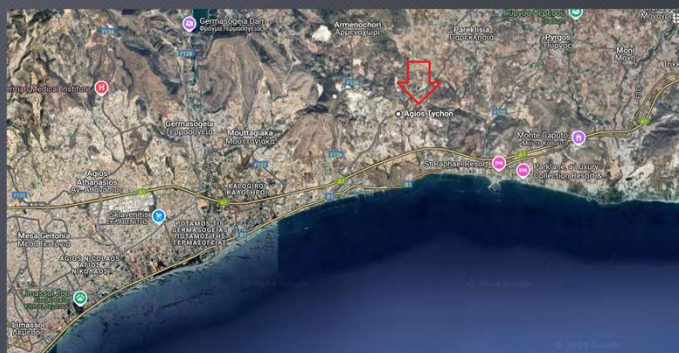


ΟΙΚΙΣΤΙΚΟ ΕΡΓΟ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΑΓΙΟΥ ΤΥΧΩΝΑ

CASA 55

Αβραάμ Μ. Πανίδης Πολιτικός Μηχανικός Α.Π.Θ., MSc, Υποψήφιος Διδάκτορας Δ.Π.Θ.
Ανδρέας Π. Πατσαλοσαββής Πολιτικός Μηχανικός Frederick University CY, MSc
Δημήτρης Π. Πατσαλοσαββής Πολιτικός Μηχανικός Frederick University CY, MSc
Κυριάκος Π. Πατσαλοσαββής Πολιτικός Μηχανικός Α.Π.Θ., MSc

ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ



ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥΣΑΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

- Παρουσίαση της προσέγγισης της Στατικής και Δυναμικής ανάλυσης κτιρίου από οπλισμένο σκυρόδεμα στην περιοχή Αγίου Τύχωνα στην Λεμεσό της Κύπρου.
- Ανάλυση των κατασκευαστικών προβλημάτων και των λύσεων που εφαρμόστηκαν.



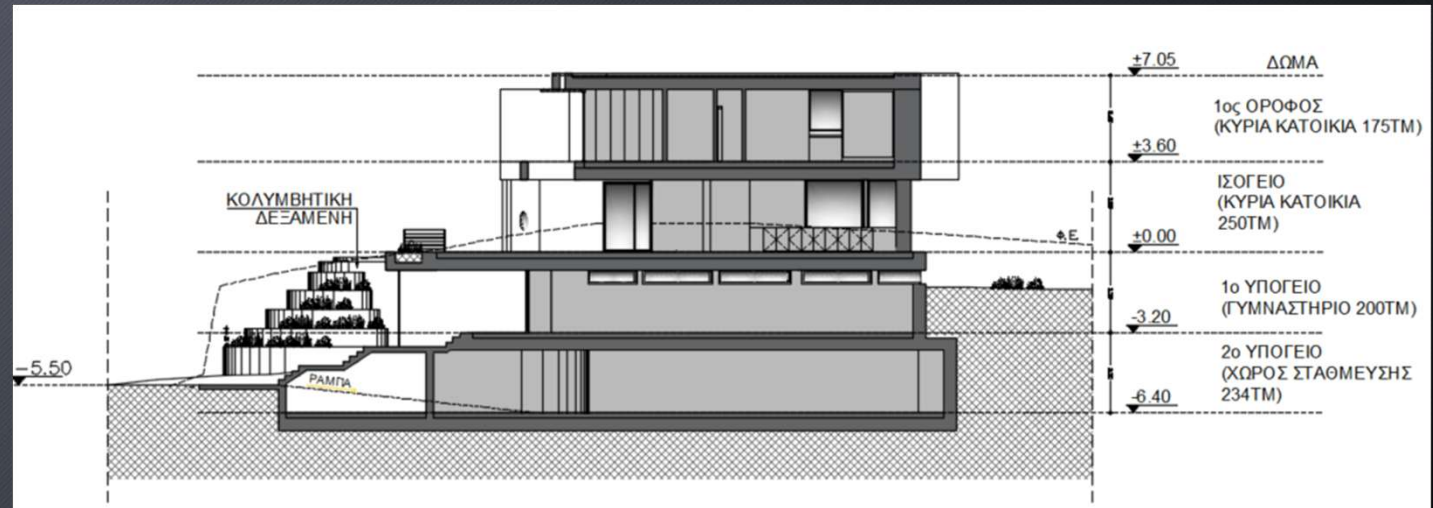
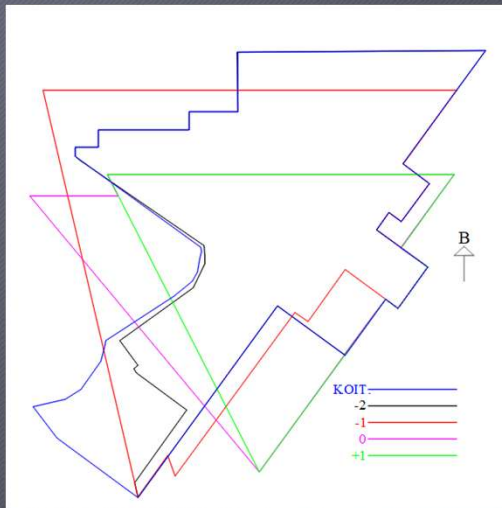
ΙΔΙΑΙΤΕΡΟΤΗΤΕΣ ΚΤΙΡΙΟΥ

- Σύγχρονη αρχιτεκτονική σύνθεση.
- Ανάγκη για διατήρηση του αρχικού, εξαιρετικά απαιτητικού, αρχιτεκτονικού σχεδιασμού.
- Γεωγραφική θέση σε σεισμογενή περιοχή
- Εφαρμογή απαιτήσεων αντοχής σύμφωνα με ισχύοντες Κανονισμούς.
- Εξασφάλιση της οικονομικής ισορροπίας.



