

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

# **ΜΕΛΕΤΗ ΞΥΛΙΝΗΣ ΠΕΖΟΓΕΦΥΡΑΣ ΠΑΤΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΗ**



**ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ: ΒΑΪΛΑΣ ΑΝΔΡΕΑΣ  
ΚΑΛΟΥΔΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ: ΓΙΑΝΝΟΠΟΥΛΟΣ ΑΝΔΡΕΑΣ  
ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ  
ΚΡΟΥΣΤΑΛΛΗ ΑΝΘΟΥΛΑ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΣΥΝΕΡΓΑΤΙΔΑ**

**ΠΑΤΡΑ 2011**

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εκπονήθηκε στο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πατρών και αναφέρεται στην μελέτη ξύλινης πεζογέφυρας στην περιοχή της Πάτρας και σύγκριση με αντίστοιχη μεταλλική.

Αντικείμενο της Πτυχιακής Εργασίας είναι να γίνει πλήρη ανάλυση της πεζογέφυρας, υπολογίζοντας φορτία, διαστάσεις, τάσεις και επιλογή υλικών. Η μελέτη της γέφυρας θα γίνει τόσο για ξύλινη κατασκευή όσο και για μεταλλική.

Θα θέλαμε ιδιαίτερα να ευχαριστήσουμε τους καθηγητές τον κ. Ανδρέα Γιαννόπουλο, Αναπληρωτή Καθηγητή του Τμήματος Μηχανολογίας Πατρών και την κα. Ανθή Κρουστάλλη Εργαστηριακή Συνεργάτιδα του Τμήματος Μηχανολογίας Πατρών, οι οποίοι μας βοήθησαν κατά τη διάρκεια της παρούσας εργασίας. Η καθοδήγηση και η εμπειρία, ιδιαίτερα του κ. Γιαννόπουλου, που μας μετέδωσαν ήταν σημαντικές για την διεκπεραίωση αυτής της εργασίας.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αναλύει και επιλύει μια ήδη υπάρχουσα ξύλινη πεζογέφυρα που βρίσκεται κοντά στο λιμάνι της Πάτρας. Αναλύονται οι δυνάμεις και τα φορτία και κατόπιν υπολογίζεται σε καταπόνηση τόσο για υλικό κατασκευής το ξύλο όσο και για μεταλλική κατασκευή.

Η εργασία χωρίζεται σε δύο κεφάλαια όπου γίνεται τόσο μια πλήρη αναφορά στις γέφυρες, ιστορική αναδρομή, είδη κλπ, όσο και στην πλήρη ανάλυση της κατασκευής της.

Στο πρώτο κεφάλαιο αναφέρονται όλα τα είδη των γεφυρών, με εκτεταμένη ιστορική αναδρομή αυτών, καθώς επίσης παρατίθεται μια σειρά από ήδη κατασκευασμένες γέφυρες, είτε αυτές είναι ξύλινες είτε μεταλλικές, με διαφορετικό τρόπο κατασκευής η κάθε μια.

Στο δεύτερο κεφάλαιο μελετάται η ξύλινη πεζογέφυρα. Αρχικά γίνεται ο σχεδιασμός της γέφυρας, με υπολογισμό των διαστάσεων και γωνιών και προστίθεται τα φορτία με βάση τα οποία θα γίνει η μελέτη. Με εκτενή λεπτομέρεια κατασκευάζονται τα διαγράμματα των αξονικών και τεμνουσων δυνάμεων καθώς επίσης και το καμπτικό διάγραμμα. Με βάση το μέγιστο καταπονούμενο σημείο γίνεται κατόπιν η διαστασιολόγηση της γέφυρας, τόσο για ξύλινη όσο και για χαλύβδινη.

Στο τέλος υπάρχει ένα παράρτημα με διάφορα μηχανολογικά σχέδια κατασκευασμένα σε δισδιάστατη και τρισδιάστατη σχεδίαση με χρήση του σχεδιαστικού προγράμματος AUTOCAD LT.

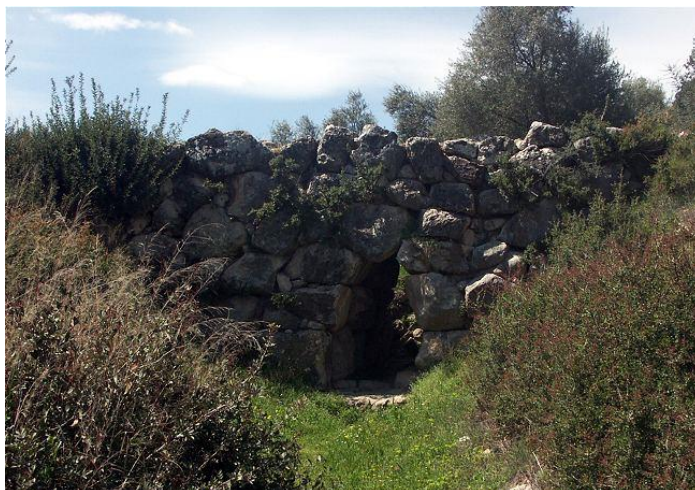
## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	2
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
1. ΓΕΦΥΡΕΣ	
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	5
1.2 ΓΕΦΥΡΑ	9
1.2.1 ΟΡΙΣΜΟΙ	11
1.2.2 ΤΥΠΟΙ ΓΕΦΥΡΩΝ	12
1.2.3 ΚΡΕΜΑΣΤΕΣ ΚΑΙ ΚΑΛΩΔΙΩΤΕΣ ΓΕΦΥΡΕΣ	13
1.2.3.1 ΚΡΕΜΑΣΤΕΣ ΓΕΦΥΡΕΣ	13
1.2.3.2 ΚΑΛΩΔΙΩΤΗ ΓΕΦΥΡΑ	14
1.3 ΓΕΦΥΡΑ ΣΕ ΔΟΚΟΥΣ	15
1.4 ΠΛΩΤΗ ΓΕΦΥΡΑ	15
1.5 ΓΕΦΥΡΕΣ ΚΟΣΜΟΥ	16
2. ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΖΟΓΕΦΥΡΑΣ	
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	28
2.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ	30
2.2.1 ΦΟΡΤΙΑ ΠΕΖΟΓΕΦΥΡΑΣ	30
2.2.2 ΜΕΛΕΤΗ ΣΚΑΛΟΠΑΤΙΟΥ	33
2.2.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΦΟΡΤΙΩΝ ΓΕΦΥΡΑΣ	34
2.3.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΞΥΛΙΝΗΣ ΠΕΖΟΓΕΦΥΡΑΣ	55
2.4 ΜΕΛΕΤΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΗΣ ΠΕΖΟΓΕΦΥΡΑΣ	56
2.4.1 ΕΠΙΛΟΓΗ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΔΟΚΟΥ	56
2.4.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΟΚΩΝ ΣΕ ΚΑΜΨΗ	58
2.4.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΟΚΩΝ ΣΕ ΘΛΙΨΗ	59
2.4.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΟΚΩΝ ΣΕ ΛΥΓΙΣΜΟ	60
2.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	61
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΣΧΕΔΙΩΝ	62
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΠΙΝΑΚΩΝ	66
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	71

## 1. ΓΕΦΥΡΕΣ

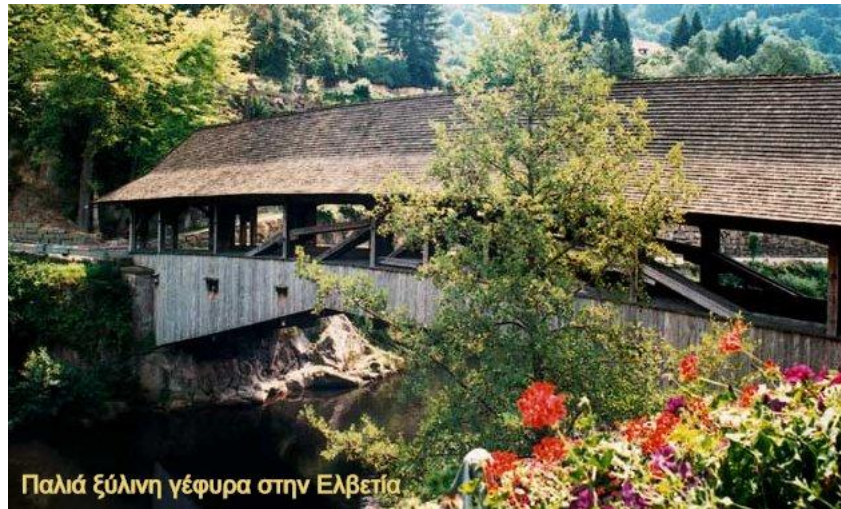
### 1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η κατασκευή γεφυρών πρέπει να είναι ένα από τα πρώτα έργα «υποδομής» τους ανθρώπου, τα οποία υλοποίησε εκ των ενόντων αξιοποιώντας κορμούς δέντρων που είχαν πέσει στο έδαφος. Οι γέφυρες από τους πρώτους ιστορικούς χρόνους ήταν πέτρινες ή ξύλινες, από τις οποίες έχουν διασωθεί μέχρι σήμερα πέτρινες μυκηναϊκές γέφυρες.



Σχήμα 1: Πέτρινη μυκηναϊκή γέφυρα

Οι ξύλινες γέφυρες που έχουν διασωθεί είναι σαφώς μικρότερης ηλικίας, λόγω του υλικού κατασκευής, το οποίο απαιτεί συνεχή συντήρηση.



Παλιά ξύλινη γέφυρα στην Ελβετία

Σχήμα 2: Ξύλινη γέφυρα

Οι Ρωμαίοι κατασκεύαζαν ήδη γέφυρες με ανοικτά τόξα, από πέτρα ή από το ειδικό μπετόν που είχαν αναπτύξει. Ένα δείγμα ρωμαϊκής γεφυροποιίας που διασώζεται ακόμα σε άριστη κατάσταση, είναι η γέφυρα Pont du Gard στη Γαλλία.



Σχήμα 3: Γέφυρα Pont du Gard

Ιστορικό ενδιαφέρον έχουν επίσης *κρεμαστές γέφυρες* στην Κίνα περί το 300 π.Χ. στην επαρχία Γιουνάν. Το ξύλινο δάπεδο της γέφυρας στην πόλη King-tung-fu κρεμόταν από αλυσίδες με κρίκους από σφυρήλατο σίδηρο. Ο Marco Polo (Πόλο, 1254-1324) περιέγραψε δώδεκα τέτοιες γέφυρες που γνώρισε κατά τα ταξίδια του

στην Κίνα. Ενδιαφέρουσες περιγραφές γι' αυτές τις γέφυρες υπάρχουν επίσης σε χειρόγραφα Περσών και Αράβων περιηγητών, σύγχρονων του Πόλο.

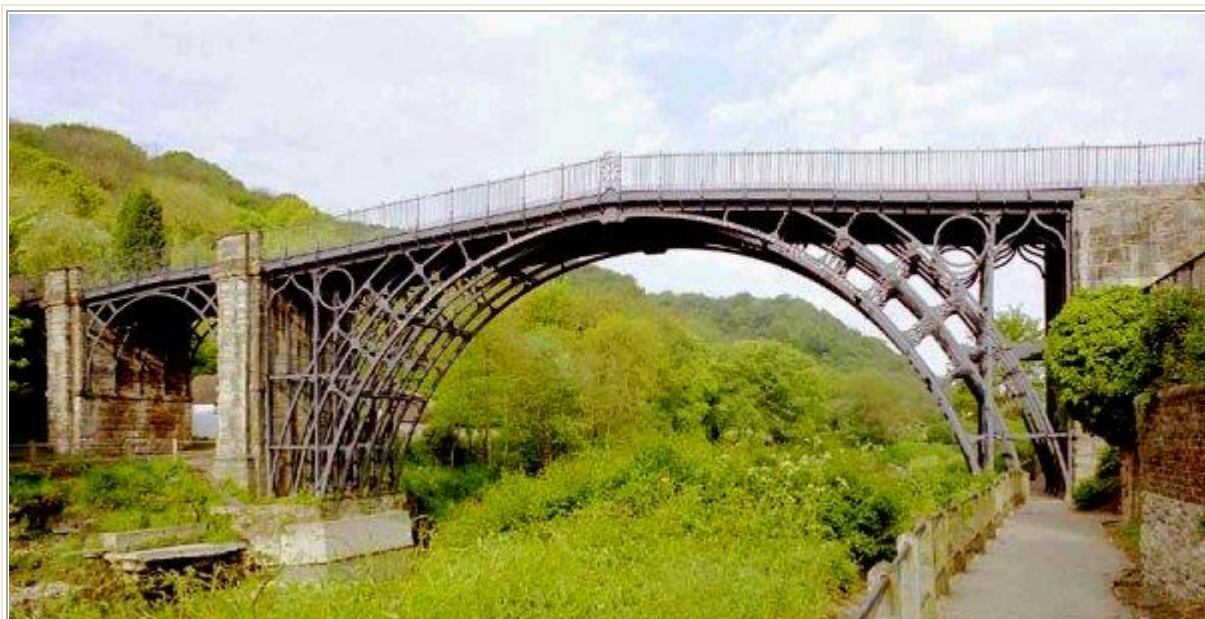
Στη νότια Αμερική είχαν εγκαταστήσει οι Ινδιάνοι Ίνκας ένα εκτεταμένο δίκτυο δρόμων κατά μήκος των εδαφών προς τον Ειρηνικό ωκεανό και πάνω στις Άνδεις, με πολλές κρεμαστές γέφυρες από σκοινιά. Μάλιστα, μερικές από αυτές τις γέφυρες ήταν κατασκευασμένες για δρομείς και άλλες για κοπάδια λάμα.

Μέχρι το 18<sup>ο</sup> αιώνα επικρατούσε στη γεφυροποιΐα η ρωμαϊκή τεχνική, με τις βελτιώσεις που καθιερώθηκαν από το 16<sup>ο</sup> αιώνα. Η πρώτη γέφυρα από σύγχρονο υλικό, *χυτοσίδηρο*, είναι η «Ironbridge» με άνοιγμα 30 μέτρων που κατασκεύασε ο μηχανικός Abraham Darby (Ντάρμπυ, 1750-1791) το έτος 1779 στο Coalbrookdale της Αγγλίας. Η βελτίωση στην επεξεργασία του χάλυβα έδωσε τη δυνατότητα να αυξηθεί η αντοχή του σε εφελκυσμό και να κατασκευαστούν με αυτό το υλικό μεγάλες κρεμαστές γέφυρες. Από τις πρώτες αυτού του είδους είναι η γέφυρα Μεναί στην Ουαλία με κεντρικό άνοιγμα 177 m και συνολικό μήκος 521 m.



Σχήμα 4: γέφυρα Μεναί στην Ουαλία

Κατασκευάστηκε από τον Thomas Telford (Τέλφορντ, 1757-1834) στα χρόνια 1818-1826.



Σχήμα 5: Γέφυρα από χυτοσίδηρο στο Coalbrookdale της Αγγλίας (1779)

Το επόμενο σύγχρονο υλικό, το μπετόν, αξιοποιήθηκε στη γεφυροποιία κατά το δεύτερο μέρος του 19<sup>ου</sup> αιώνα· η πρώτη γέφυρα αυτού του είδους, αν και μικρή, κατασκευάστηκε το έτος 1875 από τον Joseph Monier (Μονιέ, 1823-1906). Γέφυρες από σιδηροπαγές σκυρόδεμα με μεγάλα τόξα κατασκευάστηκαν τις πρώτες δεκαετίες του 20<sup>ου</sup> αιώνα. Μετά το β' παγκόσμιο πόλεμο αναπτύχθηκε η τεχνολογία του *προεντεταμένου σκυροδέματος* και οι νεότερες γέφυρες που ακατασκευάζονταν διέθεταν ακόμα μεγαλύτερα ανοίγματα και ήταν πιο λεπτές.



## 1.2 ΓΕΦΥΡΑ

Γέφυρα είναι η τεχνική κατασκευή με την οποία μπορούμε να πάμε από ένα μέρος σε άλλο, όταν μεταξύ τους υπάρχει εμπόδιο (ρεύμα ποταμού, χαράδρα σιδηροδρομική γραμμή κλπ.).

Οι γέφυρες συνήθως εξυπηρετούν συγκοινωνιακούς σκοπούς. Εκτός όμως απ' αυτούς, συχνά χρησιμοποιούνται και αλλού π.χ. για να περάσουν υδραγωγεία που μεταφέρουν νερό πάνω από ποταμούς, χαράδρες κλπ. Ανάλογες κατασκευές χρησιμοποιούνται επίσης για την εγκατάσταση μεγάλων πετρελαιαγωγών, που μεταφέρουν τα πετρέλαια σε τεράστιες αποστάσεις από τον τόπο της εξαγωγής στον τόπο της επεξεργασίας.

Μεγάλη εφαρμογή βρίσκει επίσης η γεφυροποιία στην πολεοδομική για την αποσυμφόρηση της κυκλοφορίας. Έτσι, σε ορισμένα κεντρικά σημεία των πόλεων, κατασκευάζονται γέφυρες στις οποίες κυκλοφορούν τα αυτοκίνητα, ενώ το κατάστρωμα του δρόμου μένει ελεύθερο για τους πεζούς.

Τα κύρια μέρη κάθε γέφυρας είναι δύο: τα βάθρα και το επίστρωμα (η επιδομή). Η κατασκευή των βάθρων προϋποθέτει τη θεμελίωση, που συχνά είναι και το δυσκολότερο πρόβλημα που αντιμετωπίζουν οι γεφυροποιοί, επειδή σε πολλές περιπτώσεις πρέπει να κατασκευαστούν τα θεμέλια στην αμμώδη κοίτη μεγάλων ποταμών με ορμητικά νερά. Τα νεότερα τεχνικά μέσα δίνουν σήμερα στους τεχνικούς αρκετές δυνατότητες για σχετικά εύκολη κατασκευή, έτσι, ώστε αυτοί να δημιουργούν έργα άξια θαυμασμού.

Πολλές φορές όμως είναι άξιοι μεγαλύτερου ακόμη θαυμασμού οι γεφυροποιοί των αρχαίων και μέσων χρόνων, γιατί με τα ατελή τεχνικά μέσα που διέθεταν και με τα μικρής αντοχής υλικά που χρησιμοποιούσαν κατάφεραν να κατασκευάσουν γέφυρες που ακόμη και σήμερα η κατασκευή τους θεωρείται δύσκολη. Διακρίνουμε τις γέφυρες, ανάλογα με το υλικό που χρησιμοποιείται για την κατασκευή τους, σε ξύλινες, πέτρινες, σιδερένιες, από μπετόν αρμέ ή και μεικτές. Οι ξύλινες είναι και οι αρχαιότερες. Άλλη διάκριση των γεφυρών είναι σε σταθερές και κινητές.

Οι κινητές γέφυρες κατασκευάζονται συνήθως σε σημεία στα οποία το έδαφος δε βρίσκεται πολύ πάνω από την επιφάνεια του νερού. Στην περίπτωση αυτή είναι

αναγκαστικό και το ύψος της γέφυρας μικρό, έτσι, ώστε να μη μπορούν να περνούν από κάτω τα μεγάλα πλοία. Σ' αυτές τις περιπτώσεις η γέφυρα αποτελείται από δύο κινητά τμήματα. Όταν είναι "κλειστή", τα δύο αυτά τμήματα είναι ενωμένα συνήθως στη μέση του ποταμού, της διώρυγας κλπ. και μπορούν έτσι να περάσουν πεζοί, τροχοφόρα κλπ. Όταν πρόκειται να περάσει πλοίο, η γέφυρα "ανοίγει" και τα δύο αυτά κομμάτια διαχωρίζονται. Άλλο είδος γέφυρας είναι η κρεμαστή.

Οι κρεμαστές γέφυρες χρησιμοποιούνται κυρίως για τη γεφύρωση μεγάλων ανοιγμάτων. Από την ιστορία μαθαίνουμε ότι ο πρώτος γεφυροποιός είναι η ίδια η φύση. Η εκδοχή αυτή είναι μάλλον απίθανη, αλλά είναι η μόνη που έχει επικρατήσει. Ένας δυνατός άνεμος ξερίζωσε και έριξε κάτω τον κορμό ενός πανύψηλου δέντρου που βρισκόταν στην πλευρά μιας χαράδρας ή μιας όχθης ποταμού. Και έπεσε με τέτοιο τρόπο, ώστε να γεφυρώσει το χάσμα που υπήρχε κάτω απ' αυτόν. Η πρώτη γέφυρα είχε δημιουργηθεί.

Από τότε, όποτε υπήρχε ανάγκη να χρησιμοποιήσουν γέφυρα οι πρωτόγονοι άνθρωποι, έκοβαν κορμούς από δέντρα και τους χρησιμοποιούσαν. Πότε ακριβώς έγινε αυτό είναι αδύνατο να καθοριστεί. Πρέπει όμως να παραδεχτούμε ότι οι άνθρωποι γνώρισαν τη γέφυρα στα πρώτα βήματα του πολιτισμού γιατί η συγκοινωνία ήταν και εξακολουθεί να είναι, μια από τις πιο επιτακτικές ανάγκες του ανθρώπου. Από τότε η γεφυροποιία έπαιξε σημαντικό ρόλο στην προαγωγή του πολιτισμού, μέχρι που έφτασε στην σημερινή τελειότητά της.

## 1.2.1 ΟΡΙΣΜΟΙ

### Γέφυρα

Η γέφυρα είναι μία αρχιτεκτονική ή τεχνική κατασκευή με την οποία επιτυγχάνεται ζεύξη δύο ή περισσότερων σημείων υπεράνω μεσολαβούντος εμποδίου (φυσικού ή τεχνικού).

Τα υλικά δόμησης μέχρι τον 19ο αιώνα ήταν ξύλο και πέτρες. Οι γέφυρες στον 6 αιώνα π.Χ. κατασκευάζονταν από ξύλο κυπαρισσιού και κέδρου. Την κατασκευή κυρτών γεφυρών κατείχαν οι Ρωμαίοι στα προχριστιανικά χρόνια και τα υλικά που χρησιμοποιούνταν ήταν φυσικοί λίθοι και σκυρόδεμα. Το 1779 κατασκευάστηκε η πρώτη γέφυρα από χυτοσίδηρο στην Αγγλία, πάνω από τον ποταμό Σέβερν (Severn) γνωστή και ως *Ironbridge*. Η επόμενη εξέλιξη ήταν η αλυσσοδετή κρεμαστή γέφυρα. Η πρώτη σημαντική γέφυρα αυτού του τύπου κατασκευάστηκε στην Ουαλία το 1826: η απόσταση των στηριγμάτων ήταν 177 μ. και το συνολικό της μήκος 521 μ. Με την εξέλιξη του μπετόν δημιουργήθηκαν νέες δυνατότητες στην κατασκευή γεφυρών στις αρχές του 20ού αιώνα.



