

Η ΕΛΑΦΡΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΤΑ ΟΡΙΑ ΤΗΣ

ένα ταξίδι μέσα από τα έργα του Frei Otto

Ευαγγέλου Δημήτρης / Ε.Μ.Π. Αρχιτεκτόνων Μηχανικών / Α.Μ. 04102623
Διάλεξη - Μάρτιος 2014 / επιβλέπων καθηγητής : Γυφτόπουλος Σταύρος

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Σελίδα

	1. ΣΤΟΧΟΣ - ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	7
	2. Εισαγωγή: ΑΡΧΕΤΥΠΑ – ΔΟΜΙΚΟΣ ΟΡΘΟΛΟΓΙΣΜΟΣ	9
Α Μέρος	3. Frei Otto – Στάση Ζωής, η Ελαφρά Κατασκευή	
	3.1 Το έργο σημείο αναφοράς για τις ελαφρές κατασκευές	22
	3.2 Frei Otto, τα πρώτα χρόνια	23
Β Μέρος	4. Η πορεία προς το Μόντρεαλ μέσα από τις κατασκευές	
	4.1 1955 Ομοσπονδιακή Έκθεση Κήπου στο Kassel	44
	4.2 1957 Ομοσπονδιακή Έκθεση Κήπου στην Κολωνία	48
	4.3 1958 Τοπική Έκθεση Κήπου στο Saarbrucken	58
	4.4 Αυτόνομες Διαδικασίες Μορφοποίησης (Α.Δ.Μ.)	62
	4.5 1962 Γερμανική Έκθεση Κτηρίου στο Essen / ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΕΙΣ ΜΟΡΦΕΣ	82
	4.6 1963 Διεθνής Έκθεση Κήπου στο Αμβούργο	88
	4.7 1964 Ελβετική Τοπική έκθεση στη Λωζάννη	96
	5. Γερμανικό περίπτερο στο Μόντρεαλ, Εχρo 1967	100
Γ Μέρος	6. Millennium Dome, Λονδίνο	129
	7. Ιαπωνικό περίπτερο στο Αννόβερο, Εχρo 2000	147
	8. Βιβλιογραφία	175

ΣΤΟΧΟΣ

Η ιδιαιτερότητα των υφασμάτων κατασκευών, κατά κύριο λόγο των εφελκόμενων κατασκευών από μεμβράνη, έγκειται στο δομικό τους σύστημα. Η καλή γνώση αυτού δίνει την ευχέρεια στον αρχιτέκτονα να εμποτίσει αυτού του είδους τις κατασκευές, με συνθετικές αρετές. Οι ελαφρές αυτές κατασκευές δεν αρκεί στο να είναι ελαφρές, από άποψη ειδικού βάρους, αλλά πρέπει να το αποπνέουν και σαν οπτική αντίληψη. Τις πλείστες φορές και σε διαφορετικό βαθμό παρουσιάζονται ως πολυσύνθετες κατασκευές, με την μεμβράνη σε ρόλο επιδερμίδας και του σκελετού ως ένας φορέας εύκαμπτος ή μη. Ο βαθμός δυσκολίας ποικίλει αλλά οι προκλήσεις περισσεύουν. Η μηδαμινή, και ενίοτε ξεπερασμένη, ελληνική βιβλιογραφία επί του θέματος αδικεί τον συγκεκριμένο τομέα και η παρωχημένη αντίληψη ότι πρόκειται για κατασκευές ευτελής και εφήμερες πρέπει να αναθεωρηθεί. Στόχος της συγκεκριμένης μελέτης δεν είναι να αποτελέσει τεχνικό εγχειρίδιο, αλλά μέσα από συγκεκριμένα παραδείγματα να «ιστοριογραφήσει» τη σύγχρονη εξέλιξη αυτών, θίγοντας παράλληλα την δομική τους ιδιαιτερότητα. Εντέλει προσδοκά στην διαπίστωση ότι, από απλή κατασκευαστική πράξη οι υφασμάτινες αυτές κατασκευές μετουσιώνονται σε αρχιτεκτονημένη πράξη.

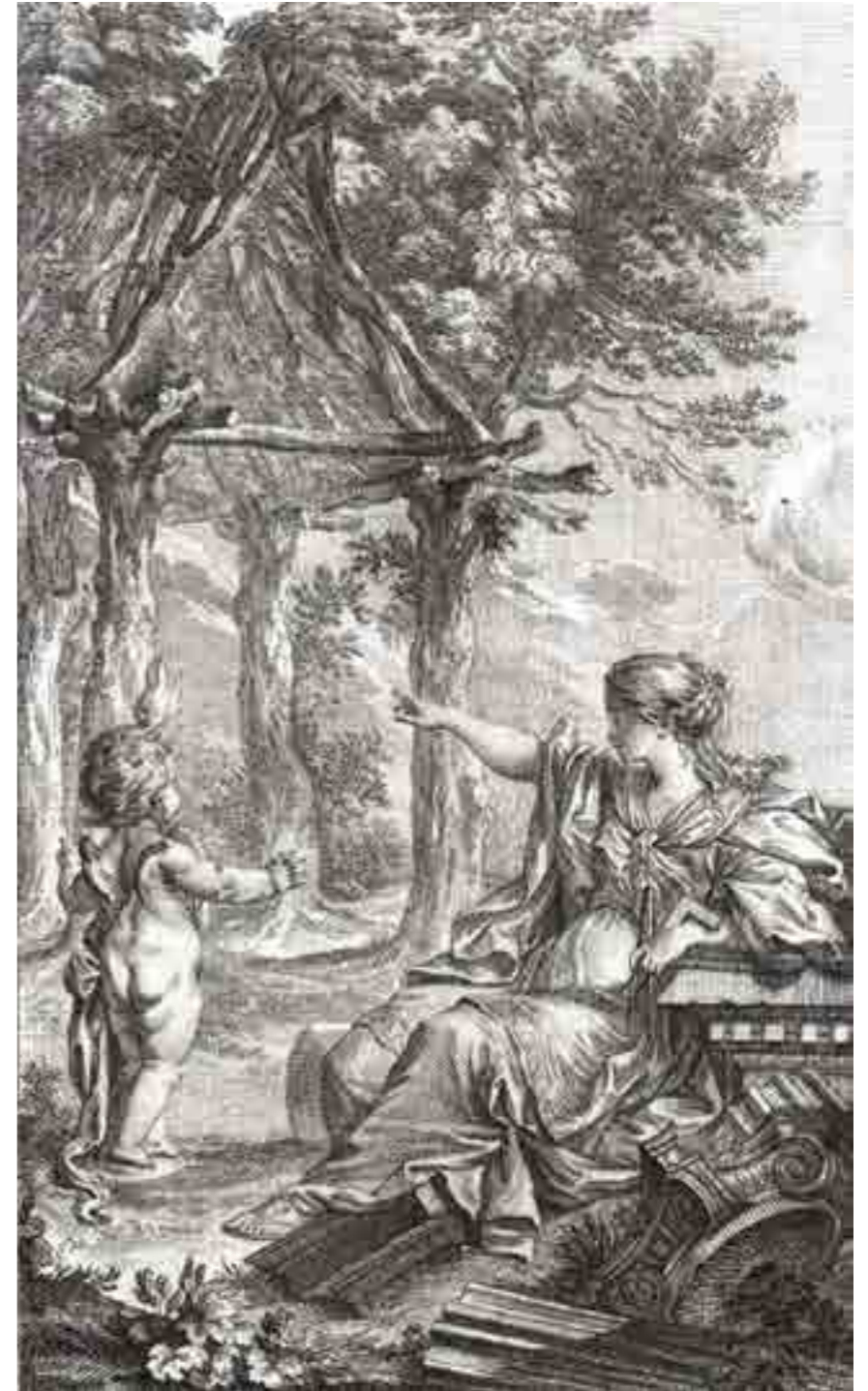
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Στο πρώτο κεφάλαιο, η αναζήτηση για τα αμφιλεγόμενα, ως ένα βαθμό, αρχέτυπα στόχο έχει να αναδείξει τις ομοιότητες, μεταξύ διαφορετικών πολιτισμών. Οι ομοιότητες σ' αυτή την πρώτη κατασκευαστική πράξη, με το πέρασμα του χρόνου, αποκλίνουν κατά πολύ και σχηματίζουν η κάθε μία, την δική της αντίληψη για την αρχιτεκτονική. Ο Δυτικός πολιτισμός ταυτίζεται με τις στιβαρές λίθινες κατασκευές, ο της Άπω Ανατολής με τις ξύλινες ελαφρές και αποσυναρμολογούμενες. Στην Τρίτη κατηγορία ανήκουν οι υφασμάτινες.

Τα επόμενα δύο κεφάλαια αφιερώνονται αποκλειστικά στο Frei Otto. Στον αρχιτέκτονα, ο οποίος έδωσε ώθηση στις σύγχρονες υφασμάτινες κατασκευές του 20^{ου} αιώνα. Στην πρώτη ενότητα γίνεται μια προσπάθεια, μέσα από τα βιώματα και το ιστορικό πλαίσιο (αρχιτεκτονικό και μη), να ερμηνεύσουμε τι τον οδήγησε να αφιερωθεί αποκλειστικά στις ελαφρές κατασκευές. Στο επόμενο κεφάλαιο, η επιλογή συγκεκριμένων έργων του ίδιου, ανταποκρίνεται στη σταδιακή εξέλιξη των υφασμάτων κατασκευών. Το ιστορικό σημείο αναφοράς για τις υφασμάτινες κατασκευές είναι το Γερμανικό Περίπτερο στο Μόντρεαλ, το 1967. Ένα έργο το οποίο βασίστηκε στην εμπειρία και την τεχνογνωσία των προηγούμενων έργων. Μέσα σε αυτή την ανασκόπηση των έργων, γίνεται παράλληλη αναφορά σε σύγχρονες εξελίξεις και έργα.

Τέλος, η σύγχρονη εποχή με τις οικολογικές ευαισθησίες και τις πιο αξιόπιστες υφασμάτινες κατασκευές, θεωρείται μέσα από δύο έργα. Το Millennium Dome και το Ιαπωνέζικο Pavilion στο Αννόβερο, είναι δύο σύγχρονα έργα πολύ διαφορετικά μεταξύ τους. Εντούτοις εντυπωσιάζουν, τόσο για την ευφυή διαδικασία ανέγερσης, όσο και για την αισθητική τους.

Εισαγωγή
ΑΡΧΕΤΥΠΑ - ΔΟΜΙΚΟΣ ΟΡΘΟΛΟΓΙΣΜΟΣ



Marc-Antoine Laugier (1713-1769), Η αρχέγονη καλύβα ως πρότυπο του Νεοκλασικού Ιδεώδους, σύγγραμμα «Δοκίμιο περί Αρχιτεκτονικής» (Essai sur l'Architecture)

Ο **Βιτρούβιος**, ο προπάτορας των θεωρητικών της αρχιτεκτονικής, στο δεύτερο βιβλίο της δεκάτομης πραγματείας του, «Περί Αρχιτεκτονικής» (De Architectura), δίνει μια εξελικτική ερμηνεία της προέλευσης των κτισμάτων. Η φωτιά αποτέλεσε το κοσμοϊστορικό γεγονός για να αρχίσει ο άνθρωπος να συναθροίζεται σε ομάδες και εν συνεχεία η ανάγκη επικοινωνίας να παίρνει σάρκα και οστά μέσα από τις κραυγές και τελικά οι κραυγές να αρχίζουν να κωδικοποιούνται. Ο «πλάνης»¹ (περιπλανώμενος) αυτός άνθρωπος από σπηλαιόβιος άρχισε να δημιουργεί τα πρώτα καταλύματα από κλαδιά, φυλλώματα δέντρων, καλάμια, επιχρίοντας τα ενίοτε με λάσπη. Η εγγενής ανάγκη της ανθρώπινης φύσης για επιβίωση και προστασία, ήταν η γενεσιουργός αιτία της μετέπειτα αρχιτεκτονικής πράξης.

Η πραγματεία του Βιτρούβιου είναι σημείο αναφοράς και εκτεταμένης μελέτης από τους ουμανιστές της Αναγέννησης. Στην Αναγέννηση θεμελιώνεται επίσημα η θεωρία της αρχιτεκτονικής (όχι κατά τον τρόπο που αυτή ορίζεται σήμερα – συγκριτική τυπολογία, τοπολογική και χρονολογική αναφορά, πολιτιστικό πλαίσιο εκάστοτε περιόδου) μέσα από τις σπουδαίες πραγματείες του **Leon Battista Alberti** (1404-1472), το “Περί της Οικοδομικής” (De re aedificatoria) και του μεταγενέστερου **Andrea Palladio** (1508-1580) με τα «Τέσσερα βιβλία της Αρχιτεκτονικής» (I quarto libri dell’architettura). Κοινό γνώρισμα στα δύο αυτά έργα είναι η «... ανάπτυξη ενός καινούργιου τρόπου νοητικής επεξεργασίας των ζητημάτων της αρχιτεκτονικής...»². Η απαγκίστρωση από τα συντεχνιακά μυστικά του Μεσαίωνα με τον ρόλο του αρχιτέκτονα ως αρχιμάστορα, ο παραμερισμός της θεολογικής προσέγγισης και της αυστηρής υποταγής σε εξωτερικά πεδία γνώσης δίνουν την ευκαιρία στον αρχιτέκτονα της εποχής να δράσει με εφόδια τη σύγχρονη γνώση. Την γνώση των μαθηματικών, της φυσικής, της προοπτικής αλλά και της καλής γνώσης των ρυθμών της αρχαίας Ελληνικής και Ρωμαϊκής αρχιτεκτονικής. Η στροφή αυτή στο παρελθόν αναζητά την διαχρονικές αξίες της «καλής» αρχιτεκτονικής.

Στην Γαλλία του 18^{ου} αιώνα, παράλληλα με την αμφισβήτηση του πλουραλιστικού Μπαρόκ, επικρατεί έναν θεωρητικός προβληματισμός και βιβλιογραφική έκρηξη. Ο ορθός-λόγος, ο ορθολογικός τρόπος σκέψης αξιώνεται ως η βάση για κάθε νέα αρχιτεκτονική πράξη και αποστρέφεται την υποκειμενική αισθητική αντίληψη και τις κατεστημένες αισθητικές αξίες. Το ωραίο πηγάζει αυθόρμητα και δεν αποτελεί αυτοσκοπό. Οι θεωρητικοί στρέφονται αυτή την φορά μόνο στην ελληνική Κλασική αρχιτεκτονική, η οποία φέρει τις αρχές της ελικρινούς, απέριττης και εξαγνισμένης αρχιτεκτονικής. Επιθυμία των αρχιτεκτόνων είναι η απόδοση αυτών των αρχών προσαρμοσμένων στη νέα εποχή και τις ανάγκες της, δίχως τις αγκυλώσεις σε μαθηματικές αναλογίες των επιμέρους στοιχείων του κτηρίου. Το 1753 ο αββάς **Marc-Antoine Laugier** (1713-1769), στο σύγγραμμά του «Δοκίμιο περί Αρχιτεκτονικής» (Essai sur l’Architecture), εκφράζει μια ριζοσπαστική θέση, η οποία κάνει αίσθηση και πέρα από τη Γαλλία και στην οποία τοποθετεί τον δομικό ορθολογισμό της αρχέγονης καλύβας, ως το πρότυπο για το νεοκλασικό ιδεώδες. Εξ’ ονόματος της ελληνικής αρχιτεκτονικής πολλοί έγραψαν, δίχως να έρθουν σε πραγματική επαφή μαζί της, οι γνώσεις προέρχονταν μέσα από παλαιότερες γραπτές αναφορές (λ.χ. Βιτρούβιος), μέχρις ότου το 1752 ο **Julien-David Leroy** μελετά επιτόπου τους ναούς της Ελλάδας και το 1758 δημοσιεύει το σπουδαίο του έργο « Τα Ερείπια των Ωραιότερων

1 Αργύρης Πετρονάκης, Αρχιτεκτονική της Απώτερης και Κλασικής Αρχαιότητας, μέρος Α, Θεσσαλονίκη 1991 / Παλαιολιθική περίοδος ονομάζεται η πρώτη περίοδος της προϊστορίας της ανθρωπότητας, πριν από 600 000 έως το 550 000 χρόνια όταν εμφανίστηκε ο άνθρωπος (πιθανολογείτε) και εκτείνεται μέχρι το 12000-10000 μ.Χ. Μεγάλη ανακάλυψη της εποχής είναι η φωτιά, χαρακτηρίζεται από την χρήση του λίθου για τα αναγκαία εργαλεία του τότε ανθρώπου. Ο προϊστορικός άνθρωπος είναι «κυνηγός», «συλλέκτης» (καρπών) και «πλάνης». Δεν έχει μόνιμη κατοικία. Η Νεολιθική περίοδος (προσεγγιστικά 8000 – 2500 π.Χ.) διαδέχεται την Μεσολιθική. Ο άνθρωπος πλέον τιθασεύει και ημερεύει τα ζώα ως οικόσιτα, αρχίζει να καλλιεργεί, η Γεωργία είναι πλέον γεγονός. Βάση αυτής της αλλαγής στον τρόπο ζωής αρχίζει να εγκαθίσταται για μεγάλα χρονικά διαστήματα σε περιοχές. Η πρώτη μόνιμη ανθρώπινη εγκατάσταση σε σπίτια και οικισμούς αρχίζει.

2 Παναγιώτης Τουρνικιώτης, ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΘΕΩΡΙΑ ΤΗΣ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ – ΜΙΑ ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ, κεφ.2 Η γένεση της Θεωρίας της αρχιτεκτονικής, σελ.13

ΑΡΧΕΤΥΠΟ : «... είναι ένα πρότυπο που συμπυκνώνει μέσα του το σημαντικό και το αιώνιο, και που μπορεί να προσαρμοστεί στις συγκεκριμένες κάθε φορά απαιτήσεις όσο οι καιροί αλλάζουν, διατηρώντας όμως όλα τα πρωτεύοντα γνωρίσματά του.»

Παύλος Λέφας, ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΜΙΑ ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΘΕΩΡΗΣΗ, Πλέθρον 2013, κεφ.1 Υπάρχουν αρχέτυπα στην αρχιτεκτονική;

ΒΙΤΡΟΥΒΙΟΣ : Περί Αρχιτεκτονικής (De Architectura) - (30-10 π.Χ.) «Βιβλίο Δεύτερο , Κεφάλαιο 1 ... σε αυτές τις κοινότητες, άρχισαν άλλοι να φτιάχνουν στέγες από φύλλα, άλλοι να σκάβουν σπηλιές στις ρίζες των βουνών, άλλοι να πλάθουν καταφύγια από λάσπη και κλαριά μιμούμενοι το πώς χτίζουν τις φωλιές τους τα χελιδόνια. Μετά παρατηρώντας τη στέγαση των άλλων, προσέθεταν με την δική τους σκέψη κάτι καινούργιο, και έφτιαχναν μέρα με τη μέρα, καλύτερα καταλύματα.

Επειδή όμως - εκ φύσεως - οι άνθρωποι κλίνουν στη μίμηση και στη μάθηση, έδειχναν κάθε μέρα, υπερήφανοι για τις επινοήσεις τους, ο ένας στον άλλο τον τρόπο με τον οποίο έκτιζαν, εξασκώντας με την άμιλλα τις ικανότητές τους αποκτούσαν, μέρα με την μέρα, καλύτερη κρίση.

Στην αρχή κάποιοι σήκωναν διχαλωτά κλαδιά, στερέωναν ανάμεσά τους βέργες και κάλυπταν τους τοίχους με λάσπη. Άλλοι ανήγειραν τοίχους από σβόλους λάσπης ξηραμένους στον αέρα, τους έδεναν με ξύλα και κάλυπταν (την κατασκευή), με καλάμια και φύλλα, για να προφυλαχθούν από την βροχή και τον ήλιο. Μετά, επειδή αυτές οι στέγες δεν μπορούσαν να κρατήσουν τα νερά στις χειμερινές θύελλες, τις διαμόρφωναν σε αετώματα και επίχριαν με πηλό τις κεκλιμένες επιφάνειες που έδιωχναν μακριά τη βροχή. Ότι οι άνθρωποι ξεκίνησαν να φτιάχνουν τα σπίτια τους έτσι, όπως περιγράφηκε παραπάνω, μπορούμε να το διαπιστώσουμε...»

Μετάφραση Παύλου Λέφα από διάφορες έγκυρες αποδόσεις σε σύγχρονες ευρωπαϊκές γλώσσες, με παράλληλη παράθεση του λατινικού κειμένου της τελευταίας έκδοσης της Λειψίας του 1912, Βιτρούβιου Περί Αρχιτεκτονικής, Βιβλία I-V, εκδόσεις Πλέθρον, 1997, σελ.113-115.

Μνημείων της Ελλάδας». Οι πρωτοφανείς συγκριτικοί τυπολογικοί πίνακες που συντάσσονται στο έργο του, προτείνουν την εξελικτική ερμηνεία της μορφής των ναών (αιγυπτιακοί, ελληνικοί ναοί και χριστιανικές εκκλησίες) και ευρύτερα της αρχιτεκτονικής. Αυτή η ερμηνεία προσπαθεί να αποκαλύψει τις διαχρονικές αρχές και αξίες στις οποίες θα στηριχθεί η νέα εποχή για να δημιουργήσει τον δικό της κόσμο, δίχως την ανάγκη να αντιγράψει αυτούσια έργα από το παρελθόν.

Η αγωνιώδης προσπάθεια αποκάλυψης του αρχέτυπου, για οιοδήποτε αρχιτεκτόνημα μπορεί να είναι από ευκόλως αναγωγική διαδικασία, μέχρι και αινιγματικά δυσδιάκριτη ή χασομική, απαιτώντας πολυδιάστατη αφαίρεση (νοημάτων και στοιχείων του έργου) και παράλληλη συσχέτιση του ιστορικού περιβάλλοντος στο οποίο πραγματώθηκε. Η αναζήτηση αυτή μπορεί να χαρακτηριστεί μάταιη πολλές φορές και η πραγματική αξία να βρίσκεται στα έργα που αποτέλεσαν πρότυπο και άσκησαν επιρροή, τα οποία πιθανό να μην απέχουν χρονολογικά πάρα πολύ.

Η ακριβής προέλευση του τύπου του ελληνικού ναού δεν κατέστη δυνατό να προσδιοριστεί μέχρι σήμερα. Σύμφωνα με την μυθολογία ο πρώτος ναός του Απόλλωνα στους Δελφούς ήταν μια καλύβα διαμορφωμένη από κλαδιά δάφνης. Μήπως το **αρχέτυπο του ελληνικού ναού** ήταν η πρωτόγονη καλύβα ή μήπως αυτή η αναφορά εμπεριέχει συμβολισμούς και σχέσεις με την κοσμογονία; Πιθανολογείται ότι «... Η τάση των Ελλήνων να εξανθρωπίζουν τους θεούς τους έγινε ίσως η αιτία να δώσουν στους ναούς, στις κατοικίες δηλαδή των θεών, σχήμα ανθρώπινης κατοικίας. ...»³. Η μορφή της ιδιωτικής αυτής κατοικίας ανάγεται στους «Σκοτεινούς χρόνους» (Γεωμετρική Περίοδος 1100 – 700 π.Χ.) όταν οι πολιτιστικές ανακατατάξεις της εποχής, συσχετισμένες με την κάθοδο των Δωριέων, άρχισαν να συγκροτούν την αρχαία ελληνική θρησκεία με το Δωδεκάθεο. Τα φθαρτά υλικά που χρησιμοποιούνταν δεν άφησαν αρχιτεκτονικά λείψανα, πέρα από τα θεμέλια και η σαφής εικόνα για την μορφή της ανοδομής προέρχεται μέσα από αναθηματικά πηλίνα ομοιώματα. Η ιστορική εξέλιξη του ναού συνεχίζεται και τον 6^ο αι. π.Χ. (Αρχαϊκή Περίοδος) όπου η χρήση του λίθου, στα σπουδαιότερα τουλάχιστο μνημεία, αρχίζει να εκτοπίζει τον ωμό πηλό και τα ξύλινα στοιχεία (όχι αυτά για την διαμόρφωση της στέγης που φέρει τα κεραμίδια).⁴ Αυτή η εξέλιξη στην κατασκευή συνδυάστηκε με τη μεταφορά των ξύλινων μορφών του ναού σε λίθο. Μεταφέρθηκαν στοιχεία τα οποία θα μπορούσαν να μεταφραστούν στο νέο υλικό και τα οποία εντούτοις είχαν αισθητική και καλλιτεχνική αξία. Η νέα αυτή έκφραση αποτυπώθηκε ως «Απολιθωμένη ξυλοκατασκευή».

Σε ένα άλλο μεγάλο μακρινό πολιτισμό, στη χώρα του Ανατέλλοντος Ηλίου, την Ιαπωνία⁵ οι ρίζες της παραδοσιακής αρχιτεκτονικής, τα πιθανά αρχέτυπα, εντοπίζονται χιλιάδες χρόνια πριν. Τα πρώιμα αυτά δείγματα στέγασης εντοπίζονται στην Περίοδο **Jomon**⁶ (10 000 – 300 π.Χ)

3 Χαράλαμπος Θ.Μπούρας, ΜΑΘΗΜΑΤΑ ΙΣΤΟΡΙΑΣ ΤΗΣ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ – 1^{ος} τόμος, εκδόσεις Συμμετρία, 1999, κεφ.7 Η αρχιτεκτονική κατά την γεωμετρική και την πρώιμη αρχαϊκή περίοδο στην Ελλάδα, σελ.134

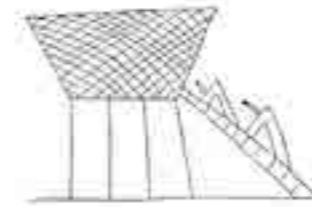
4 Στον ελληνικό τότε χώρο του 6^{ου} αι. π.Χ. αρχίζει η χρήση του λίθου για τα μεγάλα και σημαντικά κτήρια. Αρχικά γίνεται χρήση πωρόλιθου (μαλακά πετρώματα, ιζηματογενή με ενιαία μάζα), πιο εύκολη η επεξεργασία του, παράλληλα εφαρμόζεται περιορισμένα και το μάρμαρο, με γενικευμένη χρήση αυτού τον 5^ο αι. (Κλασική εποχή). Πηγή : Χαράλαμπος Θ.Μπούρας, ΜΑΘΗΜΑΤΑ ΙΣΤΟΡΙΑΣ ΤΗΣ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ – 1^{ος} τόμος, εκδόσεις Συμμετρία, 1999, κεφ.8 Η αρχιτεκτονική κατά τον 6^ο π.Χ. αιώνα στην Ελλάδα και τις Ελληνικές αποικίες.

5 Η Ιαπωνία από τους κατοίκους της αποκαλείται Νιχόν (Nihon) ή Νιππόν (Nippon) και το όνομα αυτής είναι συνδυασμός δύο ιδεογραμμάτων που σημαίνουν ήλιος και αρχή, εξού και το χώρα του Ανατέλλοντος Ηλίου. Πηγή Βικιπαίδεια – διαδικτυακή ελεύθερη εγκυκλοπαίδεια, λέξη κλειδί «Ιαπωνία».

6 Η ιστορική περίοδος Jomon (10 000–300 π.Χ.) , με το jomon να μεταφράζεται σε «σχοινί- αποτυπωμένο», ονοματίστηκε κατά αυτό το τρόπο χάρη στα πολλά κεραμικά αγγεία που ανεβρέθησαν με σπειροειδές αποτύπωμα από σχοινί. Την εποχή αυτή ο άνθρωπος είναι κατά κύριο λόγο συλλέκτης και κυνηγός. Την επόμενη περίοδο Yagoi (300 π.Χ.–300 μ.Χ.), το όνομα χάρη στην περιοχή που ανεβρέθησαν τα πρώτα λείψανα αυτής της περιόδου, προάστιο του Tokyo, εισέρχονται νέα φύλα από την Ηπειρωτική ενδοχώρα και αναμινύονται μετά πάροδο χρόνου με τους αυτόχθονες. Στην μίξη αυτή βρίσκεται καταβολές ο σημερινός Ιαπωνικός πληθυσμός και πολιτισμός. Η περίοδος Kofun



Οικίσκος από το Ηραίο του Άργους. Πήλινο αναθηματικό ομοίωμα οικίας της Γεωμετρικής εποχής, δηλωτική είναι η διακόσμηση που φέρει. Για τις κατοικίες της «...ο τρόπος χτισίματος ήταν σχετικά απλός: επάνω σε μια βάση από ακατέργαστες ή πρόχειρα δουλεμένες πέτρες υψώνονταν τοίχοι φτιαγμένοι από ωμές πλίνθους, με ενίσχυση από ξυλοδεσιές, όπου χρειαζόταν. Δεν υπήρχαν βαθιά θεμέλια, γιατί τέτοιες ελαφρές κατασκευές δεν έχουν ανάγκη από ισχυρή θεμελίωση. Η στέγη τις περισσότερες φορές ήταν δίριχτη με αρκετή κλίση, φτιαγμένη από άχυρα ή καλάμια τοποθετημένα επάνω σε ξύλινο σκελετό. ...» (Μανώλη Βουτυρά & Αλεξάνδρας Γουλάκη-Βουτυρά, Η Αρχαία Ελληνική Τέχνη και η Ακτινοβολία της, κεφ.1.9 ηλεκτρονική έκδοση)



Αναπαράσταση από πήλινο αγγείο μιας **Takayuka soko** (Υπερυψωμένης σιταποθήκης)

με ελαφρά υπόσκαφα καταλύματα (**tateana jukyo**) από ξύλα και καλάμια που διαμόρφωναν την επικλινή στέγη με τα χαρακτηριστικά τριγωνικά αντιδιαμετρικά ανοίγματα (αετώματα) και την επικάλυψη με άχυρο⁷. Συγχρόνως η παραλλαγή και υπερύψωση αυτής της καλύβας επάνω σε πασσάλους (**takayuka soko** – υπερυψωμένη σιταποθήκη) για πρακτικούς κυρίως λόγους (αποθήκη και παρατηρητήριο), είναι τα κυρίαρχα δείγματα αρχιτεκτονικής πράξης και αποτελούν αρχέτυπα για την μετέπειτα πορεία. Η επόμενη περίοδος, η ονομαζόμενη **Yayoi** (300 π.Χ. – 300 μ.Χ.) φέρει πολιτιστικές ανακατατάξεις προερχόμενες από την ενδοχώρα της Κίνας, μέσω της Κορεατικής χερσονήσου. Πέρα από την εισαγωγή της καλλιέργειας ρυζιού και την εξέλιξη της υφαντουργικής, η κατεργασία του μπρούντζου και ιδίως του σιδήρου είναι η αιτία για τις αλληπάλληλες εξελίξεις του τρόπου ζωής. Ο Ιαπωνικός πολιτισμός ήταν πάντοτε δεκτικός σε αλλογενής επιρροές τις οποίες αφομοίωνε και εν τέλει διαμόρφωνε μια δική του ερμηνεία, της οποίας πολλές φορές διεκδικούσε και την πατρότητα. Ο απaráμιλλος σεβασμός της ιστορίας και η συνεχής τεχνολογική εξέλιξη καταδεικνύεται στην συνεκτική ιστορική συνέχεια της αρχιτεκτονικής. Δεν είναι δύσκολο να εντοπίσει κάποιος αναφορές μεταξύ σύγχρονων ιστορικών κτηρίων και αρκετά παλαιότερων, τόσο στην επίσημη αρχιτεκτονική (ανάκτορα, θρησκευτικά κτήρια- Shinto και Βουδιστικά), όσο και στην λαϊκή. Ποιο χαρακτηριστικό παράδειγμα οι αγροικίες (**minka**) με άμεση αναφορά, κοινά αποδεκτή, στα αρχέτυπα που αναφέραμε. Οι έννοιες αποκατάσταση, συντήρηση, αναδιαμόρφωση, αποσυναρμολόγηση και επανα-ανέγερση ενυπάρχουν στην αρχιτεκτονική από την προ-βουδιστική περίοδο και συναρτήσει μιας ευφυέστατης ξυλουργικής φέρουν την ιαπωνική αρχιτεκτονική σε περίοπτη θέση.



Δύο διαφορετικοί κόσμοι, ο μεν Δυτικός και ο δε της Άπω Ανατολής, μπορεί να παρουσιάζουν **κοινά χαρακτηριστικά ως προς την πρώιμη αρχέτυπη καλύβα**, εντούτοις η εξέλιξη κινήθηκε σε διαμετρικά αντίθετες κατευθύνσεις. Η αρχιτεκτονική του Δυτικού κόσμου ολοένα πιο στιβαρή και άκαμπτη ορθώνεται στο χώρο επιζητώντας την αιωνιότητα. Μια αιωνιότητα, για την οποία η Ιαπωνική αρχιτεκτονική σκέψη παύει να ματαιοδοξεί ότι μπορεί να πετύχει μέσα από άφθαρτα υλικά, παρά μόνο από την περιοδική επανεκτέλεση του ίδιου έργου. Τη λογική αυτή εξυπηρετεί η δυνατότητα αποσυναρμολόγησης των αρχιτεκτονικών ξύλινων μελών της κατασκευής και ακόμη πιο συναρπαστικό το γεγονός, ότι η επανα-συναρμολόγηση μπορεί να εκτελεστεί σε διαφορετικό χώρο⁸. Άρα ενυπάρχει και το στοιχείο της μεταφοράς στην φιλοσοφία της κατασκευής.

συνέχεια στη σελίδα 18

(300-710 μ.Χ.), κοφιν είναι ο τύμβος, το ανάχωμα, με τα χαρακτηριστικά ταφικά μνημεία ως λοφίσκους εγγεγραμμένους με τάφρους από νερό, είναι και η πρώτη περίοδος που βρίσκεται την Ιαπωνία σε ένα βαθμό συγκροτημένη ενιαία διοικητικά. Στο ενδιάμεσο αυτής της περιόδου, περί το 538 μ.Χ. ο Βουδισμός αρχίζει να διαδίδεται και σηματοδοτεί το τέλος της προϊστορικής περιόδου της Ιαπωνίας. Πηγή : David and Michiko Young, The Art of Japanese Architecture

⁷ Ο κατακόρυφος τοίχος σαν διακριτό στοιχείο δεν είχε ακόμη αποσαφηνιστεί, ήταν κάτι μεταξύ πλαϊνού τοίχου και οροφής.

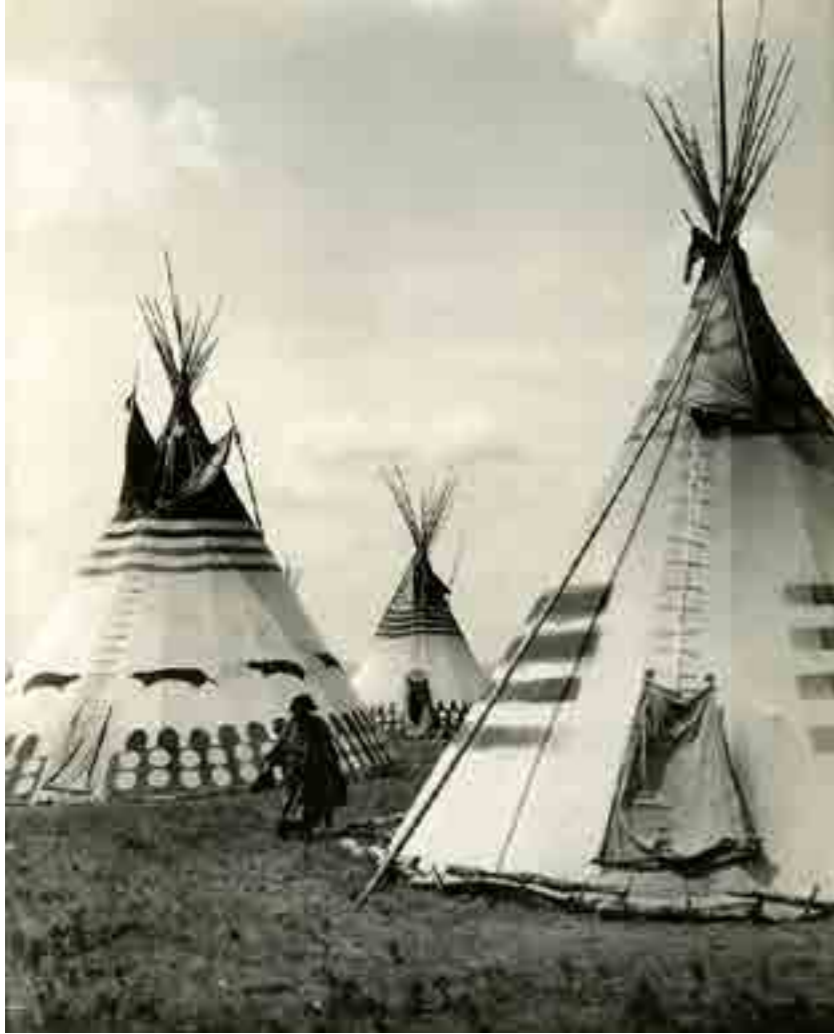
⁸ Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα του μεγάλου ναού στο Isse (Shinto ναός) με τον απέναντι κενό χώρο ... σαν η επόμενη περιοχή ανέγερσης ... να συμπληρώσω





Εικ. επάνω: Αναπαράσταση σε πραγματική κλίμακα του αρχαιολογικού οικισμού της περιόδου Υαγοί στην περιοχή Yoshinogari ,νοτιοδυτικά της Ιαπωνίας, συγκεκριμένα στο νησί Kyushu. Η συγκεκριμένη γεωγραφική θέση δεν είναι τυχαία, μια και συνορεύει με την Κορεατική Χερσόνησο, το πέρασμα των επιρροών από την Κίνα.





συνέχεια από τη σελίδα 14

Ο ριζοσπαστικός χαρακτήρας ενός καταλύματος να αποσυναρμολογείται και να μεταφέρεται φτάνει στο απόγειό του με τις σκηνές νομαδικών φυλών (κατά κύριο λόγο), σκηνές οι οποίες δικαίως εν μέρει θεωρούνται αρχέτυπα των σύγχρονων υφασμάτινων κατασκευών. Οι παραλλαγές που εντοπίζονται σε διαφορετικά μήκη και πλάτη της Γης, πέρα από την πρακτική χρησιμότητα έγκεινται ενίοτε στη κοσμοθεωρία της κάθε φυλής και τον τρόπο που αυτή αποτυπώνεται επάνω στα καταλύματα. Μερικές γνωστές περιπτώσεις τέτοιων σκηνών, είναι τα Τιρί (ή terree) των Ερυθρόδερμων. Η κωνοειδής διαμόρφωση από ξύλινα κοντάρια, έφερε επικάλυψη από δέρμα βίσωνα και το μονόχρωμο αυτό κατάλυμα πέρα από την κεντρική εστία, έφερε μια εσωτερική ιεραρχία. Ο χώρος για τον άντρα καταλάμβανε το δεξιό τέταρτο από την είσοδο, της γυναίκας το αριστερό και αντιδιαμετρικά της εισόδου προοριζόταν για τον ιερό χώρο και για τους φιλοξενούμενους. Η σκηνή του μάγου-ιατρού και του αρχηγού, ξεχώριζε για την έντονη εξωτερική διακόσμηση και το μέγεθος. Οι σκηνές έφεραν συμβολισμούς και μηνύματα, πέρα από τον λειτουργικό τους σκοπό. Σήμερα οι φυλές των Ινδιάνων στην Βόρεια Αμερική, έχουν αποδεκατιστεί. Μερικά τέτοια πρωτόγονα καταλύματα που έχουν αντέξει στο πέρασμα του χρόνου, είναι η «μαύρη τέντα» των Βεδουίνων της Υποσαχάριας Αφρικής και τα Μογγολικά Yurt. Το μέγεθος και η διακόσμηση της σκηνής αυτών δηλώνει την οικονομική ευρωστία και το κύρος. Απαραίτητη προϋπόθεση και κοινό χαρακτηριστικό ήταν η ευκολία αποσυναρμολόγησης και μεταφοράς.



Μέσα από διάφορα άλλα ιστορικά παραδείγματα, διαπιστώνουμε πως η χρήση μιας υφασμάτινης κατασκευής δεν ήταν άγνωστη στον Δυτικό κόσμο. Στην στήλη του Τραϊανού στη Ρώμη (περίπου 110 μ.Χ.), οι αναπαραστάσεις από τις εκστρατείες, αποτυπώνουν πέρα από την μάχη και τις υφασμάτινες σκηνές, που χρησιμοποιούσε ο Ρωμαϊκός στρατός για τις εκστρατείες. Σκηνές υφασμάτινες για την ίδια χρήση, βλέπουμε στις μεσαιωνικές ζωγραφικές αναπαραστάσεις⁹. Η εφαρμογή όμως, που ξεφεύγει σε κλίμακα και δεν αναφέρεται πια σε περιπλανώμενες ομάδες είναι η στέγαση των Ρωμαϊκών αμφιθεάτρων με ένα τεράστιο πανί, την βελάρια (velaria). Πιο γνωστό δείγμα το Κολοσσαίο στη Ρώμη, με το μετακινούμενο τεραστίων διαστάσεων πανί, να καλύπτει τις κερκίδες. Ένα έργο πρόγονος των σημερινών επαναπτυσσόμενων οροφών σε στάδια.