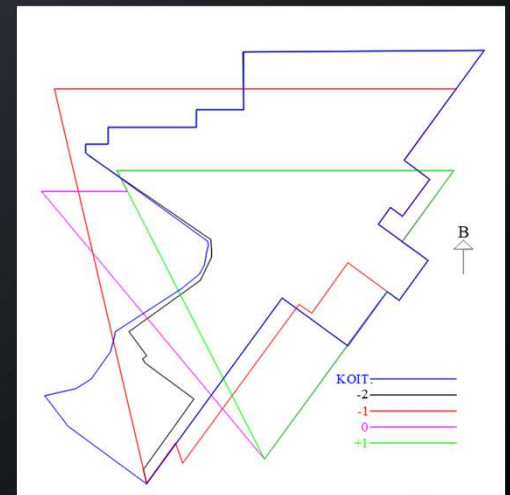
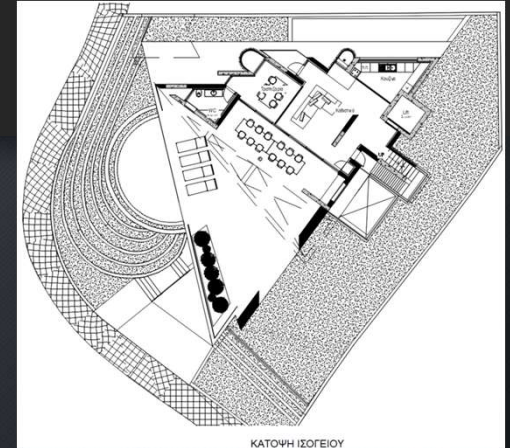
ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΚΑΙ ΧΡΗΣΕΙΣ

- Τριγωνική κάτοψη συνολικού εμβαδού 860 m².



ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΙΣΜΟΙ

- Τριγωνική κάτοψη η οποία μεταβάλλεται ανά όροφο.
- Μεγάλα ανοίγματα πλακών και προβόλων, χωρίς κρεμμάσεις δοκών.
- Μεγάλα τοιχώματα, ως αρχιτεκτονικοί όγκοι, στα άκρα των προβόλων.
- Απαίτηση για υποστυλώματα μικρής διατομής.
- Τοποθέτηση ανελκυστήρα περιμετρικά της κάτοψης στην Νοτιοανατολική όψη.
- Δημιουργία αρχιτεκτονικών οπών σε κάθετα και οριζόντια στοιχεία.
- Μεγάλα φορτία επικαλύψεων στους ορόφους.



ΣΤΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

- Συζευγμένα τοιχώματα.
- Ανεστραμμένες δοκοί ύψους 0.45m.
- Γενική κοιτόστρωση 0.60m, χωρίς πεδιλοδοκούς.
- Χρήση πλακών μεγάλου πάχους για παραλαβή των φορτίων και μεγάλων ανοιγμάτων.
- Μείωση μόνιμων φορτίων με χρήση εξηλασμένης πολυστερίνης, πάχους 100mm στις πλάκες.



ΙΣΧΥΟΝΤΕΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ

Έλεγχοι σύμφωνα με τους Ευρωκώδικες.

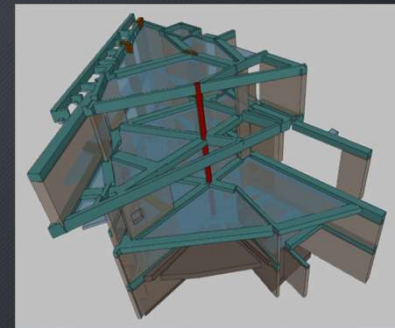
- CYS EN 1990: Ευρωκώδικας 0 – Βάσεις σχεδιασμού φερουσών κατασκευών.
- CYS EN 1991: Ευρωκώδικας 1 – Δράσεις στις Φέρουσες Κατασκευές.
- CYS EN 1992: Ευρωκώδικας 2 – Σχεδιασμός φερουσών κατασκευών από σκυρόδεμα.
- CYS EN 1993: Ευρωκώδικας 3 – Σχεδιασμός φερουσών κατασκευών από χάλυβα.
- CYS EN 1997: Ευρωκώδικας 7 – Γεωτεχνικός σχεδιασμός.
- CYS EN 1998: Ευρωκώδικας 8 – Αντισεισμικός σχεδιασμός φερουσών κατασκευών.

Συμπερίληψη εθνικών προσαρτημάτων για την Κύπρο, θεσμοθετημένων από την Κυπριακή Δημοκρατία.

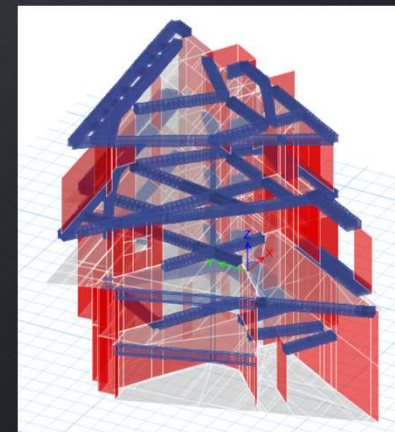
- CYS EN 1991-1-1:2002 - Μέρος 1.1: Γενικές δράσεις – Πυκνότητες, ίδια βάρη και επιβαλλόμενα φορτία σε κτίρια.
- CYS EN 1991-1-5:2003+AC:2009 Ευρωκώδικας 1: Δράσεις σε δομήματα - Μέρος 1-5: Γενικές Δράσεις – Θερμικές δράσεις.
- CYS EN 1991-1-6:2005+AC:2013 Ευρωκώδικας 1: Δράσεις σε δομήματα. - Μέρος 1-6: Γενικές Δράσεις: Δράσεις κατά την διάρκεια της κατασκευής.
- CYS EN 1998-1:2004 (+A1:2013+AC:2009) Ευρωκώδικας 8: Αντισεισμικός σχεδιασμός των κατασκευών - Μέρος 1: Γενικοί κανόνες, σεισμικές δράσεις και κανόνες για κτίρια.
- CYS 111:1990 Περιγραφή για Έτοιμο Σκυρόδεμα.
- CYS EN 206:2013 Σκυρόδεμα: Προδιαγραφή, επιτελεστικότητα, παραγωγή και συμμόρφωση.

ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Ανάλυση πραγματοποιήθηκε στο πρόγραμμα CYPECAD έκδοση 24e. Δυνατότητα προσομοίωσης γραμμικών και επιφανειακών πεπερασμένων στοιχείων.



Επανελέγχος ανάλυσης με το πρόγραμμα ETABS Έκδοσης 2019. Δυνατότητα προσομοίωσης γραμμικών και επιφανειακών πεπερασμένων στοιχείων.

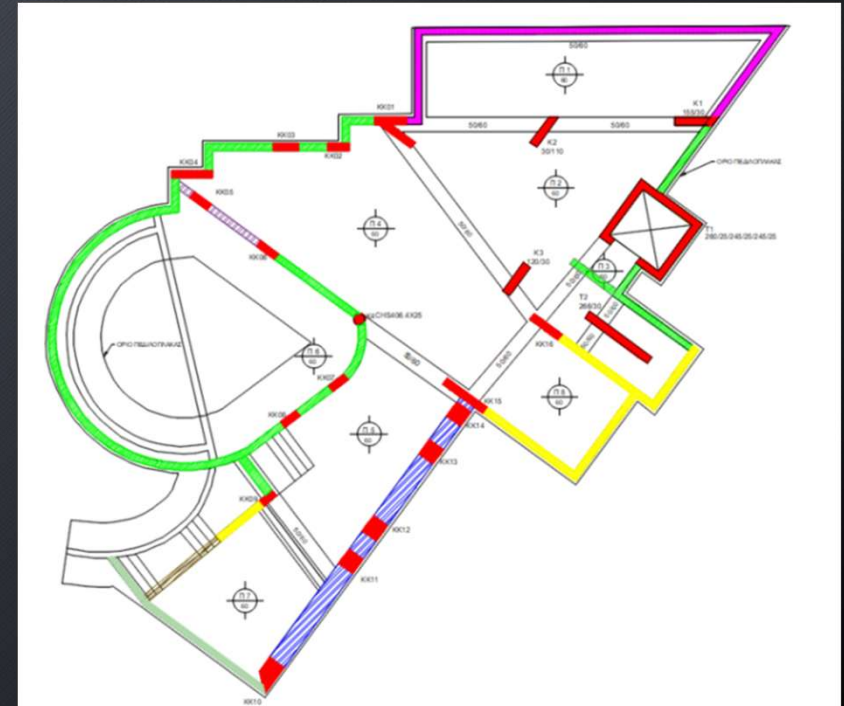


ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Δοκοί και υποστυλώματα: γραμμικά πλαίσιακά στοιχεία.

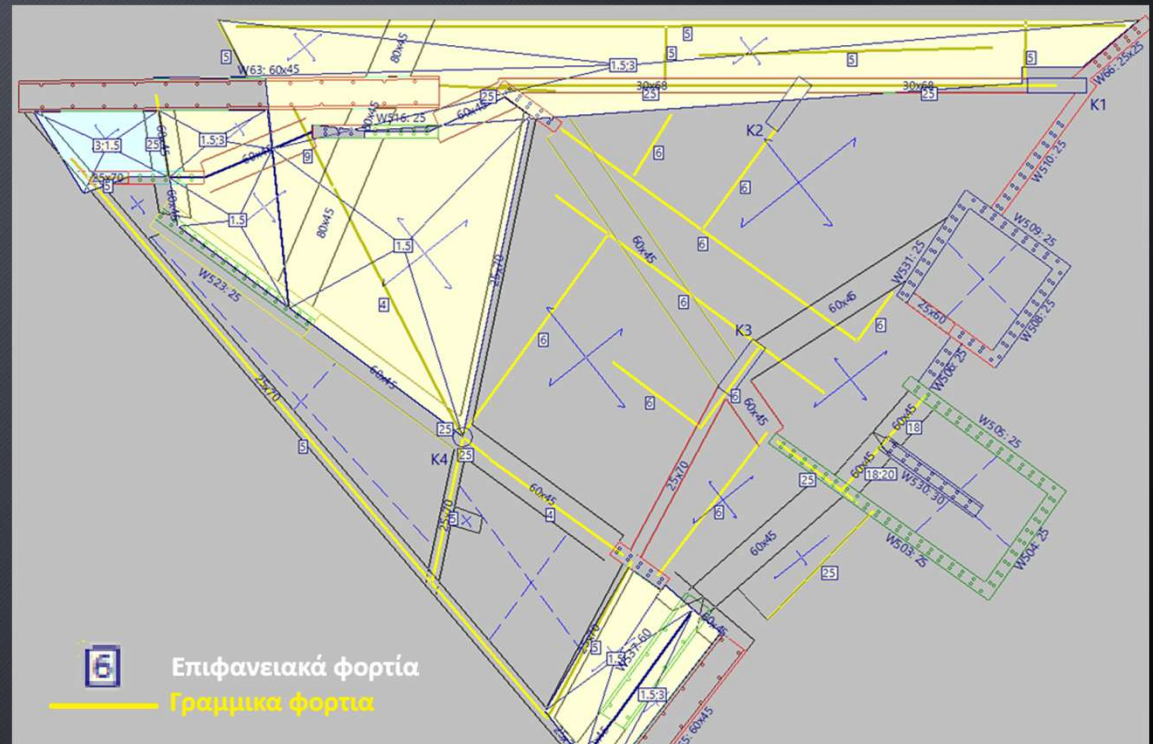
Τοιχώματα και πλάκες: επιφανειακά πεπερασμένα στοιχεία.

Οι στηρίξεις της κατασκευής στο έδαφος προσομοιώθηκαν ως ελατήρια των οποίων η δυσκαμψία προέκυψε από την ελατηριακή σταθερά εδάφους K_s σύμφωνα με την γεωτεχνική μελέτη.



ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ

Ποιότητες υλικών	
Ποιότητα σκυροδέματος:	C30/37
Ποιότητα χάλυβα:	B500C
Φορτία	
Μόνιμα:	
SW: Ίδιο βάρος Σκυροδέματος:	25kN/m ³
D.L.: Τελειώματα	
Εξωτερικά:	
Εξομάλυνση από σκυρόδεμα (Screed):	0.20m × 25kN/m ³ = 5.0kN/m ²
Εσωτερικά:	
Εξομάλυνση από σκυρόδεμα (Screed):	0.08m × 25kN/m ³ = 2.0kN/m ²
Εξομάλυνση από ελαφροσκυρόδεμα (Screed):	0.15m × 9kN/m ³ = 1.35kN/m ²
Συνολικό φορτίο:	3.50kN/m ²
Τοιχοποιίες:	
Τοιχοποιίες από Σκυρόδεμα (Πάχος 0.25m):	22.5kN/m
Τοιχοποιίες από Ξηρά Δόμηση (Πάχος 0.15m):	1.20kN/m
Κινητά (EN 1991-1-1):	
Κατηγορία A -	
Κλιμακοστάσια:	Χώροι κατοικίας και διαμονής: 2.0kN/m ²
Πρόβολοι:	3.5kN/m ²
Γυμναστήριο:	5.0kN/m ²
Οροφή:	3.0kN/m ²
Σεισμός:	2.0kN/m ²
Επιτάχυνση εδάφους A_{max} :	0.25g
Συντελεστής σπουδαιότητας:	II
Κατηγορία εδάφους:	C
Εδαφος	
Τάση εδάφους	$\sigma_{eq} = 200 \text{ kN/m}^2$
Ελαστική σταθερά	$K_s = 90000 \text{ kN/m}^3$
Ειδικό βάρος	$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$

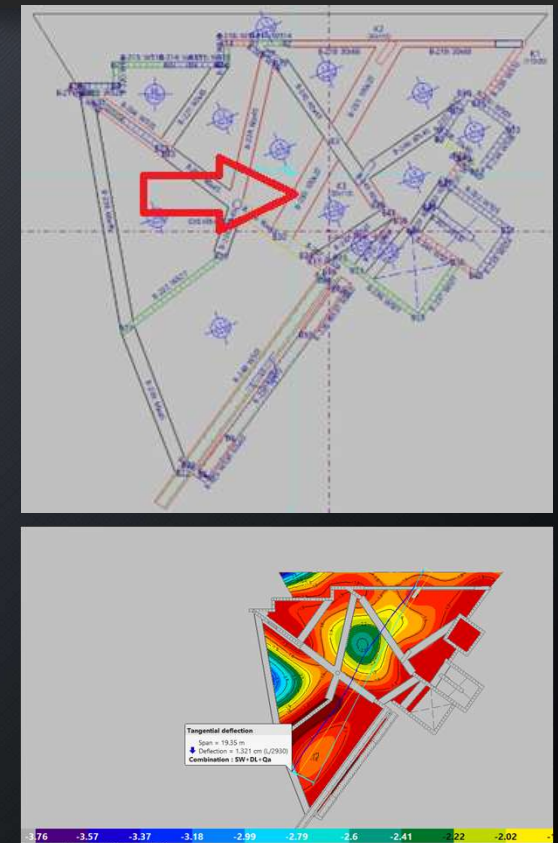


ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΚΑΙ ΛΥΣΕΙΣ

Έλεγχος επάρκειας και βέλους κάμψης των πλακών

Έλεγχος κατακόρυφης βύθισης (Long – Term Deflection) των πλακών.

Η τεχνική που χρησιμοποιήθηκε για τον εντοπισμό και τον έλεγχο της μακροχρόνιας παραμόρφωσης του σκυροδέματος ήταν η προσομοίωση δοκών ιδίου ύψους, με τις υπολογιζόμενες πλάκες, σε εκείνες τις περιοχές της κάτοψης όπου παρατηρούνται οι μεγαλύτερες βυθίσεις. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιείται δοκός πλάτους 1.0 m στην οποία άνω και κάτω τοποθετείται ο οπλισμός της πλάκας. Από το αποτέλεσμα της ανάλυσης, για την βύθιση των πλακών σε βάθος χρόνου σε συγκεκριμένα σημεία, προέκυψε η ανάγκη προσωρινής υποστύλωσης και ανύψωσης των πλακών, ώστε να επιτευχθεί το επιθυμητό ανάποδο βέλος κάμψης.



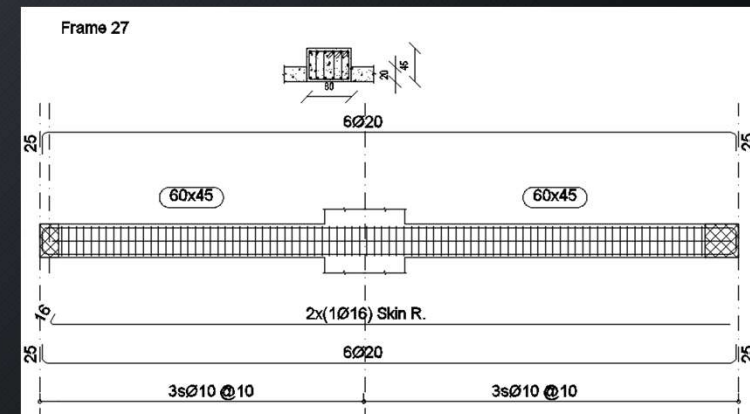
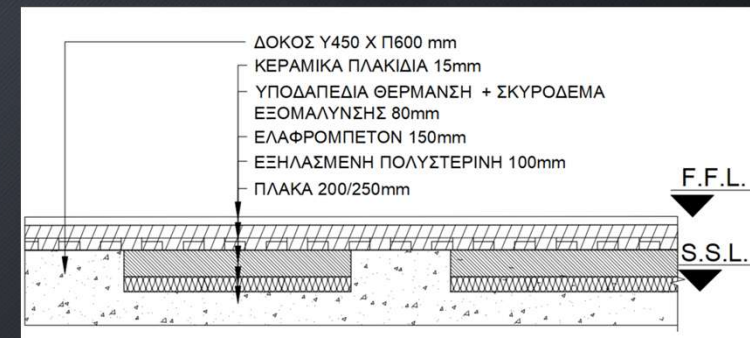
ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΚΑΙ ΛΥΣΕΙΣ

Δοκοί

Οι πλάκες των ορόφων, σύμφωνα με τις αρχιτεκτονικές απαιτήσεις, έγιναν χωρίς οι κρεμάσεις των δοκών να είναι εμφανείς. Συνεπώς, επιλέχθηκε η προσομοίωση να γίνει με ανεστραμμένες δοκούς με το ελάχιστο απαιτούμενο, ως προς την επάρκεια, ύψος.