Σχήμα 6: Το γιοφύρι της Άρτας

## 1.2.2 ΤΥΠΟΙ ΓΕΦΥΡΩΝ

Γενικά οι γέφυρες διακρίνονται:

1. Ανάλογα με τη χρήση ή τον τύπο του φορέα, σε "οδικές", "σιδηροδρομικές", "πεζών" και "πεζών και ποδηλάτων", υδατογέφυρες κ.λπ..
2. Εκ του υλικού κατασκευής, σε "ξύλινες" (οι αρχαιότερες), "λίθινες" (αψιδωτές ή τοξωτές), "σχοινένιες", "μεταλλικές", "τσιμέντινες" ή και "μικτές".
3. Εκ του τρόπου έδρασης των, που είναι και η σημαντικότερη κατάταξη των, σε "κινητές" και σε "σταθερές" ή "σταθερώς εδραζόμενες".
  - α). Οι κινητές διακρίνονται επιμέρους σε "αναρτώμενες", "περιστροφικές" και "πτυσσόμενες". Στις κινητές γέφυρες υπάγονται και οι "πλωτές".
  - β). Οι σταθερές διακρίνονται επιμέρους
    - ι) Εκ της γωνίας αυτών κατά διεύθυνση προς τη κοίτη ή εκείνης του εμποδίου σε: "ορθές" ή "ορθογώνιες" και σε "λοξές".
    - ii) Εκ της κατασκευής έδρασης παραλλήλων δοκών, γνωστές ως "δοκογέφυρες" και τέλος
    - iii) Οι "κρεμαστές" που εδράζονται και ταυτόχρονα αναρτώνται σε πυλώνες.



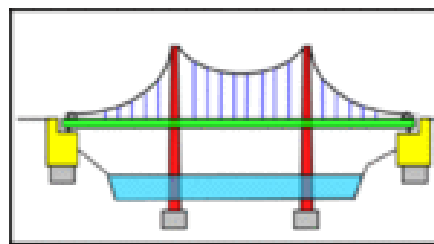
Σχήμα 7: Καλωδιωτή γέφυρα Ρίου – Αντιρίου

### 1.2.3 ΚΡΕΜΑΣΤΕΣ ΚΑΙ ΚΑΛΩΔΙΩΤΕΣ ΓΕΦΥΡΕΣ

Αποτελούνται από τρία κυρίως μέρη: πυλώνες που στηρίζουν το βάρος της, ένα κατάστρωμα που τοποθετείται πάνω στους πυλώνες και καλώδια που σηκώνουν το βάρος του καταστρώματος και είναι στερεωμένα πάνω στους πυλώνες και σε δυο αντίβαρα εκατέρωθεν της γέφυρας. Στις δύο πλευρές της κοιλάδας ή του ποταμού, την οποία ή τον οποίο περνάει η γέφυρα, έχουν κατασκευαστεί δύο εργοστάσια. Εκεί οι εργάτες συναρμολογούν τα τμήματα του καταστρώματος (οδοστρώματος). Όταν ολοκληρώνουν ένα κομμάτι, οι μηχανές το σπρώχνουν προς την κοιλάδα. Έτσι το άκρο του καταστρώματος προχωρά σιγά σιγά πάνω από το κενό. Η γέφυρα μετακινείται κατά τμήματα 60 εκατοστών. Οι μηχανικοί ελέγχουν την κίνηση με μετρήσεις μέσω δορυφόρου (περιθώριο λάθους 5 χιλιοστά). Όταν φυσάει με πάνω από 70 χλμ./ώρα οι εργασίες σταματούν.

#### 1.2.3.1 ΚΡΕΜΑΣΤΕΣ ΓΕΦΥΡΕΣ

Σε αυτόν τον τύπο γέφυρας είναι τα καλώδια που σηκώνουν το βάρος του καταστρώματος κάθετα ως προς το κατάστρωμα. Γέφυρα αυτού του τύπου χρησιμοποιείται περισσότερο για τη διάβαση υδάτινων εμποδίων τα οποία διασχίζονται από πλοία. Η πιο γνωστή κρεμαστή γέφυρα αυτού του τύπου είναι η Γέφυρα της Χρυσής Πύλης στο Σαν Φρανσίσκο.



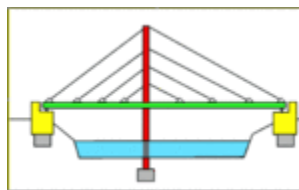
Κρεμαστή γέφυρα



Γέφυρα χρυσής πύλης

### 1.2.3.2 ΚΑΛΩΔΙΩΤΗ ΓΕΦΥΡΑ

Τα καλώδια σε αυτό τον τύπο γέφυρας είναι λοξά ως προς το κατάστρωμα. Αυτές οι γέφυρες αποδείχτηκαν ιδανικές για μεγαλύτερες αποστάσεις, τόσο τεχνικά όσο και οικονομικά, αν και οι κρεμαστές είναι ιδανικότερες για ακόμα μεγαλύτερες αποστάσεις. Η απόσταση των πυλώνων είναι μεταξύ 200 και 1000 μέτρων. Μια από τις πιο γνωστές αυτού του τύπου, είναι η γέφυρα Ρίου-Αντιρρίου, έχει 4 πυλώνες και η απόσταση μεταξύ των πυλώνων είναι 560 μέτρα, είναι η δεύτερη μεγαλύτερη γέφυρα αυτού του τύπου στο κόσμο.



Καλωδιωτή γέφυρα

### 1.3 ΓΕΦΥΡΑ ΣΕ ΔΟΚΟΥΣ

Ο τύπος αυτός είναι ο πιο συνηθής για το λόγο ότι η κατασκευή είναι σχετικά απλή. Είναι πολύ διαδεδομένος στο σιδηροδρομικό δίκτυο της Ελλάδας.



Γέφυρα σε δοκούς (ποταμός Άρδας) - οδός Κομάρων Κυπρίνου

### 1.4 ΠΛΩΤΗ ΓΕΦΥΡΑ

Οι γέφυρες αυτές είναι πολύ φτηνές και εύκολες στην κατασκευή τους, αν και δεν έχουν τη σταθερότητα άλλων τύπων γεφυρών. Χρησιμοποιούνται και από τον στρατό.



Σύγχρονη πλωτή γέφυρα

## 1.5 ΓΕΦΥΡΕΣ ΚΟΣΜΟΥ

Στις πρώτες θέσεις της λίστας με τις αγαπημένες μας κατασκευές –μαζί με τους φάρους και τους ιαπωνικούς κήπους– οι γέφυρες ασκούν, εδώ και αιώνες, την ιδιαίτερη γοητεία τους ως σύμβολα της ένωσης, της «κατάκτησης» του νερού, όταν πλαισιώνουν ποτάμια κάποτε αδιάβατα, της ανθρώπινης επιθυμίας να προχωρήσει πιο μακριά, να προσεγγίσει το απροσπέλαστο, να ξεπεράσει εμπόδια.

Μετρώντας ήδη δύο και κάτι χιλιετίες ζωής –από τα ινδικά έπη που αναφέρουν την ύπαρξη γεφυρών από την Ινδία στη Σρι Λάνκα μέχρι τους Ρωμαίους και τις απίστευτα ανθεκτικές για την εποχή κατασκευές τους– οι γέφυρες κατασκευάζονται μεν για πρακτικούς κυρίως λόγους, διαθέτουν, όμως, στην πλειοψηφία τους και αισθητική αξία.

Για του λόγου το αληθές, συγκεντρώσαμε μερικές από τις ωραιότερες γέφυρες του κόσμου, και τις περιγράφουμε, για να ταξιδέψετε μαζί μας νοερά, πάνω από ποτάμια, φαράγγια και κοιλάδες.

### **Γέφυρα του Καρόλου**

Έχοντας ξεκινήσει να κατασκευάζεται το 1357, υπό τις οδηγίες του Βασιλιά Καρόλου IV, ένα από τα πλέον αναγνωρίσιμα αξιοθέατα της Πράγας ολοκληρώθηκε στις αρχές του 15ου αιώνα και ήταν, στην εποχή της, το μοναδικό πέρασμα του ποταμού Vltava –πράγμα που κατέστησε πολύ γρήγορα την Πράγα εμπορικό πέρασμα από τη δυτική στην ανατολική Ευρώπη. Τα μπαρόκ αγάλματα που κοσμούν την 500 μέτρων πεζογέφυρα που κατά τη διάρκεια της ημέρας σφύζει από ζωή –καθώς αποτελεί το αγαπημένο σημείο τουριστών, ζωγράφων, μικροπωλητών και street artists– προστέθηκαν εδώ περί το 1700, κάνοντάς την ακόμα πιο εντυπωσιακή.

### **Γέφυρα Khaju**



Κτισμένη το 17ο αιώνα από το Σάχη Abbas II, η πολυφωτογραφημένη γέφυρα στο Ισφαχάν του Ιράν είναι ταυτόχρονα και φράγμα, με υδατοφράκτες κάτω από τις αψίδες της, οι οποίοι, όταν κλείνουν, ανεβάζουν τη στάθμη του νερού πίσω από τη γέφυρα σε σημείο ώστε να αρδεύονται οι κήποι πλάι στον ποταμό Zayandeh. Η γέφυρα κοσμείται από δύο σειρές αψίδων, ενώ στο κέντρο της δεσπόζουν δύο μεγάλες πτέρυγες, γνωστές ως Prince Parlors, που είχαν αρχικά κατασκευαστεί για τον ίδιο τον Σάχη.

### **Pont du Gard**

Η Γέφυρα του Gard, του ποταμού της Νότιας Γαλλίας, κτισμένη από τον Marcus Vipsanius Agrippa (63 - 12 π.Χ.) θεωρείται ένα από τα σπουδαιότερα επιτεύγματα της ρωμαϊκής μηχανικής. Κτισμένη με σκοπό τη μεταφορά νερού, και όχι ανθρώπων ή εμπορευμάτων –αν και υπάρχει επάνω της μία μικρή πεζογέφυρα– η Pont du Gard είναι μέρος ενός ευρύτερου υδραγωγείου, που μετέφερε νερό σε απόσταση 50 περίπου χιλιομέτρων, μέχρι τη ρωμαϊκή πόλη Nemausus –τη σημερινή Nimes.

### **Γέφυρα των Στεναγμών**

Σύμφωνα με το θρύλο, αν ένα ζευγάρι φιληθεί μέσα σε γόνδολα ακριβώς κάτω από τη Γέφυρα των Στεναγμών, η αγάπη τους θα παραμείνει ανεξίτηλη στην αιωνιότητα. Κτισμένη το 1600 από τον Antonio Contino, η γέφυρα πήρε το όνομά της από το Λόρδο Βύρωνα, ο οποίος είπε ότι οι κρατούμενοι θα αναστέναζαν βλέποντας τη Βενετία για τελευταία φορά από τα παράθυρά της, καθώς θα μεταφέρονταν από το δωμάτιο των ανακρίσεων στο κεντρικό παλάτι στη φυλακή του Δόγη για τη φυλάκιση, το βασανισμό ή την εκτέλεσή τους. Στην πραγματικότητα, στην εν λόγω φυλακή κρατούνταν μόνο μικροεγκληματίες, και μόνο για σύντομο χρονικό διάστημα.

### **Iron Bridge**

Η γέφυρα που διασχίζει τον ποταμό Severn στο Shropshire της Αγγλίας, μπορεί να

μην είναι ιδιαίτερα μεγάλη ή περίτεχνη, έμεινε όμως στην Ιστορία για ένα λόγο: ήταν η πρώτη γέφυρα που κατασκευάστηκε εξολοκλήρου από χυτοσίδηρο. Κτισμένη το 18ο αιώνα, σύμφωνα με τα σχέδια του αρχιτέκτονα Thomas Farnolls Pritchard, ο οποίος όμως πέθανε πριν ολοκληρωθεί η κατασκευή, την οποία τελικά ανέλαβε ο σιδηρουργός Abraham Darby III. Η ευκολία στην ολοκλήρωση του έργου, που τελείωσε σε τρεις μόλις μήνες, παρά τους 400 τόνους χυτοσιδήρου που χρησιμοποιήθηκαν, άνοιξε το δρόμο για την υιοθέτηση του σιδήρου ως βασικού υλικού στην κατασκευή γεφυρών κατά τη Βιομηχανική Επανάσταση, κόστισε, όμως, πολλά στον Darby, ο οποίος υποτίμησε το κόστος της γέφυρας και παρέμεινε χρεωμένος για την υπόλοιπη ζωή του.

### **Ponte Vecchio**

Η μεσαιωνική γέφυρα πάνω από τον ποταμό Arno στη Φλωρεντία είναι κάτι παραπάνω από γέφυρα: είναι δρόμος, αγορά και ορόσημο της πόλης. Κτισμένη το 1345 από τον Taddeo Gaddi, και με αρκετά μέτρα της επιφάνειάς της να έχουν νοικιαστεί σε εμπόρους προκειμένου να χρηματοδοτηθεί η κατασκευή της, η Ponte Vecchio απέκτησε το σκέπαστρό της, δημιούργημα του αρχιτέκτονα Giorgio Vasari, ενώ γλίτωσε από τους βομβαρδισμούς του Β' Παγκοσμίου Πολέμου χάρη σε εντολή του ίδιου του Χίτλερ, να εξαιρεθεί από τους βομβαρδισμούς των γεφυρών της Φλωρεντίας. Η αγγλική λέξη για τη χρεοκοπία (bankruptcy) λέγεται ότι προέρχεται από εδώ, καθότι το Μεσαίωνα όταν ένας έμπορος δεν μπορούσε να πληρώσει το χρέος του, οι στρατιώτες του έσπαγαν τον πάγκο. Ο σπασμένος πάγκος, banco rotto στα ιταλικά, σήμαινε ότι ο έμπορος είχε χρεοκοπήσει.

### **Γέφυρα του Ανέμου και της Βροχής**

Η αιωνόβια γέφυρα Chenyang, πάνω από τον ποταμό Linxi κοντά στο χωριό Maan των Dong, μιας εθνικής μειονότητας της Κίνας, είναι μια από τις πολλές «γέφυρες του

ανέμου και της βροχής» που έχει κτίσει ο συγκεκριμένος λαός. Με όνομα που υποδηλώνει την προστασία που παρέχουν οι εν λόγω γέφυρες από τα καιρικά φαινόμενα, καθότι είναι κλειστές, τα μηχανικά επιτεύγματα των Dong διακρίνονται και για ένα ακόμη χαρακτηριστικό τους: καθόλου καρφιά ή πιρτσίνια δε χρησιμοποιούνται για την κατασκευή τους.

### **Γέφυρα του Μπρούκλιν**

Το 1855, ο μηχανικός John Roebling άρχισε να σχεδιάζει μία γέφυρα, που για την εποχή της θα ήταν η μεγαλύτερη κρεμαστή γέφυρα του κόσμου, με τους πύργους της να κατέχουν τη θέση των υψηλότερων κτισμάτων του Δυτικού Ημισφαιρίου. Σήμερα, είναι μία από τις γέφυρες με τη μεγαλύτερη κίνηση του πλανήτη –κι όμως, στα τέλη του 19ου αιώνα, ο Roebling χρειάστηκε περί τα 14 χρόνια για να πείσει τις αρχές της πόλης να την κατασκευάσουν. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι η γέφυρα άντεξε ενώ αντίστοιχες κατασκευές της εποχής έχουν καταρρεύσει, πράγμα για το οποίο οι μηχανικοί αποδίδουν τα εύσημα στον Roebling, που σχεδίασε μια γέφυρα έξι φορές πιο γερή απ' όσο πίστευε πως θα έπρεπε να είναι.

### **Tower Bridge**

Κι όμως, υπήρχε και τον προηγούμενο αιώνα το πρόβλημα της κίνησης. Και μάλιστα ήταν τόσο έντονο που, περί τα τέλη του 19ου αιώνα, όταν η ανάπτυξη του Ανατολικού Λονδίνου άρχισε να δημιουργεί βαρύ φορτίο στη London Bridge, η κατασκευή της Tower Bridge κρίθηκε απαραίτητη. Η διάσημη σήμερα γέφυρα άρχισε να κτίζεται το 1886, υπό την επίβλεψη του αρχιτέκτονα Sir Horace Jones και του μηχανικού Sir John Wolfe Barry. Μετά το θάνατο του πρώτου, ένα χρόνο αργότερα, ο αντικαταστάτης του George D. Stevenson αποφάσισε να παρέμβει στα σχέδια, προσθέτοντας γοτθικά βικτοριανά στοιχεία που θα την εναρμόνιζαν οπτικά με τον κοντινό Tower of London. Τα εγκαίνια της γέφυρας το 1894 δε χαιρετίστηκαν από επιφωνήματα θαυμασμού, καθότι η υπερβολή της κατασκευής δε συμβάδιζε με το κοινό γούστο της εποχής. Με τον καιρό, όμως, οι Λονδρέζοι τη συνήθισαν, και η γέφυρα έγινε ένα από τα πλέον αναγνωρίσιμα τοπία της πόλης.

## Golden Gate Bridge

Η γέφυρα - σύμβολο του San Francisco είναι τόσο άρρηκτα συνδεδεμένη με τις εικόνες της πόλης, που είναι δύσκολο να φανταστεί κανείς μια εποχή που δεν υπήρχε. Κι όμως, πριν χτιστεί, η κοινή λογική θεωρούσε την κατασκευή της ακατόρθωτη. Η πρώτη ιδέα για μια γέφυρα που θα διέσχιζε το Golden Gate, ένα στενό πέρασμα μεταξύ της Χερσονήσου του San Francisco και των Marin Headlands, γεννήθηκε το 1916, για να εγκαταλειφθεί σχεδόν αμέσως, καθότι ο προϋπολογισμός της άγγιζε τα 100 εκατομμύρια δολάρια, ποσό αστρονομικό για την εποχή. Ένας πεπειραμένος κατασκευαστής γεφυρών, ο Joseph Strauss, κατάφερε, μετά από 22 ολόκληρα χρόνια... επιχειρηματολογίας, να πείσει τόσο το Υπουργείο Πολέμου, που πίστευε ότι η γέφυρα θα εμπόδιζε την κίνηση των πλοίων, όσο και τη Southern Pacific Railroad, που θεωρούσε τη γέφυρα ανταγωνιστική στις ακτοπλοϊκές της συνδέσεις, αλλά και τον κόσμο, που θεωρούσε τα αρχικά σχέδια άσχημα. Έτσι, η κατασκευή της γέφυρας ολοκληρώθηκε τέσσερα χρόνια αργότερα, και έμεινε στην Ιστορία όχι μόνο για την αισθητική της, αλλά και για το γεγονός ότι ήταν το πρώτο εργοτάξιο για το χτίσιμο γέφυρας με μέτρα υψίστης ασφαλείας –λέγεται, μάλιστα, ότι το δίκτυ ασφαλείας που χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά έσωσε τη ζωή 19 εργατών, που αργότερα ίδρυσαν το Halfway to Hell Club.

Η εντυπωσιακή αρχιτεκτονική δεν αποτελεί αποκλειστικότητα για τις παραδοσιακές γέφυρες αυτοκινήτων και τρένων. Και μπορεί στο άκουσμα «πεζογέφυρα» να μην ενθουσιάζεστε ιδιαίτερα, αν κρίνετε τουλάχιστον από τις συνηθισμένες γέφυρες που γνωρίζετε, αλλά μπορούμε να σας αλλάξουμε γνώμη.

Οι πεζογέφυρες που παρουσιάζουμε παρακάτω, προσφέρουν πολλά περισσότερα από το να συνδέουν ένα μέρος με κάποιο άλλο. Είτε λόγω τοποθεσίας και θέας, είτε λόγω τεχνοτροπίας και αρχιτεκτονικής, κάνουν τα ταξίδια μας πιο συναρπαστικά και μας κάνουν να ξεχνάμε ότι ζούμε σε έναν κόσμο φτιαγμένο για αυτοκίνητα.

Η ιδέα της γέφυρας για πεζούς δεν είναι βέβαια καινούργια. Η διάσημη γέφυρα Ριάλτο στη Βενετία, χρονολογείται από το 1588, ενώ ακόμη και οι αρχιτέκτονες της γέφυρας του Μπρούκλιν στη Νέα Υόρκη, προέβλεψαν χώρο για πεζούς, παράλληλα με τις λωρίδες των αυτοκινήτων. Τα τελευταία χρόνια όμως, φαίνεται όλο και

περισσότερο ότι οι πεζοί είναι αρκετά σημαντικοί ώστε να απολαμβάνουν κάποια θεαματικά κατορθώματα της μηχανικής.

### **Γέφυρα BP, πάρκο Millennium, Σικάγο, ΗΠΑ**



Το Σικάγο έχει μια ξεχωριστή αρχιτεκτονική την οποία μπορείτε να εκτιμήσετε καλύτερα, κρίνοντας από τη γέφυρα ( <http://bit.ly/qxwroU> ) που δημιούργησε η γνωστή πετρελαϊκή εταιρεία BP, από την οποία πήρε και το όνομά της.

Η γέφυρα δεσπόζει πάνω από το πάρκο Millennium και πλέον αποτελεί ένα ιδιαίτερο κομμάτι του «πάζλ» της πόλης. Μια άλλη μικρότερη πεζογέφυρα σχεδιασμένη από τον Renzo Piano, θα σας οδηγήσει από το Millennium Park, στη νέα πτέρυγα του Art Institute of Chicago.

### **Κρεμαστή γέφυρα Capilano Βανκούβερ, Καναδάς**



Η συγκεκριμένη κρεμαστή γέφυρα στο Βανκούβερ ( [www.capbridge.com/](http://www.capbridge.com/) ) στήθηκε το 1889 όταν ένας Σκοτσέζος πολιτικός μηχανικός θέλησε να ανοίξει δρόμο για την απομονωμένη κατοικία του. Η γέφυρα βρίσκεται 70 μέτρα ψηλά πάνω από τον ποταμό Carilano, από όπου έχετε εντυπωσιακή θέα της πλούσιας βλάστηση του παρακείμενου δάσους. Στο δάσος έχει δημιουργηθεί ένα νέο σύμπλεγμα γεφυρών και πλατφορμών, που ενώνουν αρκετά από τα πανύψηλα δέντρα και προσφέρουν μια μοναδική βόλτα.

