

ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΚΤΙΡΙΩΝ Ο.Σ ΣΕ ΦΟΡΤΙΣΗ ΤΣΟΥΝΑΜΙ

ΚΑΡΑΚΩΝΣΤΑΝΤΗΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ
ΠΕΡΟΓΙΑΝΝΑΚΗ ΝΙΚΟΛΕΤΤΑ

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση της συμπεριφοράς κτιρίων Ο.Σ. όταν υποβάλλονται σε φορτίο από τσουνάμι. Παρακάτω ακολουθεί μια εισαγωγή σχετικά με την έννοια και τα αίτια γένεσης ενός τέτοιου φαινομένου, εν συνεχεία παρατίθενται οι φορτίσεις τσουνάμι σύμφωνα με τον Αμερικανικό Κανονισμό FEMA P646^[4] και τέλος ακολουθεί αποτίμηση κτιρίων Ο.Σ. 3 και 7 ορόφων (με πλαισιακό και δυαδικό σύστημα) διαστασιολογημένων βάσει των ΕΚΩΣ2000^[2] και ΕΑΚ2003^[3] όταν αυτά υπόκεινται σε φόρτιση τσουνάμι, βάσει σύγκρισης των απαιτούμενων οπλισμών πριν και μετά από τη συγκεκριμένη φόρτιση.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΤΣΟΥΝΑΜΙ^[13]

Το τσουνάμι είναι ένα θαλάσσιο φαινόμενο, που δημιουργείται κατά την απότομη μετατόπιση μεγάλων ποσοτήτων νερού, σε ένα υδάτινο σχηματισμό, όπως ένας ωκεανός, μία θάλασσα, μία λίμνη ή ένα φιόρδ.

Η αρχική απότομη μετατόπιση του νερού, που προκαλεί τη γένεση ενός τσουνάμι^[9] μπορεί να είναι αποτέλεσμα σεισμού, κυρίως υποθαλάσσιου, που προκαλεί κατακόρυφη ανάταξη του βυθού, παραθαλάσσιας κατάρρευσης βουνοπλαγιάς ή ηφαιστείου, υποθαλάσσιας ηφαιστειακής έκρηξης ή κατολίσθησης, καθώς και πτώσης ικανού μεγέθους ουράνιου σώματος στη θάλασσα. Ενώ σε βαθιά νερά το τσουνάμι, λόγω των χαρακτηριστικών του εκεί, δε θεωρείται σοβαρός κίνδυνος για πλέουσες κατασκευές, φτάνοντας στις ακτές έχει ιδιαίτερα καταστρεπτικές συνέπειες.

Όσο διαδίδονται στην ανοιχτή θάλασσα με μεγάλο βάθος, έχουν ελάχιστο ύψος, που δεν ξεπερνά συνήθως τα 1-2 μέτρα και ταξιδεύουν προς όλες τις επιτρεπτές από τον αρχικό σχηματισμό του μετώπου, κατευθύνσεις, με ταχύτητα 700-800 χλμ/ώρα. Παρά την τρομακτική αυτή ταχύτητα, δε γίνονται αντιληπτά, από τα πλοία στην ανοιχτή θάλασσα, ούτε καν από βάρκες, καθώς φαίνονται, ως μία φουσκοθαλασσιά (λείας και αδιάσπαστης επιφάνειας, με κορυφές που δε σκάνε, ούτε ασπρίζουν), που περνάει «σαν αστραπή» και φεύγει.

Φθάνοντας όμως στα ρηχά, λόγω της μείωσης του βάθους, αναδιπλώνονται και ενώ χάνουν ταχύτητα, κερδίζουν σε ύψος. Όταν τελικώς «σκάσουν» στην ακτή, αν και η ταχύτητα πρόσκρουσης συνήθως είναι 40 χλμ/ώρα, το τελικό τους ύψος μπορεί να ποικίλλει από 5 μέχρι 15 μέτρα, αν και θεωρητικά μπορεί να φτάσει και τα 50 μέτρα (το σενάριο της πιθανής κατάρρευσης ηφαιστείου στο νησί La Palma^[8]) ή και πολύ ψηλότερα σε συμβάν πρόσκρουσης με αστεροειδή ή κομήτη. Πρακτικά όμως αρκεί να φτάσει τα 2 μέτρα, για να υπάρξουν ζημιές και θύματα.

1.2 ΤΣΟΥΝΑΜΙ ΛΟΓΩ ΣΕΙΣΜΟΥ

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, τα αίτια που προκαλούν ένα τσουνάμι μπορεί να είναι πολλά. Από αυτά, το πιο συνηθισμένο είναι ο σεισμός. Για να γίνει όμως τσουνάμι θα πρέπει ο υποθαλάσσιος σεισμός να είναι τουλάχιστον 6.5 Ρίχτερ και σε βάθος μικρότερο των 50 χιλιομέτρων.^[12]

1.3 ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΤΣΟΥΝΑΜΙ

Τα πιο καταστροφικά τσουνάμι που έχουν συμβεί παγκοσμίως είναι:

- **Κρακατόα 1883:** Το μεγαλύτερο σε μέγεθος τσουνάμι στην ιστορία, σύμφωνα με τα διαθέσιμα στοιχεία, ήταν αυτό που δημιουργήθηκε από την έκρηξη του ηφαιστείου Κρακατόα (Ινδονησία) στις 27 Αυγούστου 1883. Το μέγιστο ύψος των κυμάτων που δημιουργήθηκαν, εκτιμήθηκε στα 30-40 μέτρα.[13]
- **Ινδονησία 2004:** Εκδηλώθηκε μετά το σεισμό της 26ης Δεκεμβρίου 2004 στην Ινδονησία, μεγέθους 9.3 Ρίχτερ και είχε ως αποτέλεσμα, σχεδόν 250 χιλιάδες νεκρούς και τεράστιες υλικές ζημιές.[13]
- **Ιαπωνία 2011:** Στις 11 Μαρτίου 2011 σημειώθηκε σεισμός μεγέθους 9 Ρίχτερ στη βορειοανατολική Ιαπωνία, με αποτέλεσμα να διαδοθεί τσουνάμι στον Ειρηνικό ωκεανό. Στις Ιαπωνικές ακτές το τσουνάμι έφτασε σε ύψος έως και 10 μέτρα, προκαλώντας τεράστιες καταστροφές και χιλιάδες απώλειες σε ανθρώπινες ζωές.[13]

1.3.1 ΤΣΟΥΝΑΜΙ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

- Ο πιο ενημερωμένος κατάλογος για τα τσουνάμι στην Ελλάδα περιλαμβάνει 162 τέτοιες περιπτώσεις, μεταξύ του 1628 π.Χ. και του 1996 μ.Χ., από τις οποίες οι 140 σχετίζονται με σεισμούς.^[14] Ενδιαφέρον έχουν:
- Το τσουνάμι της Σαντορίνης, γύρω στα 1490 π.Χ, που θεωρήθηκε η αιτία της καταστροφής του μινωικού πολιτισμού και προκλήθηκε από την έκρηξη του ηφαιστείου της Σαντορίνης. Λόγω αυτής, δημιουργήθηκε ένα μέγα τσουνάμι ύψους 120 μέτρων. Σύμφωνα με το μοντέλο της έκρηξης του ηφαιστείου της Θήρας του καθηγητή Κ. Συνολάκη, ένα τσουνάμι διέσχισε αστραπιαία τα 100 χλμ. απόστασης από την Κρήτη, τη σάρωσε με κύματα ύψους 12μ και έθαψε ολοκληρωτικά το μινωικό πολιτισμό. [12]
- Τσουνάμι που έχουν προκληθεί στην Κρήτη λόγω σεισμού. Από αυτά, το πιο πρόσφατο έχει καταγραφεί το 1303 και το παλαιότερο το 365 μ.Χ. Βέβαια στις περιπτώσεις αυτές, είχαν προηγηθεί σεισμικές δονήσεις μεγαλύτερες των 8,5 Ρίχτερ, κάτι που είναι πολύ σπάνιο.[11]

Μικρός αλλά υπαρκτός λοιπόν είναι ο κίνδυνος τσουνάμι στη Μεσόγειο Θάλασσα, ιδιαίτερα στην Ελλάδα λόγω της υψηλής της σεισμικότητας.

Στον Ελλαδικό χώρο δε γίνονται βέβαια ισχυροί σεισμοί οι οποίοι από μόνοι τους να προκαλούν τσουνάμι, ωστόσο το μέγεθός τους είναι τέτοιο που μπορεί να ανακινήσει ιζήματα και να υπάρξουν υποθαλάσσιες κατολισθήσεις. [12]

Δεδομένου αυτού στις 24-25 Οκτωβρίου 2011 πραγματοποιήθηκε στην Κρήτη (Ηράκλειο και Χανιά) η πρώτη πανευρωπαϊκή άσκηση για τσουνάμι, στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού προγράμματος EU POSEIDON, το οποίο χρηματοδοτεί η Ευρωπαϊκή Επιτροπή. Η άσκηση εξελίχθηκε με σενάριο τσουνάμι μετά από ισχυρό σεισμό στη Μεσόγειο. Ειδικότερα το σενάριο της άσκησης εξομοιώνει τον καταστροφικό σεισμό του 365 μ.Χ. [10]

1.4. ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΓΙΑ ΤΣΟΥΝΑΜΙ

Λόγω της επικινδυνότητας αυτού του φυσικού φαινομένου έχουν αυξηθεί σε αριθμό τα τελευταία χρόνια οι έρευνες γύρω από το τσουνάμι σαν φαινόμενο, καθώς και την απόκριση των κατασκευών υπό φόρτιση τσουνάμι. Ήδη πολλές χώρες, με πρωτοπόρο την Ιαπωνία, έχουν σχεδιάσει και κατασκευάσει ειδικά κτίρια ως κέντρα εκκένωσης για αυτήν την περίπτωση. Πρόσφατα μάλιστα εκδόθηκαν και ειδικοί κανονισμοί για την κατασκευή και το σχεδιασμό αντισεισμικών κτιρίων. Ένας από αυτούς είναι ο Αμερικάνικος κανονισμός FEMA P646^[4], που εκδόθηκε τον Ιούλιο του 2008.

