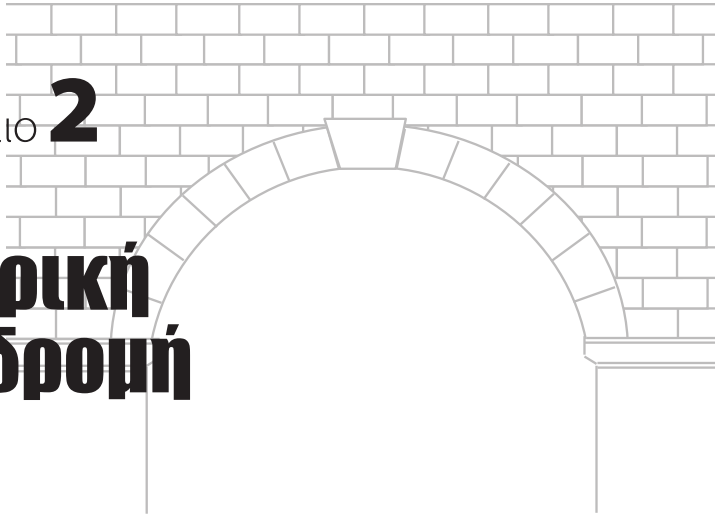


**Αγγελική Παπαλού**  
Πολιτικός Μηχανικός, Ph.D.

# Η Αρχιτεκτονική των Δομικών Φορέων

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>1</b>	<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>	9
<b>1.1</b>	Μαθήματα από την φύση	11
<b>2</b>	<b>ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ</b>	13
<b>3</b>	<b>ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ</b>	21
<b>3.1</b>	Ισορροπία	23
<b>3.2</b>	Φορτία	25
<b>3.3</b>	Οι εντατικές καταστάσεις στην κατασκευή	37
<b>3.4</b>	Οι βασικές αρχές της μηχανικής σε αρχιτεκτονικά έργα	46
<b>4</b>	<b>ΥΛΙΚΑ ΣΤΑ ΔΟΜΙΚΑ ΕΡΓΑ</b>	55
<b>5</b>	<b>ΔΟΜΙΚΟΙ ΦΟΡΕΙΣ</b>	67
<b>5.1</b>	Καλώδια	68
<b>5.2</b>	Τόξα	74
<b>5.3</b>	Θόλοι	77
<b>5.4</b>	Δοκοί	79
<b>5.5</b>	Πλάκες	83
<b>5.6</b>	Δικτυώματα	86
<b>5.7</b>	Υποστυλώματα και Τοίχοι	96
<b>5.8</b>	Πλαίσια	98
<b>5.9</b>	Μεμβράνες	101
<b>5.10</b>	Κελύφη	110
<b>5.10.1</b>	Σφαιρικό Κέλυφος	112
<b>5.10.2</b>	Κυλινδρικό Κέλυφος	113
<b>5.10.3</b>	Υπερβολικό Παραβολοειδές	114
<b>6</b>	<b>ΕΠΙΛΟΓΟΣ</b>	119
	<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>	125
	<b>ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ</b>	127

Κεφάλαιο **2****Ιστορική  
Αναδρομή**

**Ό**λοι οι άνθρωποι έχουν κάποια αντίληψη για τον τρόπο με τον οποίο τα κτίρια στέκονται. Οι μηχανικοί χρησιμοποιώντας το ένστικτό τους και την εμπειρία τους μπορούν να διαλέξουν, χωρίς λεπτομερή ανάλυση, την γενική μορφή της φέρουσας κατασκευής. Για πολύπλοκες όμως κατασκευές ή περιπτώσεις που δεν έχουν αντιμετωπιστεί στο παρελθόν η συστηματική ανάλυση είναι απαραίτητη.

