

**ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ  
ΠΑΤΡΑΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΜΕΛΕΤΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΟΥ  
ΝΕΡΟΥ ΛΕΒΗΤΩΝ ΣΕ ΔΙΚΤΥΩΤΗ ΒΑΣΗ**

της σπουδάστριάς  
**ΛΑΒΔΑΚΗ ΜΑΡΙΑΣ**

***ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ : ΓΙΑΝΝΟΠΟΥΛΟΣ ΑΝΔΡΕΑΣ***

**ΠΑΤΡΑ  
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2007**

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η πτυχιακή αυτή εργασία, έχει ως αντικείμενο την ολοκληρωμένη μελέτη μίας μεταλλικής κατασκευής η οποία βρίσκεται σε βιομηχανική εγκατάσταση και χρησιμοποιείται ως υπέργεια βάση, πάνω στην οποία είναι τοποθετημένα διάφορα μηχανολογικά μηχανήματα.

Τα περιεχόμενά της είναι χωρισμένα σε τέσσερις ενότητες.

**Α' Ενότητα )** Στην πρώτη ενότητα, γίνεται ο καθορισμός των βαρών που καταπονούν την μεταλλική μας κατασκευή.

**Β' Ενότητα )** Στην δεύτερη ενότητα, γίνεται η μελέτη αντοχής των δοκών που απαρτίζουν την κατασκευή. Πιο συγκεκριμένα, εξετάζεται η αντοχή τους σε κάμψη, το βέλος κάμψεως, κλπ.

**Γ' Ενότητα )** Στην τρίτη ενότητα, γίνεται η σύνδεση των δοκών. Συγκεκριμένα, στο κεφάλαιο αυτό μπορούμε να βρούμε τον τρόπο σύνδεσής τους (με κοχλιώσεις, συγκολλήσεις), τα μέσα σύνδεσης και την μελέτη της αντοχής των συνδετικών αυτών μέσων.

**Δ' Ενότητα )** Στην τέταρτη και τελευταία ενότητα, παρουσιάζεται η μελέτη για τον τρόπο εδράσεως του ζευκτού πάνω σε τοιχοποιία.

Κλείνοντας, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά, τον κων Ανδρέα Γιαννόπουλο και την κα Ολυμπία Πολυζωγοπούλου, η βοήθεια των οποίων ήταν πολύτιμη και καθοριστική για την ολοκλήρωση αυτής της εργασίας.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> -----	6
-----------------------	---

### **ΕΝΟΤΗΤΑ 1 : ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΒΑΡΩΝ**

#### 1.1 Διαχωρισμός Βαρών

1.1.1 Βάρος Εναλλάκτη -----	9
1.1.2 Βάρος Παταριού και Σκάλας -----	9
1.1.3 Βάρος Οργάνων -----	9
1.1.4 Βάρος Σωληνώσεων -----	10
1.1.5 Βάρος Διαφραγμάτων Απαερωτή -----	10
1.1.6 Βάρος Μόνωσης - Λαμαρίνας -----	11
1.1.7 Βάρος Ανθρώπων στο πατάρι του Απαερωτή -----	12
1.1.8 Κλίμακα -----	12

#### 1.2 Καθορισμός Βαρών ----- 14

##### 1.2.1 Καθορισμός απαιτούμενου πάχους

α) Δεξαμενή τροφοδοτικού νερού -----	14
β) Απαερωτή -----	15

1.2.2 Βάρη Δεξαμενής - Απαερωτή -----	16
1.2.3 Συγκεντρωτικός Πίνακας Βαρών -----	18

#### 1.3 Μελέτη Αντοχής Δεξαμενής ----- 19

1.3.1 Υπολογισμός Συναρτήσεων $Q_{(x)} - M_{(x)}$ -----	19
1.3.2 Μέγιστες Ροπές -----	22
1.3.3 Διαγράμματα $Q_{(x)} - M_{(x)}$ -----	24
1.3.4 Έλεγχος Κάμψης Δεξαμενής -----	25

### **ΕΝΟΤΗΤΑ 2 : ΜΕΛΕΤΗ ΑΝΤΟΧΗΣ ΔΟΚΩΝ**

2.1 Εισαγωγή -----	28
--------------------	----

#### 2.2 Υπολογισμοί Αντοχών

2.2.1 Σχάρες -----	28
2.2.2 Γωνιακά ελάσματα -----	29

2.2.3 Κιγκλιδώματα -----	32
2.3 Μελέτη Αντοχής Δοκών	
2.3.1 Αντοχή Ενδιάμεσων Δοκών -----	34
2.3.1.1 Αντιδράσεις στις Στηρίξεις των Ενδιάμεσων Δοκών -----	36
2.3.2 Αντοχή Ακραίων Δοκών -----	36
2.3.2.1 Αντιδράσεις στις Στηρίξεις των Ακραίων Δοκών -----	38
2.3.3 Έλεγχος Βέλους Κάμψεως Δοκών IPB 100-----	38
2.4 Υπολογισμοί Αντοχής Δοκών Ζεύξης	
2.4.1 Αντοχή Δοκών ΒΒ' και ΓΓ' -----	39
2.4.1.1 Έλεγχος Βέλους Κάμψεως Δοκών IPB <sub>v</sub> 220-----	43
2.4.2 Αντοχή Δοκών ΑΑ' και ΔΔ' -----	46
2.4.2.1 Έλεγχος Βέλους Κάμψεως Δοκών ΙΡΕ240-----	47
<b>ΕΝΟΤΗΤΑ 3 : ΣΥΝΔΕΣΕΙΣ</b>	
3.1 Κατανομή Φορτίων στους Κόμβους του Δικτυώματος -----	50
3.2 Υπολογισμός Τάσεων των Ράβδων του Δικτυώματος -----	51
3.3 Μελέτη Αντοχής – Διατομής Ράβδων Δικτυώματος	
3.2.1 Άνω Ράβδοι-----	54
3.2.2 Κάτω Ράβδοι -----	55
3.2.3 Ενδιάμεσες Ράβδοι -----	55
3.4 Μελέτη Αντοχής Κοχλιών	
3.4.1 Κόμβος Α-----	57
3.4.2 Κόμβος Β-----	61
3.4.3 Κόμβος Ι-----	64
3.4.4 Κόμβος Θ -----	66
3.3.5 Κόμβος Η -----	68
3.5 Έλεγχος Συγκόλλησης Δοκών Σύζευξης	
3.5.1 Ροπές που καταπονούν τις συγκολλήσεις-----	70

3.5.2 Έλεγχος Συγκόλλησης Δοκών ΒΒ' και ΓΓ'-----	74
3.5.3 Έλεγχος Συγκόλλησης Δοκών ΑΑ' και ΔΔ'-----	76

#### **ΕΝΟΤΗΤΑ 4 : ΕΔΡΑΣΕΙΣ**

4.1 Τύποι Εδράσεως-----	79
4.2 Εδράσεις Κόμβων	
4.2.1 Έδραση Κόμβου Ι-----	79
4.2.2 Έδραση Κόμβου Ε-----	87

#### **ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ ----- 88**

#### **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ :**

Πίνακας 1 : Πλατύπελμες δοκοί ΙΡΒ -----	91
Πίνακας 2 : Πλατύπελμες ενισχυμένες δοκοί ΙΡΒ <sub>v</sub> -----	92
Πίνακας 3 : Δοκοί μέσου πλάτους ΙΡΕ-----	93
Πίνακας 4 : Ισοσκελή γωνιακά ελάσματα L -----	94
Πίνακας 5 : Ανισοσκελή γωνιακά ελάσματα -----	95
Πίνακας 6 : Σωληνώσεις (1)-----	96
Πίνακας 7 : Σωληνώσεις (2)-----	97
Πίνακας 8 : Εφαρμοσμένοι κοχλίες-----	98
Πίνακας 9 : Συνήθης κοχλίες-----	99
Πίνακας 10 : Συντελεστής λυγισμού "ω" -----	100
Πίνακας 11 : Στατικά μεγέθη συνεχούς δοκού -----	101
Πίνακας 12 : Στατικά μεγέθη αμφιέρειστης δοκού (με συγκεντρωμένα φορτία) -----	102
Πίνακας 13 : Στατικά μεγέθη αμφιέρειστης δοκού (με κατανομημένα φορτία) -----	103
Πίνακας 14 : Βέλος κάμψης αμφιέρειστης δοκού -----	104
Πίνακας 15 : Αμφίπακτες δοκοί -----	105
Πίνακας 16 : Καταστατικά μεγέθη νερού – ατμού-----	106
Πίνακας 17 : Συντελεστής Κ-----	107
Πίνακας 18 : DIN6616 (για υπέργειες δεξαμενές)-----	108

#### **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ :**

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην παρούσα εργασία, θα μελετήσουμε μία υπέργεια μεταλλική κατασκευή που χρησιμοποιείται ως βάση στήριξης μηχανημάτων, σε μία Βιομηχανική Εταιρία. Πάνω στην βάση είναι τοποθετημένη δεξαμενή νερού που τροφοδοτεί λέβητα και όλα τα βοηθητικά μηχανήματα που είναι απαραίτητα.

Η κατασκευή που θα μελετήσουμε αποτελείται από δύο όμοια δικτυώματα τα οποία ενώνονται μεταξύ τους μέσω συνδετικών δοκών, σχηματίζοντας με αυτόν τον τρόπο ένα ζευκτό. Τα δικτυώματα, ως γνωστόν, αποτελούνται από ένα σύνολο ράβδων που σχηματίζουν ένα στέρεο φορέα.

Στην κατασκευή θα χρησιμοποιήσουμε ελάσματα από χάλυβα St37-2 και για την μελέτη θα εφαρμόσουμε τα Γερμανικά πρότυπα DIN. Τα ελάσματα που θα χρησιμοποιήσουμε στην κατασκευή μας είναι τα εξής :

A) Σιδηροδοκοί μορφής διπλού ταυ (I), και πιο συγκεκριμένα υψίκορμους δοκούς με παράλληλα πέλματα (IPE), πλατύπελμες δοκούς κανονικής μορφής με κεκλιμένη την εσωτερική επιφάνεια των πελμάτων (IPB) και πλατύπελμες δοκούς ενισχυμένης μορφής (IPB<sub>v</sub>).

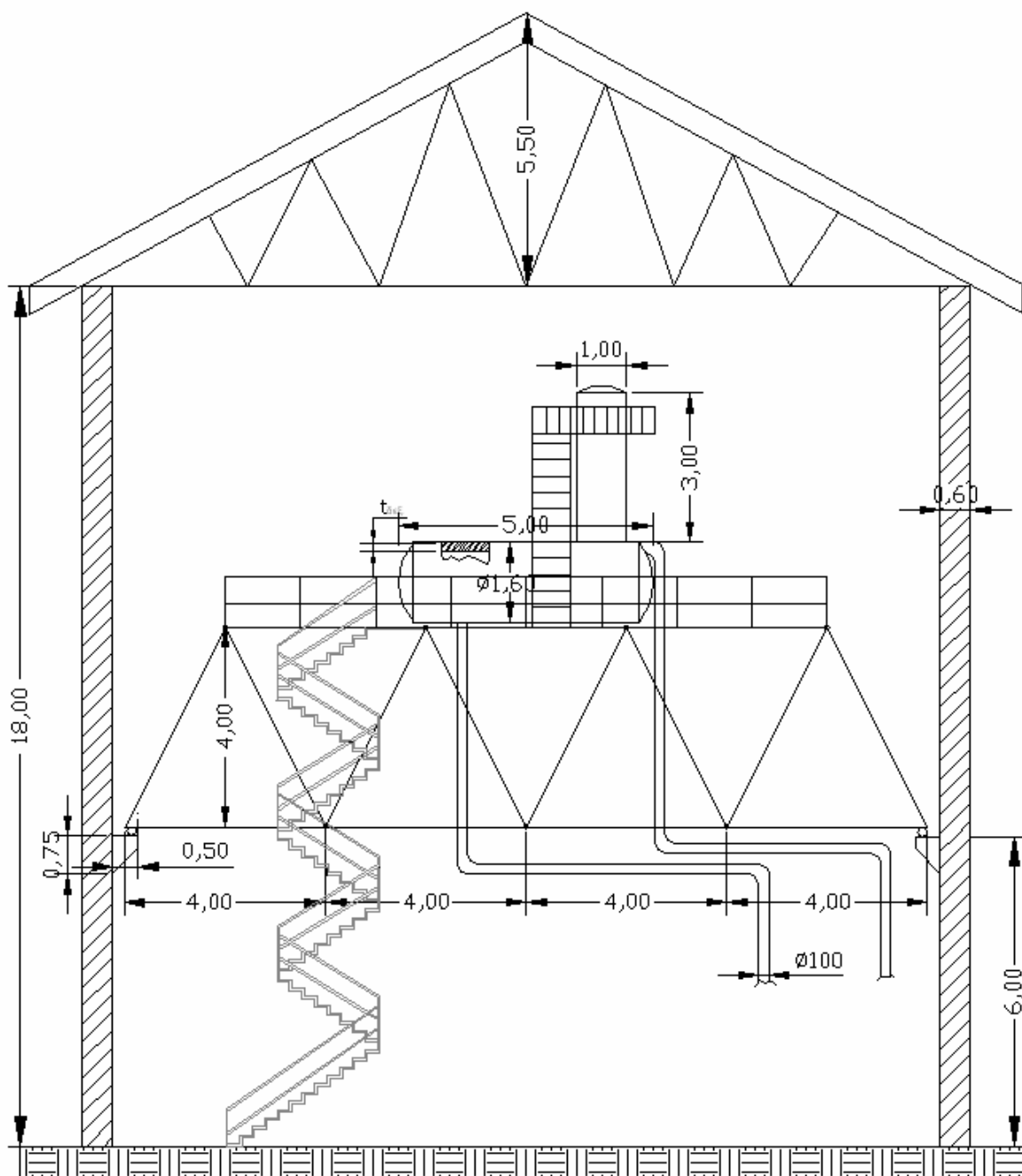
B) Γωνιακά ελάσματα (L), θα χρησιμοποιήσουμε ισοσκελή και ανισοσκελή γωνιακά ελάσματα.

Γ) Λεπίδες ή επίπεδα ελάσματα, που θα τα χρησιμοποιήσουμε κυρίως στα κομβοελάσματα.

Πάνω στο ζευκτό είναι τοποθετημένη η δεξαμενή τροφοδοτικού νερού, η οποία είναι σκόπιμα τοποθετημένη σε αυτό το σημείο. Λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που επικρατούν μέσα στην δεξαμενή ( $\approx 110^{\circ}\text{C}$ ), δημιουργείται ένα μίγμα νερού και ατμού. Αν η δεξαμενή ήταν τοποθετημένη στο ίδιο ύψος με τον λέβητα, τότε θα ήταν πολύ πιθανό η αντλία του λέβητα να αναρροφήσει ατμό, προερχόμενο από την εξάτμιση του θερμού νερού, δημιουργώντας έτσι δυσλειτουργία στον λέβητα. Τοποθετώντας όμως την δεξαμενή σε σημείο με υψομετρική διαφορά δημιουργούμε διαφορά πίεσης και αποφεύγουμε την παραπάνω κατάσταση.

# ΕΝΟΤΗΤΑ 1

## *ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΒΑΡΩΝ*



**Σχήμα 1**



## 1.1 ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΒΑΡΩΝ

Η δεξαμενή της κατασκευής μας, καταπονείται από επιμέρους φορτία. Στο κεφάλαιο αυτό καλούμαστε να καθορίσουμε το μέγεθος των φορτίων αυτών και τον τρόπο με τον οποίο καταπονούν την κατασκευή.

### 1.1.1 ΒΑΡΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ

Εναλλάκτης ονομάζεται η συσκευή, με την βοήθεια της οποίας συναλλάσσεται θερμότητα μεταξύ δύο ρευμάτων ρευστού ή ρευστών. Διακρίνονται από τον τρόπο ροής των ρευστών και από την μορφή της επιφάνειας συναλλαγής της θερμότητας. Ο εναλλάκτης που χρησιμοποιούμε στην κατασκευή μας έχει βάρος:

$$B_{\text{Εναλ.}} = 300\text{kp} \Leftrightarrow B_{\text{Εναλ.}} = 0,3\text{tn}$$

### 1.1.2 ΒΑΡΟΣ ΠΑΤΑΡΙΟΥ ΚΑΙ ΣΚΑΛΑΣ

Σε μία βιομηχανική εγκατάσταση, όπως αυτή της εργασίας μας, είναι αναγκαίο να υπάρχει εύκολος τρόπος πρόσβασης στον απαερωτή για περιπτώσεις που χρειαστεί να ελεγχθεί, διορθωθεί ή ρυθμιστεί κάτι σε αυτόν. Για τον λόγο αυτόν, υπάρχει μια σκάλα και ένα μικρό πατάρι (όπως φαίνεται και στο σχήμα 1) το βάρος των οποίων ισοδυναμεί με :

$$B_{\text{Π.Σ.}} = 1500\text{kp} \Leftrightarrow B_{\text{Π.Σ.}} = 1,5\text{tn}$$

### 1.1.3 ΒΑΡΟΣ ΟΡΓΑΝΩΝ

Στην δεξαμενή εκτός από τις βασικές συσκευές (πχ. απαερωτής), τοποθετούνται και επιμέρους απαραίτητα όργανα όπως μανόμετρα, βάνες, αντλίες, κλπ. Το συνολικό βάρος των οργάνων αυτών εκτιμάται :

$$B_{\text{οργ.}} = 800\text{kp} \Leftrightarrow B_{\text{οργ.}} = 0,8\text{tn}$$

#### 1.1.4 ΒΑΡΟΣ ΣΩΛΗΝΩΣΕΩΝ

Το νερό του δοχείου πίεσεως μεταφέρεται στον λέβητα μέσω σωληνώσεων. Χρησιμοποιούμε σωλήνες Φ100 (κατά ISO) συνολικού μήκους  $L = 30 \text{ m}$ . Το βάρος ανά μέτρο είναι  $G = 9,9 \text{ kp/m}$  και αντίστοιχα ο όγκος ανά μέτρο  $V = 9,009 \text{ lt/m}$  (βλ. πίνακα 6).

Το βάρος της σωλήνας είναι :

$$B_{\text{χαλ.}} = L * G = 30\text{m} * 9,9\text{kp/m} = 297\text{kp} \Leftrightarrow B_{\text{χαλ.}} = 0,3\text{tn}$$

ενώ το μέγιστο βάρος του νερού που διέρχεται στις σωλήνες είναι :

$$B_{\text{H}_2\text{O}} = 30\text{m} * 9,009\text{lt/m} = 270,27\text{lt} \Leftrightarrow B_{\text{H}_2\text{O}} = 0,3\text{tn}$$

Το συνολικό βάρος που καταπονεί την κατασκευή μας από τις σωληνώσεις είναι :

$$B_{\text{σωλ.}} = B_{\text{χαλ.}} + B_{\text{H}_2\text{O}} = 0,3\text{tn} + 0,3\text{tn} \Leftrightarrow B_{\text{σωλ.}} = 0,6\text{tn}$$

#### 1.1.5 ΒΑΡΟΣ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΩΝ ΑΠΑΕΡΩΤΗ

Ο απαερωτής εσωτερικά απαρτίζεται από 10 χαλύβδινα διαφράγματα πάχους  $t_{\text{Διαφ.}} = 15\text{mm}$ .

Δεδομένου ότι η διάμετρος του απαερωτή είναι  $d_{\text{Απ.}} = 1\text{m}$ , ο όγκος του κάθε διαφράγματος ισούται με :

$$V_{\Delta 1} = \pi * r^2 * t_{\text{Διαφ.}} = 3,14 * (0,5\text{m})^2 * 0,015\text{m} \Leftrightarrow V_{\Delta 1} = 0,012\text{m}^3$$

Ενώ, ο συνολικός όγκος των διαφραγμάτων ισούται με :

$$V_{\Delta} = 10 * V_{\Delta 1} = 10 * 0,012\text{m}^3 \Leftrightarrow V_{\Delta} = 0,12\text{m}^3$$

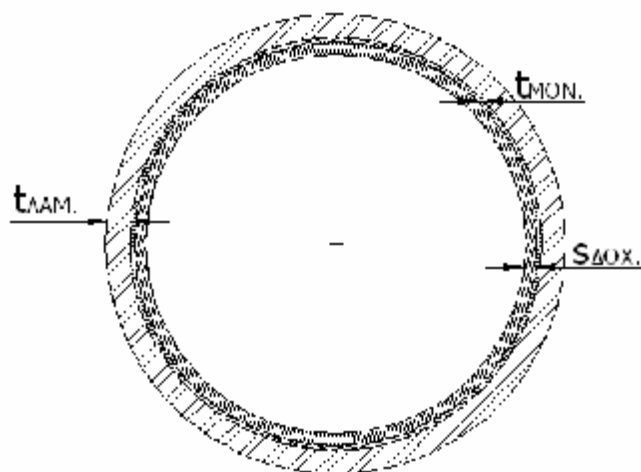
Τα διαφράγματα φέρουν οπές και είναι κατασκευασμένα από χάλυβα, το ειδικό βάρος του οποίου είναι  $G_{\text{χαλ.}} = 7850\text{kp/m}^3$ . Λόγω αυτών των οπών, θεωρούμε

ότι έχουμε μια μείωση του συνολικού βάρους, της τάξεως του 5%. Άρα το τελικό συνολικό βάρος των διαφραγμάτων ανέρχεται σε :

$$B_{\Delta\text{ιαφ.}} = 0,95 * V_{\Delta} * G_{\chi\alpha\lambda.} = 0,95 * 0,12\text{m}^3 * 7850\text{kp/m}^3 = 894,9\text{kp} \Leftrightarrow B_{\Delta\text{ιαφ.}} = 0,9\text{tn}$$

### 1.1.6 ΒΑΡΟΣ ΜΟΝΩΣΗΣ – ΛΑΜΑΡΙΝΑΣ

Η δεξαμενή είναι μονωμένη με επίστρωση υαλοβάμβακα πάχους  $t_{\text{Μον.}} = 1,25\text{mm}$ . Για την επιπλέον προστασία τόσο της δεξαμενής όσο και της μόνωσης, τοποθετούμε και έλασμα λαμαρίνας, πάχους  $t_{\text{Λαμ.}} = 10\text{cm}$ .



Για να υπολογίσουμε το βάρος από την μόνωση και την λαμαρίνα, θα πρέπει πρώτα να υπολογίσουμε την διάμετρο και τον όγκο της λαμαρίνας.

**Σχήμα 2**

$$D_{\text{Λαμ.}} = d_{\delta\text{o}\chi.} + 2 * t_{\text{Λαμ.}} = 1,6\text{m} + 2 * (0,1\text{m}) \Leftrightarrow D_{\text{Λαμ.}} = 1,8\text{m}$$

$$V_{\text{Λαμ.}} = \pi * D_{\text{Λαμ.}} * t_{\text{Μον.}} * l = 3,14 * 1,8\text{m} * 0,00125\text{m} * 6\text{m} \Leftrightarrow V_{\text{Λαμ.}} = 0,04\text{m}^3$$

$$B_{\text{Λαμ.}} = G_{\chi\alpha\lambda.} * V_{\text{Λαμ.}} = 7850\text{kp/m}^3 * 0,04\text{m}^3 \Leftrightarrow B_{\text{Λαμ.}} = 314\text{kp}$$

Στους παραπάνω υπολογισμούς δεν έχουμε συμπεριλάβει όμως, ούτε το βάρος από το υλικό των πυθμένων, αλλά ούτε και το βάρος από την μόνωση και τα διάφορα στηρίγματα της δεξαμενής. Για τον λόγο αυτόν, θα προσθέσουμε στο παραπάνω βάρος ( $B_{\text{Λαμ.}}$ ) 36kp (προσαύξηση του βάρους περίπου 12%) ώστε να συμπεριληφθούν τα βάρη των πυθμένων. Κατόπιν θα αυξήσουμε το νέο αυτό βάρος

κατά 10 % ώστε να συμπεριληφθούν και τα υπόλοιπα βάρη που προείπαμε (από την μόνωση και τα στηρίγματα). Άρα :

$$B_{\text{Μ.Λ.}} = (B_{\text{Λαμ.}} + 36\text{kp}) * 1,10 = (314\text{kp} + 36\text{kp}) * 1,10 = 385\text{kp} \Leftrightarrow B_{\text{Μ.Λ.}} = 0,4\text{tn}$$

### 1.1.7 ΒΑΡΟΣ ΑΝΘΡΩΠΩΝ ΣΤΟ ΠΑΤΑΡΙ ΤΟΥ ΑΠΑΕΡΩΤΗ

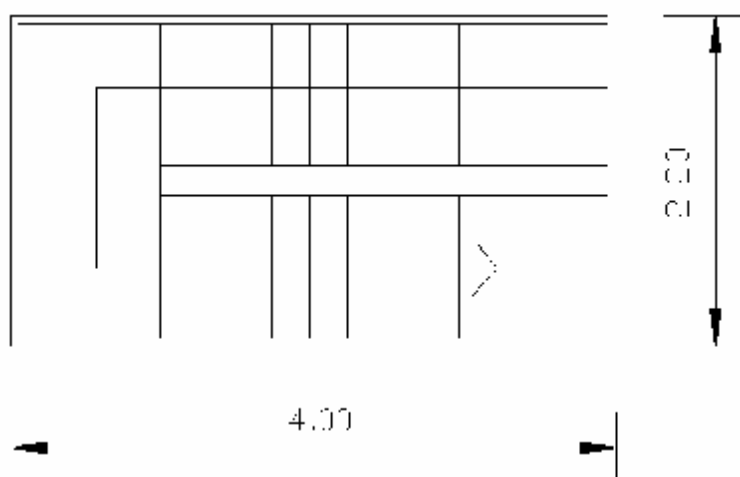
Όπως προαναφέραμε, για την εύκολη πρόσβαση στον απαερωτή υπάρχει ένα πατάρι, το οποίο είναι κατασκευασμένο έτσι, ώστε να χωράνε το πολύ μέχρι δυο άνθρωποι βάρους 100kp ο καθ' ένας. Άρα το μέγιστο συνολικό βάρος των ανθρώπων είναι :

$$B_{\text{Ανθρ.}} = 2 * 100\text{kp} = 200\text{kp} \Leftrightarrow B_{\text{Ανθρ.}} = 0,2\text{tn}$$

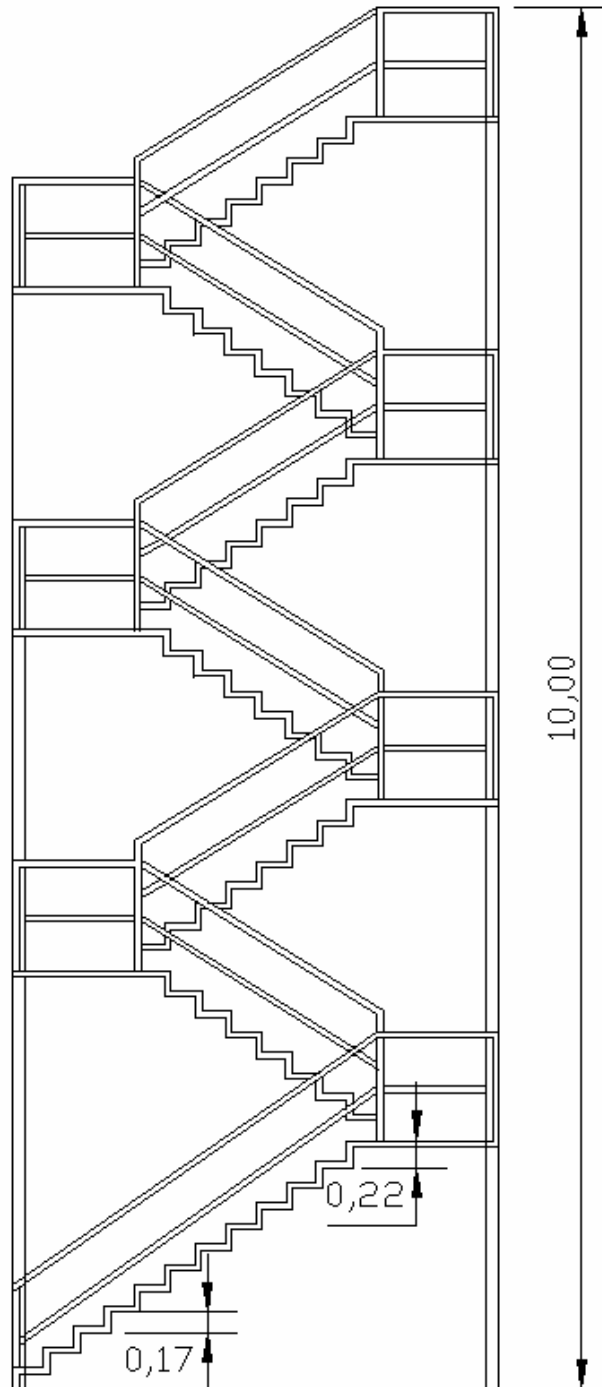
### 1.1.8 ΚΛΙΜΑΚΑ

Η σκάλα είναι τοποθετημένη στην αριστερή μεριά της κατασκευής μας, όπως φαίνεται και στο σχήμα 1. Θεωρούμε ότι το βάρος της δεν καταπονεί την κατασκευή μας, αλλά μεταφέρεται εξ' ολοκλήρου στην στήριξη της, που είναι στο έδαφος. Στην μελέτη δεν θα συμπεριλάβουμε την μελέτη της σκάλας αλλά μόνο τον σχεδιασμό της.

#### Κάτοψη Κλίμακας



Σχήμα 3-α

**Τομή Κλίμακας****Σχήμα 3-β**

## 1.2 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΒΑΡΩΝ

### 1.2.1 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΥ ΠΑΧΟΥΣ

#### Α) ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΟΥ ΝΕΡΟΥ

Από τον κατασκευαστή γνωρίζουμε ότι η δεξαμενή τροφοδοτικού νερού λειτουργεί με σχετική πίεση ίση με  $P_{σχ.} = 1\text{atm}$ . Θα υπολογίσουμε την δεξαμενή ως δοχείο πίεσης, καθότι θερμαίνεται με ατμό και η θερμοκρασία του νερού είναι πάνω από  $100^{\circ}\text{C}$ . Άρα η απόλυτη πίεση θα είναι :

$$P_{\text{απόλ.}} = P_{\text{σχ.}} + 1 \Leftrightarrow P_{\text{απόλ.}} = 2\text{bar.}$$

Για απόλυτη πίεση  $P_{\text{απόλ.}} = 2\text{bar}$  η μέγιστη θερμοκρασία είναι  $T_{\text{max}} = 120^{\circ}\text{C}$  (βλ. πίνακα 16) ενώ ο συντελεστής αντοχής υλικού  $K$ , για ποιότητα χάλυβα ST37-2 και για την συγκεκριμένη θερμοκρασία είναι  $K = 187\text{N/mm}^2$  (βλ. πίνακα 17).

#### Απαιτούμενο Πάχος Δοχείου Πίεσεως

$$\text{- Πάχος τοιχωμάτων : } s_1 = \frac{P * d_{\text{δοχ.}}}{2 \frac{K}{S} * U + p} + C = \frac{0,1\text{N/mm}^2 * 1600\text{mm}}{2 \frac{187\text{N/mm}^2}{1,5} * 0,7 + 0,1} + 1 \Leftrightarrow s_1 = 2\text{mm}$$

$$\text{- Πάχος πυθμένων : } s_2 = \frac{P * d_{\text{δοχ.}} * \beta}{4 \frac{K * U}{S}} + C = \frac{0,1\text{N/mm}^2 * 1600\text{mm} * 2,9}{4 \frac{187\text{N/mm}^2 * 1}{1,5}} + 1 \Leftrightarrow$$

$$s_2 = 2\text{mm}$$

Β) ΑΠΑΕΡΩΤΗΣΑπαιτούμενο Πάχος Απαερωτή

$$\text{- Πάχος τοιχωμάτων : } s_3 = \frac{P * d_{\text{απ.}}}{2 \frac{K}{S} * U + p} + C = \frac{0,1 \text{N/mm}^2 * 1000 \text{mm}}{2 \frac{187 \text{N/mm}^2}{1,5} * 1 + 0,1} + 1 \Leftrightarrow s_3 = 2 \text{mm}$$

$$\text{- Πάχος πυθμένων : } s_4 = \frac{P * d_{\text{απ.}} * \beta}{4 \frac{K * U}{S}} + C = \frac{0,1 \text{N/mm}^2 * 1000 \text{mm} * 2,9}{4 \frac{187 \text{N/mm}^2 * 1}{1,5}} + 1 \Leftrightarrow |$$

$$s_4 = 2 \text{mm}$$

Όπου  $P$  : η σχετική πίεση σε  $\text{N/mm}^2$  ( $1 \text{atü} = 0,1 \text{N/mm}^2$ )

$S$  : συντελεστής ασφαλείας για εσωτερική υπερπίεση (= 1,5)

$U$  : συντελεστής εξασθένισης ( $U = 0,7$  για κοινές ραφές,  $U = 1$  για χωρίς ραφές)

$C$  : συντελεστής φθοράς (για πάχος  $s \leq 30 \text{mm}$   $C = 1$ )

$\beta$  : γόβωση (για μικρή γόβωση  $\beta = 2,9$ )

Από τα παραπάνω στοιχεία καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι το απαιτούμενο πάχος τόσο για την δεξαμενή όσο και για τον απαερωτή είναι ίσο με  $s = 2 \text{mm}$ . Για λόγους ακαμψίας (ελάχιστο βέλος κάμψεως), αντιμετώπισης προβλημάτων μεταφοράς καθώς και μετά από σύγκριση με παρόμοια δοχεία, κατασκευασμένα σύμφωνα με το DIN 6616 (βλ. πίνακα 18), επιλέγουμε πάχος δεξαμενής  $s_{\delta} = 5 \text{mm}$  και πάχος απαερωτή  $s_{\text{απ.}} = 4 \text{mm}$ .

## 1.2.2 ΒΑΡΗ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ - ΑΠΑΕΡΩΤΗ

### A) ΒΑΡΟΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ( $s_{\delta} = 5\text{mm}$ )

#### - Βάρος τοιχωμάτων

Για να βρούμε το βάρος των τοιχωμάτων θα βρούμε πρώτα τον όγκο τους.  
Άρα :

$$V_T = \pi * d_{\text{δοχ.}} * l * s_{\delta} = 3,14 * 1,6\text{m} * 5\text{m} * 0,005\text{m} \Leftrightarrow V_T = 0,13\text{m}^3$$

$$B_{\text{τοιχ.}} = G_{\text{χαλ.}} * V_T = 7850\text{kp/m}^3 * 0,13\text{m}^3 \Leftrightarrow B_{\text{τοιχ.}} = 1,02\text{tn}$$

#### - Βάρος πυθμένων

Λόγω του σχήματος των πυθμένων, είναι δύσκολο να βρούμε με ακρίβεια των όγκο τους. Για τον λόγο αυτόν υπολογίζουμε τον όγκο του πυθμένα σαν να ήταν κύκλος, και κατόπιν, για να συμπεριλάβουμε και την καμπυλότητα τους, θα κάνουμε μία προσαύξηση στην τιμή αυτή, της τάξης του 30%. Άρα ο όγκος του κάθε πυθμένα ισούται με :

$$V_{\text{π.}} = 1,30 * \frac{\pi * d^2 * s_{\delta}}{4} = 1,30 * \frac{3,14 * (1,6\text{m})^2 * 0,005\text{m}}{4} \Leftrightarrow V_{\text{π.}} = 0,013\text{m}^3$$

Οι δύο πυθμένες είναι κατασκευασμένοι από χάλυβα, άρα το συνολικό τους βάρος θα είναι :

$$B_{\text{πυθ.}} = 2 * G_{\text{χαλ.}} * V_{\text{π.}} = 2 * 7850\text{kp/m}^3 * 0,013\text{m}^3 \Leftrightarrow B_{\text{πυθ.}} = 0,21\text{tn}$$

#### - Βάρος νερού

Λόγω του σχήματος της δεξαμενής δεν μπορούμε να υπολογίσουμε με ακρίβεια τον όγκο του νερού που χωράει. Για τον λόγο αυτόν στους υπολογισμούς μας, θα θεωρήσουμε ότι η δεξαμενή έχει κυλινδρική μορφή με μήκος  $l = 5,20\text{m}$ , ώστε να συνυπολογίσουμε και των όγκο του νερού των πυθμένων (το πραγματικό μήκος της δεξαμενής είναι  $l = 5\text{m}$ ). Άρα :



$$V_{H_2O} = \pi * r^2 * l = 3,14 * (0,8m)^2 * 5,20m = 10,45m^3 \Leftrightarrow B_{H_2O} = 10,45 \text{ lt} \Leftrightarrow B_{H_2O} = 10,45tn$$

Άρα το συνολικό βάρος της δεξαμενής ισούται με :

$$B_{\Delta\epsilon\xi.} = B_{\text{τοιχ.}} + B_{\text{πυθ.}} + B_{H_2O} = 1,02tn + 0,21tn + 10,45tn \Leftrightarrow B_{\Delta\epsilon\xi.} = 11,7tn$$

### B) ΒΑΡΟΣ ΑΠΑΕΡΩΤΗ (s<sub>ΑΠ.</sub> = 4mm)

Οι υπολογισμοί για το βάρος του απαερωτή είναι ίδιοι με αυτούς που έγιναν στην παραπάνω περίπτωση.

