

ΒΑΣΙΚΑ ΤΕΧΝΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΤΟΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΠΟΛΥ ΥΨΗΛΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ

Ι. ΤΖΟΥΒΑΔΑΚΗΣ

Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ

Σ. ΔΟΥΜΑ

Πολιτικός Μηχανικός

Σύντομη περίληψη

Η παρούσα μελέτη αφορά στην καταγραφή, κατάταξη και ανάδειξη των βασικών προβλημάτων σχεδιασμού πολύ υψηλών κτιρίων. Λόγω της ιδιαιτερότητας και της μοναδικότητας των κτιρίων αυτών, η έρευνα αναγκαστικά προσανατολίστηκε στην καταγεγραμμένη και δημοσιευμένη εμπειρία, η οποία αποδείχτηκε φειδωλή και εξαιρετικά εξειδικευμένη σε επιστημονικά άρθρα. Αντίθετα, αντλήθηκε και αξιολογήθηκε άφθονο, διάσπαρτο πληροφοριακό υλικό μέσα από το διαδίκτυο.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα εργασία έχει ως σκοπό τη μελέτη των σύγχρονων «ουρανοξυστών».

Στόχος είναι να αναδείξει τα βασικά προβλήματα, που δημιουργεί το εξαιρετικά μεγάλο ύψος ενός κτιρίου στη δομή του, στη λειτουργία του, στην ασφάλεια των ενοίκων του και γενικά στον σχεδιασμό του.

Λόγω της ιδιαιτερότητας των κτιρίων αυτών, της μοναδικότητας και της διασποράς τους ανά τον κόσμο, η έρευνα βασίστηκε στην καταγεγραμμένη εμπειρία. Παρατηρήθη-

καν, γενικά, λίγα και πολύ εξειδικευμένα επιστημονικά δημοσιεύματα, αλλά άφθονο και διάσπαρτο πληροφοριακό υλικό στο Διαδίκτυο.

1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ – ΟΡΙΣΜΟΙ

1.1. Γενικά

Ο άνθρωπος, από τη στιγμή που ξεκίνησε την «οικοδομική του δραστηριότητα», προσπάθησε να κατακτήσει τους ουρανούς, μέσω των κατασκευών του.

Μαζί με τον θρύλο του πύργου της Βαβέλ κληροδότησε στις επόμενες γενιές κτίσματα -«θαύματα», που για την εποχή τους παραμένουν πρωτοποριακά και εντυπωσιάζουν ακόμα και σήμερα: νεολιθικές μεγαλιθικές κατασκευές, Πυραμίδες στην Αίγυπτο και στην Αμερική (Maya), γοτθικοί ναοί και κινεζικές παγόδες, ο γνωστός πύργος του Eiffel, και οι σύγχρονοι ουρανοξύστες είναι δείγματα καθολικής θέλησης του ανθρώπινου γένους να ανέβει πιο ψηλά από τη γη.

Το ύψος φαίνεται να έχει έναν χαρακτήρα μυστικιστικό, που αρχικά συνδέθηκε άμεσα με τη λατρεία των Θείων, αλλά και την τάση του ανθρώπου για κυριαρχία και πρόοδο. Δεν είναι τυχαίο ότι οι ουρανοξύστες, που εμφανίστηκαν για πρώτη φορά γύρω στα τέλη του 19^{ου} αιώνα στην Αμερική, εξελίχθηκαν σε σύμβολα αίγλης και ισχύος, φθάνοντας σήμερα να διαμορφώνουν τις κορυφογραμμές των σύγχρονων μεγαλουπόλεων.

Αυτή η τάση για δημιουργία όλο και υψηλότερων κατασκευών συνεχίζεται με πάθος και στις μέρες μας, ως απόδειξη οικονομικής ευρωστίας και τεχνολογικής υπεροχής των δημιουργών των κτιρίων αυτών, ενώ το παλιό, αλλά πάντα επίκαιρο όνειρο της κατάκτησης του ουρανού ξέφυγε από τους «οικοδόμους» μηχανικούς και ανατέθηκε σε άλλους επιστήμονες, ειδικούς στη Διαστημική Τεχνολογία.

1.2. Ορισμός υψηλού κτιρίου

Στις αρχές του 20^{ου} αιώνα, το Συμβούλιο για τα Υψηλά Κτίρια και την Αστική Κατοικία [Council on Tall Buildings and Urban Habitat -CTBUH], θεωρούσε «υψηλό» κάθε κτίριο

που ξεπερνούσε τους δέκα ορόφους, δεδομένου ότι αυτό ήταν το ύψος μέχρι το οποίο έφταναν οι σκάλες τις Πυροσβεστικής Υπηρεσίας στη Ν. Υόρκη. [6] Από τότε δεν έχουν αλλάξει πολλά πράγματα. Στις μέρες μας, σύμφωνα με την Επιτροπή Συλλογής Δεδομένων του Οργανισμού Emporis [Emporis Data Committee - EDC], υψηλό, χαρακτηρίζεται ένα κτίριο με ύψος από 35 m και πάνω, το οποίο χωρίζεται ανά τακτά διαστήματα σε ορόφους. [7] Τα 35 m αντιστοιχούν σε περίπου δέκα - δώδεκα ορόφους, αριθμός μάλλον μικρός για τα δεδομένα της εποχής μας.

1.3. Η έννοια του «ουρανοξύστη»

Η έννοια του ουρανοξύστη γεννήθηκε στα τέλη του 19^{ου} αιώνα, όπου και άρχισαν να κατασκευάζονται τα εξαιρετικά μεγάλα σε ύψος και εντυπωσιακά κτίρια στη Ν. Υόρκη.

Ο κατασκευαστικός ορισμός της λέξης δόθηκε αργότερα και εκφράζει τα ψηλά κτίρια με χαλύβδινο σκελετό που άρχισαν να κατασκευάζονται στα τέλη του 19^{ου} αιώνα, σε αντίθεση με αυτά που είχαν φέρουσα τοιχοποιία και κατασκευάζονταν τα προηγούμενα χρόνια. Γενικά, μπορούμε να πούμε ότι ο ουρανοξύστης είναι ένα πολυώροφο κτίριο με χαλύβδινο σκελετό, που εξοπλίζεται με υψηλής ταχύτητας ανελκυστήρες και συνδυάζει το εξαιρετικό ύψος με τους άνετους εσωτερικούς χώρους. [7]

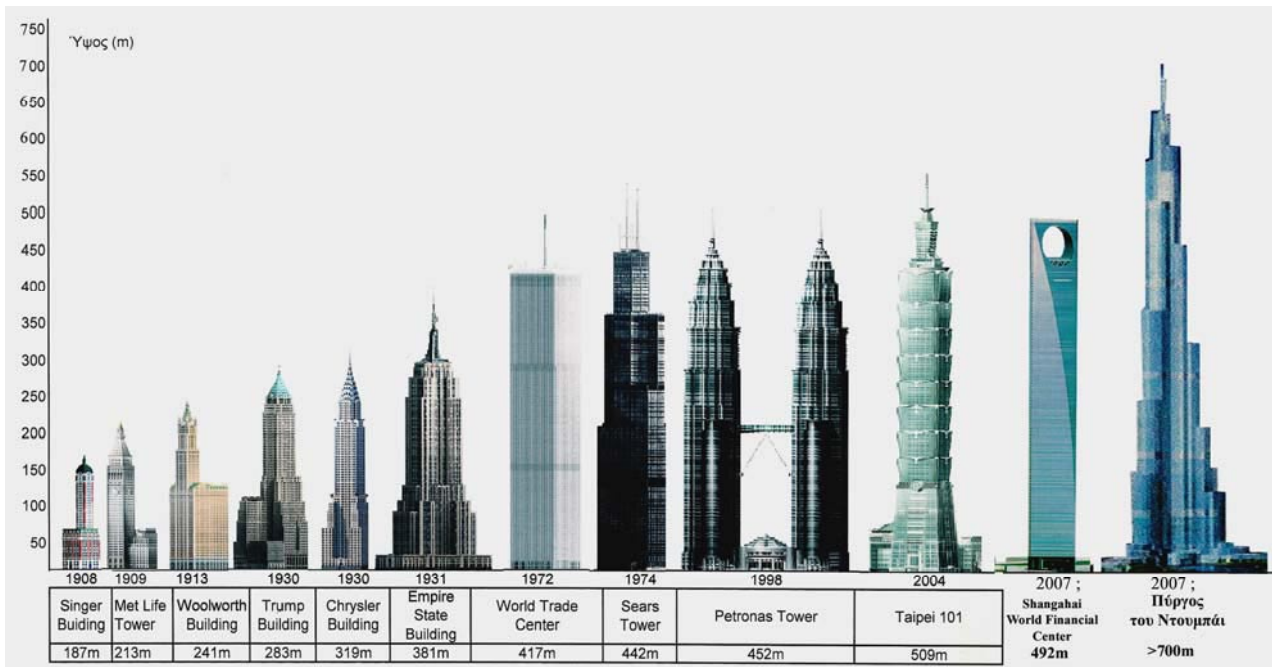
1.3. Οι πρώτες κατασκευές «ουρανοξυστών»

Οι πρώτοι ουρανοξύστες δεν θα ήταν δυνατό να κατασκευαστούν, αν δεν είχε προηγηθεί μια σημαντική πρόοδος της δομικής μηχανικής και νέες τεχνολογικές εξελίξεις. Όπως είχε δηλώσει και ο αρχιτέκτονας, Cesar Pelli: «ένα υψηλό κτίριο είναι η θεμελιώδης έκφραση της υπάρχουσας τεχνολογίας σε κάθε δεδομένη χρονική στιγμή».

