

Α.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ Τ.Τ.

Σ.Τ.ΕΦ. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε.

Δημιουργία εντολών σε περιβάλλον CAD  
για αγκύρωση οπλισμών



Σταματίνα Σκέντερη

Επίβλεψη: Γεώργιος Μιχαήλ Εξαρχάκος - Δημήτριος Δρίβας

Ιούνιος 2017

# Δημιουργία εντολών σε περιβάλλον CAD για αγκύρωση οπλισμών

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

ε/η κάτωθι υπογεγραμμένος/η..... Σκέντερη Σταματίνα..... του  
Νικόλαου Φουφιά του Τμήματος, Πολιτικών Μηχανικών ΤΕ.....

του Α.Ε.Ι Πειραιά Τ.Τ, πριν αναλάβω την εκπόνηση της Πτυχιακής Εργασίας μου, δηλώνω ότι ενημερώθηκα για τα παρακάτω:

«Η Πτυχιακή Εργασία (Π.Ε) αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο του συγγραφέα, όσο και του Ιδρύματος και θα πρέπει να έχει μοναδικό χαρακτήρα και πρωτότυπο περιεχόμενο.

Απαγορεύεται αυστηρά οποιοδήποτε κομμάτι κειμένου της να εμφανίζεται αυτούσιο ή μεταφρασμένο από κάποια άλλη δημοσιευμένη πηγή. Κάθε τέτοια πράξη αποτελεί προϊόν λογοκλοπής και εγείρει θέμα Ηθικής Τάξης για τα πνευματικά δικαιώματα του άλλου συγγραφέα. Αποκλειστικός υπεύθυνος είναι ο συγγραφέας της Π.Ε, ο οποίος φέρει και την ευθύνη των συνεπειών, ποινικών και άλλων, αυτής της πράξης.

Πέραν των όποιων ποινικών ευθυνών του συγγραφέα, σε περίπτωση που το Ίδρυμα του έχει απονεμίσει Πτυχίο, αυτό ανακαλείται με απόφαση της Συνέλευσης του Τμήματος. Η Συνέλευση του Τμήματος με νέα απόφασή της, μετά από αίτηση του ενδιαφερόμενου, του αναθέτει εκ νέου την εκπόνηση Π.Ε με άλλο θέμα και διαφορετικό επιβλέποντα καθηγητή. Η εκπόνηση της εν λόγω Π.Ε πρέπει να ολοκληρώσει εντός τουλάχιστον ενός ημερολογιακού βμήνου από την ημερομηνία ανάθεσής της. Κατά τα λοιπά εφαρμόζονται τα προβλεπόμενα στο άρθρο 18. παρ.5 του ισχύοντος Εσωτερικού Κανονισμού».

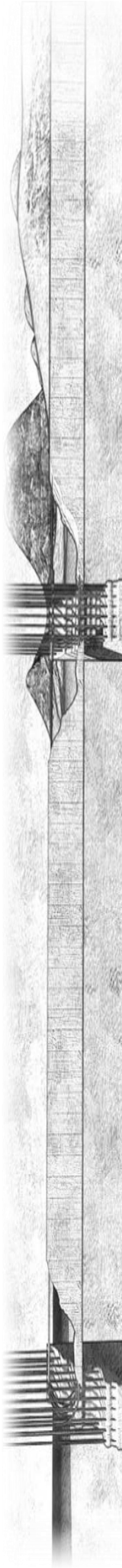
Ο Δηλών  
Στ. Σκέντερη

Ημερομηνία  
27/06/2017

## Ευχαριστίες

---

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τους καθηγητές μου Γεώργιο Μιχαήλ Εξαρχάκο και Δημήτριο Δρίβα, για τις γνώσεις που μου προσέφεραν κατά τη διάρκεια εκπόνησης της πτυχιακής μου εργασίας και για την πολύτιμη βοήθειά τους, η οποία συνέβαλε σημαντικά στην υλοποίησή της.



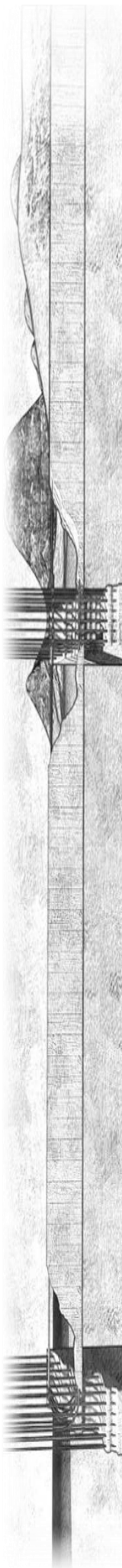
# Δημιουργία εντολών σε περιβάλλον CAD για αγκύρωση οπλισμών

## Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1 .....	1
1.1 Κατασκευές και Ιστορική Αναδρομή στο Σκυρόδεμα .....	1
1.2 Είδη Καταπονήσεων .....	2
1.3 Οπλισμένο Σκυρόδεμα .....	3
1.3.1 Αντοχή Σκυροδέματος .....	3
1.3.2 Αντοχή Χάλυβα .....	3
1.4 Ιδιότητες Κατασκευής .....	5
1.5 Δομικά Στοιχεία Κατασκευής .....	5
1.5.1 Ικανοτικός Σχεδιασμός .....	5
Πηγές 1 <sup>ου</sup> Κεφαλαίου .....	6
Κεφάλαιο 2 .....	7
2.1 Κανονισμός Σκυροδέματος .....	7
2.2 Χαρακτηριστικά των Οπλισμών .....	8
2.2.1 Ονομαστικές διαμέτροι .....	8
2.2.2 Ταυτόχρονη χρησιμοποίηση διαφόρων ειδών χαλύβων .....	8
2.2.3 Καμπυλώσεις οπλισμών .....	8
2.2.3.1 Επιτρεπόμενες διαμέτροι καμπύλωσης .....	8
2.2.3.2 Κάμψεις σε συγκολλητούς οπλισμούς .....	9
2.3 Ελάχιστη Επικάλυψη του Οπλισμού .....	9
2.4 Αποστάσεις μεταξύ των Οπλισμών .....	10
2.5 Τάση Συνάφειας .....	11
2.6 Αγκυρώσεις .....	14
2.6.1 Τύποι αγκυρώσεων .....	14
2.6.2 Βασικό μήκος αγκύρωσης .....	15
2.6.3 Απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης .....	15
2.6.4 Εγκάρσιος οπλισμός στις περιοχές αγκυρώσεων .....	17
2.7 Ειδικές Διατάξεις Εφελκυσμένων Οπλισμών Καμπτόμενων Στοιχείων .....	18
2.7.1 Γενικά .....	18
2.7.2 Κανόνας μετατόπισης .....	18
2.7.3 Αγκυρώσεις εκτός στηρίξεων .....	18
2.7.4 Αγκύρωση σε ακραίες στηρίξεις .....	19

# Δημιουργία εντολών σε περιβάλλον CAD για αγκύρωση οπλισμών

2.7.5	Αγκύρωση σε ενδιάμεσες στηρίξεις.....	20
2.8	Αγκύρωση Οπλισμών Διάτμησης.....	21
2.8.1	Αγκύρωση συνδετήρων.....	21
2.8.2	Εξωτερικοί συνδετήρες.....	22
	(κατά την περίμετρο του δομικού στοιχείου).....	22
2.8.3	Εσωτερικοί συνδετήρες.....	23
2.8.4	Εγκάρδιοι σύνδεσμοι μορφής S.....	24
2.8.5	Αγκυρώσεις κεκλιμένων-λοξών ράβδων.....	24
2.9	Δοκοί.....	25
2.9.1	Γεωμετρικά στοιχεία.....	25
2.9.2	Διαμήκεις οπλισμοί.....	25
2.9.3	Κρίσιμες περιοχές δοκού με αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας.....	28
2.9.4	Οπλισμοί διάτμησης.....	28
2.9.5	Αγκύρωση διαμήκους οπλισμού.....	30
2.9.6	Οπλισμός σύνδεσης πελμάτων-κορμού πλακοδοκών και τοιχωμάτων.....	31
2.10	Υποστυλώματα.....	32
2.10.1	Γεωμετρικά στοιχεία.....	32
2.10.2	Διαμήκεις οπλισμοί.....	32
2.10.3	Εγκάρσιοι οπλισμοί.....	33
2.10.3.1	Οπλισμός περίσφιξης.....	34
2.10.3.2	Οπλισμός κόμβων.....	34
2.10.4	Κρίσιμες περιοχές υποστυλώματος.....	34
2.10.5	Αγκυρώσεις διαμήκους οπλισμού υποστυλώματος.....	35
2.10.6	Αναμονές υποστυλωμάτων.....	35
2.11	Τοιχώματα.....	36
2.11.1	Γεωμετρικά στοιχεία τοιχωμάτων.....	36
2.11.2	Κρίσιμη περιοχή τοιχώματος.....	36
2.11.3	Κατακόρυφοι οπλισμοί τοιχωμάτων.....	37
2.11.4	Οριζόντιοι οπλισμοί κορμού τοιχωμάτων.....	38
	Πηγές 2 <sup>ου</sup> Κεφαλαίου.....	39
	Κεφάλαιο 3.....	40
3.1	Βασικές Έννοιες Κεφαλαίου.....	40

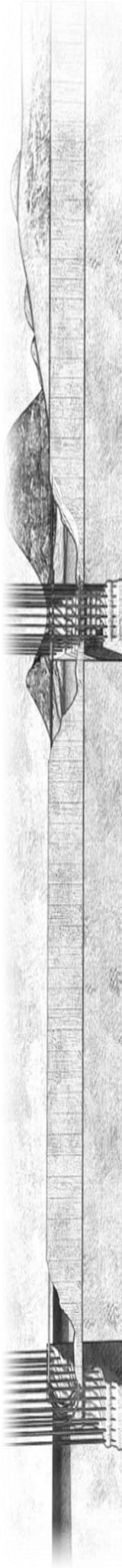


# Δημιουργία εντολών σε περιβάλλον CAD για αγκύρωση οπλισμών

3.1.1	Διαδικό σύστημα αρίθμησης .....	40
3.1.2	Πρόβλημα.....	41
3.1.3	Αλγόριθμος.....	41
3.1.4	Πρόγραμμα.....	42
3.2	Ο Προγραμματισμός ως Έννοια .....	43
3.3	Βασικά Χαρακτηριστικά Προγραμματισμού .....	44
3.3.1	Σχεδίαση προγραμμάτων .....	44
3.3.2	Προγραμματιστικά περιβάλλοντα .....	45
3.3.3	Αντικειμενοστραφής προγραμματισμός.....	46
3.3.4	Συναρτησιακός Προγραμματισμός .....	47
3.4	Ιστορική Αναδρομή .....	49
3.4.1	Ο πρώτος υπολογιστής.....	49
3.4.1.1	Alan Turing.....	49
3.4.1.2	ENIAC.....	50
3.4.2	Γλώσσες χαμηλού επιπέδου .....	52
3.4.3	Γλώσσες υψηλού επιπέδου.....	52
3.4.3.1	Σημαντικότερες γλώσσες υψηλού επιπέδου .....	53
3.4.4	Γλώσσες πολύ υψηλού επιπέδου .....	55
3.5	Προγραμματισμός σε περιβάλλον CAD .....	56
3.5.1	AutoLISP.....	56
3.5.1.1	Υπολογισμός και σχεδίαση διαγραμμάτων .....	57
3.5.1.2	Υπολογισμός και σχεδίαση διχοτόμου γωνίας .....	60
3.5.1.3	Σχεδίαση πόρτας .....	60
3.5.2	Visual Basic for Applications.....	61
	Πηγές 3 <sup>ου</sup> Κεφαλαίου .....	64
	Κεφάλαιο 4.....	66
4.1	Βασικά Δεδομένα Εφαρμογής .....	66
4.1.1	Τρόπος Στήριξης Δοκού .....	66
4.1.2	Διεύθυνση Δοκού .....	67
4.2	Διαστασιολόγηση Δοκού.....	72
4.3	Διαστασιολόγηση Υποστυλωμάτων.....	75
4.4	Τμήματα κώδικα.....	78

# Δημιουργία εντολών σε περιβάλλον CAD για αγκύρωση οπλισμών

Βιβλιογραφία ..... 80



## Εισαγωγή

---

### Περίληψη

Η παρούσα Πτυχιακή Εργασία, έχει ως αντικείμενο τη σχεδίαση αγκυρώσεων δομικών στοιχείων από σκυρόδεμα με χρήση προγραμματισμού σε περιβάλλον CAD. Έπειτα από μελέτη του Ελληνικού Κανονισμού Ωπλισμένου Σκυροδέματος (Ε.Κ.Ω.Σ.) και εντολών προγραμματισμού σε σχεδιαστικό περιβάλλον CAD, δημιουργήθηκε μία εκτελέσιμη εφαρμογή βασισμένη στην τρισδιάστατη σχεδίαση. Εκτελώντας κάποιος την εφαρμογή αυτή, μπορεί να κατανοήσει σχηματικά τη διάταξη των ράβδων από χάλυβα εντός του δομικού στοιχείου, καθώς και τον τρόπο που αγκυρώνονται σε κάθε περίπτωση στήριξης.

Στο 1<sup>ο</sup> Κεφάλαιο της εργασίας περιγράφονται κάποιες βασικές έννοιες και εξηγούνται όροι που θα ακολουθήσουν στη συνέχεια της. Το περιεχόμενο του κεφαλαίου αυτού επικεντρώνεται κυρίως στο τομέα των κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα και στα χαρακτηριστικά και ιδιότητες των υλικών που το απαρτίζουν.

Στο 2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο, σημειώνονται τα σημεία του Ελληνικού Κανονισμού Ωπλισμένου Σκυροδέματος (Ε.Κ.Ω.Σ. 2000) τα οποία μελέτησα για να συνθέσω την εφαρμογή της πτυχιακής μου εργασίας.

Στο 3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο, γίνεται μια ανάλυση στην ιστορία των υπολογιστών και του προγραμματισμού, στις σημαντικότερες γλώσσες προγραμματισμού, καθώς και σε κάποια χαρακτηριστικά προγραμμάτων.

Στο 4<sup>ο</sup> και τελευταίο Κεφάλαιο, παρουσιάζεται μέσω εικόνων η εφαρμογή η οποία αναπτύχθηκε κατά τη διεξαγωγή της πτυχιακής μου εργασίας. Στις εικόνες αυτές απεικονίζεται η φόρμα εισαγωγής δεδομένων και αποτελέσματα (τρειςδιάστατα σχέδια) που προέκυψαν έπειτα από τη λειτουργία της.



## Abstract

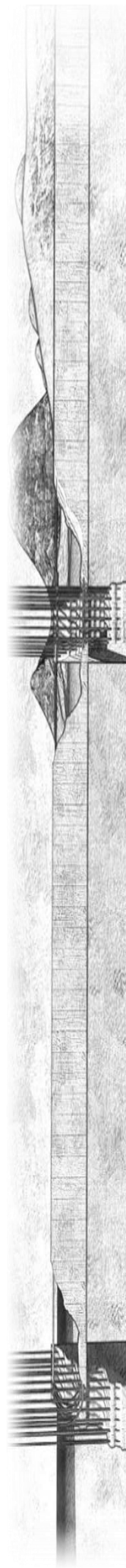
The present Thesis aims at the design of anchorages of reinforced concrete elements using CAD programming. After a study of the Greek Regulation of Reinforced Concrete (EKOS) and programming commands in a CAD design environment, an executable application based on 3D design was created. By executing this application, someone can schematically understand the arrangement of the steel bars within the structural element as well as the way they are anchored in each case of support.

The first chapter of the thesis describes some basic concepts and explains basic terms. The content of this chapter focuses mainly on the field of reinforced concrete structures and on the characteristics and properties of the materials.

In the second Chapter, parts of the Hellenic Regulation of Reinforced Concrete (EKOS 2000) which used in order to compose the application of my thesis.

In the third Chapter, an analysis is made in the history of computers and programming, in the major programming languages, as well as in some program features.

In the fourth and last chapter, the application that was developed during the course of my dissertation is presented through images. These images show the data input form and results (three-dimensional drawings) that emerged after its execution.



## Κεφάλαιο 1

---

### 1.1 Κατασκευές και Ιστορική Αναδρομή στο Σκυρόδεμα

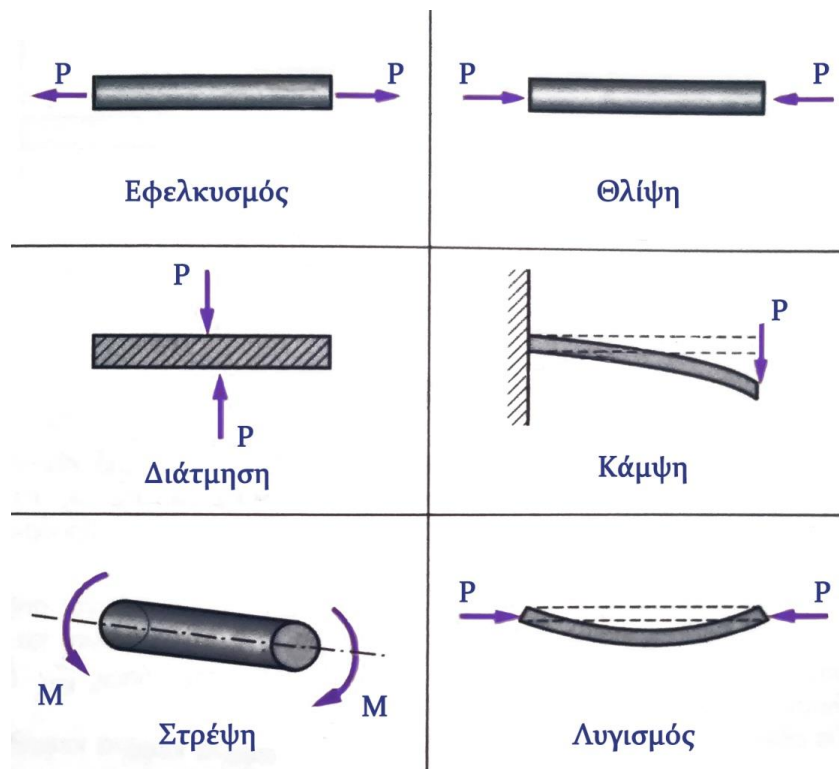
Το πεδίο απασχόλησης του Πολιτικού Μηχανικού είναι οι κατασκευές (κτίρια, γέφυρες κτλ), η μελέτη των οποίων πραγματοποιείται έπειτα από την ανάλυση τους σε πιο απλά δομικά στοιχεία. Τα δομικά στοιχεία των κατασκευών έχουν σαν αποστολή τη μεταφορά του ιδίου βάρους της κατασκευής, καθώς και των εξωτερικών φορτίων που εφαρμόζονται σε αυτή, με ασφάλεια στο έδαφος στο οποίο εδράζονται, γι' αυτό το λόγο ονομάζονται «φορείς». Στόχος μιας επιτυχημένης κατασκευής είναι να μπορεί να παραλάβει τα φορτία που την καταπονούν, χωρίς οι παραμορφώσεις που παρουσιάζονται εξ' αιτίας αυτών να είναι μεγαλύτερες από όσο επιτρέπεται. Προϋποθέσεις που πρέπει να πληρεί μια κατασκευή επομένως, είναι η ασφάλεια και η λειτουργικότητα. Μεγάλος τομέας των κατασκευών είναι τα οικοδομικά έργα από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Το **σκυρόδεμα (μπετόν)** είναι τεχνητό «πέτρωμα» (με μεγάλη αντοχή σε θραύση), που παράγεται από τη σύνθεση και ανάμιξη αδρανών υλικών, τσιμέντου και νερού σε κατάλληλες αναλογίες. Συχνά γίνεται προσθήκη προσμίκτων στο σκυρόδεμα σε περιπτώσεις όπου κάποιες ιδιότητες του σκυροδέματος πρέπει να ικανοποιούν συγκεκριμένες προδιαγραφές, όπως για παράδειγμα όταν η σκυροδέτηση γίνεται υπό ιδιαίτερες κλιματικές συνθήκες. Το σκυρόδεμα αποκτά τις τελικές του ιδιότητες έπειτα από τη σκλήρυνση του μίγματος τσιμέντου και νερού (τσιμεντοπολτού). Τα αδρανή υλικά προέρχονται από τεμαχισμένα πετρώματα ή τεχνητά υλικά και ονομάζονται έτσι διότι θεωρείται ότι δεν λαμβάνουν μέρος στις χημικές αντιδράσεις που συμβαίνουν μεταξύ τσιμέντου και νερού, γεγονός το οποίο δεν είναι απόλυτα αληθές μιας και η εξωτερική επιφάνεια των κόκκων τους επηρεάζει την αντίδραση αυτή.

Η λέξη «μπετόν», προέρχεται από τη λατινική λέξη «bitumen» που σημαίνει λάσπη. Μία πρώιμη μορφή του σκυροδέματος εμφανίστηκε από τους Ρωμαίους οι οποίοι χρησιμοποιούσαν συμπαγές υλικό για την κατασκευή τοίχων με κονία και αλεσμένα τούβλα, τοποθετώντας το ενδιάμεσα από δύο εξωτερικές επιφάνειες τοιχοποιίας. Μάλιστα στις κατασκευές τους έκαναν χρήση ορειχάλκινων βεργών, θυμίζοντας το σημερινό οπλισμένο σκυρόδεμα. Η σύνθεση του σκυροδέματος, εξελίχθηκε στην Αγγλία με την παραγωγή του τσιμέντου στη βιομηχανία (στα λατινικά η λέξη «caementrum» δηλαδή θρυμματισμένος λίθος). Στα μέσα του 19<sup>ου</sup> αιώνα συνδυάστηκε το σκυρόδεμα με το σίδηρο κυρίως από τους Άγγλους και τους Γάλλους.

## 1.2 Είδη Καταπονήσεων

Τα υλικά σώματα απαρτίζονται από ελάχιστου μεγέθους σωματίδια μεταξύ των οποίων αναπτύσσονται δυνάμεις συνοχής που εκδηλώνονται έπειτα από την εφαρμογή εξωτερικών δυνάμεων ικανών να παραμορφώσουν ή να προκαλέσουν θραύση στο σώμα. Όταν οι εξωτερικές δυνάμεις με τις εσωτερικές σε ένα υλικό σώμα ισορροπήσουν και δεν προκληθεί θραύση, τότε το σώμα βρίσκεται σε **εντατική κατάσταση** (καταπόνηση).



Εικόνα 1.1 Είδη Καταπονήσεων

Τα βασικότερα είδη καταπονήσεων είναι ο **εφελκυσμός**, η **θλίψη**, η **διάτμηση**, η **κάμψη**, η **στρέψη** και ο **λυγισμός**. Κατά τον εφελκυσμό στο σώμα δρουν δύο δυνάμεις ίσες και αντίθετες προσπαθώντας να το διασπάσουν, ενώ στη θλίψη οι δυνάμεις έχουν την τάση να το συνθλίψουν. Όταν ένα σώμα καταπονείται από κάμψη, οι δυνάμεις που εφαρμόζονται σε αυτό είναι κάθετες στον άξονά του αναπτύσσοντας ροπές κάμψης, δημιουργώντας καμπύλωση στο σώμα. Στη διάτμηση στο σώμα ασκούνται δύο δυνάμεις ίσες και αντίθετες, τοποθετημένες κάθετα στον άξονα του. Τέλος, κατά το φαινόμενο του λυγισμού οι δυνάμεις που ασκούνται στο σώμα είναι ίσες και αντίθετες μεταξύ τους με τάση να συνθλίψουν το σώμα προκαλώντας του όμως σε αυτό παραμορφώσεις που θυμίζουν καμπτική καταπόνηση. Ένα από τα πιο ενδιαφέροντα μηχανικά χαρακτηριστικά που μπορούν να εμφανιστούν σε ένα υλικό σώμα είναι ο **ερπυσμός**, ο οποίος έπειτα από σταθερή ανάπτυξη τάσεων για μεγάλη χρονική περίοδο, μπορεί να μεταβάλλει τις διαστάσεις του στοιχείου αυτού.

## 1.3 Οπλισμένο Σκυρόδεμα

Ως οπλισμένο σκυρόδεμα χαρακτηρίζεται ένα σύμμικτο υλικό που απαρτίζεται από σκυρόδεμα μέσα στο οποίο έχουν τοποθετηθεί χαλύβδινες ράβδοι. Η συνάφεια των δύο υλικών είναι κρίσιμη καθώς ευνοεί τη συνεργασία τους κατά την παραλαβή φορτίων από το εκάστοτε δομικό στοιχείο. Σε ένα δομικό στοιχείο κατασκευασμένο από οπλισμένο σκυρόδεμα, οι ράβδοι του χάλυβα «αναλαμβάνουν» τις εφελκυστικές τάσεις που αναπτύσσονται κατά την καταπόνηση του φορέα, ενώ το σκυρόδεμα «αναλαμβάνει» τις θλιπτικές. Ένας από τους λόγους που το σκυρόδεμα και ο χάλυβας συνεργάζονται με επιτυχία, είναι το γεγονός ότι και τα δύο υλικά έχουν τον ίδιο συντελεστή θερμικής διαστολής (συστέλλονται και διαστέλλονται την ίδια στιγμή με τις μεταβολές της θερμοκρασίας). Επίσης το σκυρόδεμα λειτουργεί προστατευτικά προς τον χάλυβα, καθώς τον προφυλάσσει από τυχούσα πυρκαγιά και διάβρωση του.

Για να επιτευχθεί η ορθή συνεργασία του σκυροδέματος με το χάλυβα, είναι απαραίτητη η **αγκύρωση των οπλισμών** στα άκρα τους έτσι ώστε να αποφευχθεί η εξόλκευση (έξοδος των χαλύβδινων ράβδων από τη μάζα του σκυροδέματος) τους από το σκυρόδεμα προτού διαρρεύσει ο χάλυβας. Η αγκύρωση των ράβδων που βρίσκονται υπό εφελκυσμό, πραγματοποιείται στις θλιβόμενες περιοχές του εκάστοτε δομικού στοιχείου. Οι θλιπτικές τάσεις που δρουν κάθετα στην διεύθυνση της αγκύρωσης, έχουν θετική επιρροή στη λειτουργία της αγκύρωσης, γι' αυτό το λόγο η τοποθέτηση συνδετήρων προστατεύει το σκυρόδεμα από εγκάρσια διαστολή μιας και προσομοιάζει την εφαρμογή εγκάρσιας θλιπτικής δύναμης. Όταν όλη η επιφάνεια της κάθε ράβδου καλύπτεται πλήρως από το σκυρόδεμα χωρίς να περιβάλλεται από κενά με αέρα, το οπλισμένο σκυρόδεμα χαρακτηρίζεται από συνάφεια.

### 1.3.1 Αντοχή Σκυροδέματος

Η αντοχή του σκυροδέματος περιγράφεται σε **κατηγορίες αντοχής** όπως:

C12/15, C16/20, C20/25, C25/30, C30/37, C35/45, C40/50, C45/55, C50/60.

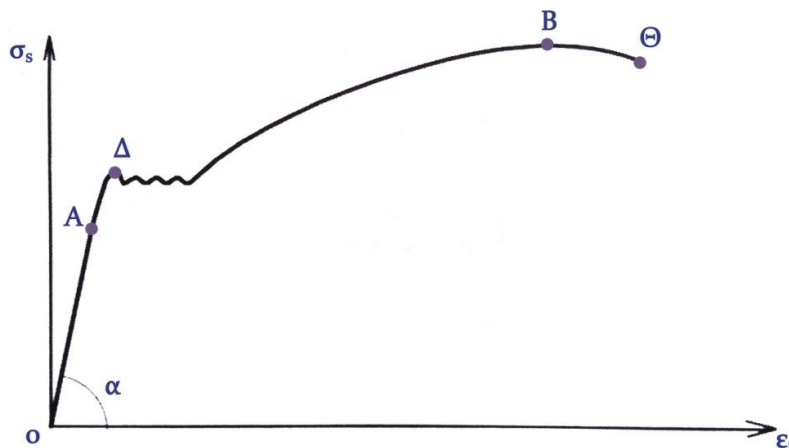
Ο πρώτος αριθμός αντιστοιχεί στην χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή κυλινδρικού δοκιμίου διαμέτρου 150mm και ύψους 300mm, ενώ ο δεύτερος αριθμός σε κυβικά δοκίμια ακμής 150mm ηλικίας 28 ημερών και εκφράζονται σε MPa. Συνεπώς για σκυρόδεμα κατηγορίας C25/30, η χαρακτηριστική αντοχή του κυλινδρικού δοκιμίου  $f_{ck}=25\text{MPa}$  και του κυβικού δοκιμίου  $f_{ck,cube}=30\text{MPa}$ .

### 1.3.2 Αντοχή Χάλυβα

Ο χάλυβας ο οποίος χρησιμοποιείται για την όπλιση του σκυροδέματος, ονομάζεται δομικός και είναι κράμα κυρίως σιδήρου, άνθρακα και άλλων στοιχείων σε μικρά ποσοστά. Είναι βιομηχανικό υλικό και αρκετά ακριβό, οι ιδιότητες που χαρακτηρίζουν τον χάλυβα επηρεάζουν άμεσα τη συμπεριφορά του οπλισμένου σκυροδέματος. Σημαντική παράμετρος για την κατάλληλη χρήση των δομικών υλικών είναι η κατανόηση του τρόπου συμπεριφοράς τους κατά τη διάρκεια καταπονήσεων. Η συμπεριφορά του χάλυβα σε

# Δημιουργία εντολών σε περιβάλλον CAD για αγκύρωση οπλισμών

εφελκυσμό, μπορεί να μελετηθεί από το **διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων** που σχηματίζεται κατά τον εφελκυσμό μιας χαλύβδινης ράβδου. Σε αυτό το πείραμα, παρατηρείται η μεταβολή που παρουσιάζουν οι τάσεις που αναπτύσσονται στο δοκίμιο του χάλυβα σε σχέση με τις παραμορφώσεις που συμβαίνουν σε αυτό.



Εικόνα 1.2 Διάγραμμα τάσεων παραμορφώσεων χάλυβα σε εφελκυσμό

Η τάση( $\sigma$ ) ορίζεται με τον λόγο αξονικού φορτίου  $P$  προς το εμβαδό της διατομής της χαλύβδινης ράβδου  $F$  ή  $A: P = \frac{\sigma}{F}$ , ενώ η παραμόρφωση/επιμήκυνση( $\epsilon$ ) ορίζεται με τον λόγο της μεταβολής του μήκους  $\Delta l$  προς το αρχικό μήκος του δοκίμιου  $l: \epsilon = \frac{\Delta l}{l}$ .

Η περιοχή του διαγράμματος (OA), χαρακτηρίζεται ως «περιοχή ελαστικών παραμορφώσεων» και οι τάσεις σε αυτή είναι ανάλογες των παραμορφώσεων, ενώ μεταβάλλονται γραμμικά με βάση το μέτρο ελαστικότητας του χάλυβα:  $E_s = 200 \text{ GPa}$ . Σε αυτό το τμήμα του διαγράμματος ισχύει η σχέση:  $\sigma_s = E \cdot \epsilon$ . Στο σημείο αναλογίας A, η παραμόρφωση του χάλυβα είναι 0.12% σε σχέση με το αρχικό μήκος του δοκίμιου. Η περιοχή (AD) του διαγράμματος είναι ιδιαίτερα ασταθής και χαρακτηρίζεται από αυξανόμενες παραμορφώσεις στον χάλυβα χωρίς αντίστοιχα αυξανόμενες τάσεις. Στο τέλος της περιοχής αυτής εμφανίζεται το **όριο διαρροής** του υλικού (σημείο Δ), στο οποίο έπειτα από αφαίρεση του φορτίου, η παραμένουσα παραμόρφωση είναι της τάξης του 0.2% και το δοκίμιο δεν επιστρέφει στις αρχικές του διαστάσεις. Το γεγονός ότι ο χάλυβας επιδέχεται μεγάλη και σταδιακή παραμορφωσιμότητα πριν την αστοχία του, λειτουργεί προειδοποιητικά για μελλοντική αστοχία της εκάστοτε κατασκευής από οπλισμένο σκυρόδεμα. Από το σημείο Δ έως το σημείο B του διαγράμματος (περιοχή κράτυνσης), ο χάλυβας προσπαθεί να ανακτήσει ποσοστό της ελαστικής του συμπεριφοράς. Το σημείο B χαρακτηρίζεται ως όριο θραύσης, έπειτα από το οποίο η τάση ελαττώνεται ελαφρά με αύξηση της παραμόρφωσης, όπου στο σημείο Θ το υλικό σπάει απότομα.

Η μηχανική **αντοχή του χάλυβα** ορίζεται από κατηγορίες: S220, S400, S500, S400s, S500s, όπου η τιμή της κάθε κατηγορίας αντιστοιχεί στην χαρακτηριστική τιμή διαρροής του χάλυβα σε MPa. Οι κατηγορίες που έχουν «s» δίπλα στην τιμή, περιγράφουν την ικανότητα του χάλυβα να συγκολληθεί. Για χάλυβα κατηγορίας S500s, η χαρακτηριστική τιμή διαρροής του συγκολλησίμου χάλυβα είναι  $f_{yk}=500\text{MPa}$ .

## 1.4 Ιδιότητες Κατασκευής

Οι τρεις ιδιότητες που περιγράφουν τη σεισμική ικανότητα ενός φορέα, είναι η **δυσκαμψία**, η **αντοχή**, και τέλος η **πλαστιμότητα**. Η δυσκαμψία ενός στοιχείου περιγράφει την αλληλεπίδραση ανάμεσα στις δυνάμεις που ασκούνται σε αυτό και στις παραμορφώσεις που του προκαλούνται. Η ικανότητα ενός δομικού στοιχείου να παίρνει παραμορφώσεις μετά την ελαστική περιοχή και χωρίς να ελαττώνεται η αντοχή του, ονομάζεται πλαστιμότητα.

Σε ένα στοιχείο που κάποια περιοχή του παρουσιάζει διαρροή, αναπτύσσοντας μεγάλη καμπυλότητα σε αυτή, οι εφελκόμενοι χάλυβες εντός της διαρρέουν και η περιοχή ονομάζεται ανελαστική. Η ανελαστική περιοχή μπορεί να εμφανίσει (πλαστική) στροφή αποκτώντας συμπεριφορά άρθρωσης στο επίπεδο, γι' αυτό ονομάζεται **πλαστική άρθρωση**.

**Κρίσιμες περιοχές** ενός δομικού στοιχείου χαρακτηρίζονται τα τμήματα των οποίων είναι πιθανή η εμφάνιση πλαστικής άρθρωσης. Σε αυτές τις περιοχές έχουν τεθεί ειδικές παράμετροι κατά τη μελέτη ώστε να αποφευχθεί το φαινόμενο αυτό. Στις δοκούς οι κρίσιμες περιοχές βρίσκονται δίπλα στις παρειές των υποστυλωμάτων, ενώ στα υποστυλώματα κρίσιμες περιοχές θεωρούνται τα ακραία τμήματά τους.

