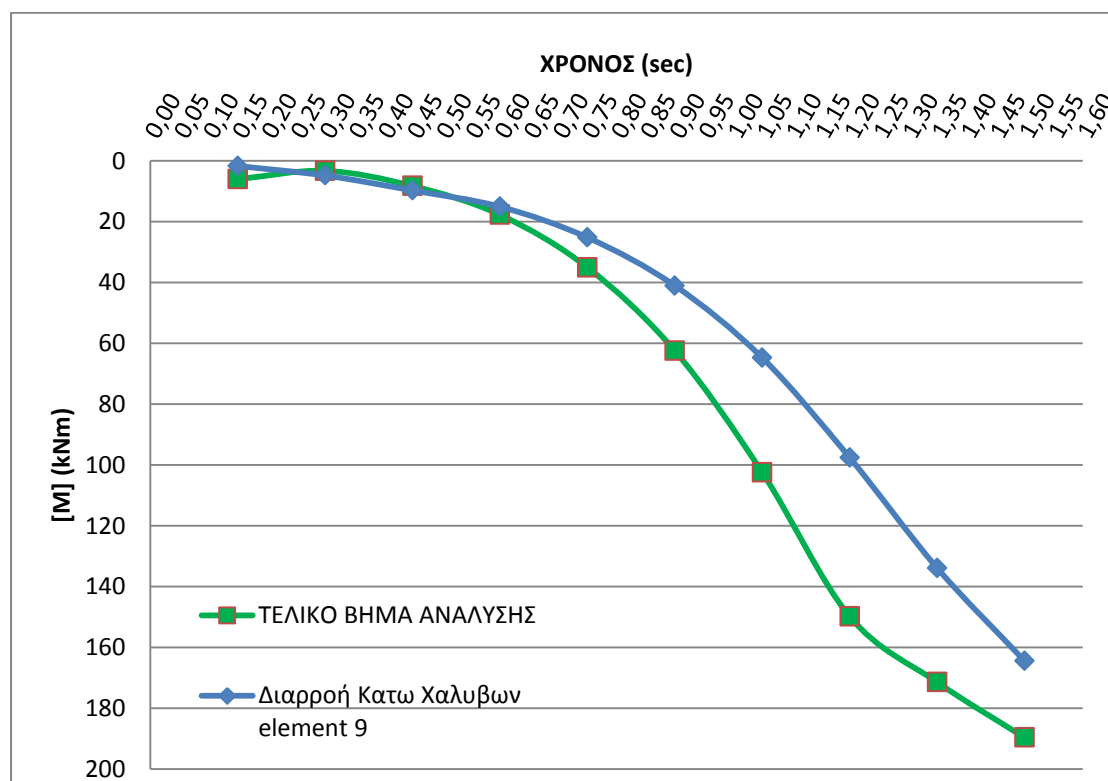
**N=0 kN**

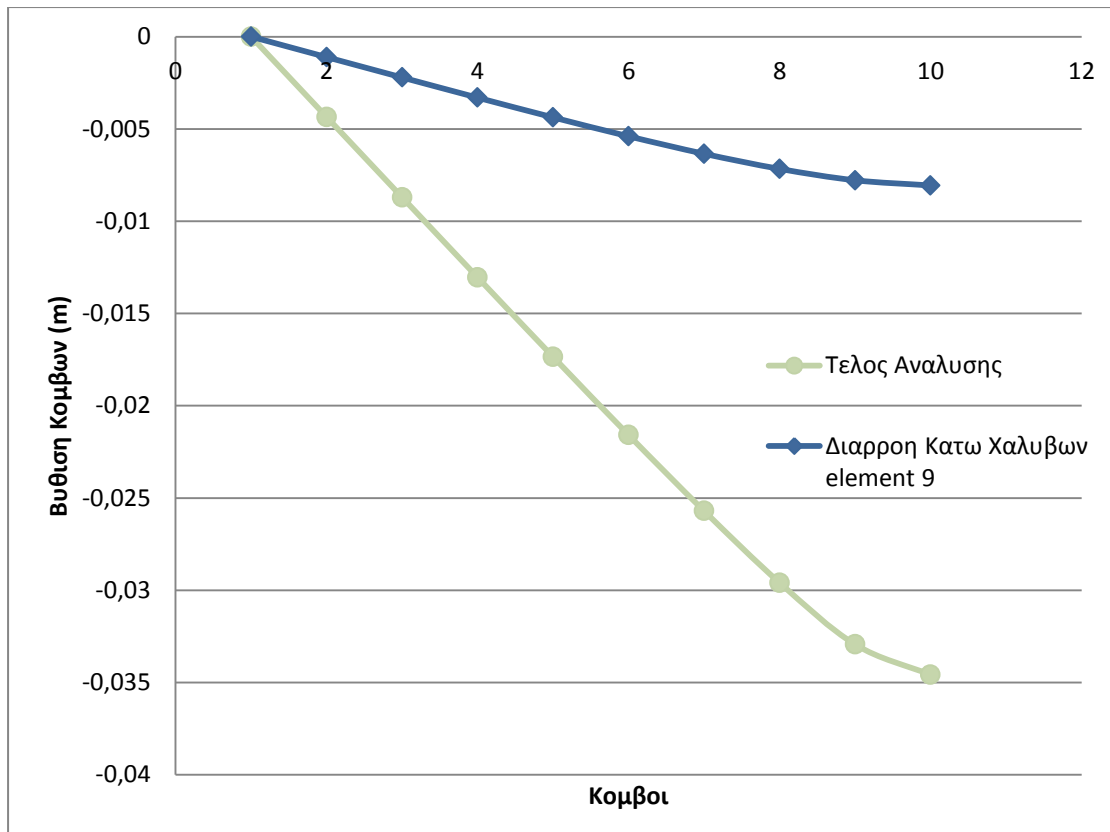
**P=200000kN/sec**

Για αυτή τη φόρτιση η ανάλυση σταματάει και το recorder των τάσεων- παραμορφώσεων δείχνει ότι η επικάλυψη έχει αστοχήσει ενώ ο πυρήνας της διατομής δεν έχει αστοχήσει. Όμως οι κάτω χάλυβες αστοχούν και επομένως έχουμε ψαθυρή αστοχία.

	STRESS	STRAIN
ΑΠΕΡΙΣΦΙΓΚΤΟ ΑΝΩ	-25000,0	-0,0212299
ΑΝΩ ΙΝΑ CORE (CONCRETE)	-28730,8	-0,0121254
ΑΝΩ ΧΑΛΥΒΑΣ	-500000,0	-0,0129403
ΜΕΤΑΞΥ ΜΕΣΑΙΑΣ ΚΑΙ ΑΝΩ ΙΝΑΣ (CORE)	0,0	0,0025918
ΜΕΣΑΙΑ ΙΝΑ ΔΙΑΤΟΜΗΣ (CONCRETE)	0,0	0,0287546
ΜΕΣΑΙΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ	500000,0	0,0279425
ΜΕΤΑΞΥ ΜΕΣΑΙΑΣ ΚΑΙ ΚΑΤΩ ΙΝΑΣ (CORE)	0,0	0,0532755
ΚΑΤΩ ΧΑΛΥΒΑΣ	500000,0	0,0688253
ΑΠΕΡΙΣΦΙΓΚΤΟ ΚΑΤΩ	0,0	0,0771148

Η μέγιστη ροπή που καταγράφεται είναι 190 kNm (164kNm κατά την διαρροή των κάτω χάλυβων του element 9) και με βάση το διάγραμμα ροπών καμπυλοτήτων η ροπή αστοχίας της διατομής είναι 138 kNm.





$\max \delta = -0,035$

$\delta y = -0,008$

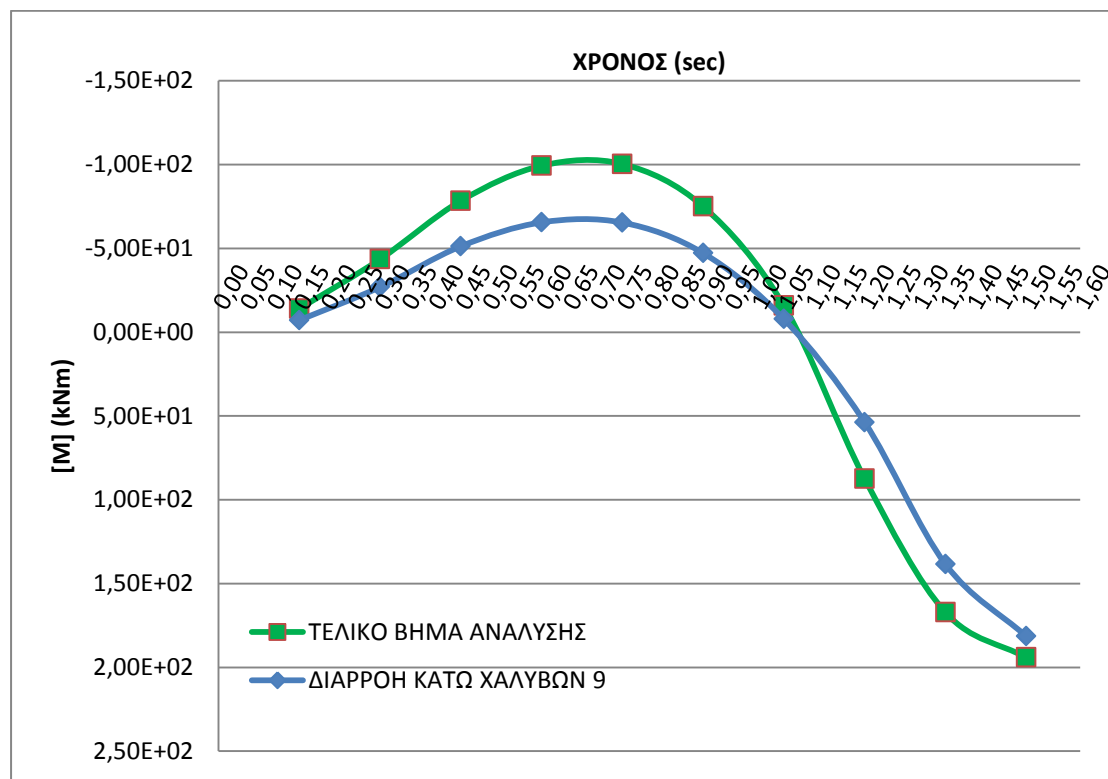
**N=0 kN**

**P=1000000 kN/sec**

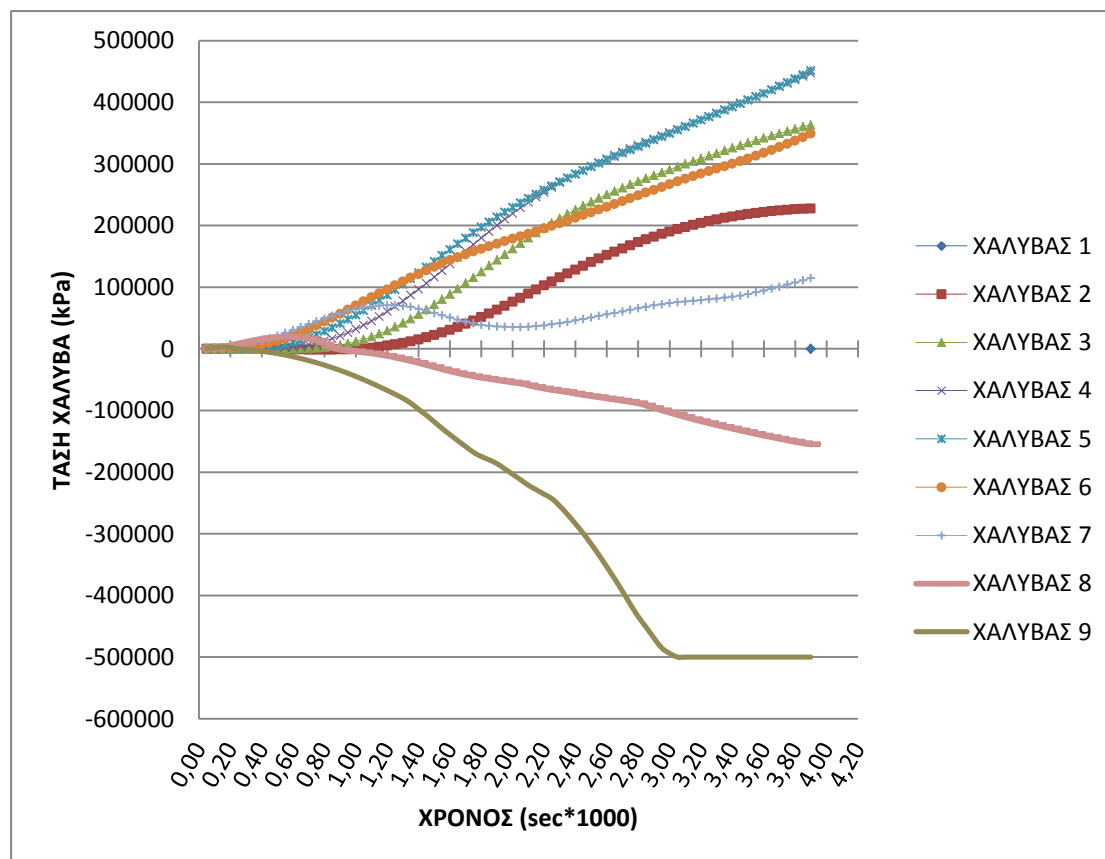
Για αυτή τη φόρτιση η ανάλυση σταματάει και το recorder των τάσεων- παραμορφώσεων δείχνει ότι οι κάτω χάλυβες έχουν αστοχήσει, η επικάλυψη έχει αστοχήσει και ο πυρήνας οριακά δεν αστοχεί. Η αστοχία είναι ψαθυρή και οφείλεται στα υψηλά ποσοστά άνω χάλυβα.

	STRESS	STRAIN
ΑΠΕΡΙΣΦΙΓΚΤΟ ΑΝΩ	-25000,0	-0,0274469
ΑΝΩ ΙΝΑ CORE (CONCRETE)	-25266,6	-0,0173074
ΑΝΩ ΧΑΛΥΒΑΣ	-500000,0	-0,0182150
ΜΕΤΑΞΥ ΜΕΣΑΙΑΣ ΚΑΙ ΑΝΩ ΙΝΑΣ (CORE)	-14670,0	-0,0009171
ΜΕΣΑΙΑ ΙΝΑ ΔΙΑΤΟΜΗΣ (CONCRETE)	0,0	0,0282201
ΜΕΣΑΙΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ	500000,0	0,0273156
ΜΕΤΑΞΥ ΜΕΣΑΙΑΣ ΚΑΙ ΚΑΤΩ ΙΝΑΣ (CORE)	0,0	0,0555287
ΚΑΤΩ ΧΑΛΥΒΑΣ	500000,0	0,0728463
ΑΠΕΡΙΣΦΙΓΚΤΟ ΚΑΤΩ	0,0	0,0820782

Η μέγιστη ροπή που καταγράφεται είναι 194 kNm (194kNm κατά την διαρροή των κάτω χάλυβων του element 9) και με βάση το διάγραμμα ροπών καμπυλοτήτων η ροπή αστοχίας της διατομής είναι 138 kNm.



Για την εύρεση του  $L_{eff}$  κοιτάμε την παραμορφωμένη κατάσταση του υποστυλώματος τη στιγμή της αστοχίας καθώς επίσης το διάγραμμα ροπών του υποστυλώματος και τη χρονοϊστορία των τάσεων των άνω χαλύβων για κάθε element.



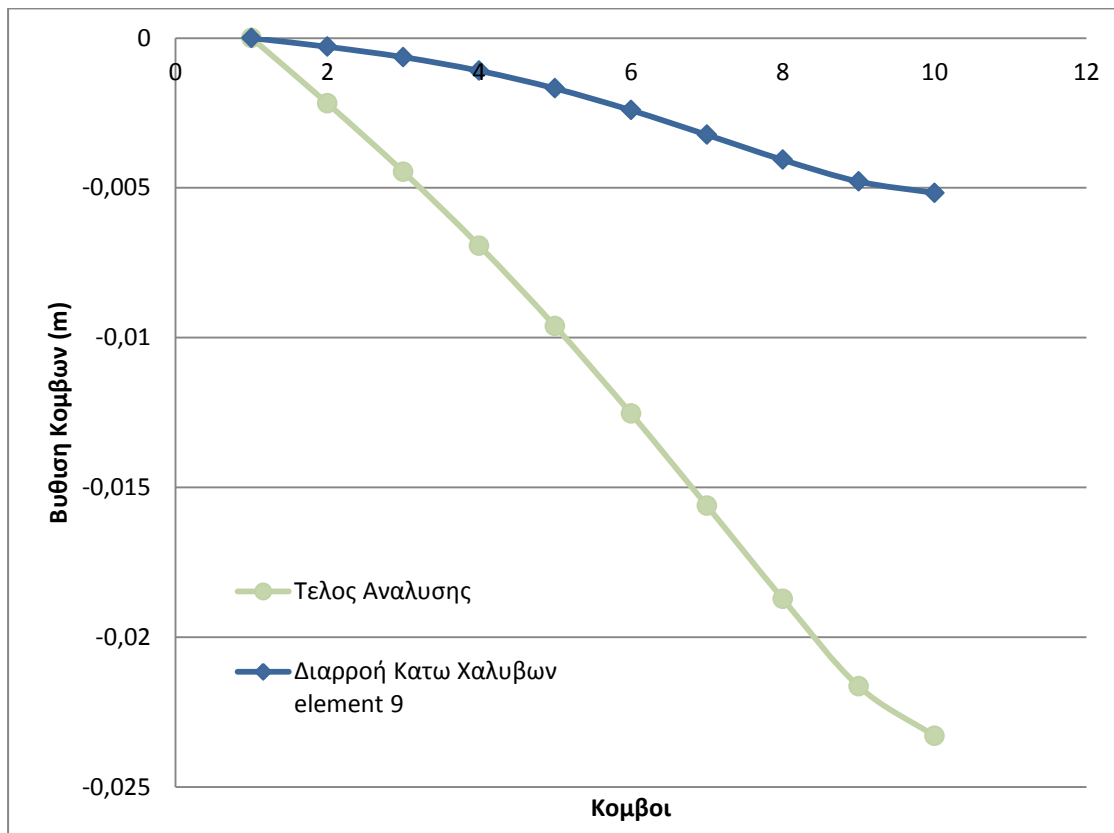
Αρχικά παρατηρώντας την χρονοϊστορία των τάσεων των άνω χαλύβων για κάθε element του μοντέλου (σχ) μας παρατηρούμε πως διαρρέουν μόνο οι άνω χάλυβες στο element 9 , λόγω θλίψης.

Στη συνέχεια βρίσκουμε το διάγραμμα ροπών του υποστυλώματος για το τελικό βήμα της ανάλυσης (σχ).

Από το διάγραμμα αυτό βγάζουμε τα εξής συμπεράσματα :

- 1) Η μέγιστη ροπή είναι τα 194 kNm .
- 2) Παρατηρούμε πως έχουμε αντιστροφή των ροπών η οποία δεν δικαιολογείται από την στατική φόρτιση του υποστυλώματος , αλλά συμβαίνει λόγω του δυναμικού φαινομένου της κρούσης και συγκεκριμένα λόγω της δημιουργίας του  $L_{eff}$ .
- 3) Το μήκος του  $L_{eff}$  είναι 0,75m εκατέρωθεν του σημείου επιβολής του κρουστικού φορτίου.

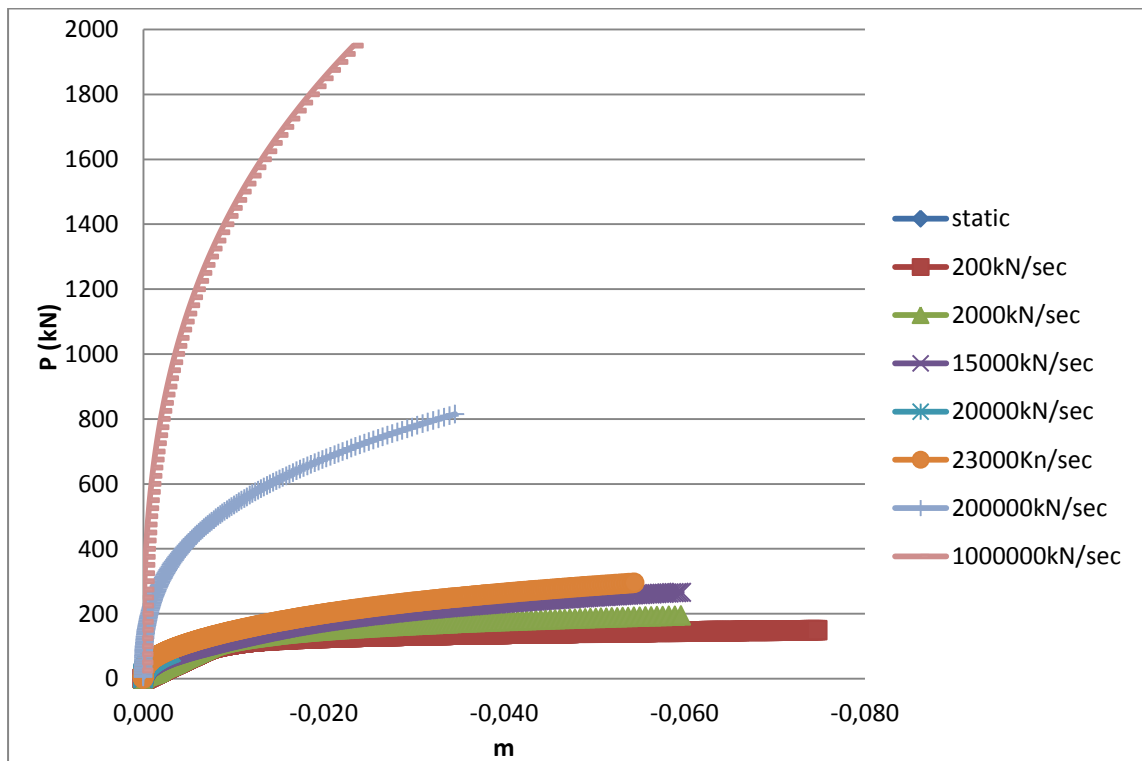
Τέλος τα προαναφερθέντα συμπεράσματα δεν γίνεται να εξαχθούν από το διάγραμμα της παραμορφωμένης κατάστασης του υποστυλώματος (σχ).



$$\max \delta = -0,023 \text{ m}$$

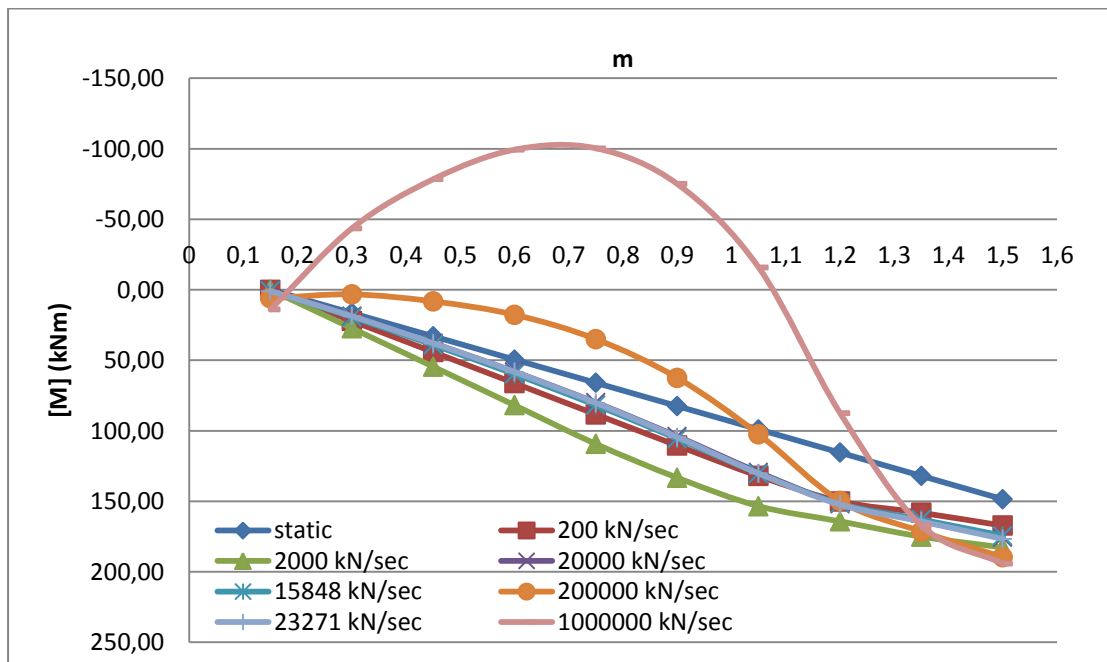
$$\delta y = -0,005 \text{ m}$$

Στο επόμενο σχήμα δείχνουμε την σχέση της εξωτερικής φόρτισης με την κατακόρυφη βύθιση του μεσαίου κόμβου του υποστυλώματος :



Παρατηρούμε ότι για χαμηλούς ρυθμούς φόρτισης το υποστυλωμα αποκρίνεται όπως και στην στατική φόρτιση ενώ όσο ο ρυθμός φόρτισης αυξάνεται το υποστυλωμα αστοχεί για μεγαλύτερες τιμές εξωτερικού φορτίου αλλά για μικρότερες τιμές βύθισης. Δηλαδή η αστοχία γίνεται πιο ψαθυρή.

Στο επόμενο σχήμα παρατηρούμε την σταδιακή δημιουργία του Leff το οποίο το αντιλαμβανόμαστε από την αντιστροφή των ροπών που παρατηρούμε .



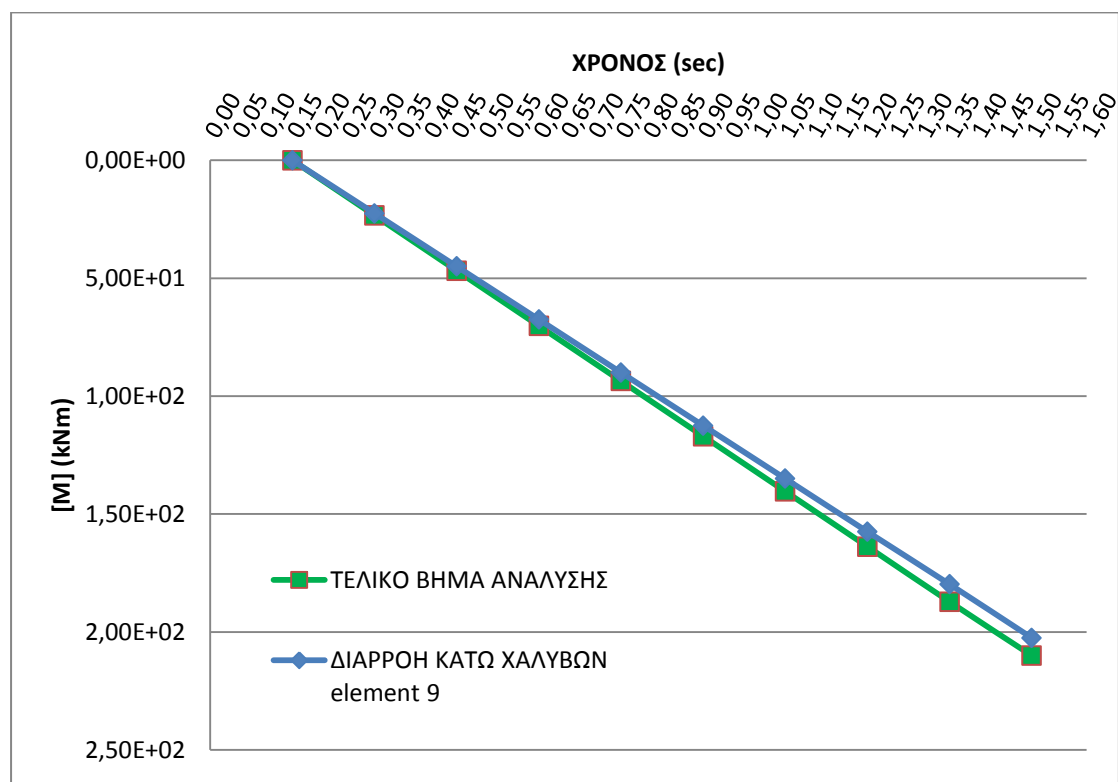
**N=-500 kN**

**static**

Για αυτή τη φόρτιση η ανάλυση σταματάει και το recorder των τάσεων- παραμορφώσεων δείχνει ότι η επικάλυψη της διατομής έχει αστοχήσει και ο πυρήνας δεν έχει αστοχήσει.

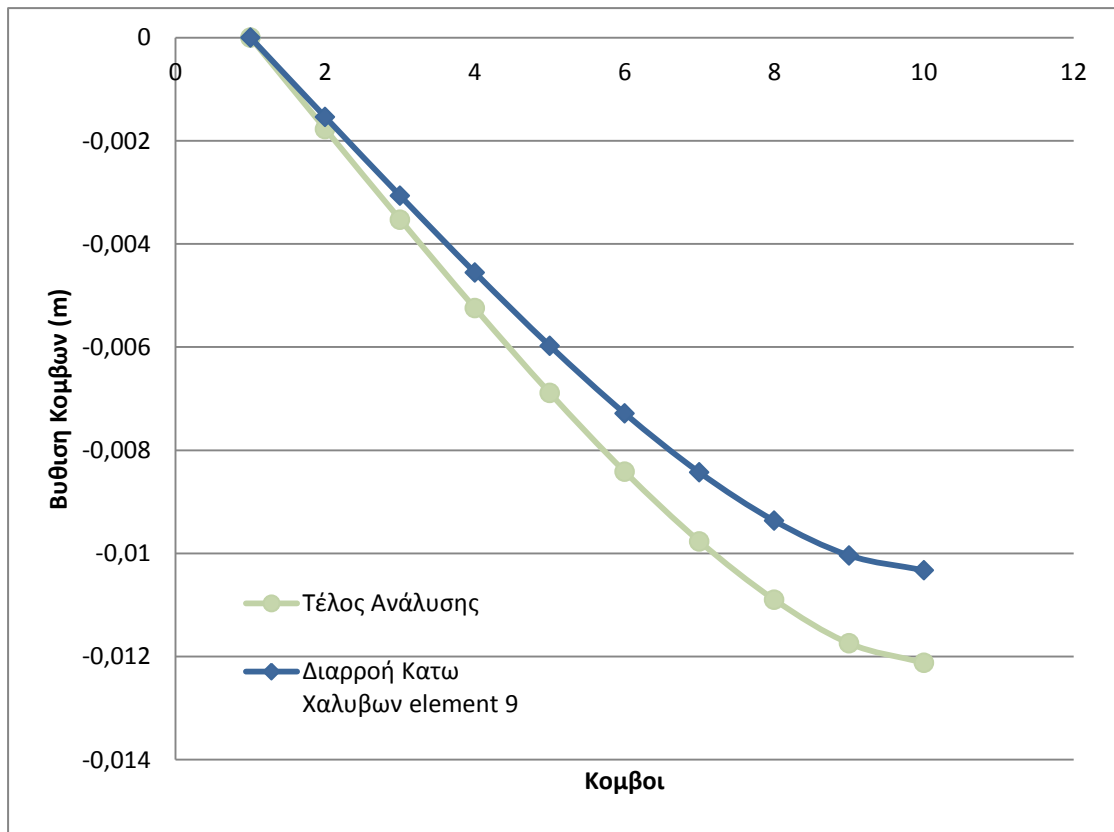
	STRESS	STRAIN
ΑΠΕΡΙΣΦΙΓΚΤΟ ΑΝΩ	-25000,00	-0,00244854
ΑΝΩ ΙΝΑ CORE (CONCRETE)	-24810,20	-0,00178502
ΑΝΩ ΧΑΛΥΒΑΣ	-368919,00	-0,00184459
ΜΕΤΑΞΥ ΜΕΣΑΙΑΣ ΚΑΙ ΑΝΩ ΙΝΑΣ (CORE)	-11741,30	-0,00071273
ΜΕΣΑΙΑ ΙΝΑ ΔΙΑΤΟΜΗΣ (CONCRETE)	0,00	0,00107442
ΜΕΣΑΙΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ	226799,00	0,00113400
ΜΕΤΑΞΥ ΜΕΣΑΙΑΣ ΚΑΙ ΚΑΤΩ ΙΝΑΣ (CORE)	0,00	0,00298072
ΚΑΤΩ ΧΑΛΥΒΑΣ	500000,00	0,00411258
ΑΠΕΡΙΣΦΙΓΚΤΟ ΚΑΤΩ	0,00	0,00471653

Η μέγιστη ροπή που καταγράφεται είναι 210 kNm (203kNm κατά την διαρροή των κάτω χαλύβων του element 9) και με βάση το διάγραμμα ροπών καμπυλοτήτων η ροπή αστοχίας της διατομής είναι 188 kNm.





Παρατηρώντας το διάγραμμα ροπών και την παραμορφωμένη κατάσταση του υποστυλώματος τη στιγμή της αστοχίας αντιλαμβανόμαστε πως το υποστύλωμα αποκρίνεται περίπου όπως στην στατική φόρτιση. Η παραμόρφωση του φορέα θυμίζει την 1<sup>η</sup> ιδιομορφή.



$$\max \delta = -0,012\text{m}$$

$$\delta y = -0,01\text{m}$$

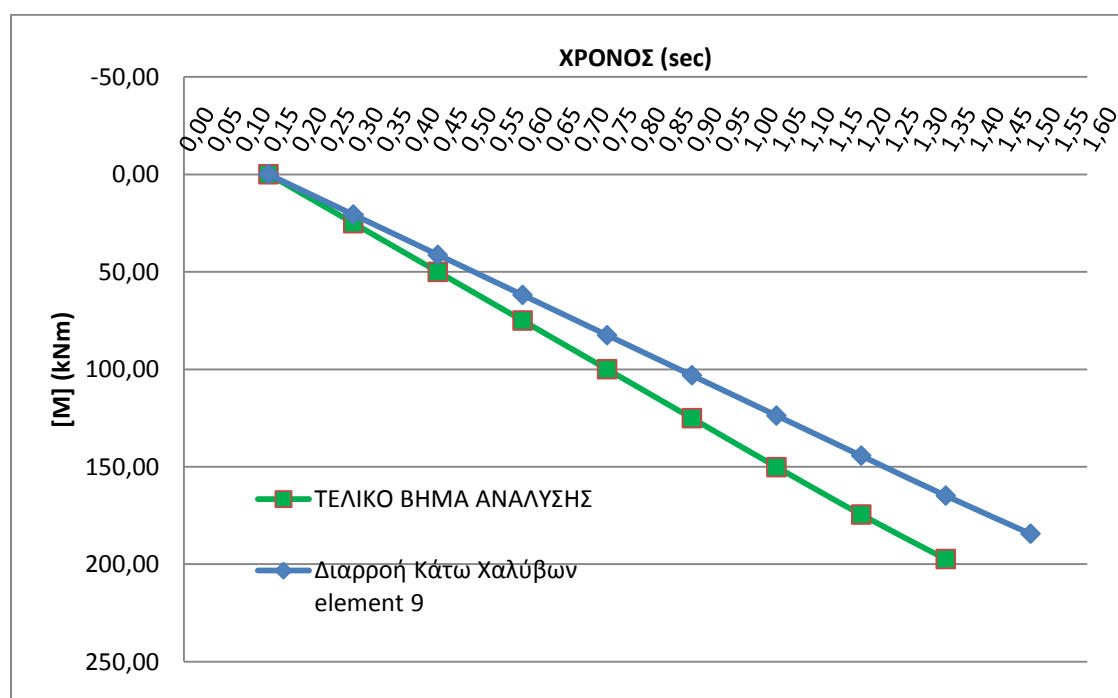
**N=-500 kN**

**P=200 kN/sec**

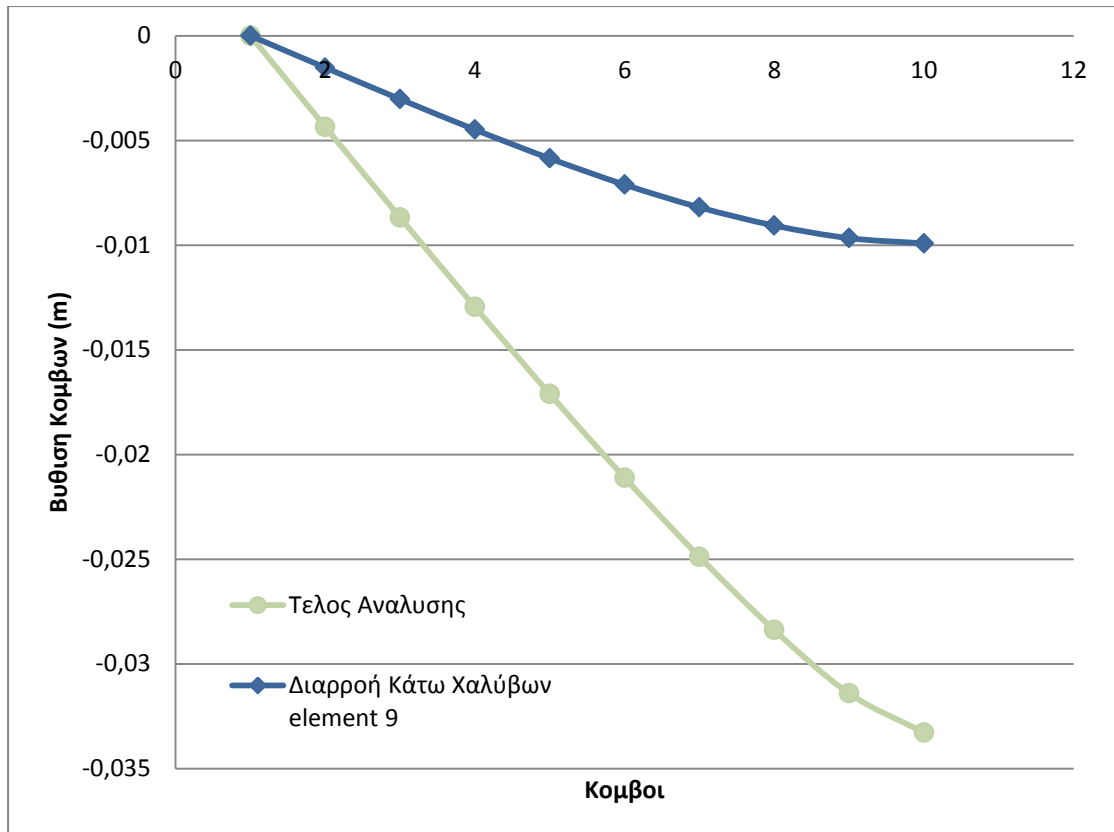
Για αυτή τη φόρτιση η ανάλυση σταματάει και το recorder των τάσεων- παραμορφώσεων δείχνει ότι η επικάλυψη της διατομής έχει αστοχήσει, ο πυρήνας δεν έχει αστοχήσει και ότι οι κάτω χάλυβες της διατομής έχουν αστοχήσει και επομένως έχουμε ψαθυρή αστοχία.

	STRESS	STRAIN
ΑΠΕΡΙΣΦΙΓΚΤΟ ΑΝΩ	-25000,0	-0,0286816
ΑΝΩ ΙΝΑ CORE (CONCRETE)	-24356,8	-0,0186682
ΑΝΩ ΧΑΛΥΒΑΣ	-500000,0	-0,0195645
ΜΕΤΑΞΥ ΜΕΣΑΙΑΣ ΚΑΙ ΑΝΩ ΙΝΑΣ (CORE)	-30316,6	-0,0024818
ΜΕΣΑΙΑ ΙΝΑ ΔΙΑΤΟΜΗΣ (CONCRETE)	0,0	0,0262928
ΜΕΣΑΙΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ	500000,0	0,0253996
ΜΕΤΑΞΥ ΜΕΣΑΙΑΣ ΚΑΙ ΚΑΤΩ ΙΝΑΣ (CORE)	0,0	0,0532616
ΚΑΤΩ ΧΑΛΥΒΑΣ	500000,0	0,0703638
ΑΠΕΡΙΣΦΙΓΚΤΟ ΚΑΤΩ	0,0	0,0794808

Η μέγιστη ροπή που καταγράφεται είναι 197 kNm (186kNm κατά την διαρροή των κάτω χάλυβων του element 9) και με βάση το διάγραμμα ροπών καμπυλοτήτων η ροπή αστοχίας της διατομής είναι 188 kNm.



Παρατηρώντας το διάγραμμα ροπών και την παραμορφωμένη κατάσταση του υποστυλώματος τη στιγμή της αστοχίας αντιλαμβανόμαστε πως το υποστύλωμα αποκρίνεται περίπου όπως στην στατική φόρτιση. Η παραμόρφωση του φορέα θυμίζει την 1<sup>η</sup> ιδιομορφή.



$\max \delta = -0,033\text{m}$

$\delta y = -0,01\text{m}$

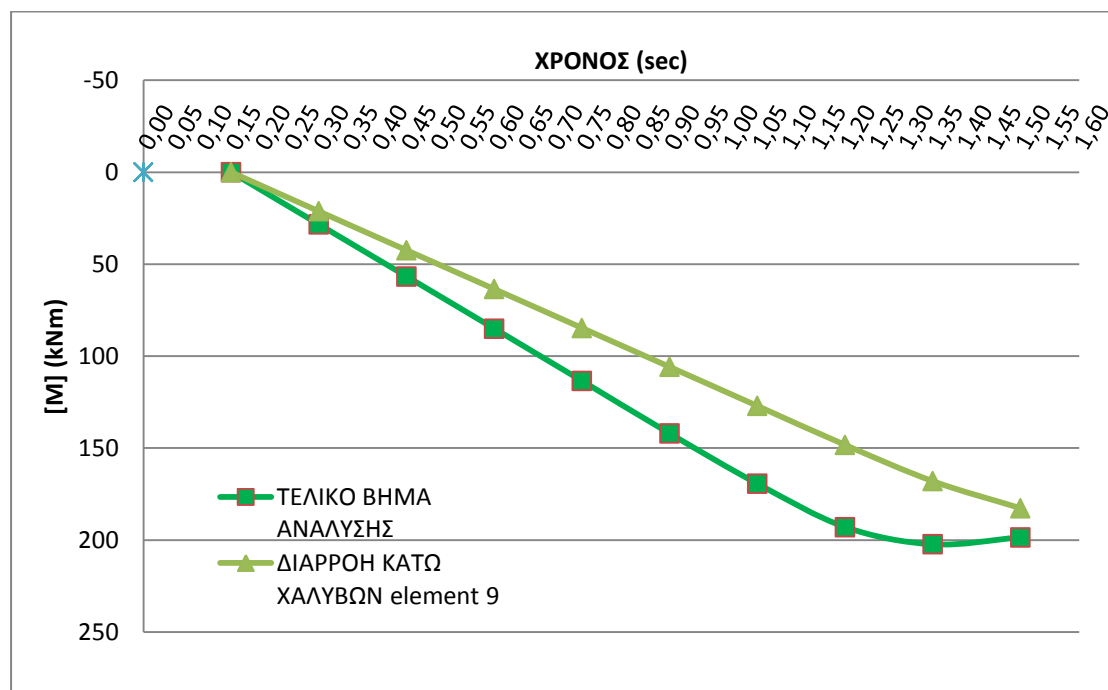
**N=-500 kN**

**P=2000 kN/sec**

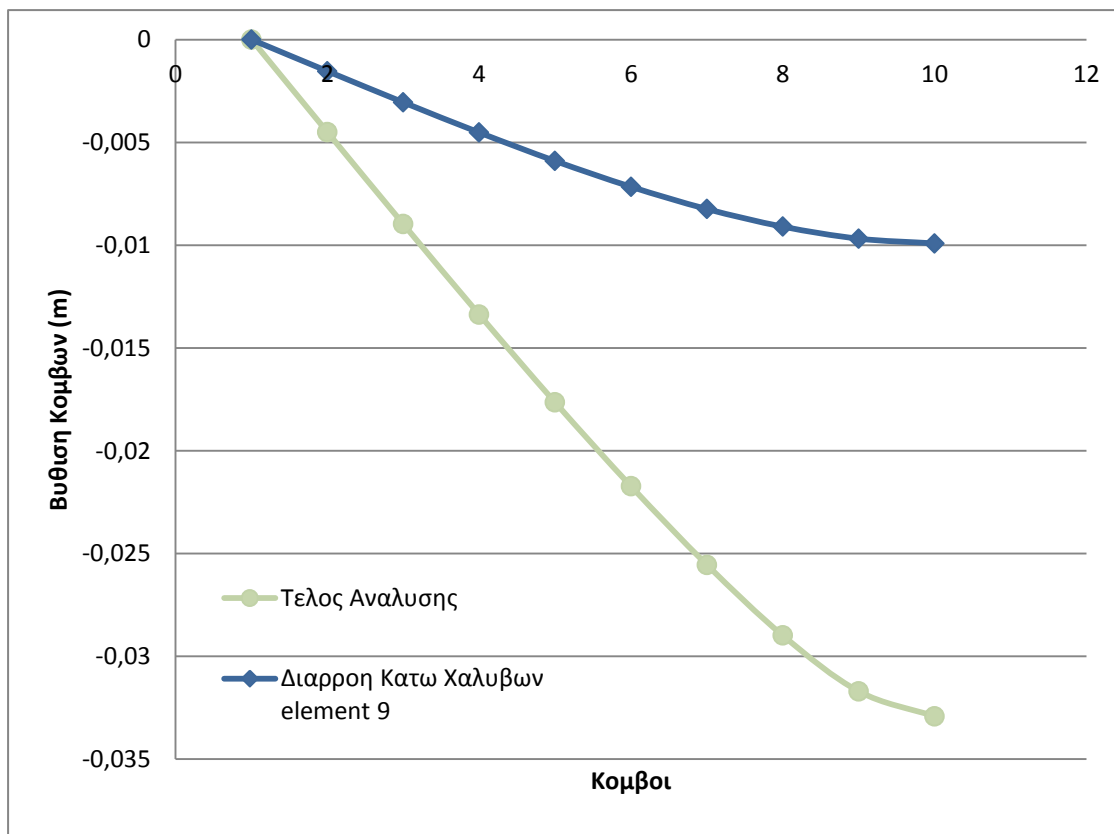
Για αυτή τη φόρτιση η ανάλυση σταματάει και το recorder των τάσεων- παραμορφώσεων δείχνει ότι η επικάλυψη έχει αστοχήσει και ότι έχουμε ταυτόχρονη αστοχία του πυρήνα και των κάτω χαλύβων.

	STRESS	STRAIN
ΑΠΕΡΙΣΦΙΓΚΤΟ ΑΝΩ	-25000,0	-0,0347201
ΑΝΩ ΙΝΑ CORE (CONCRETE)	-21250,0	-0,0239491
ΑΝΩ ΧΑΛΥΒΑΣ	-500000,0	-0,0249132
ΜΕΤΑΞΥ ΜΕΣΑΙΑΣ ΚΑΙ ΑΝΩ ΙΝΑΣ (CORE)	-32466,1	-0,0065379
ΜΕΣΑΙΑ ΙΝΑ ΔΙΑΤΟΜΗΣ (CONCRETE)	0,0	0,0244139
ΜΕΣΑΙΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ	500000,0	0,0234532
ΜΕΤΑΞΥ ΜΕΣΑΙΑΣ ΚΑΙ ΚΑΤΩ ΙΝΑΣ (CORE)	0,0	0,0534233
ΚΑΤΩ ΧΑΛΥΒΑΣ	500000,0	0,0718195
ΑΠΕΡΙΣΦΙΓΚΤΟ ΚΑΤΩ	0,0	0,0816264

Η μέγιστη ροπή που καταγράφεται είναι 202 kNm (183kNm κατά την διαρροή των κάτω χαλύβων του element 9) και με βάση το διάγραμμα ροπών καμπυλοτήτων η ροπή αστοχίας της διατομής είναι 188 kNm.



Παρατηρώντας το διάγραμμα ροπών και την παραμορφωμένη κατάσταση του υποστυλώματος τη στιγμή της αστοχίας αντιλαμβανόμαστε πως το υποστύλωμα αποκρίνεται περίπου όπως στην στατική φόρτιση. Η παραμόρφωση του φορέα θυμίζει την 1<sup>η</sup> ιδιομορφή.



$$\max \delta = -0,033\text{m}$$

$$\delta y = -0,01\text{m}$$

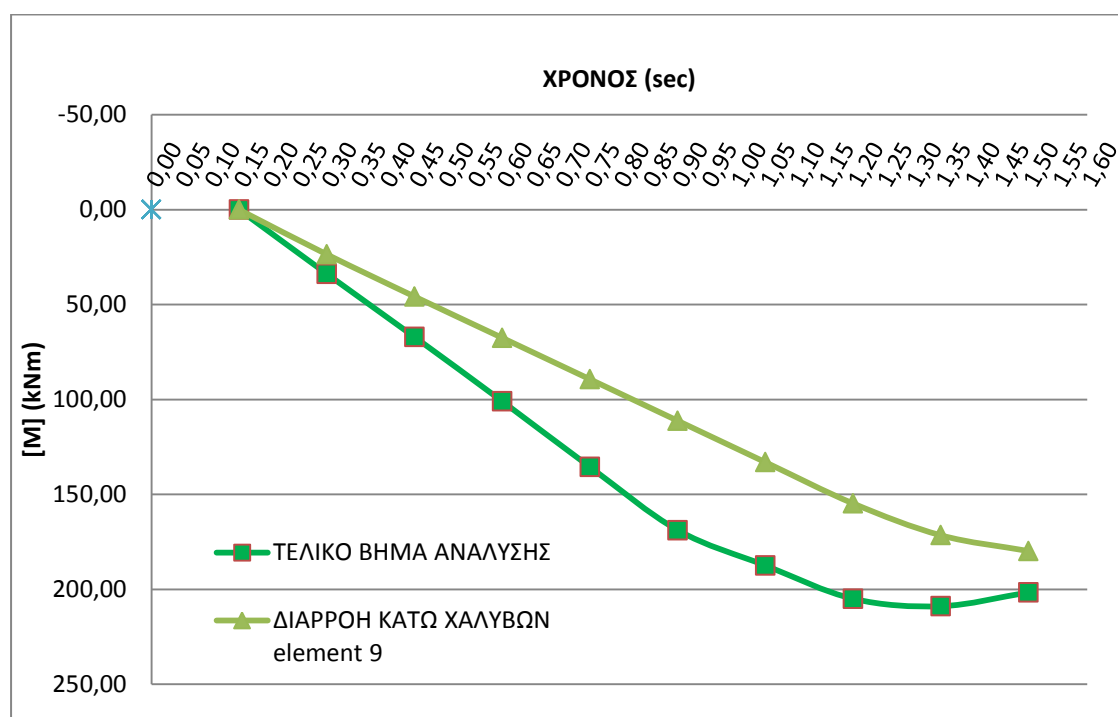
**N=-500 kN**

**P=20000 kN/sec**

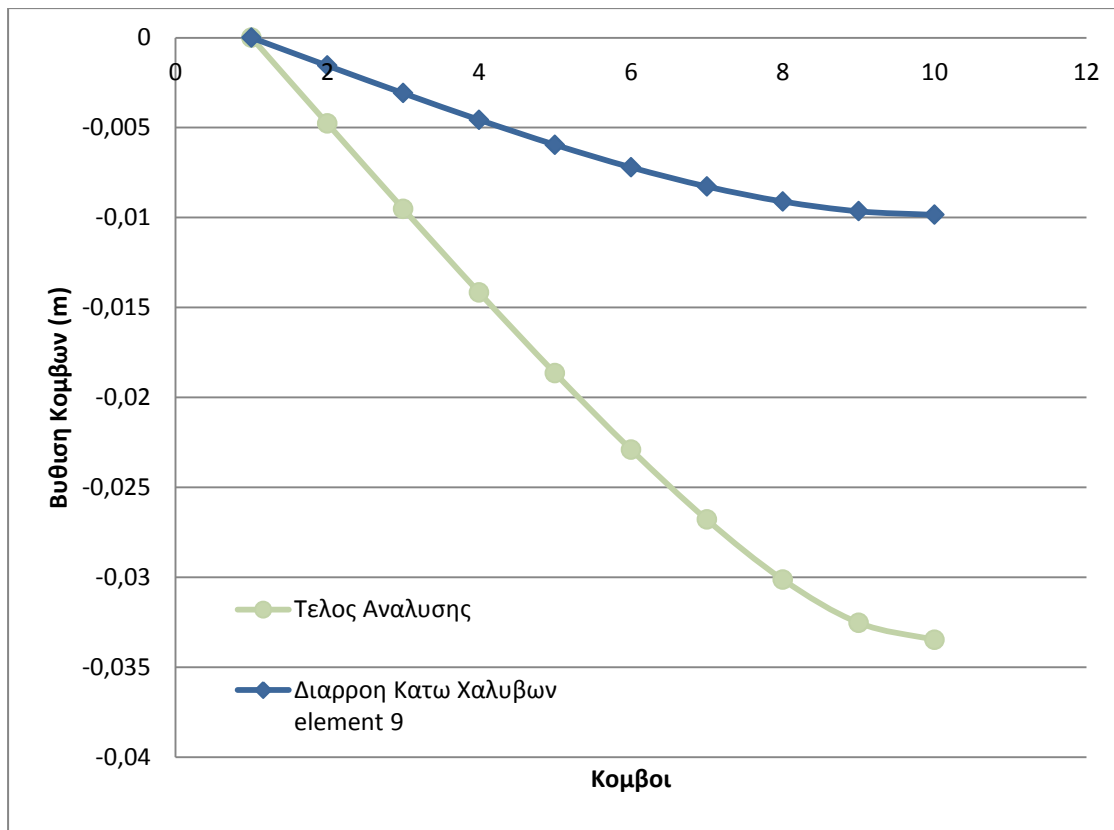
Για αυτή τη φόρτιση η ανάλυση σταματάει και το recorder των τάσεων- παραμορφώσεων δείχνει ότι η επικάλυψη και ο πυρήνας της διατομής έχουν αστοχήσει.

	STRESS	STRAIN
ΑΠΕΡΙΣΦΙΓΚΤΟ ΑΝΩ	-25000,0	-0,0329946
ΑΝΩ ΙΝΑ CORE (CONCRETE)	-21250,0	-0,0239081
ΑΝΩ ΧΑΛΥΒΑΣ	-500000,0	-0,0247214
ΜΕΤΑΞΥ ΜΕΣΑΙΑΣ ΚΑΙ ΑΝΩ ΙΝΑΣ (CORE)	-30673,1	-0,0092199
ΜΕΣΑΙΑ ΙΝΑ ΔΙΑΤΟΜΗΣ (CONCRETE)	0,0	0,0168914
ΜΕΣΑΙΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ	500000,0	0,0160809
ΜΕΤΑΞΥ ΜΕΣΑΙΑΣ ΚΑΙ ΚΑΤΩ ΙΝΑΣ (CORE)	0,0	0,0413640
ΚΑΤΩ ΧΑΛΥΒΑΣ	500000,0	0,0568831
ΑΠΕΡΙΣΦΙΓΚΤΟ ΚΑΤΩ	0,0	0,0651564

Η μέγιστη ροπή που καταγράφεται είναι 209 kNm (180kNm κατά την διαρροή των κάτω χαλύβων του element 9) και με βάση το διάγραμμα ροπών καμπυλοτήτων η ροπή αστοχίας της διατομής είναι 188 kNm.



Παρατηρώντας το διάγραμμα ροπών και την παραμορφωμένη κατάσταση του υποστυλώματος τη στιγμή της αστοχίας αντιλαμβανόμαστε πως το υποστύλωμα αποκρίνεται περίπου όπως στην στατική φόρτιση. Η παραμόρφωση του φορέα θυμίζει την 1<sup>η</sup> ιδιομορφή.



$$\max \delta = -0,033\text{m}$$

$$\delta y = -0,01\text{m}$$

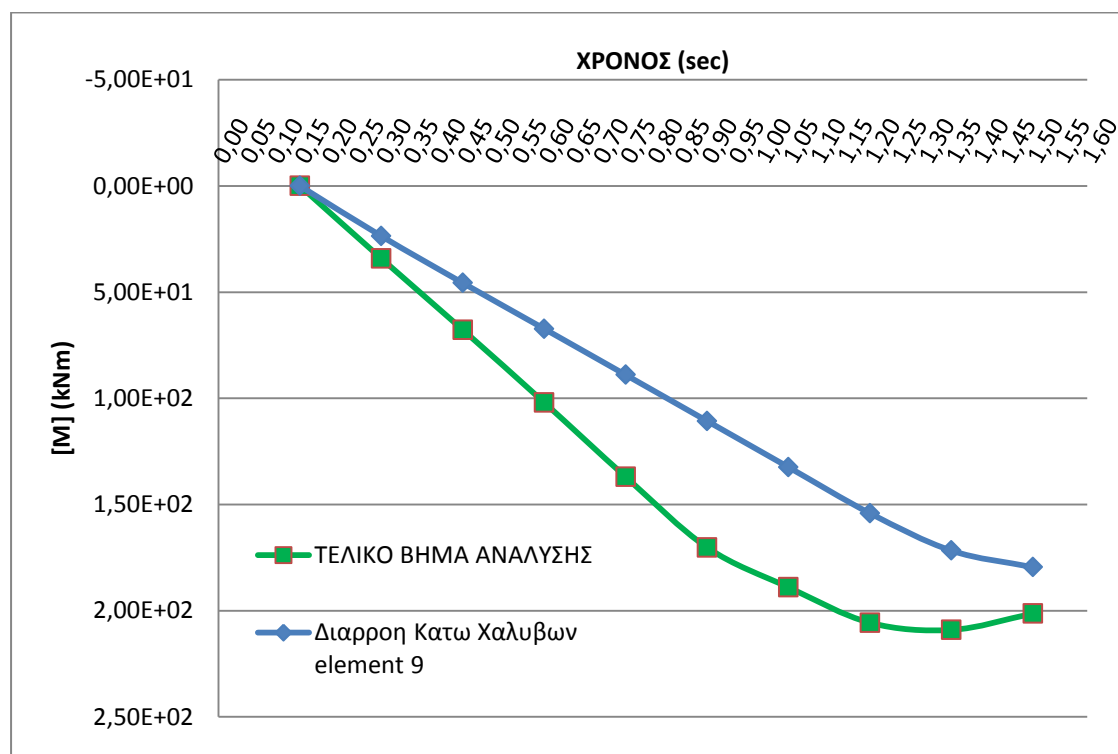
**N=-500 kN**

**P=21590 kN/sec**

Για αυτή τη φόρτιση η ανάλυση σταματάει και το recorder των τάσεων- παραμορφώσεων δείχνει ότι η επικάλυψη και ο πυρήνας της διατομής έχουν αστοχήσει.

