

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ & ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ

**ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ
ΠΑΛΙΟΥ ΤΑΞΙΑΡΧΗ ΜΕΣΤΩΝ ΧΙΟΥ**



ΤΕΥΧΟΣ ΣΤΑΤΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ

ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΠΑΠΑΗΛΙΟΥ
Πολιτικός Μηχανικός ΕΜΠ

ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ 2016

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	3
2	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑΣ	3
2.1	ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ.....	3
3	ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ	6
3.1	ΓΕΝΙΚΑ	6
3.2	ΠΡΟΤΥΠΑ ΚΑΙ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ	6
3.3	ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ	7
3.4	ΥΛΙΚΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ.....	7
3.5	ΦΟΡΤΙΑ.....	8
3.6	ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ.....	9
4	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΙ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ	10
4.1	ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	10
4.2	ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑΣ.....	11
4.3	ΕΛΕΓΧΟΙ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑΣ ΣΕ ΘΛΙΨΗ	12
4.4	ΕΛΕΓΧΟΙ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑΣ ΣΕ ΔΙΑΤΜΗΣΗ.....	12
4.5	ΕΛΕΓΧΟΙ ΤΟΙΧΩΝ ΣΕ ΚΑΜΨΗ ΠΕΡΙ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ ΑΞΟΝΑ.....	13
4.6	ΕΛΕΓΧΟΙ ΤΟΙΧΩΝ ΣΕ ΚΑΜΨΗ ΠΕΡΙ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟ ΑΞΟΝΑ.....	15
4.7	ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΙΟΝΩΝ ΣΕ ΕΚΚΕΝΤΡΗ ΘΛΙΨΗ.....	16
4.8	ΕΛΕΓΧΟΙ ΜΗΧΑΝΙΣΜΩΝ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗΣ.....	17
5	ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΦΟΡΕΑ ΚΑΙ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	20

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Αντικείμενο του παρόντος τεύχους στατικών υπολογισμών είναι η συντήρηση και αποκατάσταση του Παλιού Ταξιάρχη, στα Μεστά της Χίου. Περιγράφονται οι παραδοχές της μελέτης και οι μεθοδολογίες ανάλυσης, ελέγχου και διαστασιολόγησης των εξεταζόμενων στοιχείων.

Οι έλεγχοι έχουν πραγματοποιηθεί μέσω λογιστικών φύλλων, ενώ για λόγους ταυτοποίησης δίνονται πληροφορίες για το είδος, τη θέση και τη διατομή των εξεταζόμενων στοιχείων, καθώς και για τη φόρτιση που δίδει τα κρίσιμα μεγέθη.

Τα βασικά δεδομένα του προσομοιώματος και τα κρίσιμα διαγράμματα εντατικών μεγεθών παρουσιάζονται ως παράρτημα του τεύχους.

Η ομάδα στατικής μελέτης αποτελείται από τον Νικόλαο Παπαηλίου, Πολιτικό μηχανικό Ε.Μ.Π. - MSc Συντήρηση και Αποκατάσταση Ιστορικών Κτιρίων & Συνόλων Ε.Μ.Π. και τον Αναστάσιο Δρούγκα, Πολιτικό μηχανικό Ε.Μ.Π. - Δρ. Πανεπιστημίου BarcelonaTech.

2 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑΣ

2.1 ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Ελλείπει δειγματοληψίας και εκτίμησης μηχανικών χαρακτηριστικών των δομικών υλικών, αρκούμαστε σε συντηρητικές τιμές βάσει συναφών κατασκευών και της εμπειρίας των μελετητών. Θεωρούμε μέση τιμή για τη θλιπτική αντοχή των λίθων ίση με 30 MPa και αντιστοίχως για το κονίαμα 0.50 MPa. Πλήθος εμπειρικών σχέσεων είναι διαθέσιμα στη βιβλιογραφία για εκτίμηση των μηχανικών χαρακτηριστικών της τρίστρωτης τοιχοποιίας. Η παρακάτω σχέση δίνει μια καλή εκτίμηση της θλιπτικής αντοχής της τρίστρωτης λιθοδομής, λαμβάνοντας επιπλέον υπ' όψιν το λόγο μεταξύ του όγκου του γεμίσματος (ενδιάμεση στρώση τοιχοποιίας) προς το συνολικό όγκο της τοιχοποιίας.

Θλιπτική αντοχή τρίστρωτης λιθοδομής¹

$$f_{wc,0} = (2 \cdot \lambda_e \cdot \delta \cdot f_{wc,e} + \lambda_i \cdot f_{wc,i}) \div (1 + 2 \cdot \delta) \quad (1)$$

$f_{wc,0}$: θλιπτική αντοχή τρίστρωτης λιθοδομής

$f_{wc,e}$: θλιπτική αντοχή τρίστρωτης εξωτερικών στρώσεων, βλέπε (2)

$f_{wc,i}$: θλιπτική αντοχή της εσωτερικής στρώσης, βλέπε (3)

λ_e : διορθωτικός συντελεστής $\approx 1 - 0.06 \cdot \zeta_e \cdot t_e \cdot h_w^{-4/3}$, (t_e, h σε mm, $\zeta_e = E_{w,e} / f_{wc,e}$)

λ_i : διορθωτικός συντελεστής ≈ 1

δ : λόγος παχών μεταξύ εξωτερικής και εσωτερικής στρώσης ($t_e \div t_i$)

Θλιπτική αντοχή εξωτερικών στρώσεων²

$$f_{wc,e} = \left[\frac{2}{3} \cdot \sqrt{f_{bc}} + k_1 \cdot f_{mc} - k_2 \right] \div \left[1 + 3.5 \cdot \left(\frac{V_m}{V_w} - 0.30 \right) \right] \quad (2)$$

¹ Tassios, T.P. 2004. Rehabilitation of three-leaf masonry. In Evoluzione nella sperimentazione per le costruzioni, Seminario Internazionale, 26 Sept-30 Oct., Centro Internazionale di Aggiornamento Sperimentale-Scientifico

² Tassios, Chronopoulos: "Aseismic dimensioning of interventions on low-strength masonry buildings", Middle East and Mediterranean Regional Conference on low-strength masonry in seismic areas, Middle East Univ., Ankara, 1986

- f_{bc} : θλιπτική αντοχή λίθου
 f_{mc} : θλιπτική αντοχή κονιάματος
 k_1 : 0.60 για αργολιθοδομή
 0.20 για οπτοπλινθοδομή ή τοιχοποιία από λαξευμένους λίθους
 k_2 : 0.00 MPa για οπτοπλινθοδομή ή τοιχοποιία από λαξευμένους λίθους
 0.50 MPa για τοιχοποιία από ημιλαξευμένους λίθους
 2.50 MPa για αργολιθοδομή
 V_m, V_w : όγκος κονιάματος, όγκος τοιχοποιίας

Θλιπτική αντοχή της εσωτερικής στρώσης³

$$f_{wc,i} = f_0 \cdot e^{-10 \cdot n_i} \cdot \xi_i \quad (3)$$

- f_0 : 10 MPa για κονιάματα με $f_{mc} \approx 1.00$ MPa
 20 MPa για κονιάματα με $f_{mc} \approx 4.00$ MPa
 35 MPa για κονιάματα με $f_{mc} \approx 10.00$ MPa
 ξ_i : εκτιμήτρια της ποιότητας πλήρωσης ≤ 1.00
 n_i : δείκτη πορώδους του υλικού πλήρωσης

Το μέτρο ελαστικότητας μπορεί να ληφθεί:

$$E_{wc} = \zeta_e \cdot f_{wc} \quad (4)$$

- ζ_e : συντελεστής μεταξύ 500 ÷ 1000 (εν προκειμένω, λαμβάνουμε 800)

Στην περίπτωση μας, (κατακόρυφοι τοίχοι από τρίστρωτη λιθοδομή), λαμβάνουμε τις παρακάτω τιμές, οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν για τη μόρφωση του προσομοιώματος και τους ελέγχους. Η εκτίμηση έγινε για πάχος 65 cm. Λόγω σημαντικότητας του κτηρίου δε θεωρείται πιθανό οι παχείς τοίχοι να έχουν ευτελούς ποιότητας γέμισμα ώστε να δικαιολογείται η χαμηλότερη αντοχή που θα προέκυπτε από αντίστοιχη θεώρηση (τα πάχη στρώσεων και γεμίσματος είναι καθοριστικά στην εν λόγω μεθοδολογία).

Οι λιθοδομές των θόλων και του κωδωνοστασίου υπολογίζονται ως μονόστρωτες κατασκευές από ημιλαξευτούς και λαξευτούς λίθους αντίστοιχα.

³ Tassios, T.P. 2004. Rehabilitation of three-leaf masonry. In Evoluzione nella sperimentazione per le costruzioni, Seminario Internazionale, 26 Sept-30 Oct., Centro Internazionale di Aggiornamento Sperimentale-Scientifico

Μηχανικά χαρακτηριστικά αργολιθοδομής		
Εξωτερικές στρώσεις	f_{bc} (MPa)	30.00
	f_{mc} (MPa)	0.50
	k_1	0.60
	k_2 (MPa)	2.50
	V_m/V_w	0.15
	$f_{wc,e}$ (MPa)	3.06
Εσωτερική στρώση	f_0 (MPa)	10.00
	n_i	0.20
	ξ_i	0.80
	$f_{wc,i}$ (MPa)	1.08
Τρίστρωτη λιθοδομή	t_e (m)	0.50
	t_i (m)	0.15
	h_w (m)	5.30
	δ	3.33
	λ_e	0.74
	λ_i	1.00
	ζ_e	800
	$f_{wc,0}$ (MPa)	2.11
	$E_{wc,0}$ (GPa)	1.69

Ίδιο βάρος αργολιθοδομής		
Εξωτερικές στρώσεις	γ_b (kN/m ³)	27.00
	γ_m (kN/m ³)	20.00
	h_b (cm)	15.00
	l_b (cm)	30.00
	t_m (cm)	2.00
	α	4.79
	γ_e (kN/m ³)	25.79
Εσωτερική στρώση	γ_b (kN/m ³)	27.00
	γ_m (kN/m ³)	20.00
	b (%)	10.00
	γ_i (kN/m ³)	26.30
Τρίστρωτη λιθοδομή	$\gamma_{w,0}$ (kN/m ³)	22.82

Μηχανικά χαρακτηριστικά θολοδομίας		
Εξωτερικές στρώσεις	f_{bc} (MPa)	30.00
	f_{mc} (MPa)	0.50
	k_1	0.60
	k_2 (MPa)	0.50
	V_m/V_w	0.15
	ζ_e	800
	$f_{wc,e}$ (MPa)	7.27
	$E_{wc,0}$ (GPa)	5.81

Ίδιο βάρος θολοδομίας		
Εξωτερικές στρώσεις	γ_b (kN/m ³)	27.00
	γ_m (kN/m ³)	20.00
	h_b (cm)	15.00
	l_b (cm)	30.00
	t_m (cm)	2.00
	α	4.79
	γ_e (kN/m ³)	25.79

Μηχανικά χαρακτηριστικά κωδωνοστασίου		
Εξωτερικές στρώσεις	f_{bc} (MPa)	30.00
	f_{mc} (MPa)	0.50
	k_1	0.20
	k_2 (MPa)	0.00
	V_m/V_w	0.15
	ζ_e	800
	$f_{wc,e}$ (MPa)	7.90
	$E_{wc,0}$ (GPa)	6.32

Ίδιο βάρος κωδωνοστασίου		
Εξωτερικές στρώσεις	γ_b (kN/m ³)	27.00
	γ_m (kN/m ³)	20.00
	h_b (cm)	15.00
	l_b (cm)	30.00
	t_m (cm)	2.00
	α	4.79
	γ_e (kN/m ³)	25.79

Ο λόγος Poisson θεωρείται ίσος με $\nu = 0.20$, ενώ η εφελκυστική αντοχή λαμβάνεται ίση με το 10% της θλιπτικής.

3 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ

3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η ανάλυση του φορέα έγινε με το λογισμικό Sofistik. Το δομικό σύστημα προσομοιώθηκε με ραβδωτά και επιφανειακά τρίπλευρα και τετράπλευρα πεπερασμένα στοιχεία κελύφους ισοτρόπου και γραμμικώς ελαστικού υλικού. Οι λιθοδομές, οι θολοδομίες και τα επίπεδα μέλη της στέγασης προσομοιώθηκαν ως επιφανειακά στοιχεία, ενώ οι κίονες και τα θυρώματα ως ραβδωτά στοιχεία. Εφαρμόστηκε η ελαστική δυναμική φασματική μέθοδος και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται παρακάτω σε διαγράμματα.

3.2 ΠΡΟΤΥΠΑ ΚΑΙ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ

Η μελέτη έχει βασισθεί στους ισχύοντες κανονισμούς και πρότυπα, συγκεκριμένα:

1. Ευρωκώδικας 0 «Eurocode - Basis of structural design / Ευρωκώδικας - Βάσεις σχεδιασμού δομημάτων».
2. Ευρωκώδικας 1 «Basis of design and actions on structures / Βάσεις σχεδιασμού και δράσεων στις κατασκευές».
3. Ευρωκώδικας 6 «Design of masonry structures / Σχεδιασμός κατασκευών από φέρουσα τοιχοποιία».
4. Ευρωκώδικας 8 «Design of structures for earthquake resistance / Αντισεισμικός σχεδιασμός των κατασκευών», με τα Εθνικά κείμενα εφαρμογής του.
5. Κανονισμός για αποτίμηση και δομητικές επεμβάσεις τοιχοποιίας (Έκδοση 1-8/9/2014)
6. Ιταλικός Αντισεισμικός Κανονισμός «OPCM 3274 integrata con l'allegato 2 dell'OPCM 3431 del 3/05/05 / Τεχνικές προδιαγραφές για το σχεδιασμό, την εκτέλεση και την επιθεώρηση κατασκευών από τοιχοποιία και την ενίσχυση αυτών».
7. Εθνικές τεχνικές προδιαγραφές (Ε.Τε.Π.).

3.3 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ

Το προσομοίωμα μορφώθηκε με τους παρακάτω τύπους πεπερασμένων στοιχείων, σύμφωνα με την ξενόγλωσση ονομασία τους:

- Στοιχεία shell :**

Επιφανειακά τετράκομβα και τρίκομβα πεπερασμένα στοιχεία κελύφους. Μπορούν να έχουν μεταβλητό πάχος, να εδράζονται ελαστικά, να αποτελούνται από υλικό με μη γραμμικές ιδιότητες και διαφορετικές στρώσεις, να φέρουν προένταση και να έχουν ορθότροπη συμπεριφορά.

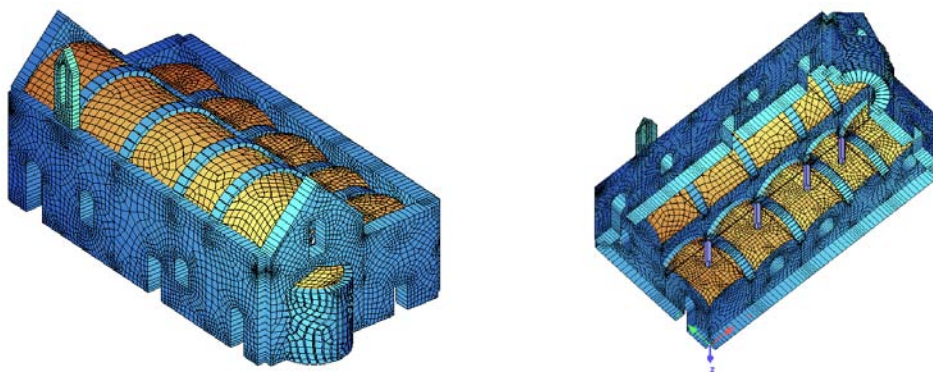
Με τα εν λόγω στοιχεία προσομοιώθηκαν οι κατακόρυφοι τοίχοι, οι θόλοι και οι οροφές (πάχος στοιχείων σημαντικά μικρότερο από τις άλλες διαστάσεις). Συνολικά χρησιμοποιήθηκαν 10973 επιφανειακά στοιχεία με ενδεικτικό μήκος ακμής 0.30m.
- Στοιχεία beam :**

Ραβδωτό στοιχείο μεταβλητής και έκκεντρης διατομής με δυνατότητα προέντασης. Μπορεί να παραλάβει στρέβλωση. Μπορεί να εδράζεται ελαστικά και να αποτελείται από υλικό με μη γραμμικές ιδιότητες.

Με τα εν λόγω στοιχεία προσομοιώθηκαν τα γραμμικά μέλη (ευθύγραμμα ή καμπύλα) από λίθο, λιθοδομή ή δομικό σίδηρο.

Συνολικά χρησιμοποιήθηκαν 225 ραβδωτά στοιχεία.
- Κόμβοι:**

Συνολικά χρησιμοποιήθηκαν 11412 κόμβοι.



Εικ. 3.1: Απόψεις δικτύου πεπερασμένων στοιχείων.

Οι περιμετρικοί τοίχοι και οι κίονες λαμβάνονται ως απλώς εδραζόμενοι στο έδαφος.

3.4 ΥΛΙΚΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ

Για την προσομοίωση του κτηρίου ελήφθησαν τα παρακάτω υλικά, όπως περιγράφονται από τον τίτλο, την αρίθμηση και τις ιδιότητες τους:

Πιν. 3.1: Ιδιότητες υλικών.

Αριθμός υλικού	Ονομασία υλικού	Περιγραφόμενα στοιχεία	Είδος στοιχείων	Μέτρο ελαστικότητας
1	Stone Masonry	Λιθοδομή	Shell, beam	1.7 GPa
2	Arch Masonry	Θολοδομίες	Shell	5.8 GPa
3	Pillar stone	Κίονες	Beam	10.0 GPa
4	Tie iron	Ελκυστήρες	Beam	200 GPa
5	Roof	Οροφή	Shell	1.0 GPa
6	Belfry	Κωδωνοστάσιο	Shell	6.3 GPa

Ο φορέας λαμβάνεται ως απλώς εδραζόμενος στο έδαφος. Κατά ιδιαίτερα δυσμενή θεώρηση, ο ανατολικός και ο δυτικός τοίχος λαμβάνονται ως μη συνδεδεμένοι με τους διαμήκεις βόρειο και νότιο τοίχο. Κινηματικές δεσμεύσεις έχουν δημιουργηθεί στις περιοχές τοποθέτησης των αγκυρίων ώστε να επιτυγχάνεται η ισορροπία των εν λόγω τοίχων και ώστε να διαστασιολογηθούν τα αγκύρια σύνδεσης βάσει των αναπτυσσόμενων υπό σεισμική φόρτιση δυνάμεων στις δεσμεύσεις.

3.5 ΦΟΡΤΙΑ

Για την ανάλυση του δομήματος ελήφθησαν τα κάτωθι φορτία:

- Μόνιμα φορτία (G)

Φορτία από ίδια βάρη υλικών φέροντος οργανισμού

Ίδιο βάρος λιθοδομής	25.00 kN/m ³
Ίδιο βάρος λίθων	27.00 kN/m ³
Ίδιο βάρος σιδήρου / χάλυβα	78.50 kN/m ³
Ίδιο βάρος ελαφρών λιθοσωμάτων	6.00 kN/m ³

Επιφανειακά φορτία

Επικάλυψη θολοδομίας	1.50 kN/m ²
----------------------	------------------------

- Μεταβλητά φορτία - ωφέλιμα (Q)

Επιφανειακά φορτία

Χιόνι	0.40 kN/m ²
-------	------------------------

- Σεισμικά φορτία (E)

Ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας	Z2
--------------------------------	----

Σεισμική επιτάχυνση εδάφους	$\alpha_{gR} = 0.24 \text{ g}$
-----------------------------	--------------------------------

Κατηγορία εδάφους	B: $T_1 = 0.15$, $T_2 = 0.50$
Συντελεστής συμπεριφοράς	$q = 1.50$
Συντελεστής απόσβεσης	$\zeta = 5\%$
Συντελεστής σπουδαιότητας δομήματος	$\gamma_I = 1.00$ (II)
Συντελεστής εδάφους	$S = 1.20$
Συντελεστής κατώτερου ορίου φάσματος	$\beta = 0.2$

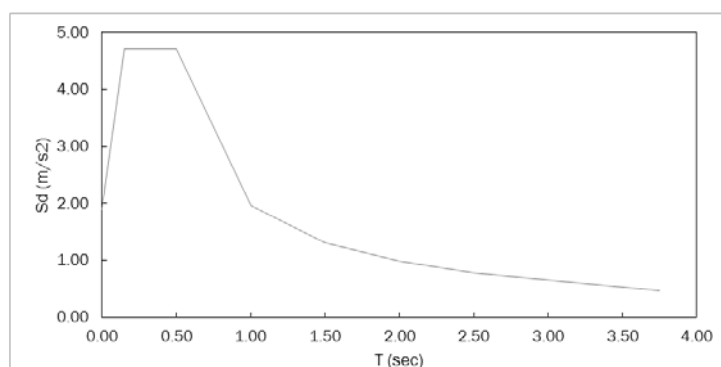
Με βάση το φάσμα σχεδιασμού του EC8, για την οριζόντια συνιστώσα ισχύει:

$$0 < T < T_B : S_d(T) = \gamma_I \cdot \alpha_{gR} \cdot S \cdot [2/3 + T / T_B \cdot (2.5/q - 2/3)]$$

$$T_B < T < T_C : S_d(T) = \gamma_I \cdot \alpha_{gR} \cdot S \cdot 2.5 / q$$

$$T_C < T < T_D : S_d(T) = \gamma_I \cdot \alpha_{gR} \cdot S \cdot 2.5 / q \cdot (T_C / T) \geq \beta \cdot \gamma_I \cdot \alpha_{gR}$$

$$T_D < T : S_d(T) = \gamma_I \cdot \alpha_{gR} \cdot S \cdot 2.5 / q \cdot (T_C \cdot T_D / T^2) \geq \beta \cdot \gamma_I \cdot \alpha_{gR}$$



Εικ. 3.2: Φάσμα σχεδιασμού EC8 για οριζόντια φόρτιση.