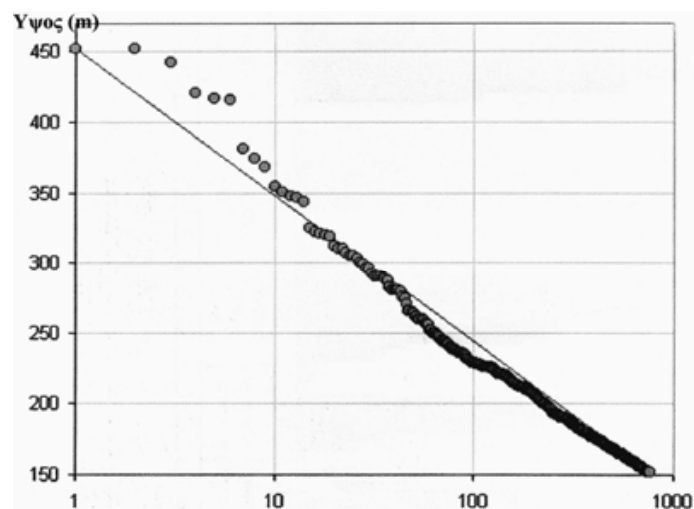
Ήδη, από το δεύτερο μισό του 18^{ου} αιώνα, η Βιομηχανική Επανάσταση, που ξεκινά από την Αγγλία, κάνει πιο προσιτά νέα υλικά, όπως ο σίδηρος και το γυαλί, που θα αντικαταστήσουν την πέτρα, τα τούβλα και το ξύλο. [15] Η πραγματική ανατροπή, όμως, στα οικοδομικά υλικά έρχεται τον 19^ο αιώνα με τη διάδοση του σιδήρου και στη συνέχεια του χάλυβα, καθώς και την ευρεία χρήση του τσιμέντου Portland, ενώ, το 1853, ο Elisha Otis

παρουσιάζει τον πρώτο ανελκυστήρα εξοπλισμένο με σύστημα ασφαλείας.

Οι κατάλληλες συνθήκες, για την εμφάνιση των ουρανοξυστών, παρουσιάστηκαν στο Σικάγο. Από το 1885 παρατηρείται στην πόλη μια μεγάλη οικοδομική δραστηριότητα, κυρίως, εξαιτίας μιας μεγάλης πυρκαγιάς, το 1871, που την είχε καταστρέψει.



Εικ. 1.1. Η εξέλιξη του ουρανοξύστη από τις αρχές του 20^{ου} αιώνα.
[πηγές:- skyscraperpage.com, Mori Building Co Ltd, google photos, Emporis.com]



Εικ. 1.2. Γραφική παράσταση του αριθμού υπαρχόντων κτιρίων σε σχέση με το ύψος τους. Παρατηρείται πύκνωση για ύψη κτιρίων μεταξύ 250-325 μ, ενώ για μεγαλύτερα ύψη τα κτίρια σπανίζουν
[Πηγή: Gramsbergen Egbert, Skyscraper heights analysis, 1999]

Οι συνθήκες, που επικρατούσαν, οδήγησαν σε αύξηση της αξίας της γης, με αποτέλεσμα να γίνεται έντονη προσπάθεια για τη μέγιστη χρήση της, που με τη σειρά της οδήγησε σε μια συνεχή αύξηση του αριθμού των ορόφων των κτιρίων. [38] Στις αρχές του 20^{ου} αιώνα, η Νέα Υόρκη ξαναπαίρνει τα πρωτεία στην κατασκευή ουρανοξυστών, που τα προηγούμενα χρόνια της είχε αφαιρέσει το Σικάγο, και ξεκινάει η μάχη για την κατάκτηση των ουρανών. Μια σειρά από ουρανοξύστες κατασκευάζονται, που ξεπερνά ο καθένας σε ύψος τον προηγούμενο.

Το 1902 το Flatiron Building (85 m), το 1908 το Singer Building [183 m], το 1909 το Metropolitan Life Tower (213 m) και το 1913 το Woolworth Building (241 m). Παραδόξως, οι δύο πιο εκθαμβωτικοί πύργοι της Ν. Υόρκης χτίστηκαν, ενώ η Αμερική βρισκόταν στην περίοδο της Μεγάλης Ύφεσης. Το 1930 ολοκληρώθηκε η ανέγερση του Chrysler Building (319m) και έναν χρόνο αργότερα του Empire State Building (381 m). [20,27,28]. Από τότε, πολλά άλλα υψηλά κτίρια κατασκευάστηκαν στον κόσμο (εικ.1.2.)

2. ΤΟ ΦΕΡΟΝ ΔΟΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Οι δύο προαναφερθέντες χαρακτηριστικοί πύργοι της Ν. Υόρκης [Chrysler Building και Empire State Building], είναι από τα πρώτα κτίρια που κατασκευάστηκαν αποκλειστικά με χαλύβδινο σκελετό. Η χρήση του χάλυβα είχε πολλά πλεονεκτήματα καθώς ήταν ένα υλικό ελαφρύ, που, ταυτόχρονα, μπορούσε να φέρει αποτελεσματικά τα φορτία αυτών των κατασκευών. Επίσης, υπήρχε σημαντική εξοικονόμηση χώρου σε σχέση με τις παλιότερες κατασκευές με φέρουσα τοιχοποιία. Με τη διάδοση του μεταλλικού σκελετού επικράτησε και ο διαχωρισμός του φέροντα οργανισμού από την εξωτερική τοιχοποιία, η οποία έπρεπε απλά να υποστηρίξει το βάρος της. Πρόκειται για το «πέτασμα» [curtain wall], που πρόσφερε μεγάλη ευχέρεια στους αρχιτέκτονες, όσον αφορά στη διαμόρφωση των προσόψεων.

Παρά τα πολλά πλεονεκτήματά τους, οι πρώτοι σκελετοί από χάλυβα, που κατασκευάστηκαν, αποτελούνταν από ένα «δάσος» από κολόνες σε αποστάσεις το πολύ 9-10m, που κάλυπταν όλη την κάτοψη [39].

Σε μια προσπάθεια να εξοικονομηθεί ακόμα περισσότερος χώρος, γύρω στα 1960, άρχισε να χρησιμοποιείται ευρέως η μέθοδος της «σωληνωτής κατασκευής». Όλο το πλήθος των υποστυλωμάτων, που προηγουμένως καταλάμβανε την κάτοψη, βρισκόταν τώρα συγκεντρωμένο στο κέντρο του κτιρίου, σχηματίζοντας έναν πυρήνα, που αναλάμβανε να φέρει τα κατακόρυφα φορτία της κατασκευής. Εκεί βρίσκονται, συνήθως, τα φρεάτια των ανελκυστήρων, τα κλιμακοστάσια και οι τουαλέτες. Ο υπόλοιπος χώρος παραμένει τελείως ελεύθερος. Μια άλλη σειρά από υποστυλώματα βρίσκεται στην εξωτερική περίμετρο του κτιρίου η οποία, εκτός από κάποιο μέρος των κατακόρυφων φορτίων, παραλαμβάνει και τα οριζόντια φορτία.

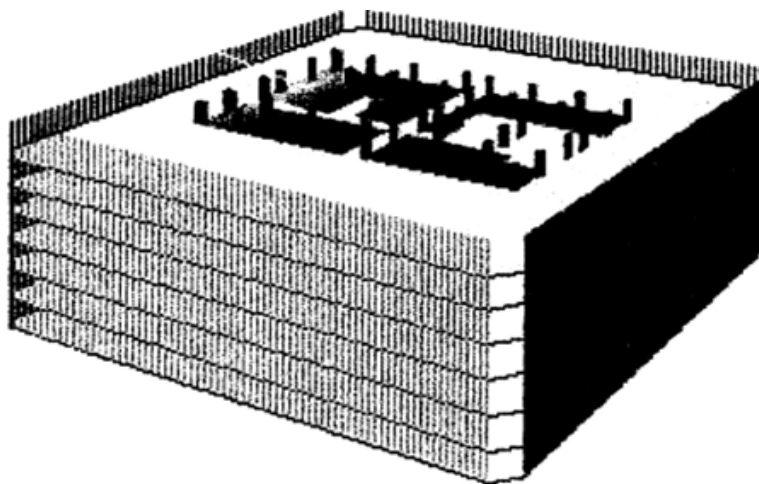
Οι σωληνωτές κατασκευές είναι πολύ διαδεδομένες και με τα χρόνια παρουσιάστηκαν διάφορες παραλλαγές τους. Ο πυρήνας τους μπορεί να αποτελείται από χαλύβδινα υποστυλώματα, από τοιχία, ή υποστυλώματα από σκυρόδεμα, όπως στην περίπτωση των Δίδυμων Πύργων της Πετρώνας. [24] Επίσης, και τα εξωτερικά περιμετρικά υποστυλώματα μπορούν να είναι χαλύβδινα ή από σκυρόδεμα.