Μήπως σήμερα όταν γίνεται αναφορά σε υφασμάτινες κατασκευές, νιώθουμε έντονα αποτυπωμένα σαν πρώτη εικόνα τα αρχέτυπα αυτά, με το ευτελές υλικό; Οι σύγχρονες εξελίξεις στην τεχνολογία των εφελκόμενων υφασμάτινων κατασκευών, έχουν μετατοπίσει τις κατασκευές αυτές από την ανεπίσημη στην επίσημη πλέον αρχιτεκτονική.

9 Πολλές τέτοιες ζωγραφικές αναπαραστάσεις δείχνουν τις εκστρατείες των Σταυροφόρων.

Η στήλη του Τραϊανού στη Ρώμη



Ζωγραφιά στην Chartre, αρχές 1300.



Frei Otto – Στάση Ζωής, η Ελαφρά Κατασκευή

Το έργο σημείο αναφοράς για τις ελαφρές κατασκευές

Σημείο αναφοράς για τις κατασκευές από μεμβράνη και ευρύτερα για τις «ελαφρές» κατασκευές, είναι το Γερμανικό περίπτερο της Διεθνούς Εκθέσεως στο Καναδά το 1967. Ένα έργο πολυμελούς ομάδας αρχιτεκτόνων στην οποία ηγείτο ο Rolf Gutbrod και ο Frei Otto, με τον τελευταίο να κατέχει τον πιο καθοριστικό ρόλο. Ένα έργο πρωτοποριακό ως προς την κατασκευαστική του λογική και κλίμακα, αλλά και ένα έργο το οποίο είχε συνοψίσει την τεχνολογία η οποία κατακτήθηκε μέσα από διεξοδικές έρευνες, πειράματα και πρότυπες κατασκευές τα χρόνια που προηγήθηκαν. Μια σύλληψη απaráμιλλης ομορφιάς, μια ελεύθερη μορφή στο χώρο η οποία επιτυγχάνει να εκπέμψει μέσα από τον τεράστιο όγκο, ένα αέρα «ευγενικής» χειρονομίας στο τοπίο, ένα οπτικό βάρος το οποίο καταφέρνει να εξαυλώσει και μια μορφή η οποία φέρει συμβολισμούς και μηνύματα. Η μεταπολεμική Γερμανία είχε την ανάγκη να αποτινάξει κάθε τι που την συνέδεε με την σκοτεινή περίοδο του Ναζισμού και την μεγαλομανία του Χίτλερ να επιβληθεί και να προκαλέσει το δέος ακόμη και μέσω της αρχιτεκτονικής. Η ποδηγέτηση του κοινού αισθήματος και η παραφροσύνη είναι χαρακτηριστική μέσα από τα έργα (υλοποιημένα και μη) του Albert Speer, αρχιτέκτονα του Χίτλερ¹⁰, που ήθελε να μετατρέψει το Βερολίνο σε νέα-Ρώμη με μνημειώδη σε διαστάσεις κτήρια και βουλεβάρτα.

Η ανάγνωση των έργων που συνέβαλαν στην πραγματοποίηση του περιπτέρου του Μόντρεαλ είναι συνάμα η σύγχρονη ιστοριογραφία των κατασκευών από μεμβράνη. Η φυσιογνωμία του Frei Otto είναι αναπόσπαστο κομμάτι αυτής της ιστορίας όπως τα πειράματα και η έρευνα που άφησε παρακαταθήκη.

¹⁰ Τα προσωπικά απωθημένα και οι φαντασιώσεις του Χίτλερ μπορούσαν να υλοποιηθούν μέσω του Speer, μια και ο ίδιος δεν είχε καταφέρει να υλοποιήσει τον πρωταρχικό του στόχο να περάσει στην αρχιτεκτονική σχολή.



Περίπτερο της Δυτικής Γερμανίας στο Μόντρεαλ, Expo 1967

Frei Otto, τα πρώτα χρόνια

Η προσπάθεια ανάγνωσης και ερμηνείας της αρχιτεκτονικής έκφρασης του Frei Otto και ευρύτερα του έργου που άφησε κληρονομιά (ανυλοποίητου, πειραματικού κτλ.) θα ήταν ελλιπής δίχως τον συσχετισμό με το αρχιτεκτονικό και πολιτιστικό πλαίσιο της εποχής. Εξίσου σημαντικά είναι τα βιώματα που διαμορφώνουν την κοσμοθεωρία, τη στάση ζωής αλλά και τη δράση εκάστου ατόμου.

Γεννηθείς το 1925 στο Siegmars της Σαξονίας και ακολούθως η μετεγκατάσταση του σε προάστιο του Βερολίνου (Zehlendorf), τη πόλη γενέτειρα του Μοντέρνου κινήματος αλλά και των επαναστατικών ζυμώσεων για την ριζική αναθεώρηση της αρχιτεκτονικής, δεν ήσαν αρκετά για να αντιληφθεί τα τεκταινόμενα ο Frei, λόγω ηλικίας. Οι σποραδικές αναφορές για τις εξελίξεις της εποχής προέρχονταν από τον πατέρα του, γλύπτη στο επάγγελμα, ο οποίος ήταν ενεργό μέλος της Deutsche Werkbund¹¹. Μαθητής ακόμη ο Frei, στις καλοκαιρινές διακοπές λαμβάνει μαθήματα λιθοξοϊκής κάτι που τον φέρνει σε επαφή με την οικοδομική τέχνη. Οι ανησυχίες του βρίσκουν διέξοδο ακόμη και σε μικρά αυτοσχέδια μοντέλα από αεροπλανάνκια που ο ίδιος έφτιαχνε έχοντας την εμπειρία του να πιλοτάρει ανεμόπτερο, στο οποίο θαύμαζε την ελαφρά διαμόρφωση της ατράκτου. Το 1943 αποφοιτά από το σχολείο και η Σκοτεινή Περίοδος του Β΄ Παγκοσμίου Πολέμου είναι εν εξελίξει. Η τελευταία αυτή του δεξιότητα τον στρατολογεί στην μάχιμη μοίρα της αεροπορίας ως πιλότο. Ζει και γίνεται μάρτυρας των ανελέητων βομβαρδισμών πόλεων και εγκαταστάσεων μέχρι το 1945 με την άνευ όρων παράδοση της Γερμανίας και την φυλάκισή του ως αιχμαλώτου στην Γαλλία. Κατά τα δύο αυτά χρόνια της αιχμαλωσίας, μέχρι το 1947, σε στρατόπεδο συγκέντρωσης στην πόλη Chartres πέρα από την ευκαιρία για αναθεώρηση και μεταμέλεια τοποθετείται σε ομάδα σχεδίασης για την ανοικοδόμηση των κατεστραμμένων υποδομών της πόλης. Με υπεύθυνο μηχανικό τον επίσης αιχμάλωτο Leopold Kuhlman αρχίζουν να ανοικοδομούν διάφορες αίθουσες (αποθήκες, εργοστασιακές εγκαταστάσεις,...) και γέφυρες. Αυτό που τους απασχόλησε και τους δέσμευε ήταν τα πενιχρά διαθέσιμα μέσα και υλικά για την επίτευξη του στόχου. Ήταν η πρώτη φορά που θα ερχόταν ο Frei Otto αντιμέτωπος με την επιτακτική ανάγκη της οικονομίας στο υλικό της κατασκευής και της ανθρώπινης ενέργειας, σε συνδυασμό με την ευκολία συναρμολόγησης και ανέγερσης.

συνέχεια στη σελίδα 26

¹¹ Ο πατέρας του Frei γνωρίζει σε προσωπικό επίπεδο και τον Erich Mendelson, τον εξπρεσιονιστή και μετέπειτα μοντέρνο αυτό αρχιτέκτονα. (πηγή : Juan Maria Songel, A conversation with Frei Otto, Princeton Architectural Press 2010, σελ.25)



Το 1948, αποφυλακισμένος πλέον, ξεκινά τις σπουδές στην αρχιτεκτονική στο Πολυτεχνείο του Βερολίνου (Technische Universität Berlin). Τα τελευταία δύο χρόνια 1950-51 του απονέμεται υποτροφία για να πάει στην Αμερική να γνωρίσει το έργο των διάσημων αρχιτεκτόνων και μηχανικών της εποχής Frank Lloyd Wright, Charles and Ray Eams, Eero Saarinen, Fred Severud, Richard Neutra κτλ και των πατέρων του Μοντέρνου, Mies van der Rohe, Walter Gropius κ.α. Σε αυτό το εκπαιδευτικό ταξίδι η επίσκεψη στο γραφείο του μεγάλου μηχανικού της εποχής Fred Severud, έμελλε να είναι καθοριστικής σημασίας για την μετέπειτα πορεία του Frei. Ο Severud είχε ξεναγήσει τον Frei στο υπό κατασκευή τότε Raleigh Arena, ένα έργο μεγάλων διαστάσεων, περίπου 90x100 m, με την καλωδιωτή αναρτώμενη οροφή σε σχήμα σέλλας (saddle shape) και τα επικλινή υπερβολικά τόξα να αποπνέουν αυτό που ο ίδιος χαρακτήρισε «την απόλυτη ελαφρά κατασκευή». Στην μετέπειτα πορεία του δεν παρέλειπε να αναφέρει στο συγκεκριμένο κτήριο ως πρότυπο. Τον επόμενο χρόνο αμέσως μετά την αποφοίτησή του το 1953 ξεκινά την διδακτορική διατριβή του με θέμα «Η αναρτώμενη οροφή» (“Das Hängende Dach” - “The Suspended Roof”), ενδεικτικό της επιρροής που άσκησε το Raleigh Arena. Κατά την διάρκεια της διδακτορικής του διατριβής ανακαλύπτει για πρώτη φορά πως οι τέντες, οι υφασμάτινες κατασκευές ανήκουν στην κατηγορία των αναρτώμενων κατασκευών. Τότε αρχίζει να στέλλει αλληπάλληλες επιστολές σε μονάδες παραγωγής υφασμάτων για τέντες ζητώντας πληροφορίες. Ο μοναδικός που απάντησε ήταν ο βιομήχανος Peter Stromeyer παροτρύνοντάς τον να πάει να τον συναντήσει μια και η βιβλιογραφία επί του θέματος ήταν ανύπαρκτη¹². Η συνάντηση αυτή έμελλε να είναι η αρχή μια μακράς φιλίας και συνεργασίας σε διάφορα μετέπειτα έργα (στο επόμενο υποκεφάλαιο θα δούμε μερικά εξ αυτών πιο αναλυτικά).

Ο Μοντερνισμός ο οποίος δεν «...έφερε ανεπιθύμητους πολιτικούς συσχετισμούς, αναβίωσε μετά το 1945...»¹³ βρήκε μάλιστα και έδαφος για πρακτική εφαρμογή στα διάφορα προγράμματα ανοικοδόμησης των πόλεων στις χώρες που επλήγησαν από τον σαρωτικό Β΄ Π.Π. Εντούτοις, δεν πέρασε μια δεκαετία για να αρχίσουν να διακρίνονται οι πρώτοι κλυδωνισμοί και οι φυγόκεντρες τάσεις από την αυστηρή ρασιοναλιστική του εφαρμογή, άρχισε πλέον να γίνεται κατεστημένο χάνοντας από την επαναστατικότητα του. Οι μονότονοι ορθοκανονικοί όγκοι με όψεις διαμορφωμένες από ένα άψυχο και συνθετικά αμήχανο κάναβο τζαμαρίας, εν αντιθέσει με τον ορισμό της διαφάνειας και την ενοποίηση του μέσα με το έξω στα έργα του Mies van der Rohe, ήταν σημάδια ενός νέου αδιεξόδου. Ο Frei Otto, ομολογεί ο ίδιος ότι, όσα έμαθε για το Bauhaus και την αρχιτεκτονική επανάσταση της δεκαετίας του 20΄ προέρχονταν μέσα από την Werkbaund στην οποία ήταν μέλος και από την συμμετοχή του σε συνέδρια του CIAM¹⁴. Εκφράζει δυσπιστία στο αξίωμα «Η Μορφή Ακολουθεί την Λειτουργία» που διατύπωσε ο Louis Sullivan το 1896, μάλιστα δε δίστασε να δηλώσει ότι η πίστη για εξωτερική της χρήσης ενός κτηρίου δεν αποτελεί αρχιτεκτονική τέχνη αλλά ένα σύνθημα το οποίο είχε φτάσει μέχρι τα μέρη μας (Ευρώπη, Γερμανία) και από το οποίο υποφέρουμε βαθεία¹⁵. Αυτό που πραγματικά τον εκφράζει και θεωρεί πως μπορεί να επαναφέρει την αρχιτεκτονική στην κατεύθυνση που της αρμόζει, εμποτισμένη με πανανθρώπινες αξίες και ιδανικά, είναι το μόντο του Mies van der Rohe “Less Is More”. Η δική του ερμηνεία σ’ αυτό δεν είχε σχέση με τη αισθητική θεώρηση αλλά με την ελάχιστη εφικτή χρήση υλικού και ενέργειας για την επίτευξη του στόχου, δίχως να έχει την ουτοπική αντίληψη περί απούλιοποίησης της αρχιτεκτονικής.

Ο Frei Otto φαντάζει ως ένας πρώιμος ακτιβιστής της Οικολογίας και εν γένει της

12 Η απάντηση που ήρθε από τον Peter Stromeyer της βιομηχανίας L.Stromeyer & Co ,που έδρευε στην Κωσταντζα, ήταν «There is no literature. Just come and visit» (πρωταρχική πηγή: Frei Otto,Wilhelm, 1985 σελ.142 , δευτερεύουσα πηγή Frei Otto Complete Works, Birkhauser, σελ. 175)

13 Jurgen Tietz, Η Ιστορία της Σύγχρονης Αρχιτεκτονικής, Ελευθερουδάκης 2008, σελ.57

14 Congrès internationaux d’architecture moderne – Διεθνές Συνέδριο Μοντέρνας Αρχιτεκτονικής

15 Σελίδα 57 να κοιτάξω



J.S. Dorton Arena , Raleigh , Βόρεια Καρολίνα - Αμερική. (Αρχιτ. Matthew Nowicki (1910-50) , δομικός μηχ. Fred Severud (1899-1990))



Βιώσιμης Ανάπτυξης, μάλιστα σε μια εποχή που θεωρούσε ανεξάντλητους τους ενεργειακούς πόρους, μέχρι να γνωρίσει την πετρελαϊκή κρίση του 70¹⁶. Έμμονη ιδέα τα πρώτα αυτά χρόνια που δραστηριοποιήθηκε στο Βερολίνο ήταν να συλλάβει τις αρχές και τις αιτίες που μια κατασκευή μπορεί να ανεγερθεί με το βέλτιστο δυνατό ελάχιστο βάρος, κοινώς την ελάχιστη μάζα - την ελάχιστη χρήση υλικού κάτι που ο ίδιος διατύπωσε ως «**Αρχή της ελαφράς κατασκευής**» (“The Lightweight Principal”). Δίχως να υπάρχει βιβλιογραφική εμπεριστατωμένη τεκμηρίωση, παρά μία αναφορά από ένα πρώην βοηθό, ο Frei Otto γνώριζε την Ιαπωνική παραδοσιακή αρχιτεκτονική η οποία βασιζόταν στην αρχή της ελαφράς κατασκευής¹⁷. Μέσα από αυτή πιθανό να είχε διευρύνει και αποκρυσταλλώσει την κατεύθυνση και τους στόχους της δικής του προσπάθειας. Στα μεταπολεμικά εκείνα χρόνια η στέγαση μεγάλων ανοιγμάτων χωρίς ενδιάμεσα υποστυλώματα ήταν ήδη κεκτημένη γνώση, όσο και η αναγνώριση της αξίας στα έργα των μηχανικών. Χωροδικτυώματα και λεπτά κελύφη από σπλισμένο σκυρόδεμα σε περίτεχνες μορφολογήσεις διπλής καμπυλότητας ήταν ένας δόκιμος τρόπος για την στέγαση τεραστίων χώρων, μαζί με αυτά δεν πρέπει να παραλείπουμε τις κρεμαστές γέφυρες από μεταλλικά καλώδια (κατάκτηση του 19^{ου} αιώνα). Η εργασία του «Η αναρτώμενη οροφή» ήταν μόνο η αρχή. Οι ανησυχίες που έτρεφε για τις κατασκευές των μεγάλων ανοιγμάτων, επιβεβαιώνονται και στη συνέχεια με την καλή γνώση για το έργο διαφόρων μηχανικών αλλά και την επικοινωνία δια της αλληλογραφίας που διατηρούσε με μερικούς εξ αυτών, Pier Luigi Nervi (1891-1979), Eduardo Torroja (1899-1961) κ.α. . Από το 1958 και μετά οι συχνές επισκέψεις στην Αμερική σαν επισκέπτης καθηγητής σε διάφορα Πανεπιστήμια αποτέλεσε σημαντική συγκυρία για να γνωρίσει το έργο του Eladio Dieste ,αλλά και να έρθει σε επαφή με τους Felix Candela και Richard Buckminster Fuller. Όλες αυτές οι επαφές σε συνδυασμό με το νεαρό της ηλικίας του, μόνο επωφελής θα μπορούσαν να είναι τόσο στο να τον επηρεάσουν και να τον ενθουσιάσουν.

Στην δεκαετία του 50' πολλοί από τους πρώην πιστούς Ρασιοναλιστές του Μοντέρνου αρχίζουν να πειραματίζονται και να ακολουθούν την δική τους δημιουργική πορεία. Ένας από τους πρώτους «αποστάτες» είναι ο Le Corbusier, «...με την εκκλησία Notre Dame du Haut (1950-54) στη Ronchamp όπου ο γνωστός ορθολογισμός, ...και η δοξολογία της βασικής γεωμετρίας, θα δώσουν τη θέση τους σε μια αντιορθολογιστική, πλαστική δημιουργία, ένα ποίημα με καμπύλες επιφάνειες...»¹⁸. Μέσα σε αυτή την εποχή της αρχιτεκτονικής πολυφωνίας ο Frei Otto δεν διστάζει να κατηγορήσει κτήρια κομψοτεχνήματα, πρότυπα για τους αρχιτεκτονικούς κύκλους της εποχής. Μερικά εξ αυτών το περίπτερο της Philips σχεδιασμένο από τον Le Corbusier και τον Ιωάννη Ξενάκη, για την Διεθνή Έκθεση του 58 στις Βρυξέλλες, ο τερματικός σταθμός TWA στο αεροδρόμιο της Νέας Υόρκης του Eero Saarinen (1956-62) και η όπερα του Σύνδνεϋ από το Δανό, μέχρι τότε άσημο αρχιτέκτονα Jorn Utzon (1959-67). Το κτήριο όμως το οποίο τον εξόργιζε περισσότερο και ήταν αναγκασμένος να το έχει καθημερινή θέα στο Βερολίνο,

16 «... Οι σημαντικότερες κρίσεις που έπληξαν τη διεθνή οικονομική κοινότητα κατά το δεύτερο μισό του 20ου αιώνα συνέβησαν το 1973 και 1979 αντιστοίχως. Το 1973 χαρακτηρίστηκε από το ξέσπασμα του τέταρτου αραβο-ισραηλινού πολέμου και τη συνεπακόλουθη οικονομική κρίση που δημιουργήθηκε. Πιο συγκεκριμένα, τον Οκτώβριο του 1973 το Ισραήλ δέχτηκε επίθεση από τρεις αραβικές χώρες βυθίζοντας την περιοχή σε χάος για πολλοστή φορά. Οι αραβικές χώρες-μέλη του ΟΠΕΚ, για να εκφράσουν τη δυσαρέσκειά τους απέναντι στις ΗΠΑ και στην Ολλανδία, που απροκάλυπτα υποστήριζαν το Ισραήλ, επέβαλαν εμπάργκο στην αποστολή πετρελαίου στις δύο αυτές χώρες. Το τελευταίο γεγονός σε συνδυασμό με τη δυσκολία διακίνησης του πολύτιμου προϊόντος είχε ως αποτέλεσμα οι τιμές να εκτιναχθούν στα ύψη...», Α.Δ., 1973,1979 : Η Διεθνής Οικονομία σε Σοκ, Απρίλιος 2002, ιστοσελίδα <http://www.euro2day.gr>

17 Ο για χρόνια στενός συνεργάτης του Frei, τόσο στο ατελιέ του στο Βερολίνο αλλά και την μετέπειτα εποχή στο εργαστήριο στο Warmbronn, Ewald Bubner διηγείται την πρώτη τους συνάντηση «... I became interested in his work while I was still a student, as his approach differed markedly from everything I had learned until then. When I finally sat in his small office and he show me a book and explained the principles of the Japanese home, I heard the term “lightweight construction” for the first time. ...” ,Frei Otto Complete Works, Birkhauser, σελ.81

18 Γιώργος Π.Λάββας, Σύντομη Ιστορία της Αρχιτεκτονικής 19^{ου}-20^{ου} αιώνας, University Studio Press 1986, σελ.210

ήταν η «αίθουσα Συνεδριάσεων» (“Berlin Kongresshalle”), το δώρο της Αμερικής στην Δυτική Γερμανία (1956-1957)¹⁹. Τα πολυτελή υλικά, τα υπέρμετρα βαριά και επιδεικτικά τοξωτά δοκάρια που θα υποβάσταζαν την στέγη και γενικά το συμβολικό και επιδεικτικό περιεχόμενο ήταν απαγορευτικά για εκείνον. Επανέφεραν μνήμες από την Ναζιστική Γερμανία, γι’ αυτό και ο ίδιος επέμενε σε μία αρχιτεκτονική εφήμερη, προσαρμόσιμη²⁰ και φειδωλή στην χρήση του υλικού. Ο ίδιος από ένα σημείο και μετά παύει να ασκεί έντονη κριτική και αρκείται να δηλώσει πώς «**η Μοντέρνα Αρχιτεκτονική έχει πεθάνει. Η Μνημειακότητα επανήλθε**»²¹. Μάλιστα δεν παύει να συμπληρώσει πώς «**με την ελαφρότητα ενάντια στην Θηριωδία**»²² υπάρχει φώς και ελπίδα. Η φιλοσοφία του Frei για τις ελαφρές κατασκευές δεν θεμελιώνεται απλά σε μία κατασκευαστική τεχνικο-οικονομική λογική, αλλά εμπεριέχει κοινωνικές προεκτάσεις. Ο ίδιος δηλώνει πως «**η ελπίδα μου για μια ελαφρά και ευέλικτη αρχιτεκτονική, μπορεί να φέρει μια νέα και ανοικτή (ειλικρινή) κοινωνία**»²³.

Μέσα από τις διάφορες κατά καιρούς τοποθετήσεις του ίσως να διακρίνεται ένας δογματισμός και ενίοτε μια ισχυρογνωμοσύνη για το τι αποτελεί ορθή αρχιτεκτονική μελέτη, την οποία θα μπορούσαμε να πούμε ότι ταυτίζει με την επιστημονική έρευνα. Η μορφή σε ένα αρχιτεκτονικό έργο υποστηρίζει πως δεν πρέπει να είναι προηλειμμένη απόφαση, αλλά απόρροια συστηματικής έρευνας από το πρώτο στάδιο μέχρι την εφαρμογή. Βάση τούτου και με οδηγό την αρχή της «ελαφράς κατασκευής» που προαναφέραμε, άρχισε να συντάσσει πρωτοφανείς συγκριτικούς τυπολογικούς πίνακες. Στην αρχή περιορίστηκε σε γέφυρες τις οποίες και κατέτασσε σε διαγράμματα ανάλογα με το άνοιγμα που μπορούσαν να γεφυρώσουν και το ίδιον βάρος. Αργότερα με την επαφή του με την επιστήμη της Βιολογίας, άρχισε να συντάσσει ακόμη πιο προκλητικούς πίνακες, όπου σύγκρινε την φέρουσα ικανότητα συναρτήσεως της ισχύος²⁴ σε κυτταρικές μικροδομές, φορτηγά, γέφυρες, λίθινες τοξωτές κατασκευές μέχρι και μαγνητικά πεδία. Σαν εργαλεία τεκμηρίωσης αυτής της προσπάθειας, ήταν οι διάφορες μαθηματικές εξισώσεις και τύποι με μεταβλητές που ο ίδιος εφεύρισκε. Δεν άργησε να πυροδοτήσει την σφοδρή κριτική από τους διάφορους επιστημονικούς κύκλους, για αντιεπιστημονική τεκμηρίωση και αυθαίρετα συμπεράσματα. Ωστόσο είχε πεισμίσει για περαιτέρω βελτίωση της θεωρίας του, μέχρι που ο ενθουσιασμός του άρχισε να φθίνει και να ακολουθεί μια άλλη πιο συναρπαστική πορεία²⁵. Όλη αυτή η περίοδος ίσως να ανταποκρίνεται σ’ αυτό που υποστηρίζουν διάφοροι θεωρητικοί της αρχιτεκτονικής, πώς η τεχνολογική

συνέχεια στη σελίδα 36

19 Αρχιτέκτονες Hugh Stubbins, Düttmann and Mocken 1956-57

20 Με τον χαρακτηρισμό προσαρμόσιμη (adaptable), τον οποίο αναφέρει πολλές φορές στα έργα του, δεν περιλαμβάνει μόνο τις πτυσσόμενες οροφές και τις αποσυναρμολογούμενες και εύκολα μεταφερόμενες κατασκευές. Είναι μια πιο αόριστη έννοια, ίσως μια φιλοσοφία που συμβαδίζει με τον κύκλο ζωής του ανθρώπου, τις μεταβαλλόμενες ανάγκες και την αποστροφή σε κάθε τι που επικαλείται την αιωνιότητα.

21 πρωταρχική πηγή: Frei Otto. “Brutalismus in Stuttgart?”.Stuttgarter Zeitung, 1997, quoted from Burkhardt. 1984 (note2), pp.152-153, δευτερεύουσα πηγή Frei Otto Complete Works, Birkhauser, σελ. 13

22 πρωταρχική πηγή: Frei Otto. “Mit Leichtigkeit gegen Brytalitat” Allgemeine Bauzeitung, 1976, reprinted in Burkhardt. 1984 (note2), pp.128-132, δευτερεύουσα πηγή Frei Otto Complete Works, Birkhauser, σελ. 11

23 πρωταρχική πηγή: “Der Herr des Augenblicks. Seine Liebe gilt dem Leichten und Beweglichen: Ein Zeit-Gesprach mit Frei Otto”. Die Zeit, February 2,2003 , δευτερεύουσα πηγή Frei Otto Complete Works, Birkhauser, σελ. 9

24 Ο όρος slenderness τον οποίο χρησιμοποιεί ο Frei Otto δεν ανταποκρίνεται στον καθιερωμένο όρο της δομικής μηχανικής λυγηρότητα, η οποία π.χ. σε ένα γραμμικό φορέα είναι ο λόγος του ενεργού ύψους προς την ακτίνα- το πάχος της διατομής του. Για να μην υπάρξει παρερμηνεία χρησιμοποιώ κατά την μετάφραση την λέξη ισχύος, της οποίας συνέταξε τον τύπο $\lambda = s/\sqrt{F}$. Είναι ο λόγος της απόστασης δύο σημείων (των σημείων στήριξης) προς την ρίζα της δύναμης, του φορτίου πιο απλά που μπορούν να μεταφέρουν.

25 Σε συνέντευξη του Frei Otto το 2004, στον Juan Maria Songel, δηλώνει πώς η όλη προσπάθεια κατηγοριοποίησης και συστηματοποίησης της έρευνας και της σύνταξης τέτοιων διαγραμμάτων ήταν περισσότερο για λόγους πρακτικούς. Η ακαδημαϊκή του ιδιότητα και το εκπαιδευτική του αποστολή έπρεπε να είναι οργανωμένη ώστε τα όποια κενά και παραλείψεις να βελτιωθούν από τους κατοπινούς, ενδιαφερόμενους με το θέμα. Από αυτή την απάντηση διακρίνεται μια μικρή μελαγχολία αν όχι απογοήτευση για το αδιέξοδο που πιθανόν να βρέθηκε. (πηγή: Juan Maria Songel, A conversation with Frei Otto, Princeton Architectural Press 2008).

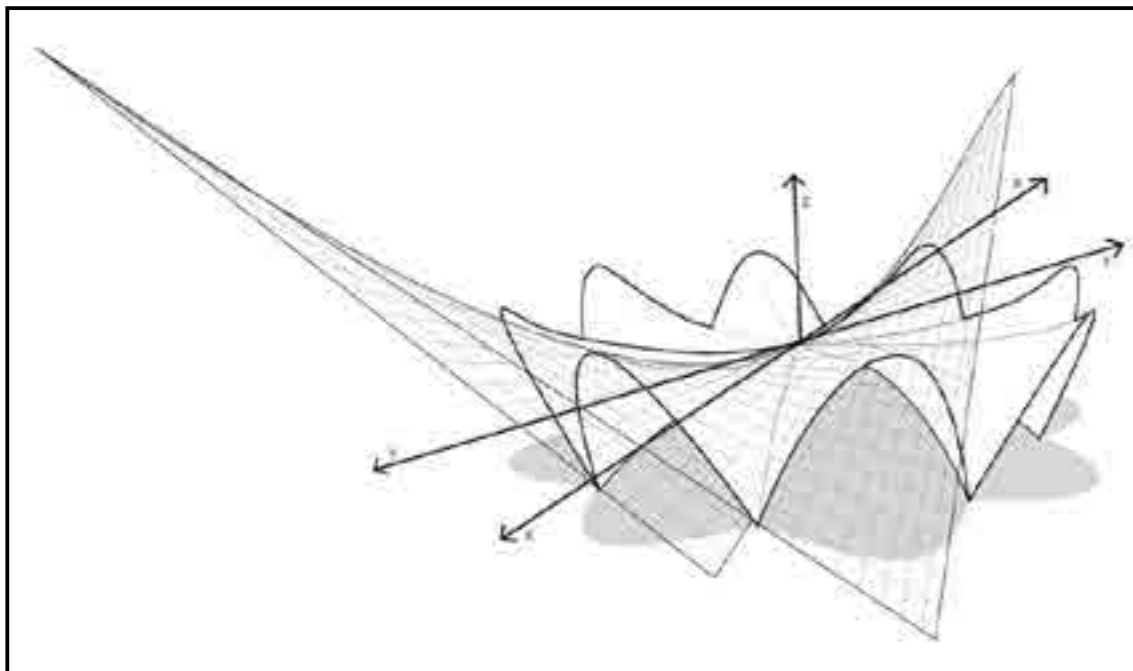


Εικ.Α (επάνω) **Pier Luidgi Nervi** (1891-1979), υπόστεγο για αεροσκάφη της ιταλικής αεροπορίας στο Ορβιέτο, Ιταλία 1935-38. Κατασκευή από οπλισμένο σκυρόδεμα, διαστάσεων 44,8m x 115,5m.

Εικ.Β (αριστερά) Pier Luigi Nervi και Annibale Vitellozzi, Palazzetto dello sport ,Ρώμη 1956-57, για τους Ολυμπιακούς αγώνες του 1960. Εσωτερική διάμετρος θόλου 61m και εξωτερική με τις αντηρίδες 78m (36 στο σύνολο). Το αξιοσημείωτο ο χρόνος αποπεράτωσης του θόλου που κράτησε περί τις 40 μέρες, χάρη στα 1620 προκατασκευασμένα μπετονένια στοιχεία, σε μορφή διαμαντιού (diamond shape). Τα στοιχεία αυτά λειτούργησαν σαν καλούπι για να χυθεί η τελική οπλισμένη μπετονένια στρώση η οποία και τα συνέδεε. Η τεχνική αυτή ήταν ήδη μελετημένη από τα προγενέστερα υπόστεγα αεροπλάνων.



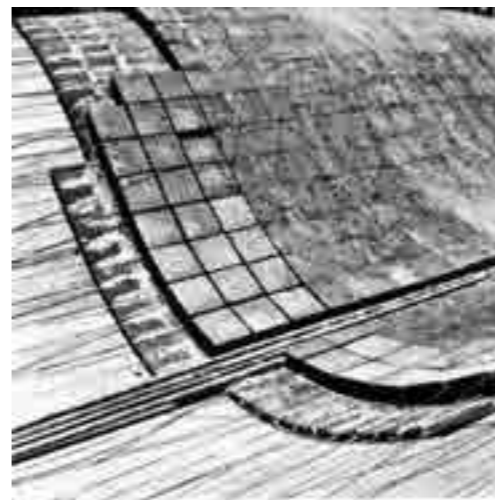
Εικ. Α & Β: **Eduardo Torroja** (1899-1961), Ιππόδρομος Zarzuela στη Μαδρίτη, 1935.(αρχιτέκτονες Carlos Arniches και Martín Domínguez) Ισπανός μηχανικός που χρησιμοποιεί το οπλισμένο σκυρόδεμα στα όρια της αντοχής του. Η στέγαση των κερκίδων είναι αλληλουχία με υπερβολικά παραβολοειδή, έχοντας πρόβολο 13 m.



Γεωμετρική ανάλυση των τεσσάρων υπερβολικών παραβολοειδών σε αλληλοτομή. Σαν σχήμα ανήκει και στην κατηγορία με τις ευθειογενείς επιφάνειες. Ο πιο απλός τρόπος να αντιληφθεί κάποιος τι είναι αυτές οι επιφάνειες, αρκεί να πάρει νήμα και να συνδέει την μία ακμή με την απέναντι ακμή του κλειστού αυτού σχήματος, οι οποίες βέβαια δεν είναι ομοεπίπεδες. Από γραμμικά στοιχεία προκύπτει το τελικό διπλής καμπυλότητας σχήμα.



Félix Candela (1910-1997), εστιατόριο Los Manantiales, Mexico City, 1958. Το λεπτό αυτό κέλυφος από οπλισμένο σκυρόδεμα ακουμπά κάτω στο έδαφος σε 8 σημεία, σχηματίζοντας ένα κύκλο διαμέτρου 42m με ύψος αυξομειούμενο από 8m σε 6m στο κέντρο. Ο Ισπανός αυτός αρχιτέκτονας αυτοεξορισμένος στο Μεξικό, λόγω Ισπανικού εμφυλίου, εφάρμοσε το ίδιο έργο και σε διαφορετικές εκδοχές (τρίγωνη, πεντάγωνη, εξάγωνη ... χάραξη κάτοψης). Ο Frei Otto είχε την ευκαιρία να τον γνωρίσει προσωπικά και να τον ξεναγήσει σε πολλά από τα έργα του



Eladio Dieste (1917-2000), «Εκκλησία του Χριστού του Εργάτη» (Cristo Obrero Church), Ατλαντίδα - Ουρουγουάη, 1952. Η ιδιαιτερότητα αυτής της εκκλησίας πέραν της αισθητικής αρχιτεκτονικής αξίας έγκειται στο γεγονός του πρωτότυπου κατασκευαστικού συστήματος που εφάρμοσε ο συγκεκριμένος Ουρουγουανός αρχιτέκτονας και μηχανικός. Αντικαθιστά το δομικό στοιχείο του σκυροδέματος με το τούβλο και προκύπτει η «οπλισμένη οπτοπλινθοδομή». Οι ανησυχίες που φέρει συγκλίνουν με αυτές του Frei Otto, προσπαθεί μέσα από την δομή του κτηρίου να αξιοποιεί στο έπακρο τις μηχανικές ιδιότητες του υλικού με την ελάχιστη χρήση που μπορεί να γίνει σε αυτό, δηλ. με μια οικονομία στο υλικό. Η διπλή καμπυλότητα, οι καμπυλωτές πτυχώσεις τόσο στους τοίχους και την οροφή, διαστάσεων χώρου 30m επί 16-19 m στο πλάτος (κυμαινόμενο πλάτος), είναι τέτοια που επιτρέπει την ανάπτυξη λεπτών τοιχωμάτων με μέγιστη αντοχή σε ολίσθηση και κάμψη. Η παρουσία αντηρίδων και ισχυρών δοκαριών είναι αχρείαστη.



[εικ. δεξιά] Τερματικός σταθμός TWA, Νέα Υόρκη 1962, αρχιτέκτ. Eero Saarinen. [εικ. κάτω] Περίπτερο Philips, Βρυξέλλες Expo 58, Le Corbusier και Ιωάννης Ξενάκης.



«η Μοντέρνα Αρχιτεκτονική έχει πενάνει. Η Μνημειακότητα επανήλθε» Frei Otto

Όπερα του Σύδνεϋ, Αυστραλία, αρχιτέκτ. Jørn Utzon, η διάρκεια αποπεράτωσης του έργου 1959- 1973.



*«με την ελαφρότητα ενάντια στην Θηριωδία»
Frei Otto*

Kongresshalle Βερολίνο, αρχιτέκτονας: Hugh Stubbins, δομικός μηχανικός: Fred Severud. / Το Συνεδριακό αυτό κέντρο που κτίστηκε επί τη ευκαιρία της έκθεσης κτηρίου, INTERBAU 1957, στο Βερολίνο, ήταν ένα δώρο της Αμερικής στη Γερμανία. Πέρα από τα πολιτικά μηνύματα που έφερε, εντυπωσίασε με την αρχιτεκτονική του το κοινό και αποτέλεσε για χρόνια σημείο αναφοράς στην διχοτομημένη αυτή πόλη. Για τον Frei Otto δεν ήταν κάτι πέρα από μια βέβηλη αρχιτεκτονική, εμπροσθόμνη με εγωκεντρικές και μνημειακές παραστάσεις, που του ανέσυρε μνήμες του Μεσοπολέμου. Το Μάιο του 1980 καταρρέει το ένα από τα πελώρια βαριά τόξα. Οι ανησυχίες πολλών μηχανικών που είχαν ασκήσει δριμεία κριτική, δυστυχώς επιβεβαιώθηκαν. Το 1987 ξανακτίζεται με εσωτερική, κρυμμένη έντεχνα ενίσχυση από τοίχια και από τότε λειτουργεί ως χώρος εικαστικών εκθέσεων και συναφών λειτουργιών, ονομαζόμενο ως «Το σπίτι των Πολιτισμών του Κόσμου» («Haus der Kulturen der Welt»). [πηγή επίσημη ιστοσελίδα: <http://www.berliner-kongresshalle.de>]



συνέχεια από τη σελίδα 29

προσέγγιση στο σχεδιασμό με την αποδοχή των δυνατοτήτων της μηχανής, το πρώτο τρίτο του 20^{ου} αιώνα, πλέον δίνει την θέση της στην επιστημονική προσέγγιση. «Για μια περίπου εικοσαετία μετά τον δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο η θεωρία της αρχιτεκτονικής χαρακτηρίζεται από την επιστημονική προσέγγιση του φυσικού περιβάλλοντος. Στην φάση αυτή η επιστημονική άποψη γίνεται η κύρια άποψη, η τεχνολογική και η αισθητική μετατοπίζονται ... σε σειρά σπουδαιότητας, ενώ η κοινωνική εξακολουθεί και παραμένει μη συνειδητή»²⁶.

Δεν μπορούμε να πούμε πώς όλη του η σταδιοδρομία παραμένει ασυγκίνητη και ανεξάρτητη από τις ανησυχίες και τα ρεύματα της εποχής. Οι πειραματισμοί και οι περίεργες μορφολογήσεις έβρισκαν πιο πρόσφορο έδαφος σε έργα ανοικτής κάτοψης και μεγάλης επιφάνειας, εν αντιθέσει με το πιο δύσκαμπτο κτηριακό επίπεδο. Η πρώτη ανάθεση για σχεδίαση κατοικιών ήρθε το 1954. Το συγκρότημα κατοικιών στο Tempelhof, προάστιο του Βερολίνου, έργο πενταμελούς ομάδας αρχιτεκτόνων που διηύθυνε ο Frei Otto ήταν καθαρά Μοντέρνας λογικής. Μια ελεύθερη διάταξη 7 ορθοκανονικών όγκων με κύρια μέριμνα τον επαρκή ηλιασμό. Δεν θα ήταν άστοχο να πούμε ότι παρέπεμπε σε εργατικές κατοικίες. Σε πολεοδομικό επίπεδο σχεδίασης η αποτυχία του Μοντερνισμού να ανταποκριθεί στις πραγματικές ανθρώπινες ανάγκες και συμπεριφορές ήταν ήδη εμφανής. Από τις πρώτες αντιδράσεις για την εγκυρότητα της «Χάρτας των Αθηνών»²⁷ φτάνουμε στη αποσύνθεση του CIAM το 1959. Μέσα στη δεκαετία του 60' ήδη υπήρχε πληθώρα από ομάδες που πλέον αποενοχοποιημένα παρουσίαζαν διάφορες προτάσεις με αρκετή δόση επιστημονικής φαντασίας. Αρκεί να θυμηθούμε τον θόλο που κάλυπτε το μισό Manhattan, του Buckminster Fuller, την πόλη που περπατά ή την πόλη που συντίθεται κομμάτι κομμάτι (plug-in city) των Archigram. Ακόμη και το Ιαπωνικό κίνημα των Μεταβολιστών. Έτσι και ο Frei παρουσιάζει την δική του "growing city". Πόλεις που φτάνουν στα όρια της αστικής διάχυσης και αρχίζουν να αναπτύσσονται καθ' ύψος, επάνω σε πελώριους ιστούς από τους οποίους αναρτάται πάντοτε ένα περιβλήμα το οποίο σχηματίζει κωνοειδής μορφές. Η ιδέα του περιβλήματος, μιας ελαφράς κατασκευής που μπορεί να καλύψει τεράστιες εκτάσεις και να ρυθμίζει τα κλιματολογικά δεδομένα εντός της, είναι εμφανής σε πάμπολλα πειραματικά του σχέδια. Πιο γνωστό έργο «Η Πόλη στην Αρκτική» σε συνεργασία με τον Kenzo Tange το 1971.