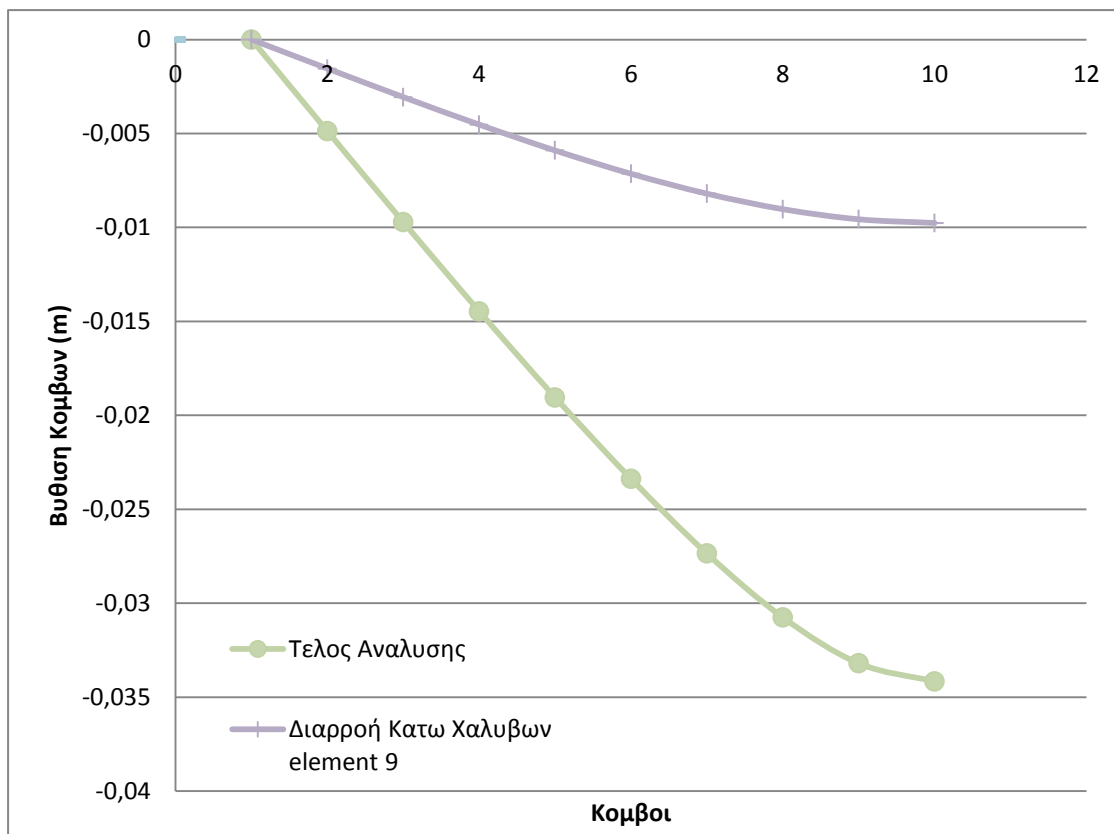
	STRESS	STRAIN
ΑΠΕΡΙΣΦΙΓΚΤΟ ΑΝΩ	-25000,0	-0,0358559
ΑΝΩ ΙΝΑ CORE (CONCRETE)	-21250,0	-0,0261649
ΑΝΩ ΧΑΛΥΒΑΣ	-500000,0	-0,0270323
ΜΕΤΑΞΥ ΜΕΣΑΙΑΣ ΚΑΙ ΑΝΩ ΙΝΑΣ (CORE)	-29817,7	-0,0104996
ΜΕΣΑΙΑ ΙΝΑ ΔΙΑΤΟΜΗΣ (CONCRETE)	0,0	0,0173488
ΜΕΣΑΙΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ	500000,0	0,0164844
ΜΕΤΑΞΥ ΜΕΣΑΙΑΣ ΚΑΙ ΚΑΤΩ ΙΝΑΣ (CORE)	0,0	0,0434495
ΚΑΤΩ ΧΑΛΥΒΑΣ	500000,0	0,0600011
ΑΠΕΡΙΣΦΙΓΚΤΟ ΚΑΤΩ	0,0	0,0688247

Η μέγιστη ροπή που καταγράφεται είναι 209 kNm (180kNm κατά την διαρροή των κάτω χαλύβων του element 9) και με βάση το διάγραμμα ροπών καμπυλοτήτων η ροπή αστοχίας της διατομής είναι 188 kNm.





Παρατηρώντας το διάγραμμα ροπών και την παραμορφωμένη κατάσταση του υποστυλώματος τη στιγμή της αστοχίας αντιλαμβανόμαστε πως το υποστύλωμα αποκρίνεται περίπου όπως στην στατική φόρτιση. Η παραμόρφωση του φορέα θυμίζει την 1<sup>η</sup> ιδιομορφή.



$$\max \delta_{\text{dynamic}} = -0,034\text{m}$$

$$\delta y = -0,01\text{m}$$

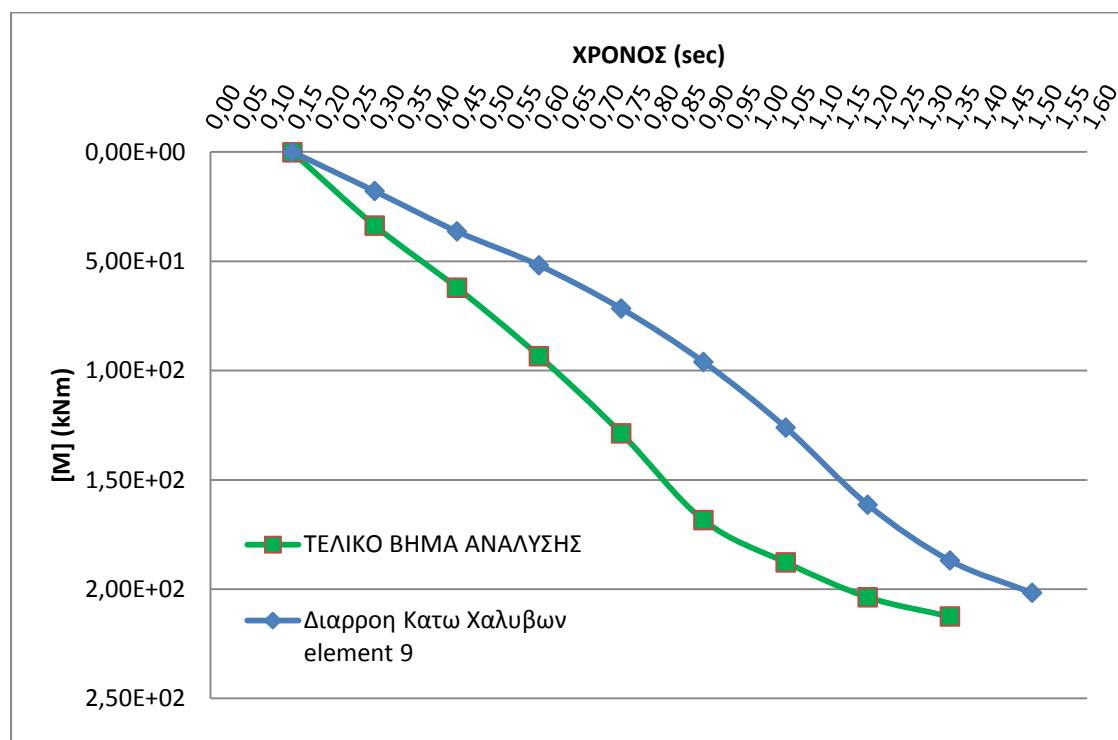
**N=-500 kN**

**P=200000 kN/sec**

Για αυτή τη φόρτιση η ανάλυση σταματάει και το recorder των τάσεων- παραμορφώσεων δείχνει ότι η επικάλυψη έχει αστοχήσει ενώ ο πυρήνας της διατομής δεν έχει αστοχήσει.

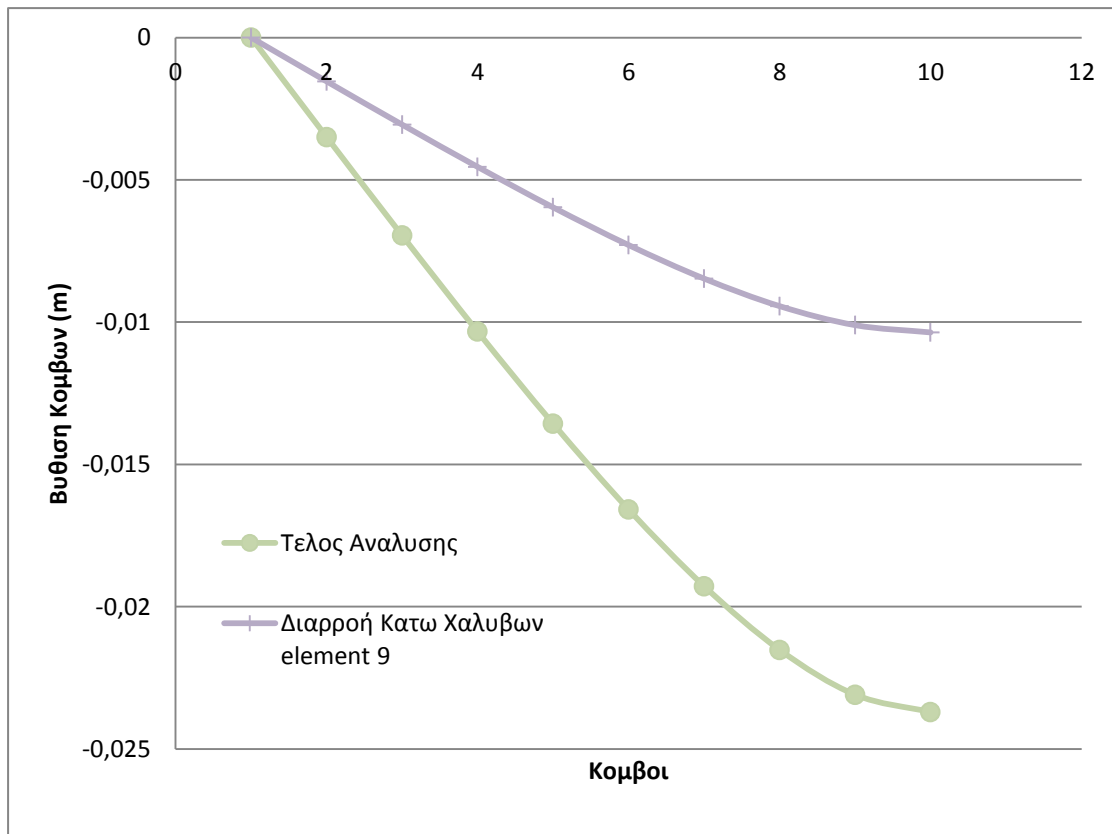
	STRESS	STRAIN
ΑΠΕΡΙΣΦΙΓΚΤΟ ΑΝΩ	-25000,0	-0,0059633
ΑΝΩ ΙΝΑ CORE (CONCRETE)	-33776,1	-0,0045782
ΑΝΩ ΧΑΛΥΒΑΣ	-500000,0	-0,0047022
ΜΕΤΑΞΥ ΜΕΣΑΙΑΣ ΚΑΙ ΑΝΩ ΙΝΑΣ (CORE)	-29381,4	-0,0023393
ΜΕΣΑΙΑ ΙΝΑ ΔΙΑΤΟΜΗΣ (CONCRETE)	0,0	0,0016407
ΜΕΣΑΙΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ	303440,0	0,0015172
ΜΕΤΑΞΥ ΜΕΣΑΙΑΣ ΚΑΙ ΚΑΤΩ ΙΝΑΣ (CORE)	0,0	0,0053710
ΚΑΤΩ ΧΑΛΥΒΑΣ	500000,0	0,0077366
ΑΠΕΡΙΣΦΙΓΚΤΟ ΚΑΤΩ	0,0	0,0089977

Η μέγιστη ροπή που καταγράφεται είναι 212 kNm (202kNm κατά την διαρροή των κάτω χαλύβων του element 9) και με βάση το διάγραμμα ροπών καμπυλοτήτων η ροπή αστοχίας της διατομής είναι 188 kNm.



Παρατηρώντας το διάγραμμα ροπών και την παραμορφωμένη κατάσταση του υποστυλώματος τη στιγμή της αστοχίας αντιλαμβανόμαστε πως το

υποστύλωμα αποκρίνεται περίπου όπως στην στατική φόρτιση. Βέβαια η παραμόρφωση του φορέα αρχίζει να θυμίζει την ανώτερη ιδιομορφή το οποίο είναι λογικό διότι βρισκόμαστε κοντά στο σύνορο μεταξύ  $L_{eff}=2,7m$  και  $L_{eff}<2,7m$ .



$\max \delta = -0,024m$

$\delta y = -0,01m$

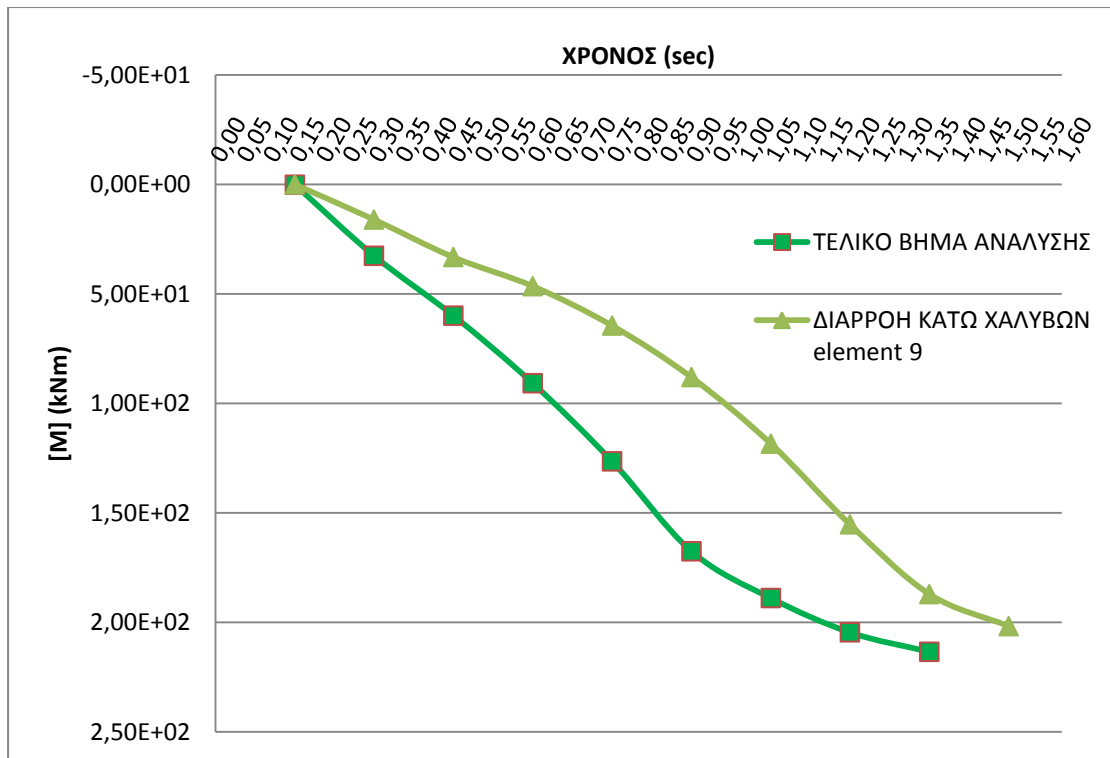
**N=-500 kN**

**P=244172 kN/sec**

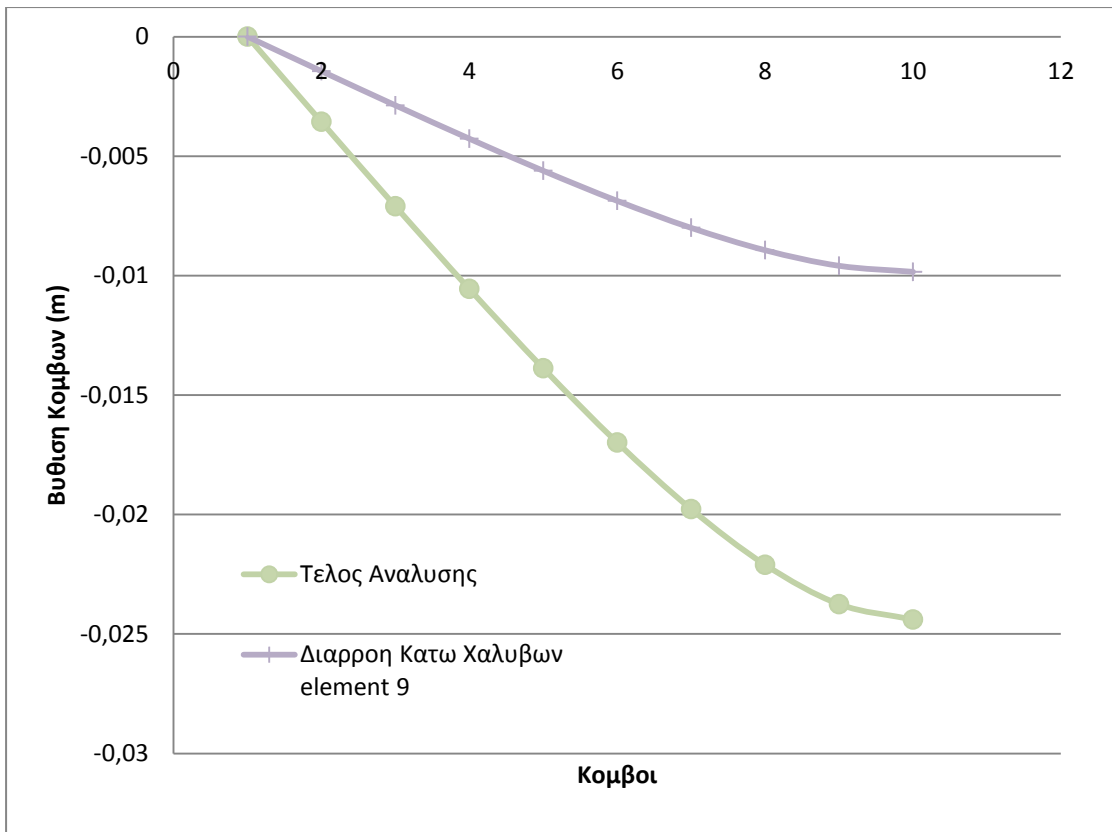
Για αυτή τη φόρτιση η ανάλυση σταματάει και το recorder των τάσεων- παραμορφώσεων δείχνει ότι η επικάλυψη έχει αστοχήσει ενώ ο πυρήνας της διατομής δεν έχει αστοχήσει.

	STRESS	STRAIN
ΑΠΕΡΙΣΦΙΓΚΤΟ ΑΝΩ	-25000,0	-0,0062709
ΑΝΩ ΙΝΑ CORE (CONCRETE)	-33612,9	-0,0048224
ΑΝΩ ΧΑΛΥΒΑΣ	-500000,0	-0,0049520
ΜΕΤΑΞΥ ΜΕΣΑΙΑΣ ΚΑΙ ΑΝΩ ΙΝΑΣ (CORE)	-30310,4	-0,0024809
ΜΕΣΑΙΑ ΙΝΑ ΔΙΑΤΟΜΗΣ (CONCRETE)	0,0	0,0016817
ΜΕΣΑΙΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ	310495,0	0,0015525
ΜΕΤΑΞΥ ΜΕΣΑΙΑΣ ΚΑΙ ΚΑΤΩ ΙΝΑΣ (CORE)	0,0	0,0055830
ΚΑΤΩ ΧΑΛΥΒΑΣ	500000,0	0,0080570
ΑΠΕΡΙΣΦΙΓΚΤΟ ΚΑΤΩ	0,0	0,0093758

Η μέγιστη ροπή που καταγράφεται είναι 212 kNm (202kNm κατά την διαρροή των κάτω χαλύβων του element 9) και με βάση το διάγραμμα ροπών καμπυλοτήτων η ροπή αστοχίας της διατομής είναι 188 kNm.



Παρατηρώντας το διάγραμμα ροπών και την παραμορφωμένη κατάσταση του υποστυλώματος τη στιγμή της αστοχίας αντιλαμβανόμαστε πως το υποστύλωμα αποκρίνεται περίπου όπως στην στατική φόρτιση. Βέβαια η παραμόρφωση του φορέα αρχίζει να θυμίζει την ανώτερη ιδιομορφή το οποίο είναι λογικό διότι βρισκόμαστε στο σύνορο μεταξύ  $L_{eff}=2,7m$  και  $L_{eff}<2,7m$ .



$\max \delta = -0,024\text{m}$

$\delta y = -0,01\text{m}$

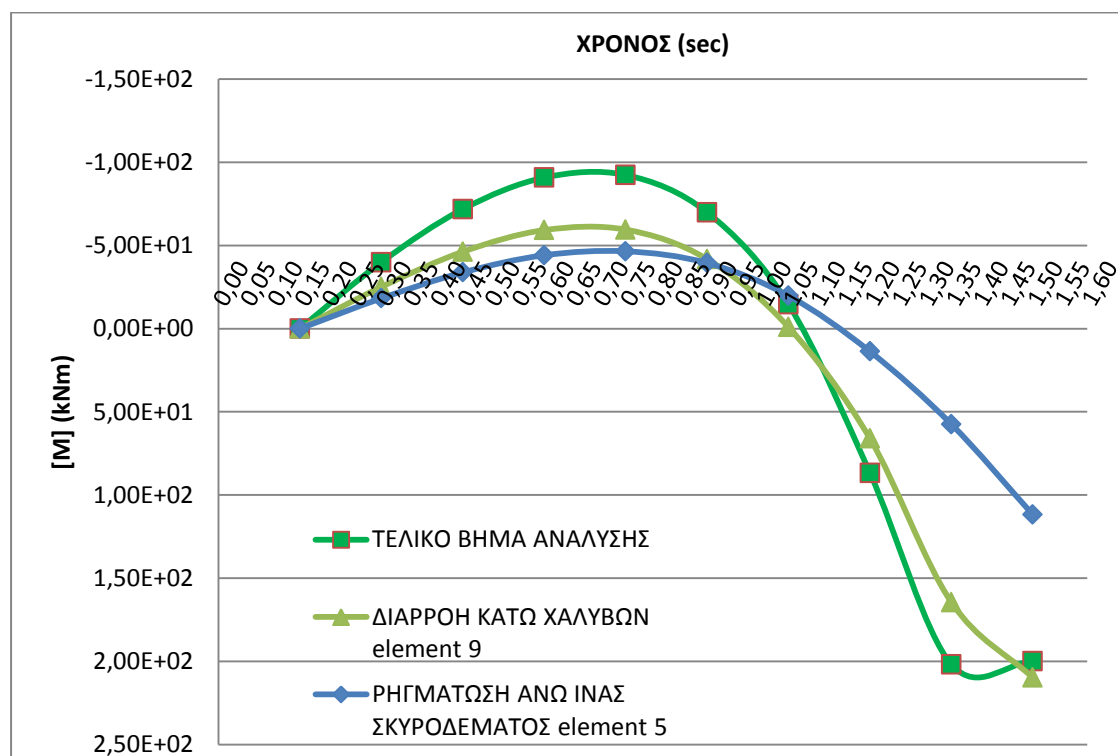
**N=-500 kN**

**P=1000000 kN/sec**

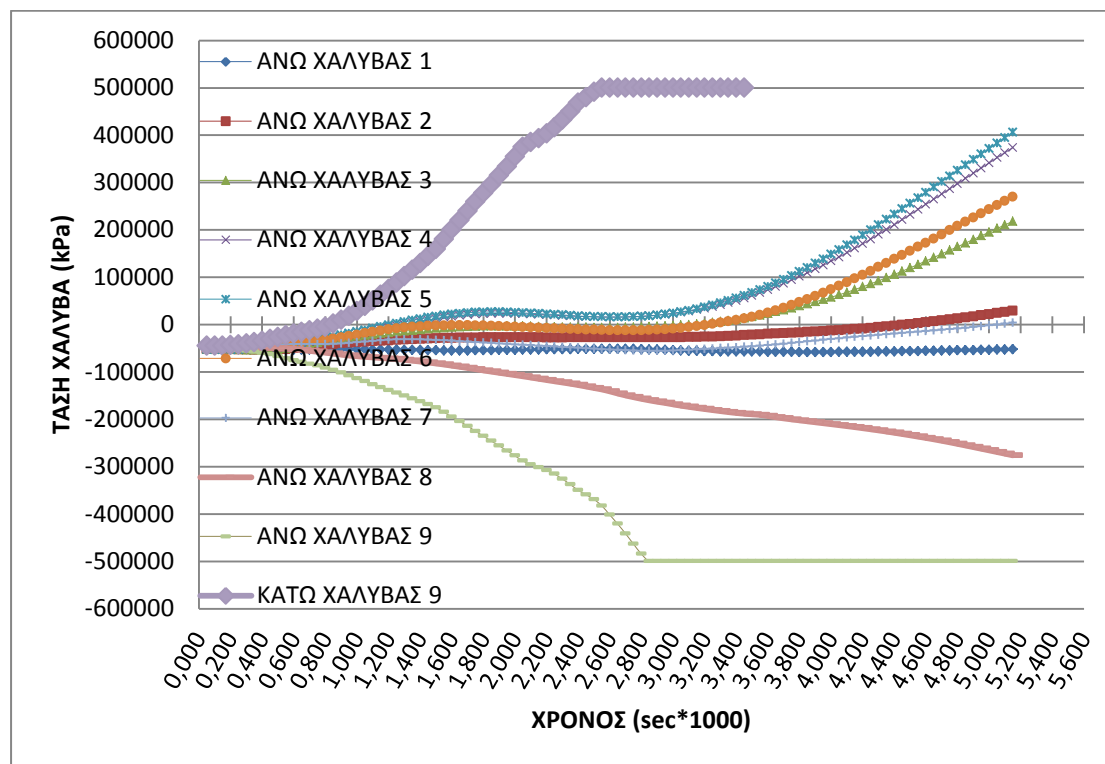
Για αυτή τη φόρτιση η ανάλυση σταματάει ενώ το recorder των τάσεων- παραμορφώσεων δείχνει ότι η επικάλυψη και ο πυρήνας της διατομής έχουν αστοχήσει.

	STRESS	STRAIN
ΑΠΕΡΙΣΦΙΓΚΤΟ ΑΝΩ	-25000,0	-0,0332492
ΑΝΩ ΙΝΑ CORE (CONCRETE)	-21250,0	-0,0242682
ΑΝΩ ΧΑΛΥΒΑΣ	-500000,0	-0,0250721
ΜΕΤΑΞΥ ΜΕΣΑΙΑΣ ΚΑΙ ΑΝΩ ΙΝΑΣ (CORE)	-30318,4	-0,0097506
ΜΕΣΑΙΑ ΙΝΑ ΔΙΑΤΟΜΗΣ (CONCRETE)	0,0	0,0160575
ΜΕΣΑΙΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ	500000,0	0,0152564
ΜΕΤΑΞΥ ΜΕΣΑΙΑΣ ΚΑΙ ΚΑΤΩ ΙΝΑΣ (CORE)	0,0	0,0402459
ΚΑΤΩ ΧΑΛΥΒΑΣ	500000,0	0,0555849
ΑΠΕΡΙΣΦΙΓΚΤΟ ΚΑΤΩ	0,0	0,0637621

Η μέγιστη ροπή που καταγράφεται είναι 210 kNm (210kNm κατά την διαρροή των κάτω χαλύβων του element 9) και με βάση το διάγραμμα ροπών καμπυλοτήτων η ροπή αστοχίας της διατομής είναι 188 kNm.



Για την εύρεση του  $L_{eff}$  κοιτάμε την παραμορφωμένη κατάσταση καθώς επίσης ,το διάγραμμα ροπών του υποστυλώματος και τη χρονοϊστορία των τάσεων των άνω χαλύβων για κάθε element.



Αρχικά παρατηρώντας την χρονοϊστορία των τάσεων των άνω χαλύβων για κάθε element του μοντέλου μας παρατηρούμε πως πρώτοι διαρρέουν λόγω εφελκυσμού οι κάτω χάλυβες στο element 9 ενώ οι άνω χάλυβες στο element 9 διαρρέουν εκ των υστέρων λόγω θλίψης.

Στη συνέχεια βρίσκουμε το διάγραμμα ροπών του υποστυλώματος για τη στιγμή της ρηγμάτωσης του σκυροδέματος της άνω ίνας της διατομής του element 5, για τη στιγμή της διαρροής των κάτω χαλύβων του element 9 και για το τελικό βήμα της ανάλυσης .

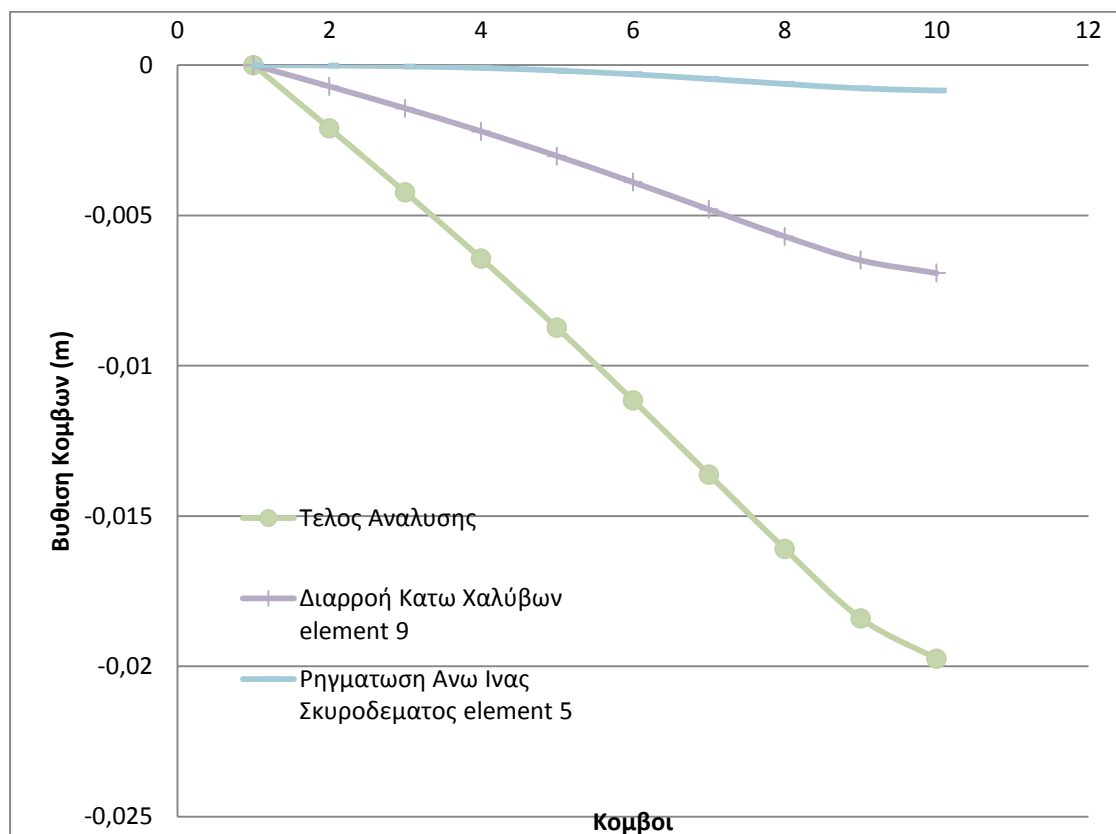
Από το διάγραμμα αυτό βγάζουμε τα εξής συμπεράσματα :

- 4) Η μέγιστη ροπή είναι τα 210 kNm και επιτυγχάνεται με την διαρροή των κάτω χαλύβων του element 9.
- 5) Παρατηρούμε πως έχουμε αντιστροφή των ροπών η οποία δεν δικαιολογείται από την στατική φόρτιση του υποστυλώματος , αλλά συμβαίνει λόγω του δυναμικού φαινομένου της κρούσης και συγκεκριμένα λόγω της δημιουργίας του  $L_{eff}$ .



- 6) Το μήκος του  $L_{eff}$  είναι 0,75m εκατέρωθεν του σημείου επιβολής του κρουστικού φορτίου.
- 7) Παρατηρώντας το διάγραμμα των ροπών παρατηρούμε την ανάπτυξη και εξάπλωση της πλαστικής άρθρωσης στο element 9 , η οποία δημιουργείται τη στιγμή που διαρρέουν οι κάτω χάλυβες του element 9 και επεκτείνεται μέχρι το τελικό βήμα της ανάλυσης
- 8) Τέλος τα προαναφερθείσα συμπεράσματα ενισχύονται από το διάγραμμα της παραμορφωμένης κατάστασης του υποστυλώματος . Παρατηρώντας το και λαμβάνοντας υπόψιν τα όσα προαναφέραμε, αντιλαμβανόμαστε την εξέλιξη του φαινομένου της δημιουργίας του  $L_{eff}$ .

Αρχίζει η ρηγματώση της άνω ίνας του σκυροδέματος του element 5 (time:0.0011sec) , στη συνέχεια διαρρέουν οι κάτω χάλυβες του element 9 (time:0.00255sec) και δημιουργείται πλαστική άρθρωση και οδηγούμαστε στην αστοχία (time :0.00365sec). Η δημιουργία του  $L_{eff}$  φαίνεται με την αλλαγή της κλίσης περί του κόμβου 5.

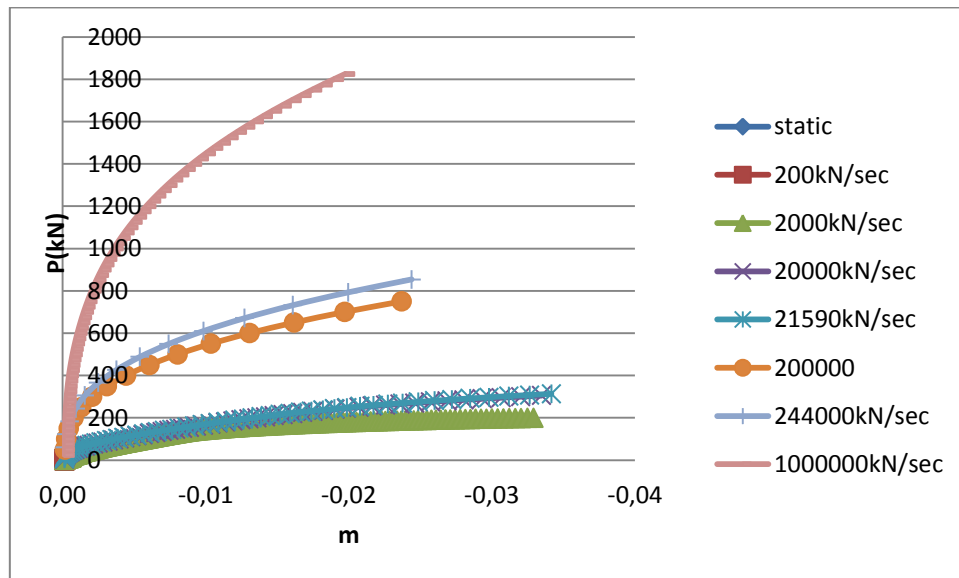


$$\delta_{cr} = -0,001\text{m}$$

$$\delta_y = -0,007\text{m}$$

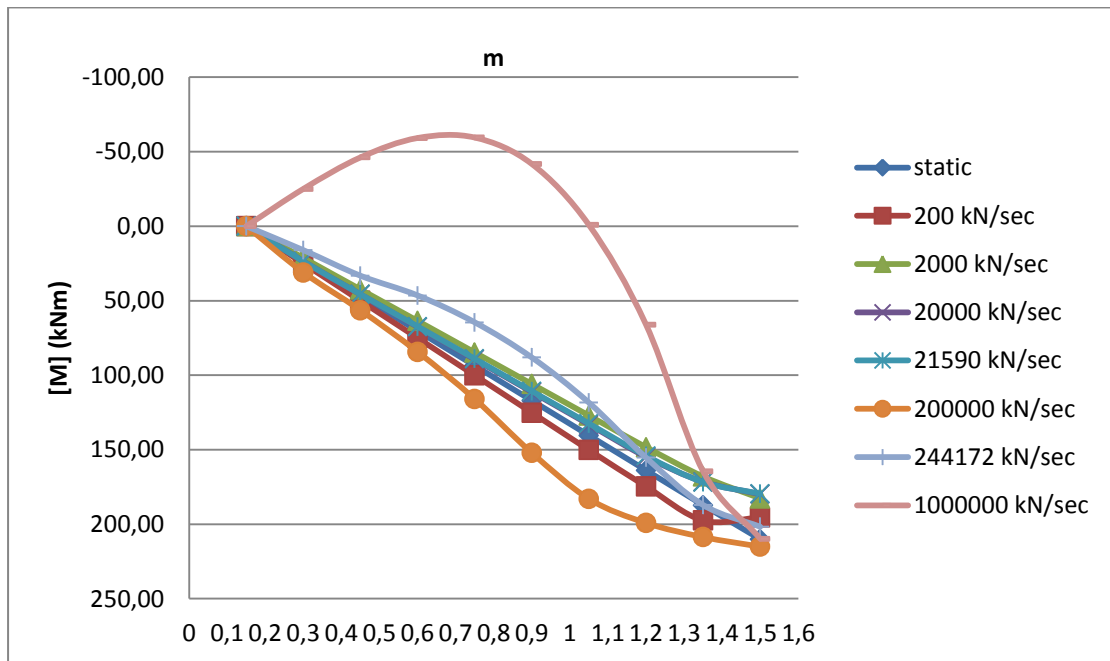
$$\max\delta = -0,020$$

Στο επόμενο σχήμα δείχνουμε την σχέση της εξωτερικής φόρτισης με την κατακόρυφη βύθιση του μεσαίου κόμβου του υποστυλώματος :



Παρατηρούμε ότι για χαμηλούς ρυθμούς φόρτισης το υποστύλωμα αποκρίνεται όπως και στην στατική φόρτιση ενώ όσο ο ρυθμός φόρτισης αυξάνεται το υποστύλωμα αστοχεί για μεγαλύτερες τιμές εξωτερικού φορτίου αλλά για μικρότερες τιμές βύθισης. Δηλαδή η αστοχία γίνεται πιο ψαθυρή.

Στο επόμενο σχήμα παρατηρούμε την σταδιακή δημιουργία του Leff το οποίο το αντιλαμβανόμαστε από την αντιστροφή των ροπών που παρατηρούμε .



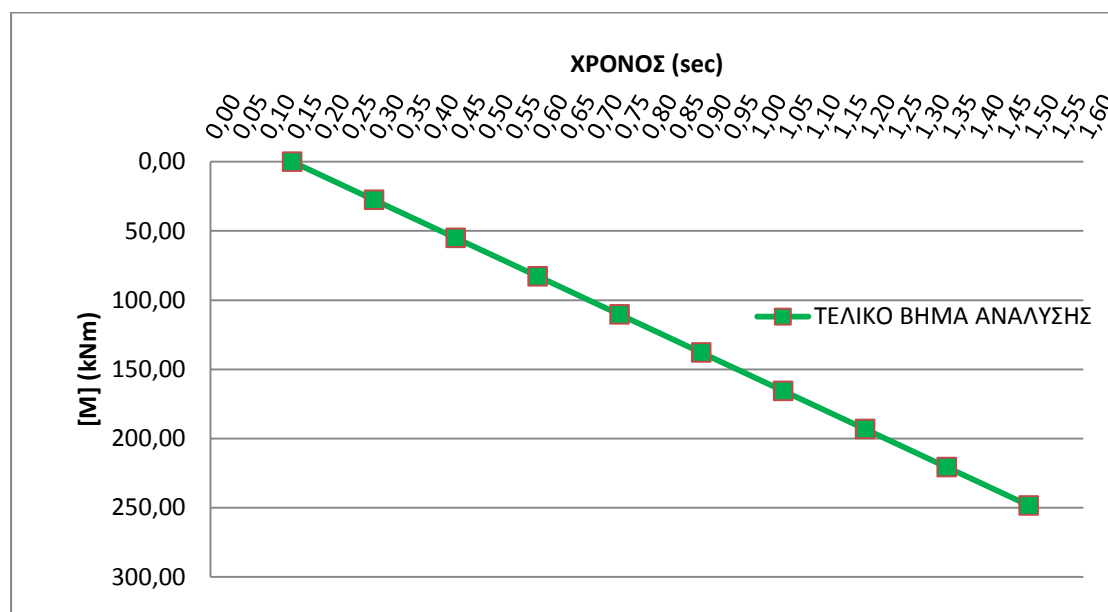
**N=-1000 kN**

**static**

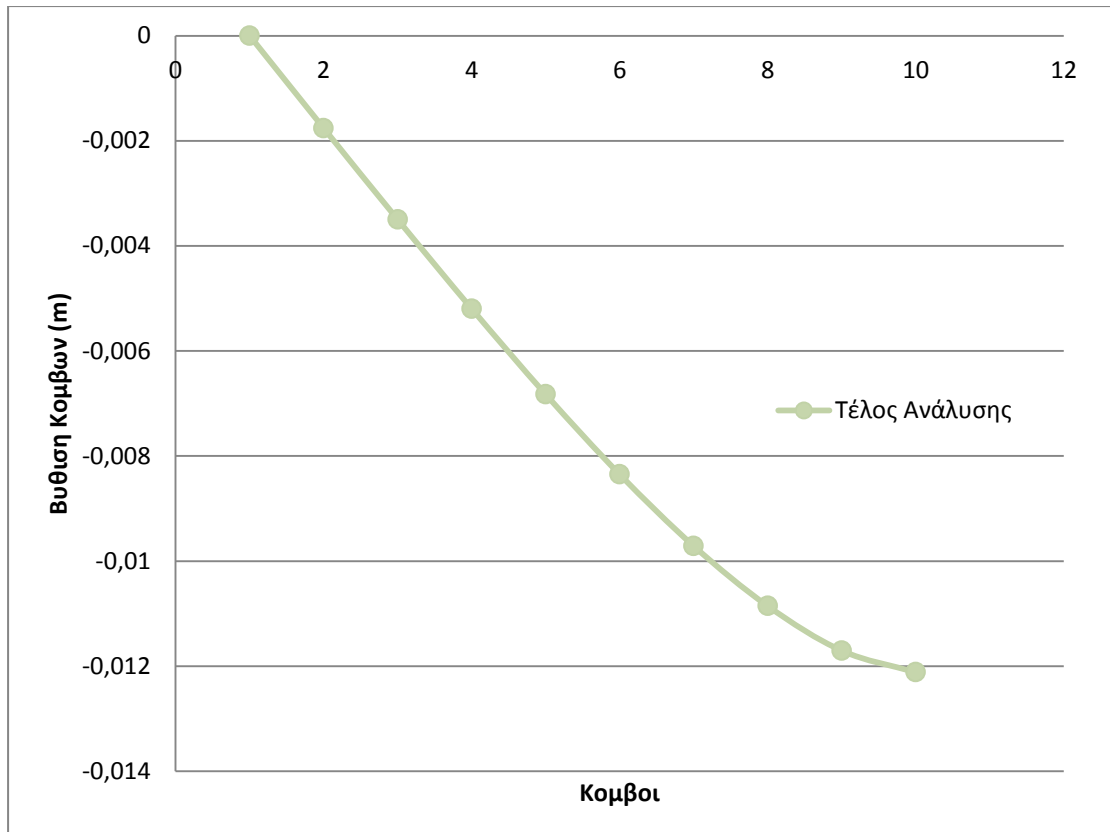
Για αυτή τη φόρτιση η ανάλυση σταματάει και το recorder των τάσεων- παραμορφώσεων δείχνει ότι η επικάλυψη και ο πυρήνας της διατομής δεν έχουν αστοχήσει καθώς επίσης μόνο οι κάτω χάλυβες έχουν διαρρεύσει.

	STRESS	STRAIN
ΑΠΕΡΙΣΦΙΓΚΤΟ ΑΝΩ	-25000,0	-0,0027157
ΑΝΩ ΙΝΑ CORE (CONCRETE)	-28286,0	-0,0021887
ΑΝΩ ΧΑΛΥΒΑΣ	-447200,0	-0,0022360
ΜΕΤΑΞΥ ΜΕΣΑΙΑΣ ΚΑΙ ΑΝΩ ΙΝΑΣ (CORE)	-20030,8	-0,0013370
ΜΕΣΑΙΑ ΙΝΑ ΔΙΑΤΟΜΗΣ (CONCRETE)	0,0	0,0000824
ΜΕΣΑΙΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ	25945,5	0,0001297
ΜΕΤΑΞΥ ΜΕΣΑΙΑΣ ΚΑΙ ΚΑΤΩ ΙΝΑΣ (CORE)	0,0	0,0015965
ΚΑΤΩ ΧΑΛΥΒΑΣ	499091,0	0,0024955
ΑΠΕΡΙΣΦΙΓΚΤΟ ΚΑΤΩ	0,0	0,0029751

Η μέγιστη ροπή που καταγράφεται είναι 248 kNm (248kNm κατά την διαρροή των κάτω χαλύβων του element 9) και με βάση το διάγραμμα ροπών καμπυλοτήτων η ροπή αστοχίας της διατομής είναι 205 kNm.



Παρατηρώντας το διάγραμμα ροπών και την παραμορφωμένη κατάσταση του υποστυλώματος τη στιγμή της αστοχίας αντιλαμβανόμαστε πως το υποστυλωμα αποκρίνεται περίπου όπως στην στατική φόρτιση. Η παραμόρφωση του φορέα θυμίζει την 1<sup>η</sup> ιδιομορφή.



$\max \delta = 0,012\text{m}$

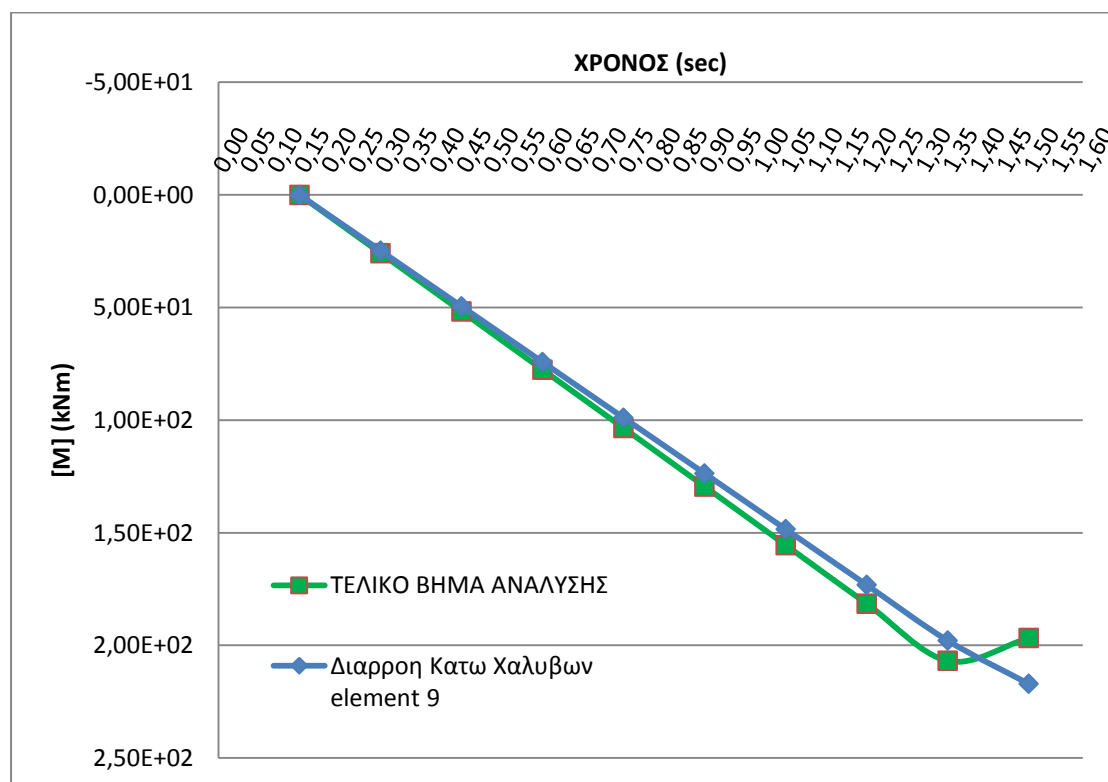
**N=-1000 kN**

**P=200kN/sec**

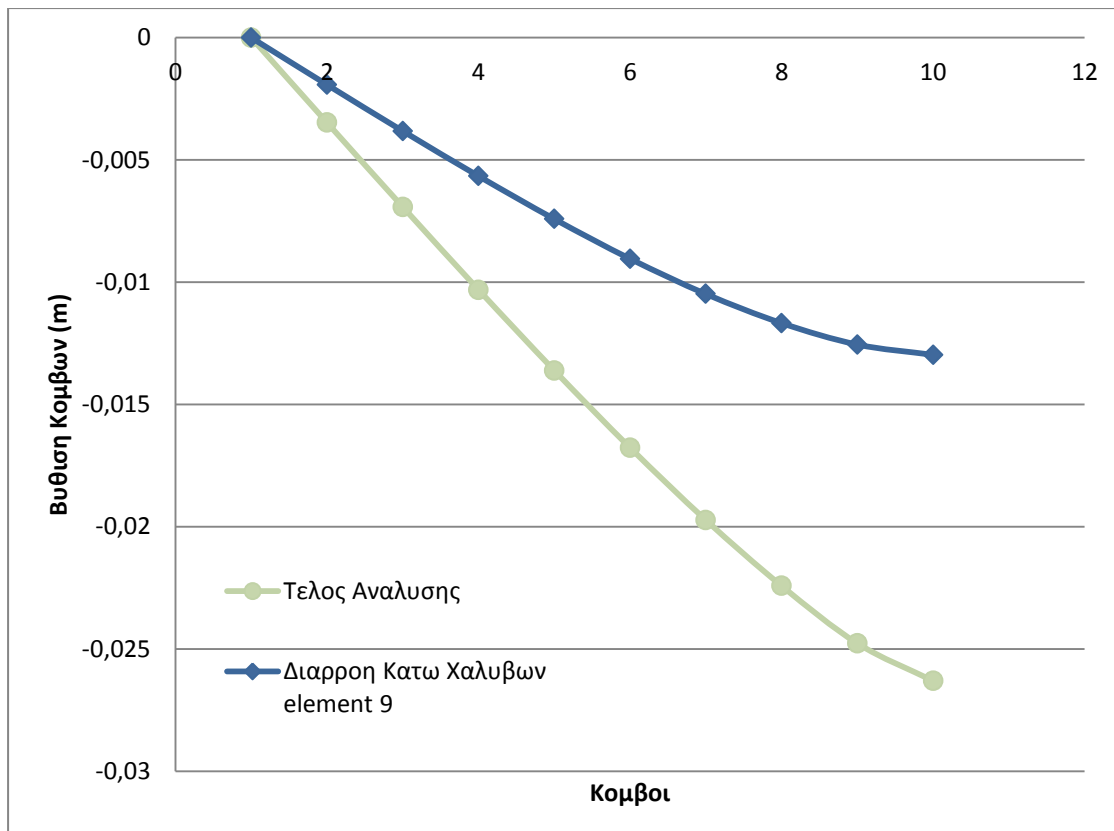
Για αυτή τη φόρτιση η ανάλυση σταματάει και το recorder των τάσεων- παραμορφώσεων δείχνει ότι η επικάλυψη και ο πυρήνας της διατομής έχουν αστοχήσει καθώς επίσης οι άνω και οι κάτω χάλυβες έχουν διαρρεύσει.

	STRESS	STRAIN
ΑΠΕΡΙΣΦΙΓΚΤΟ ΑΝΩ	-25000,0	-0,0293874
ΑΝΩ ΙΝΑ CORE (CONCRETE)	-21250,0	-0,0233286
ΑΝΩ ΧΑΛΥΒΑΣ	-500000,0	-0,0238709
ΜΕΤΑΞΥ ΜΕΣΑΙΑΣ ΚΑΙ ΑΝΩ ΙΝΑΣ (CORE)	-27788,6	-0,0135347
ΜΕΣΑΙΑ ΙΝΑ ΔΙΑΤΟΜΗΣ (CONCRETE)	0,0	0,0038759
ΜΕΣΑΙΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ	490678,0	0,0033355
ΜΕΤΑΞΥ ΜΕΣΑΙΑΣ ΚΑΙ ΚΑΤΩ ΙΝΑΣ (CORE)	0,0	0,0201939
ΚΑΤΩ ΧΑΛΥΒΑΣ	500000,0	0,0305419
ΑΠΕΡΙΣΦΙΓΚΤΟ ΚΑΤΩ	0,0	0,0360583

Η μέγιστη ροπή που καταγράφεται είναι 210 kNm (210kNm κατά την διαρροή των κάτω χάλυβων του element 9) και με βάση το διάγραμμα ροπών καμπυλοτήτων η ροπή αστοχίας της διατομής είναι 205 kNm.



Παρατηρώντας το διάγραμμα ροπών και την παραμορφωμένη κατάσταση του υποστυλώματος τη στιγμή της αστοχίας αντιλαμβανόμαστε πως το υποστύλωμα αποκρίνεται περίπου όπως στην στατική φόρτιση. Η παραμόρφωση του φορέα θυμίζει την 1<sup>η</sup> ιδιομορφή.



$$\max \delta = -0,026\text{m}$$

$$\delta y = -0,013$$

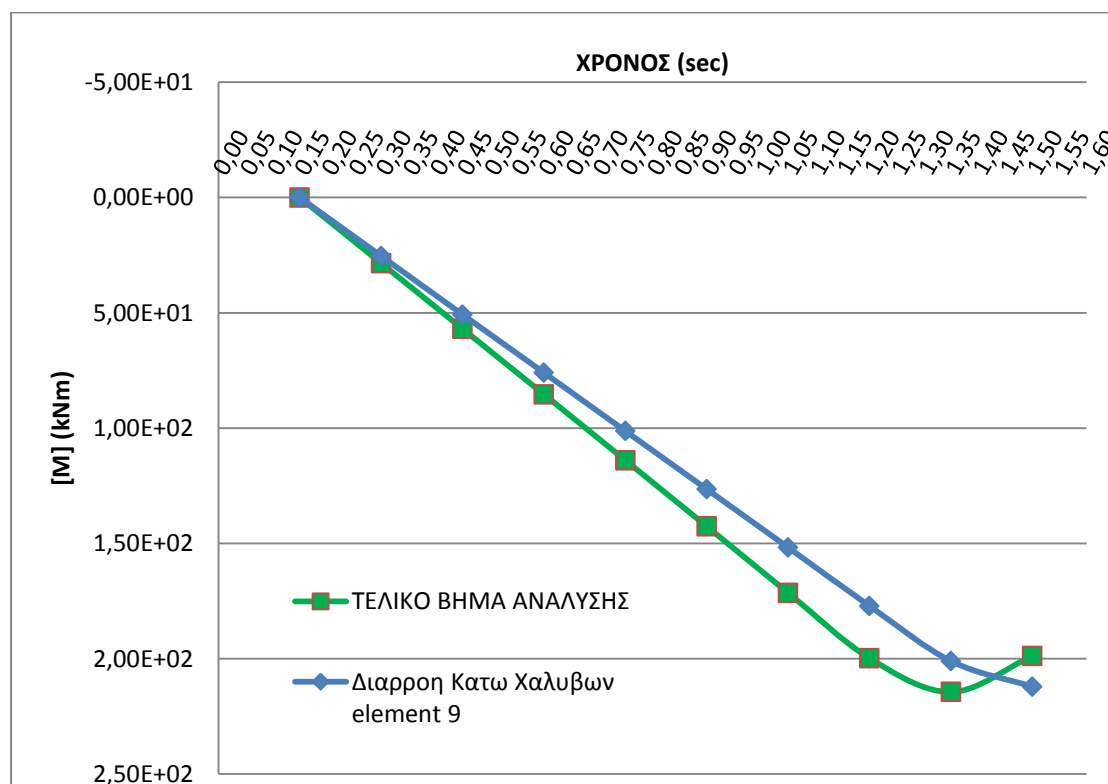
**N=-1000 kN**

**P=2000kN/sec**

Για αυτή τη φόρτιση η ανάλυση σταματάει και το recorder των τάσεων- παραμορφώσεων δείχνει ότι η επικάλυψη και ο πυρήνας της διατομής έχουν αστοχήσει καθώς επίσης όλοι οι χάλυβες έχουν διαρρεύσει.

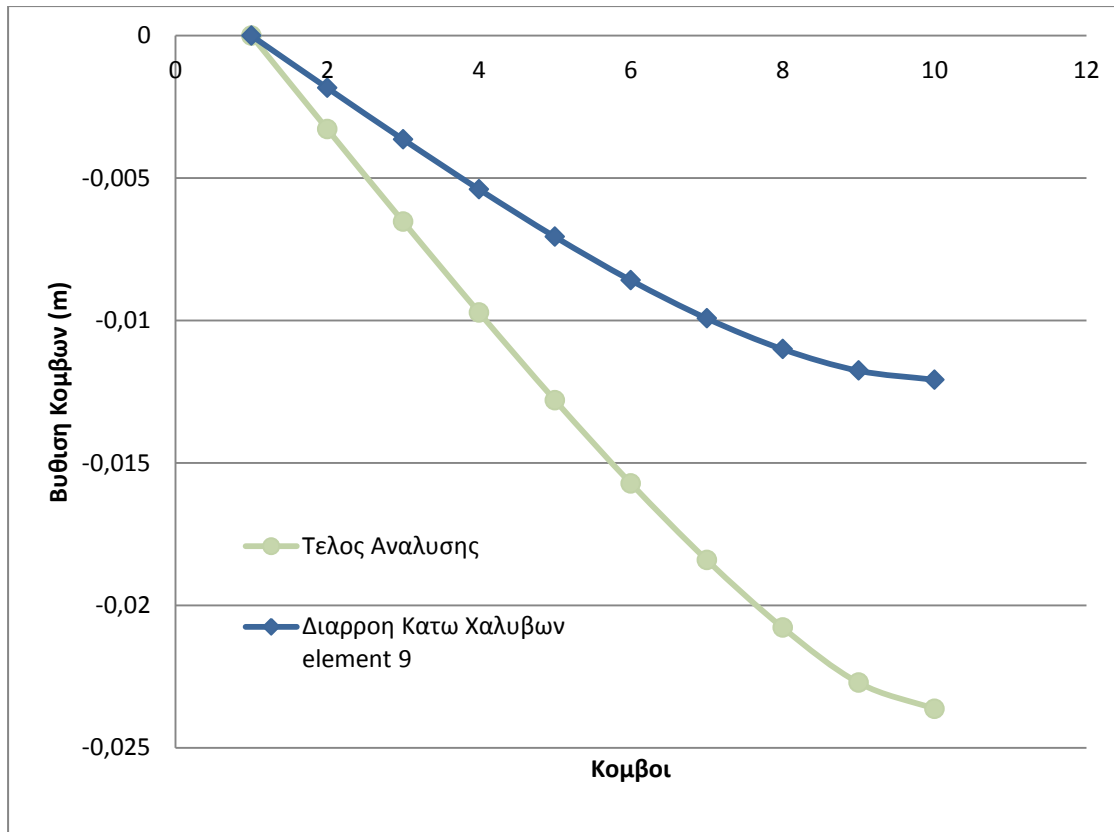
	STRESS	STRAIN
ΑΠΕΡΙΣΦΙΓΚΤΟ ΑΝΩ	-25000,0	-0,0278675
ΑΝΩ ΙΝΑ CORE (CONCRETE)	-22150,6	-0,0219684
ΑΝΩ ΧΑΛΥΒΑΣ	-500000,0	-0,0224964
ΜΕΤΑΞΥ ΜΕΣΑΙΑΣ ΚΑΙ ΑΝΩ ΙΝΑΣ (CORE)	-28525,3	-0,0124327
ΜΕΣΑΙΑ ΙΝΑ ΔΙΑΤΟΜΗΣ (CONCRETE)	0,0	0,0045189
ΜΕΣΑΙΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ	500000,0	0,0039927
ΜΕΤΑΞΥ ΜΕΣΑΙΑΣ ΚΑΙ ΚΑΤΩ ΙΝΑΣ (CORE)	0,0	0,0204067
ΚΑΤΩ ΧΑΛΥΒΑΣ	500000,0	0,0304819
ΑΠΕΡΙΣΦΙΓΚΤΟ ΚΑΤΩ	0,0	0,0358530

Η μέγιστη ροπή που καταγράφεται είναι 214 kNm (212kNm κατά την διαρροή των κάτω χάλυβων του element 9) και με βάση το διάγραμμα ροπών καμπυλοτήτων η ροπή αστοχίας της διατομής είναι 205 kNm.