Οι πρώτοι άνθρωποι χρησιμοποίησαν την Φύση (σπηλιές) για να τους δώσει κατάλυμα. Σύντομα όμως παρουσιάστηκε η ανάγκη, κυρίως σε νομαδικές φυλές που η εύρεση σπηλιών δεν ήταν εύκολη στους καινούργιους τόπους που ταξίδευαν, να κατασκευάσουν τις δικές τους κατοικίες. Χρησιμοποιώντας φυσικά υλικά όπως κορμούς δέντρων, δέρματα ζώων, πέτρες κ.λ.π. δημιούργησαν τις πρώτες κτιριακές κα-

Τα μνημεία που κατασκευάστηκαν στους Ελληνικούς χρόνους είναι αξιοθαύμαστα όπως π.χ. ο Παρθενώνας και άλλοι ελληνικοί ναοί (Εικ. 2-3). Παρ' όλη την ομορφιά αυτών των έργων



▲ Εικ. 2-3.  
Η χρήση πέτρας σε ελληνικό ναό.

δεν μπορεί κανείς να αγνοήσει το γεγονός ότι η χρησιμοποίηση της πέτρας ως δοκό δεν αποτελεί την καλύτερη χρήση της. Τα φορτία κάμπτουν την δοκό με αποτέλεσμα τμήμα της να βρίσκεται σ' εφελκυσμό. Η πέτρα έχει μεγάλη αντοχή σε

θλίψη αλλά μικρή σ' εφελκυσμό. Έτσι, για να είναι οι δοκοί στατικά επαρκείς, γίνεται χρήση πολλών κίωνων σε μικρές αποστάσεις μεταξύ

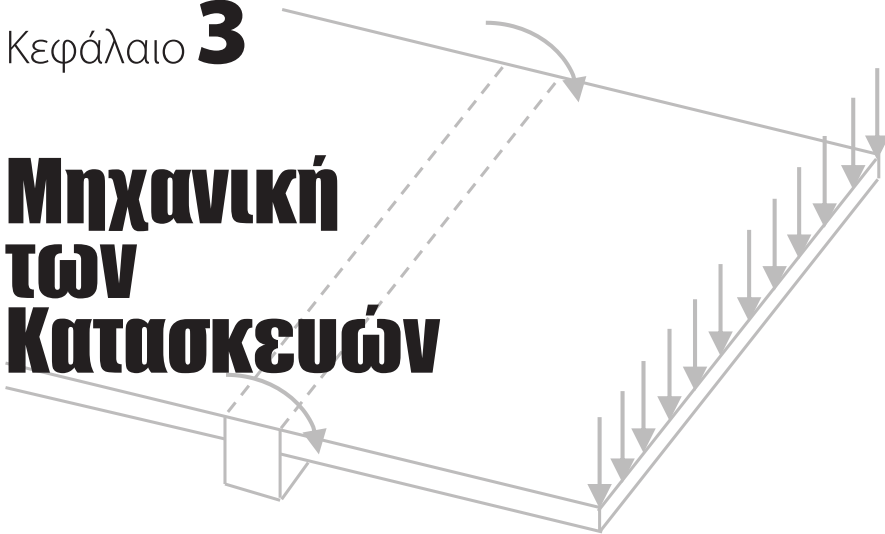
τους που ισοδυναμεί με μείωση του χώρου.

Χαρακτηριστικό των κίωνων αυτών είναι ότι υπάρχει μείωση της διατομής προς τα πάνω κάτι που είναι σύμφωνο με την διαίσθησή μας μια και παρουσιάζει ανα-



▲ Εικ. 2-4.  
Κίονες Μινωικού πολιτισμού.

λογία με φυσικές κατασκευές όπως με τον κορμό ενός δέντρου που μειώνεται προς τα πάνω. Αντίθετα οι κίονες του Μινωικού Πολιτισμού

Κεφάλαιο **3****Μηχανική  
των  
Κατασκευών**

Η Μηχανική είναι η επιστήμη που περιγράφει και προβλέπει τις συνθήκες ισορροπίας ή κίνησης των σωμάτων υπό την δράση δυνάμεων. Η Μηχανική χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες:

- i Μηχανική των απόλυτα στερεών σωμάτων
- ii Μηχανική των παραμορφώσιμων σωμάτων (αντοχή υλικών)
- iii Μηχανική των ρευστών.