## 1.5 Δομικά Στοιχεία Κατασκευής

Στα δομικά στοιχεία της κατασκευής, κατατάσσονται οι δοκοί, τα υποστυλώματα καθώς και τα τοιχώματα. **Δοκός** χαρακτηρίζεται ένα οριζόντιο γραμμικό δομικό στοιχείο το οποίο φέρει κατακόρυφα φορτία εγκάρσια προς τον άξονα της. Καταπονούνται κατά κύριο λόγο σε κάμψη και διάτμηση και ελάχιστα σε αξονική δύναμη και στρέψη. **Υποστυλώματα** ορίζονται τα κατακόρυφα γραμμικά δομικά στοιχεία τα οποία βρίσκονται ταυτόχρονα σε θλίψη, κάμψη και παρουσιάζουν αντοχή σε σεισμικές καταπονήσεις του κτιρίου. Μεταφέρουν τα υπερκείμενα φορτία είτε σε υποκείμενα δομικά στοιχεία είτε στη θεμελίωση της κατασκευής. Στα υποστυλώματα στηρίζονται οι δοκοί και πιθανή αστοχία τους μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα μερική ή ολική κατάρρευση της κατασκευής. Απαραίτητος στην ορθή συμπεριφορά των υποστυλωμάτων είναι ο διαμήκης οπλισμός, αυξάνοντας την αντοχή τους σε κάμψη, μειώνοντας τις παραμορφώσεις λόγω ερπυσμού καθώς και οι συνδετήρες οι οποίοι προστατεύουν τον διαμήκη οπλισμό από λυγισμό και βελτιώνουν την πλαστιμότητα και τη φέρουσα ικανότητα των στοιχείων αυτών. Σημαντικό ρόλο στο σεισμό έχουν τα **τοιχώματα** μιας και χαρακτηρίζονται από μεγάλη δυσκαμψία και αντοχή αλλά και από την ικανότητά τους να παραλάβουν οριζόντιες δυνάμεις προερχόμενες από σεισμικές δονήσεις.

### 1.5.1 Ικανοτικός Σχεδιασμός

Στα αρχικά στάδια της μελέτης μίας κατασκευής, σκόπιμος είναι ο **Ικανοτικός Σχεδιασμός** με τον οποίο εξασφαλίζεται η μέγιστη δυνατή απορρόφηση ενέργειας χωρίς όμως να υποστεί αστοχία εξολοκλήρου/κατάρρευση ή μερική αστοχία. Η κατασκευή κατά τον ικανοτικό σχεδιασμό πρέπει να είναι σε θέση να εξαντλήσει τα περιθώρια της σε αντοχή, να παρουσιάσουν βλάβες σε όσο περισσότερα στοιχεία της αυτό είναι εφικτό και να εμφανίσει τις αστοχίες της με επιθυμητή σειρά.

## Πηγές 1<sup>ου</sup> Κεφαλαίου

---

### Κειμένων

Heinrich Schmitt, Andreas Heene, (1988), “Κτιριακές Κατασκευές”, Μ.Γκιούρδας

Θωμάς Ν. Βαλιάσης, (2013), “Στατική των Γραμμικών Φορέων”, Εκδόσεις ΖΗΤΗ

Απόστολος Κωνσταντινίδης, (1994), “Εφαρμογές Οπλισμένου Σκυροδέματος Σύμφωνα με τον νέο κανονισμό σκυροδέματος”, ΤΟΜΟΣ Α΄, π-SYSTEMS INTERNATIONAL

Ι.Γ. Χουλιάρας, (2003), “Κατασκευές Οπλισμένου Σκυροδέματος Σύμφωνα με τον ΕΚΟΣ 2000”, Εκδόσεις Παπασωτηρίου

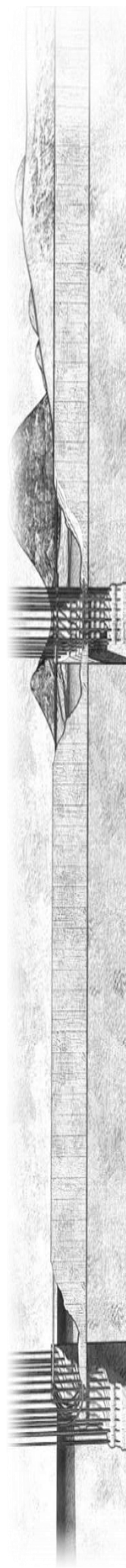
Χρήστος Γ. Καραγιάννης, (2013), “Σχεδιασμός Συμπεριφορά Κατασκευών από Ωπλισμένο Σκυρόδεμα έναντι Σεισμού”, Εκδόσεις σοφία

Π.Α. Βουθούνης, (2011), “τεχνική μηχανική Αντοχή των Υλικών”, Έκδοση Ζ΄, Εκδόσεις ΑΘΗΝΑ

### Εικόνων

Εικόνα 1.1: Π.Α. Βουθούνης, (2011), “τεχνική μηχανική Αντοχή των Υλικών”, Έκδοση Ζ΄, Εκδόσεις ΑΘΗΝΑ

Εικόνα 1.2: Ι.Γ. Χουλιάρας, (2003), “Κατασκευές Οπλισμένου Σκυροδέματος Σύμφωνα με τον ΕΚΟΣ 2000”, Εκδόσεις Παπασωτηρίου



## Κεφάλαιο 2

---

### 2.1 Κανονισμός Σκυροδέματος

Ο πρώτος κανονισμός για κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα στην Ελλάδα, συντάχθηκε το 1954. Έπειτα θεσπίστηκε ο «Νέος Ελληνικός Κανονισμός για τη μελέτη και κατασκευή έργων από Ωπλισμένο Σκυρόδεμα» (Ν.Ε.Κ.Ω.Σ.) το έτος 1991, ενώ τέθηκε πλήρως σε εφαρμογή το 1995. Το 2000 παραδόθηκε στον Ο.Α.Σ.Π. (Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας), η αναθεώρηση του Ν.Ε.Κ.Ω.Σ. με τίτλο «Ελληνικός Κανονισμός Ωπλισμένου Σκυροδέματος 2000» (Ε.Κ.Ω.Σ. 2000) η αποκλειστική εφαρμογή του οποίου πραγματοποιήθηκε το 2001.

Οι τροποποιήσεις για την αναθεώρηση του Ν.Ε.Κ.Ω.Σ. και σύνταξη του Ε.Κ.Ω.Σ. 2000, στηρίχθηκαν σε παρατηρήσεις που προέκυψαν από την εφαρμογή του πρώτου, καθώς και την προσαρμογή των ελληνικών κανονισμών στα δεδομένα του Ευρωκώδικα EC2 για σκυρόδεμα και του EC8 για αντισεισμικά. Στην αναθεώρηση αυτή συνέβαλε και η ανάγκη προσαρμογής του κανονισμού για το σκυρόδεμα με τους ελληνικούς κανονισμούς: Ε.Α.Κ. 2000 (Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός), Κ.Τ.Σ. 1997 (Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος) και Κ.Τ.Χ. 2000 (Κανονισμός Τεχνολογίας Χαλύβων Ωπλισμένου Σκυροδέματος).

Οι κανόνες οι οποίοι θα αναλυθούν παρακάτω προέρχονται από τον Ελληνικό Κανονισμό Ωπλισμένου Σκυροδέματος (Ε.Κ.Ω.Σ.) και ισχύουν για κατασκευές οπλισμένου ή προεντεταμένου σκυροδέματος με ή χωρίς αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας.

Για τα στοιχεία με αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας, διακρίνονται κρίσιμες και μη κρίσιμες περιοχές. Για κάθε περίπτωση σημειώνονται ειδικοί κανόνες.

Στην παρούσα εργασία οι κατασκευές που θα μελετηθούν θα αποτελούνται από στοιχεία σχεδιασμένα με αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας, συνεπώς στο παρόν κεφάλαιο η ανάλυση επικεντρώνεται σε αυτά τα στοιχεία. Επίσης οι ράβδοι του μοντέλου προς μελέτη και σχεδίαση δεν είναι λείες.



## 2.2 Χαρακτηριστικά των Οπλισμών

### 2.2.1 Ονομαστικές διαμέτροι

Οι ράβδοι οι οποίες πρέπει να χρησιμοποιούνται στις κατασκευές, οφείλουν να ακολουθούν τα ισχύοντα πρότυπα και να έχουν τυποποιημένες ονομαστικές διαμέτρους.

### 2.2.2 Ταυτόχρονη χρησιμοποίηση διαφόρων ειδών χαλύβων

Είναι επιτρεπτό να γίνεται χρήση διαφόρων ειδών χαλύβων μόνο όταν αυτή έχει ληφθεί υπόψη κατά την διαστασιολόγηση των στοιχείων και με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι ξεκάθαρη η τοποθέτηση των διαφορετικών τύπων ράβδων κατά την κατασκευή (ράβδοι διαφόρων τύπων, από χάλυβα θερμής ή ψυχρής κατεργασίας και εκείνων που μπορούν και δεν μπορούν να συγκολληθούν).

### 2.2.3 Καμπυλώσεις οπλισμών

#### 2.2.3.1 Επιτρεπόμενες διαμέτροι καμπύλωσης

Η επιτρεπόμενη ελάχιστη διάμετρος  $D$  καμπύλωσης ράβδων, αγκίστρων, αναβολών κλπ., δίνεται στον Πίνακα 2.1 που ακολουθεί.

Πίνακας 2.1 Ελάχιστη διάμετρος  $D$  καμπύλωσης

Α	Διάμετρος ράβδου $\varnothing$ (mm)	Άγκιστρα	
		S220	S400, S500
1	$\varnothing < 20$	2.5 $\varnothing$	4.0 $\varnothing$
2	$\varnothing \geq 20$	5.0 $\varnothing$	7.0 $\varnothing$
B	Επικάλυψη σκυροδέματος κάθετη στην επιφάνεια καμπύλωσης και απόσταση αξόνων ράβδων οπλισμού	Κάμψεις και άλλες καμπυλώσεις (π.χ. σε γωνίες πλαισίων)	
		S220	S400, S500
1	$> 100\text{mm}$ και $> 7 \varnothing$	10 $\varnothing$	10 $\varnothing$
2(*)	$> 50\text{mm}$ και $> 3 \varnothing$	10 $\varnothing$	15 $\varnothing$
3(*)	$\leq 50\text{mm}$ ή $\leq 3 \varnothing$	15 $\varnothing$	20 $\varnothing$

(\*): Αν κάμπτονται στην ίδια θέση ράβδοι περισσότερων στρώσεων τότε οι τιμές διαμέτρων  $D$  για ράβδους εσωτερικών στρώσεων θα αυξάνονται για 50%.

Η ελάχιστη διάμετρος καμπύλωσης  $D$  επιλέγεται με σκοπό την αποφυγή της ρηγματώσης ή διάρρηξης του σκυροδέματος που προέρχεται από την ανάπτυξη πίεσης

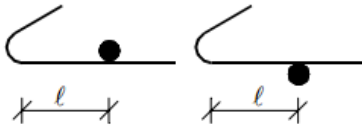

# Δημιουργία εντολών σε περιβάλλον CAD για αγκύρωση οπλισμών

στην εσωτερική άντυγα της ράβδου (B1, B2 και B3) και την αποφυγή ρηγματώσης της ίδιας της ράβδου (A1 και A2).

## 2.2.3.2 Κάμψεις σε συγκολλητούς οπλισμούς

Για συγκολλητούς οπλισμούς και συγκολλητά δομικά πλέγματα τα οποία κάμπτονται μετά την συγκόλληση, ισχύουν οι τιμές του Πίνακα 2.2.

Πίνακας 2.2 Ελάχιστη διάμετρος καμπύλωσης D για συγκολλητούς οπλισμούς

Συγκολλήσεις εκτός καμπύλου τμήματος	Συγκολλήσεις εντός καμπύλου τμήματος
	
$l < 4 \phi$ : $20 \phi$ $l \geq 4 \phi$ : Ισχύουν οι τιμές του Πίνακα 2.1	$20 \phi$

## 2.3 Ελάχιστη Επικάλυψη του Οπλισμού

Για την ελάχιστη και ονομαστική επικάλυψη, ισχύουν οι διατάξεις της §5.1 του Ελληνικού Κανονισμού Ωπλισμένου Σκυροδέματος (Ε.Κ.Ω.Σ.) και της §2.5 του παρόντος κεφαλαίου.

## 2.4 Αποστάσεις μεταξύ των Οπλισμών

Η καθαρή απόσταση παράλληλων οπλισμών –εκτός περιοχών ενώσεων- πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση με:

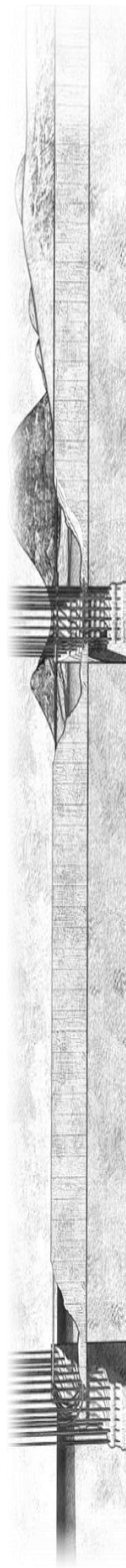
- τη μεγαλύτερη διάμετρο των ράβδων,
- 20mm,
- $d_{αδρ} + 5mm$ , όπου  $d_{αδρ}$  = διάσταση μέγιστου κόκκου αδρανών

Οι αποστάσεις αυτές μεταξύ των οπλισμών προέκυψαν με σκοπό την εξασφάλιση της διάστρωσης και συμπύκνωσης του σκυροδέματος, καθώς και την ανάπτυξη επαρκούς συνάφειας. Για την καλή διάστρωση και συμπύκνωση του σκυροδέματος, πρέπει να επιλέγεται η μέγιστη διάμετρος των αδρανών.

Η ελεύθερη απόσταση μεταξύ σειρών ράβδων θα είναι:

- $\geq 2/3 d_{αδρ}$  και
- $\geq 25mm$

Σε περίπτωση που οι ράβδοι τοποθετούνται σε περισσότερες από μία σειρές, θα πρέπει να τοποθετούνται είτε η μία πάνω από την άλλη, είτε η μία πίσω από την άλλη. Για τις ράβδους με υπερκάλυψη στην περιοχή της ενώσεων όπου υπάρχει πιθανότητα η μία να εφάπτεται της άλλης, οι καθαρές αποστάσεις που προαναφέρθηκαν δεν ισχύουν.



## 2.5 Τάση Συνάφειας

Η ποιότητα της συνάφειας εξαρτάται από:

- τη μορφή της επιφάνειας της ράβδου,
- τη διάσταση του δομικού στοιχείου και
- τη θέση και κλίση του οπλισμού κατά τη σκυροδέτηση.

Η ελάχιστη επικάλυψη των οπλισμών πρέπει να εξασφαλίζει την ανάπτυξη και μεταβίβαση των τάσεων συνάφειας.

Σε όλο το μήκος των ράβδων οι τάσεις συνάφειας θεωρούνται σταθερές. Ο καθορισμός των μηκών αγκύρωσης και των υπερκαλύψεων βασίζεται στην τιμή σχεδιασμού της τάσεως συνάφειας  $f_{bd}$ .

Υπάρχουν δύο περιοχές συνάφειας:

*Περιοχή συνάφειας I:* όπου οι συνθήκες συνάφειας θεωρούνται ευνοϊκές.

*Περιοχή συνάφειας II:* όπου οι συνθήκες συνάφειας δεν θεωρούνται ευνοϊκές.

Η περιοχή συνάφειας II (δυσμενείς συνθήκες), αναφέρεται σε ράβδους που ακολουθούν τις παρακάτω συνθήκες (βλ. και Πίνακα 2.3):

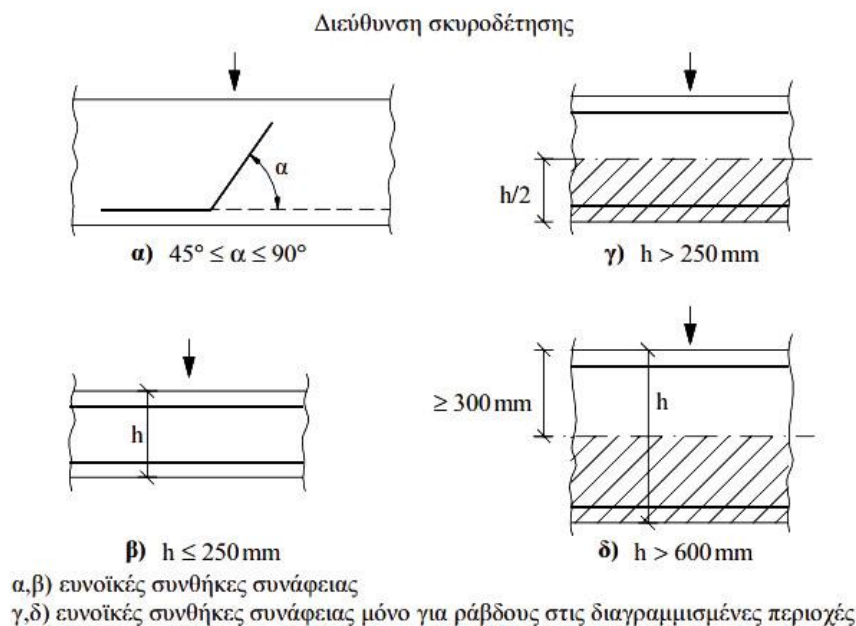
- έχουν κλίση ως προς την οριζόντια  $0^\circ$ - $45^\circ$  για κατακόρυφη σκυροδέτηση,
- βρίσκονται σε στοιχεία με πάχος μεγαλύτερο από 250mm κατά τη διεύθυνση της σκυροδέτησης,
- είναι τοποθετημένες στο πάνω μισό πάχος του στοιχείου,
- το πάχος του σκυροδέματος που τις καλύπτει είναι μικρότερο των 300mm.

Στην περιοχή συνάφειας I (ευνοϊκές συνθήκες), κατατάσσονται όλες οι άλλες ράβδοι.

**Πίνακας 2.3 Καθορισμός των περιοχών συνάφειας**

		Πάχος στοιχείου			
		Μικρότερο ή ίσο από 250mm	Μεγαλύτερο από 250mm		
Κλίση ως προς την οριζόντια			Η ράβδος βρίσκεται στο:		
		/	/	Ανω ήμισυ	
Κάτω ήμισυ				Η ράβδος καλύπτεται από σκυρόδεμα πάχους:	
			< 300mm	≥ 300mm	
Κλίση ως προς την οριζόντια	$0^\circ$ - $45^\circ$	/	/	//	/
	$45^\circ$ - $90^\circ$	/	/	/	/

# Δημιουργία εντολών σε περιβάλλον CAD για αγκύρωση οπλισμών



Σχήμα 2.1 Τυπικές συνθήκες συνάφειας

Οι βασικές τιμές της τάσης συνάφειας  $f_{bd}$  δίνονται στον Πίνακα 2.4:

Πίνακας 2.4 Βασικές τιμές του  $f_{bd}$  (MPa)

	$f_{ck}$	12	16	20	25	30	35	40	45	50
Περιοχή συνάφειας I	Λείες ράβδοι	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7
	Ράβδοι $\varnothing \leq 32$ Υψηλής συνάφειας	1.6	2.0	2.3	2.7	3.0	3.4	3.7	4.0	4.3
Περιοχή συνάφειας II	70% των τιμών της περιοχής συνάφειας I									

Οι τιμές του Πίνακα 2.4 έχουν υπολογισθεί κατά προσέγγιση από τους ακόλουθους τύπους, λαμβάνοντας σαν τιμή του συντελεστή ασφαλείας σκυροδέματος  $\gamma_c = 1.50$ :

- λείες ράβδοι:  $f_{bd} = f_{ctk0.05} / \gamma_c$
- ράβδοι υψηλής συνάφειας:  $f_{bd} = 2.25 \cdot f_{ctk0.05} / \gamma_c$

Για ράβδους υψηλής συνάφειας οι οποίες έχουν διατομή  $\varnothing > 32 \text{ mm}$ , οι τιμές της τάσης συνάφειας  $f_{bd}$  του Πίνακα 2.4 πρέπει να μειώνονται, πολλαπλασιαζόμενες με τον συντελεστή:  $\eta = (132 - \varnothing) / 100$ , όπου  $\varnothing$  σε mm. Κατά κύριο λόγο οι ράβδοι με εγκοπή/εγκοπές δεν θεωρούνται υψηλής συνάφειας.

# Δημιουργία εντολών σε περιβάλλον CAD για αγκύρωση οπλισμών

Όταν ασκείται εγκάρσια μέση πίεση  $p$  (MPa), εγκάρσια προς το αναμενόμενο επίπεδο αποσχίσεως, οι τιμές  $f_{bd}$  του Πίνακα 2.4 μπορούν να αυξάνονται αν πολλαπλασιαστούν με τον συντελεστή  $[1: (1 - 0.04 \cdot p)] \leq 1.4$ .

Ο αυξητικός αυτός συντελεστής των τιμών του  $f_{bd}$  ισούται με 1.4, εξαρτώμενος από την εγκάρσια πίεση  $p$  είναι περιοχές όπως:

- κόμβοι γραμμικών στοιχείων στους οποίους συντρέχουν τουλάχιστον 3 δοκοί, και
- περισφιγμένες περιοχές δομικών στοιχείων.

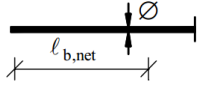
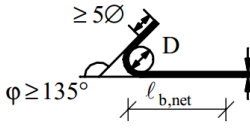
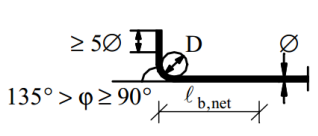
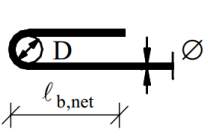
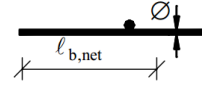
## 2.6 Αγκυρώσεις

### 2.6.1 Τύποι αγκυρώσεων

Οι αγκυρώσεις, με γνώμονα την αποδοτικότητα τους, χωρίζονται στους ακόλουθους τέσσερις τύπους:

1. Ευθύγραμμες αγκυρώσεις,
2. Καμπύλες αγκυρώσεις (άγκιστρα ημικυκλικά, ορθογωνικά, αναβολείς), με ελάχιστη διάμετρο καμπύλωσης  $D$  ίση με εκείνη των σειρών A1 και A2 του Πίνακα 2.1,
3. Ευθύγραμμες αγκυρώσεις με τουλάχιστον μια συγκολλημένη εγκάρσια ράβδο στο μήκος αγκύρωσης. Η διάμετρος της εγκάρσιας συγκολλημένης ράβδου πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση με  $0.6\phi$  και να απέχει έως το πολύ  $5\phi$  από τη θέση έναρξης του μήκους αγκύρωσης,
4. Αγκυρώσεις με πρόσθετα στοιχεία (σώματα αγκύρωσης).

Πίνακας 2.5 Τύποι αγκυρώσεων και τιμές συντελεστή  $\alpha$

Τύποι Αγκύρωσης		Συντελεστής $\alpha$	
		Ράβδοι υπό:	
		Εφελκυσμό	Θλίψη
1		1.0	1.0
2	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>άγκιστρα ημικυκλικά</p>  <p><math>\phi \geq 135^\circ</math></p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>άγκιστρα ορθογωνικά</p>  <p><math>135^\circ &gt; \phi \geq 90^\circ</math></p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>αναβολείς</p>  </div> </div>	0.7	1.0
3		0.7	0.7

Αγκυρώσεις τύπου 1 και ορθογωνικά άγκιστρα τύπου 2 επιτρέπεται να επιλεγθούν μόνο για ράβδους υψηλής συνάφειας, αλλά και για λείες ράβδους όταν έχουν διάμετρο  $\phi \leq 10\text{mm}$ .

Σε περίπτωση που αναβολείς χρησιμοποιούνται σαν ελκυστήρες, η ελάχιστη διάμετρος καμπύλωσης  $D$ , υπολογίζεται, με απόκλιση, από τον Πίνακα 2.1, από την παρακάτω σχέση:

$$\frac{D}{\phi} = \left( 0.5 + \frac{\phi}{e} \right) \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} \quad (2.1)$$

Όπου:

$\phi$  η διάμετρος της ράβδου,

# Δημιουργία εντολών σε περιβάλλον CAD για αγκύρωση οπλισμών

- e η απόσταση των στρώσεων των αναβολών μεταξύ τους ή η εγκάρσια επικάλυψη σκυροδέματος των εξωτερικών στρώσεων.

Αν ο εγκάρσιος εφελκυσμός δεν μπορεί να παραληφθεί από την υπάρχουσα διάταξη του στοιχείου (π.χ. με εγκάρσια θλίψη), απαιτείται η τοποθέτηση εγκάρσιων οπλισμών τέτοιων ώστε να μπορούν να παραλάβουν τη μισή εφελκυστική δύναμη του αναβολέα, τουλάχιστον 2 $\varnothing$ 6 (S400 ή S500).

## 2.6.2 Βασικό μήκος αγκύρωσης

Το βασικό μήκος αγκύρωσης  $\ell_b$  είναι το μήκος αγκύρωσης τύπου 1 με πλήρη εκμετάλλευση της αντοχής της ράβδου.

Για μεμονωμένες ράβδους και συγκολλητά δομικά πλέγματα ράβδων με νευρώσεις, το  $\ell_b$  προσδιορίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$\ell_b = \frac{\varnothing}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}} \quad (2.2)$$

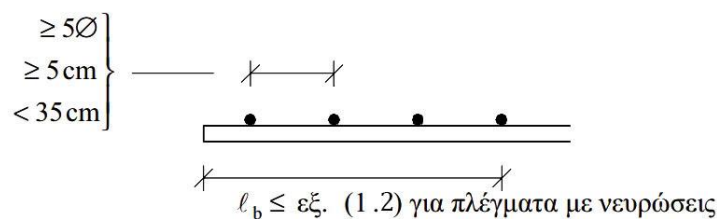
Όπου:

$\varnothing$  η διάμετρος της ράβδου, η οποία για δομικά πλέγματα διπλών ράβδων αντικαθίσταται από την ισοδύναμη διάμετρο της  $\varnothing N2$ ,

$f_{bd}$  η τιμή σχεδιασμού της τάσης συνάφειας,

$f_{yd}$  η τιμή σχεδιασμού του ορίου διαρροής του χάλυβα.

Σε συγκολλητά δομικά πλέγματα των οποίων οι ράβδοι έχουν νευρώσεις, οφείλεται να υπάρχει έστω και μια συγκολλημένη εγκάρσια ράβδος στο μήκος αγκύρωσης.



Σχήμα 2.2 Αποστάσεις εγκάρσιων ράβδων σε συγκολλητά δομικά πλέγματα στο τμήμα της αγκύρωσης

## 2.6.3 Απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης

Το απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης κατά προέκταση της ράβδου  $\ell_{b,net}$  εξαρτάται από τον τύπο της αγκύρωσης και την υπάρχουσα τάση στο χάλυβα, το οποίο υπολογίζεται για μεμονωμένες ράβδους και συγκολλητά δομικά πλέγματα ράβδων με νευρώσεις από την ακόλουθη εξίσωση (2.3):



$$\ell_{b,net} = \alpha \cdot \ell_b \cdot \frac{A_{s,req}}{A_{s,prov}} \geq \ell_{b,min} \quad (2.3)$$

Όπου:

$A_{s,req}$  η κατά τους υπολογισμούς θεωρητικά απαιτούμενη διατομή οπλισμού,

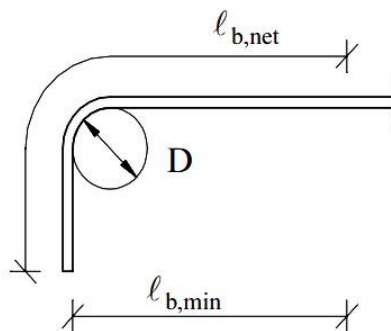
$A_{s,prov}$  η υπάρχουσα διατομή οπλισμού,

$\alpha$  συντελεστής εξαρτώμενος από τον τύπο αγκύρωσης σύμφωνα με τον Πίνακα 2.5 ( $\geq 0.5$ ),

$\ell_{b,min}$  το ελάχιστο ευθύγραμμο μήκος αγκύρωσης,  
=  $0.3 \ell_b$  ( $\geq 10 \varnothing$ ) για ράβδους υπό εφελκυσμό,  
=  $0.6 \ell_b$  ( $\geq 10 \varnothing$ ) για ράβδους υπό θλίψη,

$\ell_b$  κατά την εξίσωση (2.2).

Το απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης  $\ell_{b,net}$  είναι κατά κύριο λόγο ευθύγραμμο. Ο συνυπολογισμός του απαιτούμενου μήκους αγκύρωσης, του καμπύλου τμήματος της ράβδου αλλά και του τμήματος στη συνέχεια του, επιτρέπεται για καμπύλες αγκυρώσεις με διάμετρο τυμπάνου  $D$  οι οποίες ακολουθούν τις απαιτήσεις των σειρών B1, B2 και B3 του Πίνακα 2.1. Σε αυτή την περίπτωση ο συντελεστής παίρνει τιμή  $\alpha = 1$  και δεν αυξάνεται η τιμή της  $f_{bd}$  λόγω εγκάρσιας πίεσης. Επίσης, επιτρέπεται ο συνυπολογισμός του ελάχιστου ευθύγραμμου μήκους  $\ell_{b,min}$  και της προβολής της καμπύλης (βλ. Σχήμα 2.3).



Σχήμα 2.3 Μήκος αγκύρωσης για καμπύλες ράβδους με διάμετρο τυμπάνου  $D$  σύμφωνα με τις σειρές B1, B2 και B3 του Πίνακα 2.1

Για ράβδους οι οποίες συμβάλλουν στην καμπτική αντοχή κρίσιμων περιοχών δομικών στοιχείων με αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας και αγκυρώνονται μέσα στην κρίσιμη περιοχή, οφείλεται να λαμβάνεται  $A_{s,req} / A_{s,prov} = 1.0$ . Από την παραπάνω συνθήκη εξαιρούνται δοκοί και υποστυλώματα (όχι τοιχώματα) φορέων με αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας, όμως με κατάλληλα διαμορφωμένο μικτό σύστημα με βάση την §4.1.4.2β του Ε.Α.Κ. με την προϋπόθεση ότι ο λόγος  $\eta_n$  της Σχέσης 4.8 του Ε.Α.Κ. είναι  $> 0.75$ .

## 2.6.4 Εγκάρσιος οπλισμός στις περιοχές αγκυρώσεων

Στις περιοχές των αγκυρώσεων πρέπει να τοποθετείται εγκάρσιος οπλισμός. Από τον κανόνα αυτό απαλλάσσονται ράβδοι υπό εφελκυσμό στις οποίες αναπτύσσεται εγκάρσια θλίψη προερχόμενη από τις αντιδράσεις στήριξης. Το ελάχιστο εμβαδό του εγκάρσιου οπλισμού πρέπει να είναι το 25% του εμβαδού της μέγιστης από τις ράβδους που αγκυρώνονται.

Ο εγκάρσιος οπλισμός οφείλει να κατανέμεται ομοιόμορφα μέσα στο μήκος αγκύρωσης. Σε καμπύλες αγκυρώσεις, πρέπει να τοποθετείται τουλάχιστον μια ράβδος εγκάρσιου οπλισμού στην περιοχή των ακίστρων ή των αναβολέων.

Σε θλιβόμενες αγκυρούμενες ράβδους, ο εγκάρσιος οπλισμός πρέπει να τις περιβάλλει, να συγκεντρώνεται στο τέλος της αγκύρωσης και να επεκτείνεται πέραν αυτού σε απόσταση  $\geq 5 \varnothing$  ή  $5 \varnothing_n$ . (Όπου  $\varnothing_n$  η ισοδύναμη διάμετρος οπλισμού για δέσμες ράβδων).

Σκοπός του εγκάρσιου οπλισμού είναι να αποφεύγεται:

- διαμήκης ρηγμάτωση, η οποία προέρχεται από τις τάσεις διάρρηξης που εμφανίζονται στις περιοχές αγκύρωσης,
- εκτίναξη του σκυροδέματος, η οποία οφείλεται στην πίεση που εφαρμόζεται στο σκυρόδεμα από το άκρο ράβδου υπό θλίψη.

*Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων επαρκεί ο εγκάρσιος οπλισμός ο οποίος έχει τοποθετηθεί και εξυπηρετεί άλλο σκοπό, για παράδειγμα οπλισμό διάτμησης.*

## 2.7 Ειδικές Διατάξεις Εφελκόμενων Οπλισμών Καμπτόμενων Στοιχείων

### 2.7.1 Γενικά

Οι εφελκόμενοι οπλισμοί στα καμπτόμενα στοιχεία πρέπει να τοποθετούνται με τέτοιο τρόπο ώστε σε κάθε διατομή να καλύπτεται το μετατοπισμένο διάγραμμα των εφελκυστικών δυνάμεων.

### 2.7.2 Κανόνας μετατόπισης

Η περιβάλλουσα των εφελκυστικών δυνάμεων προκύπτει από την οριζόντια μετατόπιση κατά  $a_e$  της καμπύλης:

$$F_t = (M/z) + N \quad (2.4)$$

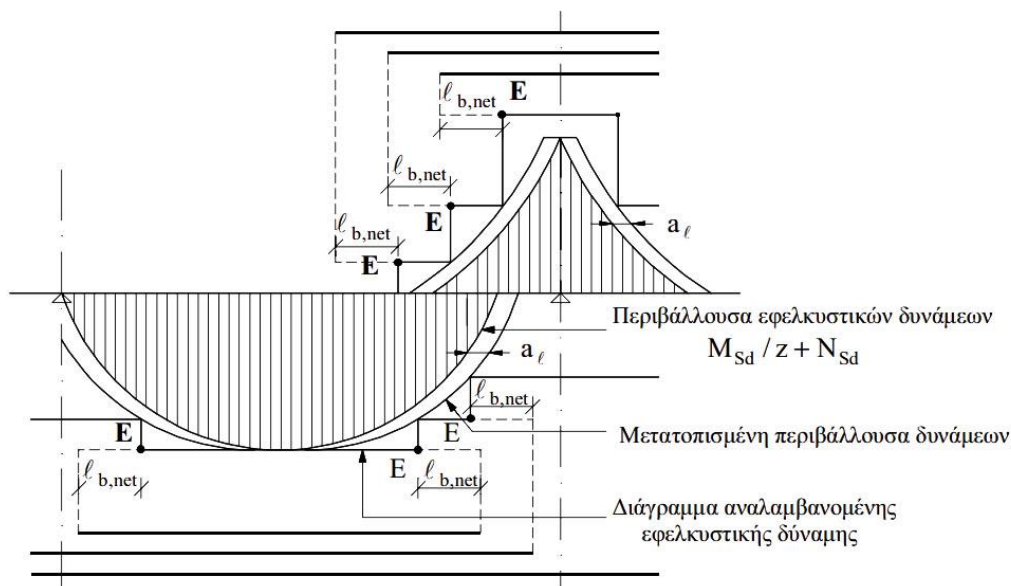
Η τιμή του  $a_e$  ορίζεται στην §11.2.4 του Ε.Κ.Ω.Σ..