#### - Βάρος τοιχωμάτων

$$V_T = \pi * d_{\text{ΑΠ.}} * l * s_{\text{ΑΠ.}} = 3,14 * 1m * 3m * 0,004m \Leftrightarrow V_T = 0,04m^3$$

$$B_{\text{τοιχ.}} = 7850\text{kp/m}^3 * 0,04m^3 \Leftrightarrow B_{\text{τοιχ.}} = 0,3tn$$

#### - Βάρος πυθμένων

$$V_{\pi.} = 1,30 * \frac{\pi * d^2 * s_{\delta}}{4} = 1,30 * \frac{3,14 * (1m)^2 * 0,004m}{4} \Leftrightarrow V_{\pi.} = 0,004m^3$$

$$B_{\text{πυθ.}} = G_{\text{χαλ.}} * V_{\pi.} = 7850\text{kp/m}^3 * 0,004m^3 \Leftrightarrow B_{\text{πυθ.}} = 0,03tn$$

#### - Βάρος νερού

Όπως και στο δοχείο πίεσεως, έτσι κι εδώ για να συμπεριλάβουμε την περιεκτικότητα νερού και στις καμπυλότητες θα αυξήσουμε το μήκος του δοχείου και από 3m θα το λάβουμε 3,10m. Η μόνη διαφορά είναι ότι σε αυτήν την περίπτωση έχουμε έναν πυθμένα. Άρα :

$$V_{H_2O} = \pi * r^2 * l = 3,14 * (0,5m)^2 * 3,10m = 2,43m^3 \Leftrightarrow B_{H_2O} = 2,43 \text{ lt} \Leftrightarrow B_{H_2O} = 2,43tn$$

Άρα το συνολικό βάρος του απαερωτή ισούται με :

$$B_{\text{ΑΠ.}} = B_{\text{τοιχ.}} + B_{\text{πυθ.}} + B_{H_2O} = 0,3tn + 0,03tn + 2,43tn \Leftrightarrow B_{\text{ΑΠ.}} = 2,8tn$$

### 1.2.3 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΒΑΡΩΝ

Στον πίνακα αυτόν βρίσκουμε όλα τα βάρη που καταπονούν την δεξαμενή μας. Στον πίνακα υπάρχουν δύο στήλες. Στην πρώτη στήλη (ΒΑΡΟΣ 1), έχουν καταχωρηθεί τα βάρη που θεωρούμε ότι καταπονούν το δοχείο πίεσεως ομοιόμορφα (ομοιόμορφο φορτίο), και στην δεύτερη στήλη (ΒΑΡΟΣ 2) έχουν καταχωρηθεί τα βάρη που πιστεύουμε ότι καταπονούν το δοχείο σε κάποια συγκεκριμένη θέση (συγκεντρωμένο φορτίο).

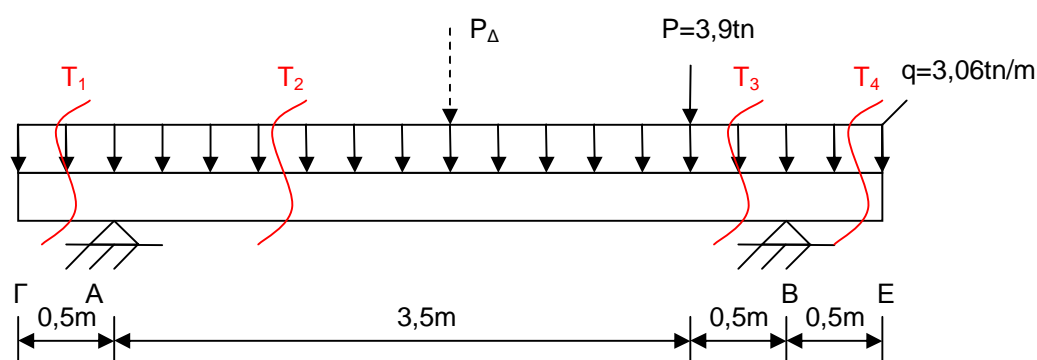
Τέλος, υπάρχουν τα επιμέρους σύνολα των βαρών. Τον πίνακα αυτόν θα τον χρειαστούμε για τα επόμενα βήματά μας.

<b>A/A</b>	<b>Περιγραφή Βάρους</b>	<b>ΒΑΡΟΣ 1 (tn)</b>	<b>ΒΑΡΟΣ 2 (tn)</b>
<b>1</b>	Δεξαμενή	11,7	
<b>2</b>	Απαερωτής		2,8
<b>3</b>	Εναλλάκτης	0,3	
<b>4</b>	Πατάρι και σκάλα	1,5	
<b>5</b>	Όργανα	0,8	
<b>6</b>	Σωληνώσεις	0,6	
<b>7</b>	Διαφράγματα απαερωτή		0,9
<b>8</b>	Μόνωση – Λαμαρίνα	0,4	
<b>9</b>	Άνθρωποι		0,2
	<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>P<sub>Δ</sub> = 15,3</b>	<b>P = 3,9</b>

### 1.3 ΜΕΛΕΤΗ ΑΝΤΟΧΗΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ

Στην μελέτη αντοχής της δεξαμενής που ακολουθεί, θεωρούμε την δεξαμενή μας δοκό (όπως φαίνεται και στο σχήμα 4), η οποία καταπονείται με ομοιόμορφα καταναμεμημένο φορτίο  $P_{\Delta} = 15,3\text{tn}$  και συγκεντρωμένο φορτίο  $P = 3,9\text{tn}$ .

#### 1.3.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΩΝ $Q_{(x)} - M_{(x)}$



**Σχήμα 4**

Η ομοιόμορφη φόρτιση του δοκαριού ανά μέτρο ισούται με :

$$q = \frac{P_{\Delta}}{l} = \frac{15,3\text{tn}}{5\text{m}} \Leftrightarrow q = 3,06\text{tn/m}$$

Εφαρμόζουμε τις εξισώσεις ισοστατικής ισορροπίας στη παραπάνω δοκό για να βρούμε τις αντιδράσεις A και B της δοκού, και έχουμε :

$$\Sigma M_{(A)} = 0 \Leftrightarrow -P_{\Delta} * 2,5\text{m} - P * 4\text{m} + B * 4,5\text{m} = 0 \Leftrightarrow B = \frac{P_{\Delta} * 2,5\text{m} + P * 4\text{m}}{4,5} \Leftrightarrow$$

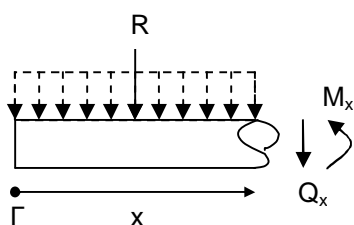
$$\mathbf{B = 11,97\text{tn}}$$

$$\Sigma P_y = 0 \Leftrightarrow A - P_{\Delta} - P + B = 0 \Leftrightarrow A = P_{\Delta} + P - B \Leftrightarrow \mathbf{A = 7,23\text{tn}}$$

Υπολογισμός  $Q_{(x)}$ ,  $M_{(x)}$ 

Για τον υπολογισμό των αξονικών δυνάμεων  $N$ , των τεμνουσών δυνάμεων  $Q$  και των καμπτικών ροπών  $M$ , θεωρούμε νοητές τομές στα σημεία που ορίζονται από α) την αλλαγή συγκεντρωμένου φορτίου, β) την αλλαγή συγκεντρωμένης ροπής, γ) την αλλαγή καταμεμημένου φορτίου και δ) την αλλαγή διεύθυνσης της δοκού. Θετική φορά έχουμε όταν 1) οι αξονικές δυνάμεις εφελκύουν το τμήμα της δοκού, 2) οι τέμνουσες δυνάμεις περιστρέφουν το τμήμα της δοκού δεξιόστροφα και 3) οι καμπτικές ροπές εφελκύουν την κάτω ίνα της δοκού.

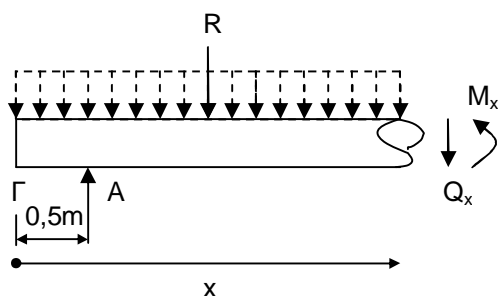
Στην περίπτωση μας η δοκός θα τμηθεί σε πέντε σημεία. Η θετική φορά των δυνάμεων είναι αυτή, που ακολουθεί την φορά που διαγράφουν τα βέλη.

ΤΟΜΗ  $T_1-T_1$   $x \in [0m - 0,5m]$ 

$$R = q * x \Leftrightarrow \mathbf{R = 3,06 \cdot x}$$

$$\Sigma P_y = 0 \Leftrightarrow -R - Q_{(x)} = 0 \Leftrightarrow \mathbf{Q_{(x)} = - 3,06 \cdot x}$$

$$\Sigma M_{(T)} = 0 \Leftrightarrow M_{(x)} + R = 0 \Leftrightarrow \mathbf{M_{(x)} = - 1,53 \cdot x^2}$$

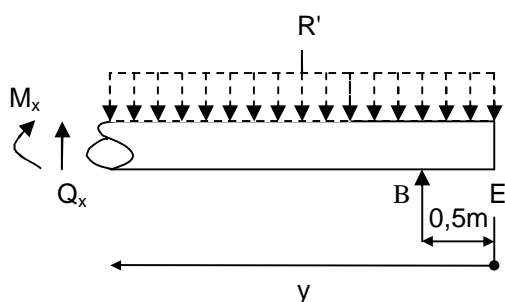
ΤΟΜΗ  $T_2-T_2$   $x \in [0,5m - 4m]$ 

$$\Sigma P_y = 0 \Leftrightarrow A - R - Q_{(x)} = 0 \Leftrightarrow Q_{(x)} = 7,23 - 3,06 \cdot x \Leftrightarrow \mathbf{Q_{(x)} = - 3,06 \cdot x + 7,23}$$

$$\Sigma M_{(T)} = 0 \Leftrightarrow -A \cdot (x-0,5) + R \cdot \frac{x}{2} + M_{(x)} = 0 \Leftrightarrow M_{(x)} = 7,23 \cdot (x-0,5) - (3,03 \cdot x) \cdot \frac{x}{2} \Leftrightarrow$$

$$M_{(x)} = -1,53 \cdot x^2 + 7,23 \cdot x - 3,615$$

ΤΟΜΗ Τ<sub>3</sub>-Τ<sub>3</sub> x ∈ [4m - 4,5m]



$$y = 5 - x$$

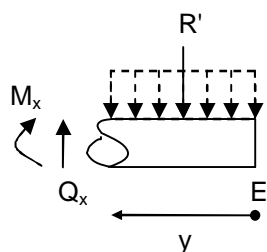
$$R' = q \cdot y = 3,06 \cdot (5-x) \Leftrightarrow R' = 15,3 - 3,06 \cdot x$$

$$\Sigma P_y = 0 \Leftrightarrow Q_{(x)} + B - R' = 0 \Leftrightarrow Q_{(x)} = -11,97 + 15,3 - 3,06 \cdot x \Leftrightarrow Q_{(x)} = -3,06 \cdot x + 3,33$$

$$\Sigma M_{(T)} = 0 \Leftrightarrow -M_{(x)} + B \cdot (y-0,5) + R' \cdot \frac{y}{2} = 0 \Leftrightarrow M_{(x)} = 11,97 \cdot (4,5-x) - (15,3 - 3,06x) \cdot \frac{5-x}{2}$$

$$\Leftrightarrow M_{(x)} = -1,53 \cdot x^2 + 3,33 \cdot x + 15,62$$

ΤΟΜΗ Τ<sub>4</sub>-Τ<sub>4</sub> x ∈ [4,5m - 5m]



$$\Sigma P_y = 0 \Leftrightarrow Q_{(x)} - R' = 0 \Leftrightarrow Q_{(x)} = -3,06 \cdot x + 15,3$$

$$\Sigma M_{(T)} = 0 \Leftrightarrow -M_{(x)} - R' \cdot \frac{y}{2} = 0 \Leftrightarrow M_{(x)} = -1,53 \cdot x^2 + 15,3 \cdot x - 38,25$$

Οι τιμές των τεμνουσών δυνάμεων και των καμπτικών ροπών στα σημεία εφαρμογής των δυνάμεων φαίνονται στον παρακάτω πίνακα :

✓ Για $x=0\text{m}$	$Q_{(x)} = 0\text{tn}$	$M_{(x)} = 0\text{tn}\cdot\text{m}$
✓ Για $x=0,5\text{m}$	$Q_{(x)} = 5,7\text{tn}$	$M_{(x)} = -0,383\text{tn}\cdot\text{m}$
✓ Για $x=4\text{m}$	$Q_{(x)} = - 8,91\text{tn}$	$M_{(x)} = 4,46\text{tn}\cdot\text{m}$
✓ Για $x=4,5\text{m}$	$Q_{(x)} = - 10,44\text{tn}$	$M_{(x)} = -0,383\text{tn}\cdot\text{m}$
✓ Για $x=6\text{m}$	$Q_{(x)} = 0\text{tn}$	$M_{(x)} = 0\text{tn}\cdot\text{m}$

### 1.3.2 ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΡΟΠΕΣ

Για να βρούμε σε ποιο σημείο κάθε διαστήματος εφαρμόζεται η μέγιστη ροπή, θα πρέπει να παραγωγίσουμε την συνάρτηση καμπτικών ροπών. Η μέγιστη ροπή εμφανίζεται στο σημείο που η παράγωγος μηδενίζεται και έχει τιμή την ροπή που δίνει η συνάρτηση των καμπτικών ροπών στο σημείο αυτό.

- Στο διάστημα Γ - Α για  $x \in [0\text{m} - 0,5\text{m}]$ , μέγιστη ροπή έχουμε στο σημείο  $x = 0,5\text{m}$  την  $M_{1\text{max}} = 0,383\text{tn}\cdot\text{m}$

- Στο διάστημα Α - Δ για  $x \in [0,5\text{m} - 4\text{m}]$ , μέγιστη ροπή έχουμε :

$$M'_{(x)} = (-1,53 \cdot x^2 + 7,23 \cdot x - 3,615)' \Leftrightarrow M'_{(x)} = -3,06 \cdot x + 7,23$$

$$M'_{(x_0)} = 0 \Leftrightarrow -3,06 \cdot x + 7,23 = 0 \Leftrightarrow x_0 = 2,37\text{m}$$

Άρα μέγιστη ροπή έχουμε για  $x_0 = 2,37\text{m}$  την

$$M_{(x_0)} = -1,53(2,37)^2 + 7,23(2,37) - 3,615 \Leftrightarrow M_{2\text{max}} = 4,93\text{tn}\cdot\text{m}$$

- Στο διάστημα Δ - Β για  $x \in [4\text{m} - 4,5\text{m}]$ , μέγιστη ροπή έχουμε :

$$M'_{(x)} = (-1,53 \cdot x^2 + 3,33 \cdot x + 15,62)' \Leftrightarrow M'_{(x)} = -3,06 \cdot x + 3,33$$

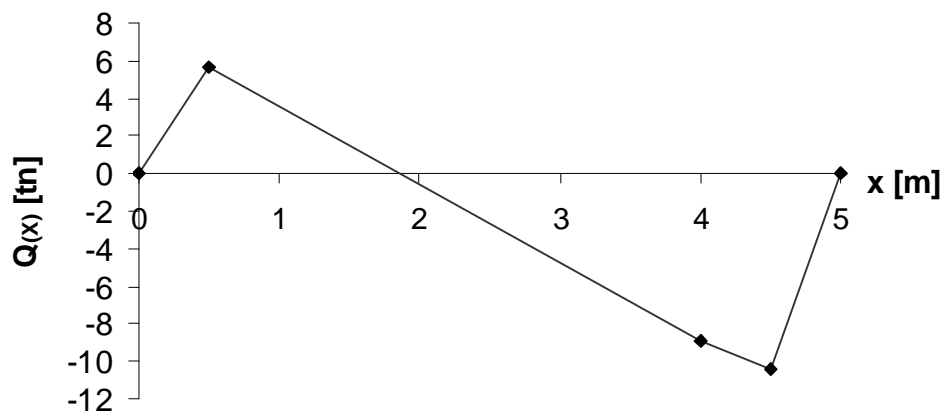
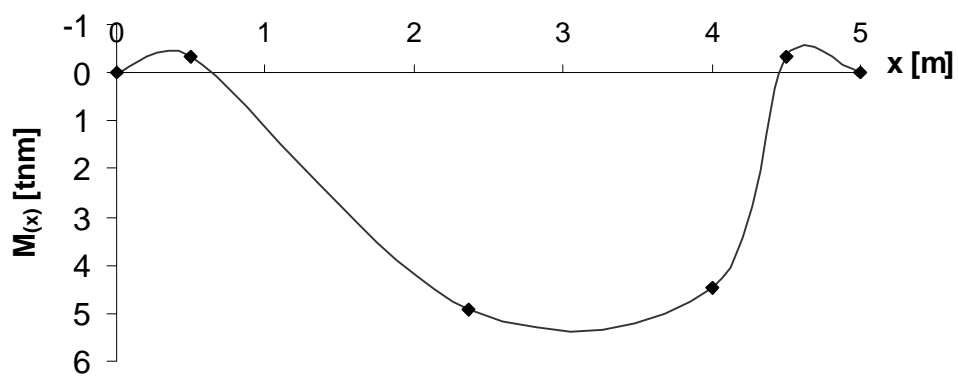
$$M'_{(x_0)} = 0 \Leftrightarrow -3,06 \cdot x + 3,33 = 0 \Leftrightarrow x_0 = 1,1 \text{ m}$$

Παρατηρούμε ότι το σημείο αυτό βρίσκεται εκτός των ορίων που έχουμε θέσει.

Άρα μέγιστη ροπή έχουμε για  $x_0 = 4 \text{ m}$  την  $M_{3\text{max}} = 4,46 \text{ tn.m}$

- Στο διάστημα Β - Ε για  $x \in [4,5 \text{ m} - 5 \text{ m}]$ , μέγιστη ροπή έχουμε στο σημείο  $x = 4,5 \text{ m}$  την  $M_{4\text{max}} = 0,383 \text{ tn.m}$

## 1.3.3 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ Q – M

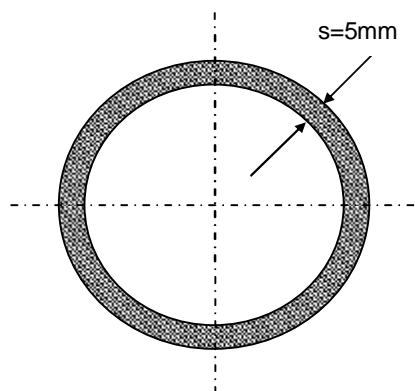
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ  $Q(x)$ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ  $M(x)$ 



### 1.3.4 ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΜΨΗΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ

Κατά την φόρτιση μιας κατασκευής, αναπτύσσονται διαφόρων ειδών τάσεις, ανάλογα με τον τρόπο φόρτισης και το είδος της κατασκευής. Οι τάσεις αυτές δεν θα πρέπει να ξεπερνούν την επικίνδυνη τάση, γιατί τότε θα επέλθει η καταστροφή της κατασκευής. Για τον λόγο αυτόν έχει καθορισθεί από τους Γερμανικούς Κανονισμούς μια ανώτατη τιμή τάσης την οποία δεν επιτρέπεται να ξεπεράσει η υπάρχουσα τάση, και καλείται επιτρεπόμενη τάση. Στον παρακάτω πίνακα δίνονται η επιτρεπόμενες τάσεις για διάφορες είδη τάσεων και φορτίσεων.

Α/Α	Είδος τάσης	Υλικό Τεμαχίων					
		St 33		St 37		St 52	
		Περίπτωση φόρτισης					
		H	HZ	H	HZ	H	HZ
1	Θλίψη από αξονική δύναμη. Θλίψη από κάμψη όταν τα θλιβόμενα μέρη ενδέχεται να υποστούν λυγισμό, στρέβλωση ή κύρτωση.	1100	1250	1400	1600	2100	2400
2	Εφελκυσμός από αξονική δύναμη. Εφελκυσμός από κάμψη. Θλίψη από κάμψη όταν είναι δυνατή η πλάγια παρέκκλιση των θλιβόμενων πελμάτων.	1250	1400	1600	1800	2400	2700
3	Διάτμηση κατά τον έλεγχο της μέσης τάσης της διατομής.	700	800	900	1050	1350	1550
4	Διάτμηση κατά τον έλεγχο της ισοδύναμης τάσης της διατομής σε πολυαξονική εντατική κατάσταση.	1425	1520	1800	1920	2700	2880
5	Σύνθλιψη άντυγας οπών κατά την ένωση ελασμάτων με συνήθεις κοχλίες.	2200	2500	2400	2700	-	-
6	Σύνθλιψη άντυγας οπών κατά την ένωση ελασμάτων με ήλους ή εφαρμοσμένους κοχλίες.	2200	2500	2800	3200	4200	4800

**Σχήμα 5**

Από τους υπολογισμούς που κάναμε βρήκαμε ότι η μέγιστη ροπή που ασκείται στην δεξαμενή μας είναι η  $M_{\max} = M_{2\max} = 4,93\text{tn}\cdot\text{m}$ .

Το σχήμα της διατομής της δεξαμενής είναι μορφής δακτυλίου και η ροπή αντίστασης δίνεται

από τον τύπο  $W_b = \frac{\pi}{32} * \frac{d_{\epsilon\zeta\omega\tau.}^4 - d_{\epsilon\sigma\omega\tau.}^4}{d_{\epsilon\zeta\omega\tau.}}$ , όπου :

$$d_{\epsilon\zeta\omega\tau.} = 160\text{cm}$$

$$d_{\epsilon\sigma\omega\tau.} = d_{\epsilon\zeta\omega\tau.} - 2(s_{\delta}) = 160\text{cm} - 2*(0,5\text{cm}) \Leftrightarrow d_{\epsilon\sigma\omega\tau.} = 159\text{cm}$$

Άρα η ροπή αντίστασης της δεξαμενής είναι ίση με :

$$W_b = \frac{3,14}{32} * \frac{(160\text{cm})^4 - (159\text{cm})^4}{160\text{cm}} \Leftrightarrow W_b = 9.954,2\text{cm}^3$$

Η υπολογίσιμη τάση ισούται με :

$$\sigma_{\text{υπ.}} = \frac{M_{\max}}{W_b} = \frac{4,93\text{tnm} * 100}{9.954,2\text{cm}^3} \Leftrightarrow \sigma_{\text{υπ.}} = 0,05\text{tn/cm}^2 < \sigma_{\text{επ.}} = 1,4\text{tn/cm}^2$$

η οποία είναι μικρότερη από την επιτρεπόμενη, άρα η δεξαμενή θα αντέξει.

# ΕΝΟΤΗΤΑ 2

## *ΜΕΛΕΤΗ ΑΝΤΟΧΗΣ ΔΟΚΩΝ*

## 2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό θα ασχοληθούμε με την μελέτη των επιμέρους ελασμάτων που αποτελούν την κατασκευή μας. Αυτά τα ελάσματα είναι :

α) Οι σχάρες, που σχηματίζουν το πάτωμα, πάνω στο οποίο είναι τοποθετημένη η δεξαμενή, ο απαερωτής και όλες οι άλλες συσκευές που προαναφέραμε.

β) Τα γωνιακά ελάσματα, πάνω στα οποία τοποθετούνται οι σχάρες, εξασφαλίζοντας έτσι την σταθερότητα του πατώματος

γ) Τα κιγκλιδώματα, που τοποθετούνται σε όλη την περίμετρο του πατώματος, για την ασφάλεια των ανθρώπων που θα χρειαστεί να βρεθούν στον χώρο της δεξαμενής και

δ) των δοκών, οι οποίες αποτελούν τους φορείς πάνω στους οποίους θα τοποθετηθούν όλα τα προηγούμενα ελάσματα.

## 2.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΑΝΤΟΧΩΝ

### 2.2.1 ΣΧΑΡΕΣ

Το πάτωμα αποτελείται από γαλβανισμένες σχάρες διαστάσεων 80×80×5cm (όπως φαίνεται και στο σχήμα 6). Ζυγίσαμε μια γαλβανιζέ σχάρα διαστάσεων 50×20×2,5cm με καρέ 3×3cm και βρήκαμε ότι ζυγίζει 1,65kp και αντέχει φόρτιση έως 5tn. Ανάγουμε αυτό το βάρος σε βάρος ανά m<sup>2</sup> και έχουμε :

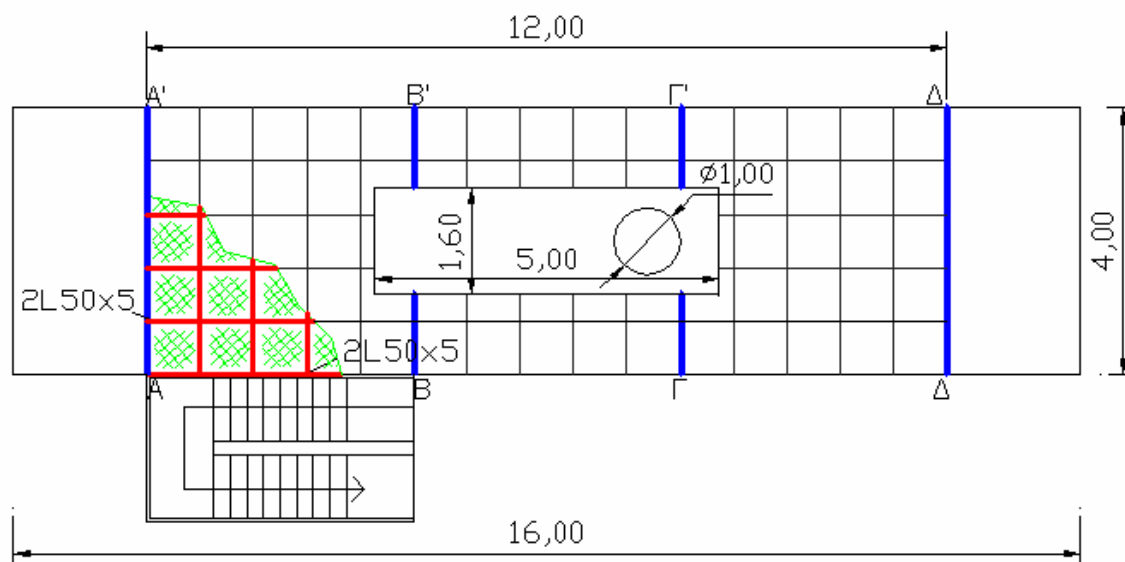
$$\text{Εμβ. Σχάρ.} = 50\text{cm} \times 20\text{cm} = 1000\text{cm}^2 \Leftrightarrow \text{Εμβ. Σχάρ.} = 0,1\text{m}^2$$

Το βάρος της σχάρας του δείγματος ανά m<sup>2</sup> είναι :

$$W = \frac{1,65\text{kp}}{0,1\text{m}^2} \Leftrightarrow W = 16,5\text{kp/m}^2$$

Εμείς στην κατασκευή μας χρησιμοποιούμε σχάρες πάχους 5cm. Θα μπορούσαμε λοιπόν, να πούμε ότι είναι σαν να έχουμε άρα δύο σχάρες διαστάσεων 50×20×2,5cm, την μία πάνω στη άλλη. Επίσης τα ελάσματα των γωνιακών που θα

χρησιμοποιήσουμε (80×80×5cm) είναι παχύτερα, οπότε θα πρέπει να κάνουμε μια προσαύξηση του βάρους που ζυγίσαμε της τάξεως του 20%, για να καλύψουμε αυτές τις διαφορές.



**Σχήμα 6**

Άρα το συνολικό βάρος των σχαρών της κατασκευής μας είναι:

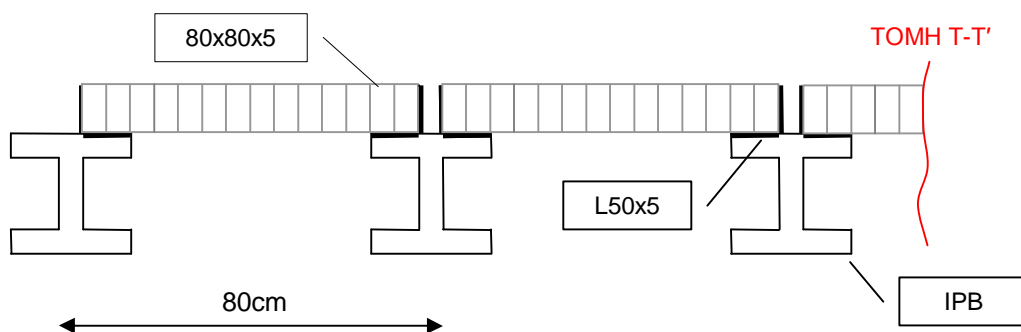
$$W_1 = 2 * W * 1,20 \Leftrightarrow W_1 = 40\text{kp/m}^2$$

$$B_{\text{σχ.}} = W_1 * L * b = 40\text{kp/m}^2 * 12\text{m} * 4\text{m} \Leftrightarrow B_{\text{σχ.}} = 2\text{tn}$$

## 2.2.2 ΓΩΝΙΑΚΑ ΕΛΑΣΜΑΤΑ

Χρησιμοποιούμε γωνιακά ελάσματα κατά την διεύθυνση  $b = 4\text{m}$  (πλάτος πατώματος) αλλά και κατά την διεύθυνση  $L = 12\text{m}$  (μήκος πατώματος) ανά 80cm. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 7, εκτός από τα ακραία δοκάρια που τοποθετήσουμε ένα γωνιακό έλασμα, σε όλα τα άλλα χρησιμοποιούμε δύο. Άρα το πλήθος των γωνιακών ελασμάτων είναι :

- Στην διεύθυνση των 4m έχουμε : Πλήθος =  $2*14\text{γωνιές} + 2 = 30$  γωνιές
- Στην διεύθυνση των 12m έχουμε : Πλήθος =  $2*5\text{γωνιές} + 2 = 10$  γωνιές

**Σχήμα 7**

Συνολικό μήκος γωνιών (Σ.Μ.Γ) = 30γωνιές\*4m + 10γωνιές\*12m  $\Leftrightarrow$  Σ.Μ.Γ. = 240m

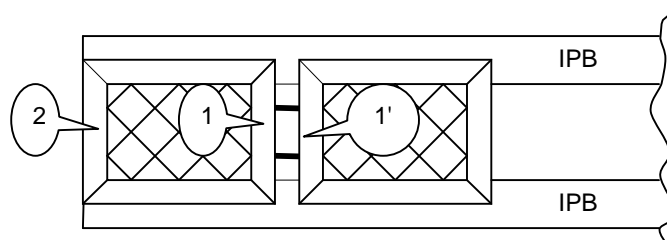
Το εμβαδόν του πατώματος ισούται με :

Εμβ. Πατώμ. = L \* b = 12m \* 4m  $\Leftrightarrow$  Εμβ. Πατώμ. = 48m<sup>2</sup>

Το βάρος τις κάθε γωνιάς L50x5 είναι G = 3,77kp/m (βλ. πίνακα 4).  
Ανάγουμε το βάρος αυτό ανά m<sup>2</sup> και έχουμε :

$$W_2 = \frac{G * \Sigma.Μ.Γ}{Εμβ.Πατ.} = \frac{3,77kp/m^2 * 240m}{48m^2} \Leftrightarrow W_2 = 18,85kp/m^2$$

Επειδή οι γωνιές δεν έχουν άξονα συμμετρίας ως προς το επίπεδο εφαρμογής των φορτίων, δεν μπορούμε να υπολογίσουμε με ακρίβεια την κάμψη τους. Αποφασίζουμε λοιπόν, να συνδέσουμε κατά διαστήματα τις γωνιές όπως φαίνεται στο σχήμα 8 (σημεία 1-1') για να έχουμε μια σύνθετη διατομή με άξονα συμμετρίας ως προς την κατακόρυφο. Με αυτόν τον τρόπο η θεωρία του υπολογισμού σε κάμψη ισχύει.

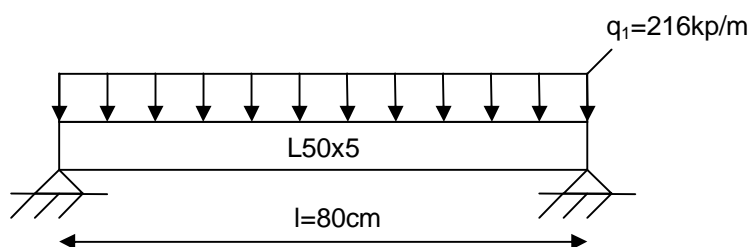
**Σχήμα 8**

Θεωρούμε ότι όλο το φορτίο κάθε σχάρας μεταφέρεται στα δύο απέναντι γωνιακά ελάσματα (στην περίπτωση μας, αυτά τα γωνιακά ελάσματα είναι τα 1 και 2) που στηρίζονται πάνω στις δοκούς IPB, τις οποίες θεωρούμε αμφιέρειστες. Το συνολικό φορτίο  $G$  που καταπονεί κάθε σχάρα, είναι ίσο με το άθροισμα του ίδιου βάρους της ( $W_1$ ) και του κινητού φορτίου που δέχεται (δεχόμαστε ότι κάθε μέρος δαπέδου φορτίζεται με  $500\text{kp/m}^2$ ). Έχουμε λοιπόν :

$$G = (500\text{kp/m}^2 + 40 \text{ kp/m}^2) * 0,8\text{m} * 0,8\text{m} \Leftrightarrow G = 345,6\text{kp}$$

$$q_i = \frac{G}{\text{Μήκ.Σχάρ.}} = \frac{345,6\text{kp}}{0,8\text{m}} \Leftrightarrow q_i = 432 \text{ kp/m}$$

Κάθε γωνιακό έλασμα καταπονείται ομοιόμορφα με φορτίο  $q_1$  που είναι ίσο με  $q_1 = \frac{1}{2} q_i \Leftrightarrow q_1 = 216 \text{ kp/m}$



Θεωρούμε το κάθε γωνιακό έλασμα ως αμφιέρειστη δοκό (όπως βλέπουμε και στο παραπάνω σχήμα), που καταπονείται με ομοιόμορφα κατανεμημένο φορτίο. Η μέγιστη ροπή ίση με :

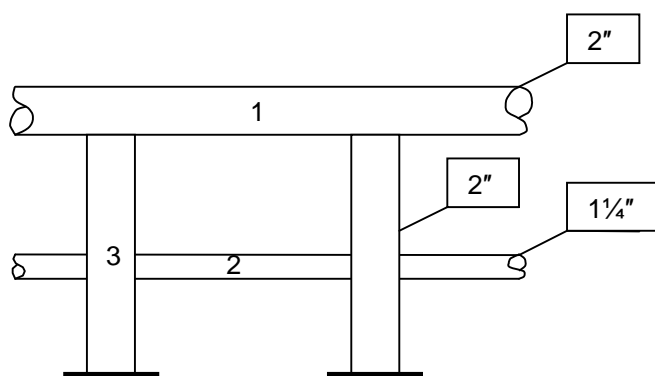
$$M_b = \frac{q_1 * l}{8} = \frac{216\text{kp/m} * (0,8\text{m})^2}{8} \Leftrightarrow M_b = 17,28\text{kp}\cdot\text{m}$$

Για ισοσκελή γωνία  $L50 \times 5$ , η ροπή αντίστασης είναι ίση με  $W_b = 3,05\text{cm}^3$  (βλ. πίνακα 4) και η αναλαμβανόμενη τάση από κάθε γωνιά ισούται με :

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b} = \frac{17,28\text{kp}\cdot\text{m} * 100}{3,05\text{cm}^3} \Leftrightarrow \sigma_{\text{υπ.}} = 567\text{kp/cm}^2 < \sigma_{\text{επ.}} = 1400\text{kp/cm}^2$$

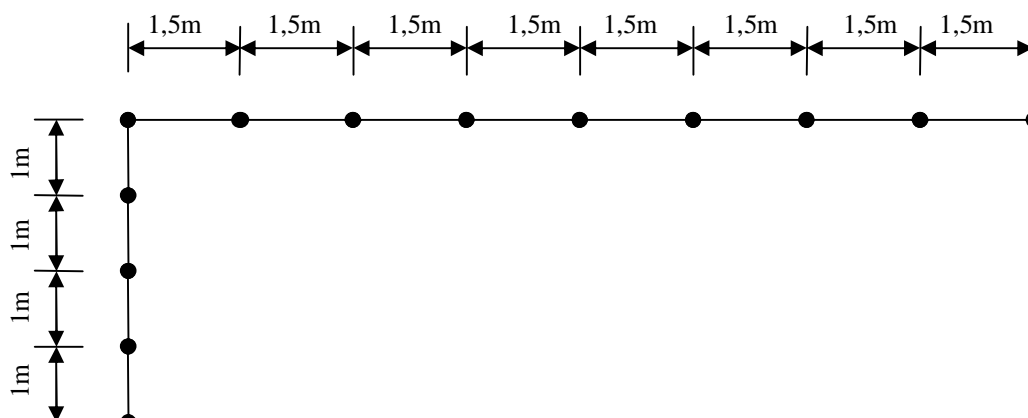
Από τους παραπάνω υπολογισμούς βρίσκουμε ότι οι γωνιές θα αντέξουν, αφού η τάση που αναλαμβάνουν, είναι κατά πολύ μικρότερη από την επιτρεπόμενη.