Παρά το γεγονός ότι ο χάλυβας είναι το πιο διαδεδομένο υλικό στην κατασκευή υψηλών κτιρίων, υπάρχουν και αρκετοί ουρανοξύστες κατασκευασμένοι αποκλειστικά από σκυρόδεμα. Όταν το σκυρόδεμα παρουσιάστηκε για πρώτη φορά σαν οικοδομικό υλικό, υπήρχαν περιορισμοί στο ύψος, που μπορούσαν να φτάσουν τα κτίρια, που χτιζόνταν με αυτόν τον τρόπο. Ωστόσο, σήμερα, είναι διαθέσιμοι προηγμένοι τύποι σκυροδέματος και μπορούμε να πετύχουμε ύψη που ξεπερνούν τα 300m. Τα υψηλά κτίρια από σκυρόδεμα προορίζονται, κυρίως, για κατοικίες, γιατί δημιουργούν μια πιο «φιλική» ατμόσφαιρα. [24,3,5].

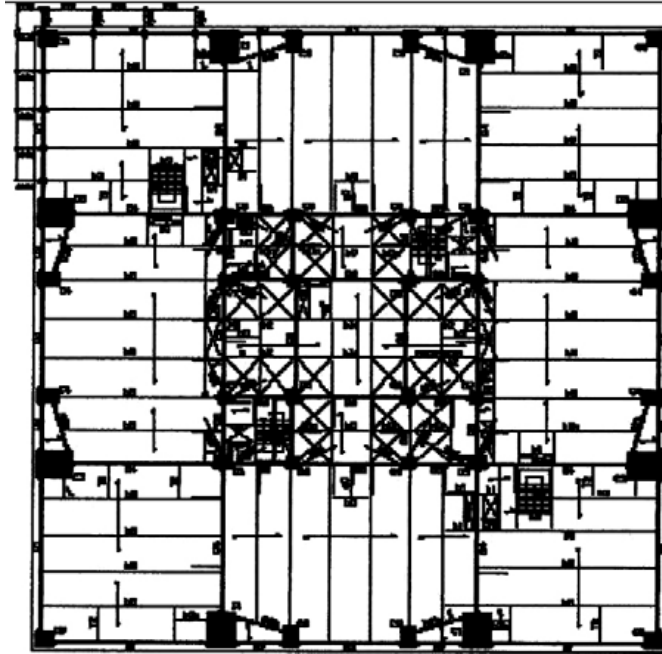
Μια ενδιαφέρουσα περίπτωση δομικού συστήματος συναντάμε στην περίπτωση του ουρανοξύστη Ταιρεί 101, του υψηλότερου αυτή τη στιγμή στον κόσμο. Στο κέντρο του κτιρίου έχει δημιουργηθεί ένας πυρήνας από 16 υποστυλώματα, τοποθετημένα σε έναν κάνναβο από τέσσερις γραμμές και τέσσερις στήλες. Πρόκειται για στήλες κοίλης διατομής, που στα κατώτερα επίπεδα έχουν πληρωθεί με σκυρόδεμα για επιπλέον ακαμψία. Στην περίμετρο, κάθε μια από τις τέσσερις πλευρές της κατασκευής έχει δύο υπέρ-κολώνες [super-columns] και δύο γωνιακές. Οι γωνιακές σταματούν στο 26° πάτωμα,

ενώ οι υπέρ-κολόνες συνεχίζουν και μετά απ' αυτό και έχουν πληρωθεί με σκυρόδεμα μέχρι το 62° πάτωμα. Το πλάτος τους [μετρημένο παράλληλα προς την πρόσοψη] είναι σταθερό, για να διευκολυνθεί η τοποθέτηση του εξωτερικού κελύφους. Το βάθος τους, όμως, ποικίλλει. Είναι ελαχιστοποιημένο στα ανώτερα πατώματα, αλλά αυξάνεται στα χαμηλότερα [33,37].

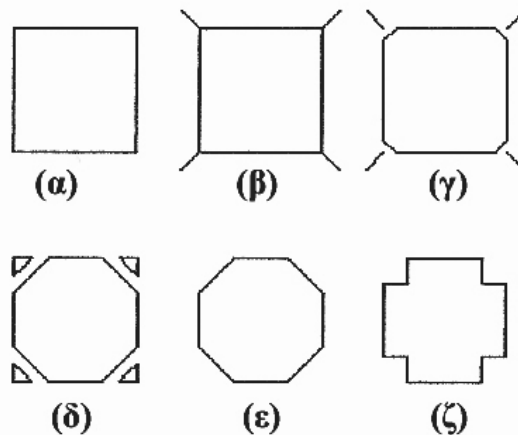
Αυτή τη στιγμή, για πολλούς ουρανοξύστες, οι απαιτήσεις περιορισμού της ταλάντωσης και όχι οι απαιτήσεις αντοχής καθορίζουν τον σχεδιασμό και την τελική μορφή τους. [16] Η έντονη ταλάντωση υποβαθμίζει την ποιότητα του κτιρίου και συνεπώς μειώνει την αξία του στην αγορά ακινήτων. Εάν οι απαιτήσεις μας για μείωση της ταλάντωσης δεν είναι πολύ μεγάλες, μπορούμε να τις αντιμετωπίσουμε με κάποιες «επεμβάσεις» στο δομικό σύστημα της κατασκευής ή στη μορφή της. Κάποιες τροποποιήσεις γωνιών έχει αποδειχθεί ότι μπορούν να μειώσουν σημαντικά την απόκριση της κατασκευής στη διεύθυνση του ανέμου και κάθετα αυτής. Επίσης, πολύ καλά αποτελέσματα στην απόκριση του κτιρίου έχει και η στρογγυλοποίηση των γωνιών του κτιρίου, που πλησιάζει μια σχεδόν κυκλική μορφή. Βελτιωμένες αποκρίσεις στη διεύθυνση κάθετα στον άνεμο έχουν παρατηρηθεί, επίσης, στα υψηλά κτίρια, που μεταβάλλουν τη μορφή της κάτοψης τους με το ύψος ή μειώνουν την επιφάνεια των ανώτερων επιπέδων, π.χ. με εκλεπτύνσεις, κομμένες γωνίες, ή μείωση των γωνιών, καθώς αυξάνει το ύψος. [17]



Εικ. 2.1 : Το δομικό σύστημα των World Trade Center αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα σωληνωτής κατασκευής. Αποτελείται από μια ομάδα υποστυλωμάτων, που βρίσκονταν συγκεντρωμένα στον πυρήνα του κτιρίου, ενώ μια άλλη ομάδα περιέβαλε περιμετρικά το κτίριο ανά 55cm. [πηγή: Tyson Peter, Towers of innovations]



Εικ. 2.2 : Τυπική κάτοψη κατώτερου ορόφου από τον ουρανοξύστη Ταϊπέι 101. Η κάτοψη αντιστοιχεί στο 10^ο πάτωμα. Φαίνεται ο πυρήνας με τα δεκαέξι υποστυλώματα, οι εξωτερικές υπέρ-κολόνες και οι γωνιακές.
[πηγή: Shieh Shaw-Song, Structural Design of composite super-columns for the Taipei 101]

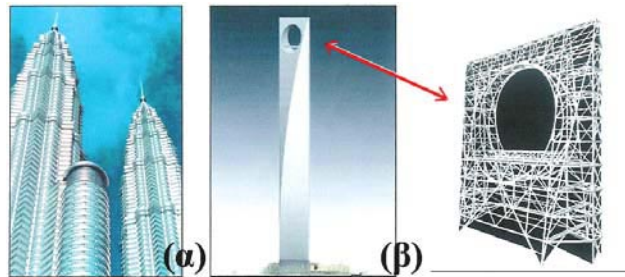


Εικ. 2.3: Τροποποιήσεις στις γωνίες απλής ορθογωνικής κάτοψης [α] : Πτερύγια [β], πτερύγια με κενά αερισμού [γ], γωνίες με αυλακώσεις [δ], λοξοτομημένες και κομμένες γωνίες [ε, ζ.]
[πηγή: Kareem Ahsan, Mitigation of Motions of Tall Buildings]