### 2.7.3 Αγκυρώσεις εκτός στηρίξεων

Το μήκος αγκύρωσης οπλισμού ευθύγραμμου ή κεκαμμένου το οποίο δεν χρησιμοποιείται σαν οπλισμός διάτμησης είναι ίσο με  $\ell_{b,net}$  και μετρίεται από το θεωρητικό άκρο E.

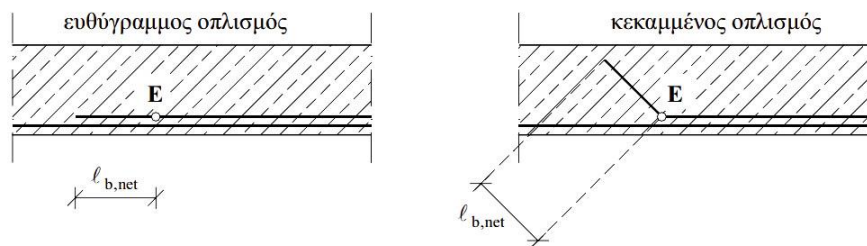
Τα μήκη αγκύρωσης τα οποία υποβάλλονται σε κάμψη για να παραλάβουν και τέμνουσες, θα πρέπει να ισούνται τουλάχιστον με:

- $1.3 \cdot \ell_{b,net}$ , στις εφελκόμενες ζώνες και
- $0.7 \cdot \ell_{b,net}$ , στις θλιβόμενες ζώνες.

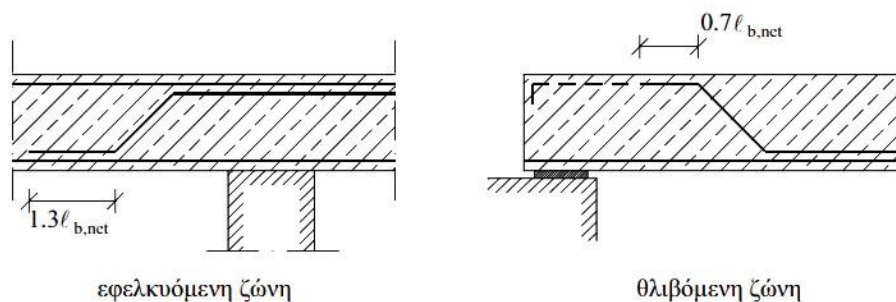


Σχήμα 2.4 Παράδειγμα κλιμακούμενου οπλισμού, κανόνας μετατόπισης – μήκη αγκύρωσης

# Δημιουργία εντολών σε περιβάλλον CAD για αγκύρωση οπλισμών



Σχήμα 2.5 Παράδειγμα αγκύρωσης κλιμακούμενων οπλισμών, οι οποίοι δεν χρησιμοποιούνται ως οπλισμοί διάτμησης



Σχήμα 2.6 Παράδειγμα αγκύρωσης οπλισμών, οι οποίοι χρησιμοποιούνται ως οπλισμοί διάτμησης

## 2.7.4 Αγκύρωση σε ακραίες στηρίξεις

- Για δοκούς χωρίς αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας και για πλάκες:
  - Η αγκύρωση των οπλισμών σε ακραίες στηρίξεις οφείλει να είναι ικανή να παραλάβει εφελκυστική δύναμη ίση με:

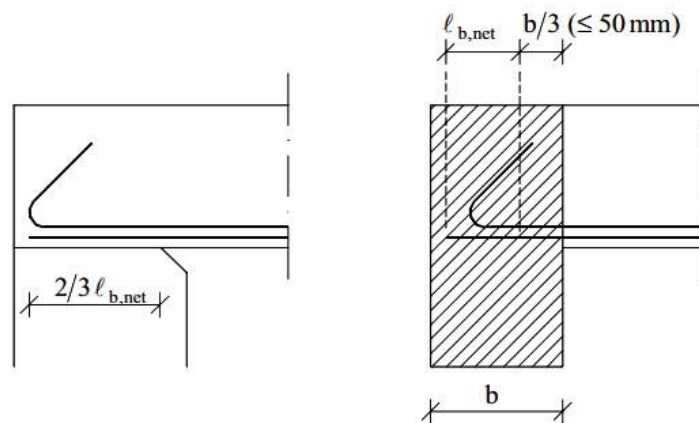
$$F_t = V_{sd} \cdot a_\ell / z \quad (2.5)$$

( $a_\ell$ : σύμφωνα με την εξίσωση (11.27β) του Ε.Κ.Ω.Σ.)

- Το μήκος αγκύρωσης **άμεσης στήριξης** μετريέται από τη γραμμή επαφής με τη στήριξη και ισούται με  $2/3 \cdot \ell_{b,net}$ .

Το μήκος αγκύρωσης **έμμεσης στήριξης** μετριέται από ένα επίπεδο εντός της στήριξης που απέχει από το σημείο που τέμνονται τα δύο στοιχεία σε απόσταση ίση με το  $1/3$  του πλάτους της στήριξης ( $\leq 50\text{mm}$ ) και ισούται με  $\ell_{b,net}$ .

- Για δοκούς με αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας η αγκύρωση γίνεται σύμφωνα με τις συνθήκες της §2.9.5.



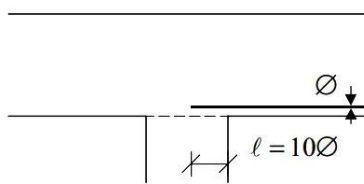
Σχήμα 2.7 Αγκυρώσεις στις ακραίες στηρίξεις

## 2.7.5 Αγκύρωση σε ενδιάμεσες στηρίξεις

Σε περιπτώσεις όπου κάποιοι οπλισμοί προεκτείνονται σε ενδιάμεσες στηρίξεις ή σε ακραίες στηρίξεις που συνεχίζονται σε πρόβολο, η αγκύρωση διαμορφώνεται ακολούθως:

- Για δοκούς χωρίς αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας και για πλάκες, οι οπλισμοί προεκτείνονται μέσα στη στήριξη για τουλάχιστον  $10\varnothing$ .
- Για δοκούς με αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας, η αγκύρωση γίνεται σύμφωνα με τις διατάξεις της §2.9.5.

Για άγκιστρα θα πρέπει να μειώνεται ο κίνδυνος ασυνάφειας, θέτοντας το επίπεδο αγκύρωσης κάθετα προς την πιθανή διεύθυνση ρηγμάτωσης, κυρίως στις έμμεσες στηρίξεις.



Σχήμα 2.8 Αγκύρωση σε ενδιάμεση στήριξη για πλάκες

## 2.8 Αγκύρωση Οπλισμών Διάτμησης

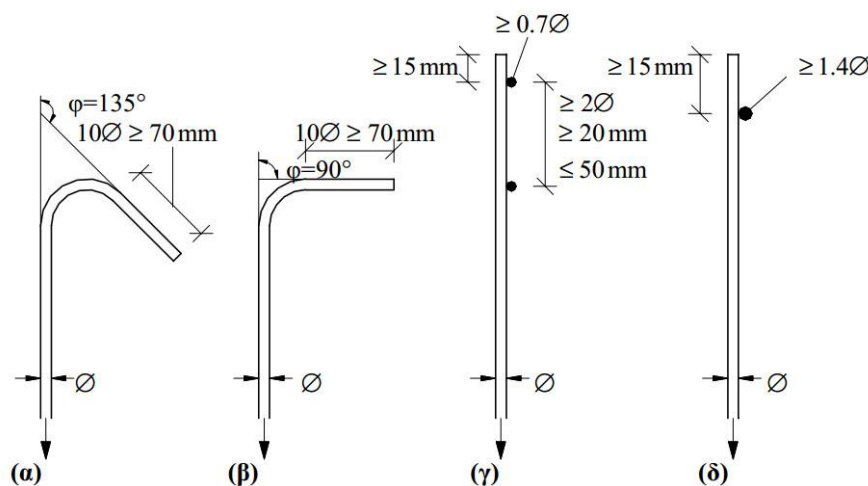
Οι οπλισμοί διάτμησης μπορούν να αποτελούνται από:

- Κάθετους ή κεκλιμένους ως προς τον άξονα του φορέα συνδετήρες και εγκάρσιους συνδέσμους,
- Κεκλιμένες/λοξές ράβδους,
- Σπείρες,
- Συνδυασμό των παραπάνω.

Κατά κύριο λόγο, σε κεκλιμένους συνδετήρες, ειδικά σε εκείνους σε κρίσιμες περιοχές δομικών στοιχείων με αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας, οφείλεται να επιτυγχάνεται η σταθερή τους θέση. Στα σκέλη των συνδετήρων ή συνδέσμων απαγορεύονται οι ενώσεις με υπερκάλυψη.

### 2.8.1 Αγκύρωση συνδετήρων

Η αγκύρωση των συνδετήρων φαίνεται στο ακόλουθο Σχήμα 2.9:



Σχήμα 2.9 Διατάξεις αγκυρώσεων συνδετήρων

Τα ορθογωνικά άγκιστρα που απεικονίζονται στο Σχήμα 2.9(β), επιτρέπονται μόνο σε νευροχάλυβες.

Οι διατάξεις των Σχημάτων 2.9(γ) και 2.9(δ), επιτρέπονται μόνο σε περιπτώσεις που η επικάλυψη στην περιοχή αγκύρωσης είναι τουλάχιστον 50mm, προς αποφυγή διάρρηξης ή αποκόλλησης του σκυροδέματος επικάλυψης.

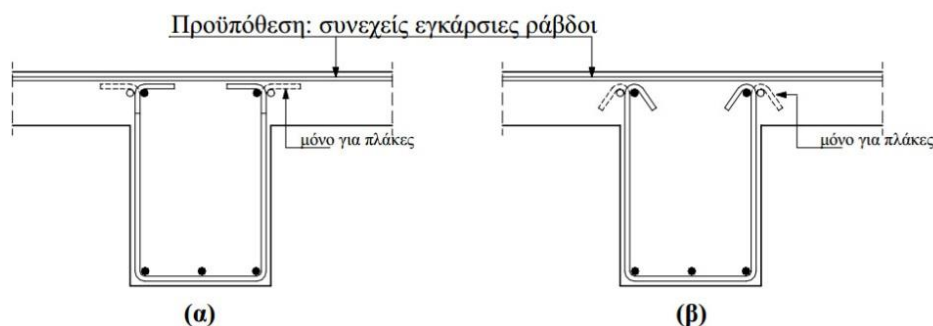
Οι εγκάρσιες ράβδοι των Σχημάτων 2.9(γ) και 2.9(δ), είναι συγκολλημένες στους συνδετήρες και η διάταξη τους επιτρέπεται μόνο σε πλάκες ή πλακοδοκούς χωρίς αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας και για βιομηχανικής παραγωγής συνδετήρες.

## 2.8.2 Εξωτερικοί συνδετήρες

(κατά την περίμετρο του δομικού στοιχείου)

- Πλακοδοκοί και πλάκες

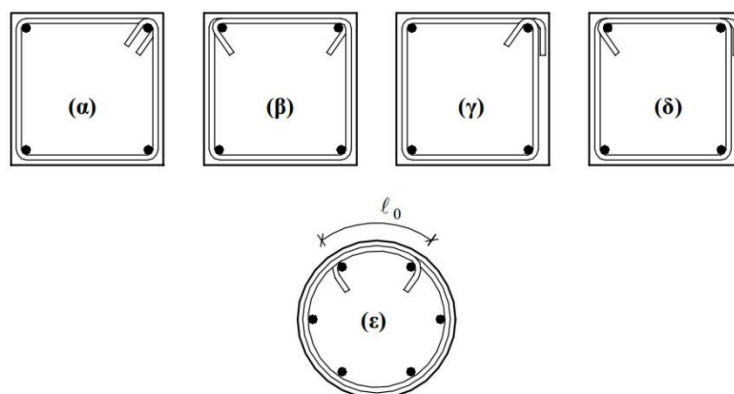
Το κλείσιμο των συνδετήρων στην περιοχή της πλάκας γίνεται όπως απεικονίζεται στο ακόλουθο Σχήμα:



Σχήμα 2.10 Κλείσιμο συνδετήρων σε πλάκες και πλακοδοκούς

- Δοκοί, υποστυλώματα, τοιχώματα

Σε γενικές περιπτώσεις, το κλείσιμο των συνδετήρων γίνεται σύμφωνα με το Σχήμα 2.11 που ακολουθεί. Σε κρίσιμες περιοχές δομικών στοιχείων με αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας πρέπει να εφαρμόζονται οι διατάξεις (α), και (β). Σε περιπτώσεις που το κλείσιμο των συνδετήρων διατάσσεται κατ' εναλλαγή (σε διαφορετικές διαμήκειες ράβδους), επιτρέπονται οι διατάξεις (γ) και (δ) του Σχήματος 2.11. Για άμεση στρέψη, επιτρέπονται οι ισχύουσες διατάξεις.



Σχήμα 2.11 Κλείσιμο συνδετήρων σε κορμούς πλακοδοκών, σε υποστυλώματα και τοιχώματα

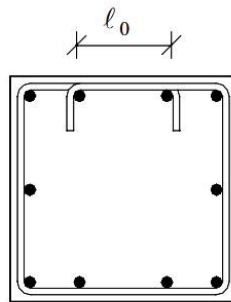
Σε υποστυλώματα κυκλικά, το κλείσιμο των συνδετήρων γίνεται όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 2.11(ε), με ορθογωνικά ή ημικυκλικά άγκιστρα και με απόσταση μεταξύ τους

# Δημιουργία εντολών σε περιβάλλον CAD για αγκύρωση οπλισμών

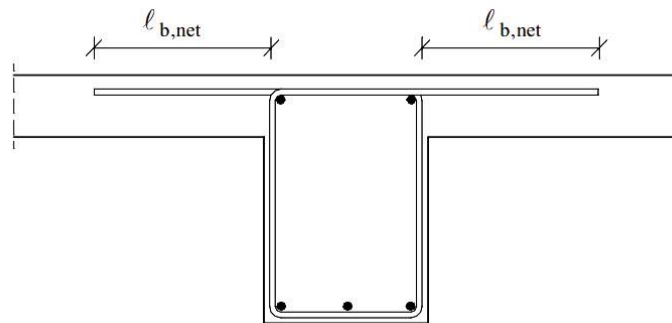
τουλάχιστον όσο το μήκος υπερκάλυψης  $\ell_0$ . Για τις κρίσιμες περιοχές των κυκλικών υποστυλωμάτων με αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας, προτείνεται το κλείσιμο των συνδετήρων να γίνεται κατ' εναλλαγή.

- Στοιχεία υπό άμεση στρέψη

Το κλείσιμο των συνδετήρων, για στοιχεία υπό άμεση στρέψη ( $T_{sd} \geq 0.5 \cdot T_{Rd1}$ ), γίνεται με σκοπό την εξασφάλιση μήκους υπερκάλυψης  $\ell_0$  και συνίσταται το κλείσιμό τους να είναι κατ' εναλλαγή όπως το Σχήμα 2.12 ή το Σχήμα 2.13.



Σχήμα 2.12 Παράδειγμα μόρφωσης συνδετήρα στέψης



Σχήμα 2.13 Παράδειγμα μόρφωσης συνδετήρα στρέψης

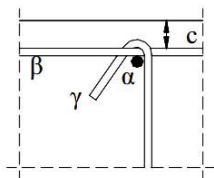
## 2.8.3 Εσωτερικοί συνδετήρες

Σε πλάκες, πλακοδοκούς και σε δομικά στοιχεία χωρίς αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας, το κλείσιμο των συνδετήρων γίνεται όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 2.10, ενώ σε δομικά στοιχεία με αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας, το κλείσιμο των συνδετήρων ακολουθεί τη διάταξη του Σχήματος 2.11 ή την διάταξη του Σχήματος 2.10, μόνο όταν διατάσσονται κατ' εναλλαγή.



## 2.8.4 Εγκάρδιοι σύνδεσμοι μορφής S

Ο σχηματισμός του ενός άκρου ως ημικυκλικού και του άλλου ως ορθογωνικού αγκίστρου είναι επιτρεπτός, μόνο όταν τα ορθογωνικά άγκιστρα διατάσσονται σε διαφορετικές διαμήκειες ράβδους.



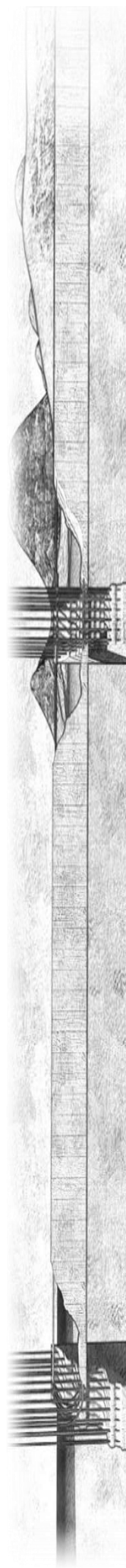
- α: Διαμήκης ράβδος
- β: Εγκάρσια ράβδος
- γ: Άγκιστρο συνδέσμου, ημικυκλικό ή ορθογωνικό, που συγκρατεί τον «κόμβο» διαμήκους και εγκάρσιας ράβδου

Σχήμα 2.14 Διάταξη εγκάρσιων συνδέσμων μορφής S

Σε στοιχεία χωρίς αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας ή εκτός κρίσιμων περιοχών στοιχείων με αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας, επιτρέπεται τα άγκιστρα των συνδέσμων να συγκρατούν μόνο τις εξωτερικές/εγκάρσιες ράβδους δίπλα στον κόμβο. Στις παραπάνω περιπτώσεις επιτρέπεται επίσης ο σχηματισμός και των δύο άκρων ως ορθογωνικών αγκίστρων.

## 2.8.5 Αγκυρώσεις κεκλιμένων-λοξών ράβδων

Οι ράβδοι οι οποίες είναι κεκλιμένες, οφείλουν να κατανέμονται ομοιόμορφα στην εγκάρσια διεύθυνση.



## 2.9 Δοκοί

Σε δοκούς με αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας, απαγορεύεται η χρήση διαμήκων χαλύβων στους διαμήκεις οπλισμούς.

### 2.9.1 Γεωμετρικά στοιχεία

Όλες οι δοκοί πρέπει να έχουν πλάτος:  $b_w \geq 200\text{mm}$ . Για τις δοκούς με αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας οφείλεται:

- Το πλάτος  $b_w$  να ικανοποιεί τις ακόλουθες συνθήκες:

$$b_w < 2 \cdot b_c \text{ και } b_w < b_c + \frac{h_c}{2}$$

Όπου:

$b_c$ , η διάσταση της διατομής του υποστυλώματος κάθετα προς τον άξονα της δοκού

$h_c$ , η διάσταση της διατομής του υποστυλώματος παράλληλα προς τον άξονα της δοκού,

- Ο λόγος ανοίγματος προς ύψος να ισούται τουλάχιστον με 4,
- Η εκκεντρότητα μεταξύ του άξονα της δοκού και του υποστυλώματος που τη στηρίζει στη θέση του κόμβου, να είναι έως το 1/3 του πλάτους του υποστυλώματος αυτού.

Σε περιπτώσεις λεπτόκορμων δοκών, πρέπει να ικανοποιούνται οι παρακάτω επιπρόσθετες συνθήκες σχετικά με το πλάτος του θλιβόμενου πέλματος:

$$b_w > \ell_0/50 \text{ και } b_w > h_b/8$$

Όπου:

$\ell_0$ , μήκος δοκού μεταξύ εγκάρσιων/πλευρικών στηρίξεων

$h_b$ , ύψος δοκού.

Οι δοκοί οι οποίες έχουν λόγο ανοίγματος προς ύψος μικρότερο του 4, παρουσιάζουν διαφορετική λειτουργία σε εναλλασσόμενη φόρτιση με μεγάλη ένταση σε σχέση με τις πιο λεπτές δοκούς.

### 2.9.2 Διαμήκεις οπλισμοί

Σε κάθε διατομή της ίδιας δοκού, επιτρέπεται να χρησιμοποιηθούν έως δύο διαφορετικές διαμέτροι διαμήκων ράβδων, με την προϋπόθεση ότι θα επαληθεύεται η σχέση:

$$\phi_{L,min} \geq 2/3 \cdot \phi_{L,max} \quad (2.6)$$

Όπου:

$\phi_L$  η διάμετρος του διαμήκους οπλισμού.

# Δημιουργία εντολών σε περιβάλλον CAD για αγκύρωση οπλισμών

Ο περιορισμός του ελάχιστου ποσοστού οπλισμού, αποσκοπεί στην εξασφάλιση επαρκούς απομένουσας αντοχής κατόπιν ρηγμάτωσης του στοιχείου.

Στις περισσότερες περιπτώσεις δοκών, το ελάχιστο ποσοστό του εφελκόμενου διαμήκους οπλισμού  $\rho_{min}$ , στο είτε κάτω πέλμα, είτε στο άνω για προβόλους, όπως και στις στηρίξεις να ισούται με:

$$\rho_{min} = \frac{1}{2} \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yd}} \quad (2.7)$$

Στις δοκούς γενικά, η συνολική διατομή του διαμήκους οπλισμού δεν επιτρέπεται να ξεπερνά το 4% της διατομής του σκυροδέματος (εξαιρούνται περιοχές ενώσεων). Επίσης, τουλάχιστον το 1/4 της διατομής του οπλισμού ανοίγματος πρέπει να συνεχίζεται και να αγκυρώνεται στις στηρίξεις στο κάτω πέλμα. Πιο συγκεκριμένα, στις δοκούς με αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας και σε περιοχές με κίνδυνο εμφάνισης πλαστικών αρθρώσεων, το μέγιστο ποσοστό εφελκόμενου διαμήκους οπλισμού  $\rho_{max}$ , πρέπει να ικανοποιεί τη συνθήκη:

$$\rho_{max} = 0.65 \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot \frac{\rho'}{\rho} + 0.0015 \leq \frac{7}{f_{yd}} \quad (2.8)$$

Όπου:

- $\rho$  ποσοστό εφελκόμενου διαμήκους οπλισμού,
- $\rho'$  ποσοστό θλιβόμενου διαμήκους οπλισμού, και
- $f_{yd}$  σε MPa.

Για δοκούς με αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας, πρέπει να ικανοποιούνται οι ακόλουθοι κανόνες:

- a. Σε περιοχές που είναι πιθανή η εμφάνιση πλαστικών αρθρώσεων κοντά στα άκρα και σε απόσταση  $2h_b$  από τις εσωτερικές παρειές στήριξης, για το ποσοστό του θλιβόμενου και εφελκόμενου διαμήκους οπλισμού μέσα στην ίδια διατομή πρέπει να ισχύει:  $\rho' \geq 0.5 \cdot \rho$ .

Με τη συνθήκη αυτή, αποφεύγεται η παρουσία πλαστικών αρθρώσεων λόγω της ύπαρξης ικανοποιητικής πλαστιμότητας. Επιπλέον, μειώνονται οι πιθανότητες αντιστροφής της φοράς της καμπτικής έντασης κοντά στις στηρίξεις. Οι θλιβόμενοι οπλισμοί, επιτρέπεται να σταματάνε σε μήκος  $2h_b$  από τις εσωτερικές παρειές στήριξης.

- b. Τουλάχιστον το 1/4 του μεγαλύτερου από τους οπλισμούς του πάνω πέλματος των εκατέρωθεν στηρίξεων, πρέπει να βρίσκεται σε όλο το μήκος του πάνω πέλματος.
- c. Τουλάχιστον δύο ράβδοι απαιτούνται σε όλο το μήκος του άνω και του κάτω πέλματος με διάμετρο: 12mm για ποιότητα χάλυβα S400 ή S500.
- d. Εκτός από τις διαμήκεις ράβδους που τοποθετούνται στο πλάτος της δοκού, μπορεί να συνυπολογισθεί στον οπλισμό στήριξης - για πλακοδοκούς οι οποίες είναι μονολιθικά συνδεδεμένες με την πλάκα και διατομής T ή Γ -, οι ράβδοι που ανήκουν στην πλάκα και βρίσκονται εκατέρωθεν της δοκού εντός του πλάτους της.

# Δημιουργία εντολών σε περιβάλλον CAD για αγκύρωση οπλισμών

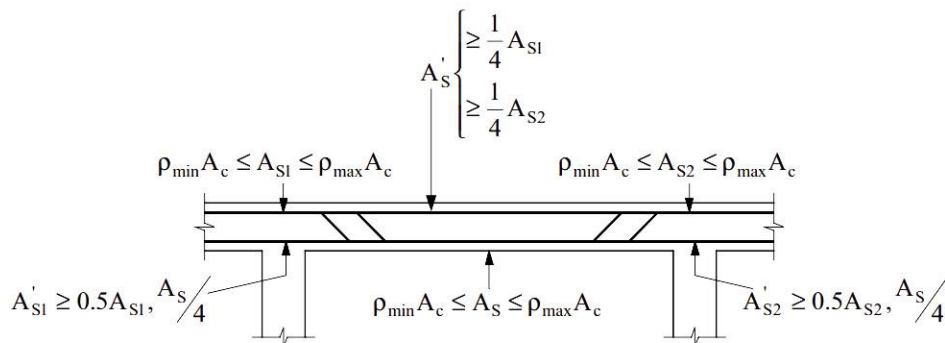
Οι ράβδοι αυτοί για να συνυπολογισθούν θα πρέπει να ικανοποιούν τις παρακάτω συνθήκες:

- I. Σε εσωτερικά υποστυλώματα με εγκάρσιες δοκούς παρόμοιου ύψους: 4 φορές το πάχος της πλάκας,
- II. Σε εξωτερικά υποστυλώματα δίχως εγκάρσιες δοκούς και τοιχώματα: 2.5 φορές το πάχος της πλάκας,
- III. Σε εξωτερικά υποστυλώματα με εγκάρσιες δοκούς παρόμοιου ύψους, με αγκύρωση οπλισμού δοκού: 2 φορές το πάχος της πλάκας,
- IV. Σε εξωτερικά υποστυλώματα ή τοιχώματα χωρίς εγκάρσιες δοκούς: 0.

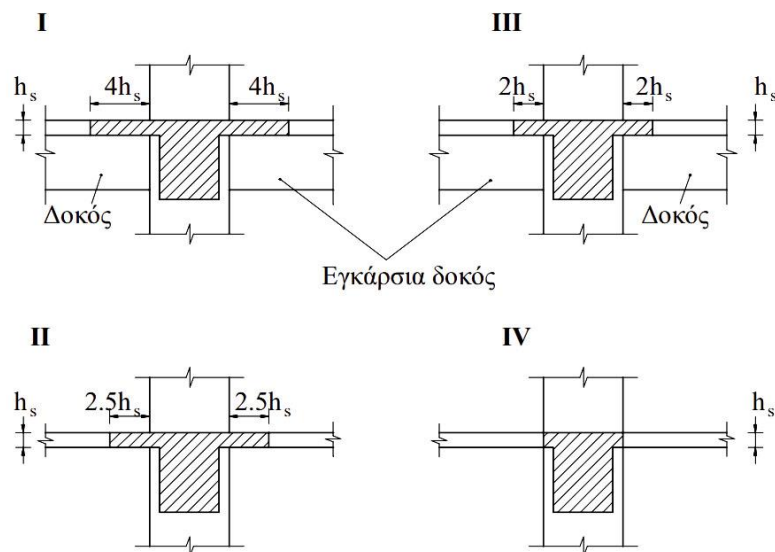
Οι κανόνες β και γ, έχουν σκοπό την εξασφάλιση της εφαρμογής του μεγέθους και πρόσημου των ροπών όπως υπολογίστηκαν.

Οι οπλισμοί που παρουσιάστηκαν κατά τον κανόνα συνυπολογισμού δ, δεν συμπεριλαμβάνονται στα ελάχιστα ποσοστά οπλισμών.

Για οποιαδήποτε περίπτωση, τουλάχιστον το 75% του οπλισμού ο οποίος λαμβάνεται υπόψη στον έλεγχο της καμπτικής αντοχής στήριξης, οφείλει να διαπερνά ή να αγκυρώνεται εντός του υποστυλώματος.



Σχήμα 2.15 Διάταξη διαμήκους οπλισμού δοκών



Σχήμα 2.16 Περιοχές συνεργαζόμενου οπλισμού πλακών στον οπλισμό στηρίξεως των δοκών

## 2.9.3 Κρίσιμες περιοχές δοκού με αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας

Κρίσιμες περιοχές ορίζονται τα τμήματα στις άκρες τις δοκού, μήκους:  $\ell_{cr} = 2 \cdot h_b$ , όπου  $h_b$  το ύψος της δοκού. Το μήκος  $\ell_{cr}$  μετριέται από τις παρειές στήριξης σε υποστυλώματα ή τοιχώματα. Επιπρόσθετα, κρίσιμες περιοχές θεωρούνται εκείνες στις οποίες εφαρμόζεται μεγάλο συγκεντρωμένο φορτίο στο άνοιγμα της δοκού και έχουν μήκος εκατέρωθεν του σημείου εφαρμογής του φορτίου ίσο με  $\ell_{cr}$ .

## 2.9.4 Οπλισμοί διάτμησης

Όλες οι δοκοί οφείλουν να έχουν σε όλο το μήκος τους έναν ελάχιστο αριθμό είτε ανοιχτών είτε κλειστών συνδετήρων, έτσι ώστε σε περίπτωση ρηγμάτωσης της δοκού να απομείνει σε αυτή ικανή αντοχή πριν τη θραύση.

Οι συνδετήρες προτείνεται να έχουν διάμετρο οπλισμού έως και 12mm.

Η μέγιστη απόσταση  $s_{max}$  ανάμεσα σε δύο διαδοχικούς συνδετήρες υπολογίζεται από τις ακόλουθες σχέσεις:

- $0.8 \cdot d \leq 300mm$  για  $V_{sd} < \frac{1}{5} \cdot V_{Rd2}$  (2.9)

- $0.6 \cdot d \leq 300mm$  για  $\frac{1}{5} \cdot V_{Rd2} < V_{sd} \leq \frac{2}{3} \cdot V_{Rd2}$  (2.10)

- $0.3 \cdot d \leq 200mm$  για  $V_{sd} > \frac{2}{3} \cdot V_{Rd2}$  (2.11)

Αν  $V_{sd} < \frac{1}{5} \cdot V_{Rd2}$ , τότε η απόσταση ανάμεσα στα σκέλη ενός συνδετήρα πρέπει να είναι μικρότερη ή ίση από  $d$  ή από 500mm.

Αν  $V_{sd} > \frac{1}{5} \cdot V_{Rd2}$ , ισχύουν οι σχέσεις: (2.10) και (2.11).

# Δημιουργία εντολών σε περιβάλλον CAD για αγκύρωση οπλισμών

Για κρίσιμες περιοχές δοκών με αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας, η διάμετρος των συνδετήρων πρέπει να είναι κατ' ελάχιστο 8mm και οι μεταξύ τους αποστάσεις πρέπει να είναι μικρότερες ή ίσες από τις παρακάτω τιμές:

- Το 1/3 του ύψους της δοκού,
- 10 φορές τη διάμετρο της λεπτότερης διαμήκου ράβδου,
- 20 φορές τη διάμετρο των συνδετήρων,
- 200mm.

Ο πρώτος συνδετήρας που τοποθετείται από τη στήριξη της δοκού, μπορεί να απέχει έως 50mm από την παρειά της στήριξης.

Οι αποστάσεις συνδετήρων σε περιοχές υπερκάλυψης διαμήκου οπλισμού – μη κρίσιμες περιοχές- δεν επιτρέπεται να ξεπερνούν τις παρακάτω τιμές:

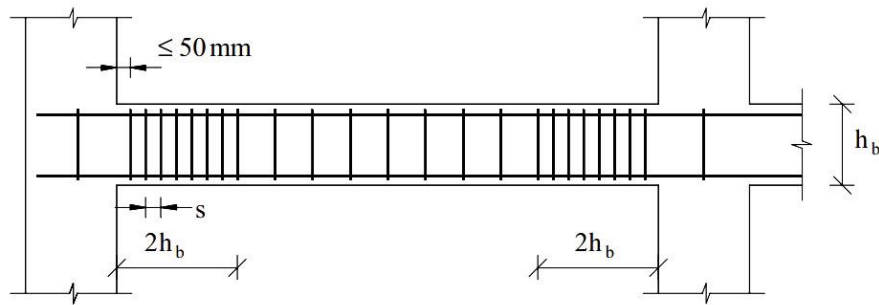
- 150mm,
- Το 1/4 του ύψους της δοκού,
- 8 φορές τη μικρότερη διάμετρο των ράβδων που ενώνονται.

Πίνακας 2.6 Συνιστώμενες τιμές του  $\rho_{w,min}$

Σκυρόδεμα/Χάλυβας	S220	S400	S500
C12 – C20	0.0016	0.0009	0.0007
C25 – C35	0.0024	0.0013	0.0011
C40 – C50	0.0030	0.0016	0.0013

Σε περίπτωση σεισμού, η απορρόφηση σημαντικού ποσού ενέργειας εξαρτάται από την τοποθέτηση εγκάρσιου οπλισμού στις περιοχές πιθανών πλαστικών αρθρώσεων και σε αριθμό συνδετήρων έτσι ώστε:

- Να επιτυγχάνεται εγκιβωτισμός του σκυροδέματος, αυξάνοντας την οριακή του παραμόρφωση και την αντοχή του σε συνάφεια,
- Να προστατεύονται οι διαμήκεις ράβδοι από λυγισμό,
- Να εξασφαλίζεται η διατμητική αντοχή της περιοχής.