Το 1961 ξαναβρίσκεται στο Πολυτεχνείο του Βερολίνου σαν βοηθός του Peter Roelzig²⁸. Εκεί ,δεν περνά πολύς καιρός και συμμετέχει στο νέο ερευνητικό πρόγραμμα «Βιολογία και Οικοδομή»²⁹ στο οποίο συμμετέχουν αρχιτέκτονες, μηχανικοί και βιολόγοι. Η γνωριμία του με τον βιολόγο και ανθρωπολόγο Johann-Gerhard Helmcke (1908-1993) ανοίγει διάπλατα τις πόρτες για ένα καινούργιο κόσμο και μια ανανεωμένη, αξιολήγουτη πορεία. Οι «Φυσικές κατασκευές», οι διακλαδωτές δομές και ειδικά οι «Αυτοματοποιημένες Διαδικασίες Μορφοποίησης» είναι το καινούργιο λεξιλόγιο στην αρχιτεκτονική καθημερινότητα του Frei Otto.

Η πρώτη αυτή περίοδος αλλά και η παραπέρα σταδιοδρομία βρίσκει το Frei Otto σε ένα διαρκή αγώνα σκέψης, έρευνας και δράσης που περιστρέφεται γύρω από την ιδέα της Ελαφράς Κατασκευής.

26 Π.Τζώνος, ΤΕΣΣΕΡΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΞΙΩΝ ΣΤΗ ΘΕΩΡΙΑ ΤΗΣ ΣΥΓΧΡΟΝΗΣ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ, ΖΗΤΗ 1985, σελ.55-56

27 « Η προσφορά της «Χάρτας της Αθήνας» όπως διατυπώθηκε στο 4^ο CIAM του 1933 στην Πολεοδομία, έχει αμφισβητηθεί από πολλούς και κυρίως στο ότι παρουσιάζει μια απλουστευτική θεώρηση για την συγκρότηση της πόλης από την μια, και από την άλλη διότι οδήγησε στην απομόνωση των λειτουργιών αυτών μέσω του σχεδιασμού των πόλεων με βάση το zoning...» Γεώργιος Μ.Σαρηγιάννης, Η «Χάρτα της Αθήνας» και το ιστορικό της πλαίσιο, μέρος Β', 4 Ιανουαρίου 2011, ιστοσελίδα <http://www.greekarchitects.gr>

28 Ο γιός του γνωστού Hans Roelzig με τον εξπρεσιονιστικό Θέατρο του Βερολίνου με τους «σταλακτίτες» - 1919

29 "Biologie und Bauen" / "Biology and Building"

Σχεδίαση και κτηρίου ... πέρα από τα ελαφρά κελύφη.
Ο Frei Otto τα πρώτα χρόνια έχει την ευκαιρία να σχεδιάσει σε κτηριακό επίπεδο ένα συγκρότημα κατοικιών, το Alexandra-Stiftung, το 1955 στο Βερολίνο.

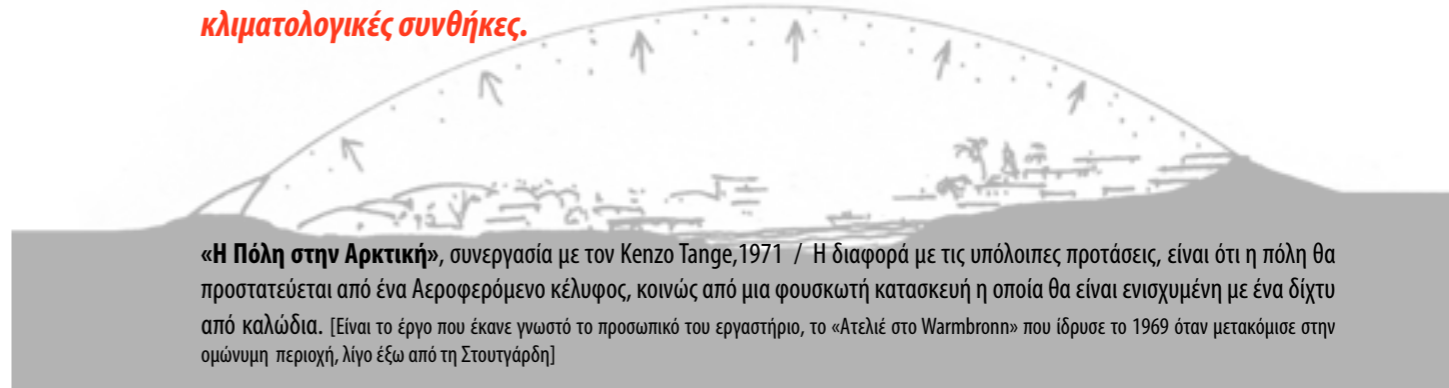
[σχεδιαστική ομάδα: Frei Otto, Ewald Bubner, Diether R.Frank, Siegfried Lohs, Rudolf Smola.]





Η 3η πρόταση για προσωρινή στέγαση της Ιατρικής Σχολής στην Ulm. Αυτή τη φορά πέραν από το κέλυφος που θα κάλυπτε την πυραμιδοειδή αυτή διάταξη, οι κτιριακές μονάδες, οι αίθουσες, θα είναι προκατασκευασμένα στοιχεία που θα διατάσσονται σύμφωνα με τις ανάγκες,

Σε όλες τις ιδέες του Frei Otto παρατηρείτε η έντονη ανάγκη και επιθυμία για ελαφρά διάφανα κελύφη που να καλύπτουν μεγάλες περιοχές και να υπάρχει έλεγχος στις εσωτερικές κλιματολογικές συνθήκες.



«Η Πόλη στην Αρκτική», συνεργασία με τον Kenzo Tange, 1971 / Η διαφορά με τις υπόλοιπες προτάσεις, είναι ότι η πόλη θα προστατεύεται από ένα Αεροφερόμενο κέλυφος, κοινώς από μια φουσκωτή κατασκευή η οποία θα είναι ενισχυμένη με ένα δίκτυο από καλώδια. [Είναι το έργο που έκανε γνωστό το προσωπικό του εργαστήριο, το «Ατελιέ στο Warmbromm» που ίδρυσε το 1969 όταν μετακόμισε στην ομώνυμη περιοχή, λίγο έξω από τη Στουτγάρδη]



Η πορεία προς το Μόντρεαλ μέσα από τις κατασκευές

Μέσα από την χρονολογική ανασκόπηση των κατασκευών αυτών (εφελκυσμένων υφασμάτων) του Frei Otto, γίνεται κατανοητή η εξέλιξη της συγκεκριμένης τεχνολογίας και η σταδιακή διεύρυνση της τεχνογνωσίας. Τα προβλήματα που συνεχώς αναφύονταν, είναι εξαιτίας κάθε επόμενου έργου, που φιλοδοξούσε να πάει ένα βήμα πιο μπροστά.

- 1955 Ομοσπονδιακή Έκθεση Κήπου στο Kassel

Ο νεαρός τότε Frei Otto μετά το πέρας της Διδακτορικής του Διατριβής το 1954 έψαχνε την ευκαιρία να μετουσιώσει σε έργο τα όσα τον είχαν απασχολήσει την προηγούμενη περίοδο. Αρωγός σ' αυτή την προσπάθεια υπήρξε ο βιομήχανος Stromeyer. Την ίδια χρονιά άδραξαν την ευκαιρία που παρουσιάστηκε για την στέγαση ενός υπαίθριου θεάτρου στη Στουτγάρδη (στο Killesberg συγκεκριμένα) με τον Frei να προτείνει ένα ελαφρύ κέλυφος διαμορφωμένο από ένα κεντρικό τόξο. Από το συγκεκριμένο τόξο θα αναπτυσσόταν ένα ύφασμα που θα κάλυπτε τον οβάλ υποκείμενο χώρο διαστάσεων 60 επί 75 m και το οποίο θα μπορούσε να ξαναμαζεύεται κεντρικά. Η ιδέα αυτή δεν φάνηκε αξιόπιστη στον ανάδοχο του έργου, οπότε και απορρίφθηκε. Ήταν η πρώτη, έστω και ως άσκηση επί χάρτου, επαναπτυσσόμενη³⁰ οροφή του Frei Otto.

Η επόμενη χρονιά έμελλε να είναι και η αρχή της μακράς και παραγωγικής σταδιοδρομίας του Frei Otto. Η ομοσπονδιακή έκθεση κήπου που καθιερώθηκε από το 1951 και λάμβανε χώρα κάθε δύο χρόνια σε διαφορετική πόλη, είχε την δική της ιδιαιτερότητα στην Γερμανία. Δεν είχε την εμπορική σημασία των αντίστοιχων Αμερικάνικων, αλλά αποτελούσε προσπάθεια επανάκτησης και αναβάθμισης του υπαίθριου χώρου των πόλεων μετά το σαρωτικό πέρασμα του 2^{ου} Π.Π. Μέσα από αυτές τις εκθέσεις δινόταν η ευκαιρία για προβολή μιας νέας αντιμετώπισης στην σχεδίαση υπαίθριων χώρων αλλά και μιας συναφούς αρχιτεκτονικής³¹. Από τις 3 μικρές κατασκευές που σχεδίασε ο Frei Otto αυτή που ξεχώρισε ήταν αυτή για το Μουσικό περίπτερο. Μετά από έξι μόλις βδομάδες είχε επιτευχθεί η σχεδίαση, παραγωγή και συναρμολόγηση αυτής της μικρής τέντας. Μικρής για τα σημερινά δεδομένα, μια και τα 18 m απόσταση που γεφύρωνε φάνταζαν αρκετά για μια υφασμάτινη κατασκευή τότε. Το βαρύ βαμβακερό ύφασμα που έφερε, αποτελούμενο από πολλές παράλληλα ραμμένες λωρίδες, ενισχυμένο στις ακμές με εύκαμπτο καλώδιο (16mm) έπαιρνε την λεγόμενη μορφή σέλλας (saddle shape)³². Η συγκεκριμένη αυτή μορφή είναι ένα από τα πιο απλά πρωταρχικά σχήματα εφελκυσμένης υφασμάτινης κατασκευής και αλλιώς ορίζεται ως τέντα τεσσάρων σημείων (four point tent). Τα δύο ψηλά και δύο χαμηλά σημεία προσδίδουν μετά το τέντωμα (προένταση) την απαραίτητη καμπυλότητα και ευστάθεια. Μπορεί να ακούγεται αντιφατικό αλλά μέσα από αυτή την διπλή καμπυλότητα προσπαθούμε να πετύχουμε μια σταθερή-εύκαμπτη κατασκευή.

Οι θυελλώδεις άνεμοι λίγο πριν την έναρξη της εκθέσεως επιβεβαίωσαν την ανθεκτικότητά της. Πέραν αυτής εκείνο που ενθουσίασε το κοινό ήταν οι ραδινές αναλογίες, η εκλεπτυσμένη εμφάνιση, το ελεύθερο περιμετρικό οπτικό πεδίο χωρίς να παρακάμπει την λειτουργικό του

30 Στην ξένη βιβλιογραφία αυτές οι κατασκευές αναφέρονται ως **retractable roofs**, κοινώς επαναπτυσσόμενες ή συρόμενες οροφές. Υπάρχει όμως μια ειδοποιός διαφορά σε αυτές τις δύο ερμηνείες. Στην μεν πρώτη το ύφασμα χαλαρώνει και μαζεύεται, στην μεν δεύτερη μένει προεντεταμένο στο πλαίσιο του φορέα και σύρεται επάνω σε ράγες. Χαρακτηριστικό παράδειγμα συρόμενης οροφής το στάδιο ποδοσφαίρου Oita στην Ιαπωνία.

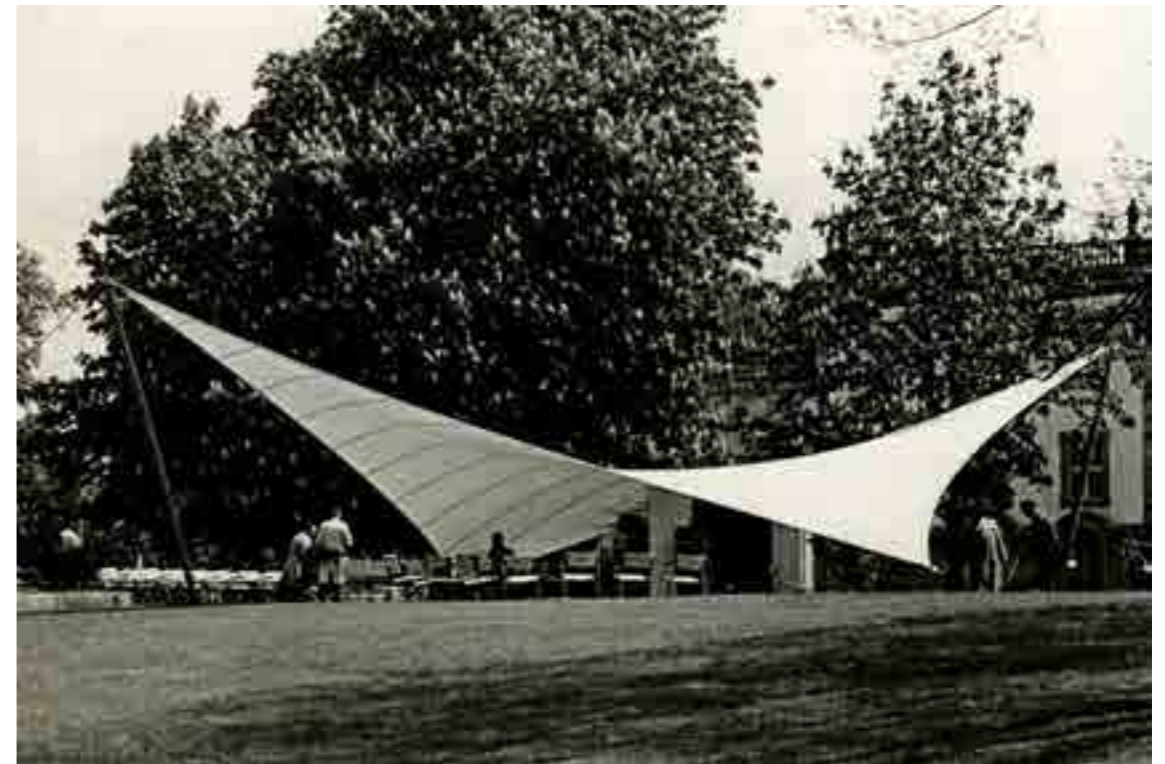
31 Bundesgartenschau όπως αποκαλείται στα Γερμανικά αυτή η Ομοσπονδιακή Bienale κηπουρικής, η οποία συμπεριλαμβάνει και θέματα διαμόρφωσης υπαίθριου χώρου (landscape design). Ενδεδειγμένη παρουσίαση και σύγκριση με τις Αμερικάνικες και λουπές σημαντικές εκθέσεις κήπου ανά τον κόσμο γίνεται στο βιβλίο Andrew C. Theokas, GROUNDS FOR REVIEW: THE GARDEN FESTIVAL IN URBAN PLANNING AND DESIGN, 2005.

32 «Σάγματος» όπως περιγράφεται από τον καθ. Δημήτρη Μπίρη

σκοπό και ο ελαφρύς διάχυτος φωτισμός που περνούσε μέσα από το ύφασμα. Διάφορες αναφορές εκθειάζουν και την πολύ καλή ακουστική ανταπόκριση που είχε στις μελωδίες της ορχήστρας³³.



[εικ. πάνω αριστερά] Η πρόταση για την στέγαση του υπαίθριου θεάτρου στο Killesberg, το 1954. [εικ. πάνω δεξιά] Πειραματικό μοντέλο του Frei Otto για το Μουσικό Περίπτερο. [εικ. κάτω] Το Μουσικό Περίπτερο στην κήπο της έκθεσης, Kassel 1955.



33 Αυτό ίσως να οφείλεται εν μέρει στο σχήμα, δηλαδή από το σημείο της ορχήστρας που ήταν λίγο πιο πέρα από το κέντρο και προσανατολισμό προς τα έξω έχουμε μια διαμόρφωση σαν χωνί, και εν μέρει στο υλικό. Αν το ύφασμα αυτό ήταν εμποτισμένο με κάποια χημική κόλλα-επικάλυψη θα είχε καλή αντανάκλαστική ικανότητα, μια και θα έκλεινε τους πόρους του υφάσματος που λειτουργούν ως ηχοαπορροφητική επιφάνεια. Σήμερα γίνονται πολλές ηχοακουστικές εφαρμογές που στηρίζονται στις συγκεκριμένες ιδιότητες των μεμβρανών.

Όψεις, κάτοψη και προοπτικό της τέ-
ντας για το Μουσικό Περίπτερο από το
Frei Otto, Kassel 1955

Σπουδαστική Εργασία Μορφολογίας βου εξαμήνου, Ευαγγέλου Δημήτρης, διδάσκοντας Γυφτόπουλος Σταύρος

Σε αυτή την εργασία ζητούμενο ήταν η κάλυψη μεγάλου χώρου πάνω από αρχαιολογικά ερείπια. Το συγκεκριμένο στέγαστρο με διαστάσεις 35x80m είναι μια σύνθεση από επαναλαμβανόμενα υπερβολικά παραβολοειδή σε μορφές τέντας τεσσάρων σημείων, που κάθε ένα αναπτύσσεται εντός στέρεου μεταλλικού πλαισίου. Τα εξωτερικά τμήματα θεωρητικά είναι από μεμβράνη και τα μεσαία, με το καφέ χρώμα, είναι από ξύλινα επίπεδα στοιχεία που πατάνε και στερεώνονται επάνω σε μεταλλικό δίκτυο.



- 1957 Ομοσπονδιακή Έκθεση Κήπου στην Κολωνία

Μετά από δύο χρόνια η Κολωνία θα γίνει η επόμενη πόλη που θα φιλοξενήσει την Ομοσπονδιακή έκθεση κήπου. Η συμμετοχή του Frei Otto και του τεκτονοποιού Stromeier αυτή τη φορά σχεδόν μονοπωλεί το ενδιαφέρον. Τα τρία έργα τα οποία παρουσίασαν συλλάμβαναν το καθένα ξεχωριστά την δική του λογική προσέγγισης και χειρισμού της υφασμάτινης επιφάνειας.

Στην είσοδο του υπαίθριου χώρου, αντίκριζε κανείς μία τοξωτή υφασμάτινη στέψη της κύριας πύλης. Η ανάλαφρη αυτή στέγαση με άνοιγμα τόξου 34m, πέρα από το να δημιουργεί ένα χώρο στάσης για το κοινό, απαλλαγμένο από ενδιάμεσα υποστυλώματα και στηρίξεις, σηματοδοτούσε με τον καλύτερο τρόπο την είσοδο. Η καμπυλόμορφη αυτή μορφολογία που ξέφευγε της συμβατικής ορθοκανονικής στέγασης ενός χώρου, μπορούσε πιο εύκολα να αποτυπωθεί στην μνήμη σαν εικόνα. Μάλιστα δεν θα ήταν απίθανο για πολλούς η έκθεση να ταυτίστηκε με την στέγαση της εισόδου. Η εντύπωση που προκαλούσαν τότε οι ελαφρές αυτές κατασκευές του Frei Otto πιθανόν να οφείλεται και στην έλλειψη τέτοιων προηγούμενων παραστάσεων. Κάτι αντίστοιχο για εμάς σήμερα οι εξεζητημένες, συνάμα φλύαρες ρευστές φόρμες της Zaha Hadid στα κτήρια της.

Επανερχόμενοι στη συγκεκριμένη κατασκευή εντοπίζουμε σε αυτή άλλη μια πρωταρχική μορφή εφελκυσμένης κατασκευής, την τοξωτή. Ο καμπύλος εσωτερικός σωλήνας (διαμέτρου 17cm) είναι αυτός που ορίζει την κορυφογραμμή της μορφής και η εκατέρωθεν αυτού προέκταση του υφάσματος, προσδίδει σε όλο το σύστημα την απαιτούμενη ευστάθεια. Το ότι κάλυπτε ένα χώρο περί τα 310 m² και όλο το ύφασμα της οροφής ζύγιζε μόλις 250 kg, είναι ενδεικτικό του πόσο επιρρεπείς είναι αυτές οι κατασκευές στα δυναμικά φορτία του ανέμου, αλλιώς στις αεροδυναμικές ταλαντώσεις. Η περιμετρική ενίσχυση των ακμών του υφάσματος με καλώδιο και η σημειακή αγκύρωση αυτού σε σταθερά σημεία εξασφαλίζει τη διατήρηση του σχήματός, χωρίς τεράστιες παραμορφώσεις και αποτρέπει το ενδεχόμενο πλήρους ανατροπής εξαιτίας των πιέσεων- υποπιέσεων του ανέμου. Το λεγόμενο «φτερούγισμα» που παρατηρείται, εφόσον παραμένει στα αποδεκτά όρια, δεν είναι ανησυχητικό και δεν μπορεί να αποφευχθεί τελείως³⁴.

Οι 13 μόνο ώρες για την ανέγερση-συναρμολόγηση αυτής της κατασκευής, δεν μπορούσαν να συγκριθούν με τις αμέτρητες ώρες μελέτης και διαστασιολόγησης που προηγήθηκαν. Είναι γεγονός ότι οι κατασκευές αυτές, είναι ακόμη και σήμερα εξαρτώμενες από το στάδιο της μελέτης. Τυχόν λάθη ή παραβλέψεις, στο στάδιο της μελέτης, μπορούν να καταστήσουν την εφαρμογή τους αδύνατη, ή να απαιτηθούν εκ των υστέρων επιδιορθώσεις με σημαντικό οικονομικό αντίκτυπο. Ακόμη και από ένα άπειρο μάτι, γίνονται άμεσα αντιληπτές οι αισθητικές αποκλίσεις. Μια κακή ή πρόχειρη διαστασιολόγηση της υφασμάτινης επιφάνειας και της συναρμογής της με τα υπόλοιπα εύκαμπτα και σταθερά στοιχεία μπορεί να οδηγήσει στην εμφάνιση πτυχώσεων ή χαλαρών περιοχών στην επιφάνεια³⁵. Αυτή η σημασία της μελέτης και της διαστασιολόγησης της καμπύλης αυτής επιφάνειας, γεννά και ερωτηματικά, με ποιο τρόπο

34 Η έντονη **ελαστική συμπεριφορά** του υλικού της μεμβράνης - του υφάσματος είναι η ειδοποιός διαφορά που καθορίζει την όλη λογική του εύκαμπτου αυτού δομικού συστήματος από άλλα τελείως άκαμπτα (φαινομενικά). Για παράδειγμα στις αναρτώμενες οροφές από καλώδια, κυρίως σε κτήρια κλειστών χώρων, η τοποθέτηση βαριών προκατασκευασμένων πλακών σαν στοιχείων πλήρωσης έχει σκοπό να προσδώσει μια ακαμψία στο σύστημα, αλλά αυτό τελικά οδηγεί σε βαριές οροφές από άποψη ειδικού βάρους. Αν αυτό μεταφραστεί βάση της οπτικής μας αντίληψης, τότε αντιλαμβανόμαστε μια οροφή με μεγάλο «**οπτικό βάρος**».

35 Αυτές οι πτυχώσεις και οι χαλαρές περιοχές είναι ένδειξη κακής ανακατανομής των εφελκυστικών δυνάμεων στην όλη επιφάνεια της μεμβράνης. Μάλιστα η απουσία των τάσεων από ένα τμήμα μπορεί να προκαλέσει συσσώρευση σε άλλα ευαίσθητα σημεία, με πιθανή εμφάνιση μικρορωγμών, έως και σκίσιμο (αστοχία) της μεμβράνης.



Απόψεις της τοξωτής κατασκευής στην είσοδο της Ομοσπονδιακής Έκθεσης Κήπου στην Κολωνία, 1957.

και τι μέσα θα μπορούσε να επιτευχθεί; Τα πρώιμα πειραματικά μοντέλα υπό κλίμακα που χρησιμοποίησε ο Frei Otto ήταν άλλα φτιαγμένα από κομμάτια υφάσματος, άλλα από νήματα ή γυψόγαζες. Στο στάδιο αυτό εφόσον επιτύγχανε την επιθυμητή μορφή έπρεπε να βρει το πατρών, το σχέδιο δηλαδή με το οποίο οι βιομηχανοποιημένες επίπεδες λωρίδες υφάσματος περιορισμένου φάρδους, θα ράβονταν μαζί για να σχηματίσουν την τελική μεγάλη επιφάνεια. Γι' αυτό τον σκοπό εμπότιζε με γύψο ή κόλλα τα μοντέλα από γυψόγαζα ούτως ώστε να γίνουν άκαμπτα. Τότε, άρχιζε να κολλά επάνω λωρίδες χαρτιού τυπωμένες με κλιμακόμετρο και έψαχνε την βέλτιστη διαρρύθμιση η οποία θα αντιστοιχούσε στις τελικές λωρίδες από ύφασμα. Την εξέλιξη αυτής της επίπονης διαδικασίας μελέτης θα την δούμε μέσα στα επόμενα έργα.

Το τοξωτό αυτό έργο τόσο πολύ γοήτευσε την κοινή γνώμη, που μέχρι και σήμερα στέκει στην ίδια θέση ένα αντίγραφο αυτού, εν ολίγοις έγινε το τοπόσημο της περιοχής. Η υφασμάτινη επιφάνεια που έφερε, ήταν ένα πρώιμο δείγμα συνθετικού υφάσματος επικαλυμμένο με προστατευτική στρώση πλαστικού. Εντούτοις, η αδυναμία να αποτρέπει για μεγάλο χρονικό διάστημα τη διάβρωση από την υγρασία και τις κλιματολογικές αλλαγές, επέβαλλε κάθε ένα με δύο χρόνια να αντικαθίσταται από καινούργιο ύφασμα. Τα ασθενή μέχρι τότε τεχνικά χαρακτηριστικά των υφασμάτων, σήμερα έχουν εκτοξευθεί χάρη στην έρευνα και την τεχνολογία. Τα σημερινά υφάσματα μπορούν να έχουν προσδόκιμο ζωής έως και 50 χρόνια.

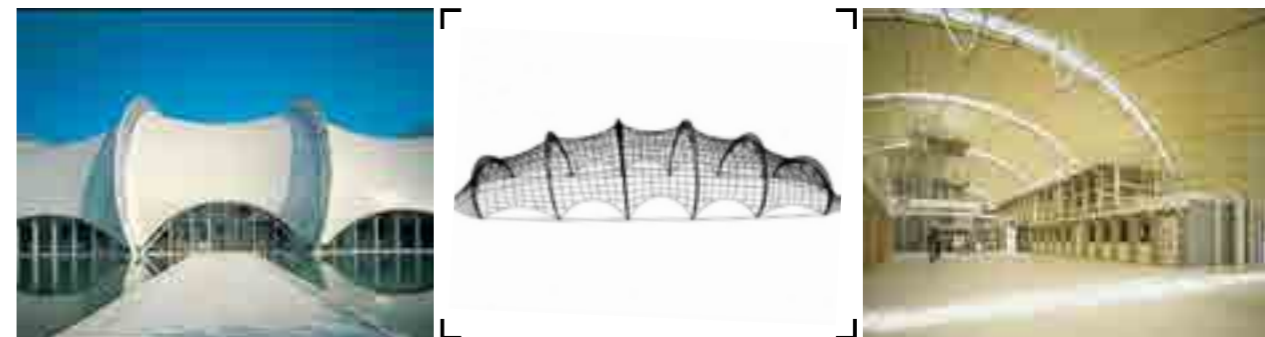


[εικ. αριστερά] Νεότερο μοντέλο που αναπαριστά την τοξωτή κατασκευή του Frei Otto. [εικόνα δεξιά] Σχέδια μελέτης του Frei Otto για διάφορες εκδοχές στήριξης της τοξωτής τέντας.

Σύγχρονα Παραδείγματα ... υφασμάτινων τοξωτών διαμορφώσεων

Chemical Research Center, Venafrò - Ιταλία, 1991, αρχιτέκτονας: Samyn & Partners

Η απαίτηση για ένα χημικό ερευνητικό εργαστήριο με όσο κατά το δυνατόν ελεγχόμενες κλιματολογικές συνθήκες εντός του, οδήγησε την αρχιτεκτονική ομάδα στην συγκεκριμένη λύση. Τα έξι μεγάλα τόξα γεφυρώνονται με μεμβράνη και δημιουργούν ένα κέλυφος για το υποκείμενο εργαστήριο, συμβατικής κατασκευής. Ο οβάλ αυτός χώρος σε κάτοψη έχει διαστάσεις 85m x 32m και



το μέγιστο ύψος στα τόξα φτάνει τα 15m, συνολικά καλύπτουν μια έκταση 2700m². Συνθετικά, τα δικτυωτά αυτά τόξα κυριαρχούν σαν στοιχείο και είναι αυτά που ορίζουν την κορυφογραμμή και το σχήμα του κελύφους. Η περιμετρική τεχνητή λίμνη έχει διπλό ρόλο, τόσο να προστατεύσει από το να πλησιάσει κάποιος εξωτερικά την επιφάνεια της μεμβράνης, όσο και να προσφέρει την νύκτα εντυπωσιακές ανακλάσεις από τον ολόφωτο όγκο.

Στάδιο BC Place, πόλη Vancouver της πολιτείας British Columbia, Καναδάς, αρχιτεκτονικό γραφείο: Stantec Architecture .

Το στάδιο αυτό για αγώνες αμερικάνικου ποδοσφαίρου της Canadian Football League (CFL), λειτούργησε για πρώτη φορά το 1983 με φουσκωτή οροφή (και πιο ενεργοβόρα). Μετά πάροδο χρόνων και διαφόρων προβλημάτων, αυτή αντικαταστάθηκε το 2007-2010 με μία ακτινωτής μορφής και στην μέση μια επαναπτυσσόμενη κάλυψη. Η μόνιμη υφασμάτινη οροφή πάνω από τις κερκίδες διαμορφώνεται από ισχυρούς καλωδιωτούς βραχίονες ακτινικά διατεταγμένους προς ένα κεντρικό εφελκυσμένο δακτύλιο. Στους βραχίονες αυτούς διατάσσονται τόξα από μεταλλικούς σωλήνες στα οποία πατάει η μεμβράνη για να δημιουργήσει τις απαραίτητες καμπυλώσεις για αποφυγή της συγκέντρωσης των ομβρίων.



Εντός του υπαίθριου εκθεσιακού χώρου, η κατασκευή που έκλεβε την παράσταση ήταν το περίπτερο του χορού. Το στέγαστρο αυτού διαμορφωνόταν πάνω από μία κυκλική εξέδρα και συνθετικά προσπαθούσε να συλλάβει τη γεμάτη ενέργεια, ζωντάνια και ρυθμό, κίνηση των χορευτών. Γεωμετρικά δεν ήταν κάτι καινούργιο παρά μια έντεχνη περιστροφική επανάληψη 12 πανομοιότυπων τμημάτων, «τέντας τεσσάρων σημείων». Πλέον οι πρωταρχικές μορφές μπορούσαν να συνδυαστούν και να αποδίδουν συμπλέγματα εμπλουτισμένα με συνθετικές αρετές. Η περιμετρική στήριξη με τους 6 ιστούς (10m μήκους) και τα ελεύθερα καλώδια αντιστήριζαν την όλη κατασκευή, μέσα από «ψηλά και χαμηλά σημεία»³⁶. Τα ελεύθερα αυτά καλώδια πέρα από τον ζωτικό τους ρόλο, στην απόδοση της τελικής προέντασης, έτρεχαν ακτινικά προς το κέντρο ισορροπώντας στον κεντρικό δακτύλιο, ο οποίος αντιστοιχούσε συνθετικά με την μικρή λίμνη στην μέση της εξέδρας. Αυτή η ελαφρά κατασκευή μαζί με την τοξωτή της εισόδου υπάρχουν μέχρι σήμερα στο ίδιο σημείο. Το 2000 ο Frei Otto και ο Bodo Rasch³⁷ βελτίωσαν κάποιες οικοδομικές λεπτομέρειες. Ανάμεσα σε αυτές ήταν και η αντικατάσταση των μεταλλικών καλωδίων, που ενίσχυαν τις ακμές του υφάσματος, με υφασμάτινους ιμάντες. Αυτή η ενίσχυση με ιμάντες είναι συνήθης πρακτική τις τελευταίες δεκαετίες. Μάλιστα για την αποφυγή της τριβής του ιμάντα με το ύφασμα, ενόσω βρίσκεται στις διαμορφωμένες θήκες των ακμών, μπορεί να γίνει η ραφή του επάνω στο ύφασμα.

Η τελευταία κατασκευή στον υπαίθριο χώρο ίσως ήταν η πιο αδύναμη συνθετικά. Παρόλ' αυτά η συμμετρική αυτή σκηνή με τις λεγόμενες καμπούρες (hump tent) ή εξογκώματα, αναδείκνυε ένα θεμελιώδη περιορισμό. Σε τέτοιες επιφάνειες μεμβράνης δεν είναι επιτρεπτή η χρήση της κορυφής γραμμικών στοιχείων π.χ. ενός μεταλλικού ιστού ή μιας ξύλινης δοκίδας, για να ωθήσουν κάθετα την επιφάνεια. Στατικά αυτό ερμηνεύεται ως σημειακή υπερσυγκέντρωση του φορτίου, με αποτέλεσμα η μεμβράνη να διατρηθεί, κοινώς να αστοχήσει. Κάτι αντίστοιχο θα συνέβαινε αν προσπαθούσαμε με ένα βελόνι να σπρώξουμε κάθετα ένα τεντωμένο πανί. Έτσι και ο Frei Otto, βλέποντας ότι με τους δύο ιστούς αδυνατεί να ανασηκώσει το ύφασμα των 200m², επιλέγει να αναδιαμορφώσει τις κορυφές. Η προσθήκη σε κάθε κορυφή 19 μικρών ξύλινων ράβδων με κεφαλές παρόμοιες με βεντούζα και η ενίσχυση τοπικά του υφάσματος με δεύτερη στρώση επέτρεψαν αυτή την εφαρμογή. Στην ίδια λογική κινούνται και σήμερα αυτές οι διαμορφώσεις, μόνο που τα εξελιγμένα βιομηχανικά στοιχεία του εξοπλισμού είναι πιο αξιόπιστα και αποτελεσματικά.



Συνήθης διαμόρφωση της γωνίας και μεταφορά των φορτίων της μεμβράνης στο έδαφος με τα καλώδια αγκύρωσης.

³⁶ Τα **χαμηλά** και **ψηλά** σημεία είναι χαρακτηριστικοί μορφολογικοί προσδιορισμοί/στοιχεία στην ξένη βιβλιογραφία, όταν αυτή αναφέρεται στις εφελκόμενες κατασκευές από μεμβράνη. Έτσι **“high and low points”**.

³⁷ Bodo Rasch, παλαιός συνεργάτης του Frei Otto, ο οποίος επίσης ακολούθησε μια καριέρα με έμφαση στις κατασκευές από μεμβράνη. Ένα από τα πιο γνωστά του έργα οι διακοσμημένες ομπρελοειδής διατάξεις στο τζαμί «The Prophet's Holy Mosque» στην Μεδίνα της Σαουδικής Αραβίας, 1990-92.



Η μικρή τέντα με τις χαρακτηριστικές καμπούρες (hump tent), Ομοσπονδιακή έκθεση κήπου Κολωνία 1957



Η τελική διαμόρφωση της κορυφής του ιστού, ούτως ώστε να μπορέσει να κατανείμει τις δυνάμεις σε πιο μεγάλη επιφάνεια παρά σημειακά.

Σύγχρονα Παραδείγματα ... εγκάρσιας ώθησης της μεμβράνης

Longitude 131°, COX Richardson Architects

τοποθεσία έργου : Uluru-Kata Tjuta National Park, Northern Territory - Αυστραλία



Το συγκεκριμένο συγκρότημα παραθεριστικών κατοικιών στην ενδοχώρα της Αυστραλίας, έχει ως οροφή δύο στρώσεις υφάσματος. Η πιο χαμηλή και εμφανής εσωτερικά στρώση είναι ένα ύφασμα με ανοικτούς πόρους, το οποίο «αναπνέει» (για δροσισμό του καταλύματος) και η ψηλότερη στρώση είναι μια τεντωμένη επιφάνεια, τέντα, που ωθείται από τον κεντρικό ιστό με την μανιταροειδή κεφαλή.

[εικόνα αριστερά] Μανιταροειδής διαμόρφωση ιστού, συγκεκριμένα του έργου Imagination Headquarters.

Imagination Headquarters, Λονδίνο 1990, αρχιτέκτονας: Ron Herron (πρώην μέλος των Archigram). Εξωτερική και εσωτερική άποψη του κτηρίου με την οροφή από μεμβράνη να ωθείται.



- 1958 Τοπική Έκθεση Κήπου στο Saarbrucken

Από εδώ και μπρος επειδή αρχίζει η παράλληλη χρήση τόσο βαμβακερών επικαλυμμένων υφασμάτων όσο και συνθετικών επικαλυμμένων υφασμάτων, με τον όρο «μεμβράνη» θα εννοούμε όλες αυτές τις λεπτές επιφάνειες υφάσματος, δίχως να περιλαμβάνουμε σ' αυτό τα λεπτά κελύφη (τους επιφανειακούς αυτούς φορείς με την μεμβρανική λειτουργία).

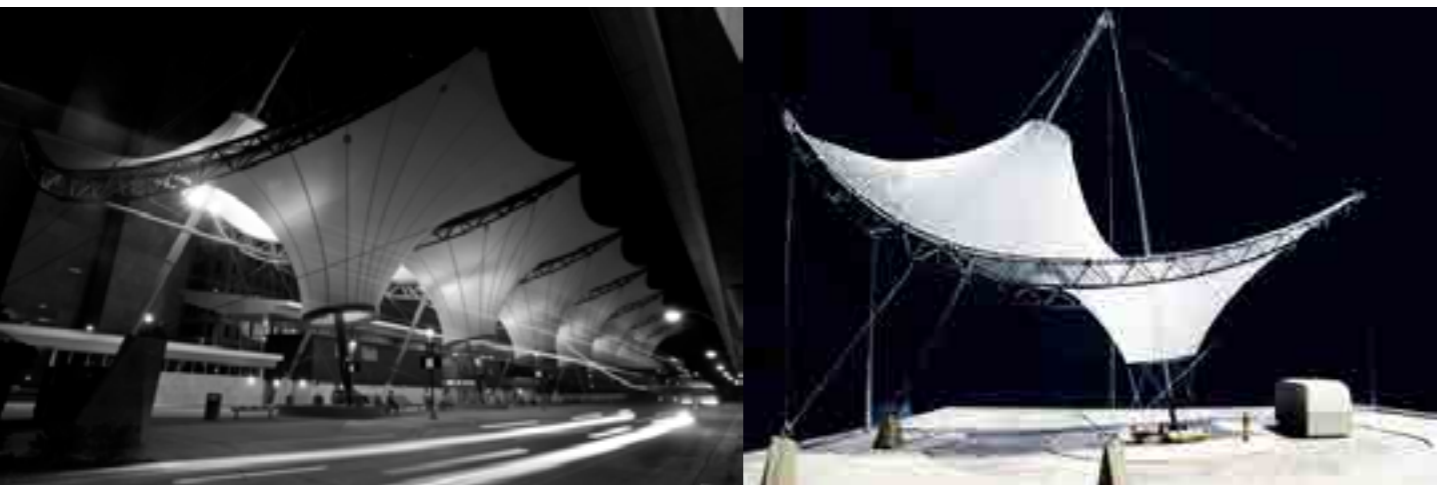
Την επόμενη χρονιά η μικρής εμβέλειας τοπική έκθεση κήπου στο Saarbrucken επανέφερε το ζήτημα των οξυκόρυφων απολήξεων και της υπερσυγκέντρωσης φορτίου. Αν το Ινδιάνικο τσιρί, η αρχέτυπη αυτή καλύβα, διαμορφωνόταν από περιμετρικά ξύλινα κοντάρια που έκλειναν μεταξύ τους προς τα πάνω, τότε εδώ έχουμε την αντίστροφη περίπτωση. Οι πέντε μεταλλικοί ιστοί αποκλίνουν προς έξω και η κορυφή του κωνοειδούς αυτού σχήματος βλέπει προς τα κάτω, συγκρατημένη από ένα μεταλλικό σωλήνα. Ο μικρός αυτός μεταλλικός πάσσαλος, μέσω ενός μεταλλικού δακτυλίου, τραβούσε την μεμβράνη προς τα κάτω, δίνοντας την απαραίτητη προένταση. Η παρουσία του δακτυλίου απέτρεπε την σημειακή φόρτιση μιας και παρείχε μεγαλύτερη επιφάνεια για την διανομή των τάσεων (εφελκυστικών δυνάμεων). Η παρουσία αυτού του δακτυλίου σε πολλά μεταγενέστερα και σύγχρονα μας έργα, έχει χρησιμοποιηθεί ενίοτε με περίτεχνο τρόπο δίνοντας εντυπωσιακά αποτελέσματα. Η περιοχή της μεμβράνης γύρω από τον δακτύλιο, επειδή δεν παύει να αποτελεί περιοχή υψηλότερων τάσεων, πάντοτε ενισχύεται είτε με επιπλέον ύφασμα, είτε με οποιονδήποτε άλλο τρόπο (π.χ. ιμάντες). Επίσης, ο Frei Otto, με την κατασκευή αυτή στην καταπράσινη απότομη πλαγιά, βλέποντας το σχήμα σαν χωνί, δε δίστασε να χρησιμοποιήσει το μικρό σωλήνα ως υδρορορή.



