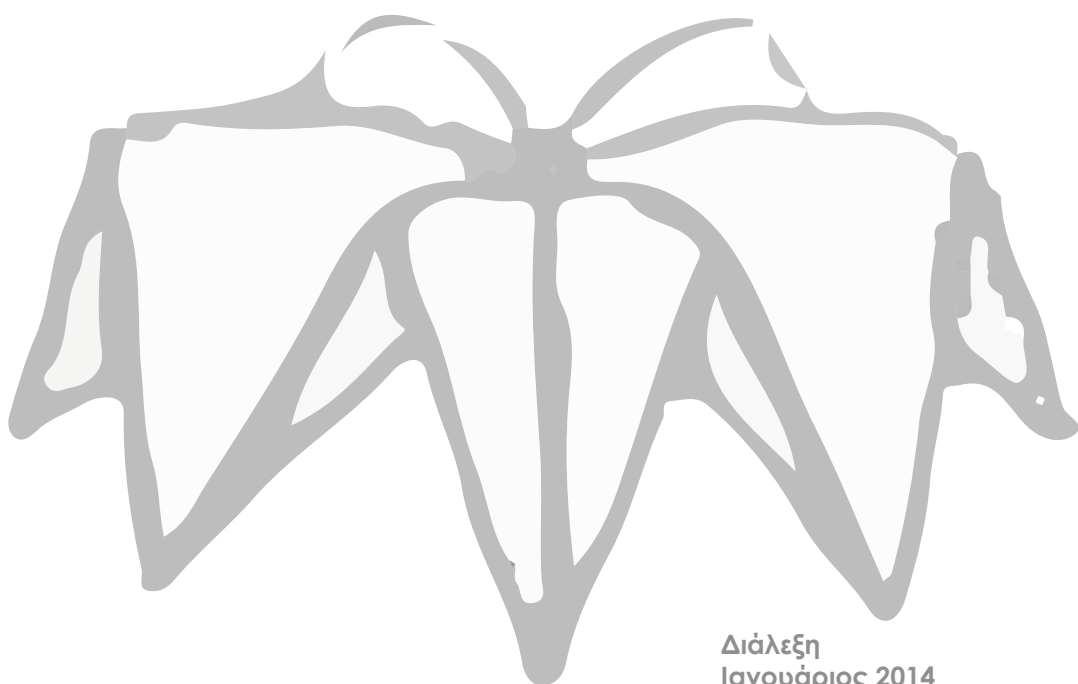




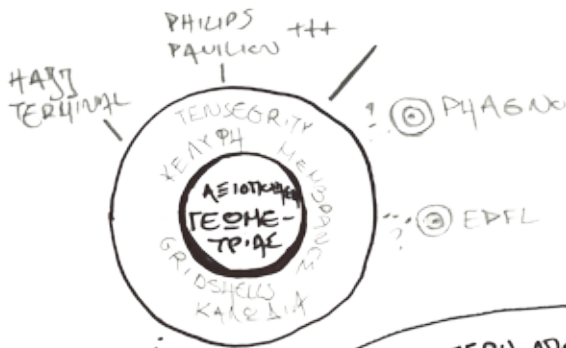
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών
Τομέας Ι Αρχιτεκτονικού Σχεδιασμού

Φοιτήτρια
Κοκκάλα Ναταλία
Επιβλέπων Καθηγητής
Ησαΐας Δημήτρης

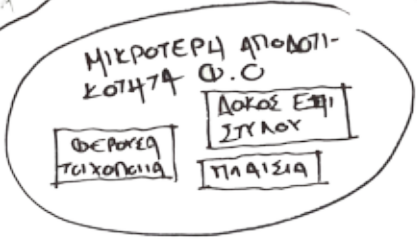
η στατική σύλληψη ως συνθετική ιδέα



Διάλεξη
Ιανουάριος 2014



ΙΔΕΑ



Ευχαριστώ

τον καθηγητή μου
Δημήτρη Ησαΐα
για την καθοδήγησή του

τον κύριο Άλκιμο
Παπαθανασίου, πολιτικό
μηχανικό, για τον χρόνο
και τις παρατηρήσεις του

τους φίλους και
συμφοιτητές μου
για τις επικοινωνητικές
παρεμβάσεις και
συμβουλές τους

και την Βίκυ που διάβασε
υπομονετικά κάθε εκδοχή
της διάλεξης αυτής

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1 Εισαγωγή	7
Εισαγωγή: Σκοπός και Αντικείμενο Εργασίας	9
2 Η Κατασκευή	15
Φορτία	19
Βασικές Εντατικές Καταστάσεις	20
Μορφές Φέροντος Οργανισμού	23
3 Η Σχέση της Αρχιτεκτονικής με την Κατασκευή	45
Προτεινόμενη διάκριση σε κατηγορίες	56
3.1. Αρχιτεκτονική που ωθεί στα άκρα την τεχνική και το υλικό, αξιοποιώντας στο μέγιστο δυνατό τις ιδιότητές του	58
3.1.1 Philips Pavilion	69
3.1.2 Hajj Terminal	79
3.2 Αρχιτεκτονική που ξεκινά με μια πρόθεση υπερβολικής, υποβλητικής και έντονης έκφρασης του φέροντος οργανισμού	88
3.2.1 Rolex Learning Centre, École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)	99
3.2.2 Κέντρο Επιστημών Phaeno	107
3.3 Αρχιτεκτονική που λαμβάνει υπόψιν το κατασκευαστικό σύστημα, εκφράζεται μαζί αλλά και πέρα από αυτό	120
4 Συμπεράσματα	129
Παράρτημα	
συνέντευξη με τον Hanif Kara	139
Βιβλιογραφία	148
Πηγές Εικόνων	154



Εισαγωγή

Εισαγωγή: σκοπός και αντικείμενο εργασίας

Στην εργασία αυτή εξετάζεται η κατασκευή στην αρχιτεκτονική, σαν δημιουργικό εργαλείο και σαν μέσο έκφρασης για τον αρχιτέκτονα.

Στόχος ήταν να προσδιοριστεί με ποιους τρόπους η σύλληψη του φέροντος οργανισμού, από τα πρώτα στάδια του σχεδιασμού, μπορεί να αποτελέσει βασικό στοιχείο της αρχιτεκτονικής σύνθεσης. Έγινε μια προσπάθεια να διερευνηθεί σε ποιον βαθμό και πώς έχει υλοποιηθεί σε έργα του 20^{ου} και 21^{ου} αιώνα η στατική λειτουργία της κατασκευής ως αρχιτεκτονική έκφραση. Πώς, δηλαδή, η σύλληψη της φέρουσας δομής μπορεί να καθοδηγήσει και να καθορίσει την συνθετική διαδικασία και την διάπλαση του κτιρίου.

«Όταν η τεχνική συγχωνεύεται με την αρχιτεκτονική σε μια συνθετική ιδέα, οι μυριάδες και καμιά φορά εντυπωσιακές δυνατότητες που αναδύονται από την τεχνολογική σκέψη γεννούν προηγμένες αισθητικές ιδέες».¹

Η διερεύνηση αυτών ακριβώς των «προηγμένων» ιδεών, που αποτελούν συγκερασμό τεχνικής γνώσης και συνθετικής ικανότητας, αποτελεί το αντικείμενο της διάλεξης αυτής.

Η γνώση και κατανόηση της κατασκευής είναι, θεωρώ, πρωταρχικής σημασίας για την αρχιτεκτονική. Ο Βιτρούβιος, στο πρώτο βιβλίο του, ξεχωρίζει τρεις βασικές αρετές που οφείλουν να χαρακτηρίζουν την αρχιτεκτονική: *firmitas*, *utilitas*, *venustas*.²

Η *firmitas*, από τις βασικές ιδιότητες ενός αρχιτεκτονήματος, περιγράφει την δυνατότητά του να διατηρεί ακέραιη την υλική του υπόσταση, και να αντιστέκεται αποτελεσματικά στα φορτία που του επιβάλλονται κατά την διάρκεια ζωής του.³ Στην στοιχειώδη αυτή απαίτηση καλείται να ανταποκριθεί η φέρουσα κατασκευή, έναν βασικότατο στοιχείο χωρίς το οποίο δεν μπορεί να υπάρξει το ίδιο το κτίριο, και συνακόλουθα, δεν είναι δυνατόν τελικά να υπάρξει αρχιτεκτονική. Χωρίς *firmitas* συνεπώς, δεν δύναται να υπάρξει ούτε *utilitas* ούτε και *venustas*.

Η διάλεξη αυτή είναι μια απόπειρα να διερευνηθεί η αρετή της *firmitas* σαν πρωταρχικό στοιχείο της σύνθεσης, εξετάζοντας παραδείγματα αρχιτεκτονικής, περισσότερο ή λιγότερο γνωστά, όπου η φέρουσα κατασκευή αποτέλεσε μια από τις βασικές παραμέτρους του σχεδιασμού. Όπου ο

1 *Interdisciplinary Design*, σελ.13, «When engineering merges with architecture in a design concept, the myriad and sometimes surprising possibilities that arise through technological thinking engender advanced aesthetic ideas.»

2 *The Ten Books on Architecture*, Vitruvius, σελ.17

3 *Structure and Architecture*, Angus J. MacDonald, σελ.ix

«Η κατασκευή συνδυάζει σε μια μοναδική σύνθεση τα στοιχεία της χειρωνακτικής εργασίας, της βιομηχανικής οργάνωσης, της επιστημονικής θεωρίας, της αισθητικής ευαισθησίας, και των μεγάλων οικονομικών συμφερόντων. Η κατασκευή δημιουργεί το φυσικό μας περιβάλλον, κι έτσι εξασκεί μια σιωπηρή αλλά βαθειά εκπαιδευτική επίδραση σε καθέναν από εμάς.»

Pier Luigi Nervi
Structures

φέρων οργανισμός καθορίστηκε από τα πρώτα στάδια της σχεδιαστικής διαδικασίας, με την στατική επίλυση να ενυπάρχει στην κεντρική ιδέα του αρχιτέκτονα.

Κατά την διάρκεια της έρευνας έγινε αρκετά ξεκάθαρο πως η δημιουργία δεν θα μπορούσε να εξεταστεί, σε ορισμένες περιπτώσεις, χωρίς να γίνει αναφορά στο όνομα και του πολιτικού μηχανικού. Ιδιαίτερα στα έργα που παρουσιάζουν πρόκληση, δυσκολία και καινοτομία, η συμβολή του αδιαμφισβήτητα ήταν καθοριστική για την υλοποίηση του οράματος του αρχιτέκτονα, επηρεάζοντας αλλού σε μεγαλύτερο κι αλλού σε μικρότερο βαθμό την μορφή του έργου, συμμετέχοντας πάντοτε ενεργά στην δημιουργική διαδικασία. Αναδύθηκε έτσι σταδιακά ακόμη πιο έντονη η σημασία της αμοιβαίας κατανόησης, και της ύπαρξης ενός κοινού πεδίου επικοινωνίας και ανταλλαγής πληροφοριών.

Το κοινό αυτό πεδίο, η κοινή γλώσσα, μπορεί από την πλευρά του αρχιτέκτονα να κατακτηθεί μέσα από την τεχνική γνώση, την εξοικείωση με κάποιες βασικές αρχές και έννοιες της επιστήμης του μηχανικού. Η γνώση αυτή θα του επιτρέψει να συλλάβει με πραγματικούς όρους, να υπερασπιστεί και να υλοποιήσει την αρχιτεκτονική που οραματίζεται. Να υποτάξει τους τεχνικούς περιορισμούς, αλλά και να τους αξιοποιήσει δημιουργικά, με καθοριστική φυσικά την συμβολή του στατικού. Να είναι αρχιτέκτονας, αλλά και μηχανικός ταυτόχρονα.

«Υπάρχει μια βαθύτερη αιτία στο να μαθαίνουν οι αρχιτέκτονες κάτι για την επιστήμη του μηχανικού. Η κατασκευή είναι μια βασική προϋπόθεση για οποιοδήποτε σχέδιο που πρόκειται να χτιστεί. Για τον λόγο αυτό πρέπει κατά μια έννοια να αντιμετωπίζεται, να ενσωματώνεται και, πολύ πιθανόν να εκφράζεται. Με τους όρους αυτούς μια αρχιτεκτονική σύνθεση που δεν προσεγγίζει το ζήτημα της κατασκευής είναι ατελής ή άλογη. Ένα από τα πολλά καθήκοντα της αρχιτεκτονικής εκπαίδευσης είναι να προωθεί μια νοοτροπία γνώσης σε σχέση με την κατασκευή.»⁴

Πιστεύοντας πως πράγματι μια τέτοια προσέγγισης σκέψη μπορεί να εμπλουτίσει την αρχιτεκτονική, αρχικά γίνεται μια εξέταση των διαφορετικών τύπων φορέων, των δομικών τους ιδιαιτεροτήτων και της μορφολογικής τους έκφρασης. Στην συνέχεια, έχοντας θέσει αυτό το βασικό υπόβαθρο εννοιών, γίνεται μια διάκριση των διαφορετικών συνθετικών προσεγγίσεων, των διαφορετικών εκφάνσεων της σχέσης

⁴ "There is a deeper reason why architects learn something about engineering. Structure is a basic requirement for any design that is to be built. Because of that it has in some sense to be confronted, incorporated and, quite possibly expressed. In those terms an architectural design that does not address structure is incomplete or illogical. One of the many tasks of an architectural education is to promote an informed attitude towards structure." Αναφορά του Hanif Kara στο *The Architect and Engineer: A Study in Sibling Rivalry*, Andrew Saint, Yale University Press, New Haven 2008, *Interdisciplinary Design*, σελ. 13,

αρχιτεκτονικής-κατασκευής, εστιάζοντας σε συγκεκριμένα παραδείγματα της κάθε προσέγγισης. Στο παράρτημα, μια συνέντευξη με τον Hanif Kara, καταξιωμένο πολιτικό μηχανικό με διεθνή επαγγελματική και ακαδημαϊκή δραστηριότητα, έρχεται να επιβεβαιώσει ενδεχομένως κάποια από τα συμπεράσματα, αλλά και να προσφέρει μια άλλη οπτική πάνω στο θέμα.

Η εξέταση επιλεγμένων παραδειγμάτων, περισσότερο ή λιγότερο αναλυτικά, στόχο έχει μια βαθύτερη κατανόηση και διερεύνηση της στατικής σύλληψης ως συνθετική ιδέα του αρχιτέκτονα. Του αρχιτέκτονα που συλλαμβάνει εξ αρχής την δομή του κτιρίου, με εργαλείο την στατική του διαίσθηση, θεωρώντας πως ο φέρων οργανισμός μπορεί να εμπλουτίσει την δημιουργία ως προς τις ποιότητες αλλά και την μορφή της, και την αξιοποιεί σαν εργαλείο στην υπηρεσία της αρχιτεκτονικής.



Η Κατασκευή

«Μια αρχιτεκτονική κατασκευή εξυπηρετεί πάντα μια συγκεκριμένη ανάγκη. Με άλλα λόγια, στην αρχιτεκτονική κατασκευή επικρατεί πάντα το ωφελιμιστικό στοιχείο, που την διαφοροποιεί ουσιαστικά από το γλυπτικό έργο. 'Κατασκευή για την κατασκευή', σαν αυτοσκοπός, δεν υπάρχει.»

M.Salvadori -R.Heller
Η φέρουσα κατασκευή στην Αρχιτεκτονική

Βασικά ερωτήματα, για τον προσδιορισμό της θεωρητικής και πρακτικής βάσης διερεύνησης των ζητημάτων που τέθηκαν, είναι τι ορίζεται ως κατασκευή, σε τι χρησιμεύει, τι απαιτήσεις οφείλει να πληροί, αλλά και τι μορφές μπορεί να λάβει στον χώρο.

Τι είναι επομένως η κατασκευή, και σε τι χρησιμεύει;

Ο Salvadori θεωρεί πως η κατασκευή «περιβάλλει και προστατεύει έναν χώρο, έτσι ώστε να τον κάνει χρήσιμο για μια ορισμένη λειτουργία»⁵.

Ο Angus J. MacDonald απαντάει σε αυτό το ερώτημα λέγοντας πως ο φέρων οργανισμός είναι το μέρος εκείνο ενός κτιρίου που αντιστέκεται στα επιβαλλόμενα φορτία, ενώ ως κτίριο ορίζει ένα περίβλημα που περικλείει και επιμερίζει τον χώρο ώστε να δημιουργήσει ένα προστατευμένο περιβάλλον. Τα φορτία τείνουν να παραμορφώσουν το κτίριο, να προκαλέσουν την κατάρρευσή του, συνέπως ο φέρων οργανισμός εναλλακτικά ορίζεται ως η δομή που παρέχει στο κτίριο την απαραίτητη αντοχή και ακαμψία ώστε να μην καταρρεύσει.⁶

Κατά τον σχεδιασμό, ιδιαίτερη μέριμνα πρέπει να ληφθεί, καθώς μια κατασκευή πρέπει απαραίτητως να διαθέτει τις παρακάτω **ιδιότητες**⁷:

1. να είναι **γεωμετρικά σταθερή**
2. να έχει **επαρκή αντοχή** και τέλος
3. **επαρκή ακαμψία**

Με τον όρο **γεωμετρικά σταθερός** εννοείται η δυνατότητα ενός φέροντος οργανισμού, υπό την επίδραση φορτίων, να διατηρεί απαραμόρφωτη την γεωμετρία του- τουλάχιστον σε κλίμακα αντιληπτή- και να έχουν την δυνατότητα τα επιμέρους στοιχεία του να δρουν όλα μαζί προκειμένου να αντισταθούν στην επιβαλλόμενη φόρτιση.

Η διάταξη των στοιχείων και η μεταξύ τους σύνδεση πρέπει να είναι τέτοια ώστε να εξασφαλίζεται επαρκής γεωμετρική σταθερότητα στον χώρο, κι όχι μόνο ως προς κάποιο συγκεκριμένο επίπεδο.

Ένα κτίσμα που δεν παρουσιάζει ικανοποιητική σταθερότητα, πέρα από επικίνδυνο είναι επίσης δυσάρεστο για τους χρήστες του, δημιουργώντας τους αισθήματα ανασφάλειας.

Σε περίπτωση που για λόγους λειτουργικούς, αισθητικούς

⁵ Η φέρουσα κατασκευή στην Αρχιτεκτονική, M.Salvadori -R.Heller, σελ.14

⁶ Structure and Architecture, Angus J. MacDonald, σελ.1

⁷ ibid., σελ.9

ή αρχιτεκτονικούς δεν σχεδιαστεί γεωμετρικά σταθερός φέρων οργανισμός, τουλάχιστον όταν αυτός αποτελείται από γραμμικά φέροντα στοιχεία (όπως συμβαίνει στο σύστημα της δοκού επί στύλου), η ευστάθεια μπορεί να επιτευχθεί με άκαμπτες συνδέσεις ανάμεσα στα επιμέρους στοιχεία, ή με την χρήση επιπλέον στοιχείων ακαμψίας, όπως για παράδειγμα διαγώνιες ράβδοι ή επιπεδόμορφα στοιχεία μεταξύ των κενών του φέροντος οργανισμού, που λειτουργούν διαφραγματικά.

Η **επαρκής αντοχή** και **επαρκής ακαμψία** προσδιορίζονται σε σχέση με τα φορτία που ασκούνται στην κατασκευή κατά την διάρκεια ζωής της, κι έχουν άμεση επίδραση στην επιλογή των υλικών και του κατασκευαστικού συστήματος, αλλά και στην διαστασιολόγηση των φερόντων στοιχείων. Ο έλεγχος της αντοχής, η στατική μελέτη δηλαδή, γίνεται, σε γενικές γραμμές, σύμφωνα με τις διατάξεις των κανονισμών. Εντούτοις, σε ορισμένες περιπτώσεις, όπως σε κάποια από τα παραδείγματα που εξετάζονται σε επόμενο κεφάλαιο, οι οικοδομικοί κανονισμοί δεν επαρκούν και απαιτείται η πρωτότυπη και υπεύθυνη ταυτόχρονα εργασία του μηχανικού του έργου.

Τα **διαγράμματα των εντατικών μεγεθών** (αξονική N , τέμνουσα Q και ροπή M^8) ενός φέροντος στοιχείου είναι εξαιρετικά σημαντικά μιας και υποδεικνύουν πού υφίσταται το εν λόγω στοιχείο τις μέγιστες καταπονήσεις. Κατ'επέκταση, μπορούν να είναι καθοριστικά για το σχήμα και τις μεταβολές της διατομής των φερόντων στοιχείων, κατά την φάση του αρχιτεκτονικού σχεδιασμού.

Ένας φορέας χαρακτηρίζεται ως **στατικός ορισμένος ή ισοστατικός** όταν οι τρεις βασικές εξισώσεις ισορροπίας ($\Sigma x=0$, $\Sigma y=0$ και $\Sigma z=0$) επαρκούν για τον προσδιορισμό των αντιδράσεων στα σημεία στήριξης.

Σε αντίθετη περίπτωση ο φορέας θεωρείται **στατικός αόριστος ή υπερστατικός**, και πρακτικά αυτό σημαίνει πως διαθέτει περισσότερες στηρίξεις από αυτές που θα χρειαζόταν.⁹

⁸ Δομομηχανική Ι-Στατική, Ελευθέριος Ι.Πανταλέων, σελ.201

⁹ *ibid.*, σελ.188

Φορτία

Τα ακριβή φορτία στα οποία πρέπει να αντισταθεί μια κατασκευή είναι εξαιρετικά δύσκολο και περίπλοκο να προσδιοριστούν.

Διακρίνονται δύο βασικά είδη φορτίων: τα στατικά και τα δυναμικά.

Στατικά ονομάζονται τα φορτία εκείνα που μεταβάλλονται αργά ή καθόλου μέσα στον χρόνο. Στα στατικά φορτία εντάσσονται τόσο τα **νεκρά** όσο και τα **κινητά φορτία**.

Νεκρό φορτίο χαρακτηρίζεται το βάρος της ίδιας της κατασκευής και όλων των υλικών της, ενώ με τον όρο κινητά φορτία περιγράφονται τα βάρη ανθρώπων ή και ζώων, μηχανικού εξοπλισμού, μη φερόντων κατασκευαστικών στοιχείων. Ακόμη, στα κινητά φορτία περιλαμβάνονται βάρη από πιθανή χιονόπτωση ή πάγο, ανεμοπιέσεις (ή πιθανή δημιουργία υποπίεσης), πίεση νερού καθώς και θερμικά φορτία και φορτία καθιζήσεων.¹⁰

Δυναμικά ονομάζονται τα φορτία των οποίων το σημείο εφαρμογής ή και η τιμή μεταβάλλεται σε σύντομο χρονικό διάστημα, καθώς και εκείνα που εφαρμόζονται απότομα στην κατασκευή. Διακρίνονται σε **κρουστικά** φορτία, δηλαδή φορτία με ιδιαίτερα σύντομη διάρκεια εφαρμογής, και **περιοδικά** φορτία, δηλαδή φορτία που επαναλαμβάνονται, «μεταβάλλονται ακολουθώντας μια προοδευτική ταλάντωση».¹¹

Ανάλογα με το αν τα φορτία αυτά έχουν οριζόντια ή κατακόρυφη διεύθυνση εφαρμογής, διαφορετικά μέτρα λαμβάνονται κατά τον σχεδιασμό της κατασκευής για την αντιμετώπισή τους.

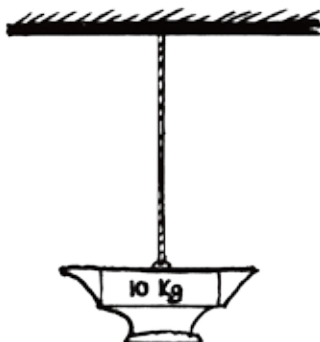


¹⁰ Η φέρουσα κατασκευή στην Αρχιτεκτονική, M.Salvadori -R.Heller, σελ.18-33

¹¹ ibid., σελ.37

Βασικές Εντατικές Καταστάσεις

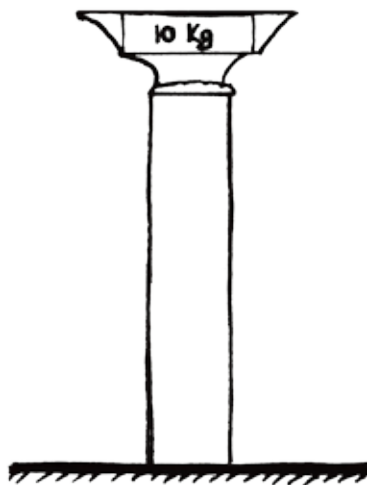
Τα ασκούμενα φορτία δημιουργούν εντατικές καταστάσεις στις κατασκευές. Τέσσερις βασικές εντατικές καταστάσεις μπορούν να διακριθούν¹²: ο απλός εφελκυσμός, η απλή θλίψη, η απλή διάτμηση και η απλή κάμψη.



Ο **εφελκυσμός** είναι «η εντατική κατάσταση που τείνει να απομακρύνει τα μόρια του υλικού μεταξύ τους».¹³

Υλικά όπως ο χάλυβας παρουσιάζουν μεγάλη αντοχή σε εφελκυσμό, ενώ αντίθετα το σκυρόδεμα πολύ μικρή.

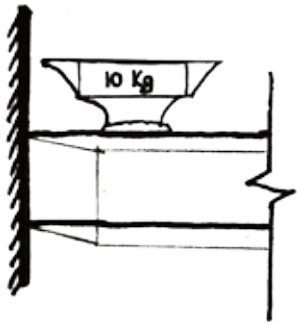
Η **θλίψη** περιγράφει «την εντατική κατάσταση που τείνει να προκαλέσει συμπίεση των μορίων του υλικού μεταξύ τους».¹⁴. Δεδομένου ότι κάθε κατασκευή πρέπει να διοχετεύει αποτελεσματικά τα φορτία που δέχεται στο έδαφος, ένα κοινό χαρακτηριστικό όλων των κατασκευαστικών συστημάτων είναι η παρουσία κατακόρυφων θλιβόμενων στοιχείων.



¹² *ibid.*, σελ.94-110

¹³ *ibid.*, σελ.94

¹⁴ *ibid.*, σελ.96-97



Διάτμηση ονομάζεται η εντατική κατάσταση «που τείνει να προκαλέσει ολίσθηση των μορίων του υλικού μεταξύ τους».¹⁵

Τέλος, η απλή **κάμψη** αποτελεί μια σύνθετη εντατική κατάσταση, έναν από τους πιο συχνά απαντώμενους συνδυασμούς των τριών παραπάνω εντατικών καταστάσεων (εφελκυσμός, θλίψη, διάτμηση), με ιδιαίτερη σημασία για όλα τα κατασκευαστικά συστήματα.

Συγκεκριμένα, ως απλή κάμψη ορίζεται «η εντατική κατάσταση που χαρακτηρίζεται από ευθύγραμμη μεταβολή των τάσεων πάνω σε μια διατομή, μεταβολή που κυμαίνεται από έναν μέγιστο εφελκυσμό σε μια μέγιστη θλίψη ίσης έντασης».¹⁶



Η γνώση των βασικών αυτών εντατικών καταστάσεων είναι ιδιαίτερα σημαντική για την διερεύνηση και κατανόηση της συμπεριφοράς των διαφορετικών κατασκευών, αλλά και μπορεί να αποτελέσει και ένα σημαντικό εργαλείο κατά την διάρκεια της συνθετικής διαδικασίας.

¹⁵ ibid., σελ.102

¹⁶ ibid., σελ.108

Μορφές Φέροντος Οργανισμού

Έχοντας ορίσει τι είναι η κατασκευή, ποια η χρησιμότητα και ποιες οι απαιτήσεις που οφείλει να πληροί, θα προσεγγιστεί το ζήτημα της μορφής του φέροντος οργανισμού ενός κτίσματος.

Ο Angus J. MacDonald διακρίνει,¹⁷ με κυριότερο κριτήριο την δυνατότητα μεταφοράς των εξωτερικών φορτίων σε σχέση με την ανάπτυξη εσωτερικών δυνάμεων, τρεις κατηγορίες φέροντος οργανισμού:

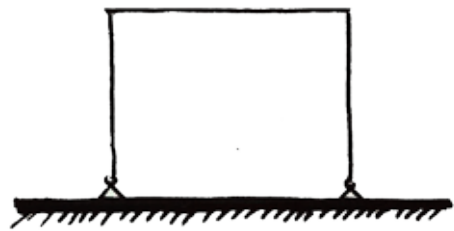
1. το δομικό σύστημα της δοκού επί στύλου
2. γεωμετρίες που εν μέρει αξιοποιούν τις ιδιότητες του σχήματος για την μεταφορά των φορτίων
3. γεωμετρίες που αξιοποιούν σε μεγάλο μέρος τις ιδιότητες του σχήματος για την μεταφορά των φορτίων.

Επειδή όμως **η έρευνα αυτή εστιάζει στο σχήμα, την μορφή και την γεωμετρία των φερόντων στοιχείων σε σχέση με τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό**, και επειδή μορφολογικά οι κατηγορίες 1 και 2 δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές αφού ουσιαστικά, τουλάχιστον μέσα από τα παραδείγματα που δίνει ο MacDonald, φαίνονται να βρίσκονται στην ίδια λογική συνδυασμού και βελτιστοποίησης της απόδοσης απλών γραμμικών και επιπεδόμορφων στοιχείων, οι δύο αυτές κατηγορίες θα εξεταστούν μαζί.

Ακόμη, όπως διαπιστώνεται παρακάτω, η γεωμετρική μορφή της κατασκευής σχετίζεται άμεσα με τις εντατικές καταστάσεις τις οποίες υφίσταται, εμφανίζοντας διαφορετική ικανότητα αντίστασης ανάλογα με τον αν υπόκειται σε καθαρό εφελκυσμό, θλίψη, κάμψη ή διάτμηση.

Προτείνεται επομένως η παρακάτω κατηγοριοποίηση με βάση την **γεωμετρία της φέρουσας δομής σε σχέση με την ικανότητα του συνολικού σχήματος να φέρει φορτία**. Κάθε μια από αυτές τις κατηγορίες μπορεί να προσφέρει διαφορετικές δυνατότητες μορφοπλασίας και αρχιτεκτονικής έκφρασης, (αλλά και κατασκευαστικής αποδοτικότητας) οι οποίες θα εξεταστεί στο επόμενο κεφάλαιο τι μορφές μπορούν να πάρουν.

¹⁷ *Structure and Architecture*, Angus J. MacDonald, σελ.48



Έτσι διακρίνονται:

1. το δομικό σύστημα της δοκού επί στύλου

2. γεωμετρίες που αξιοποιούν σε μεγάλο μέρος τις ιδιότητες του σχήματος για την μεταφορά των φορτίων

Πιο αναλυτικά:

1. Το δομικό σύστημα της δοκού επί στύλου

Μπορεί να αποτελείται είτε από φέρουσα τοιχοποιία είτε από πλαίσια σε χωρικούς συνδυασμούς.

Στην περίπτωση που την κατασκευή αυτού του δομικού συστήματος αποτελούν **φέροντες τοίχοι**, υπάρχει ένας σημαντικός περιορισμός: δεν επιτρέπεται την στέγαση ιδιαίτερα μεγάλων ανοιγμάτων, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται μικρότερες μονάδες χώρων μέσα στο κτίριο¹⁸.

Ο φέρων οργανισμός αποτελείται από ογκώδη επιπεδόμορφα στοιχεία, σημαντικού συνήθως πλάτους. Στα ιστορικά δομικά συστήματα χαρακτηριστική είναι η χρήση θόλων για την στέγαση των ανοιγμάτων, με τα στιβαρά τοιχεία να αντιστέκονται αποτελεσματικά, χάρη στο βάρος τους, στις πλευρικές ωθήσεις που προκαλεί το μεγάλο βάρος του υπερκείμενου θόλου. Το περίβλημα και ο φέρων οργανισμός του κτιρίου στο μεγαλύτερό τους μέρος ταυτίζονται.

Το **πλαίσιο** διαφοροποιείται από το παραπάνω σύστημα της δοκού επί στύλου ως προς την άκαμπτη σύνδεση των βασικών του στοιχείων, με αποτέλεσμα μια δοκός και τα δύο υποστυλώματα στα οποία εδράζεται να συμπεριφέρονται σαν αδιάσπαστο σύνολο.¹⁹

Χαρακτηριστική των πλαισίων είναι η ικανότητά τους να παραλαμβάνουν αποτελεσματικά **κάμψη και θλίψη** ταυτόχρονα.²⁰

Ακόμη, λόγω της συνέχειας των δομικών στοιχείων, η κάμψη που υφίσταται η δοκός μεταφέρεται και στα υποστυλώματα, πέρα από την θλίψη, με αποτέλεσμα να είναι απαραίτητη η εξουδετέρωση της οριζόντιας δύναμης που αναπτύσσεται σε αυτά, της **ώθησης**. Χαρακτηριστική της πλαισιακής λειτουργίας, η ώθηση αναπτύσσεται στις κάτω παρειές των υποστυλωμάτων. Μεταβιβάζεται συνήθως μέσω των θεμελίων στο έδαφος, όπου εξισορροπείται από τις δυνάμεις τριβής που αναπτύσσονται μεταξύ του εδάφους και της επιφάνειας του πεδίου. Σε ορισμένες περιπτώσεις, η ώθηση αντιμετωπίζεται με

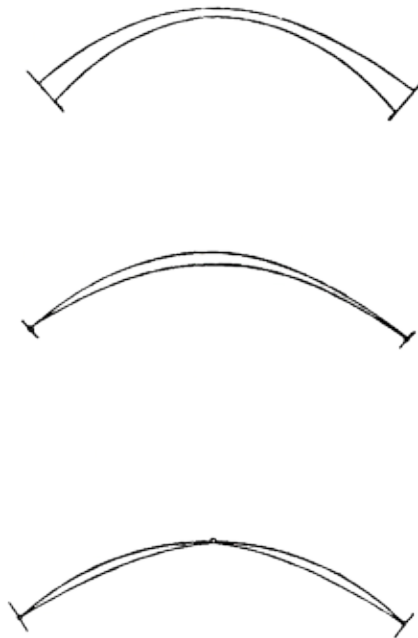
18 *ibid.*, σελ.50

19 *Η Φέρουσα Κατασκευή στην Αρχιτεκτονική*, M.Salvadori-R.Heller, σελ.198

20 *ibid.*, σελ.202

την τοποθέτηση ελκυστήρα στην βάση των υποστυλωμάτων.²¹

Βελτίωση της απόδοσης του πλαισίου μπορεί να επιτευχθεί αντικαθιστώντας την οριζόντια δοκό με ζύγωμα αποτελούμενο από πολλές πλευρές, καθώς έτσι τα στοιχεία στέγασης του ανοίγματος υφίστανται θλίψη κυρίως, και υπόκεινται σε μικρότερα καμπτικά φορτία σε σύγκριση με την οριζόντια δοκό. Διαμορφώνεται κατ'αυτόν τον τρόπο ένα **πολυγωνικό πλαίσιο**. Εάν το πολυγωνικό πλαίσιο αποτελείται από «*άπειρο αριθμό απειροελάχιστων πλευρών*», τότε πρόκειται ουσιαστικά για **τόξο**.²² Ελαχιστοποίηση της ώθησης μπορεί να επιτευχθεί κατασκευάζοντας το τόξο από όσο γίνεται ελαφρύτερο υλικό και αυξάνοντας το ύψος του.²³



Ενδιαφέρον παρουσιάζει η διαφορετική μορφολογία των τόξων από οπλισμένο σκυρόδεμα ανάλογα με το αν είναι **πακτωμένα, διαρθρωτά ή τριαρθρωτά**. Το πακτωμένο τόξο απαιτεί μεγαλύτερο πλάτος στα σημεία στήριξης, στην βάση του. Το διαρθρωτό έχει σφηνοειδείς απολήξεις, μιας και στις αρθρώσεις μηδενίζονται οι ροπές, και έχει καλύτερη συμπεριφορά στις ροπές κάμψης σε σχέση με το τριαρθρωτό. Το τριαρθρωτό, τέλος, αποτελείται από δύο μέλη που εμφανίζουν μέγιστη διατομή στο μέσον τους, και ελάχιστη διατομή στα άκρα τους, στις αρθρώσεις. Η στατική λειτουργία σχετίζεται άμεσα με την μορφολογία του τόξου.²⁴

21 *ibid.*, σελ.200

22 *ibid.*, σελ.220

23 *ibid.*, σελ.224

24 *Η Αισθητική της Αρχιτεκτονικής του Μπετόν Αρμέ*, Παναγιώτης Α. Μιχαήλ, σελ.45

Για τον σχεδιασμό ενός τόξου που να υφίσταται εξολοκλήρου θλιπτικά φορτία, απαραίτητη είναι η μελέτη της **σχοινοειδούς καμπύλης**, δηλαδή της καμπύλης που σχηματίζεται φορτίζοντας ένα αντίστοιχο του ανοίγματος, ανεστραμμένο καλώδιο, με το τελικό φορτίο κατανεμημένο ομοιόμορφα σε «άπειρο αριθμό από απειροελάχιστα φορτία»²⁵.

Η ακριβής γεωμετρία της σχοινοειδούς καμπύλης μπορεί να προσδιοριστεί φορτίζοντας ένα καλώδιο με τα ίδια φορτία, και αντιστρέφοντας το σχήμα που προκύπτει.²⁶

Πρέπει να σημειωθεί ότι ένα ορισμένο τόξο είναι το σχοινοειδές για ένα συγκεκριμένο σύνολο φορτίων, δηλαδή για αυτήν ακριβώς την φόρτιση καταπονείται αποκλειστικά σε θλίψη, ενώ για όλες τις υπόλοιπες φορτίσεις υφίσταται και θλιπτική αλλά και καμπτική καταπόνηση.²⁷

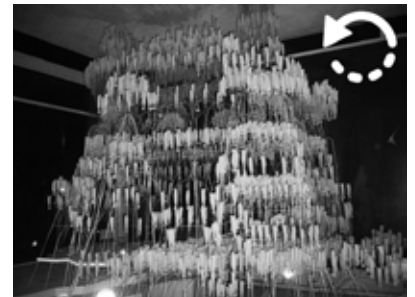
Κατά την υλοποίηση στεγάσεων που έχουν προκύψει από την μελέτη της σχοινοειδούς καμπύλης, ιδιαίτερη προσοχή δίνεται ώστε το ίδιο βάρος της στέγης να υπερβαίνει πιθανές, δημιουργούμενες από ανεμοπιέσεις, κατακόρυφες δυνάμεις, που θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε αποκόλλησή της.²⁸

25 *Η Φέρουσα Κατασκευή στην Αρχιτεκτονική*, M.Salvadori-R.Heller, σελ.118

26 *ibid.*, σελ.220

27 *ibid.*, σελ.222

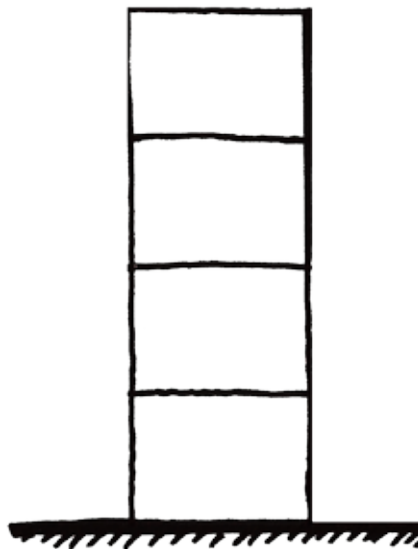
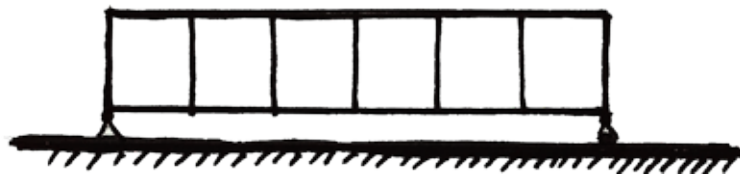
28 *Structure as architecture*, Andrew W.Charleson, σελ.26



Πρόπλασμα του Gaudi για τον ναό Sagrada Familia: η μορφή βασίστηκε στην μελέτη της σχοινοειδούς καμπύλης, αναρτώντας βαρίδια και αντιστρέφοντας στην συνέχεια το σχήμα, ώστε να προκύψει μια καθαρά θλιβόμενη πέτρινη κατασκευή

Ως **πολλαπλό πλαίσιο** ορίζεται μια δοκός εδραζόμενη σε τρία ή παραπάνω υποστυλώματα, ενώ ένα πολλαπλό πλαίσιο με άκαμπτη συνδετήρια δοκό και στην κάτω παρειά του, ένα κλειστό δηλαδή στοιχείο, ονομάζεται **δικτύωμα Vierendeel**.