### 2.2.3 ΚΙΓΚΛΙΔΩΜΑΤΑ



Σχήμα 9-α

Τα κίγκλιδώματα έχουν την μορφή του σχήματος 9-α και είναι τοποθετημένα στην περίμετρο του πατώματος, στα ακραία δοκάρια, όπως μπορούμε να δούμε στο σχήμα 9-β. Είναι φτιαγμένα από σωλήνες διαμέτρου  $d_1 = 2''$  και  $d_2 = 1\frac{1}{4}''$ , κατά DIN 2458. Το βάρος τους είναι  $G_1 = 1,72\text{kp/m}$  και  $G_2 = 1,06\text{kp/m}$  αντίστοιχα, ενώ έχουν ίδιο πάχος  $s = 1,4\text{mm}$  (βλ. πίνακα 7).



Σχήμα 9-β



Το συνολικό μήκος των σωλήνων 1 και 2 είναι :  $l_1 = 2*(12m + 4m) \Leftrightarrow l_1 = 32m$

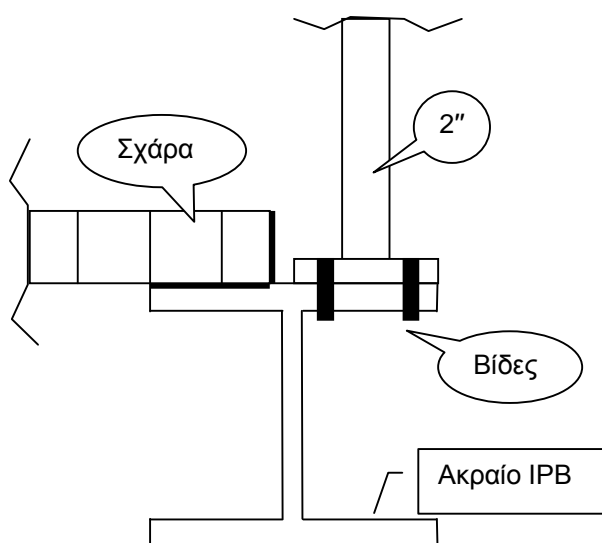
Το συνολικό μήκος της σωλήνας 3 είναι :  $l_2 = 2*(12 \text{ πάσσαλοι} + 1m) \Leftrightarrow l_2 = 24m$

$$B_{\text{κιγκλ.}} = G_1 * l_1 + G_2 * l_2 = 1,72\text{kp/m} * 32m + 1,06\text{kp/m} * 24m \Leftrightarrow B_{\text{κιγκλ.}} = 130,24\text{kp}$$

Θα αυξήσουμε το βάρος αυτό κατά 10% για να συμπεριλάβουμε και το βάρος από τις πατούσες, τις βίδες, κλπ. Άρα :

$$B_{\text{κιγκλ.}} = 1,10 * 130,24\text{kp} \Leftrightarrow B_{\text{κιγκλ.}} = 143,3\text{kp}$$

### Λεπτομέρεια σύνδεσης κιγκλιδώματος και ακραίων δοκών IPB



**Σχήμα 9-γ**

Τέλος ανάγουμε το βάρος αυτό σε kp/m διαιρώντας το με τα συνολικά μέτρα του πατώματος.

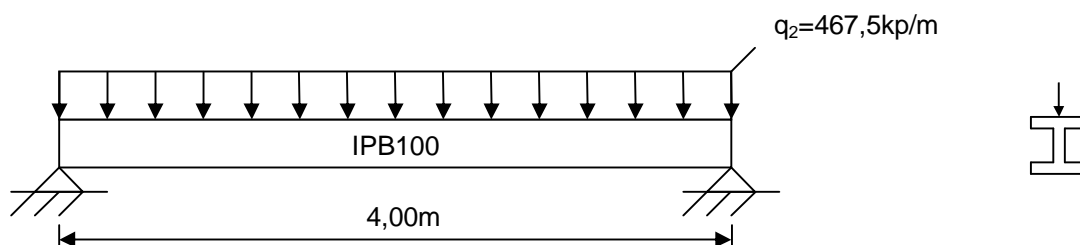
$$W_3 = \frac{B_{\text{κιγκλ.}}}{\text{Συνολ.Μήκος}} = \frac{143,3\text{kp/m}}{32m} \Leftrightarrow W_3 = 4,5\text{kp/m}$$

## 2.3 ΜΕΛΕΤΗ ΑΝΤΟΧΗΣ ΔΟΚΩΝ

### 2.3.1 ΑΝΤΟΧΗ ΕΝΔΙΑΜΕΣΩΝ ΔΟΚΩΝ (IPB100)

Οι δοκοί αυτοί καταπονούνται από ομοιόμορφα κατανεμημένο φορτίο όπως φαίνεται και στο σχήμα 10. Στο φορτίο αυτό περιλαμβάνονται τα εξής βάρη :

- 1) Το φορτίο που καταπονεί την δοκό από το βάρος της σχάρας  
 $B_{\Sigma\chi.} = W_1 * 4m * 0,8m = 40kp/m^2 * 4m * 0,8m \Leftrightarrow B_{\Sigma\chi.} = 128kp$



**Σχήμα 10**

- 2) Το φορτίο που καταπονεί την δοκό από το βάρος των γωνιακών ελασμάτων  
 $B_{\Gamma\omega\nu.} = W_2 * 4m * 0,8m = 18,85kp/m^2 * 4m * 0,8m \Leftrightarrow B_{\Gamma\omega\nu.} = 60,32kp$
- 3) Το κινητό φορτίο του πατώματος που καταπονεί μια ενδιάμεση δοκό IPB100, και προσδιορίζεται ως το φορτίο του πατώματος που περιορίζεται από τα μέσα των δύο πλευρικών ανοιγμάτων.

$$\text{Κιν.Φορτ.} = 500kp/m^2 * 4m * 0,8m \Leftrightarrow \text{Κιν.Φορτ.} = 1600kp$$

- 4) Το φορτίο από το ίδιο βάρος της δοκού

Από τον πίνακα 1 βρίσκουμε ότι για IPB100,  $G = 20,4kp/m$

$$B_{\Delta\omicron\kappa.} = 4m * G = 4m * 20,4kp/m \Leftrightarrow B_{\Delta\omicron\kappa.} = 81,6 kp$$

Το συνολικό φορτίο που καταπονεί την δοκό είναι :

$$R = B_{\Sigma\chi.} + B_{\Gamma\omega\nu.} + \text{Κιν.Φορτ.} + B_{\Delta\omicron\kappa.} = 128kp + 60,32kp + 1600kp + 81,6kp \Leftrightarrow R = 1870 kp$$

Και το κατανεμημένο φορτίο θα είναι ίσο με :

$$q = \frac{R}{\text{Μήκος}} = \frac{1870\text{kp}}{4\text{m}} \Leftrightarrow q = 467,5\text{kp/m}$$

Στην περίπτωση μας, έχουμε να εξετάσουμε μία συνεχή δοκό με ομοιόμορφα κατανεμημένο φορτίο σε όλο το μήκος της. Σύμφωνα με τους Γερμανικούς κανονισμούς (DIN1050), η μέγιστη ροπή για τα ακραία ανοίγματα δίνεται από τον

$$\text{τύπο } M_{\max} = \frac{q \cdot l^2}{11} \text{ και για τα ενδιάμεσα ανοίγματα από τον τύπο } M_{\max} = \frac{q \cdot l^2}{16} .$$

- Μέγιστη ροπή ακραίων ανοιγμάτων :

$$M_{1\max} = \frac{q_2 \cdot l^2}{11} = \frac{467,5\text{kp/m} \cdot (4\text{m})^2}{11} \Leftrightarrow M_{1\max} = 680\text{kp}\cdot\text{m}$$

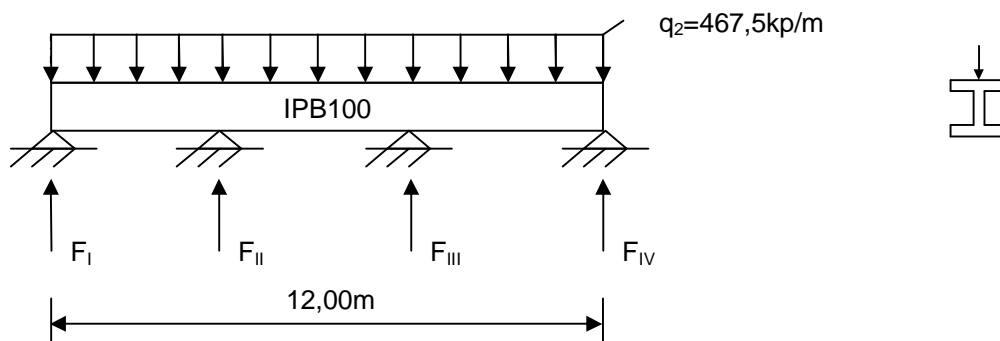
- Μέγιστη ροπή ενδιάμεσων ανοιγμάτων :

$$M_{2\max} = \frac{q_2 \cdot l^2}{16} = \frac{467,5\text{kp/m} \cdot (4\text{m})^2}{16} \Leftrightarrow M_{2\max} = 467,5\text{kp}\cdot\text{m}$$

Αφού έχουμε ίδια διατομή σε όλα τα ανοίγματα της δοκού, επιλέγουμε την μεγαλύτερη ροπή για να εξετάσουμε την αντοχή της σε κάμψη. Εφόσον η κάμψη γίνεται με ουδέτερη γραμμή τον άξονα x της διατομής, από τους σχετικούς πίνακες παίρνουμε ότι για IPB100,  $W_x = 89,9\text{cm}^3$  (βλ. πίνακα 1) και η υπολογίσιμη τάση είναι :

$$\sigma_{\text{υπ.}} = \frac{M_{\max}}{W_x} = \frac{680\text{kp}\cdot\text{m} \cdot 100}{89,9\text{cm}^3} \Leftrightarrow \sigma_{\text{υπ.}} = 756\text{kp/cm}^2 < \sigma_{\text{επ.}} = 1400\text{kp/cm}^2$$

### 2.3.1.1 ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ ΣΤΙΣ ΣΤΗΡΙΞΕΙΣ ΤΩΝ ΕΝΔΙΑΜΕΣΩΝ ΔΟΚΩΝ



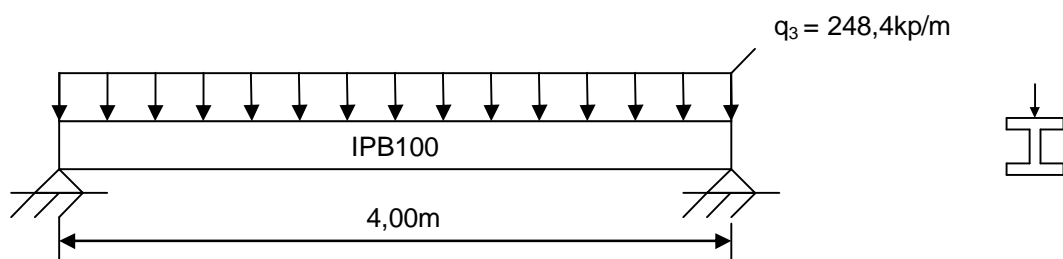
**Σχήμα 11**

Όπως προείπαμε έχουμε μία συνεχή δοκό με ομοιόμορφα κατανεμημένο φορτίο και σύμφωνα με το DIN1050 για να υπολογίσουμε τις αντιδράσεις των στηρίξεων ( $F_I$ ,  $F_{II}$ ,  $F_{III}$ ,  $F_{IV}$ ), θεωρούμε ότι καθένα από τα τρία ανοίγματα της δοκού σαν αμφιέρειστο. Άρα :

$$F_I = F_{IV} = \frac{q_2 \cdot l}{2} = \frac{467,5 \text{ kN/m} \cdot 4 \text{ m}}{2} = 935 \text{ kN} \Leftrightarrow F_I = F_{IV} = 0,9 \text{ tn}$$

$$F_{II} = F_{III} = q_2 \cdot l = 467,5 \text{ kN/m} \cdot 4 \text{ m} = 1870 \text{ kN} \Leftrightarrow F_{II} = F_{III} = 2 \text{ tn}$$

### 2.3.2 ΑΝΤΟΧΗ ΑΚΡΑΙΩΝ ΔΟΚΩΝ (IPB100)



**Σχήμα 12**

Η φόρτιση των δοκών αυτών είναι ίδια με της προηγούμενης περίπτωσης. Για τον λόγο αυτόν θα κάνουμε τους ίδιους υπολογισμούς και στο κατανεμημένο φορτίο θα λάβουμε υπόψη τα εξής :

1) Το φορτίο που καταπονεί την δοκό από το βάρος της σχάρας  
 $B_{\Sigma\chi.} = W_1 * 4m * 0,4m = 40\text{kp/m}^2 * 4m * 0,4m \Leftrightarrow B_{\Sigma\chi.} = 64\text{kp}$

2) Το φορτίο που καταπονεί την δοκό από το βάρος των γωνιακών ελασμάτων  
 $B_{\Gamma\omega\nu.} = W_2 * 4m * 0,4m = 18,85\text{kp/m}^2 * 4m * 0,4m \Leftrightarrow B_{\Gamma\omega\nu.} = 30,16\text{kp}$

3) Το κινητό φορτίο του πατώματος που προσδιορίζεται ως το φορτίο του πατώματος που περιορίζεται από το μέσο του ενός πλευρικού ανοίγματος.

$$\text{Κιν.Φορτ.} = 500\text{kp/m}^2 * 4m * 0,4m \Leftrightarrow \text{Κιν.Φορτ.} = 800\text{kp}$$

4) Το φορτίο που καταπονεί την δοκό από τα κιγκλιδώματα.

$$B_{\text{κιγκλ.}} = W_3 * 4m = 4,5\text{kp/m} * 4m \Leftrightarrow B_{\text{κιγκλ.}} = 18\text{kp}$$

5) Το φορτίο από το ίδιο βάρος της δοκού που από σχετικούς πίνακες (βλ. πίνακα 1) ξέρουμε ότι για IPB100,  $G=20,4\text{kp/m}$

$$B_{\Delta\text{οκ.}} = 4m * G = 4m * 20,4\text{kp/m} \Leftrightarrow B_{\Delta\text{οκ.}} = 81,6 \text{ kp}$$

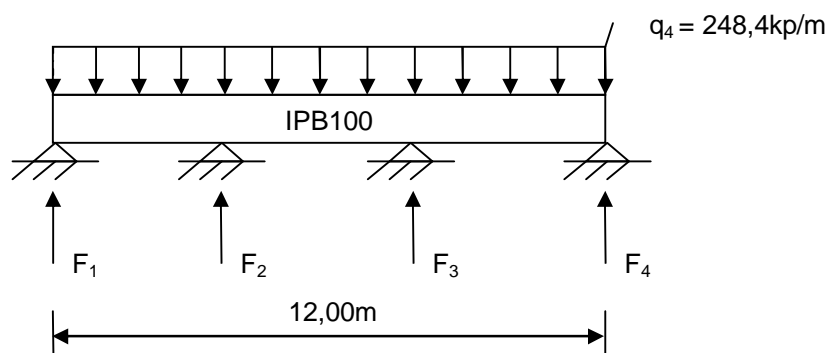
$$R = B_{\Sigma\chi.} + B_{\Gamma\omega\nu.} + \text{Κιν.Φορτ.} + B_{\text{κιγκλ.}} + B_{\Delta\text{οκ.}} = 64\text{kp} + 30,16\text{kp} + 800\text{kp} + 18\text{kp} + 81,6\text{kp} \Leftrightarrow R' = 993,76 \text{ kp}$$

Άρα το κατανεμημένο φορτίο είναι ίσο με :

$$q = \frac{R}{\text{Μήκος}} = \frac{993,76\text{kp}}{4m} \Leftrightarrow q = 248,4\text{kp/m}$$

Επειδή το φορτίο είναι μικρότερο της προηγούμενης περίπτωσης, δεν χρειάζεται να την εξετάσουμε σε κάμψη γιατί καταλαβαίνουμε ότι η δοκός θα αντέξει.

### 2.3.2.1 ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ ΣΤΙΣ ΣΤΗΡΙΞΕΙΣ ΤΩΝ ΑΚΡΑΙΩΝ ΔΟΚΩΝ



Έχουμε μία συνεχή δοκό με ομοιόμορφα κατανεμημένο φορτίο όπως και στην προηγούμενη περίπτωση και σύμφωνα με το DIN1050 οι αντιδράσεις των στηρίξεων θα ισούνται με :

$$F_1 = F_4 = \frac{q \cdot l}{2} = \frac{248,4 \text{ kp/m} \cdot 4 \text{ m}}{2} = 496,8 \text{ kp} \Leftrightarrow F_1 = F_4 = 0,5 \text{ tn}$$

$$F_2 = F_3 = q \cdot l = 248,4 \text{ kp/m} \cdot 4 \text{ m} = 993,6 \text{ kp} \Leftrightarrow F_2 = F_3 = 1 \text{ tn}$$

### 2.3.3 ΕΛΕΓΧΟΣ ΒΕΛΟΥΣ ΚΑΜΨΕΩΣ ΔΟΚΩΝ IPB100

Για τον έλεγχο του βέλους κάμψεως θα εξετάσουμε μόνο τα ενδιάμεσα δοκάρια, γιατί αυτά είναι που καταπονούνται με την μεγαλύτερη φόρτιση.

Το μέγιστο επιτρεπόμενο βέλος κάμψεως δίνεται από τον τύπο  $f = \frac{l}{300}$  και

$$\text{στην δική μας περίπτωση ισούται με } f = \frac{l}{300} = \frac{400}{300} \Leftrightarrow f = 1,3 \text{ cm.}$$

Η δοκός που εξετάζουμε είναι μια συνεχής δοκός, με ομοιόμορφα κατανεμημένο φορτίο και τρία ανοίγματα. Ο τύπος που μας δίνει το μέγιστο βέλος

κάμψεως για τρία ανοίγματα είναι : α) στα ακραία ανοίγματα  $f_1 = 3,22 * \frac{q * l^4}{I}$  και β) στα ενδιάμεσα ανοίγματα  $f_2 = 0,248 * \frac{q * l^4}{I}$  (βλ. πίνακα 11) όπου  $I_x = 450\text{cm}^4$ , για δοκούς IPB100 (βλ. πίνακα 1).

- $f_1 = 3,22 * \frac{q * l^4}{I} = 3,22 * \frac{0,4675\text{tn/m} * (4\text{m})^4}{450\text{cm}^4} \Leftrightarrow f_1 = 0,9\text{cm} < f = 1,3\text{cm}$
- $f_2 = 0,248 * \frac{q * l^4}{I} = 0,248 * \frac{0,4675\text{tn/m} * (4\text{m})^4}{450\text{cm}^4} \Leftrightarrow f_2 = 0,07\text{cm} < f = 1,3\text{cm}$

## 2.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΔΟΚΩΝ ΖΕΥΞΗΣ (BB' & ΓΓ')

Οι δοκοί ζεύξης είναι οι δοκοί που ενώνουν τα δύο δικτυώματα, σχηματίζοντας έτσι ένα ζευκτό. Αυτές οι δοκοί καταπονούνται περισσότερο από τις υπόλοιπες της κατασκευής μας. Στην κατασκευή μας έχουμε 4 τέτοιες δοκούς, οι οποίες είναι τοποθετημένες στο πάνω μέρος του ζευκτού.

### 2.4.1 ΑΝΤΟΧΗ ΔΟΚΩΝ BB' και ΓΓ'

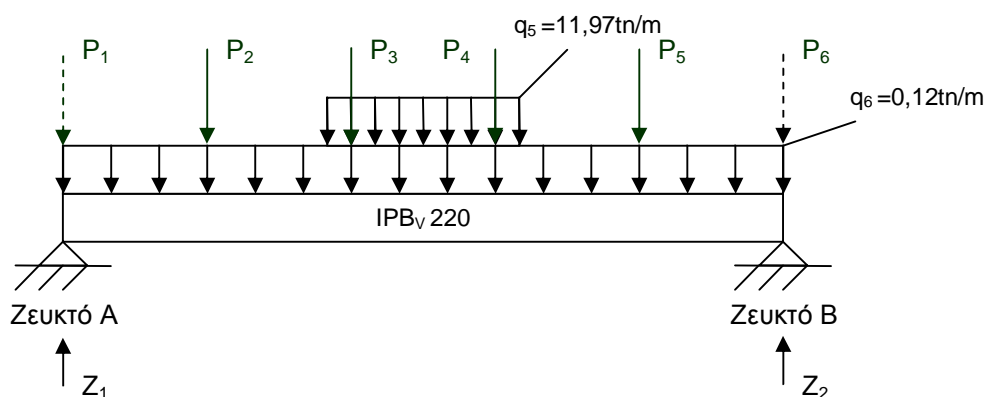
Στο σχήμα 6 φαίνεται ότι οι δοκοί BB και ΓΓ' είναι οι δυσμενέστερες δοκοί, γιατί καταπονούνται από το φορτίο της δεξαμενής. Μπορούμε να ξεχωρίσουμε ότι η ΓΓ' είναι αυτή που καταπονείται περισσότερο, λόγω της ύπαρξης του απαερωτή. Για την σωστότερη μελέτη της κατασκευής, και επειδή ο κατασκευαστής μπορεί να τοποθετήσει τον απαερωτή από την αντίθετη μεριά (δοκό BB'), θα θεωρήσουμε ότι και οι δύο δοκοί φορτίζονται με τον ίδιο τρόπο.

Θα χρησιμοποιήσουμε πλατύπελμη ενισχυμένη δοκό IPB<sub>v</sub>220. Η δοκός καταπονείται από τις αντιδράσεις των IPB100 ( $P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6$ ), το ίδιο βάρος της δοκού ( $q_6$ ) και τα βάρη της δεξαμενής και του απαερωτή ( $q_5$ ) [Σχήμα 13].

Στην μελέτη της αντοχής της δοκού, δεν θα υπολογίσουμε τις  $P_1$  και  $P_7$  γιατί θεωρούμε ότι φορτίζουν απευθείας τους κόμβους Α και Δ του δικτυώματος.

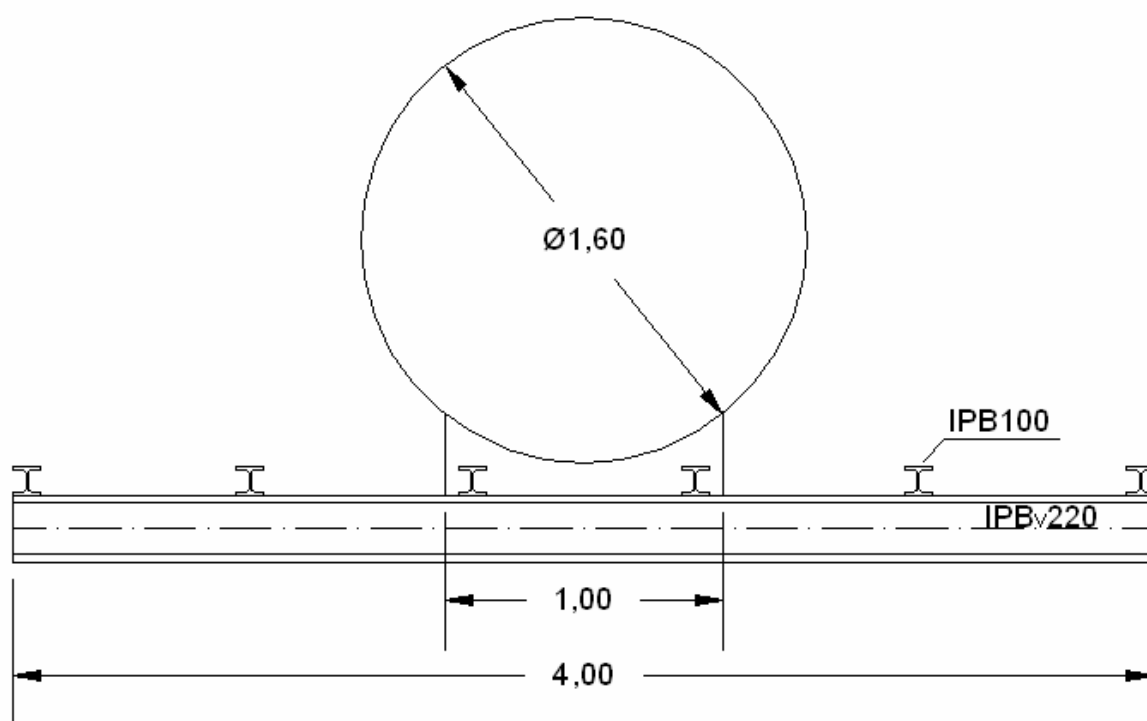
$$P_1 = P_6 = F_2 = 1\text{tn}$$

$$P_2 = P_3 = P_4 = P_5 = F_{II} = 2\text{tn}$$



**Σχήμα 13**

Το φορτίο από την δεξαμενή και τον απαερωτή είναι ίσο με την αντίδραση  $B = 11,97\text{tn}$ . Η δεξαμενή όμως στηρίζεται πάνω σε πέλμα μήκους  $l = 1\text{m}$  όπως φαίνεται και στο σχήμα 14.



**Σχήμα 14**

Για τον λόγο αυτόν θα πρέπει την αντίδραση αυτή, να την ανάγουμε σε φόρτιση ανά μέτρο. Άρα :



$$q_5 = \frac{B}{l} = \frac{11,97 \text{tn}}{1 \text{m}} \Leftrightarrow q_5 = 11,97 \text{ tn/m}$$

Από σχετικούς πίνακες (βλ. πίνακα 2) βρίσκουμε ότι το βάρος της δοκού IPB<sub>v</sub>220 είναι  $G_{\text{IPBv220}} = 117 \text{kg/m}$ .

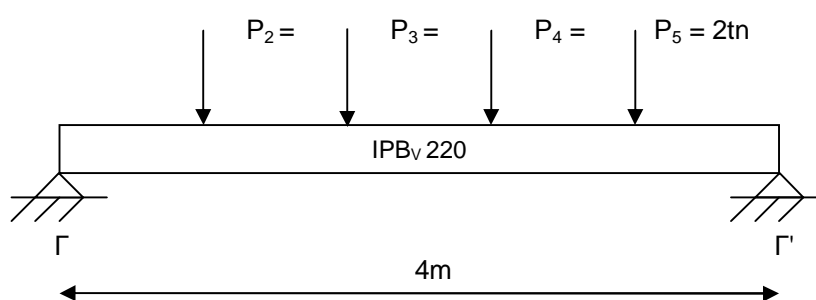
$$q_6 = G_{\text{IPBv220}} = 117 \text{kg/m} \Leftrightarrow q_6 = 0,12 \text{tn/m}$$

Η φόρτιση της δοκού είναι συμμετρική, οι αντιδράσεις της δοκού είναι ίσες και ισούνται με :

$$Z_1 = Z_2 = \frac{4 \text{m} * P_2 + q_5 * 1 \text{m} + q_6 * 4 \text{m}}{2} \Leftrightarrow Z_1 = Z_2 = 10,2 \text{tn}$$

Λόγω της συμμετρικής φόρτισης της δοκού η μέγιστη ροπή κάμψης εφαρμόζεται στο μέσον της δοκού. Για τον υπολογισμό της, θα αθροίσουμε τις επιμέρους ροπές που δίνουν α) τα συγκεντρωμένα φορτία, β) το ίδιο το βάρος της δοκού και γ) το βάρος της δεξαμενής και του απαιρωτή.

α) Ροπή από τα συγκεντρωμένα φορτία



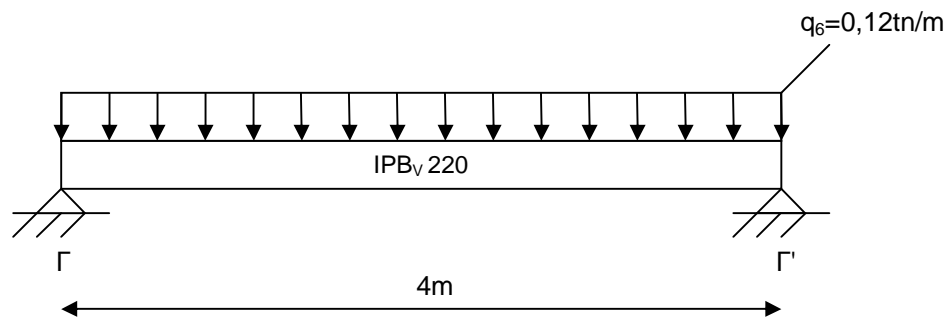
Σύμφωνα με τους Γερμανικούς κανονισμούς, όταν σε δοκό ασκούνται συγκεντρωμένα φορτία, τότε η μέγιστη ροπή δίνεται από τον τύπο  $M_{\text{max}} = m * P * l$ , όπου  $m = 0,600$  όταν για 4 δυνάμεις (βλ. πίνακα 12).

$$M_{\text{max}_1} = 0,600 * 2 \text{tn} * 4 \text{m} \Leftrightarrow M_{\text{max}_1} = 4,8 \text{tn} \cdot \text{m}$$

## β) Ροπή από το ίδιο βάρος της δοκού

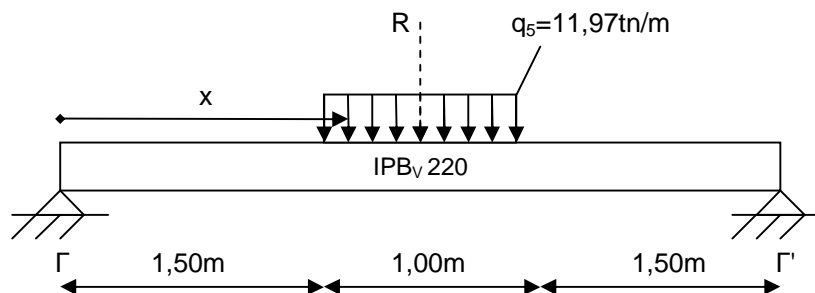
Σύμφωνα με τους Γερμανικούς κανονισμούς, όταν ασκείται ομοιόμορφα καταμεμημένο φορτίο πάνω σε δοκό, η μέγιστη ροπή δίνεται από τον τύπο

$$M_{\max} = \frac{q \cdot l^2}{8} \quad (\text{βλ. πίνακας 13}).$$



$$M_{\max_2} = \frac{0,12 \text{ tn/m} \cdot (4\text{m})^2}{8} \Leftrightarrow M_{\max_2} = 0,24 \text{ tn}\cdot\text{m}$$

## γ) Ροπή από το βάρος της δεξαμενής και του απαερωτή



$$R = q \cdot x = 11,97 \text{ tn/m} \cdot 1\text{m} \Leftrightarrow R = 11,97 \text{ tn}$$

Η μέγιστη ροπή εμφανίζεται στην μέση της δοκού λόγω συμμετρίας (δηλαδή

για  $x = 2\text{m}$ ) και είναι ίση με  $M_{(x)} = \frac{R}{2} \cdot x - \frac{q \cdot (x - 1,5)^2}{2}$ . Άρα :

$$M_{\max_3} = \frac{11,97 \text{tn}}{2} * 2\text{m} - \frac{11,97 \text{tn} * (2\text{m} - 1,5\text{m})^2}{2} \Leftrightarrow M_{\max_3} = 10,47 \text{tn}\cdot\text{m}$$

Η συνολική μέγιστη ροπή που καταπονεί την δοκό θα είναι ίση με :

$$M_{\max} = M_{\max_1} + M_{\max_2} + M_{\max_3} \Leftrightarrow \mathbf{M_{\max} = 15,51 \text{tn}\cdot\text{m}}$$

Για δοκούς IPB<sub>v</sub>220 η ροπή αντίστασης ισούται με  $W_x = 1220 \text{cm}^3$  (βλ. πίνακα 2) και η υπολογίσιμη τάση είναι :

$$\sigma_{\text{υπ.}} = \frac{M_{\max}}{W_x} = \frac{15,51 \text{tnm} * 100}{1220 \text{cm}^3} \Leftrightarrow \sigma_{\text{υπ.}} = 1,27 \text{tn/cm}^2 < \sigma_{\text{επ.}} = 1,4 \text{tn/cm}^2$$

#### 2.4.1.1 ΕΛΕΓΧΟΣ ΒΕΛΟΥΣ ΚΑΜΨΕΩΣ ΔΟΚΩΝ IPB<sub>v</sub>220

Όπως προείπαμε το μέγιστο επιτρεπόμενο βέλος κάμψεως ισούται με

$$f = \frac{l}{300} = \frac{400}{300} \Leftrightarrow f = 1,3 \text{cm.}$$

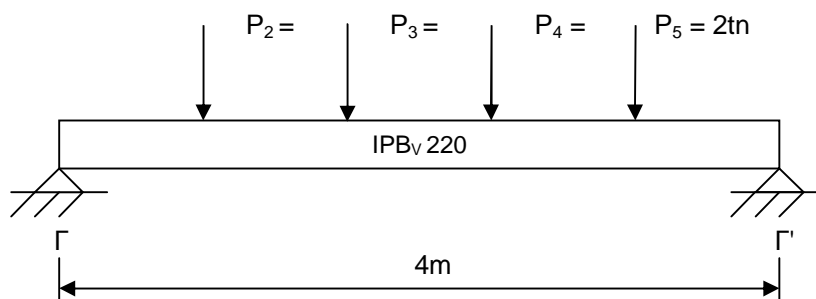
Η δοκός που εξετάζουμε καταπονείται ταυτόχρονα από συγκεντρωμένα και κατανεμημένα φορτία. Για τον καλύτερο έλεγχο του βέλους κάμψεως θα εξετάσουμε πρώτα το μέγιστο βέλος κάμψεως που έχει η δοκός από τα συγκεντρωμένα φορτία και κατόπιν από το κατανεμημένο φορτίο και το ίδιο το βάρος της. Τέλος θα τα αθροίσουμε, αφού τα μέγιστα βέλη κάμψεως και των τριών περιπτώσεων συμπίπτουν στην ίδια θέση (δηλαδή στη μέση της δοκού), λόγω συμμετρικών φορτίσεων.