**Η Μηχανική των απόλυτα στερεών** σωμάτων θεωρεί ότι οι μικρές παραμορφώσεις των σωμάτων δεν επηρεάζουν τις συνθήκες ισορροπίας ή κίνησης και μπορούν να αγνοηθούν (τα σώματα θεωρούνται απαραμόρφωτα). Υποδιαιρείται σε δύο κατηγορίες στην Στατική και στην Δυναμική. Στην Στατική τα σώματα βρίσκονται σε ισορροπία ενώ στην Δυναμική

εξαρτάται από την θέση του υδροφόρου ορίζοντα.

- Οι **παρεμποδιζόμενες και επιβαλλόμενες παραμορφώσεις** στο δομήμα εμφανίζονται συνήθως λόγω αλλαγών που γίνονται στο περιβάλλον του (έδαφος, θερμοκρασία). Επίσης οι μέθοδοι ανέγερσης και τυχόν λάθη που γίνονται κατά τη διάρκεια της κατασκευής του δομήματος μπορούν να προκαλέσουν παραμορφώσεις. Οι παραμορφώσεις αυτές επηρεάζουν την αντοχή του δομήματος σαν να ήταν ένα επιπρόσθετο φορτίο που πρέπει το δομικό έργο να μπορεί να παραλάβει. Οι πιο σημαντικές παραμορφώσεις εμφανίζονται όταν υφίστανται διαφορικές καθιζήσεις ή αλλαγές στη θερμοκρασία.

- Οι διαφορικές καθιζήσεις θεμελίων της κατασκευής λόγω ανομοιόμορφου εδάφους, προκαλούν επιβαλλόμενες παραμορφώσεις σε τμήματα της κατασκευής (Εικ. 3-2.3). Οι παραμορφώσεις αυτές προκαλούν εντατικές καταστάσεις που δεν έχουν προβλεφθεί από την ανάλυση και μπορούν να προκαλέσουν σοβαρά προβλήματα στην κατασκευή κυρίως στις δοκούς που συνδέουν το τμήμα που παραμένει στη θέση του

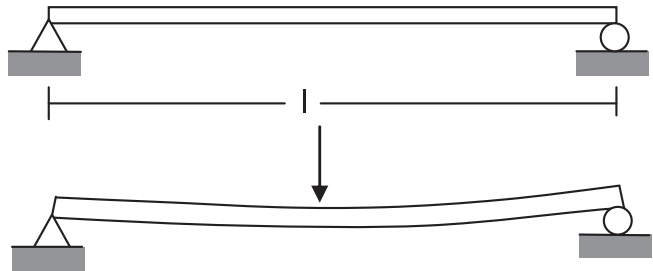


▲ Εικ. 3-2.3.

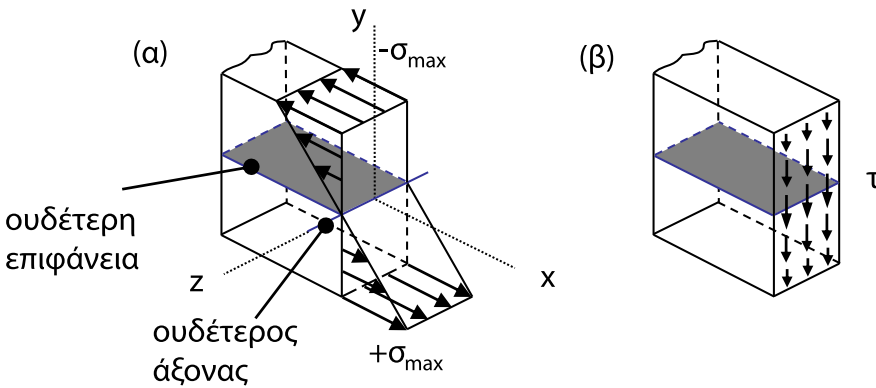
*Ρωγμές και παραμορφώσεις σε κτίριο λόγω διαφορικής καθιζήσης.*

