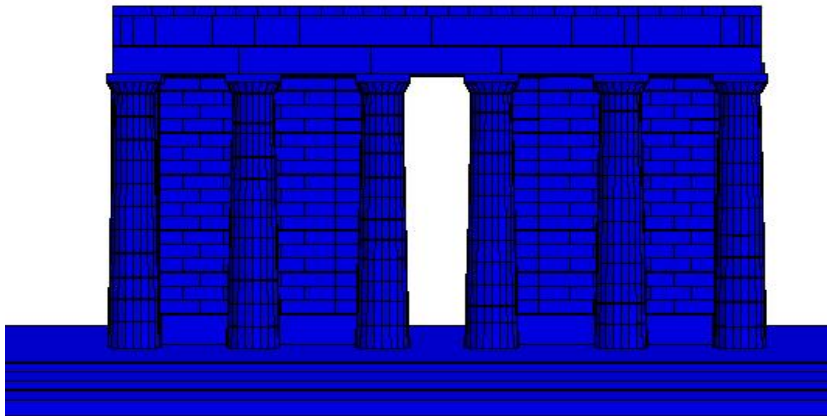




**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ**

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΤΟΥ ΟΠΙΣΘΟΝΑΟΥ ΤΟΥ
ΠΑΡΘΕΝΩΝΑ ΚΑΙ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΣΤΑ ΣΥΝΔΕΤΗΡΙΑ
ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ**



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΒΕΪΖΗ ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ : ΙΩΑΝΝΗΣ ΨΥΧΑΡΗΣ , ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2015



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ**

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΤΟΥ ΟΠΙΣΘΟΝΑΟΥ ΤΟΥ
ΠΑΡΘΕΝΩΝΑ ΚΑΙ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΣΤΑ ΣΥΝΔΕΤΗΡΙΑ
ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΒΕΪΖΗ ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ : ΙΩΑΝΝΗΣ ΨΥΧΑΡΗΣ , ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2015

Το περιεχόμενο της ανά χείρας διπλωματικής εργασίας αποτελεί προϊόν της δικής μου πνευματικής προσπάθειας. Η αναφορά, ενσωμάτωση υλικού τρίτων, δημοσιευμένου ή μη , γίνεται καλοπίστως με δόκιμη αναφορά στις πηγές, που δεν επιτρέπει ασάφειες ή παρερμηνείες.

Copyright © Βεΐζη Αικατερίνη, 2015

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσεως , υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης.

Ευχαριστίες...

Με την περάτωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές ευχαριστίες μου:

Στον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Ιωάννη Ψυχάρη για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα θέμα ιδιαίτερου ενδιαφέροντος, την πολύτιμη και αμέριστη βοήθεια του, καθώς και για όλες τις γνώσεις που μου μετέφερε καθόλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.

Στην κύρια Ελένη-Εύα Τουμπακάρη , πολιτικό μηχανικό στη Διεύθυνση Αναστήλωσης Μνημείων του Υπουργείου Πολιτισμού για την διάθεση του υλικού πάνω στο οποίο στηρίχτηκε η εργασία μου, καθώς και για τις χρήσιμες συμβουλές της .

Στους υποψήφιους διδάκτορες Αυγενάκη Ευάγγελο, Καλυβιώτη Ιωάννη, Καρδούτσου Βασιλική και Μανιατάκη Χαρίλαο για την βοήθεια και την συμπαράσταση τους καθόλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την στήριξη που μου παρείχε όλα αυτά τα χρόνια.

Περίληψη

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση της σεισμικής απόκρισης του Οπισθόναου του Παρθενώνα, αναλύοντας την κινηματική συμπεριφορά του υπό σεισμικές διεγέρσεις, καθώς και η εύρεση των αναπτυσσομένων εφελκυστικών και διατμητικών δυνάμεων των σύγχρονων συνδετηρίων από τιτάνιο που είναι τοποθετημένοι στην ανωδομή του ναού.

Στο πρώτο στάδιο της εργασίας έγινε η προσομοίωση της κιονοστοιχίας, της ανωδομής (θριγκού) και του τοίχου που περικλείει τον οπισθόναο, ενώ στο δεύτερο στάδιο προστέθηκαν στο προσομοίωμα οι σύγχρονοι σύνδεσμοι διατομής διπλού ταύ από τιτάνιο και οι γόμφοι τετραγωνικής διατομής. Το τελικό στάδιο περιλαμβάνει την διερεύνηση της κινηματικής συμπεριφοράς των μελών του φορέα, όταν αυτός υποβάλλεται σε μεγάλες σεισμικές διεγέρσεις, καθώς και την εύρεση μιας τάξης μεγέθους των αναπτυσσομένων σεισμικών εφελκυστικών και διατμητικών δυνάμεων των συνδετηρίων διπλού ταύ και των σεισμικών διατμητικών δυνάμεων των γόμφων.

Για την προσομοίωση και την ανάλυση του δομήματος χρησιμοποιήθηκε ο κώδικας διακριτών στοιχείων 3DEC (Itasca Consulting Group), ο οποίος έχει αποδειχθεί ότι δίνει αξιόπιστα αποτελέσματα για την συμπεριφορά σπονδυλωτών συστημάτων. Στην ανάλυση οι σπόνδυλοι προσομοιώνονται ως στερεά σώματα, ενώ τα συνδετήρια διπλού ταύ και οι γόμφοι προσομοιάζονται ως γραμμικά στοιχεία. Οι διαστάσεις των διατομών τους περιλαμβάνονται στις μηχανικές τους ιδιότητες.

Όσον αφορά την σεισμική φόρτιση χρησιμοποιήθηκαν οι σεισμικές καταγραφές του σεισμού της Αθήνας (1999) με συντελεστή προσαύξησης 3.5 και του σεισμού της Bisaccia (1980) με μειωτικό συντελεστή 0.9. Έγινε ανάλυση των καταγραφών και στα δύο γεωμετρικά μοντέλα ώστε να γίνει σύγκριση των τελικών αποτελεσμάτων. Σε όλες τις αναλύσεις εφαρμόστηκαν και οι τρεις συνιστώσεις των σεισμών.

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι αρχαίοι ναοί αντιστέκονται με μεγάλη επιτυχία ακόμη και σε σεισμούς με μεγάλες επιταχύνσεις και μικρή πιθανότητα να συμβούν, παρουσιάζοντας μικρές σχετικές οριζόντιες μετατοπίσεις, τόσο ως προς το έδαφος, όσο και σχετικές μετατοπίσεις μεταξύ των ιδίων των μελών.

Abstract

The purpose of this diploma thesis is the investigation of the seismic response of the Opisthonaos which is part of the Parthenon temple, and the axial and tensional forces of the structural elements of titanic that are located on the architraves.

For the analysis two simulations were modelled, the first that is the exact reproduction of the Parthenon Opisthonaos, and the second that includes also the titanium vertical dowels offering shear resistance and the clamps that link the architraves horizontally, offering both axial and shear resistance. The blocks were assumed to behave as rigid blocks, while the clamps as linear connections. The numerical analysis were performed with the code 3DEC, which is based in the Distinct Element Method (DEM). The reason that this method was selected was that it gives reliable results in the seismic response of classical monuments.

The seismic records used in the simulations were the following : Syntagma (1999) amplified 3.5 times and Bisaccia (1980) with the reduction factor 0.9. The analysis was applied in both simulations in order to compare the results. In each analysis, the three components of seismic action were applied.

The results show that the connections used in the reinforcement model are able to reduce in some cases the residual displacements. Also both earthquakes caused small relative displacements to the temple that proves that ancient monuments are outstanding even in strong ground motions, such as the seismic records that were applied in the analysis.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	i
Abstract	iii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	vii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	viii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	xii
1. ΤΟ ΔΟΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΟΥ ΠΑΡΘΕΝΩΝΑ.....	1
1.1 Ιστορικό πλαίσιο της κατασκευής του ναού	1
1.2 Το γενικό σχέδιο του ναού	3
1.3 Ανάλυση των δομικών στοιχείων του Παρθενώνα.....	5
1.3.1 Ο Στερεοβάτης	5
1.3.2 Η Κρηπίδα (κρηπίδωμα).....	7
1.3.3 Το Περισύλλιο	11
1.3.4 Ο Θριγκός.....	14
1.3.5 Η κρηπίδα του σηκού	20
1.3.6 Οι τοίχοι του σηκού.....	21
1.3.7 Ανάλυση του δομικού συστήματος του Πρόναου	24
1.3.8 Ανάλυση του δομικού συστήματος του Κυρίως ναού	25
1.3.9 Ανάλυση του δομικού συστήματος του Οπισθόδομου.....	27
1.3.10 Ανάλυση του δομικού συστήματος του Οπισθόναου	29
1.3.11 Ο Θριγκός του σηκού	30
1.3.12 Η Οροφή.....	32
1.3.13 Το Αέτωμα.....	35
1.3.14 Η Στέγη.....	39
2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ	42
2.1 Δυναμική συμπεριφορά σπονδυλωτών συστημάτων – λικνισμός και ολίσθηση .	42
2.2 Ιδιότητες υλικών.....	47
2.2.1 Αρχαία υλικά- Πεντελικό Μάρμαρο και σίδηρος	48
2.2.2 Σύγχρονα υλικά- Τιτάνιο και τσιμεντοκονίαμα.....	48
3 ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΟΥ ΦΟΡΕΑ	51
3.1 Επιλογή μεθόδου ανάλυσης.....	51
3.1.1 Περιγραφή του προγράμματος	52
3.1.2 Αξιοπιστία της μεθόδου ανάλυσης.....	63
3.2 Διαδικασία προσομοίωσης	65
3.2.1 Στάδια προσομοίωσης του δομήματος του οπισθόναου.....	68
3.2.2 Προσομοίωση της τοιχοποιίας	69
3.2.3 Προσομοίωση των συνδέσμων.....	75
4. ΕΠΙΛΟΓΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΜΗ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ	81

4.1	Μηχανικά χαρακτηριστικά υλικών	81
4.2	Συνοριακές συνθήκες	81
4.3	Σεισμοί Ελέγχου	81
4.3.1	Βασικά χαρακτηριστικά των σεισμών που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση	82
4.4	Επιλογή απόσβεσης.....	85
5	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΗ ΓΡΑΜΜΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ.....	86
5.1	Θέσεις παρακολούθησης	86
5.2	Σεισμός Αθήνας (1999).....	87
5.2.1	Ανάλυση σχετικών οριζοντίων μετακινήσεων ως προς το έδαφος κατά x και z.....	87
5.2.2	Ανάλυση σχετικών οριζοντίων μετατοπίσεων μεταξύ των δομικών μελών κατά x και z	92
5.2.3	Ανάλυση εφελκυστικών δυνάμεων των συνδέσμων διπλού ταυ	94
5.2.3	Ανάλυση διατμητικών δυνάμεων στους συνδέσμους διπλού ταυ	95
	ταυ και στους γόμφους	95
5.3	Σεισμός Bisaccia (1980).....	96
5.3.1	Ανάλυση σχετικών οριζοντίων μετακινήσεων ως προς το έδαφος κατά x και z.....	96
5.3.2	Ανάλυση σχετικών οριζοντίων μετατοπίσεων μεταξύ των δομικών μελών κατά x και z	100
5.3.2	Ανάλυση εφελκυστικών δυνάμεων των συνδέσμων διπλού ταυ.....	102
5.3.3	Ανάλυση διατμητικών δυνάμεων στους συνδέσμους διπλού ταυ και στους γόμφους	103
6	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	106
	ΑΝΑΦΟΡΕΣ	104
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1	107
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2	118
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3	142

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 3.1 Διαστάσεις εφελκυστικών συνδέσμων στα επισύγια	76
Πίνακας 3.2 Διαστάσεις εφελκυστικών συνδέσμων διπλού ταυ	76
Πίνακας 3.3 Διαστάσεις διατμητικών συνδέσμων (γόμφων)	77
Πίνακας 3.4 Μηχανικές ιδιότητες των συνδετηρίων	80
Πίνακας 4.1 Βασικά χαρακτηριστικά των σεισμών που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση.....	83
Πίνακας 4.2 Χαρακτηριστικά των σεισμών με τους συντελεστές που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση.....	83
Πίνακας 5.1 Χρονοϊστορίες σχετικών ως προς το έδαφος μετακινήσεων κατά x	87
Πίνακας 5.2 Χρονοϊστορίες σχετικών ως προς το έδαφος μετακινήσεων κατά z.....	89
Πίνακας 5.3 Σχετική μετακίνηση σημείου στο επίπεδο των θράνων σε σχέση με το υποκείμενο μέλος του στο επισύγιο κατά x.....	92
Πίνακας 5.4 Σχετική μετακίνηση σημείου στο επίπεδο των θράνων σε σχέση με το υποκείμενο μέλος του στο επισύγιο κατά z	93
Πίνακας 5.5 Χρονοϊστορίες εφελκυστικών δυνάμεων των συνδετηρίων διπλού ταυ	94
Πίνακας 5.6 Χρονοϊστορίες διατμητικών δυνάμεων.....	95
Πίνακας 5.7 Χρονοϊστορίες σχετικών ως προς το έδαφος οριζοντίων μετακινήσεων κατά x... 96	
Πίνακας 5.8 Χρονοϊστορίες σχετικών ως προς το έδαφος οριζοντίων μετακινήσεων κατά z.... 98	
Πίνακας 5.9 Χρονοϊστορίες σχετικών οριζοντίων μετατοπίσεων μεταξύ των μελών κατά x για τον σεισμό της Bisaccia.....	100
Πίνακας 5.10 Χρονοϊστορίες σχετικών οριζοντίων μετατοπίσεων μεταξύ των μελών κατά z για τον σεισμό της Bisaccia.....	101
Πίνακας 5.11 Χρονοϊστορίες εφελκυστικών δυνάμεων συνδετηρίων διπλού ταυ για τον σεισμό της Bisaccia	102
Πίνακας 5.12 Χρονοϊστορίες διατμητικών δυνάμεων στον σεισμό της Bisaccia	103

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.2 Προοπτική αναπαράσταση του Παρθενώνα από βορειοδυτικά. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α.Κ Ορλάνδος, 1950-1952).....	2
Εικόνα 1.3 Κάτοψη του αρχαιότερου Παρθενώνα. (Μ. Κορρες)	3
Εικόνα 1.4 Κάτοψη του Περίκλειου Παρθενώνα : I-Πρόναος, ΙΙ-Κύριος ναός, ΙΙΙ-Οπισθόδομος, ΙV-Οπισθόναος. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α. Κ. Ορλάνδος, 1950-1952)	4
Εικόνα 1.5 Συγκριτική παράσταση της κάτοψης του αρχαιότερου (ΑΒΓΔ) προς τον νεότερο Παρθενώνα (ΕΖΗΘ). (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α. Κ. Ορλάνδος, 1950-1952)	6
Εικόνα 1.6 Άποψη της νότιας πλευράς του στερεοβάτη του αρχαιότερου Παρθενώνα στον οποίο εδράζεται και ο νεότερος Παρθενών. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α. Κ. Ορλάνδος, 1950-1952).....	6
Εικόνα 1.7 Προοπτική αναπαράσταση του Παρθενώνα από τη βορειοανατολική όψη.....	7
Εικόνα 1.8 Άποψη της βορειοανατολικής γωνίας της κρηπίδας του Παρθενώνα. (Η αρχιτεκτονική Παρθενώνος, Α. Κ. Ορλάνδος, 1950-1952).....	8
Εικόνα 1.9 Τμήμα της κρηπίδας το οποίο εμφανίζει σύνδεσμο διπλού ταυ για την σύνδεση των λίθων της ευθυντηρίας. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α. Κ. Ορλάνδος, 1950-1952)	9
Εικόνα 1.10 Αναπαράσταση των τριών κινητών βαθμίδων ανόδου κατά το μέσω μετακίονο των στενών πλευρών του Παρθενώνα. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α. Κ. Ορλάνδος, 1950-1952).....	9
Εικόνα 1.11 Η βορειοανατολική γωνία της κρηπίδας. Ανατολική όψη. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α. Κ. Ορλάνδος, 1950-1952).....	10
Εικόνα 1.12 Κάτοψη του πρώτου αναβαθμού της βορειοανατολικής γωνίας στην οποία είναι εμφανής οι σύνδεσμοι σχήματος διπλού ταυ, με τους οποίους συνδέονται οι λίθοι μεταξύ τους. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α. Κ. Ορλάνδος, 1950-1952)	10
Εικόνα 1.13 Κάτοψη του μασχαλαίου λίθου του πρώτου αναβαθμού της νοτιοανατολικής γωνίας στην οποία είναι εμφανείς οι σύνδεσμοι του με τους όπισθεν λίθους. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α.Κ . Ορλάνδος, 1950-1952).....	11
Εικόνα 1.14 Σχεδιαστική αναπαράσταση και φωτογραφία των λαξευμένων δακτυλίων της έδρας ενός σπονδίου. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α. Κ.Ορλάνδος, 1950-1952)	12
Εικόνα 1.15 Ξύλινοι πόλοι και εμπόλια. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α. Κ. Ορλάνδος, 1950-1952).....	13
Εικόνα 1.16 Σχεδιαστική αναπαράσταση και φωτογραφία ενός κιονοκράνου του Παρθενώνα. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α. Κ. Ορλάνδος, 1950-1952).....	13
Εικόνα 1.17 (α) Προοπτική άποψη μιας γωνίας του θριγκού και του αετώματος, (β) κατακόρυφη τομή του εξωτερικού επιστυλίου και των αντιθυμάτων του. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α. Κ . Ορλάνδος, 1950-1952).....	15
Εικόνα 1.18 Νότια όψη επιστυλίων ΟΕ2.2 και ΟΕ2.3 με εμφανή των μηχανισμό αστοχίας (φωτ. Ε.-Ε.Τουμπακάρη, από Μελέτη αποκαταστάσεως Οπισθονάου, τ.ΙΙ : Τεκμηρίωση & ποιοτική ερμηνεία βλαβών, ΥΣΜΑ (δακτυλογράφη), (2007α)	16
Εικόνα 1.19 Μετακίονιο 3(ΟΕ3.1-3.3) κατά την ανασύλωση (φωτ. Ε.-Ε.Τουμπακάρη). Είναι εμφανής ο τρόπος σύνδεσης των επιστυλίων στην άνω έδρα τους κατά την διαμήκη και την εγκάρσια διεύθυνση με χρήση συνδέσμων διπλού ταυ.....	16
Εικόνα 1.20 (α) Προοπτική αναπαράσταση της τριγλύφου και των μετοπών της ζωφόρου του θριγκού και του τρόπου σύνδεσής τους, (β) πάνω: οριζόντια τομή ενδιάμεσης τριγλύφου και μετόπης, κάτω: οριζόντια τομή γωνιακής τριγλύφου.....	17