Παρατηρώντας το διάγραμμα ροπών και την παραμορφωμένη κατάσταση του υποστυλώματος τη στιγμή της αστοχίας αντιλαμβανόμαστε πως το υποστύλωμα αποκρίνεται περίπου όπως στην στατική φόρτιση. Η παραμόρφωση του φορέα θυμίζει την 1<sup>η</sup> ιδιομορφή.



$$\max \delta = 0,024\text{m}$$

$$\delta y = 0,012\text{m}$$

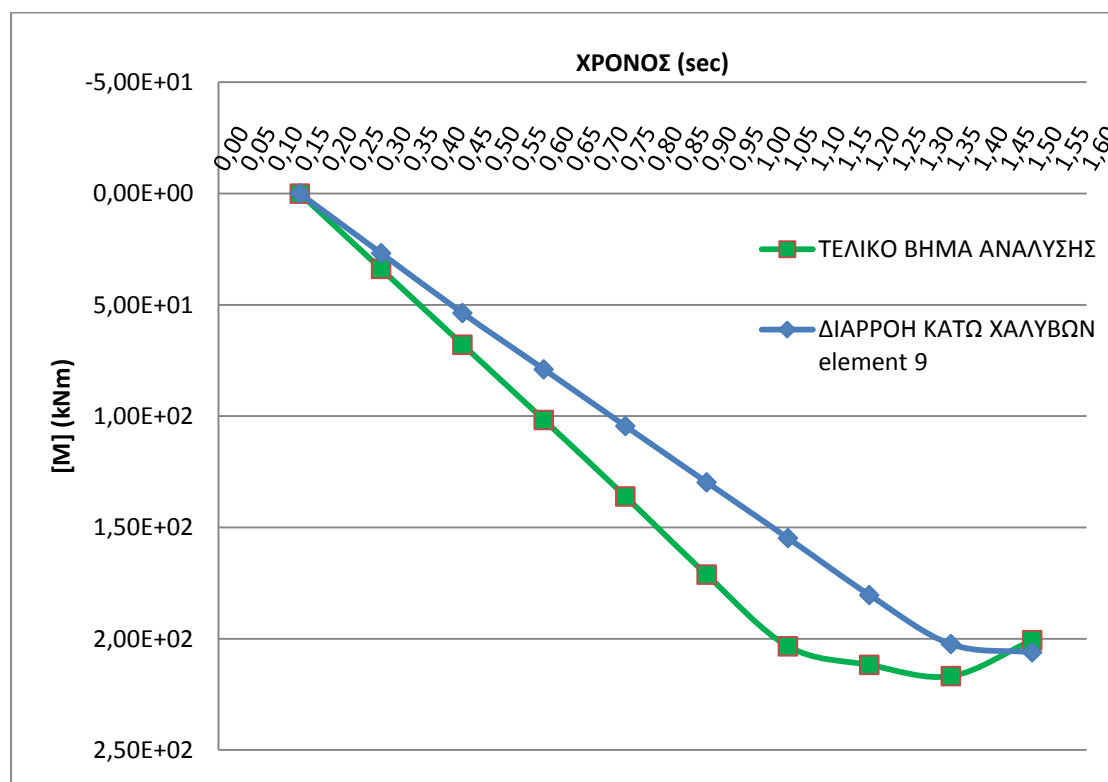
**N=-1000 kN**

**P=20000kN/sec**

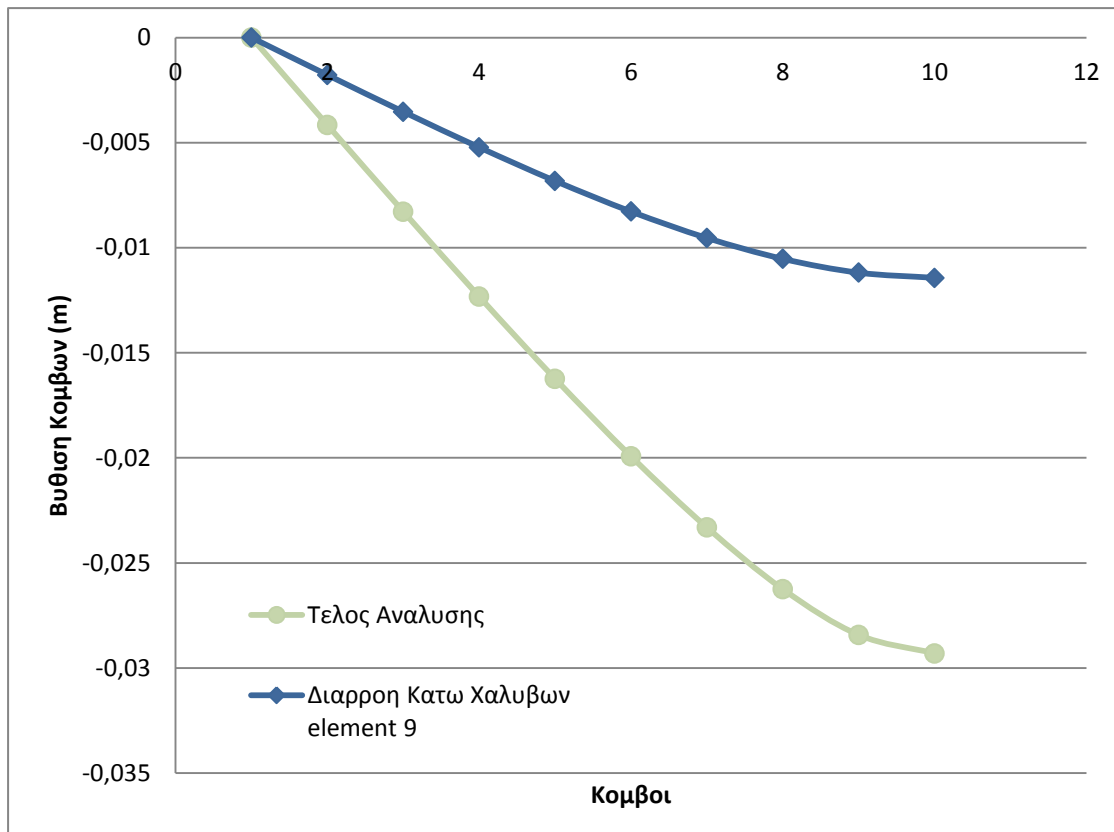
Για αυτή τη φόρτιση η ανάλυση σταματάει και το recorder των τάσεων- παραμορφώσεων δείχνει ότι η επικάλυψη και ο πυρήνας της διατομής έχουν αστοχήσει καθώς επίσης όλοι οι χάλυβες έχουν διαρρεύσει.

	STRESS	STRAIN
ΑΠΕΡΙΣΦΙΓΚΤΟ ΑΝΩ	-25000,0	-0,0321928
ΑΝΩ ΙΝΑ CORE (CONCRETE)	-21250,0	-0,0254365
ΑΝΩ ΧΑΛΥΒΑΣ	-500000,0	-0,0260412
ΜΕΤΑΞΥ ΜΕΣΑΙΑΣ ΚΑΙ ΑΝΩ ΙΝΑΣ (CORE)	-27133,3	-0,0145151
ΜΕΣΑΙΑ ΙΝΑ ΔΙΑΤΟΜΗΣ (CONCRETE)	-27133,3	-0,0145151
ΜΕΣΑΙΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ	500000,0	0,0042973
ΜΕΤΑΞΥ ΜΕΣΑΙΑΣ ΚΑΙ ΚΑΤΩ ΙΝΑΣ (CORE)	0,0	0,0230965
ΚΑΤΩ ΧΑΛΥΒΑΣ	500000,0	0,0346357
ΑΠΕΡΙΣΦΙΓΚΤΟ ΚΑΤΩ	0,0	0,0407873

Η μέγιστη ροπή που καταγράφεται είναι 216 kNm (206kNm κατά την διαρροή των κάτω χάλυβων του element 9) και με βάση το διάγραμμα ροπών καμπυλοτήτων η ροπή αστοχίας της διατομής είναι 205 kNm.



Παρατηρώντας το διάγραμμα ροπών και την παραμορφωμένη κατάσταση του υποστυλώματος τη στιγμή της αστοχίας αντιλαμβανόμαστε πως το υποστύλωμα αποκρίνεται περίπου όπως στην στατική φόρτιση. Η παραμόρφωση του φορέα θυμίζει την 1<sup>η</sup> ιδιομορφή.



$$\max \delta = -0,029 \text{ m}$$

$$\delta y = -0,011$$

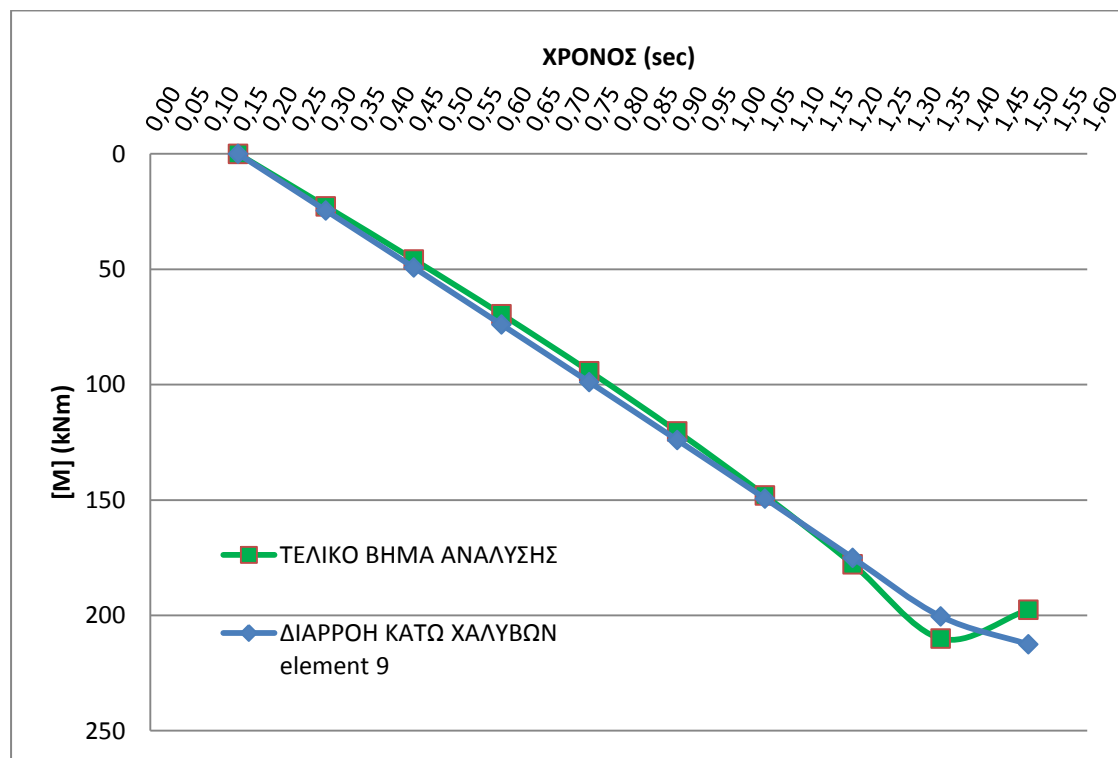
**N=-1000 kN**

**P=23542kN/sec**

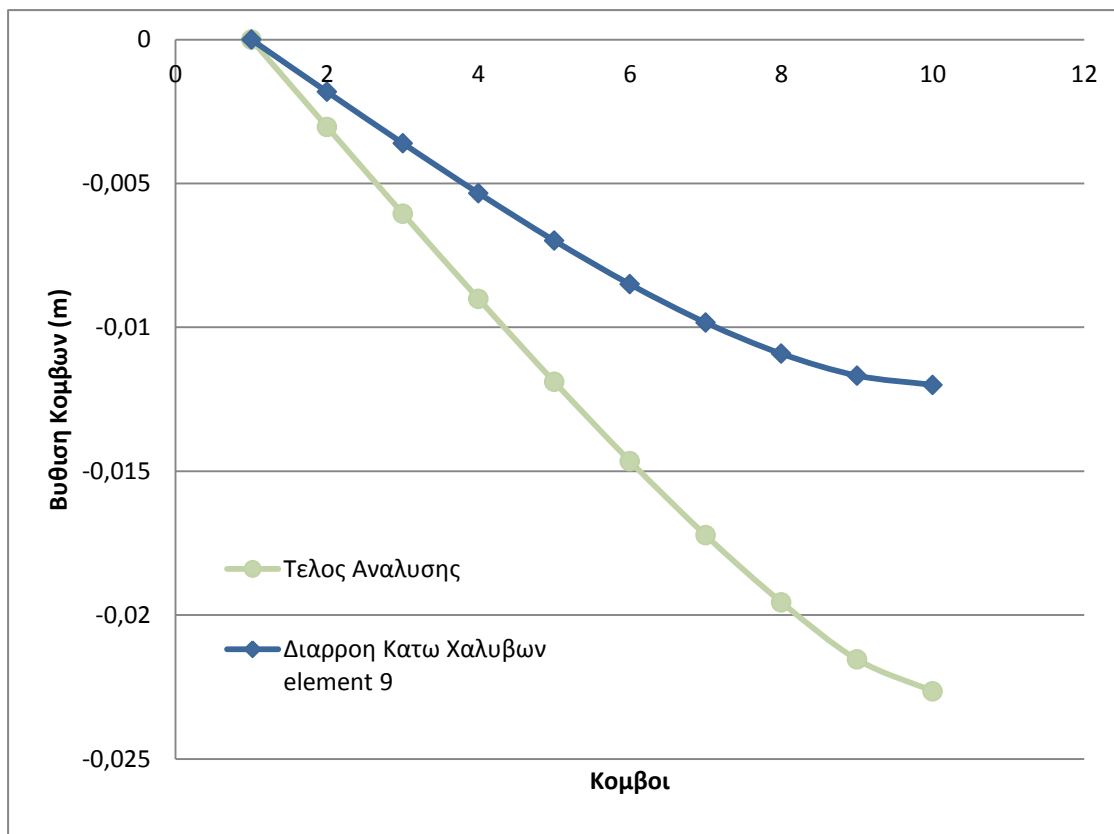
Για αυτή τη φόρτιση η ανάλυση σταματάει και το recorder των τάσεων- παραμορφώσεων δείχνει ότι η επικάλυψη και ο πυρήνας της διατομής έχουν αστοχήσει καθώς επίσης οι άνω και κάτω χάλυβες έχουν διαρρεύσει.

	STRESS	STRAIN
ΑΠΕΡΙΣΦΙΓΚΤΟ ΑΝΩ	-25000,0	-0,0296673
ΑΝΩ ΙΝΑ CORE (CONCRETE)	-21250,0	-0,0235059
ΑΝΩ ΧΑΛΥΒΑΣ	-500000,0	-0,0240574
ΜΕΤΑΞΥ ΜΕΣΑΙΑΣ ΚΑΙ ΑΝΩ ΙΝΑΣ (CORE)	-27781,0	-0,0135462
ΜΕΣΑΙΑ ΙΝΑ ΔΙΑΤΟΜΗΣ (CONCRETE)	0,0	0,0041591
ΜΕΣΑΙΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ	494606,0	0,0036096
ΜΕΤΑΞΥ ΜΕΣΑΙΑΣ ΚΑΙ ΚΑΤΩ ΙΝΑΣ (CORE)	0,0	0,0207534
ΚΑΤΩ ΧΑΛΥΒΑΣ	500000,0	0,0312765
ΑΠΕΡΙΣΦΙΓΚΤΟ ΚΑΤΩ	0,0	0,0368864

Η μέγιστη ροπή που καταγράφεται είναι 210 kNm (210kNm κατά την διαρροή των κάτω χάλυβων του element 9) και με βάση το διάγραμμα ροπών καμπυλοτήτων η ροπή αστοχίας της διατομής είναι 205 kNm.



Παρατηρώντας το διάγραμμα ροπών και την παραμορφωμένη κατάσταση του υποστυλώματος τη στιγμή της αστοχίας αντιλαμβανόμαστε πως το υποστύλωμα αποκρίνεται περίπου όπως στην στατική φόρτιση. Η παραμόρφωση του φορέα θυμίζει την 1<sup>η</sup> ιδιομορφή.



$$\max \delta = -0,023\text{m}$$

$$\delta y = -0,012$$

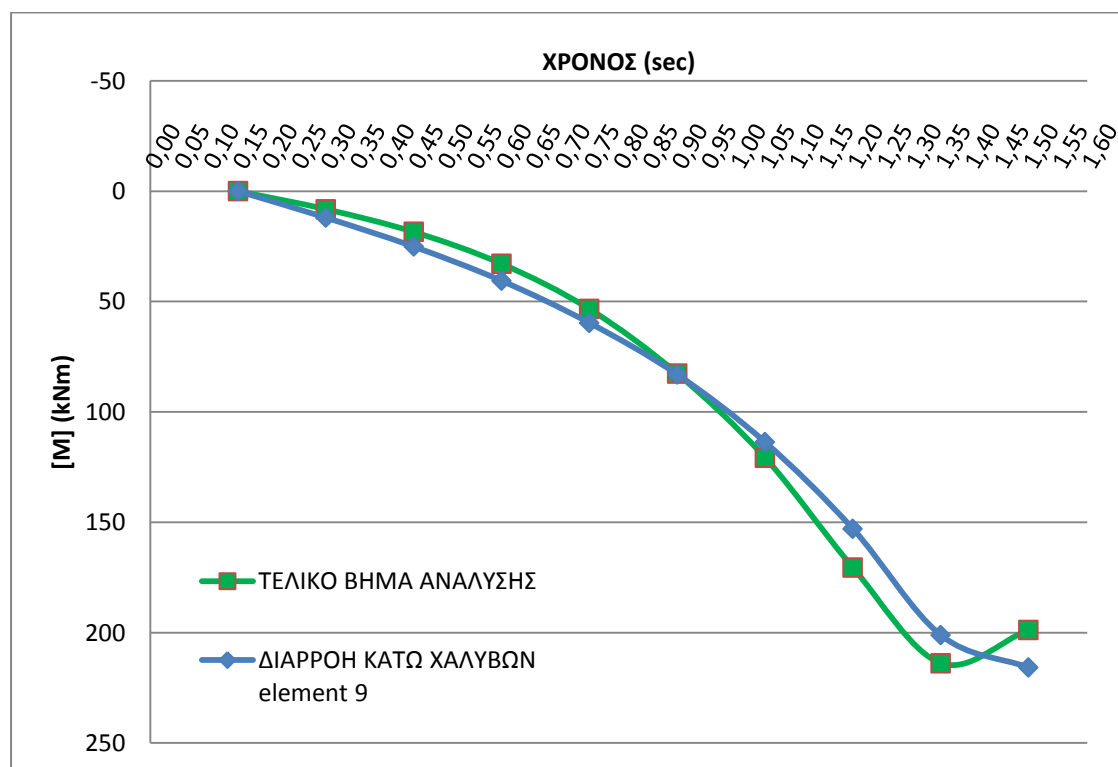
**N=-1000 kN**

**P=200000 kN/sec**

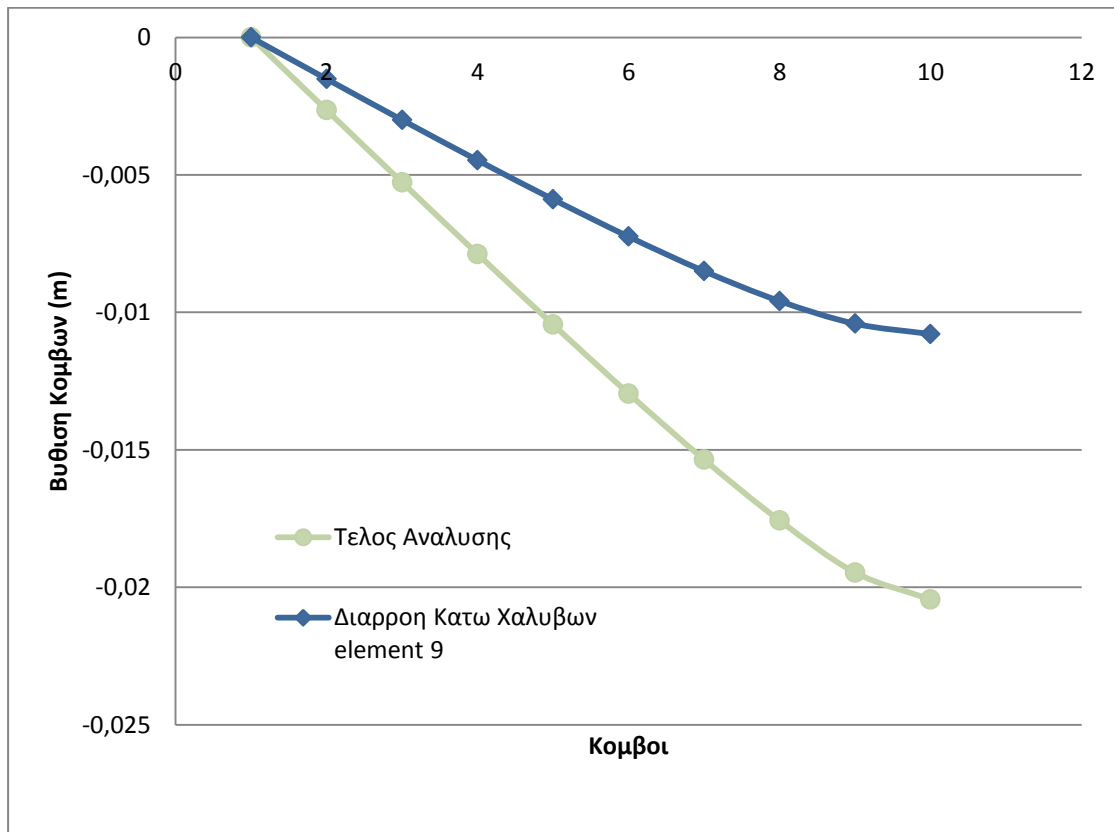
Για αυτή τη φόρτιση η ανάλυση σταματάει και το recorder των τάσεων- παραμορφώσεων δείχνει ότι η επικάλυψη και ο πυρήνας της διατομής έχουν αστοχήσει καθώς επίσης όλοι οι χάλυβες έχουν διαρρεύσει.

	STRESS	STRAIN
ΑΠΕΡΙΣΦΙΓΚΤΟ ΑΝΩ	-25000,0	-0,0302593
ΑΝΩ ΙΝΑ CORE (CONCRETE)	-21250,0	-0,0237670
ΑΝΩ ΧΑΛΥΒΑΣ	-500000,0	-0,0243481
ΜΕΤΑΞΥ ΜΕΣΑΙΑΣ ΚΑΙ ΑΝΩ ΙΝΑΣ (CORE)	-27964,1	-0,0132723
ΜΕΣΑΙΑ ΙΝΑ ΔΙΑΤΟΜΗΣ (CONCRETE)	0,0	0,0053842
ΜΕΣΑΙΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ	500000,0	0,0048051
ΜΕΤΑΞΥ ΜΕΣΑΙΑΣ ΚΑΙ ΚΑΤΩ ΙΝΑΣ (CORE)	0,0	0,0228698
ΚΑΤΩ ΧΑΛΥΒΑΣ	500000,0	0,0339582
ΑΠΕΡΙΣΦΙΓΚΤΟ ΚΑΤΩ	0,0	0,0398694

Η μέγιστη ροπή που καταγράφεται είναι 214 kNm (214kNm κατά την διαρροή των κάτω χάλυβων του element 9) και με βάση το διάγραμμα ροπών καμπυλοτήτων η ροπή αστοχίας της διατομής είναι 205 kNm.



Παρατηρώντας το διάγραμμα ροπών και την παραμορφωμένη κατάσταση του υποστυλώματος τη στιγμή της αστοχίας αντιλαμβανόμαστε πως το υποστύλωμα αποκρίνεται περίπου όπως στην στατική φόρτιση. Βέβαια η παραμόρφωση του φορέα αρχίζει να θυμίζει την ανώτερη ιδιομορφή το οποίο είναι λογικό διότι βρισκόμαστε κοντά στο σύνορο μεταξύ  $L_{eff}=2,7m$  και  $L_{eff}<2,7m$ .



$\max \delta = -0,020m$

$\delta y = -0,011$

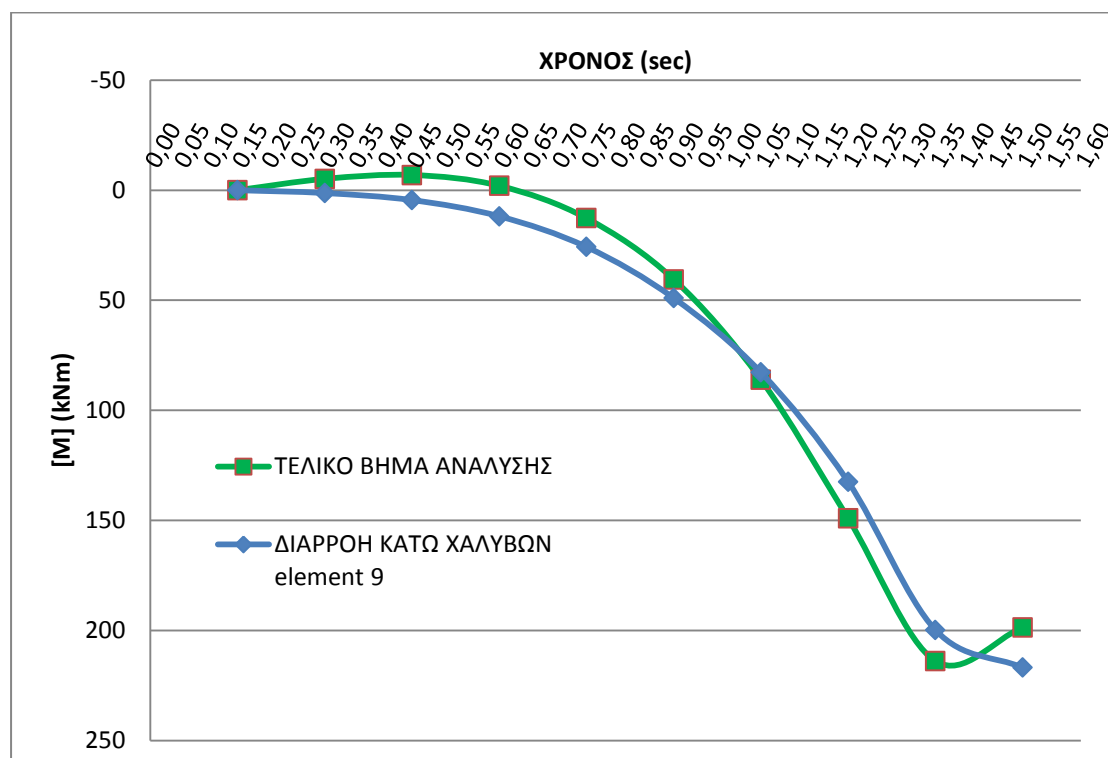
**N=-1000 kN**

**P=388242 kN/sec**

Για αυτή τη φόρτιση η ανάλυση σταματάει και το recorder των τάσεων- παραμορφώσεων δείχνει ότι η επικάλυψη και ο πυρήνας της διατομής έχουν αστοχήσει.

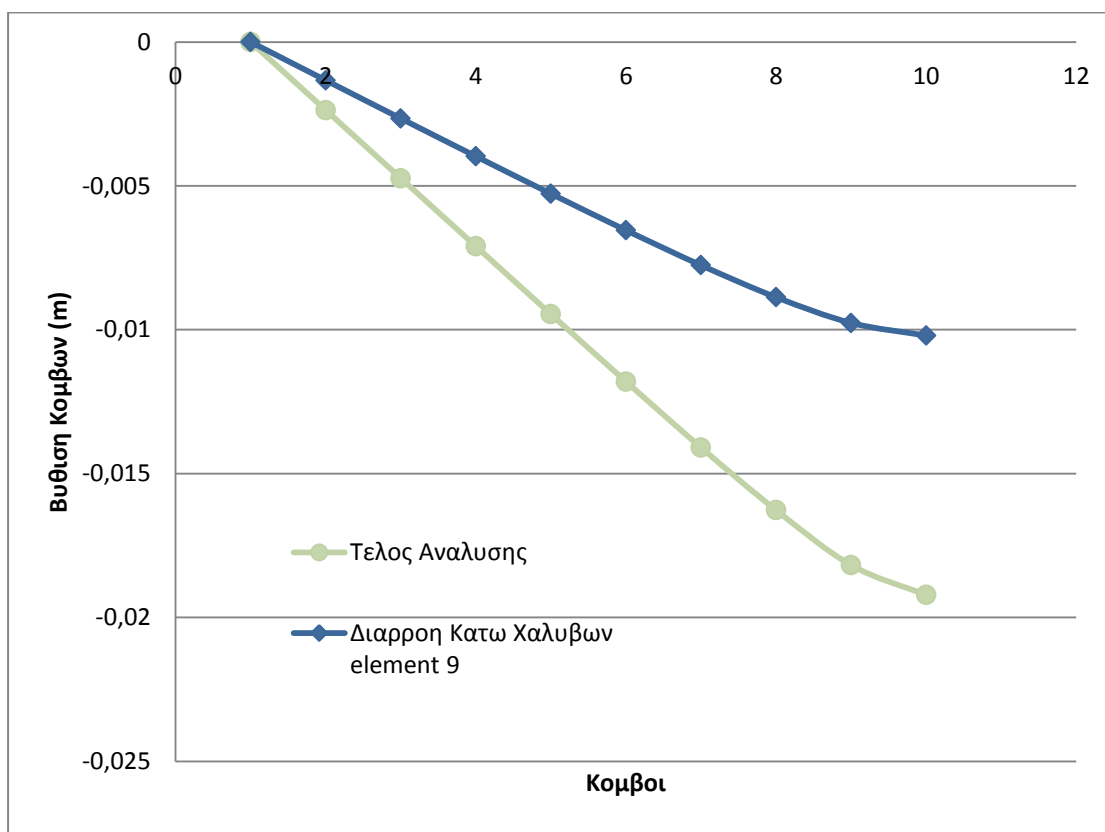
	STRESS	STRAIN
ΑΠΕΡΙΣΦΙΓΚΤΟ ΑΝΩ	-25000,0	-0,0319826
ΑΝΩ ΙΝΑ CORE (CONCRETE)	-21250,0	-0,0251195
ΑΝΩ ΧΑΛΥΒΑΣ	-500000,0	-0,0257338
ΜΕΤΑΞΥ ΜΕΣΑΙΑΣ ΚΑΙ ΑΝΩ ΙΝΑΣ (CORE)	-27460,5	-0,0140255
ΜΕΣΑΙΑ ΙΝΑ ΔΙΑΤΟΜΗΣ (CONCRETE)	0,0	0,0056963
ΜΕΣΑΙΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ	500000,0	0,0050842
ΜΕΤΑΞΥ ΜΕΣΑΙΑΣ ΚΑΙ ΚΑΤΩ ΙΝΑΣ (CORE)	0,0	0,0241805
ΚΑΤΩ ΧΑΛΥΒΑΣ	500000,0	0,0359022
ΑΠΕΡΙΣΦΙΓΚΤΟ ΚΑΤΩ	0,0	0,0421509

Η μέγιστη ροπή που καταγράφεται είναι 214 kNm (214kNm κατά την διαρροή των κάτω χαλύβων του element 9) και με βάση το διάγραμμα ροπών καμπυλοτήτων η ροπή αστοχίας της διατομής είναι 205 kNm.





Παρατηρώντας το διάγραμμα ροπών και την παραμορφωμένη κατάσταση του υποστυλώματος τη στιγμή της αστοχίας αντιλαμβανόμαστε πως το υποστύλωμα αποκρίνεται περίπου όπως στην στατική φόρτιση. Βέβαια η παραμόρφωση του φορέα αρχίζει να θυμίζει την ανώτερη ιδιομορφή το οποίο είναι λογικό διότι βρισκόμαστε στο σύνορο μεταξύ  $L_{eff}=2,7m$  και  $L_{eff}<2,7m$ .



$$\max \delta = 0,019m$$

$$\delta y = 0,010m$$

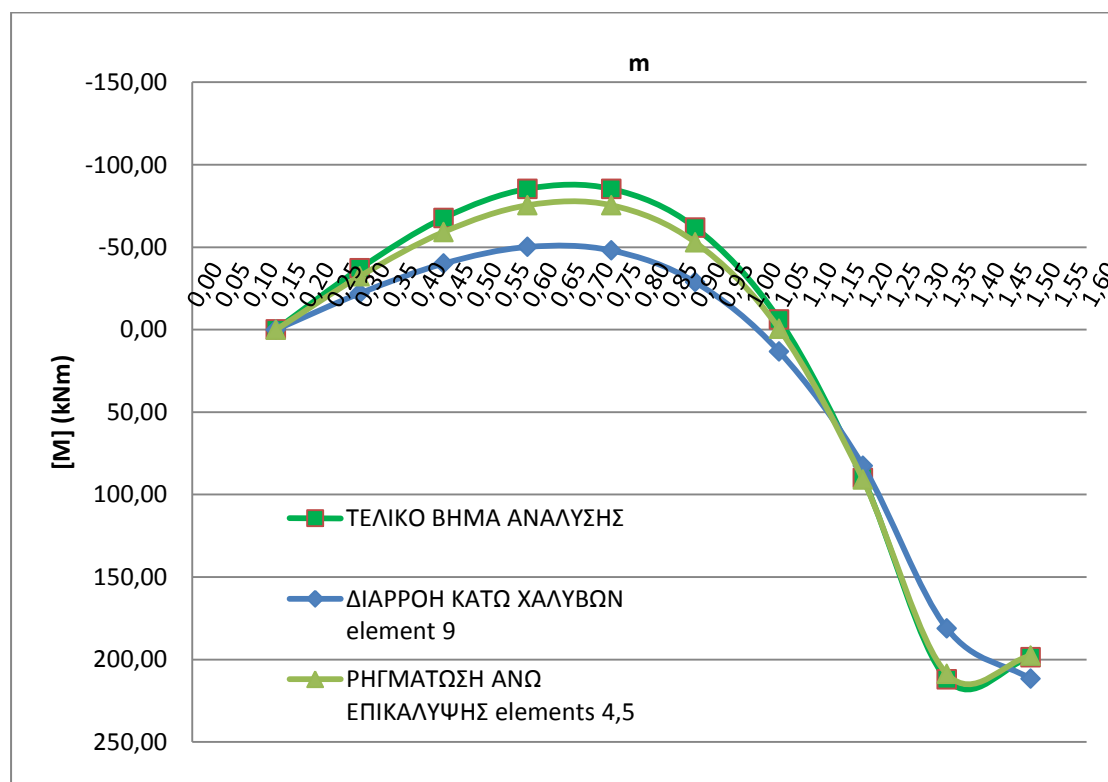
**N=-1000 kN**

**P=1000000 kN/sec**

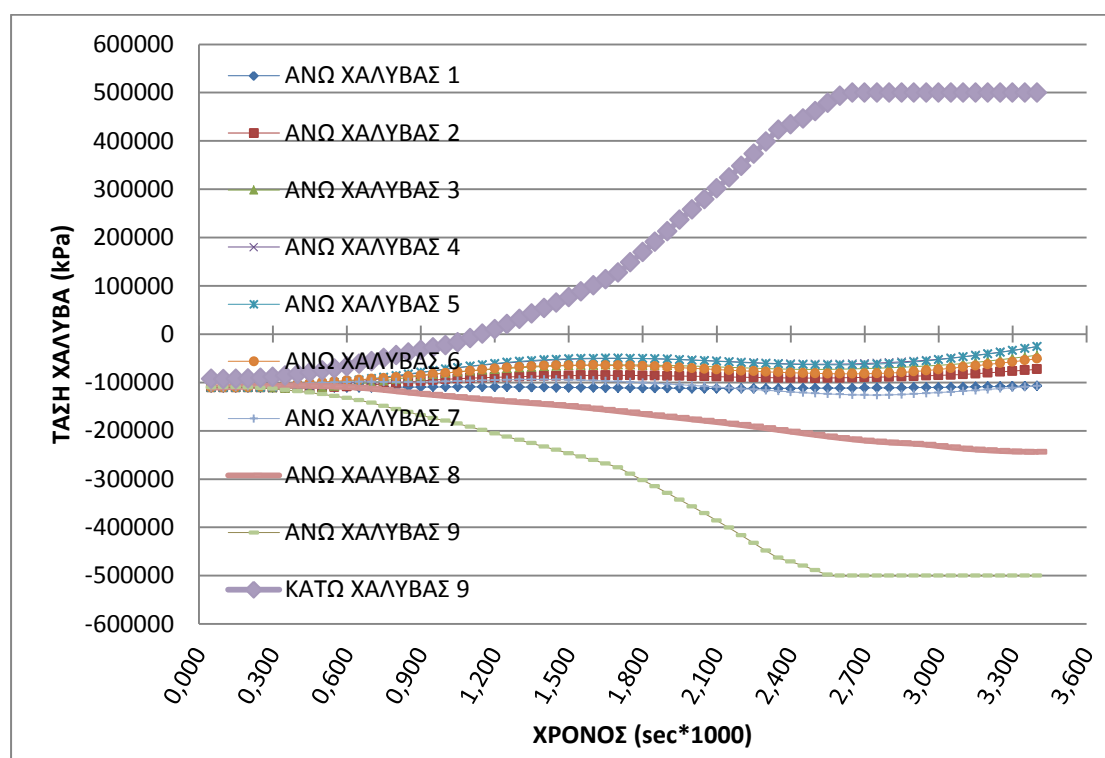
Για αυτή τη φόρτιση η ανάλυση σταματάει ενώ το recorder των τάσεων- παραμορφώσεων δείχνει ότι η επικάλυψη και ο πυρήνας της διατομής έχουν αστοχήσει.

	STRESS	STRAIN
ΑΠΕΡΙΣΦΙΓΚΤΟ ΑΝΩ	-25000,0	-0,0308876
ΑΝΩ ΙΝΑ CORE (CONCRETE)	-21250,0	-0,0241835
ΑΝΩ ΧΑΛΥΒΑΣ	-500000,0	-0,0247835
ΜΕΤΑΞΥ ΜΕΣΑΙΑΣ ΚΑΙ ΑΝΩ ΙΝΑΣ (CORE)	-27914,6	-0,0133463
ΜΕΣΑΙΑ ΙΝΑ ΔΙΑΤΟΜΗΣ (CONCRETE)	0,0	0,0059188
ΜΕΣΑΙΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ	500000,0	0,0053209
ΜΕΤΑΞΥ ΜΕΣΑΙΑΣ ΚΑΙ ΚΑΤΩ ΙΝΑΣ (CORE)	0,0	0,0239750
ΚΑΤΩ ΧΑΛΥΒΑΣ	500000,0	0,0354252
ΑΠΕΡΙΣΦΙΓΚΤΟ ΚΑΤΩ	0,0	0,0415293

Η μέγιστη ροπή που καταγράφεται είναι 209 kNm (209kNm κατά την διαρροή των κάτω χαλύβων του element 9) και με βάση το διάγραμμα ροπών καμπυλοτήτων η ροπή αστοχίας της διατομής είναι 205 kNm.



Για την εύρεση του  $L_{eff}$  κοιτάμε την παραμορφωμένη κατάσταση του υποστυλώματος καθώς επίσης ,το διάγραμμα ροπών του υποστυλώματος και τη χρονοϊστορία των τάσεων των άνω χαλύβων για κάθε element.



Αρχικά παρατηρώντας την χρονοϊστορία των τάσεων των άνω χαλύβων για κάθε element του μοντέλου μας παρατηρούμε πως διαρρέουν μόνο οι άνω και κάτω χάλυβες στο element 9 (ταυτόχρονη διαρροή) .

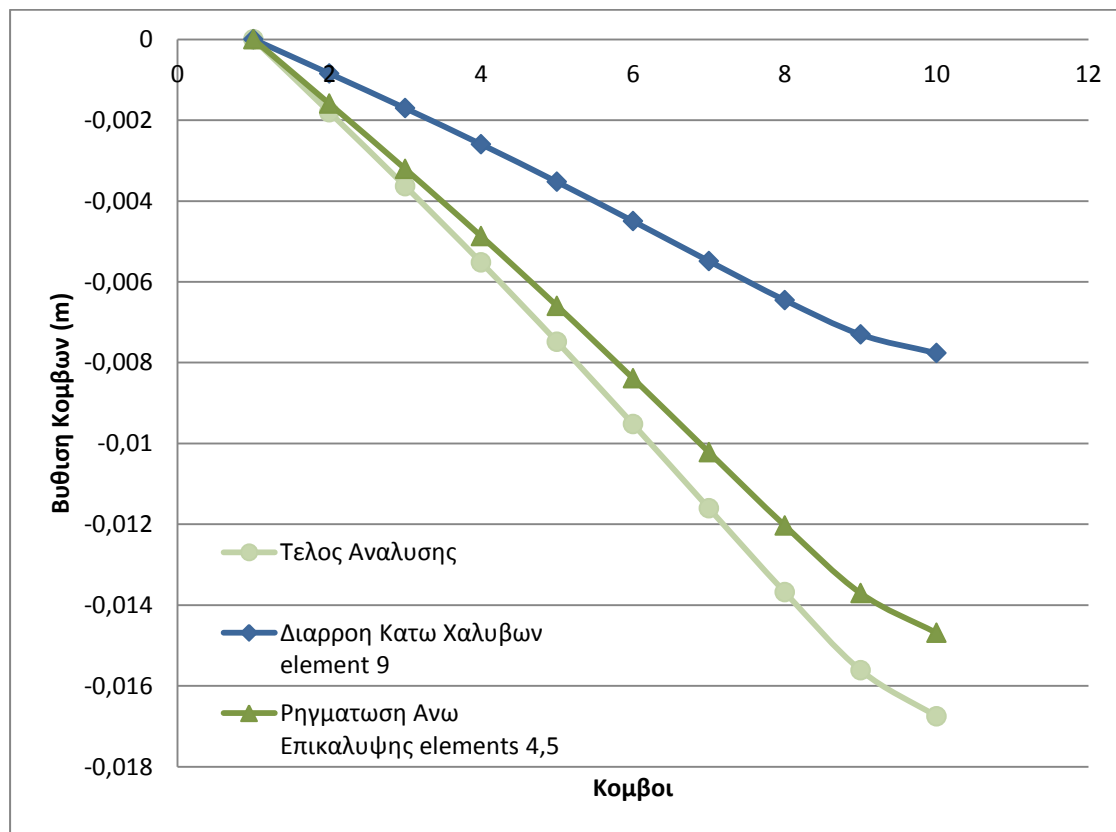
Στη συνέχεια βρίσκουμε το διάγραμμα ροπών του υποστυλώματος για το τελικό βήμα της ανάλυσης .

Από το διάγραμμα αυτό βγάζουμε τα εξής συμπεράσματα :

- 1) Η μέγιστη ροπή είναι τα 209kNm και επιτυγχάνεται με την διαρροή των κάτω χαλύβων του element 9.
- 2) Παρατηρούμε πως έχουμε αντιστροφή των ροπών η οποία δεν δικαιολογείται από την στατική φόρτιση του υποστυλώματος , αλλά συμβαίνει λόγω του δυναμικού φαινομένου της κρούσης και συγκεκριμένα λόγω της δημιουργίας του  $L_{eff}$ .
- 3) Το μήκος του  $L_{eff}$  είναι 0,75m εκατέρωθεν του σημείου επιβολής του κρουστικού φορτίου.
- 4) Παρατηρούμε επίσης πως μετά την διαρροή των κάτω χαλύβων έχουμε εφελκυσμό στην άνω επικάλυψη των elements 4,5 (το σκυρόδεμα ρηγματώνεται) ο οποίος οφείλεται στην αντιστροφή των ροπών στο σημείο εκείνο.

5) Τέλος τα προαναφερθείσα συμπεράσματα ενισχύονται από το διάγραμμα της παραμορφωμένης κατάστασης του υποστυλώματος. Παρατηρώντας το και λαμβάνοντας υπόψιν τα όσα προαναφέραμε, αντιλαμβανόμαστε την εξέλιξη του φαινομένου της δημιουργίας του Leff.

Αρχικά διαρρέουν οι κάτω χάλυβες του element 9 και δημιουργείται πλαστική άρθρωση (time : 0,00265sec), στη συνέχεια ρηγματώνεται η άνω ίνα σκυροδέματος του element 5 (time : 0,0033sec) και τελικά οδηγούμαστε στην αστοχία (time : 0,00345sec).. Η δημιουργία του Leff φαίνεται με την αλλαγή της κλίσης περί τον κόμβο 5.



$$\delta y = -0,008m$$

$$\delta cr = -0,015m$$

$$\max \delta = -0,017$$

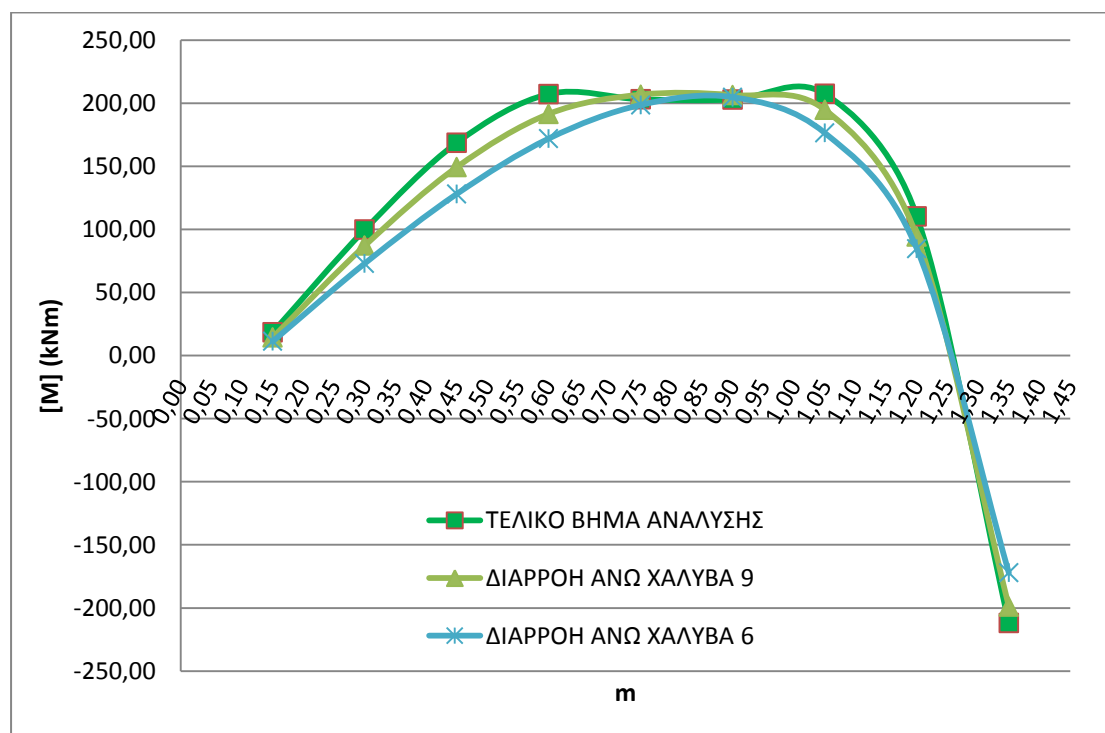
**N=-1000 kN**

**P=2000000 kN/sec**

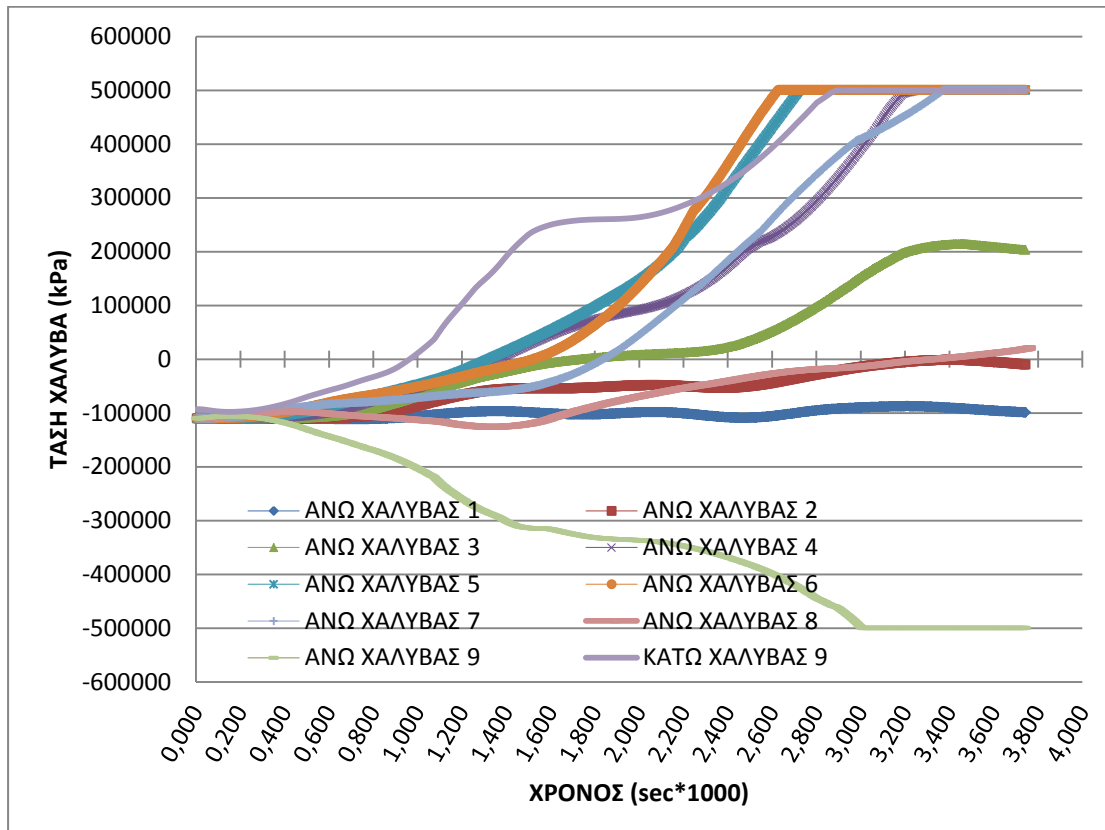
Για αυτή τη φόρτιση η ανάλυση σταματάει ενώ το recorder των τάσεων- παραμορφώσεων δείχνει ότι ενώ η επικάλυψη της διατομής έχει αστοχήσει ο πυρήνας της διατομής δεν έχει αστοχήσει.

	STRESS	STRAIN
ΑΠΕΡΙΣΦΙΓΚΤΟ ΑΝΩ	-25000,0	-0,0205200
ΑΝΩ ΙΝΑ CORE (CONCRETE)	-26345,8	-0,0156931
ΑΝΩ ΧΑΛΥΒΑΣ	-500000,0	-0,0161251
ΜΕΤΑΞΥ ΜΕΣΑΙΑΣ ΚΑΙ ΑΝΩ ΙΝΑΣ (CORE)	-31562,0	-0,0078904
ΜΕΣΑΙΑ ΙΝΑ ΔΙΑΤΟΜΗΣ (CONCRETE)	0,0	0,0059805
ΜΕΣΑΙΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ	500000,0	0,0055500
ΜΕΤΑΞΥ ΜΕΣΑΙΑΣ ΚΑΙ ΚΑΤΩ ΙΝΑΣ (CORE)	0,0	0,0189809
ΚΑΤΩ ΧΑΛΥΒΑΣ	500000,0	0,0272250
ΑΠΕΡΙΣΦΙΓΚΤΟ ΚΑΤΩ	0,0	0,0316200

Η μέγιστη ροπή που καταγράφεται είναι 210 kNm (210kNm κατά την διαρροή των κάτω χαλύβων του element 9) και με βάση το διάγραμμα ροπών καμπυλοτήτων η ροπή αστοχίας της διατομής είναι 205 kNm.



Για την εύρεση του Leff κοιτάμε την παραμορφωμένη κατάσταση καθώς επίσης ,το διάγραμμα ροπών του υποστυλώματος και τη χρονοϊστορία των τάσεων των άνω χαλύβων για κάθε element.



Αρχικά παρατηρώντας την χρονοϊστορία των τάσεων των άνω χαλύβων για κάθε element του μοντέλου μας παρατηρούμε πως πρώτοι διαρρέουν λόγω εφελκυσμού οι άνω χάλυβες στο element 6 και ακολουθούν οι χάλυβες των elements 5,4,7 ενώ οι άνω χάλυβες στο element 9 διαρρέουν εκ των υστέρων λόγω θλίψης και οι κάτω λόγω εφελκυσμού.

Στη συνέχεια βρίσκουμε το διάγραμμα ροπών του υποστυλώματος για τη στιγμή της διαρροής των άνω χαλύβων του element 6, για τη στιγμή της διαρροής των άνω χαλύβων του element 9 και για το τελικό βήμα της ανάλυσης .

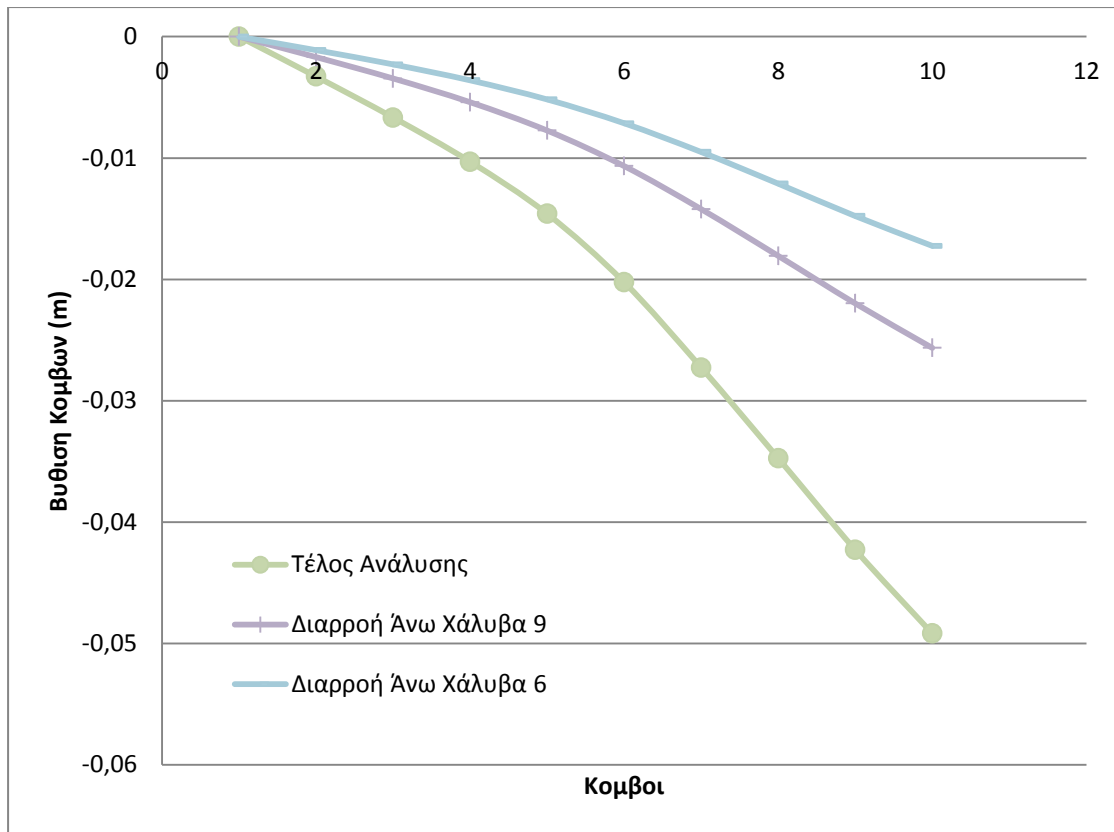
Από το διάγραμμα αυτό βγάζουμε τα εξής συμπεράσματα :

- 1) Η μέγιστη ροπή είναι τα 210 kNm και επιτυγχάνεται με την διαρροή των άνω χαλύβων του element 6.
- 2) Παρατηρούμε πως έχουμε αντιστροφή των ροπών η οποία δεν δικαιολογείται από την στατική φόρτιση του υποστυλώματος , αλλά συμβαίνει λόγω του δυναμικού φαινομένου της κρούσης και συγκεκριμένα λόγω της δημιουργίας του Leff.
- 3) Το μήκος του Leff είναι 0,6m εκατέρωθεν του σημείου επιβολής του κρουστικού φορτίου.
- 4) Παρατηρώντας το διάγραμμα των ροπών παρατηρούμε την ανάπτυξη και εξάπλωση της πλαστικής άρθρωσης στο element 6 , η οποία δημιουργείται τη στιγμή που διαρρέουν οι άνω χάλυβες του element 6 και επεκτείνεται μέχρι το τελικό βήμα της ανάλυσης. Λόγω αυτής της πλαστικής άρθρωσης παρατηρείται στο διάγραμμα το πλατό με την σταθερή ροπή στη θέση 0,9m (θέση κόμβου 6)

Τέλος τα προαναφερθέντα συμπεράσματα ενισχύονται από το διάγραμμα της παραμορφωμένης κατάστασης του υποστυλώματος , παρατηρώντας το και λαμβάνοντας υπόψιν τα όσα προαναφέραμε, αντιλαμβανόμαστε την εξέλιξη του φαινομένου της δημιουργίας του Leff.

Αρχικά διαρρέουν οι άνω χάλυβες στο element 6 και δημιουργείται η πλαστική άρθρωση , στη συνέχεια διαρρέουν οι χάλυβες του element 9 και δημιουργείται πλαστική άρθρωση και τελικά οδηγούμαστε στην αστοχία. Η δημιουργία του Leff φαίνεται με την αλλαγή της κλίσης περί των κόμβο 6 (διάγραμμα της παραμορφωμένης κατάστασης του υποστυλώματος).

Τέλος να σημειωθεί ότι η χρονική περίοδος μεταξύ της δημιουργίας της πλαστικής άρθρωσης στο element 9 μέχρι το τέλος της ανάλυσης είναι 0,000735 sec.