### Κάμψη

Η κάμψη είναι μια σύνθετη εντατική κατάσταση και είναι συνδυασμός των εντατικών καταστάσεων του εφελκυσμού, της θλίψης και της διάτμησης. Η κάμψη εμφανίζεται σε μέλη που καταπονούνται από φορτίο κάθετο στον άξονά τους. Στην Εικ. 3-3.11 η δοκός καταπονείται από ένα συγκεντρωμένο φορτίο που εντείνει την δοκό καμπτικά. Οι πάνω ίνες της δοκού θλίβονται ενώ οι κάτω εφελκύνονται. Ενδιάμεσα υπάρχουν ίνες που ούτε εφελκύνονται ούτε θλίβονται αλλά διατηρούν το αρχικό τους μήκος. Αυτές οι ίνες λέγονται ουδέτερες. Οι τάσεις που αναπτύσσονται στην διατομή είναι ορθές και μεταβάλλονται γραμμικά από θλιπτικές σε εφελκυστικές (Εικ. 3-3.12). Οι τάσεις αυτές αυξάνονται όσο μεγαλώνει η απόστασή



▲ Εικ. 3-3.11.  
Κάμψη δοκού.



▲ Εικ. 3-3.12.

Οι τάσεις που αναπτύσσονται σε διατομή δοκού λόγω ανομοιόμορφης κάμψης:  
(α) ορθές (θλιπτικές και εφελκυστικές),  
(β) διατμητικές.

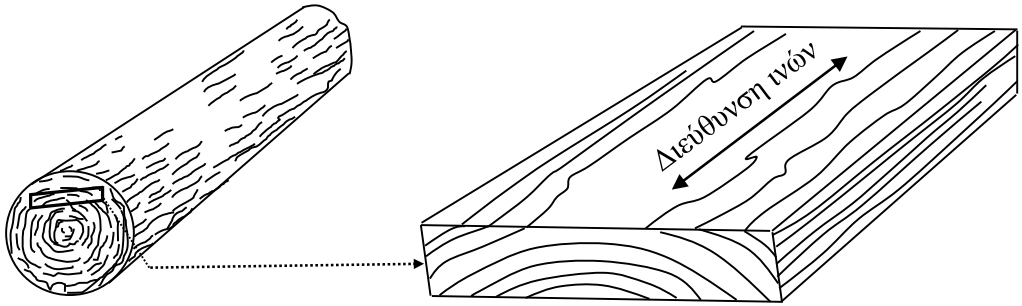
τους από τον ουδέτερο άξονα. Όταν έχουμε καθαρή κάμψη δηλαδή οι καμπτικές ροπές δεν μεταβάλλονται από διατομή σε διατομή τότε δεν εμφανίζονται διατμητικές τάσεις. Αντίθε-

Κεφάλαιο **4****Υλικά  
στα  
Δομικά Έργα**

**Τ**α πιο συνηθισμένα υλικά που χρησιμοποιούνται στα δομικά έργα είναι ο λίθος, το ξύλο, ο χάλυβας, το σκυρόδεμα, το αλουμίνιο και τα σύνθετα υλικά. Όλα τα υλικά έχουν χαρακτηριστικές ιδιότητες που προσδιορίζονται με πειράματα. Τα πιο σύνηθη πειράματα από τα οποία παίρνουμε πολλές πληροφορίες για την αντοχή και γενικά την συμπεριφορά του υλικού είναι τα πειράματα εφελκυσμού και θλίψης.

Τα περισσότερα υλικά αρχικά συμπεριφέρονται **ελαστικά** δηλαδή μετά την απομάκρυνση του φορτίου επανέρχονται στην αρχική τους θέση. Ένα τμήμα της ελαστικής περιοχής συνήθως είναι γραμμικό δηλαδή υπάρχει αναλογία τάσεων - παραμορφώσεων. Η κλίση του γραμμικού τμήματος μας δίνει μια πολλή σημαντική σταθερά το **μέτρο ελαστικότητας** ή σταθερά





▲ *Εικ. 4-5.*  
*Διεύθυνση ινών του ξύλου.*

η αύξηση ή μείωση της υγρασίας στο ξύλο το κάνει να διαστέλλεται και να συστέλλεται ανάλογα με την θερμοκρασία του περιβάλλοντος.