Εικόνα 1.21 Κατακόρυφη τομή στο επίπεδο της μετόπης ώστε να είναι εμφανείς οι δύο στρώσεις των αντιθημάτων(A,B). (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α. Κ. Ορλάνδος, 1950-1952).....	17
Εικόνα 1.22 Σύνδεση τριγλύφων, μετοπών και αντιθημάτων σε οριζόντια τομή. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α. Κ. Ορλάνδος, 1950-1952)	18
Εικόνα 1.23 Εγκάρσια τομή του γείσου. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α. Κ. Ορλάνδος, 1950-1952).....	18
Εικόνα 1.24 Προοπτική άποψη γωνιακού γείσου. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α. Κ. Ορλάνδος).....	19
Εικόνα 1.25 Κάτοψη των γωνιακών γείσων της νοτιανατολικής και βορειοδυτικής γωνίας και κατακόρυφες τομές σε διάφορα σημεία τους. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α. Κ. Ορλάνδος, 1950-1952)	19
Εικόνα 1.26 Μασχαλιαίος θρανός των γωνιών του πτερού. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α.Κ. Ορλάνδος)	20
Εικόνα 1.27 (α) Τομή της κρηπίδας του σηκού και του στρώματος του πτερού, (β) σχέδιο συνδέσμων σχήματος διπλού ταυ. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α.Κ. Ορλάνδος, 1950-1952).....	20
Εικόνα 1.28 (α) Σύνθεση των διαμήκων τοίχων του σηκού, (β) σύνθεση του εγκάρσιου ενδιάμεσου τοίχου του σηκού και η σύνδεση του με τον διαμήκη νότιο τοίχο. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α.Κ. Ορλάνδος, 1950-1952).....	22
Εικόνα 1.29 Σύνθεση του εγκάρσιου θυραίου τοίχου του σηκού και η σύνδεση του με τον διαμήκη νότιο τοίχο. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α.Κ. Ορλάνδος, 1950-1952).....	23
Εικόνα 1.30 Γόμφοι, παραγόμεφοι και αμφιγόμεφοι. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α.Κ. Ορλάνδος, 1950-1952)	24
Εικόνα 1.31 Προοπτική, κατακόρυφη τομή στον Πρόναο. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α.Κ. Ορλάνδος, 1950-1952)	24
Εικόνα 1.32 Διαστάσεις και αναλογίες των εσωτερικών κίωνων του κυρίως ναού. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α.Κ. Ορλάνδος, 1950-1952)	26
Εικόνα 1.33 Κάτοψη του Κύριου ναού μετά του εσωτερικού τρίπλευρου περιστυλίου σχήματος Π και του βάθρου του αγάλματος. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α.Κ. Ορλάνδος, 1950-1952).....	26
Εικόνα 1.34 Προοπτική αναπαράσταση του οπισθόδομου από βορειοδυτικά. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α.Κ. Ορλάνδος, 1950-1952).....	27
Εικόνα 1.35 Όψη,(α) και κατά μήκος τομή (β) της δυτικής θύρας του οπισθόδομου. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α.Κ. Ορλάνδος, 1950-1952)	28
Εικόνα 1.36 (α) Προοπτική αναπαράσταση της νοτιοδυτικής γωνίας του οπισθόναου μετά τμήματος του νοτίου περιστυλίου, (β) κάτοψη του οπισθόναου. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α. Κ. Ορλάνδος, 1950-1952).....	30
Εικόνα 1.37 (α) Κατά πλάος τομή στα επιστύλια της δυτικής προστάσεως, (β) σύνδεση των επιστυλίων με συνδέσμους σχήματος διπλού ταυ. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α.Κ. Ορλάνδος, 1950-1952)	31
Εικόνα 1.38 Κατά πλάτος τομή στο θριγκό της δυτικής προστάσεως. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α.Κ. Ορλάνδος, 1950-1952)	32

Εικόνα 1.39 Άνοψη των φατνωματικών οροφών του Α: πτερού μακρών πλευρών, Β: πτερού στενών πλευρών, Γ : οπισθόναου. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α. Κ. Ορλάνδος, 1950-1952).....	33
Εικόνα 1.40 Προοπτική τομή των οροφών του βόρειου μακρού πτερού και του οπισθόναου. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α. Κ. Ορλάνδος, 1950-1952).....	33
Εικόνα 1.41 Φωτογραφία των δοκών της οροφής της στενής πλευράς του πτερού, (β) Προοπτική άποψη και κατακόρυφη τομή μιας δοκού της οροφής του δυτικού πτερού, (γ) τρόπος σύνδεσης της δοκού με τα ημιδόκια. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α.Κ. Ορλάνδος, 1950-1952)	34
Εικόνα 1.42 Υποθετική αναπαράσταση της ξύλινης οροφής του κυρίως ναού και του οπισθόδομου. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α.Κ. Ορλάνδος, 1950-1952)	35
Εικόνα 1.43 Κάτοψη και οριζόντια τομή στο επίπεδο της βάσης των αετωμάτων. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α. Κ. Ορλάνδος, 1950-1952)	36
Εικόνα 1.44 Αξονομετρική ακι κατακόρυφη τομή του μέσου ορθοστάτη και του αντιθηματικού τοίχου. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α. Κ. Ορλάνδος, 1950-1952).....	37
Εικόνα 1.45 Κατακόρυφη τομή καταετίου γείσου. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α.Κ. Ορλάνδος, 1950-1952)	37
Εικόνα 1.46 (α) Εσωτερική άποψη των επαετίδων του δυτικού αετώματος, (β) κατακόρυφη τομή της επαετίδας. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α.Κ Ορλάνδος, 1950-1952).....	38
Εικόνα 1.47 Τομή, κάτοψη και αξονομετρική παράσταση του κεκλιμένου βάρου και της βάσης του ΝΔ ακρωτηρίου. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α.Κ. Ορλάνδος, 1950-1952) ..	38
Εικόνα 1.48 Εξωτερική όψη του δυτικού αετώματος. Με τους αριθμούς 1-7 συμβολίζονται οι δοκοθήκες που είναι λαξευμένες στο αέτωμα. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α.Κ. Ορλάνδος, 1950-1952)	39
Εικόνα 1.49 Διάταξη των δοκών της στέγης σε σχέση με την κάτοψη του μνημείου. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α. Κ. Ορλάνδος, 1950-1952)	40
Εικόνα 1.50 Κατά πλάτος τομή της στέγασης του κυρίως ναού με ζευκτά αποτελούμενα από τρεις ορθοστάτες. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α.Κ. Ορλάνδος, 1950-1952)	40
Εικόνα 1.51 Τρόπος στήριξης της κορυφαίας δικού στον χώρο του κυρίως ναού με χρήση ορθοστατών με λοξές αντηρίδες. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α. Κ. Ορλάνδος, 1950-1952).....	41
Εικόνα 2.1 Λικνιζόμενο σώμα για (α) θετική και (β) αρνητική γωνία στροφής.....	44
Εικόνα 2.2 Εφελκυστικός σύνδεσμος από τιτάνιο	49
Εικόνα 2.3 Κάλυψη εντορμίας συνδέσμου με κονίαμα	50
Εικόνα 3.1 Τέσσερεις μορφές λικνισμού συστήματος 2 σωμάτων.....	51
Εικόνα 3.2 Κοινό πεδίο C μεταξύ δύο σωμάτων Α και Β.....	54
Εικόνα 3.3 Παραδείγματα κοινού πεδίου μεταξύ δύο σωμάτων	55
Εικόνα 3.4 Κύκλος υπολογισμού της μεθόδου των διακριτών στοιχείων [Itasca (1998)]	55
Εικόνα 3.5 Αξονική και διατμητική συμπεριφορά συνδέσμου	61
Εικόνα 3.6 Λόγος απόσβεσης ιδιομορφής i	62
Εικόνα 3.7 Σύγκριση αποτελεσμάτων 3DEC με πειραματικά δεδομένα για το σεισμό της Καλαμάτας και μηδενική απόσβεση : (α) διαμήκης διεύθυνση, (β) εγκάρσια διεύθυνση, (γ) κατακόρυφη διεύθυνση [Papantonopoulos et al (2002)]	64
Εικόνα 3.8 Κιονοστοιχία του Οπισθόναου του Παρθενώνα. (Ε.-Ε. Τουμπακάρη & Θ. Μαρίνης)	65

Εικόνα 3.9 Η ανωδομή του Οπισθόναου του Παρθενώνα (Ε.-Ε. Τουμπακάρη & Θ. Μαρίνης).	66
Εικόνα 3.10 Κωδικοί αρχιτεκτονικών μελών θριγκού Οπισθόναου.....	67
Εικόνα 3.11 Τυπική μορφή σπονδύλου που χρησιμοποιήθηκε στο προσομοίωμα.....	68
Εικόνα 3.12 Προσομοίωση της κιονοστοιχίας και της ανωδομής	68
Εικόνα 3.13 Προσομοίωση της πρώτης στρώσεις των παραστάδων και των ορθοστατών	70
Εικόνα 3.14 Προσομοίωση των υπολοίπων στρώσεων του τοίχου	71
Εικόνα 3.15 Δημιουργία αρμών στους παραστάδες.....	71
Εικόνα 3.16 Κατασκευή 18 ^{ης} και 19 ^{ης} στρώσης, δημιουργία αρμών στον βόρειο και νότιο τοίχο	72
Εικόνα 3.17 Προσομοίωση των 17 στρώσεων των παραστάδων και ορθοστατών.....	72
Εικόνα 3.18 Ολοκληρωμένο προσομοίωμα του δομήματος του οπισθόναου.....	73
Εικόνα 3.19 Απλοποιημένο προσομοίωμα της τοιχοποιίας	73
Εικόνα 3.20 Απλοποιημένο γεωμετρικό προσομοίωμα του Οπισθόναου	74
Εικόνα 3.21 Σύνδεση των δοκών της αναδομής με την τοιχοποιία.....	74
Εικόνα 3.22 Σύνδεσμοι στο επίπεδο των επιστυλίων	75
Εικόνα 3.23 Σύνδεσμοι στο επίπεδο της ζωφόρου και των αντιθημάτων.....	75
Εικόνα 3.24 Σύνδεσμοι στο επίπεδο των θράνων.....	76
Εικόνα 3.25 Μολυβδοχόηση σε εντορμία λίθου.....	77
Εικόνα 3.26 Σύνδεσμοι και εντορμίες διάτονου λίθου	78
Εικόνα 4.1 Επιταχυνσιογραφήματα του σεισμού της Αθήνας (1999) κατά της τρεις διευθύνσεις, x,y,z αντίστοιχα.....	84
Εικόνα 4.2 Επιταχυνσιογραφήματα του σεισμού της Bisaccia κατά τις 3 διευθύνσεις x,y,z αντίστοιχα.....	84
Εικόνα 5.1 Μέλοι παρακολούθησης της κινηματικής συμπεριφοράς.....	86

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

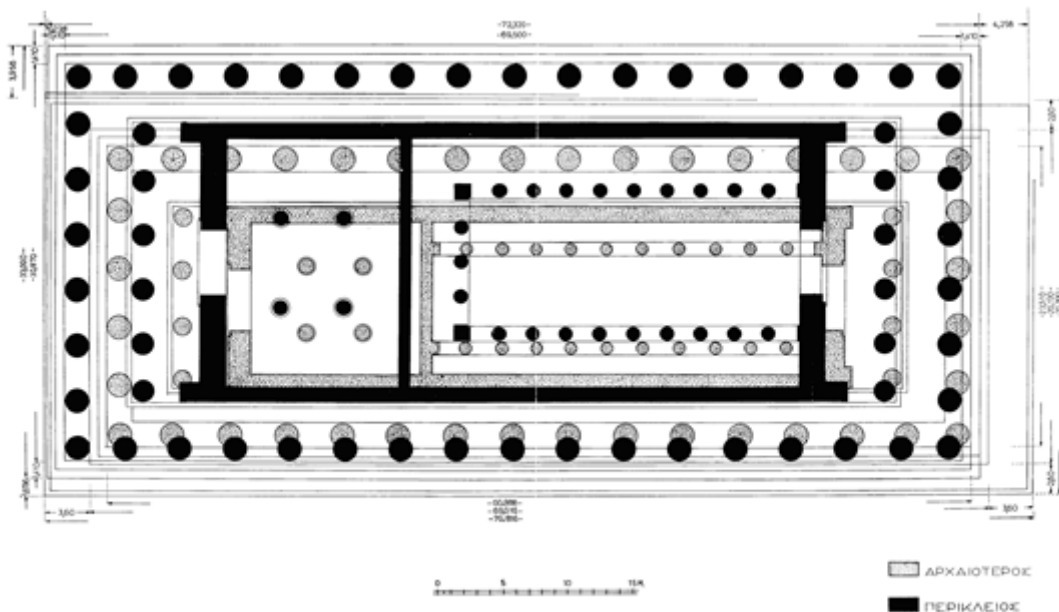
Σχήμα 5.1 Χρονοϊστορία σχετικής οριζόντιας μετατόπισης σημείου στο επίπεδο των κionoκράνων κατά x	87
Σχήμα 5.2 Χρονοϊστορία σχετικής οριζόντιας μετατόπισης σημείου στο επίπεδο των επιστυλίων κατά x	88
Σχήμα 5.3 Χρονοϊστορία σχετικών ως προς το έδαφος μετακινήσεων στο επίπεδο της ζωφόρου κατά x	89
Σχήμα 5.4 Χρονοϊστορία σχετικής οριζόντιας μετατόπισης σημείου στο επίπεδο των κionoκράνων κατά z	90
Σχήμα 5.5 Χρονοϊστορία σχετικής οριζόντιας μετατόπισης σημείου στο επίπεδο των επιστυλίων κατά z	91
Σχήμα 5.6 Χρονοϊστορία σχετικών ως προς το έδαφος μετακινήσεων στο επίπεδο της ζωφόρου κατά z	91
Σχήμα 5.7 Χρονοϊστορία σχετικής μετακίνησης σημείου στο επίπεδο των θράνων σε σχέση με το υποκείμενο μέλος του στο επιστύλιο κατά x	92
Σχήμα 5.8 Χρονοϊστορία σχετικής μετακίνησης σημείου στο επίπεδο των θράνων σε σχέση με το υποκείμενο μέλος του στο επιστύλιο κατά z	93
Σχήμα 5.9 Χρονοϊστορία εφελκυστικών δυνάμεων συνδέσμου στο επίπεδο των θράνων	94
Σχήμα 5.10 Χρονοϊστορία εφελκυστικών δυνάμεων συνδέσμου στο επίπεδο των θράνων	95
Σχήμα 5.11 Χρονοϊστορία διατμητικής δύναμης συνδέσμου διπλού ταυ στο επίπεδο της ζωφόρου	95
Σχήμα 5.12 Χρονοϊστορία διατμητικής δύναμης γόμφου στο επίπεδο της ζωφόρου	96
Σχήμα 5.13 Χρονοϊστορία σχετικής ως προς το έδαφος μετακίνησης σημείου στο επίπεδο επαφής κionoκράνου και επιστυλίων κατά x	97
Σχήμα 5.14 Χρονοϊστορία σχετικής ως προς το έδαφος μετακίνησης σημείου στο επίπεδο επαφής επιστυλίου με το επίπεδο της ζωφόρου κατά x	97
Σχήμα 5.15 Χρονοϊστορία σχετικής ως προς το έδαφος μετακίνησης σημείο στην εσωτερική πλευρά του ναού κατά x	98
Σχήμα 5.16 Χρονοϊστορία σχετικής ως προς το έδαφος μετακίνησης σημείου στο επίπεδο επαφής επιστυλίου με το επίπεδο της ζωφόρου κατά z	99
Σχήμα 5.17 Χρονοϊστορία σχετικής ως προς το έδαφος μετακίνησης σημείο στην εσωτερική πλευρά του ναού κατά z	99
Σχήμα 5.18 Χρονοϊστορία σχετικής μετακίνησης ενός μέλους στο επίπεδο των θράνων σε σχέση με το υποκείμενο του στο επίπεδο των επιστυλίων κατά x	101
Σχήμα 5.19 Χρονοϊστορία σχετικής μετακίνησης ενός μέλους στο επίπεδο των θράνων σε σχέση με το υποκείμενο του στο επίπεδο των επιστυλίων κατά z	101
Σχήμα 5.20 Χρονοϊστορία εφελκυστικών δυνάμεων συνδέσμου διπλού ταυ στο επίπεδο των θράνων	102
Σχήμα 5.21 Χρονοϊστορία εφελκυστικών δυνάμεων συνδέσμου διπλού ταυ στο επίπεδο των θράνων	103
Σχήμα 5.22 Χρονοϊστορία διατμητικών δυνάμεων συνδέσμου διπλού ταυ στο επίπεδο των αντιθημάτων.....	104