Το στέγαστρο για τον διαμετακομιστικό αυτό σταθμό στο Detroit είναι μια σύνθεση από 7 πανομοιότυπες μορφές. Οι ιστοί που διαμορφώνουν δύο σκέλη περνούν μέσα από τους δακτυλίους και συνθέτουν ένα σύμπλεγμα με ομπρελοειδείς μορφές εναλλασσόμενες τη φορά. Το άνοιγμα στα δύο σκέλη που γεφυρώνουν τον δρόμο είναι περίπου 15m (50ft) και ανώτατο ύψος ιστών 33m (110ft). Είναι ένα κομψό στέγαστρο που αποδεικνύει πως οι δακτύλιοι πέραν της δομικής τους αναγκαιότητας, μπορούν να συνδυαστούν κατά τέτοιο τρόπο που να τους εμποτίζει και με συνθετικές αρετές.

Σύγχρονα Παραδείγματα ... μορφών με χρησιμοποίηση δακτυλίων για τις απολήξεις της μεμβράνης

Rosa Parks Transit Center ,Detroit - Αμερική / αρχιτέκτονες: Parson Brinkerhoff και FTL Design Engineering Studio



- Αυτόνομες Διαδικασίες Μορφοποίησης (Α.Δ.Μ.)

Η σχέση του Frei Otto με την Βιολογία, την έρευνα και τις παρατηρήσεις επάνω σε έμβιους και άψυχους οργανισμούς θα μπορούσε να αποτελεί το αποκλειστικό θέμα μιας μελέτης. Αδικώντας αυτό, θα επεκταθούμε μόνο σε μερικές πτυχές και αυτές συνοπτικά. Το Ερευνητικό Πρόγραμμα «Βιολογία και Οικοδομή»³⁸, στο οποίο πήρε μέρος το 1961, ουσιαστικά ήταν μία συνέχεια του συγγράμματος «Ανάπτυξη και Μορφή στο Φυσικό Κόσμο», του D'Arcy Thompson που εκδόθηκε το 1917³⁹. Η συμμετοχή του βιολόγου και ανθρωπολόγου Johann-Gerhard Helmcke συνεισέφερε πάρα πολλά, όχι μόνο στο ίδιο το πρόγραμμα αλλά και στην μετέπειτα πορεία του Frei Otto. Ο σκοπός του προγράμματος πέρα από τη σύνταξη μιας θεωρίας, αποσκοπούσε στην πρακτική εφαρμογή στον τομέα των κατασκευών.

Η Βιολογία σαν «...ένα ευρύ φάσμα επιμέρους επιστημονικών πεδίων...»⁴⁰ μπορούσε να διεισδύσει τόσο στον μικρόκοσμο, όσο και στον μακρόκοσμο. Από τις παρατηρήσεις για τη δομή στα Ακτινόζωα (Radiolaria) και τα Διάτομα (Diatoms), στους μικροσκοπικούς αυτούς θαλάσσιους πυριτωμένους οργανισμούς, περνούσαν στην έρευνα για την αντοχή των τοιχωμάτων του αυγού (το τσόφλι). Η φέρουσα ικανότητα, η μορφή, το περιβάλλον και γενικότερα οι συνθήκες κάτω από τις οποίες δρούσε ένας οργανισμός, ήταν αναπόσπαστο κομμάτι της έρευνας. Η μελέτη συνεχιζόταν με τους κυτταρικούς σκελετούς (cytoskeleton), τα ινώδη αυτά δίκτυα, τις κυτταρικές αυτές μεμβράνες που εμπειριείχαν την πιο ρευστή ύλη του κυττάρου, τα οποία εντέλει έδιναν και το τελικό σχήμα. Άλλες άκαμπτες μεμβράνες που απασχόλησαν, ήταν οι εξωσκελετοί (exoskeleton) στα διάφορα έντομα, κοινώς το περίβλημα και πως αυτό ανταποκρινόταν στην κίνηση και το βάρος σε αυτά τα αρθρώποδα. Οι αποξυλωμένες επιφάνειες των δέντρων συγκρίνονταν με τα εύκαμπτα φύλλα και την διαμόρφωση των νεύρων έως και τον μίσχο που συγκρατούσε αυτά. Ευθείς αμέσως ετίθεντο και ζητήματα για την ενέργεια που καταναλώνει ένας φυτικός οργανισμός. Ένα παράδειγμα, ο κάκτος στην έρημο σε σχέση με τους γιγαντιαίους φίκους, με τις υπέργειες ρίζες. Μετά τα νεύρα των φύλλων ακολουθούσαν άλλες διακλαδωτές δομές, από το αρτηριακό σύστημα στους ζωντανούς οργανισμούς μέχρι τους μυς στα σπονδυλωτά. Όλη αυτή η έρευνα επεκτεινόταν και σε δομές που δεν εκφύονταν αποκλειστικά από τον γενετικό κώδικα, αλλά επηρεάζονταν από εξωτερικούς παράγοντες. Οι εξαγωνικές μορφές της κηρήθρας, ακόμη περισσότερο οι διχτυωτές μορφές του ιστού της αράχνης, ή η φωλιά ενός πουλιού ήταν πεδία για έρευνα. Μαζί μ' αυτά και οι διαμορφώσεις από σαπουνόφουσες και η συμπεριφορά από διάφορα κολλώδη υγρά.

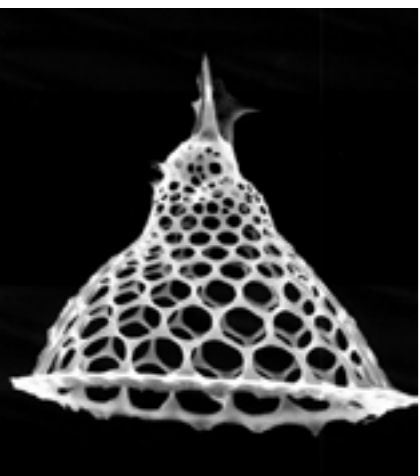
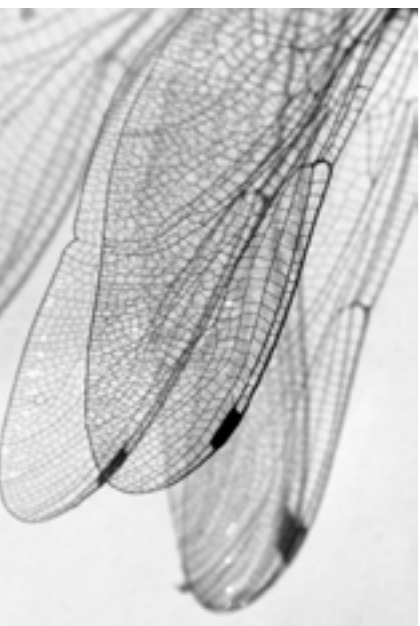
συνέχεια στη σελίδα 62

38 "Biologie und Bauen" / "Biology and Building"

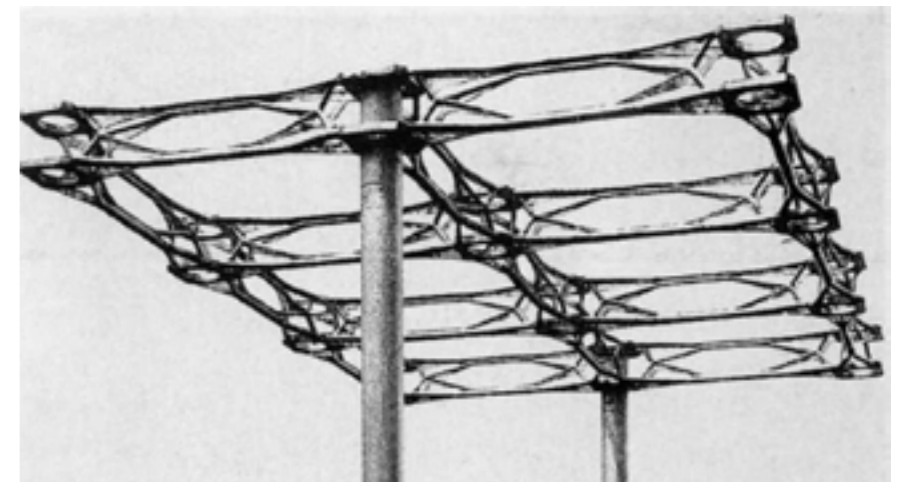
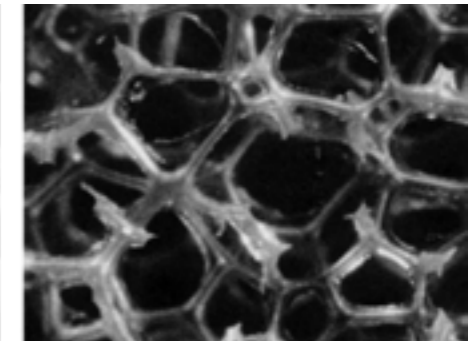
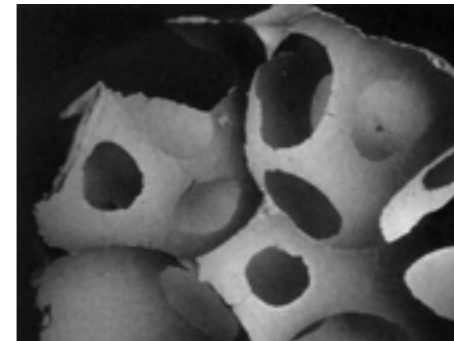
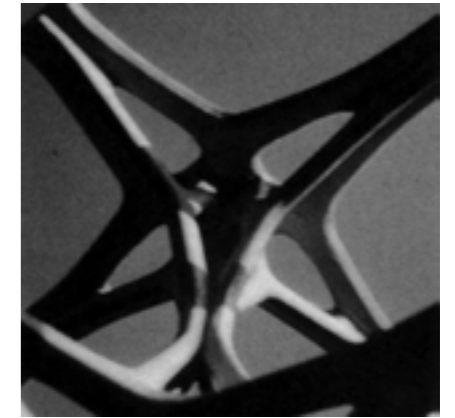
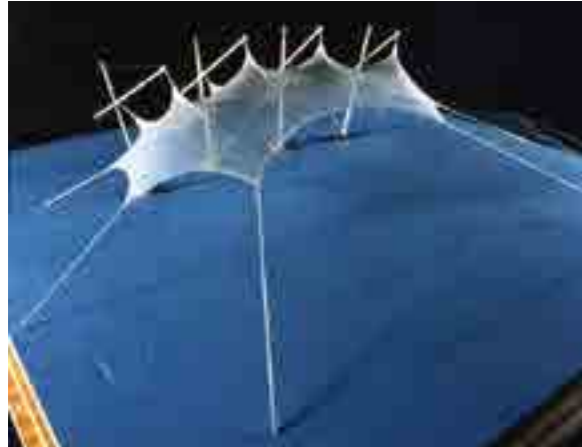
39 Η επιλογή της επιστήμης της Βιολογίας, σίγουρα δεν θα ήταν τυχαία. Αν λάβουμε υπόψη ότι το 1953 ανακαλύπτεται ο γενετικός κώδικας, το **DNA** από τους James D. Watson και Francis Crick, το οποίο θεωρήθηκε η μεγαλύτερη βιολογική ανακάλυψη του 20^{ου} αιώνα, σίγουρα θα έδωσε ώθηση σε διάφορα γνωστικά πεδία. Ο ενθουσιασμός θα εξαπλωνόταν και σε πεδία που δεν είχαν άμεση σχέση με την Βιολογία, όπως η Αρχιτεκτονική. (πηγή: Ιστοσελίδα <http://el.wikipedia.org>, Βικιπαίδεια, λήμματα: 1.Ιστορία της βιολογίας, 2. DNA)

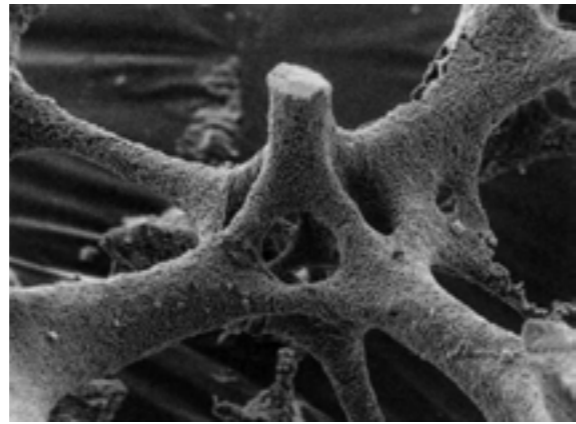
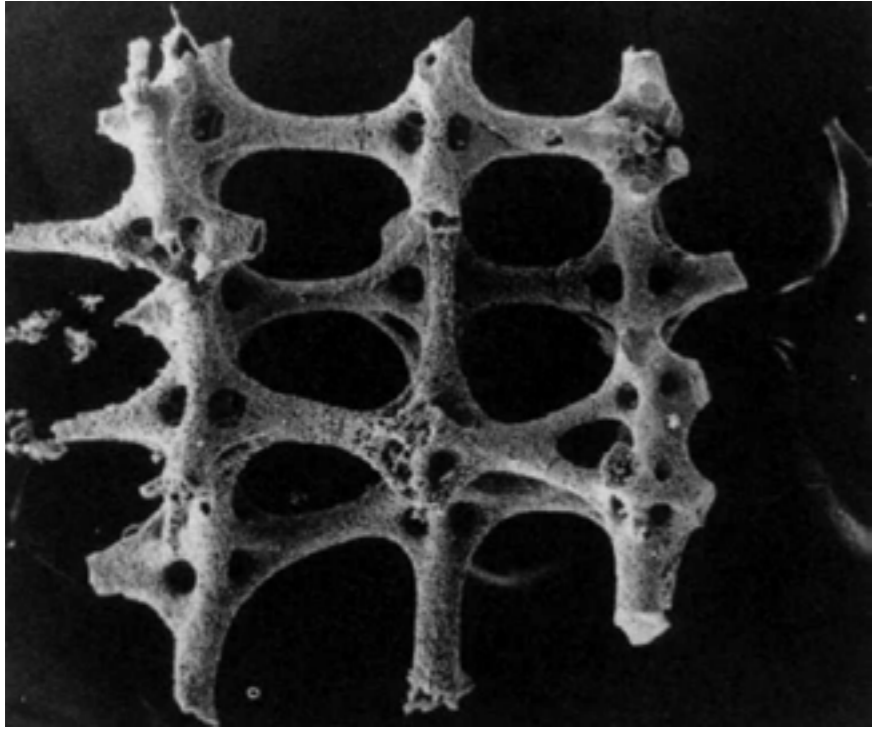
40 πηγή: Ιστοσελίδα <http://el.wikipedia.org>, Βικιπαίδεια, λήμμα: Βιολογία





Η σοφία της φύσης ... άλλες δομές είναι διαμορφωμένες για να αναλαμβάνουν θλιπτικές και άλλες εφελκυστικές δυνάμεις.





καμπαναριό εκκλησίας



συνέχεια από τη σελίδα 54

Μέσα από όλες αυτές τις παρατηρήσεις προσπαθούσαν να ανιχνεύσουν τις αρχές της **Αυτο-Οργάνωσης (Self-Organization)**. Ο όρος αυτός είναι δανεισμένος από την Βιολογία και ερμηνεύεται ως η αυθόρμητη οργάνωση των μερών ενός συνόλου σε μια ενιαία δομή και μορφή, κάτω από κάποιες συνθήκες και φαινόμενα που επικρατούν στο εγγύς περιβάλλον. Μάλιστα στις φυσικές δομές, ενυπάρχει και η λογική της οικονομίας υλικού και ενέργειας. Μαζί με αυτά και η ευκολία προσαρμογής στις εκάστοτε συνθήκες, αποτελούν τα θεμελιώδη κριτήρια για την επιβίωση ενός οργανισμού στην εξέλιξη της ζωής του Κόσμου. Η αυτο-οργάνωση, η απόδοση δηλαδή μια μορφής σύμφωνα με τα προσφερόμενα μέσα και το σκοπό, χαρακτηρίστηκε ως **«Αυτόνομη διαδικασία Μορφοποίησης»⁴¹**.

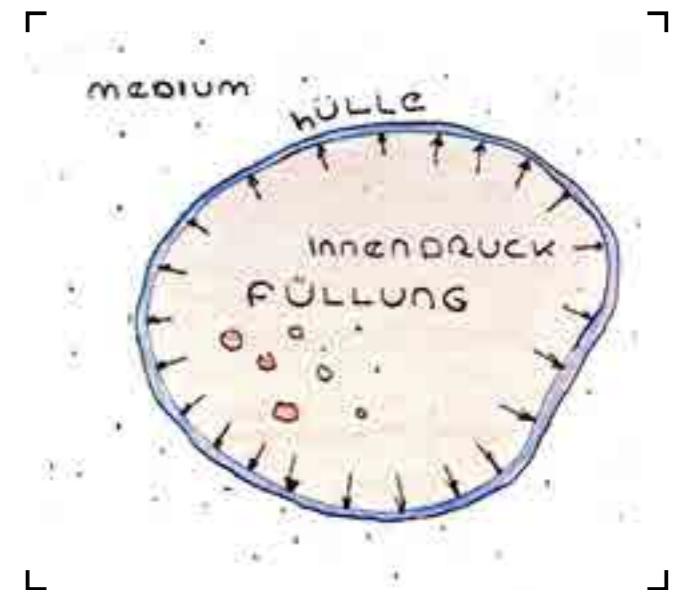
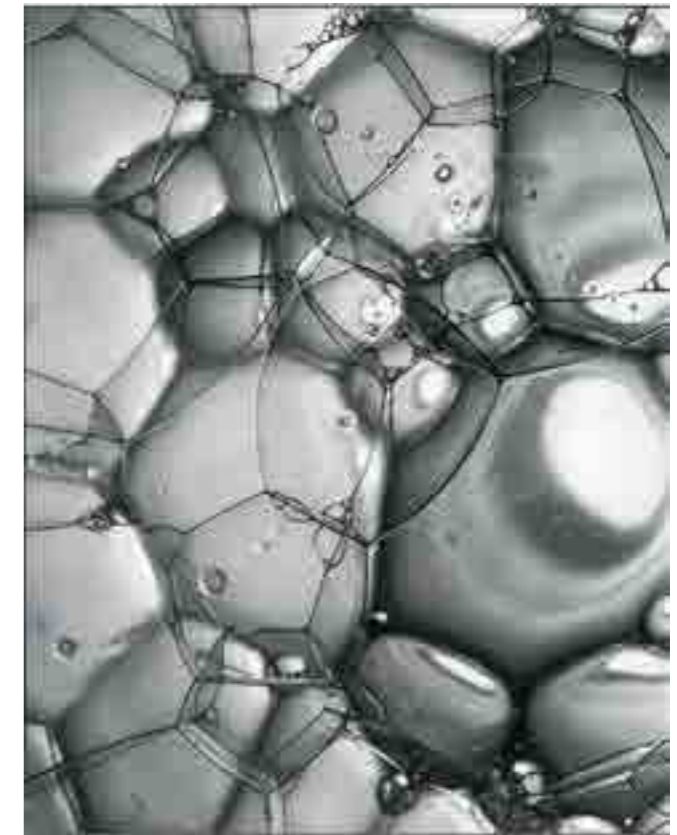
Οι διακλαδωτές μορφές στηρίξεων (branching systems), τα κελύφη από εξαγωνικές, τριγωνικές κτλ διαμορφώσεις, οι δικτυωτές κατασκευές είναι μερικές πρακτικές εφαρμογές της έρευνας. Οι σημαντικότερες όμως εφαρμογές, που είχαν άμεση σχέση με τις υφασμάτινες κατασκευές από μεμβράνη ξεκίνησαν από τα πειράματα με τις σαπουνόφουσκες, σαν προέκταση των κυτταρικών δομών. Τα **pneus** όπως τα όρισε ο Frei Otto, ήταν οι μονάδες από ένα περίβλημα που εγκιβώτιζαν έναν ρευστό, κάτι σαν το κύτταρο δηλαδή. Αυτά ανταποκρινόμενα στα πειράματα του με σαπουνόφουσκες, έδιναν διάφορα ενδιαφέροντα αποτελέσματα. Μέσα από τις σαπουνόφουσκες παρατηρούσε τον τρόπο που ακουμπά η μία την άλλη, τις γωνίες μεταξύ τους, την επίδραση που θα είχε αν παρεμβαλλόταν στην μέση ένα νήμα ή μία επιφάνεια κτλ. Όλες αυτές οι συναρμογές δεν ήταν αυθαίρετες και τυχαίες. Οι γωνίες της επαφής αλλά και το πόσο εκτόπιζε η μία την άλλη σαπουνόφουσκα, δεν ήταν αποτέλεσμα προειλημμένης απόφασης του Frei Otto, αλλά βάση των «Αυτόνομων Διαδικασιών Μορφοποίησης». Αυτά τα πειράματα οδήγησαν τον Frei Otto σε μια εκτεταμένη μελέτη για τις φουσκωτές κατασκευές⁴². Με τις σαπουνόφουσκες άρχισε να πειραματίζεται ποικιλοτρόπως. Όταν μάλιστα βύθιζε μεταλλικές βέργες με κλειστά περιγράμματα στο σαπουνόνερο και μετά τις ανέσυρε, έβλεπε να σχηματίζονται λεπτές επιφάνειες, οι οποίες είχαν κοινά χαρακτηριστικά. Οι δοκιμές αυτές συνεχίστηκαν με ακόμα πιο σύνθετα περιγράμματα, ώστε σιγά σιγά ο Frei Otto ανακάλυψε τις λεγόμενες **«Ελάχιστες Επιφάνειες»** (minimum surfaces). Η έκπληξη για αυτόν, ήταν μεγάλη μια και αυτές η επιφάνειες ανταποκρίνονταν στις μορφές που με κόπο προσπαθούσε να σχηματίσει στις υφασμάτινες επιφάνειες. Η ελάχιστες επιφάνειες με σαπουνόφουσκες είχαν ήδη παρατηρηθεί από τα μέσα του προηγούμενου αιώνα⁴³. Ουσιαστικά η επιφάνεια που σχηματιζόταν σε ένα κλειστό καμπύλο περίγραμμα ήταν μια επιφάνεια διπλής καμπυλότητας με το ελάχιστο δυνατό εμβαδό επιφανείας, εξού και ο ορισμός ελάχιστες επιφάνειες. Ο σχηματισμός αυτής της ελάχιστης επιφάνειας αποτελούσε μια αυτόνομη διαδικασία μορφοποίησης.

Ο Frei Otto πλέον ονομάτιζε ως **«Φυσική κατασκευή»** (Natural Construction) κάθε τεχνική κατασκευή που ανταποκρινόταν στις αρχές που διέπουν τις κατασκευές της φύσης και ακολουθούν τις Αυτόνομες Διαδικασίες Μορφοποίησης. Ο ίδιος ωστόσο γνώριζε πως η μεταφορά του έργου από τα μοντέλα με τις σαπουνομεμβράνες, σε πραγματική κλίμακα προϋπέθετε συμβιβασμούς. Η σαπουνομεμβράνη αποτελούσε ένα ισότροπο υλικό εν αντιθέσει με το ανισότροπο βιομηχανικό ύφασμα από **στημόνι και υφάδι**. Εντούτοις όπως ο ίδιος λέει, αν η μελέτη ξεκινούσε την διαδικασία εξεύρεσης της μορφής (form-finding) με αυτά τα μέσα, θα ήταν μια ειλικρινής προσπάθεια. Το γνωστό μύθο «η μορφή ακολουθεί την λειτουργία» πλέον εκτοπίζεται από το **«η μορφή ακολουθεί τη φύση»**. ("Form Follows Nature")

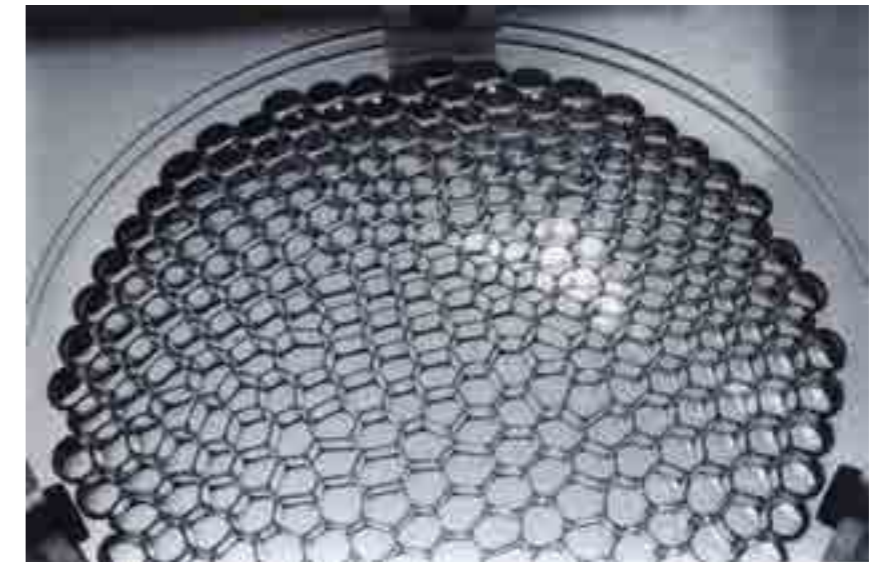
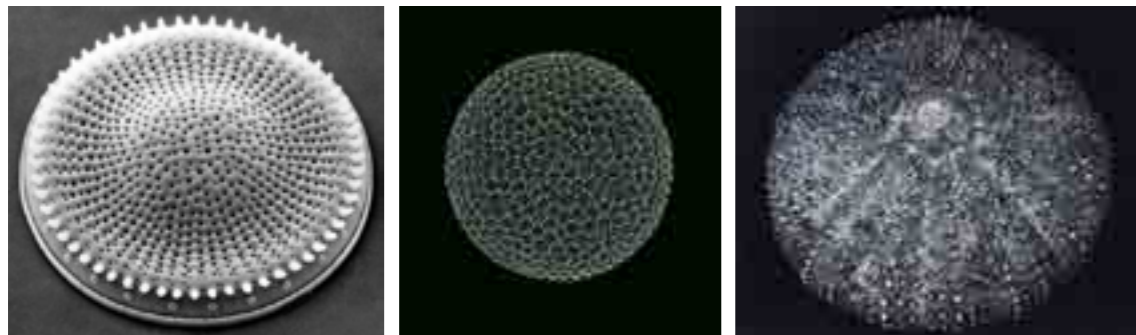
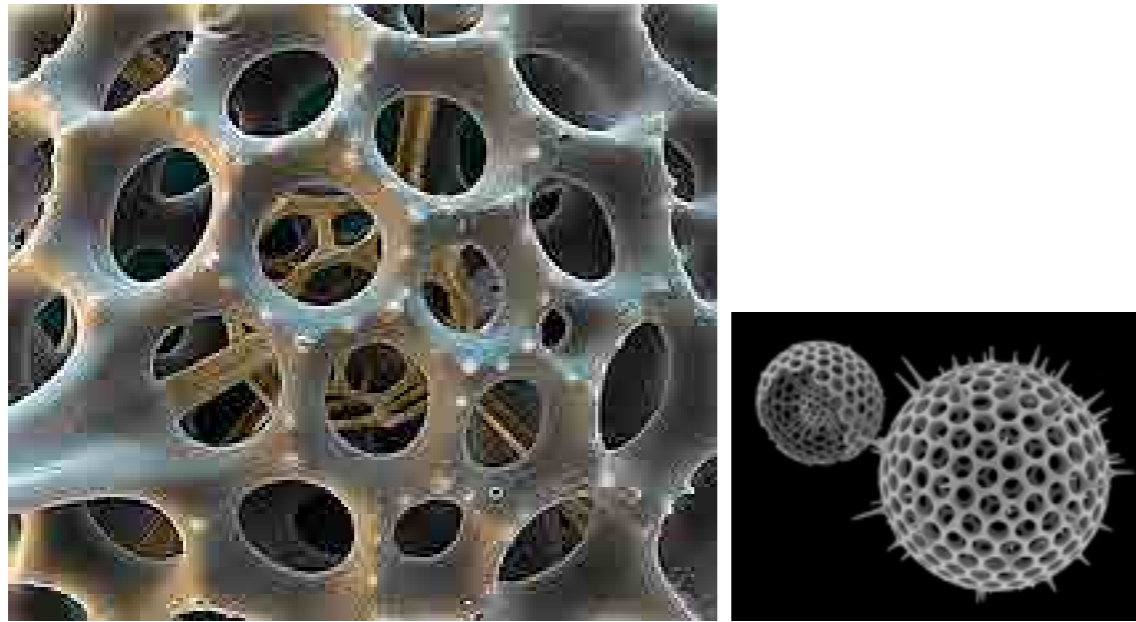
41 «Autonomous Formation Process»

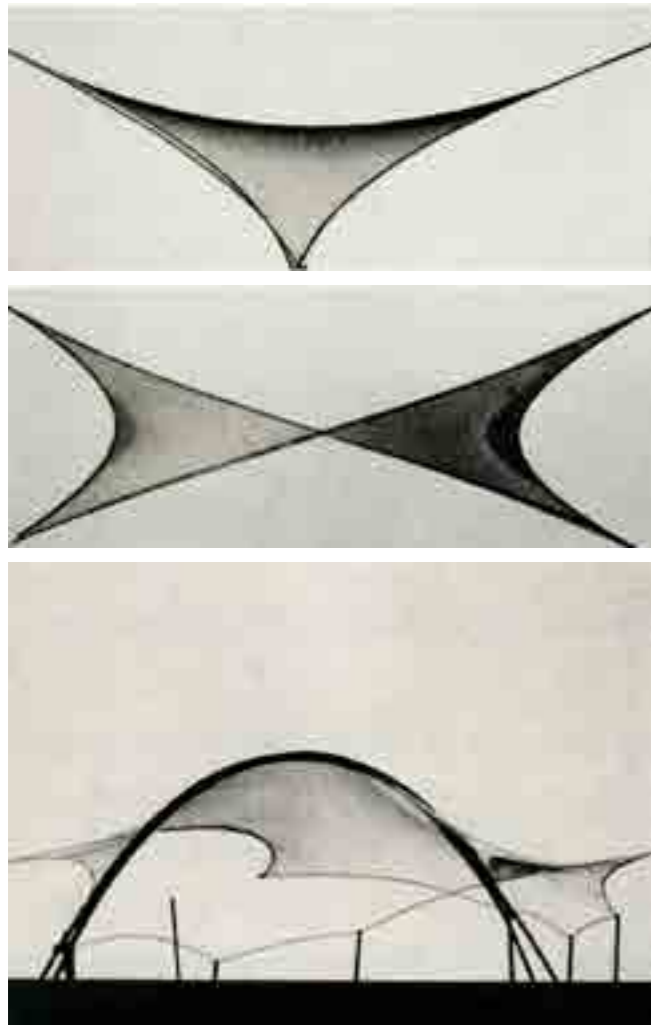
42 Αρκεί να θυμηθούμε την "City in the Arctic" με τον Kenzo Tange. Ακολούθησαν πολλά πειράματα με φουσκωτές κατασκευές, αλλά και κατασκευές γεμάτες με νερό αντί αέρα, δίχως να έχει την ευκαιρία να πραγματοποιήσει έργο μεγάλης κλίμακας.

43 «...The Belgian physicist Joseph A.F. Plateau (1801-1883) made soap bubbles the subject of experimental observations and scientific study. Soap bubbles became the means of expressing physical laws. ...» Rudolf Finsterwalder, FORM FOLLOWS NATURE, Springer Wien New York, 2011, σελ 247

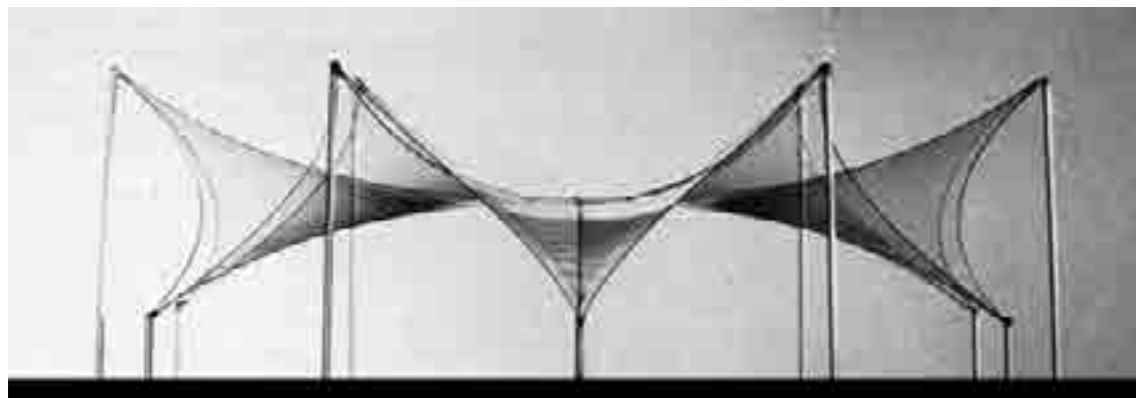


DAS KONSTRUKTION SYSTEM "PNEU" /





Οι μεμβράνες είναι ανισότροπο υλικό εν αντιθέσει με τις ισότροπες σαπυνομεμβράνες



- 1962 Γερμανική Έκθεση Κτηρίου στο Essen / ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΕΙΣ ΜΟΡΦΕΣ

Οι Αυτόνομες Διαδικασίες Μορφοποίησης εν μέρει αντιστοιχούν στις σημερινές δηλώσεις για «Μορφογένεση», «Έξυπνη Γεωμετρία», «Νέο Στρουκτουραλισμό»⁴⁴, «Βιομορφική» ή «Οργανική»⁴⁵ Αρχιτεκτονική. Σ' αυτές τις «τοποθετήσεις» ο υπολογιστής και τα εξελιγμένα σχεδιαστικά προγράμματα είναι το κυρίαρχο μέσο. Η θεωρητική βάση, η επεξεργασία και η τελική πραγμάτωση ενός έργου, άλλοτε προσεγγίζει την λογική του Frei Otto και άλλοτε η απόσταση που τους χωρίζει είναι χαώδης. Τα πειράματα με τις Α.Δ.Μ. προχωρούσαν σε ακόμη πιο σύνθετες μορφές, επίσης εξελίσσονταν ως μία βοηθητική βάση για ανώτερου βαθμού δυσκολίας δομές. Αυτές οι δομές ονομάζονταν **Δευτερογενείς μορφές**, γιατί δεν προέκυπταν απευθείας αλλά εξελίσσονταν από τις πρώτες. Οι πιο βασικές από αυτές, ήταν οι πλήρως θλιβόμενες κατασκευές που προέκυπταν από ανεστραμμένα εφελκυσόμενα μοντέλα.

Όταν μια μικρή αλυσίδα, στηριζόμενη από τα δύο άκρα αφεθεί ελεύθερη, πέφτει και σχηματίζει μία καμπύλη. Η χαρακτηριστική αυτή καμπύλη που σχηματίζεται από την βαρύτητα και το ίδιο βάρος μόνο, ονομάζεται **αλυσοειδής καμπύλη ή σχοινοειδής (catenary curve)**. Προσεγγίζει την παραβολή. Αν θέλουμε να αναρτήσουμε στο μήκος της διάφορα βαρίδια, τότε προκύπτει μια τεθλασμένη γραμμή, ένα **σχοινοειδές πολύγωνο**. Μία επίσκεψη στο μουσείο της Sagrada Família ή στη La Pedrera στην Βαρκελώνη, μεγάλη εντύπωση θα κάνουν τα ανεστραμμένα πειραματικά μοντέλα από νήματα του Antoni Gaudí (1852-1926). Τα ανεστραμμένα αυτά μοντέλα με τα βαρίδια, σχηματοποιούσαν τις διαδρομές που έπρεπε να ακολουθήσουν τα δένδροειδή υποστυλώματα και οι αντηρίδες, διαθέτοντας τις πιο ραδινές αναλογίες. Αν μια κατασκευή ανάλογα με το υλικό της, πετύχει να φορτίζεται μόνο από θλιπτικές ή μόνο από εφελκυστικές δυνάμεις, τότε μπορεί να σχηματιστεί με το ελάχιστο δυνατό υλικό. Ο Frei Otto ήρθε σε επαφή από πολύ νωρίς με τις δυνατότητες στα ανεστραμμένα μοντέλα. Οι στερεοποιημένες γυψόγαζες με ασβεστοκονίαμα που έφτιαχνε ο πατέρας του, γλύπτης στο επάγγελμα, ήταν μερικά πρώιμα, έστω και χοντροκομμένα παραδείγματα⁴⁶.

