

“Ανάλυση κατασκευών με τη Μ.Π.Σ.”

2η ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ

**ΔΟΚΟΣ σε κάμψη**

Η δοκός του διπλανού σχήματος είναι ορθογωνικής διατομής,  $b \times h = 30 \times 60$  cm και έχει μήκος  $L = 6$  m. Στο ελεύθερο άκρο της δοκού ασκείται δύναμη  $P = 25$  kN. Το μέτρο ελαστικότητας του υλικού είναι  $E = 200$  GPa.

Με χρήση του προγράμματος ANSYS Mechanical APDL ζητείται η στατική επίλυση του φορέα. Να βρεθούν: α) η μέγιστη βύθιση, β) το διάγραμμα των καμπτικών ροπών, γ) το διάγραμμα των τεμνουσών δυνάμεων και δ) η μέγιστη ορθή τάση. Να γίνει σύγκριση με την ακριβή λύση του προβλήματος.



Επιλέγουμε να εργαστούμε με m και kN

$E = 200 \times 10^6$  kN/m<sup>2</sup>,  $b \times h = 0.30 \times 0.60$  m,  $L = 6$  m,  $P = 25$  kN

“Preprocessor”

1 Δημιουργία σημείων (Keypoints)

Πηγαίνουμε στο **Preprocessor**-> **Modeling**-> **Create**-> **Keypoints** και επιλέγουμε **In active CS**: συμπληρώνουμε  $x=0$  και πατώντας **Apply** δημιουργείται το 1ο keypoint - KP1, στη συνέχεια συμπληρώνουμε  $x=6$  και πατώντας **Apply** δημιουργείται το 2ο keypoint - KP2.

**Τέλος, συμπληρώνουμε  $y=3$  και δημιουργείται το 3ο keypoint - KP3 που θα είναι το σημείο προσανατολισμού της διατομής**, πατώντας **OK** ταυτόχρονα κλείνει η καρτέλα.

2 Δημιουργία γραμμής (Line)

Πηγαίνουμε στο **Preprocessor**-> **Modeling**-> **Create**-> **Lines** και επιλέγουμε **Straight Line**. **Pick** -> **KP1** και **KP2**, **OK**.

3 Ορισμός υλικού

(i) Πηγαίνουμε στο **Preprocessor**-> **Material Props** και επιλέγουμε **Material Models**.

(ii) Στην καρτέλα “**Define material model Behavior**” που εμφανίζεται και στη δεξιά στήλη “**Material Models Available**” επιλέγουμε **Structural**->**Linear-Elastic**->**Isotropic**.

(iii) Στην καρτέλα **Linear** “**Isotropic properties for material 1**” που εμφανίζεται συμπληρώνουμε στο πεδίο **EX** το μέτρο ελαστικότητας, δηλαδή **200\*10\*6** (ή **200e6**) και στο πεδίο **PRXY** το λόγο του Poisson

$\nu = 0.2$  Πατάμε **OK**. Στην αριστερή στήλη της καρτέλας “Define material model Behavior” να υπάρχει πλέον διαθέσιμο το “Material model Number 1”, δηλαδή υλικό με  $id = 1$ .

#### **4 Ορισμός στοιχείου (element)**

##### **ELEMENT TYPE BEAM188**

Για να το ορίσουμε στο μοντέλο μας το στοιχείο BEAM188 κάνουμε τα εξής:

- (i) Πηγαίνουμε στο **Preprocessor**-> **Element type** και επιλέγουμε **Add/Edit/Delete**.
- (ii) Στην καρτέλα “**Element type**” που εμφανίζεται επιλέγουμε “**Add**”.
- (iii) Από τα διαθέσιμα elements επιλέγουμε **Beam** και **2 node 188**.
- (iv) Πατώντας **OK** επιστρέφουμε στην καρτέλα “Element type”, όπου το στοιχείο εμφανίζεται με ID=1 (Type 1) και με ονομασία BEAM188.