Τα δικτύωμα Vierendeel χρησιμοποιούνται στην γεφυροποιία, αλλά και σε κτίρια με μεγάλα ανοίγματα.²⁹

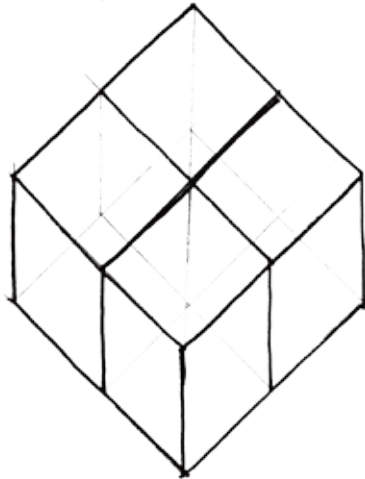


Πολλά απλά πλαίσια τοποθετημένα το ένα πάνω στο άλλο διαμορφώνουν ένα **πολυώροφο πλαίσιο**. Χαρακτηριστικές κατασκευές από πολυώροφα πλαίσια (με προσθήκη επιπλέον στοιχείων ακαμψίας, όπως πυρήνες τοιχείων από σκυρόδεμα) είναι οι ουρανοξύστες.³⁰

²⁹ Η Φέρουσα Κατασκευή στην Αρχιτεκτονική, M.Salvadori-R.Heller, σελ.208-210

³⁰ *ibid.*, σελ.214

Ακόμη, μια κατασκευή όπου παράλληλα πλαίσια συνδέονται με οριζόντιες δοκούς, δημιουργώντας ένα πλέγμα στον χώρο, αποτελεί ένα **τριδιάστατο πλαίσιο**, ικανό να παραλάβει αποτελεσματικά οριζόντιες φορτίσεις, από όποια διεύθυνση κι αν αυτές επενεργούν στην κατασκευή.³¹



Τα επιπεδόμορφα στοιχεία που στην πλειονότητα των περιπτώσεων διαμορφώνουν το περίβλημα δεν έχουν φέροντα ρόλο, εντούτοις ενισχύουν την ακαμψία της κατασκευής και την λειτουργία της ως κιβωτιοειδούς συνόλου. Εναλλακτικά, διαγώνια γραμμικά στοιχεία ενισχύουν την ακαμψία των πλαισίων στις δύο διευθύνσεις της κατασκευής³² (μιας και από τα πλαίσια προκύπτουν συνήθως ορθογώνια κτίρια).

Υλικά όπως το οπλισμένο σκυρόδεμα, ο χάλυβας, αλλά και η ξυλεία στις διάφορες μορφές της χρησιμοποιούνται για την κατασκευή πλαισίων. Η χρήση δικτυωμάτων αντί για συμπαγή δοκό βελτιώνει την συμπεριφορά του πλαισίου απέναντι στα φορτία.

Τα **πλαίσια** παρουσιάζουν το πλεονέκτημα ότι μπορούν να στεγάσουν μεγαλύτερους χώρους, σε σχέση με το κατασκευαστικό σύστημα της φέρουσας τοιχοποιίας.³³ Ο φέρων οργανισμός αποτελείται από γραμμικά στοιχεία, υποστηλώματα και δοκούς, ενώ πλάκες διαμορφώνουν τα οριζόντια επίπεδα.

31 *ibid.*, σελ.212

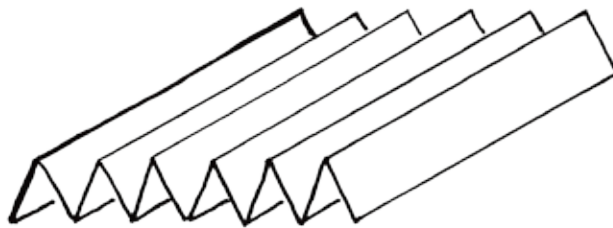
32 *ibid.*, σελ.206

33 *Structure and Architecture*, Angus J. MacDonald, σελ.50

μυκητοειδείς πλάκες,
αποθήκη Giesshubel, Ζυρίχη
μηχανικός: Robert Maillart



Οι **πλάκες**, μονολιθικοί επιπεδόμορφοι φορείς, εδράζονται πάνω στα γραμμικά στοιχεία, τις δοκούς. Είναι δυνατόν όμως να εδράζονται και σημειακά, απευθείας πάνω στα υποστυλώματα: πρόκειται για τις **μυκητοειδείς** πλάκες. Χαρακτηριστική της μορφολογίας των μυκητοειδών πλακών είναι η *χωνοειδής απόληξη*³⁴ των υποστυλωμάτων στην άνω παρειά τους, όπου συνέρχονται με την πλάκα.



Ακόμη, οι πλάκες από οπλισμένο σκυρόδεμα μπορούν να είναι **πτυχωτές**. Οι πτυχωτές πλάκες δύνανται να στεγάζουν αρκετά μεγάλα ανοίγματα (30 μέτρων) μιας και παρουσιάζουν καλύτερη συμπεριφορά ως προς τις καμπτικές ροπές, σε σχέση με τις επίπεδες, διότι οι νευρώσεις που δημιουργούνται αυξάνουν την ροπή αδράνειάς τους.³⁵

Ένας επιπλέον τύπος δισδιάστατου φορέα είναι η **εσχάρα**. Η ορθογωνική εσχάρα αποτελείται από δύο σειρές παράλληλων δοκών, κάθετων μεταξύ τους, διευθύνσεων³⁶.

Αν οι σειρές συνέρχονται υπό τυχαία γωνία, τότε πρόκειται για λοξή εσχάρα. Η λοξή εσχάρα παρουσιάζει το πλεονέκτημα αυξημένης ακαμψίας στις γωνιακές περιοχές της, δεδομένου του μικρού μήκους των εκεί δοκών. Θεωρείται πιο κατάλληλη από μια ορθογωνική εσχάρα για την στέγαση ενός ορθογωνικής κάτοψης χώρου, με μεγάλο λόγο πλευρών.³⁷

Ένα **χωροδικτύωμα** θα μπορούσε να θεωρηθεί ως μια

34 Η Αισθητική της Αρχιτεκτονικής του Μπετόν Αρμέ, Παναγιώτης Α. Μιχαήλ, σελ.55

35 Η Φέρουσα Κατασκευή στην Αρχιτεκτονική, M.Salvadori-R.Heller, σελ.308

36 ibid., σελ.270

37 ibid., σελ.276



ορθογωνική εσχάρα, όπου οι δοκοί έχουν αντικατασταθεί από δικτυώματα.

Προκειμένου επιτευχθεί εξοικονόμηση υλικού και μείωση του όγκου με παράλληλη βελτίωση της απόδοσης, είναι δυνατόν να κατασκευαστεί μια πλάκα με νευρώσεις, μια **διαδοκιδωτή** πλάκα. Στην Αίθουσα Τέχνης του Πανεπιστημίου Yale ο Louis Kahn σχεδίασε μια οροφή αυτού του τύπου, που με την πάροδο του χρόνου έγινε ευρέως αναγνωρίσιμη χάρη στον ευρηματικό σχεδιασμό του αρχιτέκτονα.

2. γεωμετρίες που αξιοποιούν σε μεγάλο μέρος τις ιδιότητες του σχήματος για την μεταφορά των φορτίων

Συνήθως τέτοιου τύπου κατασκευές επιλέγονται όταν υπάρχουν αυξημένες απαιτήσεις *αποδοτικότητας (structural efficiency)* του φέροντος οργανισμού. Οι απαιτήσεις αυτές μπορεί να αφορούν είτε την στέγαση ενός εξαιρετικά μεγάλου ανοίγματος, είτε την δημιουργία μιας μικρού σχετικά βάρους, «ελαφριάς» σε σχέση με τα φορτία που καλείται να φέρει, κατασκευής.³⁸

Γενικά χαρακτηρίζονται από γεωμετρίες πιο σύνθετες από της δοκού επί στύλου, που δεν μπορούν να γίνουν εξολοκλήρου αντιληπτές από δισδιάστατη απεικόνιση, αλλά μόνο σε τρεις

³⁸ *Structure and Architecture*, Angus J. MacDonald, σελ.57

Πρόπλασμα της στατικής μελέτης και αεροφωτογραφία του Ολυμπιακού Σταδίου του Μονάχου.



διαστάσεις. Επίσης, πολύ συχνά, η μορφή του φέροντος οργανισμού αυτού του τύπου λειτουργεί ως στέγαση και περίβλημα του κτιρίου, καθορίζοντας στον μέγιστο βαθμό την μορφολογία του. Δηλαδή, στις περισσότερες περιπτώσεις, το συνολικό σχήμα του κτιρίου, η μορφή του, είναι αυτή της φέρουσας δομής.

Οι δομές αυτές, που συχνά εκτείνονται στον χώρο σε σύνθετες γεωμετρίες, παρουσιάζουν μια στατική λειτουργία που, σε γενικές γραμμές, δεν μπορεί εύκολα να γίνει αντιληπτή. Δηλαδή, η κατανόηση, η σύλληψη και ο σχεδιασμός τους προαπαιτεί κάποια βασική εξοικείωση και εκπαίδευση.

Στην κατηγορία αυτή εντάσσονται κελύφη, μεμβράνες και καλωδιωτές κατασκευές (συνδυασμένες ή μη μεταξύ τους). Ακόμη, τα καμπύλα χωροδικτυώματα, όπως μπορούν να χαρακτηριστούν οι γεωδαιτικοί θόλοι, οι φορείς τύπου *gridshell*³⁹ και οι λεγόμενες «*tensegrity*»⁴⁰ κατασκευές εντάσσονται στην κατηγορία αυτή.

Οι κατασκευές αυτού του τύπου μπορούν να συνδυάζουν διαφορετικού τύπου στοιχεία, αφού η σύλληψη της λειτουργίας τους στηρίζεται στην αποτελεσματική διαχείριση εφελκυστικών και θλιπτικών δυνάμεων.⁴¹

Το σχήμα των κατασκευών αυτού του τύπου πρέπει να είναι τέτοιο ώστε ο φέρων οργανισμός να υποβάλλεται σχεδόν μόνο σε θλίψη ή εφελκυσμό, ανάλογα με το υλικό, κι όχι σε κάμψη ή διάτμηση.

Ως προς το σχήμα, οι φορείς της κατηγορίας αυτής είναι συνήθως καμπύλοι, παίρνοντας σχήμα τόξου κύκλου, παραβολικού τόξου, ή και υπερβολικού παραβολοειδούς, με διπλή καμπυλότητα.

Καλωδιωτές κατασκευές

Τα χαλύβδινα καλώδια έχουν ευρεία εφαρμογή στις οροφές, χάρη στην μεγάλη τους αντοχή σε **εφελκυσμό**, και την δυνατότητά τους να στεγάσουν σημαντικά ανοίγματα. Ιδιαίτερη σχεδιαστική μέριμνα απαιτείται για την εξασφάλιση της απαραίτητης ακαμψίας, ώστε να μην ταλαντώνεται η κατασκευή λόγω ανεμοπιέσεων ή λόγω της δημιουργούμενης υποπίεσης στο εσωτερικό του χώρου.

Μια από τις πιο γνωστές καλωδιωτές κατασκευές είναι το

³⁹ δεν υπάρχει ακριβής μετάφραση στα ελληνικά, ίσως οι όροι «κελυφωτή εσχάρα» ή

«πλεγματικός επιφανειακός φορέας» να είναι οι πιο ακριβείς

⁴⁰ δεν υπάρχει ακριβής μετάφραση του όρου στα Ελληνικά

⁴¹ *Structure and Architecture*, Angus J. MacDonald, σελ.57

Ολυμπιακό Στάδιο του Μονάχου του Γερμανού μηχανικού Frei Otto, σε σχέδιο του αρχιτεκτονικού γραφείου Benisch & Partner. Στεγάζει συνολική επιφάνεια 75.000m², ενώ η φέρουσα ικανότητα της οροφής είναι περί τους 5.000 τόνους.⁴²

Μεμβράνες

Η μεμβράνη είναι ένα φέρον στοιχείο με μεγάλη αντοχή σε **εφελκυσμό**, ενώ έχει πάχος τόσο μικρό, ώστε να μην μπορούν να αναπτυχθούν αξιοσημείωτες καμπτικές ή διατμητικές τάσεις πάνω του.

Η γεωμετρία μιας μεμβράνης περιγράφεται από δύο χαρακτηριστικά της: την καμπυλότητα και την μεταβολή της κλίσης ανά μονάδα μήκους.⁴³

Κάθε μεμβράνη εμφανίζει μέγιστη και ελάχιστη καμπυλότητα, στις κύριες διευθύνσεις, που είναι κάθετες μεταξύ τους κι όπου μηδενίζεται η συστροφή. Αυτές αποτελούν σταθερό γεωμετρικό χαρακτηριστικό της μεμβράνης, σε αντίθεση με τις διευθύνσεις κυρίων τάσεων –όπου εμφανίζονται οι μέγιστες και ελάχιστες εφελκυστικές τάσεις, επίσης κάθετες μεταξύ τους, που εξαρτώνται από το σχήμα της, τις επιβαλλόμενες φορτίσεις αλλά και τον τρόπο στήριξής της.⁴⁴

Προκειμένου να εξασφαλιστεί η μεμβρανική λειτουργία, πρέπει σε κάθε σημείο του υλικού οι τομές κατά δύο κάθετες διευθύνσεις να έχουν αντίθετη καμπυλότητα, να πρόκειται δηλαδή για αντικλαστική επιφάνεια.⁴⁵

Δεν παρουσιάζουν αρκετά μεγάλη ακαμψία και το σχήμα τους μεταβάλλεται ανάλογα με το επιβαλλόμενο φορτίο ώστε να αναπτύσσονται μόνον εφελκυστικές δυνάμεις. Για τον λόγο αυτό οι κατασκευές αυτές προεντείνονται, και συχνά συνδυάζονται με καλώδια ή άλλα στοιχεία που μπορούν να εξασφαλίσουν τον επιθυμητό βαθμό ακαμψίας.

Μια ιδιαίτερη κατηγορία μεμβρανών είναι οι **φουσκωτές κατασκευές**, όπου η απαραίτητα για την μεμβρανική λειτουργία προένταση εξασφαλίζεται αποκλειστικά από μια εσωτερική πίεση⁴⁶, με την παροχή αέρα μέσω αντλιών.

Το περίπτερο των ΗΠΑ στην Έκθεση της Οσάκα (1970), σχέδιο των γραφείων Davis – Brody και deHarak, Chermayeff & Geismar σε συνεργασία με το γραφείο μηχανικών Geiger-Berger Associates, αποτελεί τυπικό παράδειγμα φουσκωτής κατασκευής. Η ελλειπτική οροφή, διαστάσεων 18x136m,

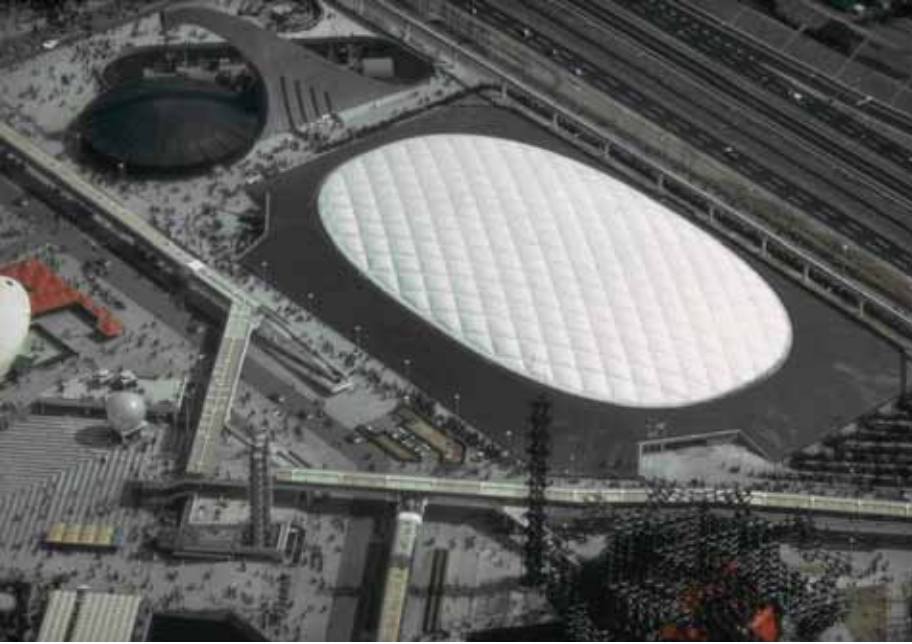
42 *The Work of Frei Otto*, Ludwig Glaeser, σελ.40

43 *Η Φέρουσα Κατασκευή στην Αρχιτεκτονική*, M.Salvadori-R.Heller, σελ.322

44 *ibid.*, σελ.330

45 *An Engineer Imagines*, Peter Rice, σελ.96

46 *Η Φέρουσα Κατασκευή στην Αρχιτεκτονική*, M.Salvadori-R.Heller, σελ.338



Το περίπτερο των ΗΠΑ στην Έκθεση της Οσάκα, 1970.
κάτω: μεμβράνη στο αίθριο του κτιρίου Αβέρωφ, Σχολή
Αρχιτεκτόνων Μηχανικών ΕΜΠ.



Cement Hall, του μηχανικού Robert Maillart. Το περίπτερο καταδείχθηκε μετά το πέρας της Έκθεσης.



διαμορφώνεται από την αεροφερόμενη μεμβράνη, με μεταλλικά καλώδια αγκυρωμένα σε έναν θλιβόμενο δακτύλιο από οπλισμένο σκυρόδεμα, περιμετρικά της οροφής, να ενισχύουν την ακαμψία της.⁴⁷

Κελύφη

Τα κελύφη, όπως και οι μεμβράνες, αποκτούν χάρη στα γεωμετρικά τους γνωρίσματα, την μεταβολή κλίσης ανά μονάδα μήκους και την καμπυλότητα, την φέρουσα ικανότητά τους. Έχουν μικρό πάχος, με αποτέλεσμα να αναπτύσσονται αμελητέες καμπτικές τάσεις, ενώ χαρακτηριστική της λειτουργίας τους είναι η ανάπτυξη **θλιπτικών**, κατά κύριο λόγο, δυνάμεων.⁴⁸ Μπορούν να κατασκευαστούν από ξυλεία, πλαστικά υλικά ή και να είναι μεταλλικά. Οι πιο χαρακτηριστικές εφαρμογές τους, εντούτοις, είναι από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Ο προσδιορισμός της μορφής ενός κελύφους είναι δυνατόν να γίνει πειραματικά, μελετώντας μια μεμβράνη φορτιζόμενη με τα ίδια φορτία, και αναστρέφοντας το σχήμα που προκύπτει, καταλήγοντας έτσι στην δισδιάστατη αντιστοιχισμένη καμπύλη για τα δεδομένα φορτία.⁴⁹

Ιδιαίτερη αναφορά οφείλει να γίνει στο υπερβολικό παραβολοειδές, μια μορφή κελύφους που αξιοποιεί στο μέγιστο την αντοχή του υλικού κατασκευής.⁵⁰ Προκύπτει μεταφέροντας μια παραβολή με θετική καμπυλότητα πάνω σε μία υπερβολή με αρνητική καμπυλότητα, με τις δύο να ανήκουν σε κάθετα μεταξύ τους επίπεδα.⁵¹

Από τα πιο πρώιμα δείγματα κελυφών είναι το Cement Hall(1939) στην Έκθεση της Ελβετίας του Ελβετού μηχανικού Robert Maillart, με πάχος μόλις 6cm.

Gridshells

Οι φορείς αυτού του τύπου μπορούν να θεωρηθούν μια παραλλαγή των κελυφών, μιας και η φέρουσα ικανότητά τους εξαρτάται επίσης από το σχήμα τους. Αποτελούνται από γραμμικά στοιχεία, τα οποία σχηματίζουν μιας μορφής λοξή εσχάρα στον χώρο.⁵²

47 ιστοσελίδα Πανεπιστημίου Columbia, <http://www.columbia.edu/>

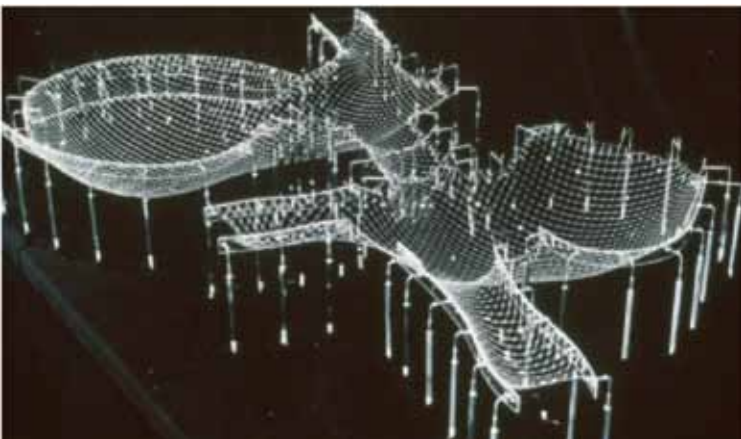
48 *Η Φέρουσα Κατασκευή στην Αρχιτεκτονική*, M.Salvadori-R.Heller, σελ.354

49 *ibid.*, σελ.352

50 *ibid.*, σελ.412

51 *ibid.*, σελ.366

52 ιστοσελίδα έκθεσης για τα κελύφη του Πανεπιστημίου Princeton, <http://shells.princeton.edu>



Μοντέλο της στατικής μελέτης, εσωτερικό και αεροφωτογραφία της Mutlihalle στο Mannheim του Frei Otto.

κάτω δεξιά: το περίπτερο της Ιαπωνίας στην Έκθεση του 2000 στο Αννόβερο. Shigeru Ban και Frei Otto.

Παράδειγμα gridshell είναι η Multihalle(1973-4) στο Mannheim της Γερμανίας, μια αίθουσα πολλαπλών χρήσεων, έργο του Frei Otto σε συνεργασία με τον Edmund "Ted" Harppold (ιδρυτή του γραφείου Buro Harppold) και την μελετητική ARUP.

Είναι κατασκευασμένη από δύο επάλληλες στρώσεις ξύλινων στοιχείων, με συνολικό πάχος λιγότερο από πενήντα εκατοστά. Σε επιλεγμένα σημεία η κατασκευή έχει ενισχυθεί, προκειμένου να μειωθεί ο κίνδυνος λυγισμού, με διαγώνιους μεταλλικούς συνδέσμους, αποτελούμενους από δύο εφελκυσόμενα καλώδια μεταξύ των οποίων παρεμβάλλεται μικρή θλιβόμενη ράβδος. Το μέγιστο άνοιγμα είναι περίπου 85m, ενώ συνολικά η επιφάνεια της κατασκευής προσεγγίζει τα 7400m².

Για τον προσδιορισμό της μορφής του κτιρίου χρησιμοποιήθηκε αρχικά αναρτημένο πρόπλασμα από αλυσίδες, που αποτέλεσε και το κοινό έδαφος εργασίας μηχανικών και αρχιτεκτόνων (Mutschler & Partners), που με περαιτέρω μελέτη, υπολογισμούς και επεξεργασία κατέληξαν στο τελικό σχέδιο.⁵³

Ένα πιο σύγχρονο δείγμα αυτού του φορέα αποτελεί το περίπτερο της Ιαπωνίας στην Έκθεση του 2000 στο Αννόβερο της Γερμανίας, του αρχιτέκτονα Shigeru Ban⁵⁴, σε συνεργασία και πάλι με τον μηχανικό Frei Otto, και με συμμετοχή του Buro Harppold στην μελέτη και τους υπολογισμούς του κτιρίου.

⁵³ ibid.

⁵⁴ <http://www.hebel.arch.ethz.ch>

Γεωδαιτικοί θόλοι

Οι γεωδαιτικοί θόλοι, μια μορφή καμπύλου χωροδικτύωματος, σχεδιάστηκαν από τον Buckminster Fuller σαν ένας συνδυασμός τριγωνικών και πενταγωνικών πλεγμάτων, αποτελούμενων από άκαμπτα γραμμικά στοιχεία ίσου μήκους.⁵⁵ Πρόκειται για κλειστά συστήματα, όπου οι δημιουργούμενες από τα επιβαλλόμενα φορτία θλιπτικές δυνάμεις παραλαμβάνονται από εφελκόμενα στοιχεία, με αποτέλεσμα το σύστημα να ισορροπεί.⁵⁶

Παράδειγμα γεωδαιτικού θόλου αποτελεί το περίπτερο των Ηνωμένων Πολιτειών στην Έκθεση του Μοντρεάλ, το 1967, σχεδιασμένο από τον Richard Buckminster Fuller. Η κατασκευή, τα $\frac{3}{4}$ μιας σφαίρας, είχε διάμετρο 76m, ύψος 41m. Χαλύβδινοι σωλήνες διαμέτρου 9cm διαμόρφωναν την φέρουσα κατασκευή, ενώ διάφανα ακρυλικά φύλλα χρησιμοποιήθηκαν για την επιδερμίδα του περιπτέρου.⁵⁷

55 *Η Φέρουσα Κατασκευή στην Αρχιτεκτονική*, M.Salvadori-R.Heller, σελ.420

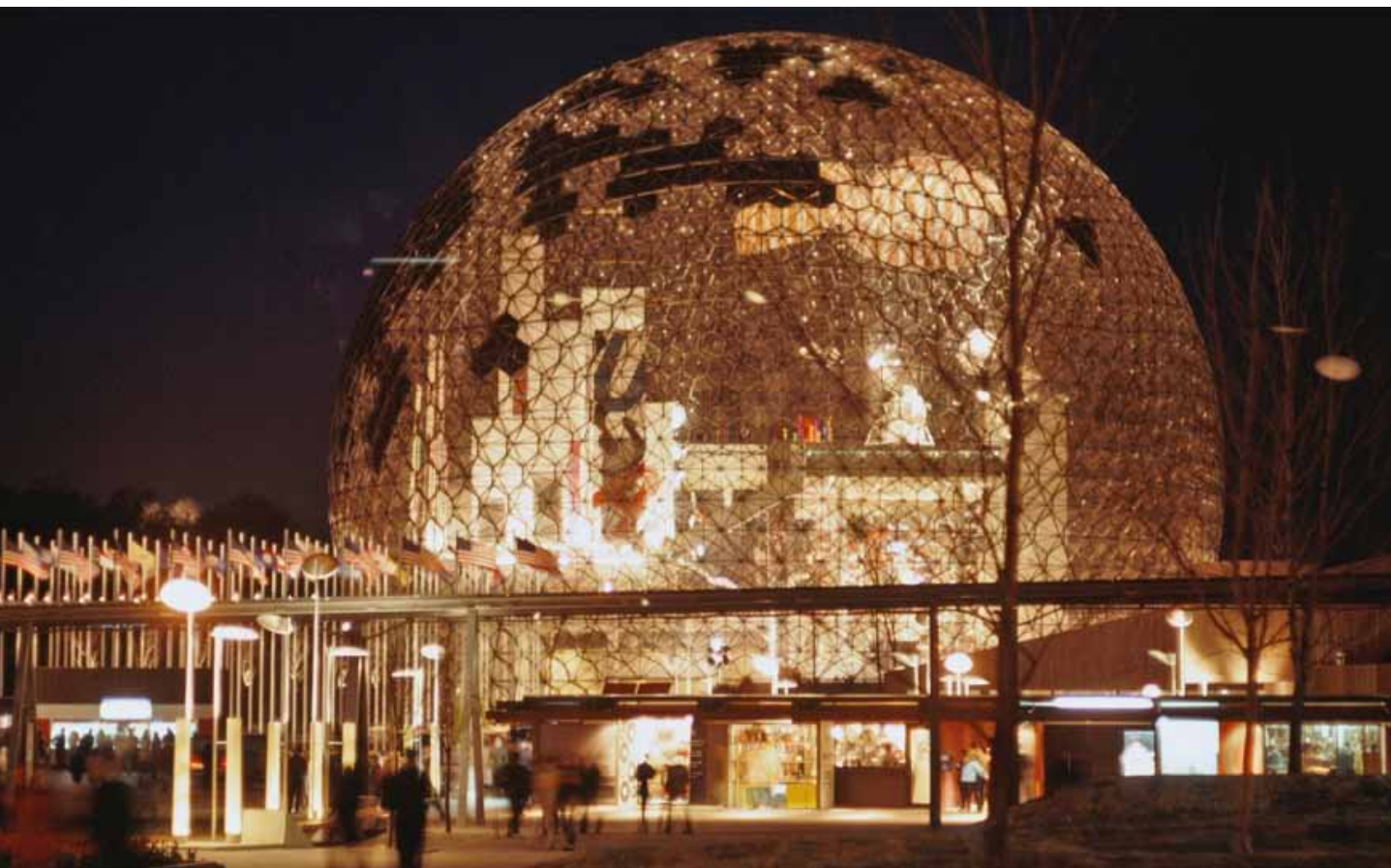
56 *Architects + Engineers = Structures*, Ivan Margolius, σελ.46

57 *ibid.*, σελ.48



πάνω: ο Richard Buckminster Fuller μέσα σε έναν γεωδαιτικό θόλο.

κάτω: το περίπτερο των Ηνωμένων Πολιτειών στην Έκθεση του Μοντρεάλ, το 1967, σε σχέδιο του ίδιου.



Tensegrity

Οι κατασκευές tensegrity (από tensional integrity, δηλαδή 'εφελκυστική ακεραιότητα'), όπως τις ονόμασε ο Buckminster Fuller, είναι συστήματα αποτελούμενα από θλιβόμενες ράβδους και εφελκυσόμενα καλώδια. Στην περίπτωση αυτή τα επιμέρους δομικά στοιχεία είναι προεντεταμένα, και βρίσκονται σε μία συνεχή αλληλεπίδραση, εξασφαλίζοντας έτσι την ευστάθεια της κατασκευής.

Μια από τις πρώτες οροφές που στηρίχθηκαν στις ιδιότητες του συγκεκριμένου τύπου φορέα για την στέγαση μεγάλων ανοιγμάτων ήταν αυτή των Ολυμπιακών Εγκαταστάσεων Ενόργανης και Ρυθμικής Γυμναστικής(1988) στην Σεούλ της Κορέας, του μηχανικού David H.Geiger. Το πρωτοποριακό στοιχείο σε αυτήν την στέγη είναι πως τα φέροντα στοιχεία δεν τοποθετήθηκαν σε τριγωνικές διατάξεις, όπως συνέβαινε με τα υπερστατικά μοντέλα που μελετούσε ο Buckminster Fuller. Αυτό μείωσε την μάζα της κατασκευής και κατέστησε την κατασκευή ισοστατική. Τα εφελκυσόμενα καλώδια τοποθετήθηκαν ακτινικά στο άνω επίπεδο, αγκυρωμένα σε έναν εφελκυσόμενο δακτύλιο στο κέντρο του κύκλου και σε έναν θλιβόμενο δακτύλιο στην περίμετρό του. Κατακόρυφες θλιβόμενες ράβδους συνδέουν το επίπεδο αυτό των καλωδίων με ένα δεύτερο επίπεδο καλωδίων οργανωμένων σε ομόκεντρους κύκλους.⁵⁸

58 ιστοσελίδα Πανεπιστημίου Columbia, <http://www.columbia.edu/>

Οι Ολυμπιακές Εγκαταστάσεις Ενόργανης και Ρυθμικής Γυμναστικής, Σεούλ, Κορέας, 1988. Η κατασκευή της στέγης κατοχυρώθηκε ως πατέντα από τον μηχανικό David H.Geiger. Αρχιτέκτονες: Space Group of Korea.

δίπλα: Η γέφυρα Kurilpa, Brisbane, Αυστραλία, 2009. Έργο των Cox Rayner Architects σε συνεργασία με το γραφείο μηχανικών ARUP



Με βάση τις αρχές αυτές σχεδιάστηκε, υπολογίστηκε και κατασκευάστηκε η γέφυρα πεζών και ποδηλατών Kurilpa(2009) στην πόλη Brisbane της Αυστραλίας, του αρχιτεκτονικού γραφείου Cox Rayner Architects σε συνεργασία με το γραφείο μηχανικών ARUP. Έχει συνολικό μήκος 470m, με μέγιστο άνοιγμα περί τα 120m⁵⁹.

Είναι η πρώτη γέφυρα που έχει συλληφθεί και υλοποιηθεί με το συγκεκριμένο κατασκευαστικό σύστημα. Τα θλιβόμενα και εφελκόμενα στοιχεία που την απαρτίζουν, με ακρίβεια υπολογισμένα ώστε να εκπληρούν τον δομικό τους ρόλο, δίνουν την εντύπωση μιας ρυθμικής τυχαιότητας.

Μια ακόμη καινοτομία της συγκεκριμένης γέφυρας είναι η μελετημένη τοποθέτηση φωτοβολταϊκών, καλύπτοντας τις ανάγκες βραδινού φωτισμού σε ποσοστό 75-100%, και καθιστώντας την σχεδόν ενεργειακά αυτοδύναμη.⁶⁰ Έχοντας κερδίσει πλήθος βραβείων σχεδιασμού, αποτελεί ένα σημείο αναφοράς για την πόλη.

59 <http://www.arup.com>

60 *ibid.*



δίπλα: από αριστερά προς τα δεξιά,
ο Ove Arup, ο Richard Buckminster
Fuller και Kenneth Cross, πρόεδρος
του RIBA (Royal Institute of British
Architects). Λονδίνο, 1958.

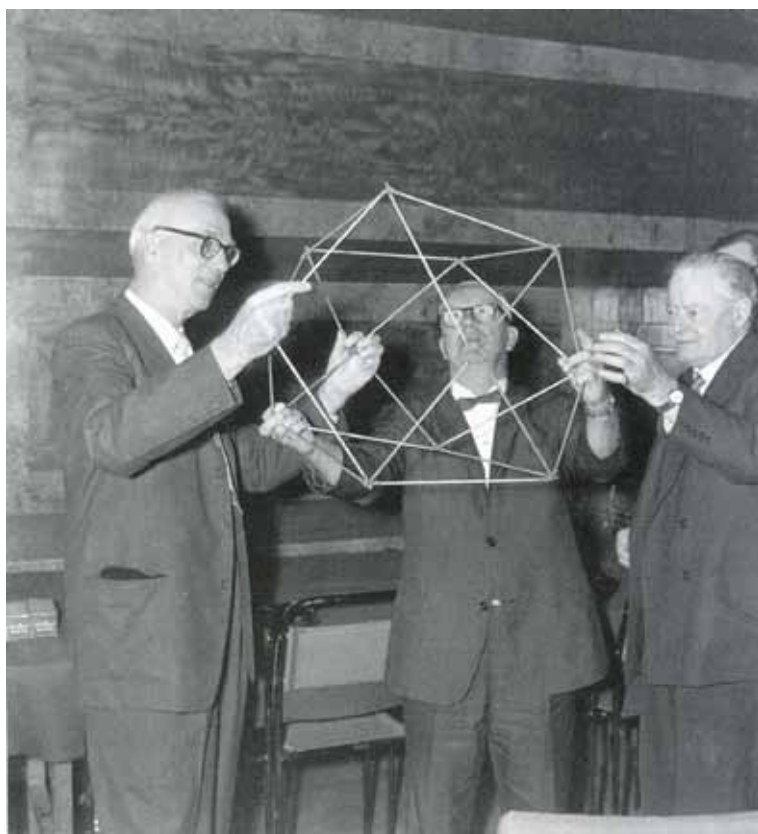
Φυσικά, πλήθος παραγόντων επηρεάζουν τις αποφάσεις που λαμβάνονται κατά την διαδικασία σχεδιασμού.

Οι οικονομικές δυνατότητες, η σχέση κόστους υλικών και κόστους εργασίας στον συγκεκριμένο τόπο όπου χτίζεται το έργο, τα διαθέσιμα υλικά και μέσα, ο βαθμός δυσκολίας κατασκευής σε συνδυασμό με την ικανότητα των συνεργείων να κατασκευάσουν το έργο, οι οικοδομικοί κανονισμοί.

Αλλά και το κατά πόσο ο πελάτης-εργοδότης θα πειστεί να χρηματοδοτήσει ένα έργο που τεχνικά και μορφολογικά ενδεχομένως να είναι πρωτοποριακό, ξεπερνώντας τις αμφιβολίες για το τελικό αποτέλεσμα και επενδύοντας στο όραμα του αρχιτέκτονα και του πολιτικού μηχανικού.

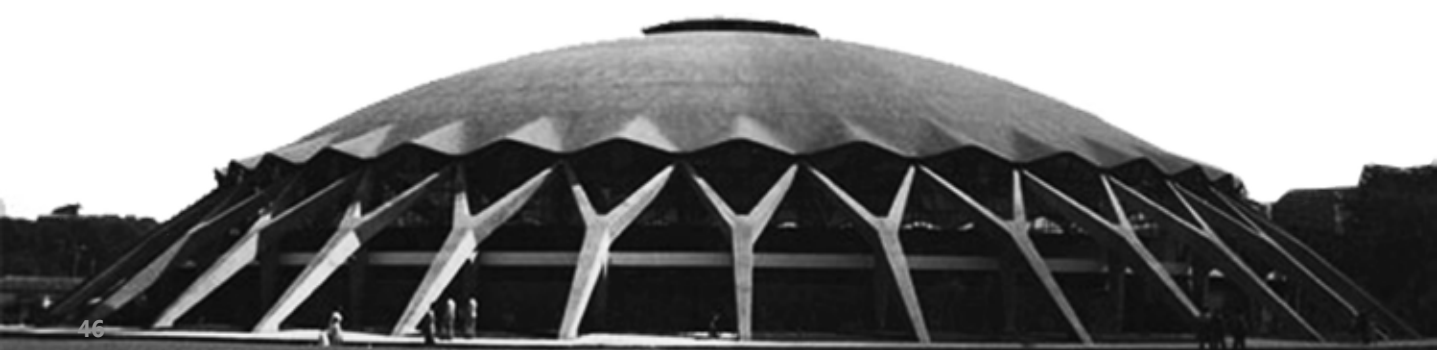
Σημαντικό είναι πως η βελτιστοποίηση της απόδοσης της κατασκευής δεν πρέπει να αποτελεί αυτοσκοπό, κι ο στόχος οφείλει να είναι ένας ικανοποιητικής απόδοσης φέρων οργανισμός που ανταποκρίνεται στις ανάγκες που οδήγησαν στην κατασκευή του.

Να είναι δηλαδή ένα ταιριαστό περιέχον για το περιεχόμενο που πρόκειται να στεγάσει, στο περιβάλλον μέσα στο οποίο θα τοποθετηθεί αυτό το δημιούργημα.



3

Η Σχέση της
Αρχιτεκτονικής
με την Κατασκευή



Στο κεφάλαιο αυτό εξετάζεται η σχέση της αρχιτεκτονικής με τον φέροντα οργανισμό. Για να κατανοηθεί και να διακριθεί σε κατηγορίες η περίπλοκη αυτή σχέση, εξετάζονται παρακάτω παραδείγματα, στα περισσότερα από τα οποία γίνεται αναφορά και στο όνομα του πολιτικού μηχανικού, μιας και η συμβολή του ήταν καθοριστική στην τελική μορφή, και σε ορισμένες περιπτώσεις και στην υλοποίηση, του κτιρίου.

Προκειμένου να εντοπιστούν οι διάφορες προσεγγίσεις, αναζητήθηκαν προηγούμενες κατηγοριοποιήσεις, που αποτέλεσαν και την βάση για την διάκριση που τελικά προτείνεται στην εργασία αυτή.

Ο **H.Seymour Howard**⁶¹, το 1966, με κριτήριο τον βαθμό στον οποίο αξιοποιούνται οι δυνατότητες του υλικού κατασκευής – δηλαδή την σχέση της αντοχής του υλικού με τα φορτία που δέχεται, καταλήγει στις εξής κατηγορίες:

1.Ελάχιστη Κατασκευή (Minimal Structure), εννοώντας τις κατασκευές εκείνες όπου γίνεται χρήση του ελάχιστου δυνατού υλικού, του οποίου γίνεται και η βέλτιστη χρήση από μηχανικής άποψης. Ιδανικά, για μια απόλυτα αποδοτική λειτουργία των φερόντων στοιχείων, ο λόγος της (δυσμενούς για την οποία έχουν υπολογιστεί τα φέροντα στοιχεία) φόρτισης προς την οριακή φόρτιση της κατασκευής ισούται με την μονάδα. Σε συνθήκες ευμενούς φόρτισης, η τιμή της αναλογίας φόρτισης/αντοχής είναι αρκετά μεγάλη και είναι περίπου η ίδια σε κάθε σημείο της κατασκευής. Όσο λιγότερο υλικό χρησιμοποιείται, τόσο πιο αποδοτική είναι η κατασκευή. Η επιδίωξη χρήσης του ελάχιστου δυνατού υλικού επηρεάζει άμεσα την μορφή. Χαρακτηριστικό της κατηγορίας αυτής είναι το Palazzetto Dello Sport, (Ρώμη, 1957) του Ιταλού πολιτικού μηχανικού Pier Luigi Nervi, σε συνεργασία με τον αρχιτέκτονα Annibale Vitellozzi (δίπλα).⁶²

2.Επαρκής Κατασκευή (Adequate Structure), χαρακτηρισμός που περιγράφει την πλειονότητα των κατασκευών. Το υλικό εδώ δεν χρησιμοποιείται αποτελεσματικά, αφού λειτουργεί κάτω από τα όρια της αντοχής του. Το γεγονός αυτό μπορεί να οφείλεται σε έλλειψη τεχνικών μέσων, τεχνογνωσίας των συνεργείων, περιορισμένη θεωρητική γνώση του σχεδιαστή, αλλά ακόμη και στην ίδια την μορφή και το σχήμα του κτιρίου, που να αποκλείει μορφές που κάνουν βέλτιστη χρήση του

61 *Structure, An Architect's Approach*, H.Seymour Howard Jr., σελ.8-17

62 *ibid.*, σελ.204-232

δομικού υλικού. Ακόμη, μπορεί να είναι οικονομικά ασύμφορη η επιλογή ενός πιο αποδοτικού φέροντος οργανισμού.