Παρατηρήσεις της συμπεριφοράς των κτιρίων διαφόρων περιοχών που έχουν πληγεί από τσουνάμι, οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι μόνο κατασκευές Ο.Σ και Δομικού Χάλυβα, καθώς και κατασκευές υψωμένες πάνω από τη ροή του τσουνάμι, μπόρεσαν να επιβιώσουν από τις δυνάμεις του τσουνάμι χωρίς σημαντικές ζημιές ή κατάρρευση. [5]

2. ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ ΤΣΟΥΝΑΜΙ^[4]

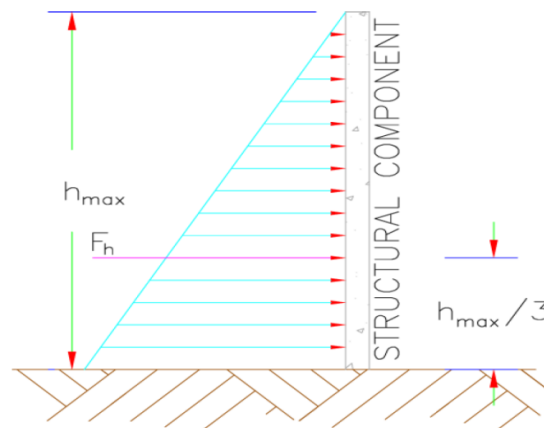
Η FEMA P646 χωρίζει τις φορτίσεις τσουνάμι σε 8 κατηγορίες: Υδροστατική, άνωση, υδροδυναμική, ορμητική, κρουστικό φορτίο, φορτίο "φράγματος", ανοδικές δυνάμεις και επιπρόσθετες δυνάμεις βαρύτητας. [4]

Προτείνεται να χρησιμοποιηθεί $\rho_s = 1.2\rho_{\text{νερού}}$ για την πυκνότητα του θαλασσινού νερού μαζί με τα ιζήματα που φέρει.^[4] Η πραγματική πυκνότητα του θαλασσινού νερού είναι περίπου $1.03\rho_{\text{νερού}}$. Αυτό δείχνει ότι η FEMA P646 υποθέτει ιζήμα 17%. Αυτό φαίνεται υπερβολικό, αλλά παρ' όλα αυτά χρησιμοποιήθηκε σ' αυτήν την εργασία.

2.1 ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ (HYDROSTATIC FORCE)

Υδροστατική δύναμη υπάρχει όταν ακίνητο ή αργά κινούμενο νερό συναντά μία κατασκευή ή ένα μέλος αυτής. Η δύναμη αυτή ασκείται κάθετα στην επιφάνεια του μέλους και προκαλείται από τη διαφορά πίεσης λόγω διαφορετικού βάθους νερού στις δύο αντίθετες πλευρές του μέλους. Η κατανομή της είναι τριγωνική και φαίνεται στο σχήμα 1

$$F_h = \rho_s g b h_{\max}^2 \quad (1)$$

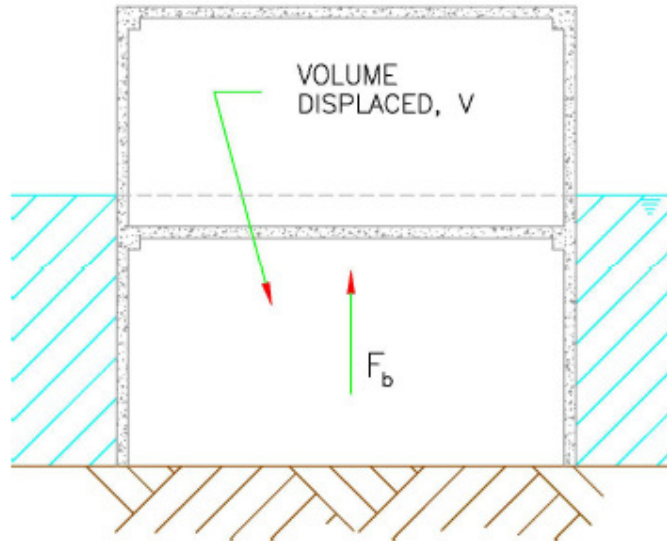


Σχήμα 1: Υδροστατική δύναμη [6]

2.2 ΑΝΩΣΗ (BUOYANCY)

Κατακόρυφες δυνάμεις άνωσης δρουν προς τα πάνω και είναι ίσες με το βάρος του νερού που εκτοπίζεται. Εφόσον σ' αυτές αντιστέκεται μόνο το βάρος της κατασκευής, αποτελούν σοβαρό πρόβλημα για ελαφρές κατασκευές, κτίρια με υπόγεια και μέλη που έχουν σχεδιαστεί να φέρουν μόνο φορτία βαρύτητας.

$$F_b = \rho_s g V \quad (2)$$



Σχήμα 2: Άνωση [6]

2.3 ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ (HYDRODYNAMIC FORCES)

Οι υδροδυναμικές δυνάμεις προκαλούνται από τη ροή του νερού γύρω από τα μέλη της κατασκευής.

$$F_d = \frac{1}{2} \rho_s C_d B (hu^2)_{max} \quad (3)$$

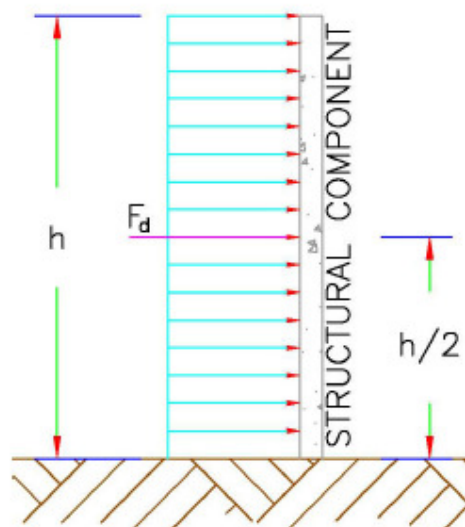
Όπου:

C_d = συντελεστής οπισθέλκουσας (προτείνεται $C_d=2$)

B = πλάτος κατασκευής ή μέλους

h =βάθος ροής

u =ταχύτητα ροής



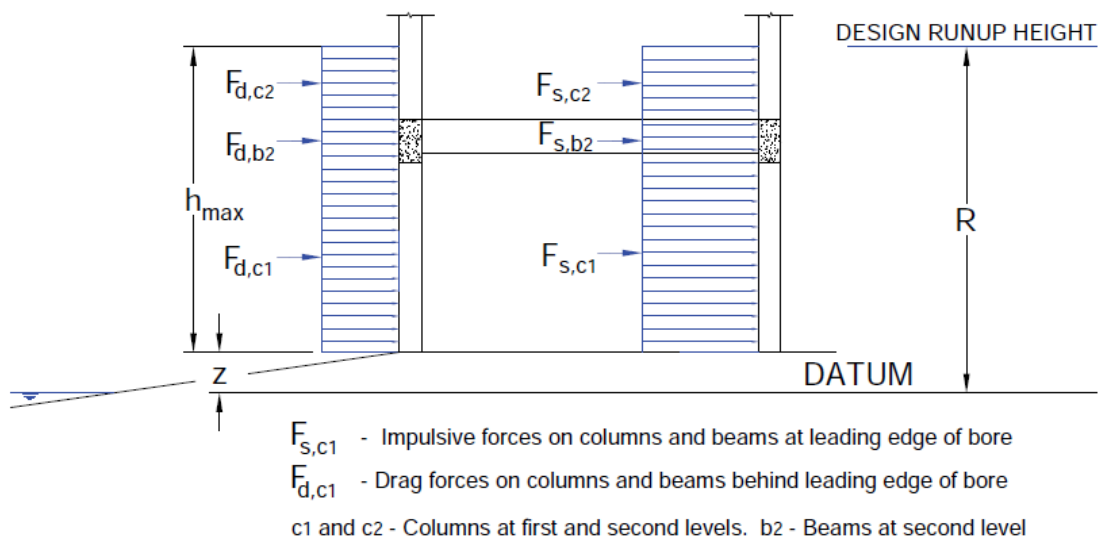
Σχήμα 3: Υδροδυναμικές δυνάμεις [6]

2.4 ΟΡΜΗΤΙΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ (IMPULSIVE FORCES)

Οι ορμητικές δυνάμεις προκαλούνται από την αρχική πρόσκρουση της κορυφής του κύματος. Πειράματα έχουν δείξει ότι αν το κύμα ταξιδεύει πάνω σε στεγνή βάση, οι δυνάμεις αυτές δεν ξεπερνάνε σημαντικά τις αναμενόμενες υδροδυναμικές. Αν όμως ταξιδεύει σε υγρή βάση, εμφανίζεται σημαντική αύξηση. Εφόσον τα τσουνάμι έρχονται σε σει κυμάτων, το πρώτο κύμα μπορεί να μην παρουσιάσει σημαντικές τέτοιες δυνάμεις, άλλα τα ακόλουθα κύματα θα ταξιδεύουν πάνω σε πλημμυρισμένο έδαφος και άρα μπορεί να προκαλέσουν ορμητικές δυνάμεις αρκετά μεγάλες. Η FEMA P646 συντηρητικά προτείνει:

$$F_s = 1.5F_d \quad (4)$$

Οι ορμητικές δυνάμεις δρουν σε μέλη στο μέτωπο του κύματος, ενώ υδροδυναμικές δυνάμεις ασκούνται στα μέλη που έχει ήδη προσπεράσει, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.



Σχήμα 4: Υδροδυναμικές και ορμητικές δυνάμεις σε μέλη του κτιρίου που υπόκεινται σε πλημμύρα λόγω του τσουνάμι [4]

2.5 ΚΡΟΥΣΤΙΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ (DEBRIS IMPACT FORCES)

Οι κρουστικές δυνάμεις προκαλούνται από την πρόσκρουση επιπλεόντων αντικειμένων (π.χ., ξύλα, πλοία, containers, οχήματα κλπ) στα μέλη της κατασκευής. Δίνονται από τον τύπο:

$$F_i = C_m u_{max} \sqrt{km} \quad (5)$$

Όπου:

C_m = προστιθέμενος συντελεστής μάζας

u_{max} = μέγιστη ταχύτητα ροής

k = ενεργός δυσκαμψία

m = μάζα του αντικειμένου

2.6 ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΤΥΠΟΥ "ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ" (DAMMING OF WATERBORNE DEBRIS)

Η δράση "φράγματος", που προκαλείται από τη συσσώρευση επιπλεόντων αντικειμένων, μπορεί να θεωρηθεί σαν μία, ενισχυμένη από το πλάτος του συσσωρεύματος, υδροδυναμική δύναμη στο μέτωπο της κατασκευής.

$$F_{dm} = \frac{1}{2} \rho_s C_d B_d (hu^2)_{max} \quad (6)$$

Όπου B_d το πλάτος του "φράγματος".