Σχήμα 5.23 Χρονοϊστορία διατμητικών δυνάμεων συνδέσμου διπλού ταυ στο επίπεδο της ζωφόρου	104
Σχήμα 5.24 Χρονοϊστορία διατμητικών δυνάμεων γόμφου στο επίπεδο της ζωφόρου	105

1. ΤΟ ΔΟΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΟΥ ΠΑΡΘΕΝΩΝΑ

1.1 Ιστορικό πλαίσιο της κατασκευής του ναού

Ο Περικλείος Παρθενών (III), ο οποίος έχει διασωθεί μέχρι τις μέρες μας, διαδέχθηκε άλλους ναούς που έστεκαν στην ίδια περίπου θέση. Το 488 ή μετά το 479 π.Χ., χρησιμοποιώντας τα λάφυρα από τη νίκη στη μάχη του Μαραθώνα (490 π.Χ.), άρχισε να κατασκευάζεται ο αρχαιότερος Παρθενών (I – II, Εικόνα 1.1) ο οποίος όμως έμεινε ημιτελής λόγω της δεύτερης εισβολής των Περσών υπό τον Μαρδόνιο κατά την οποία τα ιερά της Ακροπόλεως παραδόθηκαν στις φλόγες και κατεδαφίστηκαν. Η κατασκευή του ναού είχε προχωρήσει μέχρι το ύψος του τρίτου σπονδύλου. Λόγω αυτού του γεγονότος, αλλά και της γενικά αναταραγμένης εποχής που ακολούθησαν τα Μηδικά, οι εργασίες ανέγερσης του Παρθενώνα (I – II) όχι μόνο δεν συνεχίστηκαν αλλά παρουσίασαν οπισθοδρόμηση, αφού οι περισσότεροι λίθοι της κρηπίδας¹ του ανεγειρόμενου ναού καθώς και οι μαρμαρίνοι σπόνδυλοι² των κίωνων χρησιμοποιήθηκαν κατά την ανέγερση του βόρειου τοίχους της Ακροπόλεως επί Θεμιστοκλή.



Εικόνα 1.1 Κάτοψη του Περικλείου Παρθενώνα σε σχέση με τον Αρχαιότερο

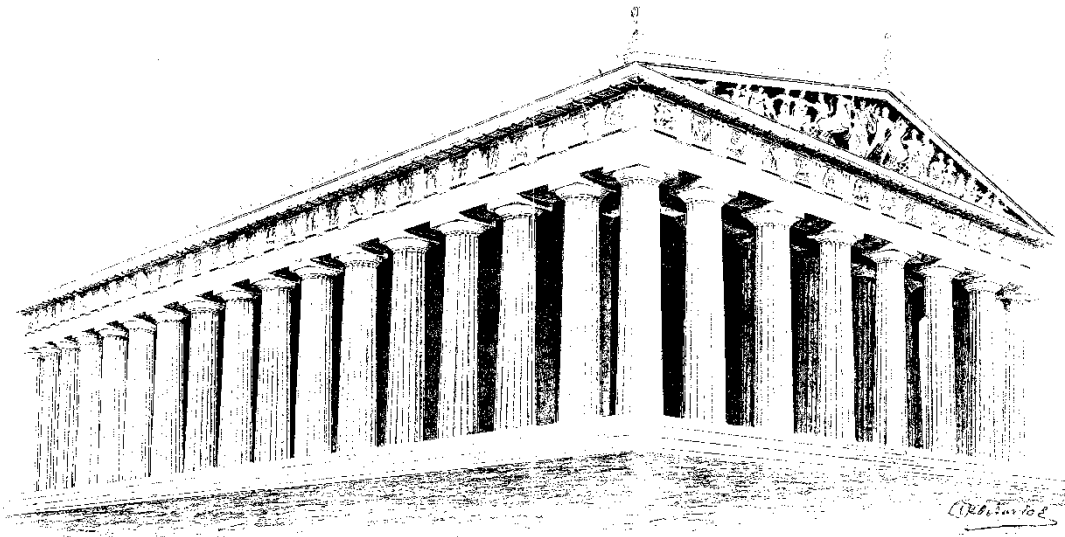
¹ Κρηπίδα = Θεμέλιο ή θεμέλια και ίδια βάση οικοδομήματος (ναού, βωμού, οικίας, τείχους κλπ). (Λεξικόν Αρχαίων Αρχιτεκτονικών Όρων, Α. Κ. Ορλάνδος, Ι. Ν. Τραυλός, 1986)

² Σπόνδυλος = Κυλινδρικό τεμάχιο του κίονα. (Λεξικόν Αρχαίων Αρχιτεκτονικών Όρων, Α. Κ. Ορλάνδος, Ι. Ν. Τραυλός, 1986)

Ο ναός παρέμεινε σε αυτή την κατάσταση μέχρι την αρχή της ηγεσίας του Κίμωνα, ο οποίος συνέχισε την κατασκευή του μεταξύ των ετών 468 – 465 π.Χ με αρχιτέκτονα τον Καλλικράτη, συνεχίζοντας το παλιό σχέδιο του ναού. Η κατασκευή του ναού σταμάτησε εκ νέου το 450 π.Χ με τον θάνατο του Κίμωνα και την άνοδο στην εξουσία του πολιτικού του αντιπάλου, Περικλή.

Ο Περικλής, έχοντας τερματίσει το 448 π.Χ με ειρήνη τον μακροχρόνιο πόλεμο με τους Πέρσες και εξασφαλίζοντας χρήματα από τους συμμάχους, αποφάσισε να μην συνεχιστεί η κατασκευή του ναού με βάση τα παλιά σχέδια, αλλά να ανεγερθεί ένας καινούργιος, μεγαλύτερος και εκσυγχρονισμένος ναός, αφιερωμένος στην Θεά Αθηνά ο οποίος θα αποτελούσε δείγμα της ισχύος της πόλης των Αθηνών. Για την εκτέλεση του έργου αυτού, ο Περικλής επέλεξε τον επιφανέστερο των συγχρόνων αρχιτεκτόνων, τον Ικτίνο, και για συνεργάτη του όρισε τον διάσημο γλύπτη και φίλο του, Φειδία. Ο ρόλος του Φειδία ήταν ως γενικός επόπτης όλων των εργασιών που εκτελούνταν στο ναό, δεδομένου ότι εκτός από τις γλυπτικές του ικανότητες, ο Φειδίας ήταν γνωστός και για τις αρχιτεκτονικές του γνώσεις.

Στην Εικόνα 1.2 δίνεται μια προοπτική αναπαράσταση του ναού από βορειοδυτικά κατά τον Αναστάσιο Κ. Ορλάνδο.

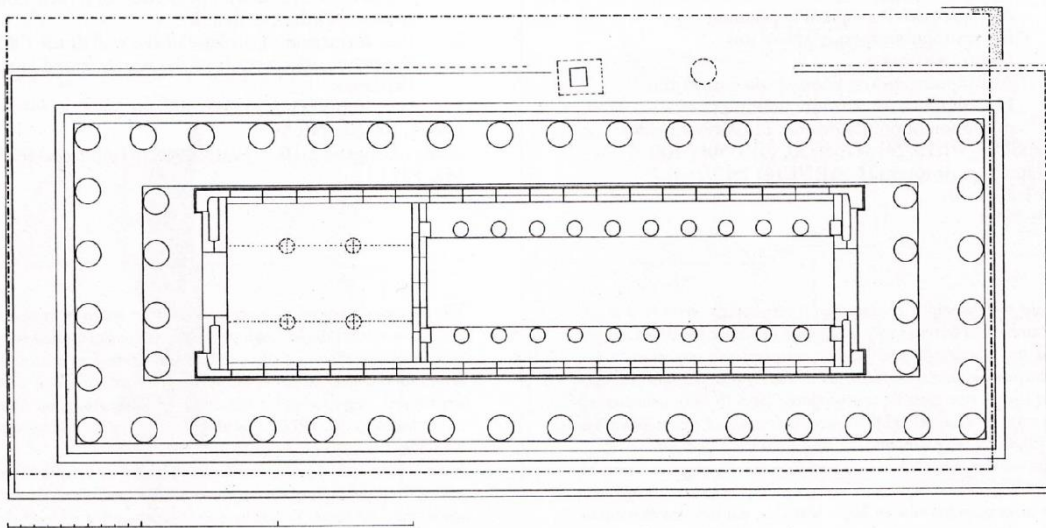


Εικόνα 1.2 Προοπτική αναπαράσταση του Παρθενώνα από βορειοδυτικά. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α.Κ Ορλάνδος, 1950-1952)

Όσον αφορά στο ρόλο του Καλλικράτη, ο οποίος φέρεται συνήθως ως συνεργάτης του Ικτίνου, κατά την κατασκευή του Παρθενώνα φαίνεται ότι εκτελούσε χρέη υπαρχηγού ή εργοδηγού. Από το σημείο αυτό και έπειτα, όταν αναφέρεται η λέξη Παρθενών, εννοούμε τον Περικλείο Παρθενώνα (III)³. Η κατασκευή του ναού ξεκίνησε το 447 π.Χ και ολοκληρώθηκε το 432 π.Χ, ταυτόχρονα με την έναρξη του Πελοποννησιακού πολέμου. Το καθαυτό όμως οικοδομικό έργο ολοκληρώθηκε το 438 π.Χ, μόλις εννέα έτη μετά την έναρξη των εργασιών. Το χρονικό διάστημα που μεσολάβησε μεταξύ του 438 - 432 π.Χ ήταν ο χρόνος που απαιτήθηκε για την τοποθέτηση των γλυπτών μέσα στα αετώματα. Λαμβάνοντας υπόψη το μέγεθος και την εξαιρετική ποιότητα κατασκευής του μνημείου, ο Παρθενών αποτελεί θαύμα οικοδομικής ταχύτητας.

1.2 Το γενικό σχέδιο του ναού

Μελετώντας τις κατόψεις που δίνονται στις Εικόνες 1.3 – 1.4 διαπιστώνουμε ότι ο Παρθενών (III), όπως και ο αρχαιότερος Παρθενών (I και II), ήταν περίπτερος ναός. Ως περίπτερος, ορίζουμε τους ναούς στους οποίους ο εσωτερικός ορθογώνιος πυρήνας τους (σηκός) περιβάλλεται από κιονοστοιχία. Ο σηκός του Παρθενώνα είχε τη μορφή αμφιπρόστυλου⁴ ναού, μιμούμενος ιωνικά πρότυπα, έχοντας σε καθεμία από τις στενές πλευρές του ορθογώνιου σηκού μια ανοιχτή στοιά. Ο σηκός του Παρθενώνα χωριζόταν σε τέσσερις μικρότερους χώρους (Εικόνα 1.3):

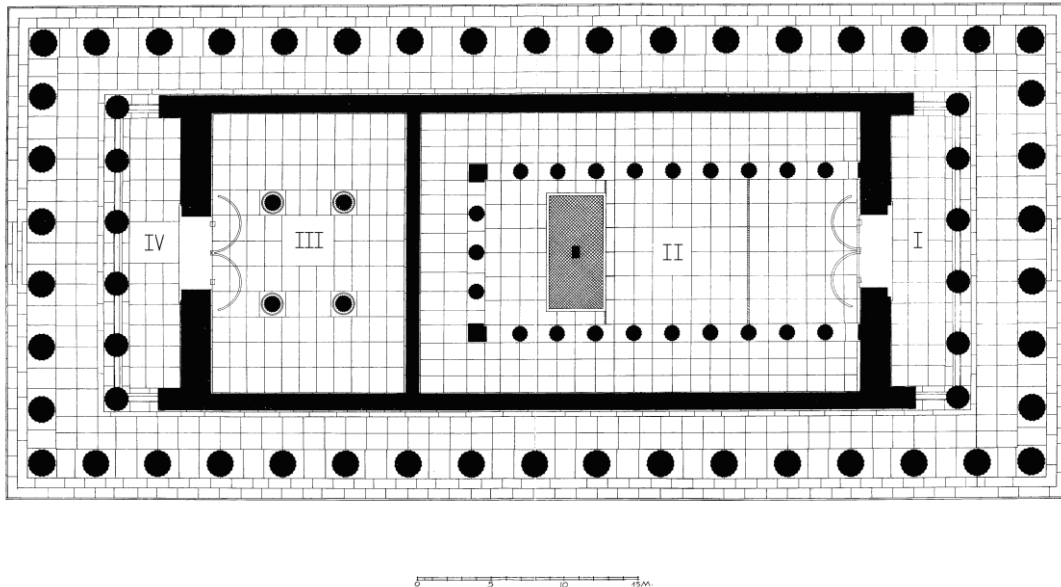


Εικόνα 1.3 Κάτοψη του αρχαιότερου Παρθενώνα. (Μ. Κορρες)

³ Συχνά αναφέρεται και σαν Ικτίνειος Παρθενώνας

⁴ Αμφιπρόστυλος = ο ναός που φέρει κιονοστοιχία και αέτωμα κατά μήκος των στενών του πλευρών και μόνο, (Λεξικόν Αρχαίων Αρχιτεκτονικών Όρων, Α. Κ. Ορλάνδος, Ι. Ν. Τραυλός, 1986)

- **Στον πρόναο (I)**, ο οποίος ήταν πρόστυλος προθάλαμος.
- **Στον κυρίως ναό (II)**, ο οποίος ήταν ορθογωνικού σχήματος και είχε κατεύθυνση προς την ανατολή.
- **Στον οπισθόδομο (III)**, ο οποίος είχε τετραγωνική κάτοψη και ήταν προσανατολισμένος προς τη δύση.
- **Στον οπισθόναο (IV)**, ο οποίος ήταν και αυτός πρόστυλος προθάλαμος όπως και ο πρόναος



Εικόνα 1.4 Κάτοψη του Παρθενώνα : I-Πρόναος, II-Κύριος ναός, III-Οπισθόδομος, IV-Οπισθόναος. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α. Κ. Ορλάνδος, 1950-1952)

Ενώ στον κύριο ναό του αρχαιότερου Παρθενώνα (II) υπήρχαν μόνο δύο κιονοστοιχίες, παράλληλες στην μεγαλύτερη πλευρά του χώρου, που τον χώριζαν σε τρία στενά μέρη, στον κύριο ναό του Ικτινείου Παρθενώνα (III) προστέθηκε και τρίτη κιονοστοιχία παράλληλη προς την στενή δυτική πλευρά του χώρου. Κατά αυτόν τον τρόπο δημιουργήθηκε ένας εσωτερικός διάδρομος σχήματος II γύρω από τον άγαλμα της Θεάς Αθηνάς που βρισκόταν εγκατεστημένο στον χώρο αυτό. Ο Παρθενώνας κατασκευάστηκε λιγότερο επιμήκης, αλλά περισσότερο πλατύς από τον αρχαιότερο ναό, διότι υπήρχε η ανάγκη διαπλάτυνσης του σηκού ώστε να είναι εφικτή η αισθητικά άρτια τοποθέτηση του φιλοτεχνημένου από τον Φειδία⁵ χρυσελεφάντινου αγάλματος της Θεάς Αθηνάς στο χώρο αυτό. Αυτό το γεγονός κατέστησε τον Παρθενώνα ως τον μοναδικό δωρικό ναό του 5^{ου} αιώνα όπου το πλάτος του πλαγίου πτερού ήταν τόσο στενό σε σχέση με το πλάτος του σηκού. Η αύξηση του πλάτους του σηκού επέφερε τις ακόλουθες αλλαγές στην κάτοψη του ναού:

⁵ Πρέπει να θεωρηθεί βέβαιο ότι με την αύξηση του πλάτους του σηκού, ο Φειδίας φρόντισε να μην επαναληφθεί το αισθητικό λάθος που είχε συμβεί κατά την κατασκευή του ναού του Διός στην Ολυμπία, όπου το χρυσελεφάντινο άγαλμα του ομώνυμου Θεού, φιλοτεχνημένο και αυτό από τον Φειδία, τοποθετήθηκε εντός ενός πολύ στενού σηκού.

- Αυξήθηκε ο αριθμός των κίωνων των προστάσεων του προνάου και του οπισθονάου, από τέσσερεις σε έξι.
- Λόγω της αναγκαστικής χρήσης των κίωνων του αρχαιότερου ναού οι οποίοι είχαν διάμετρο μόνο 1.905m, ο Ικτίνος αύξησε τον αριθμό των κίωνων των στενών πλευρών του πτερού από έξι σε οκτώ.

Προκύπτει λοιπόν ότι ο αριθμός των κίωνων στις στενές πλευρές του Παρθενώνα ήταν ίσος με οκτώ, ενώ στις μακριές πλευρές του ήταν ίσος με δεκαεπτά (**8×17 κίονες**)⁶. Το γεγονός αυτό έκανε τον Παρθενώνα να διαφέρει από τους προηγούμενους περίπτερους δωρικούς ναούς της κυρίως Ελλάδας οι οποίοι είχαν 6×13 κίονες.