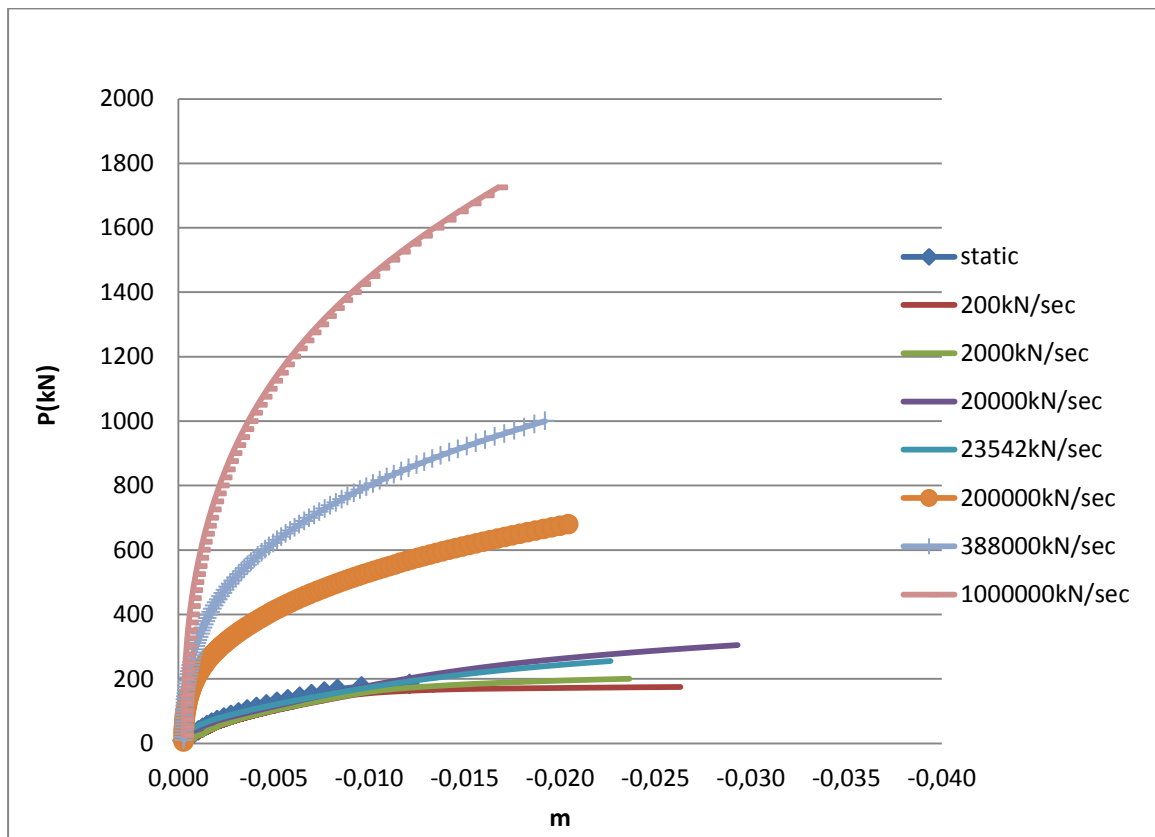
$\max \delta = -0,049\text{m}$

$\delta_{y9} = -0,026\text{m}$

$\delta_{y6} = -0,017\text{m}$

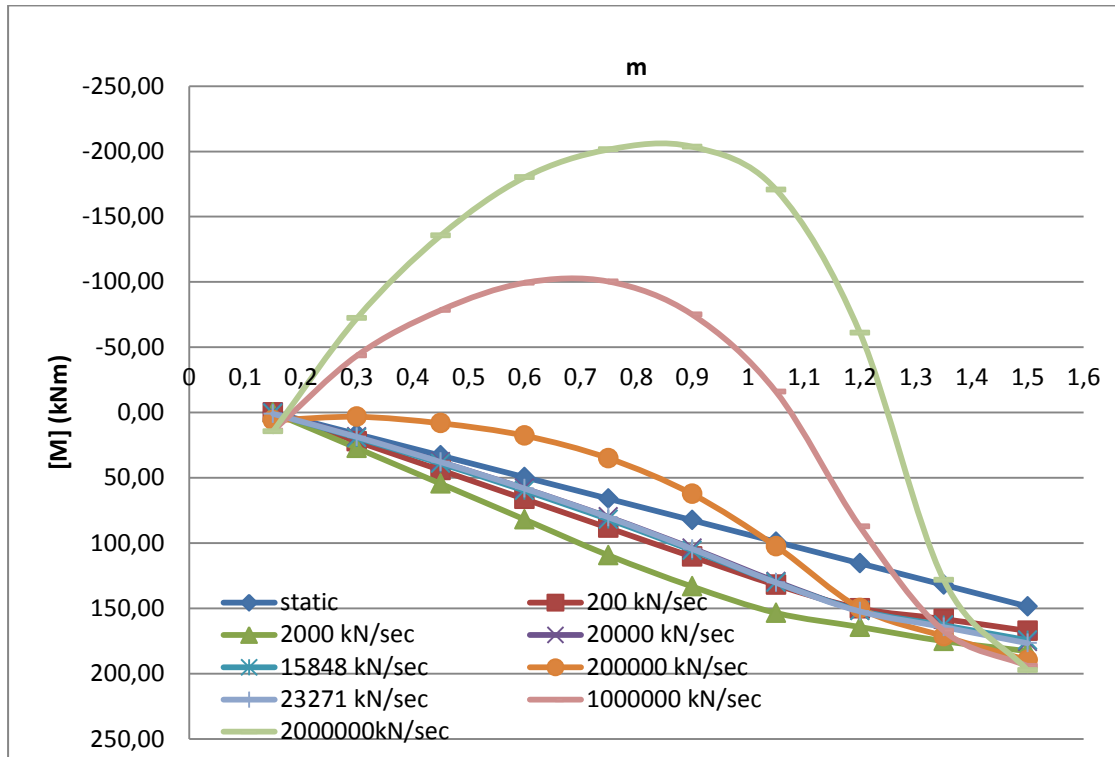


Στο επόμενο σχήμα δείχνουμε την σχέση της εξωτερικής φόρτισης με την κατακόρυφη βύθιση του μεσαίου κόμβου του υποστυλώματος :



Παρατηρούμε ότι για χαμηλούς ρυθμούς φόρτισης το υποστύλωμα αποκρίνεται όπως και στην στατική φόρτιση ενώ όσο ο ρυθμός φόρτισης αυξάνεται το υποστύλωμα αστοχεί για μεγαλύτερες τιμές εξωτερικού φορτίου αλλά για μικρότερες τιμές βύθισης. Δηλαδή η αστοχία γίνεται πιο ψαθυρή.

Στο επόμενο σχήμα παρατηρούμε την σταδιακή δημιουργία του Leff το οποίο το αντιλαμβανόμαστε από την αντιστροφή των ροπών που παρατηρούμε .



## Συμπεράσματα

- Για μικρές τιμές του ρυθμού φόρτισης τα εξεταζόμενα υποστυλώματα συμπεριφέρονται όπως στην περίπτωση της στατικής φόρτισης
- Καθώς αυξάνει ο ρυθμός φόρτισης αυξάνεται η φέρουσα ικανότητα, μειώνεται η κατακόρυφη παραμόρφωση αστοχίας (λιγότερο πλάστιμη συμπεριφορά) και μειώνεται το ενεργό μήκος της δοκού  $L_{eff}$
- Το λογισμικό πεπερασμένων στοιχείων Opensees βρίσκει το ίδιο μήκος  $L_{eff}$  με την θεωρητική διερεύνηση του υποστυλώματος για όλους τους ρυθμούς φόρτισης εκτός από τους ρυθμούς 200000kN/sec και 1000000kN/sec για αξονικό φορτίο ίσο με μηδέν

		Leff (m)	
		Θεωρητική Επίλυση	OPENSEES
N=0 kN	200000 (kN/sec)	0,92	-
	1000000 (kN/sec)	0,41	1,68
N=-500 kN	1000000 (kN/sec)	1,33	1,5
N=-1000 kN	1000000 (kN/sec)	1,68	1,5
	2000000 (kN/sec)	1,19	1,2

- Γνωρίζοντας ότι έχουμε μια αρκετά πλάσιμη επικάλυψη το Opensees δείνει τιμές αντοχών μεγαλύτερες από την θεωρητική τιμή. Επομένως για τον λόγο αυτό δεν παρουσιάζονται πίνακες σύγκρισης των τιμών αντοχών της θεωρητικής επίλυσης με αυτές του Opensees αλλά μόνο διαγράμματα τα οποία δείχνουν τη σχέση της αντοχής του υποστυλώματος με την κατακόρυφη βύθιση του μεσαίου κόμβου.
- Με την αύξηση της αξονικής δύναμης παρατηρείται και αύξηση του Leff για ίδιους ρυθμούς φόρτισης.
- Με την αύξηση της αξονικής δύναμης παρατηρείται αύξηση του Pop2 ρυθμού. Αυτό είναι λογικό διότι λόγω της θλίψης χρειάζεται μεγαλύτερος ρυθμός για να εμφανιστούν εφελκυστικές τάσεις (με την αντιστροφή των ροπών) στην εφελκυσόμενη ίνα της διατομής, στο element από το οποίο αρχίζει να μετράει το Leff. Επίσης το Pop2 εξαρτάται από τον συντελεστή  $\alpha$  ο οποίος αυξάνει με την αύξηση της αξονικής αφού αυξάνει η ροπή για την οποία ρηγματώνεται η διατομή.

## Βιβλιογραφία

- Opensees Manual
- M.D. Kotsovos & M.N. Pavlovic “Structural Concrete : Finite Element Analysis for limit state design” , 1995
- D.M. Cotsovos, N.D, Stathopoulos & C.A. Zeris “ Behaviour of RC Beams Subjected to High Rates of Concentrated Loading” Structural Journal, ASCE, Δεκ. 2008
- Μ.Δ. Κωτσοβός «ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ : Εισαγωγή στο σχεδιασμό με βάση το θεωρητικό υπόβαθρο των κανονισμών» Αθήνα 2004
- Θ.Π.Τάσιος, Π.Ι.Γιαννόπουλος,Κ.Γ.Τρέζος& &Σ.Γ.Τσουκαντάς «ΩΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ : ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟΝ ΝΕΟ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ» Αθήνα 1998
- Ι.Θ.Κατσικαδέλης «Δυναμική των Κατασκευών» Αθήνα 2007 (ΤΟΜΟΣ 1)
- Ι.Θ.Κατσικαδέλης «Δυναμική των Κατασκευών» Αθήνα 2007 (ΤΟΜΟΣ 2)
- Ε.Βιντζηλαίου,Χ.Ζέρης,Μ.Μωρέττη «ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ για το μάθημα ΕΙΔΙΚΑ ΚΕΦΑΛΑΙΑ ΩΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ»

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

PROGRAM Mu  
DIMENSION X(200)  
DIMENSION ES2(200)  
DIMENSION RNTOTAL(200)  
DIMENSION RMTOTAL(200)  
DIMENSION RKABIL(200)  
DIMENSION F(200)  
DIMENSION ES(200)  
DIMENSION RM(200)  
DIMENSION STRAINC(200)  
DIMENSION STRESSCC(200)  
DIMENSION AREA(200)  
DIMENSION R(200)  
DIMENSION T(200)  
DIMENSION AREATRIANG(200)  
DIMENSION AREAREC(200)

! DEDOMENA

AS=7.634                      ! EMBADO AKRAIAS STATHMIS  
OPLISMOU (cm2)

ASMIDDLE=5.089              ! EMBADO MESAIAS STATHMIS  
OPLISMOU (cm2)

DD=0.018                    ! DIAMETROS SIDERON (m)

K=3                            ! ARITHMOS STATHMEON OPLISMON

h=0.35                        ! IPSOS DIATOMIS (m)

d=0.302                      ! STATIKO IPSOS DIATOMIS (m)

b=0.35                        ! PLATOS DIATOMIS (m)

c=0.03                        ! EPIKALIPSI DIATOMIS (m)

FY=500.0                     ! TASI DIAROIS XALYBA (MPa)

```

E=200000.0          ! METRO ELASTIKOTITAS XALYBA
(MPa)

FCC=34317.0        ! MAX TASI PERISFIGMENOY
SKYRODEMATOS

ECC=-0.003769      ! PARAMORFOSI SKYRODEMATOS POU
ANTISTIXEI STIN FCC (arnitiki timi)

ECCMAX=-0.023316   ! PARAMORFOSI SKYRODEMATOS POU
ANTISTIXEI STO 0,85 TIS FCMAX (arnitiki timi)

FCUN=25000         ! MAX TASI APERISFIKTOU
SKYRODEMATOS

ECUN=-0.002        ! PARAMORFOSI SKYRODEMATOS POU
ANTISTIXEI STIN FCUN (arnitiki timi)

ECUNMAX=-0.0035    ! MAX PARAMORFOSI APESFIKTOU
SKYRODEMATOS (arnitiki timi)

ECU1=-0.0033       ! PARAMORFOSI AKRAIAS THLIVOMENIS
INAS SKIRODEMATOS (arnitiki timi)

!TELOS DEDOMENON

FIBERS=50.0

DY=(d-c-(DD/2.0))/(FLOAT(K)-1.0)

X70=ABS(ECU1)*d/(0.07+ABS(ECU1)) ! TO X GIA PARAMORFOSI
SKIRODEMATOS ECU1 KAI XALIVA 0,07

EC2MAX=ABS(ECU1)*(h-X70)/X70    ! PARAMORFOSI
EFELKIOMENIS INAS SKIRODEMATOS

STEP=ABS(EC2MAX)/100.0

L=1

OPEN(unit=9,file="Mu.txt")

WRITE(9,10)"L","ECU1","ES2","X","NTOTAL","MTOTAL","KABILOTIT
A"

```



```

10  FORMAT(2x,a,4x,a,6x,a,6x,a,11x,a,10x,a,8x,a)

! EURESI Simio gia MU=0.0 THLIPSI
! OLES OI DINAMEIS THETIKES
! OI PARAMORFOSEIS ME TO PROSIMO TOUS
YIELD=ECCMAX
ES(1)=YIELD
      F(1)=AS*E*ABS(ES(1))/10.0 ! DINAMI PLEON THLIVOMENOU
XALIVA
      ES(K)=YIELD  ! PARAMORFOSI PLEON EFELKIOMENOU XALIVA
      F(K)=AS*E*ABS(ES(K))/10.0 ! DINAMI PLEON EFELKYOMENOU
XALIVA

! EURESI PARAMORFOSEON ENDIAMESON XALIVON
IMAX=K-2
DO I=1,IMAX
      ES(1+I)=YIELD
! EURESI DINAMEON ENDIAMESON XALIVON

      F(1+I)=ASMIDDLE*E*ABS(ES(1+I))/10.0
END DO
! EURESI ROPON ENDIAMESON XALIVON
DO I=1,K
      RM(I)=ABS(F(I))*(FLOAT(K)-2.0*FLOAT(I)+1.0)*DY/2.0
END DO
! PROSTHESI DINAMEON
SUMMS=0.0
SUMFS=0.0

```

```

DO I=1,K
  IF (ES(I).LE.0.0) THEN
    IF ((c+(DD/2.0)+DY*(FLOAT(I)-1.0)).LE.(h/2.0)) THEN
      RM(I)=ABS(RM(I))
    ELSE
      RM(I)=-ABS(RM(I))
    END IF
  ELSE
    IF ((c+(DD/2.0)+DY*(FLOAT(I)-1.0)).LE.(h/2.0)) THEN
      RM(I)=-ABS(RM(I))
    ELSE
      RM(I)=ABS(RM(I))
    END IF
  END IF
  SUMMS=SUMMS+RM(I)
  IF (ES(I).LE.0.0) THEN
    F(I)=-ABS(F(I))
  ELSE
    F(I)=ABS(F(I))
  END IF
  SUMFS=SUMFS+F(I)
END DO
SUMFS=SUMFS+(b-2*c)*(h-2*c)*FCC*0.85
FAKE=0.0
WRITE(9,40)FAKE,FAKE,FAKE,FAKE,SUMFS,SUMMS,FAKE
40
FORMAT(1X,F2.0,3X,F9.5,3X,F6.3,3X,F6.3,3X,F12.2,3X,F12.2,3X,F12
.2)

```

```

DO EC2=0.0,EC2MAX,STEP

X(L)=ABS(ECU1)*h/(ABS(EC2)+ABS(ECU1))
EC1=(X(L)-C)*ECU1/X(L)
ES2(L)=ABS(ECU1)*(d-X(L))/X(L)
! EURESI DINAMEON KAI ROPON TON OPLISMON
! EURESI DINAMEON KAI ROPON TON OPLISMON
! OLES OI DINAMEIS THETIKES
! OI PARAMORFOSEIS ME TO PROSIMO TOUS
YIELD=FY/E
ES(1)=(X(L)-c-(DD/2.0))*ECU1/X(L)
IF (ABS(ES(1)).LT.YIELD) THEN
    F(1)=AS*E*ABS(ES(1))/10.0
ELSE
    F(1)=AS*FY/10.0 ! DINAMI PLEON THLIVOMENOU XALIVA
END IF
ES(K)=ES2(L) ! PARAMORFOSI PLEON EFELKIOMENOU XALIVA
IF (ABS(ES(K)).LT.YIELD) THEN
    F(K)=AS*E*ABS(ES(K))/10.0 ! DINAMI PLEON THLIVOMENOU
XALIVA
ELSE
    F(K)=AS*FY/10.0 ! DINAMI PLEON THLIVOMENOU XALIVA
END IF
! EURESI PARAMORFOSEON ENDIAMESON XALIVON
IMAX=K-2

```

```

DO I=1,IMAX
    ES(1+I)=(X(L)-(I*DY)-(c+DD/2.0))*ECU1/X(L)
! EURESI DINAMEON ENDIAMESON XALIVON
    IF (ABS(ES(1+I)).LT.YIELD) THEN
        F(1+I)=ASMIDDLE*E*ABS(ES(1+I))/10.0
    ELSE
        F(1+I)=ASMIDDLE*FY/10.0
    END IF
END DO
! EURESI ROPON ENDIAMESON XALIVON
DO I=1,K
    RM(I)=ABS(F(I)*(FLOAT(K)-2.0*FLOAT(I)+1.0)*DY/2.0)
END DO
! PROSTHESI ROPON (THETIKI I ANTIOROLOGIAKI FOR A)
! PROSTHESI DINAMEON
SUMMS=0.0
SUMFS=0.0
DO I=1,K
    IF (ES(I).LE.0.0) THEN
        IF ((c+(DD/2.0)+DY*(FLOAT(I)-1.0)).LE.(h/2.0)) THEN
            RM(I)=ABS(RM(I))
        ELSE
            RM(I)=-ABS(RM(I))
        END IF
    ELSE
        IF ((c+(DD/2.0)+DY*(FLOAT(I)-1.0)).LE.(h/2.0)) THEN
            RM(I)=-ABS(RM(I))

```

```

ELSE
    RM(I)=ABS(RM(I))
        END IF
END IF
SUMMS=SUMMS+RM(I)
IF (ES(I).LE.0.0) THEN
    F(I)=-ABS(F(I))
ELSE
    F(I)=ABS(F(I))
END IF
SUMFS=SUMFS+F(I)
END DO
! EURESI DINAMEON KAI ROPON GIA TO SKIRODEMA
! 1 PERIPTOSI
IF (X(L).LE.c) THEN
!
    IF (ABS(ECU1).LT.ABS(ECUN)) THEN
        A=1.0/12.0*(ABS(ECU1))*1000.0*(6.0-(ABS(ECU1)*1000.0))
        Z=(8.0-(ABS(ECU1)*1000.0))/(4.0*(6.0-(ABS(ECU1)*1000.0)))
        FCUN1=-(A*FCUN*b*X(L))
        RMCUN1=-(FCUN1*(0.5*h-Z*X(L)))
        FCUNCONFINED=FCUN1
        RMCUNCONFINED=RMCUN1
        FCCONFINED=0.0
        RMCCONFINED=0.0
    END IF
!

```

```

IF (ABS(ECU1).GE.ABS(ECUN)) THEN
    A=(3.0*ABS(ECU1)*1000.0-2.0)/(3.0*ABS(ECU1)*1000.0)
    PARANOMZ=2.0*ABS(ECU1)*1000.0*(3.0*ABS(ECU1)*1000.0-
2.0)
    Z=(ABS(ECU1)*1000.0*((3.0*ABS(ECU1)*1000.0)-
4.0)+2.0)/PARANOMZ
    FCUN1=- (A*FCUN*b*X(L))
    RMCUN1=- (FCUN1*(0.5*h-Z*X(L)))
    FCUNCONFINED=FCUN1
    RMCUNCONFINED=RMCUN1
    FCCONFINED=0.0
    RMCCONFINED=0.0
END IF
IF (ABS(ECU1).GT.ABS(ECUNMAX)) THEN
    YUN=ABS(ECUNMAX)*X(L)/ABS(ECU1)
    A=(3.0*ABS(ECUNMAX)*1000.0-
2.0)/(3.0*ABS(ECUNMAX)*1000.0)
    PARAZ=2.0*ABS(ECUNMAX)*1000.0*(3.0*ABS(ECUNMAX)*1000.0-2.0)
    Z=(ABS(ECUNMAX)*1000.0*((3.0*ABS(ECUNMAX)*1000.0)-
4.0)+2.0)/PARAZ
    FCUN1=- (A*FCUN*b*YUN)
    RMCUN1=- (FCUN1*(0.5*h-(X(L)-YUN+Z*YUN)))
    FCUNCONFINED=FCUN1
    RMCUNCONFINED=RMCUN1
    FCCONFINED=0.0
    RMCCONFINED=0.0
END IF
END IF

```

!2 PERIPTOSI

IF((X(L).GT.C).AND.(X(L).LE.(h-C))) THEN

IF (ABS(ECU1).LT.ABS(ECUN)) THEN

A=1.0/12.0\*(ABS(ECU1))\*1000.0\*(6.0-(ABS(ECU1)\*1000.0))

Z=(8.0-(ABS(ECU1)\*1000.0))/(4.0\*(6.0-(ABS(ECU1)\*1000.0)))

FCUN1=-(A\*FCUN\*b\*X(L))

RMCUN1=-(FCUN1\*(0.5\*h-Z\*X(L)))

AUN2=1.0/12.0\*(ABS(EC1))\*1000.0\*(6.0-(ABS(EC1)\*1000.0))

ZUN2=(8.0-(ABS(EC1)\*1000.0))/(4.0\*(6.0-(ABS(EC1)\*1000.0)))

FCUN2=-(AUN2\*FCUN\*(b-2\*C)\*(X(L)-C))

RMCUN2=-(FCUN2\*(0.5\*h-Z\*(X(L)-C)-C))

FCUNCONFINED=FCUN1-FCUN2

RMCUNCONFINED=RMCUN1-RMCUN2

Y=X(L)-c

Y1=Y/FIBERS

AREATOTAL=0.0

G=0.0

M=1.0

IFIBERS=FIBERS-1.0

DO I=0,IFIBERS

CA=-(FCC/(ECC\*ECC))

CW=2.0\*FCC/ABS(ECC)

STRAIN(I)=ABS(EC1)\*(Y-FLOAT(I)\*Y1)/Y

STRESSCC(I)=CA\*STRAIN(I)\*STRAIN(I)+CW\*ABS(STRAIN(I))

STRAIN(M)=ABS(EC1)\*(Y-FLOAT(M)\*Y1)/Y

STRESSCC(M)=CA\*STRAIN(M)\*STRAIN(M)+CW\*ABS(STRAIN(M))

```

AREA(M)=(STRESSCC(I)+STRESSCC(M))/2.0*Y1
AREATOTAL=AREATOTAL+AREA(M)
R(M)=(2.0*FLOAT(M)-1.0)*Y1/2.0
T(M)=FLOAT(I)*Y1+1.0/3.0*Y1
AREATRIANG(M)=(STRESSCC(I)-STRESSCC(M))*Y1/2.0
AREAREC(M)=STRESSCC(M)*Y1
G=G+(R(M)*AREAREC(M)+T(M)*AREATRIANG(M))
M=M+1
END DO

G=G/AREATOTAL
FCCONFINED=- (AREATOTAL*(b-2.0*c))
RMCCONFINED=- (FCCONFINED*(0.5*h-c-G))
END IF

IF
((ABS(ECU1).GE.ABS(ECUN)).AND.(ABS(ECU1).LE.ABS(ECUNMAX)))
THEN

A=(3.0*ABS(ECU1)*1000.0-2.0)/(3.0*ABS(ECU1)*1000.0)
PARAMOMZ=2.0*ABS(ECU1)*1000.0*(3.0*ABS(ECU1)*1000.0-
2.0)
Z=(ABS(ECU1)*1000.0*((3.0*ABS(ECU1)*1000.0)-
4.0)+2.0)/PARAMOMZ
FCUN1=- (A*FCUN*b*X(L))
RMCUN1=- (FCUN1*(0.5*h-Z*X(L)))
IF (ABS(EC1).LE.ABS(ECUN)) THEN
AUN2=1.0/12.0*(ABS(EC1))*1000.0*(6.0-(ABS(EC1)*1000.0))
ZUN2=(8.0-(ABS(EC1)*1000.0))/(4.0*(6.0-(ABS(EC1)*1000.0)))
ELSE
AUN2=(3.0*ABS(EC1)*1000.0-2.0)/(3.0*ABS(EC1)*1000.0)

```



2.0) PARAZUN2=2.0\*ABS(EC1)\*1000.0\*(3.0\*ABS(EC1)\*1000.0-

ZUN2=(ABS(EC1)\*1000.0\*((3.0\*ABS(EC1)\*1000.0)-  
4.0)+2.0)/PARAZUN2

END IF

FCUN2=- (AUN2\*FCUN\*(b-2\*C)\*(X(L)-C))

RMCUN2=- (FCUN2\*(0.5\*h-ZUN2\*(X(L)-C)-C))

FCUNCONFINED=FCUN1-FCUN2

RMCUNCONFINED=RMCUN1-RMCUN2

Y=X(L)-c

Y1=Y/FIBERS

AREATOTAL=0.0

G=0.0

M=1.0

IFIBERS=FIBERS-1.0

DO I=0,IFIBERS

CA=- (FCC/(ECC\*ECC))

CW=2.0\*FCC/ABS(ECC)

STRAIN(I)=ABS(EC1)\*(Y-FLOAT(I)\*Y1)/Y

STRESSCC(I)=CA\*STRAIN(I)\*STRAIN(I)+CW\*ABS(STRAIN(I))

STRAIN(M)=ABS(EC1)\*(Y-FLOAT(M)\*Y1)/Y

STRESSCC(M)=CA\*STRAIN(M)\*STRAIN(M)+CW\*ABS(STRAIN(M))

AREA(M)=(STRESSCC(I)+STRESSCC(M))/2.0\*Y1

AREATOTAL=AREATOTAL+AREA(M)

R(M)=(2.0\*FLOAT(M)-1.0)\*Y1/2.0

T(M)=FLOAT(I)\*Y1+1.0/3.0\*Y1

```

AREATRIANG(M)=(STRESSCC(I)-STRESSCC(M))*Y1/2.0
AREAREC(M)=STRESSCC(M)*Y1
G=G+(R(M)*AREAREC(M)+T(M)*AREATRIANG(M))
M=M+1
END DO

G=G/AREATOTAL
FCCONFINED=-((AREATOTAL*(b-2.0*c))
RMCCONFINED=-((FCCONFINED*(0.5*h-c-G))

END IF

IF (ABS(ECU1).GT.ABS(ECUNMAX)) THEN
YUN=ABS(ECUNMAX)*X(L)/ABS(ECU1)
IF ((X(L)-YUN).LT.c) THEN
A=(3.0*ABS(ECUNMAX)*1000.0-
2.0)/(3.0*ABS(ECUNMAX)*1000.0)

PARAZ=2.0*ABS(ECUNMAX)*1000.0*(3.0*ABS(ECUNMAX)*1000.0-2.0)
Z=(ABS(ECUNMAX)*1000.0*((3.0*ABS(ECUNMAX)*1000.0)-
4.0)+2.0)/PARAZ
FCUN1=-((A*FCUN*b*YUN)
RMCUN1=-((FCUN1*(0.5*h-(X(L)-YUN+Z*YUN)))

IF (ABS(EC1).LE.ABS(ECUN)) THEN
AUN2=1.0/12.0*(ABS(EC1))*1000.0*(6.0-
(ABS(EC1)*1000.0))
ZUN2=(8.0-(ABS(EC1)*1000.0))/(4.0*(6.0-
(ABS(EC1)*1000.0)))
ELSE
AUN2=(3.0*ABS(EC1)*1000.0-2.0)/(3.0*ABS(EC1)*1000.0)
PARAZUN2=2.0*ABS(EC1)*1000.0*(3.0*ABS(EC1)*1000.0-
2.0)

```

```

        ZUN2=(ABS(EC1)*1000.0*((3.0*ABS(EC1)*1000.0)-
4.0)+2.0)/PARAZUN2

        END IF

        FCUN2=- (AUN2*FCUN*(b-2*C)*(X(L)-C))

        RMCUN2=- (FCUN2*(0.5*h-ZUN2*(X(L)-C)-C))

        FCUNCONFINED=FCUN1-FCUN2

        RMCUNCONFINED=RMCUN1-RMCUN2

    ELSE

        A=(3.0*ABS(ECUNMAX)*1000.0-
2.0)/(3.0*ABS(ECUNMAX)*1000.0)

        PARAZ=2.0*ABS(ECUNMAX)*1000.0*(3.0*ABS(ECUNMAX)*1000.0-2.0)

        Z=(ABS(ECUNMAX)*1000.0*((3.0*ABS(ECUNMAX)*1000.0)-
4.0)+2.0)/PARAZ

        FCUN1=- (A*FCUN*b*YUN)

        RMCUN1=- (FCUN1*(0.5*h-(X(L)-YUN+Z*YUN)))

        AUN2=(3.0*ABS(ECUNMAX)*1000.0-
2.0)/(3.0*ABS(ECUNMAX)*1000.0)

        PARANOMZUN2=2.0*ABS(ECUNMAX)*1000.0*(3.0*ABS(ECUNMAX)*1000.
0-2.0)

        ZUN2=(ABS(ECUNMAX)*1000.0*((3.0*ABS(ECUNMAX)*1000.0)-
4.0)+2.0)/PARANOMZUN2

        FCUN2=- (AUN2*FCUN*(b-2*C)*YUN)

        RMCUN2=- (FCUN2*(0.5*h-(X(L)-YUN+ZUN2*YUN)))

        FCUNCONFINED=FCUN1-FCUN2

        RMCUNCONFINED=RMCUN1-RMCUN2

    END IF

    !DINAMI , ROPI gia CONFINED

```

```

IF ((ABS(EC1)).LE.(ABS(ECC))) THEN
  Y=X(L)-c
  Y1=Y/FIBERS
  AREATOTAL=0.0
  G=0.0
  M=1.0
  IFIBERS=FIBERS-1.0
  DO I=0,IFIBERS
    CA=-(FCC/(ECC*ECC))
    CW=2.0*FCC/ABS(ECC)
    STRAINC(I)=ABS(EC1)*(Y-FLOAT(I)*Y1)/Y

STRESSCC(I)=CA*STRAINC(I)*STRAINC(I)+CW*ABS(STRAINC(I))
    STRAINC(M)=ABS(EC1)*(Y-FLOAT(M)*Y1)/Y

STRESSCC(M)=CA*STRAINC(M)*STRAINC(M)+CW*ABS(STRAINC(M))
    AREA(M)=(STRESSCC(I)+STRESSCC(M))/2.0*Y1
    AREATOTAL=AREATOTAL+AREA(M)
    R(M)=(2.0*FLOAT(M)-1.0)*Y1/2.0
    T(M)=FLOAT(I)*Y1+1.0/3.0*Y1
    AREATRIANG(M)=(STRESSCC(I)-STRESSCC(M))*Y1/2.0
    AREAREC(M)=STRESSCC(M)*Y1
    G=G+(R(M)*AREAREC(M)+T(M)*AREATRIANG(M))
    M=M+1
  END DO

  G=G/AREATOTAL
  FCCONFINED=-(AREATOTAL*(b-2.0*c))
  RMCCONFINED=-(FCCONFINED*(0.5*h-c-G))

```

```

END IF
IF (ABS(EC1).GT.ABS(ECC)) THEN
  Y=ABS(ECC)*X(L)/ABS(ECU1)
  Y1=Y/FIBERS
  AREATOTAL=0.0
  G=0.0
  M=1.0
  IFIBERS=FIBERS-1.0
  DO I=0,IFIBERS
    CA=-(FCC/(ECC*ECC))
    CW=2.0*FCC/ABS(ECC)
    STRAINC(I)=ABS(ECC)*(Y-FLOAT(I)*Y1)/Y

STRESSCC(I)=CA*STRAINC(I)*STRAINC(I)+CW*ABS(STRAINC(I))
    STRAINC(M)=ABS(ECC)*(Y-FLOAT(M)*Y1)/Y

STRESSCC(M)=CA*STRAINC(M)*STRAINC(M)+CW*ABS(STRAINC(M))
    AREA(M)=(STRESSCC(I)+STRESSCC(M))/2.0*Y1
    AREATOTAL=AREATOTAL+AREA(M)
    R(M)=(2.0*FLOAT(M)-1.0)*Y1/2.0
    T(M)=FLOAT(I)*Y1+1.0/3.0*Y1
    AREATRIANG(M)=(STRESSCC(I)-STRESSCC(M))*Y1/2.0
    AREAREC(M)=STRESSCC(M)*Y1
    G=G+(R(M)*AREAREC(M)+T(M)*AREATRIANG(M))
    M=M+1
  END DO
  G=G/AREATOTAL

```

! FC1 : DINAMI PERISFIGMENOU SKIRODEMATOS POU  
ANTISTIXI STO PARAVOLIKO MEROS

! TOU NOMOU TASEON-PARAMORFOSEON

$$FC1=-(AREATOTAL*(b-2.0*c))$$

$$W=0.15*FCC/(ABS(ECC)-ABS(ECCMAX))$$

$$BB=FCC-(0.15*FCC*ABS(ECC)/(ABS(ECC)-ABS(ECCMAX)))$$

! FC2 : DINAMI SKIRODEMATOS POU ANTISTIXI STO  
TRIGONIKO MEROS

! TOU NOMOU TASEON-PARAMORFOSEON

$$STRESSEC1=W*ABS(EC1)+BB$$

$$FC2=-(ABS(FCC)-ABS(STRESSEC1))*(X(L)-Y-C)/2.0*(b-2*c)$$

! MOXLOVRAXIONAS Q2 TIS DINAMIS FC2 (METRAI APO  
TIN ARXI TOU TRIGONOU)

! TON TASEON APO TIN PLEURA POU TELIONI I  
THLIVOMENI ZONI

$$Q2=(1.0/3.0)*(X(L)-Y-C)$$

! FC3 : DINAMI SKIRODEMATOS POU ANTISTIXI STO  
PARALLILOGRAMMO MEROS

! TOU NOMOU TASEON-PARAMORFOSEON

$$FC3=-(ABS(STRESSEC1)*(X(L)-Y-C))*(b-2*c)$$

! MOXLOVRAXIONAS Q3 TIS DINAMIS FC3 (MTRAI APO TIN  
ARXI TOU PARAL/MOU)

! TON TASEON APO TIN PLEURA POU TELIONI I  
THLIVOMENI ZONI

$$Q3=(X(L)-Y-C)/2.0$$

!

$$FCCONFINED=FC1+FC2+FC3$$

!

! EURESI ROPON SKIRODEMATOS

```

!
RMC1=-((FC1*(0.5*h-(X(L)-Y+G)))
RMC2=ABS(FC2)*((h/2.0)-(X(L)-Y-Q2))
RMC3=ABS(FC3)*((h/2.0)-(X(L)-Y-Q3))
!
RMCCONFINED=RMC1+RMC2+RMC3
END IF
END IF
END IF
!3 PERIPTOSI
IF (X(L).GT.(h-C)) THEN
IF (ABS(ECU1).LT.ABS(ECUN)) THEN
A=1.0/12.0*(ABS(ECU1))*1000.0*(6.0-(ABS(ECU1)*1000.0))
Z=(8.0-(ABS(ECU1)*1000.0))/(4.0*(6.0-(ABS(ECU1)*1000.0)))
FCUN1=-(A*FCUN*b*X(L))
RMCUN1=-((FCUN1*(0.5*h-Z*X(L)))
AUN2=1.0/12.0*(ABS(EC1))*1000.0*(6.0-(ABS(EC1)*1000.0))
ZUN2=(8.0-(ABS(EC1)*1000.0))/(4.0*(6.0-(ABS(EC1)*1000.0)))
FCUN2=-((AUN2*FCUN*(b-2*C))*(X(L)-C))
RMCUN2=-((FCUN2*(0.5*h-(ZUN2*(X(L)-C)+C)))
YUN2=X(L)-(h-C)
ECU2=ABS(ECU1)*YUN2/X(L)
AUN3=1.0/12.0*(ABS(ECU2))*1000.0*(6.0-(ABS(ECU2)*1000.0))
ZUN3=(8.0-(ABS(ECU2)*1000.0))/(4.0*(6.0-
(ABS(ECU2)*1000.0)))
FCUN3=-((AUN3*FCUN*(b-2*C))*YUN2)
RMCUN3=-((FCUN3*(0.5*h-(h-C+ZUN3*YUN2)))

```

```

FCUNCONFINED=FCUN1-FCUN2+FCUN3
RMCUNCONFINED=RMCUN1-RMCUN2+RMCUN3

Y=X(L)-c
Y1=Y/FIBERS
AREATOTAL=0.0
G=0.0
M=1.0
IFIBERS=FIBERS-1.0
DO I=0,IFIBERS
    CA=-(FCC/(ECC*ECC))
    CW=2.0*FCC/ABS(ECC)
    STRAINC(I)=ABS(EC1)*(Y-FLOAT(I)*Y1)/Y

    STRESSCC(I)=CA*STRAINC(I)*STRAINC(I)+CW*ABS(STRAINC(I))
    STRAINC(M)=ABS(EC1)*(Y-FLOAT(M)*Y1)/Y

    STRESSCC(M)=CA*STRAINC(M)*STRAINC(M)+CW*ABS(STRAINC(M))
    AREA(M)=(STRESSCC(I)+STRESSCC(M))/2.0*Y1
    AREATOTAL=AREATOTAL+AREA(M)
    R(M)=(2.0*FLOAT(M)-1.0)*Y1/2.0
    T(M)=FLOAT(I)*Y1+1.0/3.0*Y1
    AREATRIANG(M)=(STRESSCC(I)-STRESSCC(M))*Y1/2.0
    AREAREC(M)=STRESSCC(M)*Y1
    G=G+(R(M)*AREAREC(M)+T(M)*AREATRIANG(M))
    M=M+1
END DO
G=G/AREATOTAL

```



```

FCC1=- (AREATOTAL*(b-2.0*c))
RMCC1=- (FCC1*(0.5*h-c-G))

Y=YUN2
Y1=Y/FIBERS
AREATOTAL=0.0
G=0.0
M=1.0
IFIBERS=FIBERS-1.0
DO I=0,IFIBERS
    CA=- (FCC/(ECC*ECC))
    CW=2.0*FCC/ABS(ECC)
    STRAINC(I)=ABS(ECU2)*(Y-FLOAT(I)*Y1)/Y

    STRESSCC(I)=CA*STRAINC(I)*STRAINC(I)+CW*ABS(STRAINC(I))
    STRAINC(M)=ABS(ECU2)*(Y-FLOAT(M)*Y1)/Y

    STRESSCC(M)=CA*STRAINC(M)*STRAINC(M)+CW*ABS(STRAINC(M))
    AREA(M)=(STRESSCC(I)+STRESSCC(M))/2.0*Y1
    AREATOTAL=AREATOTAL+AREA(M)
    R(M)=(2.0*FLOAT(M)-1.0)*Y1/2.0
    T(M)=FLOAT(I)*Y1+1.0/3.0*Y1
    AREATRIANG(M)=(STRESSCC(I)-STRESSCC(M))*Y1/2.0
    AREAREC(M)=STRESSCC(M)*Y1
    G=G+(R(M)*AREAREC(M)+T(M)*AREATRIANG(M))
    M=M+1
END DO
G=G/AREATOTAL

```

```

FCC3=- (AREATOTAL*(b-2.0*c))
      RMCC3=- (FCC3*(0.5*h-(h-c+G)))
FCCONFINED=FCC1-FCC3
RMCCONFINED=RMCC1-RMCC3
END IF
IF
((ABS(ECU1).GE.ABS(ECUN)).AND.(ABS(ECU1).LE.ABS(ECUNMAX)))
THEN
      A=(3.0*ABS(ECU1)*1000.0-2.0)/(3.0*ABS(ECU1)*1000.0)
      PARANOMZ=2.0*ABS(ECU1)*1000.0*(3.0*ABS(ECU1)*1000.0-
2.0)
      Z=(ABS(ECU1)*1000.0*((3.0*ABS(ECU1)*1000.0)-
4.0)+2.0)/PARANOMZ
      FCUN1=- (A*FCUN*b*X(L))
      RMCUN1=- (FCUN1*(0.5*h-Z*X(L)))
      IF (ABS(EC1).GT.ABS(ECUN)) THEN
            AUN2=(3.0*ABS(EC1)*1000.0-2.0)/(3.0*ABS(EC1)*1000.0)
PARANOMZUN2=2.0*ABS(EC1)*1000.0*(3.0*ABS(EC1)*1000.0-2.0)
            ZUN2=(ABS(EC1)*1000.0*((3.0*ABS(EC1)*1000.0)-
4.0)+2.0)/PARANOMZUN2
      ELSE
            AUN2=1.0/12.0*(ABS(EC1))*1000.0*(6.0-(ABS(EC1)*1000.0))
            ZUN2=(8.0-(ABS(EC1)*1000.0))/(4.0*(6.0-(ABS(EC1)*1000.0)))
      END IF
      FCUN2=- (AUN2*FCUN*(b-2*C)*(X(L)-C))
      RMCUN2=- (FCUN2*(0.5*h-ZUN2*(X(L)-C)-C))
      YUN2=X(L)-(h-C)
      ECU2=ABS(ECU1)*YUN2/X(L)

```

```

IF (ABS(ECU2).GT.ABS(ECUN)) THEN
    AUN3=(3.0*ABS(ECU2)*1000.0-2.0)/(3.0*ABS(ECU2)*1000.0)

    PARANOMZUN3=2.0*ABS(ECU2)*1000.0*(3.0*ABS(ECU2)*1000.0-2.0)
    ZUN3=(ABS(ECU2)*1000.0*((3.0*ABS(ECU2)*1000.0)-
4.0)+2.0)/PARANOMZUN3

    ELSE

        AUN3=1.0/12.0*(ABS(ECU2))*1000.0*(6.0-
(ABS(ECU2)*1000.0))
        ZUN3=(8.0-(ABS(ECU2)*1000.0))/(4.0*(6.0-
(ABS(ECU2)*1000.0)))

    END IF

    FCUN3=- (AUN3*FCUN*(b-2*C)*YUN2)
    RMCUN3=- (FCUN3*(0.5*h-(h-C+ZUN3*YUN2)))
    FCUNCONFINED=FCUN1-FCUN2+FCUN3
    RMCUNCONFINED=RMCUN1-RMCUN2+RMCUN3

    Y=X(L)-c
    Y1=Y/FIBERS
    AREATOTAL=0.0
    G=0.0
    M=1.0
    IFIBERS=FIBERS-1.0
    DO I=0,IFIBERS
        CA=- (FCC/(ECC*ECC))
        CW=2.0*FCC/ABS(ECC)
        STRAINC(I)=ABS(EC1)*(Y-FLOAT(I)*Y1)/Y

    STRESSCC(I)=CA*STRAINC(I)*STRAINC(I)+CW*ABS(STRAINC(I))

```

$$\text{STRAIN}(M)=\text{ABS}(\text{EC}1)*(\text{Y}-\text{FLOAT}(M)*\text{Y}1)/\text{Y}$$

$$\text{STRESSCC}(M)=\text{CA}*\text{STRAIN}(M)*\text{STRAIN}(M)+\text{CW}*\text{ABS}(\text{STRAIN}(M))$$

$$\text{AREA}(M)=(\text{STRESSCC}(I)+\text{STRESSCC}(M))/2.0*\text{Y}1$$

$$\text{AREATOTAL}=\text{AREATOTAL}+\text{AREA}(M)$$

$$\text{R}(M)=(2.0*\text{FLOAT}(M)-1.0)*\text{Y}1/2.0$$

$$\text{T}(M)=\text{FLOAT}(I)*\text{Y}1+1.0/3.0*\text{Y}1$$

$$\text{AREATRIANG}(M)=(\text{STRESSCC}(I)-\text{STRESSCC}(M))*\text{Y}1/2.0$$

$$\text{AREAREC}(M)=\text{STRESSCC}(M)*\text{Y}1$$

$$\text{G}=\text{G}+(\text{R}(M)*\text{AREAREC}(M)+\text{T}(M)*\text{AREATRIANG}(M))$$

$$\text{M}=\text{M}+1$$

END DO

$$\text{G}=\text{G}/\text{AREATOTAL}$$

$$\text{FCC}1=-\text{AREATOTAL}*(\text{b}-2.0*\text{c})$$

$$\text{RMCC}1=-\text{FCC}1*(0.5*\text{h}-\text{c}-\text{G})$$

$$\text{Y}=\text{YUN}2$$

$$\text{Y}1=\text{Y}/\text{FIBERS}$$

$$\text{AREATOTAL}=0.0$$

$$\text{G}=0.0$$

$$\text{M}=1.0$$

$$\text{IFIBERS}=\text{FIBERS}-1.0$$

DO I=0,IFIBERS

$$\text{CA}=-\text{FCC}/(\text{ECC}*\text{ECC})$$

$$\text{CW}=2.0*\text{FCC}/\text{ABS}(\text{ECC})$$

$$\text{STRAIN}(I)=\text{ABS}(\text{ECU}2)*(\text{Y}-\text{FLOAT}(I)*\text{Y}1)/\text{Y}$$

$$\text{STRESSCC}(I)=\text{CA}*\text{STRAIN}(I)*\text{STRAIN}(I)+\text{CW}*\text{ABS}(\text{STRAIN}(I))$$

```

        STRAINC(M)=ABS(ECU2)*(Y-FLOAT(M)*Y1)/Y

STRESSCC(M)=CA*STRAINC(M)*STRAINC(M)+CW*ABS(STRAINC(M))

        AREA(M)=(STRESSCC(I)+STRESSCC(M))/2.0*Y1

        AREATOTAL=AREATOTAL+AREA(M)

        R(M)=(2.0*FLOAT(M)-1.0)*Y1/2.0

        T(M)=FLOAT(I)*Y1+1.0/3.0*Y1

        AREATRIANG(M)=(STRESSCC(I)-STRESSCC(M))*Y1/2.0

        AREAREC(M)=STRESSCC(M)*Y1

        G=G+(R(M)*AREAREC(M)+T(M)*AREATRIANG(M))

        M=M+1

END DO

        G=G/AREATOTAL

        FCC3=- (AREATOTAL*(b-2.0*c))

        RMCC3=- (FCC3*(0.5*h-(h-c+G)))

        FCCONFINED=FCC1-FCC3

        RMCCONFINED=RMCC1-RMCC3

END IF

IF (ABS(ECU1).GT.ABS(ECUNMAX)) THEN

        YUN=ABS(ECUNMAX)*X(L)/ABS(ECU1)

        YUN2=X(L)-(h-c)

        ECU2=ABS(ECU1)*YUN2/X(L)

        IF ((X(L)-YUN).LT.C) THEN

                A=(3.0*ABS(ECUNMAX)*1000.0-
2.0)/(3.0*ABS(ECUNMAX)*1000.0)

```

PARANOMZ=2.0\*ABS(ECUNMAX)\*1000.0\*(3.0\*ABS(ECUNMAX)\*1000.0-2.0)

Z=(ABS(ECUNMAX)\*1000.0\*((3.0\*ABS(ECUNMAX)\*1000.0)-4.0)+2.0)/PARANOMZ

FCUN1=-(A\*FCUN\*b\*YUN)

RMCUN1=-(FCUN1\*(0.5\*h-(X(L)-YUN+Z\*YUN)))

IF (ABS(EC1).GT.ABS(ECUN)) THEN

AUN2=(3.0\*ABS(EC1)\*1000.0-2.0)/(3.0\*ABS(EC1)\*1000.0)

PARANOMZUN2=2.0\*ABS(EC1)\*1000.0\*(3.0\*ABS(EC1)\*1000.0-2.0)

ZUN2=(ABS(EC1)\*1000.0\*((3.0\*ABS(EC1)\*1000.0)-4.0)+2.0)/PARANOMZUN2

ELSE

AUN2=1.0/12.0\*(ABS(EC1))\*1000.0\*(6.0-(ABS(EC1)\*1000.0))

ZUN2=(8.0-(ABS(EC1)\*1000.0))/(4.0\*(6.0-(ABS(EC1)\*1000.0)))

END IF

FCUN2=-(AUN2\*FCUN\*(b-2\*C)\*(X(L)-C))

RMCUN2=-(FCUN2\*(0.5\*h-ZUN2\*(X(L)-C)-C))

YUN2=X(L)-(h-C)

ECU2=ABS(ECU1)\*YUN2/X(L)

IF (ABS(ECU2).GT.ABS(ECUN)) THEN

AUN3=(3.0\*ABS(ECU2)\*1000.0-2.0)/(3.0\*ABS(ECU2)\*1000.0)

PARANOMZUN3=2.0\*ABS(ECU2)\*1000.0\*(3.0\*ABS(ECU2)\*1000.0-2.0)

ZUN3=(ABS(ECU2)\*1000.0\*((3.0\*ABS(ECU2)\*1000.0)-4.0)+2.0)/PARANOMZUN3

ELSE

AUN3=1.0/12.0\*(ABS(ECU2))\*1000.0\*(6.0-  
(ABS(ECU2)\*1000.0))

ZUN3=(8.0-(ABS(ECU2)\*1000.0))/(4.0\*(6.0-  
(ABS(ECU2)\*1000.0)))

END IF

FCUN3=-(AUN3\*FCUN\*(b-2\*C)\*YUN2)

RMCUN3=-(FCUN3\*(0.5\*h-(h-C+ZUN3\*YUN2)))

FCUNCONFINED=FCUN1-FCUN2+FCUN3

RMCUNCONFINED=RMCUN1-RMCUN2+RMCUN3

Y=X(L)-c

Y1=Y/FIBERS

AREATOTAL=0.0

G=0.0

M=1.0

IFIBERS=FIBERS-1.0

DO I=0,IFIBERS

CA=-(FCC/(ECC\*ECC))

CW=2.0\*FCC/ABS(ECC)

STRAIN(I)=ABS(EC1)\*(Y-FLOAT(I)\*Y1)/Y

STRESSCC(I)=CA\*STRAIN(I)\*STRAIN(I)+CW\*ABS(STRAIN(I))

STRAIN(M)=ABS(EC1)\*(Y-FLOAT(M)\*Y1)/Y

STRESSCC(M)=CA\*STRAIN(M)\*STRAIN(M)+CW\*ABS(STRAIN(M))

AREA(M)=(STRESSCC(I)+STRESSCC(M))/2.0\*Y1

AREATOTAL=AREATOTAL+AREA(M)

R(M)=(2.0\*FLOAT(M)-1.0)\*Y1/2.0

```

T(M)=FLOAT(I)*Y1+1.0/3.0*Y1
AREATRIANG(M)=(STRESSCC(I)-STRESSCC(M))*Y1/2.0
AREAREC(M)=STRESSCC(M)*Y1
G=G+(R(M)*AREAREC(M)+T(M)*AREATRIANG(M))
M=M+1
END DO

G=G/AREATOTAL
FCC1=-(AREATOTAL*(b-2.0*c))
RMCC1=-(FCC1*(0.5*h-c-G))

Y=YUN2
Y1=Y/FIBERS
AREATOTAL=0.0
G=0.0
M=1.0
IFIBERS=FIBERS-1.0
DO I=0,IFIBERS
    CA=-(FCC/(ECC*ECC))
    CW=2.0*FCC/ABS(ECC)
    STRAINC(I)=ABS(ECU2)*(Y-FLOAT(I)*Y1)/Y

STRESSCC(I)=CA*STRAINC(I)*STRAINC(I)+CW*ABS(STRAINC(I))
    STRAINC(M)=ABS(ECU2)*(Y-FLOAT(M)*Y1)/Y

STRESSCC(M)=CA*STRAINC(M)*STRAINC(M)+CW*ABS(STRAINC(M))
    AREA(M)=(STRESSCC(I)+STRESSCC(M))/2.0*Y1
    AREATOTAL=AREATOTAL+AREA(M)
    R(M)=(2.0*FLOAT(M)-1.0)*Y1/2.0

```



```

T(M)=FLOAT(I)*Y1+1.0/3.0*Y1
AREATRIANG(M)=(STRESSCC(I)-STRESSCC(M))*Y1/2.0
AREAREC(M)=STRESSCC(M)*Y1
G=G+(R(M)*AREAREC(M)+T(M)*AREATRIANG(M))
M=M+1
END DO
G=G/AREATOTAL
FCC3=-(AREATOTAL*(b-2.0*c))
RMCC3=-(FCC3*(0.5*h-(h-c+G)))
FCCONFINED=FCC1-FCC3
RMCCONFINED=RMCC1-RMCC3

END IF

IF (((X(L)-YUN).GE.c).AND.(YUN.GE.(X(L)-(h-c)))) THEN
    A=(3.0*ABS(ECUNMAX)*1000.0-
2.0)/(3.0*ABS(ECUNMAX)*1000.0)

    PARANOMZ=2.0*ABS(ECUNMAX)*1000.0*(3.0*ABS(ECUNMAX)*1000.0-
2.0)

    Z=(ABS(ECUNMAX)*1000.0*((3.0*ABS(ECUNMAX)*1000.0)-
4.0)+2.0)/PARANOMZ

    FCUN1=-(A*FCUN*b*YUN)
    RMCUN1=-(FCUN1*(0.5*h-(X(L)-YUN+Z*YUN)))

    AUN2=A
    PARANOMZUN2=PARANOMZ
    ZUN2=Z

    FCUN2=-(AUN2*FCUN*(b-2*C)*(YUN))
    RMCUN2=-(FCUN2*(0.5*h-(X(L)-YUN+ZUN2*YUN)))

```

```

YUN2=X(L)-(h-C)
ECU2=ABS(ECU1)*YUN2/X(L)
IF (ABS(ECU2).GT.ABS(ECUN)) THEN
    AUN3=(3.0*ABS(ECU2)*1000.0-
2.0)/(3.0*ABS(ECU2)*1000.0)
    PARANOMZUN3=2.0*ABS(ECU2)*1000.0*(3.0*ABS(ECU2)*1000.0-2.0)
    ZUN3=(ABS(ECU2)*1000.0*((3.0*ABS(ECU2)*1000.0)-
4.0)+2.0)/PARANOMZUN3
ELSE
    AUN3=1.0/12.0*(ABS(ECU2))*1000.0*(6.0-
(ABS(ECU2)*1000.0))
    ZUN3=(8.0-(ABS(ECU2)*1000.0))/(4.0*(6.0-
(ABS(ECU2)*1000.0)))
END IF
FCUN3=-(AUN3*FCUN*(b-2*C)*YUN2)
RMCUN3=-(FCUN3*(0.5*h-(h-C+ZUN3*YUN2)))
FCUNCONFINED=FCUN1-FCUN2+FCUN3
RMCUNCONFINED=RMCUN1-RMCUN2+RMCUN3
!DINAMI , ROPI gia CONFINED
IF (ABS(EC1).LE.ABS(ECC)) THEN
    Y=X(L)-c
    Y1=Y/FIBERS
    AREATOTAL=0.0
    G=0.0
    M=1.0
    IFIBERS=FIBERS-1.0
    DO I=0,IFIBERS
        CA=-(FCC/(ECC*ECC))

```

```

CW=2.0*FCC/ABS(ECC)
STRAIN(I)=ABS(EC1)*(Y-FLOAT(I)*Y1)/Y

STRESSCC(I)=CA*STRAIN(I)*STRAIN(I)+CW*ABS(STRAIN(I))
STRAIN(M)=ABS(EC1)*(Y-FLOAT(M)*Y1)/Y

STRESSCC(M)=CA*STRAIN(M)*STRAIN(M)+CW*ABS(STRAIN(M))
AREA(M)=(STRESSCC(I)+STRESSCC(M))/2.0*Y1
AREATOTAL=AREATOTAL+AREA(M)
R(M)=(2.0*FLOAT(M)-1.0)*Y1/2.0
T(M)=FLOAT(I)*Y1+1.0/3.0*Y1
AREATRIANG(M)=(STRESSCC(I)-
STRESSCC(M))*Y1/2.0
AREAREC(M)=STRESSCC(M)*Y1
G=G+(R(M)*AREAREC(M)+T(M)*AREATRIANG(M))
M=M+1

END DO

G=G/AREATOTAL
FCC1=-((AREATOTAL*(b-2.0*c))
RMCC1=-((FCC1*(0.5*h-c-G))

Y=YUN2
Y1=Y/FIBERS
AREATOTAL=0.0
G=0.0
M=1.0
IFIBERS=FIBERS-1.0
DO I=0,IFIBERS

```

```

CA=-(FCC/(ECC*ECC))
CW=2.0*FCC/ABS(ECC)
STRAIN(I)=ABS(ECU2)*(Y-FLOAT(I)*Y1)/Y

STRESSCC(I)=CA*STRAIN(I)*STRAIN(I)+CW*ABS(STRAIN(I))
STRAIN(M)=ABS(ECU2)*(Y-FLOAT(M)*Y1)/Y

STRESSCC(M)=CA*STRAIN(M)*STRAIN(M)+CW*ABS(STRAIN(M))
AREA(M)=(STRESSCC(I)+STRESSCC(M))/2.0*Y1
AREATOTAL=AREATOTAL+AREA(M)
R(M)=(2.0*FLOAT(M)-1.0)*Y1/2.0

T(M)=FLOAT(I)*Y1+1.0/3.0*Y1
AREATRIANG(M)=(STRESSCC(I)-
STRESSCC(M))*Y1/2.0
AREAREC(M)=STRESSCC(M)*Y1
G=G+(R(M)*AREAREC(M)+T(M)*AREATRIANG(M))
M=M+1
END DO
G=G/AREATOTAL
FCC3=-(AREATOTAL*(b-2.0*c))
RMCC3=-(FCC3*(0.5*h-(h-c+G)))
FCCONFINED=FCC1-FCC3
RMCCONFINED=RMCC1-RMCC3
END IF
IF (ABS(EC1).GT.ABS(ECC)) THEN
Y=ABS(ECC)*X(L)/ABS(ECU1)
Y1=Y/FIBERS

```

```

AREATOTAL=0.0

G=0.0

M=1.0

IFIBERS=FIBERS-1.0

DO I=0,IFIBERS

    CA=-(FCC/(ECC*ECC))

    CW=2.0*FCC/ABS(ECC)

    STRAINC(I)=ABS(ECC)*(Y-FLOAT(I)*Y1)/Y

STRESSCC(I)=CA*STRAINC(I)*STRAINC(I)+CW*ABS(STRAINC(I))

    STRAINC(M)=ABS(ECC)*(Y-FLOAT(M)*Y1)/Y

STRESSCC(M)=CA*STRAINC(M)*STRAINC(M)+CW*ABS(STRAINC(M))

    AREA(M)=(STRESSCC(I)+STRESSCC(M))/2.0*Y1

    AREATOTAL=AREATOTAL+AREA(M)

    R(M)=(2.0*FLOAT(M)-1.0)*Y1/2.0

    T(M)=FLOAT(I)*Y1+1.0/3.0*Y1

    AREATRIANG(M)=(STRESSCC(I)-
STRESSCC(M))*Y1/2.0

    AREAREC(M)=STRESSCC(M)*Y1

    G=G+(R(M)*AREAREC(M)+T(M)*AREATRIANG(M))

    M=M+1

END DO

G=G/AREATOTAL

FC1=-(AREATOTAL*(b-2.0*c))

W=0.15*FCC/(ABS(ECC)-ABS(ECCMAX))

```

BB=FCC-(0.15\*FCC\*ABS(ECC)/(ABS(ECC)-  
ABS(ECCMAX)))

! FC1 : DINAMI PERISFIGMENOU SKIRODEMATOS  
POU ANTISTIXI STO PARAVOLIKO MEROS

! TOU NOMOU TASEON-PARAMORFOSEON

! FC2 : DINAMI SKIRODEMATOS POU ANTISTIXI STO  
TRIGONIKO MEROS

! TOU NOMOU TASEON-PARAMORFOSEON

STRESSEC1=W\*ABS(EC1)+BB

FC2=-((ABS(FCC)-ABS(STRESSEC1))\*(X(L)-Y-C)/2.0\*(b-  
2\*c)

! MOXLOVRAXIONAS Q2 TIS DINAMIS FC2 (METRAI  
APO TIN ARXI TOU TRIGONOU

! TON TASEON APO TIN PLEURA POU TELIONI I  
THLIVOMENI ZONI

Q2=(1.0/3.0)\*(X(L)-Y-C)

! FC3 : DINAMI SKIRODEMATOS POU ANTISTIXI STO  
PARALLILOGRAMMO MEROS

! TOU NOMOU TASEON-PARAMORFOSEON

FC3=-((ABS(STRESSEC1)\*(X(L)-Y-C))\*(b-2\*c)

! MOXLOVRAXIONAS Q3 TIS DINAMIS FC3 (MTRAI  
APO TIN ARXI TOU PARAL/MOU

! TON TASEON APO TIN PLEURA POU TELIONI I  
THLIVOMENI ZONI

Q3=(X(L)-Y-C)/2.0

!