2.7 ΑΝΟΔΙΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΣΤΟΥΣ ΟΡΟΦΟΥΣ (UPLIFT FORCES)

Όταν μία κατασκευή γεμίζει γρήγορα με νερό, παγιδεύεται αέρας κάτω από τους συγκεκριμένους ορόφους. Επιπλέον, το επίπεδο της επιφάνειας του νερού μπορεί να μην είναι αρκετά ψηλά ώστε να σπάσει τους μη-δομικούς τοίχους στους ορόφους αυτούς. Αυτό δημιουργεί επιπλέον ανοδικές δυνάμεις στις πλάκες. Η συνολική άνοση σε μία πλάκα του ορόφου είναι:

$$F_b = \rho_s g A_f h_b \quad (7)$$

A_f = επιφάνεια του ορόφου
 h_b = ύψος νερού που εκτοπίζεται.

Κατά τη διάρκεια της πλημμύρας, το αναδυόμενο νερό δημιουργεί επιπλέον ανοδικές δυνάμεις στις πλάκες. Οι υδροδυναμικές αυτές ανοδικές δυνάμεις δίνονται από την εξίσωση (8).

$$F_u = \frac{1}{2} \rho_s C_u A_f u_v^2 \quad (8)$$

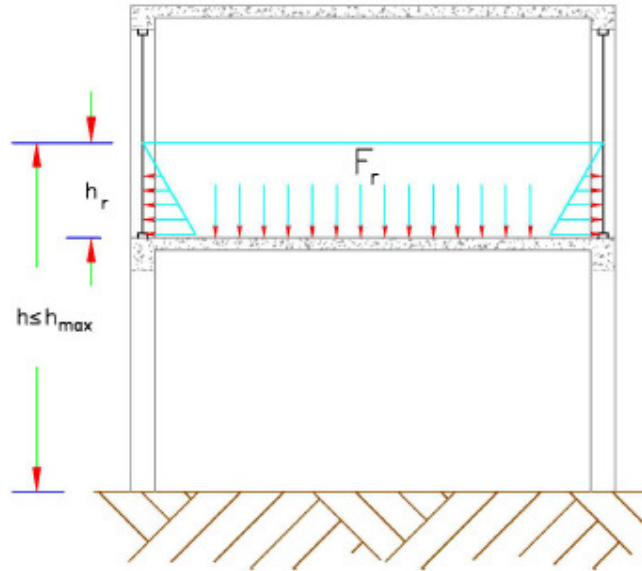
Όπου $C_u=3.0$ και $u_v=u*\tan(\alpha)$ (α : μέση κλίση εδάφους)

2.8 ΕΠΙΠΛΕΟΝ ΦΟΡΤΙΑ ΒΑΡΥΤΗΤΑ ΣΤΟΥΣ ΟΡΟΦΟΥΣ (ADDITIONAL GRAVITY LOADS)

Κατά τη διάρκεια ενός τσουνάμι, η πλημμύρα ακολουθείται από ταχεία υποχώρηση του νερού πίσω στον ωκεανό. Αν η πλημμύρα ήταν αρκετά ψηλά ώστε να πλημμυρίσει κάποιους από τους ορόφους, είναι πιθανό κατά τη διάρκεια της υποχώρησης, το νερό να παγιδευτεί στους ορόφους και έτσι να αυξήσει τα φορτία βαρύτητας σε όλα τα δομικά μέλη όπως φαίνεται στο σχήμα 5

$$F_r = \rho_s g h_r \quad (9)$$

όπου h_r το μέγιστο δυνατό βάθος νερού στον όροφο.

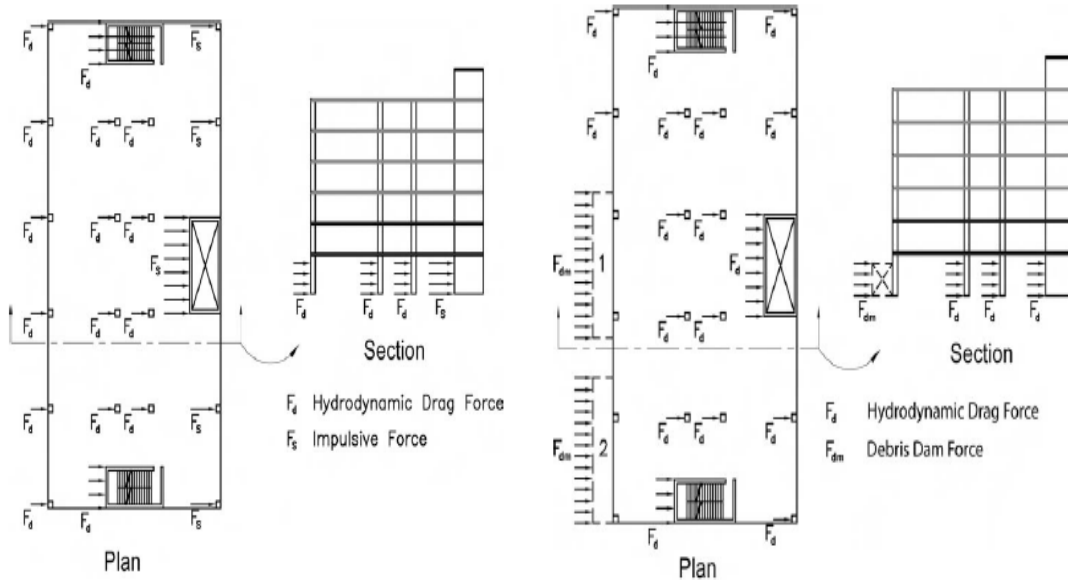


Σχήμα 5: Επιπλέον δυνάμεις βαρύτητας [6]

2.9 ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΔΡΑΣΕΩΝ ^[4]

Στο σύνολο της κατασκευής:

- Τα φορτία άωσης έχουν την τάση να μειώνουν το βάρος της κατασκευής επηρεάζοντας την ικανότητα του κτιρίου να ανθίσταται σε ροπές ανατροπής που οφείλονται σε οριζόντια φορτία. Γι' αυτό λαμβάνονται υπόψη σε όλους τους συνδυασμούς δράσεων.
- Οι ορμητικές δυνάμεις που προκαλούνται από το μέτωπο του κύματος επηρεάζουν την κατασκευή για ένα πολύ σύντομο χρονικό διάστημα. Όπως το κύμα περνάει μέσα στο κτίριο, συγκρούεται διαδοχικά με τα δομικά στοιχεία και το χειρότερο σενάριο συμβαίνει όταν το μέτωπο του κύματος "χτυπάει" τα τελευταία δομικά μέλη (τα στοιχεία δηλαδή του τελευταίου πλαισίου της κατασκευής όπως φαίνεται στο σχήμα 6α) και τα υδροδυναμικά φορτία δρουν στα υπόλοιπα μέλη.
- Τα φορτία από τα παρασυρόμενα στοιχεία δρουν επί της κατασκευής κι αυτά για πολύ λίγο, εφόσον όμως απαιτείται κάποιο ελάχιστο βάθος νερού για να μεταφερθούν δε θα τα λάβουμε σε συνδυασμό με τα φορτία από το μέτωπο του κύματος που δρουν στην αρχή. Επίσης παρά το ότι είναι πιθανό να δράσουν επί της κατασκευής φορτία από πολλά παρασυρόμενα στοιχεία στη διάρκεια του τσουνάμι, είναι απίθανο να συγκρουστούν με την κατασκευή περισσότερα από ένα τέτοια στοιχεία ταυτόχρονα. Γι αυτό λαμβάνεται υπόψη η δράση ενός μόνο τέτοιου στοιχείου σε συνδυασμό με τις υπόλοιπες δυνάμεις (εκτός από τις ορμητικές δυνάμεις).
- Οι δυνάμεις τύπου "φράγματος" πρέπει να εφαρμοστούν στο πιο τρωτό σημείο της κατασκευής σε συνδυασμό με δράση των υδροδυναμικών φορτίων στα υπόλοιπα δομικά στοιχεία. (Όπως φαίνεται και στο σχήμα 6β)



Σχήμα 6: α) Συνδυασμός 2 β) Συνδυασμός 4 [4]

Στο κάθε μέλος:

- Ορμητικές δυνάμεις
- Υδροδυναμικές δυνάμεις, συν κρουστικό φορτίο στο πιο κρίσιμο σημείο του μέλους
- Δυνάμεις "φράγματος" εξαιτίας ενός φράγματος πλάτους τουλάχιστον 40 ft.
- Υδροστατική πίεση σε τοίχους που εσωκλείουν υδατοστεγείς περιοχές του κτιρίου.

Για μέλη που δέχονται ανοδικές δυνάμεις(ή επιπρόσθετες δυνάμεις βαρύτητας):

- Άωση βυθισμένων μελών συμπεριλαμβανομένων των επιδράσεων παγιδευμένου αέρα και υδροδυναμικών ανοδικών δυνάμεων σε συνδυασμό με το 90% των μονίμων φορτίων.
- Κατακόρυφο φορτίο λόγω βάρους νερού που έχει συγκρατηθεί από τους εξωτερικούς τοίχους σε συνδυασμό με το 100% του μόνιμου φορτίου.