### **Γέφυρα Langkawi Sky, Μαλαισία**



Η γέφυρα αυτή περισσότερο θυμίζει παρατηρητήριο σε ύψος 700 μέτρων και είναι προσβάσιμη μόνο μέσω τελεφερίκ ( <http://bit.ly/cC1030> ). Βρίσκεται στο Langkawi, ένα αρχιπέλαγος στη δυτική ακτή της Μαλαισίας και έχει θέα προς τη θάλασσα Andaman. Μπορεί να χρειάζεται κουράγιο για να διασχίσετε τη γέφυρα, αφού στηρίζεται σε ένα και μόνο στύλο, αλλά οι ειδικοί διαβεβαιώνουν ότι είναι απόλυτα ασφαλής!

### **Γέφυρα Kurilpa, Brisbane, Αυστραλία**



Με μια πρώτη ματιά η γέφυρα Kurilpa ( <http://bit.ly/3qhPkr> ) δίνει την εντύπωση ότι είναι ημιτελής και ετοιμόρροπη, με στύλους να ξεπροβάλουν σε διάφορες κλίσεις πολύ κοντά στους ουρανοξύστες και το ποτάμι Brisbane. Η γέφυρα όμως είναι απολύτως ολοκληρωμένη και οι ισορροπίες και οι δυνάμεις των στύλων είναι

αποτέλεσμα λεπτομερούς μελέτης και υπολογισμών. Στη γέφυρα έχουν τοποθετηθεί 84 ηλιακοί συλλέκτες που της χαρίζουν εντυπωσιακό φωτισμό το βράδυ.

### **Puente de la Mujer, Μπουένος Άιρες, Αργεντινή**



Η συγκεκριμένη γέφυρα φέρει την υπογραφή του γνωστού αρχιτέκτονα Santiago Calatrava και εκ πρώτης όψεως θυμίζει ένα ζευγάρι που χορεύει ταγκό. Το «θέμα» της γέφυρας είναι η γυναίκα και μάλιστα οι παρακείμενοι δρόμοι φέρουν τα ονόματα διάσημων γυναικών. Από την γέφυρα μπορείτε να θαυμάσετε πολυτελή ξενοδοχεία και εστιατόρια που κατακλύζουν το Puerto Madero.

### **Walkway, Hudson, Poughkeepsie, Νέα Υόρκη, ΗΠΑ**





Διασχίζοντας την γέφυρα αυτή ( [www.walkway.org/](http://www.walkway.org/) ), μπορεί να σας δημιουργηθεί η αίσθηση ότι περπατάτε στα... σύννεφα, καθώς βρίσκεται 60 μέτρα πάνω από το έδαφος. Αρχικά η γέφυρα φτιάχτηκε για την εξυπηρέτηση των τρένων, αλλά τώρα χρησιμοποιείται αποκλειστικά για την εξυπηρέτηση των πεζών. Λόγω της ιδιόμορφης κατασκευής της, δεν υπάρχει τίποτα που να εμποδίζει την θέα του ποταμού για πολλά χιλιόμετρα μακριά. Επιπλέον έχοντας μήκος που ξεπερνάει τα 2 χιλιόμετρα, είναι μια από τις μακρύτερες πεζογέφυρες του κόσμου.

### **Γέφυρα Henderson Waves, Σιγκαπούρη**



Η γέφυρα Henderson ( <http://bit.ly/qJQaAa> ) έχει μια ιδιαίτερη αισθητική που θυμίζει ελατήριο, στο οποίο περιοδικά υπάρχουν ασάλινα «πλευρά» που προσφέρονται για ξεκούραση. Στα 36 μέτρα ύψος, πάνω από τον πολύβουο δρόμο Henderson Road,

έχει θέα τις κορυφές λόφων και το λιμάνι και είναι η ιδανική τοποθεσία για να αντιληφθείτε γιατί η Σιγκαπούρη λέγεται και «πόλη των κήπων».

### Πεζογέφυρες Trait d'Union



Μελέτη εφαρμογής και κατασκευαστικά σχέδια δύο καλωδιωτών πεζογεφυρών με κατάστρωμα από χάλυβα (84m και 68m) οι οποίες κατασκευάσθηκαν στις εγκαταστάσεις της AIRBUS (Τουλούζη Γαλλία) για να καλύψουν μια συνολική απόσταση διάβασης πεζών συνολικού μήκους 290m. Αρχιτέκτων του έργου είναι ο F.Zirk και κατασκευαστής η Joseph Paris S.A. Τα 290m καλύπτονται από δύο καλωδιωτές γέφυρες με ανοίγματα 84m και 68m αντίστοιχα και από 6 απλές ισοστατικές γέφυρες με μέσο άνοιγμα περίπου 23m. Η διάβαση των πεζών προστατεύεται σε όλο το μήκος από κλειστή τζαμωτή κατασκευή. Η πρώτη καλωδιωτή γέφυρα (Saint-Martin) έχει άνοιγμα 84m και στηρίζεται από ένα κεκλιμένο πυλώνα μορφής Λ από τον οποίο αναρτώνται τα καλώδια. Η δεύτερη καλωδιωτή γέφυρα (Blagnac), έχει άνοιγμα 68m και στηρίζεται από δύο κεκλιμένους πυλώνες μορφής Λ. Οι καλωδιωτές γέφυρες κατασκευάσθηκαν από χάλυβα και έχουν διατομή που διαμορφώνεται από δύο κιβωτειοειδείς δοκούς που συνδέονται μεταξύ τους με διαφράγματα από χάλυβα. Οι πυλώνες ύψους περίπου 27 μέτρων έχουν διατομή

κυκλικής κοιλοδοκού. Οι ισοστατικές γέφυρες έχουν διατομή μορφής U που αποτελείται από δύο πρότυπες δοκούς HE-AA1000 που συνδέονται εγκάρσια με δοκούς HEB240.

## **2. ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΖΟΓΕΦΥΡΑΣ**

## 2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

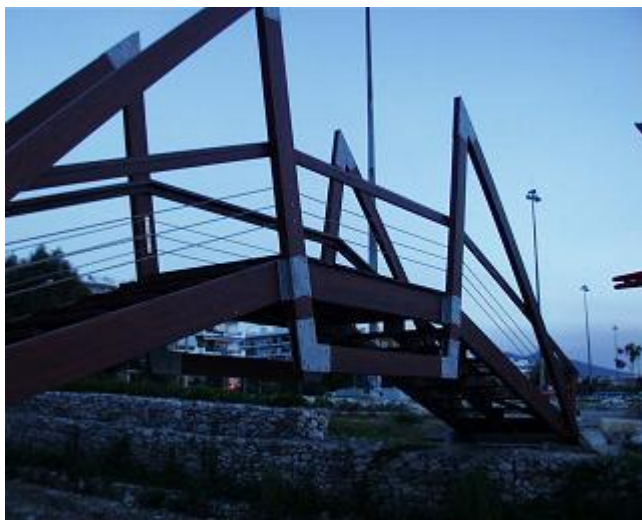
Στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει ανάλυση και υπολογισμός της μικρής γέφυρας πεζών από σύνθετο ξύλο που βρίσκεται στην οδό Ηρώων Πολυτεχνείου και Μειλίχου ποταμού (Εικ. 1).



Εικόνα 1: Τοποθεσία γέφυρας

Η γέφυρα ήδη έχει κατασκευαστεί και θα θεωρηθεί σαν πλαίσιο στους υπολογισμούς. Όλες οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες διακρίνονται στις παρακάτω εικόνες:

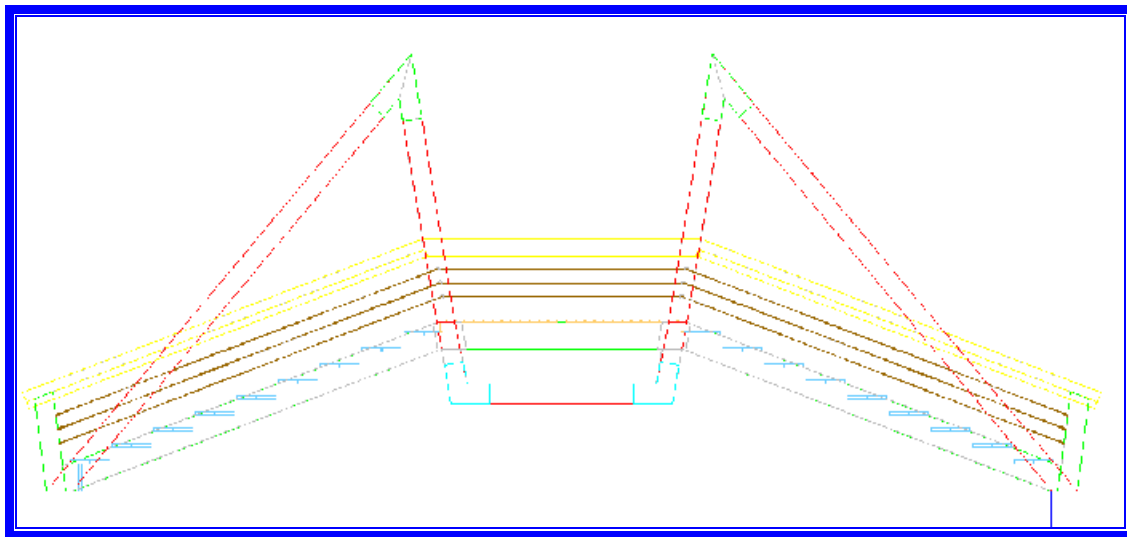




## 2.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

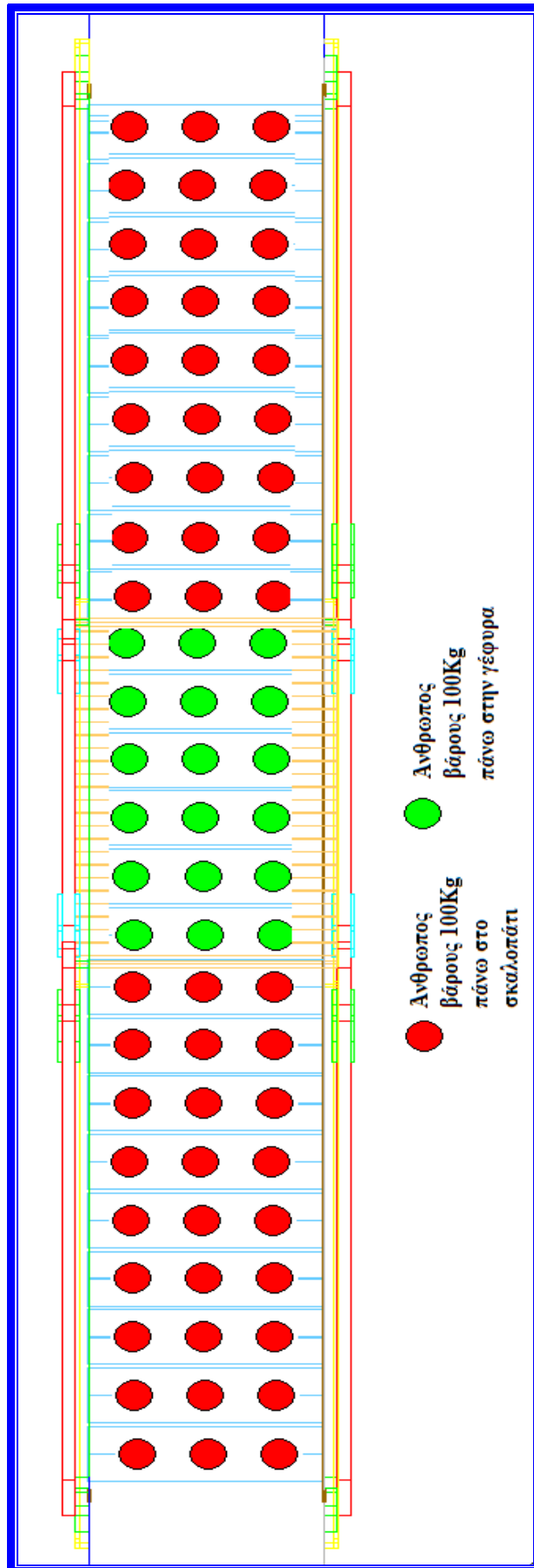
### 2.2.1 ΦΟΡΤΙΑ ΠΕΖΟΓΕΦΥΡΑΣ

Στο παρακάτω μηχανολογικό σχέδιο της πεζογέφυρας (Σχ.3), για τους αρχικούς υπολογισμούς, θα γίνει η παραδοχή, ότι σε κάθε σκαλοπάτι θα στέκονται 3 άνθρωποι ενώ συνολικά θα βρίσκονται 72 άνθρωποι πάνω στην γέφυρα, βάρους 100Kg έκαστος.



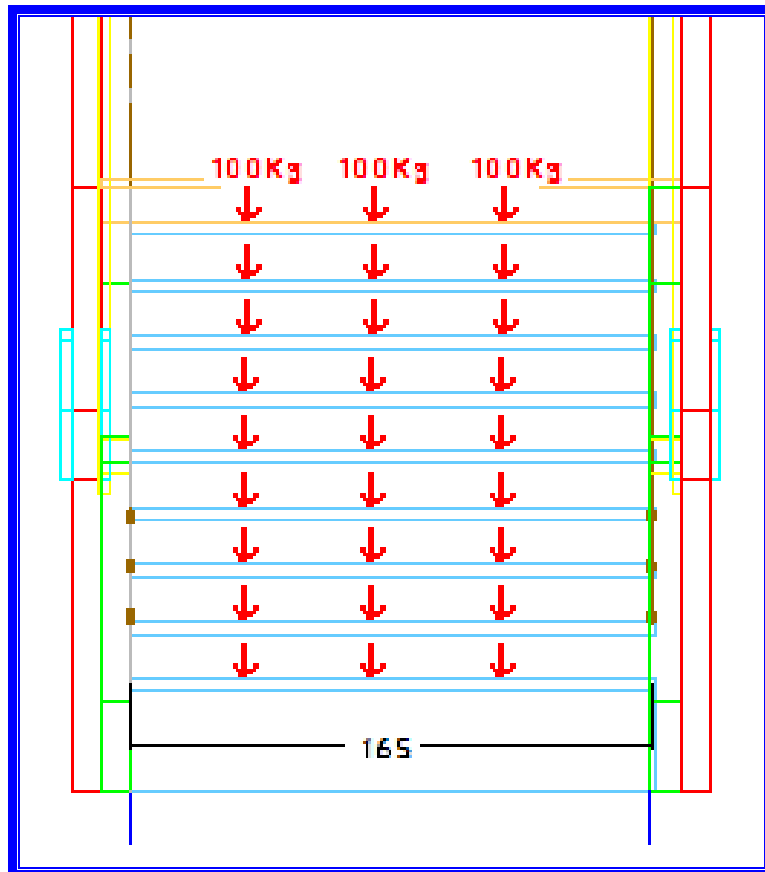
Σχήμα 3: Μηχανολογικό σχέδιο της πεζογέφυρας

Στην παρακάτω κάτοψη φαίνονται οι παραπάνω παραδοχές, με βάση τις οποίες θα γίνει και η μελέτη της γέφυρας (Σχ.4).



Σχήμα 4: Φορτία πεζογέφυρας

Οι 3 άνθρωποι που βρίσκονται στο κάθε σκαλοπάτι θα ισαπέχουν από την συνολική διάσταση του σκαλοπατιού (Σχ.5).

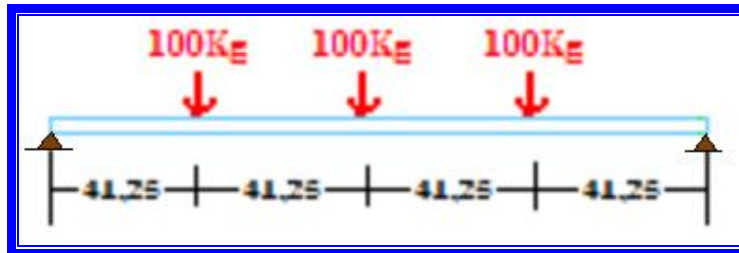


Σχήμα 5: Παραδοχές βαρών στα σκαλοπάτια, διάσταση σε cm.

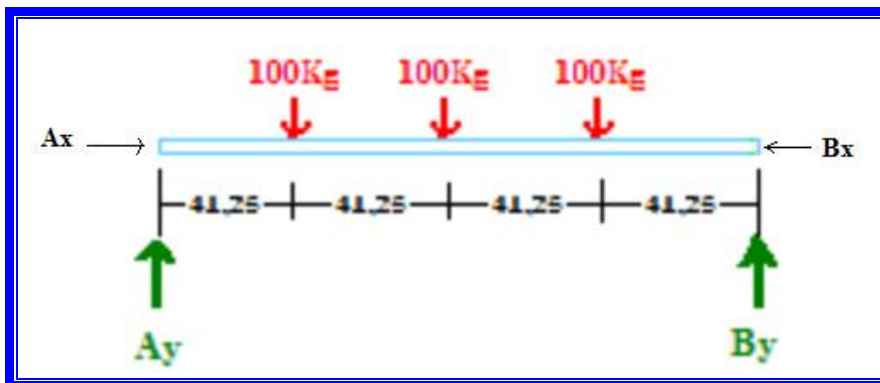


## 2.2.2 ΜΕΛΕΤΗ ΣΚΑΛΟΠΑΤΙΟΥ

Στο κάθε σκαλοπάτι θα γίνει ο υπολογισμός των αντιδράσεων. Από τα παρακάτω σχήματα 6,7 θα ισχύει:



Σχήμα 6: Στηρίξεις σκαλοπατιού



Σχήμα 7: Διάγραμμα ελευθέρου σώματος σκαλοπατιού

Όπου:  $100\text{kg} \hat{=} F=mg=100\text{Kg} \cdot 10\text{m/sec}^2=1000\text{Nt}$

$$\Sigma F_x=0 \hat{=} A_x-B_x=0 \hat{=} A_x=B_x \quad (\text{Αλληλεξουδετερώνονται})$$

$$\Sigma F_y=0 \hat{=} A_y+B_y+1000\text{Nt}+1000\text{Nt}+1000\text{Nt}=0 \hat{=} A_y+B_y=3000\text{Nt}$$

$$\Sigma M_A=0 \hat{=} 1000\text{Nt} \cdot 41,25\text{cm} + 1000\text{Nt} \cdot 41,25 \cdot 2\text{cm} + 1000\text{Nt} \cdot 41,25 \cdot 3\text{cm} - B_y \cdot 41,25 \cdot 4\text{cm}=0 \hat{=} B_y=1500\text{Nt}$$

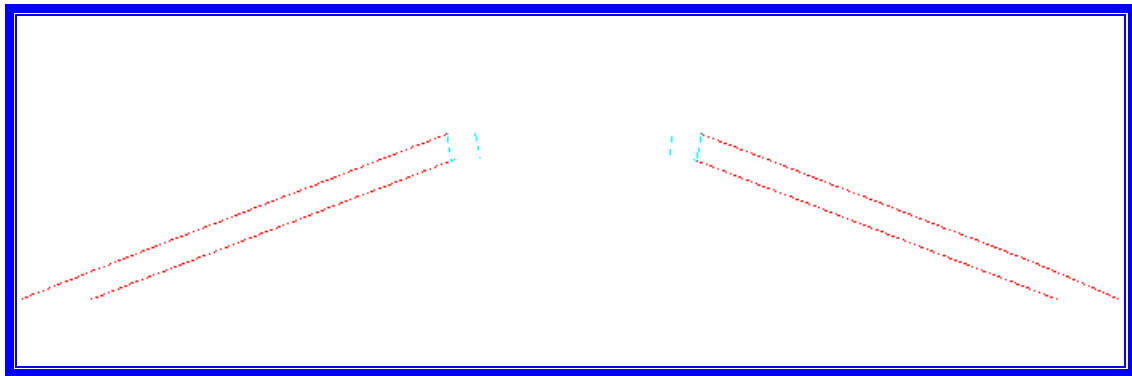
Άρα:

$$A_y=1500\text{Nt}$$

Όμοια θα ισχύει και για το πάνω τμήμα της γέφυρας. Δηλαδή σε κάθε συγκεντρωμένο φορτίο θα ασκείται δύναμη 1500Nt.

### 2.2.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΦΟΡΤΙΩΝ ΓΕΦΥΡΑΣ

Στην μελέτη που θα γίνει, η γέφυρα θα θεωρηθεί σαν πλαίσιο και θα υπολογιστεί το κάτω μέρος της γέφυρας όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα 8. Για ευκολία στους υπολογισμούς γίνεται απλοποίηση του φορέα της πραγματικής γέφυρας, δηλαδή θεωρείται ότι το πρόσθετο τεθλασμένο πλαίσιο που υπάρχει σε κάθε πλευρά της γέφυρας δεν αναλαμβάνει φορτία.