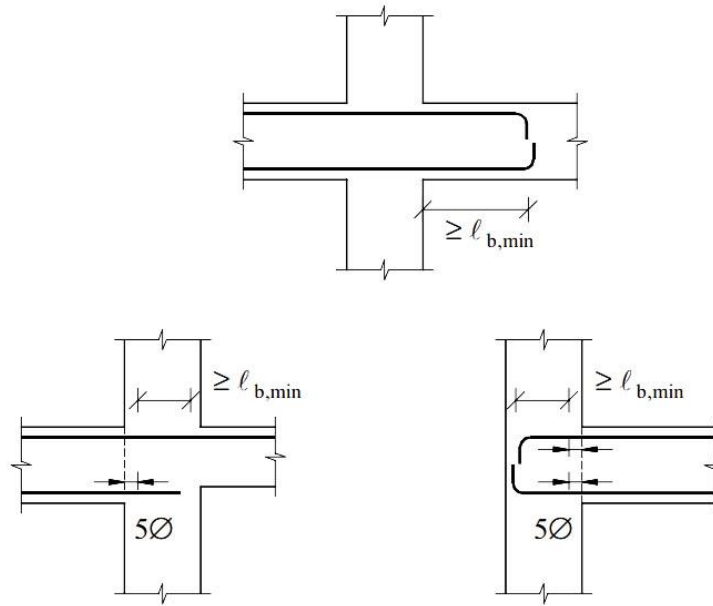


Σχήμα 2.17 Διάταξη των συνδετήρων των δοκών

## 2.9.5 Αγκύρωση διαμήκους οπλισμού

Οι αγκυρώσεις σε διαμήκεις οπλισμούς, για δοκούς με αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας, πρέπει να ακολουθούν τις παρακάτω συνθήκες:

- Οι διαμήκεις ράβδοι του άνω και του κάτω πέλματος της δοκού, οφείλουν για μία ενδιάμεση στήριξη (υποστύλωμα) και αν αυτό είναι δυνατό κατασκευαστικά, να συνεχίζονται πέρα από τη στήριξη στο επόμενο άνοιγμα για απόσταση τουλάχιστον ίση με:  $l_{b,min}$ .
- Αν η συνέχιση των οπλισμών των πελμάτων δεν είναι κατασκευαστικά δυνατή πέρα από την παρειά στήριξης (σε κόμβους στους οποίους σε ένα υποστύλωμα συμβάλουν ανισοϋψείς δοκοί ή σε ακραίες στηρίξεις), οι διαμήκεις ράβδοι των άνω και κάτω πελμάτων της δοκού μπορούν να αγκυρώνονται εντός του κόμβου όπως αναγράφεται παρακάτω:
  - Οι προς αγκύρωση ράβδοι θα πρέπει να συνεχίζονται όσο το δυνατό πιο κοντά στην απέναντι πλευρά του κόμβου και να κάμπτονται κατά  $90^\circ$  εσωτερικά του κόμβου (οι άνω ράβδοι προς τα κάτω και οι κάτω ράβδοι προς τα πάνω).
  - Το μήκος αγκύρωσης της ράβδου μετριέται από απόσταση  $5\phi$  και πέρα από το σημείο που εισέρχεται η ράβδος στον κόμβο.



Σχήμα 2.18 Αγκύρωση διαμήκους οπλισμού δοκών

Στο τμήμα της ράβδου της δοκού που βρίσκεται μέσα στον κόμβο, τα πρώτα  $5\phi$  δεν συμπεριλαμβάνονται στο μήκος αγκύρωσης, διότι υπάρχει πιθανότητα εξάπλωσης της διαρροής της ράβδου εντός του κόμβου στο μήκος αυτό.

## 2.9.6 Οπλισμός σύνδεσης πελμάτων-κορμού πλακοδοκών και τοιχωμάτων

Για να εξασφαλιστεί η σύνδεση των πελμάτων με τον κορμό μιας δοκού ή ενός τοιχώματος, απαιτείται ελάχιστο ποσοστό οπλισμού σύνδεσης.



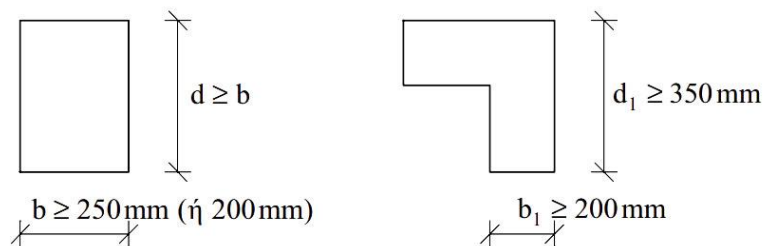
## 2.10 Υποστυλώματα

Η χρήση λείων χαλύβων απαγορεύεται για τους διαμήκεις οπλισμούς των υποστυλωμάτων.

### 2.10.1 Γεωμετρικά στοιχεία

Οι διαστάσεις της διατομής κάθε υποστυλώματος πρέπει να ακολουθούν τους παρακάτω κανόνες:

- Η κάθε πλευρά ενός υποστυλώματος πρέπει να είναι τουλάχιστον 250mm. Στα κυκλικά υποστυλώματα η ελάχιστη διάμετρος τους πρέπει να είναι τουλάχιστον 300mm.
- Σε υποστυλώματα γωνιακά (διατομή μορφής Γ), το κάθε σκέλος πρέπει να έχει πάχος μεγαλύτερο ή ίσο από 200mm και μήκος τουλάχιστον 350mm.



Σχήμα 2.19 Διαστάσεις διατομής υποστυλωμάτων

Για επίτευξη επαρκούς πλαστιμότητας σε υποστυλώματα με αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας, η διατομή πρέπει να ικανοποιεί την παρακάτω συνθήκη για τους συνδυασμούς δράσεων με σεισμό:

$$v_d = \frac{N_{sd}}{A_c \cdot f_{cd}} \leq 0.65 \quad (2.12)$$

Η τοποθέτηση υδρορροών εντός των υποστυλωμάτων απαγορεύεται.

### 2.10.2 Διαμήκεις οπλισμοί

Η διάμετρος των διαμήκων ράβδων πρέπει να είναι τουλάχιστον 14mm.

Για ορθογωνικά υποστυλώματα, ο ελάχιστος αριθμός διαμήκων ράβδων που πρέπει να τοποθετηθούν είναι τέσσερις, ενώ για κυκλικά υποστυλώματα ο ελάχιστος αυτός αριθμός είναι έξι. Στα πολυγωνικά υποστυλώματα πρέπει να τοποθετείται κατ' ελάχιστο μια διαμήκης ράβδος σε κάθε γωνία.

# Δημιουργία εντολών σε περιβάλλον CAD για αγκύρωση οπλισμών

Τα ποσοστό του περιμετρικά διατεταγμένου διαμήκους οπλισμού πρέπει να βρίσκεται μεταξύ 0.01 και 0.04. Σε περιοχές όπου υπάρχουν ενώσεις με υπερκάλυψη, το ποσοστό αυτό επιτρέπεται να βρίσκεται μεταξύ 0.01 και 0.08.

Στα υποστυλώματα με αυξημένες απαιτήσεις σε πλαστιμότητα, η χρήση συνδετήρων ή/και εγκάρσιων συνδέσμων κρίνεται απαραίτητη για την συγκράτηση των διαμήκων οπλισμών. Η διάταξη των συνδετήρων πρέπει να γίνεται κατά μήκος της περιμέτρου της διατομής του υποστυλώματος και η μεταξύ τους απόσταση να είναι έως 200mm. Σε υποστυλώματα πλευράς 300mm επιτρέπεται η τοποθέτηση ράβδων μόνο στις γωνίες της πλευράς αυτής.

Επιτρέπεται η χρήση έως και δύο διαφορετικών διαμέτρων διαμήκων ράβδων στο ίδιο υποστυλώμα με την προϋπόθεση ότι ικανοποιείται η εξής συνθήκη:

$$\phi_{L,min} \geq 2/3 \cdot \phi_{L,max} \quad (2.13)$$

Όπου:

$\phi_L$  η διάμετρος του διαμήκους οπλισμού.

## 2.10.3 Εγκάρσιοι οπλισμοί

Οι διαμήκεις οπλισμοί των υποστυλωμάτων πρέπει να συγκρατούνται από συνδετήρες μικρής σχετικά διαμέτρου και ανά τακτά διαστήματα κατά το μήκος του υποστυλώματος. Σε μεγάλα υποστυλώματα προτείνεται η χρήση σιγμοειδών οπλισμών για τη συγκράτηση των διαμήκων ράβδων. Σε υποστυλώματα κυκλικής διατομής, οι διαμήκεις οπλισμοί συγκρατούνται από κυκλικούς συνδετήρες.

Σε κρίσιμες περιοχές υποστυλωμάτων με αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας, ο εγκάρσιος οπλισμός πρέπει να έχει διάμετρο τουλάχιστον ίση με 8mm ή τουλάχιστον ίση με το 1/3 της μεγαλύτερης διαμέτρου διαμήκους ράβδου.

Η απόσταση μεταξύ των συνδετήρων δεν επιτρέπεται να ξεπερνά:

- 8 φορές την ελάχιστη διάμετρο των διαμήκων ράβδων,
- 50% της μικρότερης πλευράς του υποστυλώματος,
- 100mm.

Σε υποστυλώματα με αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας όπου παρουσιάζονται ενώσεις με υπερκάλυψη στις διαμήκεις ράβδους εντός κρίσιμων περιοχών, η μέγιστη απόσταση μεταξύ των συνδετήρων επιτρέπεται να είναι ίση με 4 φορές την ελάχιστη διάμετρο των διαμήκων ράβδων.

Σε μη κρίσιμες περιοχές υποστυλωμάτων με αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας, η μέγιστη απόσταση μεταξύ των συνδετήρων σε περιοχές ενώσεων ισούται με 6 φορές την ελάχιστη διάμετρο των διαμήκων ράβδων.

Η πυκνή διάταξη των συνδετήρων στοχεύει:

- Στην εξασφάλιση ικανοποιητικής πλαστιμότητας,

- Στην καλύτερη συνάφεια μεταξύ σκυροδέματος και διαμήκων οπλισμών,
- Στην απόκλιση πιθανού λυγισμού των διαμήκων ράβδων,
- Στην επίτευξη επαρκούς διατμητικής αντοχής.

## 2.10.3.1 Οπλισμός περίσφιξης

Σε κρίσιμες περιοχές υποστυλωμάτων με αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας, απαραίτητος είναι ο επαρκής οπλισμός περίσφιξης. Οι ακόλουθες διατάξεις ισχύουν για υποστυλώματα αμιγών πλαισιακών φορέων.

Ο επαρκής οπλισμός περίσφιξης έχει σκοπό:

- Την εξισορρόπηση της απώλειας του εμβαδού της διατομής του σκυροδέματος που βρίσκεται εκτός των συνδετήρων, αφού η κρίσιμη παραμόρφωση του μη περισφιγμένου σκυροδέματος έχει υπερβεί τα όρια (αποφλοιώση του σκυροδέματος).
- Την ανάπτυξη επαρκούς ικανότητας πλαστικής στροφής της κρίσιμης περιοχής του υποστυλώματος (πλαστιμότητα).

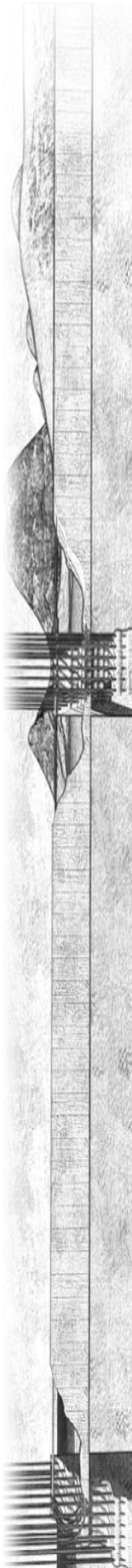
## 2.10.3.2 Οπλισμός κόμβων

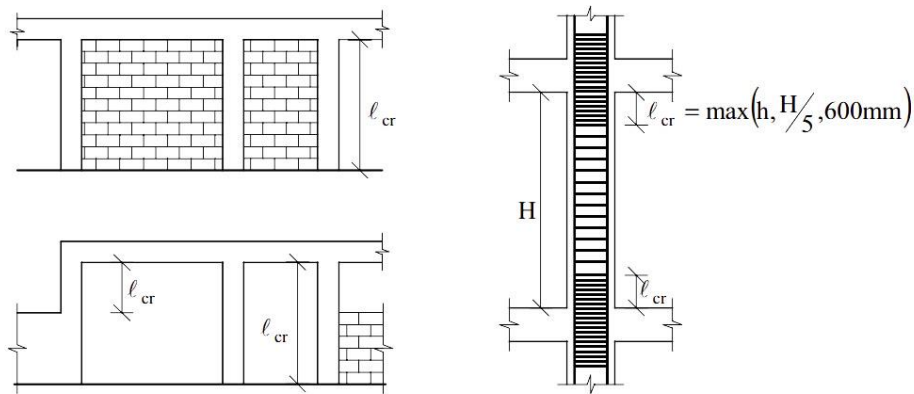
Οι εγκάρσιοι οπλισμοί στα άκρα των υποστυλωμάτων οφείλουν να συνεχίζονται με την ίδια διάταξη και εντός των κόμβων.

## 2.10.4 Κρίσιμες περιοχές υποστυλώματος

Κρίσιμες περιοχές υποστυλώματος  $l_{cr}$  ορίζονται ως εξής:

- Οι περιοχές στα άκρα του υποστυλώματος πάνω και κάτω από τους κόμβους οι οποίες απέχουν από την παρειά του κόμβου σε μήκος ίσο με τη μεγαλύτερη από τις παρακάτω τιμές:
  - Το 1/5 του καθαρού ύψους του ορόφου,
  - Τη μεγαλύτερη διάσταση της διατομής του υποστυλώματος,
  - 600mm.
- Όλο το ύψος του υποστυλώματος θεωρείται κρίσιμο για κάθε μία από τις ακόλουθες περιπτώσεις:
  - αν υπάρχει τοίχος από τη μία πλευρά του υποστυλώματος,
  - αν τα γωνιακά υποστυλώματα έχουν τοίχο από τη μία τους πλευρά και σε οποιαδήποτε διεύθυνση,
  - αν ένα υποστυλώμα έχει τοίχο από τη μία ή από τις δύο πλευρές του ο οποίος δεν υψώνεται ως όλο το μήκος του ορόφου.
- Σε περίπτωση που το υποστυλώμα είναι συνδεδεμένο με τοίχωμα σε ένα τμήμα του ύψους του, ως κρίσιμο ύψος θεωρείται το υπόλοιπο ύψος του υποστυλώματος.



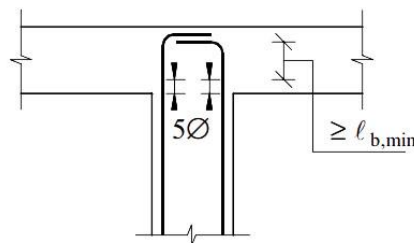


Σχήμα 2.20 Κρίσιμες περιοχές υποστυλωμάτων

## 2.10.5 Αγκυρώσεις διαμήκους οπλισμού υποστυλώματος

Σε ακραίους κόμβους υποστυλωμάτων, οι διαμήκεις οπλισμοί πρέπει να αγκυρώνονται εντός του κόμβου όπως περιγράφεται παρακάτω:

Η ράβδος που πρόκειται να αγκυρωθεί, πρέπει να πλησιάζει όσο το δυνατό πιο κοντά στην απέναντι πλευρά του κόμβου και στη συνέχεια να κάμπτεται κατά 90° προς το εσωτερικό του. Το μήκος αγκύρωσης του διαμήκους οπλισμού, ξεκινάει να μετριέται αφού η ράβδος περάσει το μήκος των  $5\phi$  από την είσοδο της στον κόμβο.



Σχήμα 2.21 Αγκύρωση διαμήκους οπλισμού υποστυλώματος σε ακραίο κόμβο

## 2.10.6 Αναμονές υποστυλωμάτων

Σε υποστυλώματα, το μήκος των ράβδων που εξέρχουν από τις στάθμες των ορόφων προς αναμονή, οφείλει να ισούται με τη μεγαλύτερη από τις ακόλουθες τιμές:

- Μήκος αγκύρωσης  $l_b$  των κάτω ράβδων ( $l_b$ , κάτω), ή
- 1.4 φορές το μήκος αγκύρωσης  $l_b$  των άνω ράβδων ( $1.4 \cdot l_b$ , άνω)

## 2.11 Τοιχώματα

### 2.11.1 Γεωμετρικά στοιχεία τοιχωμάτων

Ως τοίχωμα ορίζεται το κατακόρυφο στοιχείο εκείνο του οποίου το μήκος  $\ell_w$  είναι τουλάχιστον τετραπλάσιο του πλάτους του  $b$  ( $\ell_w \geq 4 \cdot b$ ).

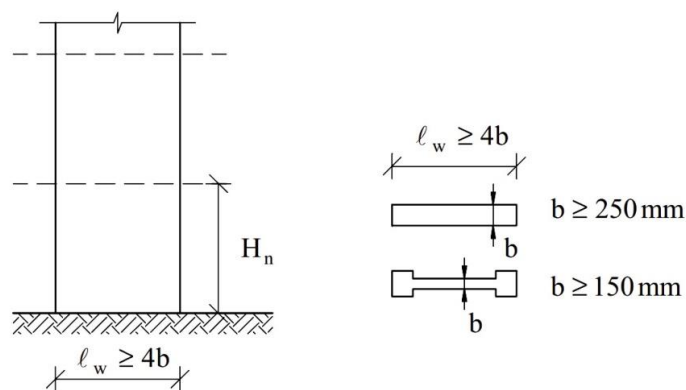
Το πάχος  $b$  του κάθε τοιχώματος οφείλει να είναι τουλάχιστον ίσο με 250mm. Σε περίπτωση που το τοίχωμα καταλήγει σε υποσύλωμα, τότε πρέπει να έχει πάχος  $b$  τουλάχιστον ίσο με 150mm.

Γενικά το πάχος του εκάστοτε τοιχώματος πρέπει να είναι τουλάχιστον ίσο με το 1/20 του ύψους του ορόφου (εξαιρούνται οι περιπτώσεις όπου γίνεται έλεγχος πλευρικής ευστάθειας).

Ο έλεγχος ευστάθειας για τα κοινά οικοδομικά έργα, ικανοποιείται όταν ισχύει:

$$b \geq q \cdot \frac{\ell_w}{60} \quad (2.14)$$

Όπου:  $q$ , ο συντελεστής σεισμικής συμπεριφοράς κατά Ε.Α.Κ.).



Σχήμα 2.22 Γεωμετρικά στοιχεία τοιχώματος

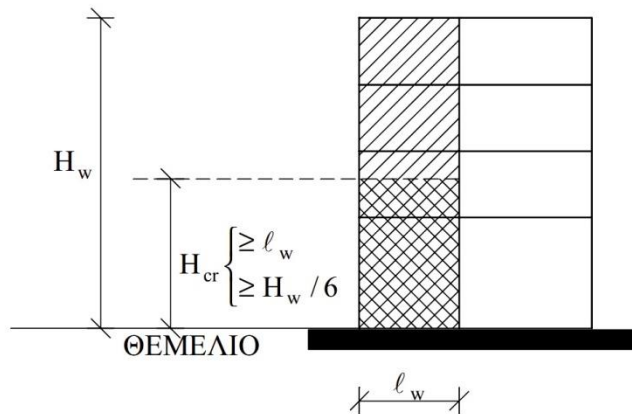
### 1.11.2 Κρίσιμη περιοχή τοιχώματος

Κρίσιμη περιοχή  $H_{cr}$  του τοιχώματος, θεωρείται το τμήμα του τοιχώματος εκείνο το οποίο έχει ύψος τουλάχιστον ίσο με το μέγιστο μεταξύ του μήκους του  $\ell_w$  και του 1/6 του συνολικού ύψους του τοιχώματος από τη βάση του ως την κορυφή του  $H_w$ .

$$H_{cr} = \max \left\{ \frac{\ell_w}{6}, H_w \right\} \quad (2.15)$$

Η βάση του τοιχώματος, ορίζεται η στάθμη πάκτωσης στη θεμελίωση ή η στάθμη της οροφής απαραμόρφωτων υπογείων.

Η κρίσιμη περιοχή καλύπτει πάντα όλο το ύψος του κάτω ορόφου και η όπλιση συνεχίζεται για έναν τουλάχιστον υποκείμενο όροφο, αν υπάρχει.



Σχήμα 2.23 Κρίσιμη περιοχή τοιχώματος

## 2.11.3 Κατακόρυφοι οπλισμοί τοιχωμάτων

Η χρήση λείων χαλύβων για κατακόρυφους οπλισμούς τοιχωμάτων απαγορεύεται.

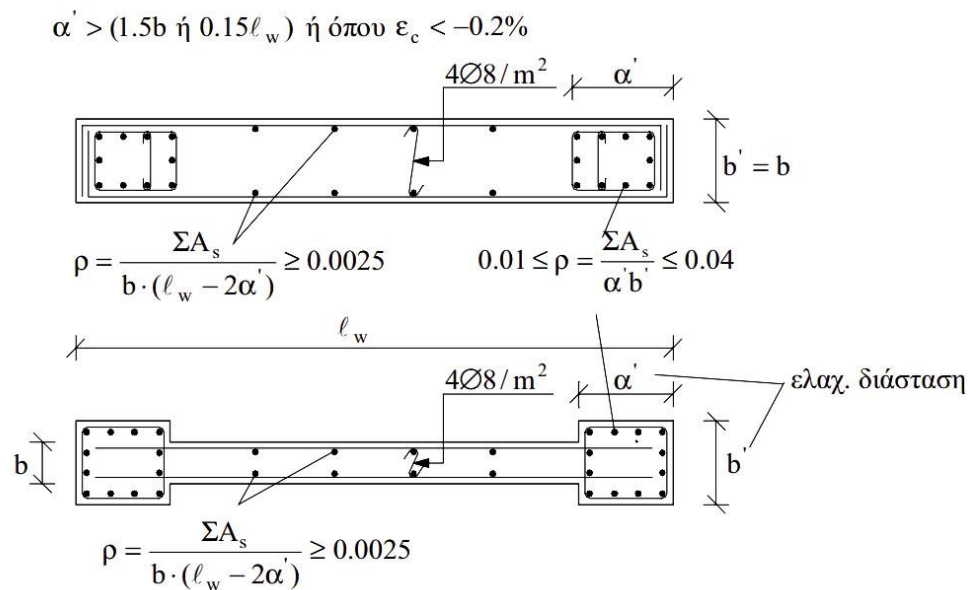
### i. Κορμός

Η ελάχιστη διάμετρος του οπλισμού τοιχώματος ισούται με 10mm, ενώ η μέγιστη δεν επιτρέπεται να ξεπερνά το 1/10 του πάχους του τοιχώματος b.

Στον κορμό του τοιχώματος, ανάμεσα στις δύο ακραίες περιοχές, το συνολικό ποσοστό του κατακόρυφου οπλισμού του τοιχώματος, οφείλει να είναι μεγαλύτερο ή ίσο από 0.0025 στις κρίσιμες περιοχές των τοιχωμάτων με αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας. Ο κατακόρυφος οπλισμός πρέπει να σχηματίζει με τον οριζόντιο δύο εσχάρες κοντά στις δύο όψεις του τοιχώματος. Οι εσχάρες πρέπει να ενώνονται μέσω εγκάρσιου σιγμοειδούς οπλισμού  $4\phi 8/m^2$  (S220). Η μέγιστη απόσταση μεταξύ δύο κατακόρυφων ράβδων μιας εσχάρας είναι 300mm ( $s \leq 300mm$ ). Σε κρίσιμες περιοχές βάσεων τοιχωμάτων με αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας η ελάχιστη απόσταση μεταξύ δύο κατακόρυφων ράβδων μιας εσχάρας είναι  $s \leq 200mm$ .

### ii. Άκρα

Οι ακραίες περιοχές κρίσιμων περιοχών τοιχωμάτων με αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας, πρέπει να σχηματίζονται και να οπλίζονται σαν περισφιγμένα υποστυλώματα και να εκτείνονται σε μήκος τουλάχιστον ίσο με:  $(1.5 \cdot b)$ , ή  $(0.15 \cdot l_w)$ , ή όπου η ανηγμένη θλιπτική παραμόρφωση του σκυροδέματος  $\epsilon_c$  είναι μεγαλύτερη από το 0.2%. Ο κατακόρυφος οπλισμός στα άκρα των τοιχωμάτων πρέπει να βρίσκεται μεταξύ του 0.01 και του 0.04 της διατομής του υποτιθέμενου υποστυλώματος σκυροδέματος.



Σχήμα 2.24 Κατασκευαστική διάταξη κατακόρυφου και οριζόντιου οπλισμού στο τοίχωμα εντός κρίσιμων περιοχών ( $H_{cr}$ )

## 2.11.4 Οριζόντιοι οπλισμοί κορμού τοιχωμάτων

Η χρήση λείων χαλύβων για οριζόντιους οπλισμούς τοιχωμάτων απαγορεύεται.

Οι οριζόντιοι οπλισμοί του κορμού του κάθε τοιχώματος, τοποθετούνται προς την εσωτερική πλευρά του και οφείλουν να αγκυρώνονται επαρκώς.

Η διάμετρος του οριζόντιου οπλισμού τοιχώματος πρέπει να είναι τουλάχιστον 8mm. Το ελάχιστο ποσοστό οπλισμού, η μέγιστη διάμετρος των ράβδων, καθώς και οι μέγιστες αποστάσεις μεταξύ τους, πρέπει να ακολουθούν τα ίδια κριτήρια με εκείνα των κατακόρυφων ράβδων στον κορμό του εκάστοτε τοιχώματος, όπως περιγράφηκε στην §2.11.3.

## Πηγές 2<sup>ου</sup> Κεφαλαίου

---

### Κειμένων

Ελληνικός Κανονισμός Οπλισμένου Σκυροδέματος 2000 (Ε.Κ.Ω.Σ. 2000)

### Εικόνων

Ελληνικός Κανονισμός Οπλισμένου Σκυροδέματος 2000 (Ε.Κ.Ω.Σ. 2000)



## Κεφάλαιο 3

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει αναφορά στον τομέα του προγραμματισμού και στα χαρακτηριστικά του, καθώς θα γίνει και μία σύντομη ανασκόπηση στις γλώσσες προγραμματισμού που «συνεργάζονται» με περιβάλλοντα CAD.

### 3.1 Βασικές Έννοιες Κεφαλαίου

#### 3.1.1 Δυαδικό σύστημα αρίθμησης

Ο ηλεκτρονικός υπολογιστής λειτουργεί με ρεύμα και απαρτίζεται από ηλεκτρικά κυκλώματα. Ένα κύκλωμα χαρακτηρίζεται κλειστό όταν το διατρέχει ρεύμα, ενώ όταν το ηλεκτρικό ρεύμα δεν μπορεί να κυκλοφορήσει στα καλώδιά του ονομάζεται ανοιχτό. Ο κώδικας που περιγράφει αυτές τις δύο καταστάσεις έχει τα ψηφία 0 και 1, όπου στην κατάσταση 1 στο κύκλωμα κυκλοφορεί ηλεκτρικό ρεύμα και 0 όπου το κύκλωμα είναι ανοιχτό. Στο δυαδικό σύστημα αρίθμησης χρησιμοποιούνται αυτά τα δύο ψηφία και είναι τα μόνα που μπορεί να κατανοήσει ο υπολογιστής.

Σε αντίθεση με τον υπολογιστή, οι άνθρωποι χρησιμοποιούμε το δεκαδικό σύστημα αρίθμησης, κατά το οποίο αναλύουμε έναν αριθμό σε ομάδες πολλαπλασίων του 10 (μονάδες, δεκάδες, εκατοντάδες, χιλιάδες κτλ). Ο υπολογιστής δέχεται τους αριθμούς από το δεκαδικό σύστημα, τους μετατρέπει στο δυαδικό με σκοπό να τους κατανοήσει, στη συνέχεια εκτελεί την πράξη που του ζητήθηκε και τέλος, μετατρέπει και παρουσιάζει το αποτέλεσμα της πράξης αυτής σε μορφή κατανοητή από τον άνθρωπο (δεκαδικό σύστημα αρίθμησης).

Στο δυαδικό σύστημα, ο εκάστοτε αριθμός περιγράφεται με δυνάμεις του 2 και συνεπώς οι αριθμοί σε αυτό κατατάσσονται σε μονάδες, δυάδες, τετράδες, οκτάδες κτλ ( $2^4=16$ ,  $2^3=8$ ,  $2^2=4$ ,  $2^1=2$ ,  $2^0=1$ ).

Για παράδειγμα ο αριθμός 5 του δεκαδικού συστήματος, στο δυαδικό σύστημα αρίθμησης θα γραφόταν 101, αν μελετήσουμε τον αριθμό του δυαδικού συστήματος 101 από το τέλος του προς την αρχή θα παρατηρήσουμε:

101 μία μονάδα,

101 καμία δυάδα

101 και μία τετράδα.

Δηλαδή,  $1+0+4=5$ .

Όπως αναλύθηκε στην παράγραφο αυτή, ο ψηφιακός υπολογιστής χρησιμοποιεί το δυαδικό σύστημα αρίθμησης το οποίο αποτελείται από δύο ψηφία, το 0 και το 1. Στο σύστημα αρίθμησης των υπολογιστών όμως χρησιμοποιούνται επίσης δεκαδικοί αριθμοί (decimal) καθώς και αριθμοί κινητής υποδιαστολής (floating-point numbers).

# Δημιουργία εντολών σε περιβάλλον CAD για αγκύρωση οπλισμών

Η αριθμητική που ακολουθούν οι υπολογιστές βασίζεται σε αριθμούς περιορισμένου μεγέθους και ονομάζεται «Πεπερασμένη αριθμητική ακρίβεια» (finite-precision arithmetic). Το μέγεθος των αριθμών που μπορεί να επεξεργαστεί ένας υπολογιστής, καθορίζεται κατά τη σχεδίαση της αρχιτεκτονικής του (8bits, 16bits, 32bits, 64bits, συνήθως τώρα πια έχουν 64bits). Ο προγραμματιστής θα πρέπει να έχει κατά νου την αρχιτεκτονική του εκάστοτε υπολογιστή και τους περιορισμούς της, ώστε να είναι σε θέση να συντάξει προγράμματα δίχως την εμφάνιση υπερχειλίσσης (overflow).

Η υπερχειλίση συμβαίνει όταν ζητείται από τον υπολογιστή να επεξεργαστεί περισσότερα ψηφία από όσα είναι σχεδιασμένος να επεξεργάζεται. Για παράδειγμα, αν ένας υπολογιστής είχε περιορισμό να μπορεί να επεξεργαστεί έως τρία ψηφία, τότε θα μπορούσε να εκτελέσει την πρόσθεση  $100+400=500$ , αλλά όχι την πρόσθεση  $600+800=1400$ . Το σύστημα θα πρέπει να αντιλαμβάνεται την εμφάνιση πιθανής υπερχειλίσσης, και αν όντως υπάρχει να το υποδεικνύει στο χρήστη με κάποιο τρόπο.

## 3.1.2 Πρόβλημα

Στον προγραμματισμό όλα ξεκινούν από την ύπαρξη ενός προβλήματος το οποίο χρήζει επίλυση. Ως πρόβλημα ορίζεται ένα έργο το οποίο πρέπει να εκτελεσθεί, χωρίς να περιγράφεται κατά τον ορισμό του πως θα γίνει η επίλυση. Η μέθοδος της επίλυσης, αναπτύσσεται μόνο όταν το εκάστοτε πρόβλημα έχει περιγραφεί με ακρίβεια και έχει γίνει απόλυτα κατανοητό. Αν ένα πρόβλημα μελετηθεί σαν λειτουργία (function), τότε μπορεί να χαρακτηριστεί σαν αντιστοίχιση μεταξύ δεδομένων κατά την εισαγωγή (input) και αποτελεσμάτων κατά την έξοδο (output). Η εισαγωγή ενός προβλήματος μπορεί να είναι είτε μία τιμή, είτε πλήθος πληροφοριών, τα στοιχεία που σχηματίζουν την εισαγωγή ονομάζονται παράμετροι της λειτουργίας (parameters of the function). Η έξοδος όλων των προγραμμάτων καθορίζεται εξ' ολοκλήρου από τα στοιχεία της εισόδου.

## 3.1.3 Αλγόριθμος

Η έννοια του αλγόριθμου εμφανίστηκε πολύ πριν την εμφάνιση της επιστήμης των υπολογιστών. Με τον όρο «Αλγόριθμος» περιγράφουμε μία διαδικασία-σειρά ενεργειών κατά την οποία κάποιος μπορεί να επιλύσει ένα πρόβλημα. Αν η προσέγγιση του προβλήματος είναι ανάλογη με αυτή της λειτουργίας (function), μπορεί να θεωρηθεί ότι ο αλγόριθμος μετατρέπει μία είσοδο (input) σε αντίστοιχο αποτέλεσμα (output).

Πρέπει να σημειωθεί ότι ένας αλγόριθμος είναι σχεδιασμένος να λύνει ένα πρόβλημα και ότι για να θεωρείται αλγόριθμος πρέπει να ικανοποιεί ορισμένες συνθήκες όπως αναφέρονται στη συνέχεια:

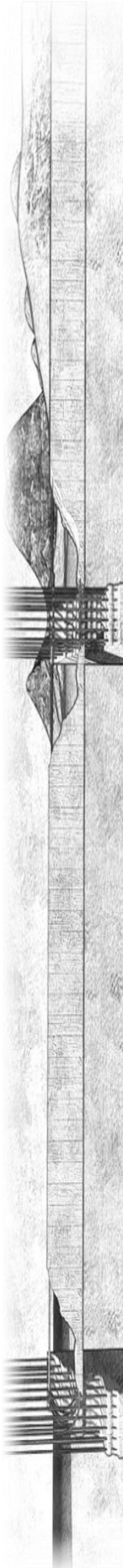
- Να είναι ορθός, δηλαδή να μετατρέπει κάθε είσοδο (input) σε μία αποδεκτή έξοδο (output)
- Να απαρτίζεται από συγκεκριμένα βήματα, τα οποία να είναι κατανοητά και εφικτά, καθώς και υλοποιήσιμα σε περιορισμένο χρόνο
- Να τον διακατέχει σαφήνεια ως προς το ποια ενέργεια βρίσκεται προς εκτέλεση στη συνέχεια

- Ο αριθμός των ενεργειών που εμπεριέχονται σε αυτόν πρέπει να είναι πεπερασμένος, η επανάληψη χρησιμοποιείται στον προγραμματισμό με εντολές όπως η while και η for, όμως το πλήθος των επαναλήψεων αυτών καθορίζεται κατά την είσοδο του προβλήματος
- Κάθε αλγόριθμος πρέπει να τερματίζεται, δεν μπορεί να βρίσκεται σε ατέρμονο βρόχο (infinite loop)

## 3.1.4 Πρόγραμμα

Συχνά η έννοια του προγράμματος με εκείνη του αλγορίθμου συγχέονται, στην πραγματικότητα όμως είναι δύο πολύ διαφορετικές έννοιες. Ένας αλγόριθμος ουσιαστικά είναι μέθοδος επίλυσης ενός συγκεκριμένου προβλήματος, χαρακτηρίζεται από τη λεπτομέρειά του και είναι σε θέση να μετατραπεί σε πρόγραμμα όταν χρειαστεί. Ένα πρόγραμμα είναι η εφαρμογή με συγκεκριμένο τρόπο ενός αλγορίθμου με τη χρήση μιας γλώσσας προγραμματισμού.

Σύμφωνα με τον Niklaus Wirth –τον άνθρωπο που ανέπτυξε τη γλώσσα προγραμματισμού Pascal- οι δομές δεδομένων είναι αναπόσπαστο κομμάτι των αλγορίθμων, διατυπώνοντας την εξίσωση: Αλγόριθμοι + Δομές δεδομένων = Προγράμματα. Ως δομές δεδομένων (data structures) περιγράφονται τα αποθηκευμένα δεδομένα σαν ομάδα και είναι επεξεργάσιμα από ένα πλήθος λειτουργιών.



## 3.2 Ο Προγραμματισμός ως Έννοια

Ο προγραμματιστής κατά την επίλυση ενός προβλήματος προσδιορίζει λεπτομερώς το πρόβλημα, αναπτύσσει τον αλγόριθμο και τέλος τροποποιεί τον αλγόριθμο σε μορφή «κατανοητή» από τον υπολογιστή.