Σαν παράδειγμα δίνει την περίπτωση στέγασης ενός χώρου με τόξο που να ακολουθεί το σχήμα της σχινοειδούς καμπύλης για τα συγκεκριμένα φορτία και έχει βέλος το ένα τρίτο του ανοίγματος (για να γίνει χρήση του ελάχιστου δυνατού υλικού), που αυξάνει όμως σημαντικότερα τις απαιτήσεις θέρμανσης και αερισμού του κτιρίου.

Δύο υποκατηγορίες αναγνωρίζονται: ορατός φέρων οργανισμός και φέρων οργανισμός με επένδυση. Στην πρώτη περίπτωση, η φέρουσα κατασκευή αποτελεί ένα σημαντικό αρχιτεκτονικό στοιχείο ενός κτιρίου, διαμορφώνοντας επιφάνειες και υποδιαιρώντας τον χώρο σε μικρότερους όγκους που γίνονται αντιληπτοί από τον χρήστη καθώς κινείται. Χαρακτηρίζει την παρουσία των φερόντων στοιχείων για τον τρόπο που βιώνεται η αρχιτεκτονική τόσο σημαντική όσο η ύπαρξη του μέτρου για ένα ποίημα. Τα γραφεία της τράπεζας Chase Manhattan (Νέα Υόρκη, 1963) του γραφείου SOM (Skidmore, Owings and Merrill), εντάσσονται σε αυτήν την κατηγορία.⁶³

63 *ibid.*, σελ.160-203



Τα γραφεία της Chase Manhattan, του γραφείου SOM. Νέα Υόρκη, 1963.
δίπλα: αεροδρόμιο Dulles, Eero Saarinen. Πολιτεία Virginia-
ΗΠΑ, 1962.

3. Γλυπτική Κατασκευή (Formal or Sculptural Structure),

όπου τα επιμέρους στοιχεία της κατασκευής χαρακτηρίζονται από μια διάθεση υπερβολής, όπου οι μορφές σχεδιάζονται με στόχο την δημιουργία συναισθημάτων (δέους, θαυμασμού κλπ.) στους χρήστες, παρά με μια λογική αποτελεσματικής αξιοποίησης του υλικού. Ο φέρων οργανισμός επιτελεί επαρκώς την λειτουργία του, εντούτοις οι διαστάσεις και η γεωμετρία των στοιχείων επιλέγονται ανεξάρτητα από περιορισμούς υλικούς και τεχνολογίας συνεργείων, αλλά συχνά τους ξεπερνούν. Η φέρουσα κατασκευή υποτάσσεται σε μια σχεδιαστική λογική που προκύπτει από την αισθητική του συγκεκριμένου αρχιτέκτονα. Το αεροδρόμιο Dulles International Airport (πολιτεία Virginia-ΗΠΑ, 1962) του Eero Saarinen, με την χαρακτηριστική μορφή που θυμίζει αιώρα, αποτελεί δείγμα της προσέγγισης αυτής.⁶⁴

4. Επιτηδευμένη Κατασκευή (Pretentious Structure)

ή αλλιώς «η κατασκευή για την κατασκευή» όταν η πρωτοπορία ως προς την μορφή στοχεύει απλά και μόνο στο να κερδίσει την προσοχή. Μπορεί να προκύψει επίσης στην περίπτωση όπου μια γλυπτική κατασκευή (της προηγούμενης κατηγορίας) αντιγράφεται από έναν λιγότερο προικισμένο συνθέτη, ή όταν ένα κατασκευαστικά-δομικά αποδοτικό σύστημα, μιας συγκεκριμένης λογικής σχεδιασμένης για ένα συγκεκριμένο κτίριο, υιοθετείται σε κάποιο άλλο στο οποίο όμως δεν ταιριάζει, μόνο και μόνο για να ακολουθηθεί κάποια «μόδα». Ο Seymour Howard θεωρεί την επιτήδευση ένα από τα πιο

64 *ibid.*, σελ.234-269



Ο Τερματικός του Διεθνούς Σιδηδρομικού
Σταθμού Waterloo, Λονδίνο



ναός Padre Pio, San Giovanni Rotondo



διαδεδομένα ελαττώματα της σύγχρονης του αρχιτεκτονικής δημιουργίας, που στοχεύει στην προβολή είτε του πελάτη, είτε του αρχιτέκτονα, είτε του πολιτικού μηχανικού. Ισχυρίζεται πως ένα κτίριο μπορεί να καταταγεί σε αυτήν ή στην προηγούμενη κατηγορία, ανάλογα με το ποιος το κρίνει. Αναγνωρίζει πως τα κτίρια, έχοντας έναν δικό τους χαρακτήρα, όπως οι άνθρωποι και τα ζώα, κρίνονται τελικά με βάση έναν συνδυασμό λογικών και μη κριτηρίων, ενώ αποφεύγει να αναφερθεί σε κάποιο συγκεκριμένο έργο ως παράδειγμα της κατηγορίας αυτής.

Σε μια πιο σύγχρονη προσέγγιση, η **Sabrina Leon**,⁶⁵ δηλώνει πως η βιωσιμότητα μιας αρχιτεκτονικής ιδέας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό στον σχεδιασμό της φέρουσας κατασκευής, ανεξάρτητα από την αξιολόγησή της σε ένα πλαίσιο αισθητικής και συναισθημάτων. Εντούτοις, αναγνωρίζει ότι ο βαθμός στον οποίο η αισθητική της κατασκευής θεωρείται ένα χαρακτηριστικό έμφυτο στην δημιουργία «όμορφης» αρχιτεκτονικής εξακολουθεί να αποτελεί πεδίο διαφωνίας.

Διακρίνει τις εξής κατηγορίες όσον αφορά την σχέση φέρουσας δομής και αρχιτεκτονικής:

1. Διακοσμητική Κατασκευή (Ornamentation of Structure).

Στην κατηγορία αυτή εντάσσονται κατασκευές όπου η μορφή προκύπτει από την έκθεση των φερόντων στοιχείων, με ελάχιστες πλευρές του σχεδιασμού να επηρεάζονται από κριτήρια οπτικού εντυπωσιασμού. Κυριαρχεί μια τεκτονική αντίληψη της αρχιτεκτονικής, και η λογική με την οποία συντίθενται οι μορφές αποτελεί την έκφραση της τεχνολογίας της εποχής. Δεν γίνεται προσπάθεια να να αποκρυφθεί η κατασκευή ή να υιοθετηθούν μορφές που δεν μπορούν να εκφραστούν από τα διαθέσιμα υλικά. Όλα σχεδόν τα ορατά στοιχεία της σύνθεσης έχουν ρόλο δομικό και η παρουσία τους είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την τεχνολογία κατασκευής του κτιρίου.

Σαν παράδειγμα δίνεται ο Τερματικός του Διεθνούς Σιδηδρομικού Σταθμού Waterloo στο Λονδίνο, από το αρχιτεκτονικό γραφείο Nicholas Grimshaw and Partners σε συνεργασία με το γραφείο πολιτικών μηχανικών Anthony Hunt Associates.

2. Η Κατασκευή ως Διακόσμηση (Structure as Ornament).

Η κατηγορία αυτή αναφέρεται σε μια διαδικασία σχεδιασμού που υποκινείται περισσότερο από επιδιώξεις οπτικής καλαισθησίας, παρά επίλυσης τεχνικών ζητημάτων. Επικεντρώνεται κυρίως στο πώς φαίνονται τα δομικά στοιχεία, σε μια προσπάθεια να

⁶⁵ *Interdisciplinary Design*, σελ.41-47

αναδειχθούν και να κυριαρχήσουν, οπτικά, στην αρχιτεκτονική έκφραση. Η προσέγγιση αυτή υπερτονίζει την κατασκευή, προβάλλοντας μια εικόνα τεχνικής υπέρβασης. Διαφέρει από την προηγούμενη κατηγορία ως προς το ότι οι φέροντες οργανισμοί που προκύπτουν τελικά δεν είναι οι βέλτιστοι από τεχνικής άποψης, έχοντας εξαρχής σχεδιαστεί για λόγους αρχιτεκτονικής έκφρασης, πέρα από τους τεχνικούς. Η χρήση της κατασκευής ως διακόσμησης, στο πλαίσιο της πρόθεσης υπερπροβολής της σαν αρχιτεκτονικό στοιχείο, δημιουργεί συχνά πρόσθετα τεχνικά ζητήματα. Αναπόφευκτα, τα ζητήματα αυτά οδηγούν σε αναπροσαρμογή της αρχικής ιδέας. Σαν παράδειγμα δίνεται ο μικρός ναός Padre Pio στο San Giovanni Rotondo του Renzo Piano.

3. Η Κατασκευή ως Αρχιτεκτονική (Structure as Architecture).

Στην κατηγορία αυτή, βασικές αποφάσεις σχετικά με την μορφή υποκινούνται από αιτίες που αφορούν την απόδοση του φέροντος οργανισμού. Τα κτίρια αυτής της κατηγορίας προσεγγίζουν συχνά το μέγιστο της αντοχής των υλικών και των τεχνικών δυνατοτήτων της εποχής τους. Τα κτίρια που στεγάζουν μεγάλα ανοίγματα (παραδείγματα δίνονται τα κτίρια του Felix Candela, του Frei Otto και του Pier Luigi Nervi), τα πολύ ψηλά κτίρια (όπως ο ουρανοξύστης Hearst του Norman Foster στην Νέα Υόρκη) και τα προσωρινά-λυόμενα (χαρακτηριστικό το μεταφερόμενο κτίριο εκθέσεων που σχεδίασε για την IBM ο Renzo Piano) κτίρια εντάσσονται στην κατηγορία αυτή.

Hearst Tower
Νέα Υόρκη



Λυόμενο κτίριο
εκθέσεων της IBM



4. Η Κατασκευή σαν Μέσο Παραγωγής της Μορφής (Structure as Form Generator). Ο χαρακτηρισμός αναφέρεται σε έργα όπου οι σχετικές με την στατική λειτουργία απαιτήσεις μπορούν να επηρεάσουν την μορφή, ανεξάρτητα από το αν ο ίδιος ο φέρων οργανισμός είναι φανερός ή όχι. Η επιλογή του τύπου του φέροντος οργανισμού σχετίζεται άμεσα με την κλίμακα του κτιρίου. Παρότι η κατασκευή μπορεί να μην εκφράζεται, ο σχεδιασμός λαμβάνει υπόψιν τις ιδιότητες, απαιτήσεις και τους περιορισμούς, σαν βασικό κομμάτι του αρχιτεκτονικού λεξιλογίου. Έργα του Le Corbusier, όπως η La Tourette και η Villa Savoie αποτελούν χαρακτηριστικές περιπτώσεις.



Μονή Sainte
Marie de La Tourette

5. Η Κατασκευή Αγνοείται (Structure Ignored). Η μορφή πλάθεται χωρίς να λαμβάνονται υπόψιν τεχνικά ζητήματα. Η συμμετοχή του υπολογιστή στον σχεδιασμό κατέστησε δυνατό τον υπολογισμό και την κατασκευή κτιρίων που σχεδιάστηκαν σε αυτήν την λογική διερεύνησης της μορφής, όπως η Όπερα του Σίδνεϋ του John Utzon και το Μουσείο Guggenheim στο Bilbao του Frank Gehry.



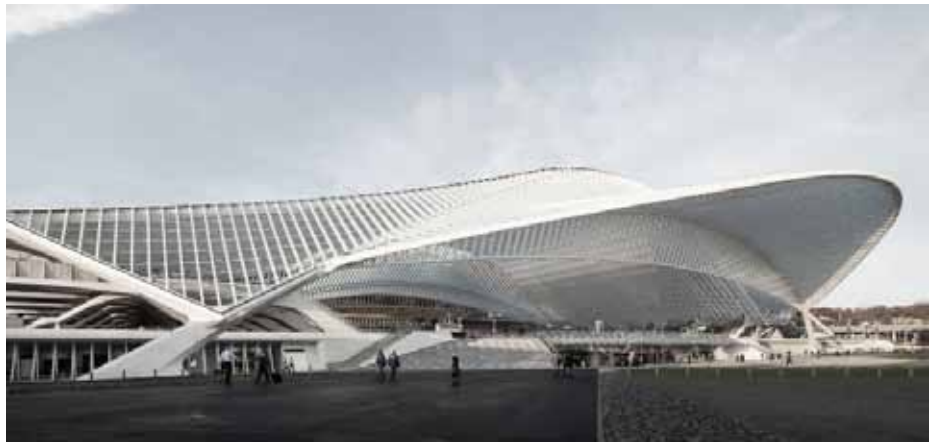
Μουσείο Guggenheim
Bilbao



Η Όπερα του Σίδνεϋ



Γραφεία Renault, Swindon



Σταθμό τρένου Guillemins, Liege

6. Η Συμβολική Λειτουργία της Κατασκευής (Structure Symbolized). Στην περίπτωση αυτή δίνεται έμφαση στην εμφάνιση, την οπτική πρόσληψη της κατασκευής. Το αρχιτεκτονικό λεξιλόγιο που επιλέγεται στοχεύει να τονίσει την ιδέα της προόδου και της προηγμένης τεχνολογίας, των οποίων επίτευγμα αποτελεί το κτίριο. Ο αρχιτέκτονας δανείζεται στοιχεία μορφολογικά και τεχνικά από άλλα επιστημονικά πεδία, όπως της αεροναυπηγικής, της διαστημικής τεχνολογίας και του σχεδιασμού αυτοκινήτων. Η απόδοση του φέροντος οργανισμού είναι δευτερεύουσας σημασίας, με την πλειοψηφία των σχεδιαστικών αποφάσεων να καθοδηγούνται από την θέληση να προβληθεί μια εικόνα νεωτερικότητας και τεχνικών κατακτήσεων. Τα γραφεία της Renault στο Swindon (Ηνωμένο Βασίλειο) του Norman Foster είναι τυπικά της προσέγγισης αυτής.

7. Κατασκευή και Αρχιτεκτονική Μορφολογικά Ενιαία (Structure and Architecture as Synthesized Forms). Εδώ κατατάσσονται κτίρια στα οποία ο φέρων οργανισμός καθορίζει τόσο την αρχιτεκτονική μορφή όσο και το περίβλημα του κτιρίου. Κελύφη, μεμβράνες, τόξα, πλαίσια, φέροντα τοιχεία, είναι στοιχεία που καθορίζουν την μορφή του έργου, φέροντας και αποτελώντας ταυτόχρονα το περίβλημά του.

8. Κατασκευή και Αρχιτεκτονική Μορφολογικά σε Αντίθεση (Structure and Architecture as Contrasting Forms). Η κατηγορία αυτή περιγράφει κτίρια όπου παρουσιάζεται πλήρης αντίθεση μεταξύ των στοιχείων της κατασκευής και εκείνων του αρχιτεκτονικού λεξιλογίου: γεωμετρία, υλικό, κλίμακα βρίσκονται σε σχέσεις αντιστικτικές. Συνήθως τα έργα αυτού του τύπου προκαλούν έκπληξη, καθώς η φέρουσα δομή δεν μπορεί να γίνει αντιληπτή μέσω της παρατήρησης της αρχιτεκτονικής μορφής. Στον σταθμό τρένου Guillemins της βέλγικης πόλης Liege, του Santiago Calatrava, τα μεγάλα μεγέθους τόξα κυριαρχούν στον χώρο, δημιουργώντας την ψευδαίσθηση πως στηρίζουν τα τμήματα της οροφής. Στην πραγματικότητα, αυτά εδράζονται σε ένα σύστημα χαλύβδινων δικτυωμάτων που η Leon παρομοιάζει με δαντέλα.⁶⁶

66 *ibid.*, σελ.47

Συνοψίζοντας, η πρώτη κατηγοριοποίηση εστιάζει κυρίως στην αποδοτικότητα, από μηχανικής άποψης, του υλικού, ενώ η δεύτερη, πολύ αναλυτικά, στις διαφορετικές σχέσεις που μπορούν να υπάρχουν, μορφοπλαστικά κυρίως.

Η διάλεξη αυτή επικεντρώνεται στα κτίρια όπου το κατασκευαστικό σύστημα και τα στοιχεία του είναι στο μεγαλύτερο μέρος τους φανερά, και αποτελούν συνδυασμένα κομμάτι του αρχιτεκτονικού λεξιλογίου του κτιρίου.

Επομένως, δεν απασχολεί τόσο το τι θέλει να δηλώσει ο φέρων οργανισμός κι αν υπάρχει κάποια συμβολική χρήση των στοιχείων του, όπως αναλύθηκε παραπάνω, αλλά το κατά πόσο ενυπήρχε στην αρχική σύλληψη του αρχιτέκτονα-σχεδιαστή μια συγκεκριμένη ιδέα για το τι θα είναι και πώς θα είναι η φέρουσα κατασκευή. Εάν δηλαδή ξεκίνησε από μια πρόθεση βέλτιστης αξιοποίησης των δυνατοτήτων του υλικού, από μια διάθεση υπερβολής που ενδεχομένως να δυσκόλεψε τον υπολογισμό και την κατασκευή λόγω της μη ορθολογικής αφετηρίας της συνθετικής σκέψης, ή αν ακολούθησε μια πιο μετριοπαθή προσέγγιση, όπου, αν και σε άμεση σχέση, φέρων οργανισμός και αρχιτεκτονική έκφραση ακολούθησαν ξεχωριστούς, παράλληλους, δρόμους.

Προτεινόμενη διάκριση σε κατηγορίες

Λαμβάνοντας υπόψιν τις παραπάνω κατηγοριοποιήσεις, και με φέροντα οργανισμό και αρχιτεκτονικό σχεδιασμό να αποτελούν μια και αδιάσπαστη ενότητα από την αρχή της συνθετικής διαδικασίας, διακρίνονται οι εξής εκφάνσεις της σχέσης αυτής:

- i. Αρχιτεκτονική που ωθεί στα άκρα την τεχνική και το υλικό, αξιοποιώντας στο μέγιστο δυνατό τις ιδιότητές του**
- ii. Αρχιτεκτονική που ξεκινά με μια πρόθεση υπερβολικής, υποβλητικής και έντονης έκφρασης του φέροντος οργανισμού**
- iii. Αρχιτεκτονική που λαμβάνει υπόψιν το κατασκευαστικό σύστημα, εκφράζεται μαζί αλλά και πέρα από αυτό**

Στην πρώτη κατηγορία θα μπορούσε ενδεχομένως να εντοπιστεί μια αναπόσπαστη σχέση στηρίξεων-στέγασης-περιβλήματος. Κτίρια μονώροφα σε πολλές περιπτώσεις, όπου δεν υπάρχει ανάγκη να φέρει η κατασκευή-στέγη άλλα φορτία πέρα από

τα ίδια βάρη και τα πιθανά φορτία από χιονόπτωση, σεισμό, ανεμοπιέσεις κλπ. Ο φέρων οργανισμός δίνει το σύνολο της μορφής του κτιρίου.

Επίσης, συνήθως στις δύο πρώτες κατηγορίες εμφανίζονται πιο γλυπτικές, καμπύλες μορφές με σύνθετες γεωμετρίες, συχνά γεωμετρίες που αξιοποιούν σε μεγάλο μέρος τις ιδιότητες του σχήματος για την μεταφορά των φορτίων, όπως αυτές αναλύθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Καθαρές γεωμετρίες αυτού του τύπου στην πρώτη περίπτωση, συνδυασμένες σε πολύπλοκα υβριδικά συστήματα στην δεύτερη.

Το ενδιαφέρον με τις δύο πρώτες προσεγγίσεις, είναι πως ο σχεδιασμός τους απαιτεί μια εξοικείωση του σχεδιαστή με βασικές έννοιες της λειτουργίας των κατασκευών. Μια θεωρητική και πρακτική γνώση από την πλευρά του αρχιτέκτονα, προκειμένου να σχεδιάσει κάτι που είναι υλοποιήσιμο, αλλά και προκειμένου να προχωρήσει χωρίς συμβιβασμούς που να αλλοιώνουν ριζικά τον αρχικό σχεδιασμό, σε συνεργασία πάντοτε με κάποιον μηχανικό.

Για τον λόγο αυτό, προκειμένου να γίνουν καλύτερα κατανοητές, και εξετάζονται πιο εκτεταμένα, με αναφορές σε διάφορα τυπικά της καθημίας δείγματα, αλλά και με αναλυτική παρουσίαση δύο επιλεγμένων παραδειγμάτων κάθε προσέγγισης.

Η τρίτη κατηγορία ακολουθεί μια προσέγγιση που δεν στοχεύει στην τεχνική υπέρβαση και καινοτομία, ούτε στην υποταγή της κατασκευής στην μορφή, αλλά λαμβάνει εξ αρχής σαν παράμετρο, σαν ισοκράτη, την κατασκευή, δίπλα στην οποία θα διαπλαστεί και η αρχιτεκτονική.

Πρόκειται ενδεχομένως για την πιο διαδεδομένη προσέγγιση, που να πληρεί τα κριτήρια που τέθηκαν κατά την διάκριση των κατηγοριών: ο φέρων οργανισμός να αποτελεί εργαλείο αρχιτεκτονικής σύνθεσης από την αρχή και να είναι φανερός στο μεγαλύτερο μέρος του. Παρουσιάζεται συνοπτικά για λόγους πληρότητας της ανάλυσης, μιας και είναι ευρέως γνωστή.



3.1.

Αρχιτεκτονική που ωθεί στα
άκρα την τεχνική και το υλικό,
αξιοποιώντας στο
μέγιστο δυνατό τις ιδιότητές
του

«Καμιά φορά μου φαινόταν πως από την ακρίβεια γεννιόταν μια εντύπωση ομορφιάς· και πως, από την σχεδόν θαυματουργή συμφωνία ανάμεσα σ'ένα αντικείμενο και στην υπηρεσία που χρεωστεί να εκτελέσει, πηγάζει ένα είδος ηδονής. Η τέλεια αυτή καταλληλότητα κινεί στην ψυχή μας το αίσθημα πως υπάρχει κάποια συγγένεια ανάμεσα στο ωραίο και το χρήσιμο· και πως η τελική ευκολία και απλότητα του αποτελέσματος, όταν τις συγκρίνουμε με το περίπλοκο πρόβλημα που προηγήθηκε, μας εμπέουν ένα, πώς να το πω ; ενθουσιασμό. Η απροσδόκητο κομψότητα μας μεθάει.»

Paul Valéry

Ευπαλίνος ή Ο Αρχιτέκτων⁶⁷

Συχνά η αρχιτεκτονική της κατηγορίας αυτής έχει προσανατολισμό καινοτόμο και πειραματικό. Χαρακτηριστική είναι η οικονομία του υλικού και των εκφραστικών μέσων, **η επιλογή του βέλτιστου κατασκευαστικού συστήματος ως απάντηση για το συγκεκριμένο πρόβλημα, αλλά και η παράλληλη δημιουργική αντιμετώπισή του.**

Στην πλειονότητα των παραδειγμάτων που αναφέρονται, ο φέρων οργανισμός είναι η αρχιτεκτονική του κτιρίου, διαμορφώνει τον χώρο εσωτερικά αλλά και εξωτερικά, είναι κυρίαρχος στον τρόπο που το κτίριο θεάται και βιώνεται.

Χαρακτηριστικής μορφής, εξαιρετικά αποδοτικές και ελαφριές, ιδανικές για γεφύρωση μεγάλων ανοιγμάτων, δηλαδή ανοιγμάτων των οποίων οι διαστάσεις έχουν «σαν συνέπεια οι τεχνικές απαιτήσεις να τοποθετηθούν τόσο ψηλά στην λίστα προτεραιοτήτων του αρχιτέκτονα, ώστε να επηρεάσουν καθοριστικά την αισθητική του κτιρίου»⁶⁸ κατασκευές εντάσσονται στην κατηγορία αυτή.

Οι συνθετικές προσεγγίσεις αυτής της κατηγορίας συχνά ξεκινούν από την μελέτη των δυνάμεων, έχοντας θέσει κάποιες βασικές παραμέτρους όπως το όριο του χώρου, το υλικό κατασκευής, αν ο φορέας θα είναι επιφανείας (δηλαδή κέλυφος ή μεμβράνη) ή θα αποτελείται από γραμμικά στοιχεία (δικτύωμα για παράδειγμα).

Καθοριστικές για την διάπλαση της μορφής είναι οι συνθήκες στα όρια της κατασκευής, ο χειρισμός των συνθηκών στα όρια

67 σελ.97

68 *Structure and Architecture*, Angus J. MacDonald, σελ.95

«Εδώ είναι που η εκλογή του σχήματος είναι λεπτή πράξη το εμπόδιο ό,τι του χρειάζεται για να προχωρήσει, αλλά δυνατό λιγότερο.»



σε σχέση τις δυνάμεις που πρόκειται να ασκηθούν.

Η μορφή πλάθεται με βάση περιορισμούς των φυσικών νόμων, και οι επιφάνειες που προκύπτουν είναι εφελκόμενες ή θλιβόμενες κατασκευές.

Καθώς οι φυσικοί νόμοι και τα φορτία καθορίζουν την γεωμετρία, την μορφή και τελικά την αρχιτεκτονική έκφραση αυτών των έργων, η στενή και αποτελεσματική συνεργασία αρχιτέκτονα και μηχανικού είναι απαραίτητη για ένα υψηλής τεχνικής και παράλληλα αισθητικής αξίας έργο.

Ο Werner Sobek, με εκπαίδευση πολιτικού μηχανικού αλλά και αρχιτέκτονα, επικεφαλής του Ινστιτούτου Ελαφριών Κατασκευών και Σχεδιασμού (Institute for Lightweight Structures and Conceptual Design –ILEK, ιδρύθηκε από τον Frei Otto) του Πανεπιστημίου της Στουτγάρδης, θεωρεί⁶⁹ πως ο αρχιτέκτων ή ο μηχανικός, όταν πρόκειται να σχεδιάσει μια ελαφριά κατασκευή, μπορεί να ξεκινά την συνθετική διαδικασία μελετώντας πρώτα την ροή των δυνάμεων. Η αποτύπωση της ροής των φορτίων θα τον οδηγήσει στον σχεδιασμό της κατασκευής, σε μια μορφή που να ανταποκρίνεται στα μελετώμενα φορτία, να αποτελεί την χωρική τους αποτύπωση, για την οποία στην συνέχεια θα επιλέξει τα κατάλληλα υλικά. Μόνον έτσι, υποστηρίζει, μπορούν να προκύψουν έργα που διέπονται από μια δομική

πάνω: Το παρεκκλησί Lomas de Cuernavaca, 1958, και το εστιατόριο Los Manantiales, 1958, του Felix Candela.

69 AD Architectural Desing: The New Structuralism, σελ.30

του καλλιτέχνη, γιατί το σχήμα χρεωστεί να πάρει από
να πάρει μόνο εκείνο που εμποδίζει το κινούμενο όσο το

Paul Valéry

Ευπαλίνος ή Ο Αρχιτέκτων



λογική, αξιοποιώντας ταυτόχρονα αποτελεσματικά τα υλικά κατασκευής τους. Ο συνδυασμός αυτών των γνωρισμάτων, απόρροια της συνθετικής λογικής τους, τα προικίζει με μια «διαιτήρη μορφή έμφυτης ομορφιάς».

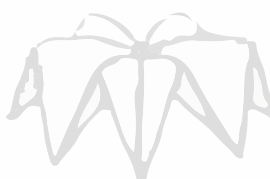
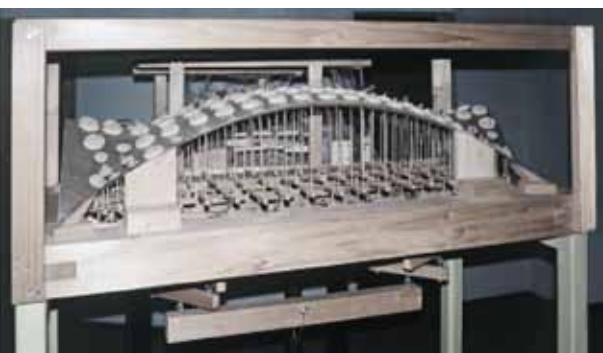
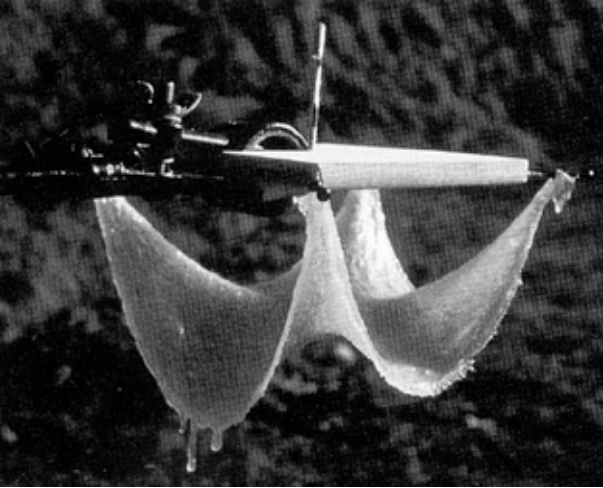
Στην κατηγορία αυτή εντάσσεται η δουλειά των μηχανικών **Pier Luigi Nervi, Frei Otto, Eduardo Torroja, Felix Candela, Heinz Isler** που αντιμετώπισαν το επάγγελμα του πολιτικού μηχανικού άκρως δημιουργικά, σχεδιάζοντας άρτιες τεχνικά και αισθητικά κατασκευές.

Στην αγορά στο **Algeciras** της Ανδαλουσίας(1933) του **Torroja**, ο θόλος βρίσκεται υπό θλίψη, τα εφελκόμενα καλώδια στην γένεση του θόλου παραλαμβάνουν πλευρικές ωθήσεις, οι τοποθετημένες σαν «βεντάλια» ράβδοι εμποδίζουν τον λυγισμό των φερόντων στοιχείων. Όλα λειτουργούν σε ένα σύστημα.⁷⁰

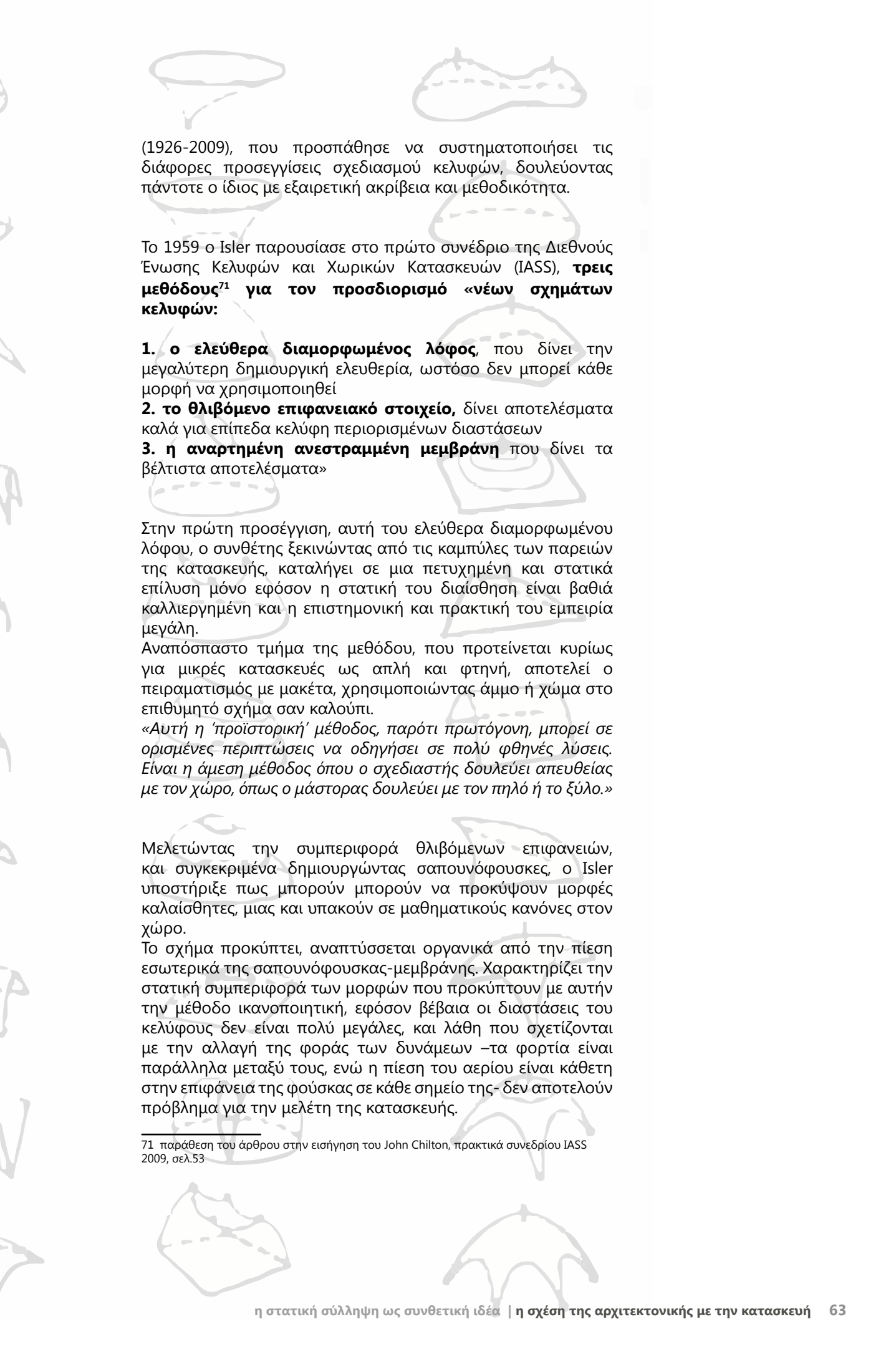
Ο **Felix Candela** σχεδίασε και έκτισε κελύφη αξιοσημείωτης κομψότητας και σύνθετης μορφολογίας, όπως το Παρεκκλήσι Lomas de Cuernavaca (1958) στο Μεξικό, με σελοειδή οροφή, και το εστιατόριο Los Manantiales στην πόλη του Μεξικού. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η δουλειά του Ελβετού **Heinz Isler**

πάνω: η αγορά στο Algeciras, 1933, του Eduardo Torroja και η κατασκευή στέγασης του υπαίθριου βωμού (με αφορμή την επίσκεψη του Πάπα στο Μόναχο), έργο του Werner Sobek, 2006

70 *The Structures of Eduardo Torroja*, E.Torroja, σελ.24



από πάνω προς τα κάτω: αναρτημένη μεμβράνη, γύψινα προπλάσματα, πρόπλασμα από ρητίνη σε έλεγχο αντοχής, ο σταθμός επισκευής αυτοκινήτων Deitingen Sud, το Κολυμβητήριο στο Norwich.
φόντο: πίνακας με σκίτσα που συνόδευε την εισήγηση του Heinz Isler για τον προσδιορισμό «νέων σχημάτων κελυφών»



(1926-2009), που προσπάθησε να συστηματοποιήσει τις διάφορες προσεγγίσεις σχεδιασμού κελυφών, δουλεύοντας πάντοτε ο ίδιος με εξαιρετική ακρίβεια και μεθοδικότητα.

Το 1959 ο Isler παρουσίασε στο πρώτο συνέδριο της Διεθνούς Ένωσης Κελυφών και Χωρικών Κατασκευών (IASS), **τρεις μεθόδους⁷¹ για τον προσδιορισμό «νέων σχημάτων κελυφών:**

- 1. ο ελεύθερα διαμορφωμένος λόφος,** που δίνει την μεγαλύτερη δημιουργική ελευθερία, ωστόσο δεν μπορεί κάθε μορφή να χρησιμοποιηθεί
- 2. το θλιβόμενο επιφανειακό στοιχείο,** δίνει αποτελέσματα καλά για επίπεδα κελύφη περιορισμένων διαστάσεων
- 3. η αναρτημένη ανεστραμμένη μεμβράνη** που δίνει τα βέλτιστα αποτελέσματα»

Στην πρώτη προσέγγιση, αυτή του ελεύθερα διαμορφωμένου λόφου, ο συνθέτης ξεκινώντας από τις καμπύλες των παρειών της κατασκευής, καταλήγει σε μια πετυχημένη και στατικά επίλυση μόνο εφόσον η στατική του διαίσθηση είναι βαθιά καλλιεργημένη και η επιστημονική και πρακτική του εμπειρία μεγάλη.

Αναπόσπαστο τμήμα της μεθόδου, που προτείνεται κυρίως για μικρές κατασκευές ως απλή και φτηνή, αποτελεί ο πειραματισμός με μακέτα, χρησιμοποιώντας άμμο ή χώμα στο επιθυμητό σχήμα σαν καλούπι.

«Αυτή η 'προϊστορική' μέθοδος, παρότι πρωτόγονη, μπορεί σε ορισμένες περιπτώσεις να οδηγήσει σε πολύ φθηνές λύσεις. Είναι η άμεση μέθοδος όπου ο σχεδιαστής δουλεύει απευθείας με τον χώρο, όπως ο μάστορας δουλεύει με τον πηλό ή το ξύλο.»

Μελετώντας την συμπεριφορά θλιβόμενων επιφανειών, και συγκεκριμένα δημιουργώντας σαπουνόφουσκες, ο Isler υποστήριξε πως μπορούν να προκύψουν μορφές καλαισθητές, μιας και υπακούν σε μαθηματικούς κανόνες στον χώρο.

Το σχήμα προκύπτει, αναπτύσσεται οργανικά από την πίεση εσωτερικά της σαπουνόφουσκας-μεμβράνης. Χαρακτηρίζει την στατική συμπεριφορά των μορφών που προκύπτουν με αυτήν την μέθοδο ικανοποιητική, εφόσον βέβαια οι διαστάσεις του κελύφους δεν είναι πολύ μεγάλες, και λάθη που σχετίζονται με την αλλαγή της φοράς των δυνάμεων –τα φορτία είναι παράλληλα μεταξύ τους, ενώ η πίεση του αερίου είναι κάθετη στην επιφάνειά της φούσκας σε κάθε σημείο της- δεν αποτελούν πρόβλημα για την μελέτη της κατασκευής.

⁷¹ παράθεση του άρθρου στην εισήγηση του John Chilton, πρακτικά συνεδρίου IASS 2009, σελ.53



από πάνω προς τα κάτω: μακέτες εργασίας, εξωτερική άποψη και λεπτομέρεια κατά την κατασκευή, εσωτερική άποψη του Khan Shatyr

Την μέθοδο της αναρτημένης μεμβράνης χαρακτηρίζει ο Isler σαν την καλύτερη μέθοδο σχεδιασμού, ειδικά για μεγάλων διαστάσεων κελύφη. Αποτελεί μια τρισδιάστατη εφαρμογή της μελέτης της σχοινοειδούς καμπύλης.

Δουλεύοντας κατά κύριο λόγο με μακέτες, ο Isler εφάρμοζε κυρίως την τρίτη αυτή μέθοδο προκειμένου να προσδιορίσει την μορφή της κατασκευής. Ο σχεδιασμός γινόταν μετά από την αποτύπωση της υπό κλίμακα μεμβράνης σε γύψο και την ακριβέστατη μέτρηση όλων των γεωμετρικών χαρακτηριστικών, πάντοτε από τον ίδιο. Στην συνέχεια χρησιμοποιούσε μακέτες από ρητίνη, των οποίων την συμπεριφορά και αντοχή μελετούσε υπό φόρτιση. Όταν κατέληγε στο επιθυμητό αποτέλεσμα, προσάρμοζε τις υπό κλίμακα μετρήσεις στις πραγματικές απαιτήσεις.⁷²

Χωρίς, βεβαίως, χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή, κατόρθωσε, χάρις στην οξυδέρκειά του και φυσικά το σχεδιαστικό χάρισμά του να πραγματοποιήσει κελύφη από σπλισμένο σκυρόδεμα ελάχιστου πάχους, εξαιρετικής κομψότητας και τεχνικής και ταυτόχρονα λογικού κόστους. Από τα πιο γνωστά του έργα είναι ο σταθμός επισκευής αυτοκινήτων Deitingen Sud (1968) στην Ελβετία με μέγιστο άνοιγμα 31.8m, και το Κολυμβητήριο στο Norwich(1991), με άνοιγμα 35x35m.

Ένα πιο πρόφατο παράδειγμα είναι το κέντρο ψυχαγωγίας **Khan Shatyr** (2006-2010)⁷³, στην πρωτεύουσα του Καζακστάν Αστανά, αποτέλεσμα της συνεργασίας του γνωστού γραφείου **Foster + Partners** του Norman Foster με ένα από τα διεθνώς πλέον καθιερωμένα γραφεία μηχανικών, το **Buro Happold**.