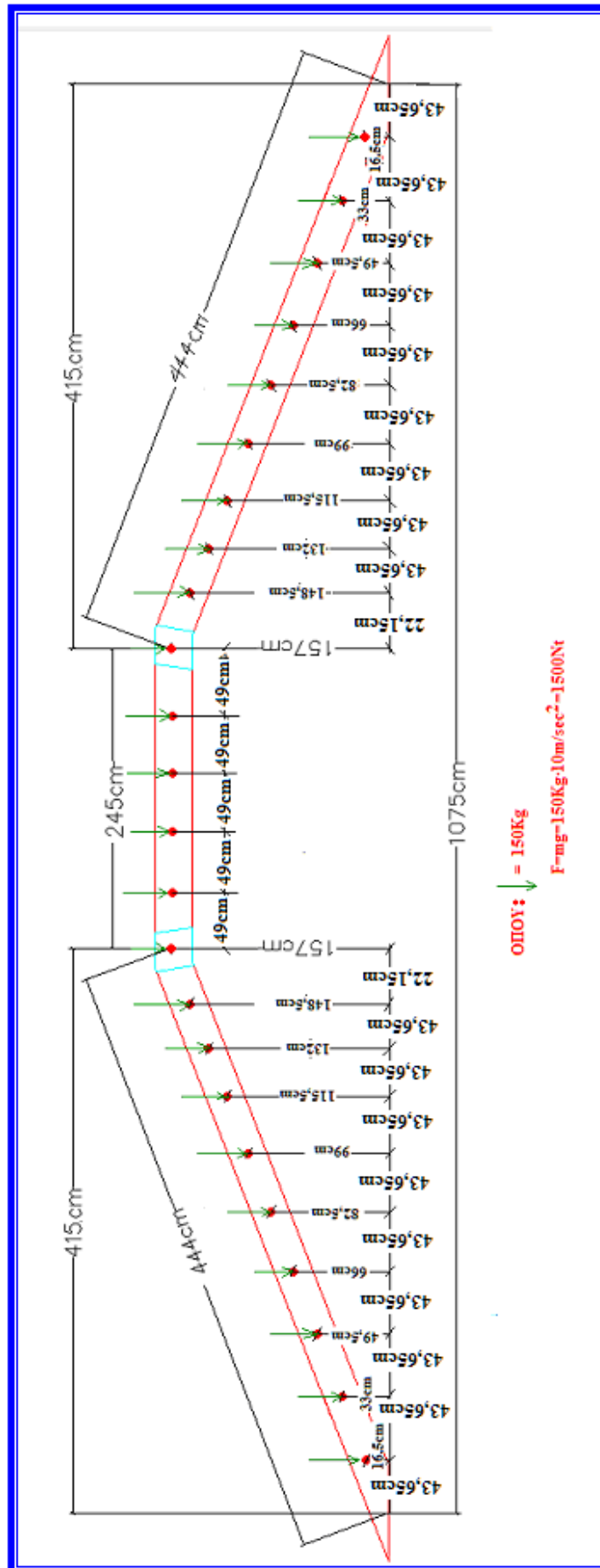


Σχήμα 8: Πλαίσιο πεζογέφυρας

Η γέφυρα αποτελείται από 9 σκαλοπάτια όπου το κάθε σκαλοπάτι απέχει 16,5cm από το άλλο, ενώ από το ανώτερο σκαλοπάτι μέχρι το οριζόντιο τμήμα της γέφυρας η απόσταση είναι 8,5cm.

Συνολικό ύψος:  $16,5\text{cm} * 9 \text{ σκαλοπάτια} + 8,5\text{cm} = 157\text{cm}$

Οι διαστάσεις και οι δυνάμεις διακρίνονται στο παρακάτω μηχανολογικό σχέδιο (Σχ.9) και με βάση αυτό θα γίνουν οι υπολογισμοί των αξονικών και εγκάρσιων δυνάμεων, καθώς επίσης και των καμπτικών ροπών.



Σχήμα 9: Διαστασιολόγηση πεζογέφυρας και συγκεντρωμένα φορτία

## Υπολογισμοί

Η γέφυρα θα θεωρηθεί ένα αμφιέριστο πλαίσιο, τα σημεία στήριξης δηλαδή, θα είναι άρθρωση - κύλιση. Η παρακάτω εικόνα (Σχ. 10) δείχνει την στήριξη της γέφυρας όπως είναι στην κατασκευή της.



Σχήμα 10: Στήριξη πεζογέφυρας

Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά με βάση τις μετρήσεις που έγιναν και τους υπολογισμούς φαίνονται αναλυτικά παρακάτω:

Γωνία δοκαριού:

$$\tan \phi = \frac{157\text{cm}}{415\text{cm}} = 0,387 \rightarrow \phi = 20,72^\circ$$

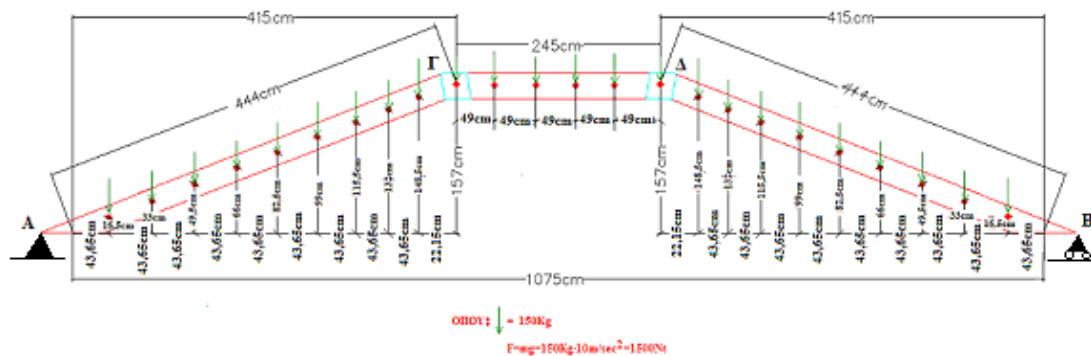
Οριζόντια Απόσταση της κάθε δύναμης:

$$\tan \phi = \frac{16,5\text{cm}}{x} \Rightarrow x = \frac{16,5\text{cm}}{0,387} \Rightarrow x = 43,65\text{cm}$$

Συνολικά υπάρχουν 9 σκαλοπάτια. Όλα τα σκαλοπάτια θα ισαπέχουν μεταξύ τους 43,65cm εκτός από το τελευταίο που θα απέχει:

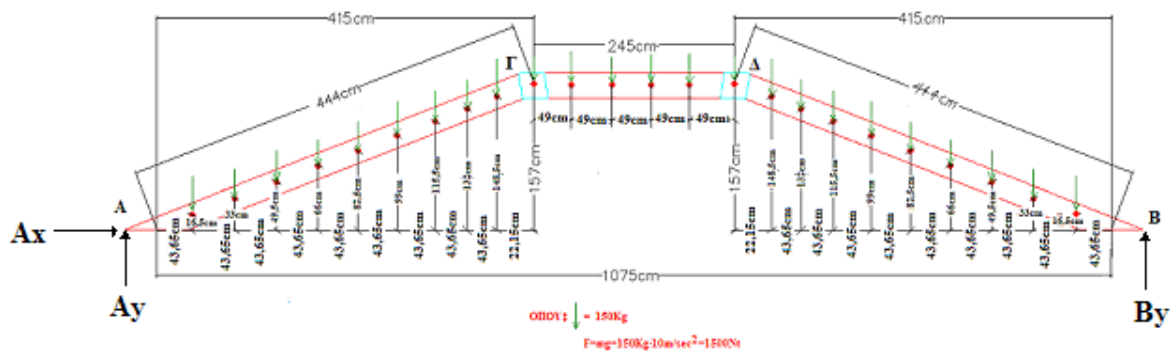
$$415\text{cm} - 9 \cdot 43,65\text{cm} = 22,15\text{cm}$$

Όλες οι αποστάσεις και τα μήκη των δοκών ΑΓ, ΓΔ και ΓΒ φαίνονται στο παρακάτω σχήμα:



Υπολογισμός Αντιδράσεων

Διάγραμμα Ελευθέρου Σώματος



$$\Sigma F_x = 0 \Rightarrow A_x - B_x = 0 \Rightarrow A_x = B_x \quad (\text{αλληλοεξουδετερώνονται})$$

$$\Sigma F_y = 0 \Rightarrow A_y + B_y + 9 \cdot 1500 - 6 \cdot 1500 + 9 \cdot 1500 = 0 \Rightarrow A_y + B_y = 36000 \text{ Nt} \quad (1)$$

Λόγω συμμετρίας θα ισχύει:

$$A_y = B_y = 18000 \text{ Nt} = 18 \text{ KNt}$$

$$\Sigma M_A = 0 \Rightarrow$$

$$\begin{aligned}
 &1500 \text{ Nt} \cdot 43,65 \text{ cm} + 1500 \text{ Nt} \cdot 43,65 \text{ cm} \cdot 2 + 1500 \text{ Nt} \cdot 43,65 \text{ cm} \cdot 3 \\
 &+ 1500 \text{ Nt} \cdot 43,65 \text{ cm} \cdot 4 + 1500 \text{ Nt} \cdot 43,65 \text{ cm} \cdot 5 + 1500 \text{ Nt} \cdot 43,65 \text{ cm} \cdot 6 \\
 &+ 1500 \text{ Nt} \cdot 43,65 \text{ cm} \cdot 7 + 1500 \text{ Nt} \cdot 43,65 \text{ cm} \cdot 8 + 1500 \text{ Nt} \cdot 43,65 \text{ cm} \cdot 9
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&+1500Nt \cdot 415cm + 1500Nt \cdot (415+49)cm + 1500Nt \cdot (415+49 \cdot 2)cm \\
&+ 1500Nt \cdot (415+49 \cdot 3)cm + 1500Nt \cdot (415+49 \cdot 4)cm \\
&+ 1500Nt \cdot (415+49 \cdot 5)cm + 1500Nt \cdot (415+245+22,15)cm \\
&+ 1500Nt \cdot (415+245+22,15+43,65)cm + 1500Nt \cdot (415+245+22,15+43,65 \cdot 2)cm \\
&+ 1500Nt \cdot (415+245+22,15+43,65 \cdot 3)cm + 1500Nt \cdot (415+245+22,15+43,65 \cdot 4)cm \\
&+ 1500Nt \cdot (415+245+22,15+43,65 \cdot 5)cm + 1500Nt \cdot (415+245+22,15+43,65 \cdot 6)cm \\
&+ 1500Nt \cdot (415+245+22,15+43,65 \cdot 7)cm + 1500Nt \cdot (415+245+22,15+43,65 \cdot 8)cm - \\
&By \cdot (415+245+415)cm = 0 \\
&\Rightarrow 1500 \cdot 43,65 \cdot (1+2+3+4+5+6+7+8+9)Ntcm + 1500 \cdot (415+415+49+415+49 \cdot 2+ \\
&415+49 \cdot 3+415+49 \cdot 4+415+49 \cdot 5)Ntcm + 1500 \cdot (415+245+22,15+415+245+22,15+43,6 \\
&5+415+245+22,15+43,65 \cdot 2+415+245+22,15+43,65 \cdot 3+415+245+22,15+43,65 \cdot 4+415 \\
&+245+22,15+43,65 \cdot 5+415+245+22,15+43,65 \cdot 6+415+245+22,15+43,65 \cdot 7+415+245+ \\
&22,15+43,65 \cdot 8)Ntcm - By \cdot 1075cm = 0 \\
&\Rightarrow 1500Nt \cdot 12900cm = By \cdot 1075cm
\end{aligned}$$

$$\Rightarrow By = 18000Nt \Rightarrow By = 18KNt$$

Από σχέση (1) με βάση την σχέση (2) προκύπτει:

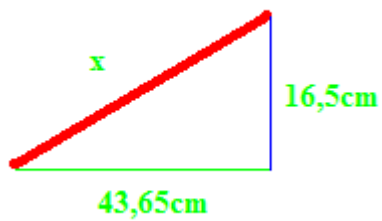
$$Ay = 18KNt$$

Τα διαγράμματα αξονικών δυνάμεων [N], τεμνουσών δυνάμεων [Q] και καμπτικών ροπών [M] θα προκύψουν επιλύοντας το πλαίσιο με την μέθοδο των τομών.

Πριν την επίλυση θα γίνουν υπολογισμοί των αποστάσεων και ανάλυση των δυνάμεων, με βάση τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της γέφυρας, που ήδη έχουν αναφερθεί παραπάνω.

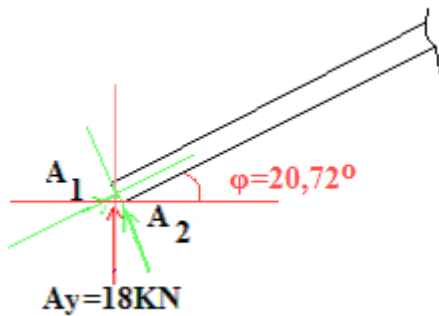
Η απόσταση κάθε τμήματος θα είναι:

Υπολογισμός απόστασης σκαλοπατιού:



$$x = \sqrt{16,5^2 + 43,65} \Rightarrow x = 46,67\text{cm} = 0,47\text{m}$$

Ανάλυση δυνάμεων στήριξης:



$$A_1 = A_y \sin 20,72^\circ = 6,37\text{KNt}$$

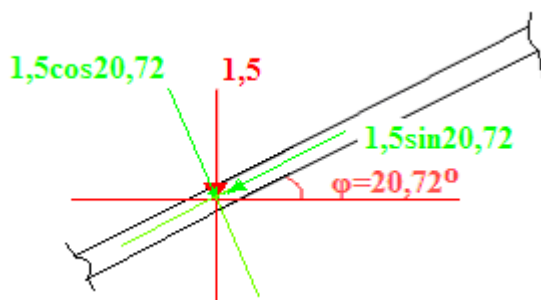
$$A_2 = A_y \cos 20,72^\circ = 16,8\text{KNt}$$

Όμοια θα ισχύει και για την κύλιση στο σημείο B:

$$B_1 = B_y \sin 20,72^\circ = 6,37\text{KNt}$$

$$B_2 = B_y \cos 20,72^\circ = 16,8\text{KNt}$$

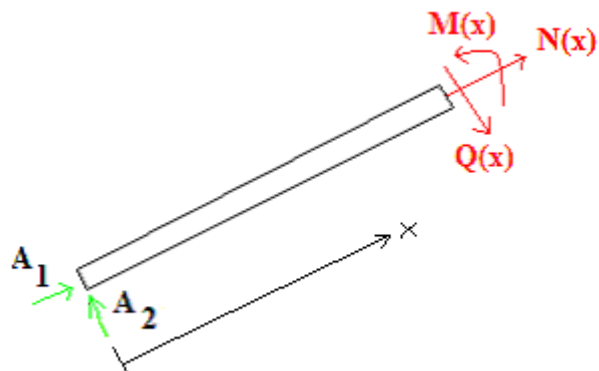
Ανάλυση συγκεντρωμένου φορτίου  $1,5\text{KNt}$ :



$$A_{x,1,5\text{KN}} = 1,5\text{KNt} \sin 20,72^\circ = 0,53\text{KNt}$$

$$A_{y,1,5kN} = 1,5kN \cos 20,72^\circ = 1,4kNt$$

Τομή 1<sup>η</sup>, Αριστερό Τμήμα  $0 < x < 0,47m$



$$N(x) = -A_1 = -6,37kNt$$

$$N(0) = N(0,47) = -6,37kNt$$

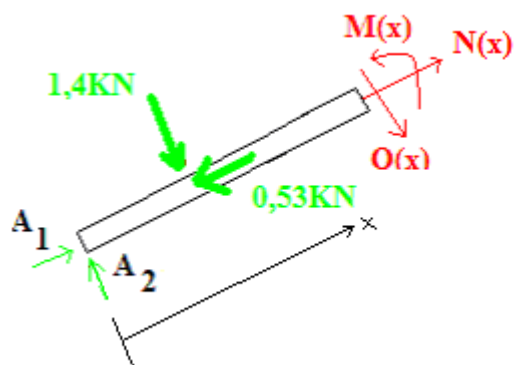
$$Q(x) = A_2 = 16,84kNt$$

$$Q(0) = Q(0,47) = 16,8kNt$$

$$M(x) = A_2 x = 16,8 x \quad [kNm]$$

$$M(0) = 0kNm \quad M(0,47) = 7,896kNtm$$

Τομή 2<sup>η</sup>, Αριστερό Τμήμα  $0,47 < x < 0,94m$



$$N(x) = 0,53 - A_1 = -5,84kNt$$



$$N(0,47)=N(0,94)= -5,84\text{KNt}$$

$$Q(x)= A_2-1,4=15,4\text{KNt}$$

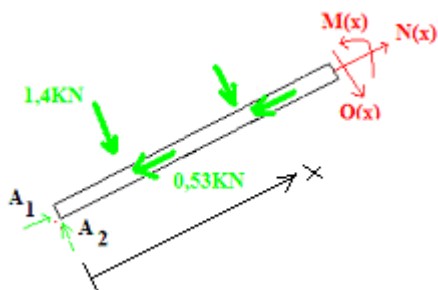
$$Q(0,47)= Q(0,94)= 15,4\text{KNt}$$

$$M(x)= A_2x-(1,4-0,47)=15,4x-0,658 \quad [\text{KNm}]$$

$$M(0,47)=7,896\text{KNm}$$

$$M(0,94)=15,974\text{KNtm}$$

Τομή 3<sup>η</sup>, Αριστερό Τμήμα  $0,94 < x < 1,41\text{m}$



$$N(x)= -A_1+2*0,53=-5,31\text{KNt}$$

$$N(0,94)=N(1,41)= -5,31\text{KNt}$$

$$Q(x)= A_2 - 2*1,4=14\text{KNt}$$

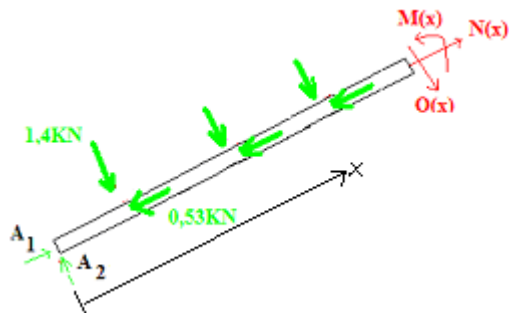
$$Q(0,94)= Q(1,41)= 14\text{KNt}$$

$$M(x)= A_2x-1,4(x-0,47)-1,4(x-0,94) \Rightarrow M(x)=14x+1,974 \quad [\text{KNm}]$$

$$M(0,94)=15,974\text{KNm}$$

$$M(1,41)=21,714\text{KNtm}$$

Τομή 4<sup>η</sup>, Αριστερό Τμήμα  $1,41 < x < 1,88\text{m}$



$$N(x-A_1+3*0,53= -4,78\text{KNt}$$

$$N(1,41)=N(1,88)= -4,78\text{KNt}$$

$$Q(x)= A_2 - 3*1,4=12,6\text{KNt}$$

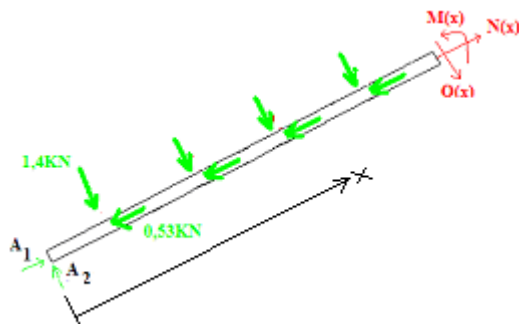
$$Q(1,41)= Q(1,88)= 12,6\text{KNt}$$

$$M(x)= A_2x-1,4(x-0,47)-1,4(x-0,94) -1,4(x-1,41)\Rightarrow M(x)=12,6x+3,948 \text{ [KNm]}$$

$$M(1,41)=21,71\text{KNm}$$

$$M(1,88)= 27,64\text{KNtm}$$

Τομή 5<sup>η</sup>, Αριστερό Τμήμα 1,88<x<2,35m



$$N(x)= -A_1+4*0,53 =-4,25\text{KNt}$$

$$N(1,88)=N(2,35)= -4,25\text{KNt}$$

$$Q(x)= A_2 - 4*1,4=11,2\text{KNt}$$

$$Q(1,88)= Q(2,35)= 11,2\text{KNt}$$

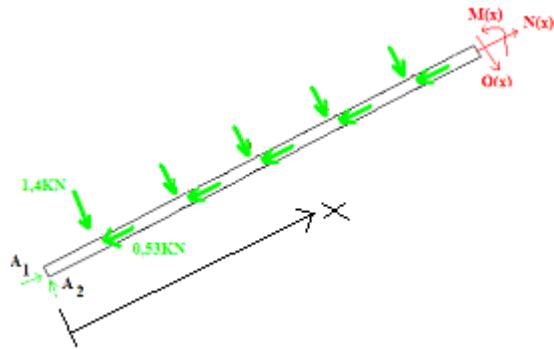
$$M(x)=A_2x-1,4(x-0,47)-1,4(x-0,94)-1,4(x-1,41)-1,4(x-1,88)$$

$$\Rightarrow M(x)=11,2x+6,58[\text{KNm}]$$

$$M(1,88)=27,64\text{KNm}$$

$$M(2,35)=32,9\text{KNtm}$$

Τομή 6<sup>η</sup>, Αριστερό Τμήμα 2,35<x<2,82m



$$N(x) = -A_1 + 5 \cdot 0,53 = -3,72 \text{ KNt}$$

$$N(2,35) = N(2,82) = -3,72 \text{ KNt}$$

$$Q(x) = A_2 - 5 \cdot 1,4 = 9,8 \text{ KNt}$$

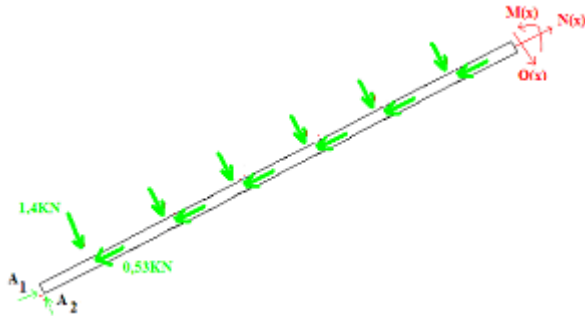
$$Q(2,35) = Q(2,82) = 9,8 \text{ KNt}$$

$$M(x) = A_2 x - 1,4(x-0,47) - 1,4(x-0,94) - 1,4(x-1,41) - 1,4(x-1,88) - 1,4(x-2,35)$$

$$\Rightarrow M(x) = 9,8x + 9,87 \quad [\text{KNm}]$$

$$M(2,35) = 32,9 \text{ KNm} \quad M(2,82) = 37,51 \text{ KNtm}$$

Τομή 7<sup>η</sup>, Αριστερό Τμήμα  $2,82 < x < 3,29 \text{ m}$



$$N(x) = -A_1 + 6 \cdot 0,53 = -3,19 \text{ KNt}$$

$$N(2,82) = N(3,29) = -3,19 \text{ KNt}$$

$$Q(x) = A_2 - 6 \cdot 1,4 = 8,4 \text{ KNt}$$

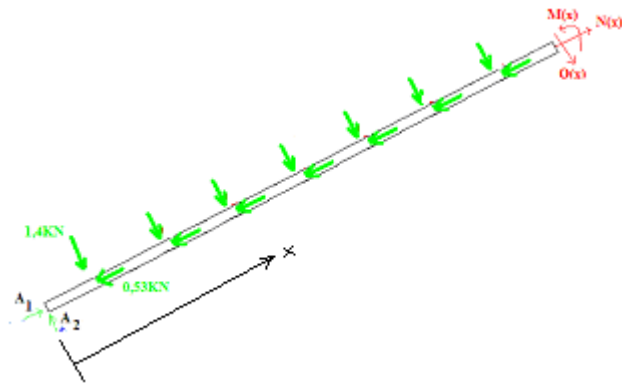
$$Q(2,82) = Q(3,29) = 8,4 \text{ KNt}$$

$$M(x) = A_2 x - 1,4(x-0,47) - 1,4(x-0,94) - 1,4(x-1,41) - 1,4(x-1,88) - 1,4(x-2,35)$$