Ο Frei Otto αποφασίζει το 1962 να πάρει μέρος στην DEUBAU, την έκθεση κτηρίου στην πόλη του Essen. Ο σκοπός αυτών των εκθέσεων ήταν να φέρει αρχιτέκτονες και μηχανικούς κοντά στις εξελίξεις της οικοδομικής βιομηχανίας και εφαρμογής. Ο θόλος που κατασκεύασε από μία ξύλινη εσχάρα, με διάμετρο περί τα 15m, εντυπωσίασε κυρίως για την διαδικασία ανέγερσης, παρά για την αισθητική του. Η μελέτη ξεκίνησε με απλά ανεστραμμένα δίκτυα από νήματα και αλυσίδες. Εφόσον είχε καταλήξει στις διαστάσεις και το σχήμα, «μετέφερε» το ανεστραμμένο είδωλο αυτού σε ένα υλικό που θα μπορούσε να παραλάβει θλιπτικές δυνάμεις. Επέλεξε ξύλινες βέργες, διατομής 4x6 cm, που σχημάτιζαν μια εσχάρα με ενδιάμεσα διαστήματα 0,5m. Η εύκαμπτη αυτή εσχάρα συναρμολογήθηκε στο σημείο της έκθεσης σαν μια τετράγωνη **επίπεδη επιφάνεια** με στρογγυλεμένες γωνίες. Με τους κόμβους στις ξύλινες δοκίδες να διαμορφώνονται χαλαρά, από πύρους που επέτρεπαν την περιστροφή, η ανέγερση της σχάρας κατέστη πολύ εύκολη. Ένας γερανός τότε, ανύψωσε σταδιακά από το κέντρο την επίπεδη σχάρα. Αυτή σιγά σιγά έπαιρνε την διπλή καμπυλότητα του θόλου και για να εξασφαλίσει το

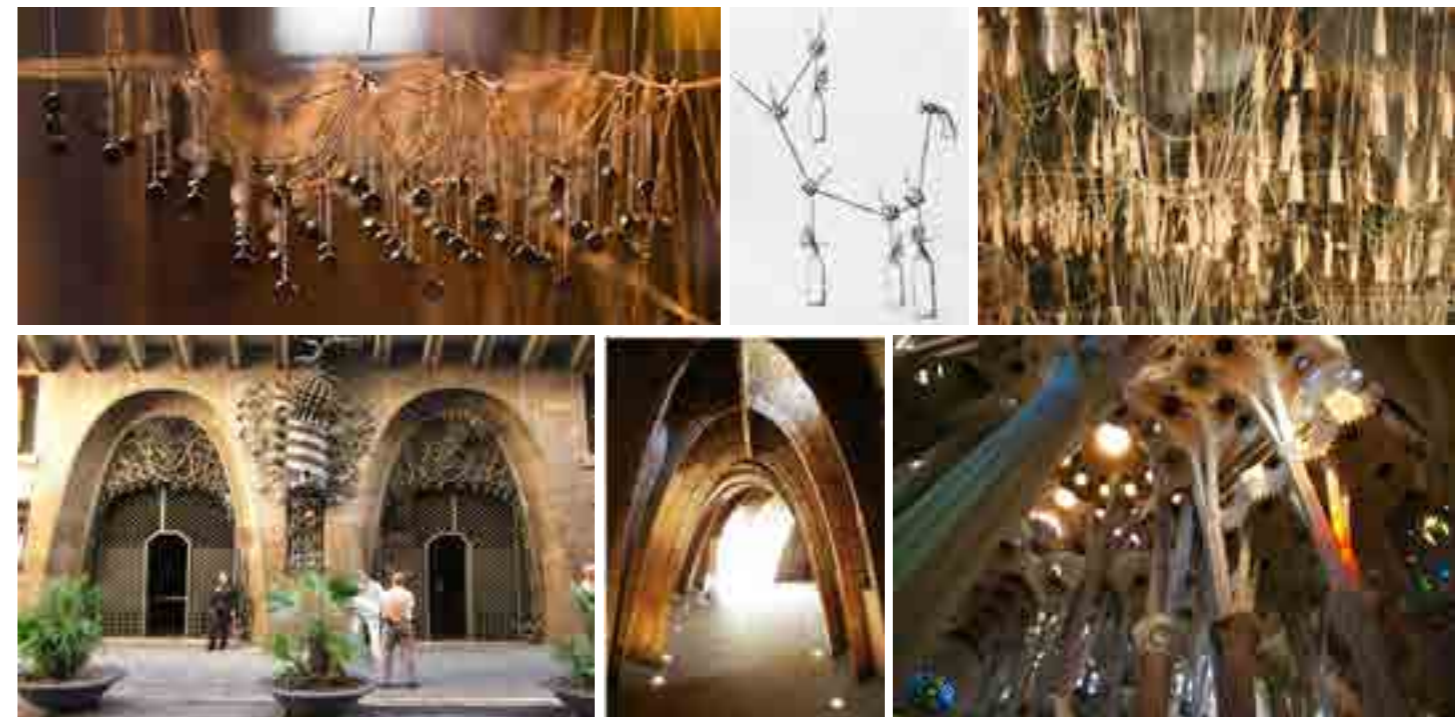
σχήμα την στερέωσαν σε μία περιμετρική άκαμπτη βάση.

Αυτός ο θόλος θα μπορούσε να επικαλυφθεί με μία μεμβράνη, αν και δεν υπήρχε τέτοιος σκοπός, και να στεγάσει μία λειτουργία. Το δίδαγμα από την παραπάνω κατασκευή είναι η ανάγκη για μια καθολική αντιμετώπιση ως ελαφρά κατασκευή, τόσο της υφασμάτινης διαμόρφωσης, όσο και του φέροντα σκελετού αυτής. Επιπλέον αυτό που προσδίδει ακόμη μεγαλύτερη αξία είναι η ευφυής διαδικασία ανέγερσης και συναρμολόγησης.

44 Να ανατρέξω στο σχετικό βιβλίο του AD

45 Η σημερινή ερμηνεία κινείται κυρίως σε μια άμεση απόδοση μορφών ζωντανών και φυτικών οργανισμών σε τεχνικά έργα, κτήρια. Αυτή η ερμηνεία διαφέρει κατά πολύ από την οργανική αρχιτεκτονική του Frank Lloyd Wright, η οποία θεωρούσε το κτήριο σαν ένα οργανισμό. Στον οργανισμό αυτό, πέρα από την καλή οργάνωση των επιμέρους χώρων- δωματίων ενός κτηρίου, ουσιαστικό στοιχείο ήταν η ένταξη στο φυσικό (και τεχνητό) περιβάλλον που βρισκόταν το κτήριο. Υπάρχουν διάφορες και αντικρουόμενες ερμηνείες.

46 Ο ίδιος σε συνέντευξη στο Juan Maria Songel το 2004, ομολογεί ότι μέχρι τότε που έλαβε μέρος στο ερευνητικό δεν γνώριζε για τις μεθόδους του Gaudí. Η πρώτη άμεση συσχέτιση των ανεστραμμένων μοντέλων με την αρχιτεκτονική ήρθε από τον Leopold Kuhلمان στο στρατόπεδο συγκέντρωσης. Ο μηχανικός αυτός, προσπαθούσε να του εξηγήσει πώς να βρίσκει το βέλτιστο σχήμα για τους θόλους, δίχως να χρειάζονται βαριές περιμετρικές αντιστηρίξεις.





- 1963 Διεθνής Έκθεση Κήπου στο Αμβούργο⁴⁷

Στις επόμενες δύο κατασκευές ξανατίθεται το θέμα των οξυκόρυφων απολήξεων και του μεγάλου μεγέθους της υφασμάτινης επιφάνειας.

Ο Frei Otto πέρα από τη συμμετοχή του σε διάφορους αρχιτεκτονικούς διαγωνισμούς και κάποιες ιδιωτικές αναθέσεις, έβρισκε πιο πρόσφορο έδαφος για πειραματισμούς τις Εκθέσεις Κήπου. Αυτή τη φορά στο Αμβούργο, του είχε ανατεθεί ένα πιο εκτεταμένο έργο. Από τις διάφορες κατασκευές αυτή που ξεχώριζε ήταν η «Κυματιστή οροφή», ένας χαρακτηρισμός που της αποδόθηκε χάρη στις απότομες κορυφές και τα βυθίσματα. Το μέγεθος αυτής σε κάτοψη με τον περιμετρικό διάδρομο, από μεμβράνη, ήταν περί τα 80x30m.

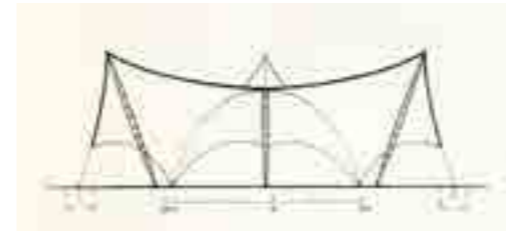
Η επιλογή όμως, για μια μορφολογηση με απότομες απολήξεις προϋπέθετε ένα ειδικό χειρισμό. Η απευθείας ώθηση με τον υποκείμενο ιστό στην επιφάνεια της μεμβράνης, όπως έχουμε προαναφέρει, είναι απαγορευτική. Για την συγκεκριμένη κατασκευή υπήρχαν 6 ζεύγη ιστών (10m μήκους ο καθένας). Η λύση που δόθηκε ήταν να αναρτηθούν από τους ιστούς μεταλλικά καλώδια, τα οποία άλλοτε θα γεφύρωναν τις αποστάσεις μεταξύ των αντικριστών ιστών (όριζαν τις κορυφογραμμές) και άλλοτε θα έτρεχαν προς τα κάτω, να αγκυρωθούν στο έδαφος. Η συμπλήρωση του καλωδιωτού αυτού συστήματος, έδινε περιοχές με εύκαμπτα **κλειστά περιγράμματα** από καλώδιο. Οπότε η επιφάνεια μεμβράνης ερχόταν ως πλήρωση (προεντεταμένη πάντοτε) στο κάθε περίγραμμα από το οποίο και στηριζόταν. Μιλώντας με την ψυχρή γλώσσα της στατικής μηχανικής, αυτό ερμηνεύεται ως εξής. Η προένταση που δίνει η κορυφή του ιστού, δεν μεταφέρεται σημειακά στην μεμβράνη, αλλά διαμέσου των καλωδίων που φέρει. Δηλαδή η σημειακή φόρτιση γίνεται γραμμική, άρα οι τάσεις βρίσκουν μια πιο μεγάλη επιφάνεια για να κινηθούν στο σύστημα, ως εκ τούτου διατηρούνται σε χαμηλά επίπεδα και δεν ξεπερνούν το όριο ελαστικότητας της μεμβράνης.⁴⁸

Μια άλλη αξιοσημείωτη λεπτομέρεια για αυτήν την κατασκευή, ήταν οι ενώσεις μεταξύ των μεγάλων προ-ραμμένων⁴⁹ επιφανειών. Οι ενώσεις αυτές μεταξύ τους ήταν με σχοινί, η πλέξη του οποίου περιλάμβανε και τα καλώδια των ακμών. Η χρησιμοποίηση σχοινοβελών για αυτές τις ενώσεις είναι μια πρακτική μέθοδος επιτόπιας συναρμολόγησης που ισχύει και στα σύγχρονά μας έργα. Σήμερα υπάρχει πληθώρα από βιομηχανικά παρελκόμενα σχετικά με τις συνδέσεις αυτές. Σφικτήρες, ελκυστήρες, επιτόπιες ραφές και συγκολλήσεις είναι μερικές εξ' αυτών. Πάντοτε βέβαια, ανάλογα με το είδος της μεμβράνης, π.χ. πολυεστερικά υφάσματα (polyester fabric με επικάλυψη PVC), υαλοφύλακα (glass fabrics με επικάλυψη PTFE) κ.α. Η ποιοτική εφαρμογή σε αυτές τις οικοδομικές λεπτομέρειες, εν τέλει αναδεικνύει την αισθητική ολόκληρου του έργου.

47 Οι πρώην Ομοσπονδιακές Εκθέσεις Κήπου, τώρα γίνονται Διεθνείς. (Bundesgartenschau)

48 Αυτό μπορεί να ερμηνευτεί και αντίστροφα. Δηλαδή οι φορτίσεις στην επιφάνεια της μεμβράνης από στατικά και δυναμικά φορτία, μεταφέρονται στα γραμμικά στοιχεία, τα καλώδια, μετά στην κορυφή του ιστού (και των υπόλοιπων αγκυρώσεων) και εν τέλει στο έδαφος.

49 «προραμμένο» σε αντιστοιχία με το «προκατασκευασμένο».



Σχέδιο Τομής για μία από τις υπόλοιπες τέσσερις μικρές πανομοιότυπες κατασκευές, στο οποίο φαίνεται ξεκάθαρα το καλώδιο που γεφύρωνει τις κορυφές των ιστών.

[εικόνες δεξιά] Πάνω η γενική άποψη του χώρου με τις κατασκευές του Frei Otto και κάτω οι τέσσερις μικρές οξυκόρυφες τέντες- περιπτερα (Radial- Wave Pavilions) που ενώνονται με στεγασμένο διάδρομο επίσης από μεμβράνη.



Η «κυματιστή οροφή» με τις οξυκόρυφες διαμορφώσεις και τα δεσίματα με σχοινί, Διεθνής έκθεση Κήπου στο Αμβούργο, 1963.



- 1964 Ελβετική Τοπική έκθεση στη Λωζάννη

Η παραλίμνια γραφική πόλη της Λωζάννης, αντιπροσωπευτικό δείγμα ελβετικής ομορφιάς με την γαλήνια ατμόσφαιρα και την θέα των Δυτικών Άλπεων, το 1964 θα φιλοξενούσε την Κρατική έκθεση. Οι συγκεκριμένες αυτές εκθέσεις όπως πάντα και παντού, παρουσίαζαν ενδιαφέρον και στο αρχιτεκτονικό πεδίο. Ο Ελβετός αρχιτέκτονας Marc Saughey θέλοντας να συμβολίσει τις ελβετικές Άλπεις με τα χιόνια και τα βραχώδη όρη, εξού και το όνομα «neige et rocs» («χιόνι και βράχια»), επινοεί ένα σύμπλεγμα από 24 τέντες. Η γεωμετρία που θα έφεραν ήταν σχετικά απλή, οι μορφές σέλλας θα αναπτύσσονταν γύρω από τους ιστούς και τα καλώδια. Στο μικρό λιμανάκι που θα φιλοξενούσε την έκθεση, επρόκειτο να εκτυλιχθεί ένα σκηνικό με το γαλάζιο της λίμνης να αντανακλά τα έντονα χρώματα που θα έφεραν οι τέντες και για φόντο, τα καταπράσινα βοσκοτόπια. Μετά το πέρας του γενικού σχεδίου, ο αρχιτέκτονας καλεί τον Frei Otto ως σύμβουλο για τεχνική υποστήριξη.

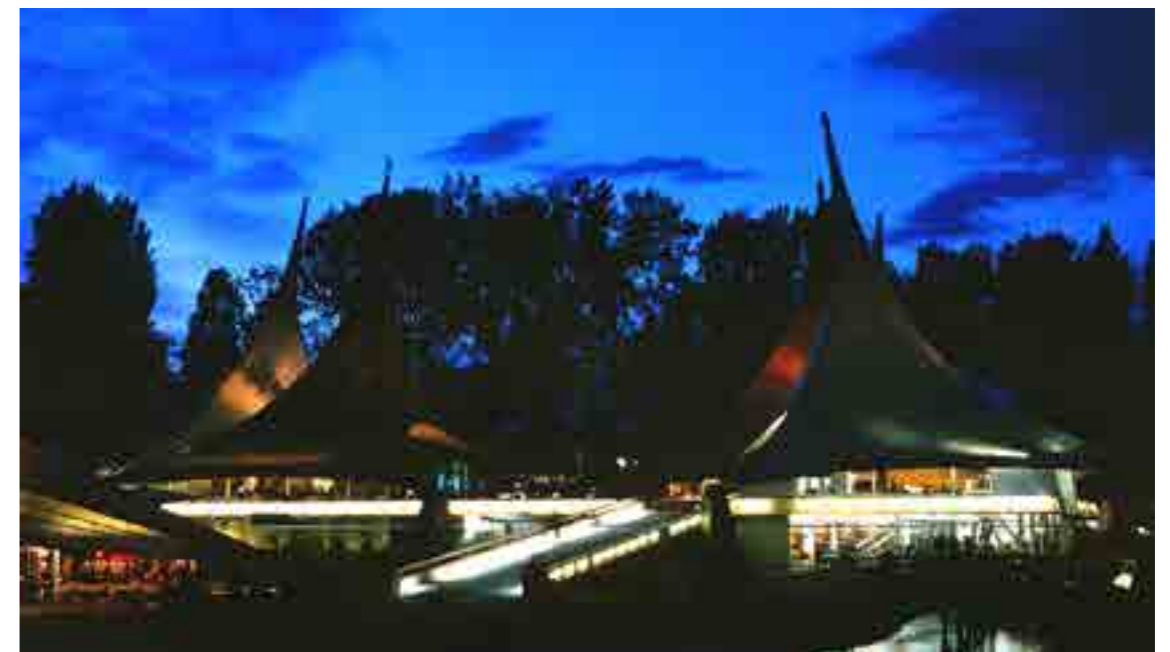
Για τον Frei Otto τίποτα δεν παρουσίαζε δυσκολία, πέρα από τις πέντε τεραστίων διαστάσεων οξυκόρυφες τέντες, που επρόκειτο να καλύψουν το υπαίθριο εστιατόριο. Ο κάθε ιστός έφτανε τα 24m και τα καλώδια που σχημάτιζαν την κορυφογραμμές ήταν περί τα 36m έκαστο. Το να καλύψουν τις τεράστιες ενδιάμεσες περιοχές με μεμβράνη ήταν αδύνατο. Ακόμη και το πιο εξελιγμένο τεχνητό ύφασμα τις εποχής δεν είχε τέτοιες μηχανικές ιδιότητες. Η έντονη καμπυλότητα προς την κορυφή ήταν σημάδι για ακόμη μεγαλύτερες τάσεις. Η τελική λύση που δόθηκε, ήταν οι ενδιάμεσες περιοχές να γεφυρωθούν με μεταλλικό δίκτυ, το οποίο μπορούσε να φέρει πολλαπλάσια φορτία. Επάνω στο δίκτυ, μετά την εφαρμογή του, σαν υλικό πλήρωσης θα ραβόταν τεντωμένη η μεμβράνη. Ήταν η πρώτη φορά που επιχειρούσε κάτι τέτοιο ο Frei Otto. Η εφαρμογή του έγινε με επιτυχία αλλά με τον καιρό εμφανίστηκαν μερικά ψεγάδια. Οι δύο αυτές στρώσεις καλά δεμένες μεταξύ τους, από μεταλλικό δίκτυ και μεμβράνη, έχοντας διαφορετική ελαστική συμπεριφορά άφησαν να αναδυθούν μικρές πτυχώσεις- σουρώματα επάνω στην επιφάνεια του τελευταίου.

Αυτή η συναρμογή σήμερα δεν εφαρμόζεται πλέον. Ωστόσο για την ενίσχυση της αντοχής της μεμβράνης, μπορούν να ραφτούν υφασμάτινοι ιμάντες. Χαρακτηριστικό παράδειγμα η εικαστική εγκατάσταση του Anish Kapoor, με την ονομασία Marsyas⁵⁰ στην Tate Modern του Λονδίνου, με μήκος 150m.

50 «...Στην ελληνική μυθολογία ο **Μαρσύας** ήταν ένας Σάτυρος από τη Φρυγία. Ο Μαρσύας ήταν δεξιότηχης στον Αυλό και προκάλεσε τον Θεό Απόλλωνα σε σύγκριση της μουσικής τους τέχνης. Ο Απόλλωνας έπαιξε Λύρα και οι Μούσες και ο Μίδας, που ήταν κριτές της μονομαχίας, ανέδειξαν νικητή τον θεό. Ο Μαρσύας γδάρθηκε ζωντανός, ως τιμωρία για την Ύβρι που διέπραξε να προκαλέσει θεό. Το αίμα του σχημάτισε τον ομώνυμο ποταμό...» (πηγή: Ιστοσελίδα <http://el.wikipedia.org>, Βικιπαίδεια, λήμμα: Μαρσύας) . / Η σχέση αυτής της εγκατάστασης με την μουσική είναι δηλωτική από το σχήμα τρομπέτας και τη λειτουργίας της ως ηχοακουστική εμπειρία. Στα ανοίγματα των δακτυλίων, οι επισκέπτες μπορούν να φωνάξουν αλλά και να ακούσουν τον ήχο που αντανακλά και αναπαράγεται στα εσωτερικά τοιχώματα αυτής. Μέσα από αυτή την εγκατάσταση για ακόμη μια φορά, γίνονται φανερές οι ηχοακουστικές ιδιότητες των μεμβρανών, αλλά και γενικά πως τέτοιες κατασκευές μπορούν αποτελέσουν τέχνη.



Ομοσπονδιακή έκθεση στη Λωζάνη, 1964. Οι οξυκόρυφες τέντες ύψους 24m στέγαζαν το ημιυπαίθριο εστιατόριο της έκθεσης. Η μεγάλη έκταση της επιφάνειας και η έντονη καμπυλότητα -σημάδι ισχυρής προέντασης, ξεπερνούσαν τις μηχανικές δυνατότητες των τότε συνθετικών υφασμάτων. Η ενίσχυση αυτών ήταν επιβεβλημένη. [αρχιτέκτονες: Marc Saughey και Manfred Shierle, σύμβουλος διαστασιολόγησης και κατασκευής: Frei Otto και συνεργάτες]





[Εικ. αριστερά επάνω] Σύγχρονη οικοδομική λεπτομέρεια μιας εκδοχής ως προς τον τρόπο στερέωσης μιας μεμβράνης επάνω σε καλώδιο. Η διαμόρφωση αυτής της θήκης με τις λεγόμενες «γλώσσες» (tongue-like profile) είναι εύκολη στην επιτόπια εφαρμογή, με δέσιμο.

Στις τέντες τις Λωζάννης αυτές οι λεπτομέρειες ήταν σε μια πιο πυκνή έκταση και για κάθε καλώδιο του μεταλλικού δικτύου. Εξ' αιτίας αυτής της «ασφυκτικής» σύζευξης και της διαφοράς στην ελαστικότητα συμπεριφορά, στην περίπτωση που υπήρχαν διάφορες μικροθερμοδιαστολές λόγω κλιματικών συνθηκών, παρουσιάζονταν πτυχώσεις στο ύφασμα.

Σήμερα αυτή η ένωση γίνεται κυρίως σε μεμονωμένα καλώδια, τα οποία χρησιμοποιούνται για να προσαρμόσουν το σχήμα μιας επιφάνειας, ωθώντας τη προς μια κατεύθυνση ή ορίζοντας την κορυφογραμμή της μορφής.

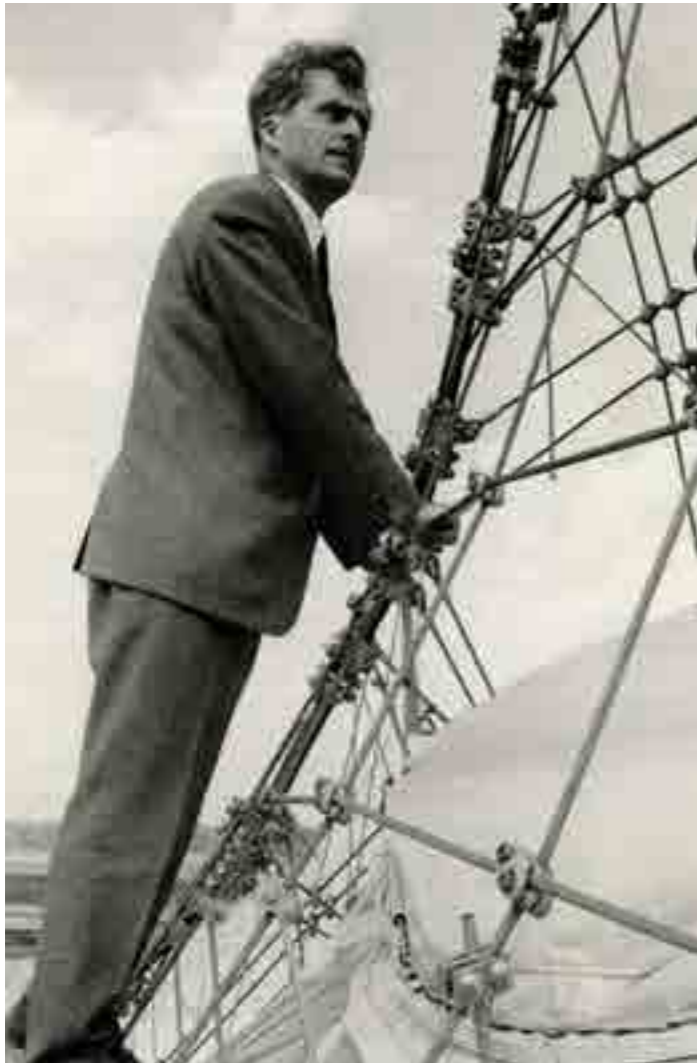
[Εικ. μεσαία αριστερά] Το μεταλλικό δίκτυ στερεώνεται σε ένα πιο ισχυρό καλώδιο, το οποίο διαμορφώνει τις ακμές μιας τέτοιας μεταλλικής δικτυωτής κατασκευής (cable net structure).

[Εικ. κάτω αριστερά] Σε περίπτωση ανάγκης για ένα πιο ισχυρό σύστημα, αντί για πιο ισχυρά και χοντρά καλώδια προτιμώνται τα διπλά μικρά καλώδια σε ζεύγη. Τα χοντρά καλώδια κρίνονται αντιοικονομική λύση λόγω της απαίτησης για πιο ισχυρούς κόμβους. Αυτό θα επηρέαζε και την αισθητική πτυχή, μια και το μεταλλικό δίκτυ θα ήταν πιο χοντροκομμένο.



Tate Modern, εικαστική εφαρμογή «Marsyas» , καλλιτέχνης Anish Kapoor, 2002-2003 Λονδίνο. Η τεράστια αυτή κατασκευή σε σχήμα τρομπέτας, σύμφωνη και με το αινιγματικό θεωρητικό υπόβαθρο αυτής για τον Μαρσύα, σχηματίζεται από τρεις τεράστιους δακτύλιους και έχει μήκος 150m. Ο κεντρικός δακτύλιος που ζυγίζει 6 τόνους αιωρείται και στηρίζεται από το ύφασμα της μεμβράνης. Η ενίσχυση στη μεμβράνη δίνεται από τους ενσωματωμένους ιμάντες, οι οποίοι τελικά γαντζώνουν στους δακτύλιους.





Γερμανικό περίπτερο στο Μόντρεαλ, Έκρο 1967

Η φήμη του Frei Otto μέσα στα πρώτα χρόνια της δεκαετίας του 60' είχε διαδοθεί για τα καλά. Οι προτάσεις από μεγάλα πανεπιστήμια της Αμερικής και της Γερμανίας έρχονταν η μία μετά την άλλη. Ο ίδιος αποφασίζει τελικά να δεχτεί την θέση που του πρότεινε ο πρύτανης του Πολυτεχνείου της Στουτγάρδης, ο Fritz Leonhardt. Ο διάσημος αυτός δομικός μηχανικός της εποχής, το 1964 συστήνει ως επένδυση για το μέλλον, το εργαστήριο για τις ελαφρές κατασκευές, το επονομαζόμενο IL⁵¹, το οποίο θα διηύθυνε ο Frei Otto. Η μετέπειτα πορεία του Frei Otto είναι ταυτισμένη με το IL⁵². Το συγκεκριμένο εργαστήριο του παρείχε πλέον όλο τον απαραίτητο εξοπλισμό για την ανάπτυξη και διεύρυνση της έρευνας και των πειραμάτων του. Η εισαγωγική ομιλία του Frei Otto στους φοιτητές του Πολυτεχνείου, για το πρόγραμμα και τα οράματα του εργαστηρίου, ήταν αρκετή για να μεταδώσει τον ενθουσιασμό και να στηρίξουν την όλη προσπάθεια. Η έρευνα για τις ελάχιστες επιφάνειες, τις ελάχιστες διαδρομές και τις φουσκωτές κατασκευές, γινόταν παράλληλα με την έρευνα στις ελαφρές κατασκευές γύρω από το πεδίο της μάζας, της φέρουσας ικανότητας και της μορφής. Ο διεπιστημονικός χαρακτήρας του εργαστηρίου ενέτασσε την Βιολογία σε περίοπτη μάλιστα θέση, τόσο στη καθημερινή έρευνα, όσο και στα κατά καιρούς εξειδικευμένα ερευνητικά προγράμματα.

Δεν περνά σχεδόν ο πρώτος χρόνος και προκηρύσσεται ο αρχιτεκτονικός διαγωνισμός για το Περίπτερο της Διεθνούς εκθέσεως στο Μόντρεαλ, για το 1967. Μαζί με τα 120 γραφεία που έλαβαν μέρος στο διαγωνισμό, δηλώνει συμμετοχή και ο καταξιωμένος αρχιτέκτονας Rolf Gutbrod, καθηγητής στο Πολυτεχνείο της Στουτγάρδης. Ο ίδιος προτείνει στον Frei Otto να συμμετάσχουν μαζί ως ομάδα, κάτι που γίνεται άμεσα δεκτό. Με μια πολυπληθή ομάδα να τους στηρίζει, προερχόμενη από το IL αλλά και από το προσωπικό ατελιέ του Frei Otto, προσπαθούν να φέρουν εις πέρας την κεντρική τους ιδέα, για την διαμόρφωση ενός «Ανθρωπογενούς τοπίου». Η ιδέα αυτή προέκυψε μέσα από το μότο της Διεθνούς Εκθέσεως, «Γη των Ανθρώπων» («**Terre des Hommes**»). Οι αποφάσεις έπρεπε να παρθούν άμεσα χωρίς χρονοτριβή. Το καλύτερο που έπραξαν, ήταν να ανασύρουν όλη την έρευνα που προηγήθηκε, στο IL και τους άλλους τομείς του πανεπιστημίου, καθοδηγούμενη από την εμπειρία και την τεχνογνωσία του Frei Otto. Ο καταμερισμός της εργασίας, κατά κάποιο τρόπο έγινε με την ομάδα του Rolf Gutbrod να αναλαμβάνει το χαμηλότερο τμήμα του περιπτέρου, το βατό δηλαδή τμήμα για τους επισκέπτες και από την άλλη, η ομάδα του Frei Otto είχε όλη την ευθύνη για το περίτεχνο στέγαστρο. Η ελεύθερη και ενιαία, τεραστίων διαστάσεων μορφή του στεγαστρού, με τις 8 εξάρσεις και τα κατεβάσματα, αιωρούνταν επί της χαμηλότερης ορθοκανονικής διάταξης από επίπεδα σε διάφορες στάθμες. Η τελική πρόταση είχε κάτι από τις οξυκόρυφες τέντες της Λωζάννης, κάτι από το σανιδωτό θόλο του Essen, αλλά άμεσες αναφορές έβρισκε σε ένα πειραματικό μοντέλου του βοηθού Larry Medlin (εργαστήριο IL). Η σχεδιαστική προσέγγιση της μορφής (το γνωστό **form-finding**), βοηθήθηκε από την εξελιγμένη μηχανή για σαπουνομεμβράνες που κατασκεύαζαν στο IL. Μέσω αυτής οι **αυτόνομες διαδικασίες μορφοποίησης** έδιναν πάλι το παρόν τους. Τα ευχάριστα μαντάτα δεν αργούν να έρθουν και το καλοκαίρι του 1965 απονέμεται στην ιδέα αυτή, το πρώτο βραβείο. Η κριτική επιτροπή ομόφωνα ενθουσιασμένη, εκθειάζει την ιδέα με εγκωμιαστικά σχόλια ως προς την ένταξή της στην περιοχή και την πρωτοφανή αισθητική της. Ήταν μία ιδέα η οποία όφειλε να πραγματοποιηθεί, όπως ειπώθηκε και η οποία θα αποτελούσε την μεγαλύτερη μέχρι τότε, δικτυωτή εφελκυσμένη κατασκευή.

συνέχεια στη σελίδα 84

51 IL : Institute for Lightweight Structures (institut für leichte flächentragwerke)

52 Το IL "σημαίνει" Frei Otto και Frei Otto σημαίνει IL. Το συγκεκριμένο εργαστήριο λειτουργεί μέχρι το 1994, έτος συνταξιοδότησης του Frei Otto. Ο διάδοχος στην έδρα γίνεται ο Werner Sobek (γνωστός για την κατοικία R128) και το εργαστήριο μετονομάζεται σε ILEK, πάλι με επίκεντρο τις ελαφρές κατασκευές αλλά μέσα από διαφορετική οπτική. Το ILEK λειτουργεί και σήμερα με επίκεντρο την έρευνα σε νέα υλικά, νέες μεθόδους κατασκευής, ένταξη των δυναμικών που παρέχει ο υπολογιστής κτλ με επίκεντρο την βιοκλιματική, οικολογική ... προσέγγιση.



Το συγκεκριμένο πειραματικό-εκπαιδευτικό μοντέλο ενός εκ των συνεργατών του Frei Otto, του Larry Medlin, αποτέλεσε πηγή έμπνευσης για την πρόταση στο διαγωνισμό του περιπτέρου του Μόντρεαλ. Χαρακτηριστική η αλληλουχία χαμηλών και ψηλών σημείων με βρόγχους - μάτια.

Η τελική πρόταση της αρχιτεκτονικής ομάδας Rolf Gutbrod, Frei Otto, Hermann Kendel, Hermann Kies, Larry Medlin.



Όλο το εργαστήριο του IL επί ποδός για την συναρμολόγηση και κατασκευή των μοντέλων ακριβείας. Στην πιο πάνω σκηνή η καμπύλη επιφάνεια φέρει και ενδείξεις για τα σημεία αρμολόγησης της τελικής υφασμάτινης επιφάνειας.



> [εικ. πάνω δεξιά] Το εργαστήριο προσέλκυε διάφορες προσωπικότητες της αρχιτεκτονικής εκείνη την εποχή. Στη συγκεκριμένη σκηνή βλέπουμε τον Kenzo Tange με τον διαχειριστή του εργαστηρίου IL, το Berthold Burkhardt. Ίσως να είναι την περίοδο που ο Kenzo Tange συνεργάστηκε με το προσωπικό γραφείο του Frei Otto, το γνωστό ατελιέ Warmbropp, για το ουτοπικό έργο «Πόλη στην Αρκτική», το 1971. (Το συγκεκριμένο έργο το είδαμε στο κεφάλαιο «Frei Otto - τα πρώτα χρόνια»)

> [εικ. αριστερά] Η περίφημη μηχανή έρευνας και μελέτης για μοντέλα με σαπυνομεμβράνες. Με αυτή πλέον τα μοντέλα θα μπορούσαν να διαμορφώνουν τις «ελάχιστες επιφάνειες» (minimal surfaces) με υγρά μεγάλης αντοχής, διατηρώντας για πιο μεγάλα χρονικά διαστήματα την λεπτή επιφάνεια, εν αντιθέσει με τις πιο ευαίσθητες επιφάνειες από κοινό σαπουνόνερο. Η μηχανή αυτή ήταν εξοπλισμένη και με φωτογραφικές για άμεσες λήψεις (φαίνεται στην εικόνα).

συνέχεια από τη σελίδα 81

Ευθύς αμέσως, το στάδιο της αρχικής ιδέας έπρεπε να προχωρήσει σε ένα πιο λεπτομερή σχεδιασμό. Η πρωτόγνωρη αυτή κατασκευή, λόγω μεγέθους αλλά και συνθετότητας απαιτούσε εξίσου μια νέα προσέγγιση στην στατική ανάλυση. Για το πεδίο αυτό, πιο αρμόδιος κρίθηκε ο Fritz Leonhardt. Ο ίδιος γνώριζε πώς αυτό το έργο ξεπερνούσε την συμβατική στατική ανάλυση ενός άκαμπτου συστήματος. Το μεταλλικό δίκτυ και τα υπόλοιπα καλωδιωτά στοιχεία των ακμών, συνιστούσαν ένα εύκαμπτο φορέα. Οι αναμενόμενες περιοδικές παραμορφώσεις από τα στατικά και τα δυναμικά φορτία θα επηρέαζαν και την συμπεριφορά όλου του συστήματος, ως προς την ανακατανομή των τάσεων. Σαν οξυδερκής μηχανικός διακρίνει στα καλώδια που διαμόρφωναν το δίκτυ, τις ισοστατικές γραμμές του φορέα, μέσω το οποίων θα άρχιζε να ξετυλίγει τον γόρδιο δεσμό. Χάρη σε αυτό το έργο, το II εξοπλίζεται με ένα πάγκο δυναμικών μετρήσεων. Στο συγκεκριμένο πάγκο τοποθετείται ένα μοντέλο ακριβείας του τελικού στεγάστρου, σε κλίμακα 1:75, από το οποίο αναρτώνται ισοδύναμα βάρη από μικρά μεταλλικά βαρίδια. Αυτή η τεχνική μας θυμίζει για ακόμη μία φορά τις πρακτικές του Gaudi. Στα διαμορφωμένα λεπτά σύρματα με τα ελατήρια, προεντεταμένα από τα βαρίδια και τα σύρματα που ήσαν αγκυρωμένα στον πάγκο, τοποθετούνταν δυναμόμετρα για τον προσδιορισμό των τάσεων. Με τον συγκεκριμένο πάγκο-συσκευή μπορούσε ακόμη να πραγματοποιηθεί, η διαστασιολόγηση της τελικής μορφής, να βρεθούν οι ισοϋψείς καμπύλες και οι μετατοπίσεις από τις παραμορφώσεις. Αυτό προϋπέθετε την περιμετρική τοποθέτηση φωτογραφικών μηχανών, για την εφαρμογή της μεθόδου της **στερεο-φωτογραμμετρίας**⁵³.

Όλη αυτή η χρονοβόρα και επίπονη διαδικασία, που προϋπέθετε την δημιουργία προπλασμάτων ακριβείας με τα τότε διαθέσιμα μέσα, σήμερα μόνο με πνεύμα ρομαντισμού ή ιστορικής έρευνας θα επανεκτελείτο για ένα τέτοιο έργο. Τα σύγχρονα λογισμικά προγράμματα ως εργαλεία παρέχουν ένα πιο άμεσο, ακριβή και εύχρηστο περιβάλλον για προσδιορισμό της μορφής (form-finding) και της στατικής ανάλυσης. Εντούτοις η σημερινή αυτή δυνατότητα, προϋπέθετε την συγκρότηση μιας μαθηματικής βάσης, η οποία πραγματώθηκε χάρη στην συσσώρευση γνώσης και της συγκέντρωσης μετρήσιμων δεδομένων, από τα πρώτα αυτά ερευνητικά κέντρα, με τις παλιομοδίτικες τεχνικές⁵⁴.

συνέχεια στη σελίδα 88

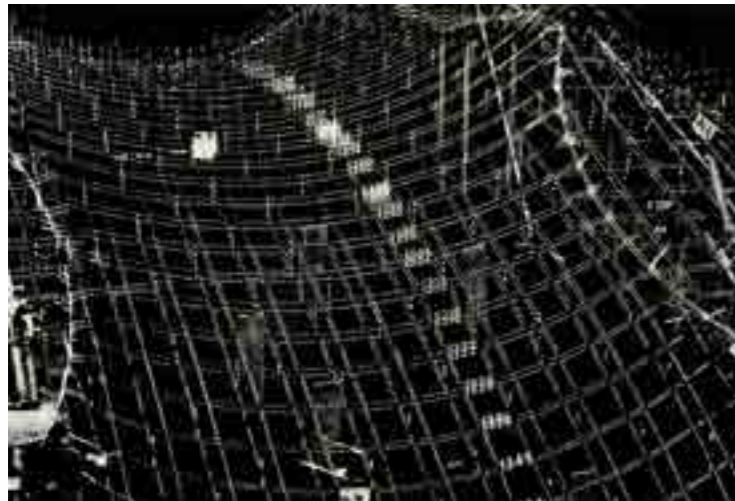
53 «...Εφευρέτης της μεθόδου αυτής ήταν ο Γάλλος ερευνητής Αιμέ Λωσεντά όταν το 1851 πρώτος αντελήφθη την αξία της, που βασιζόνταν σε κάθετη και πλάγια φωτογράφιση αντικειμένων. Χρειάστηκε όμως να παρέλθει σχεδόν μισός αιώνας για να γίνει αντιληπτή η αξιοποίηση της μεθόδου αυτής, ειδικά για τη χαρτογράφηση περιοχών που συνετέλεσε βέβαια η εξέλιξη του αεροπλάνου. Στη δεκαετία που προηγήθηκε του Α' Παγκοσμίου Πολέμου η φωτογραμμετρία σημείωσε ευρύτατη χρήση ειδικά στη τοπογραφία. Με την έναρξη του πολέμου όπου για στρατιωτικές ανάγκες άρχισε ν' αναπτύσσεται η αεροφωτογραφία η μέθοδος αυτή έλαβε νέες διαστάσεις αποτελεσματικής εφαρμογής καλούμενη επί τούτου **αεροφωτογραμμετρία**. Η αεροφωτογραμμετρία συνέχισε μέχρι και τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο ν' αποτελεί περισσότερο στρατιωτική μέθοδο με ότι απαγορευτικό μπορεί να σήμαινε αυτό. Μετά τη λήξη όμως και αυτού του πολέμου η φωτογραμμετρία άρχισε να χρησιμοποιείται σε πάρα πολλές ειρηνικές εφαρμογές καθιστάμενη ειδικό εργαλείο πολλών επιστημών και τεχνικών εφαρμογών. ...» πηγή: Ιστοσελίδα <http://el.wikipedia.org>, Βικιπαίδεια, λήμμα: Φωτογραμμετρία

Σήμερα αυτή η μέθοδος έχει εξελιχθεί σε σημείο που να μπορεί να χρησιμοποιείται από άτομα χωρίς προηγούμενη εμπειρία και επαφή. Η περιμετρική φωτογράφιση ενός κτηρίου από μια συμβατική φωτογραφική μηχανή, χρησιμοποιείται από εξειδικευμένο λογισμικό για την άμεση απόδοση της τρισδιάστατης αναπαράστασης αυτού.

54 Τα σύγχρονα λογισμικά για την εξεύρεση της μορφής και της στατικής ανάλυσης παρέχονται ως συνήθως σαν επεκτάσεις (plugin) των «γενικών» σχεδιαστικών προγραμμάτων, κυρίως σε αυτά με γνωστή εμπορική ονομασία. Εντούτοις η δυσπρόσιτη τιμή τα κρατά σε απόσταση από την γενικευμένη χρήση. Σε ορισμένες περιπτώσεις υπάρχει η δυνατότητα διαδικτυακής διάδρασης. Δηλ. παρέχεται στο χρήστη ενός σχεδιαστικού προγράμματος ένα βασικό πρώιμο εργαλείο-λογισμικό (software/freeware), με το οποίο θέτει τις βασικές παραμέτρους. Για παράδειγμα ποιος είναι ο περιμετρικός φορέας, προσδιορισμός των εύκαμπτων ή σταθερών ακμών κτλ. Εν συνέχεια το αρχείο με τα κωδικοποιημένα αυτά δεδομένα αποστέλλεται στο διακομιστή (server), ο οποίος με την σειρά του, στέλνει πίσω ένα αρχείο με την διαμόρφωση της επιφάνειας από μεμβράνη (με τις καμπυλότητες που αυτή παίρνει). Η διαδικασία αυτή χρησιμοποιήθηκε από τον ίδιο (Δημήτρη Ευαγγέλου) για την σχεδίαση του αμφιθεάτρου της Διπλωματικής εργασίας. Υπάρχουν ακόμη περισσότερες δυνατότητες προσδιορισμού, της κατεύθυνσης των ραφών, της γενικής ασκούμενης προέκτασης ή ακόμη και την διαφορά της προέκτασης στο υφάδι από το στημόνι κτλ.