Με μορφή τέντας, παραπέμποντας στα γιουρτ των λαών των στεππών, το κτίριο αναφέρεται στο νομαδικό παρελθόν της πληθώρας εθνοτήτων που κατοικούν στο Καζακστάν. Φιλοδοξεί να στεγάσει στο εσωτερικό του έναν μικρό κόσμο, προστατευμένο από το αφιλόξενο κλίμα της περιοχής. Καλύπτει συνολική επιφάνεια πάνω από 100.000 τετραγωνικά μέτρα. Η βάση της, αποτελούμενης από μεταλλικά καλώδια-νευρώσεις, κατασκευής είναι μία έλλειψη με άξονες 200 μέτρα και 195 μέτρα, ενώ το ανώτερο σημείο της «τέντας» υψώνεται 150 μέτρα ψηλότερα, καθιστώντας την πιθανόν την μεγαλύτερη του είδους της στον κόσμο.⁷⁴

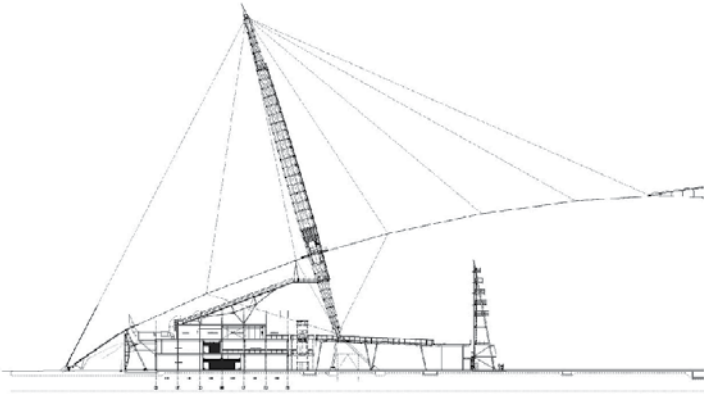
Αρχικά, η διαδικασία σχεδιασμού ακολούθησε τους

72 Άρθρο του John Chilton στο *AD, The New Structuralism*, σελ.67

73 άρθρο του Wolf Mangelsdorf (γραφείο στατικών Buro Happold) στο *AD -The New Structuralism*, σελ.43

74 <http://www.fosterandpartners.com>, και <http://www.burohappold.com>

λεπτομέρεια, εξωτερική άποψη του
Millenium Dome και σκίτσο του Richard
Rogers



συνηθισμένους τρόπους μελέτης εφελκόμενων κατασκευών, όπου το σχήμα προσδιορίζεται με βάση τον πειραματισμό: βαρίδια αναρτήθηκαν από προπλάσματα, προσομοιώνοντας τις συνθήκες φόρτισης της κατασκευής, προκειμένου να προσδιοριστεί το βέλτιστο σχήμα. Επιλέχθηκε ο κεκλιμένος κώνος, του οποίου η μορφή τελειοποιήθηκε μελετώντας τρισδιάστατα μοντέλα στον υπολογιστή. Ένας κεντρικός πυλώνας που θυμίζει τρίποδο, κι έχει την δυνατότητα να στρέφεται ελαφρά, παραλαμβάνοντας τις μετακινήσεις της οροφής, στηρίζει την καλωδιωτή κατασκευή. Η επένδυση τοποθετήθηκε απευθείας πάνω στα φέροντα καλώδια: διαφανή πανέλα μήκους τεσσάρων μέτρων που, δεδομένου του ψυχρού κλίματος, αξιοποιούν στο μέγιστο την ηλιακή ακτινοβολία.⁷⁵ Το κτίριο βραβεύτηκε από το Ινστιτούτο Πολιτικών Μηχανικών (Institution of Structural Engineers) του Ηνωμένου Βασιλείου ως η καλύτερη φέρουσα κατασκευή σε κτίριο εμπορικής χρήσης.

Ένα ακόμη έργο του **Buro Happold**, σε σχέδιο του αρχιτέκτονα **Richard Rogers**, είναι το **Millenium Dome**, στην ευρύτερη περιοχή του Λονδίνου. Η κατασκευή έχει μέγιστο ύψος 50m, και καλύπτει συνολική επιφάνεια περίπου 100.000m². Το κτίριο ολοκληρώθηκε το 1999, στο πλαίσιο των εορτασμών έλευσης της νέας χιλιετίας. Ο σχεδιασμός εδώ συνδέεται άμεσα με αστρονομικά-συμβολικά στοιχεία.

Χαλύβδινα καλώδια συγκρατούν την στέγη, μεγέθους όσο και οι ημέρες του χρόνου: η διάμετρός της είναι 365m.

Δώδεκα πυλώνες, ύψους 100m, με άμεση αναφορά στους δώδεκα μήνες του χρόνου, τις ώρες της ημέρας (προ και μετά μεσημβρία) αλλά και τους αστερισμούς, αποτελούν τον βασικό φέροντα οργανισμό.⁷⁶

Η άκρως αποδοτική κατασκευή φέρει ταυτόχρονα ισχυρούς συμβολισμούς, σχετικούς με την αιτία δημιουργίας της.

Εξετάζονται παρακάτω αναλυτικά δύο παραδείγματα, το Philips Pavilion και το πιο πρόσφατο Hajj Terminal. Στόχος είναι να γίνει πιο ξεκάθαρο πώς η σύλληψη της κατασκευής ως απάντηση σε ένα συγκεκριμένο πρακτικό πρόβλημα μπορεί να αποτελέσει αφορμή για μια εξαιρετικά δημιουργική συνθετική διαδικασία, οδηγώντας τελικά σε μια αρχιτεκτονική υψηλής και διαρκούς αισθητικής αξίας, αλλά και που παραμένει χρηστική σε βάθος χρόνου, στην περίπτωση του αεροδρομίου.

75 άρθρο του Wolf Mangelsdorf (γραφείο στατικών Buro Happold) στο *AD -The New Structuralism*, σελ.43

76 <http://www.fosterandpartners.com/>

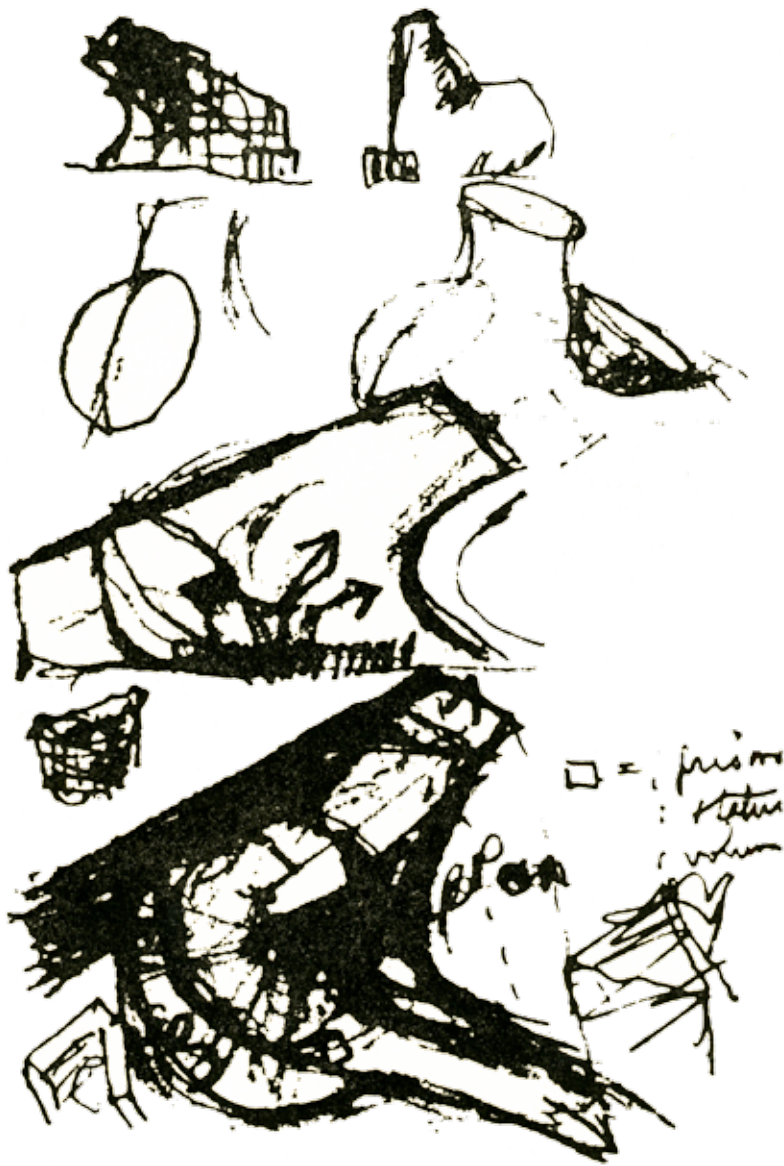


**Philips Pavilion, Διεθνής Έκθεση,
Βρυξέλλες, Βέλγιο, 1958**

Le Corbusier και Ιάννης Ξενάκης



Le poème électronique Le Corbusier



«Δεν θα σας κάνω μια όψη Philips, θα σας κάνω ένα ηλεκτρονικό ποίημα. Όλα θα συμβαίνουν στο εσωτερικό: ήχος, φως, χρώμα, ρυθμός. Πιθανόν μια σκαλωσιά να είναι η μόνη εξωτερική άποψη του περιπτέρου», δήλωσε ο Le Corbusier, δεχόμενος την πρόταση να σχεδιάσει ένα περίπτερο αποκλειστικά για λογαριασμό της Philips, που να προβάλλει στην Παγκόσμια Έκθεση του 1958 το καινοτόμο προφίλ της εταιρίας.⁷⁷

Το περίπτερο αυτό αποτελούσε ένα πείραμα, μια εξερεύνηση του ήχου και του φωτός, χάρη, φυσικά, στην τεχνολογία της Philips.

Με αυτήν την αφορμή, επομένως, ο Le Corbusier δημιουργεί το *Poème Électronique*, ένα θέαμα λίγων λεπτών όπου φως, ήχος, εικόνες αναμειγμένα διαμορφώνουν τον ίδιο τον χώρο αλλά και τον τρόπο που αυτός βιώνεται.

Την μουσική επιμέλεια της παράστασης ανέθεσε σε δύο χαρισματικούς μουσικούς: από τον Edgar Varèse ζήτησε να συνθέσει ένα κομμάτι οκτώ λεπτών, το οποίο συμπλήρωναν ακόμη δύο λεπτά μουσικής του Ξενάκι, κατά την είσοδο και έξοδο των ομάδων θεατών.

Την γενική μορφή του περιπτέρου καθόρισε ως εξής: «ένα μπουκάλι, μια κούφια κατασκευή ελεύθερης μορφής κτισμένη από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πάνω σε μεταλλικό πλέγμα», στηριζόμενη σε σκαλωσιές, που θα έφερε μια προστατευτική στέγη.⁷⁸

Το περιέχον θα ήταν λοιπόν ένα είδος στομαχιού, και η είσοδος και η έξοδος των πεντακοσίων ανά παράσταση θεατών θα γινόταν από διαφορετικά σημεία του κτιρίου. Η δεύτερη βασική απόφαση, πως το κοινό θα ήταν όρθιο, κοιτώντας συνεχώς μπροστά, οδήγησε τον Le Corbusier να σχεδιάσει έναν συνδυασμό κοίλων και κυρτών επιφανειών, όπου θα προβαλλόταν ένα χρωματικό υπερθέαμα.⁷⁹

Οραματιζόταν, για την προβολή των ταινιών-εικόνων επίπεδες και κατακόρυφες επιφάνειες, ενώ για τα υπόλοιπα εφέ του θεάματος έναν «λαιμό» στην άνω απόληξη του περιπτέρου, όπου θα χάνονταν αλλά και από το οποίο θα εμφανίζονταν οι προβαλλόμενες εικόνες, δημιουργώντας μια αίσθηση εξαιρετικού βάθους του όγκου.

Σύμφωνα με τον Le Corbusier, η αρχιτεκτονική του περιπτέρου έπρεπε να είναι λιτή, αφού μέσα στο 'μπουκάλι' είναι νύχτα, κυριαρχεί το θέαμα, το *Ηλεκτρονικό Ποίημα*, οπότε λίγη

77 *Le Poème Électronique*, Le Corbusier

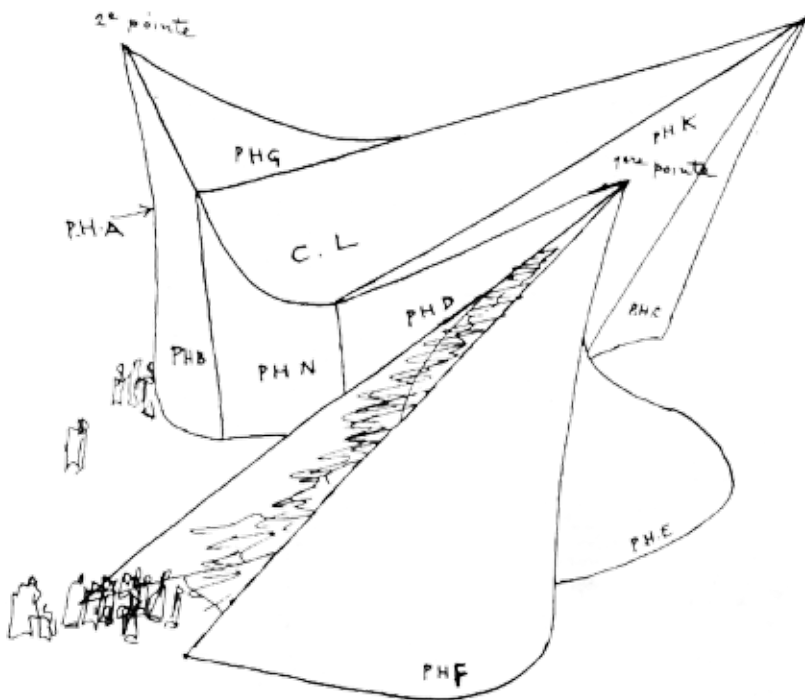
78 *Musique de l'Architecture*, Iannis Xenakis, σελ.154

79 *Le Poème Électronique*, Le Corbusier



Pavillon électronique Philips.

le 27 octobre 57
Le Corbusier



πάνω: διάγραμμα του Le Corbusier για την σύνθεση του Ηλεκτρονικού Παιήματος, κάτω: η πρώτη πρόταση του Ξενάκι συνδυάζει κωνοειδή στερεά με υπερβολικά παραβολειδή

σημασία είχε η αισθητική του κτιρίου. Το φανταζόταν σαν ένα κούφιο δοχείο για το δικό του φαντασμαγορικό δημιούργημα, γι αυτήν την σύνθεση φωτός, χρωμάτων, ήχου, κίνησης.

«Για τον Le Corbusier, το κτίριο έπρεπε να είναι ένα 'μπουκάλι', περιέχοντας το 'νέκταρ του θεάματος και της μουσικής'».⁸⁰

Σχεδιασμένο λοιπόν αρχικά σαν ένα μπουκάλι αναρτημένο από σκαλωσιές⁸¹, αλλάζει ουσιαστικά μορφή όταν ο Le Corbusier αναθέτει στον Ξενάκι το έργο και αναχωρεί για την Chandigarh.

Ο Ξενάκις αναφέρει τέσσερις παράγοντες ως καθοριστικούς, περιγράφοντας την διαδικασία που ακολούθησε για τον σχεδιασμό του κτιρίου. Πρώτον, η απαιτούμενη για την κίνηση του κοινού επιφάνεια, δεύτερον ο πολύχρωμος φωτισμός και οι προβαλλόμενες ταινίες. Τρίτον, οι ακουστικές απαιτήσεις του *Ηλεκτρονικού Ποιήματος*, που απέκλειαν τον σχεδιασμό παράλληλων επίπεδων επιφανειών, τριέδρων – λόγω πολλαπλών ανακλάσεων του ήχου- αλλά και τμημάτων σφαίρας –όπου δημιουργείται συγκεντρωμένα ηχώ. Τέλος κατασκευή και τεχνική: αναζήτησε τις γεωμετρίες εκείνες που θα ήταν αυτοφερόμενες, θα μπορούσαν να υπολογιστούν στατικά και θα ήταν υλοποιήσιμες σε ένα κανονικό εργοτάξιο. Η λύση της μεμβράνης απορρίφθηκε από τα πρώτα στάδια του έργου, καθώς δεν κάλυπτε τις απαιτήσεις ακουστικής του χώρου.



Παραθέτει έναν πίνακα, σημειώνοντας «ναι» ή «όχι», ανάλογα με το αν διαφορετικές γεωμετρίες πληρούν τις απαραίτητες προϋποθέσεις. Καταλήγει με βάση τον πίνακα σε κωνοειδείς επιφάνειες και στο υπερβολικό παραβολοειδές, δηλώνοντας πως «από αυτήν την στιγμή, η λογική παύει να λειτουργεί. Το τυχαίο της διαίσθησης παίρνει τον λόγο».

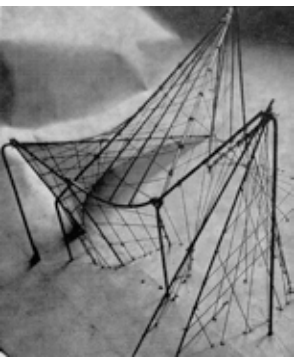
Ο ίδιος ο Ξενάκις αναγνωρίζει πως η κύρια παράμετρος της αρχιτεκτονικής σύνθεσης ήταν αυτή της στατικής λειτουργίας, πάντοτε βέβαια με τρόπο που να απαντά και σε όλα τα υπόλοιπα ζητούμενα. Προσανατολίστηκε λοιπόν προς την διερεύνηση μιας μορφής αποτελούμενης από καμπύλες γεωμετρίας, γεννώμενες όμως από ευθείες, οδηγούμενος, όπως υποστηρίζει ο ίδιος⁸², καθαρά από τις πρακτικές παραμέτρους των απαιτήσεων του κτιρίου που έπρεπε να σχεδιάσει. Το υπερβολικό παραβολοειδές, άλλωστε, είναι μια γεωμετρία κελύφους που αξιοποιεί στο μέγιστο τις δυνατότητες του υλικού.⁸³

80 *Musique de l'Architecture*, Iannis Xenakis, σελ.168

81 *Le Poème Électronique*, Le Corbusier

82 *Musique de l'Architecture*, Iannis Xenakis, σελ.171

83 *Η Φέρουσα Κατασκευή στην Αρχιτεκτονική*, M.Salvadori-R.Heller, σελ.412



Σε πρώτη φάση, ο Ξενάκης σχεδίασε ένα περίπτερο αποτελούμενο τόσο από κωνοειδή όσο και από υπερβολικά παραβολοειδή. Το αρχικό αυτό σχέδιο μετεξελίχθηκε σε μια κατασκευή αποτελούμενη αποκλειστικά από υπερβολικά παραβολοειδή, μετά από τις παραινέσεις γραφείου στατικών μελετών του Παρισιού, προκειμένου να απλοποιηθούν οι υπολογισμοί αλλά και η διαδικασία υλοποίησης.

Για να καταλήξει στην βέλτιστη στατικά μορφή, πειραματίστηκε αρκετά με μακέτες και μελέτησε την συμπεριφορά τους⁸⁴.

Δύο μεταλλικές ράβδοι, συνδεδεμένες με ελαστικές κλωστές τοποθετημένες σε ίσες αποστάσεις, ασύμβατες στον χώρο, χρησίμευσαν για πειραματισμό πάνω στην μορφή του υπερβολικού παραβολοειδούς. Δεδομένης της πολύπλοκης τρισδιάστατης γεωμετρίας, το μεγαλύτερο μέρος της συνθετικής διερεύνησης έγινε με υπό κλίμακα πραγματικά μοντέλα.

Τον Δεκέμβριο του 1956, όταν κατασκευάστηκε η κλίμακας 1:200 μακέτα της πρότασης, η οποία απαιτούσε βοηθητικά υποστυλώματα, δεν ήταν ακόμη ξεκάθαρο εάν το κέλυφος ήταν σε θέση να αναλάβει την στατική λειτουργία που είχε συλλάβει ο Ξενάκης, να φέρει δηλαδή το ίδιο τα επιβαλλόμενα στατικά και δυναμικά φορτία, δίχως υποστηλώματα ή άλλου είδους στήριξη.

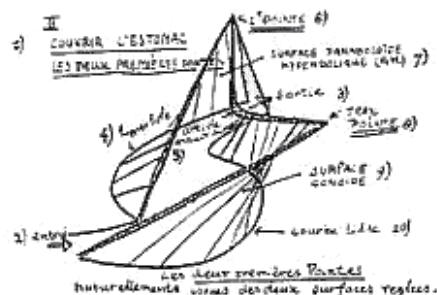
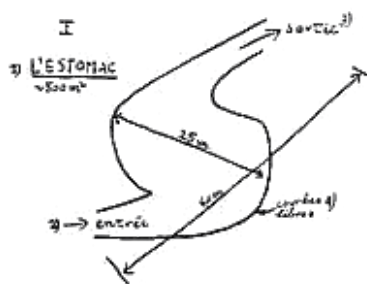
Ένας συνδυασμός αναλυτικής γεωμετρίας και πειραματισμού με προπλάσματα οδήγησε στον προσδιορισμό της τελικής μορφής του κτιρίου. Μέσω μιας συνεχούς διαδικασιών δοκιμών, ελέγχου και αναφοράς στις δύο μεθόδους, ο Ξενάκης κατέληξε στον συνδυασμό εκείνο των υπερβολικών παραβολοειδών που τον ικανοποιούσε περισσότερο μορφοπλαστικά, αλλά και του οποίου το ίχνος στο έδαφος, η κάτοψη, έμοιαζε περισσότερο με το «στομάχι» που είχε συλλάβει αρχικά ο Le Corbusier.⁸⁵

Μεγάλη πρόκληση ήταν, τόσο για τους μηχανικούς όσο και για τους κατασκευαστές-εργολάβους, η υλοποίηση του έργου, δεδομένου ότι μέχρι τότε δεν είχε υλοποιηθεί κτίριο αποτελούμενο αποκλειστικά από υπερβολικά παραβολοειδή, χωρίς καμία εσωτερική ή εξωτερική στήριξη, αλλά με τις επιφάνειες να είναι αυτοφερόμενες.

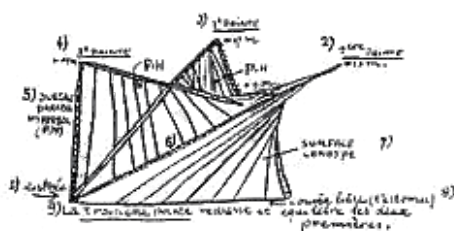
Καθοριστική για την ακεραιότητα της μορφολογίας και της αρχιτεκτονικής έκφρασης του Philips Pavilion ήταν η συνεργασία με την κατασκευαστική εταιρία Strabed, που δέχτηκε την πρόκληση να κατασκευάσει το περίπτερο από προεντεταμένο σκυρόδεμα πάχους 5 εκατοστών, με τέσσερα υποστυλώματα εκ

84 *Musique de l'Architecture*, Iannis Xenakis, σελ.158

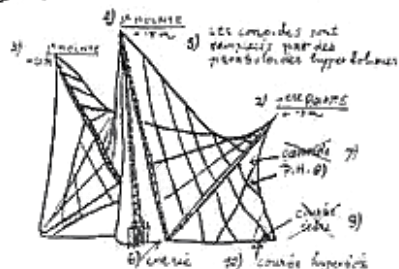
85 *ibid.*, σελ.174



III LA TROISIÈME POINTE



IV DÉPURATION DE LA FORME





των οποίων το ένα εσωτερικά, και σε λογική τιμή.

Οι προτάσεις όλων των άλλων κατασκευαστικών αλλοίωναν την μορφή του, καταφεύγοντας σε λύσεις υπερβολικά μεγάλου πάχους, που συνδύαζαν σκυρόδεμα με μεταλλικό ή ξύλινο σκελετό, και κατέστρεφαν την καθαρότητα της αρχιτεκτονικής του.

Μέσα από την στενή συνεργασία του Ξενάκι και H.C.Duyster, επικεφαλής μηχανικού της εταιρίας, και με ελαφριές τροποποιήσεις του σχεδίου, μόνο ένα τελικά υποστύλωμα διατηρήθηκε. *Η κατασκευή γινόταν εξολοκλήρου αυτοφερόμενη και γυμνή, δίχως πατερίτσες.*⁸⁶

Το κέλυφος κατασκευάστηκε σε τμήματα στο έδαφος από προεντεταμένο σκυρόδεμα, με πάχος μόλις πέντε εκατοστά. Στην συνέχεια τα επιμέρους κομμάτια συναρμολογήθηκαν, με προσθήκη εξωτερικά 3000 χαλύβδινων καλωδίων, διαμέτρου 8 mm, που παραλάμβαναν τις ισχυρές εφελκυστικές δυνάμεις, οδηγώντας σε μια ισορροπία στο σύνολο της κατασκευής.

Το υψηλότερο σημείο του περιπτέρου υψωνόταν στα 20,5m, το μήκος του ήταν στα 40m, το μέγιστο πλάτος του έφτανε τα 24m, καλύπτοντας μια επιφάνεια 500m² και με συνολικό όγκο 7500 m³.⁸⁷

Όντας και ο ίδιος μουσικός, ο Ξενάκις συνεργάστηκε και με τους μηχανικούς ήχου της Philips στον σχεδιασμό των ηχητικών εγκαταστάσεων του περιπτέρου και γενικώς του ήχου μέσα στον χώρο κατά την διάρκεια της παράστασης.

Ο Ξενάκις χαρακτηρίζει το τελικό σχέδιο για το κτίριο «έναν γάμο ανάμεσα στην πλαστική και στα μαθηματικά εργαλεία», μια αποστομωτική απάντηση «σε αυτούς που θεωρούν τους υπολογισμούς εργαλείο ξερής σχολαστικότητας και σε αυτούς που δεν βλέπουν στην ελεγχόμενη διαίσθηση παρά τυχαίες ασυναρτησίες».⁸⁸

Το περίπτερο ήταν από τα πλέον επιτυχημένα της Παγκόσμιας Έκθεσης, με σαράντα παραστάσεις την ημέρα και συνολικά περί τους 1.500.000 επισκέπτες.⁸⁹

86 *ibid.*, σελ.160

87 Sharon Kanach στο *Musique de l'Architecture*, Iannis Xenakis, σελ.140

88 *Musique de l'Architecture*, Iannis Xenakis, σελ.172

89 Sharon Kanach στο *Musique de l'Architecture*, Iannis Xenakis, σελ.149



**Hajj Terminal, King Abdulaziz Airport
Jeddah, επαρχία Μέκκα, Σαουδική
Αραβία, 1981**
Fazler Khan(SOM) και Geiger-Berger Associates



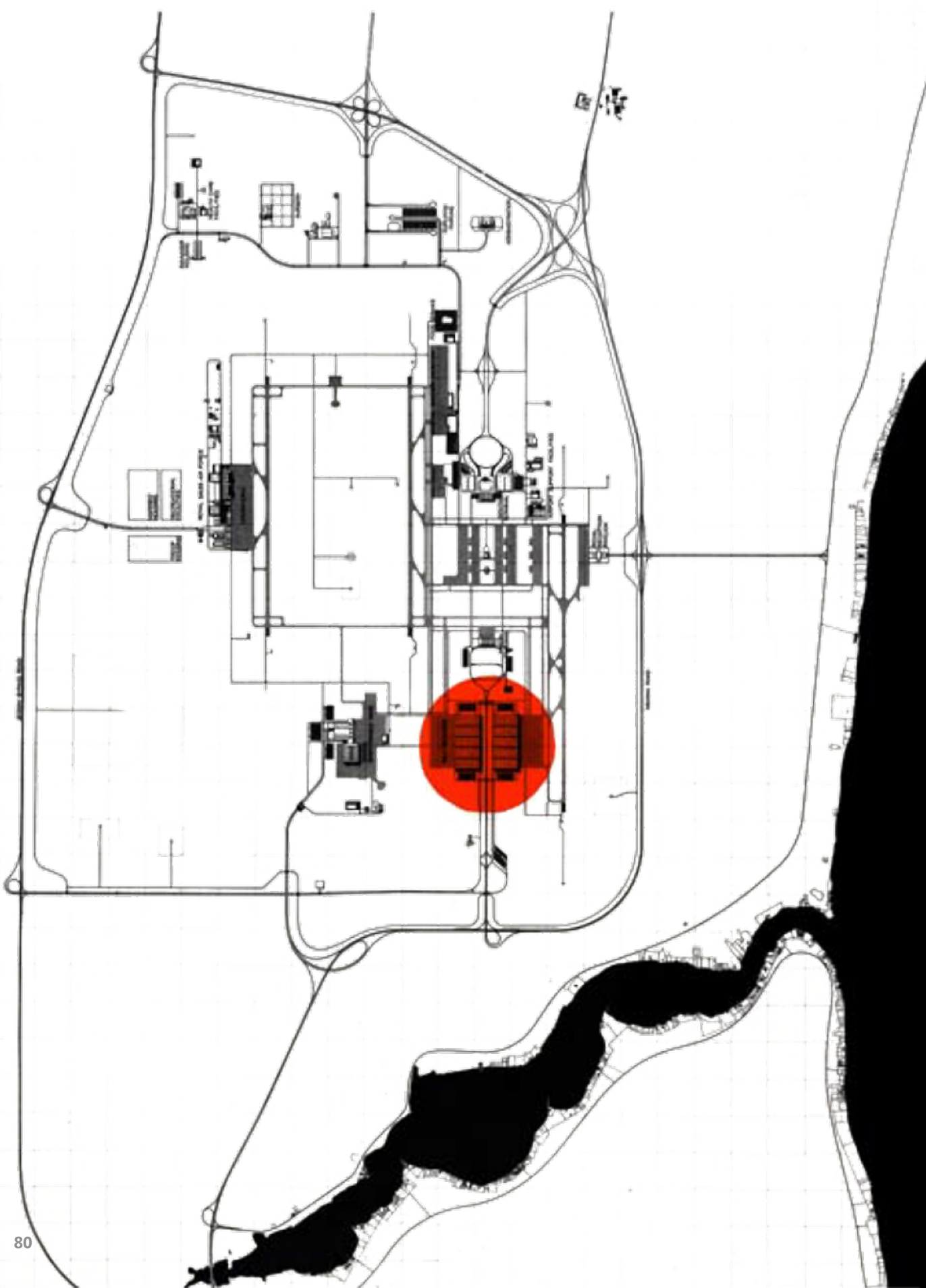
المملكة العربية السعودية
 وزارة الدفاع والطيران
 قطاع المطارات الدولية
 THE KINGDOM OF
 SAUDI ARABIA
 MINISTRY OF DEFENCE
 AND AVIATION
 INTERNATIONAL
 AIRPORT PROJECTS

مطار
 جدة الدولي
 الجديد
 NEW JEDDAH
 INTERNATIONAL
 AIRPORT

SERVICES, OFFICES & STORES
 200 000 177,000

Scale: 1:1000
 1cm = 10m

MASTER PLAN
 2011-2025
 1.0000000000000000
 1.0000000000000000
 1.0000000000000000
 1.0000000000000000



Σχεδιάστηκε από τον Fazler Khan⁹⁰ του αρχιτεκτονικού γραφείου SOM (Skidmore, Owings and Merrill), ενώ πολιτικός μηχανικός του έργου ήταν ο Horst Berger (Geiger-Berger Associates).

Το 1983 έλαβε το βραβείο αρχιτεκτονικής του ιδρύματος Aga Khan⁹¹, ενώ το 2010 το AIA (American Institute of Architects-Αμερικανικό Ινστιτούτο Αρχιτεκτόνων) του απέδωσε το AIA Twenty-Five Year Award, διάκριση που απονέμεται ως αναγνώριση διαχρονικής αρχιτεκτονικής αξίας σε έργα κτισμένα προ εικοσιπενταετίας.⁹²

Το αεροδρόμιο κατασκευάστηκε με σκοπό να υποδέχεται το πλήθος πιστών που προσέρχονται κάθε χρόνο στην Μέκκα για το ιερό προσκύνημα, σε μία από τις γιορτές του Ισλάμ, την γιορτή του hajj(=προσκυνήματος). Το ταξίδι αυτό είναι, εξάλλου, μία από τις θρησκευτικές υποχρεώσεις τις οποίες οφείλει να εκπληρώσει κάθε πιστός κατά την διάρκεια της ζωής του.

Το έργο που εξετάζεται αποτελεί έναν από τους τρεις τερματικούς σταθμούς του αεροδρομίου King Abdul Aziz που κατασκευάστηκαν τότε, ώστε να εξυπηρετήσουν την ανάγκη αυτήν.

Η ιδέα της τέντας ήταν η τρίτη την οποία πρότειναν οι αρχιτέκτονες, έχοντας προσανατολιστεί αρχικά προς μια κατασκευή από οπλισμένο σκυρόδεμα, έπειτα σε μια μεταλλική κατασκευή.⁹³ Η ελαφριά κατασκευή μιας «τέντας-σκηνής», από υλικά που θα επέτρεπαν τον επαρκή φωτισμό αλλά και που θα προστάτευαν από την υπερβολική ζέστη της ερήμου θεωρήθηκε η κατάλληλη για το συγκεκριμένο έργο, αισθητικά, πρακτικά αλλά και συμβολικά.

Εμπνευσμένος από τις παραδοσιακές σκηνές των Βεδουίνων στην έρημο⁹⁴, ο Fazler Khan των SOM σχεδίασε έναν ημιυπαίθριο, στο μεγαλύτερο του μέρος, χώρο.

Δεδομένων των αναγκών που έπρεπε να εξυπηρετήσει, δηλαδή έναν εξαιρετικά μεγάλο αριθμό επισκεπτών σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα, το κτίριο σχεδιάστηκε «όχι απλά σαν ακόμη ένα αεροδρόμιο, αλλά από πολλές απόψεις, σαν ένα μεγάλο χωριό».⁹⁵

90 *Engineering A New Architecture*, Tony Robbin, σελ.14

91 <http://www.akdn.org/>

92 2010 AIA Twenty-Five Year Award: <http://www.aia.org>

93 Φάκελος του έργου, www.akdn.org, σελ.17

94 www.som.com

95 Φάκελος του έργου, www.akdn.org, σελ.15

δίπλα: σχέδιο του αεροδρομίου King Abdul Aziz, με κόκκινο το Hajj Terminal

Επιβάτες από όλον τον κόσμο καταφθάνουν στην πόλη της Jeddah, κι από κει μεταβαίνουν στην Μέκκα, μετά από πολύωρη, συχνά, αναμονή.

Την υπόλοιπη χρονιά, εκτός δηλαδή της περιόδου του προσκυνήματος, ο χώρος χρησιμοποιείται για διάφορες εκδηλώσεις.

Το έργο αποτελείται από δύο τμήματα –ανάμεσα από τα οποία διέρχεται ο αυτοκινητόδρομος- μεγέθους 320m επί 686m, και καθένα υποδιαιρείται στα πέντε.

Είκοσι μία «σκηές», τοποθετημένες σε επτά σειρές των τριών, απαρτίζουν καθεμία από τις πέντε υποενότητες του κανάβου.⁹⁶ Μία υποενότητα έχει την δυνατότητα να υποδεχτεί δύο Βοείγγ 747.

Κάθε τμήμα υποδιαιρείται σε δύο ζώνες: η πρώτη περιλαμβάνει μικρότερα, κλιματιζόμενα κτίρια, και η δεύτερη τους χώρους αναμονής.

Στην δεύτερη ζώνη στεγάζονται πλήθος χρήσεων. Εστιατόρια, καφέ, χώροι υγιεινής, χώροι ύπνου, ακόμη και τεμένη, σε μία διάταξη που παραπέμπει στις αγορές των αραβικών πόλεων, τα σουκ.

Οι συνολικά 210 «τέντες» καλύπτουν μια επιφάνεια σχεδόν 430.000 τετραγωνικών μέτρων, καθιστώντας την κατασκευή την πιο μεγάλη του είδους της την εποχή που σχεδιάστηκε.⁹⁷

Δύο τέντες σε κανονικό μέγεθος ανεγέρθηκαν αρχικά στο εργοτάξιο, προκειμένου να ελεγχθεί η κατασκευή, η αντοχή της μεμβράνης, το σχήμα της, και οι επιμέρους οικοδομικές λεπτομέρειες. Η χρήση των κατάλληλων προγραμμάτων στον υπολογιστή επέτρεψε την ανάλυση των δεδομένων του πειράματος, και την σύγκριση με το θεωρητικό μοντέλο που είχαν αναπτύξει οι μηχανικοί.⁹⁸

Οι πανομοιότυπες μονάδες, με διαστάσεις 47,5x47,5⁹⁹ μέτρα, καλύπτουν επιφάνεια 2.256m² η καθεμία. Κάθε μεμβράνη στηρίζεται σε τέσσερις χαλύβδινους πυλώνες ύψους 45 μέτρων και βάρους 68 τόνων. Συνολικά το κτίριο απαρτίζουν 440 πυλώνες, για τους οποίους χρησιμοποιήθηκαν 30.000 τόνοι χάλυβα. Σε απόσταση 20 μέτρων πάνω από το έδαφος τοποθετείται το κατώτερο μέρος της «τέντας», ενώ το ανώτερο υψώνεται στα 33,5 μέτρα. Έχει κωνοειδές σχήμα, και στην άνω παρειά της στερεώνεται σε μεταλλικό δακτύλιο διαμέτρου 4,8 μέτρων.

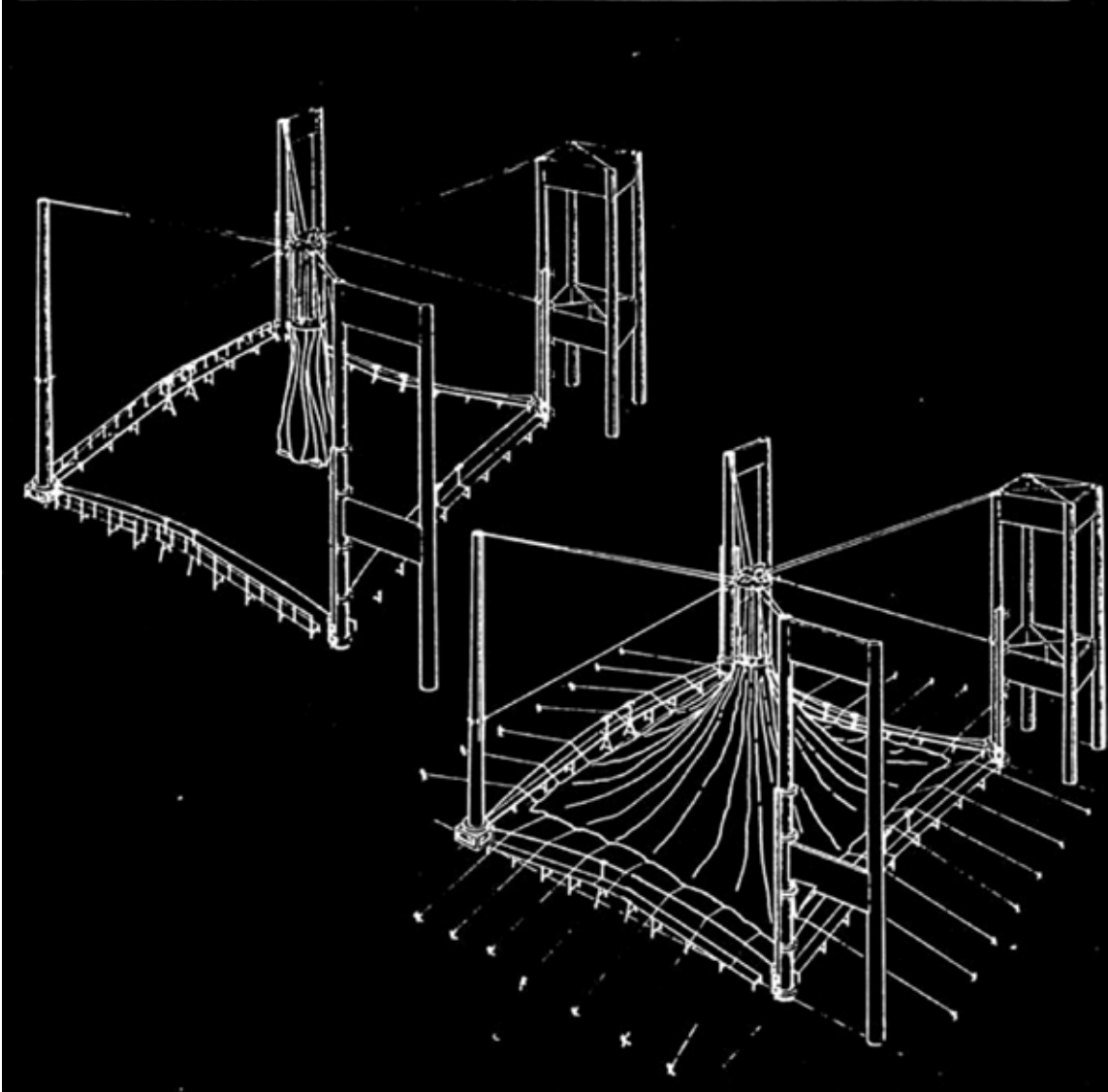
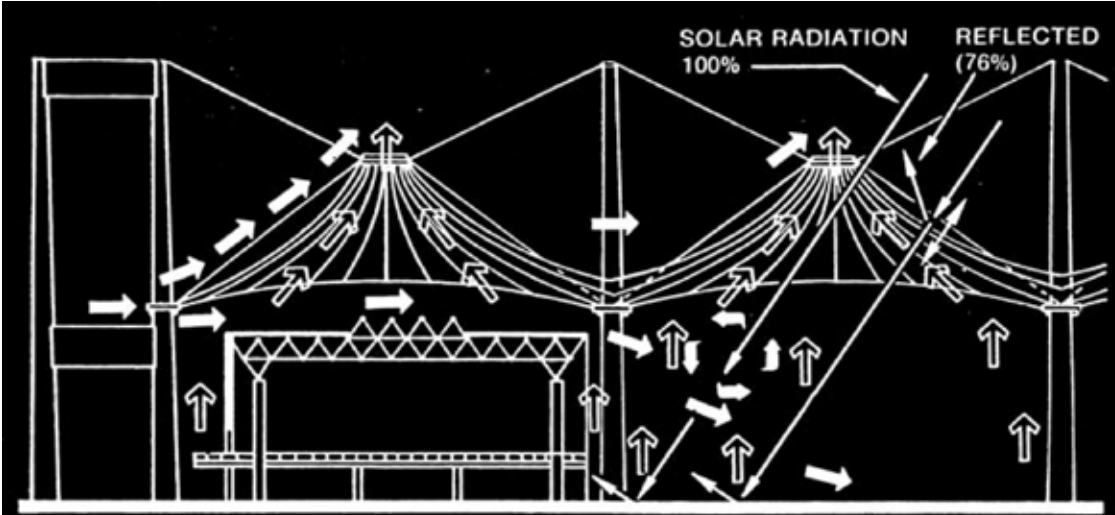
96 *ibid.*

97 *Engineering A New Architecture*, Tony Robbin, σελ.14

98 Φάκελος του έργου, www.akdn.org, σελ.21

99 *ibid.*





Στην πρώτη φάση της κατασκευής ανεγέρθηκαν οι πυλώνες, είτε ξεχωριστά (πυλώνες εσωτερικά της κατασκευής), είτε σε ζεύγη(ακραίοι πυλώνες) είτε σε τετράδες που σχημάτιζαν ένα πλαίσιο (ακραίοι πυλώνες κανάβου των 21 μονάδων). Ένας μεταλλικός δακτύλιος αναρτήθηκε στο κέντρο του τετραγώνου που σχηματίζουν ανά τέσσερις οι πυλώνες, και στερεώθηκε με μεταλλικά καλώδια πάνω σε αυτούς στο κατώτατο σημείο στερέωσης των μεμβρανών, 20 μέτρα πάνω από το έδαφος. Οι μεμβράνες κατασκευάστηκαν σε εργοστάσιο κι απεστάλησαν έτοιμες στο εργοτάξιο.