!

! EURESI ROPON SKIRODEMATOS

!

```

RMC1=-((FC1*(0.5*h-(G+X(L)-Y)))
RMC2=ABS(FC2)*((h/2.0)-(X(L)-Y-Q2))
RMC3=ABS(FC3)*((h/2.0)-(X(L)-Y-Q3))
YUN2=X(L)-(h-c)
Y=YUN2
Y1=Y/FIBERS
AREATOTAL=0.0
G=0.0
M=1.0
IFIBERS=FIBERS-1.0
DO I=0,IFIBERS
    CA=-((FCC/(ECC*ECC))
    CW=2.0*FCC/ABS(ECC)
    STRAINC(I)=ABS(ECU2)*(Y-FLOAT(I)*Y1)/Y

STRESSCC(I)=CA*STRAINC(I)*STRAINC(I)+CW*ABS(STRAINC(I))
    STRAINC(M)=ABS(ECU2)*(Y-FLOAT(M)*Y1)/Y

STRESSCC(M)=CA*STRAINC(M)*STRAINC(M)+CW*ABS(STRAINC(M))
    AREA(M)=(STRESSCC(I)+STRESSCC(M))/2.0*Y1
    AREATOTAL=AREATOTAL+AREA(M)
    R(M)=(2.0*FLOAT(M)-1.0)*Y1/2.0
    T(M)=FLOAT(I)*Y1+1.0/3.0*Y1
    AREATRIANG(M)=(STRESSCC(I)-
STRESSCC(M))*Y1/2.0
    AREAREC(M)=STRESSCC(M)*Y1
    G=G+(R(M)*AREAREC(M)+T(M)*AREATRIANG(M))
    M=M+1

```

```

END DO

G=G/AREATOTAL

FCC3=-(AREATOTAL*(b-2.0*c))

RMCC3=-(FCC3*(0.5*h-(h-c+G)))

!

FCCONFINED=FC1+FC2+FC3-FCC3

RMCCONFINED=RMC1+RMC2+RMC3-RMCC3

END IF

END IF

IF (((X(L)-YUN).GE.c).AND.(YUN.LT.(X(L)-(h-c)))) THEN

YUN2=X(L)-(h-c)

A=(3.0*ABS(ECUNMAX)*1000.0-
2.0)/(3.0*ABS(ECUNMAX)*1000.0)

PARAMOMZ=2.0*ABS(ECUNMAX)*1000.0*(3.0*ABS(ECUNMAX)*1000.0-
2.0)

Z=(ABS(ECUNMAX)*1000.0*((3.0*ABS(ECUNMAX)*1000.0)-
4.0)+2.0)/PARAMOMZ

FCUN1=-(A*FCUN*b*YUN)

J=(X(L)-YUN)-(h-C)

RMCUN1=-(FCUN1*(0.5*h-(h-C+J+Z*YUN)))

FCUNCONFINED=FCUN1

RMCUNCONFINED=RMCUN1

!DINAMI , ROPI gia CONFINED

IF (ABS(EC1).LE.ABS(ECC)) THEN

```



```

Y=X(L)-c
Y1=Y/FIBERS
AREATOTAL=0.0
G=0.0
M=1.0
IFIBERS=FIBERS-1.0
DO I=0,IFIBERS
    CA=-(FCC/(ECC*ECC))
    CW=2.0*FCC/ABS(ECC)
    STRAINC(I)=ABS(EC1)*(Y-FLOAT(I)*Y1)/Y

STRESSCC(I)=CA*STRAINC(I)*STRAINC(I)+CW*ABS(STRAINC(I))
    STRAINC(M)=ABS(EC1)*(Y-FLOAT(M)*Y1)/Y

STRESSCC(M)=CA*STRAINC(M)*STRAINC(M)+CW*ABS(STRAINC(M))
    AREA(M)=(STRESSCC(I)+STRESSCC(M))/2.0*Y1
    AREATOTAL=AREATOTAL+AREA(M)
    R(M)=(2.0*FLOAT(M)-1.0)*Y1/2.0
    T(M)=FLOAT(I)*Y1+1.0/3.0*Y1
    AREATRIANG(M)=(STRESSCC(I)-
STRESSCC(M))*Y1/2.0
    AREAREC(M)=STRESSCC(M)*Y1
    G=G+(R(M)*AREAREC(M)+T(M)*AREATRIANG(M))
    M=M+1
END DO
G=G/AREATOTAL
FCC1=-(AREATOTAL*(b-2.0*c))
RMCC1=-(FCC1*(0.5*h-c-G))

```

```

Y=YUN2
Y1=Y/FIBERS
AREATOTAL=0.0
G=0.0
M=1.0
IFIBERS=FIBERS-1.0
DO I=0,IFIBERS
    CA=-(FCC/(ECC*ECC))
    CW=2.0*FCC/ABS(ECC)
    STRAINC(I)=ABS(ECU2)*(Y-FLOAT(I)*Y1)/Y

STRESSCC(I)=CA*STRAINC(I)*STRAINC(I)+CW*ABS(STRAINC(I))
    STRAINC(M)=ABS(ECU2)*(Y-FLOAT(M)*Y1)/Y

STRESSCC(M)=CA*STRAINC(M)*STRAINC(M)+CW*ABS(STRAINC(M))
    AREA(M)=(STRESSCC(I)+STRESSCC(M))/2.0*Y1
    AREATOTAL=AREATOTAL+AREA(M)
    R(M)=(2.0*FLOAT(M)-1.0)*Y1/2.0
    T(M)=FLOAT(I)*Y1+1.0/3.0*Y1
    AREATRIANG(M)=(STRESSCC(I)-
STRESSCC(M))*Y1/2.0
    AREAREC(M)=STRESSCC(M)*Y1
    G=G+(R(M)*AREAREC(M)+T(M)*AREATRIANG(M))
    M=M+1
END DO

G=G/AREATOTAL
FCC3=-(AREATOTAL*(b-2.0*c))

```

```

        RMCC3=- (FCC3*(0.5*h-(h-c+G)))
FCCONFINED=FCC1-FCC3
RMCCONFINED=RMCC1-RMCC3
ELSE
Y=ABS(ECC)*X(L)/ABS(ECU1)

Y1=Y/FIBERS
AREATOTAL=0.0
G=0.0
M=1.0
IFIBERS=FIBERS-1.0
DO I=0,IFIBERS
    CA=- (FCC/(ECC*ECC))
    CW=2.0*FCC/ABS(ECC)
    STRAINC(I)=ABS(ECC)*(Y-FLOAT(I)*Y1)/Y

STRESSCC(I)=CA*STRAINC(I)*STRAINC(I)+CW*ABS(STRAINC(I))
    STRAINC(M)=ABS(ECC)*(Y-FLOAT(M)*Y1)/Y

STRESSCC(M)=CA*STRAINC(M)*STRAINC(M)+CW*ABS(STRAINC(M))
    AREA(M)=(STRESSCC(I)+STRESSCC(M))/2.0*Y1
    AREATOTAL=AREATOTAL+AREA(M)
    R(M)=(2.0*FLOAT(M)-1.0)*Y1/2.0
    T(M)=FLOAT(I)*Y1+1.0/3.0*Y1
    AREATRIANG(M)=(STRESSCC(I)-
STRESSCC(M))*Y1/2.0
    AREAREC(M)=STRESSCC(M)*Y1

```

```

G=G+(R(M)*AREAREC(M)+T(M)*AREATRIANG(M))
M=M+1
END DO
G=G/AREATOTAL
FC1=-((AREATOTAL*(b-2.0*c))

W=0.15*FCC/(ABS(ECC)-ABS(ECCMAX))
BB=FCC-(0.15*FCC*ABS(ECC))/(ABS(ECC)-
ABS(ECCMAX)))
! FC1 : DINAMI PERISFIGMENOU SKIRODEMATOS
POU ANTISTIXI STO PARAVOLIKO MEROS
! TOU NOMOU TASEON-PARAMORFOSEON

! FC2 : DINAMI SKIRODEMATOS POU ANTISTIXI STO
TRIGONIKO MEROS
! TOU NOMOU TASEON-PARAMORFOSEON
STRESSEC1=W*ABS(EC1)+BB
FC2=-((ABS(FCC)-ABS(STRESSEC1))*(X(L)-Y-C)/2.0*(b-
2*c)
! MOXLOVRAXIONAS Q2 TIS DINAMIS FC2 (METRAI
APO TIN ARXI TOU TRIGONOU
! TON TASEON APO TIN PLEURA POU TELIONI I
THLIVOMENI ZONI
Q2=(1.0/3.0)*(X(L)-Y-C)
! FC3 : DINAMI SKIRODEMATOS POU ANTISTIXI STO
PARALLILOGRAMMO MEROS
! TOU NOMOU TASEON-PARAMORFOSEON
FC3=-((ABS(STRESSEC1)*(X(L)-Y-C))*(b-2*c)

```

! MOXLOVRAXIONAS Q3 TIS DINAMIS FC3 (MTRAI  
APO TIN ARXI TOU PARAL/MOU

! TON TASEON APO TIN PLEURA POU TELIONI I  
THLIVOMENI ZONI

$$Q3=(X(L)-Y-C)/2.0$$

!

!

! EURESI ROPON SKIRODEMATOS

!

$$RMC1=-(FC1*(0.5*h-(G+X(L)-Y)))$$

$$RMC2=ABS(FC2)*((h/2.0)-(X(L)-Y-Q2))$$

$$RMC3=ABS(FC3)*((h/2.0)-(X(L)-Y-Q3))$$

$$YUN2=X(L)-(h-c)$$

$$Y=YUN2$$

$$Y1=Y/FIBERS$$

$$AREATOTAL=0.0$$

$$G=0.0$$

$$M=1.0$$

$$IFIBERS=FIBERS-1.0$$

DO I=0,IFIBERS

$$CA=-(FCC/(ECC*ECC))$$

$$CW=2.0*FCC/ABS(ECC)$$

$$STRAIN(I)=ABS(ECU2)*(Y-FLOAT(I)*Y1)/Y$$

$$STRESSCC(I)=CA*STRAIN(I)*STRAIN(I)+CW*ABS(STRAIN(I))$$

$$STRAIN(M)=ABS(ECU2)*(Y-FLOAT(M)*Y1)/Y$$

$$STRESSCC(M)=CA*STRAIN(M)*STRAIN(M)+CW*ABS(STRAIN(M))$$

```

        AREA(M)=(STRESSCC(I)+STRESSCC(M))/2.0*Y1
        AREATOTAL=AREATOTAL+AREA(M)
    R(M)=(2.0*FLOAT(M)-1.0)*Y1/2.0
        T(M)=FLOAT(I)*Y1+1.0/3.0*Y1
        AREATRIANG(M)=(STRESSCC(I)-
STRESSCC(M))*Y1/2.0
        AREAREC(M)=STRESSCC(M)*Y1
        G=G+(R(M)*AREAREC(M)+T(M)*AREATRIANG(M))
        M=M+1
    END DO
    G=G/AREATOTAL
    FCC1=-((AREATOTAL*(b-2.0*c))
    RMCC1=-((FCC1*(0.5*h-(h-c+G)))

```

```

IF (ABS(ECU2).GT.ABS(ECC)) THEN
    Y=ABS(ECC)*X(L)/ABS(ECU1)
    Y1=Y/FIBERS
    AREATOTAL=0.0
    G=0.0
    M=1.0
    IFIBERS=FIBERS-1.0
    DO I=0,IFIBERS
        CA=-((FCC/(ECC*ECC))
        CW=2.0*FCC/ABS(ECC)

```

```

        STRAINC(I)=ABS(ECC)*(Y-FLOAT(I)*Y1)/Y

STRESSCC(I)=CA*STRAINC(I)*STRAINC(I)+CW*ABS(STRAINC(I))
        STRAINC(M)=ABS(ECC)*(Y-FLOAT(M)*Y1)/Y

STRESSCC(M)=CA*STRAINC(M)*STRAINC(M)+CW*ABS(STRAINC(M))
        AREA(M)=(STRESSCC(I)+STRESSCC(M))/2.0*Y1
        AREATOTAL=AREATOTAL+AREA(M)
        R(M)=(2.0*FLOAT(M)-1.0)*Y1/2.0
        T(M)=FLOAT(I)*Y1+1.0/3.0*Y1
        AREATRIANG(M)=(STRESSCC(I)-
STRESSCC(M))*Y1/2.0
        AREAREC(M)=STRESSCC(M)*Y1
        G=G+(R(M)*AREAREC(M)+T(M)*AREATRIANG(M))
        M=M+1
        END DO

        G=G/AREATOTAL
        FCC1=-(AREATOTAL*(b-2*c))
        RMCC1=-(FCC1*(0.5*h-(h-c+G)))
        STRESSECU2=W*ABS(ECU2)+BB
        FCC2=-(ABS(FCC)-ABS(STRESSECU2))*(YUN2-
Y)/2.0*(b-2*c)

        QQ2=(1.0/3.0)*(YUN2-Y)
        FCC3=-(ABS(STRESSECU2)*(YUN2-Y))*(b-2*c)
        QQ3=(YUN2-Y)/2.0
        RMCC2=ABS(FCC2)*((h/2.0)-(X(L)-Y-QQ2))
        RMCC3=ABS(FCC3)*((h/2.0)-(X(L)-Y-QQ3))

        END IF

```

```

                END IF
                !
                FCCONFINED=FC1+FC2+FC3-FCC1-FCC2-FCC3
                RMCCONFINED=RMC1+RMC2+RMC3-RMCC1-RMCC2-
RMCC3
                END IF
                END IF
                END IF
                RNTOTAL(L)=SUMFS+FCUNCONFINED +FCCONFINED
                RMTOTAL(L)=SUMMS+RMCUNCONFINED +RMCCONFINED
                RKABIL(L)=ABS(ECU1)/X(L)
                ! KATAXORISI APOTELESMATON SE ARXEIO
                WRITE(9,20)L,ECU1,ES2(L),X(L)
                ,RNTOTAL(L),RMTOTAL(L),RKABIL(L)
20    FORMAT(1X,I2,3X,F9.6,3X,F6.4,3X,F6.4,3X,F12.2,3X,F12.2,3X,F12.8)
                L=L+1
                END DO
                ! EURESI Simio gia MU=0.0
                ! OLES OI DINAMEIS THETIKES
                ! OI PARAMORFOSEIS ME TO PROSIMO TOUS
                YIELD=FY/E
                ES(1)=YIELD
                F(1)=AS*E*ABS(ES(1))/10.0 ! DINAMI PLEON THLIVOMENOU
XALIVA
                ES(K)=YIELD ! PARAMORFOSI PLEON EFELKIOMENOU XALIVA
                F(K)=AS*E*ABS(ES(K))/10.0 ! DINAMI PLEON EFELKYOMENOU
XALIVA

```



```

! EURESI PARAMORFOSEON ENDIAMESON XALIVON
IMAX=K-2
DO I=1,IMAX
    ES(1+I)=YIELD
! EURESI DINAMEON ENDIAMESON XALIVON

    F(1+I)=ASMIDDLE*E*ABS(ES(1+I))/10.0
END DO
! EURESI ROPON ENDIAMESON XALIVON
DO I=1,K
    RM(I)=ABS(F(I)*(FLOAT(K)-2.0*FLOAT(I)+1.0)*DY/2.0)
END DO
! PROSTHESI ROPON (THETIKI I ANTIOROLOGI AKI FORA)
! PROSTHESI DINAMEON
SUMMS=0.0
SUMFS=0.0
DO I=1,K
    IF (ES(I).LE.0.0) THEN
        IF ((c+(DD/2.0)+DY*(FLOAT(I)-1.0)).LE.(h/2.0)) THEN
            RM(I)=ABS(RM(I))
        ELSE
            RM(I)=-ABS(RM(I))
        END IF
    ELSE
        IF ((c+(DD/2.0)+DY*(FLOAT(I)-1.0)).LE.(h/2.0)) THEN
            RM(I)=-ABS(RM(I))
        ELSE

```

```

        RM(I)=ABS(RM(I))
    END IF
END IF
SUMMS=SUMMS+RM(I)
IF (ES(I).LE.0.0) THEN
    F(I)=-ABS(F(I))
ELSE
    F(I)=ABS(F(I))
END IF
SUMFS=SUMFS+F(I)
END DO
FAKE=0.0
WRITE(9,30)FAKE,FAKE,FAKE,FAKE,SUMFS,SUMMS,FAKE
30
FORMAT(1X,F2.0,3X,F9.5,3X,F6.3,3X,F6.3,3X,F12.2,3X,F12.2,3X,F12
.2)
END PROGRAM Mu

```

PROGRAM My  
 DIMENSION X(200)  
 DIMENSION ES2(200)  
 DIMENSION RNTOTAL(200)  
 DIMENSION RMTOTAL(200)  
 DIMENSION RKABIL(200)  
 DIMENSION F(200)  
 DIMENSION ES(200)  
 DIMENSION RM(200)  
 DIMENSION STRAINC(200)  
 DIMENSION STRESSCC(200)  
 DIMENSION AREA(200)  
 DIMENSION R(200)  
 DIMENSION T(200)  
 DIMENSION AREATRIANG(200)  
 DIMENSION AREAREC(200)

! DEDOMENA

AS=7.634                      ! EMBADO AKRAIAS STATHMIS  
 OPLISMOU (cm2)

ASMIDDLE=5.089              ! EMBADO MESAIAS STATHMIS  
 OPLISMOU (cm2)

DD=0.018                      ! DIAMETROS SIDERON (m)

K=3                              ! ARITHMOS STATHMEON OPLISMON

h=0.35                         ! IPSOS DIATOMIS (m)

d=0.302                        ! STATIKO IPSOS DIATOMIS (m)

b=0.35                         ! PLATOS DIATOMIS (m)

c=0.03                         ! EPIKALIPSI DIATOMIS (m)

```

        FY=500.0                ! TASI DIAROIS XALYBA (MPa)
        E=200000.0              ! METRO ELASTIKOTITAS XALYBA
(MPa)
        ESY=FY/E                ! PARAMORFOSI DIAROIS XALYBA
        FCC=34317.0            ! MAX TASI PERISFIGMENOY
SKYRODEMATOS
        ECC=-0.003769          ! PARAMORFOSI SKYRODEMATOS POU
ANTISTIXEI STIN FCC (arnitiki timi)
        ECCMAX=-0.023316      ! PARAMORFOSI SKYRODEMATOS POU
ANTISTIXEI STO 0,85 TIS FCC (arnitiki timi)
        FCUN=25000             ! MAX TASI APERISFIKTOU
SKYRODEMATOS
        ECUN=-0.002           ! PARAMORFOSI SKYRODEMATOS POU
ANTISTIXEI STIN FCUN (arnitiki timi)
        ECUNMAX=-0.0035      ! MAX PARAMORFOSI APESFIKTOU
SKYRODEMATOS (arnitiki timi)
        FIBERS=50.0           ! ARITHMOS INON GIA TIN OLOKLIROSI
TON TASEON TOU PERISFIGMENOY SKYRODEMATOS

```

```

!TELOS DEDOMENON

```

```

DY=(d-c-(DD/2.0))/(FLOAT(K)-1.0)

```

```

STEP=ABS(ECCMAX)/100.0

```

```

L=1

```

```

OPEN(unit=9,file="apotelesmataMy.txt")

```

```

WRITE(9,10)"L","ECU1","ES2","X","NTOTAL","MTOTAL","KABILOTIT
A"

```

```

10  FORMAT(2x,a,4x,a,6x,a,6x,a,11x,a,10x,a,8x,a)

```

```

! EURESI Simio gia MU=0.0 THLIPSI

```

```

! OLES OI DINAMEIS THETIKES
! OI PARAMORFOSEIS ME TO PROSIMO TOUS
YIELD=ECCMAX
ES(1)=YIELD
      F(1)=AS*E*ABS(ES(1))/10.0 ! DINAMI PLEON THLIVOMENOU
XALIVA
      ES(K)=YIELD ! PARAMORFOSI PLEON EFELKIOMENOU XALIVA
      F(K)=AS*E*ABS(ES(K))/10.0 ! DINAMI PLEON EFELKYOMENOU
XALIVA

! EURESI PARAMORFOSEON ENDIAMESON XALIVON
IMAX=K-2
DO I=1,IMAX
      ES(1+I)=YIELD
! EURESI DINAMEON ENDIAMESON XALIVON

      F(1+I)=ASMIDDLE*E*ABS(ES(1+I))/10.0
END DO
! EURESI ROPON ENDIAMESON XALIVON
DO I=1,K
      RM(I)=ABS(F(I))*(FLOAT(K)-2.0*FLOAT(I)+1.0)*DY/2.0
END DO
! PROSTHESI DINAMEON
SUMMS=0.0
SUMFS=0.0
DO I=1,K
      IF (ES(I).LE.0.0) THEN
            IF ((c+(DD/2.0)+DY*(FLOAT(I)-1.0)).LE.(h/2.0)) THEN

```

```

        RM(I)=ABS(RM(I))
    ELSE
        RM(I)=-ABS(RM(I))
    END IF
ELSE
    IF ((c+(DD/2.0)+DY*(FLOAT(I)-1.0)).LE.(h/2.0)) THEN
        RM(I)=-ABS(RM(I))
    ELSE
        RM(I)=ABS(RM(I))
    END IF
END IF
SUMMS=SUMMS+RM(I)
IF (ES(I).LE.0.0) THEN
    F(I)=-ABS(F(I))
ELSE
    F(I)=ABS(F(I))
END IF
SUMFS=SUMFS+F(I)
END DO
SUMFS=SUMFS+(b-2*c)*(h-2*c)*FCC*0.85
FAKE=0.0
WRITE(9,40)FAKE,FAKE,FAKE,FAKE,SUMFS,SUMMS,FAKE
40
FORMAT(1X,F2.0,3X,F9.5,3X,F6.3,3X,F6.3,3X,F12.2,3X,F12.2,3X,F12
.2)

DO ECU1=ECCMAX,-0.00001,STEP

```

```

X(L)=ABS(ECU1)*d/(ABS(ECU1)+ABS(ESY))
EC1=(X(L)-C)*ECU1/X(L)
ES2(L)=ESY
! EURESI DINAMEON KAI ROPON TON OPLISMON
! OLES OI DINAMEIS THETIKES
! OI PARAMORFOSEIS ME TO PROSIMO TOUS
YIELD=FY/E
ES(1)=(X(L)-c-(DD/2.0))*ECU1/X(L)
IF (ABS(ES(1)).LT.YIELD) THEN
    F(1)=AS*E*ABS(ES(1))/10.0
ELSE
    F(1)=AS*FY/10.0 ! DINAMI PLEON THLIVOMENOU XALIVA
END IF
ES(K)=ES2(L) ! PARAMORFOSI PLEON EFELKIOMENOU XALIVA
IF (ABS(ES(K)).LT.YIELD) THEN
    F(K)=AS*E*ABS(ES(K))/10.0 ! DINAMI PLEON THLIVOMENOU
XALIVA
ELSE
    F(K)=AS*FY/10.0 ! DINAMI PLEON THLIVOMENOU XALIVA
END IF
! EURESI PARAMORFOSEON ENDIAMESON XALIVON
IMAX=K-2
DO I=1,IMAX
    ES(1+I)=(X(L)-(I*DY)-(c+DD/2.0))*ECU1/X(L)
! EURESI DINAMEON ENDIAMESON XALIVON
    IF (ABS(ES(1+I)).LT.YIELD) THEN
        F(1+I)=ASMIDDLE*E*ABS(ES(1+I))/10.0
    
```

```

ELSE
    F(1+I)=ASMIDDLE*FY/10.0
END IF
END DO
! EURESI ROPON ENDIAMESON XALIVON
DO I=1,K
    RM(I)=ABS(F(I)*(FLOAT(K)-2.0*FLOAT(I)+1.0)*DY/2.0)
END DO
! PROSTHESI ROPON (THETIKI I ANTIOROLOGI AKI FOR A)
! PROSTHESI DINAMEON
SUMMS=0.0
SUMFS=0.0
DO I=1,K
    IF (ES(I).LE.0.0) THEN
        IF ((c+(DD/2.0)+DY*(FLOAT(I)-1.0)).LE.(h/2.0)) THEN
            RM(I)=ABS(RM(I))
        ELSE
            RM(I)=-ABS(RM(I))
        END IF
    ELSE
        IF ((c+(DD/2.0)+DY*(FLOAT(I)-1.0)).LE.(h/2.0)) THEN
            RM(I)=-ABS(RM(I))
        ELSE
            RM(I)=ABS(RM(I))
        END IF
    END IF
    SUMMS=SUMMS+RM(I)

```



```

IF (ES(I).LE.0.0) THEN
    F(I)=-ABS(F(I))
ELSE
    F(I)=ABS(F(I))
END IF
SUMFS=SUMFS+F(I)
END DO
! EURESI DINAMEON KAI ROPON GIA TO SKIRODEMA
! 1 PERIPTOSI
IF (X(L).LE.c) THEN
!
    IF (ABS(ECU1).LT.ABS(ECUN)) THEN
        A=1.0/12.0*(ABS(ECU1))*1000.0*(6.0-(ABS(ECU1)*1000.0))
        Z=(8.0-(ABS(ECU1)*1000.0))/(4.0*(6.0-(ABS(ECU1)*1000.0)))
        FCUN1=-(A*FCUN*b*X(L))
        RMCUN1=-(FCUN1*(0.5*h-Z*X(L)))
        FCUNCONFINED=FCUN1
        RMCUNCONFINED=RMCUN1
        FCCONFINED=0.0
        RMCCONFINED=0.0
    END IF
!
    IF (ABS(ECU1).GE.ABS(ECUN)) THEN
        A=(3.0*ABS(ECU1)*1000.0-2.0)/(3.0*ABS(ECU1)*1000.0)
        PARANOMZ=2.0*ABS(ECU1)*1000.0*(3.0*ABS(ECU1)*1000.0-
2.0)
        Z=(ABS(ECU1)*1000.0*((3.0*ABS(ECU1)*1000.0)-
4.0)+2.0)/PARANOMZ

```

```

FCUN1=- (A*FCUN*b*X(L))
RMCUN1=- (FCUN1*(0.5*h-Z*X(L)))
FCUNCONFINED=FCUN1
RMCUNCONFINED=RMCUN1
FCCONFINED=0.0
RMCCONFINED=0.0

END IF

IF (ABS(ECU1).GT.ABS(ECUNMAX)) THEN
    YUN=ABS(ECUNMAX)*X(L)/ABS(ECU1)
    A=(3.0*ABS(ECUNMAX)*1000.0-
2.0)/(3.0*ABS(ECUNMAX)*1000.0)

PARAZ=2.0*ABS(ECUNMAX)*1000.0*(3.0*ABS(ECUNMAX)*1000.0-2.0)
    Z=(ABS(ECUNMAX)*1000.0*((3.0*ABS(ECUNMAX)*1000.0)-
4.0)+2.0)/PARAZ

    FCUN1=- (A*FCUN*b*YUN)
    RMCUN1=- (FCUN1*(0.5*h-(X(L)-YUN+Z*YUN)))
    FCUNCONFINED=FCUN1
    RMCUNCONFINED=RMCUN1
    FCCONFINED=0.0
    RMCCONFINED=0.0

END IF

END IF

!2 PERIPTOSI

IF((X(L).GT.C).AND.(X(L).LE.(h-C))) THEN
    IF (ABS(ECU1).LT.ABS(ECUN)) THEN
        A=1.0/12.0*(ABS(ECU1))*1000.0*(6.0-(ABS(ECU1)*1000.0))
        Z=(8.0-(ABS(ECU1)*1000.0))/(4.0*(6.0-(ABS(ECU1)*1000.0)))

```

```

FCUN1=- (A*FCUN*b*X(L))
RMCUN1=- (FCUN1*(0.5*h-Z*X(L)))
AUN2=1.0/12.0*(ABS(EC1))*1000.0*(6.0-(ABS(EC1)*1000.0))
ZUN2=(8.0-(ABS(EC1)*1000.0))/(4.0*(6.0-(ABS(EC1)*1000.0)))
FCUN2=- (AUN2*FCUN*(b-2*C)*(X(L)-C))
RMCUN2=- (FCUN2*(0.5*h-Z*(X(L)-C)-C))
FCUNCONFINED=FCUN1-FCUN2
RMCUNCONFINED=RMCUN1-RMCUN2
Y=X(L)-c
Y1=Y/FIBERS
AREATOTAL=0.0
G=0.0
M=1.0
IFIBERS=FIBERS-1.0
DO I=0,IFIBERS
    CA=- (FCC/(ECC*ECC))
    CW=2.0*FCC/ABS(ECC)
    STRAINC(I)=ABS(EC1)*(Y-FLOAT(I)*Y1)/Y

STRESSCC(I)=CA*STRAINC(I)*STRAINC(I)+CW*ABS(STRAINC(I))
    STRAINC(M)=ABS(EC1)*(Y-FLOAT(M)*Y1)/Y

STRESSCC(M)=CA*STRAINC(M)*STRAINC(M)+CW*ABS(STRAINC(M))
    AREA(M)=(STRESSCC(I)+STRESSCC(M))/2.0*Y1
    AREATOTAL=AREATOTAL+AREA(M)
    R(M)=(2.0*FLOAT(M)-1.0)*Y1/2.0
    T(M)=FLOAT(I)*Y1+1.0/3.0*Y1
    AREATRIANG(M)=(STRESSCC(I)-STRESSCC(M))*Y1/2.0

```

```

AREAREC(M)=STRESSCC(M)*Y1
G=G+(R(M)*AREAREC(M)+T(M)*AREATRIANG(M))
M=M+1
END DO

G=G/AREATOTAL
FCCONFINED=-((AREATOTAL*(b-2.0*c))
RMCCONFINED=-((FCCONFINED*(0.5*h-c-G))
END IF

IF
((ABS(ECU1).GE.ABS(ECUN)).AND.(ABS(ECU1).LE.ABS(ECUNMAX)))
THEN

A=(3.0*ABS(ECU1)*1000.0-2.0)/(3.0*ABS(ECU1)*1000.0)
PARANOMZ=2.0*ABS(ECU1)*1000.0*(3.0*ABS(ECU1)*1000.0-
2.0)

Z=(ABS(ECU1)*1000.0*((3.0*ABS(ECU1)*1000.0)-
4.0)+2.0)/PARANOMZ

FCUN1=-((A*FCUN*b*X(L))
RMCUN1=-((FCUN1*(0.5*h-Z*X(L)))
IF (ABS(EC1).LE.ABS(ECUN)) THEN

AUN2=1.0/12.0*(ABS(EC1))*1000.0*(6.0-(ABS(EC1)*1000.0))
ZUN2=(8.0-(ABS(EC1)*1000.0))/(4.0*(6.0-(ABS(EC1)*1000.0)))
ELSE

AUN2=(3.0*ABS(EC1)*1000.0-2.0)/(3.0*ABS(EC1)*1000.0)
PARAZUN2=2.0*ABS(EC1)*1000.0*(3.0*ABS(EC1)*1000.0-
2.0)

ZUN2=(ABS(EC1)*1000.0*((3.0*ABS(EC1)*1000.0)-
4.0)+2.0)/PARAZUN2

END IF

FCUN2=-((AUN2*FCUN*(b-2*c))*(X(L)-C))

```

```

RMCUN2=- (FCUN2*(0.5*h-ZUN2*(X(L)-C)-C))
FCUNCONFINED=FCUN1-FCUN2
RMCUNCONFINED=RMCUN1-RMCUN2
Y=X(L)-c
Y1=Y/FIBERS
AREATOTAL=0.0
G=0.0
M=1.0
IFIBERS=FIBERS-1.0
DO I=0,IFIBERS
  CA=- (FCC/(ECC*ECC))
  CW=2.0*FCC/ABS(ECC)
  STRAINC(I)=ABS(EC1)*(Y-FLOAT(I)*Y1)/Y

STRESSCC(I)=CA*STRAINC(I)*STRAINC(I)+CW*ABS(STRAINC(I))
  STRAINC(M)=ABS(EC1)*(Y-FLOAT(M)*Y1)/Y

STRESSCC(M)=CA*STRAINC(M)*STRAINC(M)+CW*ABS(STRAINC(M))
  AREA(M)=(STRESSCC(I)+STRESSCC(M))/2.0*Y1
  AREATOTAL=AREATOTAL+AREA(M)
  R(M)=(2.0*FLOAT(M)-1.0)*Y1/2.0
  T(M)=FLOAT(I)*Y1+1.0/3.0*Y1
  AREATRIANG(M)=(STRESSCC(I)-STRESSCC(M))*Y1/2.0
  AREAREC(M)=STRESSCC(M)*Y1
  G=G+(R(M)*AREAREC(M)+T(M)*AREATRIANG(M))
  M=M+1
END DO
G=G/AREATOTAL

```

```

FCCONFINED=- (AREATOTAL*(b-2.0*c))
RMCCONFINED=- (FCCONFINED*(0.5*h-c-G))
END IF
IF (ABS(ECU1).GT.ABS(ECUNMAX)) THEN
YUN=ABS(ECUNMAX)*X(L)/ABS(ECU1)
IF ((X(L)-YUN).LT.c) THEN
A=(3.0*ABS(ECUNMAX)*1000.0-
2.0)/(3.0*ABS(ECUNMAX)*1000.0)
PARAZ=2.0*ABS(ECUNMAX)*1000.0*(3.0*ABS(ECUNMAX)*1000.0-2.0)
Z=(ABS(ECUNMAX)*1000.0*((3.0*ABS(ECUNMAX)*1000.0)-
4.0)+2.0)/PARAZ
FCUN1=- (A*FCUN*b*YUN)
RMCUN1=- (FCUN1*(0.5*h-(X(L)-YUN+Z*YUN)))
IF (ABS(EC1).LE.ABS(ECUN)) THEN
AUN2=1.0/12.0*(ABS(EC1))*1000.0*(6.0-
(ABS(EC1)*1000.0))
ZUN2=(8.0-(ABS(EC1)*1000.0))/(4.0*(6.0-
(ABS(EC1)*1000.0)))
ELSE
AUN2=(3.0*ABS(EC1)*1000.0-2.0)/(3.0*ABS(EC1)*1000.0)
PARAZUN2=2.0*ABS(EC1)*1000.0*(3.0*ABS(EC1)*1000.0-
2.0)
ZUN2=(ABS(EC1)*1000.0*((3.0*ABS(EC1)*1000.0)-
4.0)+2.0)/PARAZUN2
END IF
FCUN2=- (AUN2*FCUN*(b-2*C)*(X(L)-C))
RMCUN2=- (FCUN2*(0.5*h-ZUN2*(X(L)-C)-C))
FCUNCONFINED=FCUN1-FCUN2
RMCUNCONFINED=RMCUN1-RMCUN2

```

ELSE

$$A = (3.0 * \text{ABS}(\text{ECUNMAX}) * 1000.0 - 2.0) / (3.0 * \text{ABS}(\text{ECUNMAX}) * 1000.0)$$

$$\text{PARAZ} = 2.0 * \text{ABS}(\text{ECUNMAX}) * 1000.0 * (3.0 * \text{ABS}(\text{ECUNMAX}) * 1000.0 - 2.0)$$

$$Z = (\text{ABS}(\text{ECUNMAX}) * 1000.0 * ((3.0 * \text{ABS}(\text{ECUNMAX}) * 1000.0) - 4.0) + 2.0) / \text{PARAZ}$$

$$\text{FCUN1} = -(A * \text{FCUN} * b * \text{YUN})$$

$$\text{RMCUN1} = -(\text{FCUN1} * (0.5 * h - (X(L) - \text{YUN} + Z * \text{YUN})))$$

$$\text{AUN2} = (3.0 * \text{ABS}(\text{ECUNMAX}) * 1000.0 - 2.0) / (3.0 * \text{ABS}(\text{ECUNMAX}) * 1000.0)$$

$$\text{PARANOMZUN2} = 2.0 * \text{ABS}(\text{ECUNMAX}) * 1000.0 * (3.0 * \text{ABS}(\text{ECUNMAX}) * 1000.0 - 2.0)$$

$$\text{ZUN2} = (\text{ABS}(\text{ECUNMAX}) * 1000.0 * ((3.0 * \text{ABS}(\text{ECUNMAX}) * 1000.0) - 4.0) + 2.0) / \text{PARANOMZUN2}$$

$$\text{FCUN2} = -(AUN2 * \text{FCUN} * (b - 2 * C) * \text{YUN})$$

$$\text{RMCUN2} = -(\text{FCUN2} * (0.5 * h - (X(L) - \text{YUN} + \text{ZUN2} * \text{YUN})))$$

$$\text{FCUNCONFINED} = \text{FCUN1} - \text{FCUN2}$$

$$\text{RMCUNCONFINED} = \text{RMCUN1} - \text{RMCUN2}$$

END IF

!DINAMI , ROPI gia CONFINED

IF ((ABS(EC1)).LE.(ABS(ECC))) THEN

$$Y = X(L) - c$$

$$Y1 = Y / \text{FIBERS}$$

$$\text{AREATOTAL} = 0.0$$

$$G = 0.0$$

$$M = 1.0$$

$$\text{IFIBERS} = \text{FIBERS} - 1.0$$

```

DO I=0,IFIBERS
    CA=-(FCC/(ECC*ECC))
    CW=2.0*FCC/ABS(ECC)
    STRAINC(I)=ABS(EC1)*(Y-FLOAT(I)*Y1)/Y

STRESSCC(I)=CA*STRAINC(I)*STRAINC(I)+CW*ABS(STRAINC(I))
    STRAINC(M)=ABS(EC1)*(Y-FLOAT(M)*Y1)/Y

STRESSCC(M)=CA*STRAINC(M)*STRAINC(M)+CW*ABS(STRAINC(M))
    AREA(M)=(STRESSCC(I)+STRESSCC(M))/2.0*Y1
    AREATOTAL=AREATOTAL+AREA(M)
    R(M)=(2.0*FLOAT(M)-1.0)*Y1/2.0
    T(M)=FLOAT(I)*Y1+1.0/3.0*Y1
    AREATRIANG(M)=(STRESSCC(I)-STRESSCC(M))*Y1/2.0
    AREAREC(M)=STRESSCC(M)*Y1
    G=G+(R(M)*AREAREC(M)+T(M)*AREATRIANG(M))
    M=M+1
END DO

    G=G/AREATOTAL
    FCCONFINED=-((AREATOTAL*(b-2.0*c))
    RMCCONFINED=-((FCCONFINED*(0.5*h-c-G))

END IF

IF (ABS(EC1).GT.ABS(ECC)) THEN
    Y=ABS(ECC)*X(L)/ABS(ECU1)
    Y1=Y/FIBERS
    AREATOTAL=0.0
    G=0.0
    M=1.0

```



IFIBERS=FIBERS-1.0

DO I=0,IFIBERS

CA=-(FCC/(ECC\*ECC))

CW=2.0\*FCC/ABS(ECC)

STRAIN(I)=ABS(ECC)\*(Y-FLOAT(I)\*Y1)/Y

STRESSCC(I)=CA\*STRAIN(I)\*STRAIN(I)+CW\*ABS(STRAIN(I))

STRAIN(M)=ABS(ECC)\*(Y-FLOAT(M)\*Y1)/Y

STRESSCC(M)=CA\*STRAIN(M)\*STRAIN(M)+CW\*ABS(STRAIN(M))

AREA(M)=(STRESSCC(I)+STRESSCC(M))/2.0\*Y1

AREATOTAL=AREATOTAL+AREA(M)

R(M)=(2.0\*FLOAT(M)-1.0)\*Y1/2.0

T(M)=FLOAT(I)\*Y1+1.0/3.0\*Y1

AREATRIANG(M)=(STRESSCC(I)-STRESSCC(M))\*Y1/2.0

AREAREC(M)=STRESSCC(M)\*Y1

G=G+(R(M)\*AREAREC(M)+T(M)\*AREATRIANG(M))

M=M+1

END DO

G=G/AREATOTAL

! FC1 : DINAMI PERISFIGMENOU SKIRODEMATOS POU  
ANTISTIXI STO PARAVOLIKO MEROS

! TOU NOMOU TASEON-PARAMORFOSEON

FC1=-(AREATOTAL\*(b-2.0\*c))

W=0.15\*FCC/(ABS(ECC)-ABS(ECCMAX))

BB=FCC-(0.15\*FCC\*ABS(ECC)/(ABS(ECC)-ABS(ECCMAX)))

! FC2 : DINAMI SKIRODEMATOS POU ANTISTIXI STO  
TRIGONIKO MEROS

! TOU NOMOU TASEON-PARAMORFOSEON

$$\text{STRESSEC1} = W * \text{ABS}(\text{EC1}) + \text{BB}$$

$$\text{FC2} = -(\text{ABS}(\text{FCC}) - \text{ABS}(\text{STRESSEC1})) * (\text{X}(\text{L}) - \text{Y} - \text{C}) / 2.0 * (\text{b} - 2 * \text{c})$$

! MOXLOVRAXIONAS Q2 TIS DINAMIS FC2 (METRAI APO  
TIN ARXI TOU TRIGONOU

! TON TASEON APO TIN PLEURA POU TELIONI I  
THLIVOMENI ZONI

$$\text{Q2} = (1.0 / 3.0) * (\text{X}(\text{L}) - \text{Y} - \text{C})$$

! FC3 : DINAMI SKIRODEMATOS POU ANTISTIXI STO  
PARALLILOGRAMMO MEROS

! TOU NOMOU TASEON-PARAMORFOSEON

$$\text{FC3} = -(\text{ABS}(\text{STRESSEC1}) * (\text{X}(\text{L}) - \text{Y} - \text{C})) * (\text{b} - 2 * \text{c})$$

! MOXLOVRAXIONAS Q3 TIS DINAMIS FC3 (MTRAI APO TIN  
ARXI TOU PARAL/MOU

! TON TASEON APO TIN PLEURA POU TELIONI I  
THLIVOMENI ZONI

$$\text{Q3} = (\text{X}(\text{L}) - \text{Y} - \text{C}) / 2.0$$

!

$$\text{FCCONFINED} = \text{FC1} + \text{FC2} + \text{FC3}$$

!

! EURESI ROPON SKIRODEMATOS

!

$$\text{RMC1} = -(\text{FC1} * (0.5 * \text{h} - (\text{X}(\text{L}) - \text{Y} + \text{G})))$$

$$\text{RMC2} = \text{ABS}(\text{FC2}) * ((\text{h} / 2.0) - (\text{X}(\text{L}) - \text{Y} - \text{Q2}))$$

$$\text{RMC3} = \text{ABS}(\text{FC3}) * ((\text{h} / 2.0) - (\text{X}(\text{L}) - \text{Y} - \text{Q3}))$$

!

$$\text{RMCCONFINED} = \text{RMC1} + \text{RMC2} + \text{RMC3}$$

```

        END IF
    END IF
END IF
!3 PERIPTOSI
IF (X(L).GT.(h-C)) THEN
    IF (ABS(ECU1).LT.ABS(ECUN)) THEN
        A=1.0/12.0*(ABS(ECU1))*1000.0*(6.0-(ABS(ECU1)*1000.0))
        Z=(8.0-(ABS(ECU1)*1000.0))/(4.0*(6.0-(ABS(ECU1)*1000.0)))
        FCUN1=-(A*FCUN*b*X(L))
        RMCUN1=-(FCUN1*(0.5*h-Z*X(L)))
        AUN2=1.0/12.0*(ABS(EC1))*1000.0*(6.0-(ABS(EC1)*1000.0))
        ZUN2=(8.0-(ABS(EC1)*1000.0))/(4.0*(6.0-(ABS(EC1)*1000.0)))
        FCUN2=-(AUN2*FCUN*(b-2*C)*(X(L)-C))
        RMCUN2=-(FCUN2*(0.5*h-(ZUN2*(X(L)-C)+C)))
        YUN2=X(L)-(h-C)
        ECU2=ABS(ECU1)*YUN2/X(L)
        AUN3=1.0/12.0*(ABS(ECU2))*1000.0*(6.0-(ABS(ECU2)*1000.0))
        ZUN3=(8.0-(ABS(ECU2)*1000.0))/(4.0*(6.0-
(ABS(ECU2)*1000.0)))
        FCUN3=-(AUN3*FCUN*(b-2*C)*YUN2)
        RMCUN3=-(FCUN3*(0.5*h-(h-C+ZUN3*YUN2)))
        FCUNCONFINED=FCUN1-FCUN2+FCUN3
        RMCUNCONFINED=RMCUN1-RMCUN2+RMCUN3

        Y=X(L)-c
        Y1=Y/FIBERS
        AREATOTAL=0.0
    
```

```

G=0.0
M=1.0
IFIBERS=FIBERS-1.0
DO I=0,IFIBERS
    CA=-(FCC/(ECC*ECC))
    CW=2.0*FCC/ABS(ECC)
    STRAINC(I)=ABS(EC1)*(Y-FLOAT(I)*Y1)/Y

STRESSCC(I)=CA*STRAINC(I)*STRAINC(I)+CW*ABS(STRAINC(I))
    STRAINC(M)=ABS(EC1)*(Y-FLOAT(M)*Y1)/Y

STRESSCC(M)=CA*STRAINC(M)*STRAINC(M)+CW*ABS(STRAINC(M))
    AREA(M)=(STRESSCC(I)+STRESSCC(M))/2.0*Y1
    AREATOTAL=AREATOTAL+AREA(M)
    R(M)=(2.0*FLOAT(M)-1.0)*Y1/2.0
    T(M)=FLOAT(I)*Y1+1.0/3.0*Y1
    AREATRIANG(M)=(STRESSCC(I)-STRESSCC(M))*Y1/2.0
    AREAREC(M)=STRESSCC(M)*Y1
    G=G+(R(M)*AREAREC(M)+T(M)*AREATRIANG(M))
    M=M+1
END DO

G=G/AREATOTAL
FCC1=-(AREATOTAL*(b-2.0*c))
RMCC1=-(FCC1*(0.5*h-c-G))

Y=YUN2
Y1=Y/FIBERS
AREATOTAL=0.0

```

```

G=0.0
M=1.0
IFIBERS=FIBERS-1.0
DO I=0,IFIBERS
    CA=-(FCC/(ECC*ECC))
    CW=2.0*FCC/ABS(ECC)
    STRAINC(I)=ABS(ECU2)*(Y-FLOAT(I)*Y1)/Y

STRESSCC(I)=CA*STRAINC(I)*STRAINC(I)+CW*ABS(STRAINC(I))
    STRAINC(M)=ABS(ECU2)*(Y-FLOAT(M)*Y1)/Y

STRESSCC(M)=CA*STRAINC(M)*STRAINC(M)+CW*ABS(STRAINC(M))
    AREA(M)=(STRESSCC(I)+STRESSCC(M))/2.0*Y1
    AREATOTAL=AREATOTAL+AREA(M)
    R(M)=(2.0*FLOAT(M)-1.0)*Y1/2.0
    T(M)=FLOAT(I)*Y1+1.0/3.0*Y1
    AREATRIANG(M)=(STRESSCC(I)-STRESSCC(M))*Y1/2.0
    AREAREC(M)=STRESSCC(M)*Y1
    G=G+(R(M)*AREAREC(M)+T(M)*AREATRIANG(M))
    M=M+1
END DO

G=G/AREATOTAL
FCC3=-(AREATOTAL*(b-2.0*c))
    RMCC3=-(FCC3*(0.5*h-(h-c+G)))
FCCONFINED=FCC1-FCC3
RMCCONFINED=RMCC1-RMCC3
END IF

```

```

IF
((ABS(ECU1).GE.ABS(ECUN)).AND.(ABS(ECU1).LE.ABS(ECUNMAX)))
THEN

A=(3.0*ABS(ECU1)*1000.0-2.0)/(3.0*ABS(ECU1)*1000.0)

PARANOMZ=2.0*ABS(ECU1)*1000.0*(3.0*ABS(ECU1)*1000.0-
2.0)

Z=(ABS(ECU1)*1000.0*((3.0*ABS(ECU1)*1000.0)-
4.0)+2.0)/PARANOMZ

FCUN1=-(A*FCUN*b*X(L))

RMCUN1=-(FCUN1*(0.5*h-Z*X(L)))

IF (ABS(EC1).GT.ABS(ECUN)) THEN

AUN2=(3.0*ABS(EC1)*1000.0-2.0)/(3.0*ABS(EC1)*1000.0)

PARANOMZUN2=2.0*ABS(EC1)*1000.0*(3.0*ABS(EC1)*1000.0-2.0)

ZUN2=(ABS(EC1)*1000.0*((3.0*ABS(EC1)*1000.0)-
4.0)+2.0)/PARANOMZUN2

ELSE

AUN2=1.0/12.0*(ABS(EC1))*1000.0*(6.0-(ABS(EC1)*1000.0))

ZUN2=(8.0-(ABS(EC1)*1000.0))/(4.0*(6.0-(ABS(EC1)*1000.0)))

END IF

FCUN2=-(AUN2*FCUN*(b-2*C)*(X(L)-C))

RMCUN2=-(FCUN2*(0.5*h-ZUN2*(X(L)-C)-C))

YUN2=X(L)-(h-C)

ECU2=ABS(ECU1)*YUN2/X(L)

IF (ABS(ECU2).GT.ABS(ECUN)) THEN

AUN3=(3.0*ABS(ECU2)*1000.0-2.0)/(3.0*ABS(ECU2)*1000.0)

PARANOMZUN3=2.0*ABS(ECU2)*1000.0*(3.0*ABS(ECU2)*1000.0-2.0)

ZUN3=(ABS(ECU2)*1000.0*((3.0*ABS(ECU2)*1000.0)-
4.0)+2.0)/PARANOMZUN3

```

```

ELSE
    AUN3=1.0/12.0*(ABS(ECU2))*1000.0*(6.0-
(ABS(ECU2)*1000.0))
    ZUN3=(8.0-(ABS(ECU2)*1000.0))/(4.0*(6.0-
(ABS(ECU2)*1000.0)))
END IF
FCUN3=- (AUN3*FCUN*(b-2*C)*YUN2)
RMCUN3=- (FCUN3*(0.5*h-(h-C+ZUN3*YUN2)))
FCUNCONFINED=FCUN1-FCUN2+FCUN3
RMCUNCONFINED=RMCUN1-RMCUN2+RMCUN3

Y=X(L)-c
Y1=Y/FIBERS
AREATOTAL=0.0
G=0.0
M=1.0
IFIBERS=FIBERS-1.0
DO I=0,IFIBERS
    CA=-(FCC/(ECC*ECC))
    CW=2.0*FCC/ABS(ECC)
    STRAINC(I)=ABS(EC1)*(Y-FLOAT(I)*Y1)/Y

STRESSCC(I)=CA*STRAINC(I)*STRAINC(I)+CW*ABS(STRAINC(I))
    STRAINC(M)=ABS(EC1)*(Y-FLOAT(M)*Y1)/Y

STRESSCC(M)=CA*STRAINC(M)*STRAINC(M)+CW*ABS(STRAINC(M))
    AREA(M)=(STRESSCC(I)+STRESSCC(M))/2.0*Y1
    AREATOTAL=AREATOTAL+AREA(M)

```

```

R(M)=(2.0*FLOAT(M)-1.0)*Y1/2.0
T(M)=FLOAT(I)*Y1+1.0/3.0*Y1
AREATRIANG(M)=(STRESSCC(I)-STRESSCC(M))*Y1/2.0
AREAREC(M)=STRESSCC(M)*Y1
G=G+(R(M)*AREAREC(M)+T(M)*AREATRIANG(M))
M=M+1
END DO

G=G/AREATOTAL
FCC1=-(AREATOTAL*(b-2.0*c))
RMCC1=-(FCC1*(0.5*h-c-G))

Y=YUN2
Y1=Y/FIBERS
AREATOTAL=0.0
G=0.0
M=1.0
IFIBERS=FIBERS-1.0
DO I=0,IFIBERS
  CA=-(FCC/(ECC*ECC))
  CW=2.0*FCC/ABS(ECC)
  STRAINC(I)=ABS(ECU2)*(Y-FLOAT(I)*Y1)/Y

STRESSCC(I)=CA*STRAINC(I)*STRAINC(I)+CW*ABS(STRAINC(I))
  STRAINC(M)=ABS(ECU2)*(Y-FLOAT(M)*Y1)/Y

STRESSCC(M)=CA*STRAINC(M)*STRAINC(M)+CW*ABS(STRAINC(M))
  AREA(M)=(STRESSCC(I)+STRESSCC(M))/2.0*Y1
  AREATOTAL=AREATOTAL+AREA(M)

```



```

R(M)=(2.0*FLOAT(M)-1.0)*Y1/2.0
T(M)=FLOAT(I)*Y1+1.0/3.0*Y1
AREATRIANG(M)=(STRESSCC(I)-STRESSCC(M))*Y1/2.0
AREAREC(M)=STRESSCC(M)*Y1
G=G+(R(M)*AREAREC(M)+T(M)*AREATRIANG(M))
M=M+1
END DO

G=G/AREATOTAL
FCC3=-(AREATOTAL*(b-2.0*c))
RMCC3=-(FCC3*(0.5*h-(h-c+G)))
FCCONFINED=FCC1-FCC3
RMCCONFINED=RMCC1-RMCC3

END IF

IF (ABS(ECU1).GT.ABS(ECUNMAX)) THEN
YUN=ABS(ECUNMAX)*X(L)/ABS(ECU1)
YUN2=X(L)-(h-c)
ECU2=ABS(ECU1)*YUN2/X(L)
IF ((X(L)-YUN).LT.C) THEN
A=(3.0*ABS(ECUNMAX)*1000.0-
2.0)/(3.0*ABS(ECUNMAX)*1000.0)

PARANOMZ=2.0*ABS(ECUNMAX)*1000.0*(3.0*ABS(ECUNMAX)*1000.0-
2.0)

Z=(ABS(ECUNMAX)*1000.0*((3.0*ABS(ECUNMAX)*1000.0)-
4.0)+2.0)/PARANOMZ

FCUN1=-(A*FCUN*b*YUN)
RMCUN1=-(FCUN1*(0.5*h-(X(L)-YUN+Z*YUN)))

```

```

IF (ABS(EC1).GT.ABS(ECUN)) THEN
    AUN2=(3.0*ABS(EC1)*1000.0-2.0)/(3.0*ABS(EC1)*1000.0)

    PARANOMZUN2=2.0*ABS(EC1)*1000.0*(3.0*ABS(EC1)*1000.0-2.0)
    ZUN2=(ABS(EC1)*1000.0*((3.0*ABS(EC1)*1000.0)-4.0)+2.0)/PARANOMZUN2

    ELSE

    AUN2=1.0/12.0*(ABS(EC1))*1000.0*(6.0-(ABS(EC1)*1000.0))
    ZUN2=(8.0-(ABS(EC1)*1000.0))/(4.0*(6.0-(ABS(EC1)*1000.0)))

    END IF

    FCUN2=-((AUN2*FCUN*(b-2*C)*(X(L)-C))
    RMCUN2=-((FCUN2*(0.5*h-ZUN2*(X(L)-C)-C))
    YUN2=X(L)-(h-C)
    ECU2=ABS(ECU1)*YUN2/X(L)

    IF (ABS(ECU2).GT.ABS(ECUN)) THEN

    AUN3=(3.0*ABS(ECU2)*1000.0-2.0)/(3.0*ABS(ECU2)*1000.0)

    PARANOMZUN3=2.0*ABS(ECU2)*1000.0*(3.0*ABS(ECU2)*1000.0-2.0)
    ZUN3=(ABS(ECU2)*1000.0*((3.0*ABS(ECU2)*1000.0)-4.0)+2.0)/PARANOMZUN3

    ELSE

    AUN3=1.0/12.0*(ABS(ECU2))*1000.0*(6.0-(ABS(ECU2)*1000.0))
    ZUN3=(8.0-(ABS(ECU2)*1000.0))/(4.0*(6.0-(ABS(ECU2)*1000.0)))

    END IF

    FCUN3=-((AUN3*FCUN*(b-2*C)*YUN2)

```

```

RMCUN3=-((FCUN3*(0.5*h-(h-C+ZUN3*YUN2)))
FCUNCONFINED=FCUN1-FCUN2+FCUN3
RMCUNCONFINED=RMCUN1-RMCUN2+RMCUN3

```

```

Y=X(L)-c

```

```

Y1=Y/FIBERS

```

```

AREATOTAL=0.0

```

```

G=0.0

```

```

M=1.0

```

```

IFIBERS=FIBERS-1.0

```

```

DO I=0,IFIBERS

```

```

    CA=-(FCC/(ECC*ECC))

```

```

    CW=2.0*FCC/ABS(ECC)

```

```

    STRAINC(I)=ABS(EC1)*(Y-FLOAT(I)*Y1)/Y

```

```

    STRESSCC(I)=CA*STRAINC(I)*STRAINC(I)+CW*ABS(STRAINC(I))

```

```

    STRAINC(M)=ABS(EC1)*(Y-FLOAT(M)*Y1)/Y

```

```

    STRESSCC(M)=CA*STRAINC(M)*STRAINC(M)+CW*ABS(STRAINC(M))

```

```

    AREA(M)=(STRESSCC(I)+STRESSCC(M))/2.0*Y1

```

```

    AREATOTAL=AREATOTAL+AREA(M)

```

```

    R(M)=(2.0*FLOAT(M)-1.0)*Y1/2.0

```

```

    T(M)=FLOAT(I)*Y1+1.0/3.0*Y1

```

```

    AREATRIANG(M)=(STRESSCC(I)-STRESSCC(M))*Y1/2.0

```

```

    AREAREC(M)=STRESSCC(M)*Y1

```

```

    G=G+(R(M)*AREAREC(M)+T(M)*AREATRIANG(M))

```

```

    M=M+1

```

```

END DO

```

```

G=G/AREATOTAL
FCC1=- (AREATOTAL*(b-2.0*c))
RMCC1=- (FCC1*(0.5*h-c-G))

Y=YUN2
Y1=Y/FIBERS
AREATOTAL=0.0
G=0.0
M=1.0
IFIBERS=FIBERS-1.0
DO I=0,IFIBERS
    CA=- (FCC/(ECC*ECC))
    CW=2.0*FCC/ABS(ECC)
    STRAINC(I)=ABS(ECU2)*(Y-FLOAT(I)*Y1)/Y

STRESSCC(I)=CA*STRAINC(I)*STRAINC(I)+CW*ABS(STRAINC(I))
    STRAINC(M)=ABS(ECU2)*(Y-FLOAT(M)*Y1)/Y

STRESSCC(M)=CA*STRAINC(M)*STRAINC(M)+CW*ABS(STRAINC(M))
    AREA(M)=(STRESSCC(I)+STRESSCC(M))/2.0*Y1
    AREATOTAL=AREATOTAL+AREA(M)
    R(M)=(2.0*FLOAT(M)-1.0)*Y1/2.0
    T(M)=FLOAT(I)*Y1+1.0/3.0*Y1
    AREATRIANG(M)=(STRESSCC(I)-STRESSCC(M))*Y1/2.0
    AREAREC(M)=STRESSCC(M)*Y1
    G=G+(R(M)*AREAREC(M)+T(M)*AREATRIANG(M))
    M=M+1
END DO