Ο προγραμματισμός επικεντρώνεται στη διατύπωση του εκάστοτε αλγορίθμου σε μορφή που μπορεί να «κατανοήσει» ο υπολογιστής. Αναλυτικότερα, ασχολείται με τη δημιουργία των εντολών που πρέπει να λάβει ο υπολογιστής ώστε να εκτελεσθεί ο αλγόριθμος ο οποίος θα επιλύσει το εκάστοτε πρόβλημα.

Η «ευφυΐα» που πολλοί πιστεύουν πως κατέχουν οι υπολογιστές είναι μια ψευδαίσθηση η οποία δημιουργείται από τον προγραμματισμό. Στην πραγματικότητα, ο υπολογιστής έχει μόνο την ικανότητα να κατανοήσει δύο καταστάσεις (περνάει ή όχι ρεύμα), οι οποίες χαρακτηρίζονται από τα ψηφία του δυαδικού συστήματος, το 0 και το 1, είναι η κατάσταση που δεν περνάει ρεύμα από μία δίοδο και η κατάσταση που περνάει αντίστοιχα.

Ο υπολογιστής ουσιαστικά, εκτελεί ακολουθίες που απαρτίζονται από τα ψηφία του δυαδικού συστήματος με εκπληκτικά γρήγορη ταχύτητα, έχοντας την ικανότητα να αποθηκεύει στη μνήμη του τις ακολουθίες αυτές, να τις ανακτά σε οποιαδήποτε στιγμή, να κάνει πράξεις με αυτές καθώς και να τις συγκρίνει.

## 3.3 Βασικά Χαρακτηριστικά Προγραμματισμού

### 3.3.1 Σχεδίαση προγραμμάτων

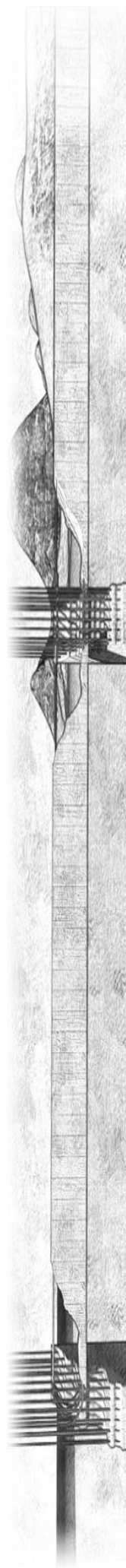
Σημαντικά χαρακτηριστικά ενός «κομψού» προγράμματος είναι η απλότητα του, καθώς και η κατανοητικότητα που μπορεί να προσφέρει στον προγραμματιστή.

Για να επιτευχθούν αυτά τα χαρακτηριστικά, έχουν αναπτυχθεί τεχνικές σχεδίασης προγραμμάτων. Η μεθοδολογία που ακολουθούν οι σύγχρονες γλώσσες προγραμματισμού είναι ο δομημένος προγραμματισμός (structural programming) ο οποίος πρωτοεμφανίστηκε τη δεκαετία του 1960 και έδωσε έμφαση στον περιορισμό της χρήσης της εντολής «GO TO» που καθιστούσε ως τότε τα προγράμματα «χαοτικά» σε σχεδίαση, κατανόηση και συντήρηση. Ο δομημένος προγραμματισμός λοιπόν, βασίστηκε στις λογικές δομές της ακολουθίας, της επιλογής και της επανάληψης. Θεμελιώδης αρχή του δομημένου προγραμματισμού, είναι πως κάθε πρόγραμμα και κάθε ενότητα του έχουν μόνο μία είσοδο και μόνο μία έξοδο.

Στον δομημένο προγραμματισμό ανήκουν η ιεραρχική σχεδίαση καθώς και ο τμηματικός προγραμματισμός. Κατά την ιεραρχική σχεδίαση/διαδικασία σχεδίασης (από πάνω προς τα κάτω, top-down program design), το πρόγραμμα διαιρείται σε κύριες λειτουργίες επίλυσης προβλημάτων και έπειτα σε απλούστερες. Με αυτόν τον τρόπο, η επίλυση του αρχικού προβλήματος ξεκινάει από τα υποπροβλήματα έως ότου επιλυθεί ολόκληρο.

Κάθε ένα από αυτά τα υποπροβλήματα είναι και μία αυτόνομη ενότητα (module) για το πρόγραμμα και αναλύεται ξεχωριστά, διαδικασία η οποία χαρακτηρίζεται ως τμηματικός προγραμματισμός.

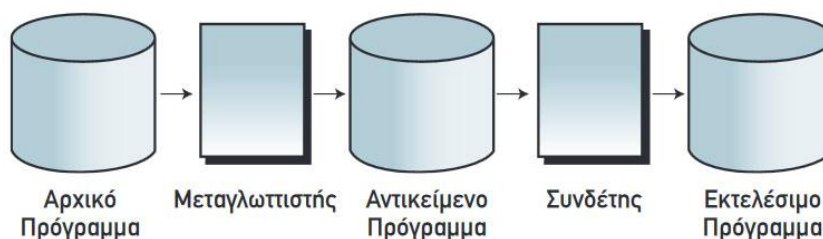
Ο δομημένος προγραμματισμός χρησιμοποιείται σήμερα ως κύρια μεθοδολογία προγραμματισμού μιας και παρουσιάζει πληθώρα πλεονεκτημάτων. Τα προγράμματα πλέον είναι πιο απλά και αναλύονται με ευκολία σε τμήματα, τα λάθη κατά την σύνταξη μειώνονται και η μεταφορά αλγορίθμων σε προγράμματα είναι άμεση. Επίσης, καθιστά τα προγράμματα πιο «ευανάγνωστα» και κατανοητά από τρίτους. Ακόμη, τα τελικά προγράμματα είναι ευκολότερα στη διόρθωση και την συντήρησή τους.



## 3.3.2 Προγραμματιστικά περιβάλλοντα

Τα προγράμματα που γράφονται σε οποιαδήποτε γλώσσα προγραμματισμού, δεν είναι κατανοητά από τον υπολογιστή. Για να επιλυθεί το εκάστοτε πρόβλημα πρέπει το πρόγραμμα επίλυσης να μετατραπεί σε μορφή κατανοητή από τον υπολογιστή, δηλαδή σε εντολές γλώσσας μηχανής. Το ρόλο της μετατροπής αυτής αναλαμβάνουν ειδικά μεταφραστικά προγράμματα, με βασικότερες κατηγορίες αυτών, τους μεταγλωττιστές και τους διερμηνευτές.

Ο **μεταγλωττιστής** (compiler) λαμβάνει ένα πρόγραμμα γραμμένο σε κάποια γλώσσα υψηλού επιπέδου και δημιουργεί ένα ισοδύναμο πρόγραμμα σε γλώσσα μηχανής. Το αρχικό πρόγραμμα που δέχεται ο μεταγλωττιστής ονομάζεται πηγαίο πρόγραμμα (source) και εκείνο που δημιουργείται από αυτόν ονομάζεται αντικείμενο πρόγραμμα (object). Το αντικείμενο πρόγραμμα ενώ είναι κατανοητό από τον υπολογιστή, είναι μη εκτελέσιμο. Για να είναι ικανό να εκτελεσθεί, θα πρέπει να συνδεθεί με άλλα τμήματα του προγράμματος τα οποία τα συντάσσει ο προγραμματιστής ή υπάρχουν σε βιβλιοθήκες (libraries) της εκάστοτε γλώσσας. Το πρόγραμμα που συνδέει το αντικείμενο πρόγραμμα με τα τμήματα αυτά, ονομάζεται **συνδέτης-φορτωτής** (linker-loader), ο οποίος παράγει το τελικό εκτελέσιμο πρόγραμμα (executable).



Εικόνα 3.1 Μεταγλώττιση και σύνδεση προγράμματος

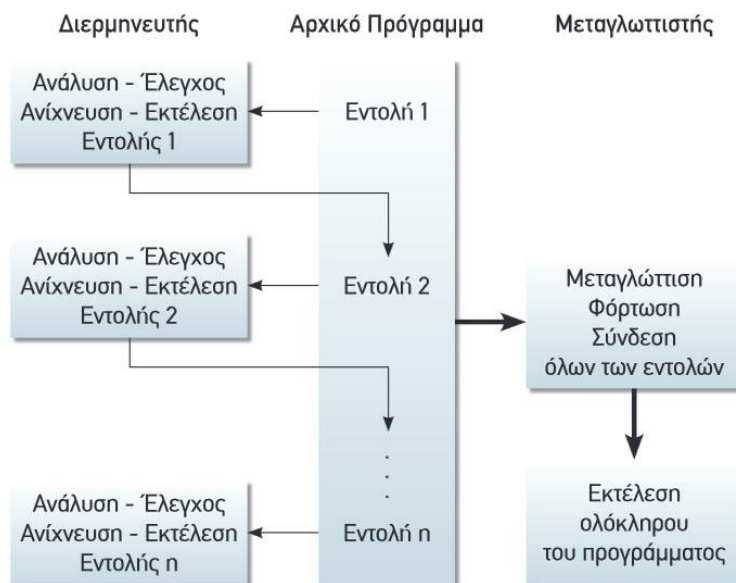
Ο **διερμηνευτής** (interpreter), διαβάζει τις εντολές του αρχικού προγράμματος γλώσσας υψηλού επιπέδου μία-μία και έπειτα τις εκτελεί σε μια ακολουθία, ισοδύναμη σε γλώσσα μηχανής.

Υπάρχει περίπτωση εμφάνισης λάθους στο αρχικό πρόγραμμα με αποτέλεσμα την παρεμπόδιση της δημιουργίας του εκτελέσιμου προγράμματος. Τα λάθη στον προγραμματισμό χωρίζονται σε λογικά και συντακτικά. Τα λογικά λάθη δημιουργούνται κατά τη σύνταξη του αλγορίθμου και εμφανίζονται στην εκτέλεση του προγράμματος, ενώ τα συντακτικά λάθη οφείλουν την ύπαρξη τους σε απώλεια δήλωσης δεδομένων ή σε «ορθογραφικά» λάθη εντολών και εμφανίζονται στο στάδιο της μεταγλώττισης.

Για την αποφυγή των συντακτικών λαθών καθώς και τη διευκόλυνση του προγραμματιστή, χρησιμοποιείται ένα πρόγραμμα που ονομάζεται συντάκτης (editor), ο οποίος θυμίζει περισσότερο επεξεργαστή κειμένου.

# Δημιουργία εντολών σε περιβάλλον CAD για αγκύρωση οπλισμών

Στα σύγχρονα προγραμματιστικά περιβάλλοντα, ο συντάκτης, ο μεταγλωττιστής και ο συνδέτης συνδυάζονται με ενιαίο τρόπο καθώς είναι τα ελάχιστα προγράμματα που απαιτούνται για τη δημιουργία, τη μετάφραση και την εκτέλεση ενός προγράμματος.



Εικόνα 3.2 Διαδικασία μετάφρασης και εκτέλεσης ενός προγράμματος

### 3.3.3 Αντικειμενοστραφής προγραμματισμός

Τα προγραμματιστικά περιβάλλοντα που αναπτύχθηκαν παρουσίασαν ιδιαίτερη πολυπλοκότητα στην κατασκευή του λογισμικού, ωθώντας τους προγραμματιστές στη δημιουργία φιλικότερων τεχνικών σχεδίασης προγραμμάτων τόσο στην αντίληψη όσο και στη δομή τους. Για να επιτευχθεί η βελτίωση της επικοινωνίας του χρήστη με τα προγραμματιστικά περιβάλλοντα, δόθηκε έμφαση στον αντικειμενοστραφή προγραμματισμό, στον οδηγούμενο από τα γεγονότα προγραμματισμό καθώς και στην οπτική σχεδίαση των εφαρμογών. Έτσι τα προγράμματα γίνονται φιλικότερα, περισσότερο ευέλικτα και επαναχρησιμοποιήσιμα.

Η έννοια του **αντικειμενοστραφούς προγραμματισμού (object-oriented programming)** είναι μια διαφορετική προσέγγιση προβλημάτων με υπολογιστή, όπου τα δεδομένα του προβλήματος λαμβάνονται ως πρωτεύοντα δομικά στοιχεία του εκάστοτε προγράμματος και έπειτα από τροποποίηση μετατρέπονται σε **αντικείμενα (objects)**. Τα κυριότερα αντικειμενοστραφή προγραμματιστικά περιβάλλοντα είναι η Visual C++, η Java, η Visual Basic, το Delphi.

Ο αντικειμενοστραφής προγραμματισμός παρουσιάζει κάποια βασικά στοιχεία όπως τα αντικείμενα, τις μεθόδους, τις κλάσεις και τις ιδιότητες. Κάθε αντικείμενο (object), περιλαμβάνει κώδικα και δεδομένα. Τα **δεδομένα (data)** αποτελούν τα χαρακτηριστικά του αντικειμένου, ενώ οι **ενέργειες (operations)** αποτελούν τη συμπεριφορά του. Οι ενέργειες του αντικειμένου στον αντικειμενοστραφή προγραμματισμό ονομάζονται **μέθοδοι**

# Δημιουργία εντολών σε περιβάλλον CAD για αγκύρωση οπλισμών

**(methods).** Τα αντικείμενα μπορούν να δημιουργηθούν με κώδικα ή με χρήση γραφικών εργαλείων και είναι αυτόνομα έχοντας τη δική τους φυσική υπόσταση και ταυτότητα. Κάθε ανεξάρτητο αντικείμενο είναι και ένα **στιγμιότυπο (instance)**.

Ο γενικός τύπος ενός αντικειμένου ορίζεται ως **κλάση (class)** και «προσδίδει» στο κάθε αντικείμενο τις αρχικές του ιδιότητες και συμπεριφορά. Κάθε αντικείμενο που δημιουργείται έχει αρχικές ιδιότητες και συμπεριφορά από την κλάση του. Οι **ιδιότητες (properties)** μπορούν να τροποποιηθούν από τον προγραμματιστή είτε μέσω κώδικα, είτε μέσω **παραθύρου ιδιοτήτων (properties window)**. Στην αντικειμενοστραφή σχεδίαση, τα αντικείμενα μπορεί να έχουν και μεθόδους (methods), δηλαδή εφαρμογές κάποιας ενέργειας σε ένα αντικείμενο και ενεργούν μόνο μέσω κώδικα.

Ο αντικειμενοστραφής προγραμματισμός συνδυάζεται με τον **οδηγούμενο από τα γεγονότα προγραμματισμό (event-driven programming)**, κατά τον οποίο ο χρήστης ελέγχει την εφαρμογή με τη χρήση του πληκτρολογίου του ή του ποντικιού του ποιο κομμάτι του προγράμματος θα εκτελεσθεί.

Η εκάστοτε ενέργεια που λαμβάνει η εφαρμογή ονομάζεται **γεγονός (event)** και προκαλεί την αντίδραση του προγράμματος σε αυτή. Ένα γεγονός μπορεί να προκληθεί ακόμα και από το σύστημα.

Σημαντική πτυχή των σύγχρονων προγραμματιστικών περιβαλλόντων είναι η οπτική τους σχεδίαση. Μέσα από ένα γραφικό προγραμματιστικό περιβάλλον, αυξάνεται η επικοινωνία του χρήστη με την εκάστοτε εφαρμογή καθώς δημιουργείται ένα οικείο περιβάλλον εργασίας γι' αυτόν μιας και η γραφική απεικόνιση θυμίζει εφαρμογές γενικής χρήσης.

Στα σύγχρονα προγραμματιστικά περιβάλλοντα, κάθε αντικείμενο αντιλαμβάνεται τα γεγονότα που το επηρεάζουν και αντιδρά σε αυτά με τον κατάλληλο τρόπο. Επιπλέον, σε μία σύγχρονη εφαρμογή γίνεται συνδυασμός του τμηματικού (modular) προγραμματισμού με τον αντικειμενοστραφή και τον οδηγούμενο από τα γεγονότα προγραμματισμό καθώς και με στοιχεία του δομημένου (structural) προγραμματισμού.

### 3.3.4 Συναρτησιακός Προγραμματισμός

Ο συναρτησιακός προγραμματισμός βασίζεται στην ανάπτυξη συναρτησιακών προγραμμάτων μέσω ορισμών μαθηματικών συναρτήσεων. Στο περιβάλλον του συναρτησιακού προγραμματισμού, η επίλυση ενός προβλήματος πραγματοποιείται με την αποτίμηση εκφράσεων οι οποίες εφαρμόζουν κατάλληλα συναρτήσεις κατά την είσοδο των δεδομένων στο εκάστοτε πρόγραμμα. Στην λύση ενός προβλήματος με τη χρήση συναρτησιακού προγραμματισμού, δεν περιγράφεται με ποιο τρόπο λύνεται το πρόβλημα, αλλά δηλώνοντας τα αξιώματα που περιγράφουν το πρόβλημα αυτό.

Να σημειωθεί ότι ο συναρτησιακός προγραμματισμός θεμελιώνεται στη θεωρία του λάμδα λογισμού (lambda calculus) που αναπτύχθηκε από τον Alonzo Church κατά τη δεκαετία του 1930, αρκετά προτού κάνουν την εμφάνιση τους οι πρώτοι υπολογιστές. Ο λ-λογισμός κατά τον ορισμό του είναι ένα μαθηματικό σύστημα το οποίο επικεντρώνεται στις ενέργειες των μαθηματικών συναρτήσεων, χρησιμοποιώντας τον τελεστή λ. Οι συναρτήσεις



# Δημιουργία εντολών σε περιβάλλον CAD για αγκύρωση οπλισμών

παρουσιάζουν το πολύ χρήσιμο φαινόμενο της αναδρομής, όπου μια συνάρτηση μπορεί να ορισθεί μέσω του εαυτού της. Η μηχανή Turing χαρακτηρίζεται ως ισοδύναμη του τελεστή λ.

Η πρώτη γλώσσα προγραμματισμού που παρουσίασε εφαρμογές του συναρτησιακού προγραμματισμού, είναι η Lisp καθώς ένα πρόγραμμα που έχει συγγραφεί σε Lisp απαρτίζεται από ορισμούς συναρτήσεων. Αξίζει να επισημανθεί ότι στην Visual Lisp υπάρχει λειτουργία (function) που βασίζεται στον λογισμό λ και ονομάζεται lambda. Η συνάρτηση αυτή, καθορίζει μια ανώνυμη λειτουργία που καλείται και ορίζεται από το πρόγραμμα τη στιγμή που χρησιμοποιείται εφαρμόζοντας μία συνθήκη για κάθε μία από τις μεταβλητές της.

Με επίκεντρο τον συναρτησιακό προγραμματισμό, έχουν αναπτυχθεί γλώσσες προγραμματισμού οι οποίες στηρίζονται εξολοκλήρου στη φιλοσοφία του συναρτησιακού προγραμματισμού αλλά και στον λ-λογισμό. Τέτοιες γλώσσες είναι:

- η Standard ML,
- η Hope, η SASL,
- η Miranda και
- η Haskell.

## 3.4 Ιστορική Αναδρομή

Με το πέρασμα των χρόνων οι υπολογιστές έχουν εξελιχθεί σημαντικά, με το μέγεθος τους να μειώνεται και τις δυνατότητες τους να αυξάνονται. Λόγω της μείωσης του μεγέθους τους υπάρχουν πλέον οι προσωπικοί υπολογιστές των οποίων οι ταχύτητες επεξεργασίας είναι τεράστιες σε σχέση με τους πρώτους. Οι βασικές λειτουργίες τους όμως παραμένουν σταθερές.

Αντίστοιχα με την πορεία των υπολογιστών, οι γλώσσες προγραμματισμού ενώ εξελίσσονται με την πάροδο των χρόνων, τα χαρακτηριστικά τους και οι βασικές τους ιδιότητες δεν έχουν αλλάξει.

### 3.4.1 Ο πρώτος υπολογιστής

#### 3.4.1.1 Alan Turing

Ο Alan Mathison Turing (1912-1954), ήταν βρετανός μαθηματικός ο οποίος θεωρείται «πατέρας της επιστήμης των υπολογιστών» και ιδρυτής του κλάδου της τεχνητής νοημοσύνης. Έχει συνεισφέρει στις επιστήμες των μαθηματικών, της βιολογίας, της φιλοσοφίας, της κρυπτανάλυσης και κυρίως στον τομέα της επιστήμης των υπολογιστών, της γνωστικής επιστήμης, της τεχνητής νοημοσύνης και της τεχνητής ζωής. Η σημαντικότερη θεωρητική του δουλειά εκδόθηκε το 1936 με τίτλο «On Computable Numbers with an Application to the Entscheidungsproblem», σε μετάφραση «Για του υπολογίσιμους αριθμούς, με μία εφαρμογή στην λήψη αποφάσεων».

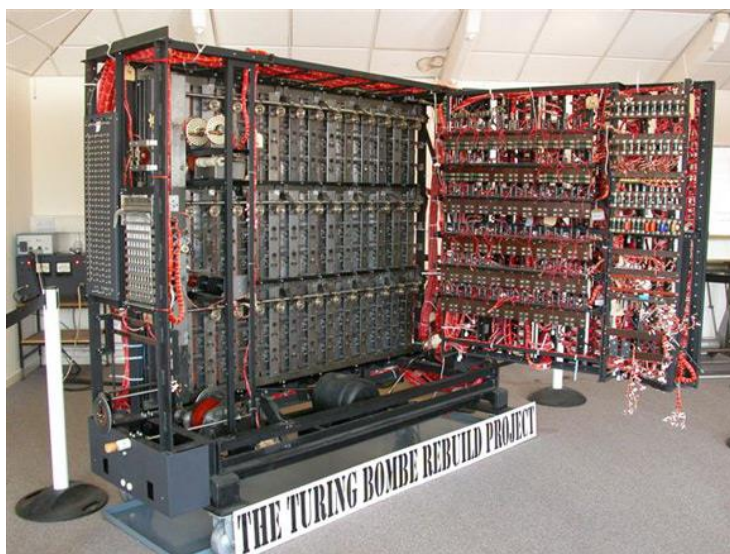


Εικόνα 3.3 Το άγαλμα του Alan Turing στο Bletchley Park, κατασκευασμένο από τον Stephen Kettle

Το 1939, μετακόμισε στο Bletchley Park, στην –εν καιρώ πολέμου- έδρα της Σχολής Κώδικα και Κρυπτογραφίας της Βρετανικής κυβέρνησης. Εκεί προσέφερε τις ικανότητες του στην αποκωδικοποίηση της κρυπτογραφικής συσκευής των Γερμανών Enigma, κατά τον Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο, κατασκευάζοντας τη «βόμβα» (bombe), μία ηλεκτρομηχανική μηχανή εμπνευσμένη από Πολωνούς ερευνητές. Η προσφορά αυτή του Alan Turing και των

# Δημιουργία εντολών σε περιβάλλον CAD για αγκύρωση οπλισμών

συνεργατών του υπολογίζεται ότι ελάττωσε τη διάρκεια του πολέμου στην Ευρώπη κατά περίπου 2 χρόνια, σώζοντας εκατομμύρια ζωές.



Εικόνα 3.4 Μηχανή αποκωδικοποίησης του Enigma

Ο Turing έφερε στο προσκήνιο τον όρο της καθολικής μηχανής Turing (universal Turing machine), η οποία περιγράφεται – σε αφηρημένη εννοιολογικά μορφή – ως ο ψηφιακός υπολογιστής με αποθηκευμένο πρόγραμμα. Θεωρείται ιδρυτής του τομέα της τεχνητής νοημοσύνης, κυρίως με τη δοκιμή Turing (Turing test) κατά την οποία μπορεί να διαπιστώσει κάποιος αν μία μηχανή έχει την ικανότητα να σκεφτεί.

## 3.4.1.2 ENIAC

Ο ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Computer), ήταν ο πρώτος ηλεκτρονικός ψηφιακός υπολογιστής παγκοσμίως, όπως περιγράφουν και τα αρχικά του ονόματός του «Ηλεκτρονικός αριθμητικός ολοκληρωτής και υπολογιστής». Αναπτύχθηκε από τον Στρατό Πυρομαχικών των Η.Π.Α. με σκοπό να εκτελεί υπολογισμούς που θα βοηθούσαν στους βαλλιστικούς πίνακες βολής για τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο.

Η αρχική συμφωνία πραγματοποιήθηκε το 1943 ανάμεσα στις Η.Π.Α και τους ερευνητές του τμήματος Ηλεκτρικής Μηχανικής, της Σχολής Moore του Πανεπιστημίου της Πενσυλβάνια (Moore School of Engineering of the University of Pennsylvania), στους οποίους δόθηκε χρηματικό ποσό με απώτερο σκοπό «την έρευνα και ανάπτυξη ενός ηλεκτρονικού αριθμητικού ολοκληρωτή και υπολογιστή και τη διανομή της σχετικής έκθεσης». Η εργασία πραγματοποιήθηκε υπό την επίβλεψη του καθηγητή John Grist Brainerd σε συνεργασία με τον John Presper Eckert ως προϊστάμενο μηχανικό και τον John William Mauchly, ο οποίος παρείχε το αρχικό περίγραμμα για το ανάπτυγμα αυτό ως κύριος σύμβουλος. Σημαντική ήταν η συνεισφορά του Herman Heine Goldstine, καθώς δεν επέβλεπε μόνο τις εργασίες για το Πυροβολικό Τμήμα, άλλα προσέφερε τις μαθηματικές του γνώσεις στην επιχείρηση.

# Δημιουργία εντολών σε περιβάλλον CAD για αγκύρωση οπλισμών

Ο ENIAC τέθηκε σε λειτουργία, κομμάτι-κομμάτι στο Πανεπιστήμιο της Πενσυλβάνια τον Ιούνιο του 1944. Η τελική του συναρμολόγηση έλαβε χώρα το φθινόπωρο του 1945. Τεράστιος σε όγκο, ζύγιζε πάνω από 30 τόνους και απαρτιζόταν από εκατοντάδες χιλιάδες πυκνωτές και πηνία.



Εικόνα 3.5 Ο ENIAC ο πρώτος υπολογιστής

Η αρχική σχεδίαση του ENIAC δεν τον περιέγραφε σαν έναν εσωτερικά προγραμματιζόμενο υπολογιστή, το πρόγραμμα σηνόταν χειροκίνητα αλλάζοντας διακόπτες και συνδέσεις καλωδίων.

Τον Φεβρουάριο του 1946, ο ENIAC αφιερώθηκε στο Moore School και δόθηκε στο Σώμα Πυρομαχικών του Στρατού των Η.Π.Α. τον Ιούλιο του ίδιου χρόνου. Εκείνο το έτος ο ENIAC ήταν σε θέση να κάνει υπολογισμούς στα πεδία της ατομικής ενέργειας και της βαλλιστικής τροχιάς.

Το έτος 1947 χρειάστηκε να διαλυθεί, να μεταφερθεί στο Ardeen Proving Ground, και να συναρμολογηθεί από την αρχή. Το αρχικό πεδίο εφαρμογής του ENIAC ήταν κυρίως στις διαφορικές εξισώσεις κίνησης για τον τομέα της βαλλιστικής.

Στην επιχείρηση αυτή έλαβε μέρος ο John von Neumann, ο οποίος είχε συνεργαστεί με τον Alan Turing και ήταν γνώστης της μελέτης του: «On Computable Numbers with an Application to the Entscheidungsproblem». Κατάφερε να εξοικονομήσει υπολογιστικό χρόνο, έπειτα από την πρόταση του κατά την οποία η επιλογή του κώδικα θα γινόταν μέσω διακοπών ώστε οι συνδέσεις των καλωδίων να παραμένουν σταθερές για τις πιο τυπικές τροχίες. Οι αλλαγές αυτές πραγματοποιήθηκαν στις αρχές του 1948, μετατρέποντας τον ENIAC σε μηχανή σειριακής εκτέλεσης εντολών.

Ο ENIAC χρησιμοποιήθηκε σε μεγάλο βαθμό από τις Η.Π.Α. στη διάρκεια των ετών 1948 έως και 1952 κυρίως για τους υπολογισμούς σε πίνακες βαλλιστικής. Επίσης παρουσίασε πλεονεκτήματα σε υπολογισμούς ποικίλων τομέων όπως η πρόγνωση καιρού,

η ατομική ενέργεια, οι κοσμικές ακτίνες, η θερμική ανάφλεξη, η μελέτη τυχαίων αριθμών, ο σχεδιασμός αεροδυναμικών σφραγγών και άλλων πεδίων εφαρμογής.

Οι υπολογιστές EDVAC και ORDVAC, ξεκίνησαν να ξεπερνούν τον ENIAC σε ταχύτητα, έτσι ο ENIAC για άλλη μια φορά δέχθηκε κι άλλες τροποποιήσεις που τον έκαναν ταχύτερο, όμως δεν ήταν πια οικονομικός στη λειτουργία του. Έτσι, το 1955 αποσύρθηκε. Κομμάτια του εκθέτονται ακόμη σε μουσεία και πανεπιστήμια της Αμερικής μιας και ήταν πρωτοπόρος στον χώρο των υπολογιστών.

### 3.4.2 Γλώσσες χαμηλού επιπέδου

Με την πάροδο των χρόνων εμφανίστηκε η επιθυμία δημιουργίας μιας συμβατικής γλώσσας κατανοητής από τον άνθρωπο η οποία, έπειτα από μετατροπή της στο εσωτερικό του υπολογιστή, θα απαρτιζόταν από αντίστοιχες ακολουθίες του 0 και του 1. Ο συμβολομεταφραστής/assembler είναι ένα ειδικό πρόγραμμα που μεταφράζει τις κατανοητές εντολές από τον άνθρωπο σε ψηφία του δυαδικού συστήματος για τον υπολογιστή.

Οι γλώσσες χαμηλού επιπέδου (low-level languages) είναι οι πρώτες γλώσσες προγραμματισμού που εμφανίστηκαν και συμπεριλαμβάνουν τις δύο πρώτες γενιές γλωσσών προγραμματισμού.

Στην **πρώτη γενιά** ανήκουν οι γλώσσες μηχανής, όπου ο προγραμματιστής δημιουργούσε εντολές από ακολουθίες των ψηφίων 0 και 1. Κάθε ηλεκτρονικός υπολογιστής έχει μία δική του γλώσσα μηχανής. Τα σημερινά προγράμματα σε γλώσσες υψηλού επιπέδου, μετατρέπονται στο τελικό τους στάδιο σε γλώσσα μηχανής ώστε να γίνουν κατανοητά από τον υπολογιστή.

Στη **δεύτερη γενιά** ανήκουν οι συμβολικές γλώσσες οι οποίες αναπτύχθηκαν στις αρχές του 1950 και δίνουν ακριβείς οδηγίες στον υπολογιστή με κώδικα ο οποίος είναι πιο κατανοητός στον προγραμματιστή σε σύγκριση με τις ακολουθίες του 0 και του 1. Κάθε σειρά κώδικα σε συμβολική γλώσσα αντιστοιχεί σε μια μόνο ενέργεια του συστήματος του ηλεκτρονικού υπολογιστή.

Οι γλώσσες χαμηλού επιπέδου, εξαρτώνται από την αρχιτεκτονική του κάθε υπολογιστή κάνοντας αδύνατη την μεταφορά των προγραμμάτων γραμμένων σε αυτές σε διαφορετικό υπολογιστή ακόμη και αν προέρχεται από τον ίδιο κατασκευαστή.

### 3.4.3 Γλώσσες υψηλού επιπέδου

Στα τέλη της δεκαετίας του 1950 εμφανίστηκαν οι πρώτες γλώσσες προγραμματισμού υψηλού επιπέδου ή αλλιώς τρίτης γενιάς. Ένα πρόγραμμα που γράφεται σε γλώσσα υψηλού επιπέδου, μεταφράζεται από τον υπολογιστή μέσω του μεταγλωττιστή σε ακολουθίες εντολών σε γλώσσα μηχανής. Τα προγράμματα γλωσσών υψηλού επιπέδου είναι ευκολότερα στη συγγραφή τους και συντομότερα, συγκριτικά με εκείνα σε γλώσσες χαμηλού επιπέδου. Επιπλέον, τα προγράμματα γραμμένα σε γλώσσες 3<sup>ης</sup> γενιάς, μπορούν

# Δημιουργία εντολών σε περιβάλλον CAD για αγκύρωση οπλισμών

να εκτελεστούν από οποιονδήποτε υπολογιστή με μόνη προϋπόθεση ο υπολογιστής αυτός να έχει τον αντίστοιχο μεταγλωττιστή.

## 3.4.3.1 Σημαντικότερες γλώσσες υψηλού επιπέδου

Στην παρούσα υποπαράγραφο, θα γίνει σύντομη αναφορά στις σημαντικότερες γλώσσες προγραμματισμού υψηλού επιπέδου. Να σημειωθεί ότι η καθεμία από τις γλώσσες προγραμματισμού επικεντρώνεται στην επίλυση ενός τομέα προβλημάτων, συνεπώς δεν μπορούμε να χαρακτηρίσουμε κάποια γλώσσα προγραμματισμού “καλύτερη” από την άλλη.

### **FORTRAN** (FORmula TRANslator)

Η FORTRAN χαρακτηρίζεται ως η πρώτη γλώσσα προγραμματισμού υψηλού επιπέδου και αναπτύχθηκε από την IBM το 1957. Το όνομα της μεταφράζεται ως “μετάφραση τύπων” καθώς σχεδιάστηκε με σκοπό την επίλυση επιστημονικών, μαθηματικών και μηχανικών προβλημάτων εφαρμογές των οποίων χρειάζονται πολύπλοκους υπολογισμούς. Η FORTRAN, είναι ικανή να εκφράσει εύκολα ακόμη και εξελιγμένους τύπους μαθηματικών. Επίσης μπορεί να εκτελέσει γρήγορα ένα πρόγραμμα διαθέτοντας εκτενή τράπεζα με ρουτίνες προγραμματισμένες εκ των προτέρων.

### **LISP** (LISt Processor)

Η LISP είναι η δεύτερη αρχαιότερη γλώσσα προγραμματισμού 3<sup>ης</sup> γενιάς, δημιουργήθηκε το έτος 1959 στο MIT (Massachusetts Institute of Technology). Το όνομά της μεταφράζεται ως “επεξεργαστής λίστας” και χαρακτηρίζεται ως γλώσσα τεχνητής νοημοσύνης.

### **COBOL** (COmmon Business Oriented Language)

Στις αρχές του 1960 αναπτύχθηκε η COBOL, “κοινή γλώσσα προσανατολισμένη στις επιχειρήσεις”, ιδανική για την επεξεργασία δεδομένων σε επιχειρήσεις. Πολλές εφαρμογές της γλώσσας αυτής βρίσκονται σε χρήση σήμερα.