3.6 ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ

Οι βασικές φορτίσεις (LC: Load Case) που εφαρμόστηκαν, σε αντιστοιχία με τις προαναφερθείσες τιμές φορτίων, είναι οι κάτωθι:

- Μόνιμα φορτία (G)

LC 10 Ίδιο βάρος μελών

LC 11 Επικαλύψεις οροφής

- Μεταβλητά φορτία (Q)

LC 21 Κινητά φορτία οροφής

- Συνδυασμοί οριακής κατάστασης αστοχίας (ULS : $\Sigma \gamma_{gi} G_{ki} + \gamma_{q1} Q_{k1} + \Sigma \gamma_{qi} \cdot \psi_{0i} Q_{ki}$)

LC 1001: $1.35 \cdot G + 1.50 \cdot Q$

- Συνδυασμοί σεισμού ($\Sigma G_{ki} + \Sigma \psi_{2i} Q_{ki} + E_i$)

Με τη δυναμική φασματική μέθοδο:

LC 3001:	1.00·G	+ 0.30·Q	+ 1.00·E _x	+ 0.30·E _y	+ 0.30·E _z	(Κυρίως σεισμός κατά +X)
LC 3002:	1.00·G	+ 0.30·Q	+ 1.00·E _x	- 0.30·E _y	+ 0.30·E _z	(Κυρίως σεισμός κατά +X)
LC 3003:	1.00·G	+ 0.30·Q	- 1.00·E _x	+ 0.30·E _y	+ 0.30·E _z	(Κυρίως σεισμός κατά -X)
LC 3004:	1.00·G	+ 0.30·Q	- 1.00·E _x	- 0.30·E _y	+ 0.30·E _z	(Κυρίως σεισμός κατά -X)
LC 3005:	1.00·G	+ 0.30·Q	+ 0.30·E _x	+ 1.00·E _y	+ 0.30·E _z	(Κυρίως σεισμός κατά +Y)
LC 3006:	1.00·G	+ 0.30·Q	+ 0.30·E _x	- 1.00·E _y	+ 0.30·E _z	(Κυρίως σεισμός κατά -Y)
LC 3007:	1.00·G	+ 0.30·Q	- 0.30·E _x	+ 1.00·E _y	+ 0.30·E _z	(Κυρίως σεισμός κατά +Y)
LC 3008:	1.00·G	+ 0.30·Q	- 0.30·E _x	- 1.00·E _y	+ 0.30·E _z	(Κυρίως σεισμός κατά -Y)

4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΙ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ

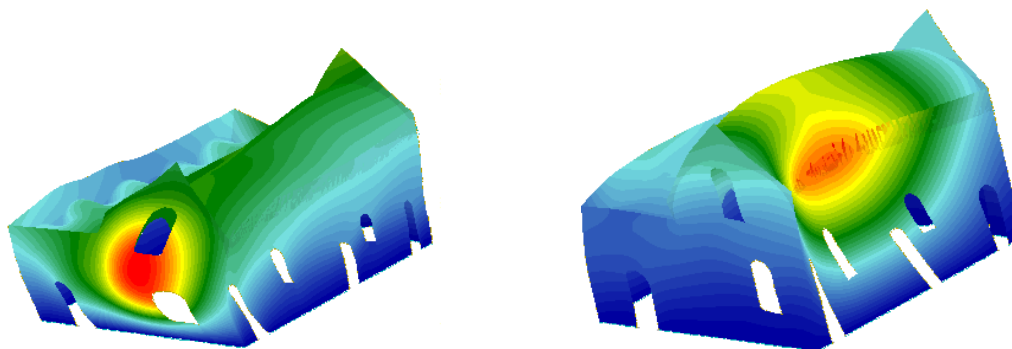
4.1 ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Οι προκύπτουσες από την ανάλυση του φορέα ιδιομορφές παρουσιάζονται στον κάτωθι πίνακα, όπου διακρίνονται οι συχνότητες, οι περίοδοι και το ποσοστό συμμετοχής στις δύο κύριες διευθύνσεις των δέκα κυριότερων ιδιομορφών.

Πιν. 4.1: Αποτελέσματα ιδιομορφικής ανάλυσης.

Ιδιομορφή	Συχνότητα (Hz)	Περίοδος (sec)	Ποσοστό συμμετοχής X (%)	Ποσοστό συμμετοχής Y (%)
6	10.271	0.097	70.80	0.10
33	25.261	0.040	4.10	0.00
12	15.951	0.063	1.70	0.00
13	16.223	0.062	1.20	1.70
4	9.538	0.105	1.10	0.00
1	4.936	0.203	0.00	62.00
2	7.222	0.138	0.00	7.20
3	7.689	0.130	0.10	4.00
8	13.564	0.074	0.70	3.30
18	19.868	0.050	0.00	1.70

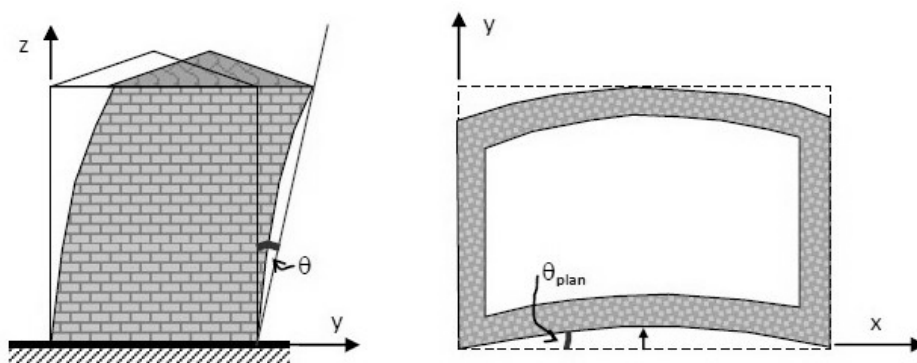
Στις ακόλουθες εικόνες διακρίνονται οι δεσπόζουσες μεταφορικές ιδιομορφές κατά τις δύο κύριες διευθύνσεις της κατασκευής.



Εικ. 4.1: Δεσπόζουσες μεταφορικές ιδιομορφές κατά Χ (6^η ιδιομορφή) και κατά Υ (1^η ιδιομορφή).

4.2 ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑΣ

Ο έλεγχος της παραμόρφωσης της τοιχοποιίας πραγματοποιείται βάσει της απαίτησης μη υπέρβασης ενός ορίου του λόγου της μετατόπισης της ανώτατης στάθμης προς το ύψος αυτής της στάθμης από το έδαφος, όσο και προς το μήκος της κάτοψης του κτηρίου στη διεύθυνση της μετατόπισης. Η σχηματική απεικόνιση των σχετικών παραμορφώσεων δίνεται στην Εικ. 4.2.



Εικ. 4.2: Σχετικές παραμορφώσεις καθ' ύψος και σε κάτοψη.

Ο ακόλουθος πίνακας παρουσιάζει τα αποτελέσματα του ελέγχου παραμορφώσεων των εξωτερικών τοίχων. Ως τοπική διεύθυνση Χ έχει ληφθεί η διεύθυνση στο επίπεδο του τοίχου, η οποία χρησιμοποιείται για τον έλεγχο καθ' ύψος, ενώ ως τοπική διεύθυνση Υ έχει ληφθεί η διεύθυνση κάθετη στο επίπεδο του τοίχου, οπότε και χρησιμοποιείται για τον έλεγχο σε κάτοψη.

Πιν. 4.2: Αποτελέσματα ελέγχου παραμορφώσεων τοιχοποιίας: λόγοι σχετικών μετακινήσεων καθ' ύψος και σε κάτοψη.

ΤΟΙΧΟΣ	LC	Dx (mm)	Dy (mm)	H (m)	L (m)	θ height (%)	θ plan (%)
Ανατολικός	3001/3008	3.85	1.3	9.2	18.3	0.014	✓ 0.021
Δυτικός		4.56	1.8	9.2	18.3	0.020	✓ 0.025
Βόρειος		0.862	4.6	9.2	9.7	0.050	✓ 0.009
Νότιος		1.2	11.0	9.2	9.7	0.120	✓ 0.012

Ο έλεγχος ικανοποιείται για όλους τους περιμετρικούς τοίχους.

4.3 ΕΛΕΓΧΟΙ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑΣ ΣΕ ΘΛΙΨΗ

Το μέσο μέγεθος θλιπτικών δυνάμεων στις εξεταζόμενες διατομές ελέγχεται έναντι της αντίστοιχης φέρουσας ικανότητας.

Η θέση και οι διαστάσεις των διατομών επιλέγονται από το μελετητή ανάλογα με την κρισιμότητα τους.

$$\bar{N}_{sdc} \nlessgtr N_{Rwc} = f_{wc} \cdot A_{crit}$$

$\bar{N}_{sdc}$: μέση θλιπτική δύναμη σχεδιασμού στη διατομή

N_{Rwc} : φέρουσα ικανότητα της διατομής έναντι θλίψεως

A_{crit} : επιφάνεια της διατομής

f_{wc} : θλιπτική αντοχή της διατομής

Οι τιμές της $\bar{N}_{sdc}$ αντιστοιχούν στην περιγραφόμενη περιοχή, αριθμό στοιχείου και φόρτισης, και εμφανίζονται στα διαγράμματα του τεύχους αποτελεσμάτων υπό τον τίτλο “Membrane force n_{yy} in local y from middle of element”.

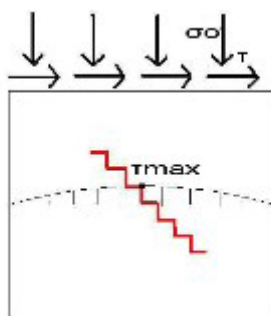
Οι έλεγχοι φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί. Ικανοποιούνται για όλους τους τοίχους.

Πιν. 4.3: Αποτελέσματα ελέγχου τοιχοποιίας έναντι θλίψης.

Περιοχή ελέγχου	LC	$N_{sd,c}$ (kN/m)	l_{crit} (m)	t_{crit} (m)	A_{crit} (m ²)	f_{wc} (MPa)	$N_{Rw,c}$ (kN/m)	
Βόρειος Τοίχος	1001	401.0	1.00	0.90	0.90	2.10	1575.0	✓
Νότιος Τοίχος	1001	260.0	1.00	0.90	0.90	2.10	1575.0	✓
Ανατολικός Τοίχος	1001	370.0	1.00	0.85	0.85	2.10	1487.5	✓
Δυτικός Τοίχος	1001	301.0	1.00	0.70	0.70	2.10	1225.0	✓

4.4 ΕΛΕΓΧΟΙ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑΣ ΣΕ ΔΙΑΤΜΗΣΗ

Κατόπιν εντοπισμού των περιοχών όπου αναπτύσσονται υψηλά επίπεδα διατμητικών τάσεων υπό σεισμική φόρτιση, υπολογίζεται η δρώσα διατμητική δύναμη και η αντοχή των κατακόρυφων τοιχοδομών υπό τα δεδομένα κατακόρυφα φορτία.



Εικ. 4.3: Διατμητική αστοχία τοιχοδομής.

Η διατμητική αντοχή σε όρους δύναμης ανά μέτρο υπολογίζεται κατά την εξίσωση:

$$\bar{V}_{sd} \geq V_{Rw} = f_{wv} \cdot A_{crit} = (c + \mu \cdot \sigma_{wc}) \cdot A_{crit}$$

- V_{sd} : μέση τέμνουσα δύναμη σχεδιασμού στη διατομή
 V_{Rw} : φέρουσα ικανότητα της διατομής έναντι διατμήσεως
 A_{crit} : επιφάνεια της διατομής
 f_{wv} : διατμητική αντοχή της διατομής
 c : συνοχή τοιχοποιίας
 μ : συντελεστής τριβής τοιχοποιίας
 σ_{wc} : ορθή θλιπτική τάση στη διατομή

Η συνοχή των τοιχοδομών λαμβάνεται ίση με 0.20 N/mm², ενώ ο συντελεστής τριβής λαμβάνεται ίσος με 0.40. Ο έλεγχος πραγματοποιείται σε επιλεγμένες κατά ύψος τομές λαμβάνοντας τη δυσμενέστερη διατομή και περίπτωση φόρτισης ανά μέλος.

Τα αποτελέσματα των ελέγχων των τοιχοδομών του ισογείου παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα. Ο έλεγχος ικανοποιείται σε όλες τις ελεγμένες θέσεις.

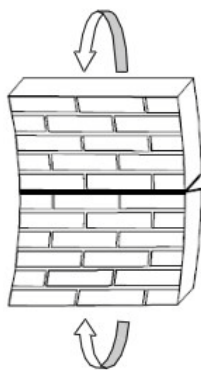
Πιν. 4.4: Αποτελέσματα ελέγχων τοίχων σε διάτμηση.

Περιοχή ελέγχου	LC	V_{sd} (kN/m)	I_{crit} (m)	t_{crit} (m)	A_{crit} (m ²)	σ_{wc} (MPa)	f_{wv} (MPa)	V_{Rw} (kN/m)	
Βόρειος τοίχος	3004	91.0	1.00	0.90	0.90	0.41	0.36	271.7	✓
Νότιος τοίχος	3004	112.0	1.00	0.90	0.90	0.30	0.32	239.3	✓
Δυτικός τοίχος	3008	177.0	1.00	0.85	0.85	0.26	0.30	215.0	✓
Ανατολικός Τοίχος	3008	190.0	1.00	0.70	0.70	0.49	0.40	231.7	✓

4.5 ΕΛΕΓΧΟΙ ΤΟΙΧΩΝ ΣΕ ΚΑΜΨΗ ΠΕΡΙ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ ΑΞΟΝΑ

Το μέσο μέγεθος ροπών κάμψεως περί οριζόντιο άξονα στις εξεταζόμενες διατομές ελέγχεται έναντι της αντίστοιχης φέρουσας ικανότητας.

Η θέση και οι διαστάσεις των διατομών επιλέγονται από το μελετητή ανάλογα με την κρισιμότητα τους.



Εικ. 4.4: Κάμψη τοίχου περί οριζόντιο άξονα.

Ο έλεγχος πραγματοποιείται βάσει της σχέσης:

$$\overline{M}_{sd,xx} \nless M_{Rw,xx} = \max \left(\frac{\sigma_{wc} \cdot l_{crit} \cdot t_{crit}^2}{2} \cdot \left(1 - \frac{\sigma_{wc}}{f_{wc}} \right); W_{crit} (f_{wt} + \sigma_{wc}) \right)$$

$\overline{M}_{sd,xx}$: μέση ροπή κάμψεως περί οριζόντιο άξονα στη διατομή

$M_{Rw,xx}$: φέρουσα ικανότητα της διατομής έναντι κάμψεως περί οριζόντιο άξονα

W_{crit} : ροπή αντιστάσεως της διατομής

f_{wt} : εφελκυστική αντοχή της τοιχοποιίας $\approx 0.10 \cdot f_{wc}$

σ_{wc} : ορθή θλιπτική τάση στη διατομή ($< 0,2 f_{wc}$)

l_{crit} : μήκος της διατομής

t_{crit} : πάχος της διατομής

f_{wc} : θλιπτική αντοχή της διατομής

Από τις δύο παραπάνω εκφράσεις της αντοχής της τοιχοποιίας σε κάμψη η πρώτη έχει εφαρμογή για υψηλές τιμές της ασκούμενης θλίψης και η δεύτερη για χαμηλότερες τιμές.

Οι τιμές της $\overline{M}_{sd,xx}$ αντιστοιχούν στην περιγραφόμενη περιοχή, αριθμό στοιχείου και φόρτισης, και εμφανίζονται στα διαγράμματα του τεύχους αποτελεσμάτων υπό τον τίτλο “Bending moment m_{yy} in local y from middle of element”.

Οι έλεγχοι φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί. Ικανοποιούνται σε όλες τις ελεγχμένες θέσεις.

Πιν. 4.5: Έλεγχος έναντι εκτός επιπέδου κάμψης περί οριζόντιο άξονα.

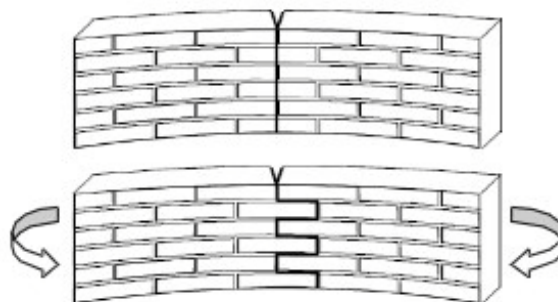
Περιοχή ελέγχου	LC	$M_{sd,xx}$ (kNm/m)	l_{crit} (m)	t_{crit} (m)	W_{crit} (m ³)	σ_{wc} (MPa)	f_{wt} (MPa)	f_{wc} (MPa)	$M_{Rw,xx}$ (kNm/m)	
Βόρειος τοίχος	3008	19.0	1.00	0.90	0.14	0.02	0.21	2.10	25.50	✓
Νότιος τοίχος	3008	41.0	1.00	0.90	0.14	0.28	0.21	2.10	81.07	✓

Δυτικός τοίχος	3005	18.6	1.00	0.85	0.12	0.06	0.21	2.10	26.86	✓
Ανατολικός Τοίχος	3004	16.9	1.00	0.70	0.08	0.26	0.21	2.10	46.51	✓

4.6 ΕΛΕΓΧΟΙ ΤΟΙΧΩΝ ΣΕ ΚΑΜΨΗ ΠΕΡΙ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟ ΑΞΟΝΑ

Το μέσο μέγεθος ροπών κάμψεως περί κατακόρυφο άξονα στις εξεταζόμενες διατομές ελέγχεται έναντι της αντίστοιχης φέρουσας ικανότητας.

Η τελευταία υπολογίζεται βάσει της τεχνικής θεωρίας κάμψεως, λαμβάνοντας υπόψιν και την εφελκυστική αντοχή της διατομής.



Εικ. 4.5: Κάμψη τοίχου περί κατακόρυφο άξονα.

$$\overline{M}_{sd,yy} \nless M_{Rw,yy} = W_{crit} \cdot f_{wt}$$

$\overline{M}_{sd,yy}$: μέση ροπή κάμψεως περί κατακόρυφο άξονα στη διατομή

$M_{Rw,yy}$: φέρουσα ικανότητα της διατομής έναντι κάμψεως περί κατακόρυφο άξονα

W_{crit} : ροπή αντιστάσεως της διατομής

f_{wt} : εφελκυστική αντοχή της τοιχοποιίας $\approx 0.10 \cdot f_{gr,t}$

Οι τιμές της $\overline{M}_{sd,yy}$ αντιστοιχούν στην περιγραφόμενη περιοχή, αριθμό στοιχείου και φόρτισης, και εμφανίζονται στα διαγράμματα του τεύχους αποτελεσμάτων υπό τον τίτλο “Bending moment m_{xx} in local x from middle of element”.

Οι έλεγχοι φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Πιν. 4.6: Έλεγχος έναντι εκτός επιπέδου κάμψης περί κατακόρυφο άξονα.