1.3 Ανάλυση των δομικών στοιχείων του Παρθενώνα

1.3.1 Ο Στερεοβάτης⁷

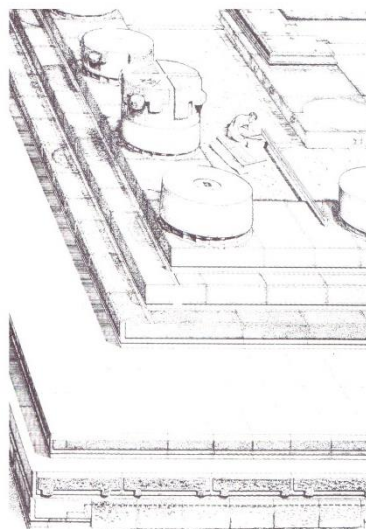
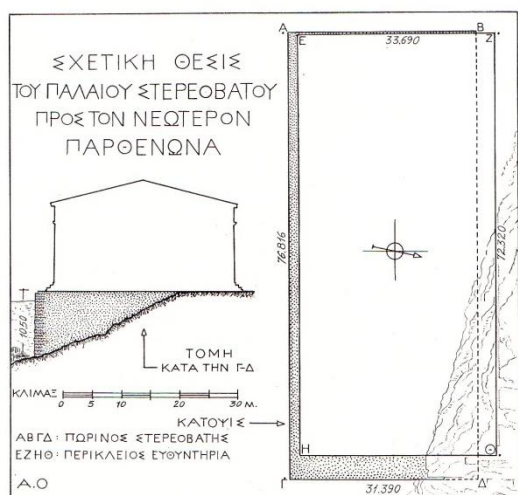
Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, ο Παρθενώνας διαδέχθηκε έναν άλλο ναό που έστεκε στην ίδια θέση με αυτόν. Το γεγονός αυτό είχε ως αποτέλεσμα ο Παρθενώνας να εδράζεται στα θεμέλια του αρχαιότερου ναού (Εικόνες 1.5 – 1.6), τα οποία έφταναν σε βάθος μεγαλύτερο των 10m (10.77m στην νοτιοανατολική γωνία). Επειδή όμως ο νεότερος ναός δεν κατασκευάστηκε με τις ίδιες ακριβώς αναλογίες του προηγούμενου ναού, αλλά λιγότερο επιμήκης και περισσότερο πλατύς, αυτό είχε σαν αποτέλεσμα να τοποθετηθεί λίγα μέτρα βορειότερα του αρχαιότερου ναού. Κατά συνέπεια το θεμέλιο του παλαιότερου ναού εξέιχε από την κρηπίδα του νεότερου κατά 1.656m προς τα νότια και 4.258m προς τα ανατολικά.

Η μετάθεση του ναού προς τον βορά δεν απαίτησε την κατασκευή νέων θεμελίων μεγάλου μεγέθους, διότι κατά το ανατολικό ήμισυ της βόρειας πλευράς ο ναός στηρίχθηκε απευθείας πάνω στο φυσικό βράχο ενώ κατά το δυτικό ήμισυ χρειάστηκαν τρεις ή τέσσερεις οριζόντιες σειρές λίθων για να φθάσει το θεμέλιο του ναού μέχρι το βράχο. Οι λίθοι αυτοί ήταν πωρόλιθοι και μάρμαρα προερχόμενα από παλαιότερα κτίσματα και ειδικά κατά μεγάλο μέρος από τον αρχαιότερο Παρθενώνα.

⁶ Πρέπει να θεωρηθεί βέβαιο ότι με την αύξηση του πλάτους του σηκού, ο Φειδίας φρόντισε να μην επαναληφθεί το αισθητικό λάθος που είχε συμβεί κατά την κατασκευή του ναού του Διός στην Ολυμπία, όπου το χρυσελεφάντινο άγαλμα του ομώνυμου Θεού, φιλοτεχνημένο και αυτό από τον Φειδία, τοποθετήθηκε εντός ενός πολύ στενού σηκού.

⁷ Ο αριθμός των κίωνων του Παρθενώνα ήταν σύμφωνος με τον κανόνα της κλασσικής εποχής, ο οποίος έλεγε ότι ο αριθμός των κίωνων των μακρών πλευρών πρέπει να κατασκευάζεται ίσος προς τον διπλάσιο του αριθμού των κίωνων των στενών πλευρών αυξημένος κατά ένα ($17 = [2 \times 8] + 1$).

⁸ Στερεοβάτης = το θεμέλιο ναού ή κτιρίου που ξεκινά από την κρηπίδα και καταλήγει στο στερεό έδαφος, ικανό να φθάσει σε μεγάλο βάθος όπως συμβαίνει στον Παρθενώνα. (Λεξικόν Αρχαίων Αρχιτεκτονικών Όρων, Α. Κ. Ορλάνδος, Ι. Ν. Τραυλός, 1986)



Εικόνα 1.5 Συγκριτική παράσταση της κάτοψης του αρχαιότερου (ΑΒΓΔ) προς τον νεότερο Παρθενώνα (ΕΖΗΘ). (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α. Κ. Ορλάνδος, 1950-1952)

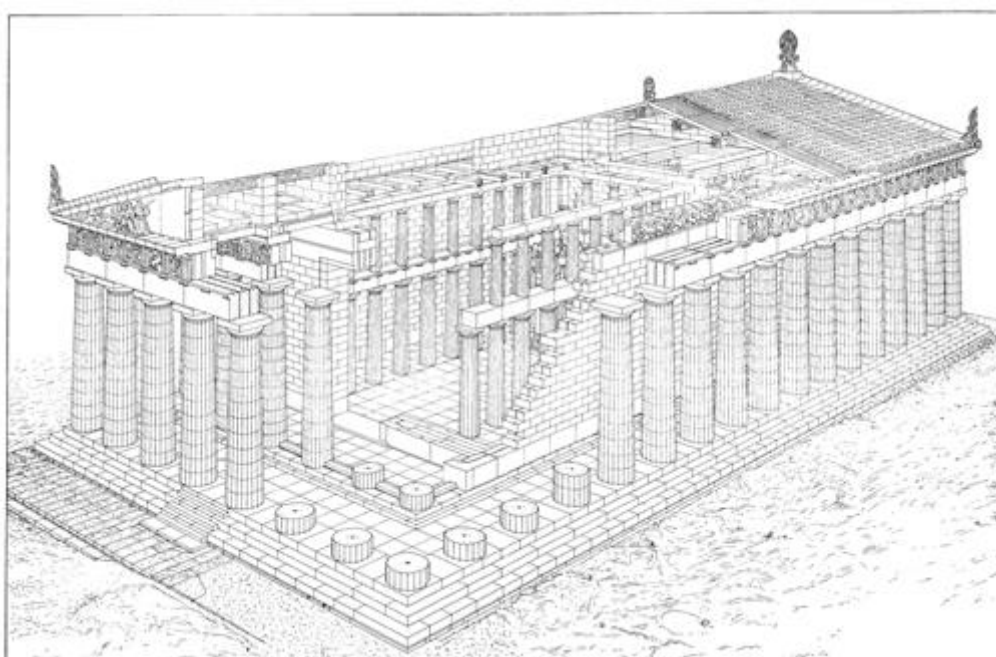


Εικόνα 1.6 Αποψη της νότιας πλευράς του στερεοβάτη του αρχαιότερου Παρθενώνα στον οποίο εδράζεται και ο νεότερος Παρθενων. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α. Κ. Ορλάνδος, 1950-1952)

Ο Παρθενώνας αποτελείται από τρία καθ' ύψος μέρη (Εικόνα 1.7):

- Την **κρηπίδα**, που είναι η οριζόντια κλιμακωτή βάση του ναού.
- Το **περιστύλιο**, που είναι η κάθετη στη κρηπίδα υψηλή και πυκνή κιονοστοιχία.
- Τον **θριγκό**, ο οποίος βρίσκεται πάνω από το περιστύλιο και στήριζε την δίκλινη στέγη που κάλυπτε όλο το μνημείο.

Στη συνέχεια του κεφαλαίου θα αναλύσουμε τα μέρη αυτά του ναού τηρώντας την καθ' ύψος κατασκευαστική σειρά τους



Εικόνα 1.7 Προοπτική αναπαράσταση του Παρθενώνα από τη βορειοανατολική όψη.

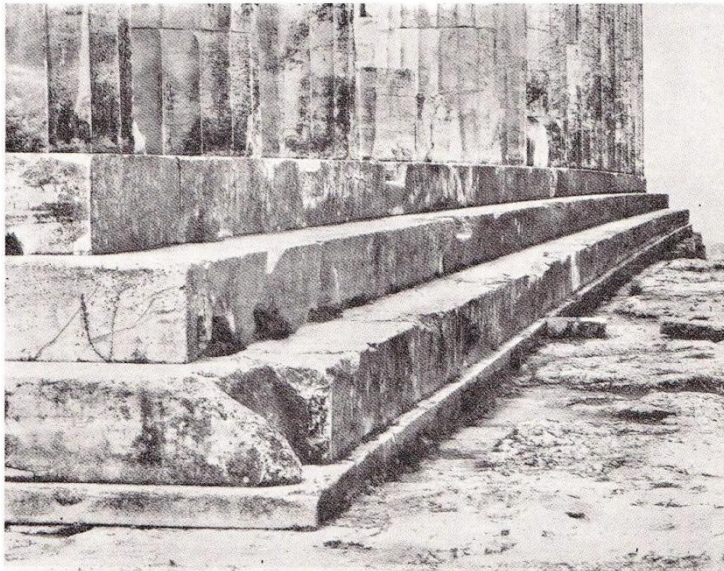
1.3.2 Η Κρηπίδα (κρηπίδωμα)

Η κρηπίδα (Εικόνα 1.8) είναι η κατασκευασμένη εξωτερικά από μάρμαρο και εσωτερικά από υλικό του αρχαιότερου στερεοβάτη, κλιμακωτή βάση του ναού. Αποτελείται από μια κατώτατη χαμηλή στρώση, την **ευθυνηρία** και από τρεις ανώτερες στρώσεις τους **αναβαθμούς**. Ο ανώτατος αναβαθμός χρησιμεύει στη στήριξη των κίωνων του πτερού (περιστάσεως) και ονομάζεται **στολοβάτης**.

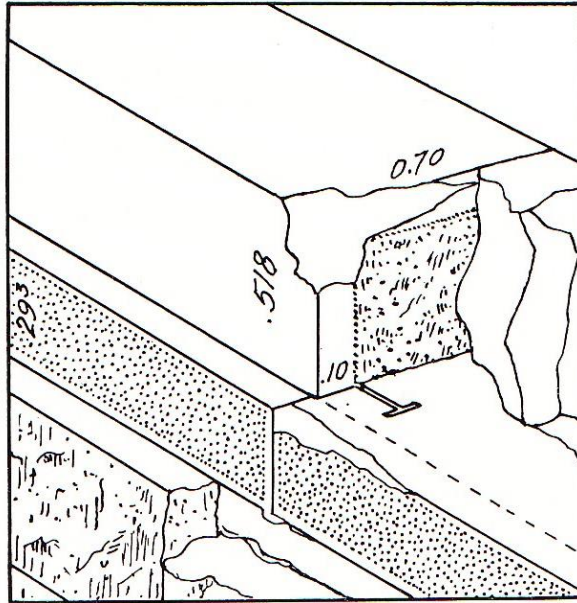
Η **ευθυνηρία** αποτελεί την κατώτατη στρώση του κρηπιδώματος και καθορίζει την οριζόντια στάθμη του. Χαρακτηρίζεται από το μικρό της ύψος, το οποίο ποικίλει από 0.18m (βορειοανατολική γωνία) έως 0,299m (βορειοδυτική γωνία), ενώ προεξέχει από τον πρώτο αναβαθμό μόνο 0.10 – 0.123m. Η ευθυνηρία δεν είναι σε όλες τις πλευρές του ναού μαρμάρινη, παρά μόνο κατά τη βόρεια και τη δυτική πλευρά του

μνημείου. Στη νότια πλευρά, η ευθυνηρία είναι λαξευμένη πάνω στο παλαιότερο θεμέλιο από πορόλιθο. Στην ανατολική πλευρά του Παρθενώνα, ένα τμήμα της ευθυνηρίας, κατά τη βορειοανατολική γωνία, μήκους 5m είναι κατασκευασμένο από μάρμαρο ενώ το επόμενο τμήμα μήκους 7.30m είναι λαξευμένο πάνω στο βράχο της Ακροπόλεως. Το υπόλοιπο ανατολικό τμήμα της ευθυνηρίας είναι λαξευμένο πάνω στο παλαιότερο θεμέλιο από πορόλιθο.

Η μαρμάρινη ευθυνηρία της βόρειας και της δυτικής πλευράς αποτελείται από λίθους μήκους από 1.34 έως 1.936m και πλάτους 1.04m. Η σύνδεση των λίθων γινόταν με συνδέσμους από χυτοσίδηρο σχήματος διπλού ταυ, μήκους 0.27m (Εικόνα 1.9). Πρέπει να σημειωθεί ότι στην ευθυνηρία δεν εμφανίζονται γόμφοι κατακόρυφης συγκράτησης

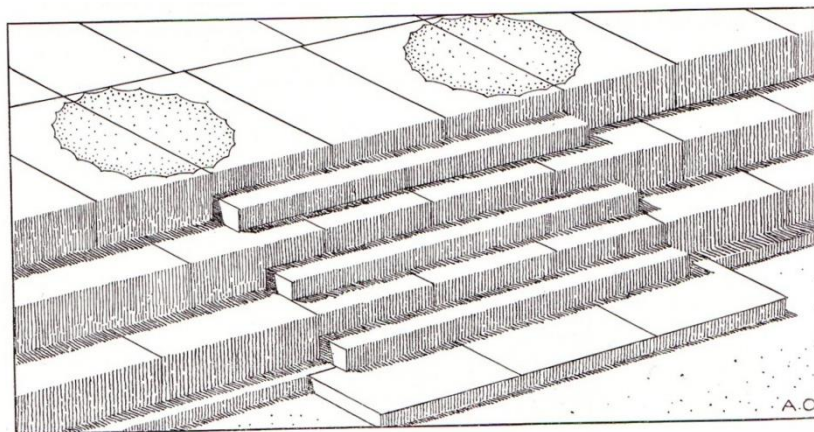


Εικόνα 1.8 Αποψη της βορειοανατολικής γωνίας της κρηπίδας του Παρθενώνα. (Η αρχιτεκτονική Παρθενώνος, Α. Κ. Ορλάνδος, 1950-1952)



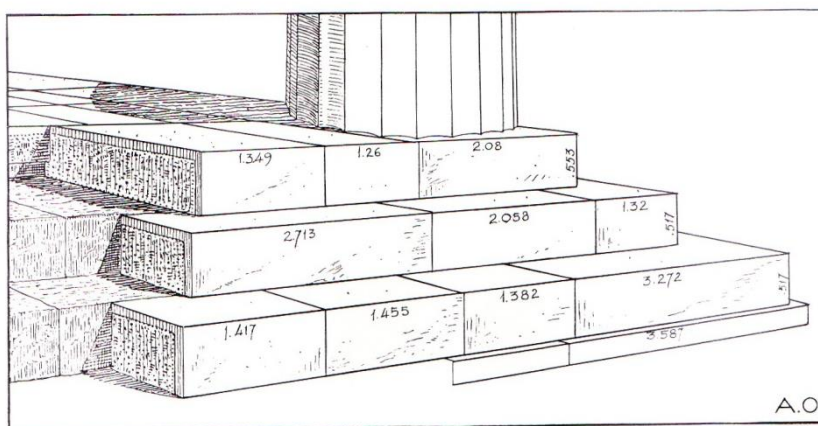
Εικόνα 1.9 Τμήμα της κρηπίδας το οποίο εμφανίζει σύνδεσμο διπλού ται για την σύνδεση των λίθων της ευθυντηρίας. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α. Κ. Ορλάνδος, 1950-1952)

Πάνω από την ευθυντηρία συναντάμε τους τρεις αναβαθμούς της κρηπίδας. Δεδομένου ότι οι δυο πρώτοι αναβαθμοί (μετρώντας από το επίπεδο της ευθυντηρίας) έχουν κατά μέσο όρο ύψος 0.517m και εξέχουν 0.702m, ενώ ο τρίτος και ανώτερος (στυλοβάτης) έχει ύψος 0.552m συμπεραίνουμε ότι οι αναβαθμοί δεν χρησίμευαν ως βαθμίδες ανόδου στο ναό, αλλά εξυπηρετούσαν στην κλιμακωτή κατάτμηση του κρηπιδώματος προσδίδοντας του το χαρακτήρα βάρου. Ο κλιμακωτός χαρακτήρας των αναβαθμών συνεχιζόταν σε όλη την περίμετρο του κτιρίου εκτός από ένα μικρό τμήμα μήκους 4.30m στο μεσαίο μεταξόνιο της ανατολικής και της δυτικής πλευράς. Εκεί προστέθηκαν μικρές κινητές βαθμίδες ύψους 0.26m και πλάτους 0.35m που είχαν σαν σκοπό να διευκολύνουν την άνοδο στο ναό (Εικόνα 1.10).