$$- 1,4(x-2,82) \Rightarrow M(x) = 8,4x + 13,818 \quad [\text{KNm}]$$

$$M(2,82) = 37,51 \text{ KNm} \quad M(3,29) = 41,45 \text{ KNtm}$$

Τομή 8<sup>η</sup>, Αριστερό Τμήμα  $3,29 < x < 3,76 \text{ m}$



$$N(x) = -A_1 + 7 \cdot 0,53 = -2,66 \text{ kNt}$$

$$N(3,29) = N(3,76) = -2,66 \text{ kNt}$$

$$Q(x) = A_2 - 7 \cdot 1,4 = 7 \text{ kNt}$$

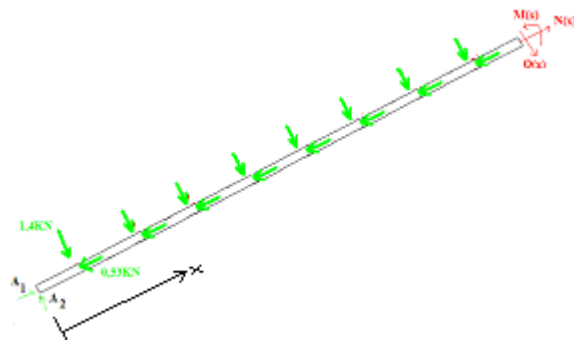
$$Q(3,29) = Q(3,76) = 7 \text{ kNt}$$

$$M(x) = A_2 x - 1,4(x-0,47) - 1,4(x-0,94) - 1,4(x-1,41) - 1,4(x-1,88) - 1,4(x-2,35) - 1,4(x-2,82) - 1,4(x-3,29) \Rightarrow M(x) = 7x + 18,424 \text{ [kNm]}$$

$$M(3,29) = 41,45 \text{ kNm}$$

$$M(3,76) = 44,74 \text{ kNm}$$

Τομή 9<sup>η</sup>, Αριστερό Τμήμα 3,76 < x < 4,23 m



$$N(x) = -2,13 \text{ kNt}$$

$$N(3,76) = N(4,23) = -2,13 \text{ kNt}$$

$$Q(x) = 16,8 - 1,4 \cdot 8 = 5,6 \text{ kNt}$$

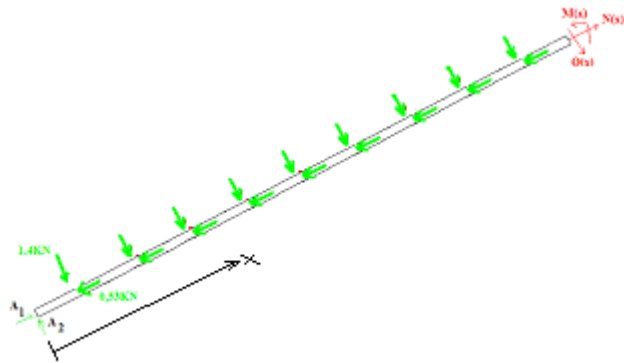
$$Q(3,76) = Q(4,23) = 5,6 \text{ kNt}$$

$$M(x) = 6,8x - 1,4(x-0,47) - 1,4(x-0,94) - 1,4(x-1,41) - 1,4(x-1,88) - 1,4(x-2,35) - 1,4(x-2,82) - 1,4(x-3,29) - 1,4(x-3,76) \Rightarrow M(x) = 5,6x + 23,688 \text{ [kNm]}$$

$$M(3,76) = 44,74 \text{ kNm}$$

$$M(4,23) = 47,38 \text{ kNm}$$

Τομή 10<sup>η</sup>, Αριστερό Τμήμα 4,23 < x < 4,44 m



$$N(x) = -1,6 \text{ KNt}$$

$$N(4,23) = N(4,44) = -1,6 \text{ KNt}$$

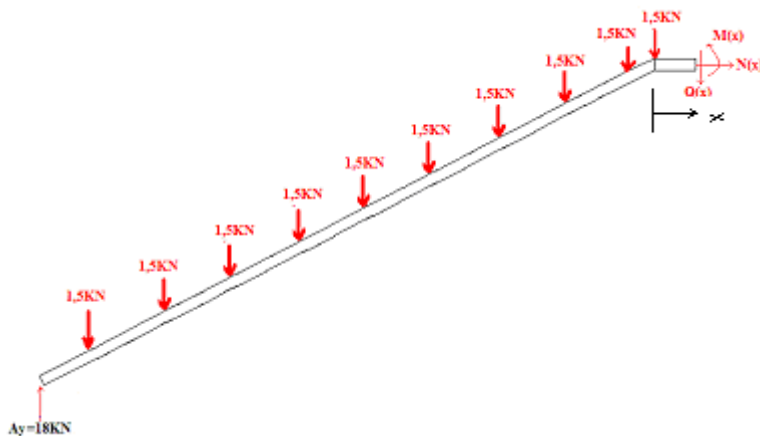
$$Q(x) = 16,8 - 1,4 \cdot 9 = 4,2 \text{ KNt}$$

$$Q(4,23) = Q(4,44) = 4,2 \text{ KNt}$$

$$M(x) = 16,8x - 1,4(x-0,47) - 1,4(x-0,94) - 1,4(x-1,41) - 1,4(x-1,88) - 1,4(x-2,35) - 1,4(x-2,82) - 1,4(x-3,29) - 1,4(x-3,76) - 1,4(x-4,23) \Rightarrow M(x) = 4,2x + 29,61 \quad [\text{KNm}]$$

$$M(4,23) = 47,38 \text{ KNm} \quad M(4,44) = 48,26 \text{ KNm}$$

Τομή 11<sup>η</sup>, Αριστερό Τμήμα  $0 < x < 0,49 \text{ m}$



$$N(x) = 0 \text{ KNt}$$

$$N(0)=N(0,49)= 0\text{KNt}$$

$$Q(x)= 18-1,5*10=3\text{KNt}$$

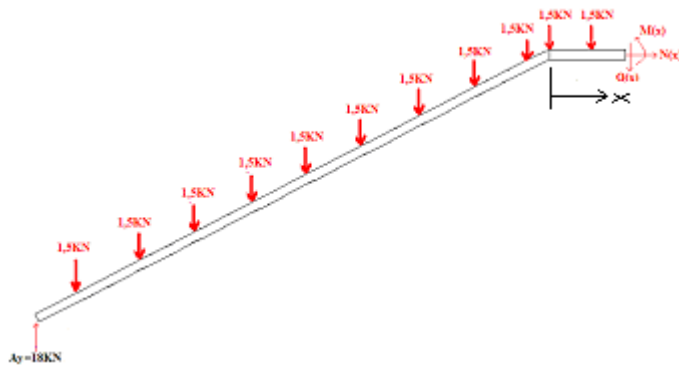
$$Q(0)= Q(0,49)= 3\text{KNt}$$

$$M(x)=Ay(4.15+x)-1.5(4.15-0.4365+x)-1.5(4.15-2*0.4365+x)-1.5(4.15-3*0.4365+x)-1.5(4.15-4*0.4365+x)-1.5(4.15-5*0.4365+x)-1.5(4.15-6*0.4365+x)-1.5(4.15-7*0.4365+x)-1.5(4.15-8*0.4365+x)-1.5(4.15-9*0.4365+x)-1.5x \quad \Rightarrow M(x)=3x+53.05$$

[KNm]

$$M(0)=48,26\text{KNm} \quad M(0,49)= 54.52\text{KNtm}$$

Τομή 12<sup>η</sup>, Αριστερό Τμήμα 0,49<x<0,98m



$$N(x)=0\text{KNt}$$

$$N(0,49)=N(0,98)= 0\text{KNt}$$

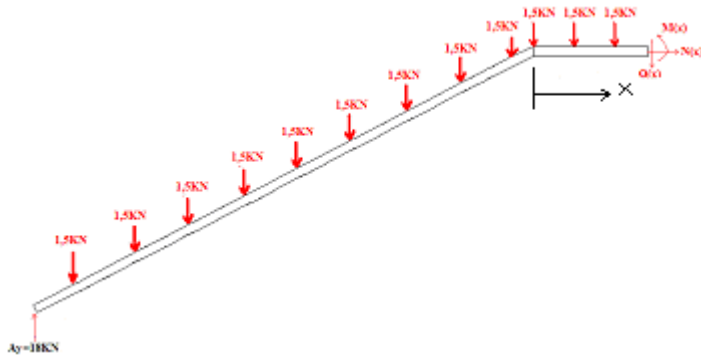
$$Q(x)= 18-1,5*11=1,5\text{KNt}$$

$$Q(0,49)= Q(0,98)= 1,5\text{KNt}$$

$$M(x)= 3x+53.05-1.5(x-0.49) \Rightarrow M(x)=1,5x+53.785 \quad [\text{KNm}]$$

$$M(0,49)=54.52\text{KNm} \quad M(0,98)= 55.255\text{KNtm}$$

Τομή 13<sup>η</sup>, Αριστερό Τμήμα 0,98<x<1,47m



$$N(x) = 0 \text{ kNt}$$

$$N(0,98) = N(1,47) = 0 \text{ kNt}$$

$$Q(x) = 18 - 1,5 \cdot 12 = 0 \text{ kNt}$$

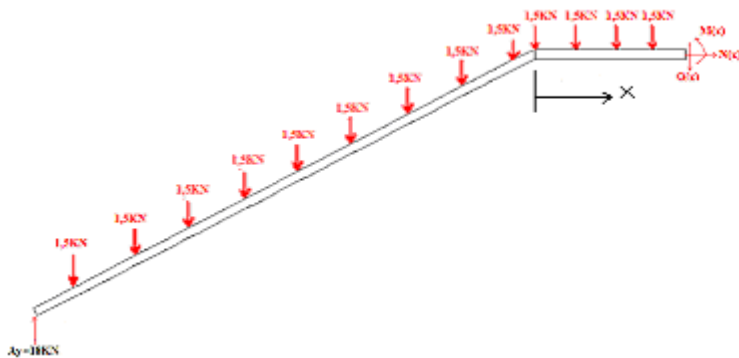
$$Q(0,98) = Q(1,47) = 0 \text{ kNt}$$

$$M(x) = 1,5x + 53,785 - 1,5(x - 0,49 \cdot 2) \Rightarrow M(x) = 55,255 \quad [\text{KNm}]$$

$$M(0,98) = 55,255 \text{ KNm}$$

$$M(1,47) = 55,255 \text{ KNtm}$$

Τομή 14<sup>η</sup>, Αριστερό Τμήμα  $1,47 < x < 1,96 \text{ m}$



$$N(x) = 0 \text{ kNt}$$

$$N(1,47)=N(1,96)= 0\text{KNt}$$

$$Q(x)= 18-1,5 \cdot 13=-1,5\text{KNt}$$

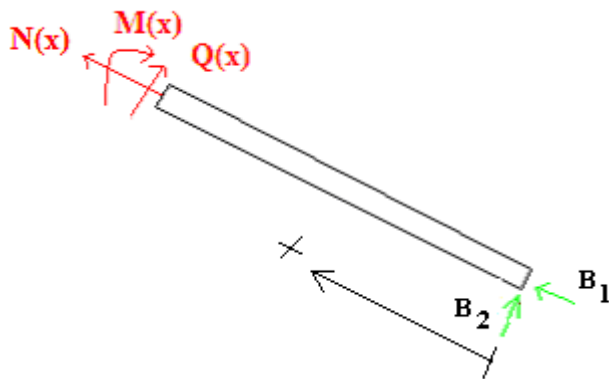
$$Q(1,47)= Q(1,96)= -1,5\text{KNt}$$

$$M(x)= 57,46-1,5x \quad [\text{KNm}]$$

$$M(1,47)=55,255\text{KNm}$$

$$M(1,96)=54,52\text{KNtm}$$

Τομή 15<sup>η</sup>, Δεξί Τμήμα  $0 < x < 0,47\text{m}$



$$N(x)= -B_1=-6,37\text{KNt}$$

$$N(0)=N(0,47)= -6,37\text{KNt}$$

$$Q(x)= B_2=-16,84\text{KNt}$$

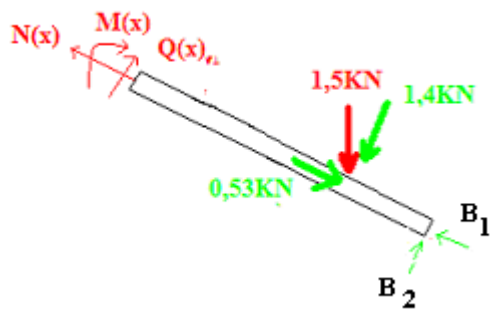
$$Q(0)= Q(0,47)= -16,8\text{KNt}$$

$$M(x)=B_2x=16,8x \quad [\text{KNm}]$$

$$M(0)=0\text{KNm} \quad M(0,47)= 7,896\text{KNtm}$$

Τομή 16<sup>η</sup>, Δεξί Τμήμα  $0,47 < x < 0,94\text{m}$





$$N(x) = 0,53 - A_1 = -5,84 \text{ kNt}$$

$$N(0,47) = N(0,94) = -5,84 \text{ kNt}$$

$$Q(x) = B_2 - 1,4 = 15,4 \text{ kNt}$$

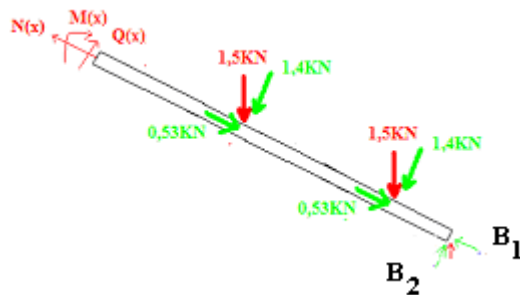
$$Q(0,47) = Q(0,94) = -15,4 \text{ kNt}$$

$$M(x) = B_2 x - (1,4 - 0,47) = 15,4x - 0,658 \quad [\text{KNm}]$$

$$M(0,47) = 7,896 \text{ KNm}$$

$$M(0,94) = 15,974 \text{ KNtm}$$

Τομή 17<sup>η</sup>, Δεξί Τμήμα  $0,94 < x < 1,41 \text{ m}$



$$N(x) = -B_1 + 2 \cdot 0,53 = -5,31 \text{ kNt}$$

$$N(0,94) = N(1,41) = -5,31 \text{ kNt}$$

$$Q(x) = B_2 - 2 \cdot 1,4 = -14 \text{ kNt}$$

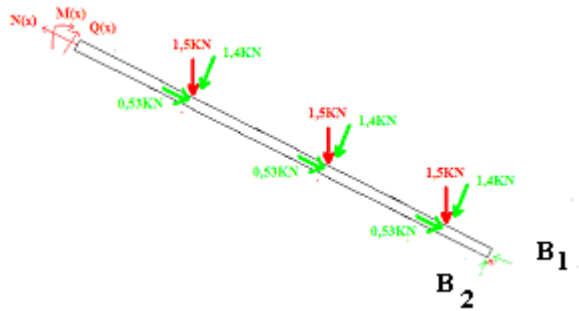
$$Q(0,94) = Q(1,41) = -14 \text{ kNt}$$

$$M(x) = B_2 x - 1,4(x - 0,47) - 1,4(x - 0,94) \Rightarrow M(x) = 14x + 1,974 \quad [\text{KNm}]$$

$$M(0,94) = 15,974 \text{ KNm}$$

$$M(1,41) = 21,714 \text{ KNtm}$$

Τομή 18<sup>η</sup>, Δεξί Τμήμα  $1,41 < x < 1,88 \text{ m}$



$$N(x) = -B_1 + 3 \cdot 0,53 = -4,78 \text{ kNt}$$

$$N(1,41) = N(1,88) = -4,78 \text{ kNt}$$

$$Q(x) = B_2 - 3 \cdot 1,4 = -12,6 \text{ kNt}$$

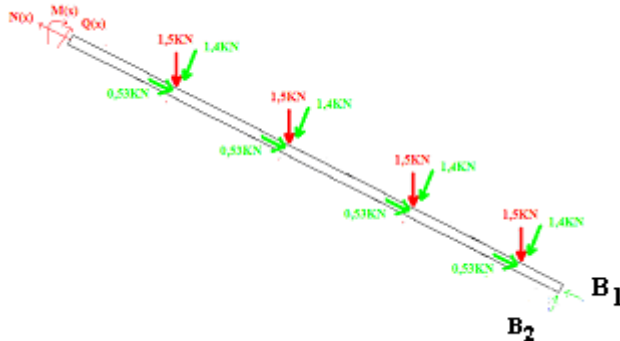
$$Q(1,41) = Q(1,88) = -12,6 \text{ kNt}$$

$$M(x) = B_2 x - 1,4(x - 0,47) - 1,4(x - 0,94) - 1,4(x - 1,41) \Rightarrow M(x) = 12,6x + 3,948 \text{ [kNm]}$$

$$M(1,41) = 21,71 \text{ kNm}$$

$$M(1,88) = 27,64 \text{ kNm}$$

Τομή 19<sup>η</sup>, Δεξί Τμήμα  $1,88 < x < 2,35 \text{ m}$



$$N(x) = -B_1 + 4 \cdot 0,53 = -4,25 \text{ kNt}$$

$$N(1,88) = N(2,35) = -4,25 \text{ kNt}$$

$$Q(x) = B_2 - 4 \cdot 1,4 = -11,2 \text{ kNt}$$

$$Q(1,88) = Q(2,35) = -11,2 \text{ kNt}$$

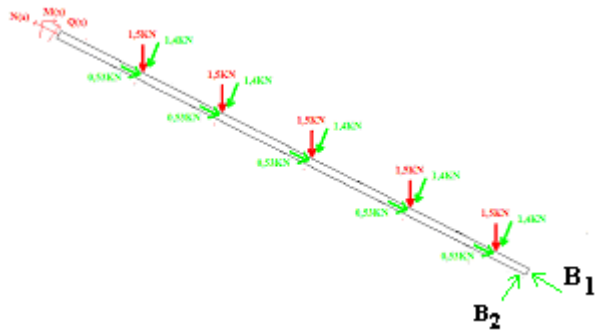
$$M(x) = B_2 x - 1,4(x - 0,47) - 1,4(x - 0,94) - 1,4(x - 1,41) - 1,4(x - 1,88)$$

$$\Rightarrow M(x) = 11,2x + 6,58 \text{ [kNm]}$$

$$M(1,88) = 27,64 \text{ kNm}$$

$$M(2,35) = 32,9 \text{ kNm}$$

Τομή 20<sup>η</sup>, Δεξί Τμήμα 2,35<x<2,82m



$$N(x) = -B_1 + 5 \cdot 0,53 = -3,72 \text{ KNt}$$

$$N(2,35) = N(2,82) = -3,72 \text{ KNt}$$

$$Q(x) = B_2 - 5 \cdot 1,4 = -9,8 \text{ KNt}$$

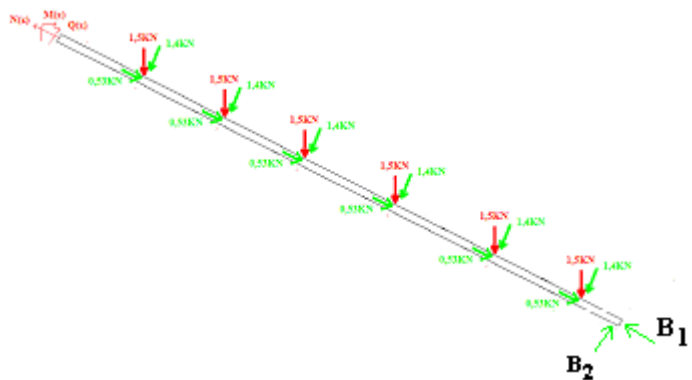
$$Q(2,35) = Q(2,82) = -9,8 \text{ KNt}$$

$$M(x) = B_2 x - 1,4(x-0,47) - 1,4(x-0,94) - 1,4(x-1,41) - 1,4(x-1,88) - 1,4(x-2,35)$$

$$\Rightarrow M(x) = 9,8x + 9,87 \quad [\text{KNm}]$$

$$M(2,35) = 32,9 \text{ KNm} \quad M(2,82) = 37,51 \text{ KNtm}$$

Τομή 21<sup>η</sup>, Δεξί Τμήμα 2,82<x<3,29m



$$N(x) = -B_1 + 6 \cdot 0,53 = -3,19 \text{ KNt}$$

$$N(2,82) = N(3,29) = -3,19 \text{ KNt}$$

$$Q(x) = B_2 - 6 \cdot 1,4 = -8,4 \text{ KNt}$$

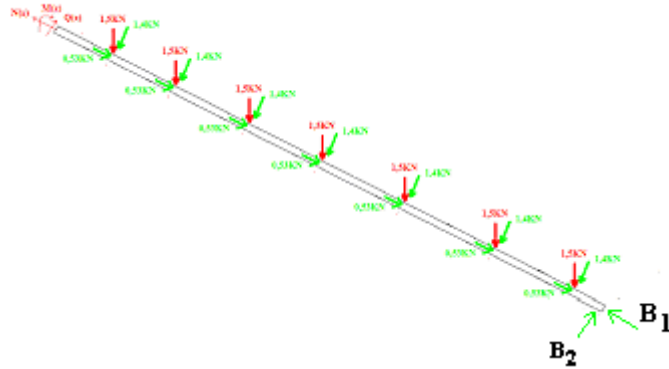
$$Q(2,82) = Q(3,29) = -8,4 \text{ KNt}$$

$$M(x) = B_2 x - 1,4(x-0,47) - 1,4(x-0,94) - 1,4(x-1,41) - 1,4(x-1,88) - 1,4(x-2,35)$$