Οι προαναφερθέντες μεταλλικοί δακτύλιοι είχαν την δυνατότητα να χωριστούν σε δύο τμήματα, το κατώτερο εκ των οποίων τοποθετήθηκε χαμηλότερα προκειμένου να συνδεθεί με την μεμβράνη. Η κάτω παρειά της τέντας συνδέθηκε με κάθε πυλώνα με μικρό μεταλλικό δακτύλιο, λειτουργώντας και ως οδηγός κατά την συναρμολόγηση. Με την ανύψωση κάθε «τέντας» στην θέση της και την επανένωση (με κοχλίωση) των δύο τμημάτων του μεγάλου δακτυλίου η μεμβράνη ξεδιπλωνόταν και, εφελκόμενη πλέον, λάμβανε την τελική της μορφή και την πλήρη φέρουσα ικανότητά της.

Οι μεμβράνες συναρμολογήθηκαν και ανεγέρθηκαν ταυτόχρονα, με βοήθεια ηλεκτρονικού εξοπλισμού, σε ομάδες των 21, ανά υποκάναβο, καθώς η κατασκευή είχε σχεδιαστεί και υπολογιστεί σαν σύνολο. Οι πυλώνες δεν θα μπορούσαν να παραλάβουν αποτελεσματικά τις εσωτερικές τάσεις που δημιουργούσε κάθε μεμονωμένη μεμβράνη.¹⁰⁰

Μεταλλικά καλώδια συνδέουν τον άνω δακτύλιο με τους πυλώνες, μη επιτρέποντας μετακινήσεις του και εξασφαλίζοντας την ευστάθεια της μεμβράνης. Ακόμη, τα καλώδια αυτά αποτρέπουν την κατάρρευση της κατασκευής, σε περίπτωση αστοχίας μιας μεμβράνης.

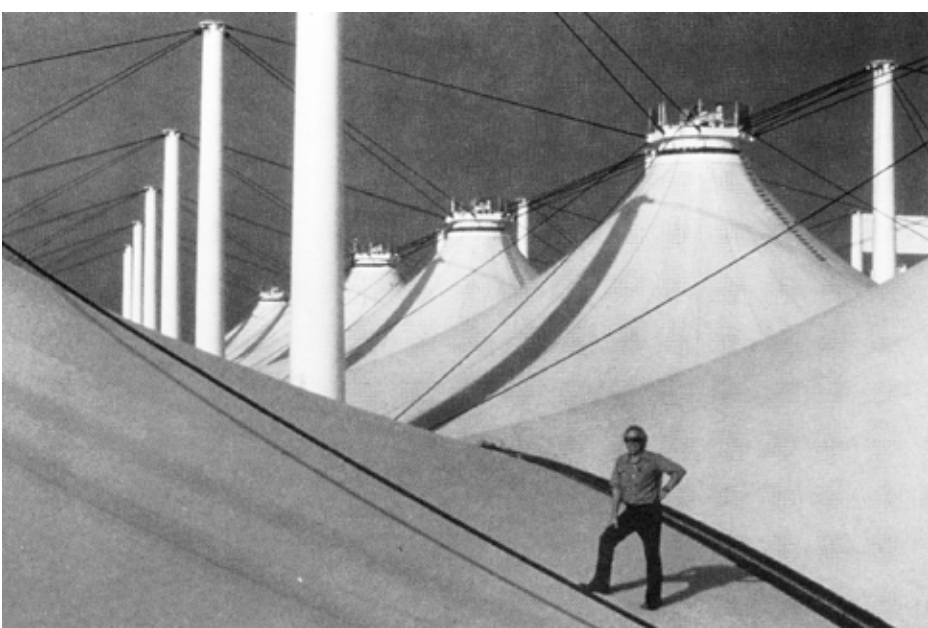
Τριάντα δύο (32) χαλύβδινα καλώδια-νευρώσεις, τοποθετημένα ακτινικά συνδέουν την άνω και κάτω παρειά της μεμβράνης και ενισχύουν την ακαμψία της.¹⁰¹

Το άνοιγμα του δακτυλίου σε συνδυασμό με τις ελεύθερες πλευρές της κατασκευής επιτρέπουν τον συνεχή αερισμό του αεροδρομίου. Το υλικό της μεμβράνης, ειδικά κατασκευασμένο για το κτίριο¹⁰² αντανακλά το 75% της ηλιακής ακτινοβολίας, διατηρώντας σε φυσιολογικά επίπεδα την εσωτερική θερμοκρασία, σε σχέση με τις ακραίες θερμοκρασίες της Αραβικής Ερήμου. Σχεδιάστηκε έτσι ώστε μόνο το 7% της

100 *Engineering A New Architecture*, Tony Robbin, σελ.14

101 Φάκελος του έργου, www.akdn.org, σελ.17

102 *"heavy-weight Teflon-coated fiberglass fabric"*, φάκελος του έργου, www.akdn.org, σελ.18



προσπίπτουσας ακτινοβολίας να διέρχεται, εξασφαλίζοντας ικανοποιητικό φωτισμό, ενώ το υπόλοιπο 18% απορροφάται από την μεμβράνη.¹⁰³ Την επιλογή του υλικού κατεύθυναν κι άλλες απαιτήσεις, όπως η ευκολία επιτόπου επισκευής, 30 ή 40 χρόνια διάρκεια ζωής απαιτώντας την ελάχιστη δυνατή συντήρηση, να μην είναι εύφλεκτο και να μην είναι τοξικό όταν καίγεται και άλλα.¹⁰⁴

Η ελαφριά και κομψή κατασκευή, πλήρως λειτουργική έως και σήμερα, μοιάζει σαν «μία όαση μέσα στην έρημο».¹⁰⁵ Η επανάληψη των «τεντών», σε τόσο μεγάλο αριθμό, δίνει μια αίσθηση ατέρμονος χώρου, και παράλληλα έναν μνημειακό χαρακτήρα στην κατασκευή. Το φως, το σκοτάδι, τα επιμέρους δομικά στοιχεία της κομψής αυτής κατασκευής, οργανώνουν διαφορετικές οπτικές καθώς κανείς κινείται. Ένας χώρος απόλυτα γεωμετρικός, με ρυθμό και μέτρο, οργανωμένος, δίπλα στην απεραντοσύνη της αραβικής ερήμου.

Ο αρχιτέκτονας του έργου, Fazler Khan, το θεωρούσε «ένα καθόλα Σαουδικό παλάτι», μία τέντα που «δεν αντιγράφει τις τέντες του παρελθόντος, είναι μια μορφή για το μέλλον, κι εδώ εξυπηρετεί τις ανάγκες του παρόντος: τα ταξίδια μέσω αέρος».¹⁰⁶

Ολοκληρώθηκε το 1981, κι έκτοτε υποδέχεται κάθε χρόνο ένα εκατομμύριο περίπου πιστών από ολόκληρο τον κόσμο.

103 *Engineering A New Architecture*, Tony Robbin, σελ.14

104 Φάκελος του έργου, www.akdn.org, σελ.31

105 δήλωση της επιτροπής βραβείων της AIA, 1983, www.aia.org

106 Φάκελος του έργου, www.akdn.org, σελ.18





3.2.

Αρχιτεκτονική που ξεκινά με
μια πρόθεση υπερβολικής,
υποβλητικής και έντονης
έκφρασης του φέροντος
οργανισμού

Η συνθετική προσέγγιση αυτού του τύπου περιγράφει κτίρια όπου **εξαρχής τίθεται το ζήτημα του φορέα** σαν βασικό στοιχείο της αρχιτεκτονικής, **χωρίς όμως ο φορέας αυτός να εντάσσεται σε κάποια τυπολογία.**

Η μορφή δεν προκύπτει από την αναγκαιότητα επίλυσης κάποιου ορισμένου προβλήματος, ενδεχομένως μάλιστα να δημιουργεί περισσότερα προβλήματα στον στατικό.

Ο αρχιτέκτων συλλαμβάνει εξαρχής την **φέρουσα κατασκευή σαν αναπόσπαστο κομμάτι της αρχιτεκτονικής έκφρασης και μορφολογίας του κτιρίου**, με βάση όμως κάποια δική του λογική που στοχεύει κυρίως στο πλάσιμο των όγκων, στην δημιουργία συναισθημάτων και εντυπώσεων στους χρήστες του κτιρίου.

Η **κατασκευή δεν μπορεί να επιλυθεί με καθιερωμένες διαδικασίες**, αλλά απαιτεί την πρωτότυπη και δημιουργική εργασία του στατικού. Την διαδικασία αυτή ο Cecil Balmond χαρακτήρισε ως *μη-γραμμαμική*¹⁰⁷, καθώς η επίλυση ξεφεύγει από την πεπατημένη, διερευνώντας με μη συμβατικό τρόπο τον φέροντα οργανισμό, εφευρίσκοντας νέες λύσεις ειδικά για την συγκεκριμένη αρχιτεκτονική. Χρειάζεται ενδεχομένως να μηχανευτεί ένα υβρίδιο, με στόχο να υλοποιηθεί το κτίριο αυτό και μόνο. Έχει χαρακτήρα πειραματικό συχνά, καθώς το τελικό αποτέλεσμα δεν είναι σίγουρο εκ των προτέρων.

Τίποτα δεν μπορεί να καθοδηγήσει την στατική μελέτη. Ο μηχανικός οφείλει να κατανοήσει την μορφή, την γεωμετρία της, και με βάση τα χαρακτηριστικά αυτά να αναπτύξει την κατάλληλη επίλυση που να συνδυάζει αρχιτεκτονική και κατασκευή. Η δουλειά του είναι εξαιρετικά κρίσιμη για την ακεραιότητα της αρχιτεκτονικής του έργου.

Όταν πρόκειται για περίπλοκες, πολυσύνθετες γεωμετρίες στην αρχιτεκτονική, είναι απαραίτητες «έξυπνες» στρατηγικές σχεδιασμού (*intelligent engineering*) από την πλευρά του μηχανικού, για την στατική επίλυση του φορέα, προκειμένου να αξιοποιηθούν στο μέγιστο οι συμφυσικές δομικές ιδιότητες του σχήματος. Μόνον έτσι κατασκευή, αρχιτεκτονική και υλοποίηση (*fabrication*) μπορούν να ενταχθούν σε ένα πλαίσιο συντονισμού.¹⁰⁸

Χαρακτηριστικό της κατηγορίας αυτής είναι το **Κρεματόριο του Toyo Ito στην Kakamigahara** (2006), όπου η λευκή κυματιστή οροφή αποτελεί το κυρίαρχο στοιχείο της σύνθεσης. Η τελική μορφή προέκυψε από την στενή συνεργασία αρχιτέκτονα και μηχανικού, με σημείο αναφοράς την τρισδιάστατη απεικόνιση

107 Αναφορά σε διάλεξη του Cecil Balmond, *Το ταξίδι του Κολόμβου/Μη-Γραμμική Στατική και Αρχιτεκτονική*, Κ.Ράπτη-Α.Κ.Ρίγκας, διάλεξη 2010/40 ΕΜΠ

108 άρθρο του Wolf Mangelsdorf (γραφείο στατικών Büro Happold) στο *AD - The New Structuralism*, σελ.41

του κτιρίου¹⁰⁹, ένα εργαλείο μελέτης και διερεύνησης και για τους δύο.

Στην πρόταση του **Arata Isozaki** για τον **νέο σιδηροδρομικό σταθμό της Φλωρεντίας** (διαγωνισμός, 2002)¹¹⁰, η στηριζόμενη σε γιγανταία, δενδροειδή υποστυλώματα πλάκα διαμορφώνει την είσοδο στον σταθμό, δίνοντάς του χαρακτήρα μνημειακό.

Καθοριστική για την μορφή του κτιρίου υπήρξε και στις δύο περιπτώσεις η συνεργασία με τον, Ιάπωνα επίσης, **πολιτικό μηχανικό Mutsuro Sasaki**.

Ένα ακόμη παράδειγμα είναι το **Μουσείο Μεταφορών της Γλασκόβης**, του γραφείου **Zaha Hadid Architects**. Ο Wolf Mangelsdorf του γραφείου **Buro Happold**, που ανέλαβε την στατική μελέτη του έργου, το θεωρεί μία χαρακτηριστική περίπτωση όπου η κατανόηση των ιδιοτήτων της «ελευθέρως» μορφής και η αξιοποίηση των δυνατοτήτων που προσέφερε όπως το είχε συλλάβει η αρχιτέκτονας, οδήγησαν σε μία κομψή στατική και κατασκευαστική επίλυση.¹¹¹

Ακόμη, το κτίριο της Κρατικής Κινεζικής Τηλεόρασης στο Πεκίνο, το περίφημο **CCTV Tower** (2002-2012) του **Rem Koolhaas (OMA)** σε συνεργασία με τον μηχανικό **Cecil Balmond (ARUP)**, είναι τυπικό της σύλληψης αυτής. Εδώ η κατασκευή συνέβαλε σημαντικά στην διαμόρφωση των όψεων του κτιρίου, με τα διαγώνια στοιχεία της κατασκευής να υπακούουν σε κανόνες καθορισμένους από σύνθετες υπολογιστικές τεχνικές, αλλά και να αποτελούν ταυτόχρονα έκφραση της αρχιτεκτονικής του κτιρίου.¹¹² Τα διαγώνια χαλύβδινα φέροντα στοιχεία πυκνώνουν και αραιώνουν, χαρτογραφώντας στην όψη την ροή και το μέγεθος των δυνάμεων. Το κτίριο αποτελείται από δύο επικλινείς ανισοϋψείς πύργους, με ύψος 234m και 194m¹¹³, που στην κορυφή τους συνενώνονται σε ένα κολοσσιαίο πρόβολο 75m¹¹⁴.

Εξετάζονται παρακάτω αναλυτικά δύο παραδείγματα, τόσο από την οπτική του αρχιτέκτονα-συνθέτη, παραθέτοντας και κάποια στοιχεία από την οπτική του στατικού, που προσπάθησε να καταλήξει στην καλύτερη δυνατή λύση για την ατόφια υλοποίηση του σχεδίου του αρχιτέκτονα. Η επικοινωνία και η συνεργασία καθόλον τον σχεδιασμό ήταν καθοριστικές για την επιτυχία του έργου. Επιλέχθηκαν δύο κτίρια αρκετά αναγνωρίσιμα, δημοσιευμένα πολλές φορές και από τους αρχιτέκτονες, αλλά και από τους μηχανικούς.

δίπλα, από πάνω προς τα κάτω: σχέδιο του γραφείου Sasaki για τον νέο σιδηροδρομικό σταθμό της Φλωρεντίας, φωτορεαλιστικό του γραφείου Isozaki για τον ίδιο διαγωνισμό, το κτίριο της CCTV, το Κρεματόριο στην Kakamigahara, το Μουσείο Μεταφορών της Γλασκόβης

109 AD - *The New Structuralism*, σελ.18

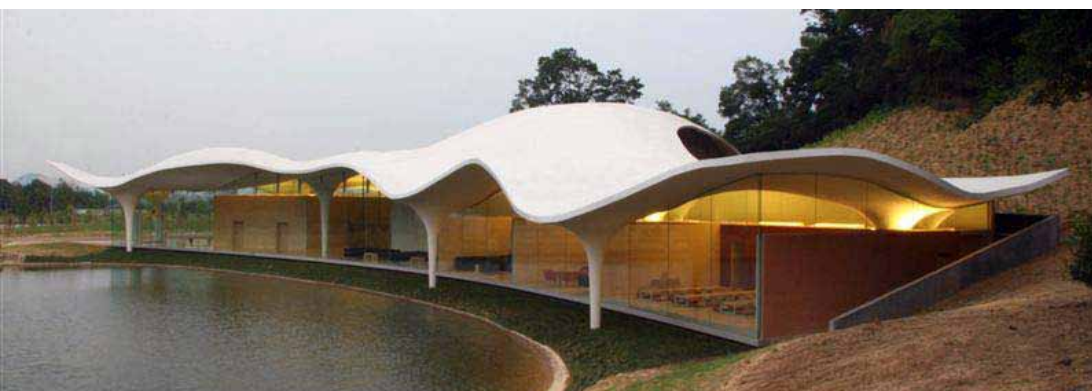
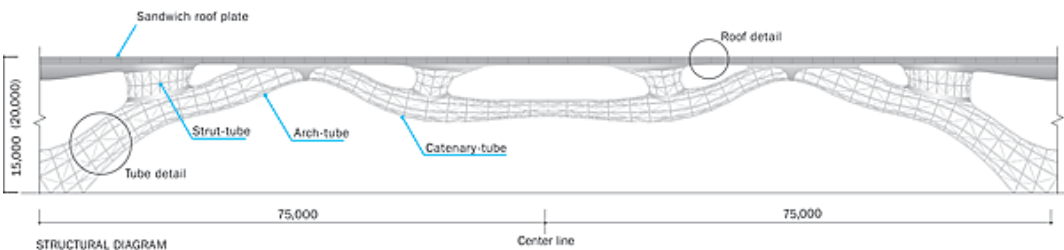
110 *ibid.*, σελ.13

111 άρθρο του Wolf Mangelsdorf (γραφείο στατικών Buro Happold) στο AD - *The New Structuralism*, σελ.44

112 εκπαιδευτικό υλικό GSD 6328, άρθρο *The Engineer's Moment* της Nina Rappaport, περιοδικό *Architectural Record*- 08.07

113 <http://www.arup.com>

114 <http://oma.eu/projects>





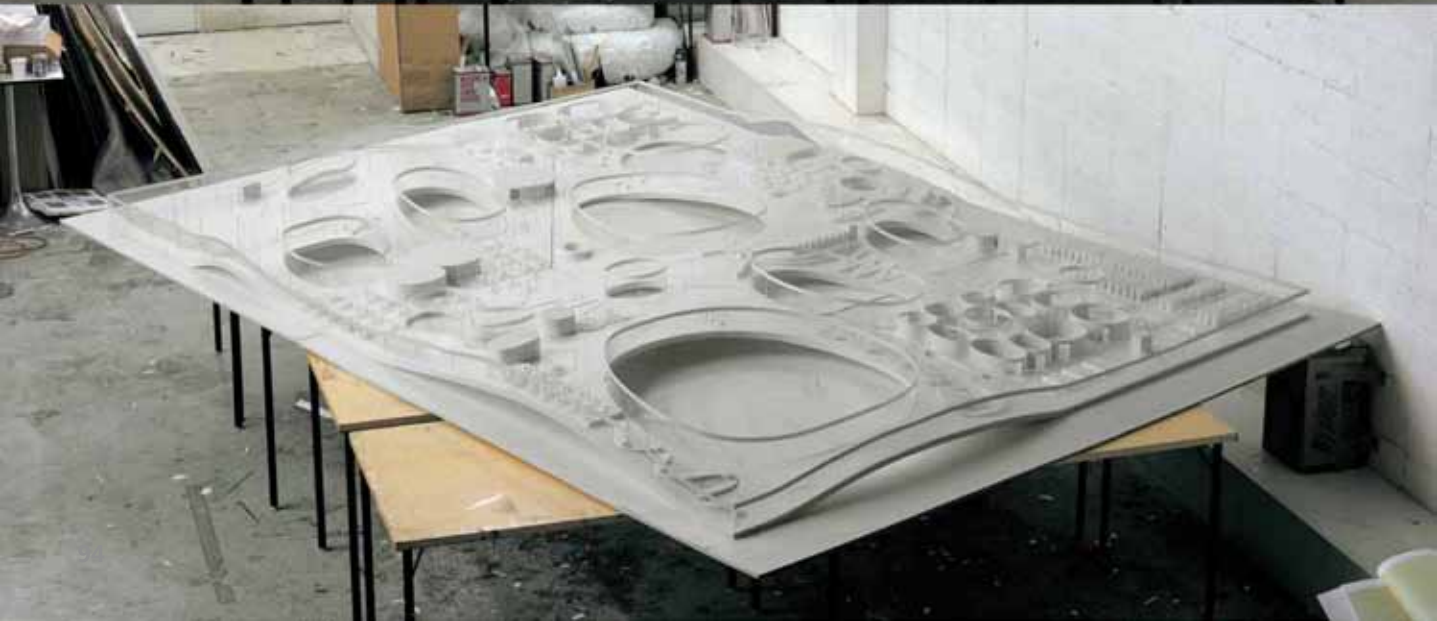
**Rolex Learning Centre, École
Polytechnique Fédérale de
Lausanne (EPFL), Λωζάννη,
Ελβετία, 2010**

**SANAA, πολιτικός μηχανικός Mutsuro
Sasaki**





πάνω: απόψεις των αιθρίων,
εσωτερική άποψη του κτιρίου.
κάτω: προπλάσματα



Η École Polytechnique Fédérale de Lausanne, στην Ελβετία, με αφορμή τα 150 χρόνια από την ίδρυσή της¹¹⁵, ήθελε να δημιουργήσει έναν χώρο συναστροφής και μελέτης τόσο για τους φοιτητές της όσο και για τους κατοίκους της περιοχής, έναν χώρο πολιτισμού, ανοιχτό στο ευρύ κοινό, που να λειτουργεί όλες τις μέρες της εβδομάδας, καθόλη σχεδόν την διάρκεια της ημέρας.

Ένας τόπος συναστροφής, ένας χώρος για την προαγωγή της γνώσης, ένα τοπόσημο για την πόλη.

Ο χώρος σήμερα στεγάζει μία από τις μεγαλύτερες συλλογές επιστημονικών βιβλίων –περί τους 500.000 τίτλους κι επιπλέον 20.000 ηλεκτρονικά βιβλία. Τους τέσσερις ειδικά διαμορφωμένους χώρους μελέτης είναι δυνατόν να χρησιμοποιήσουν έως και 860 φοιτητές, ενώ υπάρχει και η δυνατότητα μελέτης σε μικρότερους, απομονωμένους χώρους που διαχωρίζονται με υαλοστάσια από το υπόλοιπο κτίριο, οι «φούσκες». Το Learning Centre περιλαμβάνει ακόμη μία αίθουσα πολλαπλών χρήσεων, το Rolex Forum, χωρητικότητας 600 ατόμων και συνολικής επιφάνειας 310 τετραγωνικών. Το κτιριολογικό πρόγραμμα συμπληρώνουν χώροι εστίασης, ανάμεσα στους οποίους καφετέριες, αλλά και ένα εστιατόριο που ανοίγεται προς την θέα των Άλπεων.¹¹⁶

Το σχέδιο των SANAA, που αναδείχθηκε στο πλαίσιο κλειστού διεθνούς αρχιτεκτονικού διαγωνισμού, αποτελείται από δύο επιφάνειες, τετράγωνου σχεδόν σχήματος (121,5x166,5 μέτρα¹¹⁷), ανάμεσα στις οποίες εγκιβωτίζεται ο ζωτικός χώρος του Rolex Learning Centre. Οι επιφάνειες αυτές, κινούμενες παράλληλα αλλού ανηφορικά και αλλού κατηφορικά, οργανώνουν τον χώρο σε ένα μεταβαλλόμενο επίπεδο. Πρόκειται για ένα κτίριο-τοπίο, χωρισμένο σε διακριτές ζώνες. Παρά τις εξαιρετικά μεγάλες διαστάσεις, μιας και δεν υπάρχουν παρά ελάχιστα εσωτερικά χωρίσματα, οι μεταβολές της καμπυλότητας σε συνδυασμό με την παρουσία αιθρίων επιμερίζουν το κτίριο, αποκαλύπτοντάς το σταδιακά στον επισκέπτη.

Διατρήσεις του όγκου, αίθρια, εξασφαλίζουν τον επαρκή φωτισμό και διαμορφώνουν την χαρακτηριστική πέμπτη όψη, λειτουργώντας παράλληλα σαν χώροι εκτόνωσης των χρηστών του κτιρίου, και ενοποιώντας οπτικά τον χώρο με τις επιβλητικές Άλπεις και την λίμνη της Γενεύης, σε μία ρευστή σχέση εσωτερικού και εξωτερικού, κτιρίου και τοπίου.

Το κτίριο περιγράφηκε από τους αρχιτέκτονες σαν «ένας οικείος δημόσιος χώρος».¹¹⁸

115 *Rolex Learning Center-Guide en Français*, σελ.10

116 *Rolex Learning Center-Press Information*, εκπαιδευτικό υλικό Ιστορίας και Θεωρίας 7, ΕΜΠ

117 "Form finding of the shell structures of the ROLEX LEARNING CENTER in Lausanne", M.Grohmann, K.Bollinger, A.Weilandt, M.Wagner, εκπαιδευτικό υλικό Ιστορίας και Θεωρίας 7, ΕΜΠ

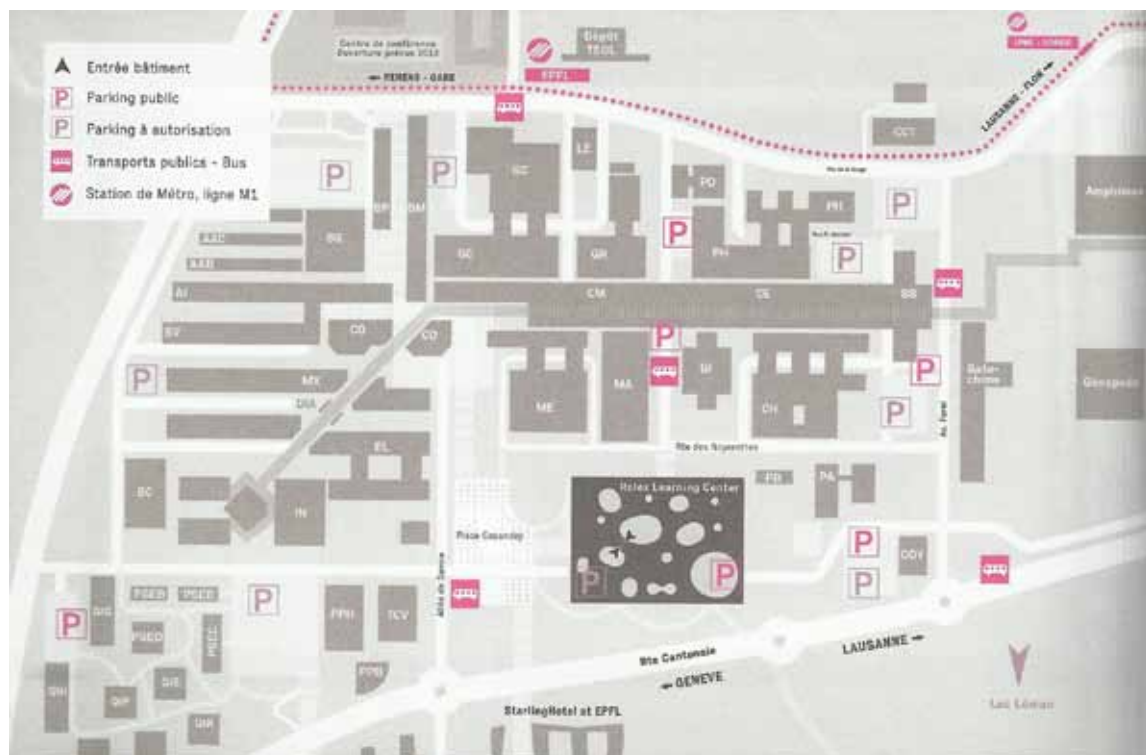
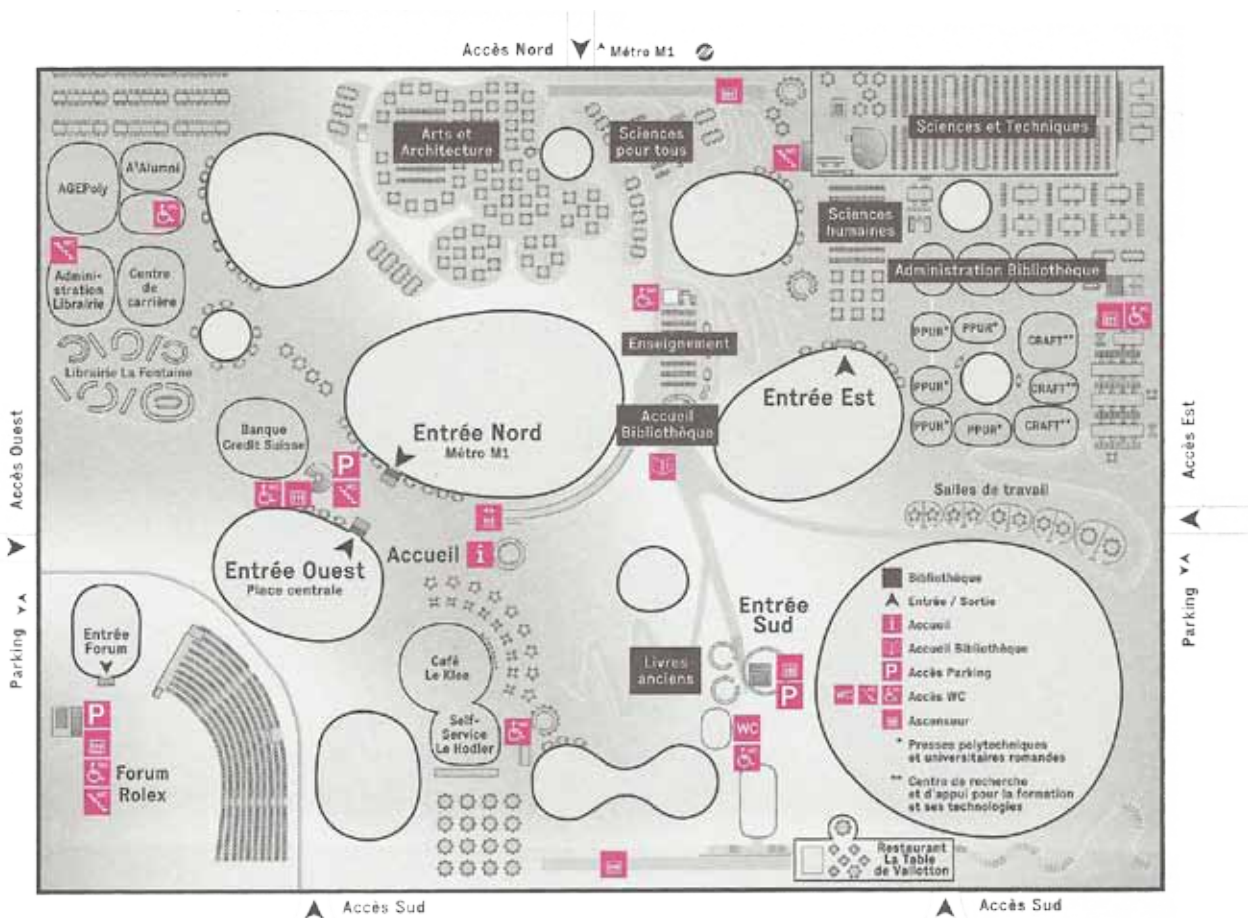
118 *Rolex Learning Center-Press Information*, εκπαιδευτικό υλικό Ιστορίας και Θεωρίας 7,

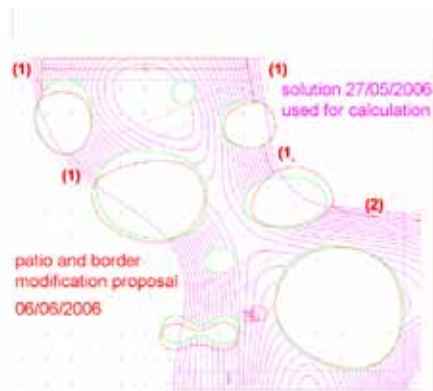
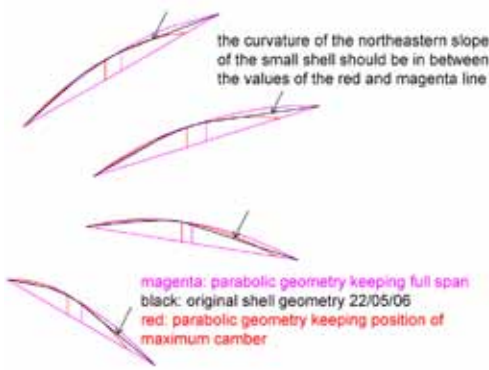
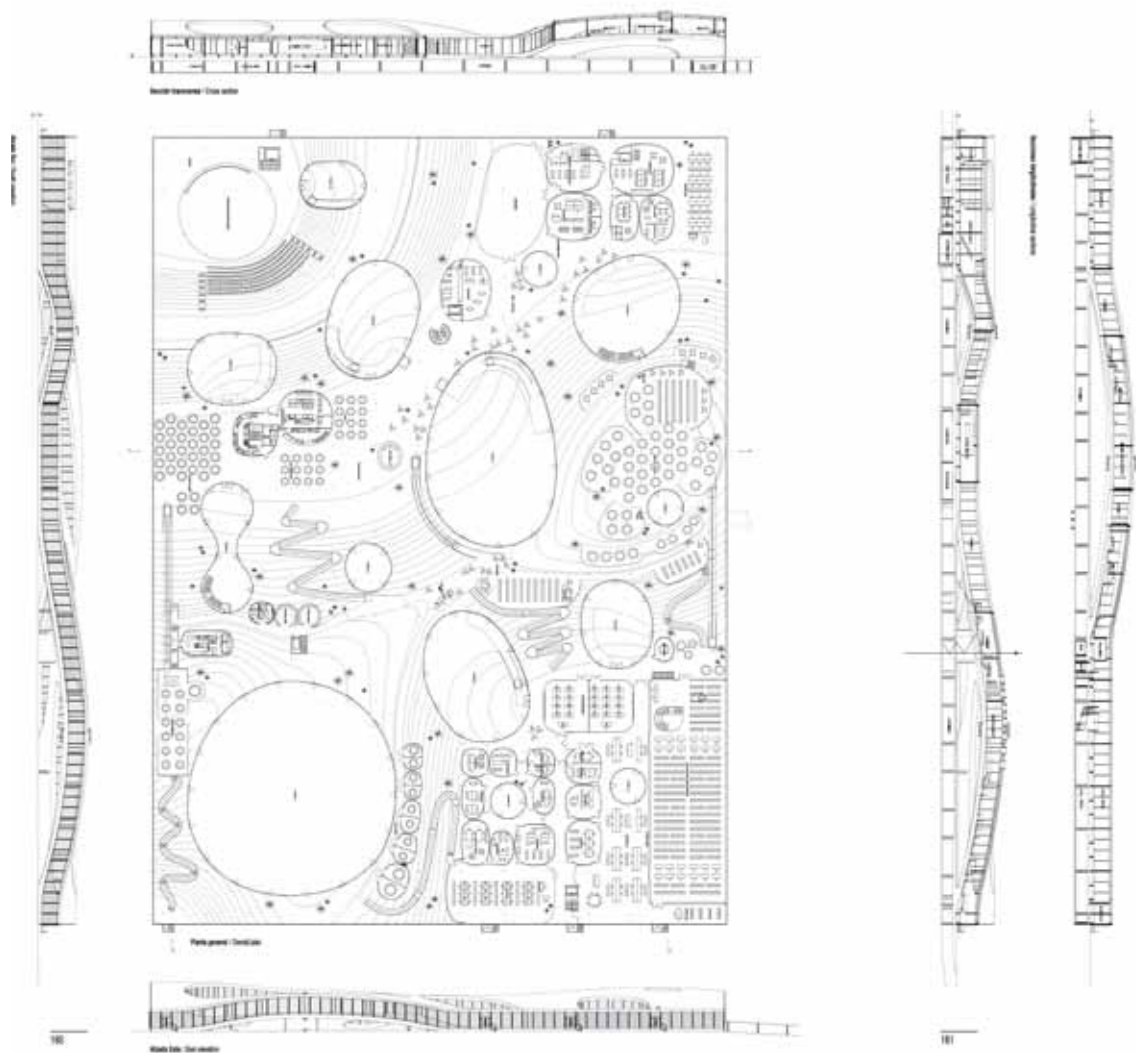


Εσωτερικές και εξωτερικές απόψεις του Rolex Learning Center



Κάτοψη του κτιρίου και σχέδιο του συνόλου του συγκροτήματος του EPFL





Οι κυματισμοί της επιφάνειας απομονώνουν ηχητικά σε ικανοποιητικό βαθμό τις διαφορετικές ζώνες λειτουργιών.¹¹⁹

Από τα πρώτα στάδια του σχεδιασμού, γίνεται φανερό ότι οι αρχιτέκτονες έχουν συλλάβει τις δύο αυτές επιφάνειες ως «κελύφη», χωρίς σημαντικά εσωτερικά στηρίγματα να διακόπτουν την ροή του χώρου ή να περιορίζουν τις στοχευμένες θέες προς το τοπίο ή προς το παλαιότερο συγκρότημα του EPFL¹²⁰.

Η κάτω επιφάνεια εδράζεται σε λιγοστά σημεία στο έδαφος, όπου και διαμορφώνονται οι είσοδοι στο κτίριο, επιτρέποντας ροές κινήσεων προς το εσωτερικό του. Η κύρια είσοδος του κτιρίου βρίσκεται στο κέντρο του, ενώ στους ημιυπαίθριους χώρους κάτω από το κτίριο λαμβάνουν χώρα διάφορες εκδηλώσεις κατά τους καλοκαιρινούς μήνες.