Περιοχή ελέγχου	LC	$M_{sd,yy}$ (kNm/m)	I_{crit} (m)	t_{crit} (m)	W_{crit} (m ³)	f_{wt} (MPa)	$M_{Rw,yy}$ (kNm/m)	
Βόρειος τοίχος	3005	19.5	1.00	0.90	0.14	0.21	28.4	✓
Νότιος τοίχος	3008	31.2	1.00	0.90	0.14	0.21	28.4	×
Δυτικός τοίχος	3004	11.8	1.00	0.85	0.12	0.21	25.3	✓
Ανατολικός Τοίχος	3004	9.6	1.00	0.70	0.08	0.21	17.2	✓

Μικρή υπέρβαση (9%) εμφανίζεται στο νότιο τοίχο ενώ ο έλεγχος ικανοποιείται σε όλες τις υπόλοιπες ελεγχθείσες θέσεις.

4.7 ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΙΟΝΩΝ ΣΕ ΕΚΚΕΝΤΡΗ ΘΛΙΨΗ

Οι κίονες κυκλικής διατομής ελέγχονται έναντι θλίψης στην απομειωμένη λόγω κάμψης διατομή τους. Ο έλεγχος πραγματοποιείται βάσει της μέγιστης θλιπτικής τάσης που αναπτύσσεται λόγω της έκκεντρης θλίψης. Η μέγιστη τάση σ_{max} υπολογίζεται από τη σχέση:

$$e \leq R/4 \rightarrow \sigma_{max} = \frac{N_{sd}}{A} \left(1 + 4 \frac{e}{R} \right)$$

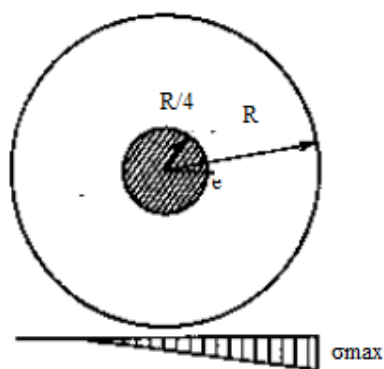
$$e > R/4 \rightarrow \sigma_{max} = k \frac{N_{sd}}{A}$$

e η εκκεντρότητα λόγω ροπών κάμψης της αξονικής θλιπτικής δύναμης

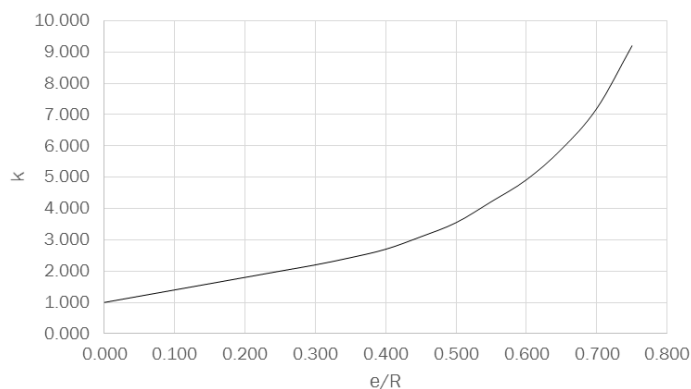
R η ακτίνα της διατομής

A το εμβαδόν της πλήρους διατομής

Ο συντελεστής k υπολογίζεται συναρτήσει του λόγου της εκκεντρότητας προς την ακτίνα κατά το διάγραμμα της Εικ. 4.6.



(α)



(β)

Εικ. 4.6: Υπολογισμός μέγιστης τάσης σε κυκλική διατομή κίονα: (α) σχηματική επεξήγηση και (β) διάγραμμα υπολογισμού.

Πιν. 4.7: Έλεγχος κίωνων έναντι έκκεντρης θλίψης.

Μέλος	LC	N_{sd} (kN)	$M_{sd,x}$ (kNm)	$M_{sd,y}$ (kNm)	R (m)	e (m)	σ_{max} (MPa)	f_{wc} (MPa)	
K1	1001	374.0	14.7	0.93	0.225	0.039	4.000	10.00	✓
K2	1001	454.0	15.5	0.32	0.225	0.034	4.590	10.00	✓
K3	1001	481.0	17.3	0.36	0.225	0.036	4.961	10.00	✓
K4	1001	424.0	15.6	2.40	0.225	0.037	4.432	10.00	✓

Ο έλεγχος ικανοποιείται για όλες τις ελεγχθείσες θέσεις.

4.8 ΕΛΕΓΧΟΙ ΜΗΧΑΝΙΣΜΩΝ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗΣ

Ως μηχανισμοί νοούνται δομικά υποσύνολα τα οποία είναι δυνατόν να σχηματιστούν υπό σεισμικές καταπονήσεις και τα οποία κινδυνεύουν έναντι ανατροπής εκτός επιπέδου (κατάρρευσης). Οι σχετικοί έλεγχοι πραγματοποιούνται συγκρίνοντας την απαίτηση μετακίνησης βάσει μιας καμπύλης απαίτησης και τη μέγιστη επιτρεπτή μετατόπιση πριν την ανατροπή του ελεγχόμενου υποσυνόλου της κατασκευής.

Η διαδικασία συνίσταται στον προσδιορισμό μιας πιθανής μορφής ανατροπής των τοίχων, οι οποίοι προσεγγίζονται ως άκαμπτα σώματα, τον προσδιορισμό των φορτίων που δρουν στο σύστημα και την εφαρμογή της αρχής των δυνατών έργων στην κινηματική αλυσίδα. Εξισώνοντας το έργο των εξωτερικών και των εσωτερικών δυνάμεων εξάγεται η σχέση:

$$a_0 \left(\sum_{i=1}^n P_i \delta_{x,i} \right) - \sum_{i=1}^n P_i \delta_{y,i} - \sum_{h=1}^0 F_h \delta_h = L_{fi}$$

a_0	ο συντελεστής σεισμικής φόρτισης ενεργοποίησης του μηχανισμού κατάρρευσης
n	ο αριθμός των κατακόρυφων φορτίων
o	ο αριθμός των εξωτερικών φορτίων
P_i	τα κατακόρυφα φορτία
$\delta_{x,i}$	οι οριζόντιες δυνατές μετακινήσεις του σημείου εφαρμογής της δύναμης P_i
$\delta_{y,i}$	οι κατακόρυφες δυνατές μετακινήσεις του σημείου εφαρμογής της δύναμης P_i
F_h	οι εξωτερικές δυνάμεις
δ_h	οι δυνατές μετακινήσεις του σημείου εφαρμογής της δύναμης F_h
L_{fi}	το έργο των εσωτερικών δυνάμεων

Η μέγιστη επιτρεπτή μετατόπιση του σημείου αναφοράς εξαρτάται από τη γεωμετρία του τμήματος. Η καμπύλη ικανότητας, η οποία δίδει την ασκούμενη επιτάχυνση α ως συνάρτηση της μετατόπισης d από τη μέγιστη τιμή μέχρι μηδενισμού, είναι:

$$\alpha(d) = a_0(a - d/d_0)$$

d	η μετατόπιση του σημείου αναφοράς
d_0	η μέγιστη επιτρεπτή μετατόπιση

Η μέγιστη επιτρεπτή μετατόπιση υπολογίζεται βάσει του πάχους του υπό έλεγχο τμήματος. Για μετατόπιση ίση με το μισό του πάχους του μέλους, το διάνυσμα του βάρους του μέλους παύει να συνεισφέρει στην ισορροπία καθώς τέμνει τον άξονα περιστροφής. Επιπλέον, ο άξονας περιστροφής λαμβάνεται σε απόσταση t_1 από το άκρο του μέλους. Η απόσταση αυτή είναι συνάρτηση της θλιπτικής αντοχής της τοιχοποιίας και είναι ίση με:

$$t_1 = \frac{2 \sum F_{vi}}{3 f_{wc} l}$$

$\sum F_{vi}$	το άθροισμα των κατακόρυφων φορτίων
f_{wc}	η θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας (= 2,1 MPa εν προκειμένω)
l	το μήκος του μέλους (= 1,00 m εν προκειμένω)

Βάσει αυτής της τροποποίησης η μέγιστη επιτρεπτή μετατόπιση είναι ίση με:

$$d_0 = t/2 - t_1$$

t το πάχος του μέλους

Η συμμετέχουσα στο μηχανισμό μάζα υπολογίζεται από τη σχέση:

$$M^* = \frac{(\sum_{i=1}^n P_i \delta_{x,i})^2}{g \sum_{i=1}^n P_i \delta_{x,1}^2}$$

Η φασματική σεισμική επιτάχυνση ενεργοποίησης του μηχανισμού υπολογίζεται από τη σχέση:

$$a_0^* = \frac{a_0 \sum_{i=1}^n P_i}{M^*}$$

Η φασματική μετατόπιση του ισοδύναμου ταλαντωτή υπολογίζεται από τη σχέση:

$$d^* = d \frac{\sum_{i=1}^n P_i \delta_{x,i}}{\delta_x \sum_{i=1}^n P_i}$$

δ_x η δυνατή μετατόπιση του σημείου αναφοράς

Η τελική καμπύλη ικανότητας υπολογίζεται από τη σχέση:

$$a^* = a_0^* (1 - d^*/d_0^*)$$

Ως μετατόπιση αστοχίας ορίζεται η $d_u = 0.4d_o$. Ως μετατόπιση ελέγχου ορίζεται η $d_s = 0,4d_o$. Από το γραμμικό διάγραμμα ικανότητας προκύπτει η επιτάχυνση ελέγχου $a(d_s)$. Από τη μετατόπιση και επιτάχυνση ελέγχου υπολογίζεται η περίοδος ελέγχου:

$$T_s = 2\pi \sqrt{\frac{d_s}{a_s}}$$

Η περίοδος του κτηρίου T_1 κατά την εν λόγω διεύθυνση υπολογίζεται από την προσεγγιστική σχέση:

$$T_1 = 0.05(H_1)^{3/4}$$

H_1 το ολικό ύψος του κτηρίου

Η απαιτούμενη μετατόπιση υπολογίζεται από τις σχέσεις:

$$T_s < 1.5 T_1 \quad : \quad \Delta(T_s) = a_g S \frac{T_s^2}{4\pi^2} \left(\frac{3(1 + Z/H)}{1 + (1 - T_s/T_1)^2} - 0.5 \right)$$

$$1.5 T_1 < T_s < T_D \quad : \quad \Delta(T_s) = a_g S 1.5 \frac{T_1 T_s}{4\pi^2} \left(1.9 + 2.4 \frac{Z}{H} \right)$$

$$T_D < T_s \quad : \quad \Delta(T_s) = a_g S 1.5 \frac{T_1 T_D}{4\pi^2} \left(1.9 + 2.4 \frac{Z}{H} \right)$$

H η απόσταση της κορυφής του μέλους από τη στάθμη εδάφους

Z η απόσταση του σημείου εφαρμογής του οριζόντιου φορτίου από τη στάθμη εδάφους

Εν προκειμένω, ελέγχονται οι εξής μηχανισμοί:

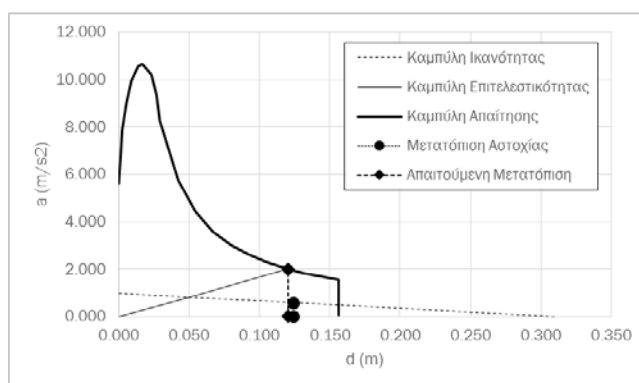
1. Ανατροπή του βόρειου ή του νότιου τοίχου περί της βάσης του.
2. Ανατροπή του δυτικού τοίχου περί της βάσης του.
3. Ανατροπή του αετώματος του δυτικού ή ανατολικού τοίχου περί της βάσης του.

Οι έλεγχοι για τα επιλεγμένα μέλη παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα.

Πιν. 4.8: Αποτελέσματα ελέγχου μηχανισμών κατάρρευσης.

Μηχανισμός	α_o (g)	d_s (m)	d_u (m)	
B/N τοίχος - Βάση	0.141	0.093	0.163	✓
Δ τοίχος - Βάση	0.086	0.120	0.124	✓
A/Δ τοίχος - αέτωμα	0.109	0.116	0.134	✓

Οι μηχανισμοί κατάρρευσης των περιμετρικών τοίχων ικανοποιούνται.



Εικ. 4.7: Σχηματική απεικόνιση υπολογισμού απαιτούμενης και μέγιστης μετατόπισης μηχανισμού κατάρρευσης του δυτικού τοίχου.

4.9 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Από τους υπολογισμούς προκύπτει ικανοποιητική δομική συμπεριφορά του ναού. Οι έλεγχοι εντατικών μεγεθών των μελών και οι έλεγχοι μετατοπίσεων της κατασκευής γενικώς ικανοποιούνται. Τεκμηριώνεται η σημασία των ελκυστήρων οι οποίοι φαίνεται να λειτουργούν με αξιόλογες εντάσεις, κάτι που αν ισχύει δεν έχει πάντως προκαλέσει αστοχίες στην κατασκευή. Μικρή υπέρβαση της αντοχής σε εκτός επιπέδου κάμψη του νότιου τοίχου περί οριζόντιο άξονα επίσης δε συνάδει με την παθολογία του δομήματος και κρίνεται ασήμαντη.

5 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΦΟΡΕΑ ΚΑΙ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Ακολουθούν συνημμένα τα τεύχη υπολογισμών του λογισμικού που χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση του φορέα. Η ονοματολογία των στοιχείων του προσομοιώματος που απαρτίζουν τον φορέα διακρίνεται στον ακόλουθο πίνακα.

Πιν. 5.1: Ονοματολογία μελών προσομοιώματος κατασκευής.

Group	Μέλος
10	Στέγη και οροφή δώματος
11	Νευρώσεις τοιχοποιίας
12	Θολοδομία
13	Κίονες
14	Περιμετρικοί τοίχοι
15	Ελκυστήρες
16	Κωδωνοστάσιο

taxi_1
Materials

Default design code is EuroNorm EN 1992 Concrete with country code 0 (Europe)
Class(Tab.7.1N): N (Reinforced members and prestressed members with unbonded tendons)
Snow load zone : 1

No. 1 STONE MASONRY

Youngs-modulus	E	1700 [MPa]	Safetyfactor		1.00 [-]
Poisson-Ratio	mu	0.20 [-]	calc strength	fy	0.00 [MPa]
Shear-modulus	G	708 [MPa]	ult. strength	ft	0.00 [MPa]
Compression modulus		944 [MPa]			
Weight		25.0 [kN/m3]			
Weight buoyancy		0.0 [kN/m3]			
Temp.elongat.coeff.		1.00E-05 [1/°K]			

No. 2 ARCH MASONRY

Youngs-modulus	E	5800 [MPa]	Safetyfactor		1.00 [-]
Poisson-Ratio	mu	0.20 [-]	calc strength	fy	0.00 [MPa]
Shear-modulus	G	2417 [MPa]	ult. strength	ft	0.00 [MPa]
Compression modulus		3222 [MPa]			
Weight		25.0 [kN/m3]			
Weight buoyancy		0.0 [kN/m3]			
Temp.elongat.coeff.		1.00E-05 [1/°K]			

No. 3 PILLAR STONE

Youngs-modulus	E	10000 [MPa]	Safetyfactor		1.00 [-]
Poisson-Ratio	mu	0.20 [-]	calc strength	fy	0.00 [MPa]
Shear-modulus	G	4167 [MPa]	ult. strength	ft	0.00 [MPa]
Compression modulus		5556 [MPa]			
Weight		27.0 [kN/m3]			
Weight buoyancy		0.0 [kN/m3]			
Temp.elongat.coeff.		1.00E-05 [1/°K]			

No. 4 TIE IRON

Youngs-modulus	E	200000 [MPa]	Safetyfactor		1.00 [-]
Poisson-Ratio	mu	0.20 [-]	calc strength	fy	0.00 [MPa]
Shear-modulus	G	83333 [MPa]	ult. strength	ft	0.00 [MPa]
Compression modulus		111111 [MPa]			
Weight		78.0 [kN/m3]			
Weight buoyancy		0.0 [kN/m3]			
Temp.elongat.coeff.		1.00E-05 [1/°K]			

No. 5 ROOF

Youngs-modulus	E	1000 [MPa]	Safetyfactor		1.00 [-]
Poisson-Ratio	mu	0.20 [-]	calc strength	fy	0.00 [MPa]
Shear-modulus	G	417 [MPa]	ult. strength	ft	0.00 [MPa]
Compression modulus		556 [MPa]			
Weight		5.0 [kN/m3]			
Weight buoyancy		0.0 [kN/m3]			
Temp.elongat.coeff.		1.00E-05 [1/°K]			

No. 6 BELFRY

Youngs-modulus	E	6300 [MPa]	Safetyfactor		1.00 [-]
Poisson-Ratio	mu	0.20 [-]	calc strength	fy	0.00 [MPa]
Shear-modulus	G	2625 [MPa]	ult. strength	ft	0.00 [MPa]
Compression modulus		3500 [MPa]			
Weight		25.0 [kN/m3]			
Weight buoyancy		0.0 [kN/m3]			
Temp.elongat.coeff.		1.00E-05 [1/°K]			

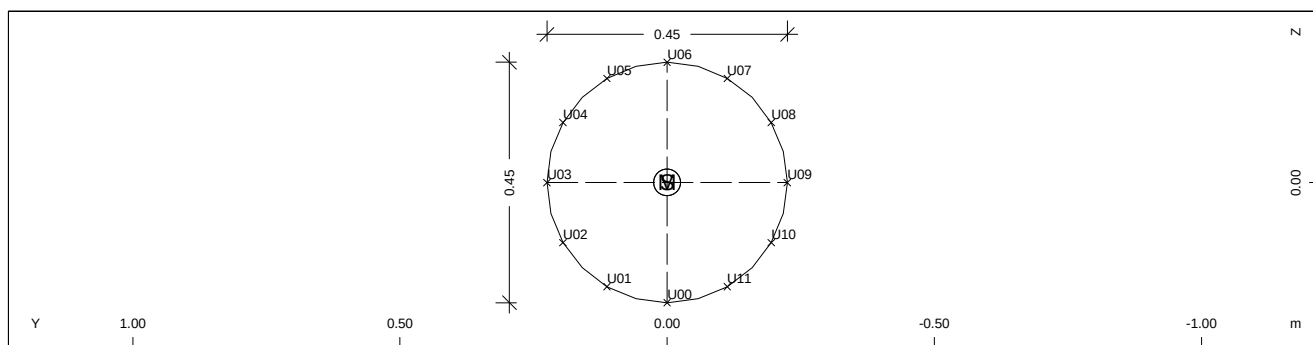
taxi_1
Sections

Default design code is EuroNorm EN 1992 Concrete with country code 0 (Europe)
Class(Tab.7.1N): N (Reinforced members and prestressed members with unbonded tendons)
Snow load zone : 1

Materials

No. 1 STONE MASONRY
No. 2 ARCH MASONRY
No. 3 PILLAR STONE
No. 4 TIE IRON
No. 5 ROOF
No. 6 BELFRY

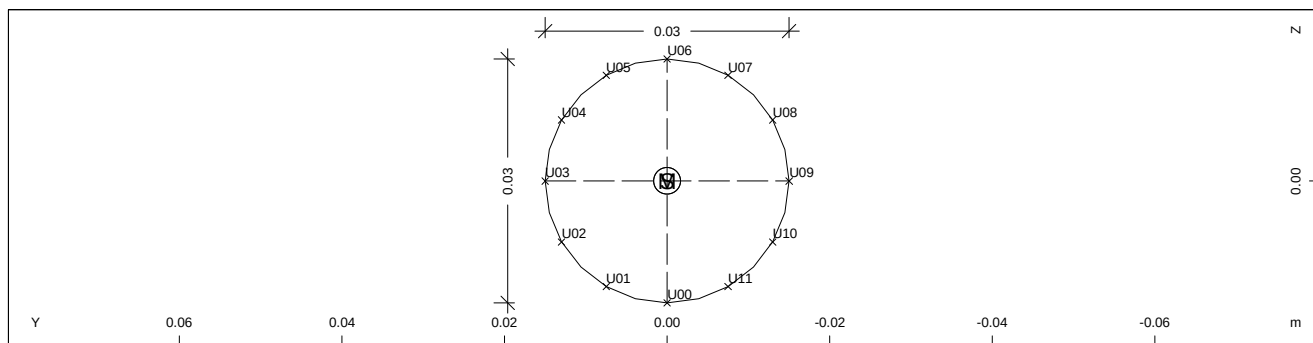
Cross section No. 1 - D 45 cm



Static properties of cross section

No.	Mat	A[m2]	Ay/Az/Ayz	Iy/Iz/Iyz	ys/zs	y/z-sc	modules	gam
	NoR	It[m4]	[m2]	[m4]	[m]	[m]	[MPa]	[kN/m]
1	=	D 45 cm						
(COMP)	=	D 45 cm						
3	1.5904E-01	1.431E-01	2.013E-03	0.000	0.000	10000	4.29	
	4.026E-03	1.431E-01	2.013E-03	0.000	0.000	4167		