$$- 1,4(x-2,82) \quad \Rightarrow M(x) = 8,4x + 13,818 \quad [\text{KNm}]$$

$$M(2,82) = 37,51 \text{ KNm} \quad M(3,29) = 41,45 \text{ KNtm}$$

Τομή 22<sup>η</sup>, Δεξί Τμήμα 3,29<x<3,76m



$$N(x) = -B_1 + 7 \cdot 0,53 = -2,66 \text{KNt}$$

$$N(3,29) = N(3,76) = -2,66 \text{KNt}$$

$$Q(x) = B_2 - 7 \cdot 1,4 = 7 \text{KNt}$$

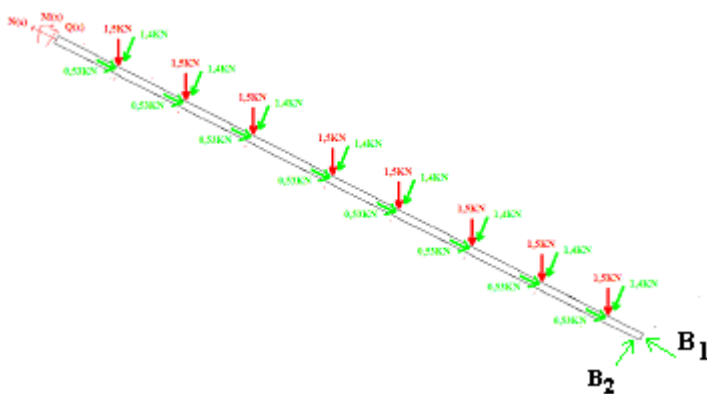
$$Q(3,29) = Q(3,76) = 7 \text{KNt}$$

$$M(x) = B_2 x - 1,4(x-0,47) - 1,4(x-0,94) - 1,4(x-1,41) - 1,4(x-1,88) - 1,4(x-2,35) - 1,4(x-2,82) - 1,4(x-3,29) \Rightarrow M(x) = 7x + 18,424 \text{ [KNm]}$$

$$M(3,29) = 41,45 \text{KNm}$$

$$M(3,76) = 44,74 \text{KNtm}$$

Τομή 23<sup>η</sup>, Δεξί Τμήμα 3,76<x<4,23m



$$N(x) = -2,13 \text{KNt}$$

$$N(3,76) = N(4,23) = -2,13 \text{KNt}$$

$$Q(x) = 16,8 - 1,4 \cdot 8 = 5,6 \text{KNt}$$

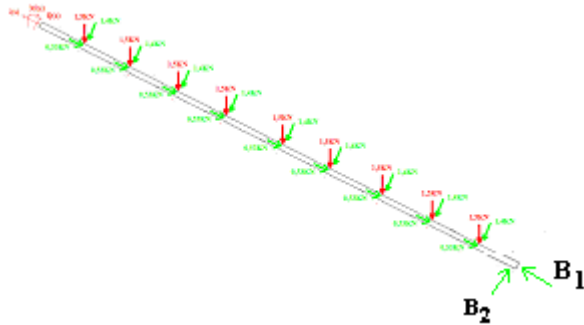
$$Q(3,76) = Q(4,23) = 5,6 \text{KNt}$$

$$M(x) = 6,8x - 1,4(x-0,47) - 1,4(x-0,94) - 1,4(x-1,41) - 1,4(x-1,88) - 1,4(x-2,35) - 1,4(x-2,82) - 1,4(x-3,29) - 1,4(x-3,76) \Rightarrow M(x) = 5,6x + 23,688 \quad [\text{KNm}]$$

$$M(3,76) = 44,74 \text{KNm}$$

$$M(4,23) = 47,38 \text{KNtm}$$

Τομή 24<sup>η</sup>, Δεξί Τμήμα  $4,23 < x < 4,44 \text{m}$



$$N(x) = -1,6 \text{KNt}$$

$$N(4,23) = N(4,44) = -1,6 \text{KNt}$$

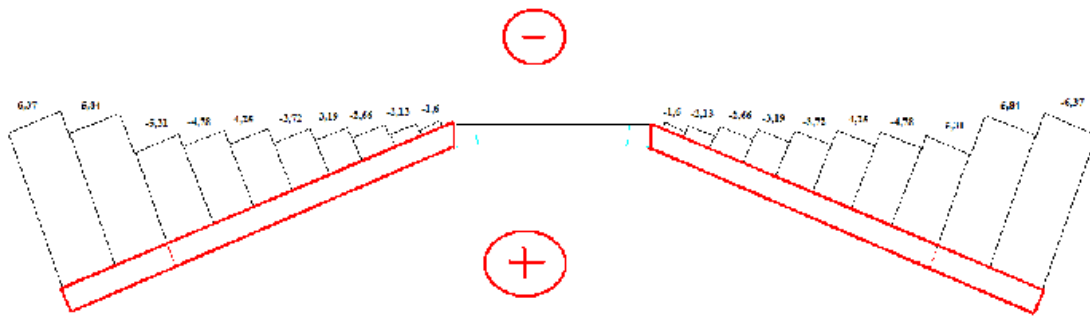
$$Q(x) = 16,8 - 1,4 \cdot 9 = -4,2 \text{KNt}$$

$$Q(4,23) = Q(4,44) = -4,2 \text{KNt}$$

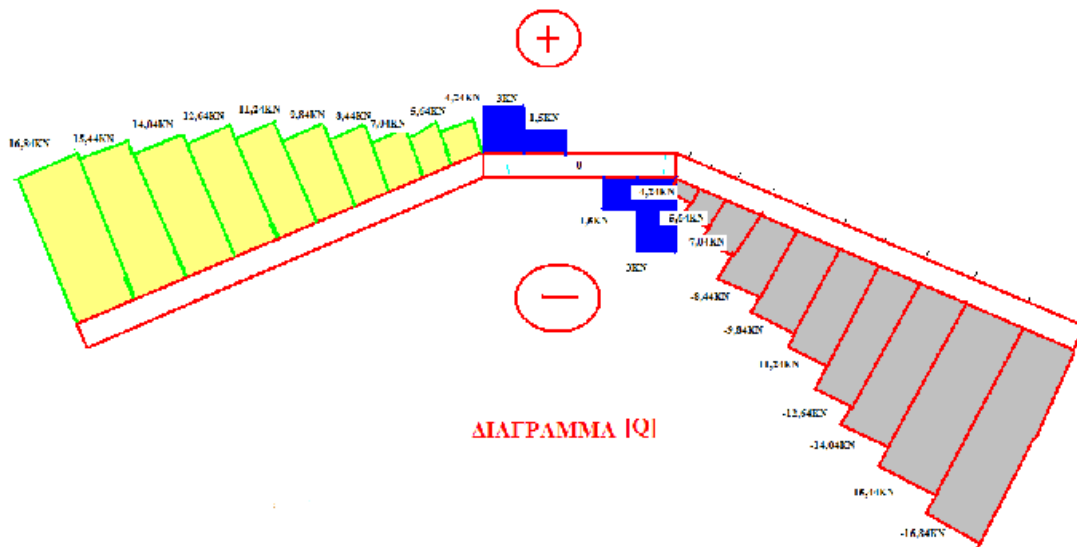
$$M(x) = 16,8x - 1,4(x-0,47) - 1,4(x-0,94) - 1,4(x-1,41) - 1,4(x-1,88) - 1,4(x-2,35) - 1,4(x-2,82) - 1,4(x-3,29) - 1,4(x-3,76) - 1,4(x-4,23) \Rightarrow M(x) = 4,2x + 29,61 \quad [\text{KNm}]$$

$$M(4,23) = 47,38 \text{KNm} \quad M(4,44) = 48,26 \text{KNtm}$$

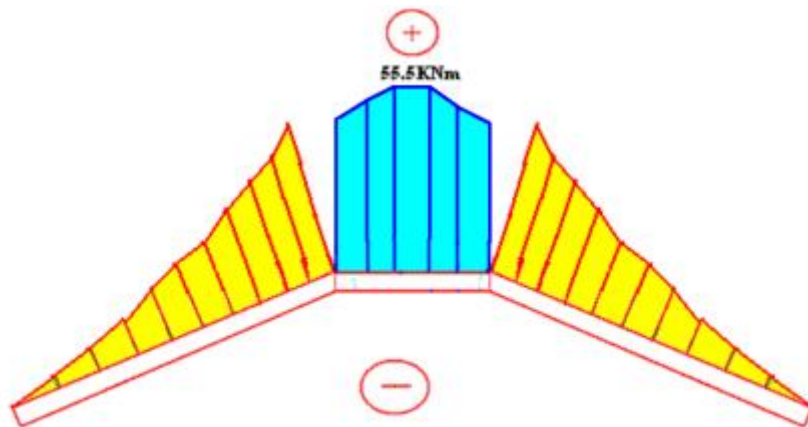
### ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ [N], [Q], [M]



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ [N]



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ [Q]



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ [M]

### 2.3.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΞΥΛΙΝΗΣ ΠΕΖΟΓΕΦΥΡΑΣ

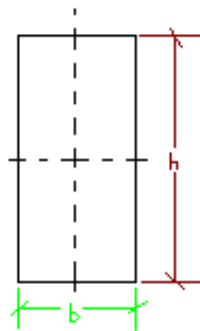
Το δυσμενέστερο σημείο του πλαισίου είναι στο οριζόντιο τμήμα της δοκού στο τμήμα ΓΔ, όπως προέκυψε από το διάγραμμα των καμπτικών ροπών, με μέγιστη τιμή της καμπτικής ροπής  $M_{bmax}=55.5\text{KNm}$ .

Η τάση κάμψεως υπολογίζεται με βάση την ροπή κάμψεως  $M_{bmax}=55500\text{Nm}$  και την ροπή αντίστασης  $W_b$ , εφαρμόζοντας τον τύπο:

$$\sigma_b^{\max} = \frac{M_b}{W_b} = \frac{M_b}{I} y_{\max} \leq \frac{\sigma_{\text{επιτρ}}}{n}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} \quad \text{:Ροπή αδράνειας για ορθογωνική διατομή}$$

$$y_{\max} = \frac{h}{2}$$



Υποθέτουμε ότι:  $h=3b$

Το υλικό που θα χρησιμοποιηθεί στην γέφυρα είναι ξύλο δρυς με επιτρεπόμενη τάση  $\sigma_{\text{επ}}=75\text{MPa}=75000000\text{N/m}^2$ . (πυκνότητα  $500\text{Kg/m}^3$ ).

Συντελεστής ασφαλείας  $n=2,5$  (λαμβάνεται για τιμές από 2 έως 3)

Τελικά θα ισχύει ότι:

$$\sigma_b^{\max} = \frac{M_b}{W_b} = \frac{M_b}{I} y_{\max} \leq \frac{\sigma_{\text{επιτρ}}}{n}$$

$$bh^2 \geq \frac{6M_b n}{\sigma_{\text{επιτρ}}} \Rightarrow b(3b)^2 \geq \frac{6M_b n}{\sigma_{\text{επιτρ}}} \Rightarrow 9b^3 \geq \frac{6M_b n}{\sigma_{\text{επιτρ}}} \Rightarrow b \geq \sqrt[3]{\frac{6M_b n}{9\sigma_{\text{επιτρ}}}}$$

$$b \approx 0,11\text{m} = 11\text{cm}$$

Λαμβάνεται τιμή του  $b=11\text{cm}$ .

Άρα

$$h=3 \cdot 11\text{cm} \Rightarrow h=33\text{cm}$$

Επιλέγουμε διατομή  $b \times h=10 \times 30\text{cm}^2$  και γίνεται έλεγχος.

$$I=bh^3/12=22500\text{cm}^4.$$

$$W=bh^2/6=1500\text{cm}^3=1500 \times 10^{-6}\text{m}^3$$

$$\text{Ορθή τάση: } \sigma=M_b/W=37 \times 10^{-6}\text{N/m}^2 < \sigma_{\text{επ}}=75 \times 10^{-6}\text{N/m}^2$$

## 2.4 ΜΕΛΕΤΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΗΣ ΠΕΖΟΓΕΦΥΡΑΣ

Η αντίστοιχη μελέτη της γέφυρας με σιδηρά κατασκευή, θα αναπτυχθεί στις παρακάτω παραγράφους.

Οι διαστάσεις, τα φορτία και τα διαγράμματα ισχύουν και εδώ, απλά αλλάζει η μεθοδολογία υπολογισμού για την μεταλλική κατασκευή.

### 2.4.1 ΕΠΙΛΟΓΗ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΔΟΚΟΥ

Για την κατασκευή της πεζογέφυρας, θα επιλεγεί διατομή δοκού IPB, HE-B 160, με βάση τον πίνακα του παραρτήματος όπου και θα προκύψουν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά:

$$h=160\text{mm}$$

$$b=160\text{mm}$$

$$s=8\text{mm}$$

$$t=13\text{mm}$$

$$h-2c=104\text{mm}$$

$$F=54.3\text{cm}^2$$

$$I_x=2490\text{cm}^4$$

$$i_x=6.78\text{cm}$$



$$I_y=889\text{cm}^4$$

$$i_y=4.05\text{cm}$$

$$d=23\text{mm}$$

Το υλικό που θα χρησιμοποιηθεί θα είναι St37 (S235) με:

$$f_y=235\text{N/mm}^2 \quad \text{:όριο διαρροής υλικού}$$

$$\varepsilon=(235/f_y)^{0.5}=1 \quad \text{:συντελεστής υλικού}$$

Η εύρεση της κατηγορίας του υλικού θα γίνει με βάση τα δεδομένα των πινάκων του παραρτήματος.

Ο κορμός της διατομής υποβάλλεται σε κάμψη, άρα θα ισχύει:

$$d/t_w=(h-2c)/t_w=104\text{mm}/13\text{mm}=8$$

Με βάση το παραπάνω αποτέλεσμα και εφόσον ισχύει ότι:

$$d/t_w < 72\varepsilon = 72 \text{ άρα η διατομή της δοκού είναι κατηγορία 1.}$$

Το πέλμα του κορμού καταπονείται σε θλίψη άρα θα ισχύει:

$$c/t_f=(b/2)/t_f=(160\text{mm}/2)/13\text{mm}=6.15$$

Με βάση το παραπάνω αποτέλεσμα και εφόσον ισχύει ότι:

$$c/t_f < 10\varepsilon = 10 \text{ άρα η διατομή της δοκού είναι κατηγορία 1.}$$

## 2.4.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΟΚΩΝ ΣΕ ΚΑΜΨΗ

Ο έλεγχος αντοχής της διατομής σε κάμψη θα γίνει συγκρίνοντας την ροπή διαστασιολόγησης  $M_{bmax}=55.5\text{KNm}=M_{sd}$  με την οριακή ροπή της διατομής  $M_{Rd}$ , για την οποία ισχύει:

$$M_{sd} < M_{Rd}$$

Για κατηγορία διατομής 1 ισχύει ότι:

$$M_{Rd} = (W_{pl} f_y) / (1000 \gamma_{MO}) = 75.63 \text{KNm}$$

Όπου:

$W_{pl} = 354 \text{cm}^3$  : πλαστική ροπή αντοχής (Πίνακας)

$f_y = 235 \text{N/mm}^2$  : όριο διαρροής υλικού

$\gamma_{MO} = 1.10$  : συντελεστής ασφαλείας έναντι ορίου διαρροής

Παρατηρούμε ότι:

$$M_{sd} = 55.5 \text{KNm} < M_{Rd} = 75.63 \text{KNm}$$

Άρα η δοκός σε κάμψη αντέχει.

### 2.4.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΟΚΩΝ ΣΕ ΘΛΙΨΗ

Από το διάγραμμα των αξονικών δυνάμεων, προκύπτει ότι τα σημεία Α και Β του πλαισίου καταπονούνται με μέγιστη θλιπτική δύναμη  $637\text{Kp}=6370\text{N}$ .

Για τον υπολογισμό των δοκών σε θλίψη, αρχικά θα προσδιοριστεί η θλιπτική αντίσταση σχεδιασμού της διατομής  $N_{Rd}$  και συγκρίνεται με την υπάρχουσα δύναμη θλίψεως, την δύναμη δηλαδή σχεδιασμού  $N_{sd}=6370\text{N}=6,370\text{KN}$ , για την οποία ισχύει:

$$N_{sd} < N_{Rd}$$

$$N_{Rd} = (F / f_y) / (1000 \gamma_{MO}) = 1160\text{KN}$$

Όπου:

$$F = 54.3\text{cm}^2 = 5430\text{mm}^2 \quad : \text{πλήρης διατομή δοκού}$$

Παρατηρούμε ότι:

$$N_{sd} = 6,37\text{KN} \lll N_{Rd} = 1160\text{KN}$$

Άρα η δοκός αντέχει σε θλίψη.

## 2.4.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΟΚΩΝ ΣΕ ΛΥΓΙΣΜΟ

Για τον υπολογισμό των δοκών σε λυγισμό, εξετάζεται η τιμή διαστασιολόγησης της θλιπτικής δύναμης  $N_{sd}=6370N=6,370KN$  και συγκρίνεται με την οριακή τιμή του λυγισμού  $N_{Rd}$ , για την οποία ισχύει:

$$N_{sd} < N_{Rd}$$

Όπου:

$$N_{Rd} = (\chi \beta_A F / f_y) / (1000 \gamma_{M1}) = 451 \text{ KN}$$

Όπου:

$\beta_A = 1$  : μειωτικός συντελεστής διατομής κατηγορίας 1

$\gamma_{M1} = 1.10$  : συντελεστής ασφαλείας έναντι λυγισμού

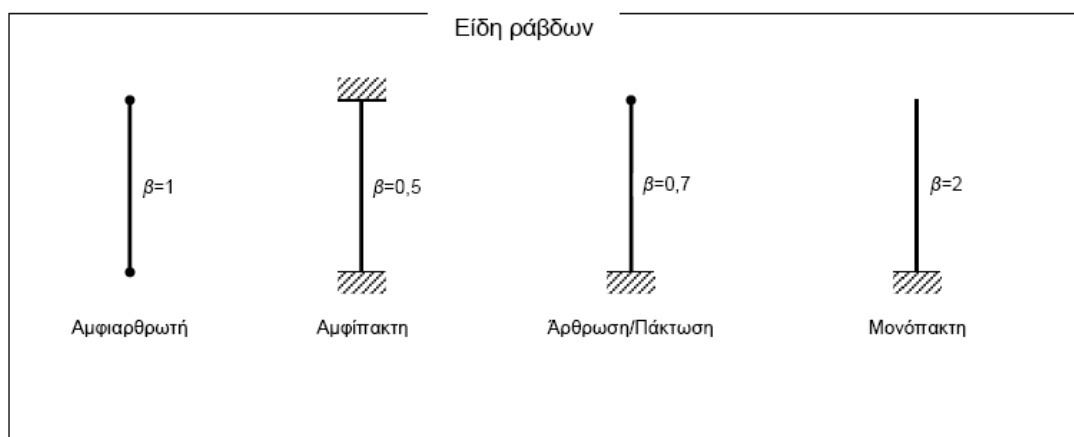
$\chi = 0.3884$  : μειωτικός συντελεστής εξαρτώμενος από την λυγηρότητα, υπολογίζεται από πίνακα του παραρτήματος με βάση την τιμή  $\lambda$ .

$$\lambda = \lambda \beta_A^{0.5} / \lambda_1 = 1.17$$

$\lambda = s_k / i = 444 \text{ cm} / 4.05 \text{ cm} = 110$  : βαθμός λυγηρότητας

$\lambda_1 = \pi (E / f_y)^{0.5} = 93.9 \text{ ε} = 93,9$  : λυγηρότητα αναφοράς

$s_k = \beta l$  : όπου  $\beta$  συντελεστής που λαμβάνεται από το παρακάτω σχήμα και  $l$  το πραγματικό μήκος



$s_k = \beta l = 1 * 444 \text{ cm} = 444 \text{ cm}$  : μήκος λυγισμού

$i=4.05\text{cm}$

Παρατηρούμε ότι:

$$N_{sd}=6,37\text{KN} \lll N_{Rd}=451\text{KN}$$

Άρα η δοκός αντέχει σε λυγισμό.