Για τη μείωση της κίνησης, ο μελετητής μηχανικός μπορεί να προνοήσει για την ύπαρξη ανοιγμάτων στα ανώτερα πατώματα (η αποτελεσματικότητα αυτής της τροποποίησης μικραίνει, εάν τα ανοίγματα βρίσκονται σε χαμηλότερα επίπεδα του κτιρίου), που αφήνουν τον αέρα να περάσει ανάμεσα από το κτίριο. Η προσθήκη ανοιγμάτων σε ένα κτίριο παρέχει ακόμα ένα μέσο αεροδυναμικού σχεδιασμού της κατασκευής. Εν τούτοις, και αυτή η προσέγγιση, όπως και οποιαδήποτε άλλη αεροδυναμική τροποποίηση, πρέπει να

γίνεται με προσοχή, προς αποφυγήν αντίθετων αποτελεσμάτων. [43]

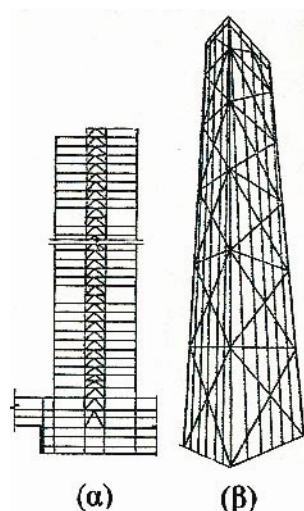
Μια πολύ αποτελεσματική και αρκετά οικονομική μέθοδος για τη διευκόλυνση του δομικού συστήματος στην παραλαβή των απαιτούμενων οριζόντιων φορτίων, αποτελούν οι διαγώνιοι αντιανέμιοι σύνδεσμοι, που τοποθετούνται, συνήθως, στην εξωτερική περίμετρο του κτιρίου. [22].



Εικ. 2.4 : [α] Η κλιμακωτή μορφή των Δίδυμων Πύργων της Πετρώνας. [πηγή- : kiat.net]
 [β] Ο πύργος Shanghai World Financial Center στην Κίνα ολοκληρώθηκε το 2007. Με ύψος 492m είναι το υψηλότερο κτίριο στην Κίνα. Το σχέδιο του είναι εμπνευσμένο από την κινεζική παράδοση, σύμφωνα με την οποία το τετράγωνο αντιστοιχεί στη Γη και ο κύκλος στον ουρανό, [πηγή: Emporis.com]
 Το άνοιγμα στην κορυφή του πύργου θα έχει διάμετρο 50m και θα προσφέρει ανακούφιση από την πίεση του αέρα. [πηγή: KPF]

Ένα από τα πιο εξελιγμένα συμβατικά συστήματα συνδέσμων είναι αυτό του Chase Manhattan Bank Building στη Ν. Υόρκη (Εικ. 2.5.α). Πρόκειται για έναν ουρανοξύστη ύψους 244m, με χαλύβδινο σκελετό.

Το πλαίσιο είναι εξασφαλισμένο από τον αέρα, εγκάρσια, από διαγώνιους συνδέσμους τύπου-K, που βρίσκονται καθ' όλο το ύψος του κτιρίου.



Εικ. 2.5: Οι χαλύβδινοι σκελετοί των Chase Manhattan Building [α] και John Hancock Center [β]. Διακρίνουμε τους διαγώνιους συνδέσμους σε σχήμα K στην πρώτη περίπτωση και σχήματος X στη δεύτερη. [πηγή: MacDonald Angus J., Wind Loading on Buildings]

Επιπλέον, όλες οι συνδέσεις δοκών-υποστυλωμάτων είναι άκαμπτες. Το σύστημα συνδέσεων αριθμεί περίπου 3000 μέλη και ένα μεγάλο μέρος του συνολικού βάρους του χάλυβα του κτιρίου αφιερώνεται στην αντίσταση στα φορτία ανέμου.

Ένα κτίριο, στο οποίο οι διαγώνιοι σύνδεσμοι είναι ορατοί στην πρόσοψή του, είναι το John Hancock Center, στο Σικάγο (Εικ.2.5.β). Το κτίριο είναι, στην πραγματικότητα, ένας ιδιαίτερα υψηλός σωλήνας χάλυβα.

Τα χαλύβδινα υποστυλώματα και δοκάρια συγκεντρώνονται στην περίμετρο του ουρανοξύστη και πέντε τεράστια διαγώνια στηρίγματα, στους εξωτερικούς τοίχους του ουρανοξύστη, του δίνουν επιπλέον αντοχή στον αέρα.

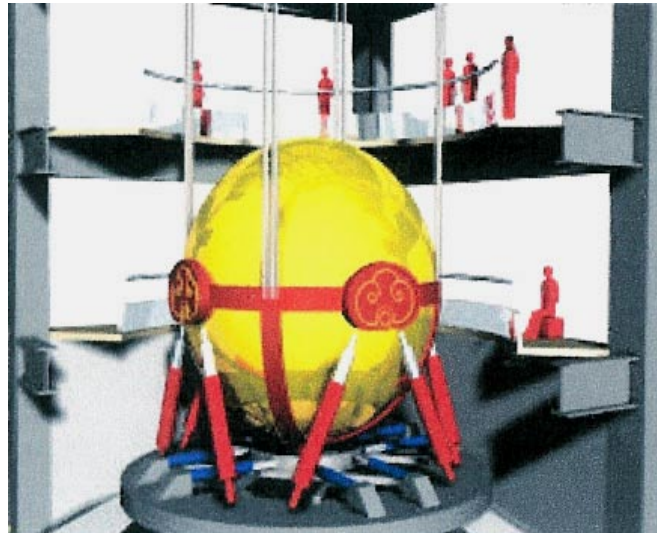
Επίσης, ο ουρανοξύστης στη βάση του καταλαμβάνει επιφάνεια 40.000 ft, ενώ στην κορυφή 18.000 ft². Αυτό το ιδιαίτερο σχέδιο παρέχει πρόσθετη σταθερότητα ενάντια στις δυνάμεις του αέρα.

Σε περιπτώσεις, που οι απαιτήσεις μας για περιορισμό των μετακινήσεων είναι μεγαλύτερες, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ειδικές διατάξεις, που ονομάζονται αποσβεστήρες.

Πρόκειται για βοηθητικές πηγές, μέσω των οποίων μπορεί να εισαχθεί στην κατασκευή ένα γνωστό επίπεδο απόσβεσης. Οι διατάξεις αυτές μπορεί να είναι ενεργητικές ή παθητικές, ανάλογα με το αν απαιτείται παροχή ενέργειας ή όχι για να λειτουργήσουν. [14]

Ο πιο διαδεδομένος τύπος αποσβεστήρα είναι ο παθητικός αποσβεστήρας συντονισμένης μάζας [tuned mass damper - TMD]. Ο αποσβεστήρας συντονισμένης μάζας είναι ένα παθητικό σύστημα απόσβεσης που αποτελείται από μια αδρανειακή μάζα, τοποθετημένη στη θέση του κτιρίου, που παρουσιάζει τη μέγιστη κίνηση, γενικά κοντά στην κορυφή, και συνδέεται με το κτίριο μέσω κατάλληλων ελατηρίων. [4,40] Ουσιαστικά, ένας TMD μπορεί να θεωρηθεί σαν ένας ενεργειακός νεροχύτης, όπου η υπερβολική κινητική ενέργεια, που αναπτύσσεται σε ένα κτίριο από τον σεισμό ή τον αέρα, μεταφέρεται στη δευτεροβάθμια μάζα.