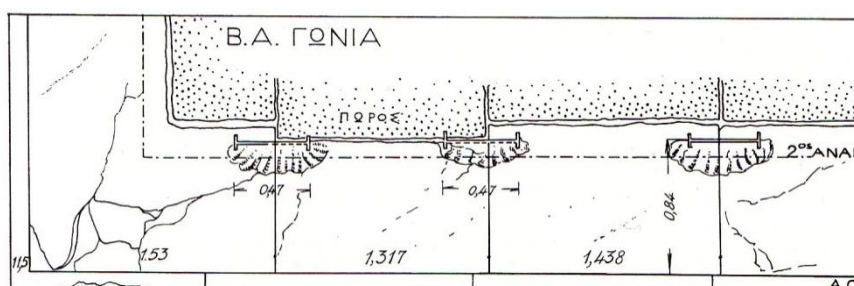


Εικόνα 1.10 Αναπαράσταση των τριών κινητών βαθμίδων ανόδου κατά το μέσω μετακίονο των στενών πλευρών του Παρθενώνα. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α. Κ. Ορλάνδος, 1950-1952)

Οι λίθοι που σχηματίζουν τους αναβαθμούς είναι γενικά κανονικοί και ιδιαίτερα στις γωνίες έχουν μεγάλες διαστάσεις, είναι τελείως λείοι και συνδέονται μεταξύ τους με τριχοειδής αρμούς πλάτους 0.09m που επιτυγχάνονται με τη μέθοδο της αναθύρωσης⁸ (Εικόνα 1.11). Επειδή το μήκος των λίθων του πρώτου και του τρίτου αναβαθμού (εξαιρουμένων των γωνιακών λίθων και των αμέσως επόμενων) κυμαίνεται από 1.306m μέχρι 1.65m ενώ στον ενδιάμεσο αναβαθμό οι λίθοι έχουν μήκος μέχρι και 3.605m, η κατανομή των αρμών της κρηπίδας του Παρθενώνα δεν ακολουθεί την συμμετρική διάταξη που εμφανίζεται σε άλλους ναούς (Εικόνα 1.11). Αξίζει να αναφέρουμε ότι για λόγους ευστάθειας οι γωνιακοί λίθοι των δύο πρώτων αναβαθμών κατασκευάστηκαν μασχαλιαίοι, έχοντας δηλαδή τη μορφή του κεφαλαίου γράμματος γάμμα. Στις Εικόνες 1.12 – 1.13 φαίνονται οι μασχαλιαίοι γωνιακοί λίθοι των αναβαθμών αλλά και ο τρόπος σύνδεσης των λίθων μεταξύ τους κάνοντας χρήση συνδέσμων διπλού ταυ.

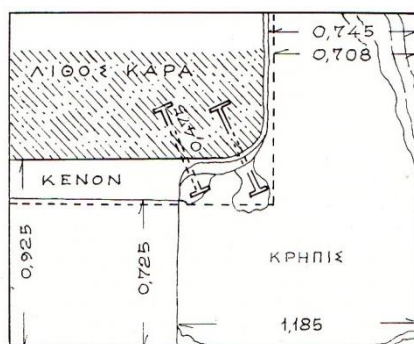


Εικόνα 1.11 Η βορειοανατολική γωνία της κρηπίδας. Ανατολική όψη. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α. Κ. Ορλάνδος, 1950-1952)



Εικόνα 1.12 Κάτοψη του πρώτου αναβαθμού της βορειοανατολικής γωνίας στην οποία είναι εμφανής οι σύνδεσμοι σχήματος διπλού ταυ, με τους οποίους συνδέονται οι λίθοι μεταξύ τους. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α. Κ. Ορλάνδος, 1950-1952)

⁸ Αναθύρωση = η στενή σχετικά λωρίδα λαξευμένη στην επιφάνεια επαφής των λίθων με τους γειτονικούς. Η λωρίδα αυτή ήταν απόλυτα λεία κατά μήκος των κατακόρυφων και των άνω οριζόντιων ακμών των λίθων και λάμβανε το σχήμα θύρας. (Λεξικόν Αρχαίων Αρχιτεκτονικών Όρων, Α. Κ. Ορλάνδος, Ι. Ν. Τραυλός, 1986)



Εικόνα 1.13 Κάτοψη του μασχαλιαίου λίθου του πρώτου αναβαθμού της νοτιοανατολικής γωνίας στην οποία είναι εμφανείς οι σύνδεσμοι του με τους όπισθεν λίθους. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α.Κ. Ορλάνδος, 1950-1952)

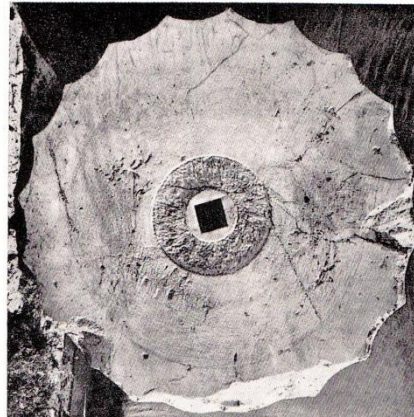
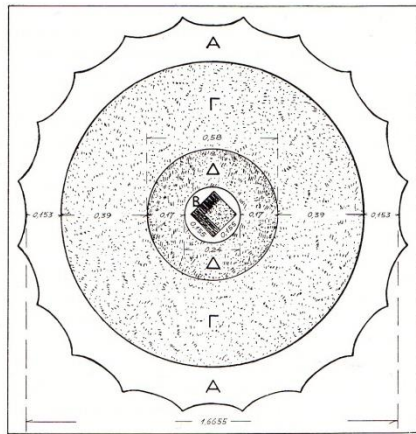
1.3.3 Το Περιστύλιο

Συνεχίζοντας την καθ' ύψος ανάλυση του δομικού συστήματος του Παρθενώνα, συναντάμε τους κίονες της περιστασης⁹ το ύψος των οποίων είναι κατά μέσον όρο 10.433m. Στις στενές πλευρές του ναού, ο αριθμός των κίωνων είναι οκτώ και η απόσταση των αξόνων τους (μεταξόνιο) κυμαίνεται μεταξύ των 4.29m και 4.305m. Στις επιμήκειες πλευρές του ναού, ο αριθμός των κίωνων είναι δεκαεπτά με την απόσταση των αξόνων τους να κυμαίνεται μεταξύ των 4.266m και 4.309m. Πολύ μικρότερο είναι το μεταξόνιο των γωνιακών κίωνων με τους γειτονικούς τους, αφού η τιμή του κυμαίνεται από 3.668m έως 3.711m (Εικόνα 1.4). Κάθε κίονας της περιστασης αποτελείται κατά κανόνα από δώδεκα τμήματα, τα οποία είναι οι έντεκα¹⁰ σπόνδυλοι και το κιονόκρανο. Ο κορμός του κάθε κίονα έχει είκοσι κατά μήκος αυλακοειδή λαξεύματα, τις ραβδώσεις, ο ρόλος των οποίων είναι καθαρά αισθητικός.

Το ύψος των σπονδύλων ποικίλει από 0.584m έως και 1.088m, με τον κατώτατο σπόνδυλο να έχει διάμετρο κατά μέσο όρο 1.91m. Κάθε σπόνδυλος δεν επαπτόταν με τον προηγούμενο και τον επόμενο του σε όλη του την επιφάνεια, αλλά μόνο κατά ένα περιφερειακό δακτύλιο πλάτους 0.153m (Εικόνα 1.14 – Α) και ένα μικρό δίσκο διαμέτρου 0.24m (Εικόνα 1.14 – Β), λαξευμένοι τελείως λείοι και οι δύο. Μεταξύ των δύο αυτών δακτυλίων παρεμβάλλονται άλλοι δύο δακτύλιοι λιγότερο λείοι από τους προηγούμενους (Εικόνα 1.14 – Γ και Δ). Η λάξευση των εδρών των σπονδύλων κατά ομόκεντρους κύκλους είχε σαν σκοπό την τελειότερη συναρμολόγηση των σπονδύλων, αφού όσο μικρότερη θα ήταν η επιφάνεια επαφής τόσο μικρότερη θα ήταν η πιθανότητα ατελειών στη σύνδεση των σπονδύλων, χωρίς βέβαια να κινδυνεύει η αντοχή του κίονα.

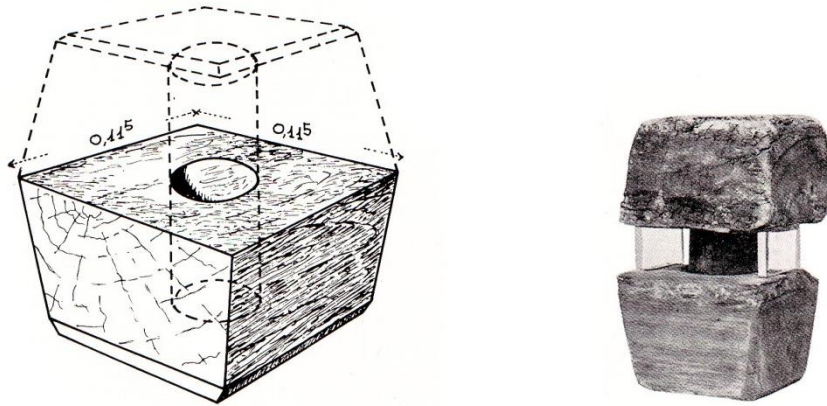
⁹ Η περίσταση αναφέρεται συχνά και ως πτερό ή πτέρωμα.

¹⁰ Ο αριθμός των σπονδύλων δεν ήταν έντεκα σε όλους τους κίονες του πτερού, αφού κάνουν την εμφάνισή τους κίονες με δέκα ή και δώδεκα σπονδύλους.



Εικόνα 1.14 Σχεδιαστική αναπαράσταση και φωτογραφία των λαξευμένων δακτυλίων της έδρας ενός σπονδύλου. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α. Κ.Ορλάνδος, 1950-1952)

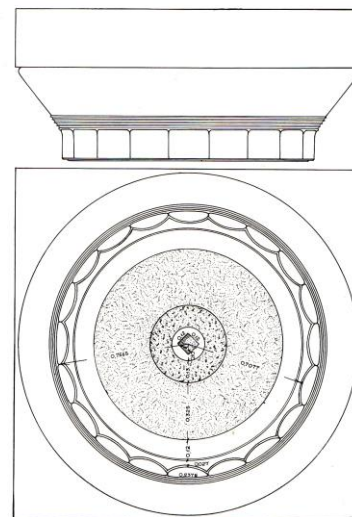
Για να επιτευχθεί η λεία λάξευση του πιο εσωτερικού και του πιο εξωτερικού ομόκεντρου κύκλου του σπονδύλου (Εικόνα 1.14 – Α και Β) ώστε να σφραγιστεί αεροστεγώς ο αρμός, έπρεπε να περιστραφεί ο ένας σπόνδυλος ως προς τον άλλον, ώστε με τη δύναμη της τριβής να προκύψει το επιθυμητό αποτέλεσμα. Για το σκοπό αυτό στον κεντρικό λείο ομόκεντρο κύκλο (Εικόνα 1.14- Β) της άνω και της κάτω έδρας του κάθε σπονδύλου (εκτός της κάτω έδρας του κατώτατου σπονδύλου του κάθε κίονα) ανοιγόταν κυβική οπή με πλευρά 0.155 έως 0.115m η οποία στη συνέχεια στένευε και έφτανε σε βάθος 0.075 έως 0.10m. Εντός της οπής τοποθετούνταν τα *εμπόλια*, που ήταν ξύλινα σώματα από κέδρο με το ίδιο σχήμα της οπής. Στο κέντρο του κάθε εμπόλιου ανοιγόταν κυλινδρική οπή, διαμέτρου 0.057m, η οποία έφτανε μέχρι το μέσο του πάχους του. Μέσα στην οπή έμπαινε ο *πόλος*, ο οποίος ήταν ο ξύλινος άξονας γύρω από τον οποίο θα γινόταν η περιστροφή του σπονδύλου. Ο πόλος είχε το διπλάσιο μήκος της οπής διότι στη συνέχεια θα εισερχόταν στο εμπόλιο του γειτονικού σπονδύλου (Εικόνα 1.15). Στο σημείο αυτό πρέπει να τονίσουμε ότι οι πόλοι είχαν χρήση και ως κάθετοι σύνδεσμοι μεταξύ των σπονδύλων αφού κατά τη διάρκεια των καταστροφών του ναού από εκρήξεις, πυρκαγιές και σεισμούς κατάφεραν να συγκρατήσουν πολλούς σπονδύλους στη θέση τους



Εικόνα 1.15 Ξύλινοι πόλοι και εμπόλια. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α. Κ. Ορλάνδος, 1950-1952)

Το κιονόκρανο είναι το τελευταίο καθ' ύψος τμήμα του κίονα το οποίο αποτελείται από τρία μέρη μονολιθικά συνδεδεμένα μεταξύ τους (Εικόνα 1.16) :

- Το *υποτραχήλιο*, το οποίο είναι το κατώτατο τμήμα του κιονόκρανου που φέρει ραβδώσεις.
- Τον *εχίνο*, ο οποίος έχει σχήμα ανεστραμμένου κόλουρου κώνου και αποτελεί το ενδιάμεσο μεταβατικό κομμάτι του κιονόκρανου. Πάνω στον εχίνο διακρίνονται πέντε λεπτοί δακτύλιοι, οι *μάντες*.
- Τον *άβακα*, ο οποίος είναι το υψηλότερο τμήμα του κιονόκρανου, έχει σχήμα τετραγωνικό και εξυπηρετεί στην ανάληψη των κατακόρυφων φορτίων των υπερκείμενων μελών και στη μεταφορά τους στον κορμό του κίονα, μέσω του εχινού.



Εικόνα 1.16 Σχεδιαστική αναπαράσταση και φωτογραφία ενός κιονοκράνου του Παρθενώνα. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α. Κ. Ορλάνδος, 1950-1952)

Κλείνοντας την ανάλυση του περιστυλίου του Παρθενώνα, αξίζει να αναφέρουμε τα τρία ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που εμφανίζουν οι κίονες του πτερού (εκλεπτύνσεις):

- Τη *μείωση*, με την οποία εννοούμε ότι οι κορμοί των κίωνων δεν είναι αυστηρά κυλινδρικοί αλλά έχουν σχήμα κόλουρου κώνου. Η διάμετρος δηλαδή των κίωνων δεν παραμένει σταθερή, αλλά μειώνεται όσο πλησιάζουμε το κιονόκρανο.
- Την *ένταση*, με την οποία εννοούμε την εξόγκωση που εμφανίζουν οι κίονες στο μέσο περίπου του ύψους τους, με αποτέλεσμα αντί να είναι ευθύγραμμοι να έχουν σχήμα καμπύλης, ελαφρώς κυρτοί προς τα έξω.
- Την *κλίση*, με την οποία εννοούμε ότι οι κίονες του πτερού δεν είναι κατακόρυφοι αλλά κλίνουν ομοιόμορφα προς τα μέσα, η προέκταση των οποίων σχηματίζει μια ορθογώνια κόλουρη πυραμίδα.

1.3.4 Ο Θριγκός

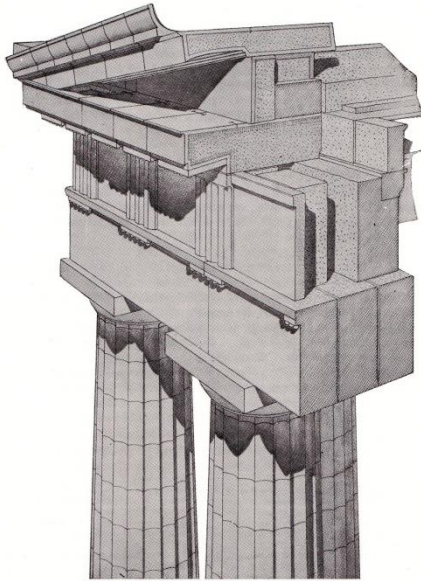
Πάνω στους κίονες του περιστυλίου εδράζεται η ανώτατη ζώνη του ναού, ο θριγκός, ο οποίος διαιρείται σε τρεις καθ' ύψος ζώνες (Εικόνα 1.17 - α):

- Το *επιστύλιο*
- Τη *ζωφόρο*
- Το *γείσο*

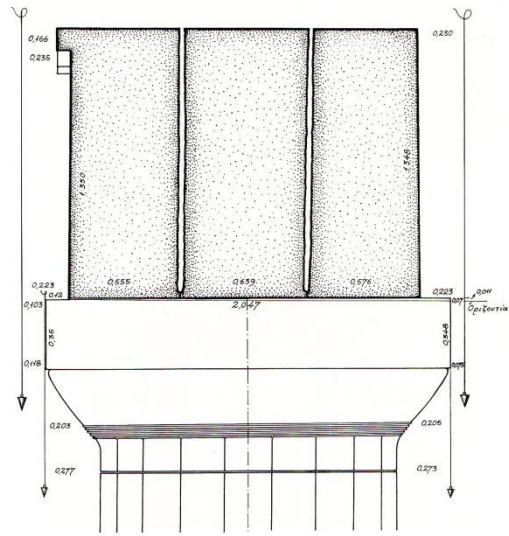
Ως *επιστύλιο*, η μελέτη του οποίου αποτελεί αντικείμενο του παρόντος συγγράμματος, καλείται η οριζόντια δοκός ύψους 1.35m και συνολικού πλάτους 1.77m πάνω στην οποία στηρίζονται τα υπόλοιπα μέλη του θριγκού και κατ' επέκταση η στέγη. Κατά πλάτος, το

επιστύλιο αποτελείται από τρεις δοκούς, μια εξωτερική (*κύριο επιστύλιο*) και δύο εσωτερικές (αντιθήματα) (Εικόνα 1.17 – β). Το κύριο επιστύλιο διέφερε από τις άλλες εσωτερικές δοκούς ως προς την ποιότητα του δομικού υλικού, αφού τα καλύτερης ποιότητας μάρμαρα προορίζονταν για το εξωτερικό επιστύλιο ενώ για την κατασκευή των αντιθημάτων διαλέγονταν μάρμαρα με πλάγιες ή σχεδόν οριζόντιες φλέβες. Το γεγονός αυτό είχε ως αποτέλεσμα τα αντιθήματα να έχουν μειωμένη αντοχή σε κάμψη. Αυτή η διαίρεση του επιστυλίου σε τρεις κατά το πλάτος του δοκούς, εξυπηρετούσε δύο σημαντικούς σκοπούς:

- Αν για οποιονδήποτε λόγο μια από τις τρεις δοκούς θραυνόταν, οι άλλες δύο επαρκούσαν στο να αναλάβουν τα φορτία των υπερκείμενων μελών μέχρι την αποκατάσταση της βλάβης στη τρίτη δοκό.
- Ήταν πολύ πιο εύκολο και οικονομικό αντί για ένα μαρμάρινο όγκο με μήκος 4.30m, πλάτος 1.77m και ύψος 1.35m να βρεθούν και να μεταφερθούν από το λατομείο λίθοι με όγκο ίσο με το 1/3 του προαναφερθέντος.