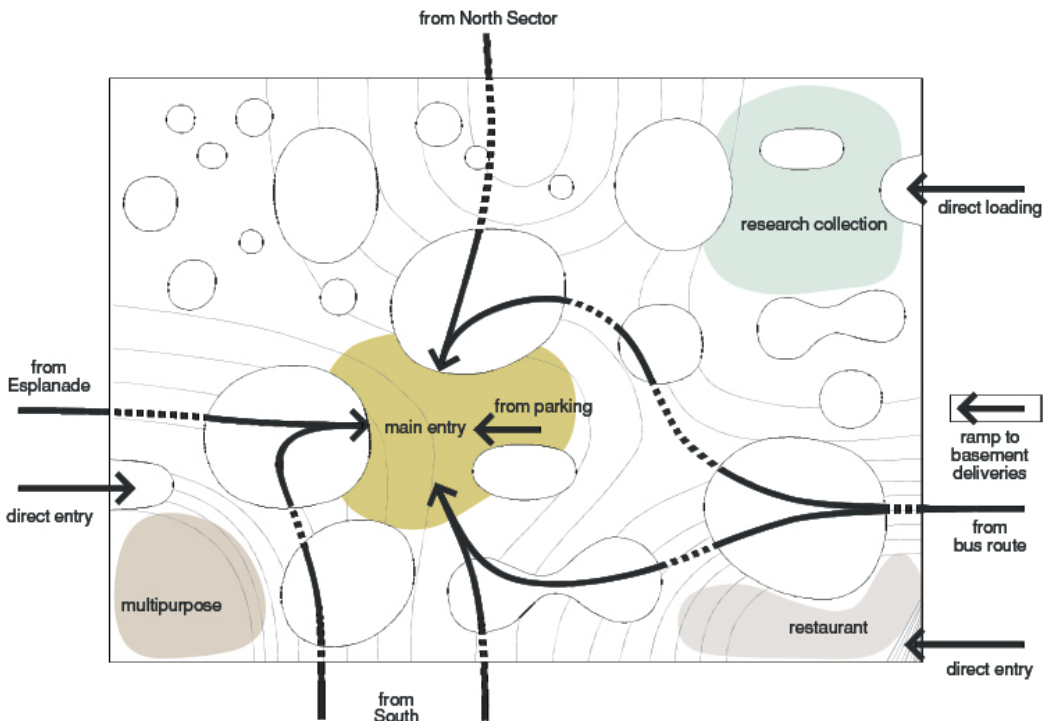
Τα δεκατέσσερα αίθρια, οι διατρήσεις αυτές του «κελύφους», εξυπηρετούν πολλαπλούς σκοπούς: φωτισμός του εσωτερικού του κτιρίου, αερισμός και ρύθμιση της εσωτερικής θερμοκρασίας, μείωση του βάρους του φέροντος οργανισμού. Η ακριβής θέση και το μέγεθος τους προσδιορίστηκαν με βάση την βέλτιστη ικανοποίηση των παραπάνω απαιτήσεων, πάντοτε βέβαια με γνώμονα τις αρχιτεκτονικές προθέσεις.¹²¹

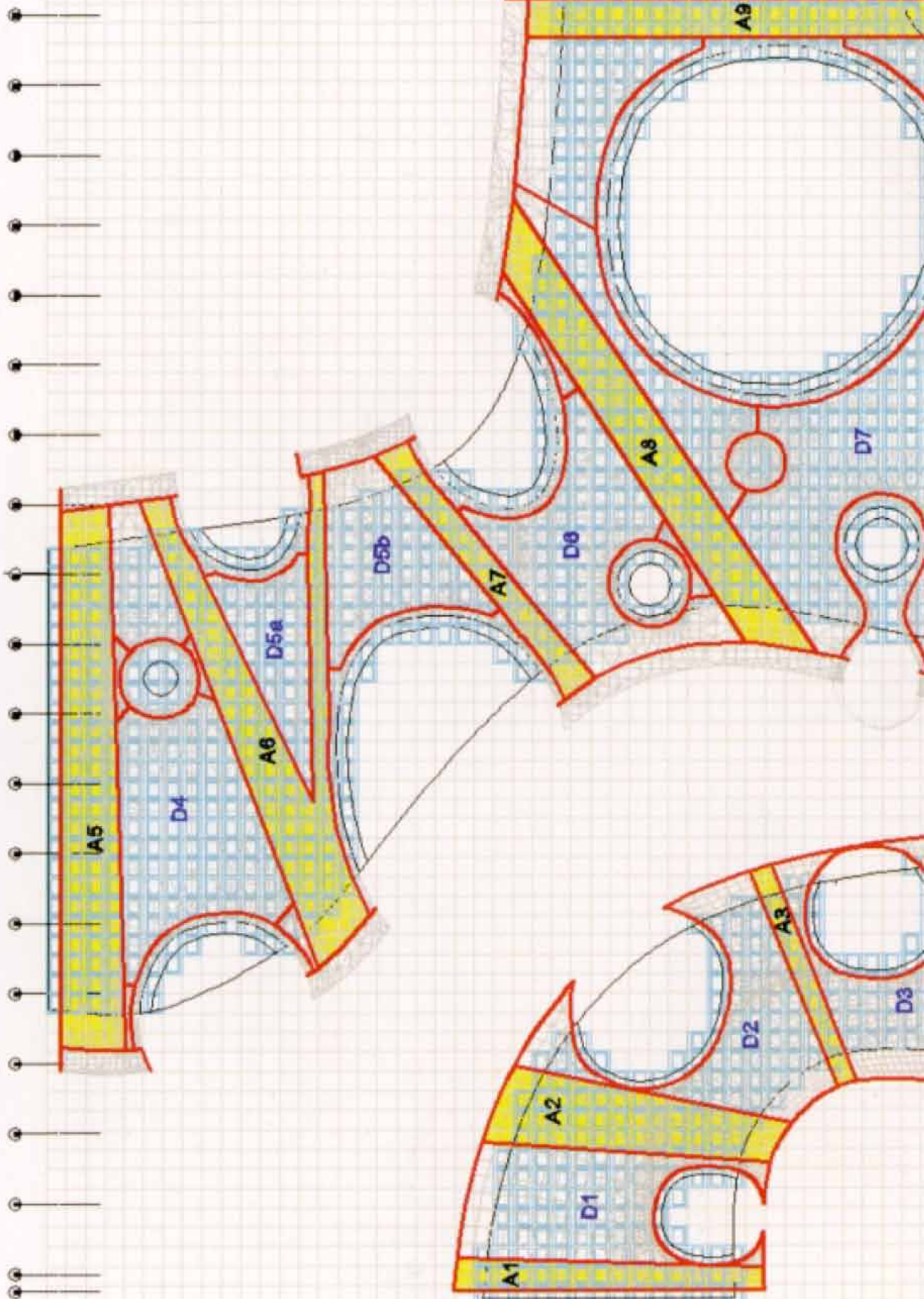
ΕΜΠ

119 *ibid.*

120 *"Architecture is Environment"*, διάλεξη των Kazuyo Sejima και Ryue Nishizawa (SANAA) στο Harvard GSD

121 *ibid.*







Η στατική επίλυση που σχεδιάστηκε από το γραφείο SAPS (Sasaki and Partners), του πολιτικού μηχανικού Mutsuro Sasaki, με βάση το Τόκυο, είναι αρκετά σύνθετη, συνδυάζοντας διαφορετικούς τύπους φερόντων συστημάτων.

Τον τελικό υπολογισμό και σχεδιασμό των φερόντων στοιχείων ανέλαβε το γερμανικό γραφείο Bollinger + Grohmann Ingenieure με βάση την Στουτγάρδη.

Από τα πρώτα στάδια του σχεδιασμού, αρχιτεκτονικό μοντέλο και στατικό μοντέλο δουλεύτηκαν παράλληλα, στο πλαίσιο μιας στενής συνεργασίας μεταξύ αρχιτεκτόνων και μηχανικών, προκειμένου να προσδιοριστεί η ακριβής μορφή του κτιρίου.¹²²

Ο σχεδιασμός των «κελυφών», μη στοχεύοντας σε ένα βέλτιστο σχήμα για το σύνολο της κατασκευής, πραγματοποιήθηκε μέσω μιας διαδικασίας διαπραγματεύσεων και συμβιβασμού μεταξύ αρχιτεκτονικών και κατασκευαστικών απαιτήσεων.¹²³

Η κατώτερη επιφάνεια, αυτή του πατώματος, προκειμένου να ανταποκριθεί στις αυξημένες απαιτήσεις των μεγάλων ανοιγμάτων που γεφυρώνει, είναι αποτέλεσμα μιας περίπλοκης δομικής σύλληψης.

Έντεκα τόξα σημαντικού πλάτους και διαφορετικών διευθύνσεων στηρίζουν δύο «κελύφη», στα σημεία όπου το κτίριο αποκολλάται από την επιφάνεια της γης, ενώ γύρω από τα αίθρια ενισχυμένες ζώνες εξασφαλίζουν την ευστάθειά του. Στις περιοχές όπου το κτίριο εδράζεται στο έδαφος, μια επίπεδη, οριζόντια πλάκα διαμορφώνει το επίπεδο του χώρου, και στεγάζει ταυτόχρονα τους υπόγειους χώρους, εξασφαλίζοντας μια πρόσθετη σταθερότητα στο κτίριο και περιδένοντάς το. Παράλληλα, επιπλέον στοιχεία στήριξης, τοιχεία και κάποια κυκλικής διατομής υποστηλώματα συμπληρώνουν τον φέροντα οργανισμό.¹²⁴

Το μικρότερο κέλυφος εδράζεται σε τέσσερα τόξα, μήκους από 30 έως 40 μέτρα, ενώ το δεύτερο, μεγαλύτερο κέλυφος εδράζεται σε επτά τόξα, μήκους από 55 έως 90 μέτρα. Τις ωθήσεις παραλαμβάνουν 70 προεντεταμένα καλώδια, θαμμένα στο έδαφος.¹²⁵

Ένα μειονέκτημα των συγκεκριμένων «κελυφών» είναι οι μεγάλες καμπτικές δυνάμεις που υφίστανται, λόγω της γεωμετρίας τους –σε αντίθεση με τα συνηθισμένα κελύφη που εξορισμού δέχονται αμελητέα καμπτικά ή διατμητικά φορτία.¹²⁶

122 "ROLEX LEARNING CENTER in Lausanne: From conceptual design to execution", M.Grohmann, K.Bollinger, A.Weilandt, M.Wagner, πρακτικά IASS Symposium 2009

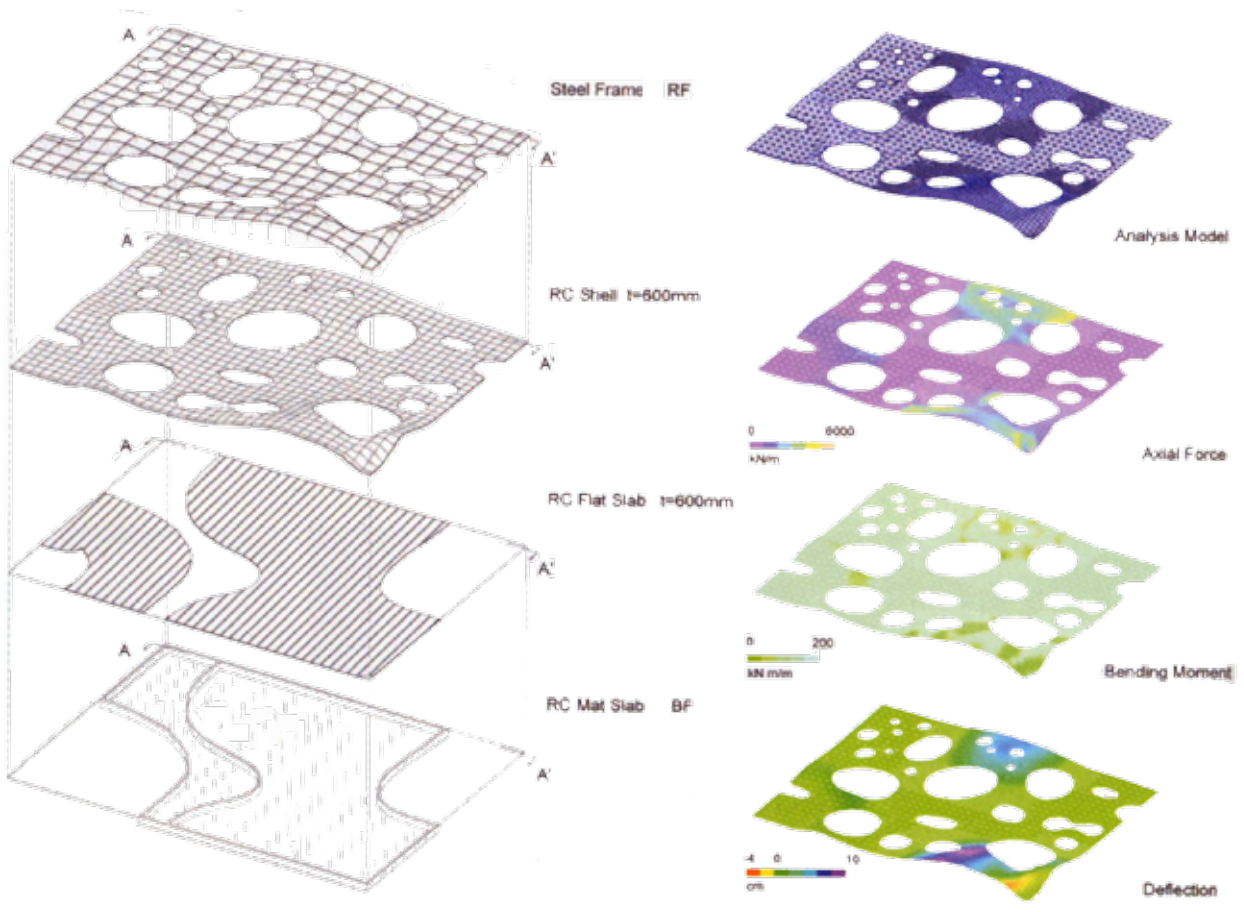
123 M.Grohmann, K.Bollinger, A.Weilandt, M.Wagner, εκπαιδευτικό υλικό Ιστορίας και Θεωρίας 7, ΕΜΠ

124 παρουσίαση της Marie-Rose Backes, LE BETON MATIERE EN DEVENIR – COLLOQUE INTERDISCIPLINAIRE 2011

125 Rolex Learning Center-Press Information, εκπαιδευτικό υλικό Ιστορίας και Θεωρίας 7, ΕΜΠ

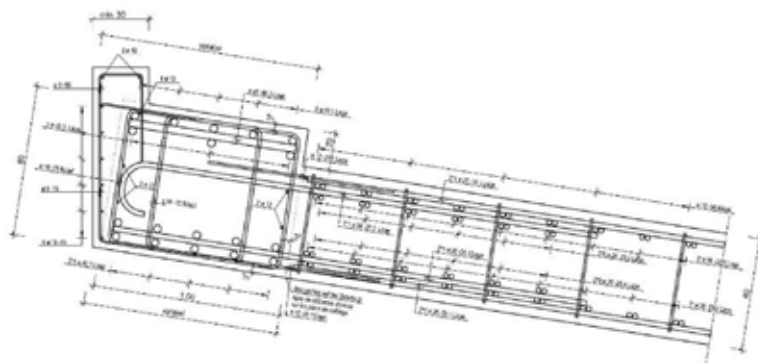
126 M.Grohmann, K.Bollinger, A.Weilandt, M.Wagner, εκπαιδευτικό υλικό Ιστορίας και

δίπλα: σχέδιο της κατασκευαστικής σύλληψης του κτιρίου. Με Α συμβολίζονται τα τόξα και με D τα επιμέρους τμήματα των δύο "κελυφών".



bending and normal forces

tension



Το πάχος των επιφανειών είναι περίπου 80 εκατοστά, ενώ για την ικανοποιητική συμπεριφορά των φερόντων στοιχείων, τα έντεκα συνολικά τόξα έχουν κατασκευαστεί από προεντεταμένο σκυρόδεμα, με ισχυρό (έως και διαμέτρου 50mm) και πυκνό οπλισμό.¹²⁷

Εξαιτίας της ασυνήθιστης κατασκευής και συνδεσης των φερόντων στοιχείων μεταξύ τους, οι μελετητές μηχανικοί σε συνεργασία με τους μηχανικούς της κατασκευαστικής μελέτησαν τις λεπτομέρειες του οπλισμού φτιάχνοντας μακέτες 1:1 στο εργοτάξιο.¹²⁸

Η επιφάνεια στέγασης του κτιρίου υλοποιήθηκε με μια ελαφριά κατασκευή, στηριζόμενη σε ραδινά κυκλικά υποστηλώματα, τοποθετημένα σε κάναβο 9x9 μέτρα.¹²⁹

Ο ακριβής υπολογισμός ενός τόσο σύνθετου φέροντος οργανισμού, και η προσαρμογή του στις υπόλοιπες απαιτήσεις (αρχιτεκτονικές, βιοκλιματικές) έγινε μέσω μιας διαδικασίας συνεχούς ανατροφοδότησης με δεδομένα του προγράμματος στον ηλεκτρονικό υπολογιστή.¹³⁰ Συγκεκριμένα, ο ακριβής υπολογισμός των διατομών και του οπλισμού του φέροντος οργανισμού έγινε με την Μέθοδο των Πεπερασμένων Στοιχείων (FEM-Finite Element Method), με χρήση του προγράμματος της εταιρίας SOFiStiK.¹³¹

Η κατασκευή του ξυλότυπου, δεδομένης της σύνθετης γεωμετρίας του κτιρίου, πραγματοποιήθηκε με χρήση ψηφιακών μέσων από την εξειδικευμένη εταιρία designtoproduction, με βάση το τρισδιάστατο μοντέλο.¹³²

Θεωρία 7, ΕΜΠ

127 παρουσίαση της Marie-Rose Backes, *LE BETON MATIERE EN DEVENIR – COLLOQUE INTERDISCIPLINAIRE 2011*

128 "ROLEX LEARNING CENTER in Lausanne: From conceptual design to execution", M.Grohmann, K.Bollinger, A.Weilandt, M.Wagner, πρακτικά IASS Symposium 2009

129 M.Grohmann, K.Bollinger, A.Weilandt, M.Wagner, εκπαιδευτικό υλικό Ιστορίας και Θεωρίας 7, ΕΜΠ

130 "Architecture is Environment", διάλεξη των Kazuyo Sejima και Ryue Nishizawa (SANAA) στο Harvard GSD

131 M.Grohmann, K.Bollinger, A.Weilandt, M.Wagner, εκπαιδευτικό υλικό Ιστορίας και Θεωρίας 7, ΕΜΠ

132 *AD Architectural Desing: The New Structuralism*, σελ.88



«Το έργο του EPFL επεκτείνει την προσέγγιση που ο Sasaki εφάρμοσε σε προηγούμενα έργα μουσείων με τους SANAA ως προς την σχέση πλάκας-κατασκευής, παραμορφώνοντάς τις σε ένα επικλινές εσωτερικό τοπίο, σαν έναν τοπογραφικό χάρτη των φορτίων.»¹³³

Το κτίριο-τοπίο των αρχιτεκτόνων, και η πλασμένη από τα φορτία κατασκευή-τοπίο του μηχανικού, συνενώθηκαν μέσα από την στενή συνεργασία σε ένα έργο μοναδικό. Οι ιδιαιτερότητες της συνθετικής σύλληψης έγιναν εργαλείο στα χέρια του στατικού, που εφηύρε μια κατασκευή ειδικά για την έκφραση και την υλοποίηση της συγκεκριμένης αρχιτεκτονικής. Ένα κτίριο διεθνώς αναγνωρισμένο, ένα επίτευγμα τεχνικό, ένας τόπος αναφοράς για την πόλη.

133 "The EPFL Project expands the plate-structure approach that Sasaki employed on earlier museum projects with SANAA, warping them into a sloping interior landscape, like a topographical map of structural forces." Mutsuro Sasaki, άρθρο του Russell Fortmeyer στο Architectural Record, GSD 6328



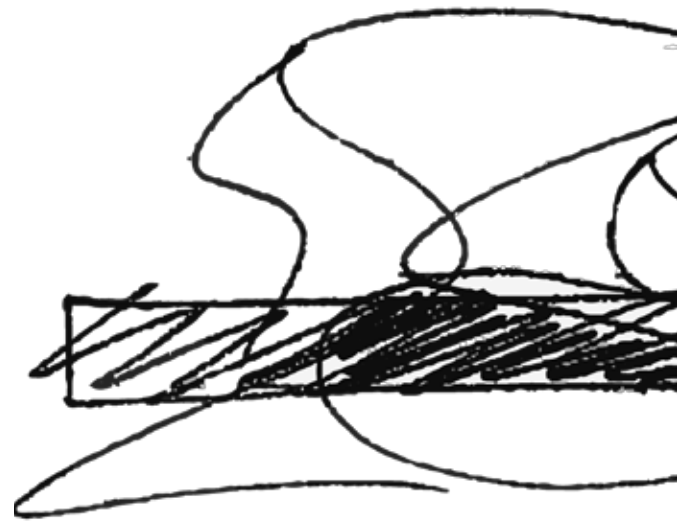
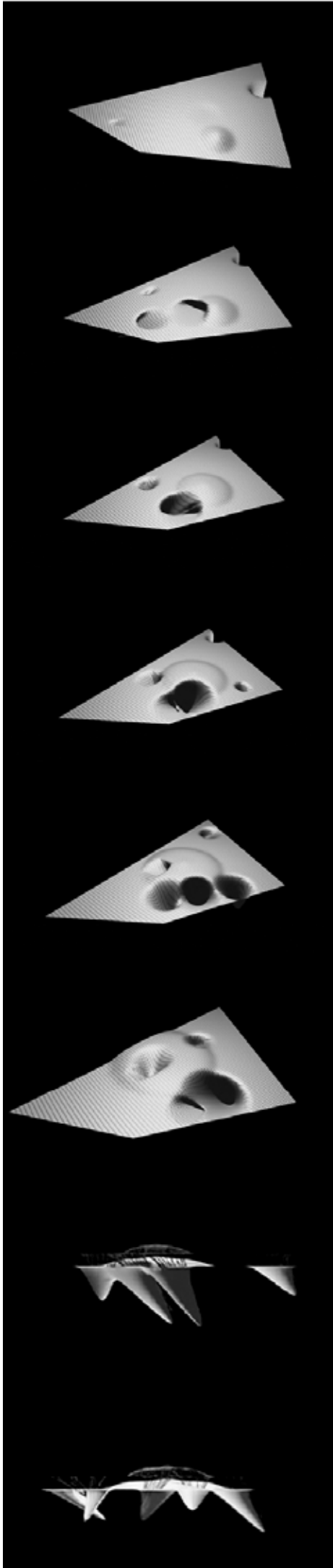


**Κέντρο Επιστημών Phaeno,
Wolfsburg, Γερμανία, 2005**

**Zaha Hadid Architects και AKT (Adams Kara
Taylor)**



t



Η πόλη του Wolfsburg ιδρύθηκε το 1938, προκειμένου να στεγάσει τους εργάτες του μεγαλύτερου εργοστασίου της αυτοκινητοβιομηχανίας Volkswagen, και εξακολουθεί να αποτελεί έως σήμερα την έδρα της εταιρίας.¹³⁴

Οι δημοτικές αρχές, θέλοντας να προωθήσουν μια νέα εικόνα για την πόλη τους, αλλά και να προσελκύσουν επισκέπτες, διεξήγαγαν διεθνή διαγωνισμό για την δημιουργία ενός Κέντρου Επιστημών για μικρούς και μεγάλους, ενός τοπόσημου για το Wolfsburg. Το έργο ολοκληρώθηκε το 2005.

Η πρόταση του γραφείου Zaha Hadid Architects παρουσιάστηκε μέσα από ένα σύντομο βίντεο, όπου μια ήρεμη αρχικά επιφάνεια υφίσταται παραμορφώσεις, σαν υπό την επίδραση βαρυτικών δυνάμεων. Βυθιζόμενες κάποιες περιοχές, «λιώνουν» και σχηματίζουν τους δέκα κώνους που απαρτίζουν και την φέρουσα κατασκευή αυτού του κτιρίου, τα σημεία έδρασής του. Η αρχιτεκτονική σύλληψη του κτιρίου, οι μεταμορφώσεις ενός επιπέδου υπό την επήρεια ενός συνόλου δυνάμεων, καθοδήγησε σε καθοριστικό βαθμό και την στατική επίλυση.¹³⁵ Δέκα κώνοι, καθένας μοναδικός σε σχήμα και κλίση. Κάτω από τον όγκο του κτιρίου, ένας δημόσιος χώρος, μια πλατεία, προσφέρεται στους κατοίκους της πόλης. Αποκολλημένο από το έδαφος, το κτίριο επιτρέπει την διέλευση των πεζών αλλά και του βλέματος προς την βιομηχανική περιοχή της πόλης. Δεν αποτελεί όριο, αλλά σταυροδρόμι.

Ο όγκος εγγράφεται σε ένα τραπεζοειδές στερεό, μήκους περίπου 150m και ύψους περίπου 16m, με τα χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος χώρου να δίνουν την συνολική μορφή, την διεύθυνση των ακμών και την θέση των ακμών του νοητού πρίσματος.¹³⁶

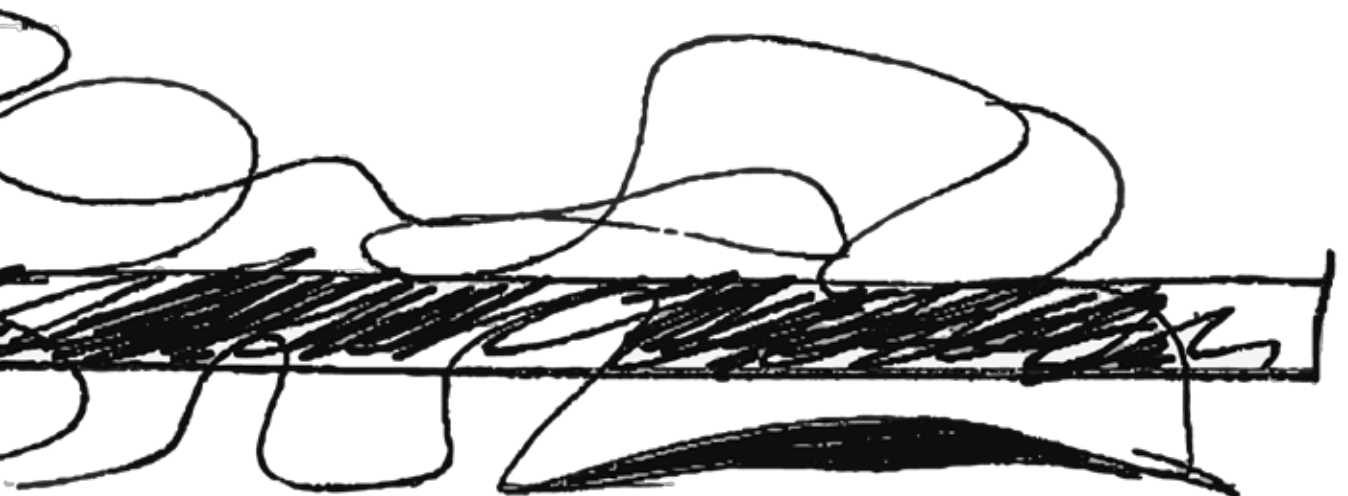
Η ίδια η Hadid χαρακτηρίζει το κτίριο αυτό, ως προς την βασική του συνθετική σύλληψη, αλλά και ως προς τον τρόπο που διαπλάστηκε κατά την συνθετική διαδικασία, ένα «κτίριο-

δίπλα: στιγμιότυπα από το βίντεο παρουσίασης της ιδέας στον διαγωνισμό
κάτω: σκίτσο των αρχικών φάσεων του σχεδιασμού

134 Σειρά DVD "Architectures", Volume 5

135 Christos Passas στο *Interdisciplinary Design*, σελ.101

136 *Design Engineering AKT*, σελ.74



τοπίο».

Το εσωτερικό, χωρίς γωνίες, χωρίς αρμούς και ραφές, με όλα του τα στοιχεία να μοιάζουν να έχουν προκύψει από μια συνεχή ροή ύλης, κάνει νύξη σε στοιχεία φυσικού τοπίου. Οι εσωτερικοί «κρατήρες» διαμορφώνουν τον χώρο εσωτερικά αλλά και την κατασκευή ταυτόχρονα.

Ο χώρος ρέει, δεν υπάρχουν σαφώς καθορισμένοι διάδρομοι, ούτε σαφώς καθορισμένες χώροι. Ο κάθε επισκέπτης είναι ελεύθερος να ανακαλύψει το κτίριο. *Απόλυτη ρευστότητα σε όλες τις κλίμακες (Total Fluidity across all Scales)*, μια προσέγγιση που έχει υιοθετήσει και εφαρμόζει το συγκεκριμένο γραφείο.¹³⁷

Το κτίριο χαρακτηρίζεται σαν μια παιδική χαρά αρχιτεκτονικής περιπέτειας, ένα μαγικό κουτί που στόχο έχει να αφυπνίσει την περιέργεια.¹³⁸

Μοναδικό σημείο αναφοράς μέσα στον χώρο είναι οι κώννοι, η φέρουσα κατασκευή του κτιρίου, που το κρατά σε απόσταση από το έδαφος, δίνοντας μορφή και στην πλατεία κάτω από το μουσείο.

«Στο κτίριο αυτό απομακρυνθήκαμε από την ιδέα της *pilotis* που ανασηκώνει το κτίριο από το έδαφος και προσανατολιστήκαμε προς μια πιο σύνθετη ιδέα, όπου την φέρουσα κατασκευή καταλαμβάνουν οι χρήσεις.»¹³⁹

Έτσι, στους κώννους στεγάζονται οι υποδοχή των γκρουπ, η υποδοχή του κοινού, το εστιατόριο, η αίθουσα πολλαπλών χρήσεων, το μπαρ, τα εργαστήρια, το πωλητήριο. Στους κώννους

137 Patrik Schumacher (Zaha Hadid Architects) στο *Design Engineering AKT*, σελ.70

138 www.zaha-hadid.com

139 Δήλωση της Zaha Hadid, Σειρά DVD "Architectures", Volume 5



επίσης εγκιβωτίζονται οι κατακόρυφες και καθύψος κινήσεις, με μορφή, λειτουργία και κατασκευή να ενσωματώνονται σε ένα αδιάσπαστο σύνολο.

Στην πρόταση που υπέβαλε στον διαγωνισμό, η Hadid είχε επιλέξει μία γυάλινη όψη στον Νότο, που όμως στην συνέχεια, κατά την διάρκεια των εργασιών αντικαταστάθηκε με μια πιο συμπαγή, μπετονένια, προκειμένου το φως να μην εμποδίζει τα πειράματα. Ανοίγματα σχήματος πλαγίου παραλληλογράμμου, με στρογγυλεμένες γωνίες, σε επιλεγμένες θέσεις και πυκνότητες, παραπέμπουν σε μια αίσθηση ταχύτητας, προσφέροντας επιλεγμένες θέες της πόλης, καδραρισμένες από το κτίριο.

Η βόρεια όψη, διάφανη, ανοίγεται προς το βιομηχανικό τοπίο της πόλης, το εργοστάσιο της Volkswagen, την Autostadt (το θεματικό πάρκο της Volkswagen), τις γραμμές του τρένου και το ποτάμι.

Οι δύο όχθες της πόλης ενώνονται με μία γέφυρα, η οποία εισέρχεται ελαφριά στο κτίριο, προσφέροντας οπτικές του εσωτερικού στους διερχομένους.¹⁴⁰

Μέσα από τα 250 βιωματικά εκθέματα της κύριας έκθεσης, ο επισκέπτης ανακαλύπτει τα φαινόμενα της φύσης χάρη σε απλούς, ειδικά σχεδιασμένους, μηχανισμούς- πειράματα. Το επίπεδό της υποστηρίζουν και οι δέκα κώνοι, ενώ τέσσερις από αυτούς συνεχίζουν και στο υπερκείμενο επίπεδο, στηρίζοντας

¹⁴⁰ A glazed public wormholelike extension of the existing bridge flows through the building allowing views to and from the exhibition space, <http://www.zaha-hadid.com>





“the pocket”- “η τσέπη”



την οροφή του κτιρίου.

Η αρχιτέκτονας χρησιμοποιεί το ίχνος των τεσσάρων αυτών κώνων στον πρώτο όροφο σαν αφορμή για σχεδιασμό του κτιρίου-τοπίου. Το ίχνος προβάλλεται και δημιουργεί ένα επιπλέον επίπεδο προς εξερεύνηση, το οποίο ονομάζει “the pocket”, «η τσέπη».

Κατασκευή

Ο φέρων οργανισμός του κτιρίου ήταν μια από τις παραμέτρους που ορίστηκαν εξαρχής και αποτέλεσαν μέσο αρχιτεκτονικής έκφρασης: ένα «κέλυφος» από σπλισμένο σκυρόδεμα που εδράζεται σε δέκα κώνους.

Η εμπειρία του χώρου, η αρχιτεκτονική έκφραση είναι υποβλητική και έντονη, αφού η ίδια η κατασκευή, το πιο ισχυρό στοιχείο του χώρου, επιδρά στις αισθήσεις: όραση, ακοή και αφή δέχονται συνεχώς ερεθίσματα, σε έναν χώρο που ρέει.

«Υπάρχει μια ενδόμυχη συνύπαρξη μεταξύ της χωρικής και δομικής σύλληψης του κτιρίου, μια ροϊκή διάρθρωση από την διαδοικιδωτή μπετονένια κατασκευή του υπερυψωμένου πατώματος στο χαλύβδινο χωροδικτύωμα που φέρει την οροφή. Σε μεγάλο βαθμό η αρχιτεκτονική έκφραση κυριαρχείται από τον φέροντα οργανισμό. Πράγματι, ο φέρων οργανισμός αποτελεί την αρχιτεκτονική, και συνεπώς η ανάγκη για στενή



συνεργασία [με τους πολιτικούς μηχανικούς] ήταν εξαιρετικά έντονη.»¹⁴¹

Patrik Schumacher -Zaha Hadid Architects

Ο Schumacher υποστηρίζει επίσης πως χαρακτηριστική της σύγχρονης αρχιτεκτονικής είναι η αποδέσμευση της σκέψης από συγκεκριμένες τυπολογίες, η μετάβαση «από την τυπολογία στην τοπολογία».¹⁴² Συνακόλουθα, οι στατικές επιλύσεις που υλοποιούν την σύγχρονη αρχιτεκτονική ξεφεύγουν από τις παραδοσιακές, καθιερωμένες μεθόδους των μηχανικών.

Υπολογιστικά εργαλεία όπως η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων επέτρεψαν την ακριβή μελέτη των δυνάμεων στο σύνολο του κτιρίου, σε σχέση με την συνολική μορφή του, γεγονός που το κατέστησε ένα ενιαίο αδιάσπαστο σύνολο.

Η μέθοδος αυτή επέτρεψε στους μηχανικούς του συγκεκριμένου κτιρίου να μηχανευτούν, σχεδιάσουν, να υπολογίσουν και να υλοποιήσουν με ακρίβεια ένα υβρίδιο φορέων, αποκλειστικά και μόνο για το Phaeno. Το κτίριο δεν αποτελείται από μέρη αλλά από μόρια, είναι ένας οργανισμός.

141 "There is an essential symbiosis in the spatial and structural conception of the building, and a close inter-articulation of the waffle concrete structure of the raised floor and the steel space-frame that carries the roof. To a large extent the architectural expression is dominated by the structure. In fact, the structure constitutes the architecture, and therefore the demand for tight collaboration was extraordinary"; Patrik Schumacher (Zaha Hadid Architects) στο *Design Engineering AKT*, σελ.74

142 "From Typology to Topology", *Design Engineering AKT*, σελ.71



Πληθώρα προγραμμάτων, ανάμεσα στα οποία το Maya και το Form Z, χρησιμοποιήθηκαν κατά τον σχεδιασμό τόσο από τους ΖΗΑ όσο και από τους ΑΚΤ, για την δημιουργία κοινών τρισδιάστατων μοντέλων.¹⁴³

Ένα εξειδικευμένο πρόγραμμα, δημιούργημα της εταιρίας SOFiSTiK, και προσαρμοσμένο αποκλειστικά στις ανάγκες του έργου από το γραφείο μηχανικών ΑΚΤ, αποτέλεσε το κύριο εργαλείο του αρχιτεκτονικού και στατικού σχεδιασμού του έργου.¹⁴⁴

Η δομική-κατασκευαστική του λογική δεν θα μπορούσε, όπως γίνεται κατανοητό, να έχει συστηματοποιηθεί και υπολογιστεί χωρίς την συμβολή του ηλεκτρονικού υπολογιστή, και πιο συγκεκριμένα του προαναφερθέντος ειδικά διαμορφωμένου για τα δεδομένα του συγκεκριμένου προβλήματος προγράμματος.

Οι δέκα κώνοι, που κατασκευάστηκαν επιτόπου στο εργοτάξιο από οπλισμένο σκυρόδεμα, αποτελούν την κύρια κατασκευή. Ο τρόπος που λειτουργούν στατικά δεν μπορεί να περιγραφεί με τους καθιερωμένους όρους της δομικής μηχανικής, είναι ταυτόχρονα υποστυλώματα, τόξα και δοκοί.¹⁴⁵

Οι φέροντες κώνοι συντίθενται από επίπεδα τμήματα-τοιχεία, τα οποία ενώνουν μεταξύ τους καμπύλα τμήματα. Τα τοιχεία συνεχίζουν και στο υπόγειο, με κλίση από 35 έως και 90 μοίρες σε σχέση με το επίπεδο του εδάφους. Έξι κώνοι σταματούν στον όροφο, ενώ οι άλλοι τέσσερις συνεχίζουν για να φέρουν την οροφή.¹⁴⁶

Μια πλάκα από οπλισμένο σκυρόδεμα, με νευρώσεις που μοιάζουν να γεννώνται από τους κώνους, διαμορφώνει το κύριο επίπεδο εκθέσεων του κτιρίου.

Στο εσωτερικό του κτιρίου ένα μεταλλικό πλέγμα, σαν «σκαλωσιά» διατρέχει όλη την οροφή του επιπέδου εκθέσεων, χρησιμεύοντας όχι μόνο σαν ενοποιητικό στοιχείο της επιφάνειας της άνω παρειάς του χώρου, μιας και εγκιβωτίζει μέσα του όλες τις ηλεκτρολογικές και μηχανολογικές εγκαταστάσεις, αλλά και συμμετέχοντας ενεργά στην ευστάθεια του κτιρίου.

Ο σχεδιασμός των κώνων, οι διατομές και η διάταξη του οπλισμού, οι οικοδομικές και κατασκευαστικές λεπτομέρειες είναι μιας εξαιρετικής πολυπλοκότητας, δεδομένης της πολυσύνθετης γεωμετρίας του κτιρίου. Τον υπολογισμό και την κατασκευή καθιστούσε ακόμη πιο σύνθετη η απαίτηση ανοιγμάτων για την διέλευση, αλλά και για τις ανάγκες των χρήσεων του ισογείου (υποδοχή, εστιατόριο κλπ.)

143 *Design Engineering AKT*, σελ.221

144 *ibid.*, σελ.79

145 *ibid.*, σελ.77

146 *ibid.*, σελ.84



Μία ακόμη πρωτοπορία στην κατασκευή του έργου ήταν η χρήση αυτοσυμπκνούμενου σκυροδέματος. Ο σπλισμός ήταν σε τόσο πυκνή διάταξη, ώστε το κενό δεν επαρκούσε για δόνηση του σκυροδέματος.

Ο κίνδυνος απόμιξης αντιμετωπίστηκε με την προσθήκη ειδικών χημικών ουσιών.¹⁴⁷

Ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε στο σχεδιασμό του σπλισμού, μια επίπονη και πολυσύνθετη εργασία.

Ο χάλυβας καμπυλώθηκε και διαμορφώθηκε κατάλληλα στο εργοστάσιο, και εν συνεχεία απλά τοποθετήθηκε στο αντίστοιχο καλούπι στο εργοτάξιο.

Προκατασκευασμένα στοιχεία τοποθετήθηκαν για την διαμόρφωση της «διαδοκιδωτής» πλάκας του ορόφου.¹⁴⁸ Η διαδοκιδωτή πλάκα είναι μια μονολιθική κατασκευή, χωρίς αρμούς.¹⁴⁹

Ξεχωριστή πρόκληση στην κατασκευή του έργου ήταν ο σχεδιασμός του ξυλότυπου, μιας και το κτίριο είναι εξολοκλήρου από ανεπίχριστο σκυρόδεμα.

Οι αρχιτέκτονες σχεδίασαν ένα ξυλότυπο ειδικά προσαρμοσμένο στην γεωμετρία του κτιρίου, με καθένα από τα μαδέρια(μέγιστο πλάτος 30,5cm¹⁵⁰) να ακολουθεί την καμπυλότητα του κώνου, και να αγκυρώνεται στο μέσον κι όχι τα άκρα του κατά την σκυροδέτηση.

Επίσης, για να εξασφαλιστεί μια χωρίς αρμούς μετάβαση από τους κώνους στην πλάκα του πρώτου επιπέδου, τοποθετήθηκαν ειδικά κατασκευασμένοι, διπλής καμπυλότητας, πλαστικότυποι.¹⁵¹

Καθώς το κτίριο δεν μπορούσε να είναι ευσταθές μέχρι την ολοκλήρωσή του, ειδικές κατασκευές αντιστήριξης τοποθετήθηκαν από την εταιρία που έκανε την σκυροδέτηση (Heitkamp).¹⁵²

Χάρη στην συμβολή των μηχανικών, το πάχος των φερόντων στοιχείων, όπως είχε σχεδιαστεί αρχικά από τους αρχιτέκτονες, μειώθηκε.

Σε κανένα σημείο της η φέρουσα κατασκευή δεν υπερβαίνει τα 30 εκατοστά πάχους. Η κατασκευή συμβάλλει έτσι στην αίσθηση ελαφρότητας και κομψότητας, κυρίαρχη επιδίωξη της αρχιτέκτονος.¹⁵³

147 *ibid.*, σελ.232

148 *ibid.*, σελ.229

149 *ibid.*, σελ.270

150 *ibid.*, σελ.232

151 *ibid.*, σελ.89

152 *ibid.*, σελ.84

153 *ibid.*, σελ.223

Στο Κέντρο Επιστημών Phaeno, νέα υπολογιστικά εργαλεία και κατασκευαστικές καινοτομίες υλοποίησαν νέες μορφές.