Ο αποσβεστήρας δεν εμποδίζει το κτίριο να κινηθεί, αλλά μειώνει την κίνηση σε αποδεκτά επίπεδα. [26]



Εικ. 2.6 : Στο *Taipei Financial Center* έχει χρησιμοποιηθεί ένας αποσβεστήρας συντονισμένης μάζας σε μορφή εκκρεμούς. Ενώ στις περισσότερες περιπτώσεις οι αποσβεστήρες τοποθετούνται σε θέσεις όπου δεν είναι ορατοί, στο *Taipei Financial Center* η σφαιρικά διαμορφωμένη μάζα είναι ορατή από δύο πατώματα: στο επίπεδο παρατήρησης και στο εστιατόριο, [πηγή: διαδικτυακός τόπος: *Taipei 101*]

Συχνά, οι περιορισμοί του χώρου δεν επιτρέπουν τις παραδοσιακές διαμορφώσεις TMD, που απαιτούν περίπλοκο εξοπλισμό, συμπεριλαμβανομένων εκκρεμών, που καταλαμβάνουν πάνω από έναν όροφο, ογκώδη μηχανικά συστήματα, υδροστατικά και λαστιχένια ρουλεμάν. [4,40]

Οι ενεργοί αποσβεστήρες μάζας μοιάζουν με τους παθητικούς αποσβεστήρες μάζας, μόνο που η κίνηση της αδρανειακής μάζας είναι ελεγχόμενη. Ένας υπολογιστής αναλύει τις αποκρίσεις της κατασκευής που έχουν μετρηθεί και εισάγει μια, κατάλληλου μεγέθους, δύναμη. Ένας μηχανισμός κινεί, στη συνέχεια, τη δευτεροβάθμια μάζα, είτε πρόκειται για ολίσθηση, είτε για κίνηση εκκρεμούς, για να αντιδράσει στην κίνηση της κατασκευής. Αν και αυτά τα συστήματα απαιτούν μικρότερες μάζες, και έχουν ανώτερο επίπεδο αποδοτικότητας σε σχέση με τα αντίστοιχα παθητικά, προβληματίζουν, εξαιτίας των υψηλών δαπανών λειτουργίας τους και συντήρησής τους και της ανησυχίας που υπάρχει σχετικά με την αξιοπιστία τους. [14,42,36]

Τα τελευταία χρόνια έχουν αρχίσει να εφαρμόζονται εκτενώς και κάποια ημιενεργά και υβριδικά συστήματα απόσβεσης. Τα πρώτα αποτελούν έναν συνδυασμό των καλύτερων χαρακτηριστικών των παθητικών και ενεργών συστημάτων. Πρόκειται, δηλαδή, για συστήματα που έχουν τη δυνατότητα να ανταποκριθούν άμεσα σε έναν ξαφνικό δυ-

νατό άνεμο ή έναν σεισμό και έχουν, γενικά, χαμηλές απαιτήσεις ενέργειας. [14,35,41]. Τα υβριδικά συστήματα απόσβεσης έχουν την ικανότητα να λειτουργούν είτε ως παθητικά, είτε ως ενεργά, ανάλογα με τις συνθήκες του ανέμου και τα χαρακτηριστικά δόνησης του κτιρίου. Αυτά τα συστήματα λειτουργούν ως ενεργές διατάξεις, όταν παρουσιάζεται υψηλή διέγερση, ενώ σε αντίθετη περίπτωση συμπεριφέρονται παθητικά. Γενικά, το κόστος εγκατάστασης τέτοιων συστημάτων είναι αρκετά υψηλό, αλλά η μειωμένη λειτουργία τους, ως ενεργά συστήματα, κρατάει σε χαμηλά επίπεδα τις δαπάνες συντήρησης και λειτουργίας. [21,30]

3. ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ ΚΤΙΡΙΟΥ

Μια, επίσης, πολύ βασική παράμετρος στον σχεδιασμό ενός υψηλού κτιρίου είναι και το σύστημα των κατακόρυφων μεταφορών. Καθοριστικής σημασίας για τη λειτουργικότητα του κτιρίου, το σύστημα των ανελκυστήρων, έχει συνδέσει την εξέλιξή του με αυτή των ουρανοξυστών. Γύρω στα μέσα της δεκαετίας του '60, εμφανίστηκε η πρόκληση της μείωσης του χώρου, που καταλάμβαναν οι πυρήνες των ανελκυστήρων και τότε παρουσιάστηκαν για πρώτη φορά οι λύσεις των «skylobbies» και των διώροφων ανελκυστήρων που είχαν ήδη προβλεφθεί 30 έως 40 έτη νωρίτερα (μετά την κατασκευή του Empire State Building).

Τα «skylobbies» είναι επίπεδα, που λειτουργούν ως υπερτοπικές αφετηρίες άφιξης και αναχώρησης ομάδας ανελκυστήρων. Δημιουργούνται στα ανώτερα πατώματα του κτιρίου, ώστε οι χρήστες του συστήματος ανελκυστήρων να μπορούν να ταξιδέψουν γρήγορα από το ισόγειο στο επίπεδο του «skylobby» και μετά να οδηγηθούν σε τοπικές ζώνες ανελκυστήρων.[8] Η τοπική λύση του «skylobby» υπερνικά, μερικώς, το πρόβλημα των αυξανόμενων αξόνων στα χαμηλότερα επίπεδα του κτιρίου, επειδή δεν είναι απαραίτητο όλοι οι ανελκυστήρες να εξυπηρετήσουν το επίπεδο της εισόδου. Οι τοπικές ζώνες διατάσσονται η μια πάνω από την άλλη, έτσι ώστε οι άξονες των ανελκυστήρων, γενικά, να καταλαμβάνουν το ίδιο «ίχνος». Το μεγαλύτερο σύστημα μονώροφων ανελκυστήρων με skylobbies βρισκόταν στο Κέντρο Παγκοσμίου Εμπορίου στη Ν. Υόρκη. Η ταχύτητα αυτών των ανελκυστήρων ήταν 8,0 mps. [39,29]

Μια άλλη μέθοδος εξοικονόμησης χώρου είναι οι διώροφοι [-πολυώροφοι] ανελκυστήρες. Ένας διώροφος ανελκυστήρας μπορεί να παρέχει υπηρεσία, ταυτόχρονα, σε περισσότερα πατώματα μιας ζώνης, μειώνοντας, έτσι, τον απαραίτητο αριθμό ανελκυστήρων [και αξόνων] σε σχέση με τους συμβατικούς, μονώροφους ανελκυστήρες που θα απαιτούνταν για να παραχθεί η ίδια υπηρεσία σε ένα κτίριο δεδομένου μεγέθους. Η λύση των διώροφων ανελκυστήρων μας εξοικονομεί περίπου 30% χώρου από τη μείωση του αριθμού των φρεατίων. Το μεγαλύτερο σύστημα διώροφων ανελκυστήρων με ταχύτητες 7,0 και 8,0 mps βρίσκεται στον Πύργο Sears, στο Σικάγο. [2,8,29].

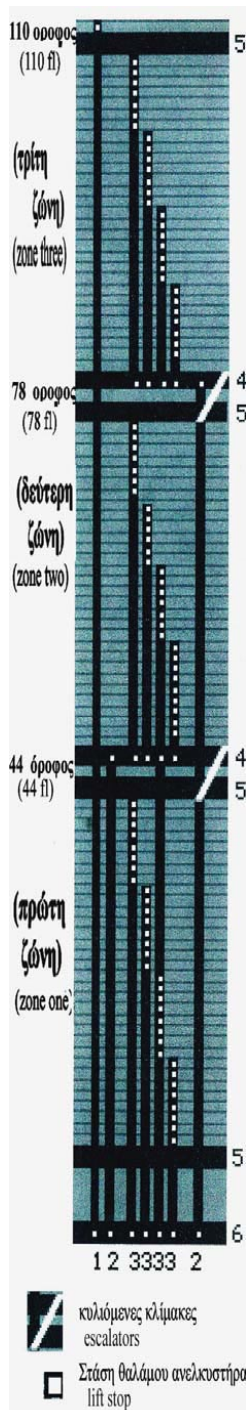
Γενικά, η διαδικασία σχεδιασμού ενός συστήματος ανελκυστήρων είναι αρκετά πολύπλοκη διαδικασία και ξεκινάει παράλληλα με αυτή του σχεδιασμού του κτιρίου. Από τη στιγμή που είναι δυνατή μια πρώτη εκτίμηση για τον όγκο και το ύψος του κτιρίου, ο σχεδιαστής του συστήματος ανελκυστήρων οφείλει να κάνει έναν πρόχειρο σχεδιασμό και να παρουσιάσει εναλλακτικά σενάρια, με διάφορους συνδυασμούς αριθμού αξόνων, αριθμού θαλάμων ανελκυστήρων, αναμενόμενο αριθμό στάσεων, επιπέδων εξυπηρέτησης κ.ά. [43]

Το κλειδί στον υπολογισμό του αριθμού των ανελκυστήρων, που μπορούν να εξυπηρετήσουν ένα κτίριο, είναι να καθορίσουμε πρώτα την ποιότητα της εξυπηρέτησης που θέλουμε να προσφέρουμε. Η προσφορά, όμως, ενός επιπέδου ποιότητας, που θα είναι από ανεκτό ως και πολύ άνετο για τους χρήστες, εξαρτάται από παράγοντες περισσότερο ψυχολογικούς, παρά μηχανικούς, κάτι που έχει ως αποτέλεσμα να αναγκαζόμαστε να ακολουθήσουμε μεθόδους και κριτήρια τελείως εμπειρικά. Γενικά, έχει παρατηρηθεί ότι, όσον αφορά στη διάρκεια αναμονής του ανελκυστήρα, υπάρχει μικρή ανεκτικότητα εκ μέρους των χρηστών, ενώ αντίθετα, από τη στιγμή, που εισέλθουν στον θάλαμο, δεν ενοχλούνται ακόμη και από μια ανάβαση μακράς διάρκειας, λόγω της ψευδαίσθησης ότι κατευθύνονται προς έναν προορισμό. Ο χρόνος αναμονής για τα συνήθη συστήματα κυμαίνεται γύρω στα 30-35 sec, ενώ για ένα πολύ γρήγορο σύστημα μπορεί να φτάσει και τα 20 sec. [34].