α) Βέλος κάμψεως λόγω συγκεντρωμένων φορτίων

Σύμφωνα με τους Γερμανικούς κανονισμούς, όταν σε δοκό ασκούνται συγκεντρωμένα φορτία, τότε το μέγιστο βέλος κάμψεως δίνεται από τον τύπο

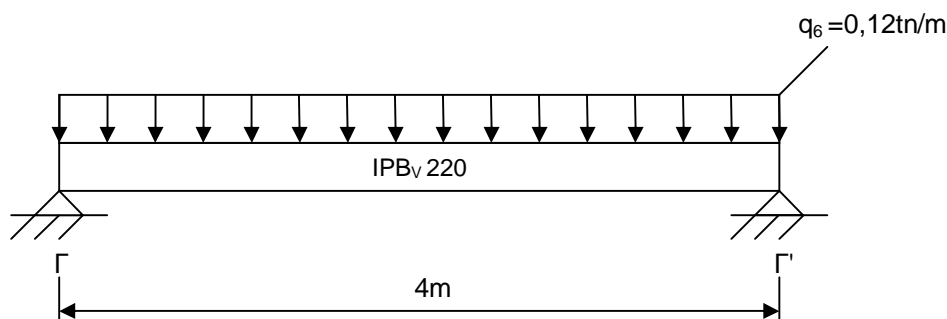
$$\max f = \frac{k * P * l^3}{I}, \text{ όπου } k \text{ συντελεστής ανάλογα με τον αριθμό των δυνάμεων που}$$

ασκούνται στην δοκό (στην περίπτωση μας για 4 δυνάμεις  $k = 30.00$ , βλ. πίνακα 12) και η ροπή αδράνειας για δοκούς IPB<sub>v</sub>220 είναι  $I_x = 14.600\text{cm}^4$  (βλ. πίνακα 2). Άρα :



$$\max f_1 = \frac{30,00 * 2\text{tn} * (4\text{m})^3}{14.600\text{cm}^4} \Leftrightarrow \max f_1 = 0,26\text{cm}$$

β) Βέλος κάμψεως λόγω ίδιου βάρους της δοκού

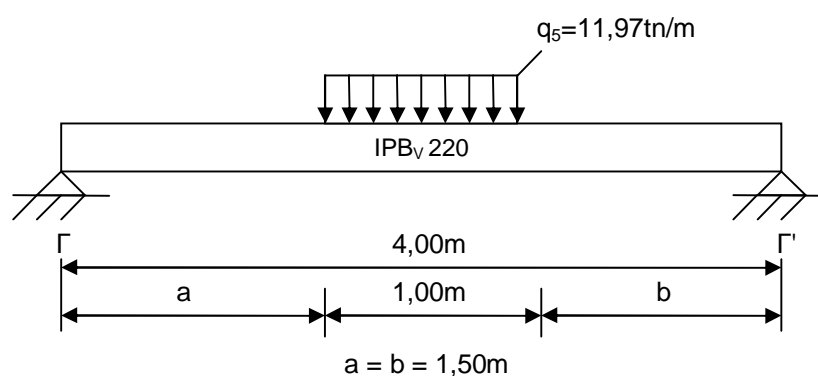


Σύμφωνα με τους Γερμανικούς κανονισμούς, όταν ασκείται ομοιόμορφα κατανεμημένο φορτίο πάνω σε δοκό, το μέγιστο βέλος κάμψεως δίνεται από τον τύπο  $\max f = \frac{5 * 10^6}{384} * \frac{q * l^4}{E * I}$  (βλ. πίνακας 13), όπου το μέτρο ελαστικότητας για χάλυβες είναι  $E = 2100\text{tn/cm}^2$  και  $I_x$  η ροπή αδράνειας για δοκό IPB<sub>v</sub>220. Άρα :

$$\max f_2 = \frac{5 * 10^6}{384} * \frac{0,12\text{tn/m} * (4\text{m})^4}{2100\text{tn/cm}^2 * 14.600\text{cm}^4} \Leftrightarrow \max f_2 = 0,013\text{cm}$$

γ) Βέλος κάμψεως λόγω μερικώς καταναμημένου φορτίου

Σύμφωνα με τους Γερμανικούς κανονισμούς, όταν ασκείται μερικώς καταναμημένο φορτίο πάνω σε δοκό, το μέγιστο βέλος κάμψεως δίνεται από τον τύπο  $\max f = \frac{10}{l} * (3 * l^2 * S - 4 \cdot D)$ , όπου  $S = \frac{1}{4} * q * (l^2 - 2 \cdot a^2 - 2 \cdot b^2)$  και  $D = \frac{1}{32} * q * (l^4 - 8 \cdot a^4 - 8 \cdot b^4)$  [βλ. πίνακα 14]. Στην περίπτωση μας οι αποστάσεις  $a$  και  $b$  είναι ίσες. Άρα το μέγιστο βέλος κάμψεως είναι :



$$S = \frac{1}{4} * 11,97 \text{tn/m} * ((4\text{m})^2 - 4 * (1,5\text{m})^2) \Leftrightarrow S = 20,95 \text{tn} \cdot \text{m}$$

$$D = \frac{1}{32} * 11,97 \text{tn/m} * ((4\text{m})^4 - 16 * (1,5\text{m})^4) \Leftrightarrow D = 65,3 \text{tn} \cdot \text{m}$$

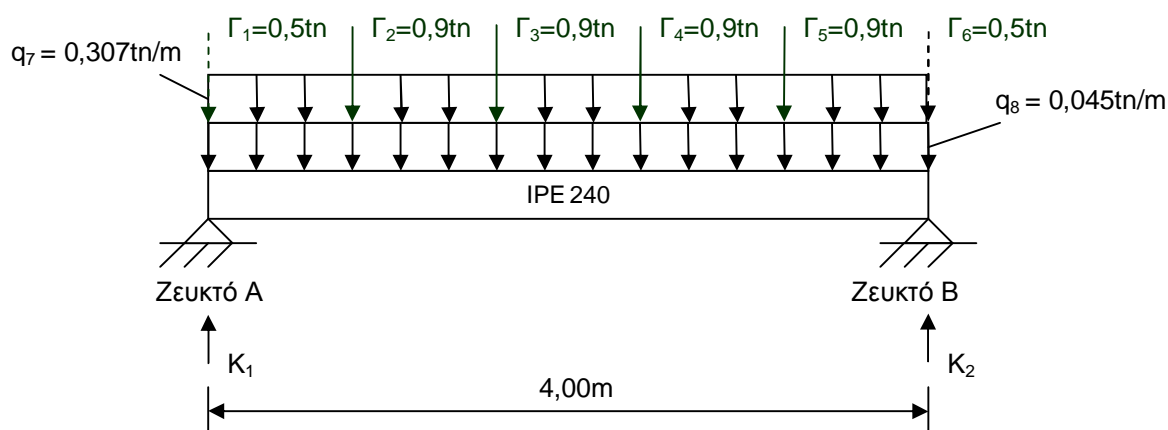
$$\max f_3 = \frac{10}{l} * (3 * l^2 * S - 4 \cdot D) = \frac{10}{14.600 \text{cm}^4} * [3 * (4\text{m})^2 * 20,95 \text{tn} \cdot \text{m} - 4 * (65,3 \text{tn} \cdot \text{m})] \Leftrightarrow$$

$$\max f_3 = 0,51 \text{cm}$$

Το συνολικό βέλος κάμψεως που καταπονεί την δοκό θα είναι ίσο με :

$$\max f = \max f_1 + \max f_2 + \max f_3 \Leftrightarrow \max f = 0,783 \text{cm} < f = 1,3 \text{cm}$$

### 2.4.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΔΟΚΩΝ ΖΕΥΞΗΣ (ΑΑ' & ΔΔ')



**Σχήμα 15**

Θα χρησιμοποιήσουμε δοκό IPE240. Οι δοκοί καταπονούνται από συγκεντρωμένα φορτία ( $\Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma_3, \Gamma_4, \Gamma_5, \Gamma_6$ ) και κατανεμημένα φορτία ( $q_7, q_8$ ). Τα κατανεμημένα αυτά φορτία προέρχονται από το ίδιο βάρος της δοκού ( $G = 30,7\text{kp/m}$  βλ. πίνακα 3) και το φορτίο από τα κιγκλιδώματα ( $W_3$ ). Για μεγαλύτερη ευκολία μπορούμε να αθροίσουμε τα δύο κατανεμημένα φορτία και έτσι θα έχουμε :

$$q_7 = G = 30,7\text{kp/m} \Leftrightarrow q_7 = 0,307\text{tn/m}$$

$$q_8 = W_3 = 4,5\text{kp/m} \Leftrightarrow q_8 = 0,045 \text{ tn/m}$$

$$q_{7,8} = q_7 + q_8 = 0,307\text{tn/m} + 0,045 \text{ tn/m} \Leftrightarrow q_{7,8} = 0,352\text{tn/m}$$

$$R = q_{7,8} * l = 0,352\text{tn/m} * 4\text{m} \Leftrightarrow R = 1,408\text{tn}$$

Οι αντιδράσεις των δοκών είναι :

$$K_1 = K_2 = \frac{n * \Gamma_2 + R}{2} = \frac{4 * 0,9\text{tn} + 1,408\text{tn}}{2} \Leftrightarrow K_1 = K_2 = 2,5\text{tn}$$

Όπως και στην προηγούμενη περίπτωση, η δοκός καταπονείται από συγκεντρωμένα και κατανεμημένα φορτία και η μέγιστη ροπή θα εφαρμόζεται στο κέντρο της δοκού (λόγω συμμετρικών φορτίσεων).

Η μέγιστη συνολική ροπή ισούται με το άθροισμα της ροπής που δίνουν α) οι συγκεντρωμένες δυνάμεις και β) το καταναμημένο φορτίο. Άρα :

$$M_{\max} = m * l * P + \frac{q * l^2}{8}, \text{ όπου } m = 0,600 \text{ για } 4 \text{ δυνάμεις, όπως και στην προηγούμενη περίπτωση. Άρα :}$$

$$M_{\max} = m * l * P + \frac{q * l^2}{8} = 0,600 * 0,9 \text{tn} * 4 \text{m} + \frac{(0,352 \text{tn/m}) * (4 \text{m})^2}{8} \Leftrightarrow$$

$$M_{\max} = 2,864 \text{tn} \cdot \text{m}$$

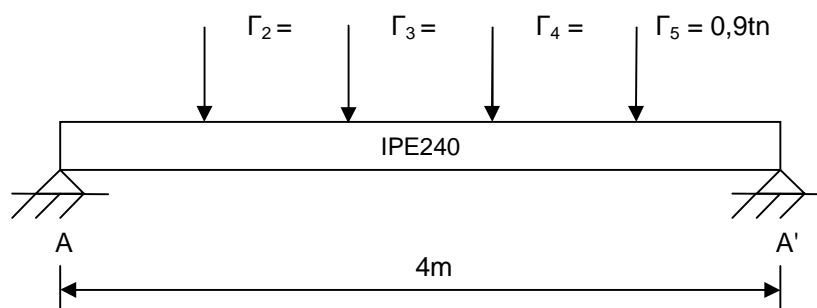
Η ροπή αντίστασης για δοκούς IPE240 ισούται με  $W_x = 324 \text{cm}^3$  (βλ. πίνακα 3). Η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με :

$$\sigma_{\text{υπ.}} = \frac{M_{\max}}{W_x} = \frac{2,846 \text{tnm} * 100}{324 \text{cm}^3} \Leftrightarrow \sigma_{\text{υπ.}} = 0,9 \text{tn/cm}^2 < \sigma_{\text{επ.}} = 1,4 \text{tn/cm}^2$$

#### 2.4.2.1 ΕΛΕΓΧΟΣ ΒΕΛΟΥΣ ΚΑΜΨΕΩΣ ΔΟΚΩΝ IPE240

Από την προηγούμενη περίπτωση γνωρίζουμε ότι το μέγιστο επιτρεπόμενο βέλος κάμψεως ισούται με  $f = 1,3 \text{cm}$  και το πραγματικό βέλος κάμψεως θα υπολογιστεί με τον ίδιο τρόπο.

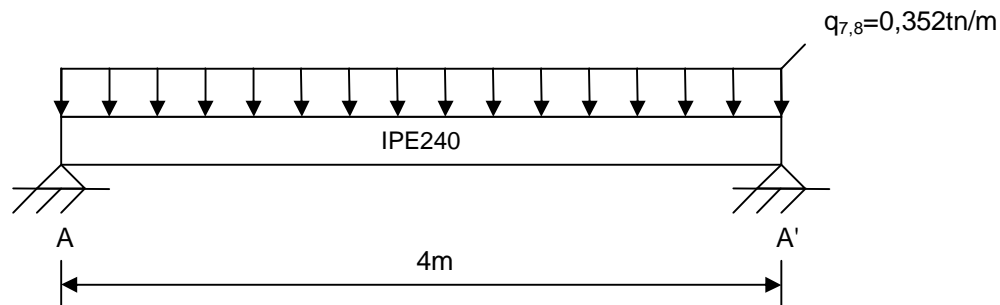
α) Βέλος κάμψεως λόγω συγκεντρωμένων φορτίων



$\max f = \frac{k * P * l^3}{I}$ , όπου  $k = 30,00$  όταν ασκούνται 4 δυνάμεις (βλ. πίνακα 12) και ροπή αδράνειας  $I_x = 3.890 \text{cm}^4$  για δοκό IPE240 (βλ. πίνακα 3). Άρα :

$$\text{Max}f_1 = \frac{30,00 * 0,9\text{tn} * (4\text{m})^3}{3.890\text{cm}^4} \Leftrightarrow \text{Max}f_1 = 0,44\text{cm}$$

β) Βέλος κάμψης λόγω κατανομμένου φορτίου



$\text{max}f = \frac{5 * 10^6}{384} * \frac{q * l^4}{E * I}$ , όπου το μέτρο ελαστικότητας για χάλυβα είναι  $E = 2100\text{tn/cm}^2$  και η ροπή αδράνειας  $I_x = 14.600\text{cm}^4$  για δοκό IPE240 (βλ. πίνακα 3).  
Άρα :

$$\text{Max}f_2 = \frac{5 * 10^6}{384} * \frac{0,352\text{tn/m} * (4\text{m})^4}{2100\text{tn/cm}^2 * 3.890\text{cm}^4} \Leftrightarrow \text{Max}f_2 = 0,14\text{cm}$$

Το συνολικό βέλος κάμψης που καταπονεί την δοκό θα είναι ίσο με :  
 $\text{Max}f = \text{Max}f_1 + \text{Max}f_2 \Leftrightarrow \text{Max}f = 0,58\text{cm} < f = 1,3\text{cm}$



# ΕΝΟΤΗΤΑ 3

## ΣΥΝΔΕΣΕΙΣ

### 3.1 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΦΟΡΤΙΩΝ ΣΤΟΥΣ ΚΟΜΒΟΥΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΩΜΑΤΟΣ



**Σχήμα 16**

Για την στήριξη της δεξαμενής χρησιμοποιούμε δύο όμοια δικτυώματα που καταπονούνται με συμμετρικές φορτίσεις. Για τον λόγο αυτόν θα μελετήσουμε μόνο το ένα.

Τα φορτία εφαρμόζονται στους άνω κόμβους του κάθε δικτυώματος και συγκεκριμένα, στους κόμβους Α, Β, Γ και Δ. Και στους τέσσερις κόμβους εφαρμόζονται τα φορτία από τις δοκούς, το πάτωμα, τις σχάρες, κλπ, ενώ στους κόμβους Β και Γ εφαρμόζονται επιπλέον τα φορτία της δεξαμενής και του απαερωτή. Άρα :

Οι κόμβοι Β, Β', Γ, Γ' καταπονούνται από :

α) την αντίδραση  $Z_1 = Z_2 = 10,2\text{tn}$  και

β) την αντίδραση  $F_2 = 1\text{tn}$

Άρα στους παραπάνω κόμβους ασκούνται δυνάμεις ίσες με  $P_2 = P_3 = 11,2\text{tn}$

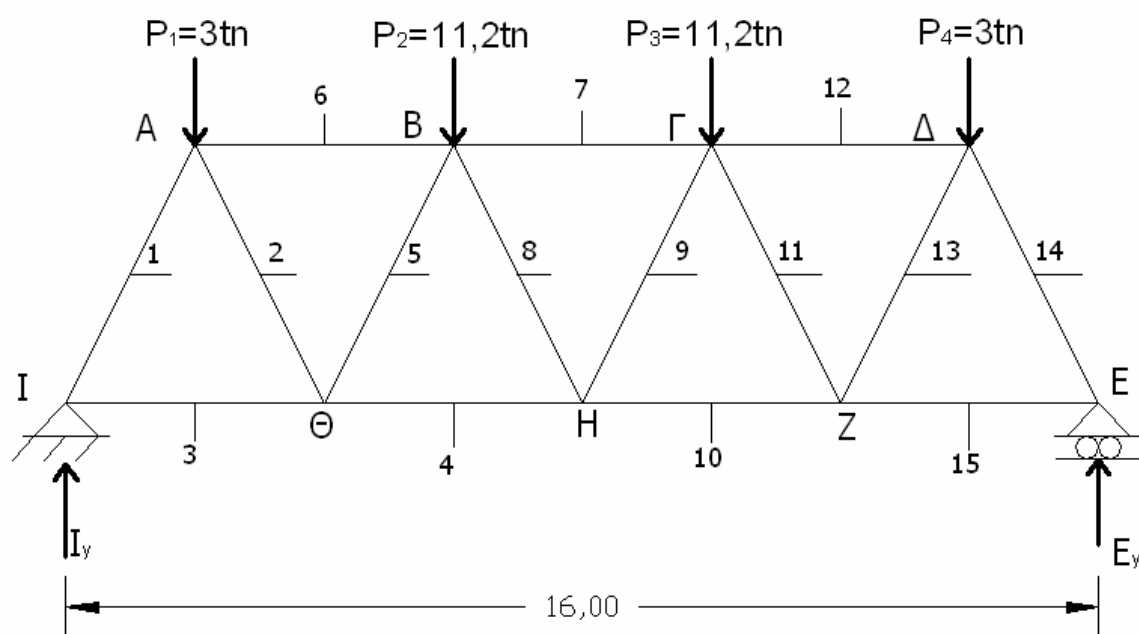
Οι κόμβοι Α, Α', Δ, Δ' καταπονούνται από :

α) την αντίδραση  $K_1 = K_2 = 2,5\text{tn}$  και

β) την αντίδραση  $F_1 = 0,5\text{tn}$

Άρα στους παραπάνω κόμβους θα ασκούνται δυνάμεις ίσες με  $P_1 = P_4 = 3\text{tn}$

### 3.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΑΣΕΩΝ ΡΑΒΔΩΝ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΩΜΑΤΟΣ



**Σχήμα 17**

Για την σωστή επίλυση ενός δικτυωτού φορέα θα πρέπει να αποδείξουμε την ισοστατικότητα και τη στερεότητά του, να βρούμε τις αντιδράσεις των στηρίξεων και τέλος τις τάσεις που αναπτύσσονται στις ράβδους του φορέα αυτού.

Στην περίπτωση μας ο δικτύωμα είναι στερεό γιατί είναι παράθεση τριγώνων και ισοστατικό γιατί ισχύει ο τύπος της ισοστατικότητας  $\rho_{\delta} = 2 \cdot \kappa - 3 \Leftrightarrow 15 = 2 \cdot 9 - 3 \Leftrightarrow 15 = 15$  (όπου  $\rho_{\delta}$  ο αριθμός των ράβδων, και  $\kappa$  ο αριθμός των κόμβων του δικτυώματος)

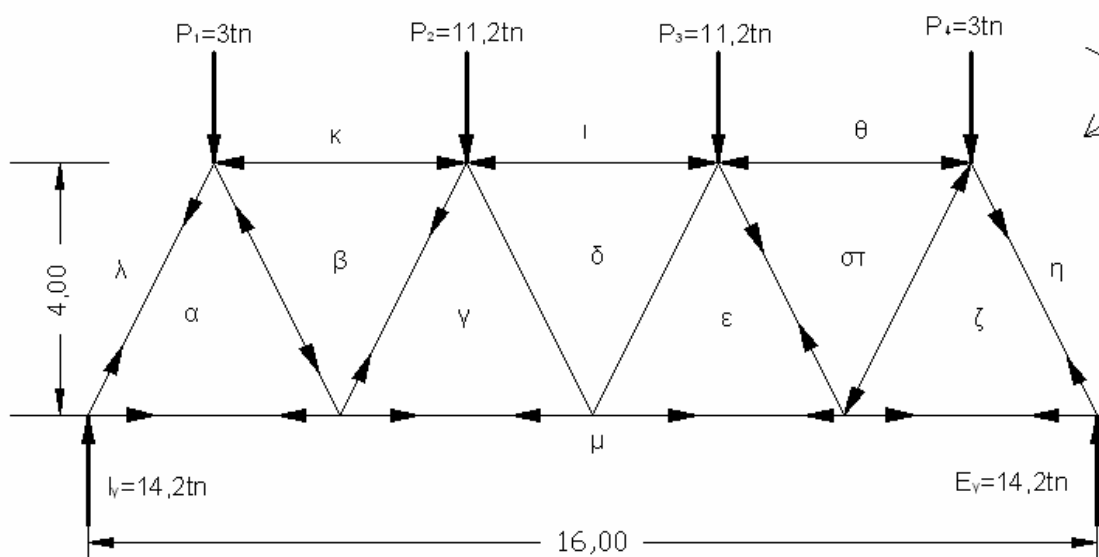
Οι αντιδράσεις των στηρίξεων είναι ίσες λόγω συμμετρικών φορτίσεων, και ισοδυναμεί με :

$$I_y = E_y = \frac{2 \cdot P_1 + 2 \cdot P_2}{2} = \frac{2 \cdot 3\text{tn} + 2 \cdot 11,2\text{tn}}{2} \Leftrightarrow I_y = E_y = 14,2\text{tn}$$

Για τις τάσεις των ράβδων θα χρησιμοποιήσουμε την γραφική μέθοδο Bow - Cremona. Στην μέθοδο αυτή, σχεδιάζουμε το Διάγραμμα Ελευθέρου Σώματος (ΔΕΣ)

του δικτυώματος και χωρίζουμε το επίπεδο του δικτυώματος σε περιοχές που ονομάζουμε με μικρά γράμματα (σχήμα 18). Επιλέγουμε μία φορά διαγραφής, εκλέγουμε κλίμακα και σχεδιάζουμε διαδοχικά τα διανύσματα των γνωστών δυνάμεων που ασκούνται στον κόμβο από τον οποίο συντρέχουν το πολύ μέχρι 2 άγνωστες δυνάμεις. Έτσι προσδιορίζεται το δυναμοπολύγωνο του κόμβου, από το οποίο προσδιορίζονται οι τάσεις αφού μετρηθούν με την κλίμακα. Τέλος, αν το διάνυσμα που αντιπροσωπεύει την τάση, απομακρύνεται από τον κόμβο, η τάση είναι εφελκυστική, αλλιώς είναι θλιπτική (σχήμα 19).

### Διάγραμμα Ελευθέρου Σώματος



**Σχήμα 18**

Από το διάγραμμα Bow - Cremona βρίσκουμε ότι οι τάσεις των ράβδων είναι ίσες με :

$$S_1 = S_{14} = \alpha\lambda = \zeta\eta = -15,8tn \text{ (θλίψη)}$$

$$S_2 = S_{13} = \alpha\beta = \sigma\zeta = 12,6tn \text{ (εφελκυσμός)}$$

$$S_3 = S_{15} = \mu\alpha = \mu\zeta = 7tn \text{ (εφελκυσμός)}$$

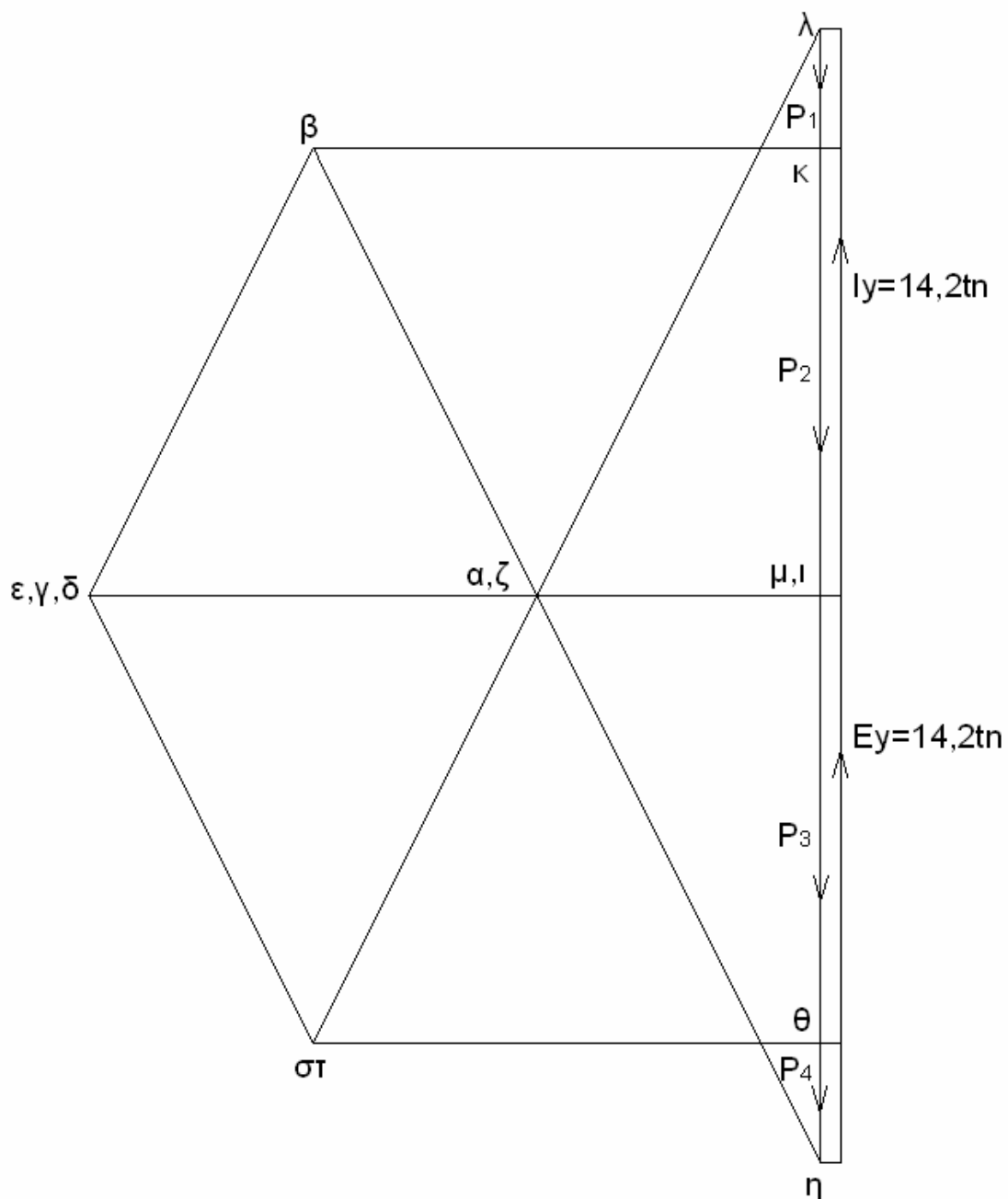
$$S_6 = S_{12} = \beta\kappa = \sigma\theta = -12,6tn \text{ (θλίψη)}$$

$$S_5 = S_{11} = \beta\gamma = \epsilon\sigma\tau = -12,6tn \text{ (θλίψη)}$$

$$S_4 = S_{10} = \mu\gamma = \mu\epsilon = 18,2tn \text{ (εφελκυσμός)}$$

$$S_8 = S_9 = \gamma\delta = \delta\epsilon = 0tn \text{ (αφόρτιστες)}$$

$$S_7 = \delta\iota = -18,2tn \text{ (θλίψη)}$$

Διάγραμμα Bow - Cremona

Κλίμακα 1cm : 1,5tn

Σχήμα 19

### 3.3 ΜΕΛΕΤΗ ΔΙΑΤΟΜΗΣ - ΑΝΤΟΧΗΣ ΡΑΒΔΩΝ ΔΙΚΤΥΩΜΑΤΟΣ

#### 3.2.1 ΑΝΩ ΡΑΒΔΟΙ

Θα χρησιμοποιήσουμε δοκούς ίδιας διατομής στο πάνω μέρος του δικτυώματος για λόγους ομοιομορφίας. Όλες οι δοκοί καταπονούνται με θλιπτικά φορτία και για τον λόγο αυτόν, θα εξετάσουμε την δυσμενέστερη περίπτωση (δηλαδή την δοκό ΒΓ με θλιπτική τάση  $S_7 = 18,2\text{tn}$ ). Γνωρίζουμε ότι όταν μια ράβδος καταπονείται θλιπτικά, πρέπει πρώτα να την εξετάσουμε σε λυγισμό. Θεωρούμε ότι θα χρησιμοποιήσουμε δοκό IPB140.

Η δοκός IPB140 έχει επιφάνεια διατομής  $F = 43\text{cm}^2$  και ελάχιστη ακτίνα αδρανείας  $i_{\min} = i_y = 3,58\text{cm}$  (βλ. πίνακα 1).

Το ελεύθερο μήκος λυγισμού είναι ίσο με  $S_k = \beta * l$ , όπου  $\beta$  ο συντελεστής διαφόρων στηρίξεων ράβδων. Στην περίπτωση μας  $\beta = 1$ , γιατί έχουμε αμφιαρθρωτή ράβδο. Άρα :

$$S_k = \beta * l = 1 * 4\text{m} \Leftrightarrow S_k = 400\text{cm}$$

Ο βαθμός λυγηρότητας ορίζεται ως ο λόγος  $\lambda$  του ελεύθερου μήκους λυγισμού προς την ελάχιστη ακτίνα αδρανείας. Άρα :

$$\lambda = \frac{S_k}{i_{\min}} = \frac{400\text{cm}}{3,58\text{cm}} \Leftrightarrow \lambda \approx 112$$

Από την μέθοδο "ω" βρίσκουμε ότι ο συντελεστής λυγισμού "ω" για  $\lambda = 112$ , είναι  $\omega = 2,16$  (βλ. πίνακα 10). Η υπολογίσιμη τάση της ράβδου ισούται με :

$$\sigma_{\text{υπ.}} = \frac{\omega * P}{F} = \frac{2,16 * 18,2\text{tn}}{43\text{cm}^2} \Leftrightarrow \sigma_{\text{υπ.}} = 0,91\text{tn/cm}^2 < \sigma_{\text{επ.}} = 1,4\text{tn/cm}^2$$

Η δοκός αντέχει, άρα θα αντέξουν και οι δοκοί ΑΒ, ΓΔ που καταπονούνται με μικρότερα φορτία ( $S_6 = S_{12} = 12,6\text{tn}$ ).

### 3.2.2 ΚΑΤΩ ΡΑΒΔΟΙ

Θα χρησιμοποιήσουμε και εδώ δοκούς ίδιας διατομής για τους λόγους που προαναφέραμε. Οι κάτω ράβδοι εφελκύνονται. Εμείς θα εξετάσουμε την δυσμενέστερη περίπτωση, δηλαδή την δοκό ΘΗ (= ΗΖ) που καταπονείται με εφελκυστικό φορτίο  $S_4 = 18,2\text{tn}$ .

Θα χρησιμοποιήσουμε δοκό IPB120 με επιφάνεια διατομής  $F = 34\text{cm}^2$  (βλ. πίνακα 1). Η υπολογίσιμη τάση ισούται με :

$$\sigma_{\text{υπ.}} = \frac{P}{F} = \frac{18,2\text{tn}}{34\text{cm}^2} \Leftrightarrow \sigma_{\text{υπ.}} = 0,54\text{tn/cm}^2 < \sigma_{\text{επ.}} = 1,6\text{tn/cm}^2$$

Η δοκός αντέχει, άρα θα αντέξουν και οι δοκοί ΙΘ, ΖΕ που καταπονούνται με φορτία μικρότερα ( $S_3 = S_{15} = 7\text{tn}$ ).

### 3.2.3 ΕΝΔΙΑΜΕΣΕΣ ΡΑΒΔΟΙ

#### ∅ ΔΟΚΟΙ ΙΑ, ΕΔ ( $S_1, S_{14}$ )

Πρόκειται για αμφιαρθρωτές δοκούς που καταπονούνται με θλιπτικό φορτίο  $S = 15,8\text{tn}$ . Όπως προείπαμε θα πρέπει να την εξετάσουμε σε λυγισμό.

Θα χρησιμοποιήσουμε δοκό IPB140 που έχει επιφάνεια διατομής  $F = 43\text{cm}^2$  και ελάχιστη ακτίνα αδρανείας  $i_{\min} = i_y = 3,58\text{cm}$  (βλ. πίνακα 1).

Το ελεύθερο μήκος λυγισμού είναι ίσο με  $S_k = \beta * l$ , όπου  $\beta = 1$ , λόγω αμφιαρθρωτής ράβδου και  $l$  το μήκος της ράβδου, που θα βρούμε με την βοήθεια του πυθαγόρειου θεωρήματος. Άρα το ελεύθερο μήκος λυγισμού ισούται με :

$$S_k = \beta * l = 1 * (\sqrt{(400\text{cm})^2 + (200\text{cm})^2}) \Leftrightarrow S_k = 447\text{cm}$$

Ο βαθμός λυγηρότητας ορίζεται ως ο λόγος  $\lambda = \frac{S_k}{i_{\min}} = \frac{447\text{cm}}{3,58\text{cm}} \Leftrightarrow \lambda \approx 125$

Ο συντελεστής λυγισμού "ω" για  $\lambda = 125$ , ισούται με  $\omega = 2,64$  (βλ. πίνακα 10).

$$\sigma_{\text{υπ.}} = \frac{\omega * P}{F} = \frac{2,64 * 15,8\text{tn}}{43\text{cm}^2} \Leftrightarrow \sigma_{\text{υπ.}} = 0,97\text{tn/cm}^2 < \sigma_{\text{επ.}} = 1,4\text{tn/cm}^2$$

### ∅ ΔΟΚΟΙ ΒΘ, ΓΖ (S<sub>5</sub>, S<sub>11</sub>)

Πρόκειται για αμφιαρθρωτές δοκούς που καταπονούνται με θλιπτικό φορτίο  $S = 12,6\text{tn}$  και θα την εξετάσουμε όπως στην προηγούμενη περίπτωση.

Θα χρησιμοποιήσουμε δοκό IPB120 με επιφάνεια διατομής  $F = 34\text{cm}^2$  και ελάχιστη ακτίνα αδρανείας  $i_{\min} = i_y = 3,06\text{cm}$  (βλ. πίνακα 1).

$$S_k = \beta * I = 1 * (\sqrt{(400\text{cm})^2 + (200\text{cm})^2}) \Leftrightarrow S_k = 447\text{cm}$$

$$\lambda = \frac{S_k}{i_{\min}} = \frac{447\text{cm}}{3,06\text{cm}} \Leftrightarrow \lambda \approx 147$$

Από τον πίνακα 10 βρίσκουμε ότι ο συντελεστής λυγισμού "ω" για  $\lambda = 147$ , ισούται με  $\omega = 3,65$ .

$$\sigma_{\text{υπ.}} = \frac{\omega * P}{F} = \frac{3,65 * 12,6\text{tn}}{34\text{cm}^2} \Leftrightarrow \sigma_{\text{υπ.}} = 1,35\text{tn/cm}^2 < \sigma_{\text{επ.}} = 1,4\text{tn/cm}^2$$

### ∅ ΔΟΚΟΙ ΑΘ, ΒΗ, ΗΓ, ΔΖ (S<sub>2</sub>, S<sub>8</sub>, S<sub>9</sub>, S<sub>13</sub>)

Οι δοκοί ΑΘ, ΔΖ καταπονούνται με εφελκυστικό φορτίο  $S = 12,6\text{tn}$ , ενώ οι δοκοί ΒΗ, ΗΓ είναι αφόρτιστες. Για λόγους ομοιομορφίας με τα υπόλοιπα ενδιάμεσα δοκάρια θα χρησιμοποιήσουμε δοκούς IPB120. Άρα :



$$\sigma_{\text{υπ.}} = \frac{P}{F} = \frac{12,6\text{tn}}{34\text{cm}^2} \Leftrightarrow \sigma_{\text{υπ.}} = 0,37\text{tn/cm}^2 < \sigma_{\text{επ.}} = 1,6\text{tn/cm}^2$$

### 3.4 ΜΕΛΕΤΗ ΑΝΤΟΧΗΣ ΚΟΧΛΙΩΝ

Σε όλους τους κόμβους θα χρησιμοποιήσουμε κομβοελάσματα πάχους  $t_{\text{κομβ.}} = 20\text{mm}$  και εφαρμοσμένους κοχλίες M16, ποιότητας 4D, με διάμετρο οπής  $d_{\text{οπ.}} = 16\text{mm}$ .