```

$$G=G/AREATOTAL$$

$$FCC3=-(AREATOTAL*(b-2.0*c))$$

$$RMCC3=-(FCC3*(0.5*h-(h-c+G)))$$

$$FCCONFINED=FCC1-FCC3$$

$$RMCCONFINED=RMCC1-RMCC3$$

END IF

IF (((X(L)-YUN).GE.c).AND.(YUN.GE.(X(L)-(h-c)))) THEN

$$A=(3.0*ABS(ECUNMAX)*1000.0-2.0)/(3.0*ABS(ECUNMAX)*1000.0)$$

$$PARANOMZ=2.0*ABS(ECUNMAX)*1000.0*(3.0*ABS(ECUNMAX)*1000.0-2.0)$$

$$Z=(ABS(ECUNMAX)*1000.0*((3.0*ABS(ECUNMAX)*1000.0)-4.0)+2.0)/PARANOMZ$$

$$FCUN1=-(A*FCUN*b*YUN)$$

$$RMCUN1=-(FCUN1*(0.5*h-(X(L)-YUN+Z*YUN)))$$

$$AUN2=A$$

$$PARANOMZUN2=PARANOMZ$$

$$ZUN2=Z$$

$$FCUN2=-(AUN2*FCUN*(b-2*C)*(YUN))$$

$$RMCUN2=-(FCUN2*(0.5*h-(X(L)-YUN+ZUN2*YUN)))$$

$$YUN2=X(L)-(h-C)$$

$$ECU2=ABS(ECU1)*YUN2/X(L)$$

IF (ABS(ECU2).GT.ABS(ECUN)) THEN

$$AUN3=(3.0*ABS(ECU2)*1000.0-2.0)/(3.0*ABS(ECU2)*1000.0)$$

$$PARANOMZUN3=2.0*ABS(ECU2)*1000.0*(3.0*ABS(ECU2)*1000.0-2.0)$$

ZUN3=(ABS(ECU2)\*1000.0\*((3.0\*ABS(ECU2)\*1000.0)-4.0)+2.0)/PARANOMZUN3

ELSE

AUN3=1.0/12.0\*(ABS(ECU2))\*1000.0\*(6.0-(ABS(ECU2)\*1000.0))

ZUN3=(8.0-(ABS(ECU2)\*1000.0))/(4.0\*(6.0-(ABS(ECU2)\*1000.0)))

END IF

FCUN3=-(AUN3\*FCUN\*(b-2\*C)\*YUN2)

RMCUN3=-(FCUN3\*(0.5\*h-(h-C+ZUN3\*YUN2)))

FCUNCONFINED=FCUN1-FCUN2+FCUN3

RMCUNCONFINED=RMCUN1-RMCUN2+RMCUN3

!DINAMI , ROPI gia CONFINED

IF (ABS(EC1).LE.ABS(ECC)) THEN

Y=X(L)-c

Y1=Y/FIBERS

AREATOTAL=0.0

G=0.0

M=1.0

IFIBERS=FIBERS-1.0

DO I=0,IFIBERS

CA=-(FCC/(ECC\*ECC))

CW=2.0\*FCC/ABS(ECC)

STRAIN(I)=ABS(EC1)\*(Y-FLOAT(I)\*Y1)/Y

STRESSCC(I)=CA\*STRAIN(I)\*STRAIN(I)+CW\*ABS(STRAIN(I))

STRAIN(M)=ABS(EC1)\*(Y-FLOAT(M)\*Y1)/Y

STRESSCC(M)=CA\*STRAIN(M)\*STRAIN(M)+CW\*ABS(STRAIN(M))

```

        AREA(M)=(STRESSCC(I)+STRESSCC(M))/2.0*Y1
        AREATOTAL=AREATOTAL+AREA(M)
        R(M)=(2.0*FLOAT(M)-1.0)*Y1/2.0
        T(M)=FLOAT(I)*Y1+1.0/3.0*Y1
        AREATRIANG(M)=(STRESSCC(I)-
STRESSCC(M))*Y1/2.0
        AREAREC(M)=STRESSCC(M)*Y1
        G=G+(R(M)*AREAREC(M)+T(M)*AREATRIANG(M))
        M=M+1
    END DO
    G=G/AREATOTAL
    FCC1=-((AREATOTAL*(b-2.0*c))
    RMCC1=-((FCC1*(0.5*h-c-G))
        Y=YUN2
    Y1=Y/FIBERS
    AREATOTAL=0.0
    G=0.0
    M=1.0
    IFIBERS=FIBERS-1.0
    DO I=0,IFIBERS
        CA=-((FCC/(ECC*ECC))
        CW=2.0*FCC/ABS(ECC)
        STRAINC(I)=ABS(ECU2)*(Y-FLOAT(I)*Y1)/Y
STRESSCC(I)=CA*STRAINC(I)*STRAINC(I)+CW*ABS(STRAINC(I))
        STRAINC(M)=ABS(ECU2)*(Y-FLOAT(M)*Y1)/Y
STRESSCC(M)=CA*STRAINC(M)*STRAINC(M)+CW*ABS(STRAINC(M))

```

```

        AREA(M)=(STRESSCC(I)+STRESSCC(M))/2.0*Y1
        AREATOTAL=AREATOTAL+AREA(M)
        R(M)=(2.0*FLOAT(M)-1.0)*Y1/2.0
        T(M)=FLOAT(I)*Y1+1.0/3.0*Y1
        AREATRIANG(M)=(STRESSCC(I)-
STRESSCC(M))*Y1/2.0
        AREAREC(M)=STRESSCC(M)*Y1
        G=G+(R(M)*AREAREC(M)+T(M)*AREATRIANG(M))
        M=M+1
    END DO
    G=G/AREATOTAL
    FCC3=- (AREATOTAL*(b-2.0*c))
    RMCC3=- (FCC3*(0.5*h-(h-c+G)))
    FCCONFINED=FCC1-FCC3
    RMCCONFINED=RMCC1-RMCC3
END IF
IF (ABS(EC1).GT.ABS(ECC)) THEN
    Y=ABS(ECC)*X(L)/ABS(ECU1)
    Y1=Y/FIBERS
AREATOTAL=0.0
G=0.0
M=1.0
IFIBERS=FIBERS-1.0
DO I=0,IFIBERS
    CA=- (FCC/(ECC*ECC))
    CW=2.0*FCC/ABS(ECC)
    STRAINC(I)=ABS(ECC)*(Y-FLOAT(I)*Y1)/Y

```



```

STRESSCC(I)=CA*STRAIN(I)*STRAIN(I)+CW*ABS(STRAIN(I))
      STRAIN(M)=ABS(ECC)*(Y-FLOAT(M)*Y1)/Y

STRESSCC(M)=CA*STRAIN(M)*STRAIN(M)+CW*ABS(STRAIN(M))
      AREA(M)=(STRESSCC(I)+STRESSCC(M))/2.0*Y1
      AREATOTAL=AREATOTAL+AREA(M)
      R(M)=(2.0*FLOAT(M)-1.0)*Y1/2.0
      T(M)=FLOAT(I)*Y1+1.0/3.0*Y1
      AREATRIANG(M)=(STRESSCC(I)-
STRESSCC(M))*Y1/2.0
      AREAREC(M)=STRESSCC(M)*Y1
      G=G+(R(M)*AREAREC(M)+T(M)*AREATRIANG(M))
      M=M+1
END DO
      G=G/AREATOTAL
      FC1=-((AREATOTAL*(b-2.0*c))

      W=0.15*FCC/(ABS(ECC)-ABS(ECCMAX))
      BB=FCC-(0.15*FCC*ABS(ECC))/(ABS(ECC)-
ABS(ECCMAX)))
      ! FC1 : DINAMI PERISFIGMENOU SKIRODEMATOS
      POU ANTISTIXI STO PARAVOLIKO MEROS
      ! TOU NOMOU TASEON-PARAMORFOSEON

      ! FC2 : DINAMI SKIRODEMATOS POU ANTISTIXI STO
      TRIGONIKO MEROS
      ! TOU NOMOU TASEON-PARAMORFOSEON

```

$$\text{STRESSEC1} = W * \text{ABS}(\text{EC1}) + \text{BB}$$

$$\text{FC2} = -(\text{ABS}(\text{FCC}) - \text{ABS}(\text{STRESSEC1})) * (\text{X}(\text{L}) - \text{Y} - \text{C}) / 2.0 * (\text{b} - 2 * \text{c})$$

! MOXLOVRAXIONAS Q2 TIS DINAMIS FC2 (METRAI APO TIN ARXI TOU TRIGONOU

! TON TASEON APO TIN PLEURA POU TELIONI I THLIVOMENI ZONI

$$\text{Q2} = (1.0 / 3.0) * (\text{X}(\text{L}) - \text{Y} - \text{C})$$

! FC3 : DINAMI SKIRODEMATOS POU ANTISTIXI STO PARALLILOGRAMMO MEROS

! TOU NOMOU TASEON-PARAMORFOSEON

$$\text{FC3} = -(\text{ABS}(\text{STRESSEC1}) * (\text{X}(\text{L}) - \text{Y} - \text{C})) * (\text{b} - 2 * \text{c})$$

! MOXLOVRAXIONAS Q3 TIS DINAMIS FC3 (MTRAI APO TIN ARXI TOU PARAL/MOU

! TON TASEON APO TIN PLEURA POU TELIONI I THLIVOMENI ZONI

$$\text{Q3} = (\text{X}(\text{L}) - \text{Y} - \text{C}) / 2.0$$

!

!

! EURESI ROPON SKIRODEMATOS

!

$$\text{RMC1} = -(\text{FC1} * (0.5 * \text{h} - (\text{G} + \text{X}(\text{L}) - \text{Y})))$$

$$\text{RMC2} = \text{ABS}(\text{FC2}) * ((\text{h} / 2.0) - (\text{X}(\text{L}) - \text{Y} - \text{Q2}))$$

$$\text{RMC3} = \text{ABS}(\text{FC3}) * ((\text{h} / 2.0) - (\text{X}(\text{L}) - \text{Y} - \text{Q3}))$$

$$\text{YUN2} = \text{X}(\text{L}) - (\text{h} - \text{c})$$

$$\text{Y} = \text{YUN2}$$

$$\text{Y1} = \text{Y} / \text{FIBERS}$$

$$\text{AREATOTAL} = 0.0$$

$$\text{G} = 0.0$$

```

M=1.0
IFIBERS=FIBERS-1.0
DO I=0,IFIBERS
    CA=-(FCC/(ECC*ECC))
    CW=2.0*FCC/ABS(ECC)
    STRAINC(I)=ABS(ECU2)*(Y-FLOAT(I)*Y1)/Y

STRESSCC(I)=CA*STRAINC(I)*STRAINC(I)+CW*ABS(STRAINC(I))
    STRAINC(M)=ABS(ECU2)*(Y-FLOAT(M)*Y1)/Y

STRESSCC(M)=CA*STRAINC(M)*STRAINC(M)+CW*ABS(STRAINC(M))
    AREA(M)=(STRESSCC(I)+STRESSCC(M))/2.0*Y1
    AREATOTAL=AREATOTAL+AREA(M)
    R(M)=(2.0*FLOAT(M)-1.0)*Y1/2.0
    T(M)=FLOAT(I)*Y1+1.0/3.0*Y1
    AREATRIANG(M)=(STRESSCC(I)-
STRESSCC(M))*Y1/2.0
    AREAREC(M)=STRESSCC(M)*Y1
    G=G+(R(M)*AREAREC(M)+T(M)*AREATRIANG(M))
    M=M+1
END DO

G=G/AREATOTAL
FCC3=-(AREATOTAL*(b-2.0*c))
RMCC3=-(FCC3*(0.5*h-(h-c+G)))

!

FCCONFINED=FC1+FC2+FC3-FCC3

```

```

RMCCONFINED=RMC1+RMC2+RMC3-RMCC3
END IF
END IF
IF (((X(L)-YUN).GE.c).AND.(YUN.LT.(X(L)-(h-c)))) THEN
    YUN2=X(L)-(h-c)
    A=(3.0*ABS(ECUNMAX)*1000.0-
2.0)/(3.0*ABS(ECUNMAX)*1000.0)
    PARANOMZ=2.0*ABS(ECUNMAX)*1000.0*(3.0*ABS(ECUNMAX)*1000.0-
2.0)
    Z=(ABS(ECUNMAX)*1000.0*((3.0*ABS(ECUNMAX)*1000.0)-
4.0)+2.0)/PARANOMZ
    FCUN1=-(A*FCUN*b*YUN)
    J=(X(L)-YUN)-(h-C)
    RMCUN1=-(FCUN1*(0.5*h-(h-C+J+Z*YUN)))
    FCUNCONFINED=FCUN1
    RMCUNCONFINED=RMCUN1
    !DINAMI , ROPI gia CONFINED
IF (ABS(EC1).LE.ABS(ECC)) THEN
    Y=X(L)-c
    Y1=Y/FIBERS
    AREATOTAL=0.0
    G=0.0
    M=1.0
    IFIBERS=FIBERS-1.0
    DO I=0,IFIBERS
        CA=-(FCC/(ECC*ECC))

```

```

        CW=2.0*FCC/ABS(ECC)
        STRAINC(I)=ABS(EC1)*(Y-FLOAT(I)*Y1)/Y

STRESSCC(I)=CA*STRAINC(I)*STRAINC(I)+CW*ABS(STRAINC(I))
        STRAINC(M)=ABS(EC1)*(Y-FLOAT(M)*Y1)/Y

STRESSCC(M)=CA*STRAINC(M)*STRAINC(M)+CW*ABS(STRAINC(M))
        AREA(M)=(STRESSCC(I)+STRESSCC(M))/2.0*Y1
        AREATOTAL=AREATOTAL+AREA(M)
        R(M)=(2.0*FLOAT(M)-1.0)*Y1/2.0
        T(M)=FLOAT(I)*Y1+1.0/3.0*Y1
        AREATRIANG(M)=(STRESSCC(I)-
STRESSCC(M))*Y1/2.0
        AREAREC(M)=STRESSCC(M)*Y1
        G=G+(R(M)*AREAREC(M)+T(M)*AREATRIANG(M))
        M=M+1
END DO

        G=G/AREATOTAL

FCC1=-((AREATOTAL*(b-2.0*c))
RMCC1=-((FCC1*(0.5*h-c-G))

Y=YUN2
Y1=Y/FIBERS
AREATOTAL=0.0
G=0.0
M=1.0
IFIBERS=FIBERS-1.0
DO I=0,IFIBERS

```

```

        CA=- (FCC/(ECC*ECC))
        CW=2.0*FCC/ABS(ECC)
        STRAINC(I)=ABS(ECU2)*(Y-FLOAT(I)*Y1)/Y

STRESSCC(I)=CA*STRAINC(I)*STRAINC(I)+CW*ABS(STRAINC(I))
        STRAINC(M)=ABS(ECU2)*(Y-FLOAT(M)*Y1)/Y

STRESSCC(M)=CA*STRAINC(M)*STRAINC(M)+CW*ABS(STRAINC(M))
        AREA(M)=(STRESSCC(I)+STRESSCC(M))/2.0*Y1
        AREATOTAL=AREATOTAL+AREA(M)
        R(M)=(2.0*FLOAT(M)-1.0)*Y1/2.0
        T(M)=FLOAT(I)*Y1+1.0/3.0*Y1
        AREATRIANG(M)=(STRESSCC(I)-
STRESSCC(M))*Y1/2.0
        AREAREC(M)=STRESSCC(M)*Y1
        G=G+(R(M)*AREAREC(M)+T(M)*AREATRIANG(M))
        M=M+1
END DO

G=G/AREATOTAL
FCC3=- (AREATOTAL*(b-2.0*c))
        RMCC3=- (FCC3*(0.5*h-(h-c+G)))
FCCONFINED=FCC1-FCC3
RMCCONFINED=RMCC1-RMCC3

ELSE

Y=ABS(ECC)*X(L)/ABS(ECU1)

Y1=Y/FIBERS

```

```

AREATOTAL=0.0

G=0.0

M=1.0

IFIBERS=FIBERS-1.0

DO I=0,IFIBERS
    CA=-(FCC/(ECC*ECC))
    CW=2.0*FCC/ABS(ECC)
    STRAINC(I)=ABS(ECC)*(Y-FLOAT(I)*Y1)/Y

STRESSCC(I)=CA*STRAINC(I)*STRAINC(I)+CW*ABS(STRAINC(I))
    STRAINC(M)=ABS(ECC)*(Y-FLOAT(M)*Y1)/Y

STRESSCC(M)=CA*STRAINC(M)*STRAINC(M)+CW*ABS(STRAINC(M))
    AREA(M)=(STRESSCC(I)+STRESSCC(M))/2.0*Y1
    AREATOTAL=AREATOTAL+AREA(M)
    R(M)=(2.0*FLOAT(M)-1.0)*Y1/2.0
    T(M)=FLOAT(I)*Y1+1.0/3.0*Y1
    AREATRIANG(M)=(STRESSCC(I)-
STRESSCC(M))*Y1/2.0
    AREAREC(M)=STRESSCC(M)*Y1
    G=G+(R(M)*AREAREC(M)+T(M)*AREATRIANG(M))
    M=M+1
END DO

G=G/AREATOTAL

FC1=-(AREATOTAL*(b-2.0*c))

W=0.15*FCC/(ABS(ECC)-ABS(ECCMAX))

```

BB=FCC-(0.15\*FCC\*ABS(ECC)/(ABS(ECC)-  
ABS(ECCMAX)))

! FC1 : DINAMI PERISFIGMENOU SKIRODEMATOS  
POU ANTISTIXI STO PARAVOLIKO MEROS

! TOU NOMOU TASEON-PARAMORFOSEON

! FC2 : DINAMI SKIRODEMATOS POU ANTISTIXI STO  
TRIGONIKO MEROS

! TOU NOMOU TASEON-PARAMORFOSEON

STRESSEC1=W\*ABS(EC1)+BB

FC2=-((ABS(FCC)-ABS(STRESSEC1))\*(X(L)-Y-C)/2.0\*(b-  
2\*c)

! MOXLOVRAXIONAS Q2 TIS DINAMIS FC2 (METRAI  
APO TIN ARXI TOU TRIGONOU

! TON TASEON APO TIN PLEURA POU TELIONI I  
THLIVOMENI ZONI

Q2=(1.0/3.0)\*(X(L)-Y-C)

! FC3 : DINAMI SKIRODEMATOS POU ANTISTIXI STO  
PARALLILOGRAMMO MEROS

! TOU NOMOU TASEON-PARAMORFOSEON

FC3=-((ABS(STRESSEC1))\*(X(L)-Y-C))\*(b-2\*c)

! MOXLOVRAXIONAS Q3 TIS DINAMIS FC3 (MTRAI  
APO TIN ARXI TOU PARAL/MOU

! TON TASEON APO TIN PLEURA POU TELIONI I  
THLIVOMENI ZONI

Q3=(X(L)-Y-C)/2.0

!

!

! EURESI ROPON SKIRODEMATOS

!



```

RMC1=-((FC1*(0.5*h-(G+X(L)-Y)))
RMC2=ABS(FC2)*((h/2.0)-(X(L)-Y-Q2))
RMC3=ABS(FC3)*((h/2.0)-(X(L)-Y-Q3))
YUN2=X(L)-(h-c)
Y=YUN2
Y1=Y/FIBERS
AREATOTAL=0.0
G=0.0
M=1.0
IFIBERS=FIBERS-1.0
DO I=0,IFIBERS
    CA=-((FCC/(ECC*ECC))
    CW=2.0*FCC/ABS(ECC)
    STRAINC(I)=ABS(ECU2)*(Y-FLOAT(I)*Y1)/Y

STRESSCC(I)=CA*STRAINC(I)*STRAINC(I)+CW*ABS(STRAINC(I))
    STRAINC(M)=ABS(ECU2)*(Y-FLOAT(M)*Y1)/Y

STRESSCC(M)=CA*STRAINC(M)*STRAINC(M)+CW*ABS(STRAINC(M))
    AREA(M)=(STRESSCC(I)+STRESSCC(M))/2.0*Y1
    AREATOTAL=AREATOTAL+AREA(M)
    R(M)=(2.0*FLOAT(M)-1.0)*Y1/2.0
    T(M)=FLOAT(I)*Y1+1.0/3.0*Y1
    AREATRIANG(M)=(STRESSCC(I)-
STRESSCC(M))*Y1/2.0
    AREAREC(M)=STRESSCC(M)*Y1
    G=G+(R(M)*AREAREC(M)+T(M)*AREATRIANG(M))
    M=M+1

```

END DO

G=G/AREATOTAL

FCC1=- (AREATOTAL\*(b-2.0\*c))

RMCC1=- (FCC1\*(0.5\*h-(h-c+G)))

IF (ABS(ECU2).GT.ABS(ECC)) THEN

Y=ABS(ECC)\*X(L)/ABS(ECU1)

Y1=Y/FIBERS

AREATOTAL=0.0

G=0.0

M=1.0

IFIBERS=FIBERS-1.0

DO I=0,IFIBERS

CA=- (FCC/(ECC\*ECC))

CW=2.0\*FCC/ABS(ECC)

STRAIN(I)=ABS(ECC)\*(Y-FLOAT(I)\*Y1)/Y

STRESSCC(I)=CA\*STRAIN(I)\*STRAIN(I)+CW\*ABS(STRAIN(I))

STRAIN(M)=ABS(ECC)\*(Y-FLOAT(M)\*Y1)/Y

STRESSCC(M)=CA\*STRAIN(M)\*STRAIN(M)+CW\*ABS(STRAIN(M))

AREA(M)=(STRESSCC(I)+STRESSCC(M))/2.0\*Y1

AREATOTAL=AREATOTAL+AREA(M)

R(M)=(2.0\*FLOAT(M)-1.0)\*Y1/2.0

T(M)=FLOAT(I)\*Y1+1.0/3.0\*Y1

```

AREATRIANG(M)=(STRESSCC(I)-
STRESSCC(M))*Y1/2.0
AREAREC(M)=STRESSCC(M)*Y1
G=G+(R(M)*AREAREC(M)+T(M)*AREATRIANG(M))
M=M+1
END DO
G=G/AREATOTAL
FCC1=-(AREATOTAL*(b-2.0*c))
RMCC1=-(FCC1*(0.5*h-(h-c+G)))
STRESSECU2=W*ABS(ECU2)+BB
FCC2=-(ABS(FCC)-ABS(STRESSECU2))*(YUN2-
Y)/2.0*(b-2*c)
QQ2=(1.0/3.0)*(YUN2-Y)
FCC3=-(ABS(STRESSECU2)*(YUN2-Y))*(b-2*c)
QQ3=(YUN2-Y)/2.0
RMCC2=ABS(FCC2)*((h/2.0)-(X(L)-Y-QQ2))
RMCC3=ABS(FCC3)*((h/2.0)-(X(L)-Y-QQ3))
END IF
END IF
!
FCCONFINED=FC1+FC2+FC3-FCC1-FCC2-FCC3
RMCCONFINED=RMC1+RMC2+RMC3-RMCC1-RMCC2-
RMCC3
END IF
END IF
END IF
RNTOTAL(L)=SUMFS+FCUNCONFINED +FCCONFINED
RMTOTAL(L)=SUMMS+RMCUNCONFINED +RMCCONFINED

```

```

RKABIL(L)=ABS(ECU1)/X(L)
! KATAXORISI APOTELESMATON SE ARXEIO
WRITE(9,20)L,ECU1,ES2(L),X(L)
,RNTOTAL(L),RMTOTAL(L),RKABIL(L)
20  FORMAT(1X,I2,3X,F9.6,3X,F6.4,3X,F6.3,3X,F12.2,3X,F12.2,3X,F12.8)
L=L+1
END DO
! EURESI Simio gia MU=0.0
! OLES OI DINAMEIS THETIKES
! OI PARAMORFOSEIS ME TO PROSIMO TOUS
YIELD=FY/E
ES(1)=YIELD
F(1)=AS*E*ABS(ES(1))/10.0 ! DINAMI PLEON THLIVOMENOU
XALIVA
ES(K)=YIELD ! PARAMORFOSI PLEON EFELKIOMENOU XALIVA
F(K)=AS*E*ABS(ES(K))/10.0 ! DINAMI PLEON EFELKYOMENOU
XALIVA
! EURESI PARAMORFOSEON ENDIAMESON XALIVON
IMAX=K-2
DO I=1,IMAX
ES(1+I)=YIELD
! EURESI DINAMEON ENDIAMESON XALIVON
F(1+I)=ASMIDDLE*E*ABS(ES(1+I))/10.0
END DO
! EURESI ROPON ENDIAMESON XALIVON
DO I=1,K

```

```

    RM(I)=ABS(F(I)*(FLOAT(K)-2.0*FLOAT(I)+1.0)*DY/2.0)
END DO
! PROSTHESI ROPON (THETIKI I ANTIOROLOGIAKI FORA)
! PROSTHESI DINAMEON
SUMMS=0.0
SUMFS=0.0
DO I=1,K
    IF (ES(I).LE.0.0) THEN
        IF ((c+(DD/2.0)+DY*(FLOAT(I)-1.0)).LE.(h/2.0)) THEN
            RM(I)=ABS(RM(I))
        ELSE
            RM(I)=-ABS(RM(I))
        END IF
    ELSE
        IF ((c+(DD/2.0)+DY*(FLOAT(I)-1.0)).LE.(h/2.0)) THEN
            RM(I)=-ABS(RM(I))
        ELSE
            RM(I)=ABS(RM(I))
        END IF
    END IF
    SUMMS=SUMMS+RM(I)
    IF (ES(I).LE.0.0) THEN
        F(I)=-ABS(F(I))
    ELSE
        F(I)=ABS(F(I))
    END IF
    SUMFS=SUMFS+F(I)

```

```
END DO
FAKE=0.0
WRITE(9,30)FAKE,FAKE,FAKE,FAKE,SUMFS,SUMMS,FAKE
30
FORMAT(1X,F2.0,3X,F9.5,3X,F6.3,3X,F6.3,3X,F12.2,3X,F12.2,3X,F12
.2)
END PROGRAM My
```

PROGRAM Mcr  
DIMENSION X(200)  
DIMENSION ES2(200)  
DIMENSION RNTOTAL(200)  
DIMENSION RMTOTAL(200)  
DIMENSION RKABIL(200)  
DIMENSION F(200)  
DIMENSION ES(200)  
DIMENSION RM(200)  
DIMENSION STRAINC(200)  
DIMENSION STRESSCC(200)  
DIMENSION AREA(200)  
DIMENSION R(200)  
DIMENSION T(200)  
DIMENSION AREATRIANG(200)  
DIMENSION AREAREC(200)

! DEDOMENA

AS=7.634                   ! EMBADO AKRAIAS STATHMIS  
OPLISMOU (cm2)

ASMIDDLE=5.089           ! EMBADO MESAIAS STATHMIS  
OPLISMOU (cm2)

DD=0.018                   ! DIAMETROS SIDERON (m)

K=3                         ! ARITHMOS STATHMEON OPLISMON

h=0.35                     ! IPSOS DIATOMIS (m)

d=0.302                    ! STATIKO IPSOS DIATOMIS (m)

b=0.35                     ! PLATOS DIATOMIS (m)

c=0.03                     ! EPIKALIPSI DIATOMIS (m)

FY=500.0 ! TASI DIAROIS XALYBA (MPa)  
 E=200000.0 ! METRO ELASTIKOTITAS XALYBA  
 (MPa)  
 ESY=FY/E ! PARAMORFOSI DIAROIS XALYBA  
 FCC=34317.0 ! MAX TASI PERISFIGMENOY  
 SKYRODEMATOS  
 ECC=-0.003769 ! PARAMORFOSI SKYRODEMATOS POU  
 ANTISTIXEI STIN FCC (arnitiki timi)  
 ECCMAX=-0.023316 ! PARAMORFOSI SKYRODEMATOS POU  
 ANTISTIXEI STO 0,85 TIS FCC (arnitiki timi)  
 FCUN=25000 ! MAX TASI APERISFIKTOU  
 SKYRODEMATOS  
 ECUN=-0.002 ! PARAMORFOSI SKYRODEMATOS POU  
 ANTISTIXEI STIN FCUN (arnitiki timi)  
 ECUNMAX=-0.0035 ! MAX PARAMORFOSI APESFIKTOU  
 SKYRODEMATOS (arnitiki timi)  
 Ec=30500.0 ! METRO ELASTIKOTITAS  
 SKYRODEMATOS (MPa)  
 Fctm=2.6 ! EFELKYSTIKI ANTOXI SKYRODEMATOS  
 (MPa)  
 Ect=Fctm/Ec  
  
 FIBERS=50.0 ! ARITHMOS INON GIA TIN OLOKLIROSI  
 TON TASEON TOU PERISFIGMENOY SKYRODEMATOS

!TELOS DEDOMENON

DY=(d-c-(DD/2.0))/(FLOAT(K)-1.0)

STEP=ABS(ECCMAX)/100.0

L=1



```

OPEN(unit=9,file="apotelesmataMcr.txt")
WRITE(9,10)"L","ECU1","ES2","X","NTOTAL","MTOTAL","KABILOTIT
A"
10  FORMAT(2x,a,4x,a,6x,a,6x,a,11x,a,10x,a,8x,a)

DO ECU1=ECCMAX,-0.00001,STEP
EC2=Ect
X(L)=ABS(ECU1)*h/(ABS(EC2)+ABS(ECU1))
EC1=(X(L)-C)*ECU1/X(L)
ES2(L)=ABS(ECU1)*(d-X(L))/X(L)
! EURESI DINAMEON KAI ROPON TON OPLISMON
! OLES OI DINAMEIS THETIKES
! OI PARAMORFOSEIS ME TO PROSIMO TOUS
YIELD=FY/E
ES(1)=(X(L)-c-(DD/2.0))*ECU1/X(L)
IF (ABS(ES(1)).LT.YIELD) THEN
    F(1)=AS*E*ABS(ES(1))/10.0
ELSE
    F(1)=AS*FY/10.0 ! DINAMI PLEON THLIVOMENOU XALIVA
END IF
ES(K)=ES2(L) ! PARAMORFOSI PLEON EFELKIOMENOU XALIVA
IF (ABS(ES(K)).LT.YIELD) THEN
    F(K)=AS*E*ABS(ES(K))/10.0 ! DINAMI PLEON THLIVOMENOU
XALIVA
ELSE
    F(K)=AS*FY/10.0 ! DINAMI PLEON THLIVOMENOU XALIVA
END IF
! EURESI PARAMORFOSEON ENDIAMESON XALIVON

```

```

IMAX=K-2
DO I=1,IMAX
    ES(1+I)=(X(L)-(I*DY)-(c+DD/2.0))*ECU1/X(L)
! EURESI DINAMEON ENDIAMESON XALIVON
    IF (ABS(ES(1+I)).LT.YIELD) THEN
        F(1+I)=ASMIDDLE*E*ABS(ES(1+I))/10.0
    ELSE
        F(1+I)=ASMIDDLE*FY/10.0
    END IF
END DO
! EURESI ROPON ENDIAMESON XALIVON
DO I=1,K
    RM(I)=ABS(F(I))*(FLOAT(K)-2.0*FLOAT(I)+1.0)*DY/2.0
END DO
! PROSTHESI ROPON (THETIKI I ANTIOROLOGIAKI FOR A)
! PROSTHESI DINAMEON
SUMMS=0.0
SUMFS=0.0
DO I=1,K
    IF (ES(I).LE.0.0) THEN
        IF ((c+(DD/2.0)+DY*(FLOAT(I)-1.0)).LE.(h/2.0)) THEN
            RM(I)=ABS(RM(I))
        ELSE
            RM(I)=-ABS(RM(I))
        END IF
    ELSE
        IF ((c+(DD/2.0)+DY*(FLOAT(I)-1.0)).LE.(h/2.0)) THEN

```

```

        RM(I)=-ABS(RM(I))
    ELSE
        RM(I)=ABS(RM(I))
    END IF
END IF
SUMMS=SUMMS+RM(I)
IF (ES(I).LE.0.0) THEN
    F(I)=-ABS(F(I))
ELSE
    F(I)=ABS(F(I))
END IF
SUMFS=SUMFS+F(I)
END DO
! EURESI DINAMEON KAI ROPON GIA TO SKIRODEMA
! 1 PERIPTOSI
IF (X(L).LE.c) THEN
!
    IF (ABS(ECU1).LT.ABS(ECUN)) THEN
        A=1.0/12.0*(ABS(ECU1))*1000.0*(6.0-(ABS(ECU1)*1000.0))
        Z=(8.0-(ABS(ECU1)*1000.0))/(4.0*(6.0-(ABS(ECU1)*1000.0)))
        FCUN1=-(A*FCUN*b*X(L))
        RMCUN1=-(FCUN1*(0.5*h-Z*X(L)))
        FCUNCONFINED=FCUN1
        RMCUNCONFINED=RMCUN1
        FCCONFINED=0.0
        RMCCONFINED=0.0
    END IF

```

```

!
IF (ABS(ECU1).GE.ABS(ECUN)) THEN
    A=(3.0*ABS(ECU1)*1000.0-2.0)/(3.0*ABS(ECU1)*1000.0)
    PARANOMZ=2.0*ABS(ECU1)*1000.0*(3.0*ABS(ECU1)*1000.0-
2.0)
    Z=(ABS(ECU1)*1000.0*((3.0*ABS(ECU1)*1000.0)-
4.0)+2.0)/PARANOMZ
    FCUN1=- (A*FCUN*b*X(L))
    RMCUN1=- (FCUN1*(0.5*h-Z*X(L)))
    FCUNCONFINED=FCUN1
    RMCUNCONFINED=RMCUN1
    FCCONFINED=0.0
    RMCCONFINED=0.0
END IF

IF (ABS(ECU1).GT.ABS(ECUNMAX)) THEN
    YUN=ABS(ECUNMAX)*X(L)/ABS(ECU1)
    A=(3.0*ABS(ECUNMAX)*1000.0-
2.0)/(3.0*ABS(ECUNMAX)*1000.0)
    PARAZ=2.0*ABS(ECUNMAX)*1000.0*(3.0*ABS(ECUNMAX)*1000.0-2.0)
    Z=(ABS(ECUNMAX)*1000.0*((3.0*ABS(ECUNMAX)*1000.0)-
4.0)+2.0)/PARAZ
    FCUN1=- (A*FCUN*b*YUN)
    RMCUN1=- (FCUN1*(0.5*h-(X(L)-YUN+Z*YUN)))
    FCUNCONFINED=FCUN1
    RMCUNCONFINED=RMCUN1
    FCCONFINED=0.0
    RMCCONFINED=0.0
END IF

```

```

END IF
!2 PERIPTOSI
IF((X(L).GT.C).AND.(X(L).LE.(h-C))) THEN
  IF (ABS(ECU1).LT.ABS(ECUN)) THEN
    A=1.0/12.0*(ABS(ECU1))*1000.0*(6.0-(ABS(ECU1)*1000.0))
    Z=(8.0-(ABS(ECU1)*1000.0))/(4.0*(6.0-(ABS(ECU1)*1000.0)))
    FCUN1=-(A*FCUN*b*X(L))
    RMCUN1=-(FCUN1*(0.5*h-Z*X(L)))
    AUN2=1.0/12.0*(ABS(EC1))*1000.0*(6.0-(ABS(EC1)*1000.0))
    ZUN2=(8.0-(ABS(EC1)*1000.0))/(4.0*(6.0-(ABS(EC1)*1000.0)))
    FCUN2=-(AUN2*FCUN*(b-2*C)*(X(L)-C))
    RMCUN2=-(FCUN2*(0.5*h-Z*(X(L)-C)-C))
    FCUNCONFINED=FCUN1-FCUN2
    RMCUNCONFINED=RMCUN1-RMCUN2
    Y=X(L)-c
    Y1=Y/FIBERS
    AREATOTAL=0.0
    G=0.0
    M=1.0
    IFIBERS=FIBERS-1.0
    DO I=0,IFIBERS
      CA=-(FCC/(ECC*ECC))
      CW=2.0*FCC/ABS(ECC)
      STRAINC(I)=ABS(EC1)*(Y-FLOAT(I)*Y1)/Y
    STRESSCC(I)=CA*STRAINC(I)*STRAINC(I)+CW*ABS(STRAINC(I))
      STRAINC(M)=ABS(EC1)*(Y-FLOAT(M)*Y1)/Y

```

STRESSCC(M)=CA\*STRAIN(I)\*STRAIN(I)+CW\*ABS(STRAIN(I))

AREA(M)=(STRESSCC(I)+STRESSCC(M))/2.0\*Y1

AREATOTAL=AREATOTAL+AREA(M)

R(M)=(2.0\*FLOAT(M)-1.0)\*Y1/2.0

T(M)=FLOAT(I)\*Y1+1.0/3.0\*Y1

AREATRIANG(M)=(STRESSCC(I)-STRESSCC(M))\*Y1/2.0

AREAREC(M)=STRESSCC(M)\*Y1

G=G+(R(M)\*AREAREC(M)+T(M)\*AREATRIANG(M))

M=M+1

END DO

G=G/AREATOTAL

FCCONFINED=- (AREATOTAL\*(b-2.0\*c))

RMCCONFINED=- (FCCONFINED\*(0.5\*h-c-G))

END IF

IF

((ABS(ECU1).GE.ABS(ECUN)).AND.(ABS(ECU1).LE.ABS(ECUNMAX)))

THEN

A=(3.0\*ABS(ECU1)\*1000.0-2.0)/(3.0\*ABS(ECU1)\*1000.0)

PARANOMZ=2.0\*ABS(ECU1)\*1000.0\*(3.0\*ABS(ECU1)\*1000.0-  
2.0)

Z=(ABS(ECU1)\*1000.0\*((3.0\*ABS(ECU1)\*1000.0)-  
4.0)+2.0)/PARANOMZ

FCUN1=- (A\*FCUN\*b\*X(L))

RMCUN1=- (FCUN1\*(0.5\*h-Z\*X(L)))

IF (ABS(EC1).LE.ABS(ECUN)) THEN

AUN2=1.0/12.0\*(ABS(EC1))\*1000.0\*(6.0-(ABS(EC1)\*1000.0))

ZUN2=(8.0-(ABS(EC1)\*1000.0))/(4.0\*(6.0-(ABS(EC1)\*1000.0)))

ELSE

```

      AUN2=(3.0*ABS(EC1)*1000.0-2.0)/(3.0*ABS(EC1)*1000.0)
      PARAZUN2=2.0*ABS(EC1)*1000.0*(3.0*ABS(EC1)*1000.0-
2.0)
      ZUN2=(ABS(EC1)*1000.0*((3.0*ABS(EC1)*1000.0)-
4.0)+2.0)/PARAZUN2
      END IF
      FCUN2=- (AUN2*FCUN*(b-2*C)*(X(L)-C))
      RMCUN2=- (FCUN2*(0.5*h-ZUN2*(X(L)-C)-C))
      FCUNCONFINED=FCUN1-FCUN2
      RMCUNCONFINED=RMCUN1-RMCUN2
      Y=X(L)-c
      Y1=Y/FIBERS
      AREATOTAL=0.0
      G=0.0
      M=1.0
      IFIBERS=FIBERS-1.0
      DO I=0,IFIBERS
        CA=- (FCC/(ECC*ECC))
        CW=2.0*FCC/ABS(ECC)
        STRAINC(I)=ABS(EC1)*(Y-FLOAT(I)*Y1)/Y

      STRESSCC(I)=CA*STRAINC(I)*STRAINC(I)+CW*ABS(STRAINC(I))
        STRAINC(M)=ABS(EC1)*(Y-FLOAT(M)*Y1)/Y

      STRESSCC(M)=CA*STRAINC(M)*STRAINC(M)+CW*ABS(STRAINC(M))
        AREA(M)=(STRESSCC(I)+STRESSCC(M))/2.0*Y1
        AREATOTAL=AREATOTAL+AREA(M)
        R(M)=(2.0*FLOAT(M)-1.0)*Y1/2.0

```

```

T(M)=FLOAT(I)*Y1+1.0/3.0*Y1
AREATRIANG(M)=(STRESSCC(I)-STRESSCC(M))*Y1/2.0
AREAREC(M)=STRESSCC(M)*Y1
G=G+(R(M)*AREAREC(M)+T(M)*AREATRIANG(M))
M=M+1
END DO

G=G/AREATOTAL

FCCONFINED=-(AREATOTAL*(b-2.0*c))
RMCCONFINED=-(FCCONFINED*(0.5*h-c-G))

END IF

IF (ABS(ECU1).GT.ABS(ECUNMAX)) THEN
  YUN=ABS(ECUNMAX)*X(L)/ABS(ECU1)
  IF ((X(L)-YUN).LT.c) THEN
    A=(3.0*ABS(ECUNMAX)*1000.0-
2.0)/(3.0*ABS(ECUNMAX)*1000.0)

PARAZ=2.0*ABS(ECUNMAX)*1000.0*(3.0*ABS(ECUNMAX)*1000.0-2.0)
    Z=(ABS(ECUNMAX)*1000.0*((3.0*ABS(ECUNMAX)*1000.0)-
4.0)+2.0)/PARAZ
    FCUN1=-(A*FCUN*b*YUN)
    RMCUN1=-(FCUN1*(0.5*h-(X(L)-YUN+Z*YUN)))
    IF (ABS(EC1).LE.ABS(ECUN)) THEN
      AUN2=1.0/12.0*(ABS(EC1))*1000.0*(6.0-
(ABS(EC1)*1000.0))
      ZUN2=(8.0-(ABS(EC1)*1000.0))/(4.0*(6.0-
(ABS(EC1)*1000.0)))
    ELSE
      AUN2=(3.0*ABS(EC1)*1000.0-2.0)/(3.0*ABS(EC1)*1000.0)

```



2.0) PARAZUN2=2.0\*ABS(EC1)\*1000.0\*(3.0\*ABS(EC1)\*1000.0-

4.0)+2.0)/PARAZUN2

END IF

FCUN2=- (AUN2\*FCUN\*(b-2\*C)\*(X(L)-C))

RMCUN2=- (FCUN2\*(0.5\*h-ZUN2\*(X(L)-C)-C))

FCUNCONFINED=FCUN1-FCUN2

RMCUNCONFINED=RMCUN1-RMCUN2

ELSE

A=(3.0\*ABS(ECUNMAX)\*1000.0-2.0)/(3.0\*ABS(ECUNMAX)\*1000.0)

PARAZ=2.0\*ABS(ECUNMAX)\*1000.0\*(3.0\*ABS(ECUNMAX)\*1000.0-2.0)

Z=(ABS(ECUNMAX)\*1000.0\*((3.0\*ABS(ECUNMAX)\*1000.0)-4.0)+2.0)/PARAZ

FCUN1=- (A\*FCUN\*b\*YUN)

RMCUN1=- (FCUN1\*(0.5\*h-(X(L)-YUN+Z\*YUN)))

AUN2=(3.0\*ABS(ECUNMAX)\*1000.0-2.0)/(3.0\*ABS(ECUNMAX)\*1000.0)

PARANOMZUN2=2.0\*ABS(ECUNMAX)\*1000.0\*(3.0\*ABS(ECUNMAX)\*1000.0-2.0)

ZUN2=(ABS(ECUNMAX)\*1000.0\*((3.0\*ABS(ECUNMAX)\*1000.0)-4.0)+2.0)/PARANOMZUN2

FCUN2=- (AUN2\*FCUN\*(b-2\*C)\*YUN)

RMCUN2=- (FCUN2\*(0.5\*h-(X(L)-YUN+ZUN2\*YUN)))

FCUNCONFINED=FCUN1-FCUN2

RMCUNCONFINED=RMCUN1-RMCUN2

END IF

```

!DINAMI , ROPI gia CONFINED
IF ((ABS(EC1)).LE.(ABS(ECC))) THEN
  Y=X(L)-c
  Y1=Y/FIBERS
  AREATOTAL=0.0
  G=0.0
  M=1.0
  IFIBERS=FIBERS-1.0
  DO I=0,IFIBERS
    CA=-(FCC/(ECC*ECC))
    CW=2.0*FCC/ABS(ECC)
    STRAINC(I)=ABS(EC1)*(Y-FLOAT(I)*Y1)/Y

STRESSCC(I)=CA*STRAINC(I)*STRAINC(I)+CW*ABS(STRAINC(I))
    STRAINC(M)=ABS(EC1)*(Y-FLOAT(M)*Y1)/Y

STRESSCC(M)=CA*STRAINC(M)*STRAINC(M)+CW*ABS(STRAINC(M))
    AREA(M)=(STRESSCC(I)+STRESSCC(M))/2.0*Y1
    AREATOTAL=AREATOTAL+AREA(M)
    R(M)=(2.0*FLOAT(M)-1.0)*Y1/2.0
    T(M)=FLOAT(I)*Y1+1.0/3.0*Y1
    AREATRIANG(M)=(STRESSCC(I)-STRESSCC(M))*Y1/2.0
    AREAREC(M)=STRESSCC(M)*Y1
    G=G+(R(M)*AREAREC(M)+T(M)*AREATRIANG(M))
    M=M+1
  END DO
  G=G/AREATOTAL
  FCCONFINED=-(AREATOTAL*(b-2.0*c))

```

```

RMCCONFINED=- (FCCONFINED*(0.5*h-c-G))
END IF
IF (ABS(EC1).GT.ABS(ECC)) THEN
  Y=ABS(ECC)*X(L)/ABS(ECU1)
  Y1=Y/FIBERS
  AREATOTAL=0.0
  G=0.0
  M=1.0
  IFIBERS=FIBERS-1.0
  DO I=0,IFIBERS
    CA=- (FCC/(ECC*ECC))
    CW=2.0*FCC/ABS(ECC)
    STRAINC(I)=ABS(ECC)*(Y-FLOAT(I)*Y1)/Y

    STRESSCC(I)=CA*STRAINC(I)*STRAINC(I)+CW*ABS(STRAINC(I))
    STRAINC(M)=ABS(ECC)*(Y-FLOAT(M)*Y1)/Y

    STRESSCC(M)=CA*STRAINC(M)*STRAINC(M)+CW*ABS(STRAINC(M))
    AREA(M)=(STRESSCC(I)+STRESSCC(M))/2.0*Y1
    AREATOTAL=AREATOTAL+AREA(M)
    R(M)=(2.0*FLOAT(M)-1.0)*Y1/2.0
    T(M)=FLOAT(I)*Y1+1.0/3.0*Y1
    AREATRIANG(M)=(STRESSCC(I)-STRESSCC(M))*Y1/2.0
    AREAREC(M)=STRESSCC(M)*Y1
    G=G+(R(M)*AREAREC(M)+T(M)*AREATRIANG(M))
    M=M+1
  END DO
  G=G/AREATOTAL

```

! FC1 : DINAMI PERISFIGMENOU SKIRODEMATOS POU  
ANTISTIXI STO PARAVOLIKO MEROS

! TOU NOMOU TASEON-PARAMORFOSEON

$$FC1=-(AREATOTAL*(b-2.0*c))$$

$$W=0.15*FCC/(ABS(ECC)-ABS(ECCMAX))$$

$$BB=FCC-(0.15*FCC*ABS(ECC)/(ABS(ECC)-ABS(ECCMAX)))$$

! FC2 : DINAMI SKIRODEMATOS POU ANTISTIXI STO  
TRIGONIKO MEROS

! TOU NOMOU TASEON-PARAMORFOSEON

$$STRESSEC1=W*ABS(EC1)+BB$$

$$FC2=-(ABS(FCC)-ABS(STRESSEC1))*(X(L)-Y-C)/2.0*(b-2*c)$$

! MOXLOVRAXIONAS Q2 TIS DINAMIS FC2 (METRAI APO  
TIN ARXI TOU TRIGONOU

! TON TASEON APO TIN PLEURA POU TELIONI I  
THLIVOMENI ZONI

$$Q2=(1.0/3.0)*(X(L)-Y-C)$$

! FC3 : DINAMI SKIRODEMATOS POU ANTISTIXI STO  
PARALLILOGRAMMO MEROS

! TOU NOMOU TASEON-PARAMORFOSEON

$$FC3=-(ABS(STRESSEC1)*(X(L)-Y-C))*(b-2*c)$$

! MOXLOVRAXIONAS Q3 TIS DINAMIS FC3 (MTRAI APO TIN  
ARXI TOU PARAL/MOU

! TON TASEON APO TIN PLEURA POU TELIONI I  
THLIVOMENI ZONI

$$Q3=(X(L)-Y-C)/2.0$$

!

$$FCCONFINED=FC1+FC2+FC3$$

!

! EURESI ROPON SKIRODEMATOS

```

!
RMC1=-((FC1*(0.5*h-(X(L)-Y+G)))
RMC2=ABS(FC2)*((h/2.0)-(X(L)-Y-Q2))
RMC3=ABS(FC3)*((h/2.0)-(X(L)-Y-Q3))
!
RMCCONFINED=RMC1+RMC2+RMC3
END IF
END IF
END IF
!3 PERIPTOSI
IF (X(L).GT.(h-C)) THEN
IF (ABS(ECU1).LT.ABS(ECUN)) THEN
A=1.0/12.0*(ABS(ECU1))*1000.0*(6.0-(ABS(ECU1)*1000.0))
Z=(8.0-(ABS(ECU1)*1000.0))/(4.0*(6.0-(ABS(ECU1)*1000.0)))
FCUN1=-(A*FCUN*b*X(L))
RMCUN1=-((FCUN1*(0.5*h-Z*X(L)))
AUN2=1.0/12.0*(ABS(EC1))*1000.0*(6.0-(ABS(EC1)*1000.0))
ZUN2=(8.0-(ABS(EC1)*1000.0))/(4.0*(6.0-(ABS(EC1)*1000.0)))
FCUN2=-((AUN2*FCUN*(b-2*C)*(X(L)-C))
RMCUN2=-((FCUN2*(0.5*h-(ZUN2*(X(L)-C)+C)))
YUN2=X(L)-(h-C)
ECU2=ABS(ECU1)*YUN2/X(L)
AUN3=1.0/12.0*(ABS(ECU2))*1000.0*(6.0-(ABS(ECU2)*1000.0))
ZUN3=(8.0-(ABS(ECU2)*1000.0))/(4.0*(6.0-
(ABS(ECU2)*1000.0)))
FCUN3=-((AUN3*FCUN*(b-2*C)*YUN2)
RMCUN3=-((FCUN3*(0.5*h-(h-C+ZUN3*YUN2)))

```

FCUNCONFINED=FCUN1-FCUN2+FCUN3

RMCUNCONFINED=RMCUN1-RMCUN2+RMCUN3

Y=X(L)-c

Y1=Y/FIBERS

AREATOTAL=0.0

G=0.0

M=1.0

IFIBERS=FIBERS-1.0

DO I=0,IFIBERS

CA=-(FCC/(ECC\*ECC))

CW=2.0\*FCC/ABS(ECC)

STRAIN(I)=ABS(EC1)\*(Y-FLOAT(I)\*Y1)/Y

STRESSCC(I)=CA\*STRAIN(I)\*STRAIN(I)+CW\*ABS(STRAIN(I))

STRAIN(M)=ABS(EC1)\*(Y-FLOAT(M)\*Y1)/Y

STRESSCC(M)=CA\*STRAIN(M)\*STRAIN(M)+CW\*ABS(STRAIN(M))

AREA(M)=(STRESSCC(I)+STRESSCC(M))/2.0\*Y1

AREATOTAL=AREATOTAL+AREA(M)

R(M)=(2.0\*FLOAT(M)-1.0)\*Y1/2.0

T(M)=FLOAT(I)\*Y1+1.0/3.0\*Y1

AREATRIANG(M)=(STRESSCC(I)-STRESSCC(M))\*Y1/2.0

AREAREC(M)=STRESSCC(M)\*Y1

G=G+(R(M)\*AREAREC(M)+T(M)\*AREATRIANG(M))

M=M+1

END DO

G=G/AREATOTAL

```

FCC1=- (AREATOTAL*(b-2.0*c))
RMCC1=- (FCC1*(0.5*h-c-G))

Y=YUN2
Y1=Y/FIBERS
AREATOTAL=0.0
G=0.0
M=1.0
IFIBERS=FIBERS-1.0
DO I=0,IFIBERS
    CA=- (FCC/(ECC*ECC))
    CW=2.0*FCC/ABS(ECC)
    STRAINC(I)=ABS(ECU2)*(Y-FLOAT(I)*Y1)/Y

    STRESSCC(I)=CA*STRAINC(I)*STRAINC(I)+CW*ABS(STRAINC(I))
    STRAINC(M)=ABS(ECU2)*(Y-FLOAT(M)*Y1)/Y

    STRESSCC(M)=CA*STRAINC(M)*STRAINC(M)+CW*ABS(STRAINC(M))
    AREA(M)=(STRESSCC(I)+STRESSCC(M))/2.0*Y1
    AREATOTAL=AREATOTAL+AREA(M)
    R(M)=(2.0*FLOAT(M)-1.0)*Y1/2.0
    T(M)=FLOAT(I)*Y1+1.0/3.0*Y1
    AREATRIANG(M)=(STRESSCC(I)-STRESSCC(M))*Y1/2.0
    AREAREC(M)=STRESSCC(M)*Y1
    G=G+(R(M)*AREAREC(M)+T(M)*AREATRIANG(M))
    M=M+1
END DO
G=G/AREATOTAL

```

```

FCC3=- (AREATOTAL*(b-2.0*c))
RMCC3=- (FCC3*(0.5*h-(h-c+G)))
FCCONFINED=FCC1-FCC3
RMCCONFINED=RMCC1-RMCC3
END IF
IF
((ABS(ECU1).GE.ABS(ECUN)).AND.(ABS(ECU1).LE.ABS(ECUNMAX)))
THEN
A=(3.0*ABS(ECU1)*1000.0-2.0)/(3.0*ABS(ECU1)*1000.0)
PARAMOMZ=2.0*ABS(ECU1)*1000.0*(3.0*ABS(ECU1)*1000.0-
2.0)
Z=(ABS(ECU1)*1000.0*((3.0*ABS(ECU1)*1000.0)-
4.0)+2.0)/PARAMOMZ
FCUN1=- (A*FCUN*b*X(L))
RMCUN1=- (FCUN1*(0.5*h-Z*X(L)))
IF (ABS(EC1).GT.ABS(ECUN)) THEN
AUN2=(3.0*ABS(EC1)*1000.0-2.0)/(3.0*ABS(EC1)*1000.0)
PARAMOMZUN2=2.0*ABS(EC1)*1000.0*(3.0*ABS(EC1)*1000.0-2.0)
ZUN2=(ABS(EC1)*1000.0*((3.0*ABS(EC1)*1000.0)-
4.0)+2.0)/PARAMOMZUN2
ELSE
AUN2=1.0/12.0*(ABS(EC1))*1000.0*(6.0-(ABS(EC1)*1000.0))
ZUN2=(8.0-(ABS(EC1)*1000.0))/(4.0*(6.0-(ABS(EC1)*1000.0)))
END IF
FCUN2=- (AUN2*FCUN*(b-2*C)*(X(L)-C))
RMCUN2=- (FCUN2*(0.5*h-ZUN2*(X(L)-C)-C))
YUN2=X(L)-(h-C)
ECU2=ABS(ECU1)*YUN2/X(L)

```



```

IF (ABS(ECU2).GT.ABS(ECUN)) THEN
    AUN3=(3.0*ABS(ECU2)*1000.0-2.0)/(3.0*ABS(ECU2)*1000.0)

    PARANOMZUN3=2.0*ABS(ECU2)*1000.0*(3.0*ABS(ECU2)*1000.0-2.0)
    ZUN3=(ABS(ECU2)*1000.0*((3.0*ABS(ECU2)*1000.0)-
4.0)+2.0)/PARANOMZUN3

    ELSE

        AUN3=1.0/12.0*(ABS(ECU2))*1000.0*(6.0-
(ABS(ECU2)*1000.0))
        ZUN3=(8.0-(ABS(ECU2)*1000.0))/(4.0*(6.0-
(ABS(ECU2)*1000.0)))

    END IF

    FCUN3=- (AUN3*FCUN*(b-2*C)*YUN2)
    RMCUN3=- (FCUN3*(0.5*h-(h-C+ZUN3*YUN2)))
    FCUNCONFINED=FCUN1-FCUN2+FCUN3
    RMCUNCONFINED=RMCUN1-RMCUN2+RMCUN3

    Y=X(L)-c
    Y1=Y/FIBERS
    AREATOTAL=0.0
    G=0.0
    M=1.0
    IFIBERS=FIBERS-1.0
    DO I=0,IFIBERS
        CA=- (FCC/(ECC*ECC))
        CW=2.0*FCC/ABS(ECC)
        STRAINC(I)=ABS(EC1)*(Y-FLOAT(I)*Y1)/Y

    STRESSCC(I)=CA*STRAINC(I)*STRAINC(I)+CW*ABS(STRAINC(I))

```

```

STRAINCM)=ABS(EC1)*(Y-FLOAT(M)*Y1)/Y

STRESSCC(M)=CA*STRAINCM)*STRAINCM)+CW*ABS(STRAINCM))

AREA(M)=(STRESSCC(I)+STRESSCC(M))/2.0*Y1

AREATOTAL=AREATOTAL+AREA(M)

R(M)=(2.0*FLOAT(M)-1.0)*Y1/2.0

T(M)=FLOAT(I)*Y1+1.0/3.0*Y1

AREATRIANG(M)=(STRESSCC(I)-STRESSCC(M))*Y1/2.0

AREAREC(M)=STRESSCC(M)*Y1

G=G+(R(M)*AREAREC(M)+T(M)*AREATRIANG(M))

M=M+1

END DO

G=G/AREATOTAL

FCC1=-((AREATOTAL*(b-2.0*c))

RMCC1=-((FCC1*(0.5*h-c-G))

Y=YUN2

Y1=Y/FIBERS

AREATOTAL=0.0

G=0.0

M=1.0

IFIBERS=FIBERS-1.0

DO I=0,IFIBERS

CA=-((FCC/(ECC*ECC))

CW=2.0*FCC/ABS(ECC)

STRAINCI)=ABS(ECU2)*(Y-FLOAT(I)*Y1)/Y

STRESSCC(I)=CA*STRAINCI)*STRAINCI)+CW*ABS(STRAINCI))

```

```

        STRAINC(M)=ABS(ECU2)*(Y-FLOAT(M)*Y1)/Y

STRESSCC(M)=CA*STRAINC(M)*STRAINC(M)+CW*ABS(STRAINC(M))

        AREA(M)=(STRESSCC(I)+STRESSCC(M))/2.0*Y1

        AREATOTAL=AREATOTAL+AREA(M)

        R(M)=(2.0*FLOAT(M)-1.0)*Y1/2.0

        T(M)=FLOAT(I)*Y1+1.0/3.0*Y1

        AREATRIANG(M)=(STRESSCC(I)-STRESSCC(M))*Y1/2.0

        AREAREC(M)=STRESSCC(M)*Y1

        G=G+(R(M)*AREAREC(M)+T(M)*AREATRIANG(M))

        M=M+1

END DO

        G=G/AREATOTAL

        FCC3=- (AREATOTAL*(b-2.0*c))

        RMCC3=- (FCC3*(0.5*h-(h-c+G)))

        FCCONFINED=FCC1-FCC3

        RMCCONFINED=RMCC1-RMCC3

END IF

IF (ABS(ECU1).GT.ABS(ECUNMAX)) THEN

        YUN=ABS(ECUNMAX)*X(L)/ABS(ECU1)

        YUN2=X(L)-(h-c)

        ECU2=ABS(ECU1)*YUN2/X(L)

        IF ((X(L)-YUN).LT.C) THEN

                A=(3.0*ABS(ECUNMAX)*1000.0-
2.0)/(3.0*ABS(ECUNMAX)*1000.0)