Οι φορτίσεις τσουνάμι υπολογίζονται σύμφωνα με τα παραπάνω και αυτές συνδυάζονται με τα φορτία βαρύτητας με τους παρακάτω δύο συνδυασμούς:

- Συνδυασμός 1: $1.2G+0.25Q+T_s$
- Συνδυασμός 2: $0.9G+T_s$

Από τα παραπάνω φορτία, τα κρουστικά φορτία καθώς και τα φορτία "φράγματος" δίνουν πολύ μεγάλες δυνάμεις και στα πλαίσια της εργασίας αυτής θα παραληφθούν. Επιπλέον, θεωρείται ότι όλοι οι μη δομικοί τοίχοι σπάνε, οπότε δεν υπάρχει πουθενά στην κατασκευή υδατοστεγής περιοχή, άρα δεν υπάρχουν και υδροστατικές δυνάμεις. Άρα, τελικά οι συνολικοί συνδυασμοί δράσεων είναι:

- $1.2G+0.25Q+F_s(\text{στο τελευταίο πλαίσιο})+F_d(\text{στα υπόλοιπα})+F_b+F_u$
- $0.9G+F_s(\text{στο τελευταίο πλαίσιο})+F_d(\text{στα υπόλοιπα})+F_b+F_u$
- $0.9G+F_s$
- $G+Fr$

Στους συνδυασμούς δράσεων δε συμπεριλαμβάνεται η δράση του σεισμού. Δε θεωρείται δηλαδή ότι το ενδεχόμενο τσουνάμι λόγω σεισμού, δρα ταυτόχρονα με τον εν λόγω σεισμό. Αυτό δικαιολογείται από το γεγονός ότι τα κτίρια είναι σχεδιασμένα βάσει του Αντισεισμικού Κανονισμού και σε ένα τέτοιο ενδεχόμενο σεισμό (μικρότερο ή ίσο με το σεισμό σχεδιασμού), θεωρείται ότι το κτίριο θα παρουσιάσει αμελητέες ή καθόλου βλάβες. Επίσης το τσουνάμι που θα λάβει χώρα εξαιτίας του σεισμού, θα έπεται χρονικά, δηλαδή τα δύο αυτά φαινόμενα δε θα συμβούν ταυτόχρονα.

3. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΩΝ 3 ΚΤΙΡΙΩΝ

3.1 ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ

Στα πλαίσια της εργασίας αυτής χρησιμοποιήθηκαν συνολικά 3 κατασκευές. Οι δύο από αυτές είναι 3όροφες, η μία με πλαισιακό σύστημα και η άλλη με δυαδικό, και η τρίτη είναι 7όροφη με πλαισιακό σύστημα. Και τα τρία αυτά κτίρια θεωρήθηκαν συμμετρικά, ώστε να αυξηθεί η εγκυρότητα των αποτελεσμάτων. Η διάταξη των τοιχωμάτων στο δυαδικό σύστημα, είναι τέτοια ώστε να ελαχιστοποιείται η στρεπτική παραμόρφωση του κτιρίου. Τέλος, και τα τρία κτίρια σχεδιάστηκαν με βάση τις αρχές του Ικανοτικού Σχεδιασμού.

Αρχικά σχεδιάστηκαν οι δύο 3όροφες κατασκευές, για τα κατακόρυφα φορτία και για σεισμό, σύμφωνα με τους Ελληνικούς Κανονισμούς^{[2],[3]}. Στη συνέχεια σχεδιάστηκαν και για φορτία από τσουνάμι, και για τις δύο διευθύνσεις δράσεως του τσουνάμι (υπάρχουν μόνο δύο, γιατί τα κτίρια είναι συμμετρικά), σύμφωνα με τους συνδυασμούς δράσεων του τσουνάμι (βλ. παρ. 2 παραπάνω). Έπειτα, συγκρίνοντας τους οπλισμούς που προκύπτουν από τους δύο παραπάνω σχεδιασμούς, ελέγχθηκε η επάρκεια ή μη των κτιρίων αυτών, αν είχαν σχεδιαστεί μόνο κατά τους Ελληνικούς κανονισμούς, στην περίπτωση που συνέβαινε τσουνάμι στην περιοχή. Ακολούθησε σύγκριση της αποτελεσματικότητας του πλαισιακού συστήματος έναντι του δυαδικού. Αφού το πλαισιακό σύστημα αποδείχθηκε πιο αποτελεσματικό για τη φόρτιση τσουνάμι, κατασκευάστηκε και σχεδιάστηκε ένα πλαισιακό κτίριο, 7όροφο αυτή τη φορά, για να καταδειχθεί η πολύ καλή συμπεριφορά έναντι τσουνάμι ενός πολυωρόφου κτιρίου σχεδιασμένου με τους Ελληνικούς Κανονισμούς.

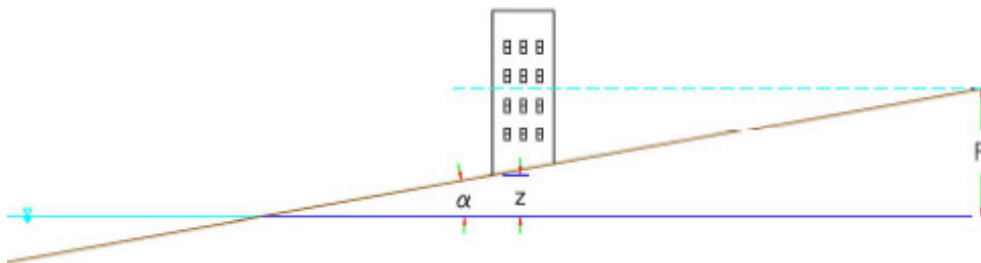
Όσον αφορά τις προαναφερθείσες συγκρίσεις, θα δοθεί βάση στον οπλισμό των κατακόρυφων στοιχείων.

Όλοι οι σχεδιασμοί έγιναν με χρήση του προγράμματος FESPA 10^[1].

3.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΤΣΟΥΝΑΜΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Το τσουνάμι χωρίστηκε σε δύο στάδια: το πρώτο στάδιο είναι όταν το κύμα, ύψους H μέτρων, έρθει σε επαφή με το κτίριο και δεν υπάρχει νερό στη βάση του κτιρίου και το δεύτερο στάδιο είναι όταν το κύμα υποχωρεί, αφήνοντας πρόσθετα φορτία βαρύτητας στον πρώτο όροφο (δηλ νερό, από το κύμα στον πρώτο όροφο, με ύψος τέτοιο που δεν επαρκεί ώστε να σπάσει τους μη δομικούς τοίχους).

Παρόλο που η FEMA P646 προτείνει κάποιες σχέσεις για τον προσδιορισμό του μέγιστου βάθους νερού και της μέγιστης ταχύτητας, αν τις εφαρμόσουμε θεωρώντας $R=16\text{ft}$ και $z=3\text{ft}$ (βλ. σχήμα 7), θα πάρουμε μέγιστο βάθος νερού $d=0.65\text{ft}$ (0.2m) και ταχύτητα, $u=8.25\text{ft/s}$ (9km/h). Αυτές οι τιμές βάθους και ταχύτητας προφανώς δεν αντιπροσωπεύουν ένα τυπικό κύμα τσουνάμι επειδή δε λαμβάνουν υπόψη την επίδραση της τριβής.^[4] Όταν δεν υπάρχει τριβή, το κύμα "σκάει" σε μία λεία επιφάνεια και ταξιδεύει σαν ένας λεπτός πίδακας νερού πάνω στην επιφάνεια, σε αντίθεση με ένα κύμα τσουνάμι.



Σχήμα 7: Κτίριο σε λεία επιφάνεια [6]

Γι' αυτό θα ακολουθηθεί μία διαφορετική διαδικασία για την εύρεση των δύο αυτών παραμέτρων – ταχύτητας και ύψους κύματος. Προτείνεται για την εύρεση της ταχύτητας ενός τσουνάμι η ακόλουθη σχέση [7]:

$$u^2 = Fr_2^2 g(H + h) \quad (10) \text{ , όπου:}$$

$$Fr_2^2 = Fr_1^2 \left[\frac{\frac{h}{H}}{1 + \frac{h}{H}} \right]$$

$$Fr_1^2 = \frac{1}{2} \left(\frac{H+h}{h} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{H+h}{h} \right)$$

με Fr_1 και Fr_2 να είναι οι αριθμοί Froude κατάντη και ανάντη του κύματος αντίστοιχα, h το αρχικό βάθος νερού στο οποίο ταξιδεύει το κύμα και H το ύψος κύματος τσουνάμι.

Το ύψος του κύματος θεωρήθηκε 3.5m και το αρχικό βάθος του νερού 3.5 m επίσης. Άρα σύμφωνα με την εξίσωση (10), η ταχύτητα είναι 10.15 m/s (36.5 km/hr). Αυτές οι τιμές βάθους και ταχύτητας είναι πολύ πιο λογικές. Σύμφωνα με αυτές τις τιμές και θεωρώντας τις τιμές των παραμέτρων του πίνακα 1, υπολογίζονται οι υδροδυναμικές και οι ορμητικές δυνάμεις που δίνονται στον πίνακα 2 για διάφορα πλάτη.

3.2.1 ΠΡΩΤΟ ΣΤΑΔΙΟ (3.5m ΤΣΟΥΝΑΜΙ)

Όσον αφορά το πρώτο στάδιο, οι δυνάμεις που δρουν στα δομικά μέλη είναι οι υδροδυναμικές και οι ορμητικές δυνάμεις, οι δυνάμεις πρόσκρουσης, οι δυνάμεις τύπου "φράγματος" και οι ανοδικές. Όπως αναφέρθηκε και στην ενότητα 2.9 υδροστατικές δυνάμεις δεν υπάρχουν και οι δυνάμεις που οφείλονται σε φερτά αντικείμενα ("φράγματος" και κρουστικές) θα αγνοηθούν. Στην επόμενη όμως ενότητα θα αναφερθούν πιο αναλυτικά οι λόγοι που αγνοούνται.

3.2.2 ΔΕΥΤΕΡΟ ΣΤΑΔΙΟ

Όσον αφορά αυτό το στάδιο, οι δυνάμεις που δρουν στα δομικά μέλη είναι μόνο οι επιπρόσθετες δυνάμεις βαρύτητας. Οφείλονται στο στρώμα νερού που "παγιδεύεται" στον πρώτο όροφο (αφού υποχωρήσει το κύμα), το οποίο όμως έχει μικρό ύψος και οι δυνάμεις που ασκεί στους μη δομικούς τοίχους δεν επαρκούν ώστε να σπάσουν οι τοίχοι .