#### 3.4.1 ΚΟΜΒΟΣ Α

- Ράβδος 1 (IPB140)

Οι κοχλίες της ράβδου 1 καταπονούνται από αξονική δύναμη. Από τον πίνακα 1 βρίσκουμε ότι το πάχος του πέλματος της δοκού είναι  $t_{\text{δοκ}} = 12\text{mm}$  και η μέγιστη επιτρεπόμενη διάμετρος οπής είναι  $d_{\text{οπ.}} = 21\text{mm}$ .

Για εφαρμοσμένους κοχλίες M16 ποιότητας 4D, η μέγιστη αναλαμβανόμενη δύναμη από κάθε κοχλία σε διάτμηση είναι  $N'_T = 4,85\text{tn}$ . Ενώ η μέγιστη αναλαμβανόμενη δύναμη του κάθε κοχλία σε σύνθλιψη άντυγας οπών, για  $t_{\text{min}} = 12\text{mm}$  ( $t_{\text{κομβ.}} = 20\text{mm}$ ,  $t_{\text{δοκ}} = 12\text{mm} \Rightarrow t_{\text{min}} = 12\text{mm}$ ), είναι  $N'_L = 7,06\text{tn}$  (βλ. πίνακα 8).

Ο απαιτούμενος αριθμός κοχλιών που θα χρειαστούμε είναι :

$$n = \frac{P}{N'_T} = \frac{S_1}{N'_T} = \frac{15,8\text{tn}}{3,18\text{tn}} = 4,9 \Leftrightarrow n = 8 \text{ κοχλίες}$$

Οι αποστάσεις των κοχλιών σύμφωνα με τους κανονισμούς θα πρέπει να είναι :

$$e_0 = 3,5 \cdot d \text{ έως } 8 \cdot d \text{ ή } 15 \cdot t = 59,5\text{mm} \text{ έως } 136\text{mm} \text{ ή } 165\text{mm} \Leftrightarrow e_0 = 70\text{mm}$$

$$e_1 = 2 \cdot d \text{ έως } 3 \cdot d \text{ ή } 6 \cdot t = 34\text{mm} \text{ έως } 51\text{mm} \text{ ή } 66\text{mm} \Leftrightarrow e_1 = 40\text{mm}$$

$$e_2 = 1,5 \cdot d \text{ έως } 3 \cdot d \text{ ή } 6 \cdot t = 25,5\text{mm} \text{ έως } 51\text{mm} \text{ ή } 66\text{mm} \Leftrightarrow e_2 = 30\text{mm}$$

Από τα παραπάνω επιλέγουμε  $e_0 = 70\text{mm}$ ,  $e_1 = 40\text{mm}$  και  $e_2 = w_1 = 75\text{mm}$  (βλ. πίνακα 1).

- Ράβδος 2 (IPB120)

Οι κοχλίες της ράβδου 2 καταπονούνται και αυτοί από αξονική δύναμη. Από τον πίνακα 1 βρίσκουμε ότι το πάχος του πέλματος της δοκού είναι  $t_{\text{δοκ}} = 11 \text{ mm}$  και η μέγιστη επιτρεπόμενη διάμετρος οπής είναι  $d_{\text{οπ.}} = 17 \text{ mm}$ .

$$t_{\text{κομβ.}} > t_{\text{δοκ}} \Rightarrow t_{\text{min.}} = t_{\text{δοκ}} = 11 \text{ mm}$$

Χρησιμοποιούμε εφαρμοσμένους κοχλίες M16, ποιότητας 4D, με  $N'_T = 3,18 \text{ tn}$  και  $N_t = 5,24 \text{ tn}$  ( για  $t_{\text{min}} = 11 \text{ mm}$ ).

$$n = \frac{P}{N'_T} = \frac{S_2}{N'_T} = \frac{12,6 \text{ tn}}{3,18 \text{ tn}} = 3,9 \Leftrightarrow n = 4 \text{ κοχλίες}$$

Για κατασκευαστικούς λόγους θα τοποθετήσουμε 8 κοχλίες, διότι δεν μπορούμε να τοποθετήσουμε λιγότερους από 4 κοχλίες στην κάθε σύνδεση με το κομβόελασμα.

$$e_0 = 3,5 \cdot d \text{ έως } 8 \cdot d \text{ ή } 15 \cdot t = 59,5 \text{ mm έως } 136 \text{ mm ή } 165 \text{ mm} \Leftrightarrow e_0 = 70 \text{ mm}$$

$$e_1 = 2 \cdot d \text{ έως } 3 \cdot d \text{ ή } 6 \cdot t = 34 \text{ mm έως } 51 \text{ mm ή } 66 \text{ mm} \Leftrightarrow e_1 = 40 \text{ mm}$$

$$e_2 = 1,5 \cdot d \text{ έως } 3 \cdot d \text{ ή } 6 \cdot t = 25,5 \text{ mm έως } 51 \text{ mm ή } 66 \text{ mm} \Leftrightarrow e_2 = 30 \text{ mm}$$

Από τα παραπάνω επιλέγουμε  $e_0 = 70 \text{ mm}$ ,  $e_1 = 40 \text{ mm}$  και  $e_2 = w_1 = 65 \text{ mm}$  (βλ. πίνακα 1).

- Ράβδος 6 (IPB140)

Οι κοχλίες της ράβδου 6 καταπονούνται από αξονική ( $S_6$ ) και τέμνουσα ( $P_1 = 3 \text{ tn}$ ) δύναμη.

Ο απαραίτητος αριθμός κοχλιών σε τέτοιες φορτίσεις βρίσκεται από τον παρακάτω τύπο :

$$N_R = \sqrt{N_1^2 + N_2^2} \leq N'_T \quad (1), \text{ όπου}$$

$$N_1 = \frac{S_i}{n} \quad (2) \quad \text{και} \quad N_2 = \frac{Q_i}{n} \quad (3)$$

$$(1) \xrightarrow{(2),(3)} \sqrt{\frac{S_i^2}{n^2} + \frac{Q_i^2}{n^2}} = \frac{\sqrt{S_i^2 + Q_i^2}}{n} \leq N'_T \Leftrightarrow n \geq \frac{\sqrt{S_i^2 + Q_i^2}}{N'_T}$$

Χρησιμοποιούμε εφαρμοσμένους κοχλίες M16, ποιότητας 4D, με  $N'_T = 4,85tn$  και  $N_\ell = 7,06tn$  ( για  $t_{min.} = t_{δοκ} = 12mm$ ).

$$n = \frac{\sqrt{S_i^2 + Q_i^2}}{N'_T} = \frac{\sqrt{S_6^2 + P_1^2}}{N'_T} = \frac{\sqrt{(12,6tn)^2 + (3tn)^2}}{3,18tn} = 4,1 \Leftrightarrow n = 8 \text{ κοχλίες}$$

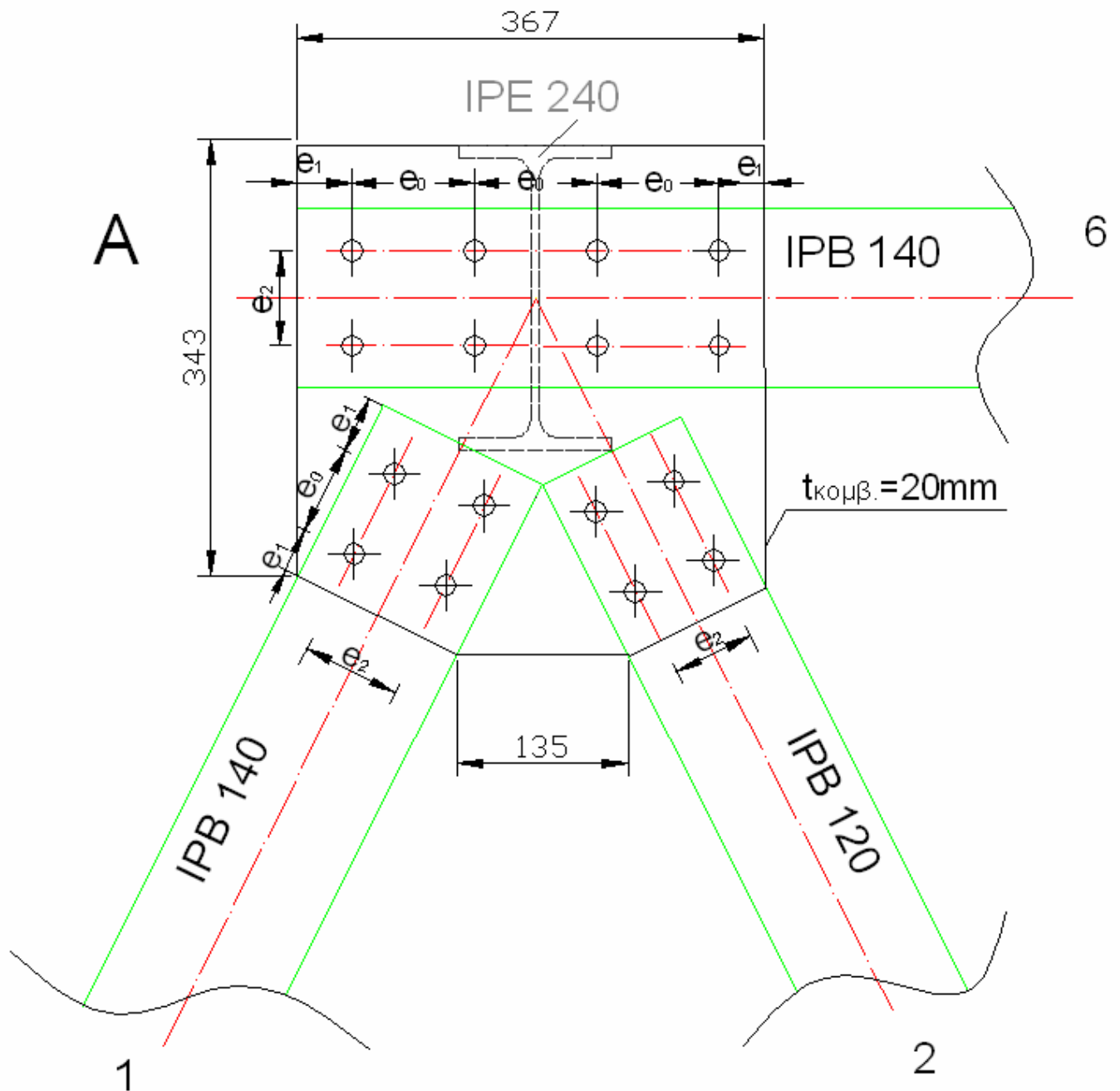
Για κατασκευαστικούς λόγους θα χρησιμοποιήσουμε 16 κοχλίες. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 20, μόνο αν τοποθετήσουμε αυτό το πλήθος κοχλιών θα μπορέσει το κομβόελασμα να συνδεθεί και με τις τρεις δοκούς.

$$e_0 = 3,5 \cdot d \text{ έως } 8 \cdot d \text{ ή } 15 \cdot t = 59,5mm \text{ έως } 136mm \text{ ή } 165mm \Leftrightarrow e_0 = 70mm$$

$$e_1 = 2 \cdot d \text{ έως } 3 \cdot d \text{ ή } 6 \cdot t = 34mm \text{ έως } 51mm \text{ ή } 66mm \Leftrightarrow e_1 = 40mm$$

$$e_2 = 1,5 \cdot d \text{ έως } 3 \cdot d \text{ ή } 6 \cdot t = 25,5mm \text{ έως } 51mm \text{ ή } 66mm \Leftrightarrow e_2 = 30mm$$

Από τα παραπάνω επιλέγουμε  $e_0 = 95mm$ ,  $e_1 = 40mm$  και  $e_2 = w_1 = 75mm$  (βλ. πίνακα 1).



**Σχήμα 20**

### 3.4.2 ΚΟΜΒΟΣ Β

- Ράβδος 6 (IPB140)

Οι κοχλίες της ράβδου 6 καταπονούνται από αξονική ( $S_6$ ) και τέμνουσα δύναμη

$$Q_i \text{ ίση με } Q_i = \frac{P_2}{2} = \frac{11,2\text{tn}}{2} \Leftrightarrow Q_i = 5,6\text{tn}.$$

Χρησιμοποιούμε εφαρμοσμένους κοχλίες M16, και από πίνακα 8 βρίσκουμε ότι  $N'_T = 85\text{tn}$  και  $N_t = 7,06\text{tn}$  ( για  $t_{\min.} = t_{\delta\text{OK}} = 12\text{mm}$ ).

$$n = \frac{\sqrt{S_i^2 + Q_i^2}}{N'_T} = \frac{\sqrt{S_6^2 + Q_i^2}}{N'_T} = \frac{\sqrt{(12,6\text{tn})^2 + (5,6\text{tn})^2}}{3,18\text{tn}} = 4,3 \Leftrightarrow n = 8 \text{ κοχλίες}$$

$$e_0 = 3,5 \cdot d \text{ έως } 8 \cdot d \text{ ή } 15 \cdot t = 59,5\text{mm} \text{ έως } 136\text{mm} \text{ ή } 165\text{mm} \Leftrightarrow e_0 = 70\text{mm}$$

$$e_1 = 2 \cdot d \text{ έως } 3 \cdot d \text{ ή } 6 \cdot t = 34\text{mm} \text{ έως } 51\text{mm} \text{ ή } 66\text{mm} \Leftrightarrow e_1 = 40\text{mm}$$

$$e_2 = 1,5 \cdot d \text{ έως } 3 \cdot d \text{ ή } 6 \cdot t = 25,5\text{mm} \text{ έως } 51\text{mm} \text{ ή } 66\text{mm} \Leftrightarrow e_2 = 30\text{mm}$$

Από τα παραπάνω επιλέγουμε  $e_0 = 95\text{mm}$ ,  $e_1 = 40\text{mm}$  και  $e_2 = w_1 = 75\text{mm}$  (βλ. πίνακα 1).

- Ράβδος 7 (IPB140)

Οι κοχλίες της ράβδου 7 καταπονούνται και αυτοί από αξονική ( $S_7$ ) και τέμνουσα

$$\text{δύναμη } Q_i \text{ ίση με } Q_i = \frac{P_2}{2} = \frac{11,2\text{tn}}{2} \Leftrightarrow Q_i = 5,6\text{tn}.$$

Θα υπολογίσουμε τον αριθμό των κοχλιών ακριβώς όπως στην προηγούμενη περίπτωση, άρα έχουμε :

$$n = \frac{\sqrt{S_i^2 + Q_i^2}}{N'_T} = \frac{\sqrt{S_7^2 + Q_i^2}}{N'_T} = \frac{\sqrt{(18,2\text{tn})^2 + (5,6\text{tn})^2}}{3,18\text{tn}} = 5,9 \Leftrightarrow n = 8 \text{ κοχλίες}$$

$$e_0 = 3,5 \cdot d \text{ έως } 8 \cdot d \text{ ή } 15 \cdot t = 59,5\text{mm} \text{ έως } 136\text{mm} \text{ ή } 165\text{mm} \Leftrightarrow e_0 = 70\text{mm}$$

$$e_1 = 2 \cdot d \text{ έως } 3 \cdot d \text{ ή } 6 \cdot t = 34\text{mm} \text{ έως } 51\text{mm} \text{ ή } 66\text{mm} \Leftrightarrow e_1 = 40\text{mm}$$

$$e_2 = 1,5 \cdot d \text{ έως } 3 \cdot d \text{ ή } 6 \cdot t = 25,5\text{mm} \text{ έως } 51\text{mm} \text{ ή } 66\text{mm} \Leftrightarrow e_2 = 30\text{mm}$$

Από τα παραπάνω επιλέγουμε  $e_0 = 95\text{mm}$ ,  $e_1 = 40\text{mm}$  και  $e_2 = w_1 = 75\text{mm}$  (βλ. πίνακα 1).

- Ράβδος 5 (IPB120)

Οι κοχλίες της ράβδου 5 καταπονούνται από αξονική δύναμη. Χρησιμοποιούμε εφαρμοσμένους κοχλίες M16, ποιότητας 4D, και από πίνακα 8 βρίσκουμε ότι  $N'_T = 3,18\text{tn}$  και  $N_\ell = 5,24\text{tn}$  (για  $t_{\min.} = t_{\text{δοκ}} = 11\text{mm}$ ).

$$n = \frac{P}{N'_T} = \frac{S_5}{N'_T} = \frac{12,6\text{tn}}{3,18\text{tn}} = 3,9 \Leftrightarrow n = 4 \text{ κοχλίες}$$

Θα τοποθετήσουμε 8 κοχλίες για τους λόγους που προαναφέραμε στην περίπτωση της ράβδου 2.

$$e_0 = 3,5 \cdot d \text{ έως } 8 \cdot d \text{ ή } 15 \cdot t = 59,5\text{mm} \text{ έως } 136\text{mm} \text{ ή } 165\text{mm} \Leftrightarrow e_0 = 70\text{mm}$$

$$e_1 = 2 \cdot d \text{ έως } 3 \cdot d \text{ ή } 6 \cdot t = 34\text{mm} \text{ έως } 51\text{mm} \text{ ή } 66\text{mm} \Leftrightarrow e_1 = 40\text{mm}$$

$$e_2 = 1,5 \cdot d \text{ έως } 3 \cdot d \text{ ή } 6 \cdot t = 25,5\text{mm} \text{ έως } 51\text{mm} \text{ ή } 66\text{mm} \Leftrightarrow e_2 = 30\text{mm}$$

Από τα παραπάνω επιλέγουμε  $e_0 = 70\text{mm}$ ,  $e_1 = 40\text{mm}$  και  $e_2 = w_1 = 65\text{mm}$  (βλ. πίνακα 1).

- Ράβδος 8 (IPB120)

Η ράβδος 8 καταπονείται από μηδενικό φορτίο. Αφού είναι λοιπόν αφόρτιστη, θα χρησιμοποιήσουμε τον ελάχιστο δυνατό αριθμό κοχλιών που μπορούμε, δηλαδή :

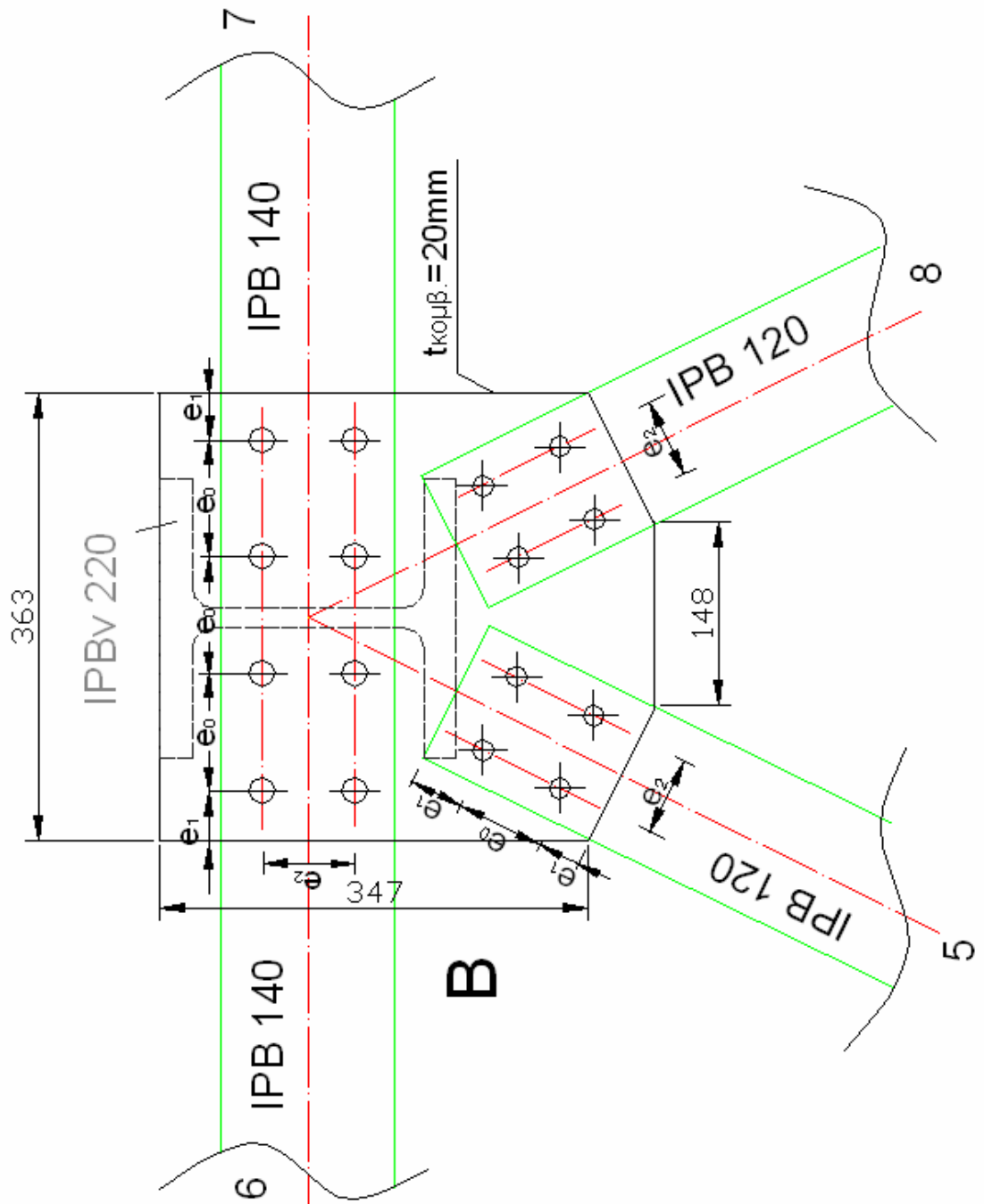
$$n = 4 \text{ κοχλίες}$$

$$e_0 = 3,5 \cdot d \text{ έως } 8 \cdot d \text{ ή } 15 \cdot t = 59,5\text{mm} \text{ έως } 136\text{mm} \text{ ή } 165\text{mm} \Leftrightarrow e_0 = 70\text{mm}$$

$$e_1 = 2 \cdot d \text{ έως } 3 \cdot d \text{ ή } 6 \cdot t = 34\text{mm} \text{ έως } 51\text{mm} \text{ ή } 66\text{mm} \Leftrightarrow e_1 = 40\text{mm}$$

$$e_2 = 1,5 \cdot d \text{ έως } 3 \cdot d \text{ ή } 6 \cdot t = 25,5\text{mm} \text{ έως } 51\text{mm} \text{ ή } 66\text{mm} \Leftrightarrow e_2 = 30\text{mm}$$

Από τα παραπάνω επιλέγουμε  $e_0 = 70\text{mm}$ ,  $e_1 = 40\text{mm}$  και  $e_2 = w_1 = 65\text{mm}$  (βλ. πίνακα 1).



**Σχήμα 21**

### 3.4.3 ΚΟΜΒΟΣ Ι

- Ράβδος 1 (IPB140)

Την ράβδο αυτήν την εξετάσαμε στον κόμβο Α και βρήκαμε ότι θα χρειαστεί να τοποθετήσουμε 8 κοχλίες με αποστάσεις  $e_0 = 70\text{mm}$ ,  $e_1 = 40\text{mm}$  και  $e_2 = w_1 = 75\text{mm}$ .

- Ράβδος 3 (IPB120)

Οι κοχλίες της ράβδου 3 καταπονούνται από αξονική ( $S_3$ ) και τέμνουσα δύναμη ( $I_y$ ). Χρησιμοποιούμε εφαρμοσμένους κοχλίες M16 και από πίνακα 8 βρίσκουμε ότι  $N'_T = 3,18\text{tn}$  και  $N'_\ell = 5,24\text{tn}$  ( για  $t_{\min.} = t_{\text{δοκ}} = 11\text{mm}$ ).

$$n = \frac{\sqrt{S_i^2 + Q_i^2}}{N'_T} = \frac{\sqrt{S_3^2 + I_y^2}}{N'_T} = \frac{\sqrt{(7\text{tn})^2 + (14,2\text{tn})^2}}{3,18\text{tn}} = 4,9 \Leftrightarrow n = 8 \text{ κοχλίες}$$

$$e_0 = 3,5 \cdot d \text{ έως } 8 \cdot d \text{ ή } 15 \cdot t = 59,5\text{mm} \text{ έως } 136\text{mm} \text{ ή } 165\text{mm} \Leftrightarrow e_0 = 120\text{mm}$$

$$e_1 = 2 \cdot d \text{ έως } 3 \cdot d \text{ ή } 6 \cdot t = 34\text{mm} \text{ έως } 51\text{mm} \text{ ή } 66\text{mm} \Leftrightarrow e_1 = 40\text{mm}$$

$$e_2 = 1,5 \cdot d \text{ έως } 3 \cdot d \text{ ή } 6 \cdot t = 25,5\text{mm} \text{ έως } 51\text{mm} \text{ ή } 66\text{mm} \Leftrightarrow e_2 = 30\text{mm}$$

Από τα παραπάνω επιλέγουμε  $e_0 = 120\text{mm}$ ,  $e_1 = 40\text{mm}$  και  $e_2 = w_1 = 65\text{mm}$  (βλ. πίνακα 1).





### 3.4.4 ΚΟΜΒΟΣ Θ

- Ράβδος 2 (IPB120)

Την ράβδο αυτήν την έχουμε εξετάσει στον κόμβο Α και βρήκαμε ότι θα πρέπει να τοποθετήσουμε 8 κοχλίες με αποστάσεις  $e_0 = 70\text{mm}$ ,  $e_1 = 40\text{mm}$  και  $e_2 = w_1 = 65\text{mm}$ .

- Ράβδος 5 (IPB120)

Την ράβδο αυτήν την έχουμε εξετάσει στον κόμβο Β και βρήκαμε ότι θα πρέπει να τοποθετήσουμε 8 κοχλίες με αποστάσεις  $e_0 = 70\text{mm}$ ,  $e_1 = 40\text{mm}$  και  $e_2 = w_1 = 65\text{mm}$ .

- Ράβδος 3 (IPB120)

Θα τοποθετήσουμε 8 κοχλίες (την συγκεκριμένη ράβδο αυτήν την έχουμε εξετάσει στον κόμβο Ι) με αποστάσεις  $e_0 = 120\text{mm}$ ,  $e_1 = 40\text{mm}$  και  $e_2 = w_1 = 65\text{mm}$ .

- Ράβδος 4 (IPB120)

Οι κοχλίες της ράβδου 4 καταπονούνται από αξονική δύναμη. Από πίνακα 1 βρίσκουμε ότι  $t_{\text{δοκ}} = 11\text{mm}$  και  $d_{\text{οπ.}} = 17\text{mm}$ .

$$t_{\text{min.}} = t_{\text{δοκ}} = 11\text{mm}$$

Χρησιμοποιούμε εφαρμοσμένους κοχλίες M16, ποιότητας 4D, και από πίνακα 8 βρίσκουμε ότι  $N'_T = 3,18\text{tn}$  και  $N_t = 5,24\text{tn}$  (για  $t = 11\text{mm}$ ).

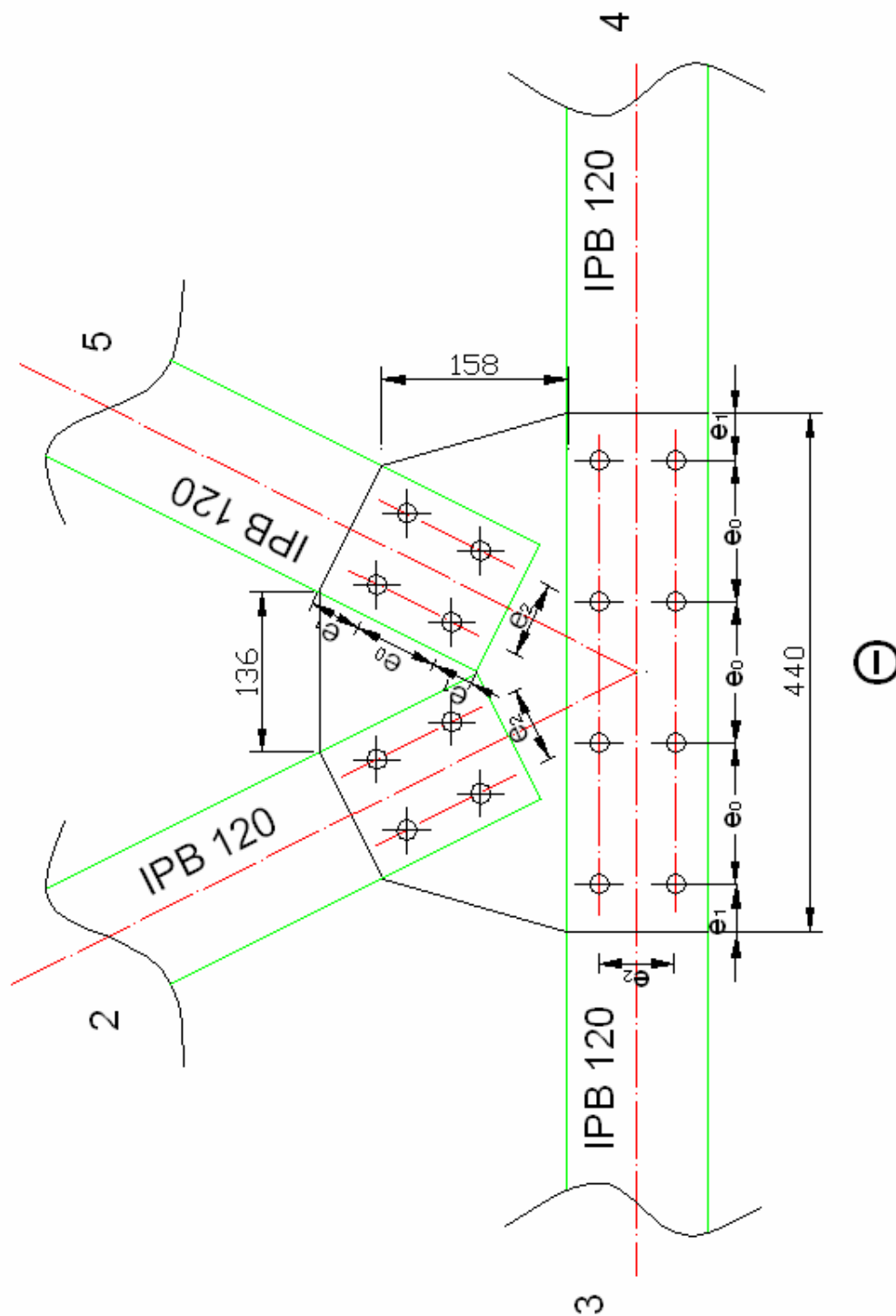
$$n = \frac{P}{N'_T} = \frac{S_4}{N'_T} = \frac{18,2\text{tn}}{3,18\text{tn}} = 5,7 \Leftrightarrow n = 8 \text{ κοχλίες}$$

$$e_0 = 3,5 \cdot d \text{ έως } 8 \cdot d \text{ ή } 15 \cdot t = 59,5\text{mm} \text{ έως } 136\text{mm} \text{ ή } 165\text{mm} \Leftrightarrow e_0 = 120\text{mm}$$

$$e_1 = 2 \cdot d \text{ έως } 3 \cdot d \text{ ή } 6 \cdot t = 34\text{mm} \text{ έως } 51\text{mm} \text{ ή } 66\text{mm} \Leftrightarrow e_1 = 40\text{mm}$$

$$e_2 = 1,5 \cdot d \text{ έως } 3 \cdot d \text{ ή } 6 \cdot t = 25,5\text{mm} \text{ έως } 51\text{mm} \text{ ή } 66\text{mm} \Leftrightarrow e_2 = 30\text{mm}$$

Από τα παραπάνω επιλέγουμε  $e_0 = 120\text{mm}$ ,  $e_1 = 40\text{mm}$  και  $e_2 = w_1 = 65\text{mm}$  (βλ. πίνακα 1).



**Σχήμα 23**

### 3.3.5 ΚΟΜΒΟΣ Η

- Ράβδος 8 - 9 (IPB120)

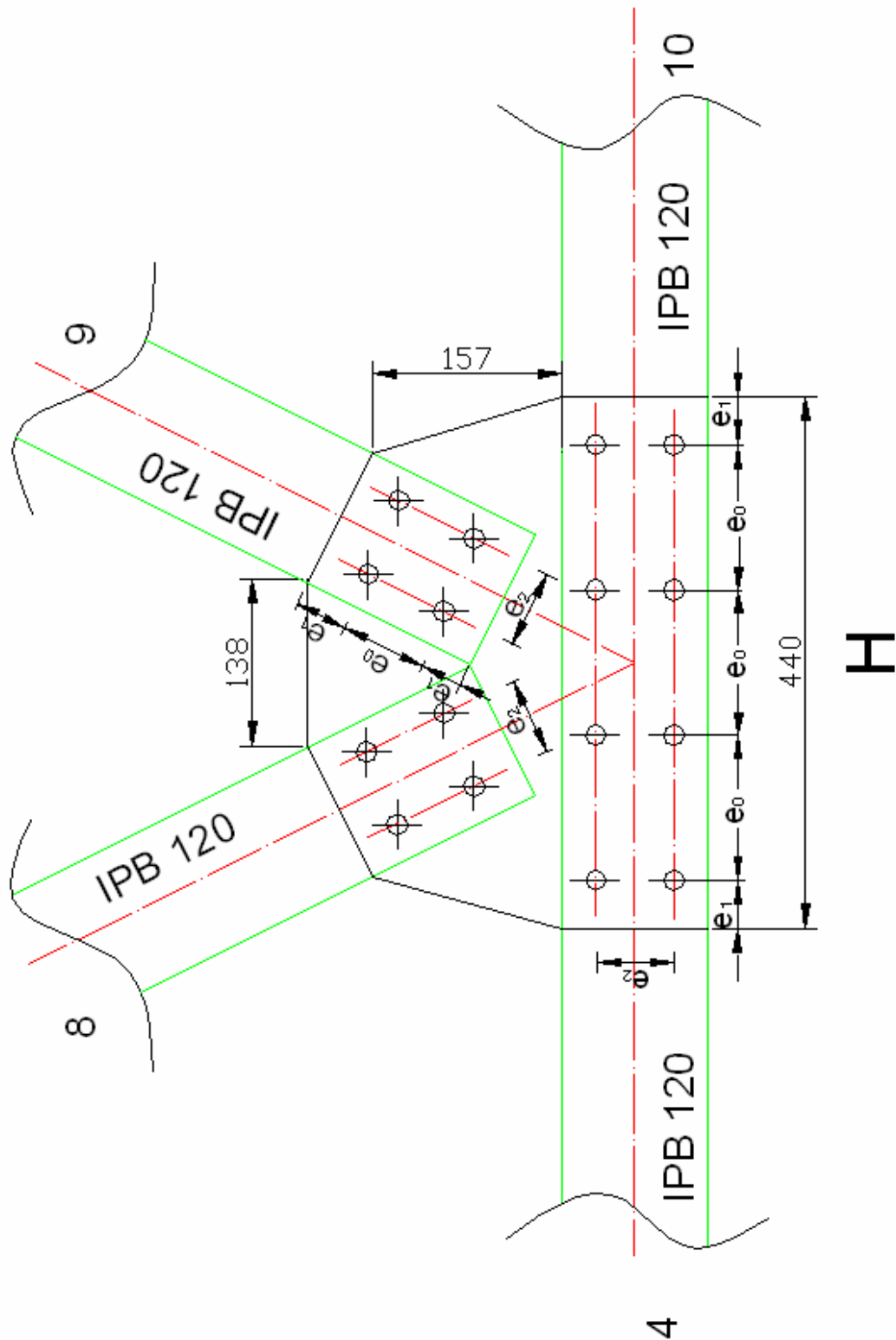
Οι ράβδοι 8 και 9 καταπονούνται από μηδενικό φορτίο. Αφού είναι λοιπόν αφόρτιστες, θα χρησιμοποιήσουμε τον ελάχιστο δυνατό αριθμό κοχλιών που μπορούμε, δηλαδή :

$n = 4$  κοχλίες

και με αποστάσεις  $e_0 = 120\text{mm}$ ,  $e_1 = 40\text{mm}$  και  $e_2 = w_1 = 65\text{mm}$  (βλ. πίνακα 1).

- Ράβδος 4 - 10 (IPB120)

Θα τοποθετήσουμε 8 κοχλίες στην κάθε μία ράβδο γιατί οι ράβδοι 4 και 10 καταπονούνται από ίσες αξονικές δυνάμεις και έχουμε ήδη βρει πόσοι κοχλίες είναι απαραίτητοι για την ράβδο 4 (στον κόμβο Θ). Οι αποστάσεις τους θα είναι  $e_0 = 120\text{mm}$ ,  $e_1 = 40\text{mm}$  και  $e_2 = w_1 = 65\text{mm}$ .