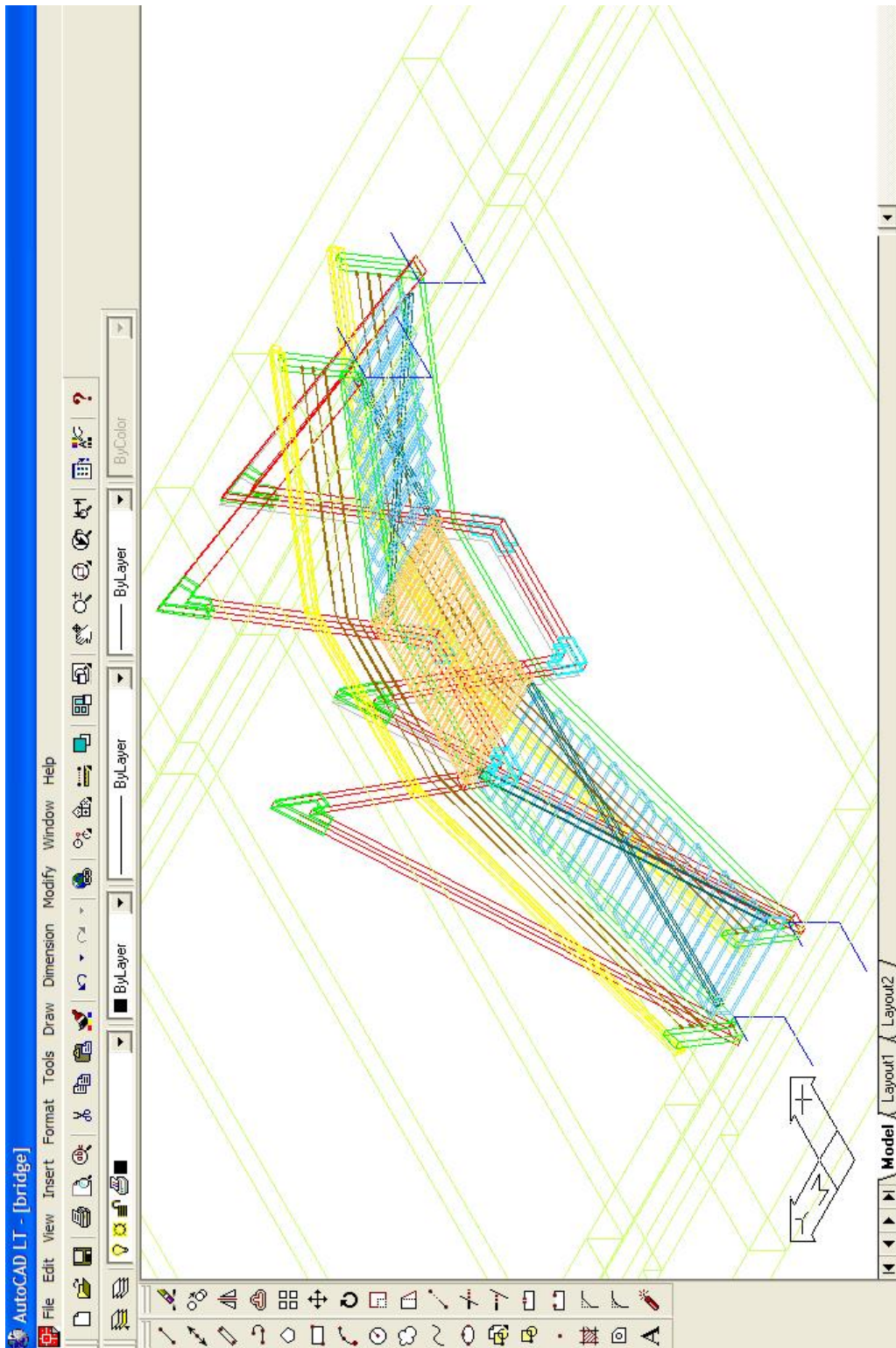
## 2.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

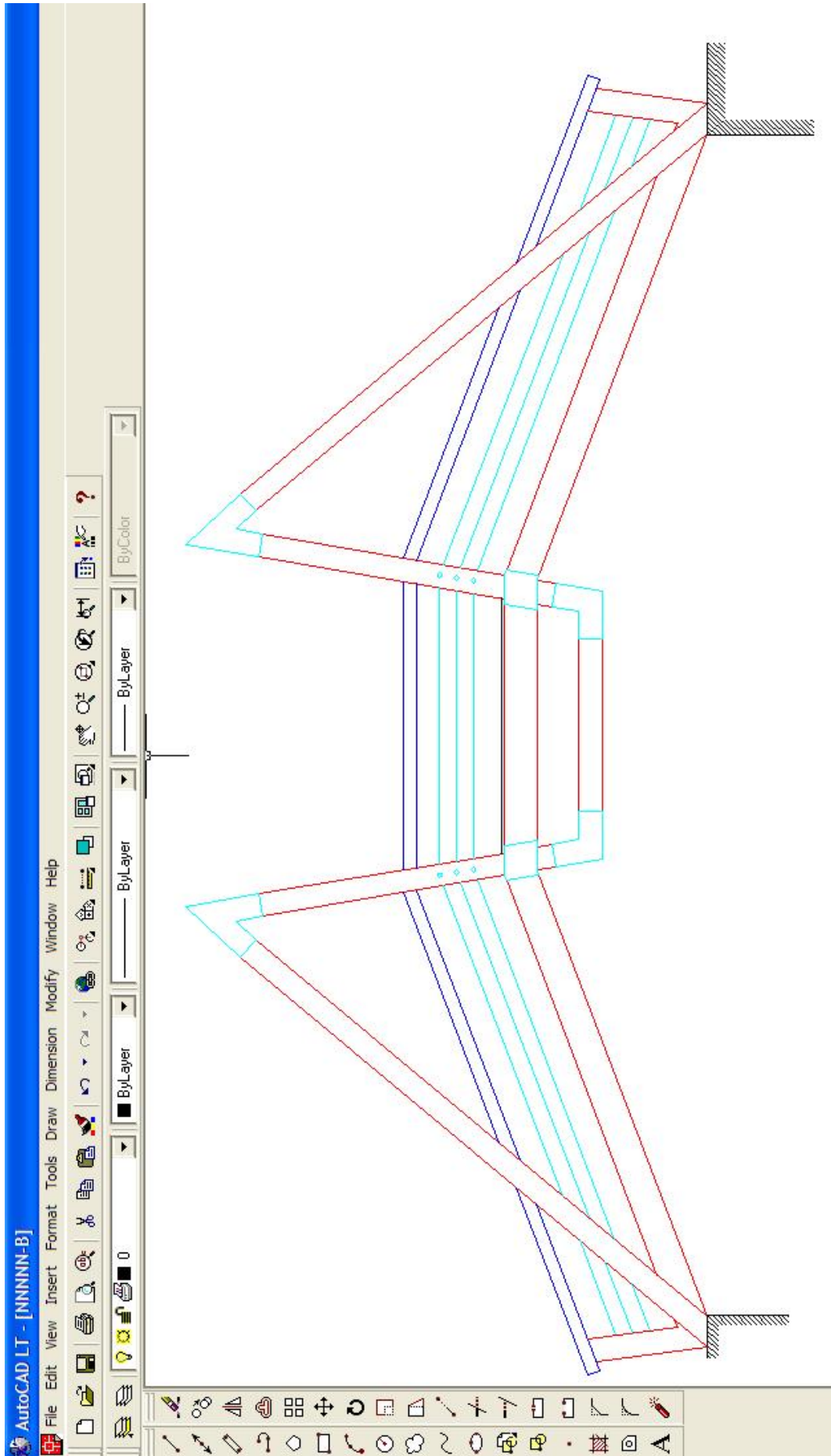
Για την μελέτη της ήδη υπάρχουσας πεζογέφυρας, έγινε μελέτη κατασκευής με την αντίστοιχη μεταλλική.

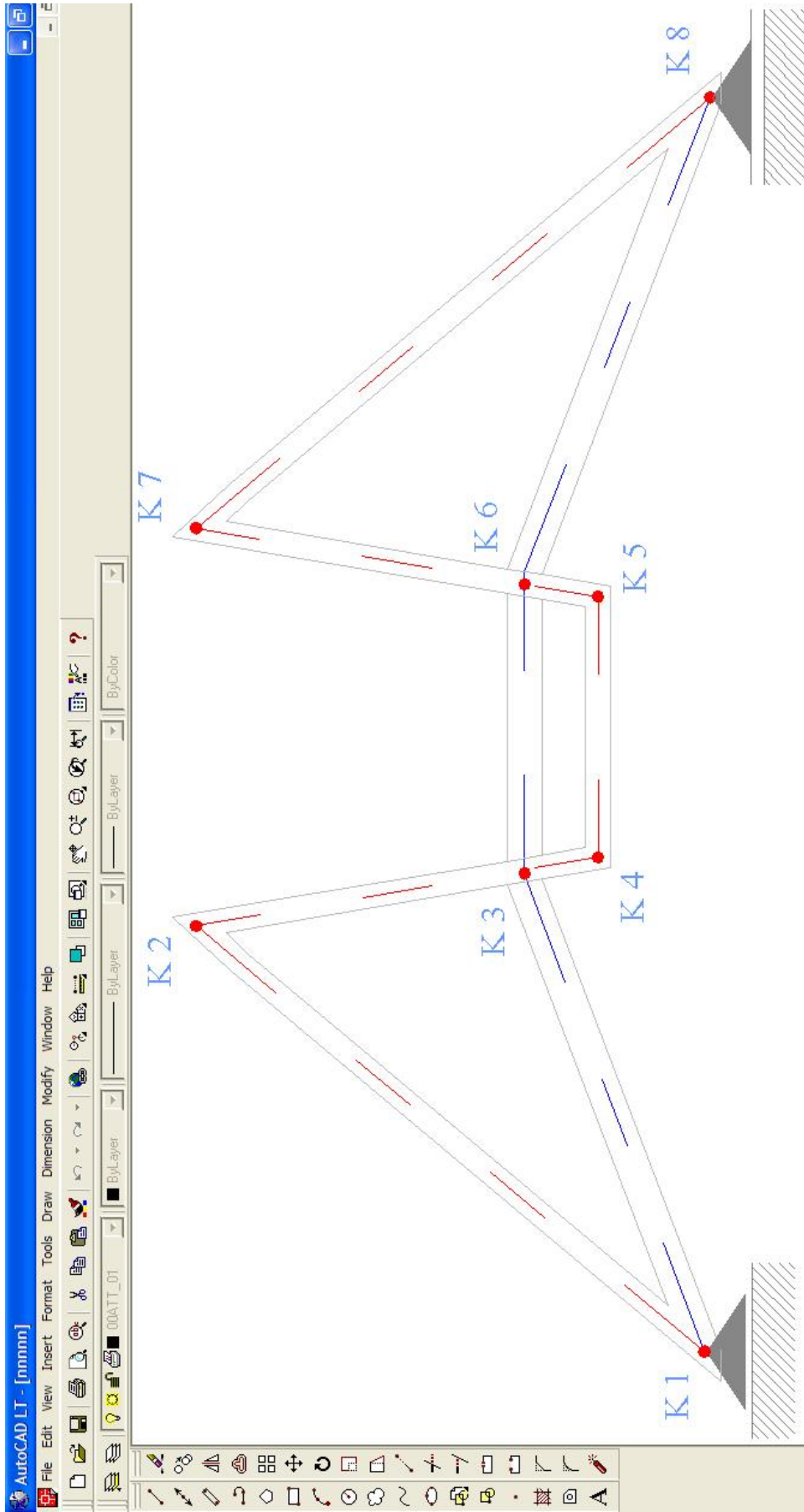
Για την ξύλινη πεζογέφυρα έγινε μελέτη και καταλήξαμε σε επιλογή διατομής δοκαριού, ορθογωνικό  $10 \times 30 \text{ cm}^2$ . Οι πραγματικές διαστάσεις της ξύλινης πεζογέφυρας είναι  $5 \times 20 \text{ cm}^2$ . Η διαφορά αυτή, προφανώς να οφείλεται σε διαφορετικές μέγιστες τιμές διαστασιολόγησης.

Με την ίδια τιμή φόρτισης έγινε η αντίστοιχη μελέτη της μεταλλικής γέφυρας, η οποία επιλέχθηκε να κατασκευαστεί από υλικό St37 και κατόπιν υπολογισμών επιλέχθηκε δοκός της μορφής IPB 160 (HE-B).

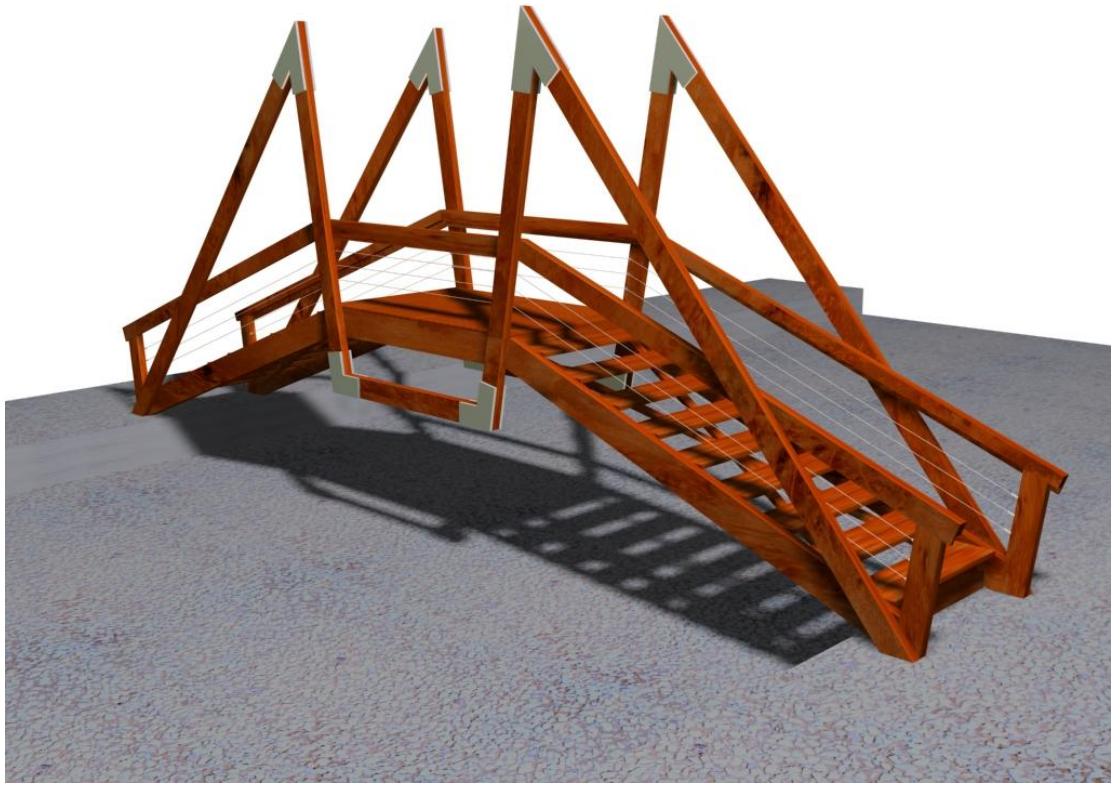
# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΣΧΕΔΙΩΝ











**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΠΙΝΑΚΩΝ**

**ΠΙΝΑΚΑΣ 16.06: Τιμές συντελεστή μείωσης γ για καμπύλη λυγισμού α<sub>0</sub>**

λ	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	λ
0,00	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,00
0,10	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,10
0,20	1,0000	0,9986	0,9973	0,9959	0,9945	0,9931	0,9917	0,9903	0,9889	0,9874	0,20
0,30	0,9859	0,9845	0,9829	0,9814	0,9799	0,9783	0,9767	0,9751	0,9735	0,9718	0,30
0,40	0,9701	0,9684	0,9667	0,9649	0,9631	0,9612	0,9593	0,9574	0,9554	0,9534	0,40
0,50	0,9513	0,9492	0,9470	0,9448	0,9425	0,9402	0,9378	0,9354	0,9328	0,9302	0,50
0,60	0,9276	0,9248	0,9220	0,9191	0,9161	0,9130	0,9099	0,9066	0,9032	0,8997	0,60
0,70	0,8961	0,8924	0,8886	0,8847	0,8806	0,8764	0,8721	0,8676	0,8630	0,8582	0,70
0,80	0,8533	0,8483	0,8431	0,8377	0,8322	0,8266	0,8208	0,8141	0,8087	0,8025	0,80
0,90	0,7961	0,7895	0,7828	0,7760	0,7691	0,7620	0,7549	0,7476	0,7403	0,7329	0,90
1,00	0,7253	0,7178	0,7101	0,7025	0,6948	0,6870	0,6793	0,6715	0,6637	0,6560	1,00
1,10	0,6482	0,6405	0,6329	0,6252	0,6176	0,6101	0,6026	0,5951	0,5877	0,5804	1,10
1,20	0,5732	0,5660	0,5590	0,5520	0,5450	0,5382	0,5314	0,5244	0,5182	0,5117	1,20
1,30	0,5053	0,4990	0,4927	0,4866	0,4806	0,4746	0,4687	0,4629	0,4572	0,4516	1,30
1,40	0,4461	0,4407	0,4353	0,4300	0,4248	0,4197	0,4147	0,4097	0,4049	0,4001	1,40
1,50	0,3953	0,3907	0,3861	0,3816	0,3772	0,3728	0,3685	0,3643	0,3601	0,3560	1,50
1,60	0,3520	0,3480	0,3441	0,3403	0,3365	0,3328	0,3291	0,3255	0,3219	0,3184	1,60
1,70	0,3150	0,3116	0,3083	0,3050	0,3017	0,2985	0,2954	0,2923	0,2892	0,2862	1,70
1,80	0,2833	0,2804	0,2775	0,2746	0,2717	0,2689	0,2664	0,2637	0,2611	0,2585	1,80
1,90	0,2559	0,2534	0,2509	0,2485	0,2461	0,2437	0,2414	0,2390	0,2368	0,2345	1,90
2,00	0,2323	0,2301	0,2280	0,2258	0,2237	0,2217	0,2196	0,2176	0,2156	0,2136	2,00
2,10	0,2117	0,2098	0,2079	0,2061	0,2042	0,2024	0,2006	0,1989	0,1971	0,1954	2,10
2,20	0,1937	0,1920	0,1904	0,1887	0,1871	0,1855	0,1840	0,1824	0,1809	0,1794	2,20
2,30	0,1779	0,1764	0,1749	0,1735	0,1721	0,1707	0,1693	0,1679	0,1665	0,1652	2,30
2,40	0,1639	0,1626	0,1613	0,1600	0,1587	0,1575	0,1563	0,1550	0,1538	0,1526	2,40
2,50	0,1515	0,1503	0,1491	0,1480	0,1469	0,1458	0,1447	0,1436	0,1425	0,1414	2,50
2,60	0,1404	0,1394	0,1383	0,1373	0,1363	0,1353	0,1343	0,1333	0,1324	0,1314	2,60
2,70	0,1305	0,1296	0,1286	0,1277	0,1268	0,1259	0,1250	0,1241	0,1233	0,1224	2,70
2,80	0,1216	0,1207	0,1199	0,1191	0,1183	0,1175	0,1167	0,1159	0,1151	0,1143	2,80
2,90	0,1136	0,1128	0,1120	0,1113	0,1106	0,1098	0,1091	0,1084	0,1077	0,1070	2,90
3,00	0,1061	0,1056	0,1049	0,1043	0,1036	0,1029	0,1023	0,1016	0,1010	0,1003	3,00
3,10	0,0997	0,0991	0,0985	0,0979	0,0972	0,0966	0,0960	0,0955	0,0949	0,0943	3,10
3,20	0,0937	0,0931	0,0926	0,0920	0,0915	0,0909	0,0904	0,0898	0,0893	0,0888	3,20
3,30	0,0882	0,0877	0,0872	0,0867	0,0862	0,0857	0,0852	0,0847	0,0842	0,0837	3,30
3,40	0,0832	0,0828	0,0823	0,0818	0,0814	0,0809	0,0804	0,0800	0,0795	0,0791	3,40
3,50	0,0786	0,0782	0,0778	0,0773	0,0769	0,0765	0,0761	0,0756	0,0752	0,0748	3,50
3,60	0,0744	0,0740	0,0736	0,0732	0,0728	0,0724	0,0720	0,0717	0,0713	0,0709	3,60

*Οι αριθμοί με έντονη γραφή της άνω γραμμής εκκρίνουν τα εκατοστά της ανηγμένης λυγρότητας λ.*

**ΠΙΝΑΚΑΣ 16.07: Τιμές συντελεστή μείωσης γ για καμπύλη λυγισμού α**

λ	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	λ
0,00	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,00
0,10	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,10
0,20	1,0000	0,9978	0,9956	0,9934	0,9912	0,9889	0,9867	0,9844	0,9821	0,9798	0,20
0,30	0,9775	0,9751	0,9728	0,9704	0,9680	0,9655	0,9630	0,9605	0,9580	0,9554	0,30
0,40	0,9528	0,9501	0,9474	0,9447	0,9419	0,9391	0,9363	0,9333	0,9304	0,9273	0,40
0,50	0,9243	0,9211	0,9179	0,9147	0,9114	0,9080	0,9045	0,9010	0,8974	0,8937	0,50
0,60	0,8900	0,8862	0,8823	0,8783	0,8742	0,8700	0,8657	0,8614	0,8569	0,8524	0,60
0,70	0,8477	0,8430	0,8382	0,8332	0,8282	0,8230	0,8178	0,8124	0,8069	0,8014	0,70
0,80	0,7957	0,7899	0,7841	0,7781	0,7721	0,7659	0,7597	0,7534	0,7470	0,7405	0,80
0,90	0,7339	0,7273	0,7206	0,7139	0,7071	0,7003	0,6934	0,6865	0,6796	0,6726	0,90
1,00	0,6656	0,6586	0,6516	0,6446	0,6376	0,6306	0,6236	0,6167	0,6098	0,6029	1,00
1,10	0,5960	0,5892	0,5824	0,5757	0,5690	0,5623	0,5557	0,5492	0,5427	0,5363	1,10
1,20	0,5300	0,5237	0,5175	0,5114	0,5053	0,4993	0,4934	0,4875	0,4817	0,4760	1,20
1,30	0,4703	0,4648	0,4593	0,4538	0,4485	0,4432	0,4380	0,4329	0,4278	0,4228	1,30
1,40	0,4179	0,4130	0,4083	0,4036	0,3989	0,3943	0,3898	0,3854	0,3810	0,3767	1,40
1,50	0,3724	0,3682	0,3641	0,3601	0,3561	0,3521	0,3482	0,3444	0,3406	0,3369	1,50
1,60	0,3337	0,3296	0,3261	0,3226	0,3191	0,3157	0,3124	0,3091	0,3058	0,3026	1,60
1,70	0,2994	0,2963	0,2933	0,2902	0,2872	0,2843	0,2814	0,2786	0,2757	0,2730	1,70
1,80	0,2702	0,2675	0,2649	0,2623	0,2597	0,2571	0,2546	0,2522	0,2497	0,2473	1,80
1,90	0,2449	0,2426	0,2403	0,2380	0,2358	0,2335	0,2314	0,2292	0,2271	0,2250	1,90
2,00	0,2229	0,2209	0,2188	0,2168	0,2149	0,2129	0,2110	0,2091	0,2073	0,2054	2,00
2,10	0,2036	0,2018	0,2001	0,1983	0,1966	0,1949	0,1932	0,1915	0,1899	0,1883	2,10
2,20	0,1867	0,1851	0,1836	0,1820	0,1805	0,1790	0,1775	0,1760	0,1746	0,1732	2,20
2,30	0,1717	0,1704	0,1690	0,1676	0,1663	0,1649	0,1636	0,1623	0,1610	0,1598	2,30
2,40	0,1585	0,1573	0,1560	0,1548	0,1536	0,1524	0,1513	0,1501	0,1490	0,1478	2,40
2,50	0,1467	0,1456	0,1445	0,1434	0,1424	0,1413	0,1403	0,1392	0,1382	0,1372	2,50
2,60	0,1362	0,1352	0,1342	0,1332	0,1323	0,1313	0,1304	0,1295	0,1285	0,1276	2,60
2,70	0,1267	0,1258	0,1250	0,1241	0,1232	0,1224	0,1215	0,1207	0,1198	0,1190	2,70
2,80	0,1182	0,1174	0,1166	0,1158	0,1150	0,1143	0,1135	0,1128	0,1120	0,1113	2,80
2,90	0,1105	0,1098	0,1091	0,1084	0,1077	0,1070	0,1063	0,1056	0,1049	0,1042	2,90
3,00	0,1036	0,1029	0,1022	0,1016	0,1010	0,1003	0,0997	0,0991	0,0985	0,0978	3,00
3,10	0,0972	0,0966	0,0960	0,0954	0,0949	0,0943	0,0937	0,0931	0,0926	0,0920	3,10
3,20	0,0915	0,0909	0,0904	0,0898	0,0893	0,0888	0,0882	0,0877	0,0872	0,0867	3,20
3,30	0,0862	0,0857	0,0852	0,0847	0,0842	0,0837	0,0832	0,0828	0,0823	0,0818	3,30
3,40	0,0814	0,0809	0,0804	0,0800	0,0795	0,0791	0,0786	0,0782	0,0778	0,0773	3,40
3,50	0,0769	0,0765	0,0761	0,0757	0,0752	0,0748	0,0744	0,0740	0,0736	0,0732	3,50
3,60	0,0728	0,0724	0,0721	0,0717	0,0713	0,0709	0,0705	0,0702	0,0698	0,0694	3,60