Cross section No. 2 - D 3 cm

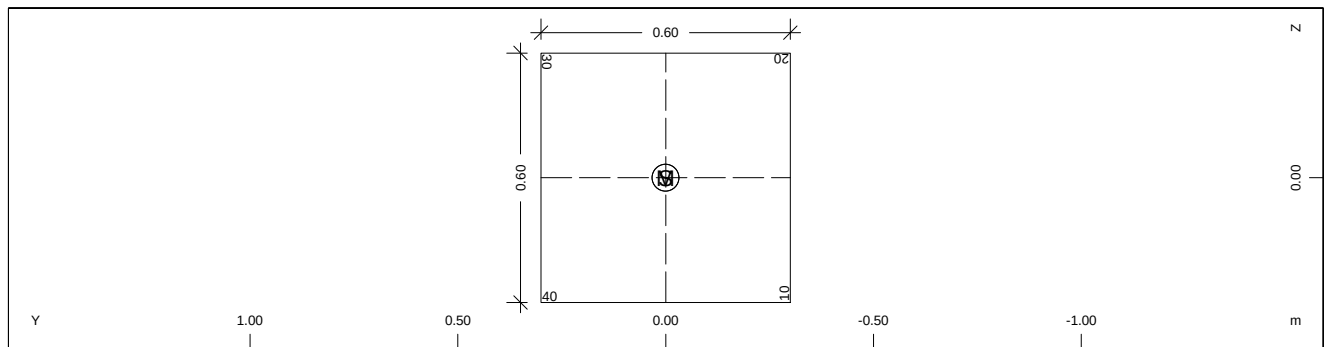


Static properties of cross section

No.	Mat	A[m2]	Ay/Az/Ayz	Iy/Iz/Iyz	ys/zs	y/z-sc	modules	gam
	NoR	It[m4]	[m2]	[m4]	[m]	[m]	[MPa]	[kN/m]
2	=	D 3 cm						
(COMP)	=	D 3 cm						
4	7.0686E-04	6.362E-04	3.976E-08	0.000	0.000	200000	0.06	
	7.952E-08	6.362E-04	3.976E-08	0.000	0.000	83333		

Cross section No. 3 - B/H = 60 / 60 cm

taxi_1
Sections



Static properties of cross section

No.	Mat	A[m2]	Ay/Az/Ayz	Iy/Iz/Iyz	ys/zs	y/z-sc	modules	gam
	NoR	It[m4]	[m2]	[m4]	[m]	[m]	[MPa]	[kN/m]
3	=	B/H = 60 / 60	cm					
(CENT)	1	3.6000E-01		1.080E-02	0.000	0.000	1700	9.00
		1.814E-02		1.080E-02	0.000	0.000	708	

taxi_1

Load Combinations (ULS)

Load Case 10 IDIO BAROS

Factor forces and moments 1.000
Factor dead weight DL-XX 0.000
Factor dead weight DL-YY 0.000
Factor dead weight DL-ZZ 1.000

Load Case 11 MONIMA

Factor forces and moments 1.000
Factor dead weight DL-XX 0.000
Factor dead weight DL-YY 0.000
Factor dead weight DL-ZZ 0.000

Loads acting on QUAD-elements

Elements from to	inc	Load Prim Type LC/CC	Load val.	Dimension	Variation dP/dX dP/dY dP/dZ
120000 129999	1	PG	1.50	[kN/m2]	

Load Case 21 KINHHTA

Factor forces and moments 1.000
Factor dead weight DL-XX 0.000
Factor dead weight DL-YY 0.000
Factor dead weight DL-ZZ 0.000

Loads acting on QUAD-elements

Elements from to	inc	Load Prim Type LC/CC	Load val.	Dimension	Variation dP/dX dP/dY dP/dZ
120000 129999	1	PG	0.40	[kN/m2]	

Load Case 1001 ((D)) 1.35*G+1.50*Q

Factor forces and moments 1.000
Factor dead weight DL-XX 0.000
Factor dead weight DL-YY 0.000
Factor dead weight DL-ZZ 1.350
Loads partially copied from load case 10 with factor 1.350
Loads partially copied from load case 11 with factor 1.350
Loads partially copied from load case 21 with factor 1.500

Loads acting on QUAD-elements

Elements from to	inc	Load Prim Type LC/CC	Load val.	Dimension	Variation dP/dX dP/dY dP/dZ
120000 129999	1	PG	0.60	[kN/m2]	
120000 129999	1	PG	2.03	[kN/m2]	

Load Case 1002 ((D)) 1.00*G+1.00*Q

Factor forces and moments 1.000
Factor dead weight DL-XX 0.000
Factor dead weight DL-YY 0.000
Factor dead weight DL-ZZ 1.000
Loads partially copied from load case 10 with factor 1.000
Loads partially copied from load case 11 with factor 1.000
Loads partially copied from load case 21 with factor 1.000

Loads acting on QUAD-elements

Elements from to	inc	Load Prim Type LC/CC	Load val.	Dimension	Variation dP/dX dP/dY dP/dZ
120000 129999	1	PG	0.40	[kN/m2]	
120000 129999	1	PG	1.50	[kN/m2]	

taxi_1
Solution of basic loadcases

The following nodes have been detected to connect beams with wall elements. The adjacent quad elements will get an internal inplane torsional stiffness to transform the bending moment into pairs of forces on the quad nodes (see CTRL INPL):

19	20	21	22	167	173	627	628	629	630
631	632	633	634	635	636	637	638	639	640
641	642	741	742	743	744	745	746	747	748
749	750	751	752	753	754	755	756	757	758
759	760	761	762	763	764	802	803	804	805
806	807	808	809	810	811	812	813	814	815
816	817	818	819	820	821	822	823	824	825
1293	1294	1295	1296	1297	1298	1299	1300	1301	1302
1303	1304	1305	1306	1307	1308	1309	1310	1311	1312
1313	1314	1315	1316	1317	1318	1319	1320	1321	1322
1323	1324	1325	1326	1327	1328	1557	1558	1559	1560
1561	1562	1563	1564	1565	1566	1567	1568	1569	1570
1571	1572	1573	1574	1575	1576	4917	4920	4959	5005
5011	5041	5068	5084	5112	5137	5162	5183	5296	5338
5340	5343	5352	5355	5357	5361	6572	6580	6590	6598
6601	6605	6610	6615	6617	6621	6626	6629	6633	6637
6642	6644	6648	6659	6662	8740	8753	8757	8812	8815
8817	8821	8840	8846	8879	8889	8892	8914	8919	8931
8937	8958	8962	8969	8984	8994	9022	9030	9039	9052
9055	9061	9068	9100	9115	9131	9134	9137	9139	9141
9151	9157	9171	9175	9182	9195	9208	9234	9237	9254
9274	9280	9284	9291	9325	9336	9340	9362	9403	9406
9408	11192	11216	11222	11225	11229	11237	11248	11267	11308
11328	11348	11366	11374	11400	11427	11446	11450	11453	11455
11483	11499	11504	11508	11525	11548	11551	11555	11568	11575
11599	11602	11625	11638	11650	11659	11662	11692	11694	11702

Load Case 10 IDIO BAROS

Factor forces and moments 1.000
Factor dead weight DL-ZZ 1.000

Load Case 11 MONIMA

Factor forces and moments 1.000

Load Case 21 KINHHTA

Factor forces and moments 1.000

Load Case 1001 ((D)) 1.35*G+1.50*Q

Factor forces and moments 1.000
Factor dead weight DL-ZZ 1.350
Loads partially copied from load case 10 with factor 1.350
Loads partially copied from load case 11 with factor 1.350
Loads partially copied from load case 21 with factor 1.500

Load Case 1002 ((D)) 1.00*G+1.00*Q

Factor forces and moments 1.000
Factor dead weight DL-ZZ 1.000
Loads partially copied from load case 10 with factor 1.000
Loads partially copied from load case 11 with factor 1.000
Loads partially copied from load case 21 with factor 1.000

Sum of Loads

LC Title	PXX[kN]	PYY[kN]	PZZ[kN]
10 IDIO BAROS	0.0	0.0	8662.7
11 MONIMA	0.0	0.0	347.8
21 KINHHTA	0.0	0.0	92.8
1001 1.35*G+1.50*Q	0.0	0.0	12303.3
1002 1.00*G+1.00*Q	0.0	0.0	9103.3

Sum of Reactions and Loads

LC Title	PXX[kN]	PYY[kN]	PZZ[kN]
10 IDIO BAROS	0.0	0.0	-8662.7
	0.0	0.0	8662.7
11 MONIMA	0.0	0.0	-347.8
	0.0	0.0	347.8
21 KINHHTA	0.0	0.0	-92.8
	0.0	0.0	92.8
1001 1.35*G+1.50*Q	0.0	0.0	-12303.3
	0.0	0.0	12303.3
1002 1.00*G+1.00*Q	0.0	0.0	-9103.3
	0.0	0.0	9103.3

taxi_1

Summary of all beam elements

Groups Grp	TotLength [m]	Max.Length [m]	TotWeight [t]
11	53.022	0.411	47.720
13	9.200	2.300	3.951
15	57.200	5.400	0.315
Sum	119.422		51.986

Summary of all planar elements

Groups Grp	TotArea [m2]	TotVolume [m3]	TotWeight [t]	Material No.
12	231.8897	46.378	115.945	2
14	337.0138	277.675	694.187	1
16	3.6888	1.660	4.150	6
Sum	572.5922	325.713	814.282	

taxi_1

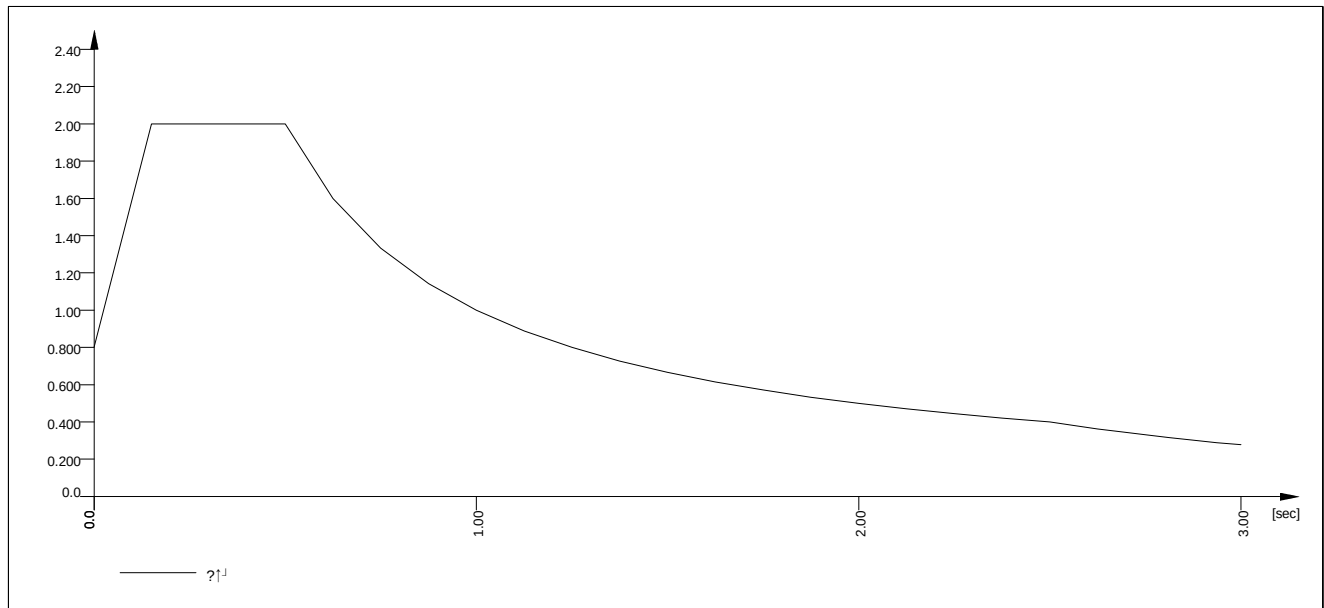
EC8 ACCELERATION SPECTRUM (agR=0.24*g, q=1.50, gammaI=1.0)

Load Case 9990 X ACCELERATION SPECTRUM

Factor forces and moments 1.000
Factor dead weight DL-XX 0.000
Factor dead weight DL-YY 0.000
Factor dead weight DL-ZZ 0.000

Response spectra EC 8 Type 1, Soil Class B

D[-]	SA[-]	SB[-]	MIN[-]	TB[sec]	TC[sec]	TD[sec]	TE[sec]	K1[-]	K2[-]	A[m/sec2]
1.5000	0.804	2.000	0.200	0.150	0.500	2.500	0.000	1.000	2.000	2.40
Zone = Z2				ah =*	1.000	av =*	0.000			



Loads acting on Nodes

Node	A-X [m/sec2]	A-Y [m/sec2]	A-Z [m/sec2]	A-RX [1/sec2]	A-RY [1/sec2]	A-RZ [1/sec2]
0	2.40					

Load Case 9991 Y ACCELERATION SPECTRUM

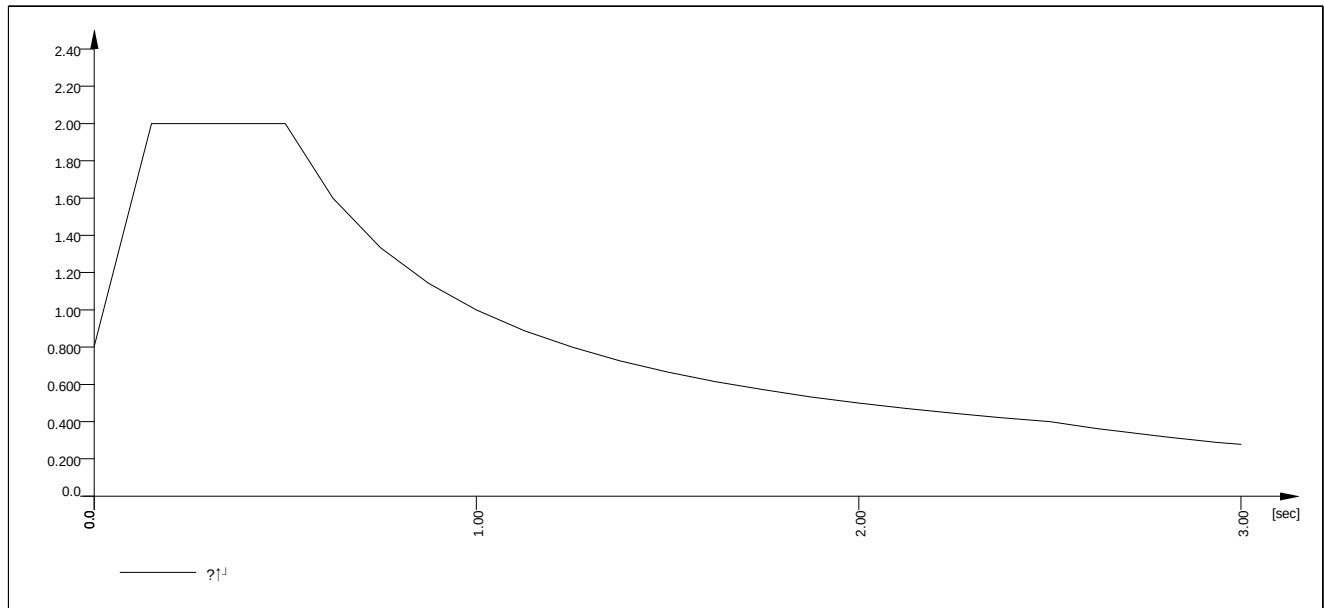
Factor forces and moments 1.000
Factor dead weight DL-XX 0.000
Factor dead weight DL-YY 0.000
Factor dead weight DL-ZZ 0.000

Response spectra EC 8 Type 1, Soil Class B

D[-]	SA[-]	SB[-]	MIN[-]	TB[sec]	TC[sec]	TD[sec]	TE[sec]	K1[-]	K2[-]	A[m/sec2]
1.5000	0.804	2.000	0.200	0.150	0.500	2.500	0.000	1.000	2.000	2.40
Zone = Z2				ah =*	1.000	av =*	0.000			

taxi_1

EC8 ACCELERATION SPECTRUM (agR=0.24*g, q=1.50, gammaI=1.0)



Loads acting on Nodes

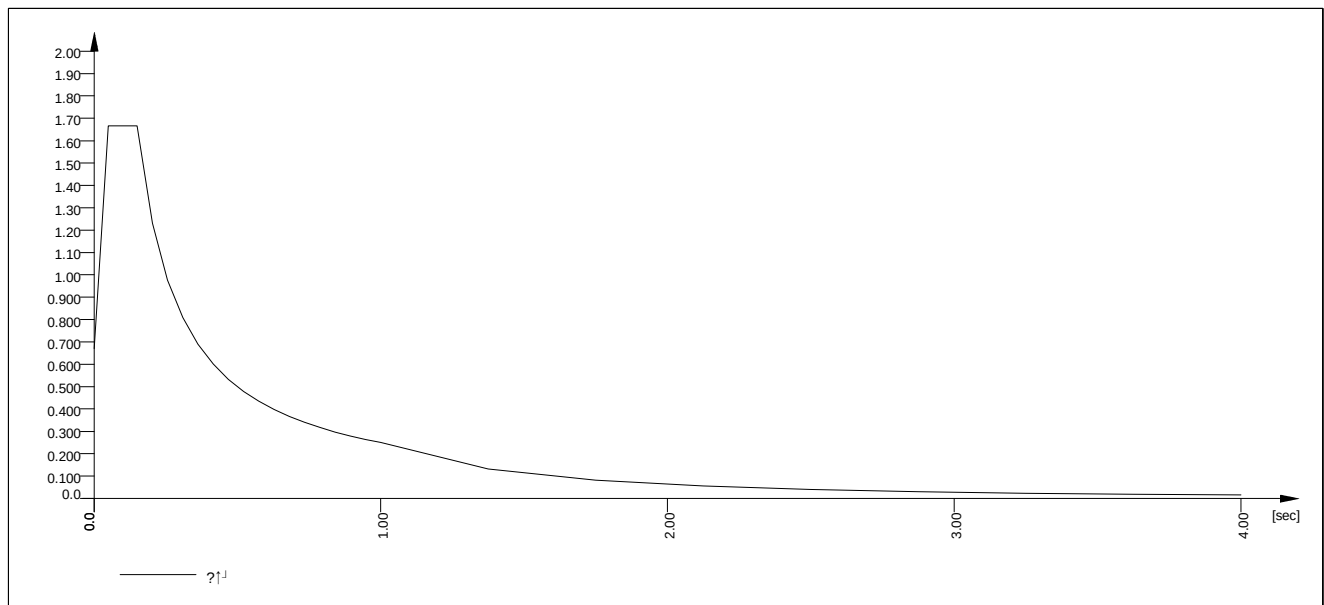
Node	A-X [m/sec²]	A-Y [m/sec²]	A-Z [m/sec²]	A-RX [1/sec²]	A-RY [1/sec²]	A-RZ [1/sec²]
0		2.40				

Load Case 9994 Z ACCELERATION SPECTRUM

Factor forces and moments	1.000
Factor dead weight DL-XX	0.000
Factor dead weight DL-YY	0.000
Factor dead weight DL-ZZ	0.000

Response spectra EC 8 Type 1, Soil Class B

D[-]	SA[-]	SB[-]	MIN[-]	TB[sec]	TC[sec]	TD[sec]	TE[sec]	K1[-]	K2[-]	A[m/sec²]
1.5000	0.670	1.667	0.000	0.050	0.150	1.000	4.000	1.000	2.000	2.40
	Zone = Z2			ah =*	0.000	av =*	0.900			



Loads acting on Nodes

Node	A-X [m/sec²]	A-Y [m/sec²]	A-Z [m/sec²]	A-RX [1/sec²]	A-RY [1/sec²]	A-RZ [1/sec²]
0			2.16			

taxi_1

ΑΔΙΑΙΕΕÇ ΑΙΑΕΟΟÇ - ΑΩΝΑΟÇ ΕΑΕΙΙΙΝΟΥΙ (50)

Controll Information

Number of unknowns 66729
unknowns per node 6
Number eigenvalues 50

Beam Elements

Finite beam elements without intermediate sections
Shear deformations accounted for with nonconforming SOFiSTiK-Timoshenko beam