**Σχήμα 24**

### 3.5 ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ ΔΟΚΩΝ ΣΥΖΕΥΞΗΣ ΖΕΥΚΤΩΝ

Οι δοκοί σύζευξης συγκολλούνται πάνω σε μεταλλικό έλασμα, προκειμένου το έλασμα αυτό να κοχλιωθεί με το κομβοέλασμα. Θεωρούμε ότι με την συγκόλληση αυτή, οι δοκοί είναι πλήρως πακτωμένες. Στην κόλληση ασκούνται τέμνουσες δυνάμεις και καμπτικές ροπές.

#### 3.5.1 ΡΟΠΕΣ ΠΟΥ ΚΑΤΑΠΟΝΟΥΝ ΤΙΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΙΣ

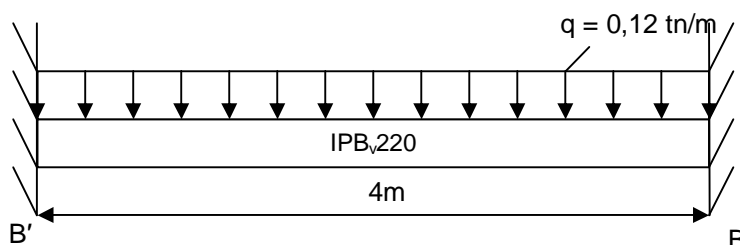
Οι δοκοί είναι στατικά αόριστες γιατί είναι πακτωμένες και κατά τα δύο τους άκρα. Για να υπολογίσουμε λοιπόν την μέγιστη ροπή, θα πρέπει να ξεχωρίσουμε τους διαφορετικούς τρόπους φόρτισης των δοκών, να βρούμε τις αντίστοιχες ροπές και στο τέλος να τις αθροίσουμε.

##### A) ΔΟΚΟΙ ΒΒ' , ΓΓ'

Οι δοκοί αυτές καταπονούνται από τρεις διαφορετικές φορτίσεις. Οι τύποι με τους οποίους γίνονται οι υπολογισμοί είναι σύμφωνα με τους Γερμανικούς Κανονισμούς (βλ. πίνακα 15).

##### α) από το ίδιο βάρος της δοκού

Το ίδιο βάρος της δοκού, εφαρμόζεται ως ομοιόμορφα κατανεμημένο φορτίο, και ισούται με  $q = 0,12 \text{ tn/m}$ .

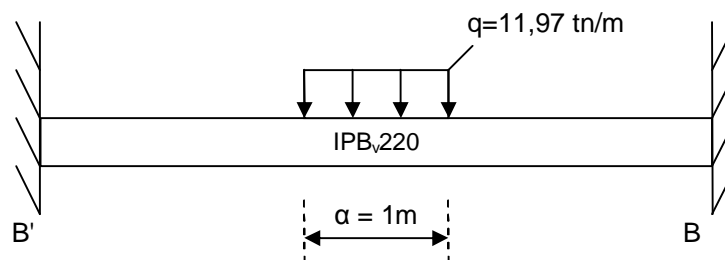


$$B' = B = \frac{q \cdot l}{2} = \frac{0,12 \text{ tn/m} \cdot 4 \text{ m}}{2} \Leftrightarrow B' = B = 0,24 \text{ tn}$$

$$M_{B'} = M_B = -\frac{q \cdot l^2}{12} = -\frac{0,12 \text{tn/m} \cdot (4\text{m})^2}{12} \Leftrightarrow M_{B'} = M_B = -0,16 \text{tn} \cdot \text{m}$$

### β) από το βάρος της δεξαμενής

Το βάρος της δεξαμενής εφαρμόζεται ως ομοιόμορφα κατανεμημένο φορτίο ορισμένου μήκους.



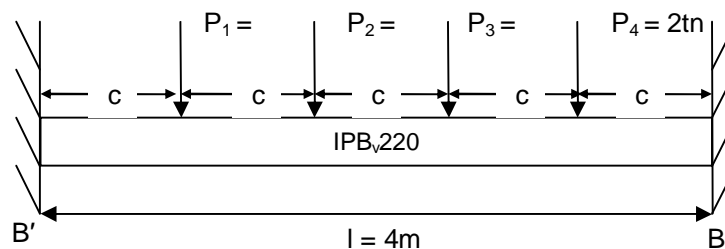
$$B' = B = \frac{q \cdot \alpha}{2} = \frac{11,97 \text{tn/m} \cdot 1\text{m}}{2} \Leftrightarrow B' = B = 5,99 \text{tn}$$

$$M_{B'} = M_B = -\frac{q \cdot \alpha}{24 \cdot l} (3l^2 - \alpha^2) = -\frac{11,97 \text{tn/m} \cdot 1\text{m}}{24 \cdot 4\text{m}} [3(4\text{m})^2 - (1\text{m})^2] \Leftrightarrow$$

$$M_{B'} = M_B = -5,86 \text{tn} \cdot \text{m}$$

### γ) από τις αντιδράσεις των δοκών IPB100

Οι αντιδράσεις των δοκών εφαρμόζονται στην δοκό ως συγκεντρωμένα φορτία.



$$B' = B = \frac{n \cdot P}{2} = \frac{4 \cdot 2\text{tn}}{2} \Leftrightarrow B' = B = 4\text{tn}$$

$$M_{B'} = M_B = -\frac{P \cdot l}{15} \left( c - \frac{1}{c} \right) = -\frac{2tn \cdot 4m}{12} \left( 5 - \frac{1}{5} \right) \Leftrightarrow M_{B'} = M_B = -3,2tn \cdot m$$

Η τέμνουσα δύναμη και η καμπτική ροπή που καταπονεί την συγκόλληση, ισοδυναμεί με το άθροισμα των επιμέρους τιμών που βρήκαμε παραπάνω. Έτσι έχουμε :

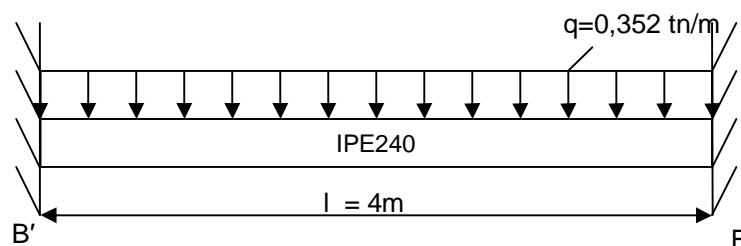
$$Q_1 = 0,24tn + 5,99tn + 4tn \Leftrightarrow Q_1 = 10,23$$

$$M_1 = -0,16tn \cdot m - 5,86tn \cdot m - 3,2tn \cdot m \Leftrightarrow M_1 = -9,22tn \cdot m$$

### B) ΔΟΚΟΙ ΑΑ' , ΔΔ'

Τις δοκούς αυτές θα τις εξετάσουμε με τον ίδιο τρόπο. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, η μόνη διαφορά είναι ότι αυτές οι δοκοί καταπονούνται από δύο φορτίσεις.

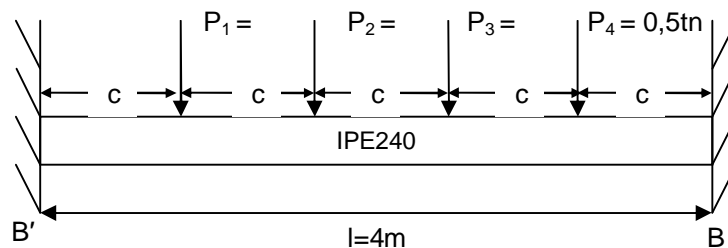
α) Από το ίδιο βάρος της δοκού



$$A' = A = \frac{q \cdot l}{2} = \frac{0,352tn/m \cdot 4m}{2} \Leftrightarrow A' = A = 0,704tn$$

$$M_{A'} = M_A = -\frac{q \cdot l^2}{12} = -\frac{0,352tn/m \cdot (4m)^2}{12} \Leftrightarrow M_{A'} = M_A = -0,47tn \cdot m$$



β) από τις αντιδράσεις των δοκών IPB100

$$A' = A = \frac{n * P}{2} = \frac{4 * 0,5tn}{2} \Leftrightarrow B' = B = 1tn$$

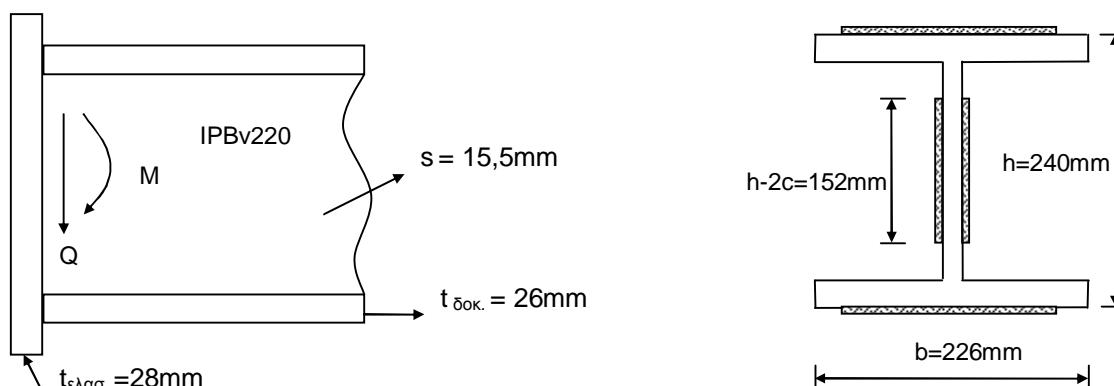
$$M_{A'} = M_A = -\frac{P * l}{15} \left( c - \frac{1}{c} \right) = -\frac{0,5tn * 4m}{12} \left( 5 - \frac{1}{5} \right) \Leftrightarrow M_{A'} = M_A = -0,8tn \cdot m$$

Η τέμνουσα δύναμη και η καμπτική ροπή που καταπονεί την συγκόλληση, ισοδυναμεί με το άθροισμα των επιμέρους τιμών που βρήκαμε παραπάνω. Έτσι έχουμε :

$$Q_2 = 0,704tn + 1tn \Leftrightarrow Q_2 = 1,704$$

$$M_2 = -0,47tn \cdot m - 0,8tn \cdot m \Leftrightarrow M_2 = -1,27tn \cdot m$$

### 3.5.2 ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ ΔΟΚΩΝ ΒΒ' & ΓΓ'



**Σχήμα 25**

Η δοκός καταπονείται με τέμνουσα δύναμη  $Q = Q_1 = 10,23\text{tn}$  και καμπτική ροπή  $M = M_1 = 9,16\text{tn}\cdot\text{m}$

#### 1) Πραγματικά μήκη ραφών

- Για τα πέλματα :  $l_1 = 220\text{mm}$
- Για τον κορμό :  $l_2 = 150\text{mm}$

#### 2) Πάχος ραφών

- Για τα πέλματα :  $3 \leq \alpha_1 \leq 0,7 \cdot t_{\min} = 3 \leq \alpha_1 \leq 0,7 \cdot 26\text{mm} \Leftrightarrow 3 \leq \alpha_1 \leq 18,2\text{mm}$
- Για τον κορμό :  $3 \leq \alpha_2 \leq 0,7 \cdot t_{\min} = 3 \leq \alpha_2 \leq 0,7 \cdot 15,5\text{mm} \Leftrightarrow 3 \leq \alpha_2 \leq 10,85\text{mm}$

$$\alpha_1, \alpha_2 \geq \sqrt{t_{\max}} - 0,5 \Leftrightarrow \alpha_1, \alpha_2 \geq \sqrt{t_{\text{ελασ.}}} - 0,5 \Leftrightarrow \alpha_1, \alpha_2 \geq 4,97\text{mm}$$

Από τα παραπάνω επιλέγουμε πάχος ραφής για τα πέλματα  $\alpha_1 = 18\text{mm}$  και για τον κορμό πάχος  $\alpha_2 = 10\text{mm}$ .

#### 3) Ενεργό μήκος ραφών

- Για τα πέλματα :  $l_{n,1} = l_1 - 2 \cdot \alpha = 220\text{mm} - 2 \cdot 18\text{mm} \Leftrightarrow l_{n,1} = 184\text{mm}$
- Για τον κορμό :  $l_{n,2} = l_2 - 2 \cdot \alpha = 150\text{mm} - 2 \cdot 10\text{mm} \Leftrightarrow l_{n,2} = 130\text{mm}$

4) Επιφάνεια ραφών

- Για τα πέλματα :  $F_{w1} = 2 \cdot \alpha \cdot I_{n,1} = 2 \cdot 1,8\text{cm} \cdot 18,4\text{cm} \Leftrightarrow F_{w1} = 66,24\text{cm}^2$

- Για τον κορμό :  $F_{w2} = 2 \cdot \alpha \cdot I_{n,2} = 2 \cdot 1,0\text{cm} \cdot 13,0\text{cm} \Leftrightarrow F_{w2} = 26\text{cm}^2$

5) Έλεγχος αντοχής ραφών

Δεχόμαστε ότι οι ραφές του κορμού αναλαμβάνουν εξ' ολοκλήρου την τέμνουσα δύναμη  $Q$ , ενώ την ροπή κάμψης  $M$ , αναλαμβάνουν όλες οι ραφές από κοινού. Με βάση αυτό το σκεπτικό, η μέση τάση διάτμησης των ραφών του κορμού είναι :

$$\tau_m = \frac{Q}{F_{w2}} = \frac{10,23\text{tn}}{26\text{cm}^2} \Leftrightarrow \tau_m = 0,39\text{tn/cm}^2 \quad (< \tau_{\text{επιτ.}} = 1,35\text{tn/cm}^2)$$

Η ροπή αδρανείας ( $I_w$ ) του συνόλου των ραφών ως προς τον άξονα x-x είναι :

$$I_w = 2 \cdot \alpha_1 \cdot I_{n1} \cdot \left(\frac{h}{2}\right)^2 + \frac{2 \cdot \alpha_2 \cdot I_{n,2}^3}{12} = 2 \cdot 1,8\text{cm} \cdot 18,4\text{cm} \cdot \left(\frac{24\text{cm}}{2}\right)^2 + \frac{2 \cdot 1\text{cm} \cdot (13\text{cm})^3}{12}$$

$$\Leftrightarrow I_w = 9.904,73\text{cm}^4$$

Η ορθή τάση λόγω κάμψης έχει μέγιστη τιμή στις ακραίες ίνες των ραφών, ήτοι :

$$\sigma = \frac{M}{W_x} = \frac{M}{I_x} \cdot \left(\frac{h}{2} + \alpha_1\right) = \frac{916\text{tncm}}{9.904,73\text{cm}^4} \cdot \left(\frac{24\text{cm}}{2} + 1,8\text{cm}\right) \Leftrightarrow \sigma = 1,276\text{tn/cm}^2$$

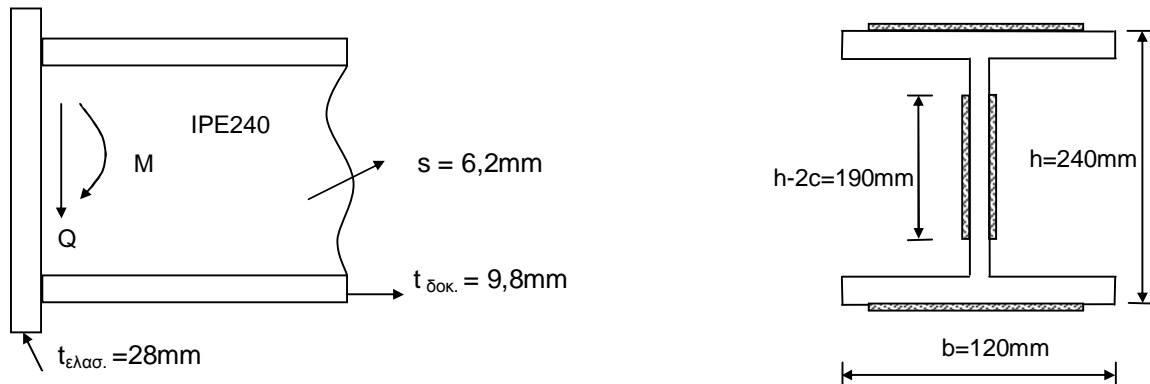
Επειδή, η ορθή τάση είναι μεγαλύτερη από την οριακή ( $\sigma_{\text{op.}} = 0,95\text{tn/cm}^2$ ), πρέπει να ελεγχθεί και η τάση συγκρίσεως. Άρα :

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma^2 + \tau_m^2} = \sqrt{(1,276\text{tn/cm}^2)^2 + (0,39\text{tn/cm}^2)^2} \Leftrightarrow$$

$$\sigma_v = 1,33\text{tn/cm}^2 < \sigma_{\text{vεπιτ.}} = 1,35\text{tn/cm}^2$$

Άρα η συγκόλληση θα αντέξει.

### 3.5.3 ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ ΔΟΚΩΝ ΑΑ' & ΔΔ'



**Σχήμα 26**

Η δοκός καταπονείται με τέμνουσα δύναμη  $Q = Q_2 = 1,704tn$  και καμπτική ροπή  $M = M_2 = 1,27tn \cdot m$

#### 1) Πραγματικά μήκη ραφών

- Για τα πέλματα :  $l_1 = 120mm$
- Για τον κορμό :  $l_2 = 190mm$

#### 2) Πάχος ραφών

- Για τα πέλματα :  $3 \leq \alpha_1 \leq 0,7 \cdot t_{\min} = 3 \leq \alpha_1 \leq 0,7 \cdot 9,8mm \Leftrightarrow 3 \leq \alpha_1 \leq 6,86mm$

- Για τον κορμό :  $3 \leq \alpha_2 \leq 0,7 \cdot t_{\min} = 3 \leq \alpha_2 \leq 0,7 \cdot 6,2mm \Leftrightarrow 3 \leq \alpha_2 \leq 4,34mm$

$\alpha_1, \alpha_2 \geq \sqrt{t_{\max}} - 0,5 \Leftrightarrow \alpha_1, \alpha_2 \geq \sqrt{t_{\epsilon\lambda\alpha\sigma.}} - 0,5 \Leftrightarrow \alpha_1, \alpha_2 \geq 2,7mm$

Από τα παραπάνω επιλέγουμε ίδιο πάχος ραφής για τα πέλματα και τον κορμό. Άρα  $\alpha = 4mm$ .

#### 3) Ενεργό μήκος ραφών

- Για τα πέλματα :  $l_{n,1} = l_1 - 2 \cdot \alpha = 120mm - 2 \cdot 4mm \Leftrightarrow l_{n,1} = 112mm$

- Για τον κορμό :  $l_{n,2} = l_2 - 2 \cdot \alpha = 190mm - 2 \cdot 4mm \Leftrightarrow l_{n,2} = 182mm$

4) Επιφάνεια ραφών

- Για τα πέλματα :  $F_{w1} = 2 \cdot \alpha \cdot l_{n,1} = 2 \cdot 0,4 \text{cm} \cdot 12 \text{cm} \Leftrightarrow F_{w1} = 8,96 \text{cm}^2$

- Για τον κορμό :  $F_{w2} = 2 \cdot \alpha \cdot l_{n,2} = 2 \cdot 0,4 \text{cm} \cdot 18,2 \text{cm} \Leftrightarrow F_{w2} = 14,56 \text{cm}^2$

5) Έλεγχος αντοχής ραφών

Δεχόμαστε ότι οι ραφές του κορμού αναλαμβάνουν εξ' ολοκλήρου την τέμνουσα δύναμη Q, ενώ την ροπή κάμψης M, αναλαμβάνουν όλες οι ραφές από κοινού. Με βάση αυτό το σκεπτικό, η μέση τάση διάτμησης των ραφών του κορμού είναι :

$$\tau_m = \frac{Q}{F_{w2}} = \frac{1,704 \text{tn}}{14,56 \text{cm}^2} \Leftrightarrow \tau_m = 0,12 \text{tn/cm}^2 \quad (< \tau_{\text{επιτ.}} = 1,35 \text{tn/cm}^2)$$

Η ροπή αδρανείας ( $I_w$ ) του συνόλου των ραφών ως προς τον άξονα x-x είναι :

$$I_w = 2 \cdot \alpha \cdot l_{n1} \cdot \left(\frac{h}{2}\right)^2 + \frac{2 \cdot \alpha \cdot l_{n,2}^3}{12} = 2 \cdot 0,4 \text{cm} \cdot 11,2 \text{cm} \cdot \left(\frac{24 \text{cm}}{2}\right)^2 + \frac{2 \cdot 0,4 \text{cm} \cdot (18,2 \text{cm})^3}{12}$$

$$\Leftrightarrow I_w = 1.698,81 \text{cm}^4$$

Η ορθή τάση λόγω κάμψης έχει μέγιστη τιμή στις ακραίες ίνες των ραφών, ήτοι :

$$\sigma = \frac{M}{W_x} = \frac{M}{I_x} \cdot \left(\frac{h}{2} + \alpha\right) = \frac{127 \text{tncm}}{1.698,81 \text{cm}^4} \cdot \left(\frac{24 \text{cm}}{2} + 0,4 \text{cm}\right) \Leftrightarrow \sigma = 0,93 \text{tn/cm}^2$$

Επειδή, η ορθή τάση είναι μικρότερη από την οριακή ( $\sigma_{\text{ορ.}} = 0,95 \text{tn/cm}^2$ ), δεν χρειάζεται να ελεγχθεί και η τάση συγκρίσεως και η συγκόλληση θα αντέξει.

# ΕΝΟΤΗΤΑ 4

## *ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ*

## 4.1 ΤΥΠΟΙ ΕΔΡΑΣΕΩΣ

Συνήθως, τα ζευκτά έχουν μία σταθερή και μία κινητή έδραση (όπως και στην δική μας περίπτωση), ώστε να επιτρέπεται η διαστολή ή η συστολή του ζευκτού (λόγω θερμοκρασίας). Ο υπολογισμός και ο έλεγχος της εδράσεως, εξαρτάται από τον τρόπο μορφοποίησής της. Υπάρχουν τέσσερις βασικοί τρόποι εδράσεως :

Α) Για μικρά ανοίγματα (έως 15m) χρησιμοποιούνται απλά επίπεδα ελάσματα εδράσεως.

Β) Για μέσου μεγέθους ανοίγματα (από 15m έως 25m) χρησιμοποιούνται απλά εφέδρανα με διάταξη κεντρικής στήριξης του ζευκτού.

Γ) Για μεγάλα ανοίγματα, άνω 25m χρησιμοποιούνται κανονικά εφέδρανα (σταθερά γραμμικά εφέδρανα και κινητά γραμμικά εφέδρανα με κυλίνδρους)

Δ) Έδραση του ζευκτού σε σιδηρούς στύλους, πακτωμένους στο έδαφος.

## 4.2 ΕΔΡΑΣΕΙΣ ΚΟΜΒΩΝ

Η έδραση της κατασκευής μας θα γίνει σε τοιχοποιία από σκυρόδεμα. Επειδή η τοιχοποιία δεν δύναται να δεχθεί μεγάλες πιέσεις, άρα ούτε μεγάλα φορτία. Για φορτία μέχρι 60 - 70tn, γίνεται έμμεση έδραση με μεταλλική πλάκα. Η μεταλλική αυτή πλάκα συνδέεται με την δοκό με δυο γωνιακά ελάσματα, κοχλιωμένα στα πέλματα της δοκού. Εάν τοποθετήσουμε και δυο κατακόρυφα επίπεδα ελάσματα ενισχύσεως (μεταξύ των πελμάτων και των γωνιακών), μπορούμε να αυξήσουμε το φορτίο μέχρι τους 120tn.

Ο υπολογισμός της εδράσεως, σε αυτήν την περίπτωση, αφορά α) τον καθορισμό της πλάκας, β) τον καθορισμό των διαστάσεων των γωνιακών και τέλος γ) τον αριθμό των απαιτούμενων κοχλιών.

#### 4.2.1 ΕΔΡΑΣΗ ΚΟΜΒΟΥ Ι

Για να μελετήσουμε σωστά τις εδράσεις θα πρέπει πρώτα να βρούμε τις αντιδράσεις του δικτύωματος. Μέχρι στιγμής, στην αντίδραση της εδράσεως που έχουμε βρει, δεν έχουμε συμπεριλάβει το ίδιο βάρος των δοκών που σχηματίζουν το δικτύωμα. Το κάθε δικτύωμα αποτελείται από 3 δοκούς IPB140 μήκους 4m, 4 δοκούς IPB120 μήκους 4m, 2 δοκούς IPB μήκους 4,47m και 6 δοκούς IPB120 μήκους 4,47m. Το συνολικό ίδιο βάρος των δοκών είναι :

$$\begin{aligned} Z &= 3 \cdot (4m \cdot G_{IPB140}) + 4 \cdot (4m \cdot G_{IPB120}) + 2 \cdot (4,47m \cdot G_{IPB140}) + 6 \cdot (4,47m \cdot G_{IPB120}) = \\ &= 3 \cdot (4m \cdot 33,7kp/m) + 4 \cdot (4m \cdot 26,7kp/m) + 2 \cdot (4,47m \cdot 33,7kp/m) + 6 \cdot (4,47m \cdot 26,7kp/m) \\ &\Leftrightarrow \mathbf{Z = 1,2tn} \end{aligned}$$

Στο βάρος αυτό θα κάνουμε μια προσαύξηση 50% για να συμπεριλάβουμε τα βάρη από τα κομβοελάσματα και τους κοχλίες τους κοχλίες. Άρα το συνολικό βάρος των υλικών ισούται με :

$$Z' = 1,5 * Z = 1,5 * 1,2tn \Leftrightarrow Z' = 1,8tn$$

Η συνολική αντίδραση που εφαρμόζεται στην έδραση Ι ισούται με :

$$A = \frac{Z'}{2} + I_y = 0,9 + 14,2tn \Leftrightarrow A = 15,1tn$$

#### - Έλεγχος πλάκας

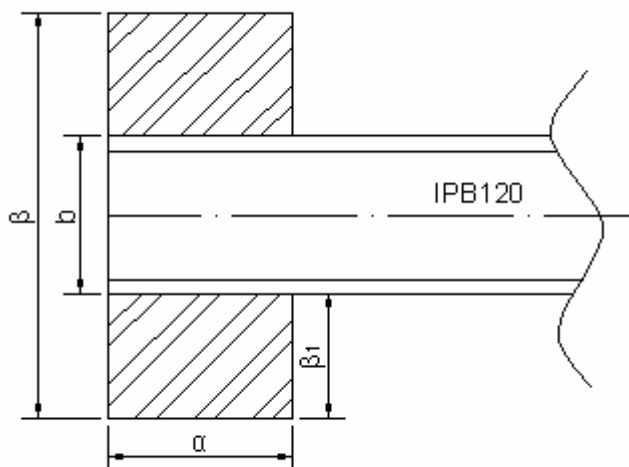
Η τοιχοποιία μας είναι φτιαγμένη από σκυρόδεμα B160 με επιτρεπόμενη πίεση εδράσεως  $P_{\text{επιτ.}} = 40kg/cm^2$

Το βάθος  $\alpha$  της πλάκας, ώστε να μπορούμε να θεωρήσουμε ότι η δύναμη μεταβιβάζεται ομοιόμορφα στην πλάκα, θα πρέπει να είναι ίση με :

$$\alpha = \frac{h}{3} + 10cm = \frac{12cm}{3} + 10cm \Leftrightarrow \alpha = 14cm$$

όπου  $h$  το ύψος της δοκού σε cm.



**Σχήμα 27**

Το δε πλάτος της θα είναι :

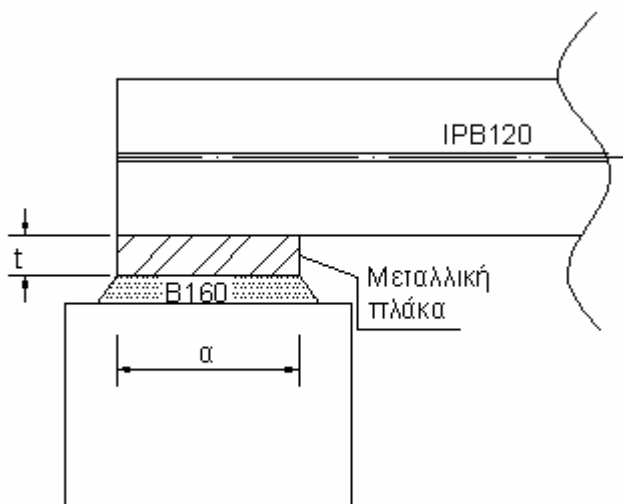
$$\beta = \frac{A}{P_{\text{επιτ.}} * \alpha} = \frac{15.100\text{kg}}{40\text{kg/cm}^2 * 14\text{cm}} \Leftrightarrow \beta = 27\text{cm}$$

Λαμβάνουμε πλάτος πλάκας  $\beta = 31\text{ cm}$

Το πάχος της πλάκας ισούται με :

$$t = \sqrt{\frac{3 * A * \beta_1^2}{\alpha * \beta * \sigma_{\text{επ.}}}} = \sqrt{\frac{3 * 15,1\text{tn} * (9,5\text{cm})^2}{14\text{cm} * 31\text{cm} * 1,6\text{tn/cm}}} \Leftrightarrow t = 2,43\text{cm}$$

Επιλέγουμε  $t = 30\text{mm}$

**Σχήμα 28**

Η πλάκα εφελκύεται, άρα η πραγματική τάση της θα πρέπει να είναι μικρότερη της επιτρεπόμενης. Άρα :

$$M = P_{\text{επιτ.}} \cdot \frac{\beta_1^2}{2} \cdot \alpha = \frac{A}{\alpha \cdot \beta} \cdot \frac{\beta_1^2}{2} \cdot \alpha \Leftrightarrow M = \frac{A \cdot \beta_1^2}{2\beta} \quad (1)$$

$$W = \frac{\alpha \cdot t^2}{6} \quad (2)$$

$$(1) \xrightarrow{(2)} \sigma_{\text{πραγμ.}} = \frac{M}{W} = \frac{\frac{A \cdot \beta_1^2}{2\beta}}{\frac{\alpha \cdot t^2}{6}} = \frac{3 \cdot A \cdot \beta_1^2}{\alpha \cdot \beta \cdot t^2} = \frac{3 \cdot 15,1 \text{tn} \cdot (9,5 \text{cm})^2}{14 \text{cm} \cdot 31 \text{cm} \cdot (3,0 \text{cm})^2} \Leftrightarrow$$

$$\sigma_{\text{πραγμ.}} = 1,1 \text{tn/cm}^2 < \sigma_{\text{επιτ.}} = 1,6 \text{tn/cm}^2$$

### - Έλεγχος γωνιακών

$$\text{Η πραγματική πίεση της πλάκας είναι : } P_{\text{πραγμ.}} = \frac{A}{\alpha \cdot \beta} = \frac{15.100 \text{kg}}{14 \text{cm} \cdot 31 \text{cm}} \Leftrightarrow$$

$$P_{\text{πραγμ.}} = 36 \text{kg/cm}^2$$

Για να βρούμε την αντοχή των γωνιακών εδράσεως, θα πρέπει να βρούμε την ροπή που δέχονται και την ροπή αντίστασης που έχουν.

Η ροπή που δέχονται τα γωνιακά ως προς την γραμμή κοχλίωσης ισούται με :

$$M = P_{\text{πραγμ.}} \cdot \alpha \cdot \frac{\beta_1^2}{4} = 36 \text{kg/cm}^2 \cdot 14 \text{cm} \cdot \frac{(9,5 \text{cm})^2}{4} \Leftrightarrow M = 11.371,5 \text{kg} \cdot \text{cm}$$

Επιλέγουμε ανισοσκελή γωνιακά ελάσματα L130x65x10. Την ροπή αντίστασης των δυο γωνιακών μπορούμε να την βρούμε θεωρώντας ενιαία διατομή, την διατομή των δύο γωνιακών. Από πίνακα 5 βρίσκουμε ότι η απόσταση της ακραίας θλιβόμενης ίνας από το κέντρο βάρους της κάθε γωνιάς είναι σε απόσταση

$e_y = 1,45\text{cm}$ , η ροπή αδρανείας του κάθε γωνιακού ελάσματος ως προς τον άξονα x είναι  $I_x = 321\text{cm}^4$  και η διατομή είναι  $F_{L130 \times 65 \times 10} = 18,6\text{cm}^2$ .

Η ενιαία διατομή θα έχει την ίδια απόσταση ακραίας θλιβόμενης ίνας και η ροπή αδρανείας της, σύμφωνα με το θεώρημα του Steiner, θα είναι ίση με :

$$J = 2(I_x + F \cdot e^2) = 2[321\text{cm}^4 + 18,6\text{cm}^2 \cdot (1,45\text{cm})^2] \Leftrightarrow J = 695,94\text{cm}^4$$

Η ροπή αντίστασης της ενιαίας διατομής των γωνιακών είναι ίση με :

$$W_d = \frac{J}{e} = \frac{695,94\text{cm}^4}{1,45\text{cm}} \Leftrightarrow W_d = 479,96\text{cm}^3 \Leftrightarrow W_d = 480\text{cm}^3$$

Η τάση των γωνιακών δίνεται από τον τύπο :

$$\sigma = \frac{M}{W_d} = \frac{11.371,5\text{kgcm}}{480\text{cm}^3} \Leftrightarrow \sigma = 24\text{kg/cm}^2 < \sigma_{\text{επιτ.}} = 1600\text{kg/cm}^2$$

### - Έλεγχος κοχλιώσεων

Οι κοχλίες των γωνιακών μεταβιβάζουν όλο το φορτίο  $P = 15,1\text{tn}$ . Εκλέγεται συνήθης κοχλίας με διάμετρο οπής  $d = 17\text{mm}$  (M16), ως η μέγιστη επιτρεπόμενη διάμετρος για τα γωνιακά, και μέγιστη αναλαμβανόμενη δύναμη  $N'_T = 2,25\text{tn}$ . Θα χρειαστούμε :

$$n = \frac{P}{N'_T} = \frac{15,1\text{tn}}{2,25\text{tn}} \Leftrightarrow n = 6,7 \text{ κοχλίες}$$

Επιλέγουμε 8 κοχλίες.

### Έλεγχος αντοχής κοχλίας

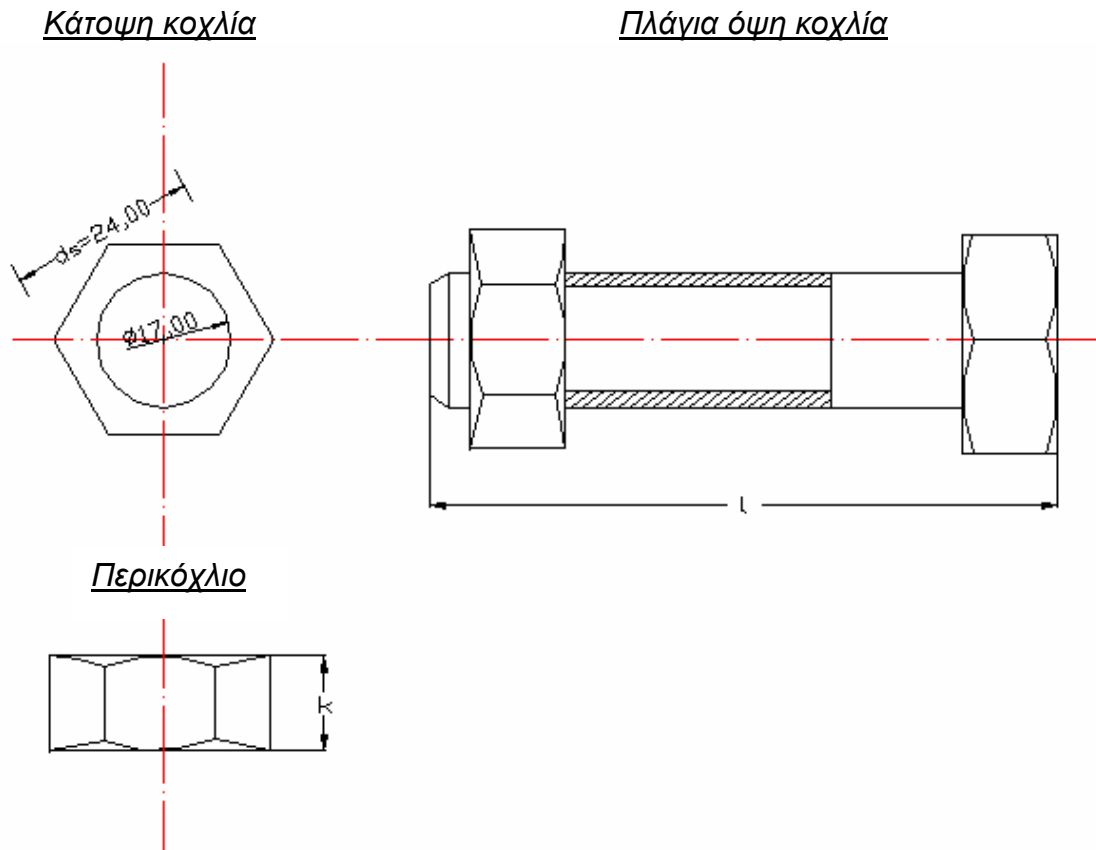
Στην περίπτωση μας έχουμε και δίμητους και μονόμητους κοχλίες. Θα τους εξετάσουμε ως μονόμητους, για μεγαλύτερη ασφάλεια. Η αναλαμβανόμενη δύναμη από κάθε κοχλία ισούται με :

$$N = \frac{P}{n} = \frac{15,1\text{tn}}{8} \Leftrightarrow N = 1,9\text{tn}$$

Το πάχος του πέλματος της δοκού IPB120 είναι  $t_{\text{δοκ.}} = 11\text{mm}$  και το πάχος του καμβοελάσματος είναι  $t_{\text{κομβ.}} = 20\text{mm}$ . Το πάχος των γωνιακών ελασμάτων είναι

$t_{γων.} = 10\text{mm}$  και το πάχος της μεταλλικής πλάκας είναι  $t = 30\text{mm}$ . Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι  $t_{\min.} = t_{γων.} = 10\text{mm}$ .