Έπειτα από επιλύσεις του στατικού μοντέλου, προέκυψε ότι η διατομή των δοκών, η οποία θα εξασφάλιζε την στατική επάρκεια αλλά και την απαραίτητη ομαδοποίησης στην κατασκευή όμοιων δοκών, είναι διαστάσεων Υ45xΠ60 (cm).

Το κενό μεταξύ των ανεστραμμένων δοκών μέχρι το τελειωμένο δάπεδο αποφασίστηκε να καλυφθεί με τέτοιο τρόπο ώστε να μην υπάρξουν μεγάλα νεκρά φορτία. Έτσι, τοποθετήθηκε εξηλασμένη πολυστερίνη πάχους 100mm, ελαφρομπετόν πάχους 150mm και υποδαπέδια θέρμανση με το απαιτούμενο σκυρόδεμα εξομάλυνσης (screed) πάχους 80mm. Συγκριτικά η μείωση των νεκρών φορτίων με την εφαρμογή της εξηλασμένης πολυστερίνης ανέρχεται περίπου στα 2.4kN/m^2 , δηλαδή στο σύνολο της κατασκευής περίπου στα 1500kN.



ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΚΑΙ ΛΥΣΕΙΣ

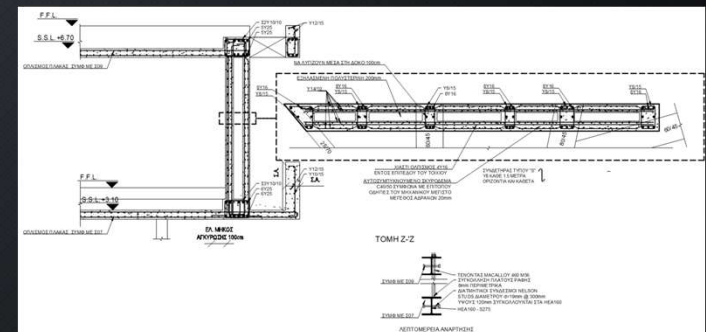
Τοιχώματα επί προβόλων

Τα <<αιωρούμενα>> τοιχώματα, πάχους 600mm, επιλέχθηκε να προσομοιωθούν ως γραμμικά φορτία ώστε να μπορεί να υπολογιστεί η μακροχρόνια παραμόρφωση (Long – Term Deflection) όπως επίσης και η ανύψωση των πλακών (ανάποδο βέλος κάμψης). Στις κατασκευαστικές λεπτομέρειες, επιλέχθηκε για την μείωση του ίδιου βάρους του συμπαγούς σκυροδέματος ο εγκιβωτισμός εξηλασμένης πολυστερίνης εντός του πυρήνα των στοιχείων, δεδομένου ότι τα τοιχώματα αυτά λειτουργούν ως αρχιτεκτονικές λεπτομέρειες.

Πραγματοποιήθηκαν δύο προσομοιώσεις. Στην πρώτη, το τοίχωμα υπολογίστηκε με μόνιμο φορτίο, περίπου 60kN/m και στην δεύτερη έγινε εφαρμογή πολυστερίνης εντός του πυρήνα της διατομής, βάρους περίπου 40 kN/m.

Συγκριτικά, η μείωση των νεκρών φορτίων με την εφαρμογή της εξηλασμένης πολυστερίνης εντός του όγκου των τοιχίων ανέρχεται περί τα 20kN/m.

Επίσης, προέκυψε μείωση της μακροχρόνιας παραμόρφωσης από 12mm σε 7mm. Οι κάθετοι οπλισμοί αγκυρώνονται στις πλάκες άνω και κάτω.



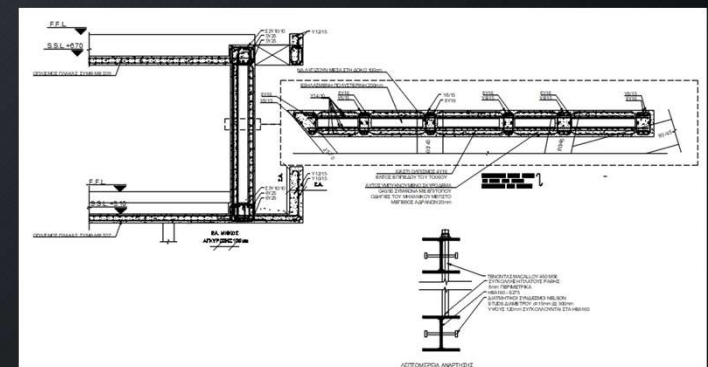
ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΚΑΙ ΛΥΣΕΙΣ

Τοιχώματα επί προβόλων

Επιλέχθηκε να εφαρμοστεί εντός του πυρήνα των τοιχωμάτων, στα σημεία που θα βρίσκεται η εξηλασμένη πολυστερίνη, τένοντας ανάρτησης που ουσιαστικά θα περιδένει τις πλάκες στα άκρα των στοιχείων αυτών.

Για την επίτευξη της αρχιτεκτονικής απαίτησης για τέλειο εμφανές σκυρόδεμα λόγω της πιθανής αδυναμίας ολικής συμπύκνωσης κατά την σκυροδέτηση εντός των τοιχίων, επιλέχθηκε να γίνει χρήση αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος (SCC).