### **BASIC** (Beginner’s All-Purpose Symbolic Instruction Code)

Τη δεκαετία του 1960 ο John Kemeny, καθηγητής στο Dartmouth College, Θέλησε να δημιουργήσει μια γλώσσα προγραμματισμού η οποία θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί από αρχάριους στον προγραμματισμό με χαρακτηριστικά όμως αρκετά ανεπτυγμένα όπως άλλες «δύσκολες γλώσσες προγραμματισμού». Σε ελεύθερη μετάφραση το όνομά της σημαίνει «Συμβολικός κώδικας γενικού σκοπού για αρχάριους». Στη συνέχεια η BASIC εξελίχθηκε στη Visual Basic, γλώσσα αντικειμενοστραφή ιδανική για ανάπτυξη εφαρμογών σε περιβάλλοντα των Windows. Συγκεκριμένα η Visual Basic for Applications (VBA), δίνει τη δυνατότητα στον προγραμματιστή να συντάξει κώδικα που μπορεί να επικοινωνήσει με προγράμματα εκτός της οικογένειας της Microsoft Office, όπως το AutoCAD και το Visio.

# Δημιουργία εντολών σε περιβάλλον CAD για αγκύρωση οπλισμών

## **RPG** (Report Program Generator)

Η RPG, “πρόγραμμα δημιουργίας εκθέσεων”, δημιουργήθηκε τη δεκαετία του 1960 από την IBM με σκοπό την παραγωγή εκθέσεων από μικρούς υπολογιστές.

## **ALGOL** (ALGOritmic Language)

Δημιουργήθηκε για ανάπτυξη προγραμμάτων γενικής φύσης το 1960, ενώ επηρέασε σημαντικά τις γλώσσες που την ακολούθησαν, δεν εφαρμόστηκε σε μεγάλη κλίμακα.

## **PL/1** (Programming Language/1)

Αναπτύχθηκε από την IBM στα μέσα της δεκαετίας του 1960, αναπτύχθηκε –ανεπιτυχώς- με σκοπό να καλύψει όλους του τομείς του προγραμματισμού, επιστημονικούς αλλά και εμπορικούς.

## **APL** (A Programming Language)

Αναπτύχθηκε στις αρχές του 1960 από έναν καθηγητή στο Harvard και έπειτα έλαβε υποστήριξη από την IBM, με σκοπό να διευκολύνει τους προγραμματιστές στο χρόνο συγγραφής του εκάστοτε προγράμματος.

## **Smaltalk**

Η Smaltalk δημιουργήθηκε στα τέλη του 1960 στο Πανεπιστήμιο της Utah και είναι από τις πρώτες γλώσσες αντικεμενοστραφούς προγραμματισμού που εμφανίστηκαν.

## **Pascal**

Το 1970 ο καθηγητής Niklaus Wirth δημιούργησε την Pascal, το όνομα της οποίας έδωσε από τον μαθηματικό Blaise Pascal. Η Pascal βασίζεται στις αρχές του δομημένου προγραμματισμού και είναι κατάλληλη για διδασκαλία προγραμματισμού.

## **C**

Η C αναπτύχθηκε στα εργαστήρια της BELL στις αρχές του 1970 από τον Dennis Ritchie και είναι ευρέως διαδεδομένη. Έχει χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη του λειτουργικού συστήματος UNIX και παρουσιάζει αρκετά κοινά με την Pascal. Είναι μία δομημένη διαδικασιακή γλώσσα γενικής χρήσης, πολύπλοκη και πλούσια ως προς τη συλλογή της σε τελεστές και τύπους δεδομένων. Διαδεδομένη εξέλιξη της C είναι η C++, μια αντικειμενοστραφής γλώσσα προγραμματισμού.

# Δημιουργία εντολών σε περιβάλλον CAD για αγκύρωση οπλισμών

## Java

Η Java είναι μία πραγματικά αντικειμενοστραφής γλώσσα προγραμματισμού, συγγενική με την C++, απλή στη σύνταξη της, αξιόπιστη και ελαφριά βοηθώντας έτσι στην εκτέλεση της. Γεννήθηκε το 1991 από μία ερευνητική ομάδα της Sun Microsystems στοχεύοντας στον έλεγχο και στη δικτύωση ηλεκτρικών συσκευών. Αρχικά για το σκοπό αυτό θα χρησιμοποιούταν η C++ χωρίς επιτυχία όμως. Έτσι αναπτύχθηκε η γλώσσα Oak από τον James Gosling η οποία στην πορεία μετονομάστηκε σε Java και κατοχυρώθηκε επίσημα το 1995.

## Ada

Η Ada δημιουργήθηκε τη δεκαετία του 1970 από το Υπουργείο Εθνικής Άμυνας των ΗΠΑ και ονομάστηκε προς τιμή της πρώτης γυναίκας προγραμματίστριας Ada Augusta Byron. Χαρακτηρίζεται ως γλώσσα βασισμένη στις αρχές του δομημένου προγραμματισμού και έχει αρκετά κοινά χαρακτηριστικά με την Pascal.

## Logo

Η Logo εμφανίστηκε τη δεκαετία του 1970, στο MIT και σχεδιάστηκε για την εκμάθηση προγραμματισμού σε παιδιά.

## Prolog (PROgramming LOGic)

Στο χώρο της τεχνητής νοημοσύνης εμφανίστηκε και η Prolog, "προγραμματισμός και λογική", περίπου το 1970.

### 3.4.4 Γλώσσες πολύ υψηλού επιπέδου

Οι γλώσσες προγραμματισμού υψηλού επιπέδου παρά τα αξιοσημείωτα πλεονεκτήματά τους, απευθύνονται αποκλειστικά σε προγραμματιστές και όχι σε απλούς χρήστες υπολογιστών, αποκλείοντας με αυτόν τον τρόπο την τροποποίηση του προγράμματος από κάποιο χρήστη. Δημιουργήθηκε λοιπόν η ανάγκη εμφάνισης εργαλείων προγραμματισμού δίνοντας στον χρήστη τη δυνατότητα να επιλύει μικρά προβλήματα εφαρμογών, έτσι στις αρχές του 1960, εμφανίστηκαν οι γλώσσες πολύ υψηλού επιπέδου ή αλλιώς, τέταρτης γενιάς με κύρια εκπρόσωπο την **SQL (Structured Query Language)**.

Στις γλώσσες προγραμματισμού της τέταρτης γενιάς, ο χρήστης δηλώνει στον προσωπικό του υπολογιστή τι να κάνει και όχι πως θα το κάνει, σε αντίθεση με τις γλώσσες υψηλού επιπέδου όπου ο προγραμματιστής περιγράφει στον υπολογιστή την ενέργεια που θέλει να πραγματοποιήσει βήμα προς βήμα.

Διακρίνονται έξι τύποι γλωσσών πολύ υψηλού επιπέδου: γεννήτριες εκθέσεων, γλώσσες ανάκλησης και ενημέρωσης (HyperTalk), εργαλεία συστήματος υποστήριξης αποφάσεων, πακέτα εφαρμογών, γεννήτριες εφαρμογών.



## 3.5 Προγραμματισμός σε περιβάλλον CAD

Στην παράγραφο αυτή θα εξεταστούν οι πιο διαδεδομένες γλώσσες προγραμματισμού που επικοινωνούν με περιβάλλον CAD και θα παρουσιαστούν κάποια παραδείγματα που έχω αναπτύξει για κάθε μια από αυτές.

### 3.5.1 AutoLISP

Η AutoLISP είναι μία έκδοση της γλώσσας προγραμματισμού τρίτης γενιάς LISP που αναφέρθηκε σε προηγούμενη ενότητα και είναι σχεδιασμένη ώστε να επεκτείνει και να τροποποιεί λειτουργίες του AutoCAD. Έκδοση της AutoLISP εμφανίστηκε πρώτη φορά στο περιβάλλον του AutoCAD τη δεκαετία του 1980 καθώς ήταν σε θέση να επιλύσει αρκετά σχεδιαστικά προβλήματα του προγράμματος. Μία πιο εξελιγμένη έκδοση της LISP είναι η Visual LISP, όπου ο προγραμματιστής μπορεί να σχεδιάσει παράθυρα που είναι πιο οικεία στον χρήστη, θέτοντας όλη τη ρουτίνα πιο φιλική σε αυτόν. Το AutoCAD πλέον υποστηρίζει έκδοση της Visual LISP. Ο πιο απλός τρόπος εκτέλεσης κώδικα γραμμένου σε AutoLISP μέσω του AutoCAD είναι η αντιγραφή και επικόλληση του κώδικα στη γραμμή εντολών της εφαρμογής και στην συνέχεια κλήση του κώδικα μέσω αυτής. Ένας άλλος τρόπος συγγραφής προγράμματος σε AutoLISP είναι μέσω του συντάκτη (editor) της Visual LISP, όπου υπάρχουν βιβλιοθήκες με τις εντολές της κάνοντας ευκολότερη την αποφυγή λάθους κατά την σύνταξη του προγράμματος.

Ακολουθεί ένα τμήμα κώδικα από εργασία μου σε AutoLISP στην οποία φαίνεται μία περίπτωση της συνθήκης **if (αν)** με υπορουτίνες μέσα σε αυτή.

```
(setq HAabs (abs HA))
(if
(/= a 90)
(progn

  (if (> HA 0)
    (progn

      (setq HApt3 (list (- (car pointA) 0.3) (cadr pointA)))
      (setq HApt2 (list (- (car HApt3) 0.3) (cadr pointA)))
      (setq HApt1 (list (- (car HApt2) (/ HAabs 10)) (cadr pointA)))
      (command "pline" HApt1 "w" 0.005 0.005 HApt2 "w" 0.1 0 HApt3 "")
    )
    (progn
      (setq HApt1 (list (- (car pointA) 0.3) (cadr pointA)))
      (setq HApt2 (list (- (car HApt1) (/ HAabs 10)) (cadr pointA)))
      (setq HApt3 (list (- (car HApt2) 0.3) (cadr pointA)))
      (command "pline" HApt1 "w" 0.005 0.005 HApt2 "w" 0.1 0 HApt3 "")
    ))
  ))
(princ "\nΕλέγξετε τον κώδικα")
)
```

Εικόνα 3.6 Συνθήκη if σε κώδικα AutoLISP

# Δημιουργία εντολών σε περιβάλλον CAD για αγκύρωση οπλισμών

Στις επόμενες υποπαραγράφους ακολουθούν τμήματα από ρουτίνες σε AutoLISP που έχω συντάξει, καθώς και τα σχεδιαστικά αποτελέσματα έπειτα από τη λειτουργία τους.

## 3.5.1.1 Υπολογισμός και σχεδίαση διαγραμμάτων

Κατά την ρουτίνα που κατασκευάστηκε, δίδεται ένας φορέας και τα φορτία του από τον χρήστη και υπολογίζονται οι αντιδράσεις των στηρίξεων του και σχεδιάζονται διαγράμματα Αξονικών, Τεμνουσών και Καμπτικών Ροπών γι' αυτόν.

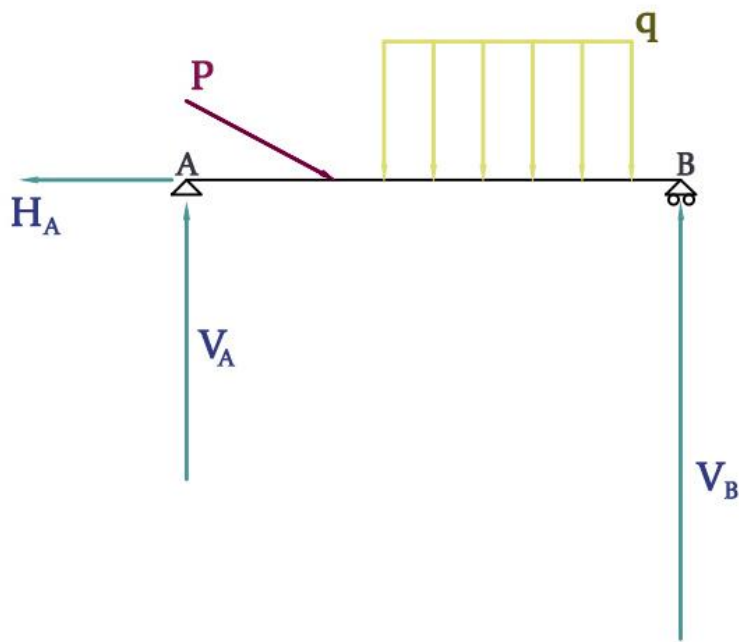
Ειδικότερα, πραγματοποιείται από τη ρουτίνα επίλυση απλής ολόσωμης αμφιέριστης δοκού, στηρίξεων άρθρωσης και κύλισης, διάταξη η οποία αποτελεί ισοστατικό φορέα. Το μοντέλο της αμφιέριστης αυτής δοκού έχει τη δυνατότητα να δεχθεί ένα ομοιόμορφα κατενεμημένο φορτίο καθώς και ένα συγκεντρωμένο φορτίο. Τα δύο αυτά φορτία μπορούν να τοποθετηθούν από το χρήστη σε οποιαδήποτε θέση, πάνω στη δοκό, και να δεχθούν οποιαδήποτε τμή εκείνος επιθυμεί. Να σημειωθεί ότι το συγκεντρωμένο φορτίο μπορεί να δεχθεί κλίση συναρτήσει της δοκού από το χρήστη, η οποία δηλώνεται σε μοίρες γωνίας που σχηματίζεται μεταξύ του φορτίου και του άξονα της δοκού αριστερόστροφα.

Για τον υπολογισμό και τα πρόσημα των εσωτερικών δυνάμεων που εμφανίζονται στη δοκό κατά την εφαρμογή των φορτίων, έχουν καθιερωθεί τα ακόλουθα κριτήρια:

- Οι αξονικές δυνάμεις δέχονται θετικό πρόσημο, όταν προκαλούν εφελκυσμό του φορέα στην εκάστοτε προς εξέταση θέση και αρνητική όταν τον θλίβουν.
- Οι τέμνουσες δυνάμεις παρουσιάζουν θετικό πρόσημο, όταν η προβολή της εξωτερικής δύναμης στη διεύθυνση της διατομής τείνει να στρέψει δεξιόστροφα τον φορέα και αντίστοιχα αρνητικό πρόσημο όταν τείνει να τον στρέψει αριστερόστροφα.
- Με σκοπό να χαρακτηριστεί το πρόσημο της ροπής κάμψης, θα πρέπει να προσδιορισθεί η ίνα αναφοράς του φορέα, η οποία είναι παράλληλη προς τον άξονα του φορέα και χαρακτηρίζει την θετική του φορά. Αντίστοιχα με την περιοχή του φορέα στην οποία σχεδιάζεται η ίνα αναφοράς, διακεκομμένη γραμμή, ορίζεται η θετική πλευρά του φορέα. Πιο συγκεκριμένα για την δοκό, η ίνα αναφοράς, τοποθετείται στην κάτω περιοχή αυτής. Συνεπώς η ροπή κάμψης η οποία εφελκύει την ίνα αναφοράς χαρακτηρίζεται ως θετική, ενώ εκείνη η οποία την θλίβει, χαρακτηρίζεται ως αρνητική.

Στα διαγράμματα Αξονικών (N), Τεμνουσών (Q) και Καμπτικών Ροπών (M), που υπολογίζονται και σχεδιάζονται από την ρουτίνα της AutoLisp, ορίζεται ως θετική φορά η κάτω πλευρά των διαγραμμάτων.

# Δημιουργία εντολών σε περιβάλλον CAD για αγκύρωση οπλισμών

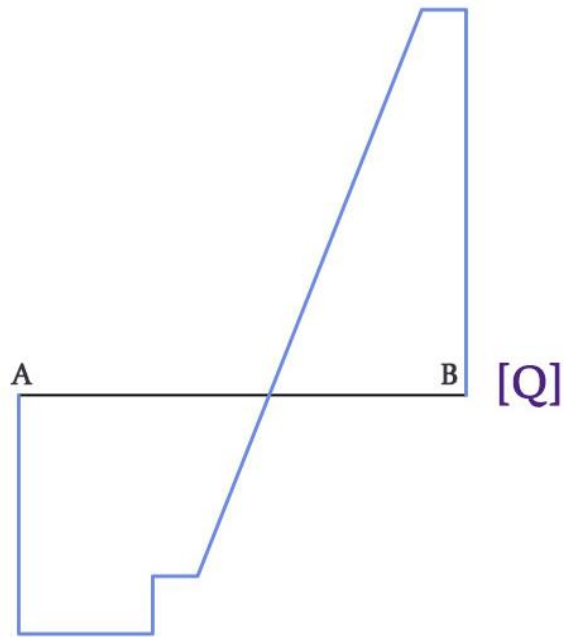


Εικόνα 3.7 Διάταξη φορτίων και αντιδράσεων στη Δοκό

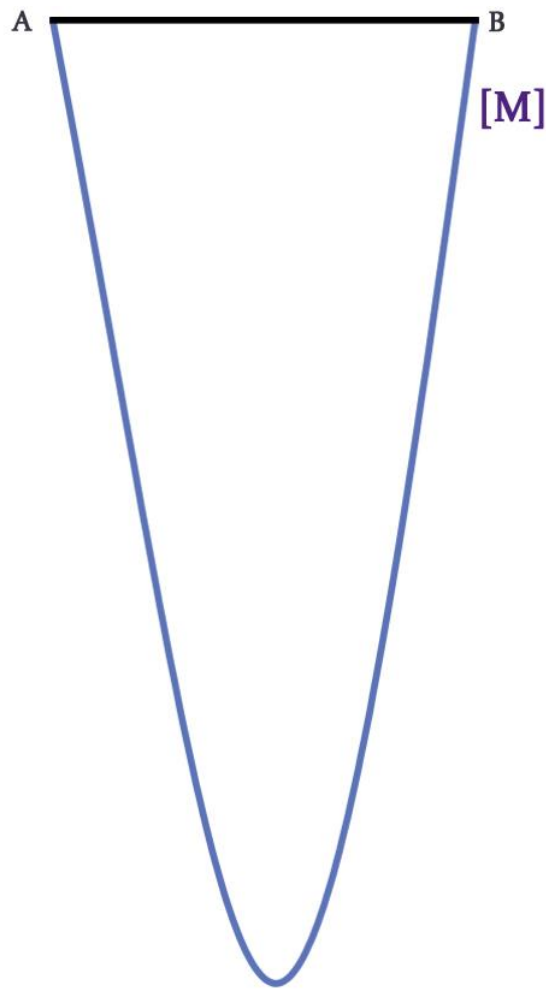


Εικόνα 3.8 Διάγραμμα Αξονικών Δυνάμεων

# Δημιουργία εντολών σε περιβάλλον CAD για αγκύρωση οπλισμών



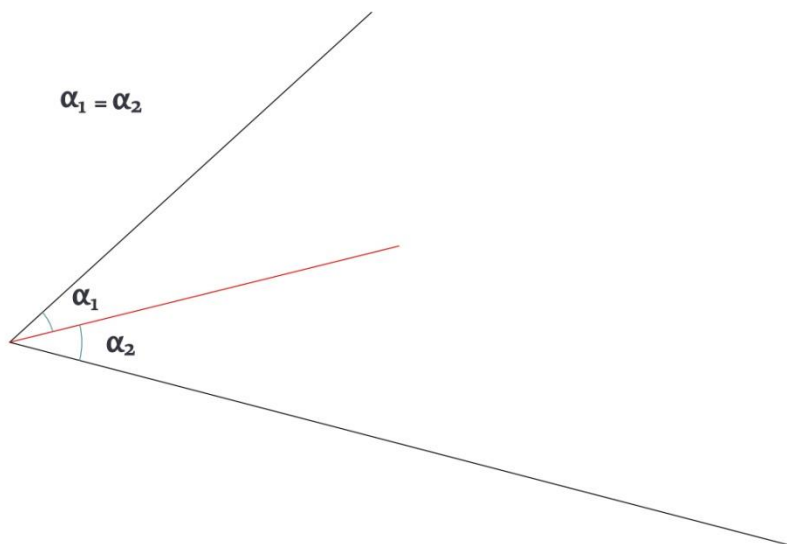
Εικόνα 3.9 Διάγραμμα Τεμνουσών Δυνάμεων



Εικόνα 3.10 Διάγραμμα Ροπών

## 3.5.1.2 Υπολογισμός και σχεδίαση διχοτόμου γωνίας

Στη συνέχεια φαίνεται το αποτέλεσμα που προκύπτει από ρουτίνα που υπολογίζει και σχεδιάζει τη διχοτόμο τυχούσας γωνίας. Ο χρήστης επιλέγει σταδιακά το πρώτο σημείο του ευθύγραμμου τμήματος της γωνίας, το σημείο της γωνίας, το δεύτερο σημείο του ευθύγραμμου τμήματος της γωνίας και τέλος ένα ενδεικτικό μήκος που επιθυμεί να έχει η διχοτόμος κατά τη σχεδίαση της.



Εικόνα 3.11 Διχοτόμος γωνίας

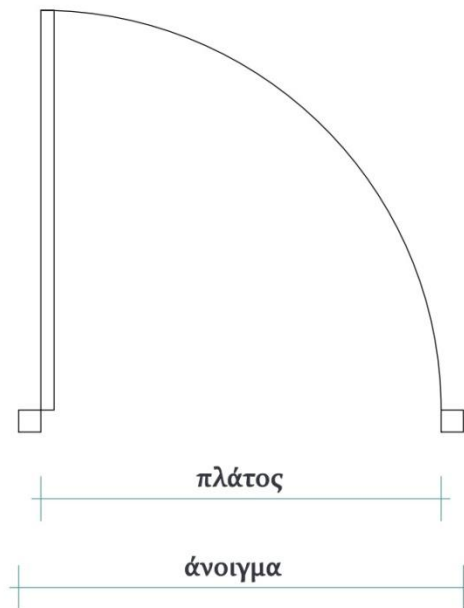
```
(setq pointA (getpoint "\u039d\u039f\u03a1\u0399\u03a3\u03c4\u0395 \u03c4\u03bf \u03c0\u03c1\u03c9\u03c4\u03bf \u03c3\u03b7\u03bc\u03b5\u03b9\u03bf \u03c4\u03bf\u03c5 \u03b5\u03c5\u03b8\u03c5\u03b3\u03c1\u03b1\u03bc\u03bc\u03bf\u03c5 \u03c4\u03c1\u03b7\u03bc\u03b1\u03c4\u03bf\u03c2 \u03c4\u03b7\u03c2 \u03b3\u03c9\u03bd\u03b9\u03b1\u03c2"))  
(initget 1)  
(setq point (getpoint pointA "\u039d\u039f\u03a1\u0399\u03a3\u03c4\u0395 \u03c4\u03bf \u03c3\u03b7\u03bc\u03b5\u03b9\u03bf \u03c4\u03b7\u03c2 \u03b3\u03c9\u03bd\u03b9\u03b1\u03c2"))  
(entmake (list '(0 . "LINE") (62 . 0) (cons 10 pointA) (cons 11 point)))  
(initget 1)  
(setq pointB (getpoint point "\u039d\u039f\u03a1\u0399\u03a3\u03c4\u0395 \u03c4\u03bf \u03b4\u03b5\u03c5\u03c4\u03b5\u03c1\u03bf \u03c3\u03b7\u03bc\u03b5\u03b9\u03bf \u03c4\u03bf\u03c5 \u03b5\u03c5\u03b8\u03c5\u03b3\u03c1\u03b1\u03bc\u03bc\u03bf\u03c5 \u03c4\u03c1\u03b7\u03bc\u03b1\u03c4\u03bf\u03c2 \u03c4\u03b7\u03c2 \u03b3\u03c9\u03bd\u03b9\u03b1\u03c2"))  
(entmake (list '(0 . "LINE") (62 . 0) (cons 10 point) (cons 11 pointB)))  
(initget 7)  
(setq dixot_length (getdist point "\u039d\u039f\u03a1\u0399\u03a3\u03c4\u0395 \u03bc\u03b7\u03ba\u03bf\u03c2 \u03c4\u03c1\u03b7\u03bc\u03b1\u03c4\u03bf\u03c5 \u03b4\u03b9\u03c7\u03bf\u03c4\u03bf\u03bc\u03bf\u03c5"))
```

Εικόνα 3.12 Κώδικας σε AutoLISP για υπολογισμό διχοτόμου γωνίας

## 3.5.1.3 Σχεδίαση πόρτας

Στην υποπαράγραφο αυτή παρουσιάζεται τμήμα από τον κώδικα που έχω συντάξει σε AutoLISP, καθώς και εικόνα από το αποτέλεσμα που προκύπτει από τη λειτουργία της ρουτίνας αυτής. Η ρουτίνα έχει ως αντικείμενο τη σχεδίαση μονόφυλλης πόρτας σε κάτοψη με πληροφορίες που λαμβάνει από το χρήστη του προγράμματος. Από το χρήστη ζητείται ένα σημείο εισαγωγής της πόρτας, το άνοιγμα της, το πάχος της κάσας, καθώς και το πάχος της ίδιας της πόρτας.

# Δημιουργία εντολών σε περιβάλλον CAD για αγκύρωση οπλισμών



Εικόνα 3.13 Μονόφυλλη πόρτα σε κάτοψη

```
(setq point1 (getpoint "\u03bd\u03b8\u03c1\u03b9\u03c3\u03c4\u03b5 \u03c3\u03b7\u03bc\u03b5\u03b9\u03cc \u03b5\u03b9\u03c3\u03b1\u03b3\u03c9\u03b3\u03b7\u03c2 \u03c4\u03b7\u03c2 \u03c0\u03cc\u03c1\u03c4\u03b1\u03c2"))  
(initget 1)  
(setq opening (getdist "\u03bd\u03b8\u03c1\u03b9\u03c3\u03c4\u03b5 \u03b1\u03bd\u03cc\u03b9\u03b3\u03bc\u03b1 \u03c0\u03cc\u03c1\u03c4\u03b1\u03c2"))  
(initget 1)  
(setq kasa (getdist "\u03bd\u03b8\u03c1\u03b9\u03c3\u03c4\u03b5 \u03bd\u03ac\u03c7\u03cc\u03c2 \u03ba\u03ac\u03c3\u03b1\u03c2"))  
(initget 1)  
(setq paxos (getdist "\u03bd\u03b8\u03c1\u03b9\u03c3\u03c4\u03b5 \u03bd\u03ac\u03c7\u03cc\u03c2 \u03c0\u03cc\u03c1\u03c4\u03b1\u03c2"))  
(setq point2 (list (+ (car point1) opening) (cadr point1)))  
(setq platos (- opening (* 2 kasa)))
```

Εικόνα 3.14 Κώδικας σε AutoLISP για σχεδίαση πόρτας σε κάτοψη

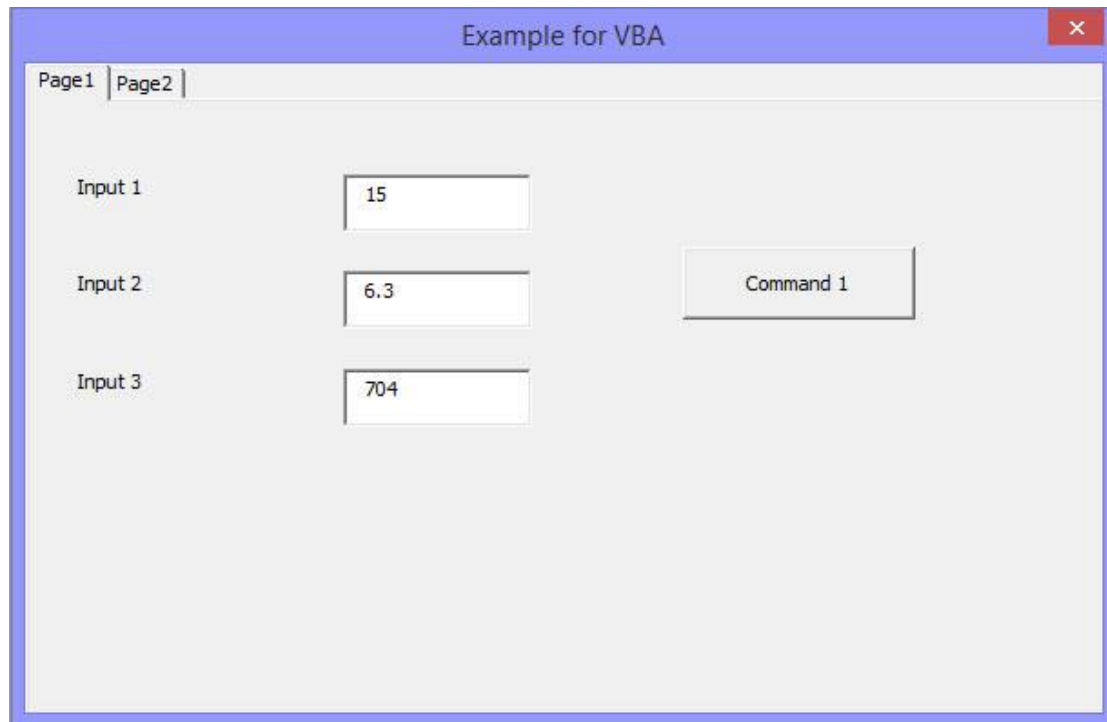
## 3.5.2 Visual Basic for Applications

Στο περιβάλλον του AutoCAD μπορεί με επιτυχία να χρησιμοποιηθεί μία εξέλιξη της ευρέως διαδεδομένης γλώσσας προγραμματισμού υψηλού επιπέδου BASIC. Όπως περιγράφεται και από το όνομά της, η Visual Basic for Applications -ή εν συντομία VBA-, είναι μία έκδοση της BASIC με γραφικά στοιχεία, κατάλληλη για χρήση σε εφαρμογές. Μία από αυτές είναι και το AutoCAD όπου δίνεται η δυνατότητα στον προγραμματιστή να κατασκευάσει μία εφαρμογή η οποία να λειτουργεί σε περιβάλλον CAD και να είναι ιδιαίτερα προσιτή προς τον χρήστη της μιας και τον διευκολύνει σημαντικά στην κατανόηση λειτουργίας της εφαρμογής αλλά και της δήλωσης δεδομένων. Η VBA είναι γλώσσα προγραμματισμού βασιζόμενη στην αντικειμενοστραφή σχεδίαση και στη σχεδίαση σε γραφικό περιβάλλον σχεδιασμού. Γι' αυτό το λόγο ο χρήστης είναι σε θέση να αλληλεπιδράσει στη λειτουργία της εφαρμογής με ευκολία.

Στη συνέχεια απεικονίζονται δύο ενδεικτικές εικόνες από φόρμα (UserForm) της Visual Basic στο AutoCAD. Η φόρμα αποτελείται από μία πολλαπλή (διπλή) σελίδα (MultiPage) με ονομασίες Page 1 και Page 2.

# Δημιουργία εντολών σε περιβάλλον CAD για αγκύρωση οπλισμών

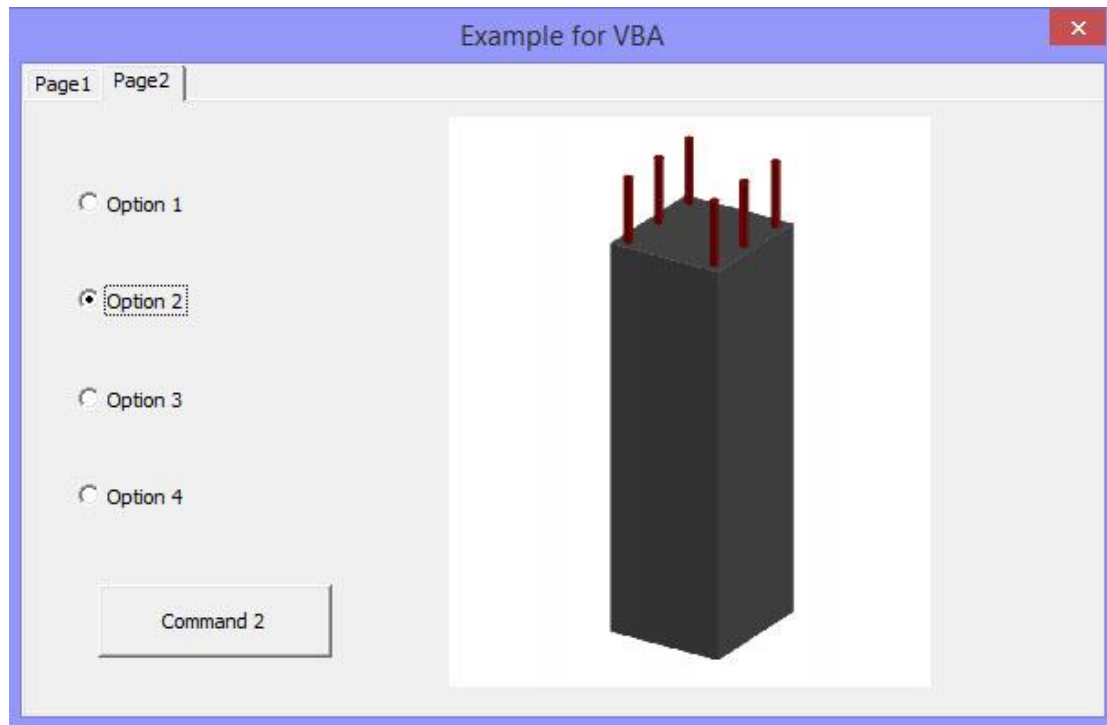
Στην πρώτη σελίδα της φόρμας (Page 1), ανήκουν τρεις ετικέτες (Labels) με ονόματα Input 1, Input 2 και Input 3, επίσης δίπλα τους βρίσκονται τρία πλαίσια κειμένου (TextBoxes) στα οποία ο χρήστης μπορεί να πληκτρολογήσει τα δεδομένα που του ζητούνται. Τέλος στην σελίδα αυτή υπάρχει και ένα κουμπί εντολής (CommandButton) με τίτλο Command 1, κάνοντας κλικ σε αυτό ο χρήστης μπορεί να ενεργοποιήσει μία λειτουργία που έχει επιλεγθεί από τον προγραμματιστή για τη δράση αυτή.



Εικόνα 3.15 Ενδεικτική φόρμα Visual Basic for Application

Στη δεύτερη σελίδα της εφαρμογής (Page 2), απεικονίζονται τέσσερα κουμπιά επιλογής (OptionButtons) με ονομασίες Option 1, Option 2, Option 3 και Option 4. Με Option Button Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει μία συνθήκη από όσες του προτείνονται. Επίσης σε αυτή τη σελίδα έχει εισαχθεί εικόνα (Image) η οποία μπορεί να λειτουργήσει βοηθητικά προς τον άνθρωπο που χρησιμοποιεί τη φόρμα, πιθανόν υποδεικνύοντάς του πληροφορίες για την εισαγωγή δεδομένων. Τέλος με την ονομασία Command 2, φαίνεται ένα δεύτερο κουμπί εντολής στη δεύτερη σελίδα (Page 2).