Όταν ξέρουμε τη χωρητικότητα ενός θαλάμου, είναι εύκολο να βρούμε τον αριθμό των ανελκυστήρων που είναι απαραίτητοι για την εξυπηρέτηση του κτιρίου, απλά διαι-

ρώντας το σύνολο των ανθρώπων που υπολογίζεται να φτάσουν μια δεδομένη στιγμή, με τη χωρητικότητα κάθε θαλάμου. Σε αυτό το σημείο, βέβαια, πρέπει να είναι γνωστό ποιο ποσοστό του κατ' εκτίμηση πληθυσμού του κτιρίου μπορεί να αναμένεται να φθάσει ταυτόχρονα τις ώρες αιχμής [π.χ. 9 το πρωί και 5 το απόγευμα].

Ο υπολογισμός αυτού του ποσοστού γίνεται με εμπειρικά κριτήρια και λαμβάνουμε υπόψη διάφορους παράγοντες.



Εικ.3.1: Το σύστημα ανελκυστήρων του World Trade Center. Υπήρχαν δύο «skylobbies» στο 44^ο και 78^ο πάτωμα, που χώριζαν το κτίριο σε τρεις ζώνες. Έντεκα ανελκυστήρες υψηλής ταχύτητας συνέδεαν το επίπεδο του εδάφους με τα «skylobbies».

Το χαμηλότερο τμήμα εξυπηρετούνταν από τέσσερις ομάδες των έξι ανελκυστήρων η κάθε μια, που αναλάμβαναν τις μεταφορές μέσα στα όρια της ζώνης. Το ίδιο ίσχυε και για τα άλλα δύο τμήματα. Με αυτό τον τρόπο είχε επιτευχθεί καλύτερη εξυπηρέτηση των χρηστών, αλλά και σημαντική εξοικονόμηση χώρου, αφού απαιτούνταν λιγότεροι άξονες.

Υπόμνημα

1. Ανελκυστήρες μεγάλης ταχύτητας για την κορυφή
High speed lifts to the top
2. Ανελκυστήρες μεγάλης ταχύτητας που οδηγούν στα «skylobbies»
High speed lifts that lead to the «skylobbies»
3. Τοπικοί ανελκυστήρες
Local lifts
4. Επίπεδα όπου βρίσκονται τα «skylobbies»
Levels where «skylobbies» are located.
5. όροφοι μηχανολογικού εξοπλισμού
Mechanical equipment floor
6. ισόγειο - Ground floor.

[πηγές: Tyson Peter, Towers of innovations]

4. ΠΥΡΑΣΦΑΛΕΙΑ ΚΑΙ ΕΚΚΕΝΩΣΗ ΥΨΗΛΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ

4.1. Πυρανίχνευση και πυρόσβεση

Μετά την κατάρρευση του World Trade Center στη Ν. Υόρκη, ήρθε στην επικαιρότητα ένα θέμα, στο οποίο για πολλά χρόνια δεν υπήρχαν σημαντικές εξελίξεις.

Είναι το θέμα της ασφάλειας των ουρανοξυστών. Από πολύ νωρίς είχε γίνει αντιληπτή η ανάγκη για αποτελεσματική προστασία των υψηλών χαλύβδινων κατασκευών από τη φωτιά. Για αυτό τον λόγο, προβλεπόταν η εφαρμογή πυροπροστατευτικών και μονωτικών υλικών στα δομικά στοιχεία, η εγκατάσταση συστημάτων πυρανίχνευσης και ψεκαστήρων, καθώς και συστημάτων μόνιμων σωλήνων πυροπροστασίας. Ωστόσο, οι κανονισμοί που ίσχυαν, ειδικά στην Αμερική, ήταν πολύ χαμηλών απαιτήσεων και ο κατασκευαστής θα έπρεπε να τους εφαρμόσει κατά την κρίση του.

Τα τελευταία χρόνια έχει αρχίσει να διαδίδεται ιδιαίτερα η δομική μηχανική πυρόσβεσης. Αυτή, δίνει στον μηχανικό τη δυνατότητα να θεωρήσει ένα κτίριο ή ένα τμήμα αυτού, ως μοναδική οντότητα, στην οποία συγκεκριμένα γεγονότα και οι αντίστοιχες συνέπειες μπορούν να συμβούν. Αντί να συμπληρώνει έναν κατάλογο γενικών απαιτήσεων βασισμένων στον τύπο και τη χρήση του κτιρίου, ο μηχανικός θεωρεί το δομικό σύστημα, τα πιθανά σενάρια πυρκαγιάς, και άλλους συμβάλλοντες παράγοντες προκειμένου να αναπτύξει μια στρατηγική για να προστατεύσει τη δομή. [23]

Οι περισσότεροι ουρανοξύστες βασίζονται σε μεγάλο βαθμό στο σύστημα ψεκαστήρων τους για την αντιμετώπιση μιας πυρκαγιάς. Στην Αμερική, εξετάζεται μια πρόταση, σύμφωνα με την οποία, θα είναι υποχρεωτική η εγκατάσταση διπλών συστημάτων ψεκαστήρων στους νέους ουρανοξύστες. Αυτό, συνήθως, σημαίνει την εγκατάσταση εφεδρικών παροχών νερού, ώστε, αν κάποιοι σωλήνες κοπούν, να μην αχρηστευτεί το σύστημα ψεκαστήρων. [23]

Επιπλέον, αν και τα συστήματα ψεκαστήρων έχουν χρησιμοποιηθεί για δεκαετίες για προστασία έναντι πυρκαγιάς, η άμεση εφαρμογή του ύδατος στα δομικά στοιχεία είναι μια σχετικά νέα προσέγγιση στις ΗΠΑ. Με την κατάβρεξη με νερό των κρίσιμων δομικών στοιχείων, ένα σύστημα μπορεί να κρατήσει αυτά τα στοιχεία δροσερά για μια εκτεταμένη χρονική περίοδο, και μπορεί, επίσης, να βοηθήσει να αποτραπεί η άμεση διάδοση

φλογών επάνω στο δομικό υλικό. [13]

Τέλος, ιδιαίτερα σημαντικά για ένα υψηλό κτίριο είναι τα μέτρα παθητικής πυροπροστασίας. Οι τοίχοι και τα πατώματα έχουν το ρόλο πυροστεγών διαφραγμάτων, που διαχωρίζουν το κτίριο οριζόντια και κατακόρυφα σε «διαμερίσματα πυρκαγιάς». [32] Αυτά επικοινωνούν μεταξύ τους με ανοίγματα, όπου πυράντοχες πόρτες αναστέλλουν τη μετάδοση της φωτιάς, διευκολύνοντας την εκκένωση του κτιρίου, αλλά και τη δράση των πυροσβεστών.

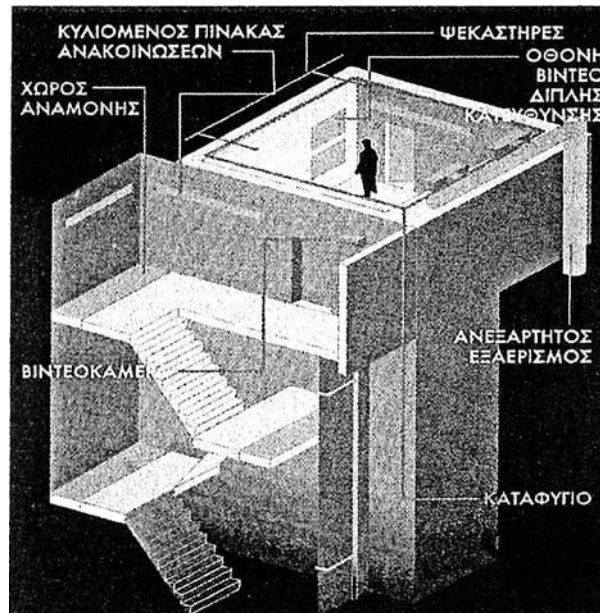
4.2. Εκκένωση του κτιρίου

Συγκεκριμένα, όσον αφορά στο θέμα της εκκένωσης των υψηλών κτιρίων, μηχανικοί και πυροσβεστική προσπαθούν να δώσουν τη βέλτιστη λύση. Η ολική εκκένωση ενός ουρανοξύστη είναι καταρχάς ιδιαίτερα χρονοβόρα και επίσης μερικές φορές ανούσια. Δεν νοείται να εκκενωθεί ένας ολόκληρος ουρανοξύστης 7000 ή 8000 ανθρώπων [ή και παραπάνω], επειδή υπάρχει μια περιορισμένη εστία φωτιάς κάπου σε κάποιον όροφο.