3.2.3 ΥΠΟΘΕΣΕΙΣ ΚΑΙ ΤΙΜΕΣ ΦΟΡΤΙΩΝ

| Υποθέσεις για υδροδυναμικές και ορμητικές δυνάμεις | | |
|--|------------------------|-----------------|
| $\rho_{\text{νερού}}=1 \text{ t/m}^3$ | $g=9.81 \text{ m/s}^2$ | $h=3.5\text{m}$ |
| $\rho_s=1.2 \text{ t/m}^3$ | $C_d=2$ | $H=3.5\text{m}$ |

Πίνακας 1: Υποθέσεις για F_d και F_s

| Force | 0.35m | 0.40 m | 0.45 | 1.5m |
|---------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| $F_d(\text{kN})$ | 151.41 | 173.04 | 194.67 | 648.9 |
| $F_s(\text{kN})$ | 227.12 | 259.56 | 292 | 973.35 |
| $F_d(\text{kN/m})$ για 0 Όροφο | 43,26 | 49,44 | 55,62 | 185,4 |
| $F_s(\text{kN/m})$ για 0 Όροφο | 64,89 | 74,16 | 83,43 | 278,1 |
| $F_d(\text{kN/m})$ για 1ο Όροφο | 7,21 | 8,24 | 9,27 | 30,9 |
| $F_s(\text{kN/m})$ για 1ο Όροφο | 10,82 | 12,36 | 13,91 | 46,35 |

Πίνακας 2: F_d και F_s

Οι κατανεμημένες δυνάμεις υπολογίστηκαν προσεγγιστικά, λόγω αδυναμίας του προγράμματος να κατανείμει φορτίο σε μέρος μόνο του υποστυλώματος. Συγκεκριμένα, οι δυνάμεις F_d και F_s κατανεμήθηκαν στα υποστυλώματα του ισογείου και του πρώτου ορόφου αλλά το φορτίο που αντιστοιχεί στα 0,5 m κάθε υποστυλώματος του πρώτου ορόφου, κατανεμήθηκε ομοιόμορφα σε όλο το ύψος των υποστυλωμάτων (αυτό είναι μη συντηρητικό, αλλά στα πλαίσια φοιτητικής εργασίας και ελλείψει δυνατότητας φόρτισης των μελών με τα ακριβή τους φορτία δεν θεωρήθηκε τόσο σημαντικό).

Όσον αφορά τα κατακόρυφα φορτία στις πλάκες (ανοδικά και πρόσθετα φορτία βαρύτητας), οι τιμές τους σε kN/m^2 δίνονται στον πίνακα 3.

| Φόρτιση | Όροφος 0 |
|---------------------------|----------|
| F_u (kN/m^2) | 1.3 |
| F_b (kN/m^2) | 11.7 |
| F_r (kN/m^2) | -5.9 |

Πίνακας 3: Κατακόρυφα φορτία τσουνάμι

Για τον υπολογισμό της F_u χρησιμοποιήθηκαν $C_u=3$, $\tan(\alpha)=1/12 \Rightarrow u_v=u*\tan(\alpha)=0.85$ m/s

Για το F_r στον όροφο 0, θεωρήθηκε ότι οι τοίχοι έχουν σχεδιαστεί να αστοχήσουν σε ομοιόμορφο φορτίο 40 psf (1.9kPa), άρα η ισοδύναμη υδροστατική πίεση του νερού θα εμφανιστεί όταν το βάθος του νερού είναι 2.2 ft (0.67m). Άρα θα προλάβει ο όροφος να γεμίσει μέχρι τα 0,5 m.

3.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΤΙΡΙΩΝ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

3.3.1 ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ

Σε όλα τα κτίρια θεωρήθηκε ότι οι μη φέροντες τοίχοι, που εντείνονται από το τσουνάμι αστοχούν. Ο λόγος που γίνεται αυτό, είναι ότι μετά από ανασκόπηση της συμπεριφοράς κτιρίων κατά τη διάρκεια τσουνάμι προηγούμενων ετών, σε ορισμένες περιπτώσεις, η αστοχία των μη δομικών τοίχων στα χαμηλότερα επίπεδα μείωσε το φορτίο τσουνάμι, με αποτέλεσμα την επιβίωση του συνόλου της κατασκευής.^[5] Σύμφωνα με τη FEMA P646, οι μη δομικοί τοίχοι πρέπει να σχεδιάζονται με τον τρόπο αυτό για να περιοριστούν οι υδροστατικές, υδροδυναμικές και ορμητικές δυνάμεις στο κτίριο.

| | | | |
|--|--|--|---|
| <u>1.Υλικά</u> Σκυρόδεμα: C20/25 Χάλυβας: S500 $\gamma_c=1.5$, $\gamma_s=1.15$ | <u>3.Κινητά φορτία</u> Πλακών: 2 kN/m^2 | <u>5.Κανονισμοί</u> ΕΚΩΣ 2000 ΕΑΚ2003 | <u>7.Αντισεισμικός</u> Μέθοδος επίλυσης: Δυναμική με μετατόπιση μαζών Πλήθος Ιδιομορφών: 16 |
| <u>2.Μόνιμα φορτία</u> Ειδ. βάρος σκυρ. : 25kN/m^3 Πλακών: 1kN/m^2 Δοκών: 9kN/m | <u>4.Συντ. ασφάλειας</u> <u>φορτίων</u> $\gamma_g=1.35$ $\gamma_q=1.50$ | <u>6.Έδαφος/θεμελίωση</u> $k_s=110000$ $\sigma_{επ}=200\text{kN/m}^2$ Τύπος θεμελίωσης: Εσχάρα πεδιλοδοκών | <u>8.Φάσμα</u> Ζώνη σεισμ. επικυנד.: II |

Πίνακας 4: Παραδοχές υπολογισμού^{[2],[3]}

3.3.2 ΤΡΙΩΡΟΦΑ ΚΤΙΡΙΑ

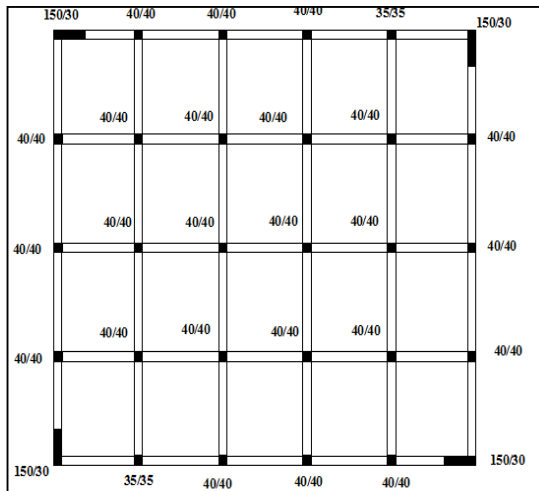
3.3.2.1 ΔΥΑΔΙΚΟ

Το κτίριο με το δυαδικό σύστημα (πλαίσια και τοιχώματα), διαστάσεων 20mX18m, αποτελείται από τα εξής κατακόρυφα δομικά μέλη:

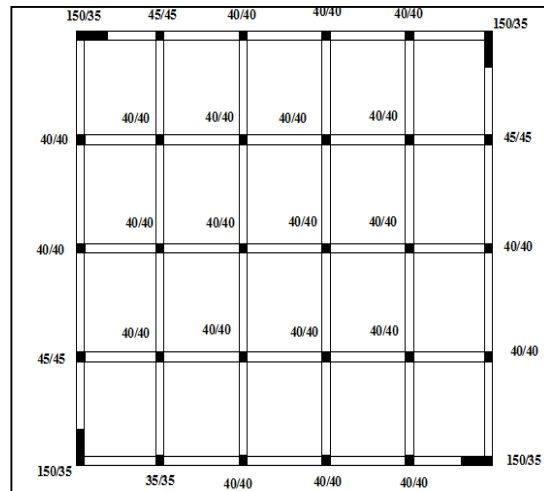
Υποστυλώματα: 40cm/40cm
35cm/35cm

Τοιχώματα: 150cm/30cm

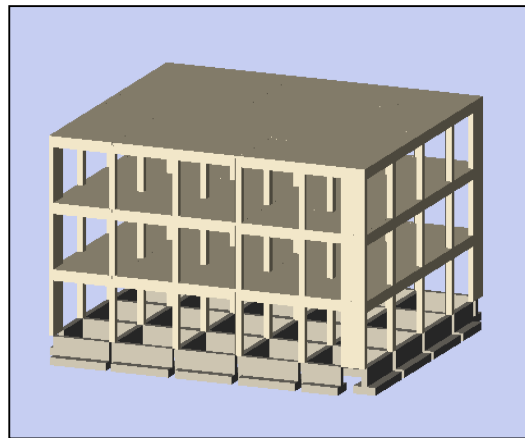
Στους ανώτερους ορόφους υπάρχουν κάποιες μικρές αλλαγές στις διατομές των υποστυλωμάτων. Ωστόσο, παρακάτω δίνονται ενδεικτικά οι κατόψεις του ισογείου.