### Λεπτομέρεια κοχλία

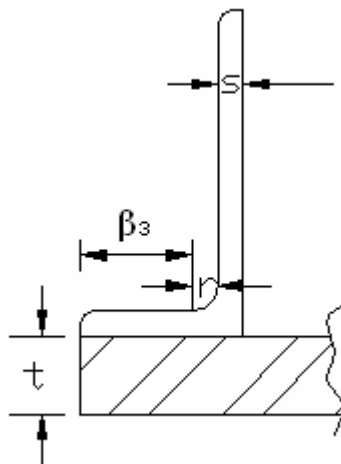


**Σχήμα 29**

Η αναλαμβανόμενη δύναμη από συνήθη κοχλία M16 σε διάτμηση είναι  $N'_T = 2,25tn$  ενώ για σύνθλιψη άντυγας και ελάχιστο πάχος  $t = 10\text{mm}$  η αναλαμβανόμενη δύναμη  $N_i = 3,84tn$  (βλ. πίνακα 9). Από τα παραπάνω βλέπουμε ότι οι κοχλίες αντέχουν αφού :

$$N = 1,9tn < N'_T = 2,25tn < N_i = 2,30tn$$

- Έλεγχος αντοχής πέλματος γωνιακών



Σχήμα 30

Για τον έλεγχο των πέλμάτων των γωνιακών σε κάμψη, επιλέγουμε ως δυσμενέστερη διατομή την  $\beta_3$ , που ορίζεται ως η απόσταση μετά την λήξη της καμπύλης συναρμογής του γωνιακού. Άρα :

$$\beta_3 = \beta_1 - (s - r) = 9,5\text{cm} - 1,0\text{cm} - 1,1\text{cm} \Leftrightarrow \beta_3 = 7,4\text{cm}$$

Η διατομή θεωρείται ενιαία με πάχος  $t_1 + t$  αλλά η ροπή αντίστασης, λόγω μη πλήρους συνεργασίας κατά την κάμψη των δυο τμημάτων λαμβάνεται :

$$W = \frac{t^2 + t_1^2}{6} = \frac{(3,0\text{cm})^2 + (1,0\text{cm})^2}{6} \Leftrightarrow W = 1,7\text{cm}^4$$

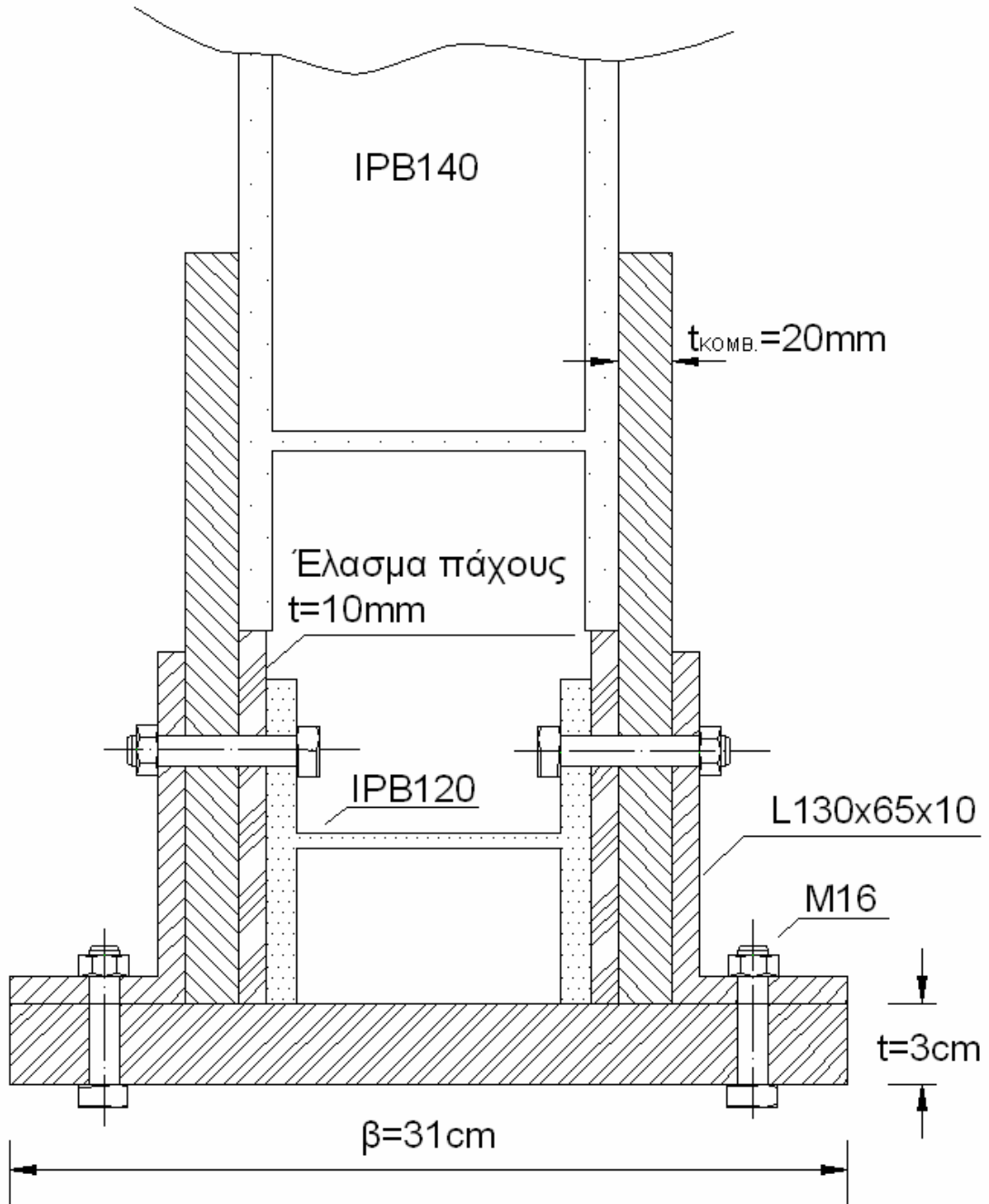
Η ροπή δίνεται από τον τύπο :

$$M_3 = P_{\text{πραγμ.}} * \frac{\beta_3^2}{2} = 36\text{kg/cm} * \frac{(7,4\text{cm})^2}{2} \Leftrightarrow M_3 = 985,68\text{kg}\cdot\text{cm}$$

Η υπολογίσιμη τάση είναι ίση με :

$$\sigma = \frac{M_3}{W} = \frac{985,68\text{kg}\cdot\text{cm}}{1,7\text{cm}^4} \Leftrightarrow \sigma = 579,8\text{kg/cm}^2 < \sigma_{\text{επιτ.}} = 1600\text{kg/cm}^2$$

**ΤΟΜΗ ΕΔΡΑΣΗΣ Ι**



**Σχήμα 31**

#### 4.2.2 ΕΔΡΑΣΗ ΚΟΜΒΟΥ Ε

Η έδραση του κόμβου Ε θα γίνει ακριβώς με τον ίδιο τρόπο λόγω των συμμετρικών φορτίσεων που δέχονται και οι δύο κόμβοι. Επειδή όμως στον κόμβο αυτόν έχουμε κύλιση και όχι άρθρωση όπως στον προηγούμενο, αντί για στρογγυλές οπές, θα έχουμε οβάλ οπές. Με τον τρόπο αυτόν, έχουμε την κύλιση.

## ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

Ανακεφαλαιώνοντας, θα σταθούμε στα βασικότερα σημεία της εργασίας αυτής. Σ' αυτήν την εργασία ασχοληθήκαμε με την ολοκληρωμένη μελέτη μιας μεταλλικής κατασκευής. Συγκεκριμένα, μελετήσαμε ένα υπέργειο ζευκτό, που αποτελείται από δύο δικτυώματα, και χρησιμοποιείται ως βάση, πάνω στην οποία είναι τοποθετημένη μια δεξαμενή τροφοδοτικού νερού λεβήτων και τα περαιτέρω απαραίτητα μηχανήματα.

Αρχικά, καθορίσαμε όλα τα βάρη των τα οποία καταπονούν την κατασκευή μας. Στα βάρη αυτά συμπεριλαμβάνονται τα βάρη από την δεξαμενή και τα υπόλοιπα μηχανήματα (εναλλάκτης, όργανα, κλπ.). Επίσης, εξετάσαμε την αντοχή της δεξαμενής σε κάμψη.

Κατόπιν, εξετάσαμε την αντοχή του δαπέδου. Τα δύο δικτυώματα ενώνονται με τέτοιο τρόπο, ώστε να σχηματίζεται ένα δάπεδο, πάνω στο οποίο θα τοποθετείται η δεξαμενή. Το δάπεδο αυτό αποτελείται από πλατύπελμες δοκούς (IPB), σχάρες και γωνιακά ελάσματα. Αφού μελετήσαμε την αντοχή των παραπάνω, εξετάσαμε και την αντοχή των δοκών που ενώνουν τα δικτυώματα. Τα δυο δικτυώματα ενώνονται στους άνω κόμβους με τέσσερις δοκούς, οι οποίες καλούνται δοκοί σύζευξης.

Στην συνέχεια, εξετάσαμε τις συνδέσεις των δοκών του δικτυώματος. Όλες οι συνδέσεις έγιναν με κοχλίες, εκτός από αυτές των δοκών σύζευξης, που έγιναν σε συγκολλήσεις.

Τέλος, μελετήσαμε τις εδράσεις της κατασκευής η οποία στηρίζεται σε τοιχοποιία από σκυρόδεμα B160. Η κατασκευή μας έχει μια σταθερή (άρθρωση) και μια κινητή (κύλιση) έδραση ώστε το ζευκτό να μπορεί να διασταλεί ή να συσταλεί. Και στις δυο περιπτώσεις έγινε έμμεση έδραση με μεταλλική πλάκα.



Οι πίνακες και οι κανόνες που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία, βρίσκονται στο παράρτημα που ακολουθεί.

# **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ**

**ΠΙΝΑΚΑΣ 1**

Συμβολισμός	Διαστάσεις (mm)						F cm <sup>2</sup>	G Kg/m	Στοιχεία για τον άξονα κέρσεως						Ομοίση στα γράμματα		
	h	b	c	l	r	h-2c			Ix			Iy			d	Wx, mm <sup>3</sup>	Wy, mm <sup>3</sup>
									Ix	Wx	Sx	Iy	Wy	Sy			
<b>Πολυπλευρές δοκοί ΗΒ (ΗΕ - Β)</b>																	
100	100	100	8	10	12	58	29	20,4	450	82,8	4,18	107	32,5	2,93	19	55	-
120	120	120	8,5	11	12	74	34	22,7	504	144	3,04	118	52,9	3,08	17	65	-
140	140	140	7	12	12	92	40	33,2	1910	218	5,95	550	78,5	3,38	21	75	-
160	160	160	8	13	15	104	44,8	42,8	2490	311	8,78	398	111	4,05	23	85	-
180	180	180	8,5	14	15	122	65,8	51,2	3830	425	7,68	1300	151	4,97	25	100	-
200	200	200	9	15	18	134	70,1	61,2	6790	570	8,54	2000	200	5,07	26	110	-
220	220	220	9,5	16	18	152	81	71,6	8090	738	8,45	2640	250	5,36	26	120	-
240	240	240	10	17	21	184	109	83,2	11290	838	10,3	3820	327	6,08	26	90	36
260	260	260	10	17,5	24	177	118	98	14820	1150	11,2	5130	385	6,95	26	100	40
280	280	280	10,5	18	24	198	131	108	18270	1380	12,1	6590	421	7,09	26	110	45
300	300	300	11	19	27	208	149	117	25170	1680	15	8580	521	7,68	26	120	50
320	320	320	11,5	20,5	27	228	161	127	30820	1900	16,8	10430	578	7,97	26	120	50
340	340	340	12	21,5	27	249	171	134	36680	2180	14,8	9890	646	7,93	26	120	50
360	360	360	12,5	22,5	27	261	181	142	43190	2400	14,5	10140	678	7,49	26	120	50
400	400	400	13,5	24	27	298	198	156	67880	2880	17,1	10820	721	7,4	26	120	50
450	450	450	14	26	27	344	218	171	79860	3550	19,1	11720	781	7,38	26	120	50
500	500	500	14,5	28	27	390	239	187	107200	4360	21,2	12920	842	7,27	26	120	45
550	550	550	16	29	27	438	254	199	136700	4970	23,2	15080	922	7,7	26	120	45
600	600	600	15,5	30	27	488	270	212	170900	5700	26,2	18690	1022	7,95	26	120	45
650	650	650	16	31	27	534	288	225	210800	6450	27,1	13900	1102	8,99	26	120	45
700	700	700	17	32	27	582	308	241	256600	7340	28	14440	1189	8,87	26	120	45
800	800	800	17,5	33	30	674	334	262	369100	8880	32,6	14600	1264	8,80	26	120	45
900	900	900	18,5	35	30	770	371	281	484100	10880	36,5	15830	1350	9,53	26	120	45
1000	1000	900	19	36	30	888	400	314	644700	12880	40,1	16380	1460	9,96	26	120	45

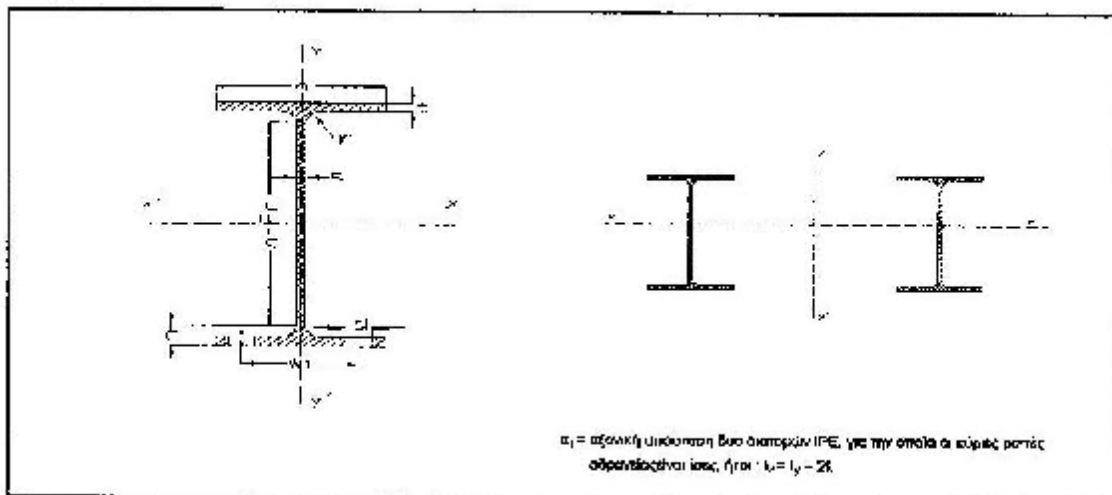
1 - Η σειρά ΗΒ των πολυπλευρών δοκών είναι κατά DIN 1025-2 και αντικαθίσταται προς το ΕΥΡΩΚΟΝΟΜ 53-82.  
 2 - Η σειρά αυτή δίνεται επίσης με τον συμβολισμό ΗΕ - Β κατά το ΕΥΡΩΚΟΝΟΜ.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 2**

Συμβολή	Διαστάσεις, σε mm						F mm <sup>2</sup>	G kg/m	Επιχειρίσιμα για τον άξονα τμήματα						Ομορτά με τη βάση			
	h	b	a	t	r	h <sub>20</sub>			x-x'			y-y'			d	w <sub>x</sub>	w <sub>y</sub>	e <sub>s</sub>
									I <sub>x</sub>	I <sub>y</sub>	W <sub>x</sub>	W <sub>y</sub>	W <sub>pl,x</sub>	W <sub>pl,y</sub>				
<b>Πασιτικάλληλες ενισχυμένες δοκοί IPB (HE - 80)</b>																		
100	120	108	12	20	12	56	53,2	41,8	1140	180	4,89	399	75,3	2,74	13	30	-	
125	140	129	12,5	21	12	64	89,4	52,1	2020	268	5,21	703	112	3,25	17	36	-	
140	150	140	15	22	12	87	80,8	53,2	3280	411	6,39	1140	167	3,77	21	25	-	
180	180	168	14	23	15	104	97,1	76,2	6100	668	7,25	1790	212	4,28	23	35	-	
180	200	188	14,5	24	16	122	113	89,6	7480	748	8,13	2580	277	4,77	26	50	-	
200	220	208	15	25	16	134	139	103	10640	967	9	3650	354	5,27	28	106	-	
220	240	228	15,5	26	16	162	149	117	14800	1220	9,59	5070	444	5,78	29	113	-	
240	270	248	16	30	21	194	200	157	24280	1900	11	8160	587	6,38	29	90	35	
260	300	268	16	32,5	24	177	220	172	31310	2180	11,6	10450	780	6,9	29	130	40	
280	310	288	16,5	33	24	198	240	180	36550	2590	12,8	13180	874	7,4	29	110	45	
300	340	310	21	39	27	206	288	238	59200	3480	14	19400	1290	8	29	120	50	
320	358	308	21	40	27	225	312	245	68190	3800	14,8	19710	1280	7,65	29	120	50	
340	377	308	21	40	27	243	318	248	76570	4050	15,8	19710	1280	7,9	29	120	50	
360	396	308	21	40	27	261	318	250	84970	4300	16,3	19620	1270	7,89	29	120	50	
400	432	307	21	40	27	288	328	258	104400	4620	17,0	19540	1280	7,7	29	120	50	
450	478	307	21	40	27	344	335	263	134300	5300	18,0	19540	1280	7,58	29	120	50	
500	524	306	21	40	27	380	344	270	161800	6140	21,7	19150	1250	7,46	29	120	50	
550	572	306	21	40	27	438	354	278	196000	6920	23,6	19160	1250	7,35	28	120	50	
600	620	306	21	40	27	496	364	285	237400	7680	25,8	18680	1240	7,22	28	120	50	
650	668	306	21	40	27	684	374	290	291700	8430	27,5	18280	1240	7,13	28	120	50	
700	716	304	21	40	27	842	383	301	329300	9200	29,9	17900	1240	7,01	28	120	50	
800	814	303	21	40	30	874	404	317	442600	10670	31,1	18850	1230	6,79	28	120	60	
900	810	302	21	40	30	770	424	333	570400	12540	35,7	18450	1220	6,8	28	120	60	
1000	1008	302	21	40	30	896	444	349	722900	14890	40,3	18480	1220	6,45	28	120	60	

1. Η σειρά HE εντύπων αναφέρεται μερικώς στην σειρά δοκών κατά DIN 1025-4 και αντιστοιχεί προς τα EURO-NORM 50 60.  
 2. Η σειρά αυτή δοκών επίσης με τον συμβολισμό HE - 80 κατά τα EURO-NORM.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3**



Υψος διατομής	Διαστάσεις διατομής						F cm <sup>2</sup>	G Kg/m	Στοιχεία για τον άξονα κάμψης						α <sub>1</sub> mm	Κέντρα αξόνων κάμψης		
	h mm	b mm	a mm	t mm	l mm	h-2a mm			x-x'			y-y'				s mm	r mm	w mm
									L cm <sup>4</sup>	W <sub>x</sub> cm <sup>3</sup>	I <sub>x</sub> cm <sup>6</sup>	L <sub>y</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>y</sub> cm <sup>3</sup>	I <sub>y</sub> cm <sup>6</sup>				
<b>Δοκίμια μέσου πλάτους ΙΡΕ</b>																		
80	80	46	3,8	5,2	5	59	7,84	8,00	80,1	20,0	3,24	4,42	3,89	1,05	82	6,4	25	
100	100	55	4,1	5,7	7	74	10,5	8,10	171	34,2	4,07	15,9	5,79	1,24	78	9,4	30	
120	120	64	4,4	6,3	7	69	13,2	11,4	516	53,0	4,80	27,7	8,65	1,45	84	9,4	35	
140	140	73	4,7	6,9	7	112	16,4	12,9	541	77,3	5,74	44,9	12,3	1,55	110	11	40	
160	160	82	5,0	7,4	9	127	20,1	15,8	690	109	6,58	68,3	18,7	1,84	126	13	44	
180	180	91	5,3	8,2	9	148	23,9	18,8	1520	146	7,42	101	25,2	2,06	144	13	48	
200	200	100	5,6	8,9	12	159	29,5	22,4	1940	194	8,26	142	28,5	2,24	160	19	52	
220	220	110	5,9	9,2	12	177	33,4	26,2	2770	252	9,11	205	37,3	2,46	176	17	58	
240	240	120	6,2	9,8	15	190	38,1	30,7	3890	324	9,97	284	47,8	2,69	194	17	65	
270	270	135	6,8	10,2	15	219	45,9	36,1	6790	429	11,2	420	62,2	3,02	218	21	72	
300	300	150	7,1	10,7	15	248	53,8	40,2	8290	557	12,5	554	80,3	3,35	242	23	80	
330	330	160	7,5	11,5	18	271	62,5	46,1	11770	713	13,7	798	98,5	3,55	266	25	85	
360	360	170	8,0	12,7	18	298	72,7	51,1	16270	904	15,0	1040	123	3,79	290	25	90	
400	400	180	8,6	13,5	21	331	84,5	58,3	23130	1160	16,5	1320	146	3,96	322	26	95	
450	450	190	9,4	14,6	21	376	98,8	77,6	36140	1500	18,5	1680	176	4,12	362	28	100	
500	500	200	10,2	16,0	21	426	116	90,7	46900	1930	20,4	2140	214	4,31	400	28	110	
550	550	210	11,1	17,2	24	487	134	108	67120	2440	22,8	2870	254	4,45	440	28	115	
600	600	220	12,0	19,0	24	514	158	122	92050	3070	24,3	3890	308	4,68	478	28	120	

1 Η σειρά ΙΡΕ και δοκίμια μέσου πλάτους είναι κατά DIN 1025-5 και ορίζονται προς το EUROCODE 10-87  
 2 Η παράσταση επίσης παρέχεται διαφοράς σε αξονοκέντρα διατομών κέρως και μέτρηση επιφανειακών, ως ΙΡΕ<sub>0</sub> και ΙΡΕ<sub>1</sub>.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 4**

**Ισοσκελή γυάλια ελάσματα L**

Για το διαθέσιμο πρότυπο α- βάρη προτιμούνται ως προς την όραση γυφ είναι μεγαλύτερη από την κλίση γωνία αβράωσης ως προς τον άξονα x- άξονα y, > γ.

Συνολικό μήκος L	Διαστάσεις διατομής					F	α	Απόσταση άξονα			Στοιχεία για τον άξονα κάμψης									Όπως ηλθεσαν		
	α mm	β mm	γ mm	δ mm	ε mm			κ mm	λ mm	μ mm	κ-κ-γ-γ			ξ-ξ		η-η				d mm	w mm	h mm
											κ <sup>2</sup> cm <sup>4</sup>	λ <sup>2</sup> cm <sup>4</sup>	μ <sup>2</sup> cm <sup>4</sup>	ξ <sup>2</sup> cm <sup>4</sup>	η <sup>2</sup> cm <sup>4</sup>	η <sup>2</sup> cm <sup>4</sup>	η <sup>2</sup> cm <sup>4</sup>	η <sup>2</sup> cm <sup>4</sup>				
20x3	20	3	3,5	2	1,12	0,68	0,83	1,41	0,85	0,39	0,28	0,99	0,62	0,74	0,16	0,16	0,37	4,2	12	-		
25x3	25	3	4	2	1,42	0,73	1,03	1,77	1,03	0,79	0,45	0,76	1,27	0,95	0,21	0,3	0,47	5,4	16	-		
30x3	30	3	4,5	2	1,85	0,78	1,03	1,77	1,03	0,79	0,45	0,76	1,27	0,95	0,21	0,3	0,47	5,4	16	-		
35x3	35	3	5	2	2,28	0,80	1,12	1,77	1,12	0,80	0,60	0,72	1,27	0,91	0,20	0,44	0,42	5,4	17	-		
40x3	40	3	5,5	2,5	1,74	0,84	1,18	2,12	1,18	0,84	0,60	0,60	2,24	1,14	0,52	0,48	0,52	5,4	17	-		
45x3	45	3	6	2,5	2,27	0,89	1,26	2,12	1,26	0,89	0,60	0,60	2,24	1,12	0,78	0,61	0,58	5,4	17	-		
50x3	50	3	6,5	2,5	2,78	0,92	1,30	2,12	1,30	0,92	0,60	0,60	2,24	1,11	0,91	0,70	0,52	5,4	17	-		
55x3	55	3	7	2,5	3,29	0,98	1,38	2,47	1,38	0,98	0,60	0,60	2,24	1,14	0,95	0,70	0,58	5,4	17	-		
60x3	60	3	7,5	2,5	3,80	1,04	1,47	2,47	1,47	1,04	0,60	0,60	2,24	1,13	1,23	0,88	0,58	5,4	17	-		
65x3	65	3	8	2,5	4,31	1,08	1,53	2,47	1,53	1,08	0,60	0,60	2,24	1,11	1,51	0,91	0,67	5,4	17	-		
70x3	70	3	8,5	2,5	4,82	1,12	1,62	2,47	1,62	1,12	0,60	0,60	2,24	1,14	1,79	1,06	0,75	5,4	17	-		
75x3	75	3	9	2,5	5,33	1,18	1,70	2,47	1,70	1,18	0,60	0,60	2,24	1,12	2,07	1,35	0,77	5,4	17	-		
80x3	80	3	9,5	2,5	5,84	1,23	1,79	2,47	1,79	1,23	0,60	0,60	2,24	1,11	2,35	1,67	0,77	5,4	17	-		
85x3	85	3	10	2,5	6,35	1,28	1,87	2,47	1,87	1,28	0,60	0,60	2,24	1,14	2,63	1,95	0,87	5,4	17	-		
90x3	90	3	10,5	2,5	6,86	1,33	1,96	2,47	1,96	1,33	0,60	0,60	2,24	1,11	2,91	2,23	0,87	5,4	17	-		
95x3	95	3	11	2,5	7,37	1,38	2,04	2,47	2,04	1,38	0,60	0,60	2,24	1,14	3,19	2,51	0,87	5,4	17	-		
100x3	100	3	11,5	2,5	7,88	1,43	2,13	2,47	2,13	1,43	0,60	0,60	2,24	1,11	3,47	2,79	0,87	5,4	17	-		
105x3	105	3	12	2,5	8,39	1,48	2,21	2,47	2,21	1,48	0,60	0,60	2,24	1,14	3,75	3,07	0,87	5,4	17	-		
110x3	110	3	12,5	2,5	8,90	1,53	2,30	2,47	2,30	1,53	0,60	0,60	2,24	1,11	4,03	3,35	0,87	5,4	17	-		
115x3	115	3	13	2,5	9,41	1,58	2,38	2,47	2,38	1,58	0,60	0,60	2,24	1,14	4,31	3,63	0,87	5,4	17	-		
120x3	120	3	13,5	2,5	9,92	1,63	2,47	2,47	2,47	1,63	0,60	0,60	2,24	1,11	4,59	3,91	0,87	5,4	17	-		
125x3	125	3	14	2,5	10,43	1,68	2,55	2,47	2,55	1,68	0,60	0,60	2,24	1,14	4,87	4,19	0,87	5,4	17	-		
130x3	130	3	14,5	2,5	10,94	1,73	2,64	2,47	2,64	1,73	0,60	0,60	2,24	1,11	5,15	4,47	0,87	5,4	17	-		
135x3	135	3	15	2,5	11,45	1,78	2,72	2,47	2,72	1,78	0,60	0,60	2,24	1,14	5,43	4,75	0,87	5,4	17	-		
140x3	140	3	15,5	2,5	11,96	1,83	2,81	2,47	2,81	1,83	0,60	0,60	2,24	1,11	5,71	5,03	0,87	5,4	17	-		
145x3	145	3	16	2,5	12,47	1,88	2,89	2,47	2,89	1,88	0,60	0,60	2,24	1,14	5,99	5,31	0,87	5,4	17	-		
150x3	150	3	16,5	2,5	12,98	1,93	2,98	2,47	2,98	1,93	0,60	0,60	2,24	1,11	6,27	5,59	0,87	5,4	17	-		
155x3	155	3	17	2,5	13,49	1,98	3,06	2,47	3,06	1,98	0,60	0,60	2,24	1,14	6,55	5,87	0,87	5,4	17	-		
160x3	160	3	17,5	2,5	14,00	2,03	3,15	2,47	3,15	2,03	0,60	0,60	2,24	1,11	6,83	6,15	0,87	5,4	17	-		
165x3	165	3	18	2,5	14,51	2,08	3,23	2,47	3,23	2,08	0,60	0,60	2,24	1,14	7,11	6,43	0,87	5,4	17	-		
170x3	170	3	18,5	2,5	15,02	2,13	3,32	2,47	3,32	2,13	0,60	0,60	2,24	1,11	7,39	6,71	0,87	5,4	17	-		
175x3	175	3	19	2,5	15,53	2,18	3,40	2,47	3,40	2,18	0,60	0,60	2,24	1,14	7,67	6,99	0,87	5,4	17	-		
180x3	180	3	19,5	2,5	16,04	2,23	3,49	2,47	3,49	2,23	0,60	0,60	2,24	1,11	7,95	7,27	0,87	5,4	17	-		
185x3	185	3	20	2,5	16,55	2,28	3,57	2,47	3,57	2,28	0,60	0,60	2,24	1,14	8,23	7,55	0,87	5,4	17	-		
190x3	190	3	20,5	2,5	17,06	2,33	3,66	2,47	3,66	2,33	0,60	0,60	2,24	1,11	8,51	7,83	0,87	5,4	17	-		
195x3	195	3	21	2,5	17,57	2,38	3,74	2,47	3,74	2,38	0,60	0,60	2,24	1,14	8,79	8,11	0,87	5,4	17	-		
200x3	200	3	21,5	2,5	18,08	2,43	3,83	2,47	3,83	2,43	0,60	0,60	2,24	1,11	9,07	8,39	0,87	5,4	17	-		
205x3	205	3	22	2,5	18,59	2,48	3,91	2,47	3,91	2,48	0,60	0,60	2,24	1,14	9,35	8,67	0,87	5,4	17	-		
210x3	210	3	22,5	2,5	19,10	2,53	4,00	2,47	4,00	2,53	0,60	0,60	2,24	1,11	9,63	8,95	0,87	5,4	17	-		
215x3	215	3	23	2,5	19,61	2,58	4,08	2,47	4,08	2,58	0,60	0,60	2,24	1,14	9,91	9,23	0,87	5,4	17	-		
220x3	220	3	23,5	2,5	20,12	2,63	4,17	2,47	4,17	2,63	0,60	0,60	2,24	1,11	10,19	9,51	0,87	5,4	17	-		
225x3	225	3	24	2,5	20,63	2,68	4,25	2,47	4,25	2,68	0,60	0,60	2,24	1,14	10,47	9,79	0,87	5,4	17	-		
230x3	230	3	24,5	2,5	21,14	2,73	4,34	2,47	4,34	2,73	0,60	0,60	2,24	1,11	10,75	10,07	0,87	5,4	17	-		
235x3	235	3	25	2,5	21,65	2,78	4,42	2,47	4,42	2,78	0,60	0,60	2,24	1,14	11,03	10,35	0,87	5,4	17	-		
240x3	240	3	25,5	2,5	22,16	2,83	4,51	2,47	4,51	2,83	0,60	0,60	2,24	1,11	11,31	10,63	0,87	5,4	17	-		
245x3	245	3	26	2,5	22,67	2,88	4,59	2,47	4,59	2,88	0,60	0,60	2,24	1,14	11,59	10,91	0,87	5,4	17	-		
250x3	250	3	26,5	2,5	23,18	2,93	4,68	2,47	4,68	2,93	0,60	0,60	2,24	1,11	11,87	11,19	0,87	5,4	17	-		
255x3	255	3	27	2,5	23,69	2,98	4,76	2,47	4,76	2,98	0,60	0,60	2,24	1,14	12,15	11,47	0,87	5,4	17	-		
260x3	260	3	27,5	2,5	24,20	3,03	4,85	2,47	4,85	3,03	0,60	0,60	2,24	1,11	12,43	11,75	0,87	5,4	17	-		
265x3	265	3	28	2,5	24,71	3,08	4,93	2,47	4,93	3,08	0,60	0,60	2,24	1,14	12,71	12,03	0,87	5,4	17	-		
270x3	270	3	28,5	2,5	25,22	3,13	5,02	2,47	5,02	3,13	0,60	0,60	2,24	1,11	12,99	12,31	0,87	5,4	17	-		
275x3	275	3	29	2,5	25,73	3,18	5,10	2,47	5,10	3,18	0,60	0,60	2,24	1,14	13,27	12,59	0,87	5,4	17	-		
280x3	280	3	29,5	2,5	26,24	3,23	5,19	2,47	5,19	3,23	0,60	0,60	2,24	1,11	13,55	12,87	0,87	5,4	17	-		
285x3	285	3	30	2,5	26,75	3,28	5,27	2,47	5,27	3,28	0,60	0,60	2,24	1,14	13,83	13,15	0,87	5,4	17	-		
290x3	290	3	30,5	2,5	27,26	3,33	5,36	2,47	5,36	3,33	0,60	0,60	2,24	1,11	14,11	13,43	0,87	5,4	17	-		
295x3	295	3	31	2,5	27,77	3,38	5,44	2,47	5,44	3,38	0,60	0,60	2,24	1,14	14,39	13,71	0,87	5,4	17			