Οι μηχανικοί ενστερνίστηκαν την ιδέα των αρχιτεκτόνων, την απλοποίησαν ενδεχομένως ελαφρώς ώστε να είναι κατασκευάσιμη, και έπρωξαν στα όρια την τεχνική για να κάνουν το σχέδιο πραγματικότητα.

Αρχιτεκτονική και κατασκευή συγχωνεύτηκαν σε μία σύνθεση, σε ένα κτίριο κομψό. Μία κομψή κατασκευή και μια αρχιτεκτονική αξιοσημείωτης χωρικής πολυπλοκότητας, που όμως οπτικά δεν είναι χαοτική.¹⁵⁴

«Το κτίριο δεν μπορεί πραγματικά να ερμηνευτεί, και σίγουρα δεν θα μπορούσε να είχε συλληφθεί, χωρίς να αναγνωριστεί ο τρόπος με τον οποίο η κατασκευή και η μηχανική της κατασκευής χρησιμοποιείται σαν μέσον εξέλιξης των αρχιτεκτονικών ιδεών.»
Tim Amstey¹⁵⁵

154 "It is this kind of connotation that I would like to harness for a contemporary notion of elegance in architecture and engineering. An elegant building should entail an elegant structure and both together should be able to spatialize considerable organizational complexity without descending into visual disorder," Patrik Schumacher (Zaha Hadid Architects) στο *Design Engineering AKT*, σελ.68

155 *Design Engineering AKT*, σελ.76



Αρχιτεκτονική που λαμβάνει
υπόψιν το κατασκευαστικό
σύστημα, εκφράζεται μαζί
αλλά και πέρα από αυτό

Αρχιτεκτονική που λαμβάνει υπόψιν το κατασκευαστικό σύστημα, εκφράζεται μαζί αλλά και πέρα από αυτό

Στην αρχιτεκτονική της λογικής αυτής, ο φέρων οργανισμός αποτελεί το σύστημα αναφοράς, δίνει μέτρο και οργανώνει τον κάναβο της κατασκευής, είναι το σύστημα σε σχέση με το οποίο θα εκφραστεί η αρχιτεκτονική.

Από τις συνθετικές προσεγγίσεις που θεωρούν την κατασκευή αναπόσπαστο κομμάτι της αρχιτεκτονικής, αυτή εδώ είναι ενδεχομένως η πιο γνωστή και διαδεδομένη. Θα παρουσιαστεί για λόγους πληρότητας της εργασίας συνοπτικά, χωρίς ανάλυση συγκεκριμένων παραδειγμάτων, καθώς είναι ο πιο κοινός δρόμος που ακολουθούν οι αρχιτέκτονες που θεωρούν την κατασκευή μέσο έκφρασης που εμπλουτίζει την αρχιτεκτονική. Είναι πιθανόν η μόνη από τις προαναφερθείσες κατηγορίες που προσφέρει την δυνατότητα σχεδιασμού πολυώροφων κτιρίων. Συνήθως δεν συνδέεται με επιδιώξεις καινοτομίας και τεχνικής υπέρβασης.

Ο παράγων της οικονομίας των υλικών μέσων, αν και σημαντικός, δεν αποτελεί την κυρίαρχη επιδίωξη.

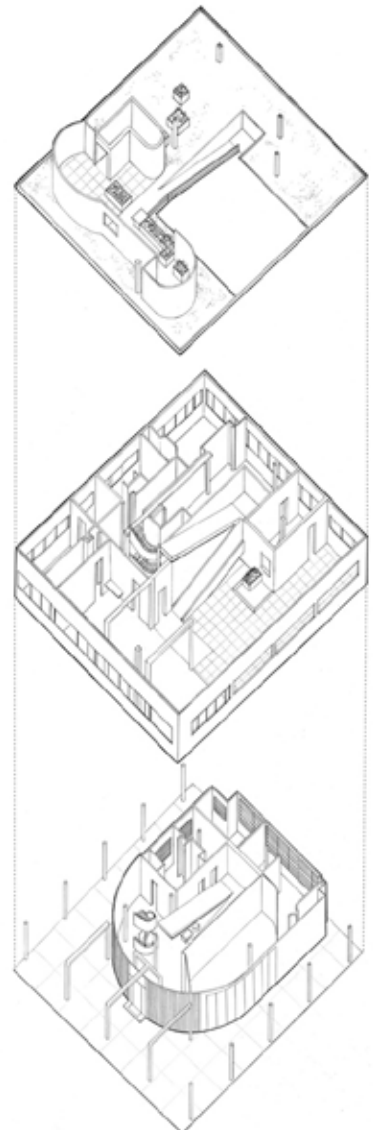
Τα στοιχεία της φέρουσας κατασκευής, υποστυλώματα, οριζόντια και κατακόρυφα επίπεδα, συνδυάζονται ώστε ο αρχιτέκτονας να πλάσει τον χώρο που επιθυμεί, δημιουργώντας στους χρήστες του ορισμένα συναισθήματα. Οι σχετικές θέσεις των δομικών στοιχείων, οι μεταξύ τους αποστάσεις, τα πυκνώματα και τα αραιώματα, οι διαστάσεις τους, το σχήμα, ο τρόπος με τον οποίο επιτρέπουν ή εμποδίζουν το φως να διεισδύσει στον χώρο, αποτελούν ισχυρά εργαλεία στα χέρια του συνθέτη. Η δομή οριοθετεί τον χώρο, τον υποδιαιρεί, ρυθμίζει τις σχέσεις των επιμέρους χωρικών ενοτήτων, ρυθμίζει την κυκλοφορία. Ο τρόπος που θεάται και βιώνεται ο χώρος είναι αναπόσπαστα συνδεδεμένος με την επιλογή του κατασκευαστικού συστήματος.

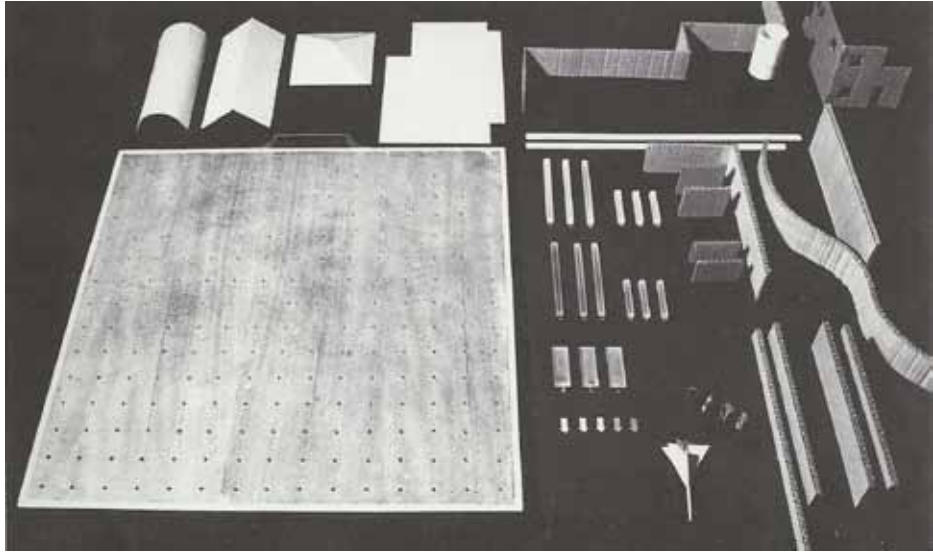
Χαρακτηριστικό της κατηγορίας αυτής είναι το μεγαλύτερο μέρος του αρχιτεκτονικού έργου του Le Corbusier, όπου η δοκός επί στύλου αποτελεί τον φανερό μέσα στον χώρο σκελετό. Η καμπύλη εκφράζεται σε σχέση με αυτόν, η όψη συχνά αποκολλάται από αυτόν. Στην περίπτωση της Villa Savoie, το δομικό σύστημα είναι καθοριστικό για την αρχιτεκτονική, δεν είναι όμως δεσμευτικό της μορφής και εκφράζεται κυρίως σαν ένα σύστημα αναφοράς.

Ο Le Corbusier υπερασπίστηκε παθιασμένα την σημασία του κανάβου που «προσφέρει την ικανοποίηση του πνεύματος»¹⁵⁶, την τάξη των δομικών στοιχείων ως έκφρασή του και ως

156 *Vers une Architecture*, Le Corbusier, σελ.51

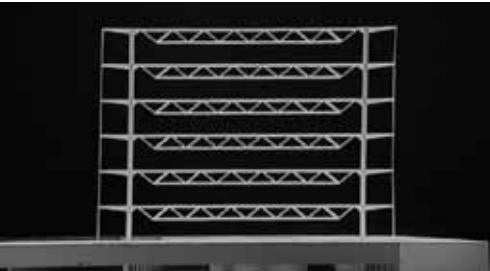
η Villa Savoie





Οι gerberettes

Μακέτα της φέρουσας κατασκευής



αναπόσπαστο κομμάτι της αρχιτεκτονικής. Ως αρχιτεκτονικά στοιχεία αναγνώριζε το φως, το σκοτάδι, τον χώρο αλλά και τον τοίχο.¹⁵⁷ Τον φέροντα τοίχο, την κατασκευή, που όμως αποτελεί μέσο έκφρασης της αρχιτεκτονικής.

Σύμφωνα με τον Le Corbusier¹⁵⁸ η σύγχρονή του κοινωνία διαισθανόταν την ανάγκη μιας νέας αρχιτεκτονικής, μιας αρχιτεκτονικής που να ενσωματώνει την κατασκευή, που να προκαλεί συναισθήματα λόγω της έμφυτης σκοπιμότητας της ανταποκρινόμενης σε έναν σκοπό μορφής.

Έτρεφε άλλωστε ιδιαίτερο θαυμασμό για τους μηχανικούς, θεωρώντας πως «ο μηχανικός, εμπνευσμένος από τον νόμο της οικονομίας και καθοδηγούμενος από τον υπολογισμό, μας φέρνει σε συμφωνία με τους νόμους του σύμπαντος. Προσεγγίζει την αρμονία.»¹⁵⁹ Κατ'επέκταση, θεωρούσε πως και η μηχανικοί κάνουν αρχιτεκτονική και πως τα έργα τους γεννούν συναισθήματα αρμονίας, σε συμφωνία με την κοσμική τάξη, λόγω της στενής σχέσης του σχεδιασμού με την χρησιμότητα, τους καθοδηγούμενους από νόμους της φύσης υπολογισμούς και συσχετισμούς, την οικονομία των μέσων.¹⁶⁰

Σχολιάζοντας το σπίτι Domino του Le Corbusier, ο Τάσος Μπίρης γράφει¹⁶¹:

«Όταν ο Le Corbusier παρουσίασε την ιδέα για το σύστημα «DOMINO», πέτυχε να συνοψίσει συμβολικά στο γνωστό προοπτικό του σχέδιο ένα από τα κύρια και πιο σταθερά δομικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα της σύγχρονης αρχιτεκτονικής. Ήταν η αυτόνομη ύπαρξη του σκελετού –από όπλισμένο σκυρόδεμα ή άλλο υλικό– μέσα στο κορμί του κτιρίου, που αντικαθιστούσε ή συμπλήρωνε τη δομική λειτουργία του φέροντα τοίχου, η οποία κυρίως χαρακτήριζε προγενέστερες αρχιτεκτονικές.

Πιστεύω ότι αυτή η από τότε «νέα παρουσία» -εφόσον συνεχίζει να υπάρχει μέσα στο αρχιτεκτόνημα- δεν θα αφήνει ποτέ ανεπηρέαστη την δομική και μορφολογική συγκρότησή του. Συνακόλουθα ο προβληματισμός για την επιλογή –κατά περίπτωση– του ορθού τρόπου για την τεχνική, λειτουργική και αισθητική συνύπαρξη φερόντων και φερόμενων στοιχείων θα είναι πάντα επίκαιρος και θα επιδρά καίρια στη βασική συνθετική του δομή. Το ζήτημα αυτό πρέπει να είναι σταθερά από τα πρώτα που –και σήμερα, με τα όποια νέα δεδομένα– οφείλει να διερευνήσει κανείς, προκειμένου να συνειδητοποιήσει, να κατανοήσει και να ερμηνεύσει κάθε αρχιτεκτονική δημιουργία.»

Ένα ακόμη ευρέως γνωστό κτίριο, το **Centre Pompidou** (1977,

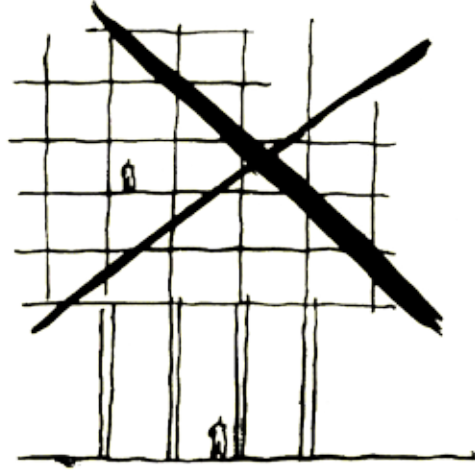
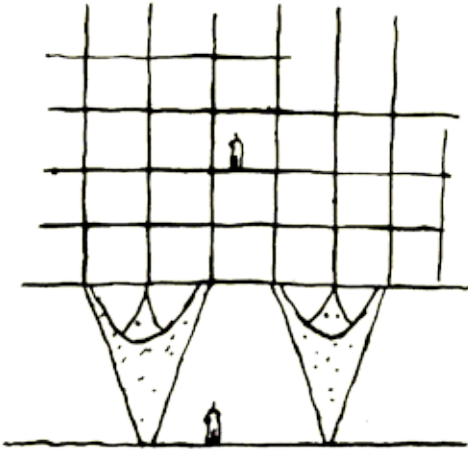
157 *ibid.*, σελ.143

158 *ibid.*, σελ.87

159 *ibid.*, σελ.3

160 *ibid.*, σελ.7 και σελ.20

161 *Αρχιτεκτονικής Σημάδια και Διδάγματα- Στο Ίχνος της Συνθετικής Δομής*, Τάσος Κ.Μπίρης, σελ.117



των Rogers και Piano, σε συνεργασία με το τμήμα Structures 3 του γραφείου μηχανικών ARUP, μέλος της ομάδας ο Peter Rice), μπορεί επίσης να ενταχθεί σε αυτήν την κατηγορία.

Επιλέγεται ως φέρων οργανισμός το μεταλλικό πλαίσιο, που πρέπει να στεγάσει το σύνολο του ανοίγματος του κτιρίου. Οι λειτουργικές απαιτήσεις αλλά και η συνθετική ιδέα αποκλείουν οποιαδήποτε ενδιάμεση στήριξη. Το μεταλλικό πλαίσιο αποτελεί ταυτόχρονα και το στοιχείο διαμόρφωσης της όψης του κτιρίου. Η φύση της μεταλλικής κατασκευής, που αποτελείται από γραμμικά κατά κύριο λόγο στοιχεία διαφορετικών μεγεθών, δίνει αίσθηση κλίμακας αλλά και ρυθμό, εσωτερικά αλλά και εξωτερικά.

Επιλέγεται ο φέρων οργανισμός να υλοποιηθεί από δοκούς gerberettes φτιαγμένες από χυτοσίδηρο, μια τεχνική που είχε εγκαταλειφθεί. Ωστόσο, θεωρήθηκε από τους μηχανικούς ως η πιο κατάλληλη για την υλοποίηση και την έκφραση της αρχιτεκτονικής ιδέας.¹⁶² Οι gerberettes, οι μικρές δοκοί Gerber δηλαδή, σχεδιάζονται και κατασκευάζονται ειδικά για το κτίριο αυτό, αποτελούν το χαρακτηριστικό του. Η κατασκευή φαίνεται, διαμορφώνει τις όψεις του κτιρίου. Όμως οι gerberettes διωγμένες στα άκρα αφήνουν ελεύθερο το εσωτερικό για διαμόρφωση με μετακινούμενα χωρίσματα. Οριοθετούν τον κυρίως χώρο του μουσείου σε σχέση με τους χώρους κινήσεων και τις τεχνικές εγκαταστάσεις.

Στην κατηγορία αυτή επίσης οφείλει να αναφερθεί επίσης το έργο του **Oscar Niemeyer**. Ο βραζιλιάνος αρχιτέκτονας σχεδίασε κτίρια όπου η φέρουσα κατασκευή αποτέλεσε χαρακτηριστικό και αναπόσπαστο τμήμα του αρχιτεκτονικού λεξιλογίου. Παρότι σημαντικοί παράγοντες, η λειτουργία του κτιρίου, η απόδοση της κατασκευής, η μορφή του τοπίου υποτάσσονται στην θέληση του αρχιτέκτονα να συγκινήσει, να δημιουργήσει συναισθήματα και εντυπώσεις.¹⁶³

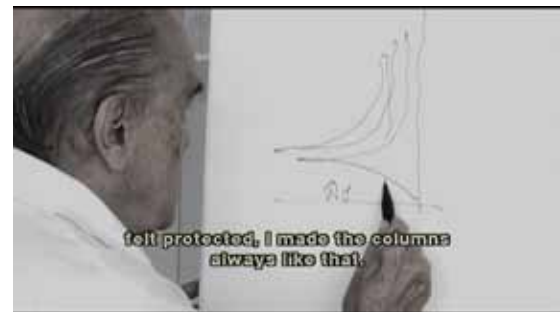
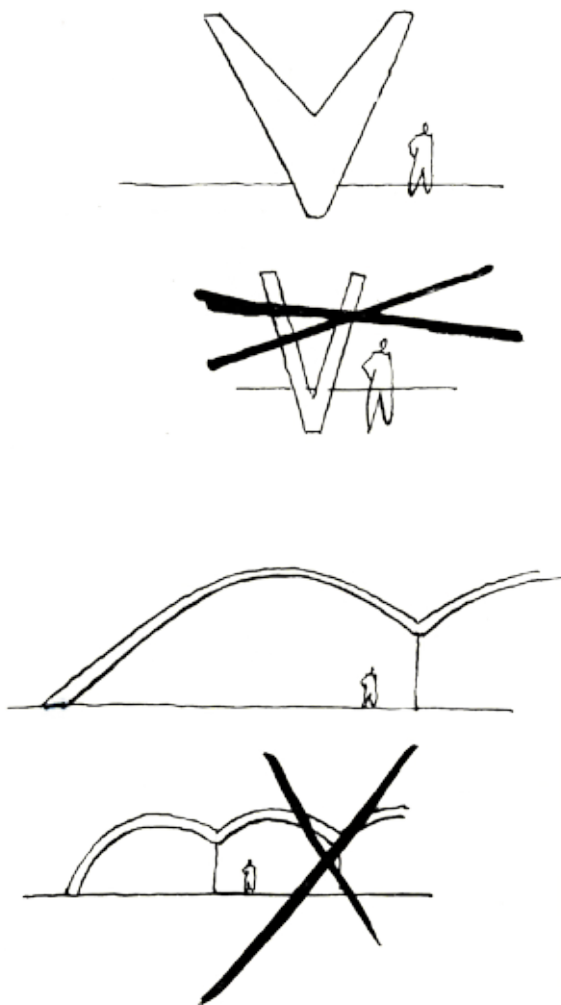
*"Il faut faire chanter les points d'appui"*¹⁶⁴: πρέπει να κάνουμε τις στηρίξεις να τραγουδήσουν. Ο Niemeyer έδωσε μεγάλη έμφαση στις κατασκευές, στον σχεδιασμό τους σαν ισχυρό στοιχείο της αρχιτεκτονικής έκφρασης. Η κατασκευή δεν στηρίζει μόνο, αλλά συγκινεί, δημιουργεί σχέσεις στον χώρο, έχει μια πλαστική δύναμη.

Έτσι, στην περίπτωση του Μεγάρου του Πλανάλτο, αλλά και του Ανώτατου Ομοσποδιακού Δικαστηρίου στην Μπραζιλία, έχοντας την πρόθεση να δημιουργήσει ένα κτίριο ανάλαφρο που μετά βίας ακουμπούσε στο έδαφος, με πολύ λεπτές στηρίξεις, έδωσε ιδιαίτερη σημασία στον σχεδιασμό των υποστυλωμάτων. Η μορφή τους προέκυψε από την θέληση του αρχιτέκτονα να γεννήσει ένα αίσθημα προστασίας στους κινούμενους στο

162 *An Engineer Imagines*, PRice, σελ.29

163 *Oscar Niemeyer: Works in Progress*, Stamo Papadaki, σελ.67

164 την φράση αυτή είπε μηχανικός συνεργάτης του Le Corbusier, ντοκουμαντέρ *Oscar Niemeyer- A Vida É Um Sopro*



ισόγειο χρήστες του κτιρίου, που θα διέρχονταν ανάμεσα από τα υποστυλώματα και το κτίριο, αλλά και κάτω από αυτά. Στο κτίριο της Alvorada¹⁶⁵, τα ρομβοειδή υποστυλώματα, μια ελαφριά παραλλαγή αυτών του Μεγάρου του Πλανάλτο, με την πάροδο του χρόνου έγιναν αναγνωρίσιμα σε τέτοιον βαθμό, ώστε εταιρίες τα έχουν αντιγράψει στα λογότυπά τους: το φέρον στοιχείο εξελίχθηκε σε σύμβολο. Σύμβολο του κτιρίου, της πόλης και της χώρας¹⁶⁶, άμεσα αναγνωρίσιμο.

Αναφερόμενος στην περίπτωση του ναού της Pamrulha, λέει χαρακτηριστικά πως όταν κανείς θέλει να στεγάσει ένα μεγάλο άνοιγμα, η στέγαση οφείλει να συντίθεται από καμπύλες, μιας και η καμπύλη αποτελεί την «φυσική λύση» αυτού του προβλήματος. Το κατασκευαστικό σύστημα, με τις πλαστικές του ιδιότητες, είναι περισσότερο ή λιγότερο κατάλληλο για ορισμένο σκοπό. Για τον Niemeyer, η αρχιτεκτονική και η κατασκευή είναι δύο πράγματα που γεννώνται μαζί, και μαζί μπορούν να αποκτούν νόημα.

το κτίριο της Alvorada (δεξιά) και οι διάφορες μιμήσεις-παραλλαγές των υποστηλωμάτων του (αριστερά)

165 ντοκυμαντέρ Oscar Niemeyer- A Vida É Um Sopro

166 Ο Niemeyer αναφέρει πως είδε κτίριο με υποστηλώματα σαν αυτά της Alvorada μέχρι και στην Ελλάδα, *ibid*.





Συμπεράσματα

«Είναι βέβαιον ότι ο αρχιτέκτων πρέπει να κατέχει την κατασκευή του τουλάχιστον με όση ακρίβεια κατέχει ο διανοούμενος την γραμματική του.»

Le Corbusier
Vers une Architecture

Η συνθετική ιδέα στην αρχιτεκτονική, συνοψίζοντας, μπορεί να βασιστεί μέσω διαφορετικών προσεγγίσεων στις δομικές και μορφοπλαστικές ιδιότητες της κατασκευής.

Μπορεί να στοχεύει στην τεχνική τελειότητα, σχεδιάζοντας την πιο αποδοτική κατασκευή. Μπορεί να επιδιώκει τον σχεδιασμό νέων, πρωτότυπων μορφών, που υλοποιούνται με νέες, πρωτότυπες τεχνικές και κατασκευαστικές επιλύσεις. Μπορεί, ακόμη, να ακολουθεί μια πιο «διακριτική» γραμμή, ορίζοντας όμως εξαρχής τα δομικά στοιχεία ως στοιχεία αρχιτεκτονικά, χωρίς μορφολογικές υπερβολές και τεχνικές υπερβάσεις.

Ο σχεδιασμός της κατασκευής έχει την δυνατότητα επομένως να ακολουθεί ποικίλες κατευθύνσεις, με την σχέση φέροντος οργανισμού-αρχιτεκτονικής να καθορίζεται στον μέγιστο βαθμό από την λειτουργία του κτιρίου, τις συγκεκριμένες συνθήκες και απαιτήσεις, αλλά και την αίσθηση του χώρου που θέλει ο αρχιτέκτονας να δημιουργήσει στους χρήστες.

Αδιαμφισβήτητα, στα παραδείγματα που εξετάστηκαν και αναφέρθηκαν, αποτέλεσε ένα βασικό συστατικό της αρχιτεκτονικής, ένα εργαλείο το οποίο κάθε συνθέτης αξιοποίησε έχοντας γνώση των ιδιαιτεροτήτων, των ιδιοτήτων και των αδυναμιών του.

Ο Παναγιώτης Μιχελής υποστηρίζει πως: *«Η καλή μορφή αποδίδει καλή κατασκευή, γιατί εξασφαλίζει τη λειτουργικότητα, την οικονομία του όλου και την ενότητα. Το σύμφυτο αρχιτεκτονικής μορφής και κατασκευής όμως υπονοεί συνδυασμό σκοπιμότητας, αντοχής και ομορφιάς στο πλάσμα της [...]. Όταν το στατικό αίσθημα λείπει, όχι μόνο η πρωτοτυπία αποκλείεται, αλλά και οι τρέχουσες κατασκευές τυραννούνται».*

167

Παλαιότερα, για την χρήση του εργαλείου αυτού, αρκούσε η γνώση της κατασκευαστικής παράδοσης, η στατική εμπειρία και διαίσθηση.¹⁶⁸

*«Η διαίσθηση είναι μια σύνθετη διαδικασία, που μπορεί να οδηγήσει σε μια πρώτη, άμεση κατανόηση ιδεών, που προϋπήρχαν λιγότερο, ή περισσότερο συνειδητά για μια χρονική περίοδο. Η διαίσθηση μπορεί να γίνει ένας πολύτιμος δρόμος προς την γνώση, κάτω όμως από δύο προϋποθέσεις: ότι θεμελιώνεται πάνω σε πλούσια εμπειρία και ότι ελέγχονται τα συμπεράσματά της.»*¹⁶⁹

Για τον δημιουργικό χειρισμό της κατασκευής και τον πετυχημένο σχεδιασμό της σαν συστατικό στοιχείο της

167 Η Αισθητική της Αρχιτεκτονικής του Μπετόν Αρμέ, Παναγιώτης Α. Μιχελής, σελ.20 και 21 αντίστοιχα

168 Αρχιτεκτονική Μορφολογία και Στατική Λειτουργία, Α.Ζάννος, σελ. 28

169 Η Φέρουσα Κατασκευή στην Αρχιτεκτονική, M.Salvadori-R.Heller, σελ.434

αρχιτεκτονικής, δεν επαρκεί πλέον η διαισθητική ικανότητα του συνθέτη. Απαραίτητη είναι η κατάκτηση της τεχνικής, επιστημονικής γνώσης από τον αρχιτέκτονα. Η εξοικείωση με το αντικείμενο άλλων επιστημονικών πεδίων και η διερεύνησή του, η ρήξη των ορίων μεταξύ ειδικοτήτων.

*«Το παιχνίδι ανάμεσα στην κατασκευή και τον σχεδιασμό, η αλληλεπίθεση των διαδικασιών και διαφοροποιημένες αλλά συμπλεκόμενες προσεγγίσεις στην σύλληψη, ανάλυση και κατασκευή, αναδύονται καθώς αρχιτέκτονες και μηχανικοί εξερευνούν βαθύτερα την θεμελιώδη βάση των γνώσεών τους, και επαναδιαπραγματεύονται τα όρια μεταξύ των επιστημών τους».*¹⁷⁰

Η γνώση αυτή αποτελεί την γλώσσα επικοινωνίας του με τους μηχανικούς του έργου, αλλά και ένα ισχυρό εργαλείο που του δίνει τον έλεγχο της κατασκευής, ως έναν σημαντικότατο βαθμό, όταν σχεδιάζει. Μόνον έτσι το σχέδιό του να είναι σε θέση να ανταποκριθεί σε όλα τα ζητήματα που τίθενται καθόλες τις φάσεις της κατασκευής αλλά και της ζωής του έργου. Μια γενική εποπτεία του αντικειμένου άλλων ειδικοτήτων να μπορεί να είναι πρωταρχικής σημασίας στην διατήρηση του ελέγχου κατά την πορεία εξέλιξης του σχεδιασμού. Πρέπει να είναι αρχιτέκτων, και μηχανικός ταυτόχρονα.

Ο μηχανικός από την πλευρά του, οφείλει να κατανοεί την αρχιτεκτονική που καλείται να υλοποιήσει, τις εκφραστικές και μορφολογικές ιδιαιτερότητές της. Να στοχεύει δηλαδή στο να προάγει την αρχιτεκτονική σύλληψη του κτιρίου, κι όχι να την υποτάξει με την προτεινόμενη στατική επίλυση. Να καταλήξει στην βέλτιστη λύση για το συγκεκριμένο πρόβλημα, σεβόμενος και μάλιστα υπερασπιζόμενος τις βασικές σχεδιαστικές αρχές του.

Μόνον έτσι μπορεί να επιτευχθεί η πραγματοποίηση ενός αρχιτεκτονήματος του οποίου η φέρουσα κατασκευή απαιτεί έρευνα, πειραματισμό, δημιουργικότητα στην επίλυση, αποτελεί μια τεχνική υπέρβαση ενδεχομένως.

Στο πλαίσιο της έρευνας διαπιστώθηκε πως συγκεκριμένα γραφεία αρχιτεκτόνων και πολιτικών μηχανικών χτίζουν επαγγελματικές σχέσεις διάρκειας, που οδηγούν σε εξαιρετικά εφευρετική και πρωτότυπη δημιουργία, έχοντας και οι ίδιοι ενεργό συμμετοχή σε πολλά από τα ιδιαίτερα αναγνωρίσιμα κτίρια. Ο Ιάπωνας Mutsuro Sasaki, για παράδειγμα, πέρα από το EPFL που εξετάστηκε, συνεργάστηκε με τους SANAA και στο New Museum της Νέας Υόρκης. Ένα ακόμη πολύ γνωστό

¹⁷⁰ "The interplay between structure and design, the layering of processes and diverse but intertwined approaches to conceptualization, analysis, and construction, emerge as architects and engineers delve deeper into their foundational base of knowledge and renegotiate the boundaries between their disciplines.", Andreas Georgoulas στο *Interdisciplinary Design*, σελ.18

«Οι αρχιτέκτονες έχουν δικός τους αντικείμενο την αρχιτεκτονική μορφή ως μορφή τέχνης. Αποκτούν λίγες γνώσεις στατικής και ασκούν περισσότερο το μορφοποιητικό τους χάρισμα. Αν δούνε την τεχνική μορφή του φορέα μόνο ως σχήμα κοσμητικό και δεν τη νιώσουν και ως μηχανισμό μεταφοράς δυνάμεων δεν θα καταλάβουν τον πραγματικό σκοπό της μορφής που σχεδιάζουν. Θα θεμελιώσουν την σύνθεσή τους σε στοιχείο άψυχο. Αν όμως συλλάβουν την λογική της τεχνικής μορφής του φορέα θα έχουν πλουσιότερα εφόδια και για την διάπλασή της την καλλιτεχνική, αυτήν που δεν υπακούει στην λογική.»

Αλέξανδρος Ζάννος
Αρχιτεκτονική Μορφολογία και Στατική Λειτουργία

έργο του ίδιου είναι η Médiathèque του Sendai, αλλά και το Κρεματόριο της Kakamigahara, με αρχιτέκτονα τον Toyo Ito.¹⁷¹ Μία ακόμη καθιερωμένη συνεργασία είναι αυτή του Buro Happold, γνωστού γραφείου στατικών μελετών με τον αρχιτέκτονα Shigeru Ban, με πιο γνωστό έργο το Μουσείο Pompidou στην πόλη Metz της Γαλλίας.¹⁷²

Σε ορισμένες περιπτώσεις, όπως συνέβη στην περίπτωση του Toyo Ito και του Cecil Balmond (με σημαντική την συμβολή της ομάδας του AGU-Advanced Geometry Unit, ειδικής ομάδας στο πλαίσιο του γραφείου ARUP), κατά τον σχεδιασμό του Serpentine Pavilion¹⁷³ το 2002, τοποθετημένου στο Hyde Park του Λονδίνου, η αρχιτεκτονική ταυτίζεται σε τέτοιον βαθμό με την φέρουσα κατασκευή, ώστε είναι πλέον δύσκολο να διαχωριστεί η δημιουργική δουλειά του αρχιτέκτονα από αυτήν του πολιτικού μηχανικού.

Καθοριστική στην μορφή ήταν η συμβολή του ίδιου μηχανικού, του Balmond, στο Ολυμπιακό Στάδιο του Πεκίνου των Herzog&De Meuron, γνωστό και ως «φωλιά του πουλιού».

Βεβαίως, ένας εξαιρετικά σημαντικός παράγων, πέρα από την ικανότητα και τις διαθέσεις του αρχιτέκτονα-συνθέτη, είναι οι συγκεκριμένες συγκυρίες υπό τις οποίες σχεδιάζεται και υλοποιείται το έργο. Όταν ο εργοδότης-πελάτης ενστερνιστεί το όραμα του αρχιτέκτονα, όπως για παράδειγμα στην περίπτωση του Phaeno, είναι κατ'επέκταση πρόθυμος να στηρίξει και να χρηματοδοτήσει την πρότασή του, όσο παράτολμη κι αν φαίνεται.

Σημαντικοί παράγοντες είναι φυσικά επίσης η επάρκεια των υλικών μέσων, η ικανότητα των συνεργείων, αλλά και η δυνατότητα να παρακαμφθούν ενδεχομένως οι οικοδομικοί κανονισμοί, μιας και έργα των δύο πρώτων κατηγοριών που περιγράφηκαν στην εργασία αυτή πολύ πιθανόν είναι να ξεφεύγουν από τα καθιερωμένα μεγέθη και τις τεχνικές υπολογισμού.

Όποια κι αν είναι η μορφή του φέροντος οργανισμού, ανεξάρτητα από το σε τι ποσοστό αξιοποιούνται οι μηχανικές δυνατότητες του φορέα, και από τον βαθμό στον οποίο η διάπλασή του ταυτίζεται με την αρχιτεκτονική έκφραση, το σημαντικότερο ζήτημα είναι κατά πόσο ο επιλεγμένος τύπος φορέα υλοποιεί τελικά την συνθετική ιδέα του αρχιτέκτονα, την τονίζει, την υποστηρίζει και την αναδεικνύει. Γεννάται κι εξελίσσεται μαζί με αυτήν.

Οι τεχνικές δυσκολίες και απαιτήσεις μπορούν να μετατραπούν, από έναν ικανό συνθέτη-μηχανικό, σε αφορμή για πρωτότυπη

171 *Mutsuro Sasaki*, άρθρο του Russell Fortmeyer στο *Architectural Record*, εκπαιδευτικό υλικό GSD 6328

172 *AD-The New Structuralism*, σελ.17

173 *Mohsen Mostafavi* στο *Design Engineering AKT*, σελ.266

δημιουργία, εξερεύνηση των ορίων και δυνατοτήτων της μορφής και του υλικού.

Ο Nils-Peter Fischer, του γραφείου Zaha Hadid Architects, είχε δηλώσει¹⁷⁴ πως ο αρχιτέκτων είναι ο επιστήμονας που καλείται να επιλύσει την συνάρτηση με τους περισσότερους αγνώστους. Ένας από τους αγνώστους αυτούς, η σύλληψη του φέροντος οργανισμού, μια από τις πιο βασικές παραμέτρους ενός κτιρίου, μπορεί να αποτελέσει ένα ισχυρό συνθετικό εργαλείο, καθοριστικό την αρχιτεκτονική.

Το εργαλείο αυτό, όπως φάνηκε κατά την πορεία της εργασίας, έχει την δυνατότητα να γεννήσει μορφές και χώρους εξαιρετικών ποιοτήτων, αλλά και εντελώς διαφορετικούς μεταξύ τους, ανάλογα με τις προθέσεις του συνθέτη.

Το αρχιτέκτονα που κατέχοντας την επιστημονική γνώση πλάθει και υποτάσσει την κατασκευή για να δημιουργήσει αρχιτεκτονική.

«Ως καλλιτέχνης, ο αρχιτέκτονας καθορίζει την μορφή του κτιρίου. Ως τεχνίτης, είναι υπεύθυνος για την δομική του επάρκεια. Κι επειδή η επιστήμη απελευθερώνει την δημιουργία από την άχαρη εξάρτηση από την παράδοση, ο σημερινός αρχιτέκτονας οφείλει να υιοθετήσει επιστημονικές μεθόδους ή να παραιτηθεί των ευθυνών του.»¹⁷⁵

174 Διάλεξη στην Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών ΕΜΠ, στο πλαίσιο του AA Athens Visiting School 2013, 27 Μαρτίου 2013

175 *Structure, An Architect's Approach*, H.Seymour Howard Jr., σελ.21

παράρτημα

συνέντευξη με τον

Hanif Kari

Ο Hanif Kara είναι πολιτικός μηχανικός, ιδρυτικό μέλος του γραφείου AKTII (Adams Kara Taylor, 1996) με βάση το Λονδίνο, μαζί με τους Albert Williamson-Taylor και Robin Adams. Χαρακτηριστική του γραφείου είναι η διάθεση για καινοτομία, στην υπηρεσία πάντοτε της αρχιτεκτονικής δημιουργίας. Έχει εργαστεί σε πλήθος ευρέως γνωστών έργων -και με πολύ γνωστά αρχιτεκτονικά γραφεία- όπως το Κέντρο Επιστημών Phaeno (Zaha Hadid Architects), η βιβλιοθήκη του Peckham (Alsop Architects), το πανεπιστήμιο MIST (Foster+Partners) στην πόλη Masdar των Ηνωμένων Αραβικών Εμιράτων, και το περίπτερο του Ηνωμένου Βασιλείου (Heatherwick Studio) στην Έκθεση της Σανγκάης το 2010. Το γραφείο έχει κερδίσει πάνω από 250 βραβεία στον τομέα του σχεδιασμού. Το 2007 έγινε επίτιμο μέλος του Royal Institute of British Architects (RIBA- Βασιλικό Ινστιτούτο Βρετανών Αρχιτεκτόνων). Παράλληλα, διδάσκει στο Harvard Graduate School of Design μαζί με τον Αντρέα Γεωργούλια το μάθημα "In Search of Design Through Engineers" («Αναζητώντας τον Σχεδιασμό Μέσα από τους Μηχανικούς»).

Ευχαριστώ πολύ τον κύριο Αντρέα Γεωργούλια που μεσολάβησε, δίνοντάς μου την δυνατότητα να πάρω αυτήν την συνέντευξη.



1. Ως πολιτικός μηχανικός, ποια χαρακτηριστικά εκτιμάτε στους αρχιτέκτονες;

HK: Ικανότητα, ταλέντο. Άμεσα συνδεδεμένη με αυτά τα δύο είναι η γνώση, προφανώς. Αυτά είναι τα πράγματα που νομίζω πως εκτιμώ περισσότερο. Κάποιοι άνθρωποι έχουν όλα αυτά τα χαρακτηριστικά, αλλά δεν μπορούν να συνεργαστούν με τις υπόλοιπες επιστημονικές ειδικότητες γύρω τους. Συνεπώς, μόνο εφόσον ακούν πραγματικά τα μέλη της ομάδας τους, μπορώ να εκτιμήσω αυτά τα προτερήματα.

2. Έχετε συνεργαστεί ποτέ με κάποιον αρχιτέκτονα που δεν είχε καμία αντίληψη της κατασκευής;

HK: Ναι, συχνά. Το πρόβλημα είναι ότι πολλοί από τους αρχιτέκτονες που δεν είναι πολύ ικανοί, ή πολλοί από τους αρχιτέκτονες με τους οποίους δίνουμε μάχη, είναι αυτοί οι οποίοι έχουν συχνά μια λευκή κόλλα. Και περιμένουν από τους πολύ καλούς μηχανικούς του κόσμου να δημιουργήσουν την αρχιτεκτονική, και αυτό ακριβώς βρίσκω πάντοτε πολύ δύσκολο. Είναι πολύ, πολύ δύσκολο καθότι, ενώ μπορούμε να το κάνουμε, δεν είναι αυτό το είδος αρχιτέκτονα που προτιμάμε. Βρίσκουμε ότι οι περισσότεροι από τους καλούς αρχιτέκτονες έχουν μια πολύ καλή αντίληψη του ρόλου τους, αλλά ξέρουν επίσης πολύ καλά τι κάνουμε εμείς, οπότε ρωτούν, ξέρεις, σε προκαλούν και σε ρωτάνε πάνω σε αυτό. Δεν βάζουν μια λευκή κόλλα χαρτί και λένε «δώσε μου δέκα ιδέες, για να κάνω αρχιτεκτονική». Οπότε ναι, είχαμε πολύ κόσμο που υιοθετεί την άλλη προσέγγιση, αυτή της λευκής κόλλας, και ζητούν από σένα να τους εμπνεύσεις με κάτι που θα γίνει η αρχιτεκτονική τους. Νομίζω πως αυτό δεν είναι... Δεν το βρίσκω ενδιαφέρον. Είναι δύσκολο.