```

PARAMOMZ=2.0\*ABS(ECUNMAX)\*1000.0\*(3.0\*ABS(ECUNMAX)\*1000.0-2.0)

Z=(ABS(ECUNMAX)\*1000.0\*((3.0\*ABS(ECUNMAX)\*1000.0)-4.0)+2.0)/PARAMOMZ

FCUN1=-(A\*FCUN\*b\*YUN)

RMCUN1=-(FCUN1\*(0.5\*h-(X(L)-YUN+Z\*YUN)))

IF (ABS(EC1).GT.ABS(ECUN)) THEN

AUN2=(3.0\*ABS(EC1)\*1000.0-2.0)/(3.0\*ABS(EC1)\*1000.0)

PARAMOMZUN2=2.0\*ABS(EC1)\*1000.0\*(3.0\*ABS(EC1)\*1000.0-2.0)

ZUN2=(ABS(EC1)\*1000.0\*((3.0\*ABS(EC1)\*1000.0)-4.0)+2.0)/PARAMOMZUN2

ELSE

AUN2=1.0/12.0\*(ABS(EC1))\*1000.0\*(6.0-(ABS(EC1)\*1000.0))

ZUN2=(8.0-(ABS(EC1)\*1000.0))/(4.0\*(6.0-(ABS(EC1)\*1000.0)))

END IF

FCUN2=-(AUN2\*FCUN\*(b-2\*C)\*(X(L)-C))

RMCUN2=-(FCUN2\*(0.5\*h-ZUN2\*(X(L)-C)-C))

YUN2=X(L)-(h-C)

ECU2=ABS(ECU1)\*YUN2/X(L)

IF (ABS(ECU2).GT.ABS(ECUN)) THEN

AUN3=(3.0\*ABS(ECU2)\*1000.0-2.0)/(3.0\*ABS(ECU2)\*1000.0)

PARAMOMZUN3=2.0\*ABS(ECU2)\*1000.0\*(3.0\*ABS(ECU2)\*1000.0-2.0)

ZUN3=(ABS(ECU2)\*1000.0\*((3.0\*ABS(ECU2)\*1000.0)-4.0)+2.0)/PARAMOMZUN3

ELSE

AUN3=1.0/12.0\*(ABS(ECU2))\*1000.0\*(6.0-  
(ABS(ECU2)\*1000.0))

ZUN3=(8.0-(ABS(ECU2)\*1000.0))/(4.0\*(6.0-  
(ABS(ECU2)\*1000.0)))

END IF

FCUN3=-(AUN3\*FCUN\*(b-2\*C)\*YUN2)

RMCUN3=-(FCUN3\*(0.5\*h-(h-C+ZUN3\*YUN2)))

FCUNCONFINED=FCUN1-FCUN2+FCUN3

RMCUNCONFINED=RMCUN1-RMCUN2+RMCUN3

Y=X(L)-c

Y1=Y/FIBERS

AREATOTAL=0.0

G=0.0

M=1.0

IFIBERS=FIBERS-1.0

DO I=0,IFIBERS

CA=-(FCC/(ECC\*ECC))

CW=2.0\*FCC/ABS(ECC)

STRAIN(I)=ABS(EC1)\*(Y-FLOAT(I)\*Y1)/Y

STRESSCC(I)=CA\*STRAIN(I)\*STRAIN(I)+CW\*ABS(STRAIN(I))

STRAIN(M)=ABS(EC1)\*(Y-FLOAT(M)\*Y1)/Y

STRESSCC(M)=CA\*STRAIN(M)\*STRAIN(M)+CW\*ABS(STRAIN(M))

AREA(M)=(STRESSCC(I)+STRESSCC(M))/2.0\*Y1

AREATOTAL=AREATOTAL+AREA(M)

R(M)=(2.0\*FLOAT(M)-1.0)\*Y1/2.0

```

T(M)=FLOAT(I)*Y1+1.0/3.0*Y1
AREATRIANG(M)=(STRESSCC(I)-STRESSCC(M))*Y1/2.0
AREAREC(M)=STRESSCC(M)*Y1
G=G+(R(M)*AREAREC(M)+T(M)*AREATRIANG(M))
M=M+1
END DO
G=G/AREATOTAL
FCC1=-(AREATOTAL*(b-2.0*c))
RMCC1=-(FCC1*(0.5*h-c-G))

Y=YUN2
Y1=Y/FIBERS
AREATOTAL=0.0
G=0.0
M=1.0
IFIBERS=FIBERS-1.0
DO I=0,IFIBERS
    CA=-(FCC/(ECC*ECC))
    CW=2.0*FCC/ABS(ECC)
    STRAINC(I)=ABS(ECU2)*(Y-FLOAT(I)*Y1)/Y

STRESSCC(I)=CA*STRAINC(I)*STRAINC(I)+CW*ABS(STRAINC(I))
    STRAINC(M)=ABS(ECU2)*(Y-FLOAT(M)*Y1)/Y

STRESSCC(M)=CA*STRAINC(M)*STRAINC(M)+CW*ABS(STRAINC(M))
    AREA(M)=(STRESSCC(I)+STRESSCC(M))/2.0*Y1
    AREATOTAL=AREATOTAL+AREA(M)
    R(M)=(2.0*FLOAT(M)-1.0)*Y1/2.0

```

```

T(M)=FLOAT(I)*Y1+1.0/3.0*Y1
AREATRIANG(M)=(STRESSCC(I)-STRESSCC(M))*Y1/2.0
AREAREC(M)=STRESSCC(M)*Y1
G=G+(R(M)*AREAREC(M)+T(M)*AREATRIANG(M))
M=M+1
END DO
G=G/AREATOTAL
FCC3=-(AREATOTAL*(b-2.0*c))
RMCC3=-(FCC3*(0.5*h-(h-c+G)))
FCCONFINED=FCC1-FCC3
RMCCONFINED=RMCC1-RMCC3

END IF

IF (((X(L)-YUN).GE.c).AND.(YUN.GE.(X(L)-(h-c)))) THEN
    A=(3.0*ABS(ECUNMAX)*1000.0-
2.0)/(3.0*ABS(ECUNMAX)*1000.0)

    PARANOMZ=2.0*ABS(ECUNMAX)*1000.0*(3.0*ABS(ECUNMAX)*1000.0-
2.0)

    Z=(ABS(ECUNMAX)*1000.0*((3.0*ABS(ECUNMAX)*1000.0)-
4.0)+2.0)/PARANOMZ

    FCUN1=-(A*FCUN*b*YUN)
    RMCUN1=-(FCUN1*(0.5*h-(X(L)-YUN+Z*YUN)))

    AUN2=A
    PARANOMZUN2=PARANOMZ
    ZUN2=Z

    FCUN2=-(AUN2*FCUN*(b-2*C)*(YUN))
    RMCUN2=-(FCUN2*(0.5*h-(X(L)-YUN+ZUN2*YUN)))

```

```

YUN2=X(L)-(h-C)
          ECU2=ABS(ECU1)*YUN2/X(L)
IF (ABS(ECU2).GT.ABS(ECUN)) THEN
          AUN3=(3.0*ABS(ECU2)*1000.0-
2.0)/(3.0*ABS(ECU2)*1000.0)
PARANOMZUN3=2.0*ABS(ECU2)*1000.0*(3.0*ABS(ECU2)*1000.0-2.0)
          ZUN3=(ABS(ECU2)*1000.0*((3.0*ABS(ECU2)*1000.0)-
4.0)+2.0)/PARANOMZUN3
ELSE
          AUN3=1.0/12.0*(ABS(ECU2))*1000.0*(6.0-
(ABS(ECU2)*1000.0))
          ZUN3=(8.0-(ABS(ECU2)*1000.0))/(4.0*(6.0-
(ABS(ECU2)*1000.0)))
END IF
FCUN3=-(AUN3*FCUN*(b-2*C)*YUN2)
RMCUN3=-(FCUN3*(0.5*h-(h-C+ZUN3*YUN2)))
FCUNCONFINED=FCUN1-FCUN2+FCUN3
RMCUNCONFINED=RMCUN1-RMCUN2+RMCUN3
!DINAMI , ROPI gia CONFINED
IF (ABS(EC1).LE.ABS(ECC)) THEN
          Y=X(L)-c
          Y1=Y/FIBERS
          AREATOTAL=0.0
          G=0.0
          M=1.0
          IFIBERS=FIBERS-1.0
          DO I=0,IFIBERS
          CA=-(FCC/(ECC*ECC))

```



```

CW=2.0*FCC/ABS(ECC)
STRAIN(I)=ABS(EC1)*(Y-FLOAT(I)*Y1)/Y

STRESSCC(I)=CA*STRAIN(I)*STRAIN(I)+CW*ABS(STRAIN(I))
STRAIN(M)=ABS(EC1)*(Y-FLOAT(M)*Y1)/Y

STRESSCC(M)=CA*STRAIN(M)*STRAIN(M)+CW*ABS(STRAIN(M))
AREA(M)=(STRESSCC(I)+STRESSCC(M))/2.0*Y1
AREATOTAL=AREATOTAL+AREA(M)
R(M)=(2.0*FLOAT(M)-1.0)*Y1/2.0
T(M)=FLOAT(I)*Y1+1.0/3.0*Y1
AREATRIANG(M)=(STRESSCC(I)-
STRESSCC(M))*Y1/2.0
AREAREC(M)=STRESSCC(M)*Y1
G=G+(R(M)*AREAREC(M)+T(M)*AREATRIANG(M))
M=M+1

END DO

G=G/AREATOTAL
FCC1=-((AREATOTAL*(b-2.0*c))
RMCC1=-((FCC1*(0.5*h-c-G))

Y=YUN2
Y1=Y/FIBERS
AREATOTAL=0.0
G=0.0
M=1.0
IFIBERS=FIBERS-1.0
DO I=0,IFIBERS

```

```

CA=- (FCC/(ECC*ECC))
CW=2.0*FCC/ABS(ECC)
STRAIN(I)=ABS(ECU2)*(Y-FLOAT(I)*Y1)/Y

STRESSCC(I)=CA*STRAIN(I)*STRAIN(I)+CW*ABS(STRAIN(I))
STRAIN(M)=ABS(ECU2)*(Y-FLOAT(M)*Y1)/Y

STRESSCC(M)=CA*STRAIN(M)*STRAIN(M)+CW*ABS(STRAIN(M))
AREA(M)=(STRESSCC(I)+STRESSCC(M))/2.0*Y1
AREATOTAL=AREATOTAL+AREA(M)
R(M)=(2.0*FLOAT(M)-1.0)*Y1/2.0
T(M)=FLOAT(I)*Y1+1.0/3.0*Y1
AREATRIANG(M)=(STRESSCC(I)-
STRESSCC(M))*Y1/2.0
AREAREC(M)=STRESSCC(M)*Y1
G=G+(R(M)*AREAREC(M)+T(M)*AREATRIANG(M))
M=M+1

END DO

G=G/AREATOTAL
FCC3=- (AREATOTAL*(b-2.0*c))
RMCC3=- (FCC3*(0.5*h-(h-c+G)))
FCCONFINED=FCC1-FCC3
RMCCONFINED=RMCC1-RMCC3

END IF

IF (ABS(EC1).GT.ABS(ECC)) THEN
Y=ABS(ECC)*X(L)/ABS(ECU1)
Y1=Y/FIBERS
AREATOTAL=0.0

```

```

G=0.0
M=1.0
IFIBERS=FIBERS-1.0
DO I=0,IFIBERS
    CA=-(FCC/(ECC*ECC))
    CW=2.0*FCC/ABS(ECC)
    STRAINC(I)=ABS(ECC)*(Y-FLOAT(I)*Y1)/Y

STRESSCC(I)=CA*STRAINC(I)*STRAINC(I)+CW*ABS(STRAINC(I))
    STRAINC(M)=ABS(ECC)*(Y-FLOAT(M)*Y1)/Y

STRESSCC(M)=CA*STRAINC(M)*STRAINC(M)+CW*ABS(STRAINC(M))
    AREA(M)=(STRESSCC(I)+STRESSCC(M))/2.0*Y1
    AREATOTAL=AREATOTAL+AREA(M)
    R(M)=(2.0*FLOAT(M)-1.0)*Y1/2.0
    T(M)=FLOAT(I)*Y1+1.0/3.0*Y1
    AREATRIANG(M)=(STRESSCC(I)-
STRESSCC(M))*Y1/2.0
    AREAREC(M)=STRESSCC(M)*Y1
    G=G+(R(M)*AREAREC(M)+T(M)*AREATRIANG(M))
    M=M+1
END DO
G=G/AREATOTAL
FC1=-(AREATOTAL*(b-2.0*c))

W=0.15*FCC/(ABS(ECC)-ABS(ECCMAX))

```

BB=FCC-(0.15\*FCC\*ABS(ECC)/(ABS(ECC)-  
ABS(ECCMAX)))

! FC1 : DINAMI PERISFIGMENOU SKIRODEMATOS  
POU ANTISTIXI STO PARAVOLIKO MEROS

! TOU NOMOU TASEON-PARAMORFOSEON

! FC2 : DINAMI SKIRODEMATOS POU ANTISTIXI STO  
TRIGONIKO MEROS

! TOU NOMOU TASEON-PARAMORFOSEON

STRESSEC1=W\*ABS(EC1)+BB

FC2=- (ABS(FCC)-ABS(STRESSEC1))\*(X(L)-Y-C)/2.0\*(b-  
2\*c)

! MOXLOVRAXIONAS Q2 TIS DINAMIS FC2 (METRAI  
APO TIN ARXI TOU TRIGONOU

! TON TASEON APO TIN PLEURA POU TELIONI I  
THLIVOMENI ZONI

Q2=(1.0/3.0)\*(X(L)-Y-C)

! FC3 : DINAMI SKIRODEMATOS POU ANTISTIXI STO  
PARALLILOGRAMMO MEROS

! TOU NOMOU TASEON-PARAMORFOSEON

FC3=- (ABS(STRESSEC1)\*(X(L)-Y-C))\*(b-2\*c)

! MOXLOVRAXIONAS Q3 TIS DINAMIS FC3 (MTRAI  
APO TIN ARXI TOU PARAL/MOU

! TON TASEON APO TIN PLEURA POU TELIONI I  
THLIVOMENI ZONI

Q3=(X(L)-Y-C)/2.0

!

!

! EURESI ROPON SKIRODEMATOS

!

```

RMC1=- (FC1*(0.5*h-(G+X(L)-Y)))
RMC2=ABS(FC2)*((h/2.0)-(X(L)-Y-Q2))
RMC3=ABS(FC3)*((h/2.0)-(X(L)-Y-Q3))
YUN2=X(L)-(h-c)
Y=YUN2
Y1=Y/FIBERS
AREATOTAL=0.0
G=0.0
M=1.0
IFIBERS=FIBERS-1.0
      DO I=0,IFIBERS
          CA=- (FCC/(ECC*ECC))
          CW=2.0*FCC/ABS(ECC)
          STRAINC(I)=ABS(ECU2)*(Y-FLOAT(I)*Y1)/Y
STRESSCC(I)=CA*STRAINC(I)*STRAINC(I)+CW*ABS(STRAINC(I))
          STRAINC(M)=ABS(ECU2)*(Y-FLOAT(M)*Y1)/Y
STRESSCC(M)=CA*STRAINC(M)*STRAINC(M)+CW*ABS(STRAINC(M))
          AREA(M)=(STRESSCC(I)+STRESSCC(M))/2.0*Y1
          AREATOTAL=AREATOTAL+AREA(M)
          R(M)=(2.0*FLOAT(M)-1.0)*Y1/2.0
          T(M)=FLOAT(I)*Y1+1.0/3.0*Y1
          AREATRIANG(M)=(STRESSCC(I)-
STRESSCC(M))*Y1/2.0
          AREAREC(M)=STRESSCC(M)*Y1
          G=G+(R(M)*AREAREC(M)+T(M)*AREATRIANG(M))
          M=M+1

```

```

END DO

G=G/AREATOTAL

FCC3=-(AREATOTAL*(b-2.0*c))

RMCC3=-(FCC3*(0.5*h-(h-c+G)))

!

FCCONFINED=FC1+FC2+FC3-FCC3

RMCCONFINED=RMC1+RMC2+RMC3-RMCC3

END IF

END IF

IF (((X(L)-YUN).GE.c).AND.(YUN.LT.(X(L)-(h-c)))) THEN

YUN2=X(L)-(h-c)

A=(3.0*ABS(ECUNMAX)*1000.0-
2.0)/(3.0*ABS(ECUNMAX)*1000.0)

PARANOMZ=2.0*ABS(ECUNMAX)*1000.0*(3.0*ABS(ECUNMAX)*1000.0-
2.0)

Z=(ABS(ECUNMAX)*1000.0*((3.0*ABS(ECUNMAX)*1000.0)-
4.0)+2.0)/PARANOMZ

FCUN1=-(A*FCUN*b*YUN)

J=(X(L)-YUN)-(h-C)

RMCUN1=-(FCUN1*(0.5*h-(h-C+J+Z*YUN)))

FCUNCONFINED=FCUN1

RMCUNCONFINED=RMCUN1

!DINAMI , ROPI gia CONFINED

IF (ABS(EC1).LE.ABS(ECC)) THEN

```

```

Y=X(L)-c
Y1=Y/FIBERS
AREATOTAL=0.0
G=0.0
M=1.0
IFIBERS=FIBERS-1.0
DO I=0,IFIBERS
    CA=-(FCC/(ECC*ECC))
    CW=2.0*FCC/ABS(ECC)
    STRAINC(I)=ABS(EC1)*(Y-FLOAT(I)*Y1)/Y

STRESSCC(I)=CA*STRAINC(I)*STRAINC(I)+CW*ABS(STRAINC(I))
    STRAINC(M)=ABS(EC1)*(Y-FLOAT(M)*Y1)/Y

STRESSCC(M)=CA*STRAINC(M)*STRAINC(M)+CW*ABS(STRAINC(M))
    AREA(M)=(STRESSCC(I)+STRESSCC(M))/2.0*Y1
    AREATOTAL=AREATOTAL+AREA(M)
    R(M)=(2.0*FLOAT(M)-1.0)*Y1/2.0
    T(M)=FLOAT(I)*Y1+1.0/3.0*Y1
    AREATRIANG(M)=(STRESSCC(I)-
STRESSCC(M))*Y1/2.0
    AREAREC(M)=STRESSCC(M)*Y1
    G=G+(R(M)*AREAREC(M)+T(M)*AREATRIANG(M))
    M=M+1
END DO
G=G/AREATOTAL
FCC1=-(AREATOTAL*(b-2.0*c))
RMCC1=-(FCC1*(0.5*h-c-G))

```

```

Y=YUN2
Y1=Y/FIBERS
AREATOTAL=0.0
G=0.0
M=1.0
IFIBERS=FIBERS-1.0
DO I=0,IFIBERS
    CA=-(FCC/(ECC*ECC))
    CW=2.0*FCC/ABS(ECC)
    STRAINC(I)=ABS(ECU2)*(Y-FLOAT(I)*Y1)/Y

STRESSCC(I)=CA*STRAINC(I)*STRAINC(I)+CW*ABS(STRAINC(I))
    STRAINC(M)=ABS(ECU2)*(Y-FLOAT(M)*Y1)/Y

STRESSCC(M)=CA*STRAINC(M)*STRAINC(M)+CW*ABS(STRAINC(M))
    AREA(M)=(STRESSCC(I)+STRESSCC(M))/2.0*Y1
    AREATOTAL=AREATOTAL+AREA(M)
    R(M)=(2.0*FLOAT(M)-1.0)*Y1/2.0
    T(M)=FLOAT(I)*Y1+1.0/3.0*Y1
    AREATRIANG(M)=(STRESSCC(I)-
STRESSCC(M))*Y1/2.0
    AREAREC(M)=STRESSCC(M)*Y1
    G=G+(R(M)*AREAREC(M)+T(M)*AREATRIANG(M))
    M=M+1
END DO
G=G/AREATOTAL
FCC3=-(AREATOTAL*(b-2.0*c))

```



```

        RMCC3=- (FCC3*(0.5*h-(h-c+G)))
FCCONFINED=FCC1-FCC3
RMCCONFINED=RMCC1-RMCC3
ELSE
Y=ABS(ECC)*X(L)/ABS(ECU1)

Y1=Y/FIBERS
AREATOTAL=0.0
G=0.0
M=1.0
IFIBERS=FIBERS-1.0
DO I=0,IFIBERS
    CA=- (FCC/(ECC*ECC))
    CW=2.0*FCC/ABS(ECC)
    STRAINC(I)=ABS(ECC)*(Y-FLOAT(I)*Y1)/Y

STRESSCC(I)=CA*STRAINC(I)*STRAINC(I)+CW*ABS(STRAINC(I))
    STRAINC(M)=ABS(ECC)*(Y-FLOAT(M)*Y1)/Y

STRESSCC(M)=CA*STRAINC(M)*STRAINC(M)+CW*ABS(STRAINC(M))
    AREA(M)=(STRESSCC(I)+STRESSCC(M))/2.0*Y1
    AREATOTAL=AREATOTAL+AREA(M)
    R(M)=(2.0*FLOAT(M)-1.0)*Y1/2.0
                                T(M)=FLOAT(I)*Y1+1.0/3.0*Y1
    AREATRIANG(M)=(STRESSCC(I)-
STRESSCC(M))*Y1/2.0
    AREAREC(M)=STRESSCC(M)*Y1

```

```

G=G+(R(M)*AREAREC(M)+T(M)*AREATRIANG(M))
M=M+1
END DO
G=G/AREATOTAL
FC1=-(AREATOTAL*(b-2.0*c))

W=0.15*FCC/(ABS(ECC)-ABS(ECCMAX))
BB=FCC-(0.15*FCC*ABS(ECC))/(ABS(ECC)-
ABS(ECCMAX)))
! FC1 : DINAMI PERISFIGMENOU SKIRODEMATOS
POU ANTISTIXI STO PARAVOLIKO MEROS
! TOU NOMOU TASEON-PARAMORFOSEON

! FC2 : DINAMI SKIRODEMATOS POU ANTISTIXI STO
TRIGONIKO MEROS
! TOU NOMOU TASEON-PARAMORFOSEON
STRESSEC1=W*ABS(EC1)+BB
FC2=-((ABS(FCC)-ABS(STRESSEC1))*(X(L)-Y-C)/2.0*(b-
2*c)
! MOXLOVRAXIONAS Q2 TIS DINAMIS FC2 (METRAI
APO TIN ARXI TOU TRIGONOU
! TON TASEON APO TIN PLEURA POU TELIONI I
THLIVOMENI ZONI
Q2=(1.0/3.0)*(X(L)-Y-C)
! FC3 : DINAMI SKIRODEMATOS POU ANTISTIXI STO
PARALLILOGRAMMO MEROS
! TOU NOMOU TASEON-PARAMORFOSEON
FC3=-((ABS(STRESSEC1)*(X(L)-Y-C))*(b-2*c)

```

! MOXLOVRAXIONAS Q3 TIS DINAMIS FC3 (MTRAI  
APO TIN ARXI TOU PARAL/MOU

! TON TASEON APO TIN PLEURA POU TELIONI I  
THLIVOMENI ZONI

$$Q3=(X(L)-Y-C)/2.0$$

!

!

! EURESI ROPON SKIRODEMATOS

!

$$RMC1=-(FC1*(0.5*h-(G+X(L)-Y)))$$

$$RMC2=ABS(FC2)*((h/2.0)-(X(L)-Y-Q2))$$

$$RMC3=ABS(FC3)*((h/2.0)-(X(L)-Y-Q3))$$

$$YUN2=X(L)-(h-c)$$

$$Y=YUN2$$

$$Y1=Y/FIBERS$$

$$AREATOTAL=0.0$$

$$G=0.0$$

$$M=1.0$$

$$IFIBERS=FIBERS-1.0$$

DO I=0,IFIBERS

$$CA=-(FCC/(ECC*ECC))$$

$$CW=2.0*FCC/ABS(ECC)$$

$$STRAIN(I)=ABS(ECU2)*(Y-FLOAT(I)*Y1)/Y$$

$$STRESSCC(I)=CA*STRAIN(I)*STRAIN(I)+CW*ABS(STRAIN(I))$$

$$STRAIN(M)=ABS(ECU2)*(Y-FLOAT(M)*Y1)/Y$$

$$STRESSCC(M)=CA*STRAIN(M)*STRAIN(M)+CW*ABS(STRAIN(M))$$

```

        AREA(M)=(STRESSCC(I)+STRESSCC(M))/2.0*Y1
        AREATOTAL=AREATOTAL+AREA(M)
    R(M)=(2.0*FLOAT(M)-1.0)*Y1/2.0
        T(M)=FLOAT(I)*Y1+1.0/3.0*Y1
        AREATRIANG(M)=(STRESSCC(I)-
STRESSCC(M))*Y1/2.0
        AREAREC(M)=STRESSCC(M)*Y1
        G=G+(R(M)*AREAREC(M)+T(M)*AREATRIANG(M))
        M=M+1
    END DO
    G=G/AREATOTAL
    FCC1=-((AREATOTAL*(b-2.0*c))
    RMCC1=-((FCC1*(0.5*h-(h-c+G)))

```

```

IF (ABS(ECU2).GT.ABS(ECC)) THEN
    Y=ABS(ECC)*X(L)/ABS(ECU1)
    Y1=Y/FIBERS
    AREATOTAL=0.0
    G=0.0
    M=1.0
    IFIBERS=FIBERS-1.0
    DO I=0,IFIBERS
        CA=-((FCC/(ECC*ECC))
        CW=2.0*FCC/ABS(ECC)

```

```

        STRAINC(I)=ABS(ECC)*(Y-FLOAT(I)*Y1)/Y

STRESSCC(I)=CA*STRAINC(I)*STRAINC(I)+CW*ABS(STRAINC(I))
        STRAINC(M)=ABS(ECC)*(Y-FLOAT(M)*Y1)/Y

STRESSCC(M)=CA*STRAINC(M)*STRAINC(M)+CW*ABS(STRAINC(M))
        AREA(M)=(STRESSCC(I)+STRESSCC(M))/2.0*Y1
        AREATOTAL=AREATOTAL+AREA(M)
        R(M)=(2.0*FLOAT(M)-1.0)*Y1/2.0
        T(M)=FLOAT(I)*Y1+1.0/3.0*Y1
        AREATRIANG(M)=(STRESSCC(I)-
STRESSCC(M))*Y1/2.0
        AREAREC(M)=STRESSCC(M)*Y1
        G=G+(R(M)*AREAREC(M)+T(M)*AREATRIANG(M))
        M=M+1
        END DO

        G=G/AREATOTAL
        FCC1=-(AREATOTAL*(b-2*c))
        RMCC1=-(FCC1*(0.5*h-(h-c+G)))
        STRESSECU2=W*ABS(ECU2)+BB
        FCC2=-(ABS(FCC)-ABS(STRESSECU2))*(YUN2-
Y)/2.0*(b-2*c)

        QQ2=(1.0/3.0)*(YUN2-Y)
        FCC3=-(ABS(STRESSECU2)*(YUN2-Y))*(b-2*c)
        QQ3=(YUN2-Y)/2.0
        RMCC2=ABS(FCC2)*((h/2.0)-(X(L)-Y-QQ2))
        RMCC3=ABS(FCC3)*((h/2.0)-(X(L)-Y-QQ3))

        END IF

```

```

        END IF
        !
        FCCONFINED=FC1+FC2+FC3-FCC1-FCC2-FCC3
        RMCCONFINED=RMC1+RMC2+RMC3-RMCC1-RMCC2-
RMCC3
        END IF
        END IF
        END IF
        Ft=Fctm*(h-X(L))/2.0*b*1000.0
        Qt=(1.0/3.0)*(h-X(L))
        RMt=-(Ft*((h/2.0)-(h-Qt)))
        RNTOTAL(L)=SUMFS+FCUNCONFINED +FCCONFINED+Ft
        RMTOTAL(L)=SUMMS+RMCUNCONFINED +RMCCONFINED+RMt
        RKABIL(L)=ABS(ECU1)/X(L)
        ! KATAXORISI APOTELESMATON SE ARXEIO
        WRITE(9,20)L,ECU1,ES2(L),X(L)
, RNTOTAL(L),RMTOTAL(L),RKABIL(L)
20   FORMAT(1X,I2,3X,F9.6,3X,F6.4,3X,F6.3,3X,F12.2,3X,F12.2,3X,F12.8)
        L=L+1
        END DO
        ! EURESI Simio gia Mcr=0.0
        ! OLES OI DINAMEIS THETIKES
        ! OI PARAMORFOSEIS ME TO PROSIMO TOUS
        !
        ES(1)=Ect
        F(1)=AS*E*ABS(ES(1))/10.0 ! DINAMI PLEON THLIVOMENOU
XALIVA
        ES(K)=Ect ! PARAMORFOSI PLEON EFELKIOMENOU XALIVA

```

F(K)=AS\*E\*ABS(ES(K))/10.0 ! DINAMI PLEON EFELKYOMENOU  
XALIVA

! EURESI PARAMORFOSEON ENDIAMESON XALIVON

IMAX=K-2

DO I=1,IMAX

ES(1+I)=Ect

! EURESI DINAMEON ENDIAMESON XALIVON

F(1+I)=ASMIDDLE\*E\*ABS(ES(1+I))/10.0

END DO

! EURESI ROPON ENDIAMESON XALIVON

DO I=1,K

RM(I)=ABS(F(I)\*(FLOAT(K)-2.0\*FLOAT(I)+1.0)\*DY/2.0)

END DO

! PROSTHESI ROPON (THETIKI I ANTIOROLOGI AKI FORA)

! PROSTHESI DINAMEON

SUMMS=0.0

SUMFS=0.0

DO I=1,K

IF (ES(I).LE.0.0) THEN

IF ((c+(DD/2.0)+DY\*(FLOAT(I)-1.0)).LE.(h/2.0)) THEN

RM(I)=ABS(RM(I))

ELSE

RM(I)=-ABS(RM(I))

END IF

ELSE

```

      IF ((c+(DD/2.0)+DY*(FLOAT(I)-1.0)).LE.(h/2.0)) THEN
        RM(I)=-ABS(RM(I))
      ELSE
        RM(I)=ABS(RM(I))
      END IF
    END IF
    SUMMS=SUMMS+RM(I)
    IF (ES(I).LE.0.0) THEN
      F(I)=-ABS(F(I))
    ELSE
      F(I)=ABS(F(I))
    END IF
    SUMFS=SUMFS+F(I)
  END DO
  WRITE(9,30)FAKE,FAKE,FAKE,FAKE,SUMFS,SUMMS,FAKE
30  FORMAT(1X,F2.0,3X,F9.5,3X,F6.3,3X,F6.3,3X,F12.2,3X,F12.2,3X,F12
.2)
END PROGRAM Mcr

```



PROGRAM FIBERSMU  
 DIMENSION X(200)  
 DIMENSION ES2(200)  
 DIMENSION RNTOTAL(200)  
 DIMENSION RMTOTAL(200)  
 DIMENSION RKABIL(200)  
 DIMENSION F(200)  
 DIMENSION ES(200)  
 DIMENSION RM(200)  
 DIMENSION RMC(200)  
 DIMENSION RMUC(200)  
 DIMENSION STRESSU(200)  
 DIMENSION STRESSC(200)  
 DIMENSION ECY(200)  
 DIMENSION FU(200)  
 DIMENSION FC(200)  
 DIMENSION Y(200)

! DEDOMENA

AS=7.634  
 OPLISMOU (cm2)

! EMBADO AKRAIAS STATHMIS

ASMIDDLE=5.089  
 OPLISMOU (cm2)

! EMBADO MESAIAS STATHMIS

DD=0.018

! DIAMETROS SIDERON (m)

K=3  
 OPLISMON

! ARITHMOS STATHMEON

h=0.35

! IPSOS DIATOMIS (m)

d=0.302

! STATIKO IPSOS DIATOMIS (m)

b=0.35

! PLATOS DIATOMIS (m)

$c=0.03$  ! EPIKALIPSI DIATOMIS (m)  
 $CORE=h-(2.0*c)$  ! IPSOS PIRINA  
 $UCNUMFIBERS=2.0*c*100.0$  ! ARITHMOS INON STIN  
EPIKALIPSI  
 $CCNUMFIBERS=2.0*CORE*100.0$  ! ARITHMOS INON STON  
PIRINA  
 $YFIBERUC=c/UCNUMFIBERS$  ! IPSOS INAS STIN  
EPIKALIPSI  
 $YFIBERCC=CORE/CCNUMFIBERS$  ! IPSOS INAS STON  
PIRINA  
 $FY=500.0$  ! TASI DIAROIS XALYBA (MPa)  
 $E=200000.0$  ! METRO ELASTIKOTITAS XALYBA  
(MPa)  
 $ESY=FY/E$  ! PARAMORFOSI DIAROIS  
XALYBA  
 $FCC=34317.0$  ! MAX TASI PERISFIGMENOY  
SKYRODEMATOS  
 $ECC=-0.003769$  ! PARAMORFOSI SKYRODEMATOS  
POU ANTISTIXEI STIN FCC (arnitiki timi)  
 $FCCMAX=29169.45$  ! 0,85 TIS FCC  
 $ECCMAX=-0.023316$  ! PARAMORFOSI SKYRODEMATOS  
POU ANTISTIXEI STIN FCCMAX (arnitiki timi)  
 $FCUN=25000.0$  ! MAX TASI APERISFIKTOU  
SKYRODEMATOS  
 $ECUN=-0.002$  ! PARAMORFOSI SKYRODEMATOS  
POU ANTISTIXEI STIN FCUN (arnitiki timi)  
 $FCUNMAX=21250.0$  ! MAX TASI PERISFIGMENOY  
SKYRODEMATOS  
 $ECUNMAX=-0.0035$  ! MAX PARAMORFOSI APESFIKTOU  
SKYRODEMATOS (arnitiki timi)  
!TELOS DEDOMENON

```

UA=- (FCUN/(ECUN*ECUN))
UW=2.0*FCUN/ABS(ECUN)
CA=- (FCC/(ECC*ECC))
CW=2.0*FCC/ABS(ECC)
UQ=0.15*FCUN/(ABS(ECUN)-ABS(ECUNMAX))
UV=FCUN-ABS(ECUN)*UQ
CQ=0.15*FCC/(ABS(ECC)-ABS(ECCMAX))
CV=FCC-ABS(ECC)*CQ

ECU1=-0.0033          ! PARAMORFOSI AKRAIAS
THLIVOMENIS INAS

          ! SKIRODEMATOS (arnitiki timi)

DY=(d-c-(DD/2.0))/(FLOAT(K)-1.0)

X70=ABS(ECU1)*d/(0.07+ABS(ECU1)) ! TO X GIA PARAMORFOSI
SKIRODEMATOS ECU1 KAI XALIVA 0,07

EC2MAX=ABS(ECU1)*(h-X70)/X70  ! PARAMORFOSI
EFELKIOMENIS INAS SKIRODEMATOS

STEP=ABS(EC2MAX)/100.0

L=1

OPEN(unit=9,file="apotelesmataFIBERSMU.txt")

WRITE(9,10)"L","ECU1","ES2","X","NTOTAL","MTOTAL","KABILOTIT
A"
10  FORMAT(2x,a,4x,a,6x,a,6x,a,11x,a,10x,a,8x,a)

          ! EURESI Simio gia MU=0.0 THLIPSI

! OLES OI DINAMEIS THETIKES

! OI PARAMORFOSEIS ME TO PROSIMO TOUS

YIELD=ECCMAX

```

```

    ES(1)=YIELD
        F(1)=AS*E*ABS(ES(1))/10.0 ! DINAMI PLEON THLIVOMENOU
XALIVA
    ES(K)=YIELD ! PARAMORFOSI PLEON EFELKIOMENOU XALIVA
        F(K)=AS*E*ABS(ES(K))/10.0 ! DINAMI PLEON EFELKYOMENOU
XALIVA

! EURESI PARAMORFOSEON ENDIAMESON XALIVON
IMAX=K-2
DO I=1,IMAX
    ES(1+I)=YIELD
! EURESI DINAMEON ENDIAMESON XALIVON

    F(1+I)=ASMIDDLE*E*ABS(ES(1+I))/10.0
END DO
! EURESI ROPON ENDIAMESON XALIVON
DO I=1,K
    RM(I)=ABS(F(I)*(FLOAT(K)-2.0*FLOAT(I)+1.0)*DY/2.0)
END DO
! PROSTHESI DINAMEON
SUMMS=0.0
SUMFS=0.0
DO I=1,K
    IF (ES(I).LE.0.0) THEN
        IF ((c+(DD/2.0)+DY*(FLOAT(I)-1.0)).LE.(h/2.0)) THEN
            RM(I)=ABS(RM(I))
        ELSE
            RM(I)=-ABS(RM(I))
        END IF
    END IF
END DO

```

```

        END IF
ELSE
    IF ((c+(DD/2.0)+DY*(FLOAT(I)-1.0)).LE.(h/2.0)) THEN
        RM(I)=-ABS(RM(I))
    ELSE
        RM(I)=ABS(RM(I))
    END IF
END IF
SUMMS=SUMMS+RM(I)
IF (ES(I).LE.0.0) THEN
    F(I)=-ABS(F(I))
ELSE
    F(I)=ABS(F(I))
END IF
SUMFS=SUMFS+F(I)
END DO
SUMFS=SUMFS+(b-2*c)*(h-2*c)*FCC*0.85
FAKE=0.0
WRITE(9,40)FAKE,FAKE,FAKE,FAKE,SUMFS,SUMMS,FAKE
40
FORMAT(1X,F2.0,3X,F9.5,3X,F6.3,3X,F6.3,3X,F12.2,3X,F12.2,3X,F12
.2)

DO EC2=0.0,EC2MAX,STEP

X(L)=ABS(ECU1)*h/(ABS(EC2)+ABS(ECU1))
EC1=(X(L)-C)*ECU1/X(L)
ES2(L)=ABS(ECU1)*(d-X(L))/X(L)

```

```

! EURESI DINAMEON KAI ROPON TON OPLISMON
! OLES OI DINAMEIS THETIKES
! OI PARAMORFOSEIS ME TO PROSIMO TOUS
YIELD=FY/E
ES(1)=(X(L)-c-(DD/2.0))*ECU1/X(L)
IF (ABS(ES(1)).LT.YIELD) THEN
    F(1)=AS*E*ABS(ES(1))/10.0
ELSE
    F(1)=AS*FY/10.0 ! DINAMI PLEON THLIVOMENOU XALIVA
END IF
ES(K)=ES2(L) ! PARAMORFOSI PLEON EFELKIOMENOU XALIVA
IF (ABS(ES(K)).LT.YIELD) THEN
    F(K)=AS*E*ABS(ES(K))/10.0 ! DINAMI PLEON THLIVOMENOU
XALIVA
ELSE
    F(K)=AS*FY/10.0 ! DINAMI PLEON THLIVOMENOU XALIVA
END IF
! EURESI PARAMORFOSEON ENDIAMESON XALIVON
IMAX=K-2
DO I=1,IMAX
    ES(1+I)=(X(L)-(I*DY)-(c+DD/2.0))*ECU1/X(L)
! EURESI DINAMEON ENDIAMESON XALIVON
    IF (ABS(ES(1+I)).LT.YIELD) THEN
        F(1+I)=ASMIDDLE*E*ABS(ES(1+I))/10.0
    ELSE
        F(1+I)=ASMIDDLE*FY/10.0
    END IF

```

```

END DO
! EURESI ROPON ENDIAMESON XALIVON
DO I=1,K
    RM(I)=ABS(F(I)*(FLOAT(K)-2.0*FLOAT(I)+1.0)*DY/2.0)
END DO
! PROSTHESI ROPON (THETIKI I ANTIOROLOGI AKI FOR A)
! PROSTHESI DINAMEON
SUMMS=0.0
SUMFS=0.0
DO I=1,K
    IF (ES(I).LE.0.0) THEN
        IF ((c+(DD/2.0)+DY*(FLOAT(I)-1.0)).LE.(h/2.0)) THEN
            RM(I)=ABS(RM(I))
        ELSE
            RM(I)=-ABS(RM(I))
        END IF
    ELSE
        IF ((c+(DD/2.0)+DY*(FLOAT(I)-1.0)).LE.(h/2.0)) THEN
            RM(I)=-ABS(RM(I))
        ELSE
            RM(I)=ABS(RM(I))
        END IF
    END IF
    SUMMS=SUMMS+RM(I)
    IF (ES(I).LE.0.0) THEN
        F(I)=-ABS(F(I))
    ELSE

```

```

        F(I)=ABS(F(I))
    END IF
    SUMFS=SUMFS+F(I)
END DO

! EURESI THESIS TON FIBERS KAI TIS PARAMORFOSIS TOUS
RNCONCRETE=0.0
RMCONCRETE=0.0
DO I=1,INT(UCNUMFIBERS)
    REAL=2*I-1
    Y(I)=REAL*(YFIBERUC/2.0)
    ECY(I)=(X(L)-Y(I))*ECU1/X(L)
    IF (ABS(ECY(I)).LE.ABS(ECUN)) THEN
        STRESSU(I)=- (UA*ECY(I)*ECY(I)+UW*ABS(ECY(I)))
        FC(I)=STRESSU(I)*b*YFIBERUC
    END IF
    IF (ABS(ECY(I)).GT.ABS(ECUN)) THEN
        STRESSU(I)=- (UQ*ABS(ECY(I))+UV)
        FC(I)=STRESSU(I)*b*YFIBERUC
    END IF
    IF((ECY(I).GT.0.0).OR.(ABS(ECY(I)).GT.ABS(ECUNMAX)))
THEN
        STRESSU(I)=0.0
        FC(I)=STRESSU(I)*b*YFIBERUC
    END IF
    RMUC(I)=(Y(I)-(h/2.0))*FC(I)
    RMC(I)=RMUC(I)

```



```

RNCONCRETE=RNCONCRETE+FC(I)
RMCONCRETE=RMCONCRETE+RMC(I)
END DO
M=UCNUMFIBERS+1.0
DO I=1,INT(CCNUMFIBERS)
    REAL=2*I-1
    Y(M)=c+REAL*YFIBERCC/2.0
    ECY(M)=(X(L)-Y(M))*ECU1/X(L)
    IF (ABS(ECY(M)).LE.ABS(ECUN)) THEN
        STRESSU(M)=-
(UA*ECY(M)*ECY(M)+UW*ABS(ECY(M)))
        FU(M)=STRESSU(M)*c*YFIBERCC*2.0
    END IF
    IF(ABS(ECY(M)).GT.ABS(ECUN)) THEN
        STRESSU(M)=-
(UQ*ABS(ECY(M))+UV)
        FU(M)=STRESSU(M)*c*YFIBERCC*2.0
    END IF
    IF((ECY(M).GT.0.0).OR.(ABS(ECY(M)).GT.ABS(ECUNMAX)))
THEN
        STRESSU(M)=0.0
        FU(M)=STRESSU(M)*c*YFIBERCC*2.0
    END IF
    IF (ABS(ECY(M)).LE.ABS(ECC)) THEN
        STRESSC(M)=-
(CA*ECY(M)*ECY(M)+CW*ABS(ECY(M)))
        FC(M)=FU(M)+STRESSC(M)*(b-2*c)*YFIBERCC
    END IF
    IF (ABS(ECY(M)).GT.ABS(ECC)) THEN

```

```

        STRESSC(M)=- (CQ*ABS(ECY(M))+CV)
        FC(M)=FU(M)+STRESSC(M)*(b-2*c)*YFIBERCC
    END IF
    IF((ECY(M).GT.0.0).OR.(ABS(ECY(M)).GT.ABS(ECCMAX)))
THEN
        STRESSC(M)=0.0
        FC(M)=FU(M)+STRESSC(M)*(b-2*c)*YFIBERCC
    END IF
    RMC(M)=(Y(M)-(h/2.0))*FC(M)
    RNCONCRETE=RNCONCRETE+FC(M)
    RMCONCRETE=RMCONCRETE+RMC(M)

    M=M+1
END DO
N=UCNUMFIBERS+CCNUMFIBERS+1.0
DO I=1,INT(UCNUMFIBERS)
    Y(N)=(h-c)+FLOAT(2*I-1)*YFIBERUC/2.0
    ECY(N)=(X(L)-Y(N))*ECU1/X(L)
    IF (ABS(ECY(N)).LE.ABS(ECUN)) THEN
        STRESSU(N)=- (UA*ECY(N)*ECY(N)+UW*ABS(ECY(N)))
        FC(N)=STRESSU(N)*b*YFIBERUC
    END IF
    IF(ABS(ECY(N)).GT.ABS(ECUN)) THEN
        STRESSU(N)=- (UQ*ABS(ECY(N))+UV)
        FC(N)=STRESSU(N)*b*YFIBERUC
    END IF
    IF((ECY(N).GT.0.0).OR.(ABS(ECY(N)).GT.ABS(ECUNMAX)))
THEN

```

```

        STRESSU(N)=0.0
        FC(N)=STRESSU(N)*b*YFIBERUC
    END IF
    RMC(N)=(Y(N)-(h/2.0))*FC(N)
    RNCONCRETE=RNCONCRETE+FC(N)
    RMCONCRETE=RMCONCRETE+RMC(N)

    N=N+1

END DO
RNTOTAL(L)=RNCONCRETE+SUMFS
RMTOTAL(L)=RMCONCRETE+SUMMS
RKABIL(L)=ABS(ECU1)/X(L)
WRITE(9,20)L,ECU1,ES2(L),X(L),RNTOTAL(L),RMTOTAL(L),RKABIL(
L)
20  FORMAT(1X,I2,3X,F6.4,3X,F6.4,3X,F6.4,3X,F12.5,3X,F12.4,3X,F12.4)
L=L+1
END DO

        ! EURESI Simio gia MU=0.0

! OLES OI DINAMEIS THETIKES
! OI PARAMORFOSEIS ME TO PROSIMO TOUS
YIELD=FY/E
ES(1)=YIELD
        F(1)=AS*E*ABS(ES(1))/10.0 ! DINAMI PLEON THLIVOMENOU
XALIVA
        ES(K)=YIELD ! PARAMORFOSI PLEON EFELKIOMENOU XALIVA
        F(K)=AS*E*ABS(ES(K))/10.0 ! DINAMI PLEON EFELKYOMENOU
XALIVA

```

```

! EURESI PARAMORFOSEON ENDIAMESON XALIVON
IMAX=K-2
DO I=1,IMAX
    ES(1+I)=YIELD
! EURESI DINAMEON ENDIAMESON XALIVON

    F(1+I)=ASMIDDLE*E*ABS(ES(1+I))/10.0
END DO
! EURESI ROPON ENDIAMESON XALIVON
DO I=1,K
    RM(I)=ABS(F(I)*(FLOAT(K)-2.0*FLOAT(I)+1.0)*DY/2.0)
END DO
! PROSTHESI ROPON (THETIKI I ANTIOROLOGI AKI FORA)
! PROSTHESI DINAMEON
SUMMS=0.0
SUMFS=0.0
DO I=1,K
    IF (ES(I).LE.0.0) THEN
        IF ((c+(DD/2.0)+DY*(FLOAT(I)-1.0)).LE.(h/2.0)) THEN
            RM(I)=ABS(RM(I))
        ELSE
            RM(I)=-ABS(RM(I))
        END IF
    ELSE
        IF ((c+(DD/2.0)+DY*(FLOAT(I)-1.0)).LE.(h/2.0)) THEN
            RM(I)=-ABS(RM(I))
        ELSE

```

```

        RM(I)=ABS(RM(I))
    END IF
END IF
SUMMS=SUMMS+RM(I)
IF (ES(I).LE.0.0) THEN
    F(I)=-ABS(F(I))
ELSE
    F(I)=ABS(F(I))
END IF
SUMFS=SUMFS+F(I)
END DO
FAKE=0.0
WRITE(9,30)FAKE,FAKE,FAKE,FAKE,SUMFS,SUMMS,FAKE
30
FORMAT(1X,F2.0,3X,F9.5,3X,F6.3,3X,F6.3,3X,F12.2,3X,F12.2,3X,F12
.2)
END PROGRAM FIBERSMU

```

PROGRAM FIBERSMy  
 DIMENSION X(200)  
 DIMENSION ES2(200)  
 DIMENSION RNTOTAL(200)  
 DIMENSION RMTOTAL(200)  
 DIMENSION RKABIL(200)  
 DIMENSION F(200)  
 DIMENSION ES(200)  
 DIMENSION RM(200)  
 DIMENSION RMC(200)  
 DIMENSION RMUC(200)  
 DIMENSION STRESSU(200)  
 DIMENSION STRESSC(200)  
 DIMENSION ECY(200)  
 DIMENSION FU(200)  
 DIMENSION FC(200)  
 DIMENSION Y(200)

! DEDOMENA

AS=7.634  
 OPLISMOU (cm2)

!EMBADO AKRAIAS STATHMIS

ASMIDDLE=5.089  
 OPLISMOU (cm2)

!EMBADO MESAIAS STATHMIS

DD=0.018

! DIAMETROS SIDERON (m)

K=3  
 OPLISMON

! ARITHMOS STATHMEON

h=0.35

! IPSOS DIATOMIS (m)

d=0.302

! STATIKO IPSOS DIATOMIS (m)

b=0.35

! PLATOS DIATOMIS (m)

$c=0.03$  ! EPIKALIPSI DIATOMIS (m)  
 $CORE=h-(2.0*c)$  ! IPSOS PIRINA  
 $UCNUMFIBERS=2.0*c*100.0$  ! ARITHMOS INON STIN  
 EPIKALIPSI  
 $CCNUMFIBERS=2.0*CORE*100.0$  ! ARITHMOS INON STON  
 PIRINA  
 $YFIBERUC=c/UCNUMFIBERS$  ! IPSOS INAS STIN  
 EPIKALIPSI  
 $YFIBERCC=CORE/CCNUMFIBERS$  ! IPSOS INAS STON  
 PIRINA  
 $FY=500.0$  ! TASI DIAROIS XALYBA (MPa)  
 $E=200000.0$  ! METRO ELASTIKOTITAS XALYBA  
 (MPa)  
 $ESY=FY/E$  ! PARAMORFOSI DIAROIS  
 XALYBA  
 $FCC=34317.0$  ! MAX TASI PERISFIGMENOY  
 SKYRODEMATOS  
 $ECC=-0.003769$  ! PARAMORFOSI SKYRODEMATOS  
 POU ANTISTIXEI STIN FCC (arnitiki timi)  
 $FCCMAX=29169.45$  ! 0,85 TIS FCC  
 $ECCMAX=-0.023316$  ! PARAMORFOSI SKYRODEMATOS  
 POU ANTISTIXEI STIN FCCMAX (arnitiki timi)  
 $FCUN=25000.0$  ! MAX TASI APERISFIKTOU  
 SKYRODEMATOS  
 $ECUN=-0.002$  ! PARAMORFOSI SKYRODEMATOS  
 POU ANTISTIXEI STIN FCUN (arnitiki timi)  
 $FCUNMAX=21250.0$  ! MAX TASI PERISFIGMENOY  
 SKYRODEMATOS  
 $ECUNMAX=-0.0035$  ! MAX PARAMORFOSI APESFIKTOU  
 SKYRODEMATOS (arnitiki timi)  
 !TELOS DEDOMENON

$UA = -(FCUN / (ECUN * ECUN))$   
 $UW = 2.0 * FCUN / ABS(ECUN)$   
 $CA = -(FCC / (ECC * ECC))$   
 $CW = 2.0 * FCC / ABS(ECC)$   
 $UQ = (FCUN - FCUNMAX) / (ABS(ECUN) - ABS(ECUNMAX))$   
 $UV = FCUN - ABS(ECUN) * UQ$   
 $CQ = (FCC - FCCMAX) / (ABS(ECC) - ABS(ECCMAX))$   
 $CV = FCC - ABS(ECC) * CQ$

! PARAMORFOSI AKRAIAS THLIVOMENIS INAS

! SKIRODEMATOS (arnitiki timi)

$DY = (d - c - (DD / 2.0)) / (FLOAT(K) - 1.0)$

STEP = ABS(ECCMAX) / 100.0

L = 1

OPEN(unit=9, file="apotelesmataFIBERSMy.txt")

WRITE(9,10) "L", "ECU1", "ES2", "X", "NTOTAL", "MTOTAL", "KABILOTIT  
A"

10 FORMAT(2x,a,4x,a,6x,a,6x,a,11x,a,10x,a,8x,a)

! EURESI Simio gia MU=0.0 THLIPSI

! OLES OI DINAMEIS THETIKES

! OI PARAMORFOSEIS ME TO PROSIMO TOUS

YIELD = ECCMAX

ES(1) = YIELD

F(1) = AS \* E \* ABS(ES(1)) / 10.0 ! DINAMI PLEON THLIVOMENOU  
XALIVA

ES(K) = YIELD ! PARAMORFOSI PLEON EFELKIOMENOU XALIVA

F(K) = AS \* E \* ABS(ES(K)) / 10.0 ! DINAMI PLEON EFELKYOMENOU  
XALIVA



```

! EURESI PARAMORFOSEON ENDIAMESON XALIVON
IMAX=K-2
DO I=1,IMAX
    ES(1+I)=YIELD
! EURESI DINAMEON ENDIAMESON XALIVON

    F(1+I)=ASMIDDLE*E*ABS(ES(1+I))/10.0
END DO
! EURESI ROPON ENDIAMESON XALIVON
DO I=1,K
    RM(I)=ABS(F(I)*(FLOAT(K)-2.0*FLOAT(I)+1.0)*DY/2.0)
END DO
! PROSTHESI DINAMEON
SUMMS=0.0
SUMFS=0.0
DO I=1,K
    IF (ES(I).LE.0.0) THEN
        IF ((c+(DD/2.0)+DY*(FLOAT(I)-1.0)).LE.(h/2.0)) THEN
            RM(I)=ABS(RM(I))
        ELSE
            RM(I)=-ABS(RM(I))
        END IF
    ELSE
        IF ((c+(DD/2.0)+DY*(FLOAT(I)-1.0)).LE.(h/2.0)) THEN
            RM(I)=-ABS(RM(I))
        ELSE

```

```

        RM(I)=ABS(RM(I))
    END IF
END IF
SUMMS=SUMMS+RM(I)
IF (ES(I).LE.0.0) THEN
    F(I)=-ABS(F(I))
ELSE
    F(I)=ABS(F(I))
END IF
SUMFS=SUMFS+F(I)
END DO
SUMFS=SUMFS+(b-2*c)*(h-2*c)*FCCMAX
FAKE=0.0
WRITE(9,40)FAKE,FAKE,FAKE,FAKE,SUMFS,SUMMS,FAKE
40
FORMAT(1X,F2.0,3X,F9.5,3X,F6.3,3X,F6.3,3X,F12.2,3X,F12.2,3X,F12
.2)

DO ECU1=ECCMAX,-0.00001,STEP

X(L)=ABS(ECU1)*d/(ABS(ECU1)+ABS(ESY))
EC1=(X(L)-C)*ECU1/X(L)
ES2(L)=ESY

! EURESI DINAMEON KAI ROPON TON OPLISMON
! OLES OI DINAMEIS THETIKES
! OI PARAMORFOSEIS ME TO PROSIMO TOUS
YIELD=FY/E

```

```

ES(1)=(X(L)-c-(DD/2.0))*ECU1/X(L)
IF (ABS(ES(1)).LT.YIELD) THEN
    F(1)=AS*E*ABS(ES(1))/10.0
ELSE
    F(1)=AS*FY/10.0 ! DINAMI PLEON THLIVOMENOU XALIVA
END IF
ES(K)=ES2(L) ! PARAMORFOSI PLEON EFELKIOMENOU XALIVA
IF (ABS(ES(K)).LT.YIELD) THEN
    F(K)=AS*E*ABS(ES(K))/10.0 ! DINAMI PLEON THLIVOMENOU
XALIVA
ELSE
    F(K)=AS*FY/10.0 ! DINAMI PLEON THLIVOMENOU XALIVA
END IF
! EURESI PARAMORFOSEON ENDIAMESON XALIVON
IMAX=K-2
DO I=1,IMAX
    ES(1+I)=(X(L)-(I*DY)-(c+DD/2.0))*ECU1/X(L)
! EURESI DINAMEON ENDIAMESON XALIVON
    IF (ABS(ES(1+I)).LT.YIELD) THEN
        F(1+I)=ASMIDDLE*E*ABS(ES(1+I))/10.0
    ELSE
        F(1+I)=ASMIDDLE*FY/10.0
    END IF
END DO
! EURESI ROPON ENDIAMESON XALIVON
DO I=1,K
    RM(I)=ABS(F(I))*(FLOAT(K)-2.0*FLOAT(I)+1.0)*DY/2.0

```

```

END DO
! PROSTHESI ROPON (THETIKI I ANTIOROLOGI AKI FOR A)
! PROSTHESI DINAMEON
SUMMS=0.0
SUMFS=0.0
DO I=1,K
  IF (ES(I).LE.0.0) THEN
    IF ((c+(DD/2.0)+DY*(FLOAT(I)-1.0)).LE.(h/2.0)) THEN
      RM(I)=ABS(RM(I))
    ELSE
      RM(I)=-ABS(RM(I))
    END IF
  ELSE
    IF ((c+(DD/2.0)+DY*(FLOAT(I)-1.0)).LE.(h/2.0)) THEN
      RM(I)=-ABS(RM(I))
    ELSE
      RM(I)=ABS(RM(I))
    END IF
  END IF
  SUMMS=SUMMS+RM(I)
  IF (ES(I).LE.0.0) THEN
    F(I)=-ABS(F(I))
  ELSE
    F(I)=ABS(F(I))
  END IF
  SUMFS=SUMFS+F(I)
END DO

```

! EURESI THESIS TON FIBERS KAI TIS PARAMORFOSIS TOUS

RNCONCRETE=0.0

RMCONCRETE=0.0

DO I=1,INT(UCNUMFIBERS)

REAL=2\*I-1

Y(I)=REAL\*(YFIBERUC/2.0)

ECY(I)=(X(L)-Y(I))\*ECU1/X(L)

IF (ABS(ECY(I)).LE.ABS(ECUN)) THEN

STRESSU(I)=- (UA\*ECY(I)\*ECY(I)+UW\*ABS(ECY(I)))

FC(I)=STRESSU(I)\*b\*YFIBERUC

END IF

IF (ABS(ECY(I)).GT.ABS(ECUN)) THEN

STRESSU(I)=- (UQ\*ABS(ECY(I))+UV)

FC(I)=STRESSU(I)\*b\*YFIBERUC

END IF

IF((ECY(I).GT.0.0).OR.(ABS(ECY(I)).GT.ABS(ECUNMAX)))

THEN

STRESSU(I)=0.0

FC(I)=STRESSU(I)\*b\*YFIBERUC

END IF

RMUC(I)=(Y(I)-(h/2.0))\*FC(I)

RMC(I)=RMUC(I)

RNCONCRETE=RNCONCRETE+FC(I)

RMCONCRETE=RMCONCRETE+RMC(I)