Σχήμα 8: Κάτοψη 3όροφου τοιχωματικού σχεδιασμένο για σεισμό



Σχήμα 9: Κάτοψη 3όροφου τοιχωματικού σχεδιασμένο για τσουνάμι



Σχήμα 10: 3D τριώροφου τοιχωματικού

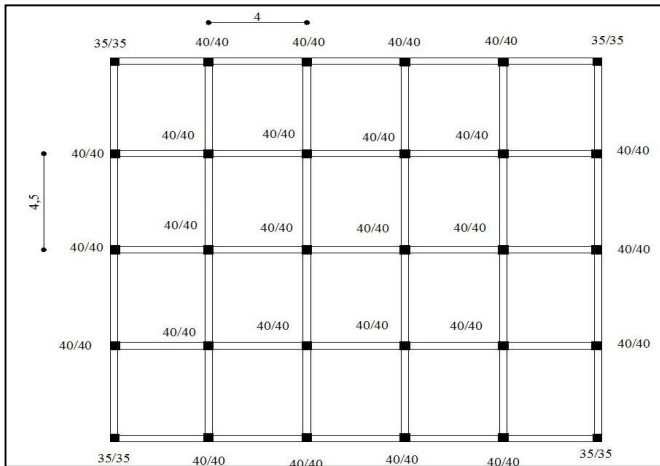
Μετά το σχεδιασμό και για τσουνάμι, χρειάστηκαν απαραίτητες αλλαγές, πέρα από τον οπλισμό, και στις διαστάσεις κάποιων κατακόρυφων μελών. Οι διατομές των νέων κατακόρυφων μελών δίνονται παρακάτω:

Υποστυλώματα: 35cm/35cm
40cm/40cm
45cm/45cm

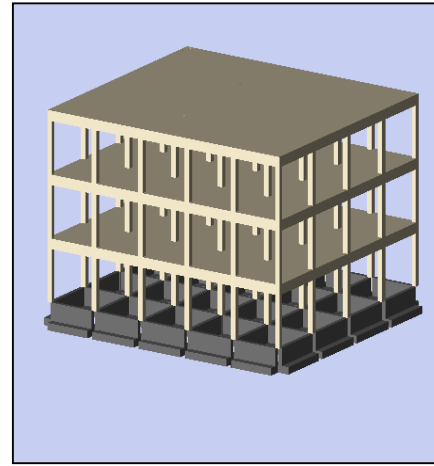
Τοιχώματα: 150cm/35cm

3.3.2.2 ΠΛΑΙΣΙΑΚΟ

Το πλαίσιακό κτίριο, διαστάσεων 20mX18m, αποτελείται στο σύνολο του από υποστυλώματα 40cm/40cm με εξαίρεση τα 4 γωνιακά (35cm/35cm). Μετά το σχεδιασμό για τσουνάμι όλες οι διαστάσεις των μελών παρέμειναν ίδιες.



Σχήμα 11: Κάτοψη 3όροφου πλαίσιακού

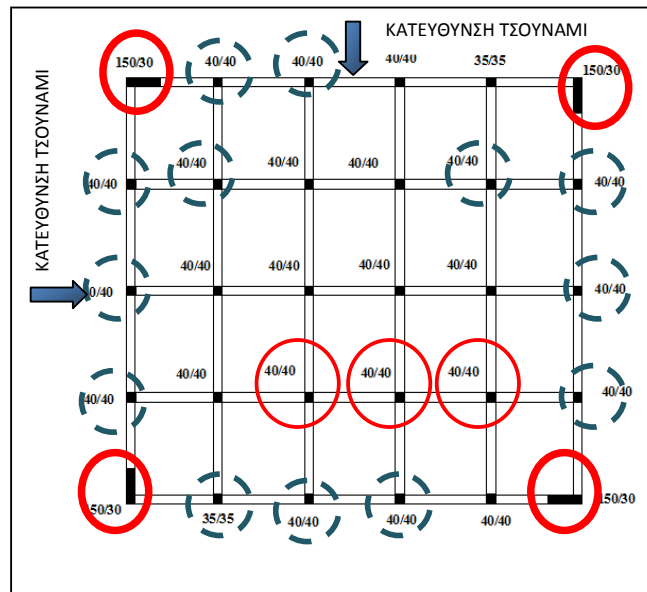


Σχήμα 12: 3D τριώροφο πλαίσιακό

3.3.2.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Αφού σχεδιάστηκαν τα παραπάνω κτίρια και για το τσουνάμι, συγκρίθηκαν οι οπλισμοί των κατακόρυφων μελών στις δύο περιπτώσεις σχεδιασμού.

Όσον αφορά το δυαδικό σύστημα, παρουσιάστηκαν σημαντικότερες αλλαγές στους οπλισμούς καθώς και αλλαγές στις διαστάσεις. Οι ποσοστιαίες αυξήσεις του οπλισμού στο ισόγειο φτάνουν το 113%, ενώ στον πρώτο όροφο μέχρι το 88%. Πιο συγκεκριμένα στο ισόγειο, ο οπλισμός αυξάνεται κατά 113% στα τοιχώματα, ενώ έχουμε αύξηση του οπλισμού πάνω από 50% στα υποστυλώματα που είναι κυκλωμένα με κόκκινη συνεχή γραμμή. Σχεδόν μηδενικές ήταν οι αυξήσεις στον οπλισμό στα κατακόρυφα στοιχεία που είναι κυκλωμένα με μπλε διακεκομμένη γραμμή, τα οποία είναι κυρίως περιμετρικά υποστυλώματα. Στα υπόλοιπα υποστυλώματα έχουμε διαφορές γύρω στο 30%.

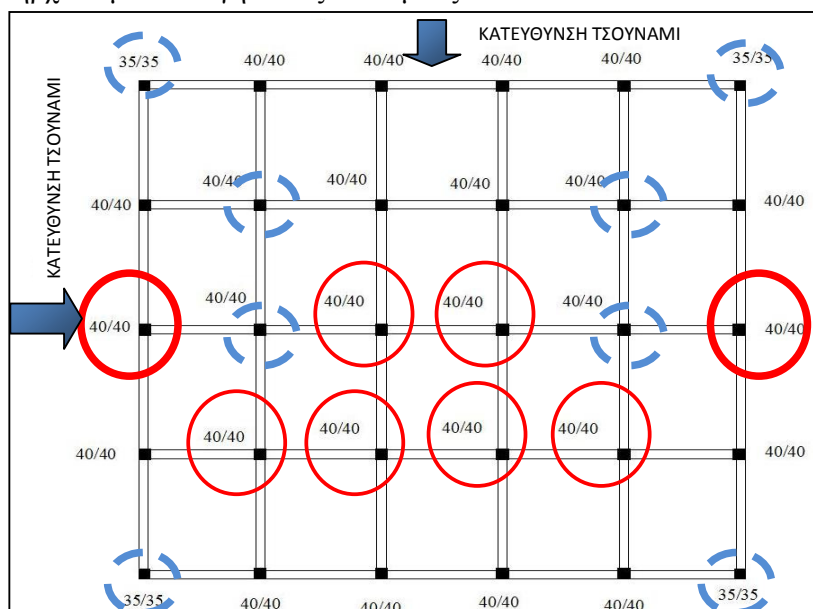


Σχήμα 13: Κάτοψη ισογείου 3όροφου τοιχωματικού

Όσον αφορά τον πρώτο όροφο, οι πολύ μεγάλες αλλαγές εμφανίστηκαν στα τοιχώματα (από 45-88%), ενώ στα υπόλοιπα κατακόρυφα στοιχεία εντοπίστηκαν μικρότερες (της τάξης του 20%) ή καθόλου αλλαγές. Ο συνολικός οπλισμός στα κατακόρυφα στοιχεία στο ισόγειο αυξήθηκε κατά 33% ενώ στον πρώτο όροφο κατά 13%. Όπως ήταν αναμενόμενο παρουσιάζεται μείωση της αλλαγής στους ανώτερους ορόφους.

Είναι προφανές ότι το κτίριο αυτό, αν είχε σχεδιαστεί μόνο κατά τους Ελληνικούς κανονισμούς και δεχόταν φορτίσεις από το τσουνάμι που θεωρήθηκε στο σχεδιασμό, θα παρουσίαζε σημαντικές βλάβες και πιθανόν να κατέρρεε. Ακόμη όμως και να μην είχε προκληθεί κατάρρευση, οι βλάβες θα ήταν τόσο σημαντικές που η ενίσχυσή της θα ήταν ασύμφορη οικονομικά. Πρέπει στο σημείο αυτό να τονιστεί, ότι όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, τα αποτελέσματα αυτά έχουν προέλθει παραλείποντας κάποιες φορτίσεις τσουνάμι, οι οποίες όχι μόνο έχουν σημαντική πιθανότητα να συμβούν αλλά πολλές φορές παίζουν και κυρίαρχο ρόλο στην κατάρρευση μίας κατασκευής.

Κάνοντας την ίδια σύγκριση και στο πλαισιακό κτίριο, παρατηρήθηκαν πάλι σημαντικές αλλαγές στους οπλισμούς, αλλά καμία αλλαγή στις διατομές των μελών. Οι ποσοστιαίες αυξήσεις τώρα, κυμαίνονται στο ισόγειο από 0% έως 42%, ενώ στον πρώτο και το δεύτερο όροφο δεν υπήρχε καμία αλλαγή στους οπλισμούς.



Σχήμα 14: Κάτοψη ισόγειου 3όροφου πλαισιακού

Συγκεκριμένα η μεγαλύτερη αλλαγή στους οπλισμούς (42%) παρατηρήθηκε στα δύο περιμετρικά υποστυλώματα (σε κύκλο με κόκκινη συνεχή γραμμή). Στα υπόλοιπα κυκλωμένα υποστυλώματα με κόκκινο παρατηρήθηκε αλλαγή από 29% έως 31%, ενώ στα κυκλωμένα με μπλε διακεκομμένη γραμμή υποστυλώματα οι αλλαγές ήταν πολύ μικρές (μάλιστα στα γωνιακά δεν παρατηρήθηκε αλλαγή). Στα υπόλοιπα υποστυλώματα οι αλλαγές είχαν ενδιάμεσα ποσοστά. Επίσης στον ισόγειο όροφο η συνολική αύξηση του κατακόρυφου οπλισμού των υποστυλωμάτων ανέρχεται σε ποσοστό 16%.

Τέλος όσον αφορά στη θεμελίωση, ήταν απαραίτητο να αυξηθεί το βάθος θεμελίωσης και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι απαιτείται ισχυρή θεμελίωση για να αντιμετωπισθούν οι, προκύπτουσες από το τσουνάμι, ροπές ανατροπής.