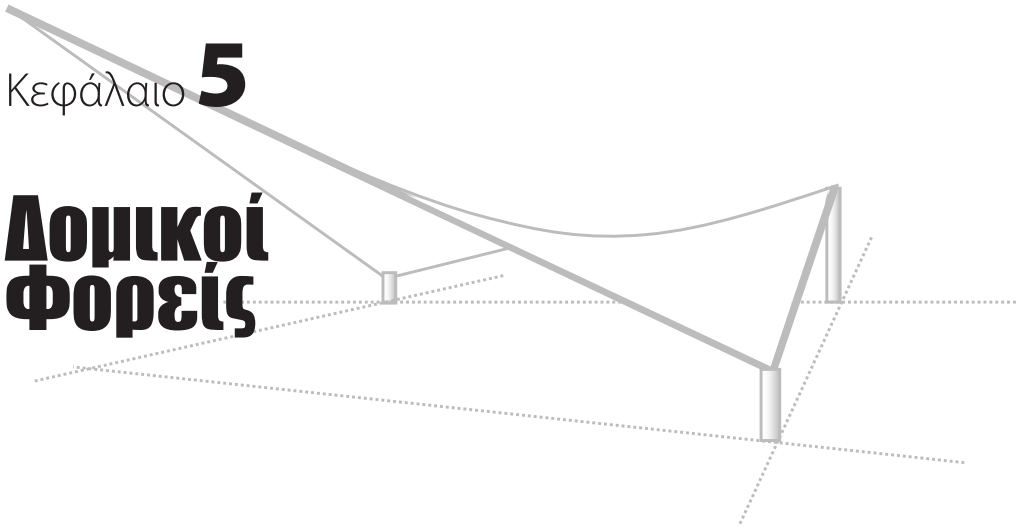
Το ξύλο αν και θεωρείται εύφλεκτο υλικό είναι κακός αγωγός της θερμότητας και για να αναφλεχτεί πρέπει να φτάσει μια ορισμένη θερμοκρασία. Η στάχτη που παράγεται κατά την καύση του είναι και αυτή κακός αγωγός της θερμότητας οπότε μπορεί το ξύλο να καίγεται εξωτερικά αλλά εσωτερικά να είναι ακόμα δροσερό. Γι' αυτούς τους λόγους η ξύλινη κατασκευή μπορεί να αντέξει πολύ ώρα σε πυρκαγιά προτού να καταρρεύσει. Οι μεταλλικοί σύνδεσμοι που ενώνουν τα κομμάτια του ξύλου είναι πιο ευαίσθητοι στην πυρκαγιά.

Το ξύλο είναι πιο εύκαμπτο υλικό από ότι ο χάλυβας και το σκυρόδεμα και έχει μεγάλη αντοχή σε σχέση με το βάρος του γι' αυτό και έχει καλή συμπεριφορά στον σεισμό. Σαν υλικό δεν έχει μεγάλη απόσβεση αλλά αναπτύσσει απόσβεση τριβής λόγω των συνδέσμων που ενώνουν τα τμήματά του.