END DO

M=UCNUMFIBERS+1.0

```

DO I=1,INT(CCNUMFIBERS)
    REAL=2*I-1
    Y(M)=c+REAL*YFIBERCC/2.0
    ECY(M)=(X(L)-Y(M))*ECU1/X(L)
    IF (ABS(ECY(M)).LE.ABS(ECUN)) THEN
        STRESSU(M)=-
(UA*ECY(M)*ECY(M)+UW*ABS(ECY(M)))
        FU(M)=STRESSU(M)*c*YFIBERCC*2.0
    END IF
    IF(ABS(ECY(M)).GT.ABS(ECUN)) THEN
        STRESSU(M)=-
(UQ*ABS(ECY(M))+UV)
        FU(M)=STRESSU(M)*c*YFIBERCC*2.0
    END IF
    IF((ECY(M).GT.0.0).OR.(ABS(ECY(M)).GT.ABS(ECUNMAX)))
THEN
        STRESSU(M)=0.0
        FU(M)=STRESSU(M)*c*YFIBERCC*2.0
    END IF
    IF (ABS(ECY(M)).LE.ABS(ECC)) THEN
        STRESSC(M)=-
(CA*ECY(M)*ECY(M)+CW*ABS(ECY(M)))
        FC(M)=FU(M)+STRESSC(M)*(b-2*c)*YFIBERCC
    END IF
    IF (ABS(ECY(M)).GT.ABS(ECC)) THEN
        STRESSC(M)=-
(CQ*ABS(ECY(M))+CV)
        FC(M)=FU(M)+STRESSC(M)*(b-2*c)*YFIBERCC
    END IF

```

```

THEN
    IF((ECY(M).GT.0.0).OR.(ABS(ECY(M)).GT.ABS(ECCMAX)))

        STRESSC(M)=0.0
        FC(M)=FU(M)+STRESSC(M)*(b-2*c)*YFIBERCC
    END IF
    RMC(M)=(Y(M)-(h/2.0))*FC(M)
    RNCONCRETE=RNCONCRETE+FC(M)
    RMCONCRETE=RMCONCRETE+RMC(M)

    M=M+1
END DO
N=UCNUMFIBERS+CCNUMFIBERS+1.0
DO I=1,INT(UCNUMFIBERS)
    Y(N)=(h-c)+FLOAT(2*I-1)*YFIBERUC/2.0
    ECY(N)=(X(L)-Y(N))*ECU1/X(L)
    IF (ABS(ECY(N)).LE.ABS(ECUN)) THEN
        STRESSU(N)=-((UA*ECY(N)*ECY(N)+UW*ABS(ECY(N)))
        FC(N)=STRESSU(N)*b*YFIBERUC
    END IF
    IF(ABS(ECY(N)).GT.ABS(ECUN)) THEN
        STRESSU(N)=-((UQ*ABS(ECY(N))+UV)
        FC(N)=STRESSU(N)*b*YFIBERUC
    END IF
    IF((ECY(N).GT.0.0).OR.(ABS(ECY(N)).GT.ABS(ECUNMAX)))
THEN
        STRESSU(N)=0.0
        FC(N)=STRESSU(N)*b*YFIBERUC
    END IF

```

```

RMC(N)=(Y(N)-(h/2.0))*FC(N)
RNCONCRETE=RNCONCRETE+FC(N)
RMCONCRETE=RMCONCRETE+RMC(N)

N=N+1

END DO

RNTOTAL(L)=RNCONCRETE+SUMFS
RMTOTAL(L)=RMCONCRETE+SUMMS
RKABIL(L)=ABS(ECU1)/X(L)
WRITE(9,20)L,ECU1,ES2(L),X(L),RNTOTAL(L),RMTOTAL(L),RKABIL(
L)
20  FORMAT(1X,I2,3X,F6.3,3X,F6.3,3X,F6.3,3X,F12.5,3X,F12.4,3X,F12.8)
L=L+1
END DO

! EURESI Simio gia MU=0.0 EFELKYSMO
! OLES OI DINAMEIS THETIKES
! OI PARAMORFOSEIS ME TO PROSIMO TOUS
YIELD=FY/E
ES(1)=YIELD
F(1)=AS*E*ABS(ES(1))/10.0 ! DINAMI PLEON THLIVOMENOU
XALIVA
ES(K)=YIELD ! PARAMORFOSI PLEON EFELKIOMENOU XALIVA
F(K)=AS*E*ABS(ES(K))/10.0 ! DINAMI PLEON EFELKYOMENOU
XALIVA

! EURESI PARAMORFOSEON ENDIAMESON XALIVON
IMAX=K-2
DO I=1,IMAX

```



```

    ES(1+I)=YIELD
! EURESI DINAMEON ENDIAMESON XALIVON

    F(1+I)=ASMIDDLE*E*ABS(ES(1+I))/10.0
END DO
! EURESI ROPON ENDIAMESON XALIVON
DO I=1,K
    RM(I)=ABS(F(I)*(FLOAT(K)-2.0*FLOAT(I)+1.0)*DY/2.0)
END DO
! PROSTHESI DINAMEON
SUMMS=0.0
SUMFS=0.0
DO I=1,K
    IF (ES(I).LE.0.0) THEN
        IF ((c+(DD/2.0)+DY*(FLOAT(I)-1.0)).LE.(h/2.0)) THEN
            RM(I)=ABS(RM(I))
        ELSE
            RM(I)=-ABS(RM(I))
        END IF
    ELSE
        IF ((c+(DD/2.0)+DY*(FLOAT(I)-1.0)).LE.(h/2.0)) THEN
            RM(I)=-ABS(RM(I))
        ELSE
            RM(I)=ABS(RM(I))
        END IF
    END IF
    SUMMS=SUMMS+RM(I)

```

```
IF (ES(I).LE.0.0) THEN
    F(I)=-ABS(F(I))
ELSE
    F(I)=ABS(F(I))
END IF
SUMFS=SUMFS+F(I)
END DO
FAKE=0.0
WRITE(9,30)FAKE,FAKE,FAKE,FAKE,SUMFS,SUMMS,FAKE
30
FORMAT(1X,F2.0,3X,F9.5,3X,F6.3,3X,F6.3,3X,F12.2,3X,F12.2,3X,F12
.2)
END PROGRAM FIBERSMy
```

PROGRAM FIBERSMcr  
 DIMENSION X(200)  
 DIMENSION ES2(200)  
 DIMENSION RNTOTAL(200)  
 DIMENSION RMTOTAL(200)  
 DIMENSION RKABIL(200)  
 DIMENSION F(200)  
 DIMENSION ES(200)  
 DIMENSION RM(200)  
 DIMENSION RMC(200)  
 DIMENSION RMUC(200)  
 DIMENSION STRESSU(200)  
 DIMENSION STRESSC(200)  
 DIMENSION ECY(200)  
 DIMENSION FU(200)  
 DIMENSION FC(200)  
 DIMENSION Y(200)

! DEDOMENA

AS=7.634  
 OPLISMOU (cm2)

! EMBADO AKRAIAS STATHMIS

ASMIDDLE=5.089  
 OPLISMOU (cm2)

! EMBADO MESAIAS STATHMIS

DD=0.018

! DIAMETROS SIDERON (m)

K=3  
 OPLISMON

! ARITHMOS STATHMEON

h=0.35

! IPSOS DIATOMIS (m)

d=0.302

! STATIKO IPSOS DIATOMIS (m)

b=0.35

! PLATOS DIATOMIS (m)

$c=0.03$  ! EPIKALIPSI DIATOMIS (m)  
 $CORE=h-(2.0*c)$  ! IPSOS PIRINA  
 $UCNUMFIBERS=2.0*c*100.0$  ! ARITHMOS INON STIN  
 EPIKALIPSI  
 $CCNUMFIBERS=2.0*CORE*100.0$  ! ARITHMOS INON STON  
 PIRINA  
 $YFIBERUC=c/UCNUMFIBERS$  ! IPSOS INAS STIN  
 EPIKALIPSI  
 $YFIBERCC=CORE/CCNUMFIBERS$  ! IPSOS INAS STON  
 PIRINA  
 $FY=500.0$  ! TASI DIAROIS XALYBA (MPa)  
 $E=200000.0$  ! METRO ELASTIKOTITAS XALYBA  
 (MPa)  
 $ESY=FY/E$  ! PARAMORFOSI DIAROIS  
 XALYBA  
 $E_c=30500.0$  ! METRO ELASTIKOTITAS  
 SKYRODEMATOS (MPa)  
 $F_{ctm}=2.6$  ! EFELKYSTIKI ANTOXI  
 SKYRODEMATOS (MPa)  
 $FCC=34317.0$  ! MAX TASI PERISFIGMENOY  
 SKYRODEMATOS  
 $ECC=-0.003769$  ! PARAMORFOSI SKYRODEMATOS  
 POU ANTISTIXEI STIN FCC (arnitiki timi)  
 $FCCMAX=29169.45$  ! 0,85 TIS FCC  
 $ECCMAX=-0.023316$  ! PARAMORFOSI SKYRODEMATOS  
 POU ANTISTIXEI STIN FCCMAX (arnitiki timi)  
 $FCUN=25000.0$  ! MAX TASI APERISFIKTOU  
 SKYRODEMATOS  
 $ECUN=-0.002$  ! PARAMORFOSI SKYRODEMATOS  
 POU ANTISTIXEI STIN FCUN (arnitiki timi)  
 $FCUNMAX=21250.0$  ! MAX TASI PERISFIGMENOY  
 SKYRODEMATOS

ECUNMAX=-0.0035 ! MAX PARAMORFOSI APESFIKTOU  
SKYRODEMATOS (arnitiki timi)

!TELOS DEDOMENON

UA=-(FCUN/(ECUN\*ECUN))

UW=2.0\*FCUN/ABS(ECUN)

CA=-(FCC/(ECC\*ECC))

CW=2.0\*FCC/ABS(ECC)

UQ=(FCUN-FCUNMAX)/(ABS(ECUN)-ABS(ECUNMAX))

UV=FCUN-ABS(ECUN)\*UQ

CQ=(FCC-FCCMAX)/(ABS(ECC)-ABS(ECCMAX))

CV=FCC-ABS(ECC)\*CQ

Ect=Fctm/Ec

DY=(d-c-(DD/2.0))/(FLOAT(K)-1.0)

STEP=ABS(ECCMAX)/100.0

L=1

OPEN(unit=9,file="apotelesmataFIBERSMcr.txt")

WRITE(9,10)"L","ECU1","ES2","X","NTOTAL","MTOTAL","KABILOTIT

A"

10 FORMAT(2x,a,4x,a,6x,a,6x,a,11x,a,10x,a,8x,a)

DO ECU1=ECCMAX,-0.00001,STEP

EC2=Ect

X(L)=ABS(ECU1)\*h/(ABS(EC2)+ABS(ECU1))

EC1=(X(L)-C)\*ECU1/X(L)

ES2(L)=ABS(ECU1)\*(d-X(L))/X(L)

! EURESI DINAMEON KAI ROPON TON OPLISMON

```

! OLES OI DINAMEIS THETIKES
! OI PARAMORFOSEIS ME TO PROSIMO TOUS
YIELD=FY/E
ES(1)=(X(L)-c-(DD/2.0))*ECU1/X(L)
IF (ABS(ES(1)).LT.YIELD) THEN
    F(1)=AS*E*ABS(ES(1))/10.0
ELSE
    F(1)=AS*FY/10.0 ! DINAMI PLEON THLIVOMENOU XALIVA
END IF
ES(K)=ES2(L) ! PARAMORFOSI PLEON EFELKIOMENOU XALIVA
IF (ABS(ES(K)).LT.YIELD) THEN
    F(K)=AS*E*ABS(ES(K))/10.0 ! DINAMI PLEON THLIVOMENOU
XALIVA
ELSE
    F(K)=AS*FY/10.0 ! DINAMI PLEON THLIVOMENOU XALIVA
END IF
! EURESI PARAMORFOSEON ENDIAMESON XALIVON
IMAX=K-2
DO I=1,IMAX
    ES(1+I)=(X(L)-(I*DY)-(c+DD/2.0))*ECU1/X(L)
! EURESI DINAMEON ENDIAMESON XALIVON
    IF (ABS(ES(1+I)).LT.YIELD) THEN
        F(1+I)=ASMIDDLE*E*ABS(ES(1+I))/10.0
    ELSE
        F(1+I)=ASMIDDLE*FY/10.0
    END IF
END DO

```

```

! EURESI ROPON ENDIAMESON XALIVON
DO I=1,K
    RM(I)=ABS(F(I)*(FLOAT(K)-2.0*FLOAT(I)+1.0)*DY/2.0)
END DO
! PROSTHESI ROPON (THETIKI I ANTIOROLOGIAKI FOR A)
! PROSTHESI DINAMEON
SUMMS=0.0
SUMFS=0.0
DO I=1,K
    IF (ES(I).LE.0.0) THEN
        IF ((c+(DD/2.0)+DY*(FLOAT(I)-1.0)).LE.(h/2.0)) THEN
            RM(I)=ABS(RM(I))
        ELSE
            RM(I)=-ABS(RM(I))
        END IF
    ELSE
        IF ((c+(DD/2.0)+DY*(FLOAT(I)-1.0)).LE.(h/2.0)) THEN
            RM(I)=-ABS(RM(I))
        ELSE
            RM(I)=ABS(RM(I))
        END IF
    END IF
    SUMMS=SUMMS+RM(I)
    IF (ES(I).LE.0.0) THEN
        F(I)=-ABS(F(I))
    ELSE
        F(I)=ABS(F(I))
    END IF
END DO

```

```

END IF
SUMFS=SUMFS+F(I)
END DO

```

! EURESI THESIS TON FIBERS KAI TIS PARAMORFOSIS TOUS

```

RNCONCRETE=0.0
RMCONCRETE=0.0
DO I=1,INT(UCNUMFIBERS)
    REAL=2*I-1
    Y(I)=REAL*(YFIBERUC/2.0)
    ECY(I)=(X(L)-Y(I))*ECU1/X(L)
    IF (ABS(ECY(I)).LE.ABS(ECUN)) THEN
        STRESSU(I)=-((UA*ECY(I)*ECY(I)+UW*ABS(ECY(I))))
        FC(I)=STRESSU(I)*b*YFIBERUC
        Ft=0.0
        RMt=0.0
    END IF
    IF (ABS(ECY(I)).GT.ABS(ECUN)) THEN
        STRESSU(I)=-((UQ*ABS(ECY(I))+UV))
        FC(I)=STRESSU(I)*b*YFIBERUC
        Ft=0.0
        RMt=0.0
    END IF
    IF(ABS(ECY(I)).GT.ABS(ECUNMAX)) THEN
        STRESSU(I)=0.0
        FC(I)=STRESSU(I)*b*YFIBERUC
        Ft=0.0
    END IF

```



```

        RMt=0.0
    END IF
    IF (ECY(I).GT.0.0) THEN
        STRESSU(I)=Ec*ECY(I)*1000.0
        Ft=STRESSU(I)*b*YFIBERUC
        RMt=(Y(I)-h/2.0)*Ft
        FC(I)=0.0
    END IF
    RMUC(I)=(Y(I)-(h/2.0))*FC(I)
    RMC(I)=RMUC(I)
    RNCONCRETE=RNCONCRETE+FC(I)+Ft
    RMCONCRETE=RMCONCRETE+RMC(I)+RMt
END DO
M=UCNUMFIBERS+1.0
DO I=1,INT(CCNUMFIBERS)
    REAL=2*I-1
    Y(M)=c+REAL*YFIBERCC/2.0
    ECY(M)=(X(L)-Y(M))*ECU1/X(L)
    IF (ABS(ECY(M)).LE.ABS(ECUN)) THEN
        STRESSU(M)=-
(UA*ECY(M)*ECY(M)+UW*ABS(ECY(M)))
        FU(M)=STRESSU(M)*c*YFIBERCC*2.0
        Ft=0.0
        RMt=0.0
    END IF
    IF(ABS(ECY(M)).GT.ABS(ECUN)) THEN
        STRESSU(M)=-
(UQ*ABS(ECY(M))+UV)

```

```

FU(M)=STRESSU(M)*c*YFIBERCC*2.0
Ft=0.0
RMt=0.0
END IF
IF(ABS(ECY(M)).GT.ABS(ECUNMAX)) THEN
STRESSU(M)=0.0
FU(M)=STRESSU(M)*c*YFIBERCC*2.0
Ft=0.0
RMt=0.0
END IF
IF (ABS(ECY(M)).LE.ABS(ECC)) THEN
STRESSC(M)=-
(CA*ECY(M)*ECY(M)+CW*ABS(ECY(M)))
FC(M)=FU(M)+STRESSC(M)*(b-2*c)*YFIBERCC
Ft=0.0
RMt=0.0
END IF
IF (ABS(ECY(M)).GT.ABS(ECC)) THEN
STRESSC(M)=- (CQ*ABS(ECY(M))+CV)
FC(M)=FU(M)+STRESSC(M)*(b-2*c)*YFIBERCC
Ft=0.0
RMt=0.0
END IF
IF(ABS(ECY(M)).GT.ABS(ECCMAX)) THEN
STRESSC(M)=0.0
FC(M)=FU(M)+STRESSC(M)*(b-2*c)*YFIBERCC
Ft=0.0

```

```

        RMt=0.0
    END IF
    IF (ECY(M).GT.0.0) THEN
        STRESSU(M)=Ec*ECY(M)*1000.0
        Ft=STRESSU(M)*b*YFIBERCC
        RMt=(Y(M)-h/2.0)*Ft
        FC(M)=0.0
    END IF
    RMC(M)=(Y(M)-(h/2.0))*FC(M)
    RNCONCRETE=RNCONCRETE+FC(M)+Ft
    RMCONCRETE=RMCONCRETE+RMC(M)+RMt

    M=M+1
END DO
N=UCNUMFIBERS+CCNUMFIBERS+1.0
DO I=1,INT(UCNUMFIBERS)
    Y(N)=(h-c)+FLOAT(2*I-1)*YFIBERUC/2.0
    ECY(N)=(X(L)-Y(N))*ECU1/X(L)
    IF (ABS(ECY(N)).LE.ABS(ECUN)) THEN
        STRESSU(N)=-((UA*ECY(N)*ECY(N)+UW*ABS(ECY(N)))
        FC(N)=STRESSU(N)*b*YFIBERUC
        Ft=0.0
        RMt=0.0
    END IF
    IF(ABS(ECY(N)).GT.ABS(ECUN)) THEN
        STRESSU(N)=-((UQ*ABS(ECY(N))+UV)
        FC(N)=STRESSU(N)*b*YFIBERUC

```

```

        Ft=0.0
        RMt=0.0
    END IF
    IF(ABS(ECY(N)).GT.ABS(ECUNMAX)) THEN
        STRESSU(N)=0.0
        FC(N)=STRESSU(N)*b*YFIBERUC
        Ft=0.0
        RMt=0.0
    END IF
    IF (ECY(N).GT.0.0) THEN
        STRESSU(N)=Ec*ECY(N)*1000.0
        Ft=STRESSU(N)*b*YFIBERUC
        RMt=(Y(N)-h/2.0)*Ft
        FC(N)=0.0
    END IF

    RMC(N)=(Y(N)-(h/2.0))*FC(N)
    RNCONCRETE=RNCONCRETE+FC(N)+Ft
    RMCONCRETE=RMCONCRETE+RMC(N)+RMt

    N=N+1
END DO

RNTOTAL(L)=RNCONCRETE+SUMFS
RMTOTAL(L)=RMCONCRETE+SUMMS
RKABIL(L)=ABS(ECU1)/X(L)

```

```

WRITE(9,20)L,ECU1,ES2(L),X(L),RNTOTAL(L),RMTOTAL(L),RKABIL(
L)
20  FORMAT(1X,I2,3X,F6.4,3X,F6.4,3X,F6.3,3X,F12.5,3X,F12.4,3X,F12.8)
L=L+1
END DO
      ! EURESI Simio gia Mcr=0.0
      ! OLES OI DINAMEIS THETIKES
      ! OI PARAMORFOSEIS ME TO PROSIMO TOUS
      !
      ES(1)=Ect
      F(1)=AS*E*ABS(ES(1))/10.0 ! DINAMI PLEON THLIVOMENOU
XALIVA
      ES(K)=Ect ! PARAMORFOSI PLEON EFELKIOMENOU XALIVA
      F(K)=AS*E*ABS(ES(K))/10.0 ! DINAMI PLEON EFELKYOMENOU
XALIVA

      ! EURESI PARAMORFOSEON ENDIAMESON XALIVON
      IMAX=K-2
      DO I=1,IMAX
          ES(1+I)=Ect
      ! EURESI DINAMEON ENDIAMESON XALIVON

          F(1+I)=ASMIDDLE*E*ABS(ES(1+I))/10.0
      END DO
      ! EURESI ROPON ENDIAMESON XALIVON
      DO I=1,K
          RM(I)=ABS(F(I))*(FLOAT(K)-2.0*FLOAT(I)+1.0)*DY/2.0)
      END DO

```

```

! PROSTHESI ROPON (THETIKI I ANTIOROLOGIAKI FORA)
! PROSTHESI DINAMEON
SUMMS=0.0
SUMFS=0.0
DO I=1,K
  IF (ES(I).LE.0.0) THEN
    IF ((c+(DD/2.0)+DY*(FLOAT(I)-1.0)).LE.(h/2.0)) THEN
      RM(I)=ABS(RM(I))
    ELSE
      RM(I)=-ABS(RM(I))
    END IF
  ELSE
    IF ((c+(DD/2.0)+DY*(FLOAT(I)-1.0)).LE.(h/2.0)) THEN
      RM(I)=-ABS(RM(I))
    ELSE
      RM(I)=ABS(RM(I))
    END IF
  END IF
  SUMMS=SUMMS+RM(I)
  IF (ES(I).LE.0.0) THEN
    F(I)=-ABS(F(I))
  ELSE
    F(I)=ABS(F(I))
  END IF
  SUMFS=SUMFS+F(I)
END DO
WRITE(9,30)FAKE,FAKE,FAKE,FAKE,SUMFS,SUMMS,FAKE

```

30

FORMAT(1X,F2.0,3X,F9.5,3X,F6.3,3X,F6.3,3X,F12.2,3X,F12.2,3X,F12.2)

END PROGRAM FIBERSMcr

PROGRAM MOMENTCURVATURE

DIMENSION X(1000)

DIMENSION ES2(1000)

DIMENSION RNTOTAL(1000)

DIMENSION RMTOTAL(1000)

DIMENSION RKABIL(1000)

DIMENSION F(1000)

DIMENSION ES(1000)

DIMENSION RM(1000)

DIMENSION RMC(1000)

DIMENSION RMUC(1000)

DIMENSION STRESSU(1000)

DIMENSION STRESSC(1000)

DIMENSION ECY(1000)

DIMENSION FU(1000)

DIMENSION FC(1000)

DIMENSION Y(1000)

! DEDOMENA

AS=7.634  
OPLISMOU (cm2)

!EMBADO AKRAIAS STATHMIS

ASMIDDLE=5.089  
OPLISMOU (cm2)

!EMBADO MESAIAS STATHMIS

DD=0.018

! DIAMETROS SIDERON (m)

K=3  
OPLISMON

! ARITHMOS STATHMEON

h=0.35

! IPSOS DIATOMIS (m)

d=0.302

! STATIKO IPSOS DIATOMIS (m)

b=0.35

! PLATOS DIATOMIS (m)



$c=0.03$  ! EPIKALIPSI DIATOMIS (m)  
 $CORE=h-(2.0*c)$  ! IPSOS PIRINA  
 $UCNUMFIBERS=2.0*c*100.0$  ! ARITHMOS INON STIN  
 EPIKALIPSI  
 $CCNUMFIBERS=2.0*CORE*100.0$  ! ARITHMOS INON STON  
 PIRINA  
 $YFIBERUC=c/UCNUMFIBERS$  ! IPSOS INAS STIN  
 EPIKALIPSI  
 $YFIBERCC=CORE/CCNUMFIBERS$  ! IPSOS INAS STON  
 PIRINA  
 $FY=500.0$  ! TASI DIAROIS XALYBA (MPa)  
 $E=200000.0$  ! METRO ELASTIKOTITAS XALYBA  
 (MPa)  
 $ESY=FY/E$  ! PARAMORFOSI DIAROIS  
 XALYBA  
 $E_c=30500.0$  ! METRO ELASTIKOTITAS  
 SKYRODEMATOS (MPa)  
 $F_{ctm}=2.6$  ! EFELKYSTIKI ANTOXI  
 SKYRODEMATOS (MPa)  
 $FCC=34317.0$  ! MAX TASI PERISFIGMENOY  
 SKYRODEMATOS  
 $ECC=-0.003769$  ! PARAMORFOSI SKYRODEMATOS  
 POU ANTISTIXEI STIN FCC (arnitiki timi)  
 $FCCMAX=29169.45$  ! 0,85 TIS FCC  
 $ECCMAX=-0.023316$  ! PARAMORFOSI SKYRODEMATOS  
 POU ANTISTIXEI STIN FCCMAX (arnitiki timi)  
 $FCUN=25000.0$  ! MAX TASI APERISFIKTOU  
 SKYRODEMATOS  
 $ECUN=-0.002$  ! PARAMORFOSI SKYRODEMATOS  
 POU ANTISTIXEI STIN FCUN (arnitiki timi)  
 $FCUNMAX=21250.0$  ! MAX TASI PERISFIGMENOY  
 SKYRODEMATOS

ECUNMAX=-0.0035 ! MAX PARAMORFOSI APESFIKTOU  
SKYRODEMATOS (arnitiki timi)

!TELOS DEDOMENON

UA=-(FCUN/(ECUN\*ECUN))

UW=2.0\*FCUN/ABS(ECUN)

CA=-(FCC/(ECC\*ECC))

CW=2.0\*FCC/ABS(ECC)

UQ=(FCUN-FCUNMAX)/(ABS(ECUN)-ABS(ECUNMAX))

UV=FCUN-ABS(ECUN)\*UQ

CQ=(FCC-FCCMAX)/(ABS(ECC)-ABS(ECCMAX))

CV=FCC-ABS(ECC)\*CQ

Ect=Fctm/Ec

DY=(d-c-(DD/2.0))/(FLOAT(K)-1.0)

RNFORCE=-500.0

CONVERGENCE=5 ! epi tis 100%

STEPECU1=ECCMAX/2000.0

L=1

FAKE=0.0

OPEN(unit=9,file="MomentCurvature.txt")

WRITE(9,10)"L","ECU1","ES2","X","NTOTAL","MTOTAL","KABILOTIT

A"

10 FORMAT(2x,a,4x,a,6x,a,6x,a,11x,a,10x,a,8x,a)

WRITE(9,30)FAKE,FAKE,FAKE,FAKE,FAKE,FAKE,FAKE

30

FORMAT(1X,F2.0,3X,F7.5,3X,F6.3,3X,F6.3,3X,F12.5,3X,F12.4,3X,F12  
.4)

DO ECU1=0.0,ECCMAX,STEPECU1 !  
PARAMORFOSI AKRAIAS THLIVOMENIS INAS

! SKIRODEMATOS (arnitiki timi)

DY=(d-c-(DD/2.0))/(FLOAT(K)-1.0)

X70=ABS(ECU1)\*d/(0.07+ABS(ECU1)) ! TO X GIA PARAMORFOSI  
SKIRODEMATOS ECU1 KAI XALIVA 0,07

EC2MAX=ABS(ECU1)\*(h-X70)/X70 ! PARAMORFOSI  
EFELKIOMENIS INAS SKIRODEMATOS

STEP=ABS(EC2MAX)/2000.0

DO EC2=0.0,EC2MAX,STEP

IF (ECU1.EQ.EC2) THEN

YIELD=FY/E

ES(1)=ECU1

IF (ABS(ES(1)).LT.YIELD) THEN

F(1)=AS\*E\*ABS(ES(1))/10.0

ELSE

F(1)=AS\*FY/10.0 ! DINAMI PLEON THLIVOMENOU XALIVA

END IF

```

      ES(K)=ECU1  ! PARAMORFOSI PLEON EFELKIOMENOU
XALIVA
      IF (ABS(ES(K)).LT.YIELD) THEN
          F(K)=AS*E*ABS(ES(K))/10.0 ! DINAMI PLEON THLIVOMENOU
XALIVA
      ELSE
          F(K)=AS*FY/10.0 ! DINAMI PLEON THLIVOMENOU XALIVA
      END IF
      ! EURESI PARAMORFOSEON ENDIAMESON XALIVON
      IMAX=K-2
      DO I=1,IMAX
          ES(1+I)=(X(L)-(I*DY)-(c+DD/2.0))*ECU1/X(L)
          ! EURESI DINAMEON ENDIAMESON XALIVON
          IF (ABS(ES(1+I)).LT.YIELD) THEN
              F(1+I)=ASMIDDLE*E*ABS(ES(1+I))/10.0
          ELSE
              F(1+I)=ASMIDDLE*FY/10.0
          END IF
      END DO
      ! EURESI ROPON ENDIAMESON XALIVON
      DO I=1,K
          RM(I)=ABS(F(I))*(FLOAT(K)-2.0*FLOAT(I)+1.0)*DY/2.0
      END DO
      ! PROSTHESI ROPON (THETIKI I ANTIOROLOGIAKI FOR A)
      ! PROSTHESI DINAMEON
      SUMMS=0.0
      SUMFS=0.0
      DO I=1,K

```

```

IF (ES(I).LE.0.0) THEN
  IF ((c+(DD/2.0)+DY*(FLOAT(I)-1.0)).LE.(h/2.0)) THEN
    RM(I)=ABS(RM(I))
  ELSE
    RM(I)=-ABS(RM(I))
  END IF
ELSE
  IF ((c+(DD/2.0)+DY*(FLOAT(I)-1.0)).LE.(h/2.0)) THEN
    RM(I)=-ABS(RM(I))
  ELSE
    RM(I)=ABS(RM(I))
  END IF
END IF
SUMMS=SUMMS+RM(I)
IF (ES(I).LE.0.0) THEN
  F(I)=-ABS(F(I))
ELSE
  F(I)=ABS(F(I))
END IF
SUMFS=SUMFS+F(I)
END DO
! EURESI THESIS TON FIBERS KAI TIS PARAMORFOSIS TOUS
RNCONCRETE=0.0
RMCONCRETE=0.0
DO I=1,INT(UCNUMFIBERS)
  REAL=2*I-1
  Y(I)=REAL*(YFIBERUC/2.0)

```

```

    ECY(I)=ECU1
    IF (ABS(ECY(I)).LE.ABS(ECUN)) THEN
        STRESSU(I)=- (UA*ECY(I)*ECY(I)+UW*ABS(ECY(I)))
        FC(I)=STRESSU(I)*b*YFIBERUC
    END IF
    IF (ABS(ECY(I)).GT.ABS(ECUN)) THEN
        STRESSU(I)=- (UQ*ABS(ECY(I))+UV)
        FC(I)=STRESSU(I)*b*YFIBERUC
    END IF
    IF ((ECY(I).GT.0.0).OR.(ABS(ECY(I)).GT.ABS(ECUNMAX)))
THEN
        STRESSU(I)=0.0
        FC(I)=STRESSU(I)*b*YFIBERUC
    END IF
    RMUC(I)=(Y(I)-(h/2.0))*FC(I)
    RMC(I)=RMUC(I)
    RNCONCRETE=RNCONCRETE+FC(I)
    RMCONCRETE=RMCONCRETE+RMC(I)
END DO
M=UCNUMFIBERS+1.0
DO I=1,INT(CCNUMFIBERS)
    REAL=2*I-1
    Y(M)=c+REAL*YFIBERCC/2.0
    ECY(M)=ECU1
    IF (ABS(ECY(M)).LE.ABS(ECUN)) THEN
        STRESSU(M)=-
(UA*ECY(M)*ECY(M)+UW*ABS(ECY(M)))
        FU(M)=STRESSU(M)*c*YFIBERCC*2.0
    
```

```

END IF
IF (ABS(ECY(M)).GT.ABS(ECUN)) THEN
    STRESSU(M)=- (UQ*ABS(ECY(M))+UV)
    FU(M)=STRESSU(M)*c*YFIBERCC*2.0
END IF
IF ((ECY(M).GT.0.0).OR.(ABS(ECY(M)).GT.ABS(ECUNMAX)))
THEN
    STRESSU(M)=0.0
    FU(M)=STRESSU(M)*c*YFIBERCC*2.0
END IF
IF (ABS(ECY(M)).LE.ABS(ECC)) THEN
    STRESSC(M)=-
(CA*ECY(M)*ECY(M)+CW*ABS(ECY(M)))
    FC(M)=FU(M)+STRESSC(M)*(b-2*c)*YFIBERCC
END IF
IF (ABS(ECY(M)).GT.ABS(ECC)) THEN
    STRESSC(M)=- (CQ*ABS(ECY(M))+CV)
    FC(M)=FU(M)+STRESSC(M)*(b-2*c)*YFIBERCC
END IF
IF ((ECY(M).GT.0.0).OR.(ABS(ECY(M)).GT.ABS(ECCMAX)))
THEN
    STRESSC(M)=0.0
    FC(M)=FU(M)+STRESSC(M)*(b-2*c)*YFIBERCC
END IF
RMC(M)=(Y(M)-(h/2.0))*FC(M)
RNCONCRETE=RNCONCRETE+FC(M)
RMCONCRETE=RMCONCRETE+RMC(M)

```

```

        M=M+1
    END DO
    N=UCNUMFIBERS+CCNUMFIBERS+1.0
    DO I=1,INT(UCNUMFIBERS)
        Y(N)=(h-c)+FLOAT(2*I-1)*YFIBERUC/2.0
        ECY(N)=ECU1
        IF (ABS(ECY(N)).LE.ABS(ECUN)) THEN
            STRESSU(N)=-((UA*ECY(N)*ECY(N)+UW*ABS(ECY(N)))
            FC(N)=STRESSU(N)*b*YFIBERUC
        END IF
        IF(ABS(ECY(N)).GT.ABS(ECUN)) THEN
            STRESSU(N)=-((UQ*ABS(ECY(N))+UV)
            FC(N)=STRESSU(N)*b*YFIBERUC
        END IF
        IF((ECY(N).GT.0.0).OR.(ABS(ECY(N)).GT.ABS(ECUNMAX)))
    THEN
        STRESSU(N)=0.0
        FC(N)=STRESSU(N)*b*YFIBERUC
    END IF
    RMC(N)=(Y(N)-(h/2.0))*FC(N)
    RNCONCRETE=RNCONCRETE+FC(N)
    RMCONCRETE=RMCONCRETE+RMC(N)

    N=N+1
END DO

```



ELSE

$X(L) = \text{ABS}(ECU1) * h / (\text{ABS}(EC2) + \text{ABS}(ECU1))$

$EC1 = (X(L) - C) * ECU1 / X(L)$

$ES2(L) = \text{ABS}(ECU1) * (d - X(L)) / X(L)$

! EURESI DINAMEON KAI ROPON TON OPLISMON

! OLES OI DINAMEIS THETIKES

! OI PARAMORFOSEIS ME TO PROSIMO TOUS

YIELD = FY/E

$ES(1) = (X(L) - c - (DD/2.0)) * ECU1 / X(L)$

IF (ABS(ES(1)).LT.YIELD) THEN

$F(1) = AS * E * \text{ABS}(ES(1)) / 10.0$

ELSE

$F(1) = AS * FY / 10.0$  ! DINAMI PLEON THLIVOMENOU XALIVA

END IF

$ES(K) = ES2(L)$  ! PARAMORFOSI PLEON EFELKIOMENOU XALIVA

IF (ABS(ES(K)).LT.YIELD) THEN

$F(K) = AS * E * \text{ABS}(ES(K)) / 10.0$  ! DINAMI PLEON THLIVOMENOU  
XALIVA

ELSE

$F(K) = AS * FY / 10.0$  ! DINAMI PLEON THLIVOMENOU XALIVA

END IF

! EURESI PARAMORFOSEON ENDIAMESON XALIVON

IMAX = K - 2

```

DO I=1,IMAX
    ES(1+I)=(X(L)-(I*DY)-(c+DD/2.0))*ECU1/X(L)
! EURESI DINAMEON ENDIAMESON XALIVON
    IF (ABS(ES(1+I)).LT.YIELD) THEN
        F(1+I)=ASMIDDLE*E*ABS(ES(1+I))/10.0
    ELSE
        F(1+I)=ASMIDDLE*FY/10.0
    END IF
END DO
! EURESI ROPON ENDIAMESON XALIVON
DO I=1,K
    RM(I)=ABS(F(I)*(FLOAT(K)-2.0*FLOAT(I)+1.0)*DY/2.0)
END DO
! PROSTHESI ROPON (THETIKI I ANTIOROLOGIAKI FORA)
! PROSTHESI DINAMEON
SUMMS=0.0
SUMFS=0.0
DO I=1,K
    IF (ES(I).LE.0.0) THEN
        IF ((c+(DD/2.0)+DY*(FLOAT(I)-1.0)).LE.(h/2.0)) THEN
            RM(I)=ABS(RM(I))
        ELSE
            RM(I)=-ABS(RM(I))
        END IF
    ELSE
        IF ((c+(DD/2.0)+DY*(FLOAT(I)-1.0)).LE.(h/2.0)) THEN
            RM(I)=-ABS(RM(I))
        
```

```

ELSE
    RM(I)=ABS(RM(I))
END IF
END IF
SUMMS=SUMMS+RM(I)
IF (ES(I).LE.0.0) THEN
    F(I)=-ABS(F(I))
ELSE
    F(I)=ABS(F(I))
END IF
SUMFS=SUMFS+F(I)
END DO

! EURESI THESIS TON FIBERS KAI TIS PARAMORFOSIS TOUS
RNCONCRETE=0.0
RMCONCRETE=0.0
DO I=1,INT(UCNUMFIBERS)
    Ft=0.0
    RMt=0.0
    REAL=2*I-1
    Y(I)=REAL*(YFIBERUC/2.0)
    ECY(I)=(X(L)-Y(I))*ECU1/X(L)
    IF (ABS(ECY(I)).LE.ABS(ECUN)) THEN
        STRESSU(I)=-((UA*ECY(I)*ECY(I)+UW*ABS(ECY(I))))
        FC(I)=STRESSU(I)*b*YFIBERUC
    END IF
    IF (ABS(ECY(I)).GT.ABS(ECUN)) THEN

```

```

        STRESSU(I)=- (UQ*ABS(ECY(I))+UV)
        FC(I)=STRESSU(I)*b*YFIBERUC
    END IF
    IF((ECY(I).GT.0.0).OR.(ABS(ECY(I)).GT.ABS(ECUNMAX)))
THEN
        STRESSU(I)=0.0
        FC(I)=STRESSU(I)*b*YFIBERUC
    END IF
    IF ((ECY(I).GT.0.0).AND.(ABS(ECY(I)).LE.Ect)) THEN
        STRESSU(I)=Ec*ECY(I)*1000.0
        Ft=STRESSU(I)*b*YFIBERUC
        RMt=(Y(I)-h/2.0)*Ft
        FC(I)=0.0
    END IF
    RMUC(I)=(Y(I)-(h/2.0))*FC(I)
    RMC(I)=RMUC(I)
    RNCONCRETE=RNCONCRETE+FC(I)+Ft
    RMCONCRETE=RMCONCRETE+RMC(I)+RMt
END DO
M=UCNUMFIBERS+1.0
DO I=1,INT(CCNUMFIBERS)
    Ft=0.0
    RMt=0.0
    REAL=2*I-1
    Y(M)=c+REAL*YFIBERCC/2.0
    ECY(M)=(X(L)-Y(M))*ECU1/X(L)
    IF (ABS(ECY(M)).LE.ABS(ECUN)) THEN

```

```

        STRESSU(M)=-
(UA*ECY(M)*ECY(M)+UW*ABS(ECY(M)))
        FU(M)=STRESSU(M)*c*YFIBERCC*2.0
    END IF
    IF(ABS(ECY(M)).GT.ABS(ECUN)) THEN
        STRESSU(M)=- (UQ*ABS(ECY(M))+UV)
        FU(M)=STRESSU(M)*c*YFIBERCC*2.0
    END IF
    IF((ECY(M).GT.0.0).OR.(ABS(ECY(M)).GT.ABS(ECUNMAX)))
THEN
        STRESSU(M)=0.0
        FU(M)=STRESSU(M)*c*YFIBERCC*2.0
    END IF
    IF (ABS(ECY(M)).LE.ABS(ECC)) THEN
        STRESSC(M)=-
(CA*ECY(M)*ECY(M)+CW*ABS(ECY(M)))
        FC(M)=FU(M)+STRESSC(M)*(b-2*c)*YFIBERCC
    END IF
    IF (ABS(ECY(M)).GT.ABS(ECC)) THEN
        STRESSC(M)=- (CQ*ABS(ECY(M))+CV)
        FC(M)=FU(M)+STRESSC(M)*(b-2*c)*YFIBERCC
    END IF
    IF((ECY(M).GT.0.0).OR.(ABS(ECY(M)).GT.ABS(ECCMAX)))
THEN
        STRESSC(M)=0.0
        FC(M)=FU(M)+STRESSC(M)*(b-2*c)*YFIBERCC
    END IF
    IF ((ECY(M).GT.0.0).AND.(ABS(ECY(M)).LE.Ect)) THEN

```

```

        STRESSU(M)=Ec*ECY(M)*1000.0
        Ft=STRESSU(M)*b*YFIBERUC
        RMt=(Y(M)-h/2.0)*Ft
        FC(M)=0.0
    END IF
    RMC(M)=(Y(M)-(h/2.0))*FC(M)
    RNCONCRETE=RNCONCRETE+FC(M)+Ft
    RMCONCRETE=RMCONCRETE+RMC(M)+RMt

    M=M+1
END DO
N=UCNUMFIBERS+CCNUMFIBERS+1.0
DO I=1,INT(UCNUMFIBERS)
    Ft=0.0
    RMt=0.0
    Y(N)=(h-c)+FLOAT(2*I-1)*YFIBERUC/2.0
    ECY(N)=(X(L)-Y(N))*ECU1/X(L)
    IF (ABS(ECY(N)).LE.ABS(ECUN)) THEN
        STRESSU(N)=-((UA*ECY(N)*ECY(N)+UW*ABS(ECY(N))))
        FC(N)=STRESSU(N)*b*YFIBERUC
    END IF
    IF(ABS(ECY(N)).GT.ABS(ECUN)) THEN
        STRESSU(N)=-((UQ*ABS(ECY(N))+UV))
        FC(N)=STRESSU(N)*b*YFIBERUC
    END IF
    IF((ECY(N).GT.0.0).OR.(ABS(ECY(N)).GT.ABS(ECUNMAX)))
THEN

```

```

        STRESSU(N)=0.0
        FC(N)=STRESSU(N)*b*YFIBERUC
    END IF
    IF ((ECY(N).GT.0.0).AND.(ABS(ECY(N)).LE.Ect)) THEN
        STRESSU(N)=Ec*ECY(N)*1000.0
        Ft=STRESSU(N)*b*YFIBERUC
        RMt=(Y(N)-h/2.0)*Ft
        FC(N)=0.0
    END IF
    RMC(N)=(Y(N)-(h/2.0))*FC(N)
    RNCONCRETE=RNCONCRETE+FC(N)+Ft
    RMCONCRETE=RMCONCRETE+RMC(N)+RMt

    N=N+1
END DO
END IF
RNTOTAL(L)=RNCONCRETE+SUMFS
RMTOTAL(L)=RMCONCRETE+SUMMS
RKABIL(L)=ABS(ECU1)/X(L)

TEST=(ABS(RNFORCE-RNTOTAL(L))/ABS(RNFORCE))*100.0
!TEST=ABS(RNFORCE-RNTOTAL(L))
IF(TEST.LE.CONVERGENCE) THEN

WRITE(9,20)L,ECU1,EC2,X(L),RNTOTAL(L),RMTOTAL(L),RKABIL(L)
20  FORMAT(1X,I2,3X,F7.5,3X,F6.4,3X,F6.3,3X,F12.5,3X,F12.4,3X,F12.4)
go to 300

```

```
END IF
```

```
END DO
```

```
300 continue
```

```
L=L+1
```

```
END DO
```

```
END PROGRAM MOMENTCURVATURE
```



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

```
wipe
#
# Monades kN,m
# Without P-d effects
# no axial load
#
model basic -ndm 2 -ndf 3
#
node 1 .15000 0.0
node 2 .30000 0.0
node 3 .45000 0.0
node 4 .60000 0.0
node 5 .75000 0.0
node 6 .90000 0.0
node 7 1.05000 0.0
node 8 1.20000 0.0
node 9 1.35000 0.0
node 10 1.50000 0.0
puts "nodes OK "
#
fix 1 1 1 0
fix 10 0 0 1
#
mass 1 0.0468 0.0468 0.000001
mass 2 0.0468 0.0468 0.000001
mass 3 0.0468 0.0468 0.000001
```

```

mass  4  0.0468  0.0468  0.000001
mass  5  0.0468  0.0468  0.000001
mass  6  0.0468  0.0468  0.000001
mass  7  0.0468  0.0468  0.000001
mass  8  0.0468  0.0468  0.000001
mass  9  0.0468  0.0468  0.000001
mass 10  0.0468  0.0468  0.000001

puts "masses OK "

#

#

# section GEOMETRY -----
set HSec 0.35;          # Column Depth
set BSec 0.35;          # Column Width
set coverSec 0.03;     # Column cover to reinforcing steel NA.
set SecTag 1.0;         # set tag for symmetric section
set As 0.00025;        #As enos siderou

#

#

# MATERIAL parameters -----
set IDconcCore 1;      # material ID tag -- confined core
concrete

set IDconcCover 2;     # material ID tag -- unconfined cover
concrete

#

# nominal concrete compressive strength
set fc      25000.0;    # CONCRETE Compressive Strength

# unconfined concrete

```

```

set fc1u          $fc;          # UNCONFINED concrete
(todeschini parabolic model), maximum stress

set eps1u 0.002;          # strain at maximum strength of unconfined
concrete

set fc2u          25000.0;      # ultimate stress

set eps2u 0.0035;        # strain at ultimate stress

#

#

# confined concrete

set an 0.667;          #sintelestis apodotikotitas entos tis diatomis
(Tasios, 1999)

#

set s 0.07;          #apostasi sindetiron

#

set bc [expr $BSec-2.0*$coverSec];

#

set as [expr pow(1.0-$s/$bc/2.0,2.0)];          #sintelestis
apodotikotitas kath'ipsos tis diatomis

puts "as [expr 1.0*$as]"

#

#sidelestis apodotikotitas tis perisfiksia a

set a [expr $as*$an];

puts "a $a"

#

#ogkos sindetiron gia romvo

set Asw 0.0001131;

set V [expr $Asw*$bc*(4.0+2*sqrt(2.0))];

# ogkometriko mixaniko pososto w

```

```

set w      [expr $V/$bc/$bc/$s*(500000.0/$fc)];
#
puts "a*w [expr $w*$a]"
#
set fc1c [expr (1+2.5*$a*$w)*$fc1u];
if {$a*$w >0.1} {set fc1c [expr (1.125+1.25*$a*$w)*$fc1u];}
#
puts "$fc1c" # CONFINED concrete , maximum stress
#
set eps1c  [expr pow($fc1c/$fc1u,2.0)*$eps1u];
puts "eps1c $eps1c"      # strain at maximum stress
set fc2c      [expr 0.85*$fc];
puts "fc2c $fc2c"          # ultimate stress
set eps2c  [expr 0.0035+0.1*$a*$w];
puts " eps2c $eps2c"      # strain at ultimate stress
#
#
#
uniaxialMaterial Concrete01 $IDconcCover -$fc1u -$eps1u -$fc2u -
$eps2u
uniaxialMaterial Concrete01 $IDconcCore -$fc1c -$eps1c -$fc2c -
$eps2c
uniaxialMaterial Steel01 3 500000.0 200000000.0 0.0
#
#
#
# FIBER SECTION properties
# RC section:

```

```

    set coverY [expr $HSec/2.0]; # The distance from the section z-axis to
the edge of the cover concrete -- outer edge of cover concrete

    set coverZ [expr $BSec/2.0]; # The distance from the section y-axis to
the edge of the cover concrete -- outer edge of cover concrete

    set coreY [expr $coverY-$coverSec ]; # The distance from the section z-
axis to the edge of the core concrete -- edge of the core concrete/inner edge
of cover concrete

    set coreZ [expr $coverZ-$coverSec ]; # The distance from the section y-
axis to the edge of the core concrete -- edge of the core concrete/inner edge
of cover concrete

    set nfCoreY 50; # number of fibers for concrete in y-direction
-- core concrete

    set nfCoreZ 50; # number of fibers for concrete in z-direction

    set nfCoverY 25; # number of fibers for concrete in y-direction
-- cover concrete

    set nfCoverZ 25; # number of fibers for concrete in z-direction

#
section fiberSec 1 {; # Define the fiber section

    # Define the core patch

    patch quadr $IDconcCore $nfCoreZ $nfCoreY -$scoreY $scoreZ $scoreY -
$scoreZ $scoreY $scoreZ -$scoreY $scoreZ

    #

    # Define the four cover patches

    patch quadr $IDconcCover $nfCoverZ $nfCoverY -$coverY $coverZ -
$scoreY $scoreZ $scoreY $scoreZ $coverY $coverZ

    patch quadr $IDconcCover $nfCoverZ $nfCoverY -$scoreY -$scoreZ -
$coverY -$coverZ $coverY -$coverZ $scoreY -$scoreZ

    patch quadr $IDconcCover $nfCoverZ $nfCoverY -$coverY $coverZ -
$coverY -$coverZ -$scoreY -$scoreZ -$scoreY $scoreZ

    patch quadr $IDconcCover $nfCoverZ $nfCoverY $scoreY $scoreZ
$scoreY -$scoreZ $coverY -$coverZ $coverY $coverZ

    #

```

```

# Define reinforcement layers

layer straight 3 3 $As $coreY -$coreZ $coreY $coreZ;# top layer
reinforcement

layer straight 3 2 $As 0.0 -$coreZ 0.0 $coreZ; # middle layer
reinforcement

layer straight 3 3 $As -$coreY -$coreZ -$coreY $coreZ; # bottom
layer reinforcement

}; # end of fibersection definition

#

puts "section OK"

#

geomTransf Linear 1

puts "transf"

#

element nonlinearBeamColumn 1 1 2 5 1 1 20 1.0e-8
element nonlinearBeamColumn 2 2 3 5 1 1 20 1.0e-8
element nonlinearBeamColumn 3 3 4 5 1 1 20 1.0e-8
element nonlinearBeamColumn 4 4 5 5 1 1 20 1.0e-8
element nonlinearBeamColumn 5 5 6 5 1 1 20 1.0e-8
element nonlinearBeamColumn 6 6 7 5 1 1 20 1.0e-8
element nonlinearBeamColumn 7 7 8 5 1 1 20 1.0e-8
element nonlinearBeamColumn 8 8 9 5 1 1 20 1.0e-8
element nonlinearBeamColumn 9 9 10 5 1 1 20 1.0e-8

puts "element"

#

recorder Node -file nodex10_1000.out -time -node 10 -dof 1 disp
recorder Node -file nodey10_1000.out -time -node 10 -dof 2 disp

```

recorder Node -file nodeyall\_1000.out -time -node 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 -dof 2  
disp

recorder Node -file Reactionnodexall\_1000.out -time -node 1 2 3 4 5 6 7 8 9  
10 -dof 1 reaction

recorder Node -file Reactionnodeyall\_1000.out -time -node 1 2 3 4 5 6 7 8 9  
10 -dof 2 reaction

recorder Element -file elem1\_1000.out -time -ele 1 globalForce

recorder Element -file elem9\_1000.out -time -ele 9 globalForce

recorder Element -file elemall\_1000.out -time -ele 1 2 3 4 5 6 7 8 9  
globalForce

#

recorder Element -file ele9sec1StressStrainnoxalybas.out -time -ele 9  
section 1 fiber 0.145 0.0 3 stressStrain

recorder Element -file 1StressStrainnoxalybas.out -time -ele 1 section 1 fiber  
0.145 0.0 3 stressStrain

recorder Element -file 2StressStrainnoxalybas.out -time -ele 2 section 1 fiber  
0.145 0.0 3 stressStrain

recorder Element -file 3StressStrainnoxalybas.out -time -ele 3 section 1 fiber  
0.145 0.0 3 stressStrain

recorder Element -file 4StressStrainnoxalybas.out -time -ele 4 section 1 fiber  
0.145 0.0 3 stressStrain

recorder Element -file 5StressStrainnoxalybas.out -time -ele 5 section 1 fiber  
0.145 0.0 3 stressStrain

recorder Element -file 6StressStrainnoxalybas.out -time -ele 6 section 1 fiber  
0.145 0.0 3 stressStrain

recorder Element -file 7StressStrainnoxalybas.out -time -ele 7 section 1 fiber  
0.145 0.0 3 stressStrain

recorder Element -file 8StressStrainnoxalybas.out -time -ele 8 section 1 fiber  
0.145 0.0 3 stressStrain

#

recorder Element -file ele9sec1StressStrainmesi.out -time -ele 9 section 1  
fiber 0.0 0.0 \$IDconcCore stressStrain

```

recorder Element -file ele9sec1StressStrainkatoxalybas.out -time -ele 9
section 1 fiber -0.145 0.0 3 stressStrain

recorder Element -file ele9sec1StressStrainMETAKSIANO.out -time -ele 9
section 1 fiber 0.0875 0.0 $IDconcCore stressStrain

recorder Element -file ele9sec1StressStrainMETAKSIKATO.out -time -ele 9
section 1 fiber -0.0875 0.0 $IDconcCore stressStrain

recorder Element -file ele9sec1StressStrainAPERISFIKTOANO.out -time -ele
9 section 1 fiber 0.175 0.0 $IDconcCover stressStrain

recorder Element -file ele9sec1StressStrainAPERISFIKTOSIKATO.out -time -
ele 9 section 1 fiber -0.175 0.0 $IDconcCover stressStrain

recorder Element -file ele9sec1StressStrainAnolnaCore.out -time -ele 9
section 1 fiber 0.145 0.05 $IDconcCore stressStrain

recorder Element -file ele9sec1StressStrainMESEOSxalybas.out -time -ele 9
section 1 fiber 0.0 0.145 3 stressStrain

recorder Element -file ele4sec1StressStrainAPERISFIKTOANO.out -time -ele
4 section 1 fiber 0.175 0.0 $IDconcCover stressStrain

recorder Element -file ele5sec1StressStrainAPERISFIKTOANO.out -time -ele
5 section 1 fiber 0.175 0.0 $IDconcCover stressStrain

```

```

set axialP 1000.0

```

```

pattern Plain 1 Linear {
    # nd FX    FY MZ
    load 10 [expr -$axialP] 0.0 0.0
}
#
puts "element and load OK"

```



```

#
#
system BandGeneral
constraints Plain
numberer Plain
# Create the convergence test, the norm of the residual with a tolerance of
# 1e-12 and a max number of iterations of 10
test NormDisplIncr 1.0e-3 10 3
algorithm Newton

# Create the integration scheme, the LoadControl scheme using steps of 0.1
integrator LoadControl 0.2
analysis Static
#
analyze 5
loadConst -time 0.0

set VerP 0.0
pattern Plain 100 Linear {
    # nd FX FY MZ
    load 10 0.0 [expr -$VerP] 0.0
}
#
puts "element and load OK"
#
#
system BandGeneral

```

```

constraints Plain
numberer Plain
# Create the convergence test, the norm of the residual with a tolerance of
# 1e-12 and a max number of iterations of 10
test NormDisplIncr 1.0e-3 10 3
algorithm Newton

# Create the integration scheme, the LoadControl scheme using steps of 0.1
integrator LoadControl 0.2
analysis Static
#
analyze 5

#
# 0. 0.
# 0.00100 20000.00
puts "finished "
loadConst -time 0.00
#
#
system BandGeneral
constraints Plain
numberer Plain
# Create the convergence test, the norm of the residual with a tolerance of
# 1e-12 and a max number of iterations of 10
test NormUnbalance 1.0e-9 20 3
#algorithm Newton

```

```

integrator Newmark 0.50 0.25

#integrator CentralDifference

analysis Transient

set pi 3.14159

# -----

# define damping for Multi-DOF system

# apply Rayleigh DAMPING from $xDamp -- from $omegal & $omegaJ
(modes 1&3 recomm. for mdof)

#  $D = \alpha M + \beta_{curr} K_{current} + \beta_{comm} K_{lastCommit} + \beta_{kinit} K_{initial}$ 
# Silvia Mazzoni, 2006 (opensees-support @berkeley_NO_SPAM_.edu)

#

#

# apply Rayleigh DAMPING from $xDamp -- from $omegal & $omegaJ
(modes 1&3 recomm. for mdof)

set xDamp 0.05

set MpropSwitch 1; # where M/K proportionality lies.

set KcurrSwitch 0 ;

set KcommSwitch 0;

set KinitSwitch 1;

#

set nEigenI 1; # mode 1

set nEigenJ 3; # mode 3

set lambdaN [eigen [expr $nEigenJ]]; # eigenvalue analysis for nEigenJ
modes

set lambdaI [lindex $lambdaN [expr $nEigenI-1]]; # eigenvalue mode i

set lambdaJ [lindex $lambdaN [expr $nEigenJ-1]]; # eigenvalue mode j

#

```

```

set omegal [expr pow($lambdal,0.5)];
set omegaJ [expr pow($lambdaJ,0.5)];

set alphaM [expr
$MpropSwitch*$xDamp*(2*$omegal*$omegaJ)/($omegal+$omegaJ)]; # M-
prop. damping; D = alphaM*M

set betaKcurr [expr $KcurrSwitch*2.*$xDamp/($omegal+$omegaJ)]; # K-
proportional damping; +beatKcurr*KCurrent

set betaKcomm [expr $KcommSwitch*2.*$xDamp/($omegal+$omegaJ)]; # K-
prop. damping parameter; +betaKcomm*KlastCommitt

set betaKinit [expr $KinitSwitch*2.*$xDamp/($omegal+$omegaJ)]; # initial-
stiffness proportional damping +beatKinit*Kini

#

puts "periodI [expr 2.*$pi/($omegal)] "
puts "periodJ [expr 2.*$pi/($omegaJ)] "

#

# define damping
rayleigh $alphaM $betaKcurr $betaKinit $betaKcomm; # RAYLEIGH damping
#

set Tol 1.e-8

set maxNumIter 10

set printFlag 0

set TestType EnergyIncr

#set algorithmType ModifiedNewton

algorithm Linear -initial

set trise 1.0

set Pmax 500000

set DtAnalysis 5.0e-5

set TmaxAnalysis $trise

#

```

```

timeSeries Path 1 -time {0. 1.0 } -values { 0. 1.0 }
pattern Plain 2 1 {
    # nd FX      FY      MZ
    load 10 0.0 [expr -$Pmax ] 0.0
}
#
set Nsteps [expr int($TmaxAnalysis/$DtAnalysis)];
puts "Nsteps $Nsteps"
set ok [analyze $Nsteps $DtAnalysis];           # actually perform
analysis; returns ok=0 if analysis was successful

if {$ok != 0} { ;                               # if analysis was not
successful.

    # change some analysis parameters to achieve convergence
    # performance is slower inside this loop
    # Time-controlled analysis
    set ok 0;
    set controlTime [getTime];
    while {$controlTime < $TmaxAnalysis && $ok == 0} {
        set ok [analyze 1 $DtAnalysis]
        set controlTime [getTime]
        set ok [analyze 1 $DtAnalysis]
        if {$ok != 0} {
            puts "Trying Newton with Initial Tangent .."
            test NormDisplncr $Tol 1000 0
            #algorithm Newton -initial
            set ok [analyze 1 $DtAnalysis]
            test $TestType $Tol $maxNumIter 0
        }
    }
}

```

```

        #algorithm $algorithmType
    }
    if {$ok != 0} {
        puts "Trying Broyden .."
        #algorithm Broyden 8
        set ok [analyze 1 $DtAnalysis]
        #algorithm $algorithmType
    }
    if {$ok != 0} {
        puts "Trying NewtonWithLineSearch .."
        #algorithm NewtonLineSearch .8
        set ok [analyze 1 $DtAnalysis]
        #algorithm $algorithmType
    }
}
}; # end if ok !0

puts "Ground Motion Done. End Time: [getTime]"
wipe

#

```

# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