Σκυρόδεμα κατηγορίας θλιπτικής αντοχής C30/37, κατηγορία εξάπλωσης SF2 (660-750mm), χρόνος εξάπλωσης $t_{500} \text{ VS1} (>2.0\text{s})$, οπτικός δείκτης σταθερότητας (ΟΔΣ) 0 ή 1, κατηγορία VF1 ($<0.9\text{s}$), κατηγορία PL2 (≥ 0.15), κατηγορία SR1 (≤ 15) κατηγορία έκθεσης XS1, Λόγος N/T ≤ 0.40 και μέγιστο μέγεθος αδρανών 16mm.

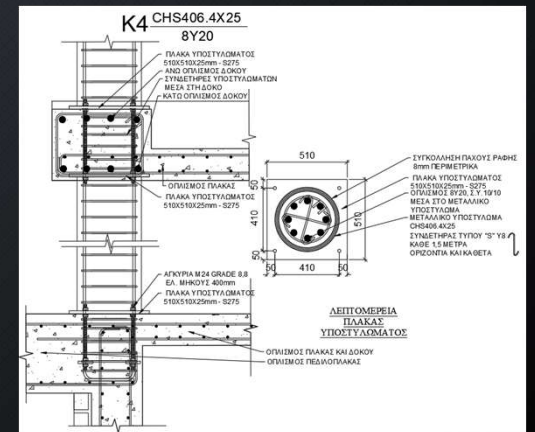
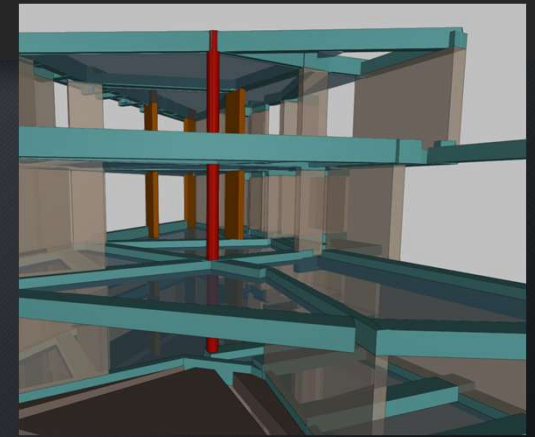


ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΚΑΙ ΛΥΣΕΙΣ

Κεντρικό Μεταλλικό Υποστύλωμα

Ο αρχιτεκτονικός σχεδιασμός επέβαλε το κεντρικό υποστύλωμα K4 να είναι κατά το δυνατόν μικρότερης διατομής. Επιλέχθηκε η χρήση ενός σύμμικτου συστήματος με εξωτερικό μεταλλικό μέλος κοίλης διατομής CHS στο οποίο εσωτερικά, ως ενίσχυση, θα εγκιβωτίζεται οπλισμένο σκυρόδεμα. Από την ανάλυση προέκυψε εξωτερική μεταλλική διατομή CHS406.4X25, διαμήκης οπλισμός 8Φ20 και εγκάρσιος οπλισμός Φ10/100.

Επίσης, ελέγχθηκε η διαθεσιμότητα της απαιτούμενης μεταλλικής διατομής, κατά την περίοδο κατασκευής του έργου, στην Κυπριακή αγορά, δεδομένης της περιορισμένης εισαγωγής υλικών στη χώρα. Σκυρόδεμα θλιπτικής αντοχής C30/37, κατηγορία κάθισης S4, κατηγορία έκθεσης XS1, λόγος $N/T \leq 0.45$ και μέγιστο μέγεθος αδρανών 20mm.

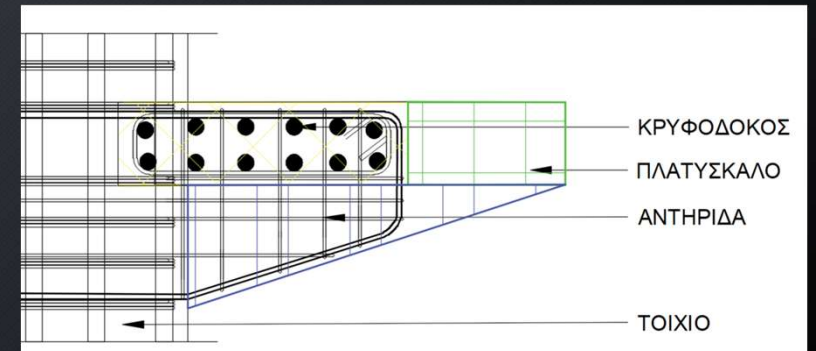
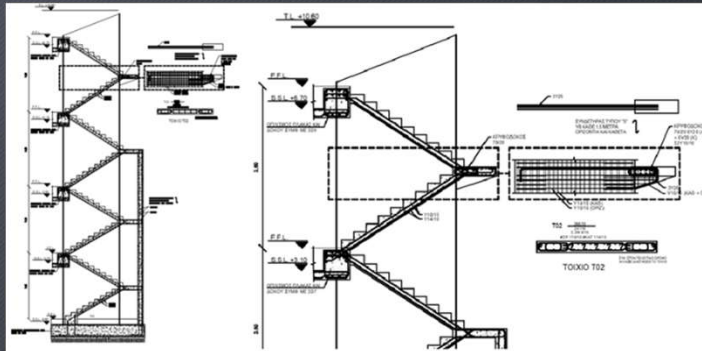


ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΚΑΙ ΛΥΣΕΙΣ

Κλιμακοστάσιο

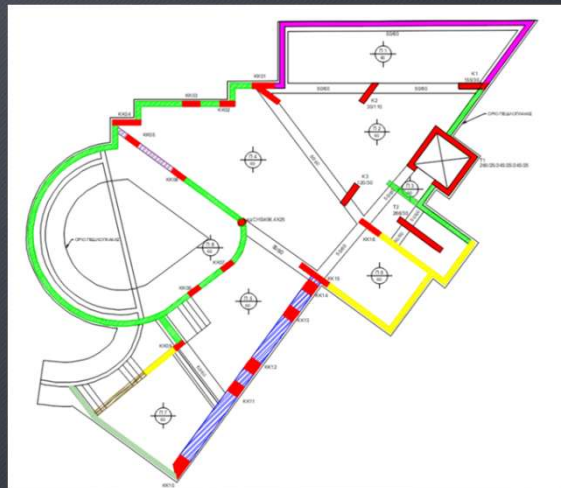
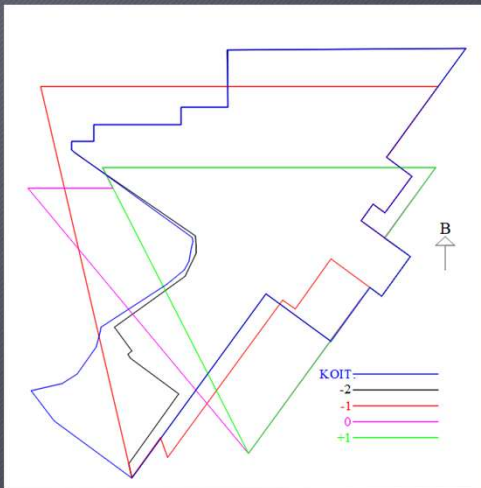
Το κλιμακοστάσιο θα αναπτύσσεται σε όλο το ύψος της κατασκευής από το υπόγειο μέχρι την οροφή. Από το επίπεδο του ισογείου και άνω, μέσα από το κεντρικό τοίχωμα, θα εκτείνεται προβολική κρυφοδοκός η οποία στηρίζεται με αντηρίδα και θα παραλαμβάνει προβολικά την κεκλιμένη πλάκα της κλίμακας.

Σκυρόδεμα κατηγορίας θλιπτικής αντοχής C30/37, κατηγορία κάθισης S3, κατηγορία έκθεσης XS1 και λόγος $N/T \leq 0.45$.



ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΤΟΙΧΕΙΩΝ

Αφού μελετήθηκαν όλα τα γεωμετρικά στοιχεία σύμφωνα με τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό, τοποθετήθηκαν κατακόρυφα στοιχεία σε κοινά σημεία επί των τριγωνικών κατόψεων των ορόφων. Κάποια από αυτά εκτείνονται καθ' ύψος σε όλους τους ορόφους, λαμβάνοντας βεβαίως υπόψιν την θέση των τοιχωμάτων του πυρήνα τα οποία τοποθετούνται περιμετρικά του κτιρίου. Μετά την προσομοίωση στο στατικό πρόγραμμα CYPR v24, έγινε έλεγχος των στατικών εκκεντρότητων του φορέα και έγινε προσπάθεια περιορισμού τους.

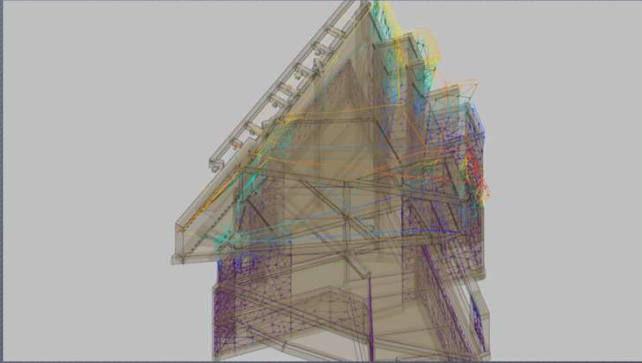


ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

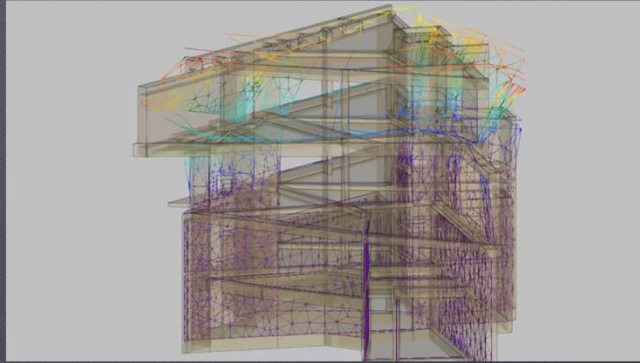
Participation coefficients

Mode	T	L_x	L_y	L_{yz}	M_x	M_y	Loadcase X(1)	Loadcase Y(1)
Mode 1	0.163	0.0533	0.1826	0.9817	3.97 %	46.23 %	R = 2.01 A = 3.107 m/s ² D = 2.08319 mm	R = 2.01 A = 3.107 m/s ² D = 2.08319 mm
Mode 2	0.120	0.7387	0.153	0.6565	60.92 %	2.6 %	R = 1.92 A = 2.788 m/s ² D = 1.02121 mm	R = 1.92 A = 2.788 m/s ² D = 1.02121 mm
Mode 3	0.066	0.0596	0.0894	0.9942	8.65 %	19.38 %	R = 1.77 A = 2.379 m/s ² D = 0.26277 mm	R = 1.77 A = 2.379 m/s ² D = 0.26277 mm
Mode 4	0.063	0.2376	0.763	0.6012	2.27 %	23.23 %	R = 1.76 A = 2.355 m/s ² D = 0.23639 mm	R = 1.76 A = 2.355 m/s ² D = 0.23639 mm
Mode 5	0.038	0.9167	0.3661	0.1598	22.92 %	3.63 %	R = 1.67 A = 2.167 m/s ² D = 0.07921 mm	R = 1.67 A = 2.167 m/s ² D = 0.07921 mm
Total					98.73 %	95.07 %		

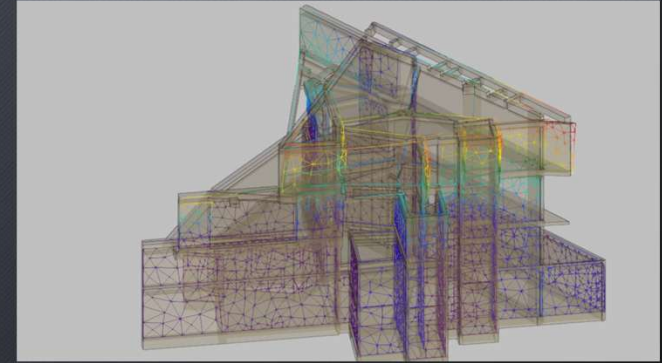
ΣΕΙΣΜΟΣ ΚΑΤΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ Χ