**ΠΙΝΑΚΑΣ 6**

**Πίνακας σωληνώσεων (\*)**

Όνομασία	DN												
	10	15	20	25	32	40	50	66	80	100	125	150	200
Εξωτερ. Διάμετρος d <sub>e</sub> mm	13,5	20	25	30	38	44,5	57						
Για σπείρωμα σωλήνια κατά DIN 259 κατ. 2899	R ¾"												
Πάχος τοιχώματος s mm	1,6	2	2	2,6	2,8	2,8	2,9						
Εσωτ. Διάμετρος d <sub>i</sub> mm	9,9	16	21	24,8	32,8	39,3	51,2						
Βάρος G kg/m	0,522	0,89	1,13	1,77	2,29	2,7	3,9						
Όγκος V Lit/m	0,077	0,201	0,346	0,483	0,645	1,213	2,059						
Επιφάνεια A <sub>0</sub> m <sup>2</sup> /m	0,042	0,063	0,078	0,094	0,12	0,14	0,179						
Διατομή Χαλύβα A <sub>0</sub> cm <sup>2</sup>	0,96	1,13	1,46	2,24	2,89	3,42	4,93						
Ροπή αδράνειας I cm <sup>4</sup>	0,12	0,46	0,96	2,12	4,55	7,54	18,1						
Ροπή Αντίρροπης W cm <sup>3</sup>	0,17	0,46	0,77	1,41	2,4	3,39	6,35						
Ακτίνα Αδρανείας I cm	0,42	0,64	0,82	0,87	1,25	1,45	1,92						
Ακτίνα R = 1,5·d <sub>i</sub> mm	-	-	27,5	33,5	45	51	72						
Συντελ. Karman K	-	-	0,25	0,28	0,23	0,16	0,17						
Ακτίνα R = 2,5·d <sub>e</sub> mm	-	-	52,5	62,5	82,5	97,5	127,5						
Συντελ. Karman K	-	-	0,46	0,52	0,42	0,34	0,3						
Εξωτερ. Διάμετρος d <sub>e</sub> mm	17,2	21,3	26,3	33,7	42,4	48,3	60,3	76,1	88,9	114,3	139,7	168,3	219,1
Για σπείρωμα σωλήνια κατά DIN 259 κατ. 2899	R ¾"	R ¾"	R ¾"	R 1"	R 1¼"	R 1¼"	R 2"	R 2½"	R 3"	R 4"	R 5"		
Πάχος τοιχώματος s mm	1,8	2	2,3	2,6	2,8	2,8	2,9	2,9	3,2	3,6	4	4,5	5,9
Εσωτ. Διάμετρος d <sub>i</sub> mm	13,6	17,3	22,3	28,5	37,2	43,1	54,5	70,3	82,5	107,1	131,7	159,3	207,3
Βάρος G kg/m	0,89	0,982	1,41	2,01	2,57	2,95	4,14	5,28	6,81	9,9	13,5	18,1	31
Όγκος V Lit/m	0,201	0,235	0,391	0,538	1,87	1,459	2,333	3,882	5,348	9,009	13,62	19,93	33,75
Επιφάνεια A <sub>0</sub> m <sup>2</sup> /m	0,054	0,067	0,084	0,106	0,133	0,152	0,189	0,239	0,279	0,36	0,438	0,529	0,688
Διατομή Χαλύβα A <sub>0</sub> cm <sup>2</sup>	0,87	1,21	1,78	2,54	3,26	3,73	5,23	6,87	8,82	12,5	17,1	23,2	39,5
Ροπή αδράνειας I cm <sup>4</sup>	0,26	0,57	1,36	3,09	6,46	9,78	21,8	44,7	79,2	182	393	777	2247
Ροπή Αντίρροπης W cm <sup>3</sup>	0,3	0,53	1,01	1,84	3,05	4,05	7,16	11,8	17,8	33,6	55,2	92,4	205
Ακτίνα Αδρανείας I cm	0,55	0,69	0,87	1,1	1,41	1,62	2,03	2,59	3,03	3,92	4,8	5,79	7,54
Ακτίνα R = 1,5·d <sub>i</sub> mm	-	-	26,5	38	47,5	57	76	95	114,5	152,5	190,5	228,5	306
Συντελ. Karman K	-	-	0,26	0,25	0,19	0,17	0,15	0,13	0,12	0,11	0,1	0,09	0,1
Ακτίνα R = 2,5·d <sub>e</sub> mm	-	-	57,5	72,5	92,5	107,5	135	175	205	270	330	390	510
Συντελ. Karman K	-	-	0,53	0,47	0,37	0,32	0,29	0,23	0,22	0,19	0,17	0,15	0,15



**ΠΙΝΑΚΑΣ 7****Πίνακας σωληνώσεων (2)**

d x e		Βάρος kg/m	Λοιπά Πάχη Τοιχώματος σε mm									
mm	mm		1,4	1,6	1,8	2,0	2,3	2,6	2,9	3,2	3,6	4,0
10,2	1,6	0,344	0,308	0,344	0,378	0,410						
13,5	1,8	0,522	0,420	0,472	0,522	0,571						
16,0	1,8	0,632	0,505	0,569	0,632	0,692						
17,2	1,8	0,666	0,549	0,620	0,688	0,754	0,850	0,942	1,03			
20,0	2,0	0,890	0,644	0,728	0,810	0,890	1,01	1,12	1,22			
21,3	2,0	0,962	0,694	0,785	0,874	0,962	1,09	1,21	1,33	1,44	1,59	1,72
25,0	2,0	1,13	0,815	0,923	1,03	1,13	1,29	1,44	1,58	1,72	1,90	2,07
26,9	2,0	1,24	0,886	1,01	1,12	1,24	1,41	1,57	1,73	1,89	2,09	2,28
30,0	2,0	1,39	0,997	1,13	1,26	1,39	1,59	1,77	1,96	2,14	2,37	2,59
31,8	2,0	1,48	1,06	1,20	1,34	1,48	1,66	1,86	2,08	2,27	2,52	2,76
33,7	2,0	1,57	1,12	1,26	1,43	1,57	1,79	2,01	2,22	2,42	2,69	2,95
38,0	2,0	1,79	1,27	1,45	1,62	1,79	2,04	2,29	2,53	2,77	3,08	3,38
42,4	2,0	2,01	1,43	1,62	1,82	2,01	2,28	2,57	2,84	3,11	3,47	3,81
44,5	2,0	2,11	1,50	1,70	1,91	2,11	2,41	2,70	2,99	3,28	3,65	4,02
48,3	2,3	2,63	1,63	1,86	2,08	2,30	2,63	2,95	3,27	3,59	4,00	4,41
51,0	2,3	2,78	1,72	1,96	2,20	2,43	2,78	3,12	3,46	3,79	4,23	4,66
57,0	2,3	3,13	1,94	2,20	2,47	2,74	3,13	3,52	3,90	4,28	4,78	5,27
60,3	2,3	3,31	2,05	2,33	2,62	2,90	3,31	3,73	4,14	4,54	5,07	5,59
63,5	2,3	3,50	2,16	2,46	2,76	3,06	3,50	3,93	4,36	4,79	5,36	5,91
70,0	2,6	4,35	2,38	2,72	3,05	3,37	3,86	4,35	4,83	5,30	5,93	6,55
76,1	2,6	4,75	2,60	2,96	3,32	3,68	4,22	4,75	5,28	5,80	6,49	7,17
82,8	2,6	5,16	2,82	3,22	3,61	4,00	4,58	5,16	5,74	6,31	7,06	7,80
88,9	2,9	6,20	3,04	3,47	3,89	4,32	4,85	5,57	6,20	6,81	7,63	8,43
101,6	2,9	7,11				4,95	5,67	6,39	7,11	7,82	8,76	9,70
108,0	2,9	7,57				5,27	6,04	6,81	7,57	8,33	9,33	10,3
114,3	3,2	8,83				5,58	6,40	7,21	8,03	8,83	9,90	11,0
127,0	3,2	9,84				6,21	7,13	8,04	8,94	9,84	11,0	12,2
133,0	3,6	11,6				6,52	7,48	8,43	9,39	10,3	11,6	12,8
139,7	3,6	12,2				6,84	7,85	8,86	9,86	10,9	12,2	13,5
152,4	4,0	14,7				7,47	8,58	9,68	10,8	11,9	13,3	14,7
159,0	4,0	15,4				7,80	8,95	10,1	11,2	12,4	13,9	15,4
165,1	4,0	16,0							11,7	12,9	14,4	16,0
168,3	4,0	16,3							11,9	13,1	14,7	16,3
177,8	4,5	19,2							12,6	13,9	15,6	17,3
193,7	4,5	20,9							13,7	15,1	17,0	18,8
219,1	4,5	23,7								17,2	19,3	21,4
244,5	5,0	29,5								19,2	21,5	23,9
267,0	5,0	32,3								21,0	23,5	26,1
273,0	5,0	33,0								21,5	24,1	26,7
298,0	5,6	40,3								23,5	26,4	29,3
323,8	5,6	43,8								25,5	28,6	31,8
355,6	5,6	48,2								28,0	31,5	34,9

Συγκολλητοί χαλυβοσωλήνες κατά DIN 2458 (Βάρη ειρθεμένα με  $\rho = 7,85 \text{ kg/dm}^3$ )

**ΠΙΝΑΚΑΣ 8**

<b>Αναλαμβανόμενη Δύναμη από έναν Εφαρμοσμένο Κοχλία για Δομικά Έργα από S137. Ποιότητα κοχλία 4D.</b>													
Συμβολισμός	M12		M16		M20		M22		M24		M27		
$d_1$ mm	12		17		21		23		25		28		
$F_1$ cm <sup>2</sup>	1,33		2,27		3,46		4,15		4,91		6,16		
Φόρτιση	H	HZ	H	HZ	H	HZ	H	HZ	H	HZ	H	HZ	
$\tau_{\text{απ.}}$ tn/cm <sup>2</sup>	1,4	1,6	1,4	1,6	1,4	1,6	1,4	1,6	1,4	1,6	1,4	1,6	
$N^*_{\tau}$ tn	1,86	2,12	3,18	3,63	4,85	5,64	5,82	6,650	6,87	7,85	8,62	9,85	
$N^*_{\tau}$ tn	3,72	4,25	6,36	7,26	9,70	11,08	11,64	13,30	13,74	15,7	17,24	19,70	
$\sigma_{\tau \text{απ}}$ tn/cm <sup>2</sup>	2,8	3,2	2,8	3,2	2,8	3,2	2,8	3,2	2,8	3,2	2,8	3,2	
N <sub>r</sub> σε τόνοι, για πάχος t σε mm	4	1,46	1,66	1,80	2,18	2,35	2,69	2,58	2,94	2,80	3,20	3,14	3,58
	5	1,82	2,08	2,38	2,72	2,94	3,36	3,22	3,68	3,50	4,00	3,92	4,48
	6	2,18	2,50	2,86	3,26	3,53	4,03	3,86	4,42	4,20	4,80	4,70	5,38
	7	2,55	2,91	3,33	3,81	4,12	4,70	4,51	5,15	4,90	5,60	5,49	6,27
	8	2,91	3,33	3,81	4,35	4,70	5,38	5,15	5,89	5,60	6,40	6,27	7,17
	9	3,28	3,74	4,28	4,90	5,29	6,05	5,80	6,62	6,30	7,20	7,06	8,08
	10	3,64	4,16	4,78	5,44	5,88	6,72	6,44	7,36	7,00	8,00	7,84	8,96
	11	4,00	4,58	5,24	5,98	6,47	7,39	7,08	8,10	7,70	8,80	8,62	9,86
	12	4,37	4,99	5,71	6,53	7,06	8,06	7,73	8,83	8,40	9,60	9,41	10,75
	13	4,73	5,41	6,19	7,07	7,64	8,74	8,37	9,57	9,10	10,40	10,19	11,65
	14	5,10	5,82	6,68	7,62	8,23	9,41	9,02	10,30	9,80	11,20	10,98	12,54
	15	5,46	6,24	7,14	8,16	8,82	10,08	9,66	11,04	10,50	12,00	11,76	13,44
	16	5,82	6,66	7,62	8,70	9,41	10,75	10,30	11,78	11,20	12,80	12,54	14,34
	17	6,19	7,07	8,09	9,25	10,00	11,42	10,96	12,51	11,90	13,60	13,33	15,23
	18	6,55	7,49	8,57	9,79	10,58	12,10	11,58	13,25	12,60	14,40	14,11	16,13
	19	6,92	7,90	9,04	10,34	11,17	12,77	12,24	13,98	13,30	15,20	14,90	17,02
	20	7,28	8,32	9,52	10,88	11,76	13,44	12,88	14,72	14,00	16,00	15,68	17,92
$\sigma_{Z \text{απ.}}$ tn/cm <sup>2</sup>	1,12		1,12		1,12		1,12		1,12		1,12		
$N_z$ tn	0,832		1,579		2,464		3,091		3,550		4,693		

**ΠΙΝΑΚΑΣ 9**

**Αναλαμβανόμενη Δύναμη από έναν Συνήθη Κοχλία για Δομικά Έργα από St37. Ποσότητα κοχλία 40.**

Συμβολισμός	M12		M16		M20		M22		M24		M27		
$d_1$ mm	12		16		20		22		24		27		
$F_1$ cm <sup>2</sup>	1,13		2,01		3,14		3,8		4,52		5,73		
Φόρτιση	H	HZ	H	HZ	H	HZ	H	HZ	H	HZ	H	HZ	
$T_{0,στ}$ τν/cm <sup>2</sup>	1,12	1,26	1,12	1,26	1,12	1,26	1,12	1,26	1,12	1,26	1,12	1,26	
$N'_1$ τν	1,27	1,43	2,25	2,53	3,52	3,96	4,26	4,79	5,07	5,7	6,41	7,21	
$N'_1$ τν	2,53	2,85	4,50	5,07	7,04	7,92	8,51	9,56	10,13	11,4	12,83	14,43	
$\sigma_{ε,στ}$ τν/cm <sup>2</sup>	2,4	2,7	2,4	2,7	2,4	2,7	2,4	2,7	2,4	2,7	2,4	2,7	
N <sub>1</sub> σε τόνν. για πάχος t σε mm	4	1,15	1,30	1,54	1,73	1,92	2,16	2,11	2,38	2,30	2,58	2,59	2,92
	5	1,44	1,62	1,82	2,16	2,40	2,70	2,64	2,97	2,88	3,24	3,24	3,65
	6	1,73	1,94	2,30	2,59	2,88	3,24	3,17	3,56	3,46	3,89	3,89	4,37
	7	2,02	2,27	2,69	3,02	3,36	3,78	3,7	4,16	4,03	4,54	4,54	5,10
	8	2,30	2,59	3,07	3,46	3,84	4,32	4,22	4,75	4,61	5,18	5,18	5,83
	9	2,59	2,92	3,48	3,89	4,32	4,86	4,75	5,35	5,18	5,83	5,83	6,56
	10	2,86	3,24	3,84	4,32	4,80	5,40	5,28	5,94	5,78	6,48	6,48	7,28
	11	3,17	3,56	4,22	4,75	5,28	5,94	5,81	6,53	6,34	7,13	7,13	8,02
	12	3,46	3,89	4,61	5,18	5,76	6,48	6,34	7,13	6,91	7,78	7,78	8,75
	13	3,74	4,21	4,89	5,62	6,24	7,02	6,86	7,72	7,49	8,42	8,42	9,48
	14	4,03	4,54	5,38	6,05	6,72	7,56	7,39	8,32	8,06	9,07	9,07	10,21
	15	4,32	4,86	5,76	6,48	7,20	8,10	7,92	8,91	8,64	9,72	9,72	10,94
	16	4,61	5,18	6,14	6,91	7,68	8,64	8,45	9,50	9,22	10,37	10,37	11,66
	17	4,90	5,51	6,53	7,34	8,16	9,18	8,98	10,10	9,79	11,02	11,02	12,39
	18	5,18	5,83	6,91	7,78	8,64	9,72	9,50	10,69	10,37	11,66	11,66	13,12
	19	5,47	6,16	7,30	8,21	9,12	10,26	10,03	11,29	10,94	12,31	12,31	13,85
	20	5,76	6,48	7,68	8,64	9,60	10,80	10,56	11,88	11,52	12,96	12,96	14,53
	$\sigma_{\gamma,στ}$ τν/cm <sup>2</sup>	1,12		1,12		1,12		1,12		1,12		1,12	
	$N_2$ τν	0,832		1,579		2,464		3,091		3,550		4,693	

**ΠΙΝΑΚΑΣ 10****Συντελεστής Αυγισμού  $\Omega$  για Ράβδους από Δομικό Χάλυβα St33 και St37**

$\lambda$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	$\lambda$
20	1,04	1,04	1,04	1,05	1,05	1,06	1,06	1,07	1,07	1,08	20
30	1,08	1,09	1,09	1,10	1,10	1,11	1,11	1,12	1,13	1,13	30
40	1,14	1,14	1,15	1,16	1,16	1,17	1,18	1,19	1,19	1,20	40
50	1,21	1,22	1,23	1,23	1,24	1,25	1,26	1,27	1,28	1,29	50
60	1,30	1,31	1,32	1,33	1,34	1,35	1,36	1,37	1,39	1,40	60
70	1,41	1,42	1,44	1,45	1,46	1,48	1,49	1,50	1,52	1,53	70
80	1,55	1,56	1,58	1,59	1,61	1,62	1,64	1,66	1,68	1,69	80
90	1,71	1,73	1,74	1,76	1,78	1,80	1,82	1,84	1,86	1,88	90
100	1,90	1,92	1,94	1,96	1,98	2,00	2,02	2,05	2,07	2,09	100
110	2,11	2,14	2,16	2,18	2,21	2,23	2,27	2,31	2,35	2,39	110
120	2,43	2,47	2,51	2,55	2,60	2,64	2,68	2,72	2,77	2,81	120
130	2,85	2,90	2,94	2,99	3,03	3,08	3,12	3,17	3,22	3,26	130
140	3,31	3,36	3,41	3,45	3,50	3,55	3,60	3,65	3,70	3,75	140
150	3,80	3,85	3,90	3,95	4,00	4,06	4,11	4,16	4,22	4,27	150
160	4,32	4,38	4,43	4,49	4,54	4,60	4,65	4,71	4,77	4,82	160
170	4,88	4,94	5,00	5,05	5,11	5,17	5,23	5,29	5,35	5,41	170
180	5,47	5,53	5,59	5,66	5,72	5,78	5,84	5,91	5,97	6,03	180
190	6,10	6,16	6,23	6,29	6,36	6,42	6,49	6,55	6,62	6,69	190
200	6,75	6,82	6,89	6,96	7,03	7,10	7,17	7,24	7,31	7,38	200
210	7,45	7,52	7,59	7,66	7,73	7,81	7,88	7,95	8,03	8,10	210
220	8,17	8,25	8,32	8,40	8,47	8,55	8,63	8,70	8,78	8,86	220
230	8,93	9,01	9,09	9,17	9,25	9,33	9,41	9,49	9,57	9,65	230
240	9,73	9,81	9,89	9,97	10,05	10,14	10,22	10,3	10,39	10,47	240
250	10,55										250

**ΠΙΝΑΚΑΣ 11**

Στατικά μεγέθη συνεχούς δοκού ίσων ανοιγμάτων με ομοιόμορφη φόρτιση q									
Στατικά μεγέθη		Συνολικό πλήθος ανοιγμάτων						Μέγεθος	
		2	3	4	5	6	7		8
Αντιδράσεις στις στήριξεις	A	0,3750	0,4000	0,3929	0,3947	0,3942	0,3944	0,3943	q·l
	C <sub>I</sub>	1,2500	1,1000	1,1428	1,1317	1,1346	1,1337	1,1340	
	C <sub>II</sub>	-	-	0,9286	0,9736	0,9616	0,9649	0,9640	
	C <sub>III</sub>	-	-	-	-	1,0192	1,0070	1,0103	
	C <sub>IV</sub>	-	-	-	-	-	-	0,9948	
Ροπές στα στήριγματα (αρνητικές)	M <sub>I</sub>	-0,1250	-0,1000	-0,1071	-0,1053	-0,1058	-0,1056	-0,1057	q·l <sup>2</sup>
	M <sub>II</sub>	-	-	-0,0714	-0,0789	-0,0789	-0,0775	-0,0773	
	M <sub>III</sub>	-	-	-	-	-0,0865	-0,0845	-0,0850	
	M <sub>IV</sub>	-	-	-	-	-	-	-0,0825	
Μέγιστες ροπές ανοιγμάτων	maxM <sub>1</sub>	0,0703	0,0800	0,0772	0,0779	0,0777	0,0778	0,0777	q·l <sup>2</sup>
	maxM <sub>2</sub>	-	0,0250	0,0364	0,0332	0,0340	0,0338	0,0339	
	maxM <sub>3</sub>	-	-	-	0,0461	0,0433	0,0440	0,0438	
	maxM <sub>4</sub>	-	-	-	-	-	0,0405	0,0412	
Θέση μέγιστης ροπής από αριστερό στήριγμα ανοιγματος	x <sub>1</sub>	0,3750	0,4000	0,3930	0,3947	0,3942	0,3944	0,3943	l
	x <sub>2</sub>	-	0,5000	0,5357	0,5264	0,5327	0,5281	0,5283	
	x <sub>3</sub>	-	-	-	0,5000	0,4904	0,4930	0,4923	
	x <sub>4</sub>	-	-	-	-	-	0,5000	0,5026	
Βέλος κάμψης f	Ακραίων ανοιγμάτων	2,48	3,22	3,01	3,07	3,05	-	-	q·l <sup>4</sup> I
	Ενδιάμεσων ανοιγμάτων	2,48	0,248	0,865	1,050	1,34	-	-	

Για τα μεγέθη του πίνακα ισχύουν οι παρακάτω μονάδες :

- \* Φόρτιση q σε tn/m.
- \* Μήκος l και αποστάσεις x<sub>1</sub>, x<sub>2</sub>, .... σε m.
- \* Βέλος κάμψης f σε cm.
- \* Αντιδράσεις A, B, C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, .... σε tn.
- \* Ροπές M<sub>I</sub>, M<sub>II</sub>, ...., maxM<sub>1</sub>, maxM<sub>2</sub>, .... σε tn·m.
- \* Ροπή αδρανείας I σε cm<sup>4</sup>.
- \* Μέτρο ελαστικότητας χαλύβων E=2100tn/cm<sup>2</sup>.

Για τον υπολογισμό της αριθμητικής τιμής ενός μεγέθους πολλαπλασιάζουμε τα στοιχεία της τελευταίας στήλης με την ένδειξη "Μέγεθος" με τον αντίστοιχο συντελεστή του πίνακα.  
Επειδή η δοκός είναι συμμετρική ως προς το μέσον αυτής στον πίνακα δίνονται τα μεγέθη για τον μισό φορέα.



**ΠΙΝΑΚΑΣ 12**

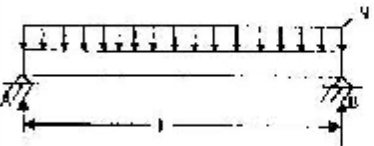
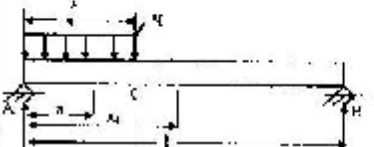
**Στατικά μεγέθη αμφιέρεντων δοκών με συγκεντρωμένα φορτία P (ένα ή περισσότερα φορτία σε ασυμμετρικές θέσεις)**

Γενικοί τύποι υπολογισμού στατικών μεγεθών :		Αριθμός φορτίων P	Συντελεστής για μέγιστη ροπή κάμψης (maxM)	Συντελεστής για μέγιστο βέλος κάμψης (maxf)
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Αντιδράσεις στηρίξεων : <math>A \neq B \neq P/2</math></li> <li>- Μέγιστη ροπή κάμψης : <math>\max M = m \cdot P \cdot l</math></li> <li>- Μέγιστο βέλος κάμψης : <math>\max f = k \cdot P \cdot l^3 / I</math></li> </ul>				
1	Αποστάσεις φορτίων ίσες	n	m	k
1		1	0,250	9,821
		2	0,333	16,60
		3	0,500	23,56
		4	0,600	30,00
		5	0,750	36,38
		6	0,857	42,69
2	Αποστάσεις φορτίων κατά το ήμισυ στα άκρα	2	0,250	13,64
2		3	0,417	19,47
		4	0,500	25,42
		5	0,650	31,51
		6	0,750	37,62

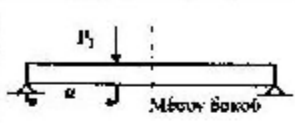
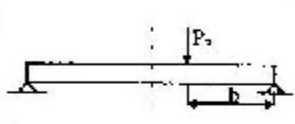
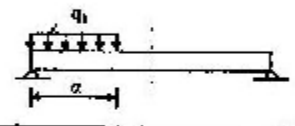

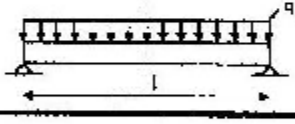



1. Η μέγιστη ροπή και το μέγιστο βέλος κάμψης στις παραπάνω περιπτώσεις προκύπτουν στο μέσον της δοκού.  
 2. Για τα μεγέθη του πίνακα ισχύουν οι παρακάτω μονάδες :

- Φορτία P σε tn.
- Μήκος l και αποστάσεις x, a, b σε m.
- Βέλος κάμψης f σε cm.
- × Αντιδράσεις A και B σε tn.
- × Ροπή M σε tn·m και Ροπή αδρανείας I σε cm<sup>4</sup>.
- Μέτρο ελαστικότητας χαλύβων E=2100tn/cm<sup>2</sup>.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 13**

Στατικά μεγέθη αμφιρέσιτων δοκών με ομοιόμορφη φόρτιση q		
Αριθμ.	Είδος φόρτισης	Τύποι υπολογισμού
3	<p>Ομοιόμορφη φόρτιση σε όλο το μήκος l</p> 	<p>Αντιδράσεις στηρίξεων :</p> $A = B = \frac{q \cdot l}{2}$ <p>Μέγιστη ροπή κάμψης (στο μέσον του ανοίγματος) :</p> $\max M = \frac{q \cdot l^2}{8}$ <p>Μέγιστο βέλος κάμψης (στο μέσον του ανοίγματος) :</p> $\max f = \frac{5 \cdot 10^6}{384} \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I}$
4	<p>Ομοιόμορφη φόρτιση σε μήκος a</p> 	<p>Αντιδράσεις στηρίξεων :</p> $A = \frac{q \cdot a}{2 \cdot l} \cdot (2l - a) \qquad B = \frac{q \cdot a^2}{2 \cdot l}$ <p>Μέγιστη ροπή κάμψης :</p> $\max M = \frac{q \cdot a^2}{8 \cdot l^3} \cdot (2l - a)^2 \text{ στην θέση } x = \frac{a}{2 \cdot l} \cdot (2l - a)$ <p>Μέγιστο βέλος κάμψης για <math>a \leq 0,453 \cdot l</math> :</p> $\max f = 11,140 \cdot \frac{q \cdot a}{1 + \Sigma I} \cdot \sqrt{(2l^3 - a^3)^3} \text{ σε απόσταση } x_1$ <p>από το Α μεταξύ Β και C <math>x_1 = 3 - 0,408 \sqrt{2l^3 - a^3}</math></p>
<p>Για τα μεγέθη ισχύουν οι παρακάτω μονάδες :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✖ Φόρτιση q σε tn/m</li> <li>✖ Μήκος l και αποστάσεις x, x1, a σε m</li> <li>✖ Βέλος κάμψης f σε cm</li> <li>✖ Αντιδράσεις A και B σε tn</li> <li>✖ Ροπή M σε tn·m και Ροπή αδράνειας I σε cm<sup>4</sup></li> <li>✖ Μέτρο ελαστικότητας χαλύβων E=2100tn/cm<sup>2</sup></li> </ul>		

**ΠΙΝΑΚΑΣ 14**


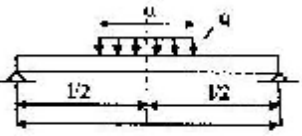
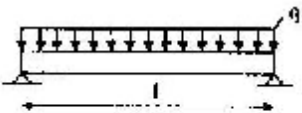
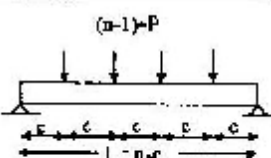
<b>Τιμές S και D για υπολογισμό βέλους κάμψης αμφιέριστην δοκών</b>			
Αριθμ.	Είδος φορτίσεως	S tn·m	D tn·m <sup>3</sup>
5		$P_1 \cdot a$	$P_1 \cdot a^3$
6		$P_2 \cdot b$	$P_2 \cdot b^3$
7		$\frac{1}{2} \cdot q_1 \cdot a^2$	$\frac{1}{4} \cdot q_1 \cdot a^4$
8		$\frac{1}{2} \cdot q_2 \cdot b^2$	$\frac{1}{4} \cdot q_2 \cdot b^4$
9		$\frac{1}{4} \cdot q \cdot l^2$	$\frac{1}{32} \cdot q \cdot l^4$
10		$\frac{1}{2} \cdot q_1 \cdot (a_2^2 - a_1^2)$	$\frac{1}{4} \cdot q_1 \cdot (a_2^4 - a_1^4)$
11		$\frac{1}{2} \cdot q_2 \cdot (b_2^2 - b_1^2)$	$\frac{1}{4} \cdot q_2 \cdot (b_2^4 - b_1^4)$
12		$\frac{1}{4} \cdot q \cdot (l^2 - 2a^2 - 2b^2)$	$\frac{1}{32} \cdot q \cdot (l^4 - 8a^4 - 8b^4)$

Για τα μεγέθη του πίνακα ισχύουν οι παρακάτω μονάδες :

- ✱ Φορτία  $P_1, P_2$  σε tn.
- ✱ Φορτίσεις  $q, q_1, q_2$  σε tn/m.
- ✱ Μήκος  $l$  και αποστάσεις  $a, b, a_1, b_1, a_2, b_2$  σε m.



**ΠΙΝΑΚΑΣ 15**

<b>Αντιδράσεις και ροπές κάμψεως αμφίτακτων δοκών</b>			
Αριθμ.	Φόρτιση		
13		$A - B = \frac{P \cdot a}{2}$	$M_A = M_B = -\frac{P \cdot a}{24l} (3l^2 - a^2)$
14		$A - B = \frac{P \cdot l}{2}$	$M_A = M_B = -\frac{P \cdot l^2}{12}$ $M_n = \frac{P \cdot l^2}{24}$
15		$A - B = \frac{n-1}{2} \cdot P$	$M_A = M_B = -\frac{P \cdot l}{12} \left( n - \frac{1}{n} \right)$ $M_n = \frac{P \cdot l}{24} \left( n - \frac{1}{n} \right)$
<p>Για τα μεγέθη του πίνακα ισχύουν οι παρακάτω μονάδες :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>× Φορτία <math>P_1, P_2</math> σε kn.</li> <li>× Φορτίσεις <math>q, q_1, q_2</math> σε kn/m.</li> <li>× Μήκος <math>l</math> και αποστάσεις <math>a, b, a_1, b_1, a_2, b_2</math> σε m.</li> </ul>			

10

## ΠΙΝΑΚΑΣ 16

Καταστατικά μεγέθη νερού και ατμού σε κορεσμό

Θερμοκρασία t (°C)	Πίση P (atm)	Ειδικός όγκος νερού u' (l/m <sup>3</sup> /kg)	Ειδικός όγκος ατμού u'' (m <sup>3</sup> /kg)	Πυκνότητα ατμού ρ'' (kg/m <sup>3</sup> )	Ενθαλπία νερού 1' (kcal/kg)	Ενθαλπία ατμού 1'' (kcal/kg)	Εντροπία νερού s' (kcal/kg K)	Εντροπία ατμού s'' (kcal/kg K)
0	0,006228	1,0002	206,3000	0,004847	0	597,2	0	2,1865
5	0,008894	1,0000	147,1000	0,007198	5,03	599,4	0,0182	2,1862
10	0,012617	1,0002	106,4000	0,009359	10,40	601,6	0,0361	2,1264
15	0,017381	1,0008	77,9600	0,012830	15,04	603,8	0,0536	2,0969
20	0,023030	1,0017	57,8400	0,017290	20,09	605,0	0,0703	2,0697
25	0,032290	1,0029	43,4600	0,023040	25,02	608,2	0,0878	2,0438
30	0,043290	1,0043	32,9400	0,030360	30,00	610,4	0,1042	2,0186
35	0,05732	1,0069	25,2500	0,039900	34,96	612,5	0,1205	1,9947
40	0,075190	1,0078	19,5600	0,051130	39,97	614,7	0,1366	1,9718
45	0,097700	1,0099	15,2800	0,065440	44,96	616,8	0,1524	1,9497
50	0,126770	1,0121	12,0500	0,082990	49,94	618,9	0,1679	1,9286
55	0,165600	1,0148	8,9830	0,104400	54,94	621,0	0,1832	1,9082
60	0,203100	1,0172	7,0820	0,130200	59,93	623,1	0,1983	1,8887
65	0,250000	1,0200	6,2090	0,161200	64,93	625,1	0,2132	1,8698
70	0,317800	1,0229	5,4700	0,198100	69,93	627,2	0,2279	1,8517
75	0,393100	1,0262	4,1350	0,241800	74,94	629,2	0,2424	1,8342
80	0,482900	1,0293	3,4100	0,293300	79,86	631,2	0,2567	1,8173
85	0,589400	1,0327	2,8290	0,353500	84,96	633,1	0,2708	1,8011
90	0,714900	1,0363	2,3610	0,423500	89,98	635,0	0,2847	1,7864
95	0,861900	1,0400	1,9982	0,504500	95,01	636,9	0,2984	1,7702
100	1,033230	1,0436	1,6730	0,597700	100,05	638,8	0,3120	1,7556
105	1,231800	1,0479	1,4180	0,704700	105,09	640,6	0,3254	1,7413
110	1,460600	1,0520	1,2100	0,828400	110,14	642,4	0,3387	1,7276
115	1,723800	1,0563	1,0380	0,969200	115,20	644,2	0,3518	1,7148
120	2,024500	1,0606	0,8913	1,122000	120,30	645,9	0,3647	1,7014
125	2,366600	1,0654	0,7700	1,289000	125,30	647,6	0,3775	1,6890
130	2,754400	1,0702	0,6879	1,487000	130,40	649,3	0,3902	1,6768
135	3,192000	1,0751	0,6317	1,719000	135,50	650,9	0,4028	1,6652
140	3,685000	1,0820	0,5983	1,987000	140,70	642,5	0,4152	1,6539
145	4,237000	1,0855	0,4459	2,243000	145,80	654,0	0,4275	1,6427

**ΠΙΝΑΚΑΣ 17**

Υλικό	Χαρακτηριστική τιμή αντοχής K σε N/mm <sup>2</sup> για °C										
	20	50	100	120	160	200	250	300	350	400	
Ελάσματα από χάλυβα κατασκευών DIN17100	US1 34-1, RSt 34-1	175	171	165	165						
	US1 37-1, RSt 37-1	205	198	187	187						
	US1 34-2, RSt 34-2	175	171	165	165	154	143	127	108		
	US1 37-2, RSt 37-2, St 37-3	205	198	187	187	174	161	143	122		
	RSt 46-2, St 46-3	235	228	216	216	201	186	177	147		
Μορφοποιημένος & σφυρίλατος χάλυβας DIN17100	St 52-3	314	291	255	255	240	226	206	186		
	US1 34-2, RSt 34-2	175	171	165	165	154	143	127	108		
	US1 37-2, RSt 37-2, St 37-3	205	198	187	187	174	161	143	122		
	US1 42-2, RSt 42-2	225	218	206	206	191	176	167	137		
	St 52-3	314	291	254	254	240	226	206	186		
Σωλήνες DIN1626 και 1629	St 34-2	175	175	165	165	154	143	127	108		
	St 35, St 37-2	205	205	187	187	174	161	143	122		
	St 45, RSt 42-2	220	220	205	205	191	178	161	139		

**ΠΙΝΑΚΑΣ 18**

**ΔΙΝ 6618 (Για υπέργειες δεξαμενές)**

Όγκος	m <sup>3</sup>	5	7	10	[13]	16	20	25	30	40	50	60	80	100
Διάμετρος	d <sub>1</sub>	1600												
Συνολικό μήκος	l	2820	3740	5350	6960	8570	9980	8540	10120	8800	10800	12800	12750	15850
Υψος	h	260												
Πάχος	δ <sub>1</sub>	5												
		500												
		600												
		2												
δ <sub>1</sub>		1200												
b <sub>1</sub>		350												
Βάρος	kg	625												
Τύπος Α		740	830	1250	1550	1850	2400	2950	3400	4400	5300	6300	9500	11500
Τύπος Β		790	980	1300	1600	1900	2450	2900	4350	4450	5350	6350	9550	11600

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ανδρέα Χρ. Γιαννόπουλου, Μεταλλικές Κατασκευές, Εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα 2005.
2. Γρ. Ε. Φουρναράκου, Σιδηρές Κατασκευές, Τόμος 1<sup>ος</sup>, Αθήνα 1990.
3. Γρ. Ε. Φουρναράκου, Σιδηρές Κατασκευές, Τόμος 2<sup>ος</sup>, Αθήνα 1990.
4. Γρ. Ε. Φουρναράκου, Σιδηρές Κατασκευές, Τόμος 1<sup>ος</sup>, Αθήνα 1986.
5. Αλέξανδρου Γ. Τζιόλα, Σιδηρές Κατασκευές, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη 1988.
6. Θεοφάνη Α. Γεωργόπουλου, Υπολογισμοί Κατασκευών-Εφαρμοσμένη στατική, Τόμος Α & Β, Πάτρα 1996.
7. Ιωάννη Κ. Στεργίου – Κωνσταντίνου Ι. Στεργίου, Στοιχεία Μηχανών Ι, Εκδόσεις Σύγχρονη Εκδοτική, Αθήνα 2003.
8. Αντ. Δ. Κωστέα, Σιδηρά Δομικά Έργα, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα 1978.