Το ξύλο όταν επεξεργαστεί σωστά μπορεί να αντέξει εκατοντάδες χρόνια και να χρησιμοποιηθεί ακόμα και για μεγάλου ύψους κτί-

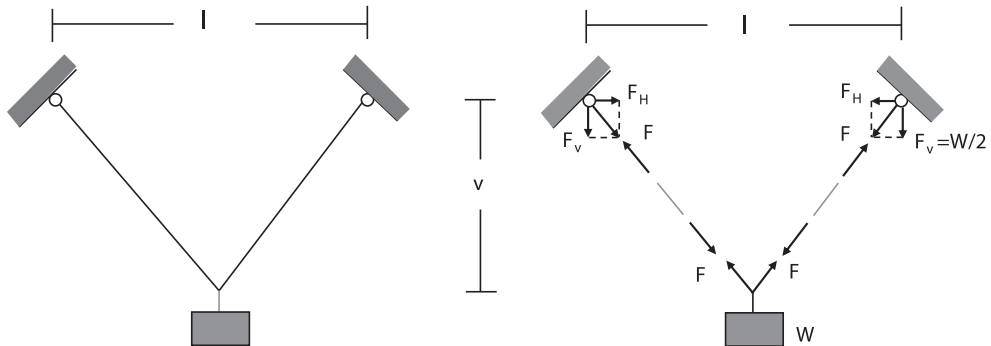


▲ *Εικ. 4-6.*  
*Το κτίριο Yingxian Wooden Pagoda*  
*στην Κίνα.*  
*([http://en.wikipedia.org/wiki/File:The\\_Fugong\\_Temple\\_Wooden\\_Pagoda.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:The_Fugong_Temple_Wooden_Pagoda.jpg))*

Κεφάλαιο **5****Δομικοί  
Φορείς**

**Η** ανάπτυξη αναλυτικών και υπολογιστικών μεθόδων στις κατασκευές έδωσε καινούργιες προοπτικές στον σχεδιασμό αρχιτεκτονικών έργων. Οι μέθοδοι αυτοί έδωσαν την δυνατότητα της πρόβλεψης της συμπεριφοράς των κατασκευών χωρίς να είναι απαραίτητη η προηγούμενη εμπειρία και αντίληψη. Με αυτόν τον τρόπο μπόρεσαν να δημιουργηθούν κατασκευές τελείως διαφορετικές, με πολύ τολμηρούς δομικούς φορείς. Ακόμα όμως και οι πιο πολύπλοκοι δομικοί φορείς στηρίζουν την λειτουργία τους στις αρχές απλούστερων και στοιχειωδών δομικών φορέων οι οποίοι χαρακτηρίζονται από έναν κύριο άξονα ή μία κύρια επιφάνεια και έχουν μία ή δύο διαστάσεις πολύ μικρές σε σχέση με την τρίτη. **Η εξέταση των απλών αυτών φορέων που ακολουθεί παρουσιάζεται με βάση το**

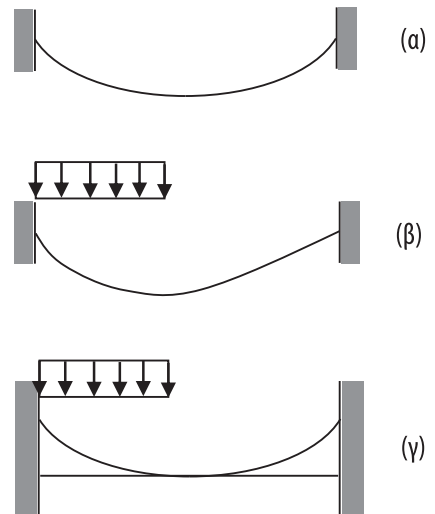
ται ώθηση, τείνει να μετακινήσει τις στηρίξεις προς τα μέσα (Εικ. 5-1.1). Όσο πιο μεγάλη είναι η απόσταση των στηρίξεων από το κατώτερο σημείο του τόξου (βέλος  $v$ ) τόσο πιο μικρές είναι οι ωθήσεις που αναπτύσσονται ( $F_H$ ).



▲ Εικ. 5-1.1.

Οι δυνάμεις που αναπτύσσονται σε ένα καλώδιο λόγω επιβαλλόμενου φορτίου.