Ο νέος εξοπλισμός του εργαστηρίου II, ο πάγκος δυναμικών μετρήσεων. Είναι τοποθετημένο επάνω το πιστό μοντέλο της οροφής του Μόντρεαλ, σε κλίμακα 1:75. Από το μοντέλο αναρτώνται ισοδύναμα φορτία από μικρά βαρίδια. Κάτω βλέπουμε τις φωτογραφικές μηχανές για τις παράλληλες λήψεις (όχι προοπτικές) για εφαρμογή της μεθόδου της στερεο-φωτογραμμετρίας.



[εικ. επάνω] Σύγχρονο δυναμόμετρο, παρόμοιο με αυτά για τις μετρήσεις επάνω στους πάγκους δυναμικών μετρήσεων.

[εικ. αριστερά] Υπέρθηση δύο λήψεων από την ίδια φωτογραφική μηχανή, για τη μελέτη του μεγέθους της παραμόρφωσης.

Photogrammetry [Φωτογραμμετρία] Γεωδεσία. Το αντικείμενο γνωστικού κλάδου της τοπογραφίας που ερευνά και αναπτύσσει τεχνικές αποτύπωσης του φυσικού εδάφους σε ένα χάρτη μέσω αεροφωτογραφιών που λαμβάνονται με συγκεκριμένη μέθοδο και χρησιμοποιώντας τεχνικές στερεοσκοπικής ανάλυσης των αεροφωτογραφιών. [πηγή: Λεξικό Τεχνολογίας & Επιστημών, SiemensTech, σελ.1068]

Stereography [Στερεογραφία] Γραφιστική. Με τον όρο αυτό χαρακτηρίζεται η τεχνική της απεικόνισης ενός στερεού τρισδιάστατου σώματος σε μία επιφάνεια, δηλαδή σε ένα επίπεδο και άρα στις δύο διαστάσεις. [πηγή: Λεξικό Τεχνολογίας & Επιστημών, SiemensTech, σελ..1319]



Η μέθοδος διαστασιολόγησης με την στερεο-φωτογραμμετρία χρησιμοποιήθηκε και αργότερα, κατά την σχεδίαση της οροφής του Ολυμπιακού Σταδίου στο Μόναχο, για τους Ολυμπιακούς Αγώνες του 1972. Το IL (Ινστιτούτο Ελαφρών Κατασκευών) χάρη σε κάθε έργο, με τέτοια σημασία, εξοπλιζόταν κατάλληλα ή ακόμη παρήγαγε το ίδιο τα εργαλεία που θα χρησιμοποιούσε για την έρευνα και την καινοτομία. Το IL ήταν πάνω απ' όλα ένα **κέντρο- εργαστήριο διεπιστημονικής έρευνας**. Η ανάγκη στις μέρες μας τέτοιων εργαστηρίων και στον δικό μας εθνικό χώρο θα μπορούσε να είναι η **καλύτερη επένδυση για το μέλλον**.



Τα μοντέλα ακριβείας και η μέθοδος της φωτογραμμετρίας αποσκοπούσαν στον εντοπισμό των ισούψων καμπύλων. Με αυτές μπορούσαν να χαρτογραφηθούν τις δύσκολες γεωμετρικά αυτές μορφές, με την διπλή καμπυλότητα. Το επόμενο βήμα ήταν ο διαχωρισμός της επιφάνειας σε τμήματα, στα οποία έπρεπε να συνθέσουν (με την πρακτική έννοια της κατασκευασσιμότητας αλλά και την αισθητική έννοια) το πατρών της κάθε υφασμάτινης περιοχής.

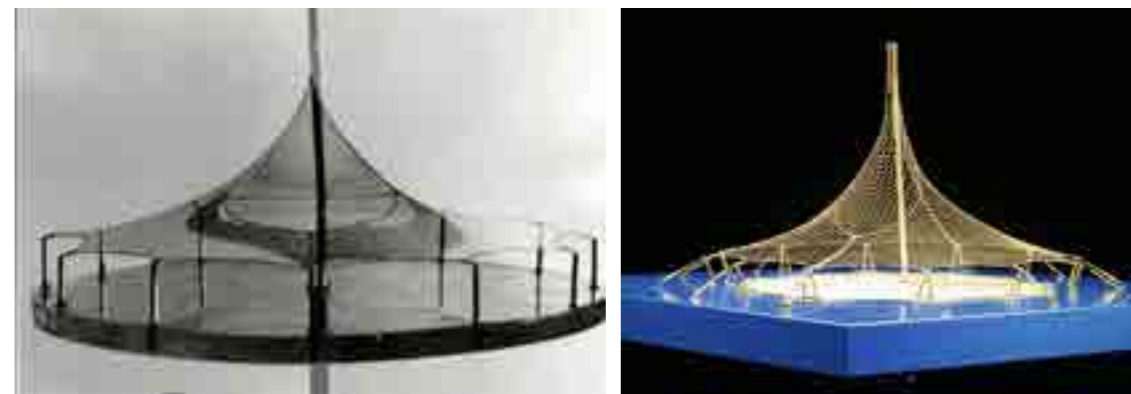
συνέχεια από τη σελίδα 84

Πέρα από το μέγεθος και την συνθετότητα της μορφής, στο στέγαστρο του περιπτέρου υπήρχε και ένα καινούργιο μορφολογικό στοιχείο (και δομικό στοιχείο παράλληλα). Από κάθε ιστό αναρτάται ένα καλώδιο σαν θηλιά, ο ονομαζόμενος βρόγχος ή το μάτι (**eye loop**). Ήταν ακόμη μια περίπτωση έντεχνου χειρισμού της οξυκρούφης απόληξης. Το μεταλλικό πλέγμα με την τυχόν στήριξή του σημειακά, στην κορυφή του ιστού, μπορούσε ως ένα βαθμό να αναλάβει τις φορτίσεις. Παρόλα αυτά η παρουσία του βρόγχου πέρα από το ότι ανακούφισε την επιφάνεια με μία πιο ομαλή ανακατανομή των τάσεων, αποτελούσε και ένα ισχυρό μορφολογικό στοιχείο. Η παρουσία οκτώ τέτοιων στην επιφάνεια του στεγάστρου ήταν μια συνθετική επιλογή και παράλληλα λάμβανε χρήση ως φωταγωγού για τον εσωτερικό χώρο.

Ήταν αρχές του 1966 και όλη η μελέτη βρισκόταν στο τελικό στάδιο. Το μεταλλικό δίκτυο του στεγάστρου από μόνο του δεν μπορούσε να προστατέψει την υποκείμενη έκθεση του περιπτέρου, έπρεπε να φέρει μια μεμβράνη, σαν δεύτερη στρώση πλήρωσης. Για να αποφύγουν αυτή τη φορά τις αστοχίες που παρουσιάστηκαν στις τέντες της Λωζάννης, αναρτούν την επιφάνεια της μεμβράνης σε απόσταση περί τα 30-40cm κάτω από το μεταλλικό δίκτυο. Τα πειραματικά προπλάσματα σε όλη τη διαδικασία της μελέτης, ήταν ζωτικής σημασίας από το πρώτο κιόλας στάδιο με την εξεύρεση της μορφής. Αυτή τη φορά, επειδή τα νέα στοιχεία ήταν τόσα πολλά και η σπουδαιότητα του έργου αντιπροσώπευε το κύρος μια ολόκληρης χώρας (έστω Δυτικής Γερμανίας) αποφασίστηκε να γίνει ένα τμήμα της κατασκευής σε πραγματική κλίμακα. Η εφαρμογή αυτή θα γινόταν στον ευρύτερο χώρο του Πολυτεχνείου, στο Vaihingen (προάστιο της Στουτγάρδης) για το έλεγχο των κατασκευαστικών λεπτομερειών αλλά και της διαδικασίας ανέγερσης. Η πειραματική αυτή κωνοειδής μορφή με το «μάτι» θα προερχόταν από την συνένωση δύο πανομοιότυπων αντικλαστικών μορφών σέλλας, γύρω από τον κεντρικό ιστό ύψους 17m (διατομής 42cm). Η συνολική επιφάνεια που θα κάλυπτε έφτανε τα 460 m², μόλις το 6% του τελικού περιπτέρου στο Μόντρεαλ, των 8000m². Στην πειραματική εφαρμογή έγιναν εναλλακτικές εκδοχές στον τρόπο που θα δινόταν η τελική προένταση. Η πρώτη εκδοχή ήταν να γίνει μια περιμετρική αγκύρωση της ακμής της δικτυωτής επιφάνειας σε 12 τρίποδες και μετέπειτα ώθηση της επιφάνειας με τον ιστό, ούτως ώστε να δοθεί η απαιτούμενη προένταση. Η δεύτερη εκδοχή προνοούσε την αρχική ανέγερση του ιστού στην τελική του θέση και εν συνεχεία την προένταση από την περίμετρο της βάσης. Η εφαρμογή της υποκείμενης μεμβράνης στέφθηκε και αυτή με επιτυχία.

Μετά το πέρας της έκθεσης στο Μόντρεαλ, γίνεται για τον Frei Otto αυτοσκοπός η στέγαστρο του IL σε αυτή την κατασκευή. Με διάφορες δωρεές γίνεται κατορθωτή η αποσυναρμολόγηση της βάσης και η μεταφορά με γερανό 1km παραδίπλα, πλησίον των υπολοίπων κτηριακών εγκαταστάσεων της σχολής. Η ελαφρά μεμβράνη ακόμη και τότε δεν είχε τις τεχνικές δυνατότητες για μεγάλη διάρκεια ζωής, οπότε αντικαθίσταται από μια ξύλινη πλήρωση και τελική επικάλυψη με βιομηχανοποιημένες ταβανόπλακες. Πλέον η κατοικία του IL θα συμβάδιζε και με την φιλοσοφία του.

συνέχεια στη σελίδα 92



Το κωνοειδές σχήμα της πειραματικής κατασκευής με το χαρακτηριστικό βρόγχο-μάτι. Η «αλήθεια» στη μορφή αυτού του έργου μπορεί να τεκμηριωθεί και μέσα από τα μοντέλα με τις σαπυνομεμβράνες, τα οποία δίνουν το αντικλαστικό αυτό σχήμα με την ελάχιστη επιφάνεια (minimal surfaces). Για ακόμα μία φορά ο Frei Otto χρησιμοποιεί της Αυτόνομες Διαδικασίες Μορφοποίησης ως εργαλείο για την άμεση εξεύρεση της μορφής.





Όλα πλέον ήταν έτοιμα για το Μόντρεαλ. Η αρχή έγινε με την ανέγερση των 8 σωληνωτών ιστών, με τον μεγαλύτερο να φτάνει σε ύψος τα 37m. Το μεταλλικό δίκτυ αναρτώμενο από αυτούς θα έφτανε σε επιφάνεια τα 10 000m², το οποίο μεταφράζεται αλλιώς σε 42km μήκος ανοξείδωτου χαλύβδινου καλωδίου, πάχους 12mm. Η διαμόρφωση στο δίκτυ μεσοδιαστημάτων του μισού μέτρου (50cm) ήταν ικανοποιητική για να χρησιμοποιηθεί και σαν ικρίωμα από τους εργάτες, για την στερέωση της υποκείμενης μεμβράνης αλλά και την ελεύθερη μετακίνησή τους σε όλη την επιφάνεια για οποιοσδήποτε μικροπροσαρμογές. Μαζί με τα διάφορα άλλα στοιχεία που σύρονταν επάνω στις κορυφογραμμές από τα καλώδια ή ανυψώνονταν με βαρούλκα, συνιστούσαν μια διαδικασία ανέγερσης ευφυή. Ουσιαστικά, η διαδικασία αυτή παρέκαμπτε την ανάγκη ύπαρξης ενός εκτεταμένου ικριώματος (σκαλωσιάς). Η λογική αυτή, ακόμη και σήμερα, θέτει σε θέση ισχύος αυτές τις κατασκευές γιατί η εξοικονόμηση πόρων, κόστους, ενέργειας δυναμικού και χρόνου είναι αισθητή. Άλλωστε αυτό είναι και η πεμπτουσία της ελαφράς κατασκευής

Ο βιομήχανος Peter Stromeyer για άλλη μια φορά συμπαρίσταται ενεργά στις προσπάθειες του Frei Otto να φέρει εις πέρας, άλλη μία περιπέτεια. Στην Κωσταντζα, όπου βρισκόταν η βιομηχανία, μετακομίζουν δύο από τους πιο στενούς συνεργάτες του Frei Otto⁵⁵, για να επιβλέπουν την διαδικασία παραγωγής των στοιχείων που θα συνέθεταν το στέγαστρο. Τα συγκεκριμένα τεμάχια έπρεπε να τηρούν κατά γράμμα τις διαστασιολογήσεις της μελέτης. Το μεταλλικό δίκτυ της οροφής αναλύετο σε λωρίδες των 9,5m και ακολούθως τυλιγόταν σε μεγάλα καρούλια. Η δε μπελαλίδικη υφασμάτινη επιφάνεια συντίθετο από 24 διακριτά κομμάτια. Για κάθε κομμάτι στο εργοστάσιο δινόταν και ένα ξεχωριστό πατρόν, το οποίο όριζε το σχήμα, την διεύθυνση και την διάταξη που θα έπαιρναν οι υφασμάτινες λωρίδες, μέγιστου πλάτους 1,5m. Όσο ήταν και η δυνατότητα παραγωγής υφάσματος από τον αργαλειό (garier loom) της μονάδας. Στις σημερινές βιομηχανίες παραγωγής μεμβρανών το πλάτος ύφανσης (weaving) κυμαίνεται στα 2,5 - 3m και σε εξελιγμένες μονάδες φτάνει τα 5m⁵⁶. Βέβαια σε μία κατασκευή αυξημένων απαιτήσεων, π.χ. επιφάνεια με απότομες εναλλαγές στην καμπυλότητα και την διεύθυνση, η λωρίδες από ύφασμα που θα συνθέσουν την τελική μορφή, μπορεί να είναι πλάτους μερικών εκατοστών⁵⁷. Επανερχόμενοι στην Κωσταντζα, μετά το πέρας της βιομηχανικής παραγωγής όλων αυτών των διακριτών στοιχείων της οροφής, τοποθετήθηκαν και μεταφέρθηκαν ακτοπλοϊκός από την Γερμανία στο Μόντρεαλ. Η μεγάλη απόσταση του σημείου ανέγερσης και της μονάδας παραγωγής των προκατασκευασμένων στοιχείων, δεν αποτελούσε τροχοπέδη. Η μεταφορά των στοιχείων καθίστατο εύκολη, χάρη στο χαμηλό ειδικό βάρος αλλά και τον περιορισμένο όγκο που καταλάμβαναν μετά τις προσεγμένες αναδιπλώσεις και περιτυλίξεις. Οι σημερινές βιομηχανικές μονάδες που κυριαρχούν στο χώρο αυτό είναι ελάχιστες, εξαιτίας τις υψηλής τεχνολογίας στην παραγωγή και της υπερ-εξειδίκευσης, οπότε οι μακρινές αποστολές είναι μέσα στη ρουτίνα.

συνέχεια στη σελίδα 96

55 Ο Larry Medlin και Berthold Burkhardt, υπεύθυνος για το μεταλλικό δίκτυ και ο άλλος για την υφασμάτινη επιφάνεια αντίστοιχα.

56 Στοιχεία παραγωγής από το βιβλίο Michael Seidel, Tensile Surface Structures – A Practical Guide to Cable and Membrane Construction, Wiley 2009, σελ.29

57 Μαζί με τη σωστή ραφή και συγκρότηση της υφασμάτινης επιφάνειας, υπάρχουν και άλλες παράμετροι πολύ σημαντικοί. Στα συγκεκριμένα συνθετικά υφάσματα πέραν από την αρχική κατεργασία των νημάτων τους με διάφορα χημικά μέσα, ακολουθεί η επίστρωση στην επιφάνεια διαφόρων πλαστικών χημικών στρώσεων. Οι συγκεκριμένες στρώσεις είναι ζωτικής σημασίας και επιλέγονται πάντοτε με βάση την σύνθεση του υφάσματος. Για την σύγχρονη εποχή μερικά παραδείγματα είναι τα εξής : PTFE (Πολυτετραφθοροαιθυλένιο - ονομάζεται και Teflon) επικάλυψη για υαλουφάσματα (glass fabrics), το PVC (Πολυβινυλοχλωρίδιο) κατάλληλη επικάλυψη για πολυεστερικά υφάσματα (polyester fabrics) κτλ

[σχέδιο επάνω] Τομές του περιπτέρου που δείχνουν τις στάθμες να διατάσσονται σε διάφορα ύψη κάτω από την υφασμάτινη οροφή. Η κλίμακα του σχεδίου με την προσαρμογή της εδώ, είναι περίπου 1:1100. [εικ. κάτω] Η συναρμολόγηση και ανέγερση του μεταλλικού δικτυωτού φορέα είναι η πρώτη κατασκευαστική πράξη που εκτελείται.

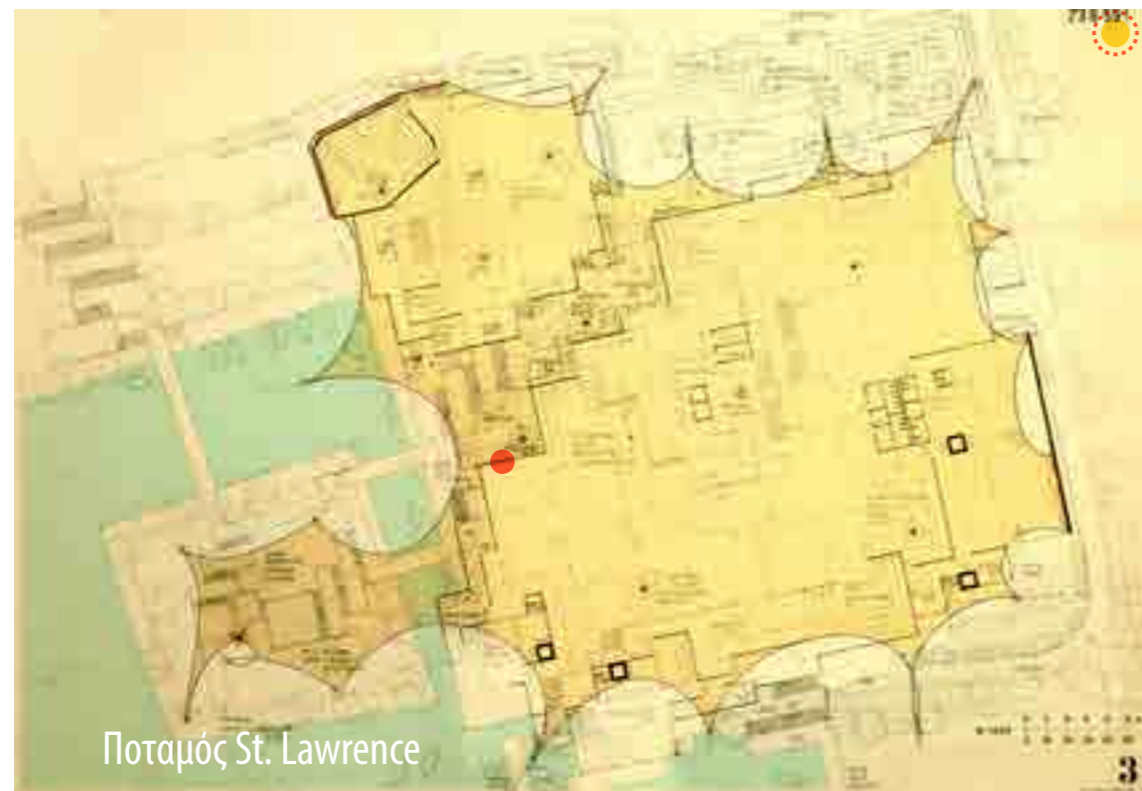


Κάτοψη Γερμανικού Περιπτέρου, Έκρο 1967.

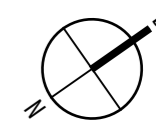
Επεξεργασία Δημήτρης Ευαγγέλου (σε ελεύθερη κλίμακα)

- σημεία τοποθέτησης των τεράστιων ιστών, σύνολο 8
- ☉ σημεία βυθίσεων και αγκύρωσης των βρόγχων, (eye loops)

Παρατήρηση : Η συγκεκριμένη κάτοψη είναι το σχέδιο του διαγωνισμού. Πιθανόν στην πορεία μελέτης κατασκευής να έγιναν αναπροσαρμογές, μια και παρατηρούνται κάποιες ασάφειες σε σχέση αυτής της κάτοψης με τις φωτογραφίες του τελικού έργου. Παράδειγμα, η τοποθέτηση του ιστού εντός της σκηνής στην αίθουσα Διαλέξεων, εν αντιθέσει με την τοποθέτηση στο περιμετρικό τοίχιο στα όρια της αίθουσας αυτής με το χώρο υποδοχής της. [βλέπε πάνω αριστερά, versamm raum δηλ. δωμάτιο συνέλευσης]



προσανατολισμός περίπου





συνέχεια από τη σελίδα 92

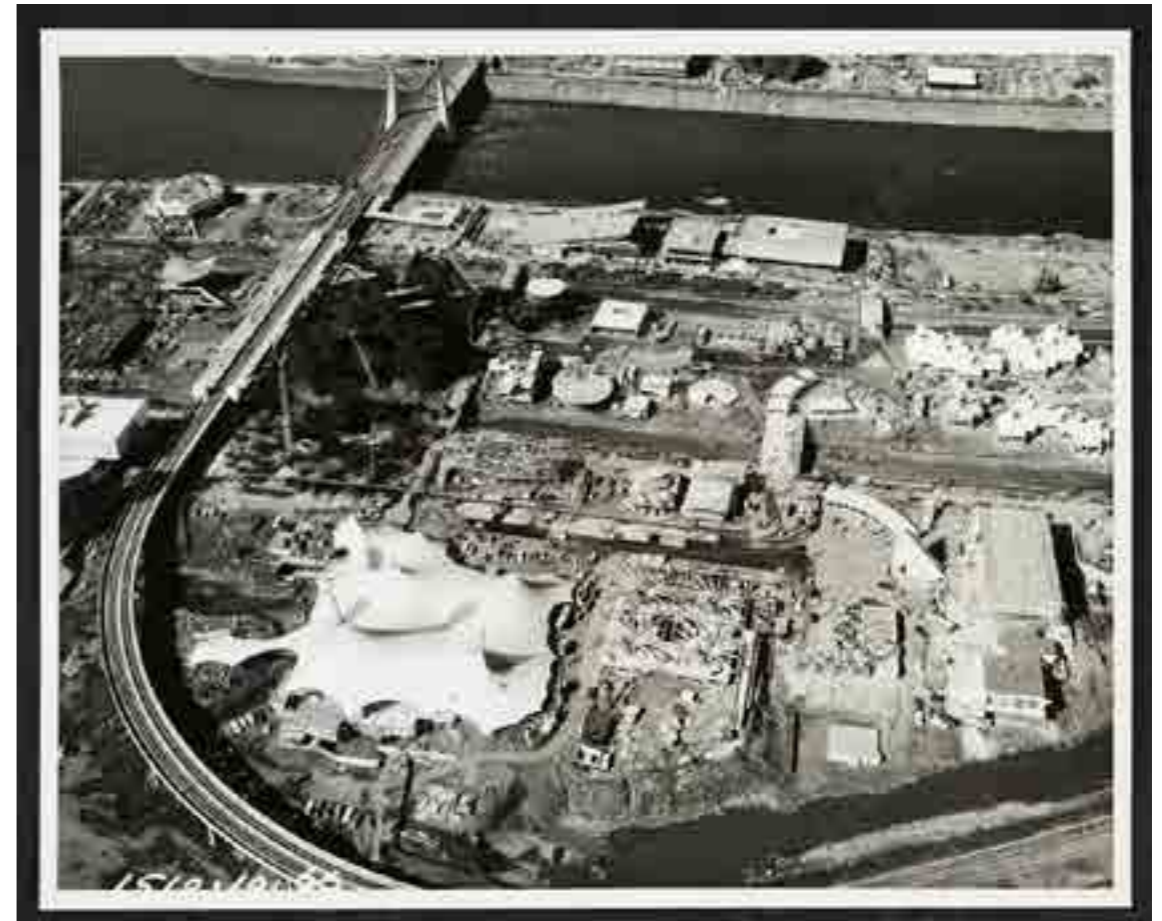
Ήδη το φθινόπωρο του 1966 το στέγαστρο ήταν έτοιμο. Σύμφωνα με μία αναφορά «... η ομάδα του Frei χρειάστηκε 20 000 εργατοώρες μελέτης και σχεδίασης γι' αυτό το περίπτερο (το στέγαστρο συγκεκριμένα) το οποίο ανεγέρθη μέσα σε τρεισήμισι βδομάδες»⁵⁸. Οι χιονοθύελλες και οι ισχυροί άνεμοι κατά την διάρκεια του χειμώνα που ακολούθησε, ήταν η πιο χειροπιαστή απόδειξη για την στατική επάρκεια της κατασκευής. Η κατασκευή στο επίπεδο της έκθεσης ήταν ακόμη στο στάδιο διεκπεραίωσης. Συναρμολογούμενα προκατασκευασμένα στοιχεία διαμόρφωναν ένα τοπίο από βατά επίπεδα σε διάφορες στάθμες. Η λογική της ελαφράς κατασκευής διαπερνούσε και αυτό το επίπεδο του έργου, αλλά αυτή τη φορά αναπτυσσόταν επί ενός ορθοκανονικού καννάβου. Το δεύτερο πιο εντυπωσιακό στοιχείο μετά το περίτεχνο στέγαστρο, ήταν η στέγαση του μικρού αμφιθεατρικού χώρου διαλέξεων και της υποδοχής του. Εκ φύσεως χώροι με ανάγκη απομόνωσης από τις άλλες οχλούσες λειτουργίες, στεγάζονταν με ξύλινες καμπυλόμορφες εσχάρες. Η περίπτωση του θόλου στο Essen επανερχόταν. Οι επίπεδες εσχάρες ανυψώνονταν κεντρικά μέχρι να πάρουν το αναμενόμενο σχήμα θόλου. Αυτή τη φορά δεν έμεναν ακάλυπτες αλλά έφεραν επικάλυψη από ξύλινες πλάκες (κόντρα πλακέ) και μεμβράνη.

συνέχεια στη σελίδα 99

58 Chris Wilkinson, SUPERSHEDS –second edition, σελ.110

«... η ομάδα του Frei χρειάστηκε 20 000 εργατοώρες μελέτης και σχεδίασης γι' αυτό το περίπτερο (στέγαστρο) το οποίο ανεγέρθη μέσα σε τρεισήμισι βδομάδες»

Εύκολα μπορούμε να διακρίνουμε πως τα υπόλοιπα γύρω περίπτερα είναι σε φάση ανέγερσης, τη στιγμή που το Γερμανικό περίπτερο του Frei Otto έχει ολοκληρώσει το στέγαστρο.





Κατασκευή της οροφής του κλειστού χώρου της αίθουσας Διαλέξεων και του foyer. Ο θόλος από την ξύλινη εσχάρα έρχεται στο σημείο σε επίπεδη μορφή και ανυψώνεται μέχρι να στερεωθεί περιμετρικά στο διαμορφωμένο πλαίσιο. Θυμίζει τον θόλο του Essen το 1962, μόνο που αυτή τη φορά είναι καλυμμένος με ξύλινες πλάκες κόντρα πλακέ, στρώση μόνωσης και επικάλυψη από μεμβράνη.



συνέχεια από τη σελίδα 96

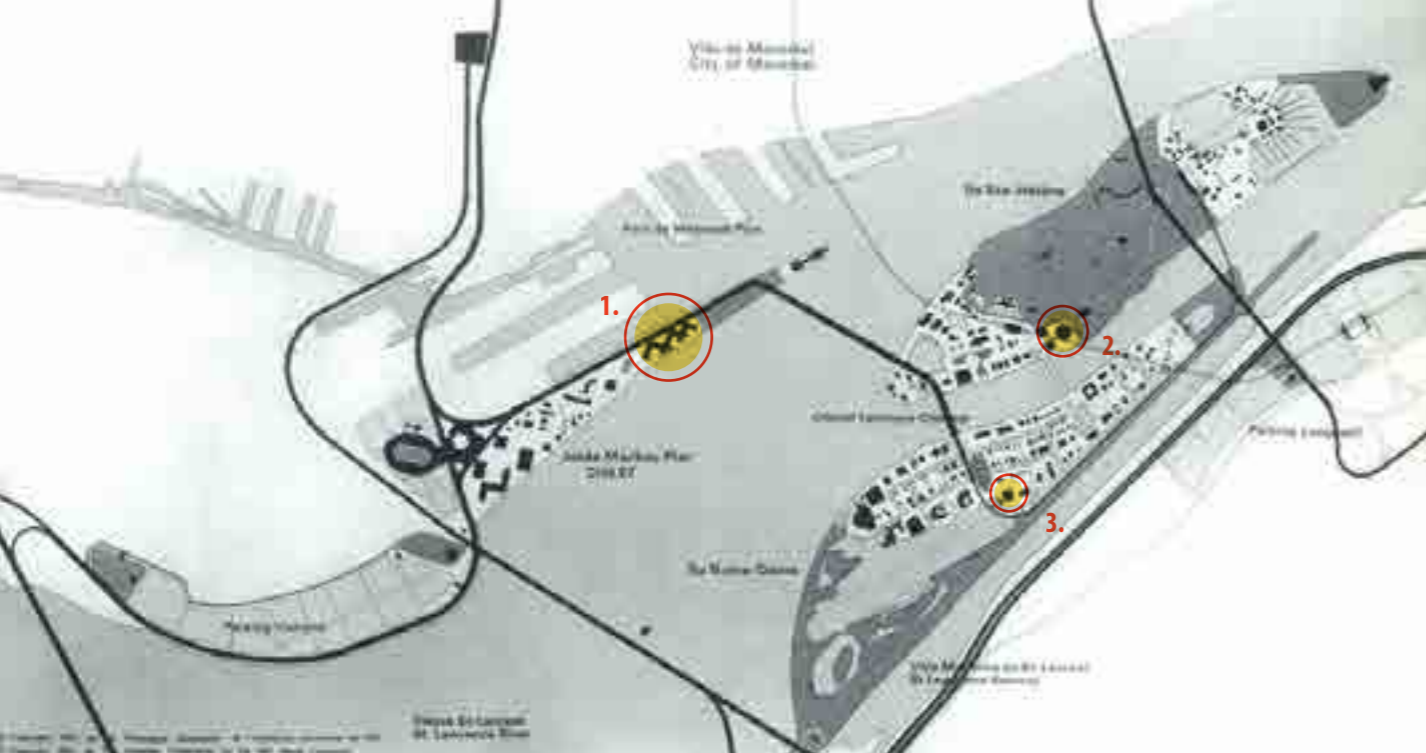
Τα μέσα της Άνοιξης είχαν περάσει και η Διεθνής Έκθεση, στις 28 Απριλίου του 67', άνοιγε τις πύλες της για το κοινό. Η συμμετοχή έφτανε τις 66 χώρες, αριθμός αρκετά μεγάλος σε σχέση με κάθε άλλη φορά. Πέρα από την αντικειμενική ανησυχία και εγρήγορση των αρχών για τα της έκθεσης, υπήρχαν και εξωγενείς παράγοντες οι οποίοι προκαλούσαν νευρικότητα. Οι διαδηλωτές ενάντια στον Πόλεμο του Βιετνάμ που διεξήγαγε (αρχές του 67') η Αμερική, έδωσαν το παρόν τους από την πρώτη μέρα. Η ανησυχία για τυχόν επιθέσεις στο Κουβανέζικο περίπτερο από αντιτιθέμενους στον Fidel Castro ήταν συνεχής, ομοίως και όταν ξέσπασε ο Αραβο-ισραηλινός πόλεμος των 6 ημερών, τον Ιούνιο, με την εν συνεχεία αποχώρηση της συμμετοχής του Κουβέιτ, ως διαμαρτυρία. Απαρατήρητη δεν πέρασε ούτε η προκλητική δήλωση του Γάλλου τότε πρόεδρου Charles De Gaulle, τον Ιούλιο, να λέει «Ζήτω το Μόντρεαλ... Ζήτω το Quebec... Ζήτω το ελεύθερο Quebec». Πέρα απ' όλα αυτά τα δύο νησάκια, στην μέση του ποταμού St.Lawrence, που φιλοξένησαν την έκθεση προσέφεραν στα 50 εκατομμύρια επισκεπτών, μέχρι το τέλος, μία πολυποίκιλη αρχιτεκτονική εμπειρία. Μερικά άλλα έργα που εντυπωσίασαν ήταν ο θόλος του Buckminster Fuller, περιπτερού της Αμερικής και το Habitat67 του Moshe Safdie. Μια ελεύθερα διατεταγμένη σύνθεση καθ' ύψος, διαμορφωμένη από προκατασκευασμένες μπετονένιες μονάδες, έδινε 146 κατοικίες. Το Περίπτερο της Δυτικής Γερμανίας δεν περνούσε απαρατήρητο, έστεκε περίχαρο, ανάλαφρο και εντυπωσίαζε με την μορφή του. Δικαίως στο τέλος χαρακτηρίστηκε από τους Καναδούς ως «Η αιωρούμενη Γερμανία» («Swinging Germany»⁵⁹) κάτι που ο Frei Otto εξέλαβε σαν δικαίωση των προσπαθειών του. Ήταν τότε που ο ίδιος δήλωσε ...«η ελπίδα μου για μια ελαφρά και ευέλικτη αρχιτεκτονική, μπορεί να φέρει μια νέα και ανοικτή (ευλικρινή) κοινωνία»⁶⁰. Το ίδιο το έργο έμοιαζε να αποπνέει την αίσθηση ενός γλυπτού που φιλοξενείται στο χώρο προσωρινά. Ο «κόσμος του Ανθρώπου», όπως ήταν και το μότο της έκθεσης, έπρεπε να απαλλαγεί οριστικά από τα κατάλοιπα της σκοτεινής εποχής, που τα κτήρια του Sreer απέβλεπαν την αιωνιότητα και την επιβολή τους στο τοπίο και τον άνθρωπο. Την νύκτα η παρουσία του Γερμανικού περιπτερού ήταν ακόμη πιο εντυπωσιακή, μια και ο εσωτερικός φωτισμός διαπερνούσε την υφασμάτινη επιφάνεια και μετέτρεπε το έργο ως ένα φωτεινό φάρο στις όχθες του ποταμού St.Lawrence.

Για την ιστορία, το συγκεκριμένο περίπτερο τόσο εντυπωσίασε τους Καναδούς, ώστε ζήτησαν να παραμείνει στο χώρο και πέραν του τέλους της έκθεσης. Αυτό γλύτωσε τους Γερμανούς από τα έξοδα αποσυναρμολόγησης! Το στέγαστρο αυτό παραχωρήθηκε στους νέους της πόλης για διάφορες δραστηριότητες. Έξι χρόνια μετά κατεδαφίζεται για τις επερχόμενες προετοιμασίες του χώρου, για τους Ολυμπιακούς Αγώνες του 1976.

συνέχεια στη σελίδα 105

59 Πρωτογενής Πηγή : άρθρο της εποχής από τον δημοσιογράφο Rudolf W. Leonhardt «Swinging Germany» ,σημερινή πηγή: <http://www.zeit.de/1967/19/swinging-germany> - ηλεκτρονικό αρχείο εφημερίδας ZeitOnline. (επιβεβαιώνεται και στο βιβλίο Frei Otto Complete Works, Birkhauser, σελ.236

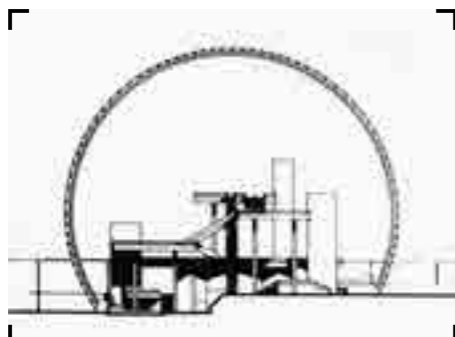
60 πρωταρχική πηγή: "Der Herr des Augenblicks. Seine Liebe gilt dem Leichten und Beweglichen: Ein Zeit-Gesprach mit Frei Otto". Die Zeit, February 2,2003 , δευτερεύουσα πηγή Frei Otto Complete Works, Birkhauser, σελ. 9



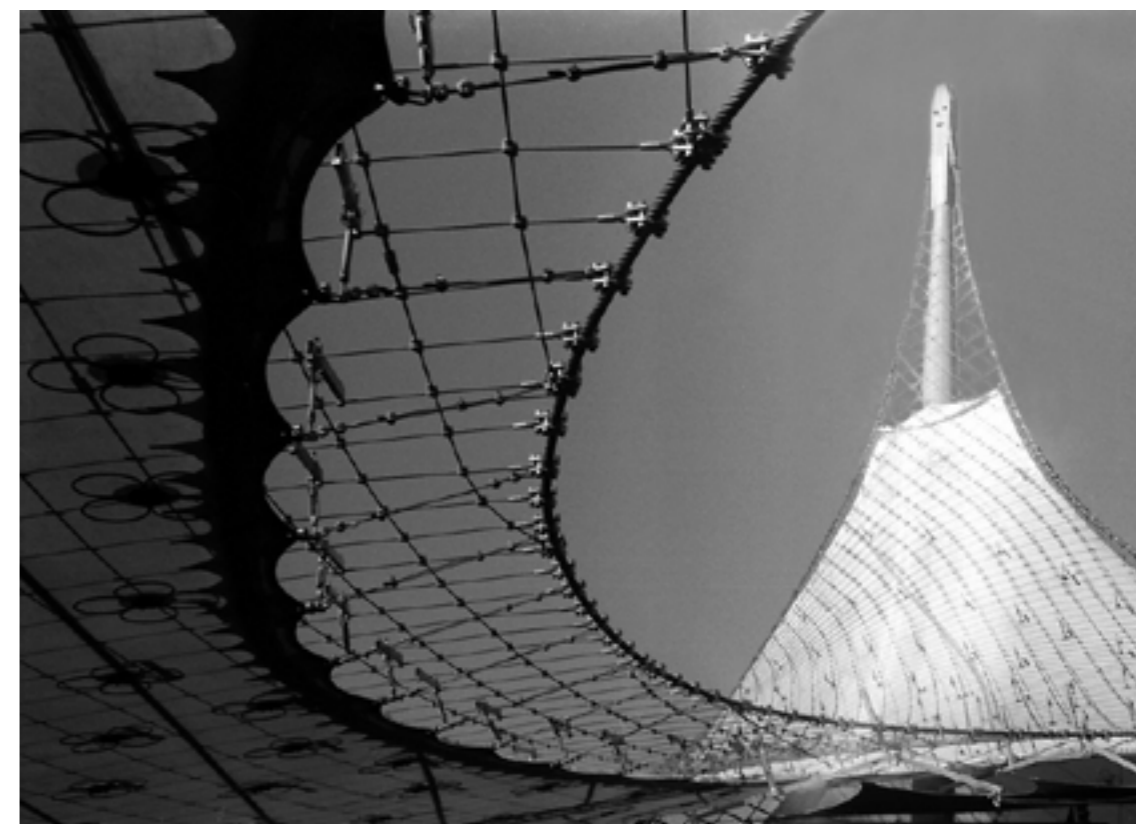
1. Habitat 67', αρχιτέκτονας Moshe Safdie. Προτείνει μια νέα σχεδιαστική αντιμετώπιση της αστικής κατοικίας. Μια φαινομενικά ελεύθερη διάταξη 354 προκατασκευασμένων μονάδων (modules), συνθέτουν 158 κατοικίες (κάποιες ενώθηκαν και μειώθηκε στις 146). Υπάρχει μια συνεχής εναλλαγή υπαίθριων και ημιυπαίθριων χώρων για όλες τις κατοικίες. Το έργο αυτό δεν είχε προσωρινό χαρακτήρα στην έκθεση, σήμερα ακόμη κατοικείται. [πληροφορίες: επίσημη ιστοσελίδα αρχ. γραφείου <http://www.msafdie.com>]



2. Βιόσφαιρα (Biosphere), Buckminster Fuller, περίπτερο της Αμερικής. Ο τεράστιος αυτός θόλος με διάμετρο 76m και ύψος 62m είναι μια επινόηση βάση της επανειλημμένης ιδέας του Fuller για θόλους που εγκιβωτίζουν ζωή και δημιουργούν ένα προστατευμένο περιβάλλον. Σήμερα λειτουργεί ως Μουσείο Περιβάλλοντος. [πληροφορίες ιστοσελίδα του Υπουργείου περιβάλλοντος Καναδά <http://www.ec.gc.ca>]



3. Γερμανικό Περίπτερο, Η ιδέα για ένα ανθρωπογενές τοπίο. Το μόντο του της Διεθνούς Εκθέσεως στο Μόντρεαλ ήταν η «Γη των Ανθρώπων» («Terre des Hommes»).