# Δημιουργία εντολών σε περιβάλλον CAD για αγκύρωση οπλισμών



Εικόνα 3.16 Ενδεικτική φόρμα Visual Basic for Applications



## Πηγές 3<sup>ου</sup> Κεφαλαίου

---

### Κειμένων

A. Βακάλη, Η. Γιαννόπουλος, Ν. Ιωαννίδης, Χ. Κοιλίας, Κ. Μάλαμας, Ι. Μανωλόπουλος, Π. Πολίτης, (2010), "Ανάπτυξη Εφαρμογών σε Προγραμματιστικό Περιβάλλον", Οργανισμός Εκδόσεως Διδακτικών Βιβλίων – Αθήνα

(2012), "AutoLISP Developer's Guide", Autodesk

A.M. Turing, (1950), "Computing Machinery and Intelligence"

Bob Brown, "Binary Arithmetic", Computer Science Department Southern Polytechnic State University

John E. Hopcroft, Jeffrey D. Ullman, (1969), "Formal Languages and their Relation to Automata", Addison – Wesley Publishing Company

Per Brinch Hansen, (1973), "Operating System Principles", Prentice Hall

A.M. Turing (1936), "On Computable Numbers, with an application to the Entscheidungsproblem"

Σ. Τσικοπούλου, (1986-1987), "Ο ηλεκτρονικός υπολογιστής και το δυαδικό σύστημα αρίθμησης", Ευκλείδης Α'

Π. Σταματόπουλος, (2015), "Λογικός και Συναρτησιακός Προγραμματισμός", Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών

John von Neumann, (1945), "First Draft of a Report on the EDVAC", Moore School of Electrical Engineering, University of Pennsylvania, Michael D. Godfrey (1992)

Clifford A. Shaffer, (2012), "Data Structures and Algorithm Analysis", Edition 3.2 (C++ Version), Department of Computer Science Virginia Tech Blacksburg

N. Wirth, (1985), "Algorithms and Data Structures"

Alonzo Church, (1936), "An Unsolvable Problem of Elementary Number Theory", American Journal of Mathematics, Vol.58, No.2

E.F. Codd, (1990), "The Relational Model for Database Management", Version 2, Addison – Wesley Publishing Company

Michael McKelvy, (1995), "Visual Basic 4, Βήμα προς Βήμα", Β. Γκιούρδας Εκδοτική

Peter Norton, Michael Groh, (1998), "Guide to Visual Basic 6", SAMS

Charles S. Parker, "Πληροφορική, το παρόν και το μέλλον, μαθαίνοντας τους υπολογιστές και την επεξεργασία πληροφοριών", Τόμος 1<sup>ος</sup>, Εκδόσεις Ι. Φλώρος

Charles S. Parker, "Πληροφορική, το παρόν και το μέλλον, μαθαίνοντας τους υπολογιστές και την επεξεργασία πληροφοριών", Τόμος 2<sup>ος</sup>, Εκδόσεις Ι. Φλώρος

Charles S. Parker, "Πληροφορική, το παρόν και το μέλλον, μαθαίνοντας τους υπολογιστές και την επεξεργασία πληροφοριών", Τόμος 3<sup>ος</sup>, Εκδόσεις Ι. Φλώρος

# Δημιουργία εντολών σε περιβάλλον CAD για αγκύρωση οπλισμών

Steven Haines, (2000), “Οδηγός της Java 2”, Β. Γκιούρδας Εκδοτική

Martin H. Weik (1961), “The ENIAC Story”, Ordnance Ballistic Research Laboratories, The Journal of the American Ordnance Association

AutoCAD 2000 (1999), “AutoLISP Reference”

## Εικόνων

Εικόνα 3.1: Α. Βακάλη, Η. Γιαννόπουλος, Ν. Ιωαννίδης, Χ. Κοιλιας, Κ. Μάλαμας, Ι. Μανωλόπουλος, Π. Πολίτης, (2010), “Ανάπτυξη Εφαρμογών σε Προγραμματιστικό Περιβάλλον”, Οργανισμός Εκδόσεως Διδακτικών Βιβλίων – Αθήνα

Εικόνα 3.2: Α. Βακάλη, Η. Γιαννόπουλος, Ν. Ιωαννίδης, Χ. Κοιλιας, Κ. Μάλαμας, Ι. Μανωλόπουλος, Π. Πολίτης, (2010), “Ανάπτυξη Εφαρμογών σε Προγραμματιστικό Περιβάλλον”, Οργανισμός Εκδόσεως Διδακτικών Βιβλίων – Αθήνα

Εικόνα 3.3: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f5/Turing-statue-Bletchley\\_14.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f5/Turing-statue-Bletchley_14.jpg)

Εικόνα 3.4: <http://www.computerhistory.org/revolution/birth-of-the-computer/4/78>

## Κεφάλαιο 4

Στο Κεφάλαιο αυτό, γίνεται μια παρουσίαση της εφαρμογής που δημιούργησα σε περιβάλλον CAD. Η εφαρμογή αυτή έχει σκοπό τη τρισδιάστατη σχεδίαση αγκυρώσεων οπλισμού γραμμικών δομικών στοιχείων από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Για να χρησιμοποιήσει κάποιος την εφαρμογή αυτή, θα πρέπει να έχει πραγματοποιήσει τη στατική επίλυση του μοντέλου και να έχει καταλήξει στη διαστασιολόγηση των φορέων. Συνεπώς η γνώση των διαστάσεων των φορέων, των κατηγοριών των υλικών (σκυρόδεμα και χάλυβας), καθώς και η διάταξη των χαλύβδινων ράβδων μέσα στα στοιχεία είναι απαραίτητες.

Για τη σύνταξη του κώδικα και την υλοποίηση της εφαρμογής έχουν τεθεί κάποιες παραδοχές. Η βασικότερη παραδοχή είναι η λήψη όλων των παραμέτρων του Ελληνικού Κανονισμού Οπλισμένου Σκυροδέματος (Ε.Κ.Ω.Σ. 2000) για κατασκευές με αυξημένες απαιτήσεις σε πλαστιμότητα. Επίσης οι ράβδοι του χάλυβα δεν επιτρέπεται να είναι λείες.

### 4.1 Βασικά Δεδομένα Εφαρμογής

#### 4.1.1 Τρόπος Στήριξης Δοκού

Για να είναι απλή στην χρήση η εφαρμογή, ο τρόπος στήριξης της εκάστοτε δοκού χωρίζεται σε τέσσερις βασικές κατηγορίες:

- Ακραία – Ακραία
- Ακραία – Μεσαία
- Μεσαία – Ακραία
- Μεσαία – Μεσαία.

Ο τρόπος με τον οποίο στηρίζεται μία δοκός σε ένα υποστύλωμα επηρεάζει τις αγκυρώσεις του οπλισμού της άμεσα. Όπως αναλύθηκε και στην παράγραφο §2.7.4, όταν μία δοκός στηρίζεται σε ακραίο υποστύλωμα, οι ράβδοι των οπλισμών της εισέρχονται στη μάζα του υποστυλώματος και φτάνουν όσο πιο κοντά γίνεται στην απέναντι παρειά του (ακολουθώντας καμπύλη  $90^\circ$ ). Σε περίπτωση που η στήριξη της δοκού όμως είναι μεσαία (§2.7.5), οι χαλύβδινες ράβδοι περνούν μέσα από το μεσαίο υποστύλωμα και συνεχίζουν με ευθύγραμμη αγκύρωση στην επόμενη δοκό (όταν αυτό είναι εφικτό).

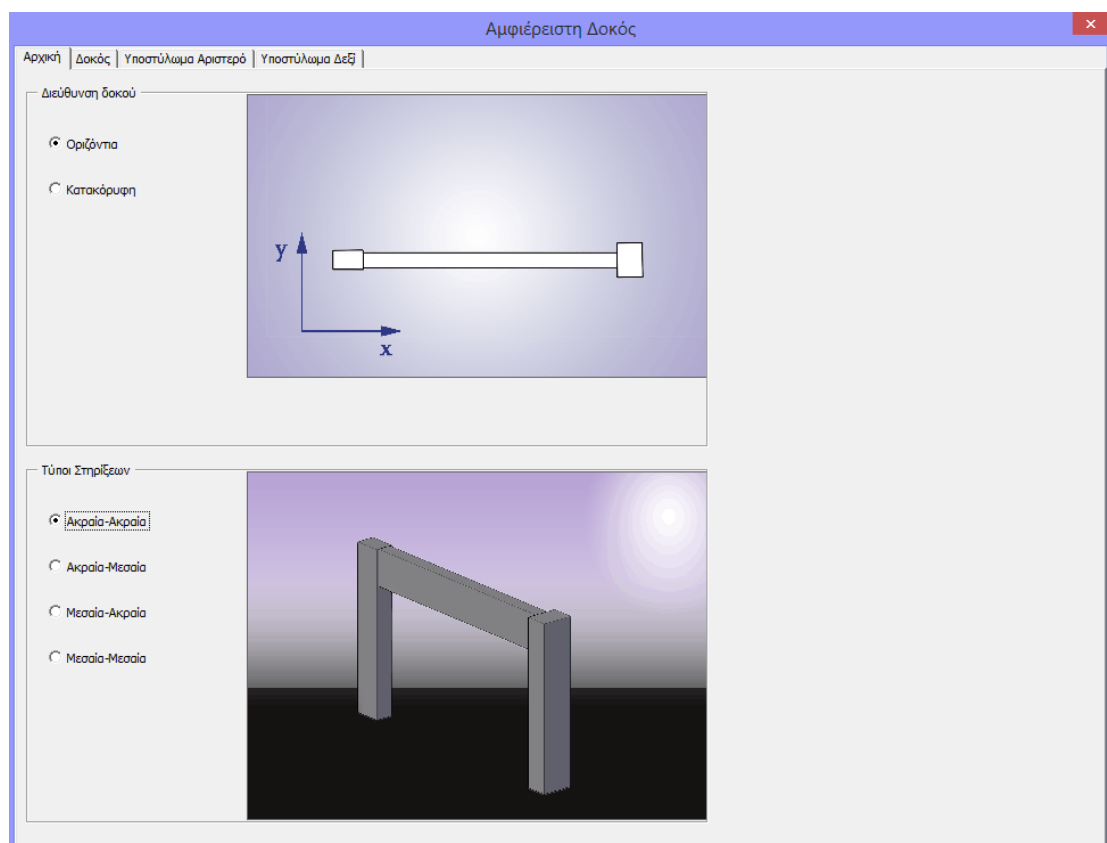
Κάνοντας κλικ μέσω τεσσάρων κουμπιών επιλογής (Option Buttons), ο χρήστης μπορεί να επιλέξει όποιο τρόπο στήριξης επιθυμεί ώστε να λάβει η δοκός τις κατάλληλες αγκυρώσεις στους οπλισμούς της.

Σε κάθε μία από τις τέσσερις προτεινόμενες στηρίξεις, εξετάζεται ο τρόπος κατά τον οποίο η δοκός στηρίζεται στα δύο άκρα της.

## 4.1.2 Διεύθυνση Δοκού

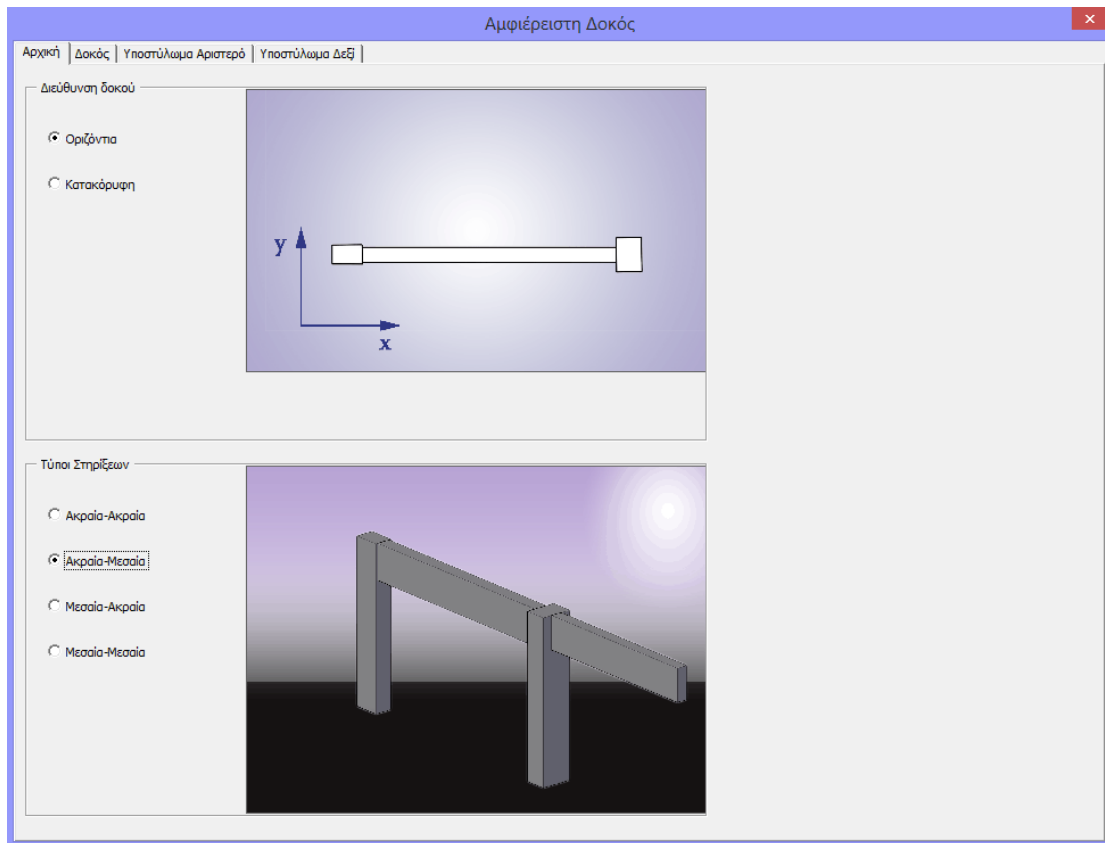
Μία κατηγοριοποίηση που έχω θέσει είναι η διεύθυνση που μπορεί να έχει ο άξονας μιας δοκού ως προς τους άξονες X και Y. Οι περιπτώσεις από τις οποίες μπορεί να επιλέξει κάποιος τη διεύθυνση της δοκού είναι: Οριζόντια και Κατακόρυφη. Η επιλογή αυτή πραγματοποιείται επίσης με κουμπιά επιλογής (Option Buttons).

Στη συνέχεια παρουσιάζονται εικόνες από τους διάφορους συνδυασμούς επιλογών που αναφέρθηκαν προερχόμενες από τη φόρμα της εφαρμογής (User Form).

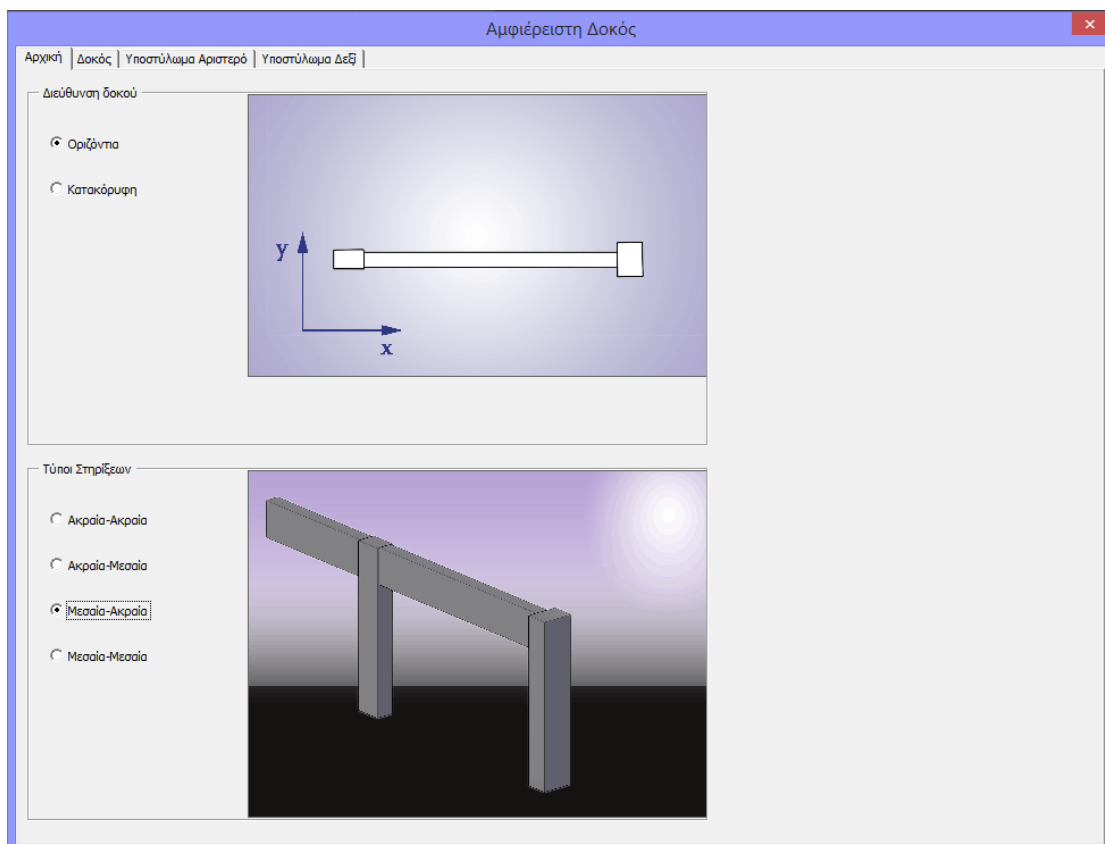


Εικόνα 4.1 Οριζόντια διεύθυνση δοκού για ακραία - ακραία στήριξη

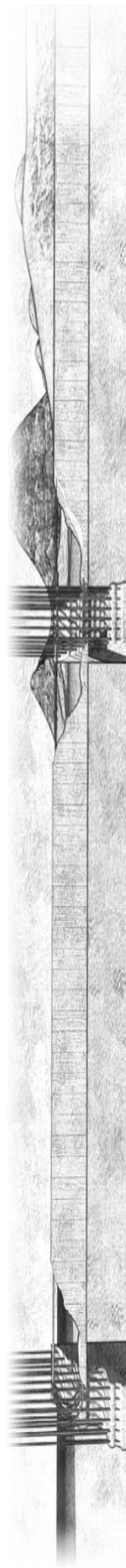
# Δημιουργία εντολών σε περιβάλλον CAD για αγκύρωση οπλισμών



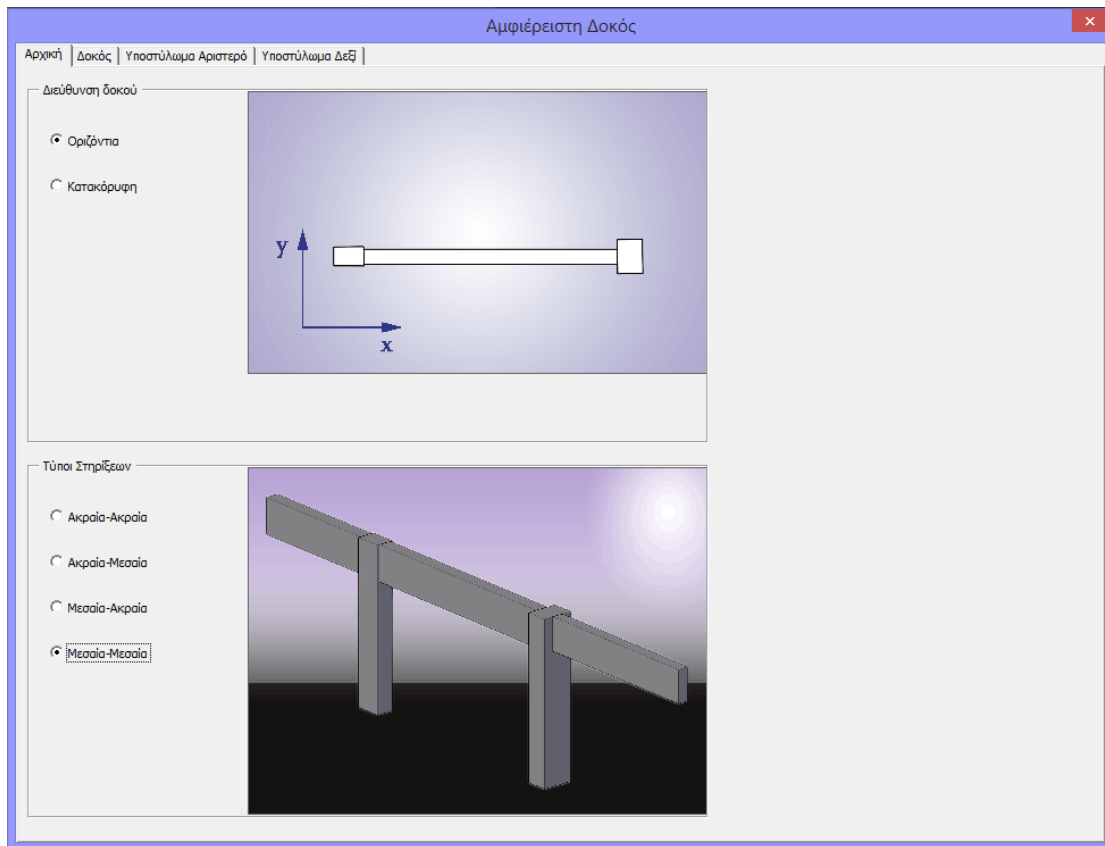
Εικόνα 4.2 Οριζόντια διεύθυνση δοκού για ακραία – μεσαία στήριξη



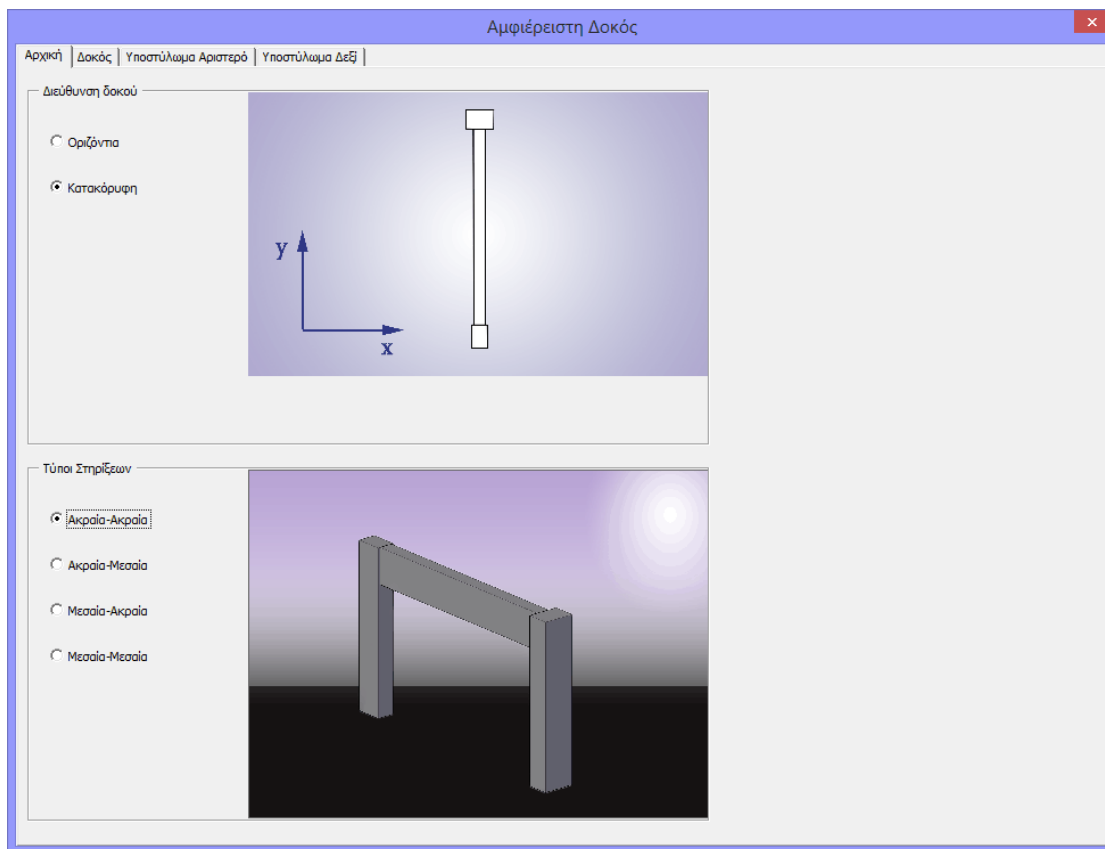
Εικόνα 4.3 Οριζόντια διεύθυνση δοκού για μεσαία – ακραία στήριξη



# Δημιουργία εντολών σε περιβάλλον CAD για αγκύρωση οπλισμών

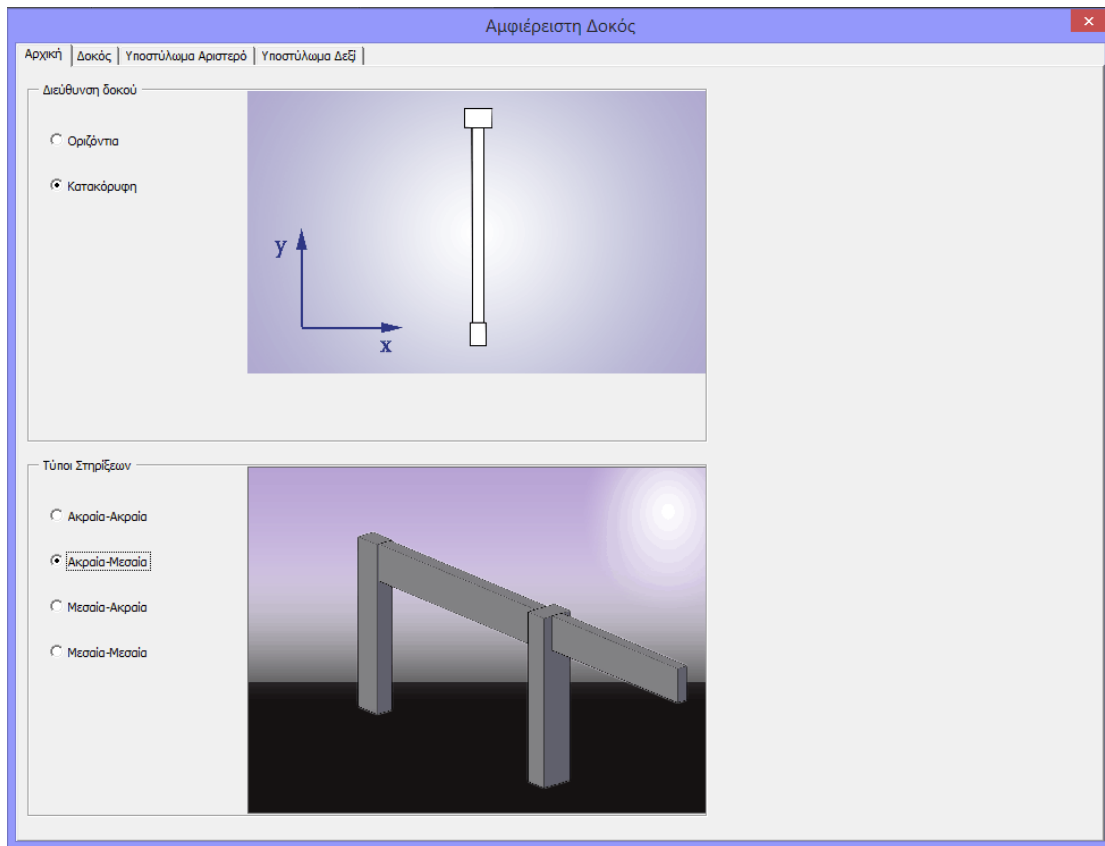


Εικόνα 4.4 Οριζόντια διεύθυνση δοκού για μεσαία – μεσαία στήριξη

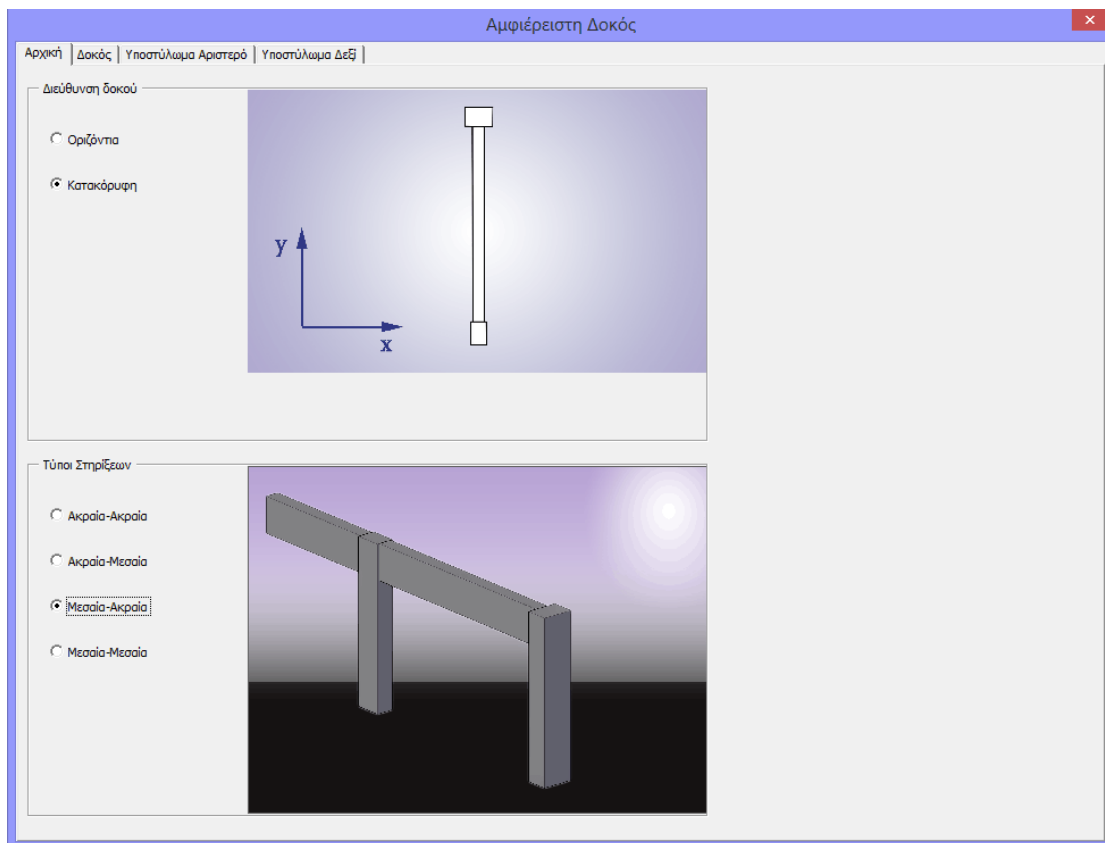


Εικόνα 4.5 Κατακόρυφη διεύθυνση δοκού για ακραία – ακραία στήριξη

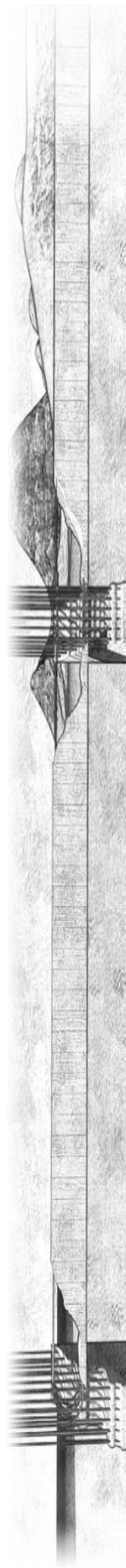
# Δημιουργία εντολών σε περιβάλλον CAD για αγκύρωση οπλισμών



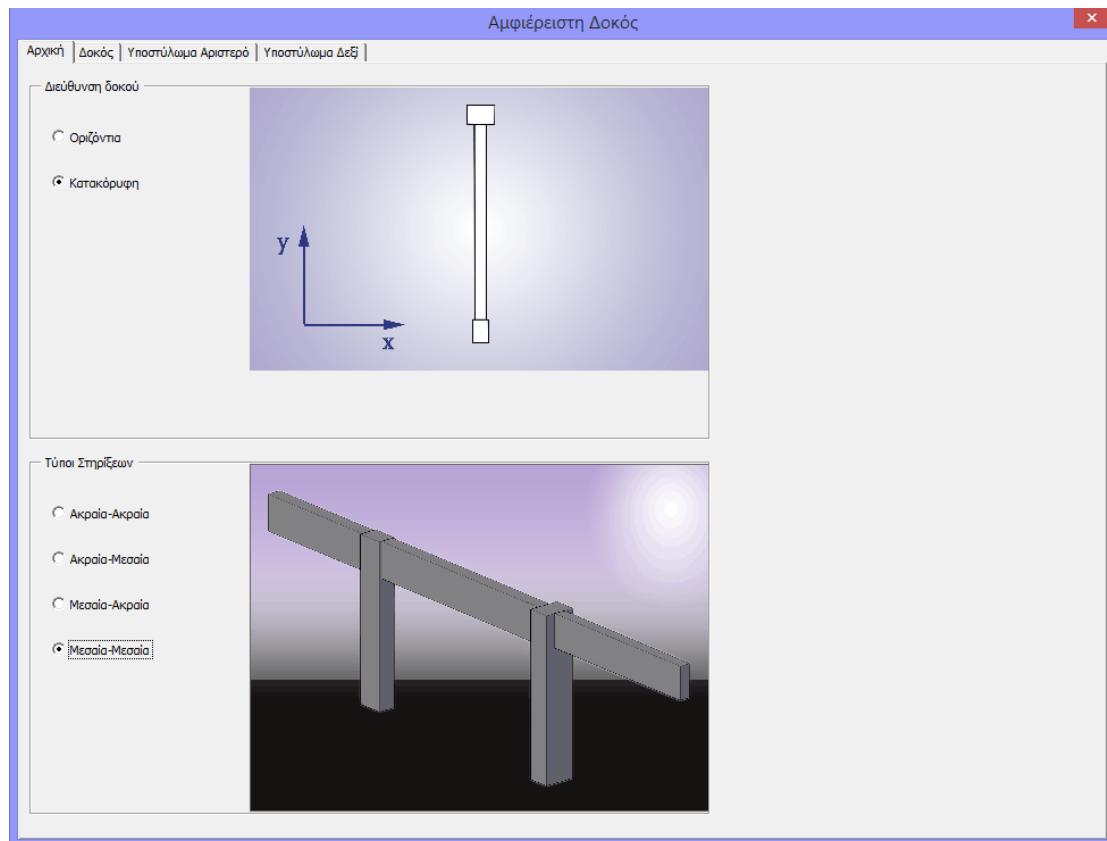
Εικόνα 4.6 Κατακόρυφη διεύθυνση δοκού για ακραία – μεσαία στήριξη



Εικόνα 4.7 Κατακόρυφη διεύθυνση δοκού για μεσαία ακραία στήριξη



# Δημιουργία εντολών σε περιβάλλον CAD για αγκύρωση οπλισμών



Εικόνα 4.8 Κατακόρυφη διεύθυνση δοκού για μεσαία – μεσαία στήριξη



## 4.2 Διαστασιολόγηση Δοκού

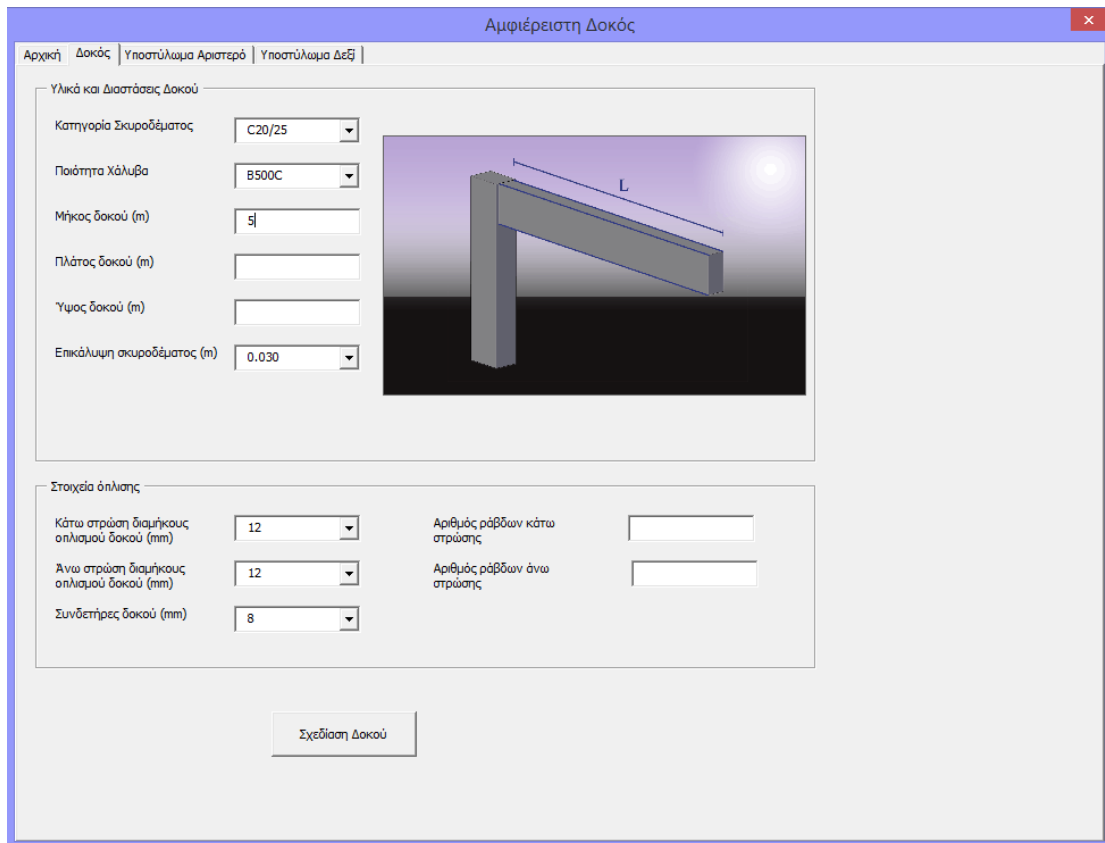
Στη σελίδα αυτή της φόρμας, ο χρήστης καλείται να επιλέξει κατηγορία αντοχής Σκυροδέματος και Χάλυβα. Για τη διευκόλυνση του, έχουν σχηματιστεί συνδυαστικά πλαίσια (Combo Boxes) με προτεινόμενες κατηγορίες.