3. Σας έχει συμβεί ποτέ, λόγω μη-κατασκευασιμότητας, να αλλάξει εντελώς η μορφή ενός έργου;

HK: Μας έχει συμβεί, μόνο υπό την έννοια ότι δεν πήγε ποτέ πιο πέρα από την πρώτη συζήτηση. Έχουμε κάνει έργα όπου κάποιοι άνθρωποι μπήκαν στο γραφείο και είπαν «ας κάνουμε έναν σπειροειδή πύργο», ή «ας κάνουμε ένα στάδιο με άνοιγμα εξακόσια μέτρα», και πολύ απλά τους λέμε «αυτό δεν θα δουλέψει», και το θέμα λήγει εκεί. Εάν αυτή είναι η ερώτησή σου, εάν μας ζητούν ποτέ να κάνουμε πράγματα που γνωρίζουμε

ότι δεν θα λειτουργήσουν, ναι, φυσικά, μας ζητούν αυτό το πράγμα. Και αυτό γίνεται, και πάλι, συνήθως από εκείνους που δεν ξέρουν για τι μιλάνε, διότι οι περισσότεροι αρχιτέκτονες έχουν μια καλή αντίληψη του τι είναι υλοποιήσιμο. Μπορούν να καταλάβουν πόσο μακριά μπορείς να σπρώξεις τα όρια και θέλουν να τα σπρώξουν παραπέρα. Όμως, ξέρεις, είχαμε πολλές περιπτώσεις όπου σχεδίαζαν κάτι, για το οποίο είχαν εμπνευστεί από κάτι μικρό, και το είχαν εφαρμόσει σε κάτι πολύ μεγάλο, ή είχαν καταλάβει λάθος το κατασκευαστικό σύστημα, όπως ένα σύστημα διαγώνιων φερόντων στοιχείων, και το μεγέθυναν. Κι όταν το εφαρμόζουν σε κλίμακα κτιρίου, δεν καταλαβαίνουν πως η μεγέθυνση ξαφνικά έχει χάσει όλη την λογική του μικρού πράγματος, το να το κάνεις μεγάλο, βλέπεις τι εννοώ; Και, μας συμβαίνει αυτό αρκετά συχνά, ναι.

Σε αυτές τις περιπτώσεις, τις πολύ αφελείς, το έργο δεν προχωράει πολύ, αλλά στα περισσότερα από τα κτίρια που έχουμε κτίσει, υπάρχει πάντοτε κάποια δυσκολία, στην οποία μπορούμε πάντοτε να βρούμε λύση. Και, καμιά φορά, η λύση κάνει το κτίριο να στέκεται, και πολύ πιθανόν να αναρωτιέσαι εάν υπήρχε κάποιος συγκεκριμένος λόγος... Κάποιες φορές δεν ρωτάς «γιατί θέλεις να το κάνεις αυτό», ακόμη κι αν ξέρεις ότι είναι τρελό, αλλά επειδή μπορείς να το κάνεις τους το εξηγείς «να πώς μπορώ να το κάνω, όμως πιστεύω ότι αυτό είναι ανόητο να το κάνουμε στην Κίνα, ή αυτό είναι ανόητο να το κάνουμε με ξυλεία, ή το στιδήποτε, αλλά μπορούμε να το κάνουμε εάν το θέλεις». Δεν συμφωνούμε πάντοτε με το γιατί θέλουν να το κάνουν, αλλά και πάλι το κάνουμε, ως μηχανικοί. Αυτή είναι μια ελαφριά διαφοροποίηση μεταξύ μηχανικών, κάποιοι άνθρωποι επιβάλλουν υψηλά «ηθικά» κριτήρια, και λένε ότι εάν δεν είναι μια κατασκευή βέλτιστης απόδοσης¹, δεν θα κάνουν την δουλειά. Δεν συμφωνώ με αυτήν την άποψη καθόλου.

4. Οι μηχανικοί του παρελθόντος σχεδίασαν κτίρια εξαιρετικά μεγάλης κατασκευαστικής απόδοσης, όπως μεμβράνες, κελύφη, καλωδιωτές κατασκευές κλπ. Πιστεύετε ότι είναι δυνατόν να σχεδιάσει κανείς μια πολύ περίπλοκη κατασκευή, όπως αυτή που δημιουργήσατε στο Κέντρο Επιστημών Phaeno στο Wolfsburg, που να είναι τόσο αποδοτική όσο ένα κέλυφος;

HK: Δεν το νομίζω, διότι οι λογικές των παλιών κελυφών και των «καθαρών» μορφών, οι κατασκευαστικές τους λογικές βασίζονται σε μια γεωμετρία και μια μορφή που χρησιμοποιεί το σχήμα, όπως ξέρεις, για να μεταφέρει τα φορτία. Για να κάνεις στιδήποτε που να είναι ένα «καθαρό» κατασκευαστικό

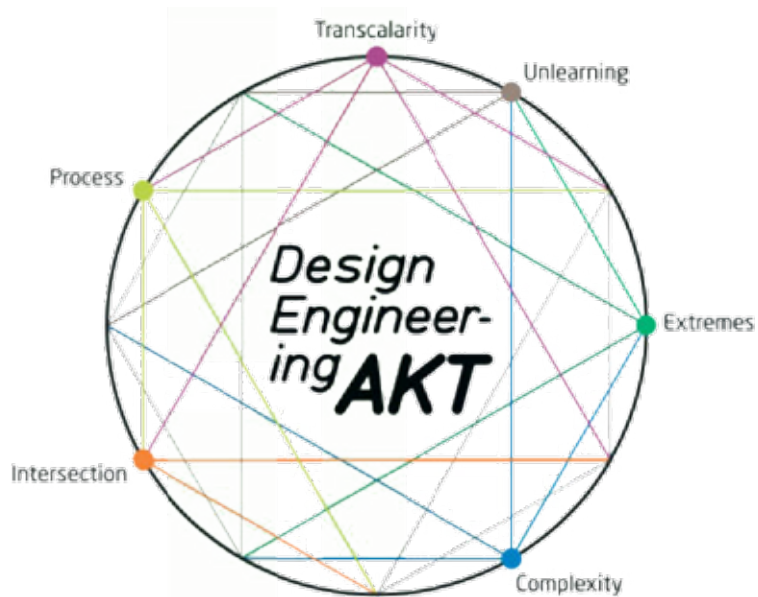
¹ Δηλαδή κέλυφος, μεμβράνη κλπ. Κατασκευή που να λειτουργεί στο μέγιστο της αντοχής της και όπου αναπτύσσεται καθαρός εφελκυσμός ή θλίψη.

σύστημα, είτε πρόκειται για θόλο, είτε για τόξο, είτε, ας πούμε, για μια σελοειδή επιφάνεια, τα περισσότερα από αυτά τα σχήματα που γνωρίζουμε λειτουργούν κατασκευαστικά επειδή καμιά φορά συνδέονται με την φύση. Μόλις αλλάξεις την γεωμετρία τους, και τα μετατρέψεις με τον έναν ή τον άλλον τρόπο σε υβρίδια, δεν είναι πλέον «καθαρά», με την έννοια ότι το Κέντρο Επιστημών Phaeno του Wolfsburg δεν είναι κέλυφος, παρότι κάποιιοι το έχουν αποκαλέσει κέλυφος, επειδή είναι ένα και μοναδικό υλικό και βασίζεται στην καμπυλότητα για την μεταφορά των φορτίων. Όμως, βασικά, είναι ένα υβρίδιο πολλών πραγμάτων. Πράγματι, μεταβάλλεται από πλάκα σε τοιχείο, σε καμπύλο κεκλιμένο τοιχείο και ούτω καθεξής. Επομένως, όταν παράγεις σύνθετη μορφή με βάση επιφάνειες NURBS², σε αντίθεση με τις πλατωνικές μορφές που είναι ευρέως γνωστές, και με τις καθιερωμένες γεωμετρίες, μόλις απομακρυνθείς από αυτό, δεν μπορείς να ισχυρισθείς ότι αυτή είναι επίσης «καθαρή» στο κατασκευαστικό της σύστημα, πολύ απλά δεν είναι.

5. Βασίζεστε αποκλειστικά στα τρισδιάστατα μοντέλα και στους υπολογισμούς στον ηλεκτρονικό υπολογιστή, ή πειραματίζεστε επίσης πάνω σε προπλάσματα;

ΗΚ: Όλο και περισσότερο, είναι τόσο περίπλοκα τώρα, που είναι όλο και περισσότερο προσομοίωση και περίπλοκες τεχνικές τρισδιάστατης απεικόνισης. Διότι, ξέρεις, παλαιότερα βασιζόμαστε στο να φτιάχνουμε, για παράδειγμα, πάντοτε εφελκυόμενες κατασκευές, και θα φτιάχναμε πάντοτε ένα πρόπλασμα από καλσόν νάυλον. Αλλά, σήμερα, το λογισμικό μας επιτρέπει να προσομοιώνουμε αυτά τα πράγματα τόσο γρήγορα... Τα μόνα προπλάσματα που έχω δει τα τελευταία δέκα χρόνια στο γραφείο είναι συνήθως μια λεπτομέρεια συνδεσμολογίας, μια μικρή λεπτομέρεια. Σε περίπτωση που θέλει κανείς να την μελετήσει, τα κατασκευάζουν, αλλά δεν χρησιμοποιούν πια προπλάσματα, πολύ σπάνια, πολύ σπάνια...

² Non-Uniform Rational B-Spline: ένας μαθηματικός τρόπος περιγραφής και αναπαράστασης καμπυλών και επιφανειών που χρησιμοποιείται συχνά σε περιβάλλον ηλεκτρονικού υπολογιστή.



AKT instruments of Design Engineering



Η βιβλιοθήκη του Peckham, Λονδίνο (1999).

Οι μηχανικοί προσδιόρισαν ένα νοερό κύλινδρο μέσα στον οποίο θα εντασσόταν κάθε υποστυλώμα, δίνοντας ευελιξία κατά τον σχεδιασμό στους αρχιτέκτονες, που δεν είχαν καταλήξει σε τελικό σχέδιο, αλλά και προχωρώντας παράλληλα με τους υπολογισμούς.

6. Όταν ξεκινάτε να σχεδιάζετε μια φέρουσα κατασκευή, πειραματίζεστε ποτέ βασιζόμενοι καθαρά στην διαίσθηση; Τι ρόλο παίζει η διαίσθηση στην δουλειά σας;

HK: Ξέρεις, υπάρχει μια πολύ ενδιαφέρουσα συζήτηση πάνω σε αυτό το θέμα, διότι πιστεύω πως υπάρχει μια υπερβολική εξάρτηση από την διαισθητική ικανότητα του μηχανικού. Έτσι θεωρώ, ιστορικά, ξέρεις, όταν πας πίσω στην εποχή του Brunel³ και όλων των μεγάλων μηχανικών του τελευταίου αιώνα, έπρεπε να βασιστούν, σε τεράστιο βαθμό, στην διαίσθηση. Και στην συνέχεια, κάποιοι άνθρωποι έχουν προχωρήσει αυτά τα πράγματα λέγοντας πως οι καλύτεροι μηχανικοί είναι αυτοί που αντιμετωπίζουν τα πάντα διαισθητικά. Προσωπικά, πιστεύω πως αυτό είναι λάθος, διότι υπάρχει μια λεπτή ισορροπία στο θέμα. Η σημερινή διαίσθηση δεν επαρκεί, καθώς αυτό που συμβαίνει είναι ότι οι άνθρωποι επιθυμούν και κατανοούν την πολυπλοκότητα πολύ περισσότερο. Έτσι, μόλις καταστήσεις πολύπλοκο κάτι, όπως το Κέντρο Επιστημών Rhaeno για παράδειγμα, ή πολλά από τα έργα που κάνουμε, μπορεί να το έχεις σκεφτεί, ξέρεις, να είχες διαισθητικά μια καλή ιδέα ώστε να το κάνεις να δουλέψει. Αλλά χωρίς εργαλεία, χωρίς τα σύγχρονα πολυσύνθετα συστήματα υπολογισμού, δεν θα μπορούσες να είχες κάνει το επόμενο βήμα. Αυτό που θα έπρεπε να κάνεις εάν δεν είχες αυτά τα εργαλεία θα ήταν να απλοποιήσεις το κατασκευαστικό σύστημα, να το σπάσεις ξανά σε κομμάτια, και σε μικρότερα κομμάτια δοκών και στύλων. Ή επικλινών στύλων στην βιβλιοθήκη του Peckham⁴. Εάν δεν έχεις τα εργαλεία, δεν μπορείς να δοκιμάσεις αυτό που σου λέει η διαίσθησή σου. Οπότε νομίζω ότι η διαίσθηση είναι όλο και περισσότερο εκείνη που καθοδηγεί τους πρώτους υπολογισμούς, παρά εκείνη που στηρίζεται αποκλειστικά, ξέρεις, σε ό,τι έχεις στο κεφάλι σου λόγω ετών σκέψης και ετών εργασίας. Η άλλη πλευρά αυτού του ζητήματος είναι ότι η παλέτα των υλικών αλλάζει, οπότε προηγμένα υλικά, ή όταν συνδυάζεις υλικά... Είναι βασικά δύσκολο να διαισθανθείς, διότι δεν μπορείς να σκεφτείς την συνθετότητα της συμπεριφοράς των υλικών. Πρέπει να το υπολογίσεις αυτό, πρέπει να αποκτήσεις μια καλή αίσθηση του αν αυτό λειτουργεί ακόμη αποτελεσματικά σε εφελκυσμό, ή μήπως το βελτίωσαμε σε εφελκυσμό αλλά μειώσαμε την αντοχή του σε θλίψη αναμειγνύοντας τα υλικά ή το οτιδήποτε. Οπότε πιστεύω ότι είναι όλο και πιο δύσκολο να βασιστείς αποκλειστικά στην διαίσθηση.

³ Isambard Kingdom Brunel (1806 –1859), Άγγλος πολιτικός μηχανικός και μηχανολόγος μηχανικός.

⁴ Έργο του γραφείου AKT, σε συνεργασία με το αρχιτεκτονικό γραφείο Alsop Architects.

ΑΓ: Hanif, με αφορμή αυτήν την ερώτηση, μπορείς να μιλήσεις για τον ρόλο των εργαλείων και τις αυξημένες δυνατότητες για πολύ γρήγορες προσομοιώσεις στα πρώιμα στάδια του σχεδιασμού, που μπορούν να διαμορφώσουν από νωρίς μια εποπτεία, ενώ αντιθέτως στο παρελθόν αυτά μπορούσαν να συμβούν μέσω πολύ εκτενών υπολογισμών, τόσο που αυτή η διαισθητική χειρονομία γινόταν πρώτη από ανάγκη, αλλά τώρα μπορούμε να το παρακάμψουμε αυτό, σωστά; Μπορούμε να κάνουμε τους υπολογισμούς πολύ γρήγορα.

ΗΚ: Σωστά. Και γι αυτό το να βασίζεται κανείς καθαρά στην διάνοια, στο ανθρώπινο χέρι και στον ανθρώπινο εγκέφαλο για διαίσθηση δεν είναι αρκετό. Κάνουμε πολλή διαισθητική δουλειά κάνοντας τους πρώτους υπολογισμούς όπως μόλις περιέγραψε ο Αντρέας. Μπορείς πολύ γρήγορα να δεις πώς κάτι θα μπορούσε να λειτουργήσει και τότε διαισθάνεσαι εκ νέου, χρησιμοποιώντας τον εγκέφαλό σου, για να πάρεις αυτήν την εικόνα των πρώτων υπολογισμών και να την σπρώξεις πιο μακριά. Νομίζω αυτό το γεγονός έχει πραγματικά φέρει τον υπολογισμό και τον σχεδιασμό στα πρώτα στάδια της διαδικασίας, και συνακόλουθα δεν υπάρχει δικαιολογία να μην μπορείς να βελτιστοποιήσεις το σχέδιο. Διότι, αυτό που συνέβαινε συχνά παλαιότερα, ήταν να κάνεις πολλή διαισθητική δουλειά στην αρχή της διαδικασίας, αλλά οι υπολογισμοί γίνονταν στο τέλος της. Και κατέληγες, εάν έβρισκες κάτι που να είναι περιττό ή υπολογισμένο υπερβολικά περίπλοκο, να είναι συχνότατα πολύ αργά στην διαδικασία. Σήμερα, δεν δικαιολογείται να το κάνεις αυτό, γιατί μπορείς πραγματικά να ζυγίσεις και να «κατατμήσεις» κάτι στον υπολογιστή, χωρίς να χρειαστεί να προχωρήσει πολύ η διαδικασία του έργου. Συνεπώς, ο ρόλος που παίζουν αυτά τα εργαλεία είναι αναμφίβολα διττός: αφενός η βελτιστοποίηση, αφετέρου να «διαισθάνονται» για σένα, ως έναν βαθμό, στην κατεύθυνση προς την οποία θες να πας. Κάποιοι θεωρούν λανθασμένα πως αυτά τα εργαλεία χρησιμοποιούνται μόνο για βελτιστοποίηση και υπολογισμούς, αλλά, στην πραγματικότητα, εάν τα χρησιμοποιείς προσεκτικά, μπορείς να πάρεις αποφάσεις διαισθητικές αφότου κοιτάξεις τους πρώτους υπολογισμούς.

7. Τι είναι το *design engineering*⁵?

Λοιπόν, ξέρεις, αυτό είναι ένα μεγάλο θέμα. Εντούτοις, πιστεύω ότι ο πιο απλός τρόπος να το θέσεις είναι ο εξής: μια πλευρά ενός τέτοιου *engineering* συγκεκριμένα, ή ακόμη και της επιστήμης,

⁵ Τίτλος του βιβλίου που επιμελήθηκε ο Hanif Kara, και έννοια που αναφέρεται συχνά και με άλλον ορισμό, ανά άρθρο, στο τεύχος *The New Structuralism* του περιοδικού *AD* (πληροφορίες και για τα δύο στην βιβλιογραφία)

είναι: τα πράγματα που μπορείς να ποσοτικοποιήσεις, τα πράγματα που μπορείς να μετρήσεις, όπως το βάρος, οι καταπονήσεις, οι παραμορφώσεις –αυτό είναι καθαρά το τι κάνει ένας μηχανικός και αυτό είναι το επιστημονικό κομμάτι. Αυτό που πιστεύω ότι δεν κάνουν οι μηχανικοί είναι να ελέγξουν τις άλλες πτυχές του περιβάλλοντος του κτιρίου ή οποιουδήποτε περιβάλλοντος έχουν μπροστά τους, οι οποίες δεν είναι μόνο η απόδοση του κτιρίου. Ξέρεις, αφότου έχεις γνώση των ποσοτικών χαρακτηριστικών, ο Σχεδιασμός, με Σ κεφαλαίο, βλέπει υπό ένα διαφορετικό πρίσμα, καθότι πρέπει να φανταστείς άλλα, «μαλακά», λιγότερο απτά κριτήρια όπως: είναι ωραίο, ή υπάρχει αρκετό φως, θα αισθάνομαι άνετα σε αυτόν τον χώρο, είναι αυτή η σωστή οικοδομική λεπτομέρεια αισθητικά; Όλες αυτές οι λιγότερο απτές πλευρές της επιστήμης του μηχανικού είναι συχνά... Ξέρεις, θα μπορούσες να το βάλεις στο «κουτί» της τέχνης, αλλά δεν είναι απαραίτητο να το κάνεις. Θα προτιμούσα να ενταχθεί στο «κουτί» του σχεδιασμού, διότι τότε θα συμπεριλαμβανόταν στην τέχνη αλλά και στην επιστήμη. Νομίζω αυτός θα ήταν ο πιο απλός τρόπος να εξηγήσω το *design engineering*. Όμως, ο λόγος που έχω προσπαθήσει να προωθήσω αυτήν την έννοια, είναι ότι αυτής της νοοτροπίας η πρακτική, όταν μπορείς να ενώσεις αυτές τις δύο λέξεις, είναι με σκοπό το γραφείο να μην εργάζεται κατά τον τρόπο που εργάζεται το κυρίαρχο ρεύμα στον κόσμο των κατασκευών. Και αυτό δεν είναι κατανοητό από τους αρχιτέκτονες, διότι κάποιιοι από αυτούς, όπως σου είπα, περιμένουν να βάλουν μια λευκή κόλλα χαρτί μπροστά σου, επειδή είσαι ένας σχεδιαστής, και να κάνουν εσύ την αρχιτεκτονική. Είμαι πολύ διακριτικά ξεκάθαρος ότι αυτό δεν σε κάνει αρχιτέκτονα, μόνο και μόνο επειδή μπορείς να σχεδιάσεις. Μπορείς να σκέφτεσαι, και πιθανώς να ενσυναισθάνεσαι τι είναι αυτό που ο αρχιτέκτονας ή κάποιος άλλος καλλιτέχνης ή και κάποιος άλλος θέλει να κάνει, αλλά δεν παίρνεις τον ρόλο να κάνεις αυτό που κάνουν. Απλά εισέρχεσαι σε αυτό το πεδίο μέσα από αυτήν την επιστημονική ειδικότητα, και έρχεσαι και, αντί να βάλεις ένα όριο ανάμεσα στους δυο σας, στην πραγματικότητα επιτρέπεις την πρόσβαση του ενός στην δουλειά του άλλου. Έτσι θα το περιέγραφα.

Σας ευχαριστώ πολύ.

βιβλιογραφία

Βιβλία

Le Corbusier, *Le Poème Électronique*, Minit, Bruxelles, 1958

Le Corbusier, *Vers une Architecture*, Champs arts, Paris, 2009

Andrew W. Charleson, *Structure as Architecture*, Architectural Press, Oxford, 2005

Francesco Della Casa et Jacques Perret, *Rolex Learning Center-Guide en Français*, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne 2012

Colin Faber, *Candela, The Shell Builder*, Reinhold Publishing Corporation, New York, 1963

Αλέξανδρος Ζάννος, *Αρχιτεκτονική Μορφολογία και Στατική Λειτουργία*, διδακτορική διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 1983

Ludwig Glaeser, *The Work of Frei Otto*, Museum Of Modern Art-MoMA, New York, 1972

(edited by) **Hanif Kara**, ADAMS KARA TAYLOR, *Design Engineering AKT*, Actar, Barcelona, 2008

(edited by) **Hanif Kara and Andreas Georgoulis**, *Interdisciplinary Design/ New Lessons from Architecture and Engineering*, edition of ACTAR and Harvard University Graduate School of Design, 2012

Angus J. MacDonald, *Structure & Architecture*, Architectural Press, Oxford, 1994

Ivan Margolius, *Architects + Engineers = Structures*, Wiley-Academy, UK 2002

Leonard Michaels, *Contemporary Structure in Architecture*, Reinhold Publishing Corporation, New York, 1951

Παναγιώτης Α. Μιχελής, *Η Αισθητική της Αρχιτεκτονικής του Μπετόν Αρμέ*, Ίδρυμα Παναγιώτη και Έφης Μιχελή, Αθήνα, 1990

Τάσος Κ.Μπίρης, *Αρχιτεκτονικής Σημάδια και Διδάγματα- Στο Ίχνο της Συνθετικής Δομής*, Μορφωτικό Ίδρυμα Εθνικής Τραπέζης, Αθήνα, 2007

Pier Luigi Nervi, *Aesthetics and Technology in Buildings, The Charles Eliot Norton Lectures, 1961-1962*, Harvard University Press Cambridge Massachussets 1966

Pier Luigi Nervi, *Structures*, McGraw-Hill Book Company Inc., New York 1956

Ελευθέριος Ι.Πανταλέων, *Δομομηχανική Ι-Στατική*, ΕΜΠ, Αθήνα, 2007

Stamo Papadaki, *Oscar Niemeyer: Works in Progress*, Reinhold Publishing Corporation, New York, 1956

Peter Rice, *An Engineer Imagines*, Ellipsis, Artemis, London, c.1994
Tony Robbin, *Engineering A New Architecture*, Yale University Press, New Haven and London, 1996

Mario Salvadori –Robert Heller, *Η φέρουσα κατασκευή στην Αρχιτεκτονική*, Αθήνα 1981

H. Seymour Howard Jr., *Structure, An Architect's Approach*, McGraw-Hill Book Company Inc., New York 1966

Eduardo Torroja, *The Structures of Eduardo Torroja, An Autobiography of Engineering Accomplishment*, F.W. Dodge Corporation, New York, 1958

Paul Valéry, *Ευπαλίνος ή Ο Αρχιτέκτων*, ΑΓΡΑ, Αθήνα, 2005

Vitruvius, *The Ten Books on Architecture*, Dover Publications INC., New York, 1960

Iannis Xenakis, *Musique de l'Architecture*, Éditions Parenthèses, Marseille, 2006

Περιοδικά

AD Architectural Desing: The New Structuralism, July/August 2010, Profile No 206, Guest-Edited by Rivka Oxman and Robert Oxman, Wiley, London, 2010

Ιστοσελίδες

Ιστοσελίδα Διεπιστημονικού Συμποσίου για το Οπλισμένο Σκυρόδεμα

«**LE BETON MATIERE EN DEVENIR – COLLOQUE INTERDISCIPLINAIRE 2011**»

διοργάνωση EPFL και Béton Suisse, παρουσίαση της Marie-Rose Backes

http://beton-colloque.epfl.ch/files/content/sites/betoncolloque/files/dl/11se_pres_05_backes.pdf

Greek Architects, «9 ερωτήσεις στον Τ.Αντο σχετικά με την Αρχιτεκτονική και τους Σεισμούς» συνέντευξη του Tadao Ando (22 Ιανουαρίου 2007- ημερομηνία επίσκεψης 30.7.2013)
www.greekarchitects.gr

Proceedings of the International Association for Shell and Spatial Structures (IASS) Symposium 2009, Valencia

1.εισήγηση John Chilton, *Heinz Isler's Infinite Spectrum Of New Shapes For Shells*

http://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/6465/PAP_CHILTON_51.pdf
2.εισήγηση Agnes Weilandt, Manfred Grohmann, Klaus Bollinger, Michael Wagner, *From Conceptual Design to Execution*
http://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/6725/PAP_WEILANDT_640.pdf

Zaha Hadid Architects official website, Phaeno Cultural Centre project
<http://www.zaha-hadid.com/architecture/phaeno-science-centre/>

Aga Khan Foundation, Aga Khan Award for Architecture <http://www.akdn.org/architecture/project.asp?id=274>

American Institute of Architects, 2010 AIA Twenty-Five Year Award:
<http://www.aia.org/practicing/awards/aiab082164>

Skidmore, Owings & Merrill official website, Projects: King Abdul Aziz International Airport – Hajj Terminal
<https://www.som.com/project/king-abdul-aziz-international-airport-hajj-terminal>

Foster + Partners, Khan Shatyr Entertainment Centre
<http://www.fosterandpartners.com/projects/khan-shatyr-entertainment-centre/>

Buro Happold, Khan Shatyr Entertainment Centre
<http://www.burohappold.com/projects/project/khan-shatyr-entertainment-centre-224/>

ARUP

Kurilpa Bridge: http://www.arup.com/Projects/Kurilpa_Bridge.aspx
CCTV Headquarters: http://www.arup.com/Projects/China_Central_Television_Headquarters.aspx

OMA, CCTV Headquarters Project
<http://oma.eu/projects/2002/cctv-%E2%80%93-headquarters>

Πανεπιστήμιο Princeton, Ιστοσελίδα Έκθεσης για τα Κελύφη
<http://shells.princeton.edu/Mann2.html>

Πανεπιστήμιο Columbia, GSAPP, Domes
<http://www.columbia.edu/cu/gsap/BT/DOMES/SEOUL/s-struct.html>
<http://www.columbia.edu/cu/gsap/BT/DOMES/SEOUL/s-olymp.html>

Core-Sing/ETHZ, Κείμενο του Shigeru Ban για τον Frei Otto
<http://www.hebel.arch.ethz.ch/wp-content/uploads/2012/08/Shigeru-Ban.pdf>

Διαλέξεις

Κωνσταντίνα Ράπτη –Αναστάσιος-Κωνσταντίνος Ρίγκας (επιβλέπων: Κούρκουλας Ανδρέας), *Το ταξίδι του Κολόμβου/Μη-Γραμμική Στατική και Αρχιτεκτονική*, διάλεξη 2010/40 ΕΜΠ

Εκπαιδευτικό Υλικό Μαθημάτων

«**Ιστορία και Θεωρία 7: Αισθητική Θεώρηση της Αρχιτεκτονικής**»,
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, εκπαιδευτικό υλικό σχετικά με το
Rolex Learning Centre
<http://courses.arch.ntua.gr/106512.html>
-“*Form finding of the shell structures of the ROLEX LEARNING CENTER in
Lausanne*”, M.Grohmann, K.Bollinger, A.Weilandt, M.Wagner, πρακτικά
IASS Symposium 2009

“**In Search of Design Through Engineers**”, **Harvard Graduate
School of Design**, κωδικός GSD 6328, διδάσκοντες Hanif Kara και
Andreas Georgoulas

Videos

“Architecture is Environment”, διάλεξη των Kazuyo Sejima και Ryue
Nishizawa (SANAA) στο Harvard Graduate School of Design, 31/3/2011,
[http://www.youtube.com/watch?v=dtTo9qNrQB8&list=FLK3kPdv2h2w
CXwp5FqmbwQ](http://www.youtube.com/watch?v=dtTo9qNrQB8&list=FLK3kPdv2h2wCXwp5FqmbwQ)

Διάλεξη του Ryue Nishizawa (SANAA) στο California College of the
Arts, 7/11/2011
[http://www.youtube.com/watch?v=hjvDGMMcJqc&list=FLK3kPdv2h2w
CXwp5FqmbwQ](http://www.youtube.com/watch?v=hjvDGMMcJqc&list=FLK3kPdv2h2wCXwp5FqmbwQ)

Σειρά DVD “Architectures” , παραγωγής RMN (Réunion des Musées
Nationaux) και ARTE France, 2007
Volume 1: LE CENTRE POMPIDOU/ Renzo Piano- Richard Rogers
Volume 2: LA MÉDIATHÈQUE DE SENDAI/ Toyo Ito
Volume 5: PHAENO, LE BÂTIMENT PAYSAGE/ Zaha Hadid

Oscar Niemeyer- A Vida É Um Sopro (Η ζωή είναι μια ανάσα)
[http://www.veoh.com/watch/v41221147hGr36Hxy?h1=Oscar+Niemeyer
r+%E2%80%93+Life+is+a+breath+of+air](http://www.veoh.com/watch/v41221147hGr36Hxy?h1=Oscar+Niemeyer+%E2%80%93+Life+is+a+breath+of+air)

πηγές εικόνων

σελ.26/ Παναγιώτης Α. Μιχελής, *Η Αισθητική της Αρχιτεκτονικής του Μπετόν Αρμέ*

σελ.27/ αριστερά: <http://ancientforest.net/travel/europe2002.html>
κάτω δεξιά: http://www.mfhughes.com/travel/photos_barcelona.htm

σελ.30/ <http://www.columbia.edu/cu/gsap/BT/BSI/SKELETON2/gsshbl.jpg>

σελ.31/ http://media.artgallery.yale.edu/pages/collection/buildings/build_kahn.php

σελ.32/ δεξιά: εκπαιδευτικό υλικό GSD 6328, άρθρο *The Engineer's Moment* της Nina Rappaport, περιοδικό *Architectural Record*- 08.07
αριστερά: <http://www.archdaily.com/109136/ad-classics-munich-olympic-stadium-frei-otto-gunther-behnisch/>

σελ.35/ περίπτερο Οσάκα: <http://www.columbia.edu/cu/gsap/BT/DOMES/OSAKA/o-lowpro.html>
κατασκευή Δ.Μπίρη: <http://www.ethnos.gr/article.asp?catid=22784&subid=2&pubid=54244950>

σελ.36/ εκπαιδευτικό υλικό GSD, άρθρο *Form, Force and Structure/A Brief History*

σελ.38/ από πάνω και δεξιόστροφα:
AD Architectural Desing: The New Structuralism
<http://www.structuremag.org/article.aspx?articleID=306>
<http://architectureandarts.tumblr.com/post/5579921450/japan-pavilion-hanover-expo-2000-designed-by>
<http://www.freiotto.com/FreiOtto%20ordner/FreiOtto/FreiOttoBoegenGross.htm>

σελ.39/ πάνω: http://architectuul.com/architects/view_image/richard-buckminster-fuller/7648
κάτω: http://www.expo67.org/dbd_028_670525

σελ.40/ <http://www.columbia.edu/cu/gsap/BT/DOMES/SEOUL/s-struct.html>
σελ.41/ <http://www.bentley.com/en-GB/Corporate/News/Multimedia+Showcase+High+Resolution+Images.htm>

σελ.43/ Ivan Margolius, *Architects + Engineers = Structures*

σελ.46/ <http://www.e-flux.com/announcements/december-2010-four-exhibitions/>

σελ.48/ http://en.wikipedia.org/wiki/One_Chase_Manhattan_Plaza

σελ.49/ http://en.wikipedia.org/wiki/Washington_Dulles_International_Airport

σελ.50/ πάνω: <http://grimshaw-architects.com/project/international-terminal-waterloo/>
κάτω: http://www.arquitetura.eesc.usp.br/sap645_2009/entrega_sem02/ArqInsight/mateusstudo/paginas/paginaprojeto.html

σελ.52/ πάνω: <http://www.fosterandpartners.com/projects/hearst-tower/>
κάτω: <http://www.structuremag.org/article.aspx?articleID=476>

σελ.53/ πάνω: http://www.fondationlecorbusier.fr/corbuweb/morpheus.aspx?sysId=13&IrisObjectId=4731&sysLanguage=fr-fr&itemPos=17&itemSort=fr-fr_sort_string1%20&itemCount=78&sysParentName=&sysParentId=64
μέση: http://en.wikipedia.org/wiki/Sydney_Opera_House
κάτω: <http://www.guggenheim.org/bilbao>

σελ.54/ πάνω: <http://www.macalloy.com/projects/renault-distribution-centre-swindon>
κάτω: <http://www.calatrava.com/#/Selected%20works/Architecture/Li%C3%A8ge?mode=english>

σελ.60/ αριστερά: <http://tectonicablog.com/?p=64746>
δεξιά: http://architectuul.com/architecture/view_image/los-manantiales-restaurant/4760

σελ.61/ αριστερά: <http://www.monolithic.com/stories/the-history-of-thin-shells-and-monolithic-domes/photos>
δεξιά: <http://www.wernersobek.com/>

σελ.62/ από πάνω προς τα κάτω:
Tony Robbin, *Engineering A New Architecture*
AD Architectural Desing: The New Structuralism
AD Architectural Desing: The New Structuralism
http://en.wikipedia.org/wiki/Heinz_Isler
AD Architectural Desing: The New Structuralism
φόντο: *Proceedings of the International Association for Shell and Spatial Structures (IASS) Symposium 2009*, Valencia, εισήγηση John Chilton, *Heinz Isler's Infinite Spectrum Of New Shapes For Shells*

σελ.64/ πάνω: *AD Architectural Desing: The New Structuralism*
υπόλοιπες: <http://www.fosterandpartners.com/projects/khan-shatyr-entertainment-centre/>

σελ.66/ <http://www.richardrogers.co.uk/render.aspx?siteID=1&navIDs=1,4,23,660&showImages=table&thumbnails=true&pageID=1>

σελ.69/ http://en.wikipedia.org/wiki/Philips_Pavilion

σελ.70/ Le Corbusier, *Le Poème Électronique*

σελ.72/ Le Corbusier, *Le Poème Électronique*

σελ.73/ Iannis Xenakis, *Musique de l'Architecture*

σελ.74/ Le Corbusier, *Le Poème Électronique*

σελ.75/ πάνω: <http://www.archdaily.com/157658/ad-classics-expo-58-philips-pavilion-le-corbusier-and-iannis-xenakis/image-9-5/>
κάτω: <http://www.fondationlecorbusier.fr/corbuweb/morpheus.aspx?sysId=13&risObjectId=6905&sysLanguage=en-en&itemPos=260&itemCount=300&sysParentId=15>

σελ.76/ πάνω: Iannis Xenakis, *Musique de l'Architecture*
μεσαίες: αριστερά: <http://www.music.columbia.edu/masterpieces/notes/varese/pavilionBig.jpg>
δεξιά: Iannis Xenakis, *Musique de l'Architecture*
κάτω: <http://www.archdaily.com/157658/ad-classics-expo-58-philips-pavilion-le-corbusier-and-iannis-xenakis/image-22-2/>

σελ.79/ Tony Robbin, *Engineering A New Architecture*

σελ.80/ <http://www.akdn.org/architecture/project.asp?id=274>

σελ.83/ <http://www.akdn.org/architecture/project.asp?id=274>

σελ.85/ <http://www.akdn.org/architecture/project.asp?id=274>

σελ.86/ πάνω, από αριστερά προς τα δεξιά: <http://www.akdn.org/architecture/project.asp?id=274>
Tony Robbin, *Engineering A New Architecture*
μέση: Tony Robbin, *Engineering A New Architecture*
κάτω: <http://www.akdn.org/architecture/project.asp?id=274>

σελ.87/ αριστερά: <http://www.akdn.org/architecture/project.asp?id=274>
δεξιά: <http://www.akdn.org/architecture/project.asp?id=274>

σελ.91: πρώτη σειρά, εκπαιδευτικό υλικό GSD, συνέντευξη του Mutsuro Sasaki στο περιοδικό *Architectural Record*-03.08
δεύτερη, αριστερά: <http://archrecord.construction.com/tech/>

techFeatures/0803feature/1.asp
 δεξιά: http://www.arup.com/Projects/China_Central_Television_Headquarters.aspx
 τρίτη, http://www.toyo-ito.co.jp/WWW/Project_Descript/2005-/2005-p_07/2005-p_07_en.html
 τέταρτη, <http://www.burohappold.com/projects/project/riverside-museum-glasgow-76/>

σελ.93/ <http://www.gameblog.fr/blogs/yochau/page3>

σελ.94/ <http://courses.arch.ntua.gr/106512.html>
 με εξαίρεση μεσαία σειρά, αριστερά: <http://www.emersiondesign.com/news/visit-to-the-rolex-center-by-jim-cheng/>

σελ.96/ *Rolex Learning Center-Guide en Français*

σελ.97/ *Rolex Learning Center-Guide en Français*

σελ.98, 99, 100/ <http://courses.arch.ntua.gr/106512.html>

σελ.102/ πάνω: http://beton-colloque.epfl.ch/files/content/sites/betoncolloque/files/dl/11se_pres_05_backes.pdf
 κάτω: <http://courses.arch.ntua.gr/106512.html>

σελ.103/ http://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/6725/PAP_WEILANDT_640.pdf

σελ.104/ <http://genevalunch.com/2007/07/30/feature-epfl-in-lausanne-green-light-for-rolex-learning-center/>

σελ.105/ <http://www.gameblog.fr/blogs/yochau/page3>

σελ.107/ <http://www.zaha-hadid.com/architecture/phaeno-science-centre/>

σελ.108/ επεξεργασία εικόνων από το DVD "*Architectures*", *Volume 5: PHAENO, LE BÂTIMENT PAYSAGE*

σελ.109/ <http://www.zaha-hadid.com/architecture/phaeno-science-centre/>

σελ.110, 111/ <http://www.zaha-hadid.com/architecture/phaeno-science-centre/>

σελ.112, 113/ επεξεργασία εικόνων από το DVD "*Architectures*", *Volume 5: PHAENO, LE BÂTIMENT PAYSAGE*

σελ.114, 116/ <http://www.zaha-hadid.com/architecture/phaeno-science-centre/>

σελ.120/ <http://noonjes.wordpress.com/2010/02/04/villa-savoye-le-corbusier/>

σελ.122/ πάνω: Τάσος Κ.Μπίρης, *Αρχιτεκτονικής Σημάδια και Διδάγματα- Στο Ίχνος της Συνθετικής Δομής*
 κάτω δεξιά: <http://mediation.centrepompidou.fr/education/ressources/ENS-architecture-Centre-Pompidou/>
 κάτω αριστερά: <http://mediation.centrepompidou.fr/education/ressources/ENS-identite-visuelle/identite01.html>
<http://www.phosilis.flexblog.fr/photos/big/>

σελ.124/ Stamo Papadaki, *Oscar Niemeyer: Works in Progress*

σελ.126/ εξωτερικά: Stamo Papadaki, *Oscar Niemeyer: Works in Progress*
 εσωτερικά: επεξεργασία εικόνων από το ντοκυμαντέρ *Oscar Niemeyer- A Vida É Um Sopro*

σελ.127/ εσωτερικά: επεξεργασία εικόνων από το ντοκυμαντέρ *Oscar Niemeyer- A Vida É Um Sopro*
 εξωτερικά: <http://www.o25.gr/blog/article/pal%C3%A1cio-da-alvorada-oscar-niemeyer>

σελ.140/ <http://www.gsd.harvard.edu/#/people/hanif-kara.html>

σελ. 144/ πάνω: *AD Architectural Desing: The New Structuralism*
 κάτω: <http://ribastirlingprize.architecture.com/peckham-library-london-2000/>



σκιρσα του Heinz Isler