#### **5 Δήλωση διατομής του στοιχείου BEAM180**

- (i) Πηγαίνουμε στο **Preprocessor**-> **Sections**-> **Beam**-> **Common Sections**, και συμπληρώνεται η καρτέλα “**Beam Tool**”
- (ii) Στο πεδίο **Name** συμπληρώνουμε το όνομα που επιθυμούμε, από το drop-down menu **Sub-Type**, επιλέγουμε τον *τύπο της διατομής που θέλουμε να ορίσουμε*, εδώ **ορθογωνική** και συμπληρώνουμε στα πεδία **B** και **H** τις αντίστοιχες **διαστάσεις της διατομής**. Επιλογή **Preview** για προεπισκόπηση διατομής και γεωμετρικών χαρακτηριστικών. Μετά **OK**.
- (iii) **Plot** -> **line**

#### **6 Διακριτοποίηση (Meshing)**

##### **6.1 Ορισμός των παραμέτρων της διακριτοποίησης**

- (i) Πηγαίνουμε στο **Preprocessor**-> **Meshing**-> **Mesh Attributes** και επιλέγουμε **All Lines**.
- (ii) Στην καρτέλα “**Line Attributes**” που εμφανίζεται, επιλέγουμε, από τα drop-down menus, τις ιδιότητες που επιθυμούμε (εδώ **MAT=1, TYPE=1 BEAM188 SECT=1 beam**).
- (iii) *Επιπλέον για να δηλώσουμε το Keypoint προσανατολισμού K, επιλέγουμε το πεδίο “Pick Orientation Keypoints”. Πατώντας το OK, ανοίγει ο Pick Manager και δηλώνουμε το 3 που είναι το Keypoint προσανατολισμού K, (Keypoint με id=3)*

##### **6.2 Ορισμός της πυκνότητας της διακριτοποίησης**

- (i) Πηγαίνουμε στο **Preprocessor**-> **Meshing** και επιλέγουμε **Mesh Tool**.
- (ii) Στην καρτέλα “**Mesh Tool**” που εμφανίζεται, και στο **Group Size Controls** επιλέγουμε το κουμπί **Set των Lines**.
- (iii) Στην καρτέλα “**Element Size on Picked Lines**” που εμφανίζεται επιλέγουμε σε ποιες γραμμές θέλουμε ρυθμίσουμε την πυκνότητα του mesh. Εδώ, επιλέγουμε **Pick All**, μιας και έχουμε μόνο μια γραμμή.
- (iv) Στην καρτέλα “**Element Size on Picked Lines**” που εμφανίζεται ρυθμίζουμε την πυκνότητα του mesh. Αυτό μπορεί να γίνει: είτε (α) συμπληρώνοντας στο *πεδίο SIZE το μέγεθος των στοιχείων* που επιθυμούμε (π.χ.  $SIZE = L/6=1$ ) είτε (β) συμπληρώνοντας στο πεδίο *NDIV τον αριθμό των στοιχείων* που επιθυμούμε (π.χ. **NDIV = 1**)

##### **6.3 Διακριτοποίηση γραμμής**

- (i) Πηγαίνουμε στο **Preprocessor**-> **Meshing** και επιλέγουμε **Mesh Tool**.

- (ii) Στην καρτέλα “**Mesh Tool**” που εμφανίζεται, πατάμε το κουμπί **Mesh**, επισημαίνοντας ότι στο drop-down μενού “Mesh:” η προεπιλογή Lines
  - (iii) Στην καρτέλα “**Element Size on Picked Lines**” που εμφανίζεται επιλέγουμε ποιες γραμμές θέλουμε να διακριτοποιήσουμε. Εδώ, επιλέγουμε **Pick All**, μιας και έχουμε μόνο μια γραμμή.
- 

## **“Solution”**

### **7 Εφαρμογή Συνοριακών Συνθηκών**

#### **7.1 Συνθήκες στήριξης - Πάκτωση**

(i) Πηγαίνουμε στο **Solution-> Define Loads->Apply->Structural->Displacement** και επιλέγουμε **On Keypoints**.