Εσωτερική άποψη του Περιπτέρου. Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό των επιφανειών από μεμβράνη είναι η διαπερατότητα του φωτισμού, κατά ένα ποσοστό. Ο διάχυτος φωτισμός εντός του είναι χαρακτηριστικός.



Διάφορες οπτικές εντός και εκτός του Γερμανικού Περιπτέρου. Χαρακτηριστική η εμφάνιση των αναρτήσεων της μεμβράνης, τόσο εξωτερικά όσο και εσωτερικά. Στην κάτω αριστερά φωτογραφία φαίνεται και το υπέργειο τραινάκι της έκθεσης.



Η εμφάνιση της ίδιας πλευράς του κελύφους τη μέρα και τη νύκτα. Σημαντικά χαρακτηριστικά των ιδιοτήτων των επιφανειών από μεμβράνη είναι η αντανάκλαση (reflection) και η μετάδοση (transmission) του φωτισμού (αυτό το χαρακτηριστικό εμφανίζεται σε πολλούς πίνακες ως «διαύγεια» - light translucency). Η αντανάκλαση μπορεί να κυμαίνεται από 20-75% και η μετάδοση από 0-40% για συνήθη συνθετικά υφάσματα (για πλαστικά ελάσματα - foils μπορεί να φτάνει και το 95%). Με 5% ικανότητα μετάδοσης του φωτισμού, ο υποκείμενος χώρος στις ηλιόλουστες μέρες δεν χρειάζεται τεχνητό φωτισμό. [τεχνικά στοιχεία από τον πίνακα του βιβλίου: Klaus Michael Koch, Membrane Structures, Prestel 2004, σελ.58-59]



συνέχεια από τη σελίδα 99

Μερικές άλλες σκέψεις ...

Το Γερμανικό περίπτερο αναμφίβολα αποτέλεσε ορόσημο για τις ελαφρές κατασκευές από μεμβράνη χάρη στην κλίμακα αλλά και την τεχνική του αρτιότητα. Όλα τα έργα που προηγήθηκαν αυτής της εντυπωσιακής κατασκευής, εναπόθεσαν το καθένα ξεχωριστά, από ένα λιθαράκι στη εξέλιξη αυτών των καμπυλόμορφων κατασκευών. Βέβαια δεν πρέπει να παραγνωρίζεται και το γεγονός πως η τεχνολογική εξέλιξη και η χημική βιομηχανία⁶¹ συνέδραμαν τα μέγιστα. Εγγενές χαρακτηριστικό των υφασμάτων αυτών κατασκευών είναι η απόδοση μορφών διπλής καμπυλότητας. Ο συνθετικός χειρισμός αυτών, επιτάσσει μια ευαισθησία αλλά και διαίσθηση. **Ευαισθησία** συνθετική, στο πώς θα έρθουν να «συνδιαλλαγούν» μορφολογικά με τα υπόλοιπα ορθοκανονικά στοιχεία ενός έργου και **διαίσθηση**, υπό την έννοια της ενόρασης για την τελική μορφή που θα πηγάζει μέσα από το δομικό σύστημα. Η διαίσθηση ίσως να προλαμβάνει τις αυτόνομες διαδικασίες μορφοποίησης! κάτω από αυτές τις περιοχές παρατηρείται να συναθροίζονται ασυναίσθητα περισσότερα άτομα.

61 Χάρη στην ανάπτυξη της χημικής βιομηχανίας δημιουργήθηκαν τα συνθετικά υφάσματα, οι πλαστικές επικαλύψεις και άλλα υγρά που εμπότιζαν τις επιφάνειες για να αποκτήσουν τεχνικές και αισθητικές ιδιότητες. Όλες αυτές οι χημικές ενώσεις μπορούσαν να δώσουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής χάρη στην προστασία των ινών του υφάσματος, αντοχή στους ρύπους και κάθε άλλο διαβρωτικό στοιχείο της ατμόσφαιρας, προστασία από τις υπεριώδεις ακτίνες του ηλίου που θα κινδύνιζαν το ύφασμα, δυνατότητα μιας επιφάνειας να αντιστέκεται στην επικόλληση της ατμοσφαιρικής σκόνης και τους ρύπους κτλ Άλλωστε σήμερα τα οι ποιοτικές διαφορές των μεμβρανών έγκεινται σ' αυτές τις χημικές επικαλύψεις.



Millennium Dome (O₂ Arena)



Εν αναμονή της νέας χιλιετίας το Λονδίνο, θέλοντας να την υποδεχθεί με τον καλύτερο τρόπο, αποφασίζει τη ριζική αναδιαμόρφωση μιας τεράστιας έκτασης στη χερσόνησο του Greenwich (Greenwich Peninsula). Η βαριά βιομηχανία και το εργοστάσιο φωταερίου που κάποτε υπήρχαν στην περιοχή, συγκέντρωναν γύρω τους τις εργατικές συνοικίες. Μαζί μ' αυτές τα σχολεία, η εκκλησία, τα καταστήματα και οι μπουραρίες συνέθεταν μια συγκροτημένη, σφύζουσα από ζωή, περιοχή του ευρύτερου Λονδίνου. Δεν είχε καλά καλά συμπληρωθεί ένας αιώνας και η δεκαετία του 80' βρίσκει την περιοχή εγκαταλελειμμένη και μολυσμένη από τα βιομηχανικά απόβλητα. Το 1996 ανατίθεται στο αρχιτεκτονικό γραφείο του Richard Rogers η εκπόνηση ενός ρυθμιστικού σχεδίου, με την ονομασία «Η εμπειρία της νέας Χιλιετίας». Μαζί με την πρόνοια για εκθεσιακούς χώρους και χώρους δραστηριοτήτων υποδοχής της Νέας Χιλιετίας, το σχέδιο έπρεπε να θέτει ως στόχο τη βραχυπρόθεσμη μετατροπή της περιοχής σε ένα νέα οικιστικό, εμπορικό και οικονομικό διαμέρισμα της πόλης.

Το όλο εγχείρημα ενδυναμωνόταν και με το νέο σταθμό μετρό (North Greenwich Underground), χάρη στην επέκταση του δικτύου της πόλης (Jubilee Line). Η σχεδίαση βασιζόταν στην εκατέρωθεν ανάπτυξη επί ενός κεντρικού πάρκου, άξονα πρασίνου με εκτεταμένους πεζόδρομους και ποδηλατοδρόμους. Ο κυρίαρχος άξονας κινήσεων, Νότου-Βορρά, οδηγούσε σε έναν τεράστιο θόλο, ο οποίος ανταποκρινόταν στην οφιοειδή πορεία του Τάμεση, σηματοδοτώντας παράλληλα και την απόληξη της ανάπτυξης. Εντός του τεραστίου αυτού θόλου, με εξωτερική διάμετρο 356m (κάλυπτε περί το 100 000m²), θα στεγάζονταν οι εκδηλώσεις υποδοχής της νέας Χιλιετίας, αλλά και διάφορες άλλες περιοδικές εκθέσεις για το κοινό. Η συνθετική ιδέα για τον εκθεσιακό αυτό θόλο, ήταν η αναπαράσταση ενός νέου Κόσμου, ενός Σύμπαντος, εντός του οποίου θα λάμβαναν χώρα δραστηριότητες πλημμυρισμένες με ενέργεια. Η έννοια του Χρόνου σ' αυτό το νέο «μικρόκοσμο» συλλαμβανόταν ως οι δώδεκα μήνες του χρόνου και αυτοί με τη σειρά τους ανάγονταν στις δώδεκα ώρες ενός ρολογιού. Η αντίστιξη αυτή υλοποιήθηκε με τους δώδεκα πυλώνες και το εκτεταμένο δίκτυο από καλώδια που έφεραν έβρισκε αναφορά στους αστρονομικούς χάρτες με τα δίκτυα των αστερισμών. Ένα νέο σύμπαν όριζε τον δικό του χάρτη. Το ότι ο θόλος αυτός βρισκόταν πλησίον του Πρώτου Μεσημβρινού¹ του προσέδιδε περαιτέρω συμβολισμούς.

συνέχεια στη σελίδα 113

1 Το Greenwich είναι σημείο αναφοράς για του χάρτες, μια και το Γεωγραφικό του Μήκος είναι 0°.

Tunnel Avenue 1908 - Στη φωτογραφία διακρίνεται σε πρώτο πλάνο η ενοριακή εκκλησία St. Andrew και στο φόντο κυριαρχούν τα δύο τεράστια αεριοφυλάκια.



Blackwall Tunnel, 1937



Greenfell Street, Greenwich Peninsula, 1970



Η σημερινή χερσόνησος του Greenwich (Greenwich Peninsula) μέχρι τα μέσα του 19ου αιώνα ήταν περισσότερο γνωστή ως το έλος του Greenwich. Η επιχωμάτωση της περιοχής στις όχθες του ποταμού Τάμεση βοήθησε την σταδιακή αποστράγγιση της περιοχής. Περί τα τέλη του αιώνα αρχίζουν να εγκαθίστανται βαριές βιομηχανίες, μαζί με αυτές και το εργοστάσιο παραγωγής φωταερίου, το **1880**, επέκταση του συνεταιρισμού South Metropolitan Gas Company. Μεγάλος αριθμός εργατικών συνοικιών άρχισε να αναπτύσσεται τριγύρω, δίνοντας ζωντάνια στην περιοχή. Δεν περνούν λίγα χρόνια και το 1897 κατασκευάζεται η υπόγεια σήραγγα, η **Blackwall Tunnel**, που διευκόλυνε την επικοινωνία της περιοχής με την απέναντι παρόχθια περιοχή της πόλης. Στη διάρκεια του 2ου Π.Π. το Λονδίνο ισοπεδώνεται σε μεγάλο βαθμό μαζί και τις βιομηχανίες του. Στη μεταπολεμική περίοδο η φθίνουσα πορεία που ακολούθησαν οι βιομηχανίες του Greenwich είχε ως αντίκτυπο την σταδιακή εγκατάλειψη της περιοχής. Τα μέσα του 80' η περιοχή έδινε μια εικόνα αποσύνθεσης, κατά ένα μεγάλο μέρος ερειπωμένη και μολυσμένη από τα βιομηχανικά απόβλητα.

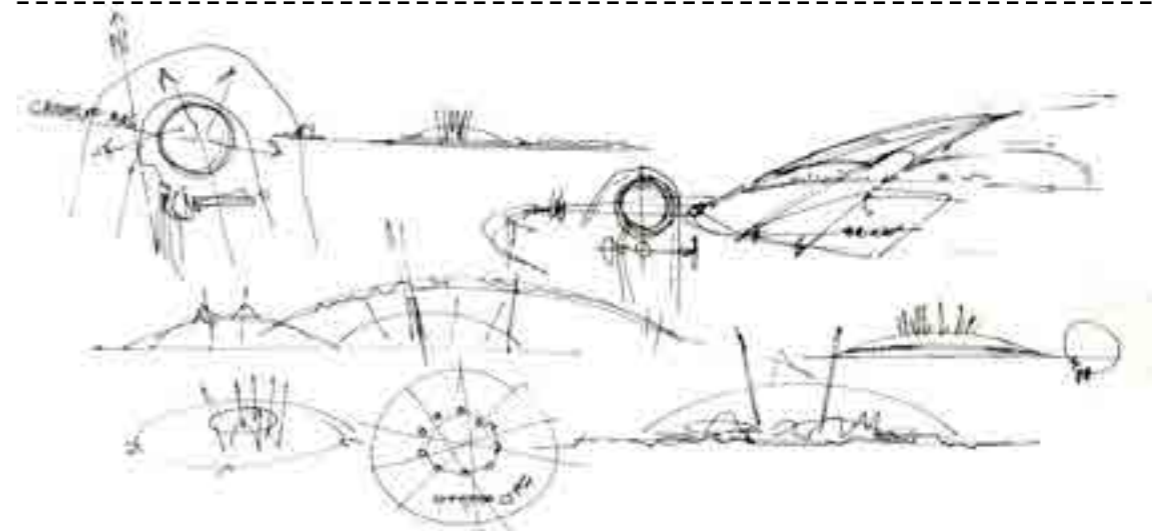
[πηγή : www.ideal-homes.org.uk - A History of South-East London Suburbs]

Φωτογραφία που παρουσιάζει την Greenfell street, στην χερσόνησο του Greenwich, το **1970**. Στο φόντο διακρίνονται έντονα οι καμινάδες από το εργοστάσιο παραγωγής φωταερίου. Αργότερα όλα αυτά είχαν κατεδαφιστεί και σήμερα στο σημείο στέκει το Millennium Dome.

συνέχεια από τη σελίδα 110

Σ' αυτό το σημείο πέραν της ορθολογικής σκέψης που θα επέβαλλε ο δομικός ρασιοναλισμός του έργου, αξίζει να γίνει μία θεωρητική προσέγγιση στην αιτία που συνδέει το σχήμα του θόλου και την ιστορικά επαναλαμβανόμενη δήλωση για ένα νέο κόσμο. Η αποτύπωση ενός νέου κόσμου που μπορεί να αυτορυθμίζεται κλιματικά, στα σχέδια του Frei Otto απαντά με τον αεροφερόμενο θόλο της «Πόλης στην Αρκτική» (συνεργασία με τον Kenzo Tange). Η προστασία του Manhattan, εμφανίζεται από τον Buckminster Fuller, ξανά ως ένας τεράστιος θόλος. Η θέση του Παντοκράτορα στον τρούλο, για τον πιστό είναι πιο επιβλητική και έντονη στο να του μεταδώσει την ιδέα του υπερβατικού, παρά στο τέμπλο.

συνέχεια στη σελίδα 114



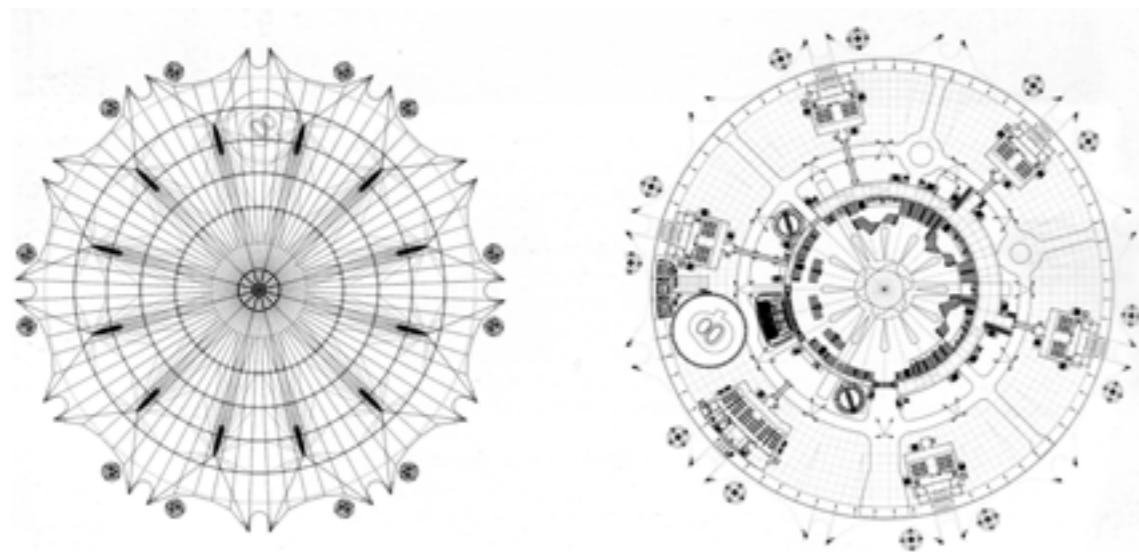
Πρώτα σκαρφήματα του Richard Rogers για την ιδέα του έργου αυτού. Στο αριστερό άκρο πάνω, παρατηρούμε το κυκλικό αποτύπωμα της κάτοψης και τους δείκτες emphaticά να διατάσσονται ακτινικά προς τα έξω. Η σίγουρη εκδοχή είναι πως ήθελε να είναι **περίοπτο** το έργο αυτό, από τις απέναντι παραποτάμιες περιοχές και τα βαπόρια που κινούνται στον Τάμεση. Η δεύτερη πιθανή σκέψη, ίσως να ήταν η ηθελημένη συνθετική κίνηση για την κυριαρχία του κτηρίου αυτού στο χώρο.

Η σχεδιαστική ομάδα του Richard Rogers, με τη στήριξη του γραφείου δομικών μηχανικών Buro Happold, έθεσαν ως στόχο μια ελαφρά, οικονομική και γρήγορη στην διεκπεραίωση κατασκευή. Οι εργασίες άρχισαν τον Ιούνιο του 1997 με την κατάλληλη προετοιμασία του εδάφους και την ενίσχυση αυτού με 8000 πασσαλοδοκούς. Η δημιουργία ενός μπετονένιου δακτυλίου με διάμετρο 200m θα έφερε τις βάσεις για τους τεράστιους πυλώνες. Μετά από τέσσερις μήνες, τον Οκτώβριο, καταφθάνουν στο σημείο τα στοιχεία για τους πυλώνες. Κάθε πυλώνας έφτανε τα 100m μήκος και αποτελείτο από 60 προκατασκευασμένα τμήματα τα οποία συγκολλούνταν επί τόπου. Η διαδικασία ανέγερσής τους, βοηθούμενη από δύο γερανούς κράτησε 2 μόνο βδομάδες και κάθε πυλώνας στηριζόταν από αγκυρωμένα καλώδια περιμετρικά, σε **προσωρινές** θέσεις στο έδαφος. Το πιο εντυπωσιακό στάδιο της μελέτης ήταν η έρευνα για τη βέλτιστη και οικονομικότερη ανύψωση, τόσο των πυλώνων όσο και του υπόλοιπου καλωδιωτού φορέα. Από τις διαμορφωμένες κορυφές κάθε πυλώνα θα αναρτώνταν καλώδια που θα ανύψωναν σταδιακά τον κεντρικό δακτύλιο και τα υπόλοιπα στοιχεία. Κάθε στάδιο έπρεπε να γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να ισορροπεί το σύστημα και να μην ξεφεύγει από τις αναμενόμενες φορτίσεις και παραμορφώσεις.

Η σαφής και διεξοδική μελέτη για τα βήματα που πρέπει πιστά να ακολουθήσει ένα έργο, κατά την συναρμολόγησή του είναι ζωτικής σημασίας για την πλειοψηφία των εφελκόμενων κατασκευών, είτε καλωδιωτών, είτε με μεμβράνη. Η συμβατική ανέγερση μίας κατασκευής με την σταδιακή διαμόρφωση του φέροντα σκελετού και της μετέπειτα συμπλήρωσης αυτού με στοιχεία πλήρωσης, αντιστοιχεί στις περιπτώσεις που μία μεμβράνη έρχεται τελευταία, να εφαρμόσει σε ένα συμβατικό άκαμπτο φορέα. Οι πιο δύσκολες περιπτώσεις είναι αυτές που ο πρωταρχικός φορέας αποτελείται από άκαμπτα και εύκαμπτα στοιχεία, τα οποία πρέπει ταυτόχρονα να λειτουργήσουν και να μορφοποιήσουν το σύστημα που θα τους δώσει και την τελική ευστάθεια. Για τα ενδιάμεσα στάδια της ανέγερσης μπορεί να χρειαστεί η διαμόρφωση υποδοχών και διαφόρων άλλων μορφολογικών στοιχείων (π.χ. κανάλι για να συρθεί μια δοκός, αρθρωτοί ή πλήρους περιστροφής κόμβοι κτλ) τα οποία μετά το πέρας της κατασκευής να μην έχουν καμία χρησιμότητα αλλά να παραμένουν εμφανή. Η πνευματώδης μελέτη για την διαδικασία ανέγερσης περιπλέκεται ακόμη περισσότερο με τις δυνατότητες και τους περιορισμούς βάση οικονομικών κριτηρίων. Για παράδειγμα στο Millennium Dome η χρήση ανυψωτικών μηχανημάτων, γερανών, έπρεπε να γίνει κατά τέτοιο τρόπο ώστε να μην χρειαστούν παραπάνω από δύο γερανούς αλλά και την ελάχιστη δυνατή παραμονή τους στο χώρο, χάρη στο υψηλό ενοίκιο.

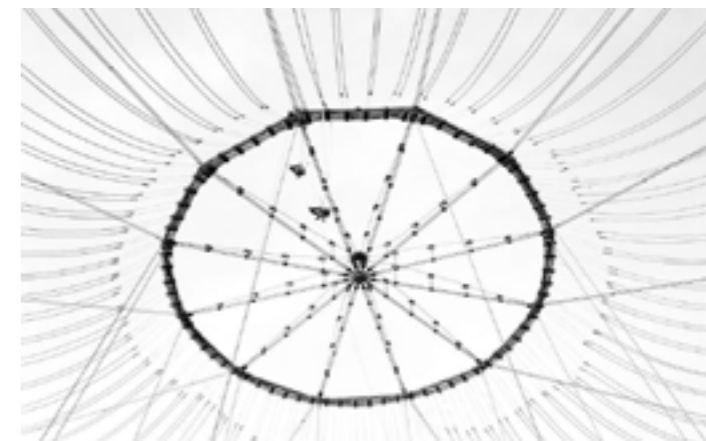
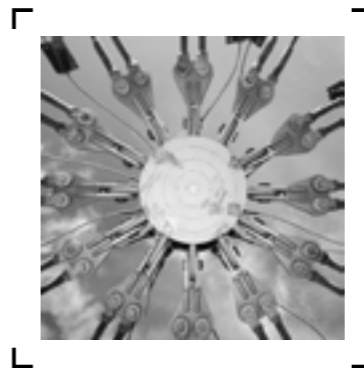
συνέχεια στη σελίδα 118

> κάτοψη οροφής θόλου και εσωτερικού



Τα πρώτα στοιχεία που συναρμολογούνται είναι οι πυλώνες. Ακολούθως ανυψώνεται ένας ένας και στερεώνεται επάνω στις τετράποδες μεταλλικές βάσεις, έχοντας περιμετρικά καλώδια να το ισορροπούν. Η διαδικασία αυτή κράτησε 2 μόνο βδομάδες, για την όλη ανέγερση χρειάστηκαν δύο γερανοί. Τα διαγράμματα κάτω, εκπονημένα από το γραφείο μηχανικών Buro Happold δείχνουν 2 φάσεις που πρέπει να ακολουθηθούν για την σταδιακή ανέγερση του καλωδιωτού φορέα. [Συμπλήρωση από τον ίδιο, Δημήτρη Ευαγγέλου, περαιτέρω στοιχείων επάνω στα διαγράμματα]

Στο σημείο της άρθρωσης του πυλώνα στην πυραμιδοειδή βάση, υπάρχουν αναμονές για να περάσουν καλώδια τα οποία θα στηρίζουν τον καλωδιωτό φορέα του θόλου, θα έχουν φορά προς τα πάνω.



Στις εικόνες επάνω βλέπουμε τον κεντρικό δακτύλιο, στον οποίο συνέχονται όλα τα ακτινικά διατεταγμένα καλώδια. Αν κάθε τέτοιο καλώδιο φέρει προένταση (εφελκυσμό) περί τα 400kN (40 tn - τόνους), μπορούμε να καταλάβουμε τι φορτίσεις προορίζεται να αναλάβει ο δακτύλιος. Ως εκ τούτου, αυτός διαμορφώνεται από πάρα πολλά καλώδια μεγάλης αντοχής (γι' αυτό φαίνεται και πιο έντονα στην φωτογραφία).

Στην τελευταία αριστερά φωτογραφία μπορούμε να πάρουμε μια αίσθηση της κλίμακας του έργου. Ο πυλώνας στερεώνεται στην τετράποδη βάση από μεταλλικούς σωλήνες, σε ύψος 10m από το έδαφος.

συνέχεια από τη σελίδα 114

Ο καλωδιωτός φέροντας οργανισμός πλέον ήταν έτοιμος. Τα 72 ζεύγη καλωδίων έτρεχαν ακτινικά στον κεντρικό δακτύλιο, διαμέτρου 30m και στηρίζονταν αμοιβαία από τους πυλώνες, με ένα εκτεταμένο δίκτυο από καλώδια-βραχίονες που ξεπερνούσε τα 70km σε μήκος. Τα ακτινικά αυτά καλώδια, στο άλλο άκρο, στερεώνονταν στην κυματιστή περιμετρική ακμή της βάσης (διαμορφωμένη από ισχυρό καλώδιο) και αυτή με τη σειρά της αγκυρωνόταν αρθρωτά σε 24 μπετονένιες βάσεις που προεκτείνονταν βαθιά μέσα στο έδαφος (περί τα 24m). Οι ισχυρές αυτές βάσεις είναι ένδειξη του μεγάλου φορτίου που μετέφεραν, κάθε ακτινικό καλώδιο ήταν προεντεταμένο με δύναμη 400kN (δηλ. πιο απλά το κάθε καλώδιο έφερε ένα φορτίο ίσο με 40 τόνους). Ακόμη ένα εγγενές χαρακτηριστικό των εφελκόμενων κατασκευών, είναι το μέγεθος της προέντασης και η φέρουσα ικανότητα του φορέα. Σε κατασκευές από μεμβράνη όσο πιο μεγάλη προένταση απαιτείται για να αποκτήσει το τελικό της σχήμα, τόσο πιο ισχυρό φέροντα περιμετρικό σκελετό χρειάζεται. Άρα μπορούμε να πετύχουμε **πιο κομψές μορφολογικά κατασκευές** αν επιτύχουμε μικρότερη απαίτηση για προένταση, ή κοινώς αν διασπάσουμε τις μεγάλες επιφάνειες σε μικρότερα τμήματα. Η ακραία περίπτωση για να απαλείψουμε την ανάγκη ενός εξωτερικού φορέα που θα μεταφέρει την προένταση μέσω αυτού στο έδαφος, είναι η επίτευξη της ανακύκλωσης των εντατικών δυνάμεων στο ίδιο το σύστημα, διατηρώντας το σχήμα του. Κάτι παρόμοιο με την ρόδα του ποδηλάτου. Ένας εξωτερικός δακτύλιος-στεφάνη που θλίβεται και ένας εσωτερικός να εφελκείται μαζί με τις ακτίνες. Αυτό το σύστημα βρίσκει ευρεία εφαρμογή σε περιμετρικές στεγάσεις σταδίων.

Με το φέροντα καλωδιωτό οργανισμό έτοιμο, η εφαρμογή της μεμβράνης ήταν απλά διαδικαστικής φύσεως. Όλη αυτή η επιφάνεια του θόλου θα κάλυπτε ένα εσωτερικό χώρο παραπάνω από 80 000m² (διάμετρος περιμετρικής εύκαμπτης τζαμαρίας 320m). Η χαρακτηριστική έκκεντρη τρύπα στην καλυμμένη από μεμβράνη επιφάνεια του θόλου, θα ήταν στο σημείο που βρισκόταν ο τεράστιος πύργος εξαερισμού. Ο εξαερισμός αυτός δεν ανήκε στις εγκαταστάσεις του Millennium Dome, αλλά στην υπόγεια σήραγγα του αυτοκινητοδρόμου Blackwall Tunnel, που περνούσε κάτω από αυτόν. Με την εσωτερική ανάρτηση ενός ικρίωματος επί των καλωδίων και τη σταδιακή μετατόπισή του, η εφαρμογή της μεμβράνης επιτεύχθηκε εύκολα. Η τελική αυτή επιφάνεια ουσιαστικά ήταν διαμορφωμένη από δύο στρώσεις μεμβράνης. Η εξωτερική ήταν από συνθετικό ύφασμα υαλοβάμβακα επικαλυμμένο με PTFE (Teflon), με διάρκεια ζωής άνω των 25 χρόνων. Η εξωτερική αυτή στρώση ήταν επίσης εμποτισμένη με επιπλέον χημικά στοιχεία που προσέφεραν την δυνατότητα να αυτό-καθαρίζεται². Η δεύτερη υποκείμενη στρώση προσέφερε μια ελάχιστη θερμομόνωση για την αποφυγή του φαινομένου της συμπύκνωσης των υδρατμών και την παραπέρα εμφάνιση σταγόνων στο εσωτερικό κοίλο.

Οι καινοτομίες σ' αυτόν το θόλο, την μεγαλύτερη υφασμάτινη οροφή του κόσμου ήταν πάρα πολλές. Μερικές από αυτές ήταν η διαμόρφωση κωνικών απολήξεων από μεμβράνη στα σημεία λίγο πριν την αγκύρωση στις βάσεις, με σκοπό να συλλέγουν τα βρόχινα νερά από την οροφή. Τα συγκεκριμένα νερά φιλτράρονταν και χρησιμοποιούνταν για τους χώρους υγιεινής. Οι δραστηριότητες που θα λάμβαναν χώρα εντός του θόλου, μαζί με τις διάφορες μηχανικές εγκαταστάσεις και τους φωτισμούς θα προκαλούσαν αύξηση της εσωτερικής θερμοκρασίας. Ο έλεγχος της εσωτερικής ατμόσφαιρας ήταν απαραίτητος και η ρύθμιση- ανανέωση του εσωτερικού αέρα έπρεπε να προβλεφθεί. Από τον κεντρικό δακτύλιο, την κορυφή του θόλου, στα 50m ύψος θα γινόταν η εξαγωγή του αέρα. Αυτή θα ενισχυόταν και από μηχανισμούς στα σημεία που οι πυλώνες διατρπούσαν την οροφή. Για αυτήν την κίνηση του αέρα έπρεπε να υπάρχει ταυτόχρονα και η εισαγωγή φρέσκου. Γι' αυτό το σκοπό σχεδιάστηκαν εξωτερικές εγκαταστάσεις παροχής, οι οποίες βρίσκονταν εντός κυλινδρικών πύργων, οι οποίοι παρέπεμπαν στα παλιά αεριοφυλάκια της περιοχής.

συνέχεια στη σελίδα 124

² Η ιδιότητα αυτή, χάρη στις σύγχρονες χημικές επικαλύψεις, δεν αφήνει την ατμοσφαιρική ρύπανση ή την σκόνη κτλ να εισέρθει στη δομή του υφάσματος και να το αλλοιώσει εμφανισιακά, μάλιστα με τα πρώτα βρόχινα νερά τα ξένα στοιχεία φεύγουν.

Στο μοναδικό σημείο που χρειάστηκε να στηθεί ικρίωμα (σκαλωσιά) ήταν για τον κεντρικό δακτύλιο, που βρισκόταν 50m από το έδαφος. Σε αυτή την οπή στη στέψη του θόλου, θα εφάρμοζαν στοιχεία που θα ανοιγόκλειναν ηλεκτροκίνητα για να λειτουργεί ως εξαερισμός. Το μέγεθος της διαμέτρου 30m. Πέρα αυτού σημεία εξαερισμού υπήρχαν και εντός των πυλώνων, στα σημεία που διατρπούσαν το θόλο (εικόνα πάνω αριστερά). Η εφαρμογή της μεμβράνης έγινε με ένα εναέριο ικρίωμα το οποίο αναρτώνταν από τον καλωδιωτό φορέα και περιστρεφόταν γύρω από τον κεντρικό κατακόρυφο άξονα.





Πραγματική ορειβασία ήταν η αποστολή για τους εργάτες που θα εφάρμοζαν την μεμβράνη. Αν η αρχική χαλαρή ανάρτηση της μεμβράνης γινόταν με το εναέριο ικρίωμα, τώρα η τελική προένταση και στερέωση (στα ακτινικά καλώδια) γίνεται από την εξωτερική πάνω πλευρά. Ο αρμός κατά μήκος των καλωδίων που εφάρμοζε η μεμβράνη, σφραγιζόταν με μια λωρίδα υφάσματος την οποία συγκολλούσαν στις δύο εκατέρωθεν πλευρές (εικόνα κάτω αριστερά).



Το 1897 παραδίδεται η υπόγεια σήραγγα **Blackwall Tunnel**, η οποία χρησιμοποιείται από ποδηλάτες, πεζούς, άμαξες με άλογα και οχήματα της εποχής. Από το 1930 και μετά ο αυξημένος κυκλοφοριακός φόρτος δεν μπορούσε να εξυπηρετηθεί από το πέρασμα και η επιτακτική ανάγκη λύσης οδηγεί τις τοπικές αρχές να εξαγγείλουν το 1938, την επέκταση του υπόγειου δικτύου. Ο 2ος Π.Π. σταματά τους σχεδιασμούς του έργου, για να φτάσουμε στο 1960 όπου ξεκινούν οι εργασίες διάνοιξης μιας δεύτερης σήραγγας στα ανατολικά, η οποία εγκαινιάζεται το 1967. Οι δύο αυτές σήραγγες λειτουργούν από τότε παράλληλα και υπάρχουν βλέψεις για μια τρίτη σήραγγα μελλοντικά (την Silvertown Tunnel). με την δεύτερη σήραγγα Blackwall Tunnel το 1964 κατασκευάζονται, οι χαρακτηριστικοί πύργοι εξαερισμού. Ο ένας μάλιστα, βρίσκεται ακριβώς εντός της κάτοψης του Millennium Dome. Η τρύπα στην οροφή του θόλου είναι για να εξυπηρετήσει αυτές τις εγκαταστάσεις.





Εσωτερική άποψη του τεράστιου αυτού θόλου και μια πανοραμική εντυπωσιακή σκηνή με το θόλο ως τεράστιο φωτεινό όγκο στις όχθες του Τάμεση.



1.

1. Αγκυρώσεις αρθρωτά στις μπετονένιες βάσεις. Οι περιμετρικές αυτές βάσεις προεκτείνονται μέσα στο έδαφος περίπου 24m. Αυτό εξαιτίας του τεράστιου φορτίου που παραλαμβάνουν.



2.

2. Η διαμόρφωση χωνιού για τη συλλογή των βρόχινων νερών.

3. Διαμόρφωση με υαλοπέτασμα για τα όρια του εσωτερικού στεγασμένου χώρου. ο περιμετρικός περίπατος έχει μήκος κοντά στο 1km.



3.

4. Ο εγκιβωτισμένος μηχανισμός εξαερισμού στον πυλώνα.

5. Οι κυλινδρικές μορφές που φιλοξενούν τον μηχανολογικό εξοπλισμό, παραπέμπουν στα παλιά αεριοφυλάκια της περιοχής, όταν κάποτε υπήρχε το εργοστάσιο παραγωγής φωταερίου.



4.

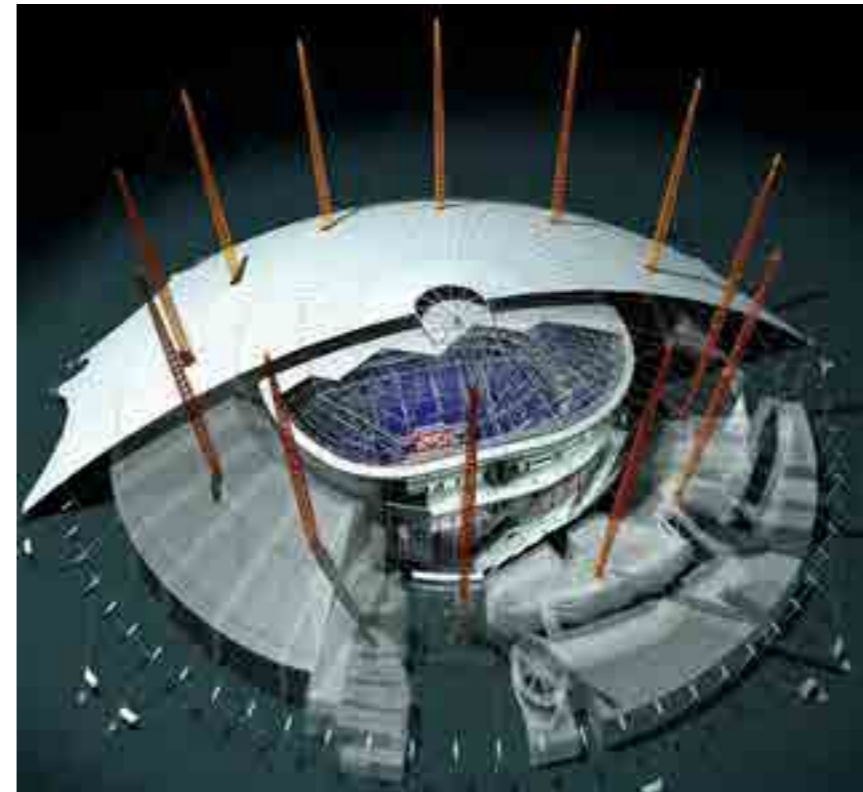


5.

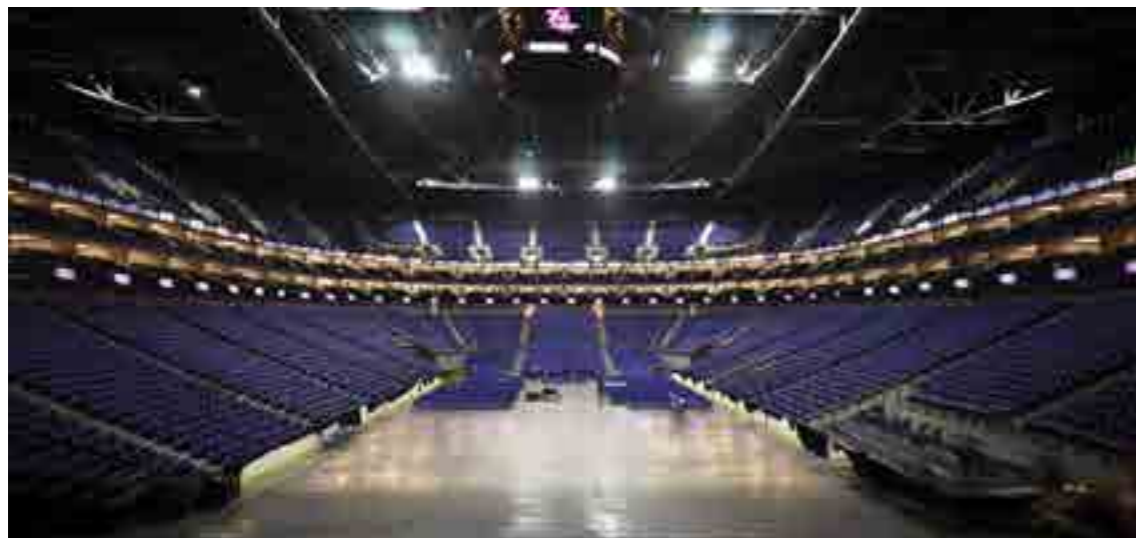
συνέχεια από τη σελίδα 118

Για την ιστορία του έργου, το Millennium dome εγκαινιάστηκε την παραμονή της πρωτοχρονιάς του 2000. Οι διάφορες εικαστικές εγκαταστάσεις εντός του, η κεντρική εξέδρα για τις παραστάσεις, η προβολή στον κοίλο του θόλου κινούμενων εικόνων από πλανήτες και αστέρια συνέθεταν μια πρωτόγνωρη εμπειρία. Η νέα χιλιετία ανέτειλε και άξιζε πανηγυρικής υποδοχής. Σε ό,τι αφορά την ευρύτερη αρχιτεκτονική θεώρηση, το τεράστιο αυτό έργο επιχείρησε να προσδιορίσει τα ιδανικά και τις αξίες που θα έπρεπε να φέρει η νέα εποχή, η νέα χιλιετία, τα οποία εκφράζονται καθαρά στην λογική και πράξη των υφασμάτων κατασκευών. **Οι υφασμάτινες κατασκευές πλέον διεκδικούν πρωταγωνιστικό ρόλο στη νέα εποχή.**

Πέραν του εντυπωσιακού κατασκευαστικά και αισθητικά χαρακτήρα, υπήρχαν ωστόσο κάποιες πραγματικότητες που δεν κατάφερε να ικανοποιήσει ο τεράστιος αυτός θόλος. Μετά το πέρας του πρώτου χρόνου, καθότι η χρήση του ως εκθεσιακού χώρου, δεν απέφερε τα αναμενόμενα οικονομικά οφέλη για την τοπική κυβέρνηση, συζητήσεις ξέσπασαν για το τι μέλει γενέσθαι με τη διαχείριση αυτού. Από το 2003 τη διαχείριση αυτού αναλαμβάνει η εταιρεία³ κολοσσός στις τηλεπικοινωνίες, O2. Η αξία της γης και το μέγεθος της επένδυσης επέβαλαν δραστηριότητες επεμβάσεις. Έτσι ανατέθηκε στο αρχιτεκτονικό γραφείο Populous, με ειδικευση στην σχεδίαση σταδίων, να συντάξει μία πρόταση για ένα νέο χώρο πολλαπλών δραστηριοτήτων εντός του. Από το 2005 έως το 2007 που κράτησαν οι εργασίες, ανεγέρθη ένα νέο, ομόκεντρο με τον θόλο, κλειστό στάδιο χωρητικότητας 23 000 θέσεων. Η κατασκευή αυτού επέβαλλε εξ' αρχής ένα εναλλακτικό τρόπο ανέγερσης μια και το κέλυφος του θόλου έθετε τους δικούς του περιορισμούς (δεν μπορούσαν να μπουν γερανοί εντός). Η μεταλλική οροφή του σταδίου θα στήνονταν στο έδαφος και θα υψωνόταν από τους 8 μπετονένιους πυλώνες, με ηλεκτρονικά ρυθμιζόμενα βαρούλκα. Η νέα αίθουσα, γνωστή πλέον ως O2 Arena, σήμερα φιλοξενεί μουσικές παραστάσεις, αθλητικούς αγώνες και κάθε είδους θεάματα. Μπορεί να διέγραψε (ως αρχιτεκτονική παρέμβαση) την αρχική εντύπωση του Millennium dome, παρόλα αυτά έχει τη δική της αισθητική χάρη και απέφερε τα πολυπόθητα κέρδη. Η συγκεκριμένη αίθουσα σήμερα θεωρείται από τις καλύτερες στον Αγγλικό χώρο, για τέτοιες παραστάσεις και επίσης χρησιμοποιήθηκε για τους Ολυμπιακούς Αγώνες του 2012.