Sum of masses and mass moments of inertia

Node	TMX [t]	TMZ [t]	TMZ [t]	RMX [tm2]	RMZ [tm2]	RMZ [tm2]	RMB [tm2]
total	903.834	910.327	910.327	6.805E-05	6.805E-05	6.805E-09	
on S =	[m]	[m]	[m]	1.658E+04	4.437E+02	4.800E+02	
	9.643	5.170	-3.607	4.437E+02	4.207E+04	-1.296E+03	
				4.800E+02	-1.296E+03	5.165E+04	
activ	888.219	894.711	894.711	6.805E-05	6.805E-05	6.805E-09	
on S =	[m]	[m]	[m]	1.611E+04	4.223E+02	4.903E+02	
	9.646	5.188	-3.670	4.223E+02	4.121E+04	-1.239E+03	
				4.903E+02	-1.239E+03	5.073E+04	

Parameter of System of Equations

Number of unknowns 66729 (Direct sparse Gauss-Solver)
Total entries 1452802
Total entries after fill in 10335897
Mass matrix 199269 (consistent)

Eigenfrequencies

Using Lanczos Method

Iterationsvectors

No.	LC	Eigenvalue [1/sec2]	relative Error	omega [1/sec]	frequency [Hertz]	period [sec]	Damping
1	801	9.6191E+02	6.48E-20	31.015	4.936	0.203	0.05000
2	802	2.0589E+03	1.45E-18	45.376	7.222	0.138	0.05000
3	803	2.3342E+03	7.94E-19	48.314	7.689	0.130	0.05000
4	804	3.5914E+03	5.83E-19	59.928	9.538	0.105	0.05000
5	805	3.9835E+03	8.19E-19	63.115	10.045	0.100	0.05000
6	806	4.1651E+03	4.13E-18	64.537	10.271	0.097	0.05000
7	807	5.9173E+03	4.32E-18	76.924	12.243	0.082	0.05000
8	808	7.2638E+03	4.96E-18	85.228	13.564	0.074	0.05000
9	809	7.9774E+03	3.91E-18	89.316	14.215	0.070	0.05000
10	810	8.7886E+03	2.93E-18	93.748	14.920	0.067	0.05000
11	811	9.8006E+03	8.23E-18	98.998	15.756	0.063	0.05000
12	812	1.0045E+04	8.65E-18	100.226	15.951	0.063	0.05000
13	813	1.0390E+04	6.87E-18	101.930	16.223	0.062	0.05000
14	814	1.1874E+04	6.58E-18	108.967	17.343	0.058	0.05000
15	815	1.2232E+04	1.41E-17	110.597	17.602	0.057	0.05000
16	816	1.2998E+04	2.54E-20	114.010	18.145	0.055	0.05000
17	817	1.4155E+04	1.26E-17	118.974	18.935	0.053	0.05000
18	818	1.4354E+04	1.03E-17	119.807	19.068	0.052	0.05000
19	819	1.5649E+04	1.35E-17	125.098	19.910	0.050	0.05000
20	820	1.6173E+04	1.59E-17	127.172	20.240	0.049	0.05000
21	821	1.6863E+04	1.50E-17	129.857	20.667	0.048	0.05000
22	822	1.7033E+04	3.86E-18	130.512	20.772	0.048	0.05000
23	823	1.7490E+04	9.10E-20	132.249	21.048	0.048	0.05000
24	824	1.7966E+04	4.99E-18	134.037	21.333	0.047	0.05000
25	825	1.8524E+04	4.38E-18	136.105	21.662	0.046	0.05000
26	826	1.9245E+04	1.39E-17	138.725	22.079	0.045	0.05000
27	827	2.1608E+04	1.62E-24	146.998	23.395	0.043	0.05000
28	828	2.2030E+04	2.48E-23	148.425	23.623	0.042	0.05000
29	829	2.3094E+04	2.75E-20	151.969	24.187	0.041	0.05000
30	830	2.3341E+04	2.95E-20	152.777	24.315	0.041	0.05000
31	831	2.4002E+04	4.73E-19	154.926	24.657	0.041	0.05000
32	832	2.4812E+04	3.14E-17	157.519	25.070	0.040	0.05000
33	833	2.5191E+04	2.75E-17	158.718	25.261	0.040	0.05000
34	834	2.6271E+04	7.72E-16	162.084	25.796	0.039	0.05000
35	835	2.7418E+04	3.06E-12	165.585	26.354	0.038	0.05000
36	836	2.7624E+04	1.35E-12	166.206	26.452	0.038	0.05000
37	837	2.8867E+04	2.35E-12	169.904	27.041	0.037	0.05000
38	838	2.9388E+04	1.62E-11	171.428	27.284	0.037	0.05000
39	839	3.0435E+04	1.56E-10	174.456	27.766	0.036	0.05000
40	840	3.1225E+04	1.71E-08	176.707	28.124	0.036	0.05000
41	841	3.2175E+04	2.50E-08	179.373	28.548	0.035	0.05000
42	842	3.3213E+04	4.05E-07	182.244	29.005	0.034	0.05000
43	843	3.4210E+04	2.37E-05	184.960	29.437	0.034	0.05000

taxi_1

ΑΔΙΑΙΕΕÇ ΑΙΑΕΘΟÇ - ΑΘΝΑΟÇ ΕΑΕΙΙΙΝΘΥΙ (50)

No.	LC	Eigenvalue [1/sec ²]	relative Error	omega [1/sec]	frequency [Hertz]	period [sec]	Damping
44	844	3.5112E+04	3.29E-04	187.382	29.823	0.034	0.05000
45	845	3.5545E+04	1.70E-03	188.535	30.006	0.033	0.05000
46	846	3.5900E+04	2.15E-03	189.472	30.155	0.033	0.05000
47	847	3.6135E+04	8.90E-04	190.093	30.254	0.033	0.05000
48	848	3.8034E+04	1.39E-02	195.024	31.039	0.032	0.05000
49	849	3.8824E+04	4.39E-03	197.038	31.360	0.032	0.05000
50	850	3.9584E+04	1.15E-02	198.957	31.665	0.032	0.05000
51		4.0430E+04	5.68E-02	201.073	32.002	0.031	
52		4.1506E+04	7.29E-03	203.730	32.425	0.031	
53		4.2231E+04	5.77E-03	205.501	32.707	0.031	
54		4.5198E+04	1.78E-02	212.597	33.836	0.030	
55		4.6406E+04	2.91E-02	215.419	34.285	0.029	
56		4.7271E+04	1.37E-01	217.420	34.603	0.029	
57		4.9033E+04	4.63E-02	221.434	35.242	0.028	
58		5.0068E+04	2.88E-02	223.759	35.612	0.028	
59		5.2691E+04	5.80E-02	229.546	36.533	0.027	
60		5.3809E+04	2.49E-02	231.968	36.919	0.027	
61		5.6645E+04	6.03E-02	238.003	37.879	0.026	
62		5.9160E+04	3.44E-02	243.228	38.711	0.026	
63		6.2584E+04	1.25E-01	250.167	39.815	0.025	
64		6.4020E+04	1.57E-01	253.023	40.270	0.025	
65		6.6078E+04	8.06E-02	257.056	40.912	0.024	
66		7.0924E+04	3.08E-02	266.315	42.385	0.024	
67		7.4756E+04	1.01E-01	273.416	43.516	0.023	
68		7.6992E+04	8.22E-02	277.474	44.161	0.023	
69		8.3861E+04	5.81E-02	289.587	46.089	0.022	
70		8.8198E+04	5.72E-02	296.981	47.266	0.021	
71		9.4543E+04	1.12E-01	307.479	48.937	0.020	
72		1.0120E+05	1.51E-01	318.119	50.630	0.020	
73		1.0574E+05	1.42E-01	325.176	51.753	0.019	
74		1.1327E+05	1.56E-01	336.562	53.565	0.019	
75		1.2066E+05	1.16E-01	347.365	55.285	0.018	
76		1.3170E+05	8.00E-02	362.910	57.759	0.017	
77		1.4252E+05	9.79E-02	377.515	60.083	0.017	
78		1.5691E+05	2.03E-01	396.123	63.045	0.016	
79		1.7192E+05	1.06E-01	414.632	65.991	0.015	
80		1.8399E+05	1.31E-01	428.937	68.267	0.015	
81		2.0823E+05	1.55E-01	456.326	72.626	0.014	
82		2.2517E+05	1.85E-01	474.522	75.522	0.013	
83		2.4987E+05	2.42E-01	499.873	79.557	0.013	
84		2.8526E+05	1.83E-01	534.100	85.005	0.012	
85		3.2071E+05	2.26E-01	566.310	90.131	0.011	
86		3.6576E+05	2.88E-01	604.778	96.253	0.010	
87		4.2519E+05	2.46E-01	652.068	103.780	0.010	
88		4.9176E+05	3.05E-01	701.255	111.608	0.009	
89		5.8344E+05	3.38E-01	763.831	121.567	0.008	
90		6.9596E+05	3.56E-01	834.240	132.773	0.008	
91		8.5626E+05	4.47E-01	925.342	147.273	0.007	
92		1.0744E+06	4.85E-01	1036.536	164.970	0.006	
93		1.3740E+06	4.80E-01	1172.172	186.557	0.005	
94		1.8393E+06	5.53E-01	1356.207	215.847	0.005	
95		2.5621E+06	6.83E-01	1600.651	254.751	0.004	
96		3.8363E+06	8.85E-01	1958.639	311.727	0.003	
97		6.1398E+06	1.15E+00	2477.869	394.365	0.003	
98		1.1903E+07	1.44E+00	3450.058	549.094	0.002	
99		2.9650E+07	2.28E+00	5445.204	866.631	0.001	
100		1.1784E+08	4.39E+00	10855.247	1727.666	0.001	

taxi_1

DYNAMIC ANALYSIS - MODAL SUPERPOSITION FOR X EARTHQUAKE (EX)

Controll Information

Number of unknowns 66729 (Pure modal analysis)
unknowns per node 6
Number eigenvalues 50

Load Cases

D[-]	SA[-]	SB[-]	MIN[-]	TB[sec]	TC[sec]	TD[sec]	TE[sec]	K1[-]	K2[-]	A[m/sec2]
1.5000	0.804	2.000	0.200	0.150	0.500	2.500	0.000	1.000	2.000	2.40
		a-X	a-Y	a-Z	a-XX	a-YY	a-ZZ			
		[m/sec2]	[m/sec2]	[m/sec2]	[1/sec2]	[1/sec2]	[1/sec2]			
		2.40	0.00	0.00						

Modal load contributions per function

funct.	mode	R*V-factor	[o/o]	V*R*V-factor	mode	R*V-factor	[o/o]	V*R*V-factor
9990	1	-7.779E-01	0.0	-1.227E-02	26	1.582E+00	0.0	-4.907E-01
	2	1.751E-02	0.0	-1.294E-02	27	-2.774E+00	0.1	-3.733E-01
	3	-2.352E+00	0.1	-6.489E-02	28	-1.917E+00	0.1	-3.568E-01
	4	-7.587E+00	1.1	-9.565E-02	29	7.170E-01	0.0	-1.079E+00
	5	-2.487E+00	0.1	-6.647E-02	30	-7.581E-01	0.0	-4.712E-01
	6	6.070E+01	70.8	-2.252E+00	31	3.552E+00	0.2	-4.973E-01
	7	-2.080E+00	0.1	-1.762E-01	32	-3.335E-01	0.0	-2.209E-01
	8	-6.193E+00	0.7	-5.331E-01	33	1.454E+01	4.1	-7.443E-01
	9	-6.165E-01	0.0	-2.433E-01	34	-4.769E+00	0.4	-1.206E+00
	10	-5.783E+00	0.6	-5.677E-01	35	4.766E+00	0.4	-7.358E-01
	11	3.882E+00	0.3	-2.034E+00	36	3.616E+00	0.3	-1.861E-01
	12	-9.488E+00	1.7	-8.118E-01	37	2.398E+00	0.1	-5.090E-01
	13	8.066E+00	1.2	-7.000E-01	38	1.216E-01	0.0	-1.863E-01
	14	9.666E-01	0.0	-4.220E-01	39	-3.066E+00	0.2	-8.210E-01
	15	-1.060E+00	0.0	-2.814E-01	40	-2.949E-01	0.0	-1.021E+00
	16	9.534E-01	0.0	-4.389E-01	41	1.763E+00	0.1	-7.913E-01
	17	2.579E-01	0.0	-9.479E-01	42	-7.573E-01	0.0	-6.468E-01
	18	1.778E-01	0.0	-2.227E-02	43	5.925E-01	0.0	-6.361E-01
	19	2.790E-01	0.0	-1.209E+00	44	2.640E-01	0.0	-5.954E-01
	20	2.291E+00	0.1	-6.358E-01	45	1.667E+00	0.1	-5.725E-01
	21	8.061E-01	0.0	-3.442E-01	46	5.547E-01	0.0	-1.947E-01
	22	-1.539E-01	0.0	-6.509E-01	47	-3.620E+00	0.3	-3.969E-01
	23	7.669E-01	0.0	-4.890E-01	48	5.214E+00	0.5	-5.050E-01
	24	2.694E+00	0.1	-1.515E-01	49	2.186E+00	0.1	-3.724E-01
	25	-4.360E+00	0.4	-2.353E-01	50	5.050E+00	0.5	-5.103E-01

Sq.Sum 4.427E+03 85.0 -2.752E+01

Modal Response

Response of periodic loading is exact including the phases

Contributions of all functions will be searched for maximum

Fct.	Mode	Response	phase	Mode	Response	phase
9990	1	-1.617E-03		26	9.578E-05	
	2	1.622E-05		27	-1.469E-04	
	3	-1.855E-03		28	-9.931E-05	
	4	-3.465E-03		29	3.520E-05	
	5	-9.974E-04		30	-3.677E-05	
	6	2.303E-02		31	1.669E-04	
	7	-5.115E-04		32	-1.508E-05	
	8	-1.187E-03		33	6.461E-04	
	9	-1.055E-04		34	-2.020E-04	
	10	-8.806E-04		35	1.924E-04	
	11	5.190E-04		36	1.447E-04	
	12	-1.231E-03		37	9.129E-05	
	13	1.006E-03		38	4.535E-06	
	14	1.029E-04		39	-1.099E-04	
	15	-1.090E-04		40	-1.027E-05	
	16	9.121E-05		41	5.935E-05	
	17	2.232E-05		42	-2.460E-05	
	18	1.514E-05		43	1.862E-05	
	19	2.148E-05		44	8.056E-06	
	20	1.697E-04		45	5.017E-05	
	21	5.688E-05		46	1.651E-05	
	22	-1.073E-05		47	-1.070E-04	
	23	5.186E-05		48	1.454E-04	
	24	1.766E-04		49	5.958E-05	
	25	-2.758E-04		50	1.347E-04	

taxi_1

DYNAMIC ANALYSIS - MODAL SUPERPOSITION FOR X EARTHQUAKE (EX)

Sum of forces (Base-Shear)

funct.	H[m]	Mode	SX[kN]	SY[kN]	SZ[kN]	MX[kNm]	MY[kNm]	MZ[kNm]
9990			2474.6	104.3	67.4	304.69	11695.13	14779.54

Nodal Masses	903.834	910.327	910.327	0.000	0.000	0.000
--------------	---------	---------	---------	-------	-------	-------

Nodal Displacements method CQC

Node	u-X-max [mm]	Time [sec]	u-Y-max [mm]	Time [sec]	u-Z-max [mm]	Time [sec]
MAX	2.039		1.075		0.304	

Maximum Forces and Moments

MAX-BEAM	(LC 90)	MIN-BEAM	method CQC
MAX-QUAD	(LC 90)	MIN-QUAD	method CQC

taxi_1

DYNAMIC ANALYSIS - MODAL SUPERPOSITION FOR Y EARTHQUAKE (EY)

Controll Information

Number of unknowns 66729 (Pure modal analysis)
unknowns per node 6
Number eigenvalues 50

Load Cases

D[-]	SA[-]	SB[-]	MIN[-]	TB[sec]	TC[sec]	TD[sec]	TE[sec]	K1[-]	K2[-]	A[m/sec2]
1.5000	0.804	2.000	0.200	0.150	0.500	2.500	0.000	1.000	2.000	2.40
		a-X	a-Y	a-Z	a-XX	a-YY	a-ZZ			
		[m/sec2]	[m/sec2]	[m/sec2]	[1/sec2]	[1/sec2]	[1/sec2]			
		0.00	2.40	0.00						

Modal load contributions per function

funct.	mode	R*V-factor	[o/o]	V*R*V-factor	mode	R*V-factor	[o/o]	V*R*V-factor
9991	1	5.704E+01	62.0	-2.355E+00	26	6.751E+00	0.9	-1.061E+00
	2	1.941E+01	7.2	-2.366E+00	27	-1.581E+00	0.0	-6.285E-01
	3	1.452E+01	4.0	-2.238E+00	28	-3.116E+00	0.2	-1.154E+00
	4	-3.705E-01	0.0	-2.188E+00	29	3.121E+00	0.2	-7.737E-01
	5	2.238E+00	0.1	-2.049E+00	30	5.136E-01	0.0	-1.064E+00
	6	2.044E+00	0.1	-1.247E-01	31	4.442E+00	0.4	-1.217E+00
	7	-3.218E+00	0.2	-2.031E+00	32	-1.884E+00	0.1	-7.818E-01
	8	1.317E+01	3.3	-1.593E+00	33	-1.419E+00	0.0	-9.342E-01
	9	5.861E-02	0.0	-1.431E+00	34	-1.894E-02	0.0	-6.831E-01
	10	6.226E+00	0.7	-1.531E+00	35	2.033E+00	0.1	-1.183E+00
	11	5.391E+00	0.6	-2.755E-01	36	-7.529E+00	1.1	-1.422E+00
	12	1.603E+00	0.0	-1.230E+00	37	-1.068E-01	0.0	-6.421E-01
	13	9.416E+00	1.7	-1.067E+00	38	-1.430E+00	0.0	-9.878E-01
	14	4.042E+00	0.3	-1.284E+00	39	1.601E-01	0.0	-1.024E+00
	15	1.967E+00	0.1	-1.234E+00	40	7.097E-02	0.0	-4.857E-01
	16	-8.984E+00	1.5	-1.283E+00	41	-1.161E+00	0.0	-7.176E-01
	17	1.842E-01	0.0	-7.109E-01	42	1.803E+00	0.1	-1.086E+00
	18	-9.483E+00	1.7	-1.581E+00	43	-8.817E-01	0.0	-1.041E+00
	19	1.278E+00	0.0	-7.721E-01	44	1.830E+00	0.1	-7.289E-01
	20	4.467E+00	0.4	-9.498E-01	45	-1.115E+00	0.0	-1.099E+00
	21	-1.715E+00	0.1	-1.590E+00	46	1.810E+00	0.1	-1.345E+00
	22	3.862E+00	0.3	-9.227E-01	47	1.144E+00	0.0	-1.037E+00
	23	1.877E+00	0.1	-1.307E+00	48	-7.118E-01	0.0	-1.211E+00
	24	5.321E+00	0.5	-1.500E+00	49	-1.548E+00	0.0	-1.208E+00
	25	4.231E+00	0.3	-1.418E+00	50	-4.414E-01	0.0	-9.204E-01

Sq.Sum 4.647E+03 88.6 -5.947E+01

Modal Response

Response of periodic loading is exact including the phases

Contributions of all functions will be searched for maximum

Fct.	Mode	Response	phase	Mode	Response	phase
9991	1	1.186E-01		26	4.087E-04	
	2	1.799E-02		27	-8.375E-05	
	3	1.145E-02		28	-1.615E-04	
	4	-1.692E-04		29	1.532E-04	
	5	8.977E-04		30	2.491E-05	
	6	7.757E-04		31	2.086E-04	
	7	-7.915E-04		32	-8.518E-05	
	8	2.524E-03		33	-6.309E-05	
	9	1.003E-05		34	-8.024E-07	
	10	9.481E-04		35	8.206E-05	
	11	7.207E-04		36	-3.013E-04	
	12	2.081E-04		37	-4.065E-06	
	13	1.174E-03		38	-5.333E-05	
	14	4.302E-04		39	5.739E-06	
	15	2.022E-04		40	2.472E-06	
	16	-8.594E-04		41	-3.910E-05	
	17	1.594E-05		42	5.858E-05	
	18	-8.075E-04		43	-2.770E-05	
	19	9.835E-05		44	5.584E-05	
	20	3.309E-04		45	-3.354E-05	
	21	-1.210E-04		46	5.387E-05	
	22	2.693E-04		47	3.380E-05	
	23	1.270E-04		48	-1.985E-05	
	24	3.488E-04		49	-4.219E-05	
	25	2.677E-04		50	-1.177E-05	

taxi_1

DYNAMIC ANALYSIS - MODAL SUPERPOSITION FOR Y EARTHQUAKE (EY)