Στη συνέχεια ο χρήστης μπορεί να δηλώσει τις διαστάσεις που έχει η δοκός καθώς και τις διατομές και το πλήθος των ράβδων που την απαρτίζουν. Για να είναι η φόρμα πιο φιλική και κατανοητή, απεικονίζονται τρισδιάστατα σχέδια που απεικονίζουν την κάθε διάσταση με σαφήνεια.

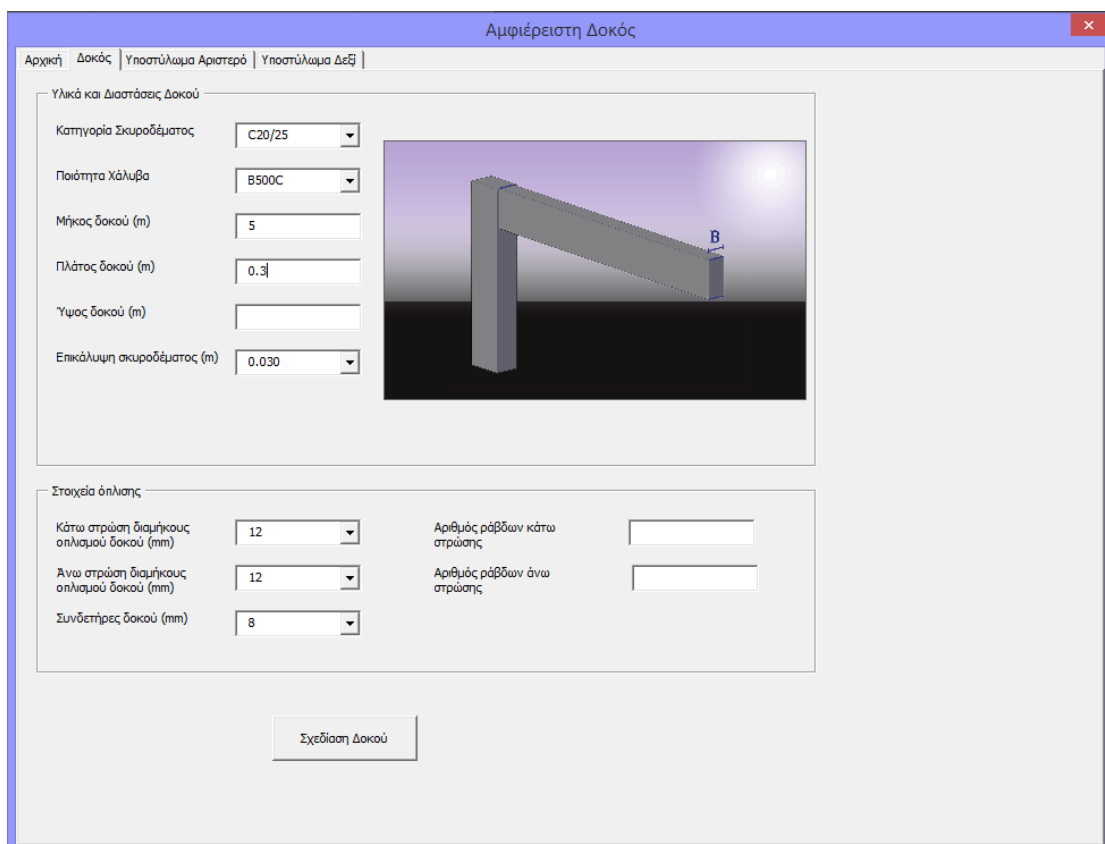
Στις εικόνες που ακολουθούν διακρίνονται όλες οι λειτουργίες που προσφέρει η σελίδα με τα στοιχεία της δοκού.

Εικόνα 4.9 Επιλογή κατηγορίας αντοχής σκυροδέματος

# Δημιουργία εντολών σε περιβάλλον CAD για αγκύρωση οπλισμών



Εικόνα 4.10 Δήλωση μήκους δοκού



Εικόνα 4.11 Δήλωση πλάτους δοκού

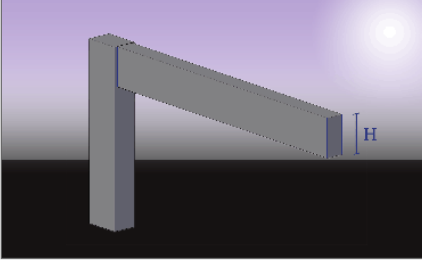
# Δημιουργία εντολών σε περιβάλλον CAD για αγκύρωση οπλισμών

Αμφιέριστη Δοκός

Αρχική Δοκός Υποστύλιωμα Αριστερό Υποστύλιωμα Δεξί

Υλικά και Διαστάσεις Δοκού

Κατηγορία Σκυροδέματος	C20/25
Ποιότητα Χάλυβα	B500C
Μήκος δοκού (m)	5
Πλάτος δοκού (m)	0.3
Ύψος δοκού (m)	0.6
Επικάλυψη σκυροδέματος (m)	0.030



Στοιχεία όπλισης

Κάτω στρώση διαμήκους οπλισμού δοκού (mm)	12	Αριθμός ράβδων κάτω στρώσης	
Άνω στρώση διαμήκους οπλισμού δοκού (mm)	12	Αριθμός ράβδων άνω στρώσης	
Συνδέτηρες δοκού (mm)	8		

Σχεδίαση Δοκού

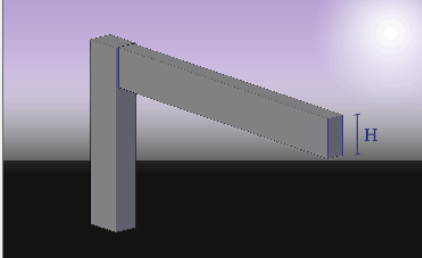
Εικόνα 4.12 Δήλωση ύψους δοκού

Αμφιέριστη Δοκός

Αρχική Δοκός Υποστύλιωμα Αριστερό Υποστύλιωμα Δεξί

Υλικά και Διαστάσεις Δοκού

Κατηγορία Σκυροδέματος	C20/25
Ποιότητα Χάλυβα	B500C
Μήκος δοκού (m)	5
Πλάτος δοκού (m)	0.3
Ύψος δοκού (m)	0.6
Επικάλυψη σκυροδέματος (m)	0.030

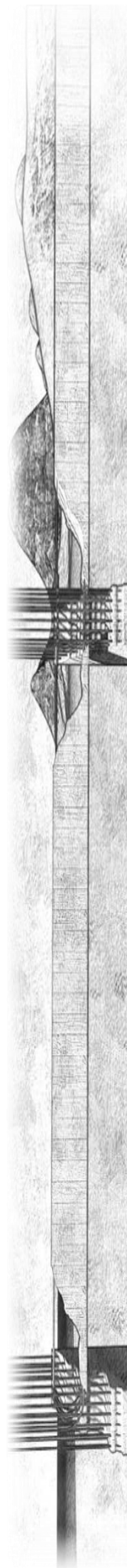


Στοιχεία όπλισης

Κάτω στρώση διαμήκους οπλισμού δοκού (mm)	16	Αριθμός ράβδων κάτω στρώσης	4
Άνω στρώση διαμήκους οπλισμού δοκού (mm)	16	Αριθμός ράβδων άνω στρώσης	3
Συνδέτηρες δοκού (mm)	10		

Σχεδίαση Δοκού

Εικόνα 4.13 Συμπληρωμένη σελίδα με πληροφορίες για τη δοκό

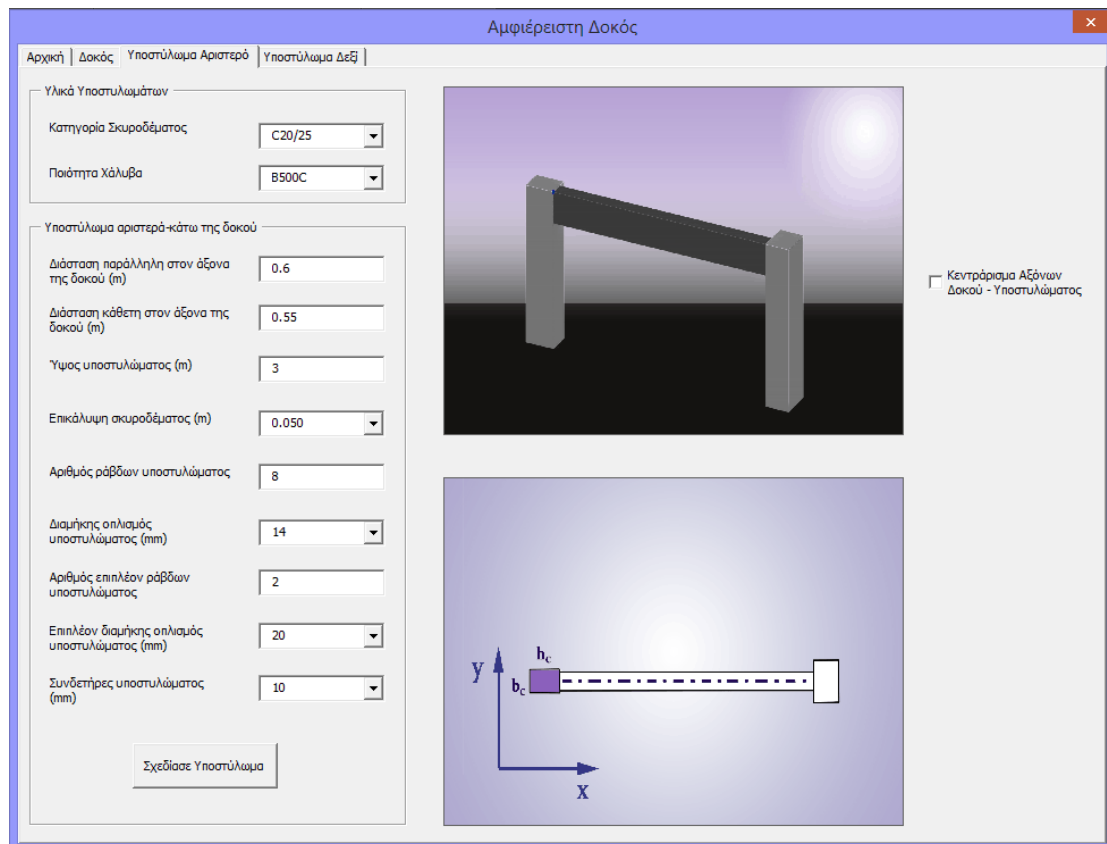


## 4.3 Διαστασιολόγηση Υποστυλωμάτων

Για τη διαστασιολόγηση και σχεδίαση των υποστυλωμάτων στα οποία στηρίζεται η δοκός, δημιουργήθηκαν δύο σελίδες στην εφαρμογή. Η μία σελίδα αναφέρεται στο υποσύλωμα που βρίσκεται αριστερά της δοκού (οριζόντια διεύθυνση δοκού) ή κάτω από τη δοκό (κατακόρυφη διεύθυνση δοκού). Αντίστοιχα η επόμενη σελίδα λαμβάνει πληροφορίες για το υποσύλωμα το οποίο βρίσκεται είτε δεξιά της δοκού (οριζόντια διεύθυνση δοκού), είτε άνω αυτής (κατακόρυφη διεύθυνση δοκού).

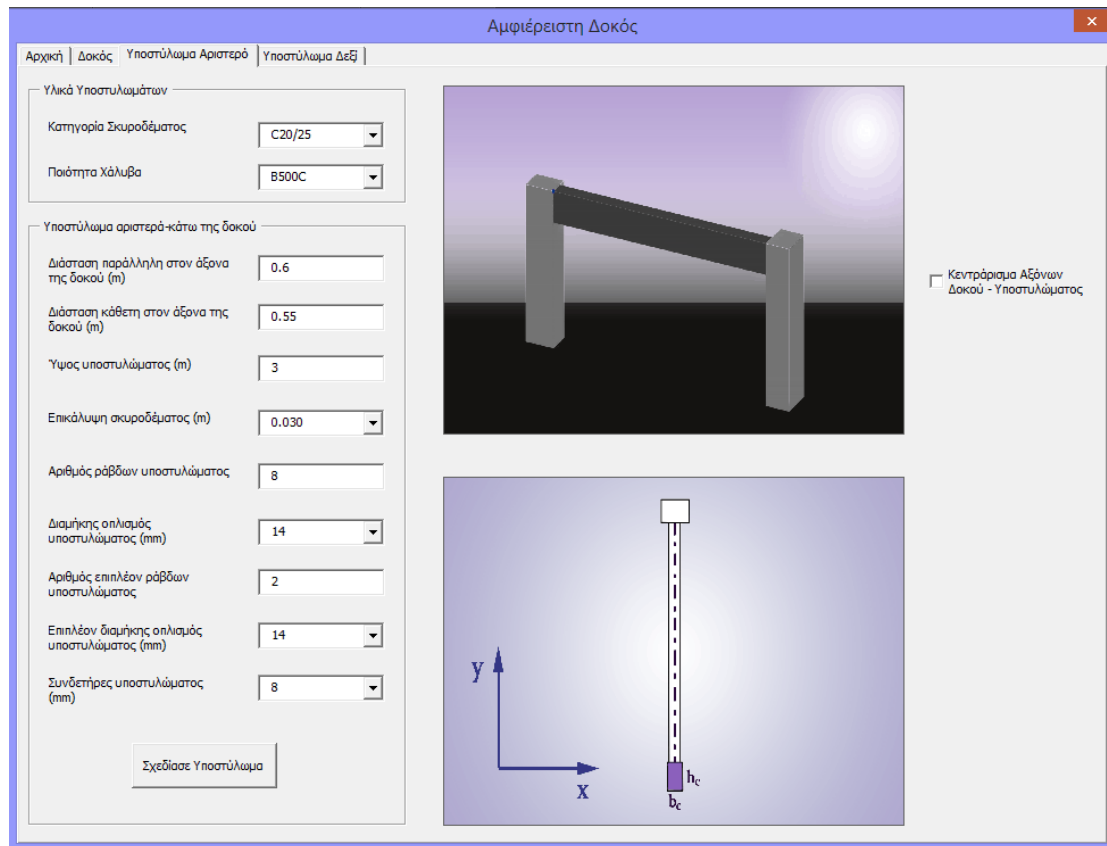
Κάθε ένα από τα δύο υποστυλώματα μπορούν να σχεδιαστούν σε οποιαδήποτε από τις δύο διευθύνσεις του άξονα της δοκού (οριζόντια ή κατακόρυφη), έχοντας ως αναφορά τον άξονά της. Για τη διευκόλυνση του χρήστη έχουν τοποθετηθεί πλαίσια με εικόνες και στις δύο σελίδες που είναι αφιερωμένες στα υποστυλώματα, υποδεικνύοντας τη διεύθυνση του καθενός από αυτά σε σχέση με την διεύθυνση που έχει ήδη επιλέξει στην αρχική σελίδα της εφαρμογής. Επίσης απεικονίζονται και βοηθητικές εικόνες υποδεικνύοντας το σημείο εισαγωγής των υποστυλωμάτων κατά την εκτέλεση της εφαρμογής. Συμπληρωματικά, δίνεται στον χρήστη η επιλογή να «ταυτίσει» το μέσο του πλάτους της δοκού με αυτό των υποστυλωμάτων.

Στις επόμενες εικόνες παρουσιάζεται η διάταξη των σελίδων για τη δήλωση δεδομένων των δύο υποστυλωμάτων.

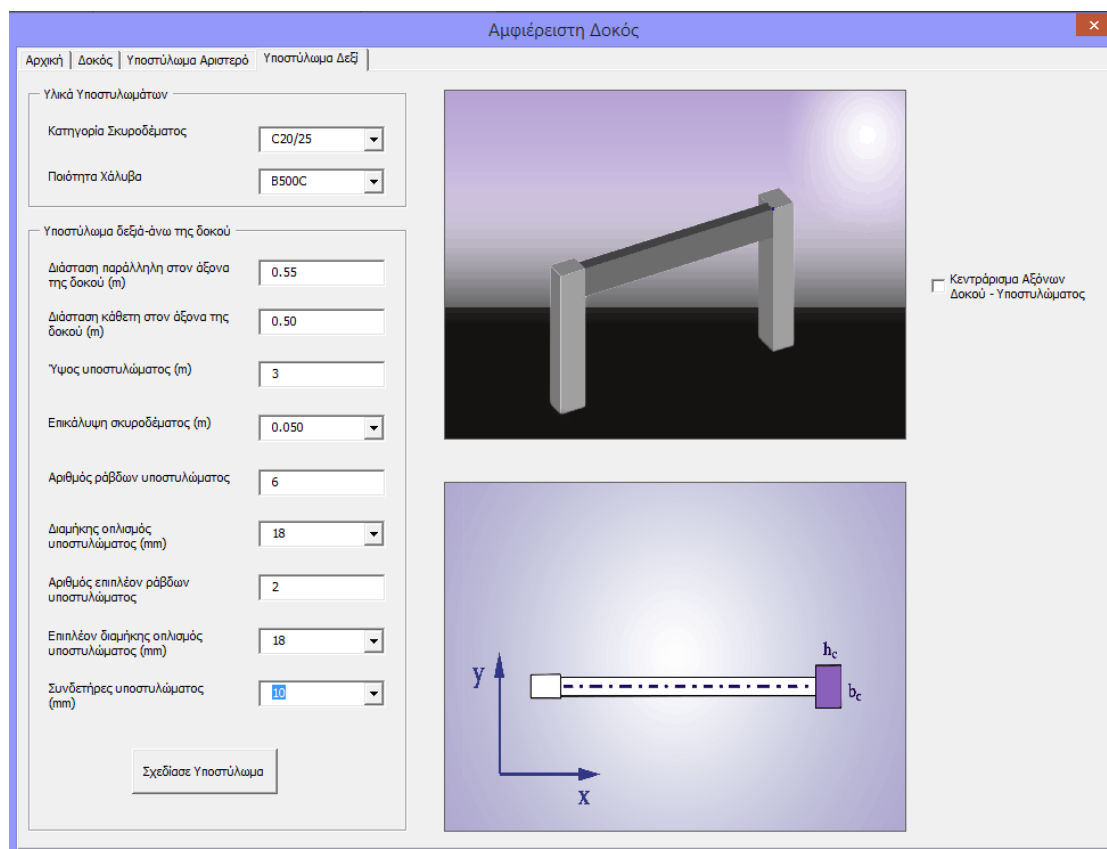


Εικόνα 4.14 Οριζόντια διεύθυνση δοκού, «αριστερό» υποσύλωμα

# Δημιουργία εντολών σε περιβάλλον CAD για αγκύρωση οπλισμών

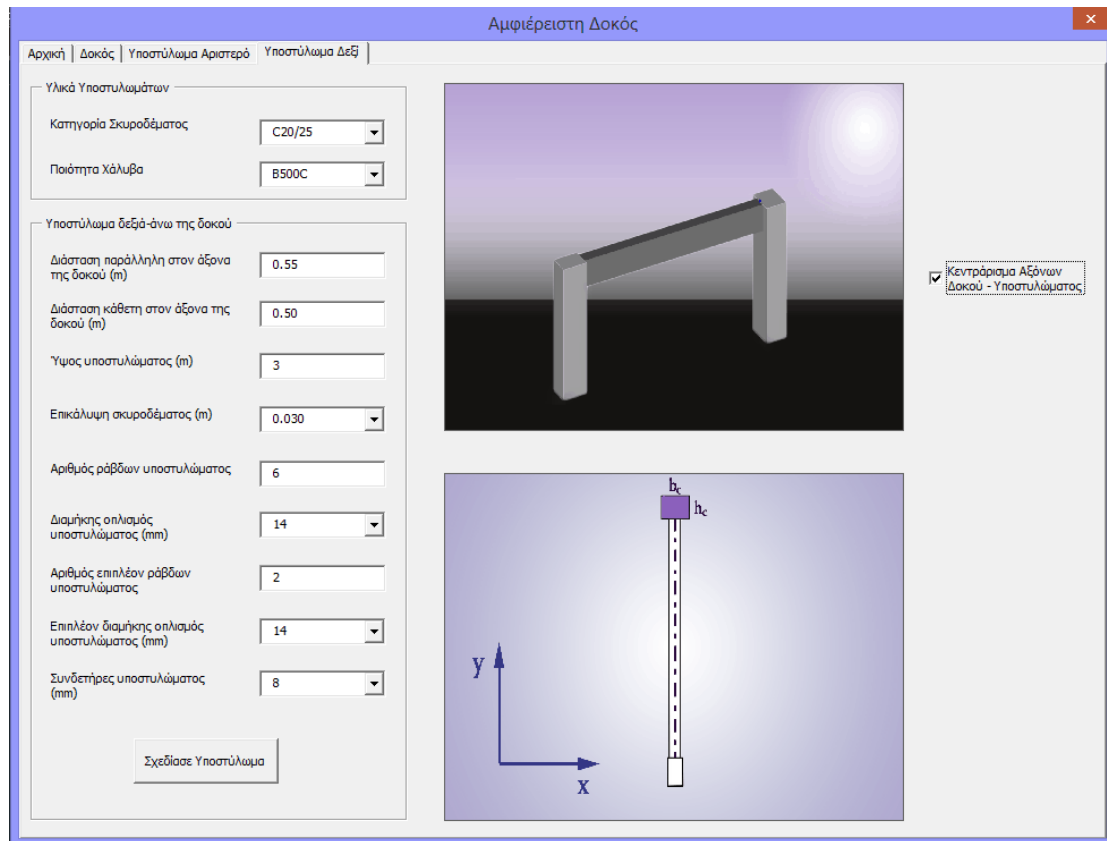


Εικόνα 4.15 Κατακόρυφη διεύθυνση δοκού, «κάτω» υποστυλώμα



Εικόνα 4.16 Οριζόντια διεύθυνση δοκού, «δεξί» υποστυλώμα

# Δημιουργία εντολών σε περιβάλλον CAD για αγκύρωση οπλισμών



Εικόνα 4.17 Κατακόρυφη διεύθυνση δοκού, «άνω» υποστυλώμα, «ταύτιση» μέσω υποστυλωμάτων - δοκού

## 4.4 Τμήματα κώδικα

Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζονται εικόνες από τμήματα του κώδικα που συντάξα για διάφορες διαδικασίες που εκτελεί η εφαρμογή. Τα τμήματα παρακάτω είναι ενδεικτικά για τη σχεδίαση των δομικών στοιχείων, τον υπολογισμό και τη σχεδίαση των αγκυρώσεων των χαλύβδινων ράβδων, καθώς και αποσπάσματα που αφορούν τη λειτουργία της φόρμας (UserForm).

```
circle_center_heelup(0) = circle_heelup_origin(0) - lb_up_min - (5 * ddup) - (10.5 * ddup)
circle_center_heelup(1) = circle_heelup_origin(1) + spot_up
circle_center_heelup(2) = circle_heelup_origin(2)

Set circle_extextup_hobj = ThisDrawing.ModelSpace.AddCircle(circle_center_heelup, (ddup / 2))
circle_extextup_hobj.color = 10
circle_extextup_hobj.Update

ThisDrawing.SendCommand "UCS W "
'ucs change for the polyline
'variables for the ucs
Dim ucsobj_heel As AcadUCS
Dim origin_heel(0 To 2) As Double
Dim xpoint_heel(0 To 2) As Double
Dim ypoint_heel(0 To 2) As Double

'ucs points
origin_heel(0) = circle_heelup_origin(0): origin_heel(1) = circle_heelup_origin(1): origin_heel(2) = circle_heelup_origin(2)
xpoint_heel(0) = origin_heel(0) + 3#: xpoint_heel(1) = origin_heel(1): xpoint_heel(2) = origin_heel(2)
ypoint_heel(0) = origin_heel(0): ypoint_heel(1) = origin_heel(1): ypoint_heel(2) = origin_heel(2) + 3#

'add the ucs to the system
Set ucsobj_heel = ThisDrawing.UserCoordinateSystems.Add(origin_heel, xpoint_heel, ypoint_heel, "heel ucs")
ThisDrawing.ActiveUCS = ucsobj_heel
ThisDrawing.ActiveViewport.UCSIconAtOrigin = True
ThisDrawing.ActiveViewport.UCSIconOn = True
```

Εικόνα 4.18 Τμήμα κώδικα για ορισμό σημείων

```
h2_ext_ext_polypoints(12) = h2_ext_ext_polypoints(9) + beam_1
h2_ext_ext_polypoints(13) = h2_ext_ext_polypoints(10)
h2_ext_ext_polypoints(14) = h2_ext_ext_polypoints(11)

h2_ext_ext_polypoints(15) = h2_ext_ext_polypoints(12) + (5 * dldown)
h2_ext_ext_polypoints(16) = h2_ext_ext_polypoints(13)
h2_ext_ext_polypoints(17) = h2_ext_ext_polypoints(14)

h2_ext_ext_polypoints(18) = h2_ext_ext_polypoints(15) + (10.5 * dldown)
h2_ext_ext_polypoints(19) = h2_ext_ext_polypoints(16) + (10.5 * dldown)
h2_ext_ext_polypoints(20) = h2_ext_ext_polypoints(17)

h2_ext_ext_polypoints(21) = h2_ext_ext_polypoints(18)
h2_ext_ext_polypoints(22) = h2_ext_ext_polypoints(19) - katak_down
h2_ext_ext_polypoints(23) = h2_ext_ext_polypoints(20)

Set ext_ext_plinedownhor = ThisDrawing.ModelSpace.AddPolyline(h2_ext_ext_polypoints)

ext_ext_plinedownhor.color = 10
ext_ext_plinedownhor.Update

'Bulges to polyline
ext_ext_plinedownhor.SetBulge 1, 0.4
ext_ext_plinedownhor.SetBulge 5, 0.4
```

Εικόνα 4.19 Τμήμα κώδικα για ορισμό σημείων οπλισμού

# Δημιουργία εντολών σε περιβάλλον CAD για αγκύρωση οπλισμών

```
'initial point for right column
Dim pointcol2 As Variant
pointcol2 = ThisDrawing.Utility.GetPoint(, "Επιλέξτε αρχικό σημείο υποστυλώματος:")

'converting point of column2 into double
Dim pointcol2_d(0 To 2) As Double
pointcol2_d(0) = 0# + pointcol2(0): pointcol2_d(1) = 0# + pointcol2(1): pointcol2_d(2) = 0# + pointcol2(2)

Dim Col2 As Acad3DSolid
Dim util1506 As Object
Set util1506 = ThisDrawing.Utility

'D R A W   A C C O R D I N G   T O   B E A M   D I R E C T I O N

'Horizontal Direction
If option_horizontal.Value = True And option_vertical.Value = False Then

'center of column2 as 3Dsolid
Dim center_col2_h(0 To 2) As Double
center_col2_h(0) = pointcol2_d(0) + hc_col_right / 2#
center_col2_h(1) = pointcol2_d(1) + bc_col_right / 2#
center_col2_h(2) = pointcol2_d(2) - height_col_right / 2#

Set Col2 = ThisDrawing.ModelSpace.AddBox(center_col2_h, hc_col_right, bc_col_right, height_col_right)
Col2.Update
Col2.color = 254
```

Εικόνα 4.20 Τμήμα κώδικα για σχεδίαση υποστυλώματος

```
Private Sub length_beam_txb_MouseMove(ByVal Button As Integer, ByVal Shift As Integer, ByVal X As Single, ByVal Y As Single)
beam_dim_width_pic.Visible = False
beam_dim_height_pic.Visible = False
beam_dim_length_pic.Visible = True
End Sub
```

```
Private Sub width_beam_txb_MouseMove(ByVal Button As Integer, ByVal Shift As Integer, ByVal X As Single, ByVal Y As Single)
beam_dim_length_pic.Visible = False
beam_dim_height_pic.Visible = False
beam_dim_width_pic.Visible = True
End Sub
```

```
Private Sub height_beam_txb_MouseMove(ByVal Button As Integer, ByVal Shift As Integer, ByVal X As Single, ByVal Y As Single)
beam_dim_length_pic.Visible = False
beam_dim_width_pic.Visible = False
beam_dim_height_pic.Visible = True
End Sub
```

Εικόνα 4.21 Τμήμα κώδικα για λειτουργία με την κίνηση του ποντικιού



## Βιβλιογραφία

---

### Ελληνική

Heinrich Schmitt, Andreas Heene, (1988), “Κτιριακές Κατασκευές”, Μ.Γκιούρδας

Θωμάς Ν. Βαλιάσης, (2013), “Στατική των Γραμμικών Φορέων”, Εκδόσεις ΖΗΤΗ

Απόστολος Κωνσταντινίδης, (1994), “Εφαρμογές Οπλισμένου Σκυροδέματος Σύμφωνα με τον νέο κανονισμό σκυροδέματος”, ΤΟΜΟΣ Α΄, π-SYSTEMS INTERNATIONAL

Ι.Γ. Χουλιάρης, (2003), “Κατασκευές Οπλισμένου Σκυροδέματος Σύμφωνα με τον ΕΚΟΣ 2000”, Εκδόσεις Παπασωτηρίου

Χρήστος Γ. Καραγιάννης, (2013), “Σχεδιασμός Συμπεριφορά Κατασκευών από Οπλισμένο Σκυρόδεμα έναντι Σεισμού”, Εκδόσεις σοφία

Π.Α. Βουθούνης, (2011), “τεχνική μηχανική Αντοχή των Υλικών”, Έκδοση Ζ΄, Εκδόσεις ΑΘΗΝΑ

Ελληνικός Κανονισμός Οπλισμένου Σκυροδέματος 2000 (Ε.Κ.Ω.Σ. 2000)

Α. Βακάλη, Η. Γιαννόπουλος, Ν. Ιωαννίδης, Χ. Κοιλίας, Κ. Μάλαμας, Ι. Μανωλόπουλος, Π. Πολίτης, (2010), “Ανάπτυξη Εφαρμογών σε Προγραμματιστικό Περιβάλλον”, Οργανισμός Εκδόσεως Διδακτικών Βιβλίων – Αθήνα

Σ. Τσικοπούλου, (1986-1987), “Ο ηλεκτρονικός υπολογιστής και το δυαδικό σύστημα αρίθμησης”, Ευκλείδης Α΄

Π. Σταματόπουλος, (2015), “Λογικός και Συναρτησιακός Προγραμματισμός”, Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών

### Μεταφράσεις

Michael McKelvy, (1995), “Visual Basic 4, Βήμα προς Βήμα”, Β. Γκιούρδας Εκδοτική

Charles S. Parker, “Πληροφορική, το παρόν και το μέλλον, μαθαίνοντας τους υπολογιστές και την επεξεργασία πληροφοριών”, Τόμος 1<sup>ος</sup>, Εκδόσεις Ι. Φλώρος

Charles S. Parker, “Πληροφορική, το παρόν και το μέλλον, μαθαίνοντας τους υπολογιστές και την επεξεργασία πληροφοριών”, Τόμος 2<sup>ος</sup>, Εκδόσεις Ι. Φλώρος

Charles S. Parker, “Πληροφορική, το παρόν και το μέλλον, μαθαίνοντας τους υπολογιστές και την επεξεργασία πληροφοριών”, Τόμος 3<sup>ος</sup>, Εκδόσεις Ι. Φλώρος

## Λοιπή

(2012), "AutoLISP Developer's Guide", Autodesk

A.M. Turing, (1950), "Computing Machinery and Intelligence"

Bob Brown, "Binary Arithmetic", Computer Science Department Southern Polytechnic State University

John E. Hopcroft, Jeffrey D. Ullman, (1969), "Formal Languages and their Relation to Automata", Addison – Wesley Publishing Company

Per Brinch Hansen, (1973), "Operating System Principles", Prentice Hall

A.M. Turing (1936), "On Computable Numbers, with an application to the Entscheidungsproblem"

John von Neumann, (1945), "First Draft of a Report on the EDVAC", Moore School of Electrical Engineering, University of Pennsylvania, Michael D. Godfrey (1992)

Clifford A. Shaffer, (2012), "Data Structures and Algorithm Analysis", Edition 3.2 (C++ Version), Department of Computer Science Virginia Tech Blacksburg

N. Wirth, (1985), "Algorithms and Data Structures"

Alonzo Church, (1936), "An Unsolvable Problem of Elementary Number Theory", American Journal of Mathematics, Vol.58, No.2

E.F. Codd, (1990), "The Relational Model for Database Management", Version 2, Addison – Wesley Publishing Company

Peter Norton, Michael Groh, (1998), "Guide to Visual Basic 6", SAMS