Συγκρίνοντας τις λειτουργίες του πλαισιακού και του δυαδικού συστήματος, είναι προφανές ότι το πλαισιακό σύστημα λειτουργεί πολύ καλύτερα από το δυαδικό σε περίπτωση φόρτισης από τσουνάμι.. Βέβαια, όπως φαίνεται από τις απαιτήσεις αύξησης του οπλισμού στο ισόγειο, ακόμη και το πλαισιακό σύστημα, στην περίπτωση αυτή, θα παρουσίαζε

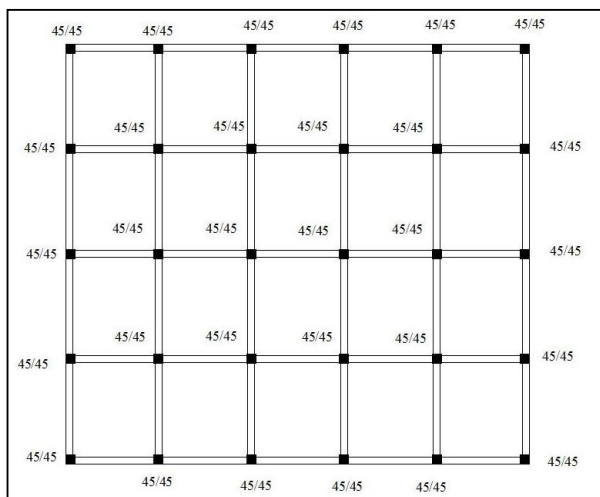
σημαντικές βλάβες. Έχοντας υπόψη μας την παραπάνω θεωρία, μπορούμε να αποδώσουμε τη διαφορά αυτή ανάμεσα στο πλαίσιακό και το δυαδικό σύστημα, στο γεγονός ότι τα τοιχώματα έχουν πολύ μεγαλύτερη επιφάνεια, ασκούνται πάνω τους πολύ μεγάλες υδροδυναμικές και ορμητικές δυνάμεις με αποτέλεσμα η φόρτιση τσουνάμι να γίνεται πολύ δυσμενής για μια κατασκευή με τοιχώματα.

3.3.3 7ΟΡΟΦΟ ΚΤΙΡΙΟ

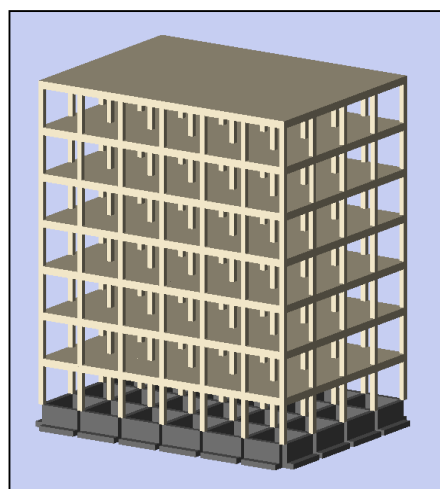
Από τα αποτελέσματα που πάρθηκαν από τα τριώροφα κτίρια, θεωρήθηκε ως καλύτερη λύση για φόρτιση τσουνάμι το πλαίσιακό σύστημα. Στην υποενοότητα αυτή θα ελεγχθεί η λειτουργία ενός ψηλότερου πλαίσιακού κτιρίου για το ίδιο τσουνάμι σχεδιασμού.

3.3.3.1 ΠΛΑΙΣΙΑΚΟ ΚΤΙΡΙΟ

Το κτίριο που σχεδιάστηκε σύμφωνα με τους Ελληνικούς κανονισμούς, διαστάσεων 20mX18m, αποτελείται από υποστυλώματα 45cm/45cm. Οι διαστάσεις παρέμειναν ίδιες και μετά το σχεδιασμό για τσουνάμι. Ωστόσο και εδώ απαιτήθηκε μικρή αύξηση του βάθους θεμελίωσης για τους ίδιους λόγους που αναφέρθηκαν και παραπάνω στα τριώροφα κτίρια.



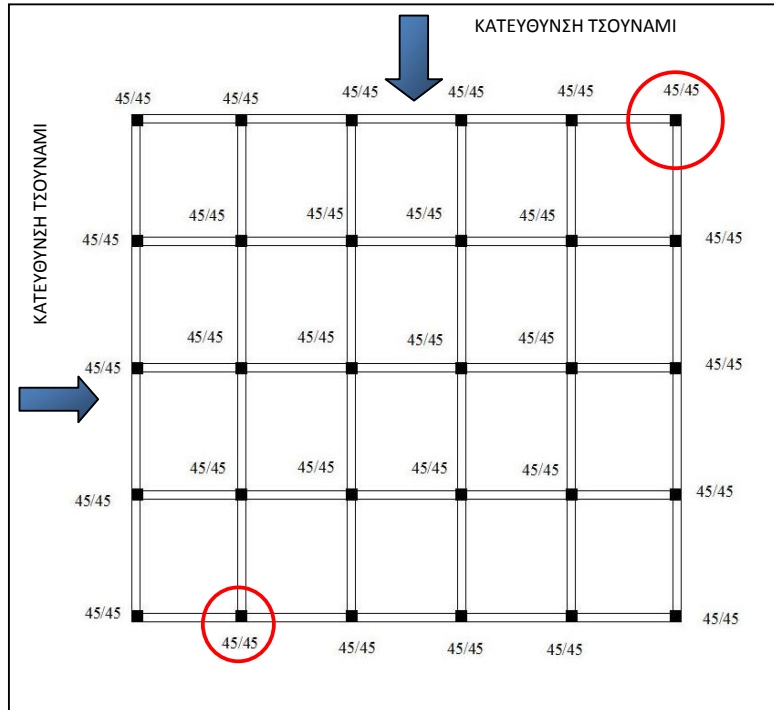
Σχήμα 15: Κάτοψη 7όροφου πλαίσιακού



Σχήμα 16: 3D 7όροφου πλαίσιακού

3.3.3.2 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συγκρίνοντας τους οπλισμούς που προκύπτουν από το σχεδιασμό του 7όροφου για σεισμό και από το σχεδιασμό του ίδιου κτιρίου και για τσουνάμι, παρατηρούμε ότι οι αλλαγές στους οπλισμούς είναι πολύ μικρότερες και προκύπτουν σε ελάχιστα υποστυλώματα. Συγκεκριμένα, στο ισόγειο, υπήρξαν πολύ μικρές αλλαγές στους οπλισμούς των κατακόρυφων στοιχείων που φαίνονται στην εικόνα παρακάτω. Σε όλα τα άλλα υποστυλώματα ο οπλισμός δε μεταβλήθηκε καθόλου, ενώ σε όλον τον όροφο το συνολικό ποσοστό αύξησης του κατακόρυφου οπλισμού των υποστυλωμάτων είναι μικρότερο από 1%, δηλαδή αμελητέα αύξηση. Στους υπολοίπους ορόφους δεν παρατηρήθηκαν αλλαγές.



Σχήμα 17: Κάτοψη ισογείου 7όροφου πλαισιακού

Παρατηρούμε λοιπόν ότι το πολώροφο κτίριο αποκρίνεται πολύ καλά σε μία τέτοια φόρτιση.

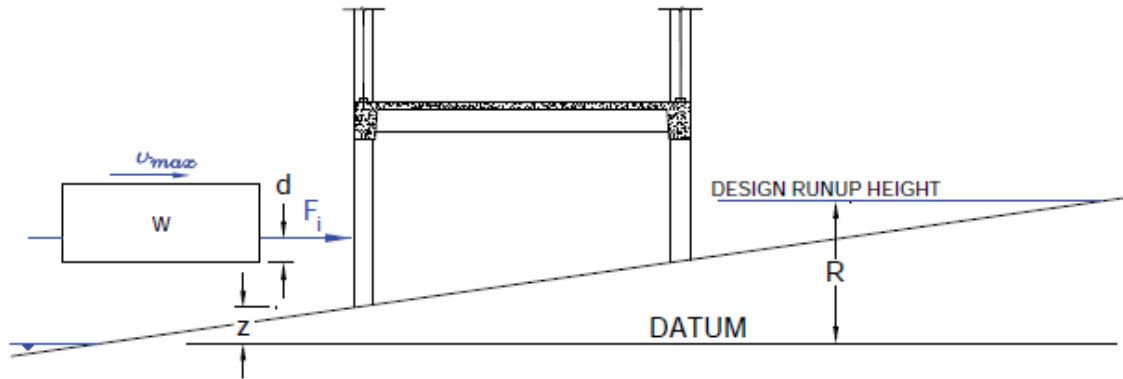
4. ΛΟΓΟΣ ΠΟΥ ΑΓΝΟΟΥΝΤΑΙ ΤΑ ΦΟΡΤΙΑ ΛΟΓΩ ΦΕΡΤΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ

4.1 ΚΡΟΥΣΤΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ

Αν θεωρήσουμε ότι ένα τυπικό container 40ft (12.2m) συγκρούεται με ένα υποστύλωμα του κτιρίου, η τιμή του κρουστικού φορτίου σύμφωνα με την FEMA P646 δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$F_i = C_m u_{max} \sqrt{km} \quad (11)$$

όπου C_m ο αθροιστικός συντελεστής μάζας, u_{max} η μέγιστη ταχύτητα με την οποία προσκρούει το container στο υποστύλωμα και m και k είναι η μάζα και η ενεργός δυσκαμψία του container αντίστοιχα. Σε αντίθεση με άλλες φορτίσεις, τα κρουστικά φορτία θεωρείται ότι δρουν τοπικά σε ένα μόνο μέλος της κατασκευής και στο ύψος της επιφάνειας του νερού, όπως φαίνεται στο σχήμα 8.



Σχήμα 18: Κρουστικό φορτίο [4]

Τιμές για τη μάζα και την ενεργό δυσκαμψία συνηθισμένων φερτών δίνονται στον πίνακα 6 παρακάτω. Θεωρείται όμως ότι οι τιμές αυτές της δυσκαμψίας, που προτείνει η FEMA P646 είναι πολύ μεγάλες. Επιπλέον, δεν είναι συντηρητικό να χρησιμοποιηθεί η μάζα ενός άδειου container, όπως προτείνει η FEMA P646, καθώς είναι προφανές ότι οι πρόσκρουση με ένα γεμάτο container θα έχει ως αποτέλεσμα την άσκηση πολύ μεγαλύτερων δυνάμεων στην κατασκευή. Για πιο ακριβή τιμή της δυσκαμψίας ενός container, θα χρησιμοποιηθούν οι τιμές k του πίνακα 5, οι οποίες έχουν προκύψει από μετρήσεις διαφόρων container. Το χειρότερο σενάριο πρόσκρουσης είναι όταν μία από τις κάτω γωνίες του container συγκρουστεί με ένα υποστύλωμα.^[6] Η FEMA P646 προτείνει ομοιόμορφη κατανομή της δύναμης αυτής, θεωρώντας ότι το container συγκρούεται πλευρικά με το κτίριο.