(α)



(β)

Εικόνα 1.17 (α) Προοπτική άποψη μιας γωνίας του θριγικού και του αετώματος, (β) κατακόρυφη τομή του εξωτερικού επιστυλίου και των αντιθυμάτων του. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνας, Α. Κ. Ορλάνδος, 1950-1952)

Κατά κανόνα τα επιστύλια εδράζονται στο μέσο του κιονόκρανου του κάθε κίονα, με μοναδική εξαίρεση τα επιστύλια που εδράζονται στους γωνιακούς κίονες των στενών πλευρών του ναού (Εικόνα 1.17 - α). Η σχετική ολίσθηση μεταξύ του επιστυλίου και του κιονόκρανου αποφεύγεται με τη γόμφωση αυτών των δύο διαδοχικών στρώσεων λίθων. Αυτό επιτυγχάνονταν με τη χρήση ενός σιδερένιου συνδετηρίου πρισματικής διατομής, τον *γόμφο*, ο οποίος προσαρμοζόταν σε ειδικά σχηματισμένες εντορμίες στο κάτω μέρος του επιστυλίου και στην άνω έδρα του κιονόκρανου (Εικόνα 1.18).

Στην Εικόνα 1.19 φαίνεται ο τρόπος σύνδεσης της άνω έδρας των επιστυλίων κατά τη διαμήκη και την εγκάρσια διεύθυνση. Για να αποφευχθεί η μετακίνηση των επιστυλίων κατά τη διαμήκη διεύθυνση γίνεται χρήση σιδηρών συνδέσμων σχήματος διπλού ταυ με μήκος 0.48 – 0.52m. Για την εγκάρσια εξασφάλιση των επιστυλίων, γίνεται χρήση μικρότερων συνδέσμων με μήκος από 0.28 έως 0.30m οι οποίοι συνδέουν το κύριο επιστύλιο και τα αντιθήματα μεταξύ τους. Μεγαλύτερου μεγέθους σύνδεσμοι (0.44 – 0.48m) χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση των εσωτερικών επιστυλίων που εδράζονται στους γωνιακούς κίονες. Πρέπει να τόνισουμε ότι και στην περίπτωση του γόμφου αλλά και του συνδέσμου οι εντορμίες σφραγίζονταν με χυτό μόλυβδο, με σκοπό να αποφευχθεί η οξειδωση των σιδηρών συνδετηρίων.



Εικόνα 1.18 Νότια όψη επιστυλίων ΟΕ2.2 και ΟΕ2.3 με εμφανή των μηχανισμό αστοχίας (φωτ. Ε.-Ε.Τουμπακάρη, από Μελέτη αποκαταστάσεως Οπισθονάου, τ.Π : Τεκμηρίωση & ποιοτική ερμηνεία βλαβών, ΥΣΜΑ (δακτυλογράφη), (2007α)

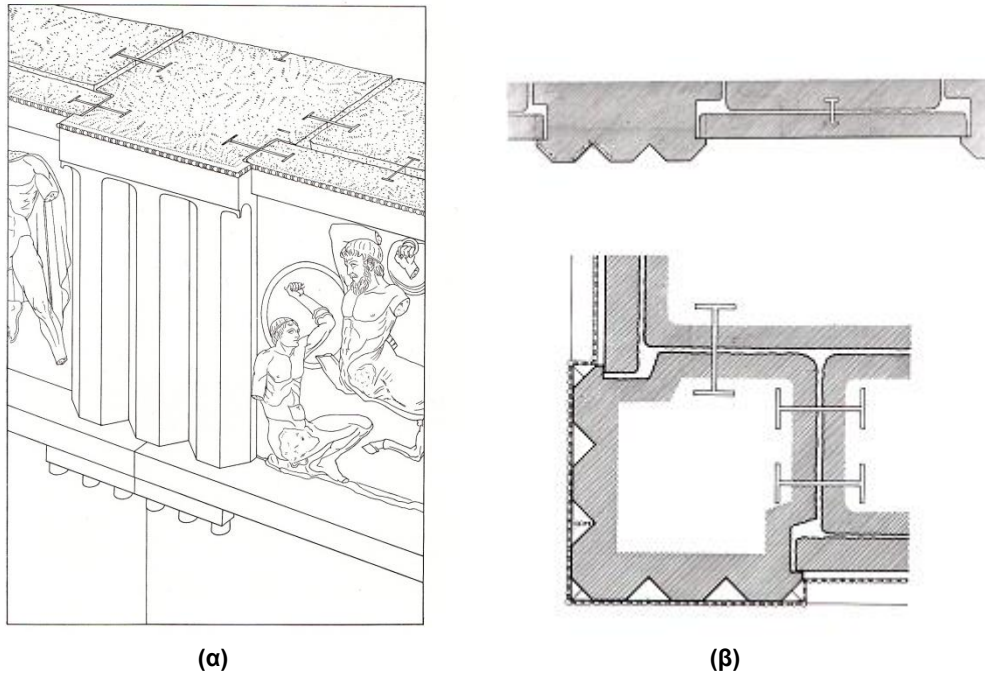


Εικόνα 1.19 Μετακίονιο 3(ΟΕ3.1-3.3) κατά την αναστύλωση (φωτ. Ε.-Ε.Τουμπακάρη). Είναι εμφανής ο τρόπος σύνδεσης των επιστυλίων στην άνω έδρα τους κατά την διαμήκη και την εγκάρσια διεύθυνση με χρήση συνδέσμων διπλού ταυ.

Η αμέσως επόμενη καθ' ύψος ζώνη του θριγκού είναι η *ζωφόρος*, η οποία εδράζεται πάνω στα επιστύλια και δομείται από τρεις κατά πλάτος στρώσεις λίθων. Την πρώτη στρώση αποτελούν οι *τρίγλυφοι* και οι *μετώπες*, ενώ τη δεύτερη και την τρίτη στρώση λίθων αποτελούν τα *αντιθήματα*.

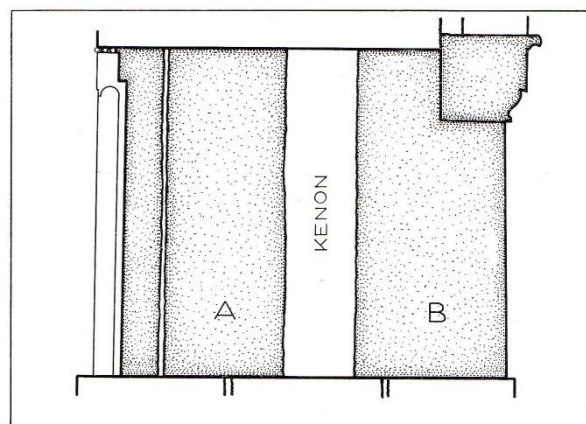
Στην Εικόνα 1.3.20 - α δίνεται το αξονομετρικό σχέδιο μιας τριγλύφου και δύο μετωπών του θριγκού της περιστάσεως του Παρθενώνα, στο οποίο είναι εμφανής ο μεταξύ τους τρόπος σύνδεσης, καθώς και με τα αντιθήματα τους, κάνοντας χρήση σιδερένιων συνδέσμων σχήματος διπλού ταυ. Οι τρίγλυφοι τοποθετούνται πάνω στα επιστύλια κατά τέτοιο τρόπο ώστε ο κατακόρυφος άξονας συμμετρίας τους να συμπίπτει με τον αρμό των επιστυλίων. Όλες οι τρίγλυφοι της ζωφόρου έχουν το ίδιο

σχήμα με μοναδική εξαίρεση τις γωνιακές, το σχήμα των οποίων διαφέρει για αρχιτεκτονικούς λόγους όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.20 - β.



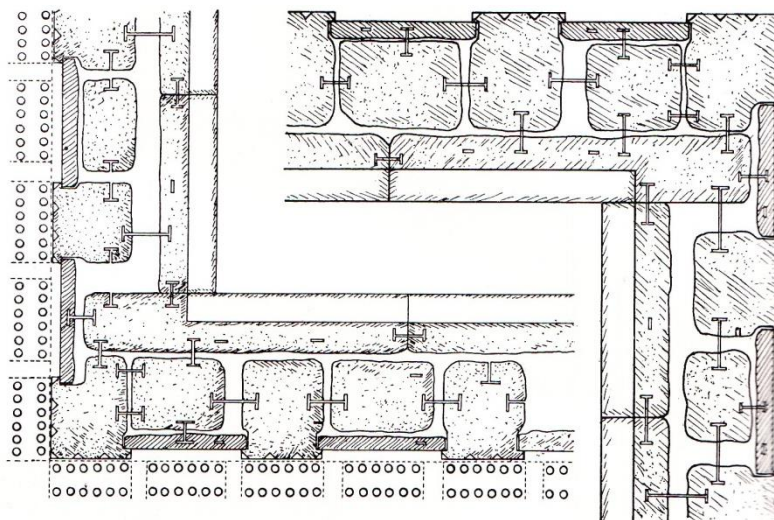
Εικόνα 1.20 (α) Προοπτική αναπαράσταση της τριγλύφου και των μετοπών της ζωφόρου του θριγκού και του τρόπου σύνδεσής τους, (β) πάνω: οριζόντια τομή ενδιάμεσης τριγλύφου και μετόπης, κάτω: οριζόντια τομή γωνιακής τριγλύφου.

Τα αντιθήματα της ζωφόρου, όπως και τα αντίστοιχα των επιστυλίων, τοποθετούνται σε δύο παράλληλες σειρές με τη μόνη διαφορά ότι επειδή η κάτω τους επιφάνεια δεν είναι εμφανής, τα αντιθήματα της δεύτερης στρώσης της ζωφόρου δεν έχουν απόλυτα ορθογωνικό σχήμα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να υπάρχουν σχετικά μεγάλα κενά μεταξύ των δύο σειρών των αντιθημάτων τα οποία αποσκοπούσαν στην οικονομία του υλικού και στην μείωση των μόνιμων φορτίων (Εικόνα 1.21).



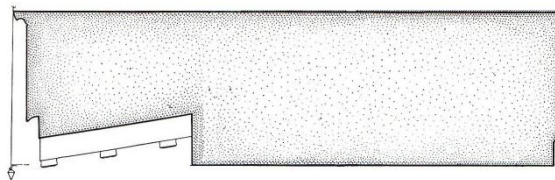
Εικόνα 1.21 Κατακόρυφη τομή στο επίπεδο της μετόπης ώστε να είναι εμφανείς οι δύο στρώσεις των αντιθημάτων(A,B). (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α. Κ. Ορλάνδος, 1950-1952)

Η δεύτερη σειρά των αντιθημάτων της ζωφόρου έχει διατομή γάμμα, αποτελείται δηλαδή από όρθιους μασχαλιαίους λίθους. Η μασχάλη έχει πλάτος 0.30m και ύψος 0.325m και χρησίμευε για να υποδέχεται το υποδόκιο (θράνος) για το οποίο θα μιλήσουμε αργότερα. Και οι δύο σειρές αντιθημάτων συνδέονταν μεταξύ τους, αλλά και με τις τριγλύφους και τις μετόπες με σιδερένιους συνδέσμους σχήματος διπλού ταυ όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.22 που ακολουθεί.



Εικόνα 1.22 Σύνδεση τριγλύφων, μετοπών και αντιθημάτων σε οριζόντια τομή. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α. Κ. Ορλάνδος, 1950-1952)

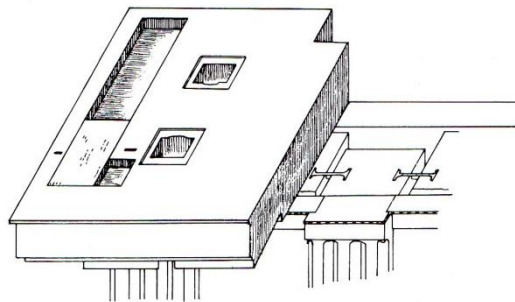
Πάνω στους λίθους της ζωφόρου τοποθετείται η ανώτατη στρώση του θριγκού, το γείσο (Εικόνα 1.17 – α). Η ύπαρξη των γείσων είχε σαν σκοπό την προστασία του γλυπτού διακόσμου των τριγλύφων και των μετοπών, από τα όμβρια ύδατα που έπεφταν από τη στέγη και από τις διάφορες ατμοσφαιρικές επιδράσεις. Για το λόγο αυτό, όπως παρατηρούμε στην Εικόνα 1.23, το γείσο αποτελείται από δύο τμήματα μονολιθικά συνδεδεμένα μεταξύ τους, εκ των οποίων το πρώτο έχει ορθογωνικό σχήμα, εδράζεται πάνω στους λίθους της ζωφόρου και αποτελεί ουσιαστικά το αντίβαρο του δεύτερου τμήματος με την ελαφρώς κεκλιμένη κάτω έδρα και το οποίο έχει τη μορφή προβόλου.



Εικόνα 1.23 Εγκάρσια τομή του γείσου. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α. Κ. Ορλάνδος, 1950-1952)

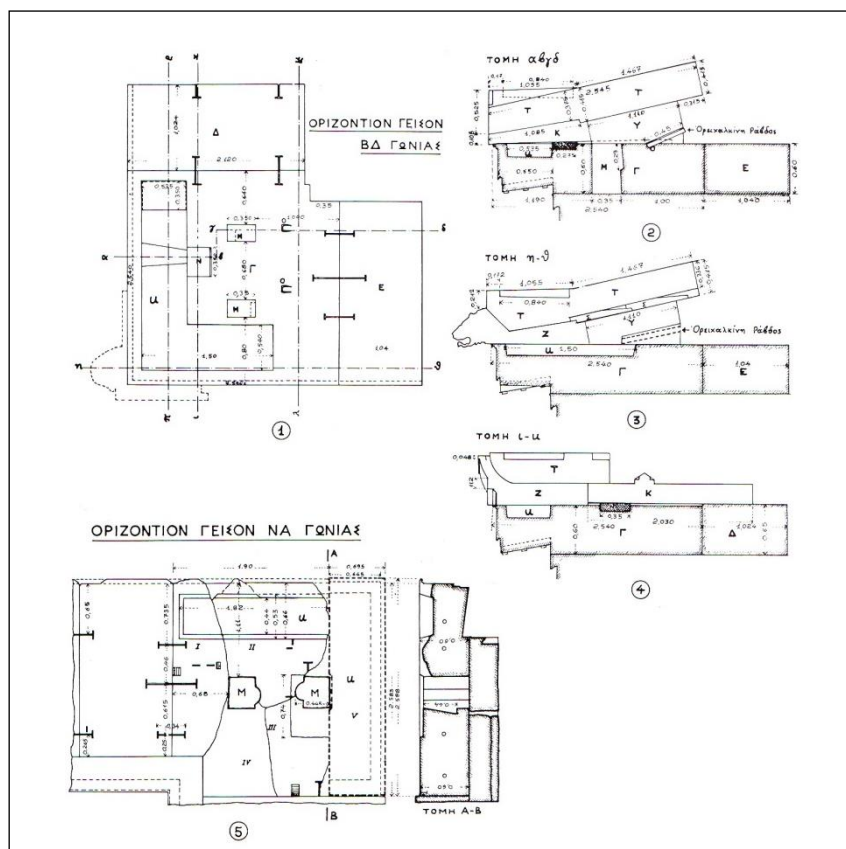
Κάθε γείσο, με εξαίρεση τα τέσσερα γωνιακά, έχει μήκος (σε όψη) από 1.02 έως 1.09m, πλάτος από 2.07 έως 2.30m και ύψος από 0.59 έως 0.614m. Τα τέσσερα γωνιακά γείσα (Εικόνα 1.24) έχουν τελείως διαφορετικές διαστάσεις από τα

αντίστοιχα των όψεων. Έχουν μήκος και πλάτος από 2.54 × 2.54m μέχρι 2.595 × 2.588m, ενώ το ύψος τους κυμαίνεται από 0.60 έως 0.65m.