Sum of forces (Base-Shear)

funct.	H[m]	Mode	SX[kN]	SY[kN]	SZ[kN]	MX[kNm]	MY[kNm]	MZ[kNm]
9991			104.3	2784.0	175.5	13859.83	1532.30	25404.09

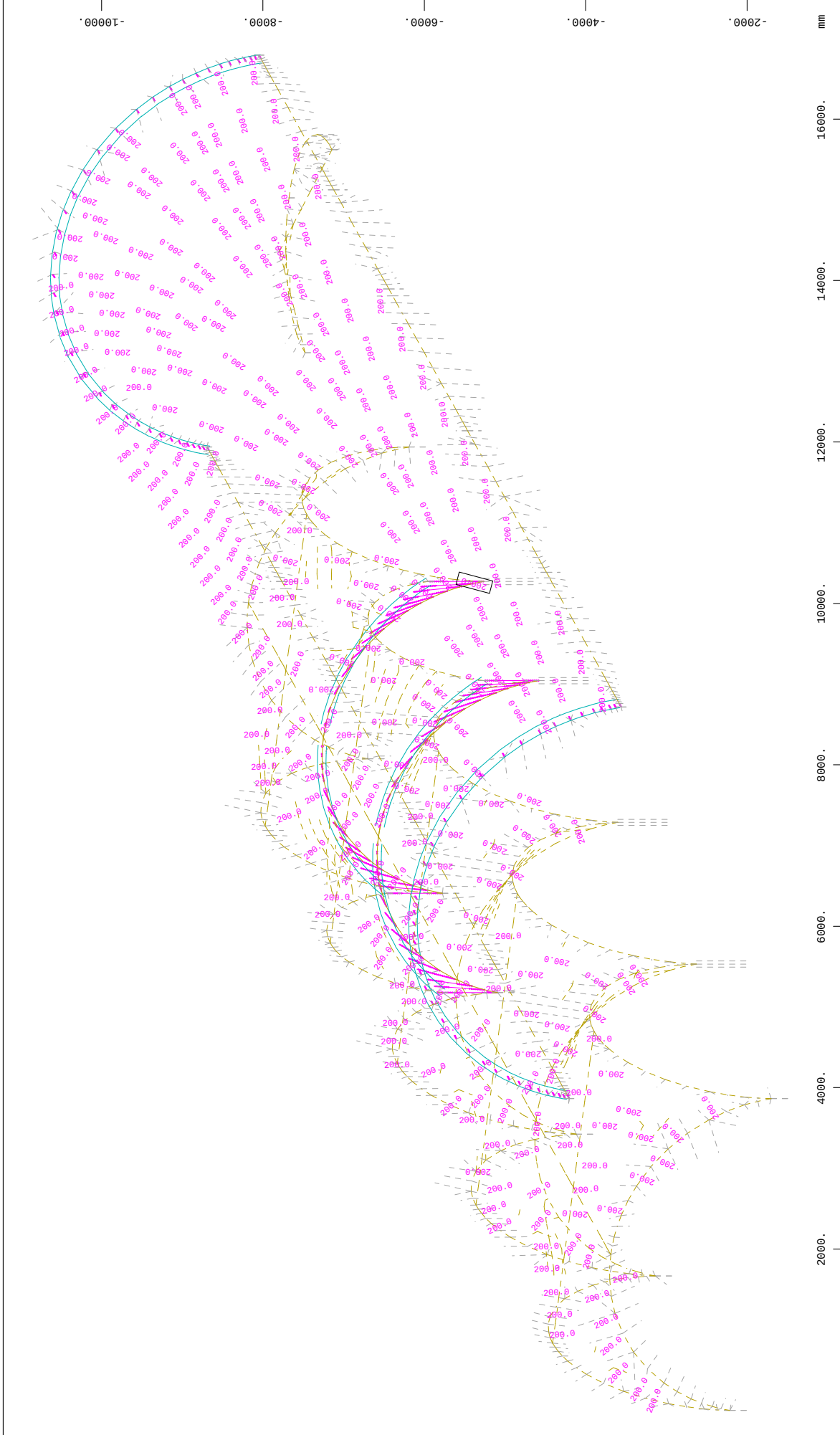
Nodal Masses	903.834	910.327	910.327	0.000	0.000	0.000
--------------	---------	---------	---------	-------	-------	-------

Nodal Displacements method CQC

Node	u-X-max [mm]	Time [sec]	u-Y-max [mm]	Time [sec]	u-Z-max [mm]	Time [sec]
MAX	1.361		27.975		2.289	

Maximum Forces and Moments

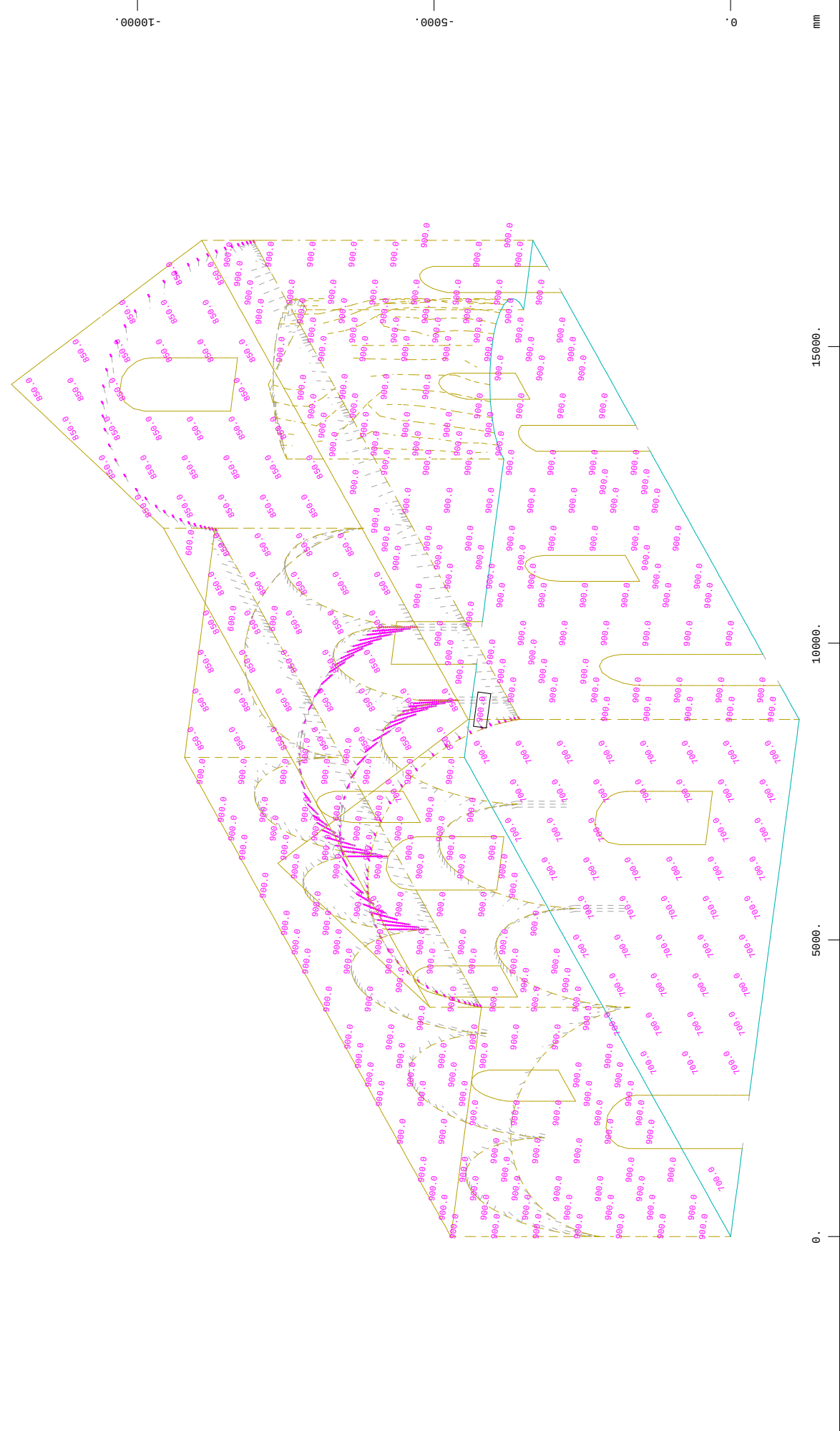
MAX-BEAM	(LC 91)	MIN-BEAM	method CQC
MAX-QUAD	(LC 91)	MIN-QUAD	method CQC



Sector of system Quadrilateral Elements Group 12
Average plate thickness in Elements in mm (Max=200.0)

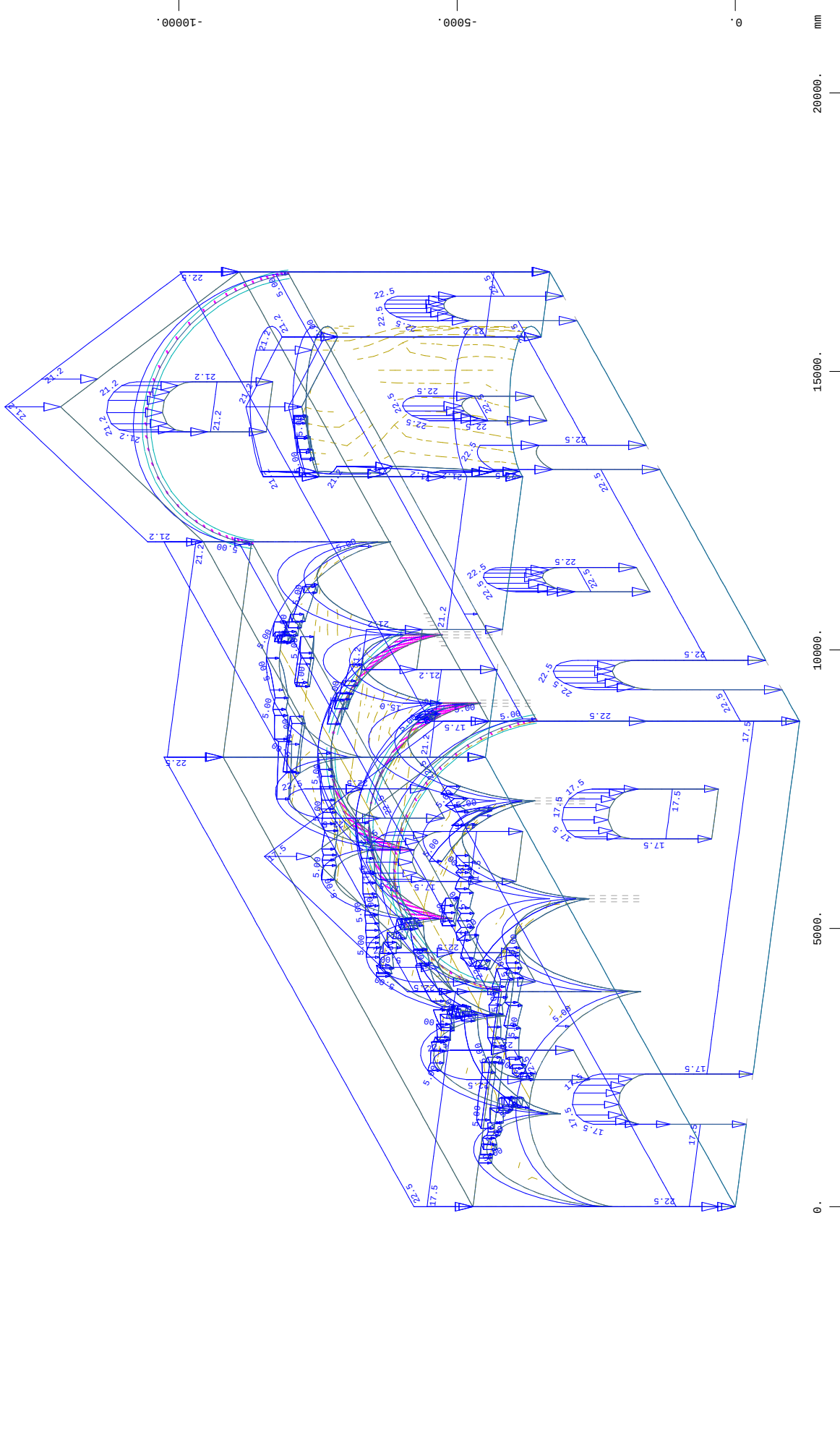
M 1 : 67
X * 0.502
Y * 0.906
Z * 0.962

taxi_1



Sector of system Quadrilateral Elements Group 14
Average plate thickness in Elements in mm (Max=900.0)

M 1 : 91
X * 0.502
Y * 0.906
Z * 0.962

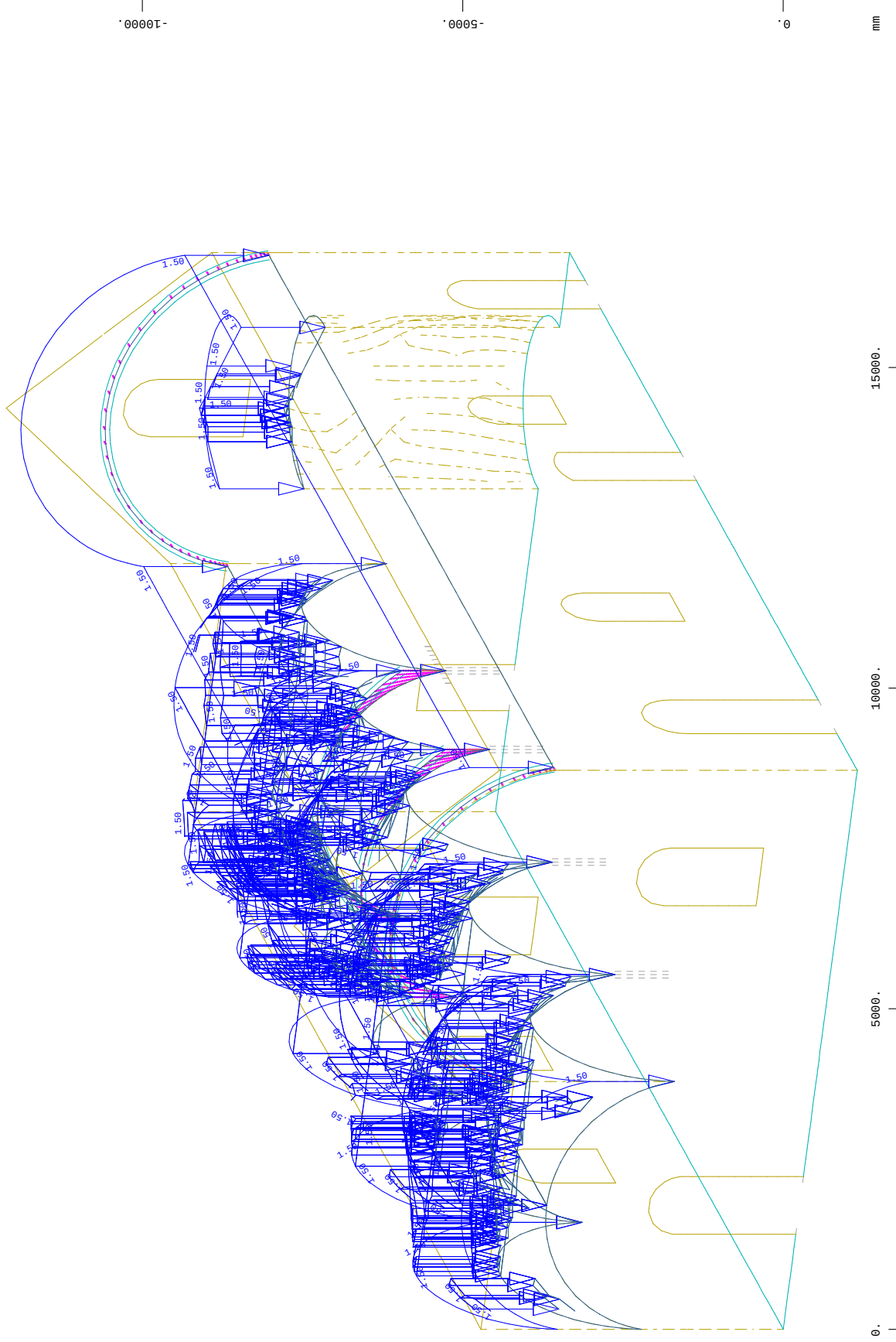


Sector of system Quadrilateral Elements Group 12 14
Area element load, Loadcase 10 IDIO BAROS , (1 cm 3D = unit) QUAD-Area dead load in global Z in Elements (Unit=20.0 kN/m2)

M 1 : 98
X * 0.582
Y * 0.966
Z * 0.962

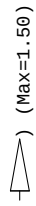
(Max=22.5)

taxi_1



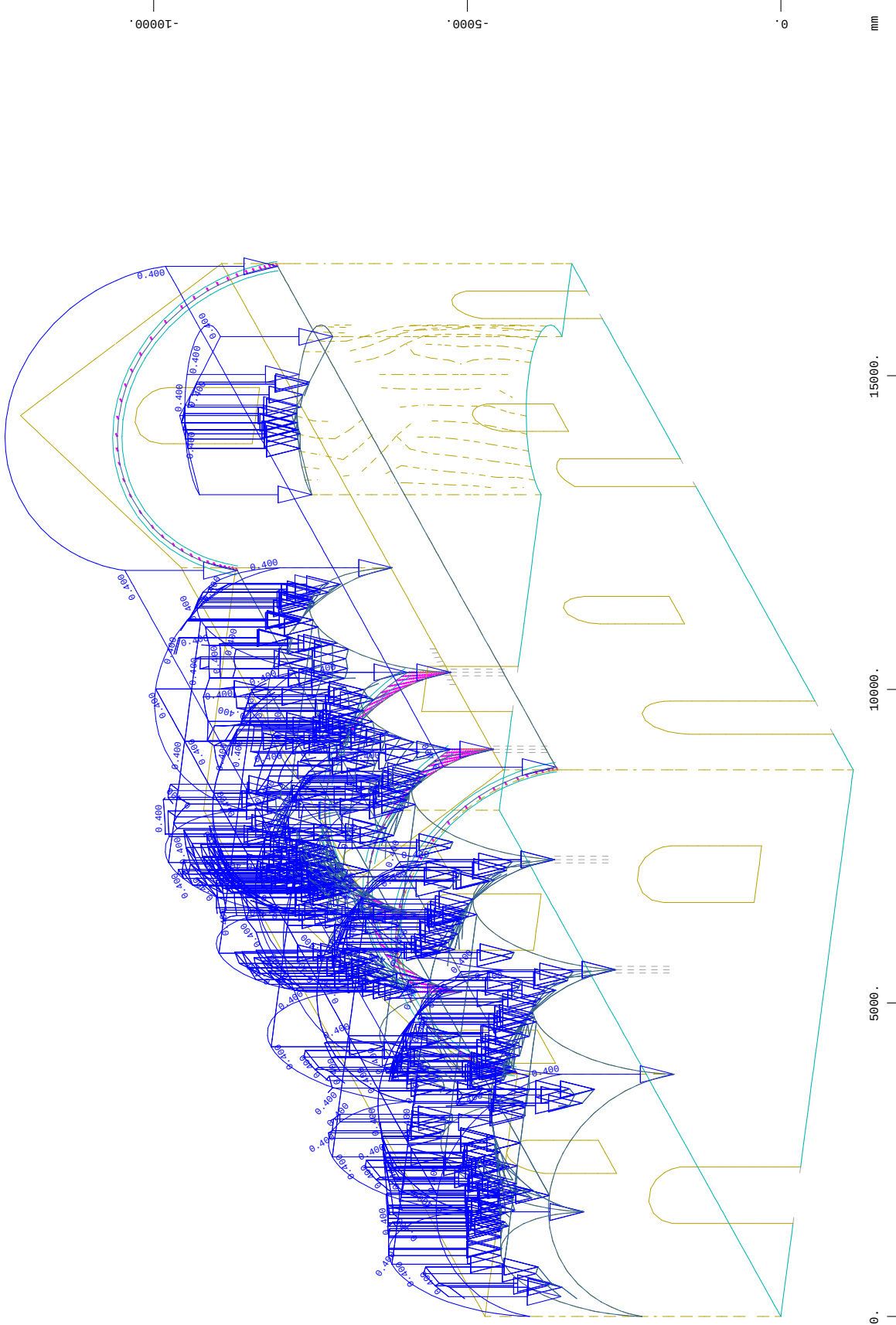
Sector of system Quadrilateral Elements Group 12 14