(ii) Στην καρτέλα “**Pick: Apply U, ROT on KPS**” επιλέγουμε το **KP** που θέλουμε να εφαρμόσουμε την συνθήκη της πάκτωσης, επιλέγουμε **All DOF** (δηλαδή, UX, UY, UZ, ROTX, ROTY και ROTZ).

#### **7.2 Φόρτιση P**

(i) Πηγαίνουμε στο **Solution-> Define Loads->Apply->Structural->Force/Moments** και επιλέγουμε **On Keypoints**.

(ii) Ενώ έχει εμφανιστεί η καρτέλα “**Pick: Apply F/M on KPS**” κάνουμε click στον καμβά κοντά στην περιοχή που βρίσκεται ο κόμβος 2 και το επιλέγουμε.

(iii) Πατώντας **OK**, εμφανίζεται η καρτέλα “**Apply F/M, ROT on KPS**”. Για να εφαρμόσουμε τη δύναμη στο πεδίο **Force/moment** συμπληρώνουμε την τιμή **-25(kN)**, σημειώνοντας ότι στο πεδίο **Direction of force/mom**, είναι η **FY**. Πατάμε **OK**.

### **8 Επίλυση**

Για να επιλύσουμε το πρόβλημα πηγαίνουμε στο μενού **Solution-> Solve** και επιλέγουμε **Current LS**. Στην καρτέλα «**Solve Current Load Step**» πατάμε **OK** και ξεκινά η επίλυση.

---

## **“General Postproc”**

### **9 Προβολή αποτελεσμάτων**

#### **Παραμορφωμένο σώμα**

Στο **General Postproc-> Plot Results** και επιλέγουμε **Deformed Shape**. Στην καρτέλα “**Plot Deformed Shape**” επιλέγουμε το “**Def+undeformed**”.

#### **Προβολή μετατοπίσεων**

Στην καρτέλα “**List Results**” επιλέγουμε **Nodal Solution->DOF Solution->Displacement vector sum**.

#### **Προβολή αντιδράσεων στήριξης**

**List Results -> Reaction Solution**. Στην καρτέλα “**List Reaction Solution**” επιλέγουμε **All items**.

## Δημιουργία Element Table

α) Για διαγράμματα εντατικών μεγεθών  $M, V, N, T$

**General PostProc->Element Table** και επιλέγουμε **Define Table**.

Εισάγουμε τα μεγέθη που μας ενδιαφέρουν σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα, π.χ.:

(α) Κάμψη ως προς άξονα  $y$   $M_y$  στον κόμβο  $i$ :

Επιλογή **By sequence num** και **SMISC, 2** Μετά **Apply**

(b) Κάμψη ως προς άξονα  $y$   $M_y$  στον κόμβο  $j$ :

Επιλογή **By sequence num** και **SMISC, 15** Μετά **OK**.