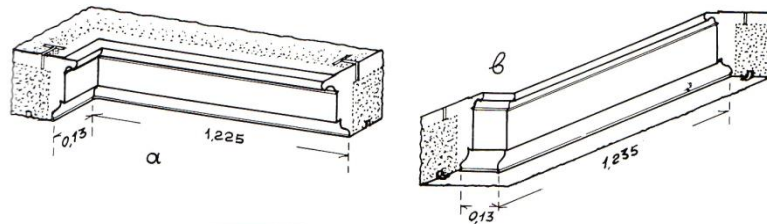
Εικόνα 1.24 Προοπτική άποψη γωνιακού γείσου. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α. Κ. Ορλάνδος)

Τα γωνιακά μεγάλα τεμάχια των γείσων συνδέονται με τα γειτονικά τους κόνοντες χρήση δύο ειδών σιδερένιων συνδέσμων σχήματος διπλού ταυ, μήκους 0.34m ή 0.65m (Εικόνα 1.25).



Εικόνα 1.25 Κάτοψη των γωνιακών γείσων της νοτιανατολικής και βορειοδυτικής γωνίας και κατακόρυφες τομές σε διάφορα σημεία τους. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α. Κ. Ορλάνδος, 1950-1952)

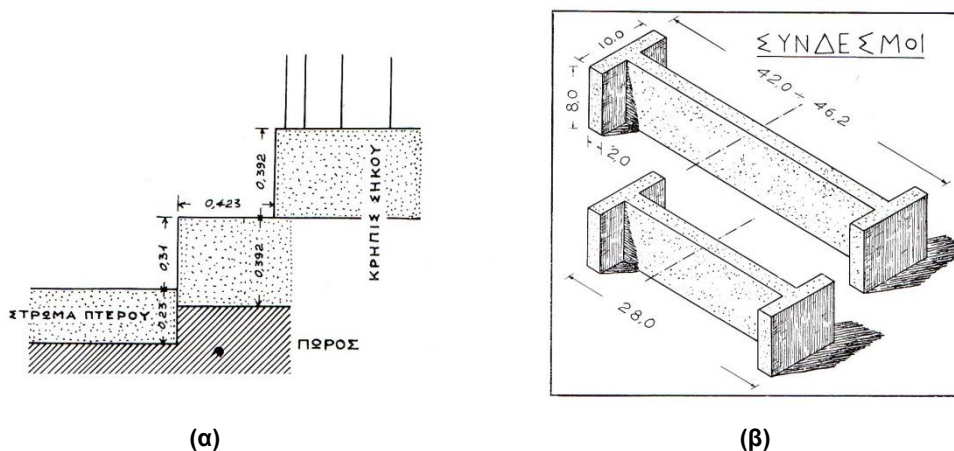
Κλείνοντας την περιγραφή του θριγκού του Παρθενώνα θα αναφερθούμε στο *θρανό* (*υποδόκιο*). Ο θρανός έχει τη μορφή δοκού (Εικόνα 1.26) και τοποθετείται πάνω στη μασχαλιαία εγκοπή του εσωτερικού αντιθήματος της ζωφόρου αποτελώντας κατά αυτόν τον τρόπο το γείσο της εσωτερικής παρειάς του θριγκού. Εκτός όμως από γείσο, χρησιμεύει και σαν βάθρο πάνω στο οποίο θα στηρίζονται οι δοκοί της οροφής του περού. Κάθε κομμάτι του θρανού συνδέεται με τα γειτονικά του με συνδέσμους σχήματος διπλού ταυ, μήκους 0.25 – 0.28m, ενώ γομφώνεται στα αντιθήματα της ζωφόρου με σιδερένιους μολυβδοχοουμένους γόμφους.



Εικόνα 1.26 Μασχαλιαίος θρανός των γωνιών του περού. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α.Κ. Ορλάνδος)

1.3.5 Η κρηπίδα του σηκού

Η κρηπίδα του σηκού έχει δύο αναβαθμούς με τους οποίους ξεχωρίζει ο σηκός από το επίπεδο του περού. Το συνολικό ύψος της κρηπίδας ανέρχεται στα 0.702m (0.392m ο κάθε αναβαθμός), με τον κατώτερο να φαίνεται πιο κοντός κατά 8.2cm, τα οποία καταλαμβάνει το στρώμα του περού (Εικόνα 1.27 - α). Τα μήκη των λίθων της κρηπίδας, που στην πλειονότητα τους αποτελούνται από υλικό του αρχαιότερου Παρθενώνα, ποικίλουν από 1.25m έως 3.70m, με τα πιο μεγάλα κομμάτια να βρίσκονται στις τέσσερις γωνίες του πρώτου αναβαθμού, έχοντας σχήμα Γ (μασχαλιαία). Όλοι οι λίθοι του κρηπιδώματος του σηκού συνδέονται μεταξύ τους με συνδέσμους σχήματος διπλού ταυ μήκους 0.24 – 0.28m (Εικόνα 1.27 – β).



Εικόνα 1.27 (α) Τομή της κρηπίδας του σηκού και του στρώματος του περού, (β) σχέδιο συνδέσμων σχήματος διπλού ταυ. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α.Κ. Ορλάνδος, 1950-1952)

1.3.6 Οι τοίχοι του σηκού

Όπως παρατηρούμε στην κάτοψη του ναού (Εικόνα 1.4), οι τοίχοι του σηκού χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

- Στους διαμήκεις, δηλαδή τους τοίχους που είναι παράλληλοι στις επιμήκεις πλευρές του σηκού και είναι δύο στον αριθμό.
- Στους εγκάρσιους, δηλαδή τους τοίχους που είναι παράλληλοι στις στενές πλευρές του σηκού και είναι τρεις στον αριθμό.

Όσον αφορά το πάχος των διαφόρων τοίχων, αυτό εξαρτάται από το φορτίο που έπρεπε να αναλάβει ο καθένας. Για παράδειγμα, επειδή η στέγη πάνω από τον κύριο ναό και τον οπισθόδομο ήταν ξύλινη, οι τοίχοι που την υποστήριζαν ήταν λεπτότεροι από τους τοίχους που στήριζαν τη λίθινη στέγη του περού, του πρόναου και του οπισθόναου. Συνοπτικά τα πάχη των τοίχων κατά αύξουσα σειρά ήταν τα εξής:

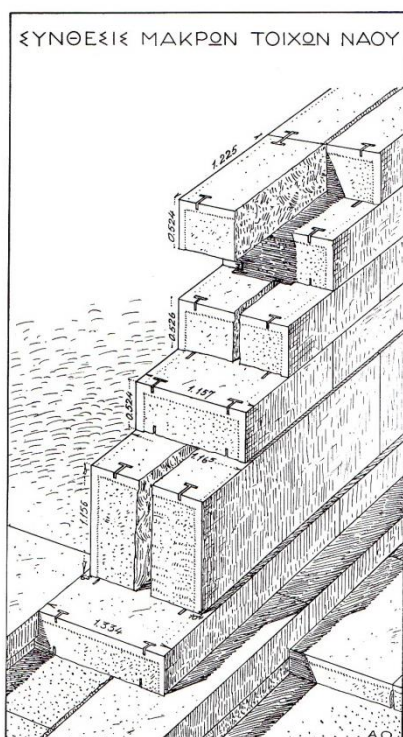
- Εγκάρσιος διαχωριστικός: 0.902m.
- Διαμήκεις τοίχοι του κυρίου ναού και του οπισθόδομου: 1.155m.
- Πλευρικοί τοίχοι των προστάσεων: 1.53m.
- Εγκάρσιοι τοίχοι του κυρίου ναού και του οπισθόδομου (θυραίοι¹¹): 2.06m.

Οι τοίχοι του σηκού αποτελούνται από μια κατώτατη υψηλή στρώση λίθων (1.156m), τους **ορθοστάτες**, πάνω στους οποίους τοποθετούνται ισουψείς στρώσεις (0.528m) ορθογώνιων παραλληλεπίπεδων λίθων, οι **πλινθίδες**, δεκαεπτά στο σύνολο τους.

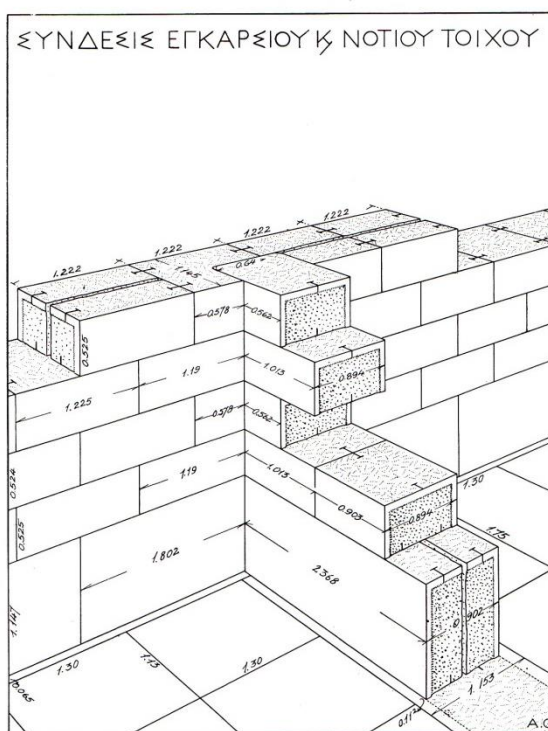
Οι ορθοστάτες των διαμήκων και του ενδιάμεσου εγκάρσιου τοίχου του σηκού αποτελούνται από δύο μη επαπτόμενες σειρές λίθων, οι οποίες έχουν μεταξύ τους κενό μήκους από 0.17 έως 0.20m (Εικόνα 1.28). Στους εγκάρσιους θυραίους τοίχους οι ορθοστάτες απαρτίζονται από τέσσερις ή και πέντε σειρές λίθων πολλοί από τους οποίους είναι λίθοι του αρχαιότερου Παρθενώνος (Εικόνα 1.29). Αξίζει να αναφέρουμε ότι οι γωνιακοί ορθοστάτες ήταν κατασκευασμένοι από μασχαλιαίους λίθους, δηλαδή από λίθους που είχαν σχήμα Γ. Οι λίθοι των ορθοστατών συνδέονται με τους υποκείμενους λίθους του τοιχοβάτη¹² με σιδερένιους γόμφους (κατακόρυφους και λοξούς) ύψους από 0.14 έως 0.155m. Το ενδεχόμενο μετακίνησης των λίθων των ορθοστατών αντιμετωπιζόταν με τη κατά μήκος σύνδεσή τους με σιδερένιους συνδέσμους σχήματος διπλού ταυ.

¹¹ Οι εγκάρσιοι τοίχοι του κυρίου ναού και του οπισθόδομου λέγονται και θυραίοι, διότι σε αυτούς προσαρμόζονταν οι θύρες αυτών των τμημάτων του ναού.

¹² Τοιχοβάτης = η ανώτατη στρώση λίθων της κρηπίδας του σηκού πάνω στην οποία τοποθετούνται οι τοίχοι.



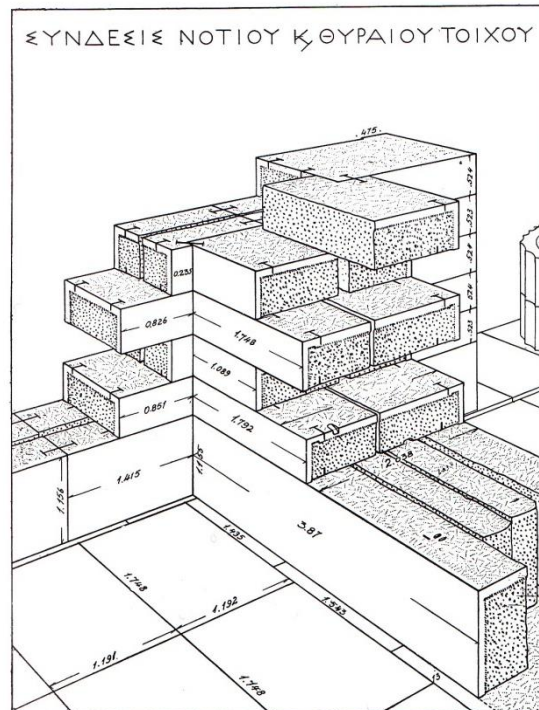
(α)



(β)

Εικόνα 1.28 (α) Σύνθεση των διαμήκων τοίχων του σηκού, (β) σύνθεση του εγκάρσιου ενδιάμεσου τοίχου του σηκού και η σύνδεση του με τον διαμήκη νότιο τοίχο. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α.Κ. Ορλάνδος, 1950-1952)

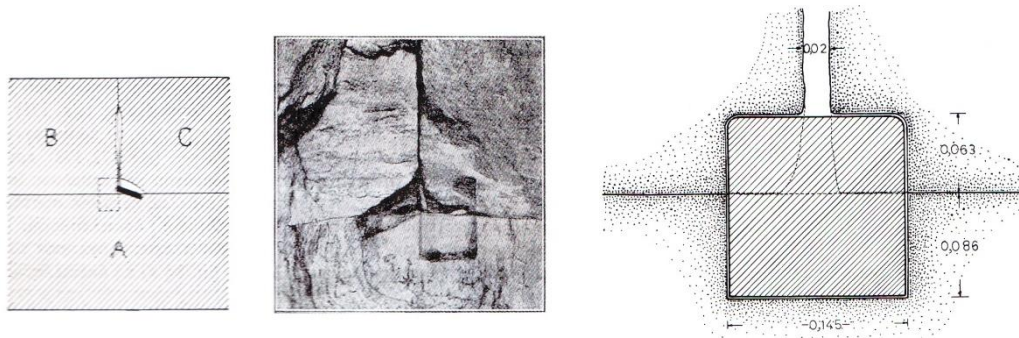
Όπως έχει ήδη αναφερθεί, πάνω στους ορθοστάτες τοποθετήθηκαν οι στρώσεις των πλινθίδων, η σύνθεση των οποίων όμως δεν είναι ίδια σε όλους τους τοίχους του σηκού. Στις περιττού αριθμού στρώσεις (1^η, 3^η, 5^η κλπ.) των διαμήκων τοίχων, οι πλινθίδες αποτελούνται από μπατικούς λίθους, δηλαδή από λίθους που έχουν πλάτος ίσο με το πλάτος του τοίχου, ενώ στις άρτιου αριθμού στρώσεις (2^η, 4^η, 6^η κλπ.), οι πλινθίδες αποτελούνται από δύο σειρές λίθων με μικρό κενό μεταξύ τους (δρομικοί λίθοι) (Εικόνα 1.28 – α). Διαφορετική είναι η κατάσταση που επικρατεί στους εγκάρσιους τοίχους. Στον ενδιάμεσο τοίχο, όλες οι στρώσεις των πλινθίδων αποτελούνται από μπατικούς λίθους (Εικόνα 1.28 – β), ενώ στους δύο θυραίους εγκάρσιους τοίχους συμβαίνει το αντίθετο, με όλες τις στρώσεις των πλινθίδων να αποτελούνται από δύο σειρές παράλληλων λίθων (δρομικοί λίθοι) όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.29.



Εικόνα 1.29 Σύνθεση του εγκάρσιου θυραίου τοίχου του σηκού και η σύνδεση του με τον διαμήκη νότιο τοίχο. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α.Κ. Ορλάνδος, 1950-1952)

Στο σημείο αυτό οφείλουμε να σταθούμε στον τρόπο σύνδεσης των εγκάρσιων με τους διαμήκεις τοίχους του σηκού. Στον εγκάρσιο ενδιάμεσο τοίχο, οι ακριανοί λίθοι των περιττού αριθμού στρώσεων των πλινθίδων, εφάπτονταν με τους αντίστοιχους εσωτερικούς λίθους των διαμήκων τοίχων με τη βοήθεια αναθύρωσης. Οι αντίστοιχοι ακριανοί λίθοι των στρώσεων των πλινθίδων με άρτιο αριθμό, εισχωρούσαν στο πάχος των διαμήκων τοίχων κατά 0.645m με αποτέλεσμα στο σημείο αυτό οι λίθοι των αντίστοιχων πλινθίδων των διαμήκων τοίχων να είναι μπατικοί και μάλιστα μασχαλιαίοι αντί για δρομικοί όπως αναφέραμε παραπάνω (Εικόνα 1.28 – β). Αυτή η διαφοροποίηση στη σύνθεση του μακρών τοίχων του σηκού γινόταν με σκοπό να αποφευχθεί η εξασθένηση της κατασκευής. Κάτι ανάλογο συνέβαινε και κατά τη σύνδεση των θυραίων εγκάρσιων με τους διαμήκεις τοίχους. Εκεί οι στρώσεις των εγκάρσιων τοίχων εισχωρούσαν στις αντίστοιχες των διαμήκων μόνο κατά 0.12m, με τους ακριανούς λίθους των εγκάρσιων τοίχων να συνδέονται με τους λίθους των μακρών πλευρών του τοίχου του σηκού με συνδέσμους σχήματος διπλού ταυ, τοποθετημένους κάθετα ή και διαγώνια (Εικόνα 1.29).