Η εκκένωση ενός ουρανοξύστη γίνεται, συνήθως, μέσω του κλιμακοστασίου. Είναι σχεδόν σίγουρο ότι, στην Αμερική, οι νέοι κανονισμοί θα προβλέπουν δύο χωριστά κλιμακοστάσια, τοποθετημένα σε διαφορετικές πλευρές του κτιρίου, κάτι που ισχύει εδώ και χρόνια στη Γερμανία. Επίσης, οι εμπειρογνώμονες διερευνούν, αν το τυποποιημένο πλάτος σκαλοπατιών, που αυτή τη στιγμή είναι 110 cm, αρκεί για να εξυπηρετήσει τους ανθρώπους που φεύγουν και κατεβαίνουν και τους πυροσβέστες που κινούνται προς τα επάνω. [12] Σε ορισμένους ουρανοξύστες, όπως τον Sears Tower στο Σικάγο, εξοπλίζουν, επιπλέον, τα κλιμακοστάσια με δίτροχες καρέκλες διαφυγής για τη μεταφορά ανθρώπων με κινητικά προβλήματα ή τραυματισμένων.

Η διαφυγή των ανθρώπων εκτός του κτιρίου στους ουρανοξύστες είναι πολύ δύσκολη και συχνά επικίνδυνη και γι' αυτό, έχει αρχίσει να εξετάζεται σοβαρά το ενδεχόμενο καταφυγίων εντός του κτιρίου. Αν και τα πυράντοχα καταφύγια αποτελούν μια πολύ παλιά έννοια και σε πολλές ασιατικές χώρες είναι υποχρεωτικά στους ουρανοξύστες, ουσιαστικά μόνο τα τελευταία χρόνια ξεκίνησε η εφαρμογή τους. Δεν υπάρχουν συγκεκριμένες προδιαγραφές για την κατασκευή των χώρων αυτών. Τα πιο εξελιγμένα καταφύγια είναι

ανεξάρτητες μονάδες με δικά τους συστήματα εξαερισμού και πυρόσβεσης, καθώς και επιπλέον μέσα πυροπροστασίας, ενισχυμένους τοίχους και δάπεδα, αλλά και θωρακισμένες πόρτες και παράθυρα. [11]



Εικ. 4.1.: Όταν δεν επιτρέπεται η εκκένωση του κτιρίου, οι ένοικοι μπορούν να συγκεντρωθούν σε ειδικά καταφύγια
[πηγή-source: Popular Science]

Εκτός από τα παραπάνω, οι μηχανικοί προσανατολίζονται και προς κάποιες άλλες στρατηγικές εκκένωσης. Για παράδειγμα προβλέπεται η επέμβαση με ελικόπτερο σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης. Ακόμα και αν το κτίριο δεν διαθέτει ελικοδρόμιο, είναι δυνατόν μια ομάδα πυροσβεστών να κατέβει από το ελικόπτερο με σκοινιά κουβαλώντας τον εξοπλισμό που χρειάζεται. Αν, στη συνέχεια, χρειαστεί να μεταφέρει τραυματίες, μπορεί να τους ανεβάσει στο ελικόπτερο με τη βοήθεια ενός κατάλληλου καθίσματος ή φορείου. [31] Εξέλιξη αυτού του τρόπου επέμβασης, αποτελεί η πλατφόρμα διάσωσης Eagle, που παρουσίασε πρόσφατα μια εταιρεία στο Ισραήλ. Πρόκειται για μια «ιπτάμενη» πλατφόρμα, ιδιαίτερα ελαφριά, εξοπλισμένη με τέσσερις μηχανές που της επιτρέπουν να κινείται οριζόντια και κάθετα, έχοντας, έτσι, τη δυνατότητα να πλησιάσει οποιονδήποτε όροφο ενός ουρανοξύστη. Η πλατφόρμα έχει χωρητικότητα δέκα ατόμων, ενώ είναι εξοπλισμένη και με δεξαμενές νερού για να μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για κατάσβεση. [1]

Φυσικά, όλα τα παραπάνω δεν θα υπήρχε λόγος να εφαρμοστούν εάν μπορούσαμε να εξασφαλίσουμε τη λειτουργία των ανελκυστήρων σε περίπτωση πυρκαγιάς. Η τεχνολογία

υπάρχει για να κατασκευάσουμε πυράντοχους ανελκυστήρες, ωστόσο το κόστος είναι απαγορευτικό. Για να χρησιμοποιηθεί σε μια έκτακτη ανάγκη ένας ανελκυστήρας, πρέπει να είναι σε θέση να αντιμετωπίσει προβλήματα που συνδέονται με τη θερμότητα, τον καπνό, και το νερό από μια πυρκαγιά. Δηλαδή, ένας ανελκυστήρας πρέπει να έχει μέλη ανθεκτικά στο νερό, ασφαλή παροχή ενέργειας, εφεδρική παροχή ενέργειας, πυροπροστατευόμενα λόμπι σε όλα τα πατώματα και συστήματα για προστασία από τον καπνό του εξοπλισμού, των φρεατίων και του λόμπι. [19]

Ωστόσο, οι κώδικες, σε πολλές χώρες τις Ευρώπης και της Ασίας, προβλέπουν την ύπαρξη ενός ανελκυστήρα εκτάκτου ανάγκης, που θα χρησιμοποιηθεί από τους πυροσβέστες και από άτομα με κινητικά προβλήματα ή τραυματίες. Ο ανελκυστήρας εκτάκτου ανάγκης τοποθετείται κοντά στα κλιμακοστάσια, σε ένα τμήμα του κτιρίου, όπου η πίεση του αέρα είναι κατάλληλα προσαρμοσμένη για να κρατήσει τον καπνό έξω. Τα τοιχώματα του φρέατος είναι ανθεκτικά στο νερό για να αποτρέψουν πιθανή ζημία από τους ψεκαστήρες και τις μάνικες των πυροσβεστών. Παράλληλα, τα μηχανικά και ηλεκτρικά τους συστήματα μπορούν να λειτουργήσουν σε υγρές συνθήκες και οι πόρτες είναι αλεξιπυρες. [10,43]

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Παρ' όλα αυτά, ο παράγοντας της ασφάλειας δεν φαίνεται να ανακόπτει τη συνεχή αύξηση του ύψους των κτιρίων. Με την κατασκευή του πύργου Taipei 101, έσπασε το φράγμα του μισού χιλιομέτρου, που όλα δείχνουν ότι σύντομα θα ξεπεραστεί κατά πολύ. Ήδη, στην Ασία, σχεδιάζονται ή βρίσκονται υπό κατασκευή κτίρια εξαιρετικού ύψους, με αποκορύφωμα τον Πύργο του Ντουμπάι, που ολοκληρώθηκε το 2007 και ξεπερνά σε ύψος τα 700m.

Εξέλιξη, όμως, δεν υπάρχει μόνο στο ύψος των ουρανοξυστών, αλλά και στον χαρακτήρα και τον συμβολισμό τους. Η υιοθέτηση αυτών των κτιρίων από τις ευρωπαϊκές πόλεις, τους έδωσε ένα διαφορετικό ύφος, ενσωματώνοντας σε αυτά στοιχεία οικολογικής ευαισθησίας και μιας κατακόρυφης πολεοδομικής ανάπτυξης. Στην Ευρώπη, ο ουρανοξύστης

υιοθετήθηκε ως μέσο για την ανάπλαση υποβαθμισμένων περιοχών (La Defense - Παρίσι, Docklands - Λονδίνο), για την ενοποίηση του αστικού ιστού (Potsdamer Platz - Βερολίνο), αλλά και ως λύση για την εξοικονόμηση ενεργειακών πόρων με την κατασκευή οικολογικών ουρανοξυστών (Commerzbank - Φρανκφούρτη, 30 St. Mary Axe - Λονδίνο). [25]

Οι ουρανοξύστες έχουν συνδέσει το όνομά τους με τον 20^ο αιώνα και αναμένεται να το συνδέσουν και με τον 21^ο. Σύμβολα, άλλοτε οικονομικής ευμάρειας, άλλοτε πολιτικής ισχύος και άλλοτε πάλι οικολογικού προβληματισμού, τα υψηλά κτίρια θα διαμορφώνουν για πολλά χρόνια ακόμη το αστικό τοπίο των σύγχρονων μεγαλουπόλεων. Τα συστήματα ασφαλείας τους διαρκώς εκσυγχρονίζονται, το ύψος τους αυξάνεται και η αρχιτεκτονική τους γίνεται όλο και πιο ενδιαφέρουσα, προκαλώντας δέος και θαυμασμό. Το σίγουρο είναι ότι, είτε ως λύσεις στα πολεοδομικά προβλήματα των σύγχρονων πόλεων, είτε ως αποδείξεις της ανθρώπινης ματαιοδοξίας, θα συνεχίσουν να κατασκευάζονται και να αγγίζουν όλο και μεγαλύτερα ύψη.