Area element load, Loadcase 11 MONIMA , (1 cm 3D = unit) (force) vector (Unit=1.00 kN/m2



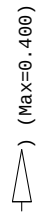
M 1 : 91
X * 0.502
Y * 0.906
Z * 0.962

taxi_1



Sector of system Quadrilateral Elements Group 12 14

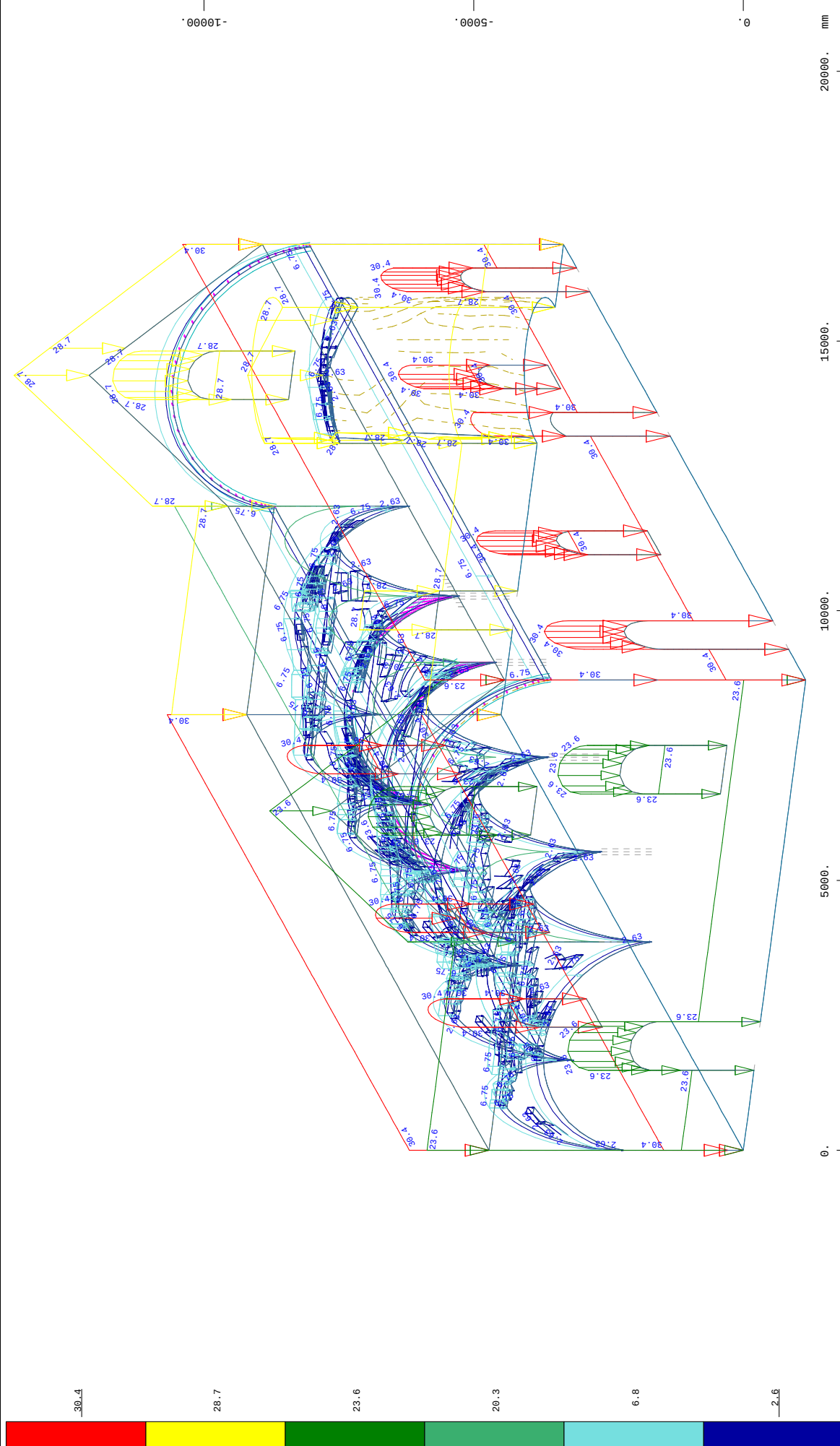
Area element load, Loadcase 21 KINH7A , (1 cm 3D = unit) (force) vector (Unit=0.200 kN/m2



(Max=0.400)

M 1 : 93
X * 0.502
Y * 0.966
Z * 0.962

taxi_1



Sector of system Quadrilateral Elements Group 12 14

Area element load, Loadcase 1001 1.35*G+1.50*Q , (1 cm 3D = unit) (force) vector (Unit=20.0 kN/m2

Elements (Unit=20.0 kN/m2 ∇) (Max=30.4)

∇), QUAD-Area dead load in global Z in

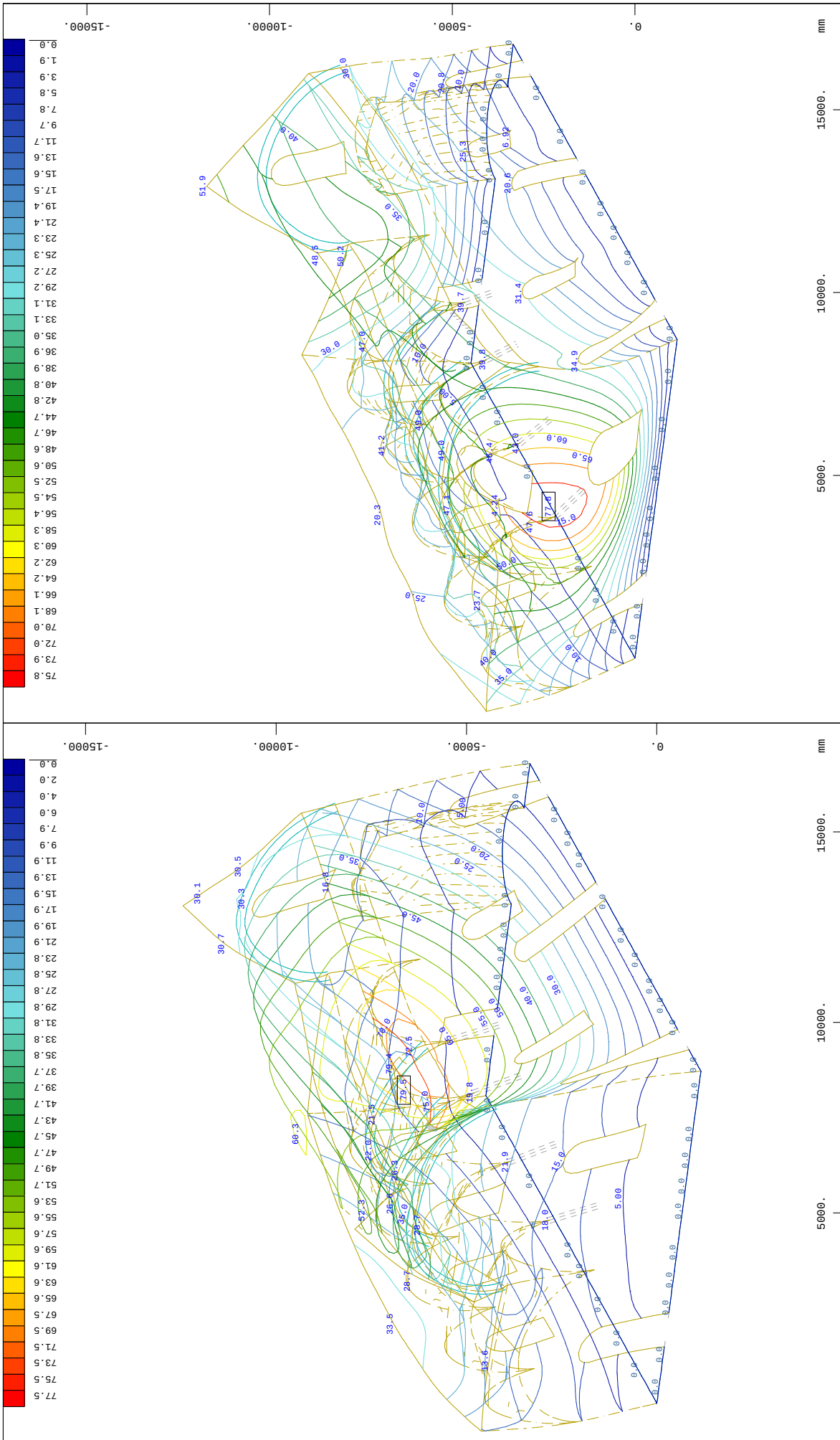
M 1 : 101

X * 0.582

Y * 0.986

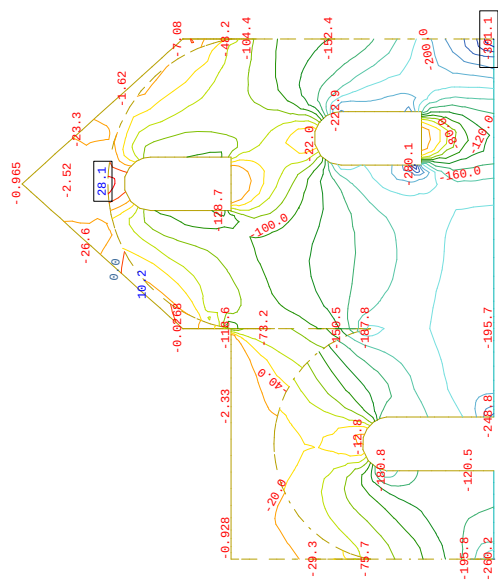
Z * 0.962

taxi_1



Sector of system Quadrilateral Elements Group 12 14 Deformed Structure from LC 801 Eigenform 1 f= 4.936 Hertz Enlarged by 50000.	M 1 : 142 X * 0.502 Y * 0.906 Z * 0.962	X Y Z	Sector of system Quadrilateral Elements Group 12 14 Deformed Structure from LC 806 Eigenform 6 f= 10.271 Hertz Enlarged by 50000.	M 1 : 148 X * 0.502 Y * 0.906 Z * 0.962
--	--	-------------	---	--

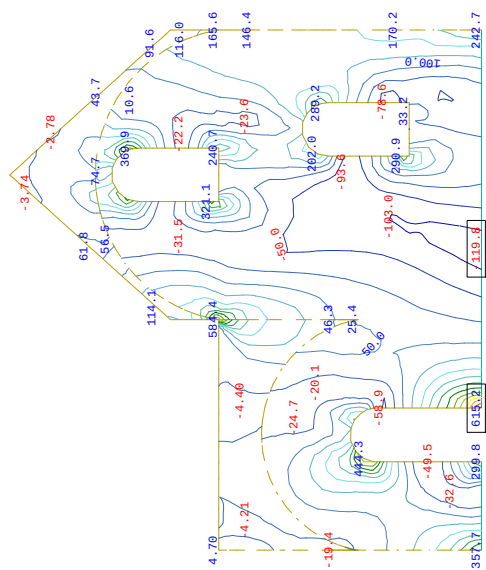
taxi_1



Sector of system Quadrilateral Elements Group 14

Membrane force n_{yy} in local y from middle of element

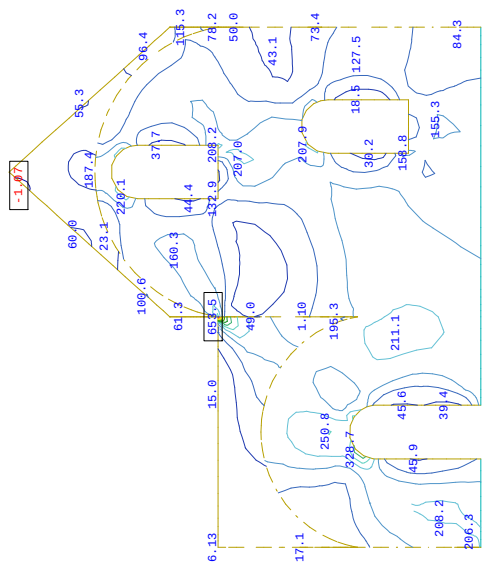
1001 1.35*G+1.50*Q , from -301.1 to 28.1 step 20.0 kN/m



Sector of system Quadrilateral Elements Group 14

Membrane force n_{yy} in local y from middle of element

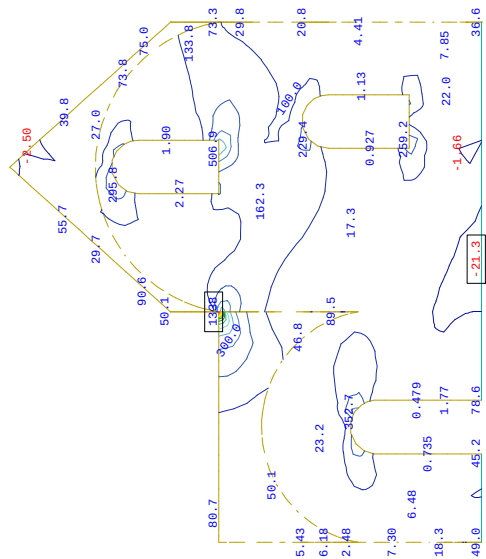
3005 MAX-UX NODE , from -119.8 to 615.2 step 50.0 kN/m



Sector of system Quadrilateral Elements Group 14

Membrane shear force n - xy in local xy from middle of element,

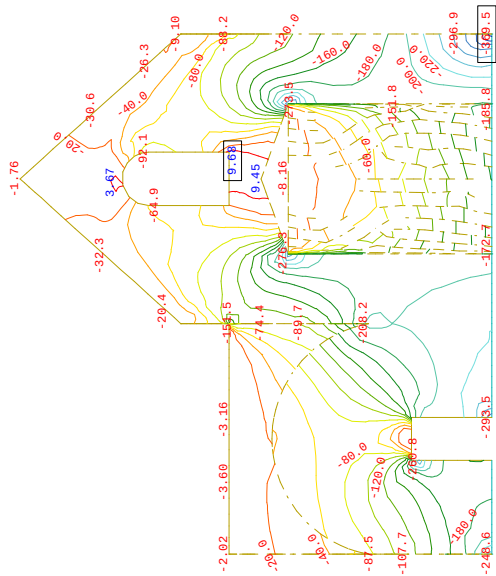
Loadcase 3005 MAX-UX NODE , from -1.07 to 653.5 step 50.0 kN/m



Sector of system Quadrilateral Elements Group 14

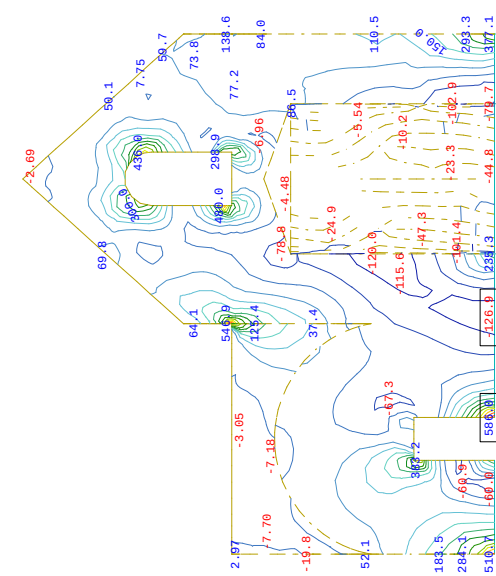
Membrane force n_{xx} in local x from middle of element, Loadcase

3005 MAX-UX NODE , from -21.3 to 1338. step 100.0 kN/m



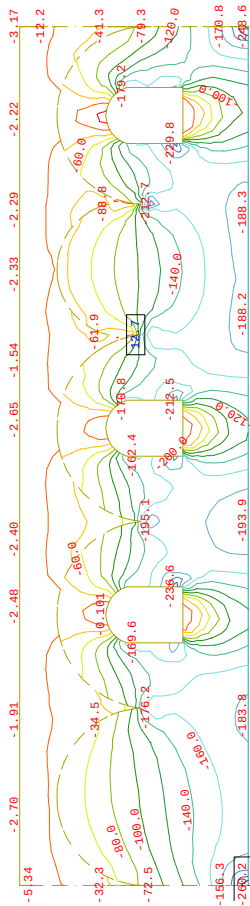
Sector of system Quadrilateral Elements Group 14
 Membrane force n-yy in local y from middle of element 1001 1.35*G+1.50*Q , from -369.5 to 9.68 step 20.0 kN/m

Sector of system Quadrilateral Elements Group 14
 Membrane shear force n-xy in local xy from middle of element, Loadcase 3005 MAX-UX NODE , from -21.9 to 510.6 step 50.0 kN/m

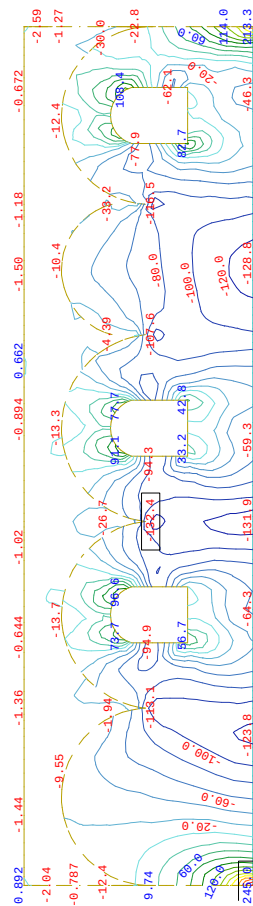


Sector of system Quadrilateral Elements Group 14
 Membrane force n-xx in local x from middle of element 3005 MAX-UX NODE , from -126.9 to 586.0 step 50.0 kN/m

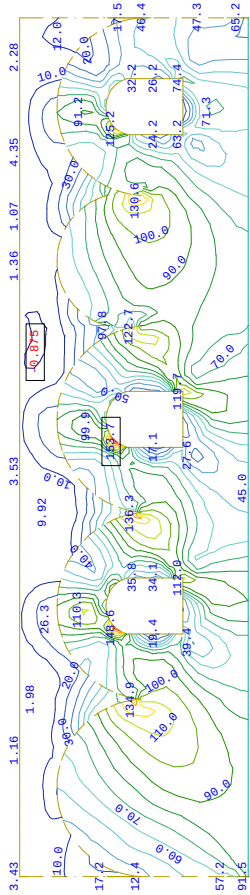
Sector of system Quadrilateral Elements Group 14
 Membrane force n-xx in local x from middle of element, Loadcase 3005 MAX-UX NODE , from -23.3 to 1355. step 100.0 kN/m



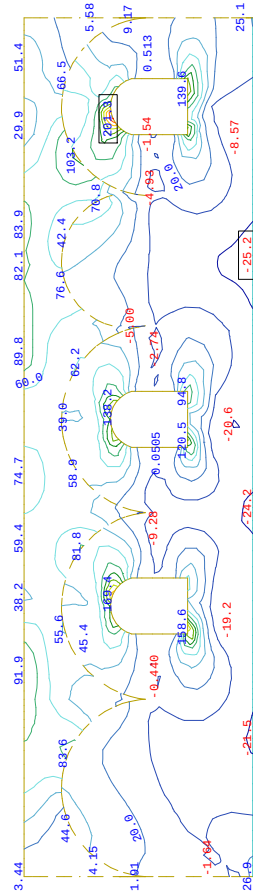
Y-X
Z
Sector of system Quadrilateral Elements Group 14
Membrane force n-yy in local y from middle of element $\updownarrow$, Loadcase 1001 1.35*G+1.50*Q , from -260.2 to 12.7 step 20.0 kN/m



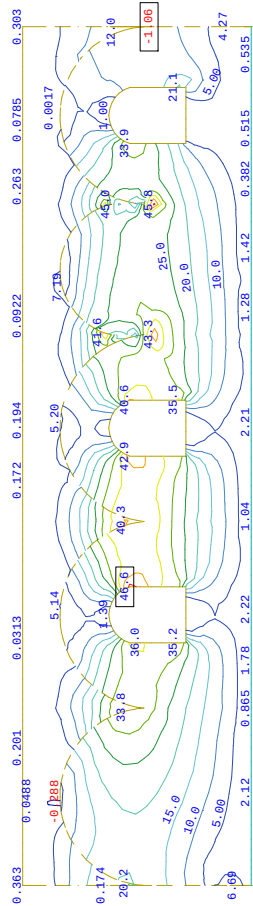
Y-X
Z
Sector of system Quadrilateral Elements Group 14
Membrane force n-yy in local y from middle of element $\updownarrow$, Loadcase 3001 MAX-UX NODE , from -132.4 to 245.0 step 20.0 kN/m