Το καλώδιο είναι ένα ιδανικό στοιχείο για να συνδέσει σημεία στο χώρο και πολύ αποτελεσματικό στην μεταφορά κατακόρυφων φορτίων κατά την οριζόντια έννοια. Έχει όμως ένα σημαντικό μειονέκτημα. Το εύκαμπτο σχήμα του το κάνει ασταθές. Στην Εικ. 5-1.2(α)-(β) φαίνεται η επιρροή της αλλαγής της θέσης του φορτίου στο σχήμα του καλωδίου. Για να αυξηθεί η ευστάθειά του προσθέτουμε άλλα κατασκευαστικά στοιχεία όπως για παράδειγμα βοηθητικά καλώδια που αναρτώνται από το βασικό καλώδιο που φέρει τα φορτία περιορίζοντας την κίνησή του (Εικ. 5-1.2(γ)), δικτυώματα και βαριά υλικά.



▲ Εικ. 5-1.2.

Αλλαγή σχήματος καλωδίου λόγω φορτίου και ενίσχυσή του με βοηθητικά καλώδια.

Η Εικ. 5-1.3 δείχνει διάφορους τρόπους που μπορεί να ενισχυθεί μία καλωδιωτή κατασκευή με βοηθητικά καλώδια. Τα βοηθητικά

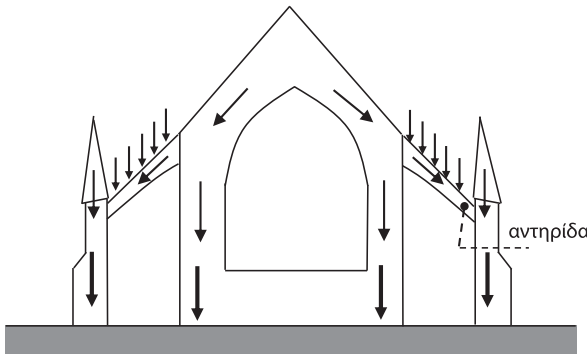


▲ *Εικ. 5-2.4.*  
*Οξυκόρυφο τόξα.*

αγαλμάτων ή πυργίσκων.

Τα τόξα μπορούν να κατασκευαστούν εκτός

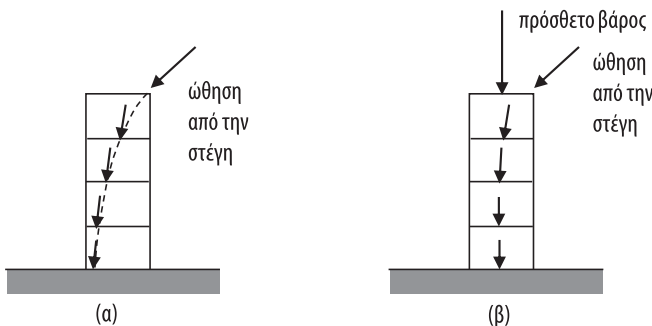
από πέτρα και από υλικά που μπορούν να αντιμετωπίσουν τον εφελκυσμό όπως σπλισμένο σκυρόδεμα, χάλυβας, ξύλο. Οι στηρίξεις τους συνήθως είναι πακτώσεις και στα δύο άκρα (αμφίπακτα) ή αρθρώσεις (αμφιαρθρωτά) (Εικ. 5-2.7). Τα αμφίπακτα δεν επιτρέπουν



▲ *Εικ. 5-2.5.*  
*Πορεία δυνάμεων σε γοθτική εκκλησία.*

στροφές στις στηρίξεις τους (όπως τα πέτρινα τόξα) δημιουργώντας εκτός από θλιπτικές και καμπτικές τάσεις. Τα αμφιαρθρωτά τόξα επιτρέ-

πουν στροφές στις στηρίξεις τους με αποτέλεσμα να μην δημιουργούνται αξιόλογες καμπτικές τάσεις γι' αυτό και συμπεριφέρονται καλύτερα σε ανομοιόμορφες καθιζήσεις ή θερμοκρασιακές μεταβολές. Τα μόνα τόξα



▲ *Εικ. 5-2.6.*  
*Η γραμμή ώθησης (α) πριν και (β) μετά την τοποθέτηση πρόσθετου βάρους.*