Ο σχεδιασμός των κτιρίων αυτών θα απαιτεί πάντα ισχυρό χρηματοδότη και συντονισμένες προσπάθειες πολλών ειδικοτήτων μηχανικών, καθώς και τη συνδρομή πολλών άλλων επιστημόνων. Τα υλικά και οι μέθοδοι που θα χρησιμοποιούνται θα είναι τελευταίας εξελιγμένης τεχνολογίας. Τα κριτήρια σχεδιασμού θα είναι πολλά. Από αυτά, το δομικό σύστημα του φέροντος οργανισμού, η κυκλοφορία εντός του κτιρίου και η ασφάλεια των ενοίκων θα είναι πάντα τα κρίσιμα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Armstrong Paul J., **Emergency technology for rescue operations in tall buildings and structures**. <http://www.ctbuh.org/journal/journal/2001/2/pa2.pdf>
2. Barker Rick, **Is 2000 ft per minute enough?**, Elevator World Magazine, March 1997, <http://www.elevator-world.com/magazine/archive01/9703-001.htm>
3. **Buildings with concrete, Cast-in-place structures** <http://www.dic.com/special/concrete02/castinplace.html>
4. Burk Eva, **How tuned mass dampers work** <http://ffden2.phys.uaf.edu/211>

- fall2002.web.dir/Eva Burk/Eva%27s%201st% 20page.htm
5. **Concrete Alliance Inc.** http://www.concreteallianceinc.com/admin/upload_files/Newsletter-Vollissue2.pdf
 6. **Council tall buildings and urban habitat** <http://www.ctbuh.org/>
 7. **Emporis**, <http://www.emporis.com>
 8. Fortune James W., **Mega High-Rise Elevators Systems**, <http://www.gmu.edu/departments/safe/mega.html>
 9. Fortune James W., **Mega High Rise Elevatoring**
<http://www.elevator-world.com/magazine/archive01/9712-003.html-ssi>
 10. Frangos Alex, **Panel may recommend firefighter elevators**
<http://www.realestatejournal.com/propertyreport/office/20050426-frangos.html>
 11. Goldman Lorie, Goldman sander, **Ουρανοξύστες χαμηλού κινδύνου**, Περιοδικό Popular Science, Απρίλιος 2005
 12. Graubner Carl-Alexander, **World Trade Center**
<http://www.emporis.com/en/cd/iv/gr/>
 13. **High rise fires** <http://www.iklimnet.com/hotelfires/highrisefire.html>
 14. **How dampers work**
<http://home.howstuffworks.com/howdamperswork.htm>
 15. **How skyscrapers work**
<http://home.howstuffworks.com/howskyscraperswork.htm>
 16. Hunting Eric, **Modular Housing Systems**, www.modularhousing.com
 17. Kareem Ahsan, Tracy Kijewski, Yukio Tamura, **Mitigation of Motions of Tall Buildings with Specific Examples of Recent Applications**,
<http://www.911-strike.com/mitigationof motion.pdf>
 18. Kidd Michael, Skyscrapers : **Life on the vertical**
<http://www.people.virginia.edu/~mwk2c/fortune/fskyscrapers toc.html>
 19. Kuligowski Erica, Bukowski Richard W., **Design of occupants egress systems for tall buildings** <http://www.asme.org/cns/elevators/Dapers/Siikonon.pdf>
 20. Landau Bradford Sarah, Carl W. Condit, **Rise of the New York Skyscraper**, Yale Uni-

- versity Press, New Haven & London, Κεντρική Βιβλιοθήκη ΕΜΠ, 720.48309747LAN
21. Lin P. Y., P. N. Roschke, C. H. Loh, C. P. Cheng, National Center for Research on Earthquake Engineering, Taipei, Taiwan, **Hybrid controlled base - isolation system with semi-active magnetorheological damper and rolling pendulum system** <http://www.caam.rice.edu/~modelreduction/Papers/PYLin.pdf>
22. MacDonald Angus J., Department of Architecture, University of Edinburgh, Great Britain, **Wind Loading on Buildings**, Applied Science Publishers LTD, London, Κεντρική Βιβλιοθήκη ΕΜΠ 690MAC
23. Marrion Chris, **"Materials, systems and technology"**, NIST http://www.bfrl.nist.gov/pdf/GCR04_872.pdf
24. Mir M. AH, **Evolution of concrete skyscrapers, from Ingalls to Jin Mao** <http://www.eise.org/Archives/Fulltext/200101/01/20010101.htm>
25. Μπακόλας Ραφαήλ, Σπύρου Αριστοτέλης, **Ο ουρανοξύστης και η ευρωπαϊκή πόλη**, Διάλεξη, Κεντρική Βιβλιοθήκη Πολυτεχνείου 2004/41
26. MSC Software, **Motioneering Application story** <http://www.workingmodel.com/vn4d/success/motioneering.pdf>
27. **Museum of the city of New York** <http://www.mcny.org/index.html>
28. New York City, **Towering skyscrapers** <http://toweringskyscrapers.tripod.com/index/index.html>
29. **Otis, διαδικτυακός τόπος** www.otis.com
30. **Polymatech, Hybrid dampers** <http://www.polymatech.co.ip/english/product/damper/hbd.html>
31. Precision Lift Inc., **Rescue from high-rise buildings** <http://www.precision.rotor.com/trialpgs/hi-rise.shtml>
32. Σελλούντος Β., Παπαϊωάννου Γ., Περδιος Στ., Χουσιανάκος Κ., **«Πυρασφάλεια, Εφαρμοσμένη πυροπροστασία και στοιχεία πυρόσβεσης»**, Εκδόσεις «Φοίβος»
33. Shieh Shaw-Song, Ching-Chang Chang, Jiun-Hong Jong, **Structural Design of composite syper-columns for the Taipei 101 Tower** <http://www.ncree.org.tw/iwsgccc/PDF/03%20-%20Shieh.pdf>

34. Siikonen Marja-Liisa, **Planning and Control Models for Elevators in High- Rise Buildings**, <http://www.sal.hut.fi/Publications/pdf-files/rsii97b.pdf>
35. Stephens Terry, **Special dampers may shake up engineering field** http://www.djc.com/news/ae/l_1151055.html
36. **Structural Control System, From Earthquake Resistance to Vibration Control, The most advanced technology for protecting urban functions** http://www.takenaka.co.jp/takenaka/quake_e/seishin/seishin.htm
37. **Taipei 101** http://www.tfc101.com.tw/english/taipei/taipei_101.htm
38. Trachtenberg Marvin, Hyman Isabelle, **Architecture - From prehistory to post modernism**, Academy editions 1986, Κεντρική Βιβλιοθήκη ΕΜΠ, 720.9 TRA
39. Tyson Peter, **Towers of innovations** <http://www.pbs.org/wgbh/nova/wtc/innovation2.html>
40. **Vibration Data**, www.vibrationdata.com
41. Xiaojie Wang, Faramarz Gordaninejad, University of Nevada, **Dynamic Modeling of Semi-Active ER/MR Fluid Dampers** <http://web.me.unr.edu/ciml/17.pdf>
42. Xu Y. L., **Parametric study of active mass dampers for wind-excited tall buildings**, Hong Kong Polytechnic University www.sciencedirect.com
43. Yeang Ken, **The skyscraper bioclimatically considered**, Academy Editions 1996, Κεντρική Βιβλιοθήκη Πολυτεχνείου 720.483ΥΕΑ

Πηγή Εικόνων

1. Tyson Peter, **Towers of innovations** <http://www.pbs.org/wgbh/nova/wtc/innovation2.html>
2. Shieh Shaw-Song, Ching-Chang Chang, Jiun-Hong Jong, **Structural Design of composite syper-columns for the Taipei 101 Tower** <http://www.ncree.org.tw/iwscce/PDF/03%20-%20Shieh.pdf>
3. Kareem Ahsan, Tracy Kijewski, Yukio Tamura, **Mitigation of Motions of Tall Buildings with Specific Examples of Recent Applications**, http://www.911-strike.com/mitigationof_motion.pdf

4. www.kiat.net
5. **Emporis**, www.emporis.com
6. **KPF, Mori constructions** <http://www.kpf.com/Projects/moripic02.htm>
7. MacDonald Angus J., Department of Architecture, University of Edinburgh, Great Britain, **Wind Loading on Buildings**, Applied Science Publishers LTD, London, Κεντρική Βιβλιοθήκη ΕΜΠ 690MAC
8. **Taipei 101** <http://www.tfc101.com.tw/english/taipei/taipei101.htm>
9. Tyson Peter, **Towers of innovations**
<http://www.pbs.org/wgbh/nova/wtc/innovation2.html>
Goldman Lorie, Goldman sander, **Ουρανοξύστες χαμηλού κινδύνου**, Περιοδικό Popular Science, Απρίλιος 2005