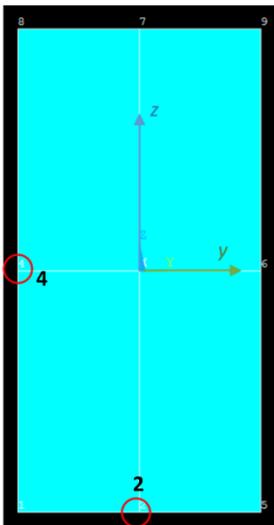
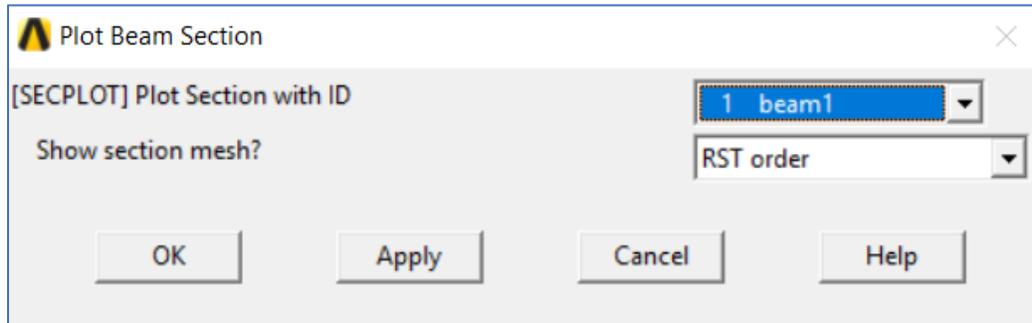
Μέγεθος	Όνομα	Element Table		
		Item	Κόμβος I	Κόμβος J
Αξονική Δύναμη μέλους (στο τοπικό σύστημα του στοιχείου) Member Force (in the element CS)	Fx	SMISC	1	14
Τέμνουσα στον $y$ (στο τοπικό σύστημα του στοιχείου) Shear Force along $y$ (in the element CS)	SFy	SMISC	6	19
Τέμνουσα στον $z$ (στο τοπικό σύστημα του στοιχείου) Shear Force along $y$ (in the element CS)	SFz	SMISC	5	18
Καμπτική ροπή ως προς τον $y$ (στο τοπικό σύστημα του στοιχείου) Bending moment with respect $y$ (in the element CS)	My	SMISC	2	15
Καμπτική ροπή ως προς τον $z$ (στο τοπικό σύστημα του στοιχείου) Bending moment with respect $z$ (in the element CS)	Mz	SMISC	3	16
Στρεπτική ροπή Torsional moment	TQ	SMISC	4	17

## β) Για διαγράμματα ορθής τάσης $\sigma_{xx}$ σε συγκεκριμένα σημεία της διατομής ως συνάρτηση της θέσης

### - Επιλογή σημείων

Αρχικά πρέπει να γίνει η επιλογή των σημείων στα οποία θα γίνουν τα διαγράμματα τάσης ως συνάρτηση της θέσης. Αυτό γίνεται με προβολή των προκαθορισμένων σημείων (RST points) στα οποία το ANSYS υπολογίζει τα αποτελέσματα, ως εξής:

- Από το **Preprocessor->Sections->Beam** επιλέγουμε **Plot Section**.
- Στην καρτέλα «**Plot Beam Section**» στο 2ο drop down menu επιλέγουμε **RST order**.



Με βάση τη διατομή που προβάλλεται επιλέγουμε, βάσει του προσανατολισμού των διατομών για κάθε τοποθέτηση, το σημείο **nn=2** για την κατά το ύψος και το σημείο **nn=4** για την κατά το πλάτος, ώστε να προβάλλουμε τις μέγιστες θλιπτικές τάσεις. Από το σχήμα παρατηρούμε ότι για τη συγκεκριμένη διατομή τα αποτελέσματα υπολογίζονται σε **nnmax=9 σημεία**.

### - Δημιουργία Element Table

Για το στοιχείο BEAM188 τα μεγέθη που μας ενδιαφέρουν γενικά και ο τρόπος ορισμού τους σε έναν Element Table φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Μέγεθος	Όνομα	Element Table		
		Item	Κόμβος I	Κόμβος J
Ορθή τάση $\sigma_{xx}$	Sxx	LS	CI	CJ
Ορθή παραμόρφωση $\epsilon_{xx}$	EPELxx	LEPEL	CI	CJ

όπου οι τιμές CI και CJ ανάλογα με την τιμή  $nn$  του σημείου που επιλέχθηκε και το συνολικό αριθμό των σημείων RST  $nnmax$  δίνονται από τις σχέσεις:

$$CI = (nn-1) \times 3 + 1$$

$$CJ = (nnmax + nn - 1) \times 3 + 1$$

*Για το 1ο σημείο (σημείο 2 της διατομής):  $nnmax=9$  και  $nn=2$ , οπότε προκύπτει  $CI=4$  και  $CJ=31$ .*

*Για το 2ο σημείο (σημείο 4 της διατομής):  $nnmax=9$  και  $nn=4$ , οπότε προκύπτει  $CI=10$  και  $CJ=37$ .*

Ο ορισμός του element table γίνεται κατά τα γνωστά. Από το General PostProc->Element Table επιλέγουμε Define Table. Στην καρτέλα Element Table Data εισάγουμε τα μεγέθη που μας ενδιαφέρουν σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα. Εδώ θα ορίσουμε την ορθή τάση  $\sigma_{xx}$ .