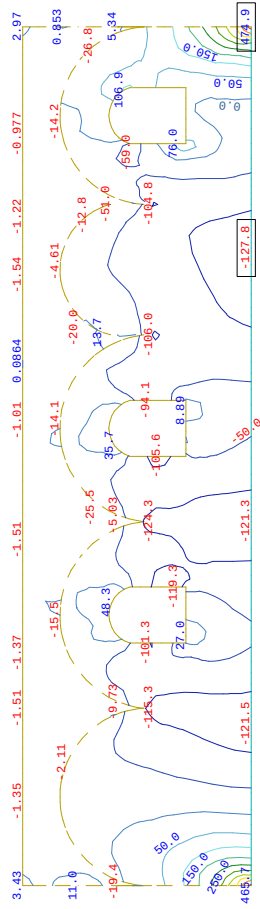
Y-X
Z
Sector of system Quadrilateral Elements Group 14
Membrane shear force n-xy in local xy from middle of element, Loadcase 3001 MAX-UX NODE , from -0.875 to 153.7 step 10.0 kN/m



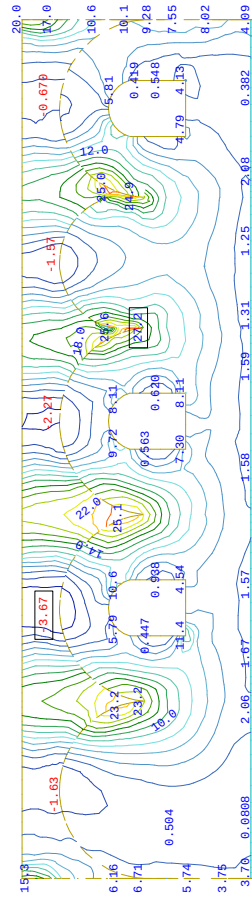
Y-X
Z
Sector of system Quadrilateral Elements Group 14
Membrane force n-xx in local x from middle of element, Loadcase 3001 MAX-UX NODE , from -25.2 to 201.3 step 20.0 kN/m



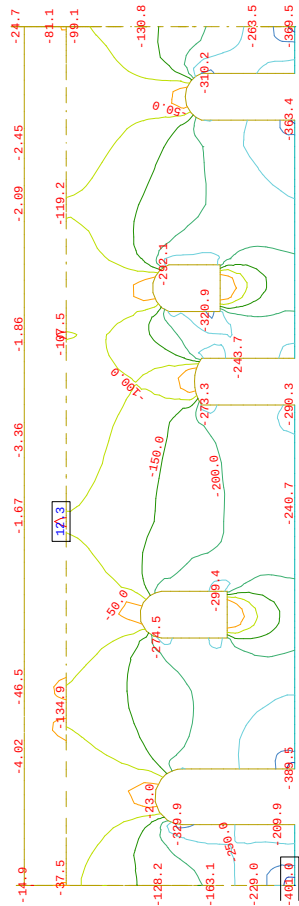
Y-X Sector of system Quadrilateral Elements Group 14
Z Bending moment m-yy in local y from middle of element $\updownarrow$, Loadcase
3005 MAX-UX NODE , from -1.06 to 46.6 step 5.00 kNm/m



Y-X Sector of system Quadrilateral Elements Group 14
Z Membrane force n-yy in local y from middle of element $\updownarrow$, Loadcase
3005 MAX-UX NODE , from -127.8 to 474.9 step 50.0 kN/m

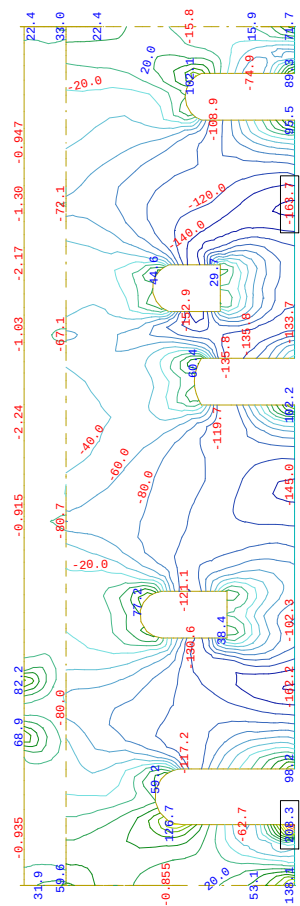
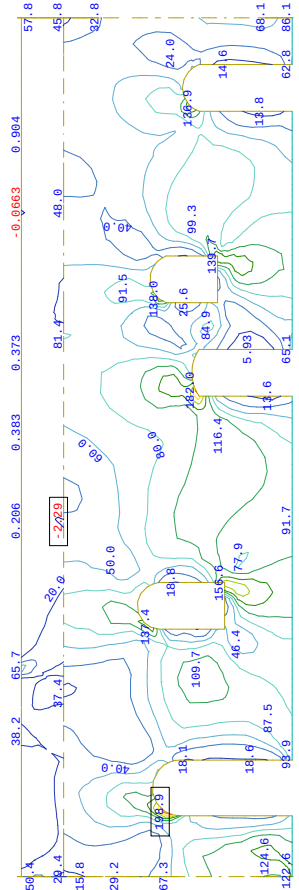


Y-X Sector of system Quadrilateral Elements Group 14
Z Bending moment m-xx in local x from middle of element, Loadcase
3005 MAX-UX NODE , from -3.67 to 27.2 step 2.00 kNm/m



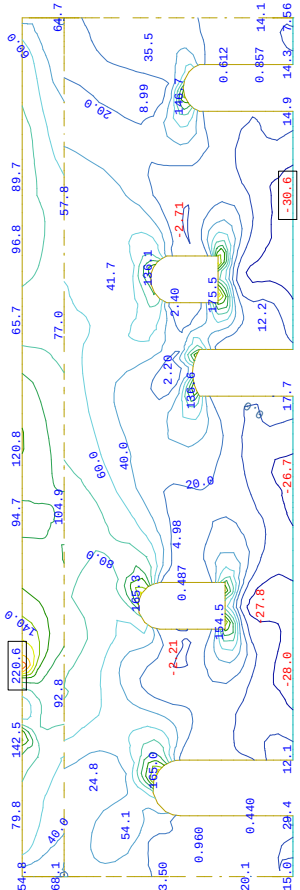
Y-X
Z
Sector of system Quadrilateral Elements Group 14
Membrane force n-yy in local y from middle of element $\updownarrow$, Loadcase
1001 1.35*G+1.50*Q , from -401.0 to 12.3 step 50.0 kN/m

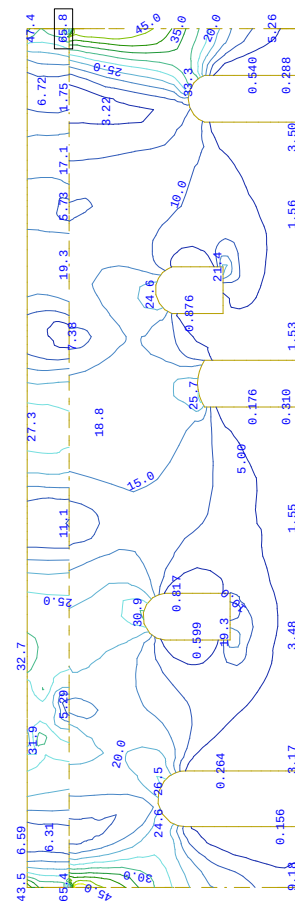
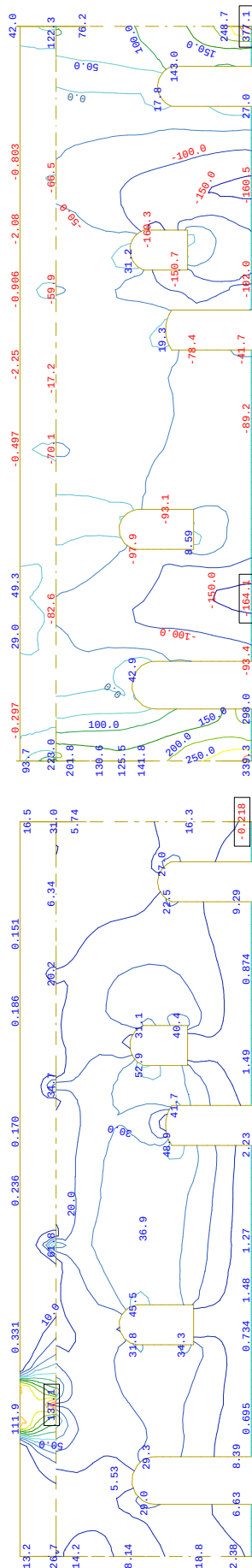
Y-X
Z
Sector of system Quadrilateral Elements Group 14
Membrane shear force n-xy in local xy from middle of element,
Loadcase 3001 MAX-UX NODE , from -2.29 to 198.9 step 20.0 kN/m

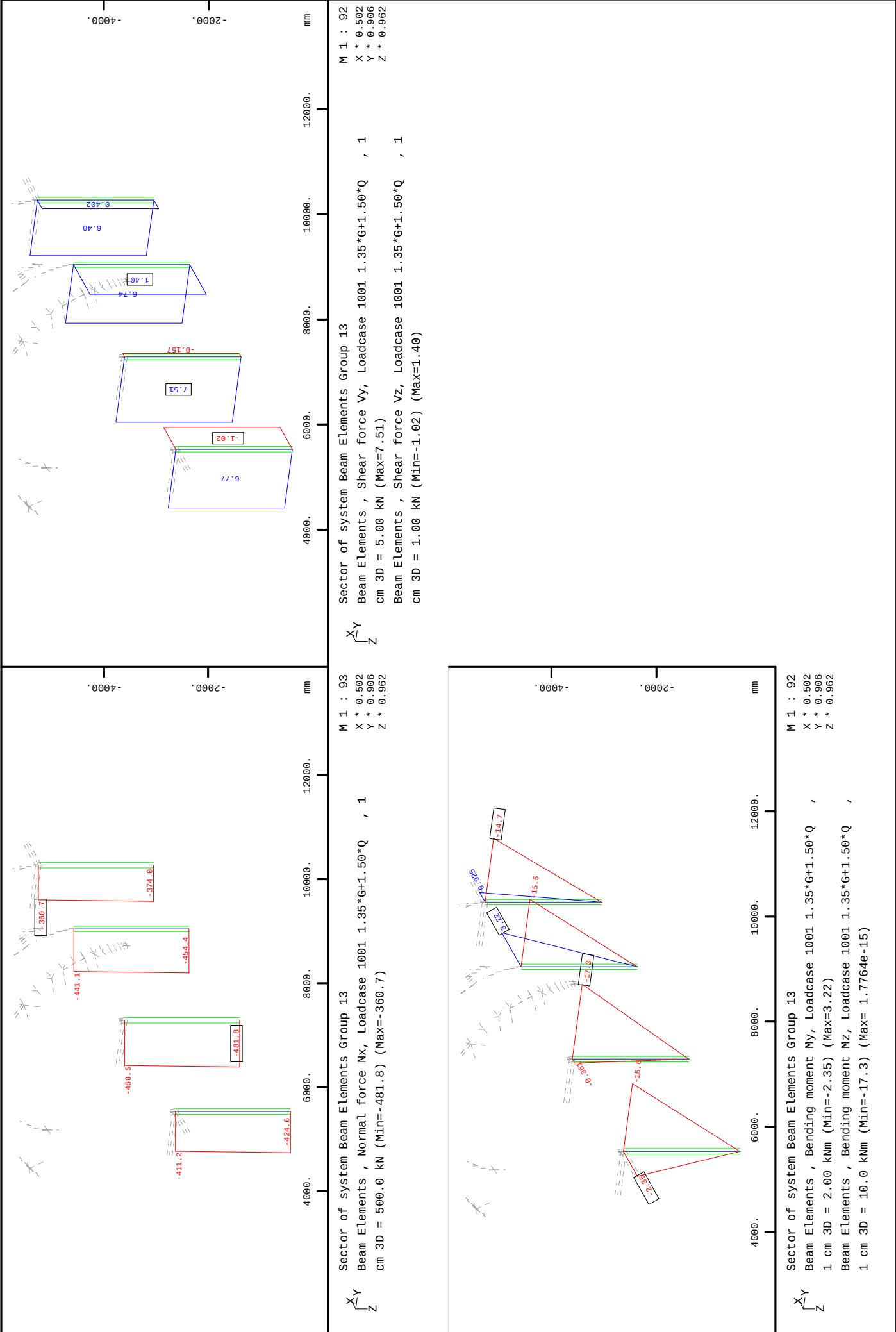


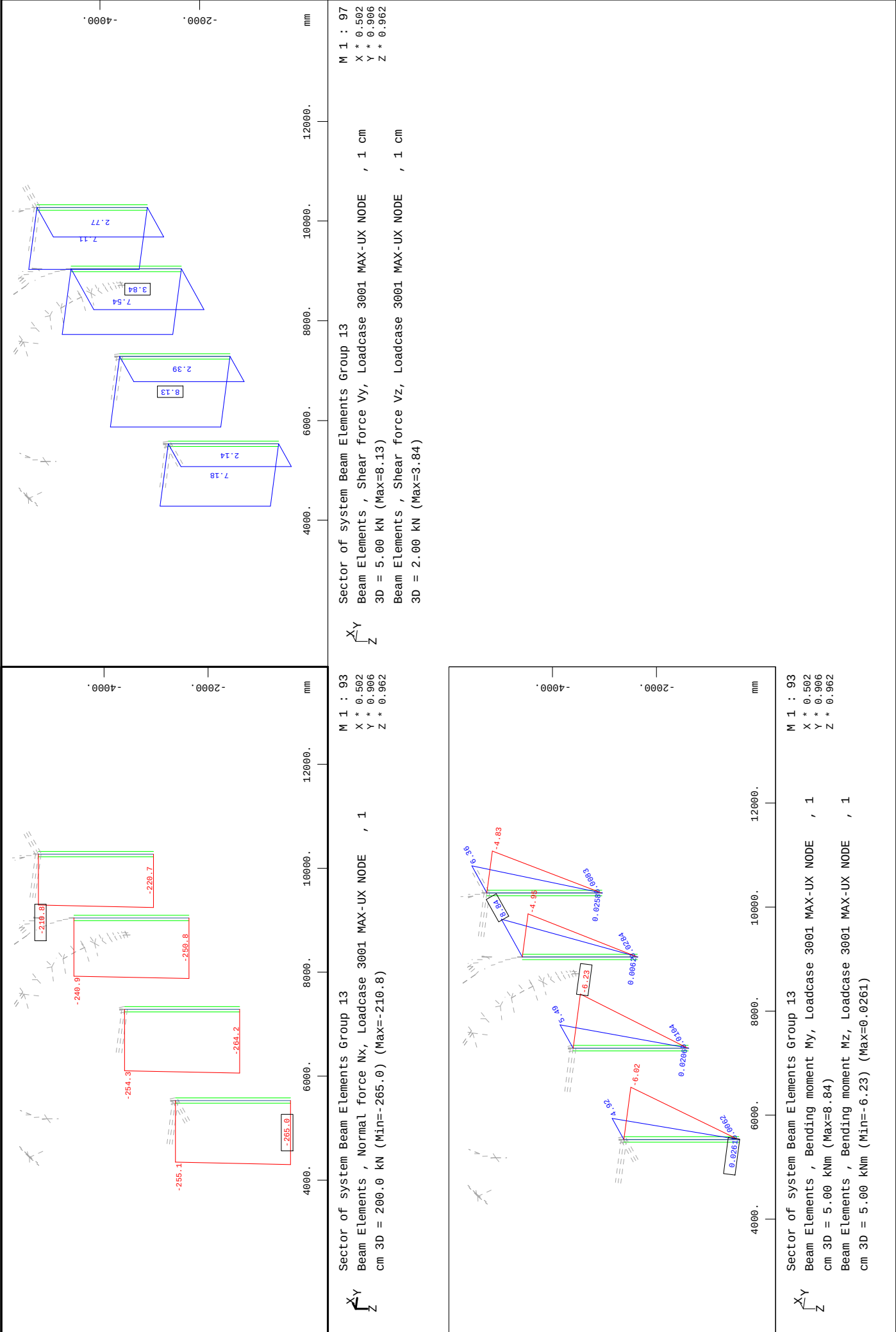
Y-X
Z
Sector of system Quadrilateral Elements Group 14
Membrane force n-yy in local y from middle of element $\updownarrow$, Loadcase
3001 MAX-UX NODE , from -163.7 to 208.3 step 20.0 kN/m

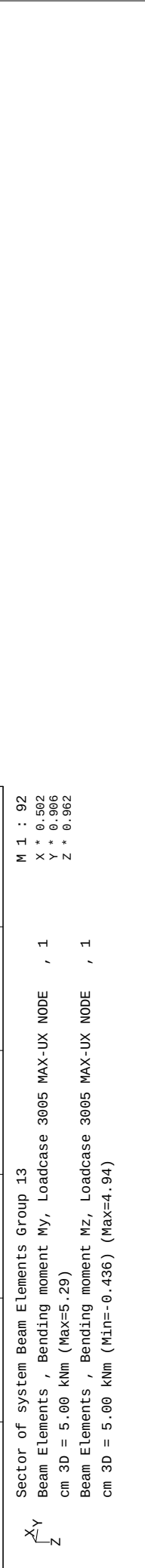
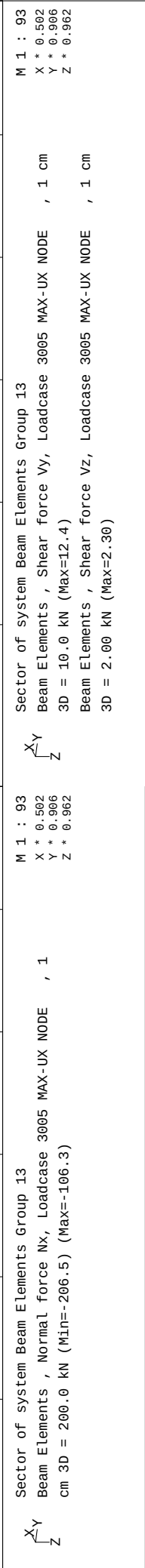
Y-X
Z
Sector of system Quadrilateral Elements Group 14
Membrane force n-xx in local x from middle of element, Loadcase
3001 MAX-UX NODE , from -30.6 to 220.6 step 20.0 kN/m

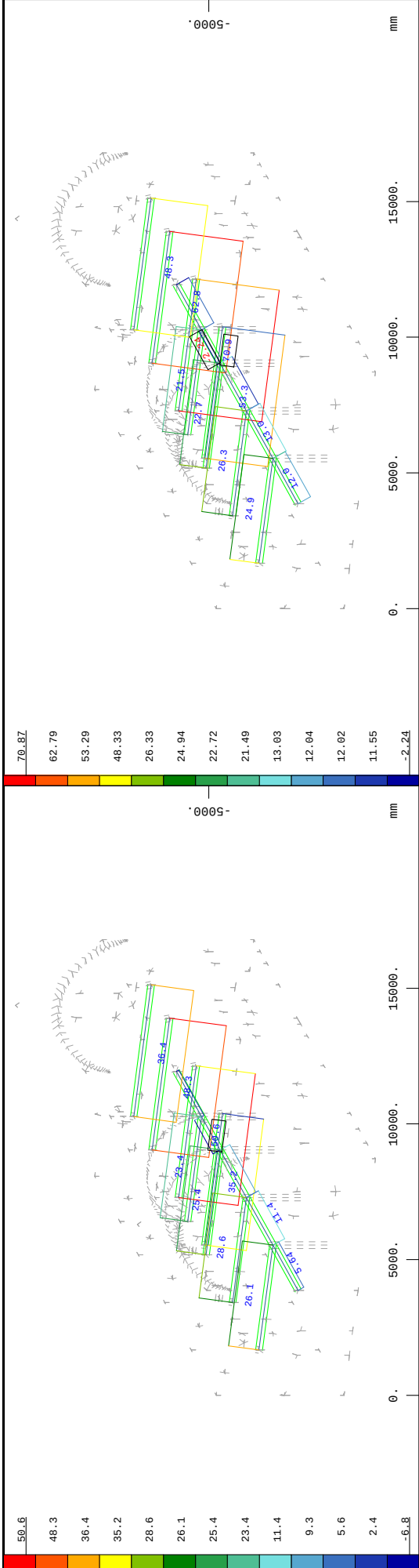












Sector of system Beam Elements Group 15

Beam Elements , Normal force Nx, Loadcase 1001 1.35*G+1.50*Q

1 cm 3D = 50.0 kN (Min=-6.77) (Max=50.6)

Sector of system Beam Elements Group 15

Beam Elements , Normal force Nx, Loadcase 3001 MAX-UX NODE ,

1 cm 3D = 50.0 kN (Min=-2.24) (Max=70.9)