Το Millennium Dome γνωστό πλέον ως O2 Arena. Η κατασκευή αυτού του χώρου πολλαπλών χρήσεων (κυρίως Μουσικής και Αγώνων) έγινε βάση των περιορισμών που έθετε το υπερκείμενο στέγαστρο. Η συναρμολόγηση της οροφής του έγινε στο έδαφος και ρυμουλκήθηκε επάνω στους 8 μπετονένιους πυλώνες.



³ O2 UK είναι μέρος της Telefónica O2 Europe group (στοιχεία από την επίσημη ιστοσελίδα της εταιρείας)

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ΣΤΑ ΕΛΛΗΝΙΚΑ

Λάββας, Γιώργος Π. *19ος-20ος αιώνας, Σύντομη ιστορία της αρχιτεκτονικής.* Θεσσαλονίκη : University Studio Press, 1993.

Λέφας, Παύλος. *Αρχιτεκτονική, μια ιστορική θεώρηση.* Αθήνα : Εκδόσεις Πλέθρον, 2013.

Πετρονιώτης, Αργύρης *Αρχιτεκτονική της Απώτερης και Κλασσικής Αρχαιότητας Ι.*

Θεσσαλονίκη : Γαρταγάνης Δ. Εκδόσεις, 1991.

Συλλογικό έργο, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος. Επιτροπή Μηχανικής των Κατασκευών. *Στέγαση μεγάλων χώρων : επιστημονικό τριήμερο /.* Αθήνα : Τ.Ε.Ε, 1992.

Τουρνικιώτης, Παναγιώτης. *Εισαγωγή στη θεωρία της αρχιτεκτονικής.* Αθήνα : Σχολή Αρχιτεκτόνων Ε.Μ.Π τομέας αρχιτεκτονικού σχεδιασμού/ περιοχή θεωρίας της αρχιτεκτονικής, 2008.

- ΣΤΑ ΑΓΓΛΙΚΑ

Anheim, Rudolf. *Η δυναμική της αρχιτεκτονικής μορφής.* Θεσσαλονίκη : University Studio Press, 2003.

Finsterwalder, Rudolf. *Form Follows Nature: A History of Nature as Model for Design in Engineering, Architecture and Art (German and English Edition).* New York : Springer Vienna Architecture; 1st Edition. edition, 2011 .

Kaltenbach, Frank. *Detail Practice: Translucent Materials: Glass, Plastics, Metals (Detail Practice Series).* Munich : Birkhäuser GmbH, 2004.

Koch Klaus-Michael, Habermann I Karl J. *Membrane Structures: The Fifth Building Material /innovative building with film and fabric.* Munich, Berlin, London, New York : Prestel Publishing , May 2004.

Winfried, Nerdinger. *Frei Otto. Complete Works.* Munich : Birkhäuser Architecture, 2005.

Nishi Kazuo, Hozumi Kazuo. *What Is Japanese Architecture?* Tokyo, New York, London : Kodansha America, 2012.

Phillp, Drew. *New Tent Architecture .* New York : Thames and Hudson, 2008.

Salvadori Mario, Heller Robert. *Η φέρουσα κατασκευή στην αρχιτεκτονική.* Αθήνα : Κουλτούρα, 1981.

Schittich Christian *In Detail: Building Skins /In Detail series.* Munich : Birkhäuser Architecture; Enlarged edition , 2006.

Seidel, Michael. *Tensile Surface Structures: A Practical Guide to Cable and Membrane Construction /materials design assemble and erection.* Berlin : Ernst & Sohn, 2009.

Songel, Juan Maria. *A Conversation with Frei Otto (Conversations).* New York : Princeton Architectural Press;, 2010. Reprint edition.

Vandenberg, Maritz. *Soft Canopies (Detail in Building).* London : John Wiley & Sons, 1996.

Vandenberg, Maritz. *Cable Net Structure (Detail in Building)*. London,UK : John Wiley & Sons, 1998.

Young David, Young Michiko, Hong Yew Tan. *The Art of Japanese Architecture*. Tokyo,Rutland,Vermont,Singapore : Tuttle Publishing, 2007.

ΠΗΓΕΣ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ: ΑΡΧΕΤΥΠΑ – ΔΟΜΙΚΟΣ ΟΡΘΟΛΟΓΙΣΜΟΣ

The Doric Order. Part 2 (<http://chestofbooks.com/architecture/Cyclopedia-Carpentry-Building-7-10/The-Doric-Order-Part-2.html#.UydiwE1WFjp>)

- **πρωταρχική κατασκευή- αρχιτεκτονική**

The habitations of man in all ages. Translated by Benjamin Bucknall : Viollet-le-Duc, Eugène-Emmanuel, 1814-1879 : Free Download & Streaming : Internet Archive (<https://archive.org/details/habitationsofman00violuoft>)

Essai sur l'architecture : Laugier, Marc-Antoine, 1711-1769 : Free Download & Streaming : Internet Archive (<https://archive.org/details/surlarchitecture00laug>)

Tipi - Wikipedia, the free encyclopedia (<http://en.wikipedia.org/wiki/Tipi>)

- **ιαπωνική αρχιτεκτονική**

Japan National Tourism Organization | Japan In-depth | Cultural Quintessence | Experience Japanese Culture Architecture (<http://www.jnto.go.jp/eng/indepth/cultural/experience/a.html>)

Rurousha 流浪者: Japan's old farmhouses at Nihon Minka-en (<http://rurousha.blogspot.gr/2013/09/japans-old-farmhouses-at-nihon-minka-en.html>)

- **tipi Ινδιάνων**

tipi | Black and White (<http://www.pinterest.com/pin/418905202811697217/>)

You Will Know Us By Our Homes - A Project Archaeology Native American Study: Introduction (<http://questgarden.com/87/68/1/090930074200/index.htm>)

Shelters, Shacks, and Shanties ([http://www.basiccarpentrytechniques.com/Shelters,%20Shacks,%20and%20Shanties.html](http://www.basiccarpentrytechniques.com/Shelters,%20Shacks,%20and%20Shanties/Shelters,%20Shacks,%20and%20Shanties.html))

- **ιστορικά παραδείγματα**

SHORT HISTORY OF THE CIRCUS - Circopedia (http://www.circopedia.org/SHORT_HISTORY_OF_THE_CIRCUS)

Trajan's Preparations for War Scenes 6-21 - Trajan's Column in Rome (<http://www.dartmouth.edu/~trajan/?flagallery=trajans-preparations-for-war>)

Table of Medieval and Renaissance Tent Pictures (<http://home.adelphi.edu/sbloch/sca/tents/pictures/db/index.shtml>)

Α ΜΕΡΟΣ

2. Frei Otto – Στάση Ζωής, η Ελαφρά Κατασκευή

- **Frei Otto, τα πρώτα χρόνια**

- **Hitler - Albert Speer**

New York Architecture Images- fascist architecture (<http://www.nyc-architecture.com/ARCH/Notes-Fascist-GER.htm>)

Hitlist (<http://www.andyross.net/hitlist.htm>)

The Art of Film : The Architecture of the Capitol from "The Hunger Games": Echoes of Rome, Echoes of Totalitarianism

(<http://theartofilm.blogspot.gr/2013/12/the-architecture-of-capitol-from-hunger.html>)

Γκερμάνια - Βικιπαίδεια (<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%93%CE%BA%CE%B5%CF%81%CE%BC%CE%AC%CE%BD%CE%B9%CE%B1>)

Welthauptstadt Germania - Wikipedia, the free encyclopedia (http://en.wikipedia.org/wiki/Welthauptstadt_Germania)

- **Raleigh Arena**

Nowicki, Matthew (1910-1950) : NC Architects & Builders : NCSU Libraries

(<http://ncarchitects.lib.ncsu.edu/people/P000044>)

Dorton Arena in Architectural Record New Raleigh (<http://ncarchitects.lib.ncsu.edu/people/P000044>)

Interior, Dorton Arena (Dorton, J. S. Arena) - ncar_N_72_8_4 - NCSU Libraries' Rare and Unique Digital Collections (http://d.lib.ncsu.edu/collections/catalog/ncar_N_72_8_4)

Front and half end elevations and door and window details (Dorton, J. S. Arena) - mc00227-003-ff0063-000-001_0001 - NCSU Libraries' Rare and Unique Digital Collections (http://d.lib.ncsu.edu/collections/catalog/mc00227-003-ff0063-000-001_0001/pages/mc00227-003-ff0063-000-001_0001#p)

NCSU Libraries' Rare and Unique Digital Collections Search Results (http://d.lib.ncsu.edu/collections/catalog?utf8=%E2%9C%93&id=ncar_N_72_8_4&search_field=all_fields&q=dorton+arena)

J. S. Dorton Arena (<http://www.arcaro.org/tension/album/dorton.htm>)

- **Berlin Kongresshalle**

Die Kongreßhalle « Bildarchiv der Philipp Holzmann AG

(http://holzmann.fh-potsdam.de/?page_id=865)

Die Berliner Kongresshalle (<http://www.berliner-kongresshalle.de/>)

Berliner Feuerwehr -1980: Teileinsturz der Kongresshalle (<http://www.berliner-feuerwehr.de/3067.html>)

AD Classics: Expo '58 + Philips Pavilion / Le Corbusier and Iannis Xenakis | ArchDaily (<http://www.archdaily.com/157658/ad-classics-expo-58-philips-pavilion-le-corbusier-and-iannis-xenakis/>)

Congress Hall Berlin by Hugh Stubbins (<http://www.galinsky.com/buildings/congress/>)

AD Classics: TWA Terminal / Eero Saarinen | ArchDaily (<http://www.archdaily.com/66828/ad-classics-twa-terminal-eero-saarinen/nycarchitecture3/>)

HKW | The Site and its History (http://www.hkw.de/en/hkw/geschichte/ort_geschichte/ort.php)

AD Classics: Sydney Opera House / Jørn Utzon | ArchDaily (<http://www.archdaily.com/65218/ad-classics-sydney-opera-house-j%C3%B8rn-utzon/>)

- **metabolism / archigram / frei**

eRCHITECTURE: Tree Architecture (<http://erchitecture.blogspot.gr/2013/02/tree-architecture.html>)

Wall City by Metabolist architect Kisho Kurokawa,... | LIVE from the NYPL (<http://livefromthenypl.tumblr.com/post/17723495246/wall-city-by-metabolist-architect-kisho-kurokawa>)

Takis Zenetos Unbuilt Tropes – MAS CONTEXT (<http://www.mascontext.com/issues/18-improbable-summer-13/takis-zenetos-unbuilt-tropes/>)

MY ARCHITECTURAL MOLESKINE®:THE METABOLIST MOVEMENT (<http://architecturalmoleskine.blogspot.gr/2011/10/metabolist-movement.html>)

Architecture Photography: AD Classics: The Plug-In City / Peter Cook, Archigram (399330) (http://www.archdaily.com/399329/ad-classics-the-plug-in-city-peter-cook-archigram/51d71b74e8e44ed538000023_ad-classics-the-plug-in-city-peter-cook-archigram-736_medium-jpg/)

(<http://ad009cdn.archdaily.net/wp-content/uploads/2011/04/1303412705-c-in-the-air.jpg>)

Architecture Photography: Struggling Cities Exhibit of Japanese Urban Projects in the 1960s (129758) (<http://ad009cdn.archdaily.net/wp-content/uploads/2011/04/1303412705-c-in-the-air.jpg>)

Architecture Photography: AD Classics: The Plug-In City/ (<http://www.archdaily.com/129738/struggling-cities-exhibit-of-japanese-urban-projects-in-the-1960s/c-in-the-air/>) Peter Cook, Archigram (399332)

AD Classics: The Plug-In City / Peter Cook, Archigram | ArchDaily (http://www.archdaily.com/399329/ad-classics-the-plug-in-city-peter-cook-archigram/51d71ba2e8e44ebb5000002a_ad-classics-the-plug-in-city-peter-cook-archigram-269_medium-jpg/)

How can you imagine new forms of living? (<http://www.douban.com/note/303836446/>)

Madrid 2008-09: Apuntes Martes 28 de Abril (<http://madrid2008-09.blogspot.gr/2009/05/apuntes-martes-28-de-abril.html>)

Ρίτσαρντ Μπάκμινστερ Φούλερ - Βικιπαίδεια (<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A1%CE%AF%CF%84%CF%83%CE%B1%CF%81%CE%BD%CF%84%CE%9C%CF%80%CE%AC%CE%BA%CE%BC%CE%B9%CE%BD%CF%83%CF%84%CE%B5%CF%81%CE%A6%CE%BF%CF%8D%CE%BB%CE%B5%CF%81>)

Articles - ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΜΑΤΙΕΣ - Η Αριστερή Ιδεολογία στην Πολεοδομία στην Ελλάδα, από το 1960 ως το 1990. (Μέρος Γ) (<http://www.greekarchitects.gr>)

Το παράδειγμα Τάκης Ζενέτος (http://leximata.blogspot.gr/2007/11/blog-post_26.html)

Πόσο “μοντέρνα” είναι η σύγχρονη λόγια Ελληνική αρχιτεκτονική; | Αριστερή Κίνηση Εργαζόμενων Αρχιτεκτόνων (<http://akea2011.wordpress.com/2012/12/16/logiaelinikiarhitektoniki/>)

Takis Zenetos-Electronic Urbanism | dpr-barcelona (<http://dprbcn.wordpress.com/2010/01/16/takis-zenetos-electronic-urbanism/>)

japanese contemporary art: architecture: utopian modernity (<http://contemporaryjapaneseart.blogspot.gr/2011/10/utopian-modernity.html>)

Informationage: How much does a rain cloud weigh (<http://informationageinfo.blogspot.gr/2012/08/how-much-does-rain-cloud-weigh.html>)

- **Frei Alexandra-Stiftung housing**

Denkmaldatenbank / Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin (<http://www.stadtentwicklung.berlin.de/ALEXANDRA-STIFTUNG,WOHNANLAGEAMBADENERRINGINBERLIN>) (<http://www.freiotto-architekturmuseum.de/PROJEKTE/projekt11.htm>)

- **Pier Luidgi / Candela / Torroja**

An Engineer's Aspect: 22 Pier Luigi Nervi Structures on October 22nd (<http://anengineersaspect.blogspot.co.uk/2009/10/22-pier-luigi-nervi-structures-on.html?m=1>)

Felix Candela Structural Research | Material Praxis (<http://materialpraxis.wordpress.com/2010/10/22/felix-candela-structural-research/>)

What's in a Name? (<http://materialpraxis.wordpress.com/2010/10/22/felix-candela-structural-research/>)

Pablo Antolín :: Grupo de Mecánica Computacional :: Universidad Politécnica de Madrid (<http://candelastructures.org/exhibit/name.html>)

fc1 | Volcania (<http://volcania.wordpress.com/2011/11/28/die-schalenbauwerke-von-felix-candela/fc1/>)

CHURCH OF CHRISTLABORER (<http://a-rchitect.ure.tumblr.com/post/10318535848/c-h-u-r-c-h-o-f-c-h-r-i-s-t-l-a-b-o-r-e-r>)

Uncategorized | ARQUITECTURA UNO | CATEDRA PEDEMONTE | Página 40 (<http://a-rchitecture.tumblr.com/post/10318535848/c-h-u-r-c-h-o-f-c-h-r-i-s-t-l-a-b-o-r-e-r>)

We know what's good for you - cartografico: Eduardo Torroja | Hipódromo de la... (<http://designcouncil.tumblr.com/post/61202645823/cartografico-eduardo-torroja-hipodromo-de-la>)

Pier Luigi Nervi (<http://shelf3d.com/Search/Pier%20Luigi%20Nervi>)

Pier Luigi Nervi – Architecture as Challenge www.docomomo.com/pdfs/events/news/043803_INFOPierLuigiNERVIInternationalExhibit.pdf

drawing nervi | architecturefarm (<http://architecturefarm.wordpress.com/2014/02/05/drawing-nervi/>)

Architecture as a challenge (<https://www.domusweb.it/en/architecture/2012/11/13/architecture-as-a-challenge.html>)

BHTS 2004 clancy mears architectureinsights.com.au/media/uploads/resources/Clancy_Mears_Report.pdf

3. Frei Otto – προτάσεις σε πολεοδομική κλίμακα

Frei Otto/Atelier Warmbronn, City in the Arctic, 1970-1971 (<http://imaginary-infrastructures.tumblr.com/post/29105852067/archiveofaffinities-frei-otto-atelier>)

Google Αποτελέσματα Εικόνων για http://25.media.tumblr.com/tumblr_lo8rrrYIcl1qe0nlvo1_500.jpg

Frei Otto: IL2 | Flickr - Photo Sharing! Flickr: Bollops' Photostream Bollops Frei Otto - <http://www.flickr.com/photos/bollops/with/8528220296>

Αναζήτηση Google Frei Otto: IL2 https://www.google.gr/search?q=Bollops+Frei+Otto&rlz=1C1RNNN_eIGR487GR487&espnv=210&es_sm=93&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=5iL8UqnGC9DXsgbO7ICYDw&ved=0CAkQ_AUoAQ&biw=1366&bih=600

<http://www.flickr.com/photos/bollops/8527128575/in/photostream/>

Google Αποτελέσματα Εικόνων για Arctic city [Frei Otto / Ove Arup / Kenzo Tange] http://1.bp.blogspot.com/-t_166jiiwLc/TV46kznZSRI/AAAAAAAAE8w/oIRBjOeqtDM/s1600/artic03.jpg

B ΜΕΡΟΣ

4. Η ΠΟΡΕΙΑ ΠΡΟΣ ΤΟ ΜΟΝΤΡΕΑΛ ΜΕΣΑ ΑΠΟ ΤΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

- **1955 Exhibition Kassel**

Musikpavillon auf der Bundesgartenschau, Kassel 1955 - Αναζήτηση Google (https://www.google.gr/search?q=Musikpavillon+auf+der+Bundesgartenschau,+Kassel+1955&rlz=1C1RNNN_eIGR487GR487&espnv=210&es_sm=93&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=uCgKU_WbHeeBywO_84ClBg&ved=0CAkQ_AUoAQ&biw=1366&bih=606)
The man with the golden pen | Magazine Features | Building (<http://www.building.co.uk/the-man-with-the-golden-pen/3047276.article>)

Wright Chat :: View topic - Florida Southern College

(http://www.savewright.org/wright_chat/viewtopic.php?t=2409&postdays=0&postorder=asc&start=30&sid=4439d2bbf6568bb539471df623c97ef1)

- **1957 Exhibition Cologne**

Lightweight Structure | Beyond Building (<http://beyondbuildingbd.com/site/2013/08/lightweight-structure-2/>)
archgraphics / Analysis: Thinking with Media (<http://archgraphics.pbworks.com/w/page/13585420/Analysis%3A%20Thinking%20with%20Media>)

FREI OTTO (JZ)の画像:やれとほ通(http://yaretoho.exblog.jp/iv/detail/index.asp?s=13591054&i=201001%2F27%2F54%2F0058954_22392717%2Ejpg)

'Tanzbrunnen' Tent in Cologne, Germany - SL RASCH - Special and Lightweight Structures (http://www.sl-rasch.de/p_1014.html)

kölnkongress - Locations - Tanzbrunnen Köln - Photo gallery (<http://www.koelnkongress.de/wEnglisch/locations/tanzbrunnen/bildergalerie.php>)

London Projects - Page 33 (<http://wirednewyork.com/forum/showthread.php?t=6580&page=33>)

cityofsound: History (<http://www.cityofsound.com/blog/history/page/3/>)

hybridbiostructures: Research Development: New FormFinding Methods_ Experiment 2.0 (<http://hybios.blogspot.gr/2011/06/research-development-new-methods.html>)

Membrane Detail | virtual collection of constructional details (<http://www.membranedetail.com/>)

Archivo:Tensoestotto.JPG - Casiopea (<http://wiki.ead.pucv.cl/index.php/Archivo:Tensoestotto.JPG>)

Cable membrane tensile structure (for events) - MAGENTA ITALY - PM ENGINEERING SRL - PLAS-TECOMILANO (<http://www.archiexpo.com/prod/pm-engineering-srl-plastecomilano/cable-membranes-tensile-structures-happening-102862-1091545.html>)

Architecture Photography: (http://www.archdaily.com/10233/green-void-lava/823320020_081210-ch-patterns/)

Green Void / LAVA | ArchDaily (<http://www.archdaily.com/10233/green-void-lava/>)

Green Void by LAVA - Dezeen (<http://www.dezeen.com/2008/12/16/green-void-by-lava/>)

Luxury Uluru (Ayers Rock) Accommodation (<http://longitude131.com.au/>)

Experience Luxury Uluru (Ayers Rock) Accommodation | Longitude 131 (<http://longitude131.com.au/stay/>)

Design | Tiny House Living - Page 3 (<http://www.tinyhouseliving.com/category/design/page/3/>)

Cox Architecture (<http://www.coxarchitecture.com.au/#/home/>)

Les plus beaux HOTELS DESIGN du monde: Hôtel LONGITUDE 131° by Philip Cox - Yularu - AUSTRALIE (<http://hotelsdesign.blogspot.gr/2012/04/hotel-longitude-131-by-philip-cox.html>)

Philippe Samyn and Partners (www.samynandpartners.be/EN/project-selection/20/)

BC Place | Nick Elson (<http://infirmofpurpose.wordpress.com/2011/09/06/bc-place/>)

FabriTec Structures | tension fabric shade structures | BC Place Stadium (<http://www.fabritecstructures.com/portfolio-bc-place-stadium.html#ad-image-0>)

- **1958 - umbrella on a slope**

James Ewing Photography (<http://www.jamesewingphotography.com/index.php#mi=2&pt=1&pi=10000&s=5&p=14&a=0&at=0>)

Shanghai Taiyo Kogyo makes the World Expo Shanghai bloom with huge tent flowers. : MakMax (<http://www.makmax.com/news/2010/nw0510.html>)

[P2]+Group+4+-+p2.png (1600×1371) (<http://2.bp.blogspot.com/-7JQCq4bDew/UJLWIFURkDI/>)

AAAAAAAWk/jOq0EjVdhuo/s1600/%5BP2%5D+Group+4+--+p2.png)
Rosa Parks Transit Center - Building in Detroit | e-architect (<http://www.e-architect.co.uk/detroit/rosa-parks-transit-center>)

Week 2: Research and Interests | FABRIC.A.TION Studio (<http://www.e-architect.co.uk/detroit/rosa-parks-transit-center>)

KÁmeetsRM: agosto 2009 (http://kidangelmeetsreymono.blogspot.gr/2009_08_01_archive.html)

Shanghai 2010 Boulevard / SBA international + Knippers Helbig | ArchDaily (<http://www.archdaily.com/57749/shanghai-2010-boulevard-knippers-helbig/>)

- **autonomous formations (αυτόνομη μορφοποίηση)**

Diatoms - Types | John Davidson (http://botanyjohn.org/gallery2/main.php%3Fg2_view%3Dcore.DownloadItem%26g2_itemid%3D25149%26g2_serialNumber%3D1)

- **1962 Essen - Lath Dome**

Deubau, Building Construction trade show (<http://www.expofax.com/show/2608-deubau.html>)

Messe Essen GmbH (<http://www.deubaukom.de/en/deubaukom/>)

memetician: A different kind of string theory: Antoni Gaudí (<http://memetician.livejournal.com/201202.html>)

A . PERSPECTIVE (<http://aonepointperspective.tumblr.com/>)

Auroville Earth Institute (http://www.earth-auroville.com/stability_calculations_en.php)

Gridshell's Parametrically-Designed Canopy Shades Masseria Ospitale Restaurant in Lecce, Italy

Gridshell Parametric Shade Structure - Gallery Page 2 – Inhabitat - Sustainable Design Innovation, Eco Architecture, Green Building (<http://inhabitat.com/gridshell-creates-a-parametrically-designed-shade-structure-for-masseria-ospitale-restaurant-in-lecce-italy/gridshell-italy-2/?extend=1>)

Gridshell Parametric Shade Structure - Gallery Page 2 – Inhabitat - Sustainable Design Innovation, Eco Architecture, Green Building (<http://inhabitat.com/gridshell-creates-a-parametrically-designed-shade-structure-for-masseria-ospitale-restaurant-in-lecce-italy/gridshell-italy-2/?extend=1>)

Making Flimwell's chestnut gridshell (http://www.fourthdoor.org/annular/?page_id=441)

- **1963 Exhibition In Hambourg**

WELLENHALLE MIT WANDELGANG AUF DER INTERNATIONALEN GARTENBAUAUSSTELLUNG IGA 1963 IN HAMBURG (<http://www.freiotto-architekturmuseum.de/PROJEKTE/projekt59.htm>)

Frei Otto's Wave Hall with covered walk | Desolated, yet Monumental! (<http://www.freiotto-architekturmuseum.de/PROJEKTE/projekt59.htm>)

- **1964 Exhibition Lausanne**

Expo 1964 (Lausanne): The Harbour, Swiss National Exhibition - TensiNet (<http://www.tensinet.com/database/viewProject/3842.html>)

Cable-membrane roof and 'sun valleys' define Shanghai Expo's Boulevard (http://specialtyfabricsreview.com/repository/1/7552/large_0610_wv_3.jpg)

Swiss Antional Exhibition - Lausanne 1964 - Official guide | Flickr - Photo Sharing! (<http://www.flickr.com/photos/insect54/4526285308/>)

Exposition Nationale 1964 - Lausanne-Vidy | Flickr - Photo Sharing! (<http://www.flickr.com/photos/amiguette/11618064593/>)

L'Exposition nationale de 1964 - Groupe | notrehistoire.ch (<http://www.notrehistoire.ch/group/lexposition-nationale-de-64/>)

Photo - Taille originale - Expo 64 crépuscule | notrehistoire.ch (http://www.notrehistoire.ch/photo/full_view/21321/)

- **1967 Montreal Expo**

Expo 1967 (Montreal): German Pavilion - TensiNet (<http://www.tensinet.com/database/viewProject/3758.html>)

La spirale (http://farm5.staticflickr.com/4010/4526285308_d1405fc58e_z.jpg)

Frei Otto's German pavilion at the World Exhibition in Montreal, from the Esther McCoy papers - Image Gallery Viewer | Archives of American Art, Smithsonian Institution (<http://www.aaa.si.edu/collections/viewer>)

Frei Otto's German pavilion at the World Exhibition in Montreal, from the Esther McCoy papers - Image Gallery Viewer | Archives of American Art, Smithsonian Institution (<http://www.aaa.si.edu/collections/viewer/frei-ottos-german-pavilion-world-exhibition-montreal-12815>)

German Pavilion, Expo '67 - Frei Otto - Great Buildings Architecture (http://www.greatbuildings.com/buildings/German_Pavilion_Expo_67.html)

Expo 67 - Architecture (<http://www.westland.net/expo67/map-docs/architecture.htm>)

Human's Scribbles: More than craftsmanship (<http://humansscribbles.blogspot.gr/2012/09/more-than-craftsmanship.html>)

Frei Otto - JungleKey.fr Image (<http://www.junglekey.fr/search.php?query=Frei+Otto&type=image&lang=fr®ion=fr&img=1&adv=1>)

Archiv DAM: Browsing DAS ARCHITEKTURMODELL by Author "Otto, Frei" (<http://archiv.dam-online.de/handle/11153/2/browse?value=Otto.%20Frei&type=author>)

STRUCTUREmag - Structural Engineering Magazine, Tradeshow: The Stuttgart School of Building Design (<http://www.structuremag.org/article.aspx?articleID=598>)

I LEK/Profile (<http://www.uni-stuttgart.de/ilek/1/institute/institute-profile/>)

13th international architecture exhibition: arum by zaha hadid (<http://www.designboom.com/architecture/13th-international-architecture-exhibition-arum-by-zaha-hadid/>)

Stuttgart Incentives | Universität Stuttgart

(<http://www.uni-stuttgart.de/impulse/imp/alles.php?id=6&lang=en>)

Ausgewählte Arbeiten von Frei Otto und seinen Teams/Selected Works of Frei Otto and his Teams (<http://www.freiotto.com/FreiOtto%20ordner/FreiOtto/Hauptseite.html>)

Tensile Structures Document/Frei Otto Soap Film/Light Eye Attempt/Tensile Structures (<http://www.uni-stuttgart.de/impulse/imp/alles.php?id=6&lang=en>)

Tension Measurement Instruments (<http://www.tensionmeters.com/>)

Entwerfen mit Bambus (<http://bambus.rwth-aachen.de/de/referate2/il31/gd.html>)

Federal Republic of Germany Pavilion (<http://www.westland.net/expo67/map-docs/germany.htm>)

Engineering department of SL RASCH - Special and Lightweight Structures - Institute for Scientific Architecture (<http://www.sl-rasch.de/engineering.html>)

Expo 67 - Wikipedia, the free encyclopedia (http://en.wikipedia.org/wiki/Expo_67)

Form Finding Studies / Cable Net Experiments/The Lightweight Principle // Frei Otto (<http://gaartarc.com/tag/tensile-structures/>)

German Pavilion, Expo '67, GREAT BUILDINGS COLLECTION (http://www.greatbuildings.com/cgi-bin/gbc-drawing.cgi/German_Pavilion_Expo_67.html/German_67_Plan_1.html)

- **1974 - Mannheim Hall**

Mannheim Multihalle– Strained Grid - Evolution of German Shells: Efficiency in Form (<http://shells.princeton.edu/Mann1.html>)

Gridshell, Archaeological Park of Selinunte | (<http://www.kepha.eu/social-2/initiatives-and-events/gridshell-archaeological-park-of-selinunte/>)

Architecture: Sculpture and architecture combined: Gridshell at the Selinunte Archaeological Park - News (<http://www.floornature.com/architecture-news/news-sculpture-and-architecture-combined-gridshell-at-the-selinunte-archaeological-park-8233/>)

- **Munich stadium**

Three-dimensional model of the Olympic area 1972 with Olympic stadium, Olympic tower, Olympic village and other Olympic venues. Behnisch, Günter; Otto, Frei; Augustin, R.; Ott, G.; Aicher, Otl Augustin, R.; Ott, G. -> Auction 106B - Text: english Version / (<http://catalog.quittenbaum.de/>)

Munich Olympic Stadium by Frei Otto & Gunther Behnisch (<http://fancycribs.com/14053-munich-olympic-stadium-by-frei-otto-gunther-behnisch.html>)

grobe bilder blog (<http://www.grobe-bilder.com/grobe-bilder-blog/files/archive-2009.html>)

large-measurement-model-munich_otto2.jpg)(http://nocloudinthesky.files.wordpress.com/2013/01/large-measurement-model-munich_otto2.jpg)

- **Διάφορες για τον Frei otto**

AE 390 - Assignment 3 - Tensegrity (<http://www.pages.drexel.edu/~nrr24/ae390/a003/system.htm>)

STRUCTURES (<http://personal.strath.ac.uk/j.wood/Biomimetics/Engineering%20Areas/structures/STRUCTURES.htm>)

Fabric Structures | Fabric Architecture / Fabric Structures (<http://armijos.wordpress.com/tag/fabric-structures/>)

20th Century Precedents : Frei Otto (<http://armijos.wordpress.com/tag/fabric-structures/>)

SELF SUPPORTING MODULES (<http://ssmodules.wordpress.com/2010/01/14/self-supporting-structures-frei-otto/>)

Frei Otto (<http://www.freiotto.com/FreiOtto%20ordner/FreiOtto/HauptseiteGross.html>)

FREI OTTO (JZ) の画像:やれとほ通信<http://www.freiotto.com/FreiOtto%20ordner/FreiOtto/HauptseiteGross.html>

Γ ΜΕΡΟΣ

• Millenium dome

Visuals - Millennium Experience <http://www.richardrogers.co.uk/render.aspx?siteID=1&navIDs=1,4,25,661&showImages=table&thumbnails=true&pageID=2>

JPDA | Jordan Parnass Digital Architecture <http://jpda.net/projects/o2-brand-experience-o2>

Works | Shigeru Ban Architects <http://www.shigerubanarchitects.com/works.html#exhibition-design>

Greenwich Council unveils peninsula, Eltham, Charlton and Woolwich Masterplans « Greenwich Rising <http://greenwichrising.com/2961/greenwich-council-unveils-peninsula-eltham-charlton-and-woolwich-masterplans/photos/dome/dome12.html>

London's Dome | Skibbereene Eagle <http://www.skibbereeneagle.ie/?p=192>

Images of Greenwich Peninsula | Greenwich Galleries | Ideal Homes <http://www.skibbereeneagle.ie/?p=192>

Siren – With A Reason | The Greenwich Phantom <http://www.thegreenwichphantom.co.uk/2012/05/siren-with-a-reason/>

The O2 Arena | OpenBuildings <http://openbuildings.com/buildings/the-o2-arena-profile-1415>

Πωλείται η O2 Arena του Λονδίνου - i feel radio <http://openbuildings.com/buildings/the-o2-arena-profile-1415>

O2 Arena <http://www.prague-guide.co.uk/articles/o2-arena.html>

O2 Arena London seating plan - Detailed seat numbers - Mapaplan.com <http://www.mapaplan.com/seating-plan/the-o2-arena-london/the-o2-arena-london-seating-plan.htm>

Tensile Fabric Roof Walk - Up at The O2 Case Study - Base Structures <http://www.basestructures.com/case-studies/up-at-the-o2-case-study.html>

THE O2 ARENA – GOOD FROM AFAR BUT FAR FROM GOOD « STADIAFILE <http://stadiafile.com/2012/08/11/the-o2-arena-good-from-afar-but-far-from-good/>

CHELSEA space » news archive » Pride before a fall – Austerity and Legacy Britain 1951-2012 <http://www.chelseaspace.org/blog/archives/2520>

Projects · FARRELLS <http://www.terryfarrell.co.uk/cn/projects/greenwich-peninsula-masterplan/>

Millennium Dome - O2 Arena - WikiArquitectura - Buildings of the World http://en.wikiarquitectura.com/index.php/Millennium_Dome_-_O2_Arena

Tunnel Avenue, Greenwich Peninsula, c. 1908 | Greenwich Galleries | Ideal Homes <http://www.ideal-homes.org.uk/greenwich/assets/galleries/greenwich-peninsula/tunnel-avenue-1908>

Μπήκαμε στο νέο Βιομηχανικό Μουσείο Φωταερίου - Τέχνες - αθηνόραμα.gr <http://www.athinorama.gr/arts/article.aspx?id=14162>

Τεχνόπολις - Γκάζι - ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΦΩΤΑΕΡΙΟΥ <http://www.technopolis-athens.com/web/guest/museum/fotaerio>

The O2 - Docklands Photography <http://www.technopolis-athens.com/web/guest/museum/fotaerio>

Greenwich Foot Tunnel History - Docklands Photography <http://www.docklandsphotography.com/the-o2.html>

Citizen Space - The Silvertown Tunnel (a road tunnel between the Greenwich Peninsula and Silvertown) <http://www.docklandsphotography.com/greenwich-foot-tunnel-history.html>

SE10 | London's Docklands, past and present <https://consultations.tfl.gov.uk/rivercrossings/cc90b4dd/>

Millennium Dome <https://consultations.tfl.gov.uk/rivercrossings/cc90b4dd/> www.arcaro.org/tension/album/millennium

MILLENNIUM PROJEKTER The Millennium Dome at Greenwich <http://www.arkitektturnet.dk/anmeldelser/0012rl.htm>

Greenwich 2000: Millennium Exhibition - MILLENNIUM EXHIBITION BUILDING: GENERAL DESCRIPTION <http://www.millennium-dome.com/experience/exhibition-gendes.htm/>

Magnum Photos - Media - Large or Details View <http://www.magnumphotos.com/C.aspx?VP3=SearchDetail&VBID=2K1HZOQ14Y3ROH&PN=1&IID=29YL53ZGYX7E>

Construction Photography - Search - People's Square <http://www.constructionphotography.com/Search.aspx?search=People%27s+Square>

In pictures: the 20th Century in Britain - Telegraph <http://www.telegraph.co.uk/news/picturegalleries/uknews/3400824/In-pictures-the-20th-Century-in-Britain.html?image=26>

The Dome of the Millennium - Fabric Architecture <http://fabricarchitecturemag.com/articles/>

[MillenniumDome.html](#)

Arenas Archives - POPULOUS <http://populous.com/projects/type/arenas/>

A short history of river crossings | No to Silvertown Tunnel <http://www.silvertowntunnel.co.uk/what-is-it/a-short-history-of-river-crossings/>

millennium Archives - murphyz <http://www.murphyz.co.uk/tag/millennium/>

• Ιαπωνικό περίπτερο στο Αννόβερο, Expo 2000

Report: Japanese Pavilion at the Expo 2000 in Hanover | DETAIL inspiration

<http://detail-online.com/inspiration/report-japanese-pavilion-at-the-expo-2000-in-hanover-107255.html>

坂茂建築設計 | Shigeru Ban Architects <http://www.shigerubanarchitects.com/index.html>

源創國際整合股份有限公司網誌 » [建築 X 坂茂 | Shigeru Ban] 漢諾威世界博覽會日本館 - Japan Pavilion, World Expo 2000, Hanover, Germany, 2000 <http://forum.originvision.com/?p=489>

SBA_EXPO Japan Pavillion http://www.shigerubanarchitects.com/works/2000_japan-pavilion-hannover-expo/index.html

A Study: Shigeru Ban's Japanese Pavilion - Allison Rozwat <http://www.allisonrozwat.com/A-Study-Shigeru-Ban-s-Japanese-Pavilion>

Shigeru Ban: between function and beauty | The Japan Times <http://www.japantimes.co.jp/culture/2013/04/23/arts/shigeru-ban-between-function-and-beauty/#.Uygbzk1WGP9>

Shigeru Ban: Building with Paper – Japan Pavilion, Expo 2000 | MArch2 <http://clarewashington.wordpress.com/2012/12/10/shigeru-ban-building-with-paper-japan-pavilion-expo-2000/#jp-carousel-712>

Ποιοι είμαστε, τι κάνουμε/ Ύπατη Αρμοστεία του ΟΗΕ για τους Πρόσφυγες <https://www.unhcr.gr/genikes-plirofories/poioi-eimaste-ti-kanoyme.html>

Joints | Daily Icon <http://www.dailyicon.net/tag/joints/>

Cardboard Cathedral by Shigeru Ban in Christchurch, New Zealand | About the AR | Architectural Review <http://www.architectural-review.com/buildings/cardboard-cathedral-by-shigeru-ban-in-christchurch-new-zealand/8654513.article>

Paper and Adhesives - Sonoco <http://www.sonoco.com/productsandservices/paperandadhesives.aspx>

Japanese Pavilion at the EXPO in Hanover | DETAIL inspiration <http://www.sonoco.com/productsandservices/paperandadhesives.aspx>

Canopy in Pouilly-en-Auxois | DETAIL inspiration <http://detail-online.com/inspiration/canopy-in-pouilly-en-auxois-103348.html>

Japanese Pavilion EXPO 2000 | TAKENAKA EUROPE <http://www.takenaka.eu/germany/c-41/japanese-pavilion-expo-2000/>

Αριστερή σελίδα σαλονιού

Δεξιά σελίδα σαλονιού

Αριστερή σελίδα σαλονιού

Δεξιά σελίδα σαλονιού