MODE 1

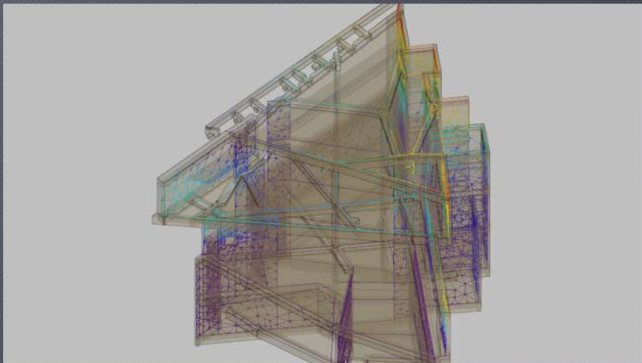


MODE 2

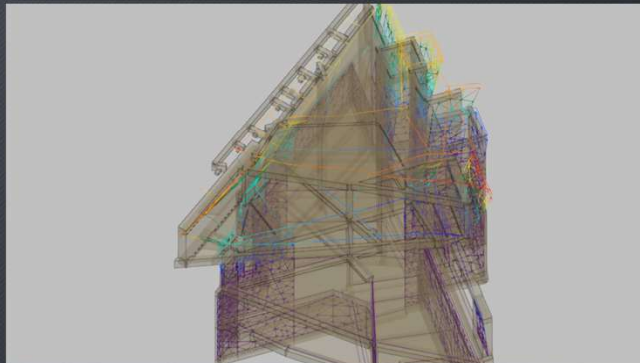


MODE 3

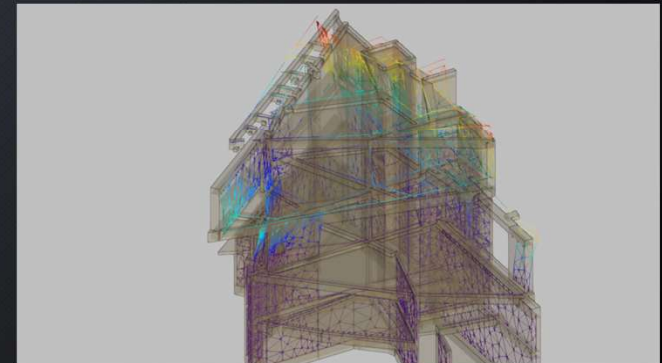
ΣΕΙΣΜΟΣ ΚΑΤΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ Υ



MODE 1



MODE 2



MODE 3

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Η σεισμική δράση παραλαμβάνεται σχεδόν στο σύνολο της από τα τοιχώματα, γεγονός που κατατάσσει το δομικό σύστημα ως τοιχωματικό.

Earthquake loadcase	%Q _x		%Q _y	
	Columns	Walls	Columns	Walls
Seismic X1	1.63	98.37	1.05	98.95
Seismic Y1	6.52	93.48	2.40	97.60

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

- Το δομικό σύστημα που προκύπτει είναι τοιχωματικό δεδομένου ότι η συνολική διατμητική αντοχή στην βάση είναι $\geq 65\%$ της συνολικής διατμητικής αντοχής του κτιρίου στην βάση.
- Συντελεστής συμπεριφοράς $q = 2.0$.
- Κατά την επίλυση συμπεριλήφθηκε και η κατακόρυφη συνιστώσα λόγω των μεγάλων κατακόρυφων φορτίων που οφείλονται στα τοιχώματα επί των προβόλων.

Eurocode 8
CYS EN 1998-1:2004
EUROCODE 8: Design of structures for earthquake resistance
Part 1: General rules
Seismic actions and rules for buildings

☒ Seismic action in direction X ☒ Seismic action in direction Y

Analysis method
☒ Dynamic (modal spectral) ☐ Static (equivalent lateral force)

Analysis parameters	Structural system	Location data
Fraction of live load: 0.50 Fraction of snow load: 0.50	Height geometry: ☐ Regular ☒ Irregular Behaviour coefficient: X 2.50 Y 2.50	Peak acceleration (fraction of 'g'): 0.25

Soil type
☐ A ☐ B ☒ C ☐ D ☐ E
Deep deposits of dense or medium-dense sand, gravel or stiff clay with thickness from several tens to many hundreds of metres, with an average shear wave velocity between 180 m/s and 360 m/s.

Importance of the job
☐ I ☒ II ☐ III ☐ IV
Ordinary buildings not belonging to any other category.

Limit drift between floors due to seismic action
☒ Based on the Code ☐ Specified by the user
Type of building: ☐ A ☒ B ☐ C
Drift of the element: ---
Drift between floors: Relative-0.015h
Total drift: ---

Limitation of stability coefficients
☐ Based on the Code ☒ Specified by the user
 θ_{min} 0.10 θ_{max} (X) 0.30 θ_{max} (Y) 0.30

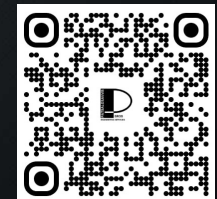
Number of vibration modes considered in the analysis
☒ Based on the Code ☐ Automatic, until a required percentage of displaced mass is reached ☐ Specified by the user

Degrees of freedom which intervene in the analysis
☐ Consider the floors below ground level in the dynamic model
If the current job has integrated 3D structures a...

Effects of the vertical seismic component
☐ Do not consider ☒ Specify the modification coefficient 0.150

Ευχαριστούμε για την προσοχή σας!

Αβραάμ Μ. Πανίδης Πολιτικός Μηχανικός Α.Π.Θ., MSc, Υποψήφιος Διδάκτορας Δ.Π.Θ.
Ανδρέας Π. Πατσαλοσαββής Πολιτικός Μηχανικός Frederick University CY, MSc
Δημήτρης Π. Πατσαλοσαββής Πολιτικός Μηχανικός Frederick University CY, MSc
Κυριάκος Π. Πατσαλοσαββής Πολιτικός Μηχανικός Α.Π.Θ., MSc



www.patsalosavvisbros.com