*Οι αριθμοί με έντονη γραφή της άνω γραμμής εκκρίνουν τα εκατοστά της ανηγμένης λυγρότητας λ.*

ΠΙΝΑΚΑΣ 16.08: Τιμές συντελεστή μείωσης $\chi$ για κυκλική λειτουργία $\theta$											
$\lambda$	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	$\lambda$
0,00	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,0
0,10	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,1
0,20	1,0000	0,9965	0,9929	0,9894	0,9858	0,9822	0,9786	0,9750	0,9714	0,9678	0,2
0,30	0,9641	0,9604	0,9567	0,9530	0,9492	0,9455	0,9417	0,9378	0,9339	0,9300	0,3
0,40	0,9261	0,9221	0,9181	0,9140	0,9099	0,9057	0,9015	0,8973	0,8930	0,8886	0,4
0,50	0,8842	0,8798	0,8752	0,8707	0,8661	0,8614	0,8566	0,8518	0,8470	0,8420	0,5
0,60	0,8371	0,8320	0,8269	0,8217	0,8165	0,8112	0,8058	0,8004	0,7949	0,7893	0,6
0,70	0,7837	0,7780	0,7723	0,7665	0,7606	0,7547	0,7488	0,7428	0,7367	0,7306	0,7
0,80	0,7245	0,7183	0,7120	0,7058	0,6995	0,6931	0,6868	0,6804	0,6740	0,6676	0,8
0,90	0,6612	0,6547	0,6483	0,6419	0,6354	0,6290	0,6226	0,6162	0,6098	0,6034	0,9
1,00	0,5970	0,5907	0,5844	0,5781	0,5719	0,5657	0,5595	0,5534	0,5473	0,5412	1,0
1,10	0,5352	0,5293	0,5234	0,5175	0,5117	0,5060	0,5003	0,4947	0,4891	0,4836	1,1
1,20	0,4781	0,4727	0,4674	0,4621	0,4569	0,4517	0,4466	0,4416	0,4366	0,4317	1,2
1,30	0,4269	0,4221	0,4174	0,4127	0,4081	0,4035	0,3991	0,3946	0,3903	0,3860	1,3
1,40	0,3817	0,3775	0,3734	0,3693	0,3653	0,3613	0,3574	0,3535	0,3497	0,3459	1,4
1,50	0,3422	0,3386	0,3350	0,3314	0,3279	0,3245	0,3211	0,3177	0,3144	0,3111	1,5
1,60	0,3079	0,3047	0,3016	0,2985	0,2955	0,2925	0,2895	0,2866	0,2837	0,2809	1,6
1,70	0,2781	0,2753	0,2726	0,2699	0,2672	0,2646	0,2620	0,2595	0,2570	0,2545	1,7
1,80	0,2521	0,2496	0,2473	0,2449	0,2426	0,2403	0,2381	0,2359	0,2337	0,2315	1,8
1,90	0,2294	0,2272	0,2252	0,2231	0,2211	0,2191	0,2171	0,2152	0,2132	0,2113	1,9
2,00	0,2095	0,2076	0,2058	0,2040	0,2022	0,2004	0,1987	0,1970	0,1953	0,1936	2,0
2,10	0,1920	0,1903	0,1887	0,1871	0,1855	0,1840	0,1825	0,1809	0,1794	0,1780	2,1
2,20	0,1765	0,1751	0,1736	0,1722	0,1708	0,1694	0,1681	0,1667	0,1654	0,1641	2,2
2,30	0,1628	0,1615	0,1602	0,1590	0,1577	0,1565	0,1553	0,1541	0,1529	0,1517	2,3
2,40	0,1506	0,1494	0,1483	0,1472	0,1461	0,1450	0,1439	0,1428	0,1418	0,1407	2,4
2,50	0,1397	0,1387	0,1376	0,1366	0,1356	0,1347	0,1337	0,1327	0,1318	0,1308	2,5
2,60	0,1299	0,1290	0,1281	0,1272	0,1263	0,1254	0,1245	0,1237	0,1228	0,1219	2,6
2,70	0,1211	0,1203	0,1195	0,1186	0,1178	0,1170	0,1162	0,1155	0,1147	0,1139	2,7
2,80	0,1132	0,1124	0,1117	0,1109	0,1102	0,1095	0,1088	0,1081	0,1074	0,1067	2,8
2,90	0,1060	0,1053	0,1046	0,1039	0,1033	0,1026	0,1020	0,1013	0,1007	0,1001	2,9
3,00	0,0994	0,0988	0,0982	0,0976	0,0970	0,0964	0,0958	0,0952	0,0946	0,0940	3,0
3,10	0,0935	0,0929	0,0924	0,0918	0,0912	0,0907	0,0902	0,0896	0,0891	0,0886	3,1
3,20	0,0880	0,0875	0,0870	0,0865	0,0860	0,0855	0,0850	0,0845	0,0840	0,0835	3,2
3,30	0,0831	0,0826	0,0821	0,0816	0,0812	0,0807	0,0803	0,0798	0,0794	0,0789	3,3
3,40	0,0785	0,0781	0,0776	0,0772	0,0768	0,0763	0,0759	0,0755	0,0751	0,0747	3,4
3,50	0,0743	0,0739	0,0735	0,0731	0,0727	0,0723	0,0719	0,0715	0,0712	0,0708	3,5
3,60	0,0704	0,0700	0,0697	0,0693	0,0689	0,0686	0,0682	0,0679	0,0675	0,0672	3,6

Οι αριθμοί με έντονη γραφή της άνω γραμμής εκκρίνουν τα εκατοστά της ανεγμένης λειτουργίας  $\lambda$ .

ΠΙΝΑΚΑΣ 16.09: Τιμές συντελεστή μείωσης $\chi$ για κυκλική λειτουργία $\theta$											
$\lambda$	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	$\lambda$
0,00	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,00
0,10	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,10
0,20	1,0000	0,9949	0,9898	0,9847	0,9797	0,9746	0,9695	0,9644	0,9593	0,9542	0,20
0,30	0,9491	0,9440	0,9389	0,9338	0,9286	0,9235	0,9183	0,9131	0,9078	0,9026	0,30
0,40	0,8973	0,8920	0,8867	0,8813	0,8760	0,8705	0,8651	0,8596	0,8541	0,8486	0,40
0,50	0,8430	0,8374	0,8317	0,8261	0,8204	0,8146	0,8088	0,8030	0,7972	0,7913	0,50
0,60	0,7854	0,7794	0,7735	0,7675	0,7614	0,7554	0,7493	0,7432	0,7370	0,7309	0,60
0,70	0,7247	0,7185	0,7123	0,7060	0,6998	0,6935	0,6873	0,6810	0,6747	0,6684	0,70
0,80	0,6622	0,6559	0,6496	0,6433	0,6371	0,6308	0,6246	0,6184	0,6122	0,6060	0,80
0,90	0,5998	0,5937	0,5876	0,5815	0,5755	0,5695	0,5635	0,5575	0,5516	0,5458	0,90
1,00	0,5399	0,5342	0,5284	0,5227	0,5171	0,5115	0,5059	0,5004	0,4950	0,4896	1,00
1,10	0,4842	0,4790	0,4737	0,4685	0,4634	0,4583	0,4533	0,4483	0,4434	0,4386	1,10
1,20	0,4338	0,4290	0,4243	0,4197	0,4151	0,4106	0,4061	0,4017	0,3974	0,3931	1,20
1,30	0,3888	0,3846	0,3805	0,3764	0,3724	0,3684	0,3644	0,3606	0,3567	0,3529	1,30
1,40	0,3492	0,3455	0,3419	0,3383	0,3348	0,3313	0,3279	0,3245	0,3211	0,3178	1,40
1,50	0,3145	0,3113	0,3081	0,3050	0,3019	0,2989	0,2959	0,2929	0,2900	0,2871	1,50
1,60	0,2842	0,2814	0,2786	0,2759	0,2732	0,2705	0,2679	0,2653	0,2627	0,2602	1,60
1,70	0,2577	0,2553	0,2528	0,2504	0,2481	0,2457	0,2434	0,2412	0,2389	0,2367	1,70
1,80	0,2345	0,2324	0,2302	0,2281	0,2260	0,2240	0,2220	0,2200	0,2180	0,2161	1,80
1,90	0,2141	0,2122	0,2104	0,2085	0,2067	0,2049	0,2031	0,2013	0,1996	0,1979	1,90
2,00	0,1962	0,1945	0,1929	0,1912	0,1896	0,1880	0,1864	0,1849	0,1833	0,1818	2,00
2,10	0,1803	0,1788	0,1774	0,1759	0,1745	0,1731	0,1717	0,1703	0,1689	0,1676	2,10
2,20	0,1662	0,1649	0,1636	0,1623	0,1611	0,1598	0,1585	0,1573	0,1561	0,1549	2,20
2,30	0,1537	0,1525	0,1514	0,1502	0,1491	0,1480	0,1468	0,1457	0,1446	0,1436	2,30
2,40	0,1425	0,1415	0,1404	0,1394	0,1384	0,1374	0,1364	0,1354	0,1344	0,1334	2,40
2,50	0,1325	0,1315	0,1306	0,1297	0,1287	0,1278	0,1269	0,1260	0,1252	0,1243	2,50
2,60	0,1234	0,1226	0,1217	0,1209	0,1201	0,1193	0,1184	0,1176	0,1168	0,1161	2,60
2,70	0,1153	0,1145	0,1137	0,1130	0,1122	0,1115	0,1108	0,1100	0,1093	0,1086	2,70
2,80	0,1079	0,1072	0,1065	0,1058	0,1051	0,1045	0,1038	0,1031	0,1025	0,1018	2,80
2,90	0,1012	0,1006	0,0999	0,0993	0,0987	0,0981	0,0975	0,0969	0,0963	0,0957	2,90
3,00	0,0951	0,0945	0,0939	0,0934	0,0928	0,0922	0,0917	0,0911	0,0906	0,0901	3,00
3,10	0,0895	0,0890	0,0885	0,0879	0,0874	0,0869	0,0864	0,0859	0,0854	0,0849	3,10
3,20	0,0844	0,0839	0,0835	0,0830	0,0825	0,0820	0,0816	0,0811	0,0806	0,0802	3,20
3,30	0,0797	0,0793	0,0789	0,0784	0,0780	0,0775	0,0771	0,0767	0,0763	0,0759	3,30
3,40	0,0754	0,0750	0,0746	0,0742	0,0738	0,0734	0,0730	0,0726	0,0722	0,0719	3,40
3,50	0,0715	0,0711	0,0707	0,0703	0,0700	0,0696	0,0692	0,0689	0,0685	0,0682	3,50
3,60	0,0678	0,0675	0,0671	0,0668	0,0664	0,0661	0,0657	0,0654	0,0651	0,0647	3,60

Οι αριθμοί με έντονη γραφή της άνω γραμμής εκκρίνουν τα εκατοστά της ανεγμένης λειτουργίας  $\lambda$ .

**ΠΙΝΑΚΑΣ 16.10: Τιμές συντελεστή μειώσεως  $\chi$  για καμπύλη λογισμού d**

$\lambda$	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	$\lambda$
0,00	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,00
0,10	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,10
0,20	1,0000	0,9921	0,9843	0,9765	0,9688	0,9611	0,9535	0,9459	0,9384	0,9309	0,20
0,30	0,9235	0,9160	0,9086	0,9013	0,8939	0,8866	0,8793	0,8721	0,8648	0,8576	0,30
0,40	0,8504	0,8432	0,8360	0,8289	0,8218	0,8146	0,8075	0,8005	0,7934	0,7864	0,40
0,50	0,7793	0,7723	0,7653	0,7583	0,7514	0,7444	0,7375	0,7306	0,7237	0,7169	0,50
0,60	0,7100	0,7032	0,6964	0,6897	0,6829	0,6762	0,6695	0,6629	0,6563	0,6497	0,60
0,70	0,6431	0,6366	0,6301	0,6237	0,6173	0,6109	0,6046	0,5983	0,5921	0,5859	0,70
0,80	0,5797	0,5736	0,5675	0,5615	0,5556	0,5496	0,5438	0,5379	0,5322	0,5265	0,80
0,90	0,5208	0,5152	0,5096	0,5041	0,4987	0,4933	0,4879	0,4826	0,4774	0,4722	0,90
1,00	0,4671	0,4620	0,4570	0,4521	0,4472	0,4423	0,4375	0,4328	0,4281	0,4235	1,00
1,10	0,4189	0,4144	0,4099	0,4055	0,4012	0,3969	0,3926	0,3884	0,3843	0,3802	1,10
1,20	0,3762	0,3722	0,3683	0,3644	0,3605	0,3568	0,3530	0,3493	0,3457	0,3421	1,20
1,30	0,3385	0,3350	0,3316	0,3282	0,3248	0,3215	0,3182	0,3150	0,3118	0,3086	1,30
1,40	0,3055	0,3024	0,2994	0,2964	0,2935	0,2906	0,2877	0,2849	0,2821	0,2793	1,40
1,50	0,2766	0,2739	0,2712	0,2686	0,2660	0,2635	0,2609	0,2585	0,2560	0,2536	1,50
1,60	0,2512	0,2488	0,2465	0,2442	0,2419	0,2397	0,2375	0,2353	0,2331	0,2310	1,60
1,70	0,2289	0,2268	0,2248	0,2228	0,2208	0,2188	0,2168	0,2149	0,2130	0,2112	1,70
1,80	0,2093	0,2075	0,2057	0,2039	0,2021	0,2004	0,1987	0,1970	0,1953	0,1936	1,80
1,90	0,1920	0,1904	0,1888	0,1872	0,1856	0,1841	0,1826	0,1810	0,1796	0,1781	1,90
2,00	0,1766	0,1752	0,1738	0,1724	0,1710	0,1696	0,1683	0,1669	0,1656	0,1643	2,00
2,10	0,1630	0,1617	0,1604	0,1592	0,1580	0,1567	0,1555	0,1543	0,1532	0,1520	2,10
2,20	0,1508	0,1497	0,1486	0,1474	0,1463	0,1452	0,1442	0,1431	0,1420	0,1410	2,20
2,30	0,1399	0,1389	0,1379	0,1369	0,1359	0,1349	0,1340	0,1330	0,1320	0,1311	2,30
2,40	0,1302	0,1292	0,1283	0,1274	0,1265	0,1257	0,1248	0,1239	0,1231	0,1222	2,40
2,50	0,1214	0,1205	0,1197	0,1189	0,1181	0,1173	0,1165	0,1157	0,1149	0,1142	2,50
2,60	0,1134	0,1127	0,1119	0,1112	0,1104	0,1097	0,1090	0,1083	0,1076	0,1069	2,60
2,70	0,1062	0,1055	0,1048	0,1042	0,1035	0,1029	0,1022	0,1016	0,1009	0,1003	2,70
2,80	0,0997	0,0990	0,0984	0,0978	0,0972	0,0966	0,0960	0,0954	0,0948	0,0943	2,80
2,90	0,0937	0,0931	0,0926	0,0920	0,0914	0,0909	0,0904	0,0898	0,0893	0,0888	2,90
3,00	0,0882	0,0877	0,0872	0,0867	0,0862	0,0857	0,0852	0,0847	0,0842	0,0837	3,00
3,10	0,0832	0,0828	0,0823	0,0818	0,0814	0,0809	0,0804	0,0800	0,0795	0,0791	3,10
3,20	0,0786	0,0782	0,0778	0,0773	0,0769	0,0765	0,0761	0,0757	0,0752	0,0748	3,20
3,30	0,0744	0,0740	0,0736	0,0732	0,0728	0,0724	0,0721	0,0717	0,0713	0,0709	3,30
3,40	0,0705	0,0702	0,0698	0,0694	0,0691	0,0687	0,0683	0,0680	0,0676	0,0673	3,40
3,50	0,0669	0,0666	0,0663	0,0659	0,0656	0,0652	0,0649	0,0646	0,0643	0,0639	3,50
3,60	0,0636	0,0633	0,0630	0,0627	0,0624	0,0620	0,0617	0,0614	0,0611	0,0608	3,60

Απόστολός, 2007. Αναγωγή των άνω γραμμών σε ισχύ για τα στοιχεία της ανηγμένης λογαρίθμησης  $\lambda$ .

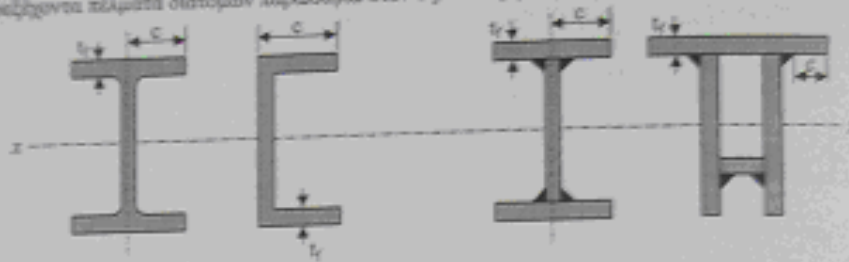
**ΠΙΝΑΚΑΣ 16.11: Πλαστική ροπή αντοχής ομοιομερών ημικυλίων**

Μέγεθος δοκού	Ελατές δοκοί					Μέγεθος δοκού
	I	ΙΡΕ	ΙΡΒ (HE-B)	ΙΡΒ <sub>1</sub> (HE-A)	ΙΡΒ <sub>v</sub> (HE-M)	
80	22,7	23,2	—	—	—	80
100	39,7	39,4	104	83,0	236	100
120	63,5	60,7	165	119	351	120
140	95,2	88,3	245	173	494	140
160	136	124	354	245	675	160
180	187	166	481	325	883	180
200	249	221	643	429	1135	200
220	323	285	827	568	1419	220
240	411	367	1053	745	2117	240
260	513	—	1283	920	2524	260
270	—	484	—	—	—	270
280	631	—	1534	1112	2966	280
300	761	628	1869	1383	4078	300
320	913	—	2149	1628	4435	320
330	—	804	—	—	—	330
340	1078	—	2408	1850	4718	340
360	1274	1019	2683	2088	4989	360
380	1480	—	—	—	—	380
400	1712	1307	3232	2562	5571	400
425	2041	—	—	—	—	425
450	2394	1702	3982	3216	6331	450
475	2795	—	—	—	—	475
500	3235	2194	4815	3949	7094	500
550	4229	2787	5591	4622	7933	550
600	5465	3512	6425	5350	8772	600
650	—	—	7320	6136	9657	650
700	—	—	8327	7032	10539	700
800	—	—	10229	8699	12488	800
900	—	—	12584	10811	14442	900
1000	—	—	14855	12824	16568	1000



ΠΙΝΑΚΑΣ 15.10: Οριακές τιμές λόγων πλάτους προς πάχος ( $c/t_f$ ) για θλιβόμενα εξωτερικά μέρη πέλματων

Προεξέχοντα πέλματα διατομών παράλληλα στον άξονα κάμψης  $x-x$  και στηριζόμενα στην μία πλευρά.



Ελαστές διατομές

Συγκολλητές διατομές

Κατηγορία ελάσματος πέλματος	Τύπος διατομής	Πέλμα σε θλίψη	Πέλμα σε θλίψη και κάμψη	
			Άκρο πέλματος σε θλίψη	Άκρο πέλματος σε εφελκυσμό
Διαγράμματα τάσεων για κατηγορίες 1 και 2				
1	Ελαστή	$\frac{c}{t_f} \leq 10 \cdot \epsilon$	$\frac{c}{t_f} \leq \frac{10 \cdot \epsilon}{\alpha}$	$\frac{c}{t_f} \leq \frac{10 \cdot \epsilon}{\alpha \sqrt{\alpha}}$
	Συγκολλητή	$\frac{c}{t_f} \leq 9 \cdot \epsilon$	$\frac{c}{t_f} \leq \frac{9 \cdot \epsilon}{\alpha}$	$\frac{c}{t_f} \leq \frac{9 \cdot \epsilon}{\alpha \sqrt{\alpha}}$
2	Ελαστή	$\frac{c}{t_f} \leq 11 \cdot \epsilon$	$\frac{c}{t_f} \leq \frac{11 \cdot \epsilon}{\alpha}$	$\frac{c}{t_f} \leq \frac{11 \cdot \epsilon}{\alpha \sqrt{\alpha}}$
	Συγκολλητή	$\frac{c}{t_f} \leq 10 \cdot \epsilon$	$\frac{c}{t_f} \leq \frac{10 \cdot \epsilon}{\alpha}$	$\frac{c}{t_f} \leq \frac{10 \cdot \epsilon}{\alpha \sqrt{\alpha}}$
Διαγράμματα τάσεων για κατηγορία 3				
3	Ελαστή	$\frac{c}{t_f} \leq 15 \cdot \epsilon$	$\frac{c}{t_f} \leq 21 \epsilon \sqrt{K_{\epsilon}}$	
	Συγκολλητή	$\frac{c}{t_f} \leq 14 \cdot \epsilon$	$\frac{c}{t_f} \leq 21 \epsilon \sqrt{K_{\epsilon}}$	
<p><math>\epsilon</math> είναι ίση με 1, <math>\alpha</math> = όμοιο διακρίτης, <math>K_{\epsilon}</math> = αποτελεστικός συντελεστής λυγισμού (κρίσιμης) από Πίνακα 16.15</p>				

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- [1]. «Μεταλλικές Κατασκευές», Ανδρέας Γιαννόπουλος, Εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα 2005
- [2]. «Στοιχεία Μηχανών Ι», Ι. Στεργίου & Κ. Στεργίου, Εκδόσεις ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΕΚΔΟΤΙΚΗ, Αθήνα 2003
- [3]. «Στατική», Π. Βουθούνης, Εκδόσεις Του ιδίου Συγγραφέα, Αθήνα 2002
- [4]. «Σημειώσεις Εργαστηριακές & Άσκησης Πράξης, Στοιχεία Μηχανών Ι», Ανδρέας Γιαννόπουλος, Πάτρα 2011
- [5]. [www.google.com](http://www.google.com) (μηχανή αναζήτησης)