Table 6-1 Mass and Stiffness Properties of Common Waterborne Debris

| <i>Location of Source</i> | <i>Mass (m) in kg</i> | <i>Effective stiffness (k) in N/m</i> |
|-----------------------------------|-----------------------|---------------------------------------|
| Lumber or Wood Log | 450 | 2.4×10^6 |
| 40-ft Standard Shipping Container | 3800 (empty) | 6.5×10^8 |
| 20-ft Standard Shipping Container | 2200 (empty) | 1.5×10^9 |
| 20-ft Heavy Shipping Container | 2400 (empty) | 1.7×10^9 |

Πίνακας 5: Τιμές k και m για συνηθισμένα φερτά [4]

| Είδος Container | Εμβαδόν A (m^2) | Μήκος L (m) | Ενεργός δυσκαμψία k (kN/m) | Μάζα γεμάτου (ton) | Δύναμη πρόσκρουσης F_i (kN) |
|-----------------|-----------------------|---------------|------------------------------|--------------------|-------------------------------|
| 40ft | 1.98E-03 | 12.2 | 28746 | 30.45 | 18992 |
| 20ft | 1.34E-03 | 6.1 | 37491 | 30.45 | 21689 |

Πίνακας 6: Τιμές k και m [6]

4.2 ΦΟΡΤΙΑ ΤΥΠΟΥ "ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ"

Όπως αναφέρθηκε και στην ενότητα 2.6, οι δυνάμεις αυτές μπορούν να θεωρηθούν σαν μία ενισχυμένη από το πλάτος του συσσωρέματος υδροδυναμική δύναμη που ασκείται στο

μέτωπο της κατασκευής. Η τιμή της δύναμης αυτής δίνεται από την εξίσωση (6). Σύμφωνα με την FEMA P646, προτείνεται σαν ελάχιστο πλάτος του συσσωρεύματος τα 40ft (12.2m) το οποίο θα αντιπροσωπεύει την πλευρά ενός container ή τη μάζα ενός πλέοντος ξύλου. Η επίδραση του φορτίου αυτού πρέπει να ασκηθεί σε διάφορα σημεία της κατασκευής για να βρεθεί η πιο κρίσιμη θέση στο κτίριο.^[4]

Υπάρχουν διάφορα σενάρια εφαρμογής του φορτίου αυτού στο κτίριο. Το χειρότερο είναι όταν ένα τέτοιο φράγμα σφηνωθεί μεταξύ δύο υποστυλωμάτων. Η υδροδυναμική δύναμη που θα προκύψει από την σχέση (6) θα πρέπει να μοιραστεί στα δύο αυτά υποστυλώματα. Αν αντικαταστήσουμε την τιμή του πλάτους στην προαναφερθείσα σχέση, προκύπτει για την δύναμη φράγματος η τιμή $F_{dm}=5277.7$ kN. Είναι προφανές, ότι στο παραπάνω σενάριο τα υποστυλώματα θα πρέπει να σχεδιαστούν να αντέχουν πολύ μεγάλες δυνάμεις.

4.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΤΑΔΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗΣ

Είναι προφανές από τα παραπάνω ότι οι δυνάμεις λόγω φερτών από το νερό αντικειμένων, μπορεί να είναι τόσο μεγάλες που καθιστούν παράλογο και αντιοικονομικό το σχεδιασμό για τις δυνάμεις αυτές. Γι' αυτό προτείνεται η μείωση της πιθανότητας δυσανάλογης κατάρρευσης εξαιτίας της απώλειας ενός ή περισσοτέρων δομικών μελών. Αυτό γίνεται με την ανάλυση σταδιακής κατάρρευσης. Βέβαια, η απόφαση του αν θα γίνει ή όχι μία τέτοια ανάλυση εξαρτάται από την τοποθεσία και από το είδος των φερτών που θα μπορούσαν να χτυπήσουν την κατασκευή.

Υπάρχουν δύο κύριες μέθοδοι τέτοιας ανάλυσης. Η πρώτη, ονομαζόμενη στα Αγγλικά "Tie Force Strategy", προτείνει την χρήση συνεχούς οπλισμού στις δοκούς και στις πλάκες, ώστε αν ένα υποστυλώμα αστοχήσει, ο οπλισμός αυτός να ανακατανεμίσει το φορτίο στο υπόλοιπο κτίριο. Η δεύτερη ("Missing column strategy"), προτείνει την αφαίρεση ενός υποστυλώματος και τη χρήση εννοιών πλαστικού σχεδιασμού για την αξιολόγηση της δυνατότητας των περιβαλλόντων δομικών μελών να συνεχίσουν να φέρουν τα κατακόρυφα φορτία. Αυτή η μέθοδος, όσον αφορά το τσουνάμι, περιορίζεται στην αφαίρεση μόνο ενός εξωτερικού υποστυλώματος αφού το κρουστικό φορτίο ή το φορτίο φράγματος θα συμβεί κατά πάσα πιθανότητα στα εξωτερικά υποστυλώματα. [4]

5. ΣΤΟΧΟΣ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στόχος αυτής της εργασίας ήταν ο αντισεισμικός σχεδιασμός κτιρίων Ο.Σ. βάσει των Ελληνικών Κανονισμών^{[2],[3]} και η αποτίμησή τους για φόρτιση τσουνάμι σύμφωνα με τον Αμερικάνικο Κανονισμό FEMA P646. Τα αποτελέσματα αυτής της εργασίας ισχύουν υπό ορισμένες προϋποθέσεις φόρτισης, εφόσον η επιρροή κάποιων φορτίων αγνοήθηκε, και υπό την προϋπόθεση ότι τα μη δομικά μέλη, όπως αρχιτεκτονικοί τοίχοι, αστοχούν και δεν επηρεάζουν τη φόρτιση τσουνάμι στα δομικά μέλη.

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την εργασία αυτή είναι τα ακόλουθα:

- Τα αποτελέσματα αποδεικνύουν αυτό που αναφέρθηκε και στην εισαγωγή, ότι δηλαδή ακόμη και ένα μικρό τσουνάμι μπορεί να προκαλέσει σημαντικές βλάβες.
- Κτίρια Ο.Σ μπορούν να σχεδιαστούν, ώστε να αντέχουν φορτίσεις τσουνάμι παρόμοιου μεγέθους με αυτό που θεωρήθηκε σ' αυτήν την εργασία.
- Ο αντισεισμικός σχεδιασμός των ζόροφων κτιρίων, έδειξε ότι απαιτούνται πολύ μεγάλες αυξήσεις στους οπλισμούς των κατακόρυφων στοιχείων, ιδιαίτερα στους ορόφους που πλήττονται από το τσουνάμι, καθώς και σημαντικές αυξήσεις κάποιων διατομών κατακόρυφων μελών στην περίπτωση του δυαδικού συστήματος. Άρα χαμηλές αντισεισμικές κατασκευές, πολύ πιθανόν να χρειαστούν σημαντικές ενισχύσεις ώστε να μπορούν να αντισταθούν σε ένα τέτοιο τσουνάμι.

- Πλαισιακά πολυώροφα κτίρια, σχεδιασμένα σύμφωνα με ΕΚΩΣ 2000 και ΕΑΚ2003 και για περιοχή σεισμικής επικινδυνότητας ΙΙ πιθανόν να μη χρειάζονται κάποια ενίσχυση ώστε να μπορούν να αντιστέκονται σε φορτία τσουνάμι.
- Πρόσκρουση με container, καθώς και υδροδυναμικές δυνάμεις φράγματος σε ορισμένες δυσμενείς θέσεις στο κτίριο, πιθανότατα θα ξεπεράσουν την διατμητική και καμπτική αντοχή μεμονωμένων υποστυλωμάτων. Γι' αυτό το λόγο προτείνεται το κτίριο να σχεδιαστεί ώστε να αποφευχθεί σταδιακή κατάρρευση στην περίπτωση αστοχίας κολώνας

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] L.H. Λογισμική, " Fespa 10 for Windows, Έκδοση 1.0.106", Αθήνα 2011
- [2] ΕΚΩΣ 2000- Ελληνικός Κανονισμός Οπλισμένου Σκυροδέματος
- [3] ΕΑΚ 2003- Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός
- [4] FEMA, 2008, Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation from Tsunamis, FEMA P646 Report, Federal Emergency Management Agency, Washington D.C (Chapter 6, p.69-89)
- [5] Pacheco, K. and Robertson, I.N., 2005, Evaluation of Tsunami Loads and Their Effect on Reinforced Concrete Buildings, Research Report UHM/CEE/05-06, University of Hawai'i at Manoa, Honolulu, Hawai'i. (Chapter 7, pg. 117)
- [6] Mikhaylov, Y. and Robertson, I.N., 2009, Evaluation of Prototypical Reinforced Concrete Building Performance when Subjected to Tsunami Loading, Research Report UHM/CEE/09-01, University of Hawai'i at Manoa, Honolulu, Hawai'i. (Chapter 2, pg12,14-16, 24, 26-Chapter 5, pg.53, 55, 61)
- [7] Mohamed, A., 2008, Characterization of Tsunami-Like Bores in Support of Loading on Structures, University of Hawai'i at Manoa, Honolulu, Hawai'i. (Chapter 5, pg.37, 42)
- [8] Steven N. Ward and Simon Day (2001). "[Cumbre Vieja Volcano—Potential collapse and tsunami at La Palma, Canary Islands](#)". *Geophys. Res. Let.* **28**: 3397-3400.
- [9] Haugen K, Lovholt F, Harbitz C, K; Lovholt, F; Harbitz, C (2005). "Fundamental mechanisms for tsunami generation by submarine mass flows in idealised geometries". *Marine and Petroleum Geology* **22** (1-2): 209–217.
- [10] <http://www.econews.gr/2011/10/21/askisi-tsounami-kriti/>
- [11] <http://www.imerisia.gr/article.asp?catid=12333&subid=2&tag=9464&pubid=11971140>
- [12] <http://www.physics4u.gr/articles/2004/tsunami.html>
- [13] <http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A4%CF%83%CE%BF%CF%85%CE%BD%CE%AC%CE%BC%CE%B9>
- [14] <http://www.gein.noa.gr/services/catalogue.htm>