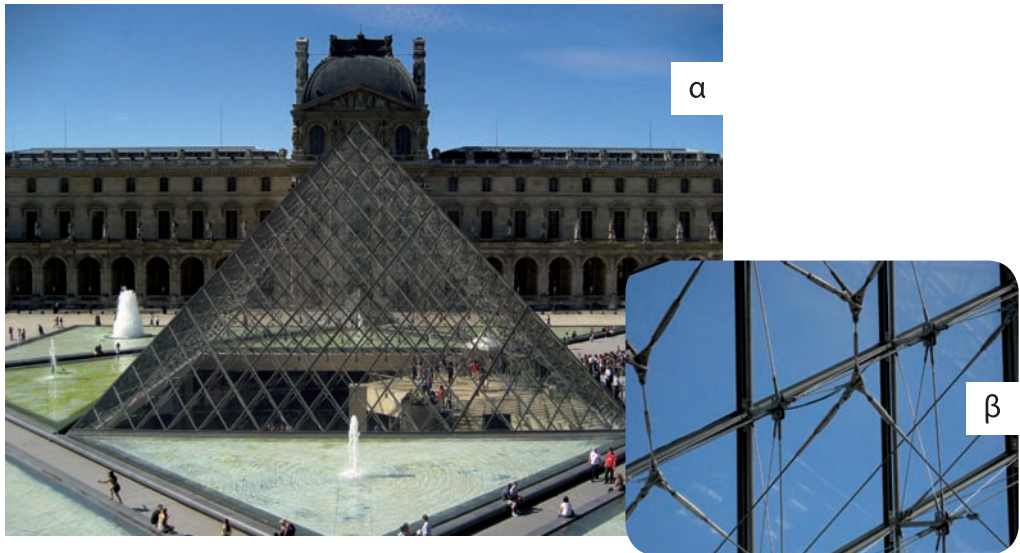
που δεν αναπτύσσουν τάσεις λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών και ανομοιόμορφων καθιζήσε-

τελούμενη από σωληνοειδή μέλη και καλώδια  
(Εικ. 5-6.8).



▲ Εικ. 5-6.7.

(α) Χωροδικτύωμα, (β) λεπτομέρεια σύνδεσης μελών χωροδικτυώματος.



▲ Εικ. 5-6.8.

(α) Πυραμίδα του Λούβρου, (β) λεπτομέρεια σύνδεσης μελών.

Μια μορφή χωρικού δικτυώματος είναι και ένα σύστημα από καλώδια και θλιβόμενα μέλη που αποτελούν το λεγόμενο στα αγγλικά **tensegrity** (tensional integrity) σύστημα. Στο σύστημα αυτό τα θλιβόμενα μέλη δεν συνδέ-

Ο σκοπός της «Αρχιτεκτονικής των Δομικών Φορέων» είναι να βοηθήσει τους συντελεστές ενός αρχιτεκτονικού έργου να κατανοήσουν τον τρόπο λειτουργίας και συμπεριφοράς των κατασκευών που είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την δημιουργία έργων υψηλής αισθητικής, λειτουργικών και στατικά επαρκών.

Στο βιβλίο αυτό εξετάζεται η λειτουργία απλών δομικών φορέων, όπως καλωδίων, τόξων, δικτυωμάτων, κελυφών κ.λ.π., οι οποίοι αποτελούν την βάση των αρχιτεκτονικών έργων. Η παρουσίασή τους γίνεται με διαγράμματα και φωτογραφίες, χωρίς τύπους ή μαθηματικούς υπολογισμούς.

Το βιβλίο απευθύνεται σε Αρχιτέκτονες, Πολιτικούς Μηχανικούς και σε όσους ενδιαφέρονται να καταλάβουν τον τρόπο λειτουργίας και συμπεριφοράς των κατασκευών.

ISBN 978-960-9427-15-9

ISBN 978-960-9427-15-9



9 789609 427159 >

**GOTSIS**  
ΕΚΔΟΣΕΙΣ