## Δημιουργία – Προβολή διαγραμμάτων

General PostProc->Plot Results->Contour Plot και επιλέγουμε Line Elem Res. Στην καρτέλα «Plot Line Element Results» επιλέγουμε το μέγεθος που θέλουμε να προβάλλουμε συμπληρώνοντας κατάλληλα τα πεδία LabI και LabJ.

## Προβολή αποτελεσμάτων των μεγεθών του Element Table

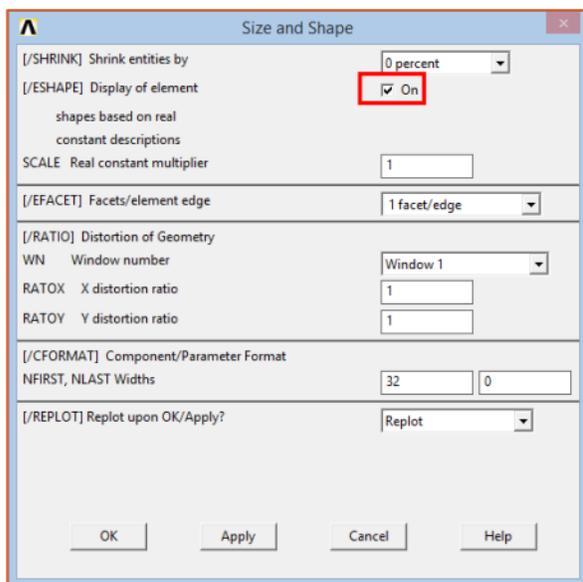
List Results->Element Table Data και επιλέγουμε Element Table Data.

# ΠΡΟΣΘΕΤΕΣ ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ

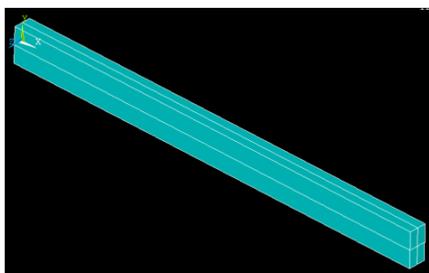
## 1. Έλεγχος ορθής τοποθέτησης της διατομής στο χώρο

Ο έλεγχος της ορθής τοποθέτησης της διατομής στο χώρο μπορεί **να γίνει αμέσως μετά τη διακριτοποίηση**. Ο έλεγχος μπορεί να γίνει ως εξής:

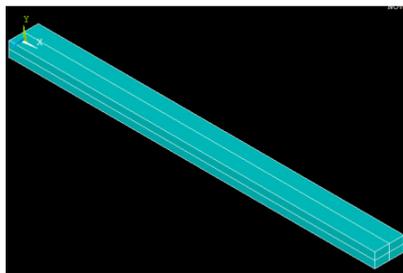
Από το **PlotCtrls-> Style->Size and Shape**. Στην καρτέλα «Size and Shape» που εμφανίζεται επιλέγουμε το πεδίο «Display of element», όπως φαίνεται παρακάτω:



Οι φορείς προβάλλονται τρισδιάστατοι και συνεπώς γίνεται έλεγχος της ορθής τοποθέτησης της διατομής, π.χ.



Τοποθέτηση κατά το ύψος



Τοποθέτηση κατά το πλάτος

## 2. Αλλαγή διακριτοποίησης

Από το **Mesh Tool** διαγράφουμε την αρχική διακριτοποίηση πατώντας το κουμπί **Clear** (δίπλα στο κουμπί **Mesh**), ορίζουμε κατά τα γνωστά την πυκνότητα του νέου mesh (**Size Controls-> Lines->Set** και **πχ NDIV=30**) και διακριτοποιούμε εκ νέου πατώντας το κουμπί **Mesh**.