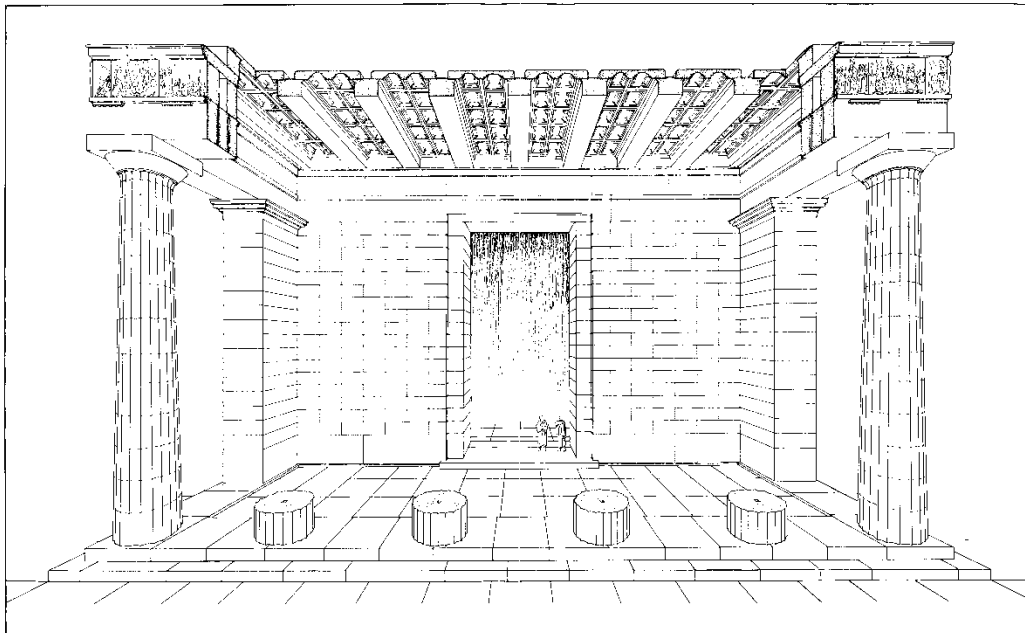
Οι λίθοι των πλινθίδων των εγκάρσιων και των διαμήκων τοίχων συνδέονται μεταξύ τους με σιδερένιους συνδέσμους σχήματος διπλού ταυ, τοποθετημένους στην άνω τους επιφάνεια (Εικόνες 1.28 – 1.29), αντιμετωπίζοντας κατά αυτόν τον τρόπο τον κίνδυνο μετακίνησης. Συνδέονται επίσης με τους υποκείμενους λίθους με γόμφους και παραγόμφους ή και με αμφιγόμφους όπως συμβαίνει σε ορισμένες περιπτώσεις λίθων (Εικόνα 1.30).



Εικόνα 1.30 Γόμφοι, παραγόμφοι και αμφιγόμφοι. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α.Κ. Ορλάνδος, 1950-1952)

1.3.7 Ανάλυση του δομικού συστήματος του Πρόναου

Στην Εικόνα 1.31 δίνεται ένα αξονομετρικό σχέδιο του πρόναου του Παρθενώνα. Όπως παρατηρούμε ο πρόναος είναι ένα διαμέρισμα ορθογώνιου σχήματος όπου τα όρια του εκτείνονται ανατολικά μέχρι την εξάστυλη κιονοστοιχία της προστάσεως και δυτικά μέχρι τον θυραίο τοίχο του σηκου, για τον οποίο μιλήσαμε στην προηγούμενη ενότητα. Προς το βορρά και το νότο ο πρόναος περικλείεται από τους γωνιακούς κίονες της προστάσεως και από τους παραστάδες που ξεπροβάλλουν κατά 1.70m από τον θυραίο τοίχο με τον οποίο σχηματίζουν σε κάτοψη ένα ανεστραμμένο Π. Οι διαστάσεις του πρόναου είναι 21.71m μήκος και 5.43m πλάτος.



Εικόνα 1.31 Προοπτική, κατακόρυφη τομή στον Πρόναο. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α.Κ. Ορλάνδος, 1950-1952)

Το δάπεδο του πρόναου αποτελείται από δύο είδη ορθογωνίων πλακών:

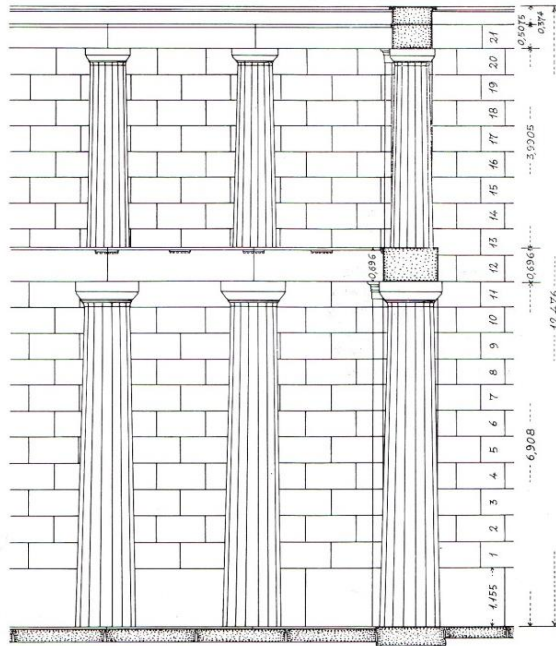
- Από αυτές που σχηματίζουν τον στυλοβάτη των κίωνων της προστάσεως, οι οποίες έχουν το ίδιο ύψος με τον ανώτερο αναβαθμό της κρηπίδας του σηκού.
- Από δεκατρείς κατά το μήκος και τρεις κατά το πλάτος πλάκες που καλύπτουν επιφάνεια $3.66 \times 18.42\text{m}$, η οποία βρίσκεται 0.064m χαμηλότερα από τις πλάκες του στυλοβάτη.

Οι κίονες της προστάσεως, έξι στο πλήθος τους, αποτελούνται από δώδεκα σπονδύλους ο καθένας, συνολικού ύψους 10.0m και μέγιστης διαμέτρου 1.64m , εκ των οποίων όλοι πλην του κατωτάτου συνδέονται μεταξύ τους με εμπόλια και πόλους όπως ακριβώς και στους κίονες του περού. Ο κάθε κίονας είχε είκοσι ραβδώσεις. Για τον θριγκό του πρόναου δεν έχουν διασωθεί πολλά στοιχεία αλλά λόγω της ομοιότητας του με τον οπισθόναο θα καλυφθεί το θέμα αυτό στην αντίστοιχη ενότητα του οπισθόναου.

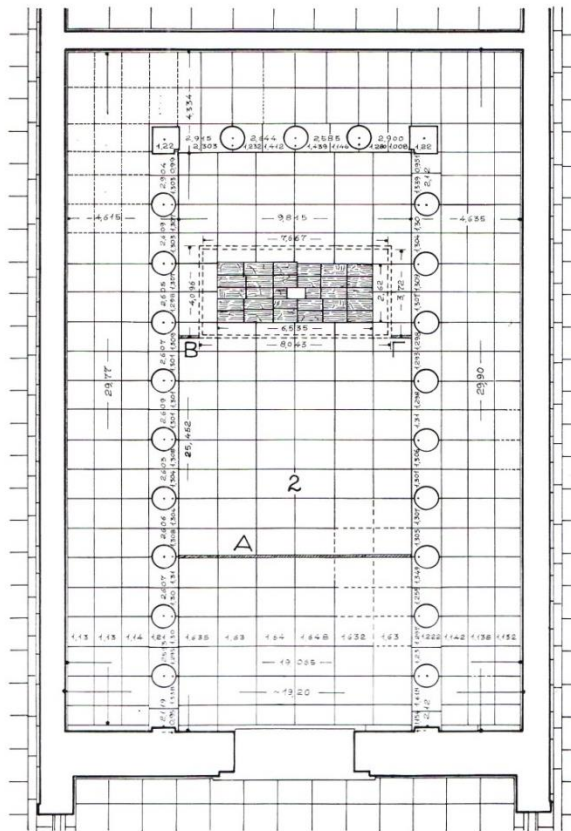
Οι παραστάδες δεν κατασκευάστηκαν μονοκόμματοι, αλλά όπως και οι τοίχοι του σηκού αποτελούνται από μια κατώτατη στρώση, τους ορθοστάτες, και από δεκαεπτά υπερκείμενες στρώσεις εκ των οποίων η ανώτατη αποτελεί το *επίκρανο* (Εικόνα 1.3.27).

1.3.8 Ανάλυση του δομικού συστήματος του Κυρίως ναού

Στην ενότητα αυτή θα μιλήσουμε για το ακριβώς επόμενο τμήμα του σηκού μετά τον Πρόναο, τον Κυρίως ναό. Το διαμέρισμα αυτό του ναού, που περιλάμβανε και το λατρευτικό άγαλμα της Θεάς, έχει μήκος 29.90m και πλάτος 19.20m και περικλείεται από τους δύο διαμήκεις, τον ανατολικό θυραίο και τον ενδιάμεσο εγκάρσιο τοίχο του σηκού. Το δάπεδό του βρίσκεται στο ίδιο επίπεδο με τον στυλοβάτη της κρηπίδας του πρόναου και αποτελείται από μαρμάρινες πλάκες, πάχους $0,245\text{m}$.



Εικόνα 1.32 Διαστάσεις και αναλογίες των εσωτερικών κίονων του κυρίως ναού. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α.Κ. Ορλάνδος, 1950-1952)



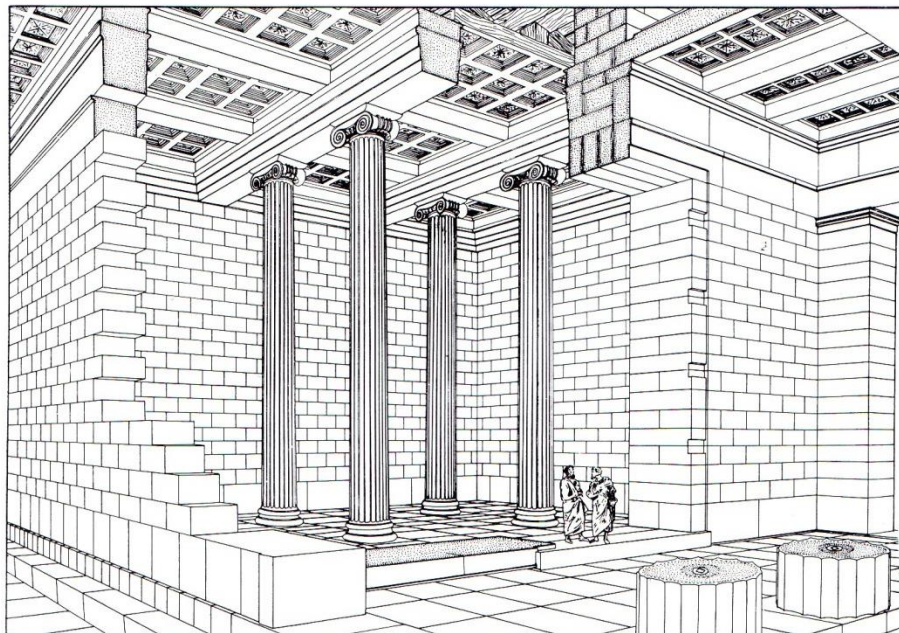
Εικόνα 1.33 Κάτοψη του Κύριου ναού μετά του εσωτερικού τρίπλευρου περιστυλίου σχήματος Π και του βάθρου του αγάλματος. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α.Κ. Ορλάνδος, 1950-1952)

Όπως παρατηρούμε στην Εικόνα 1.33, γύρω από το άγαλμα υπήρχε περιστύλιο σχήματος **Π**, το οποίο αποτελείτο από εννέα κίονες, με δεκαέξι ραβδώσεις ο καθένας, σε κάθε παράλληλη προς τις μακρές πλευρές κιονοστοιχία και από τρεις κίονες στην μια και μοναδική κάθετη προς αυτές κιονοστοιχία. Στις δύο γωνίες του **Π** αντί για κίονες υπήρχαν τετράγωνοι πεσσοί. Αυτό το εσωτερικό περιστύλιο από κίονες και πεσσούς ήταν διώροφο (Εικόνα 1.32), με τον πρώτο όροφο να αποτελείται από είκοσι τρία στηρίγματα συνολικού ύψους 6.90m και τον δεύτερο να αποτελείται από είκοσι τρία στηρίγματα συνολικού ύψους 3.99m τα οποία εδράζονταν πάνω σε μια στρώση από επιστύλια ύψους 0.70m. Ο ρόλος αυτού του διώροφου περιστυλίου, εκτός από αισθητικός, ήταν και να στηρίζει την ξύλινη φατνωματική οροφή για την οποία θα μιλήσουμε σε επόμενη ενότητα.

1.3.9 Ανάλυση του δομικού συστήματος του Οπισθόδομου

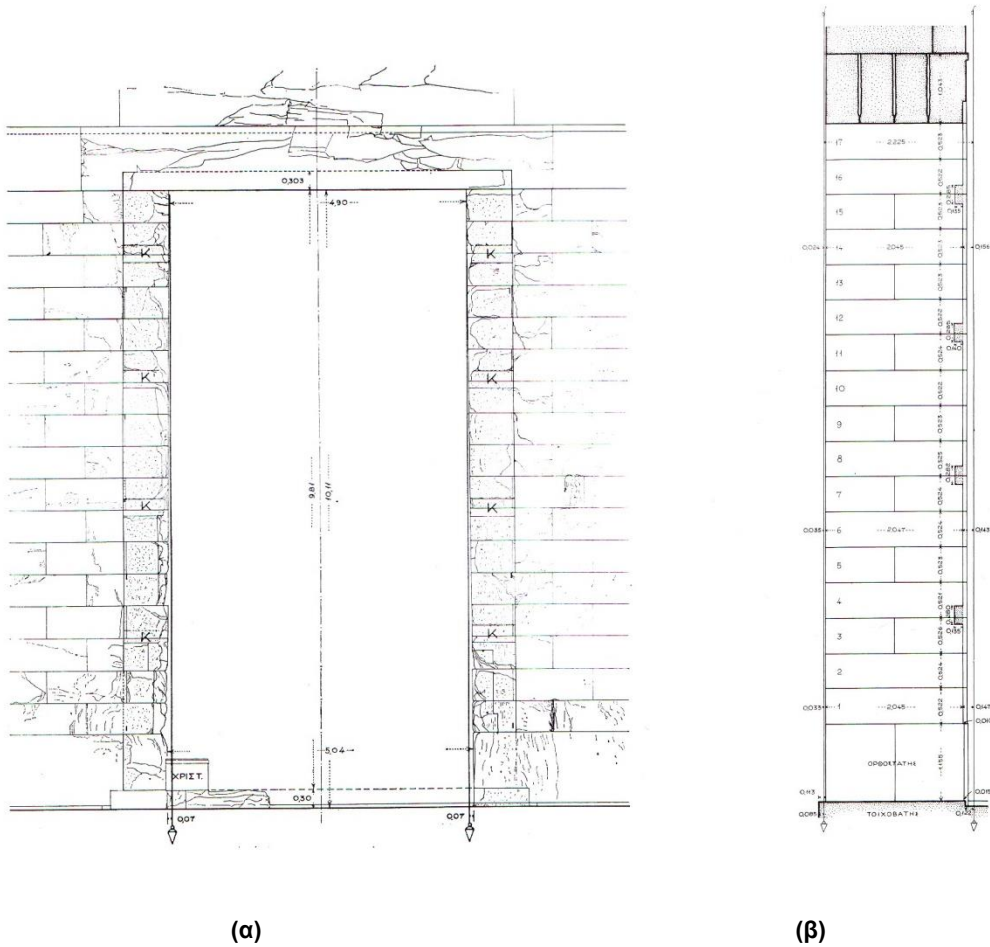
Ο οπισθόδομος είναι το τρίτο κατά σειρά τμήμα του σηκού (Εικόνα 1.4), έχει σχήμα ορθογώνιο και διαστάσεις 19.20m μήκος και 13.37m πλάτος. Το διαμέρισμα αυτό περικλείεται από τους δύο διαμήκεις τοίχους του σηκού, από τον ενδιάμεσο εγκάρσιο τοίχο που τον χωρίζει από τον κύριο ναό και από τον δυτικό εγκάρσιο τοίχο. Ο οπισθόδομος επικοινωνεί μόνο με τον οπισθόναο μέσω μιας μεγάλης θύρας που βρίσκεται στο μέσον του προαναφερθέντος θυραίου τοίχου.

Το δάπεδο του διαμερίσματος είναι στρωμένο με μαρμάρινες πλάκες (διαστάσεων 1.20 × 1.75m) μεταξύ των οποίων παρεμβάλλονται, στο κέντρο του χώρου, τέσσερις τετράγωνοι, μεγαλύτεροι και παχύτεροι λιθόπλινθοι (διαστάσεων 1.70 × 1.75m) οι οποίοι χρησίμευαν ως βατήρες ισάριθμων εσωτερικών κίωνων. Οι εν λόγω κίονες ήταν ιωνικού ρυθμού και χρησίμευαν στο να στηρίζουν την υπερκείμενη οροφή του οπισθόδομου (Εικόνα 1.34).



Εικόνα 1.34 Προοπτική αναπαράσταση του οπισθόδομου από βορειοδυτικά. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενόνος, Α.Κ. Ορλάνδος, 1950-1952)

Όσον αφορά τη θύρα του δυτικού εγκάρσιου τοίχου του σηκού, όπως παρατηρούμε στην Εικόνα 1.35, είχε υπέρθυρο μήκους 4.92m το οποίο αποτελούσαν τέσσερα κατά πλάτος επιστύλια με μήκος 7.77m, πλάτος 0.50m και ύψος 1.04m.



Εικόνα 1.35 Όψη,(α) και κατά μήκος τομή (β) της δυτικής θύρας του οπισθόδομου. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α.Κ. Ορλάνδος, 1950-1952)

1.3.10 Ανάλυση του δομικού συστήματος του Οπισθόναου

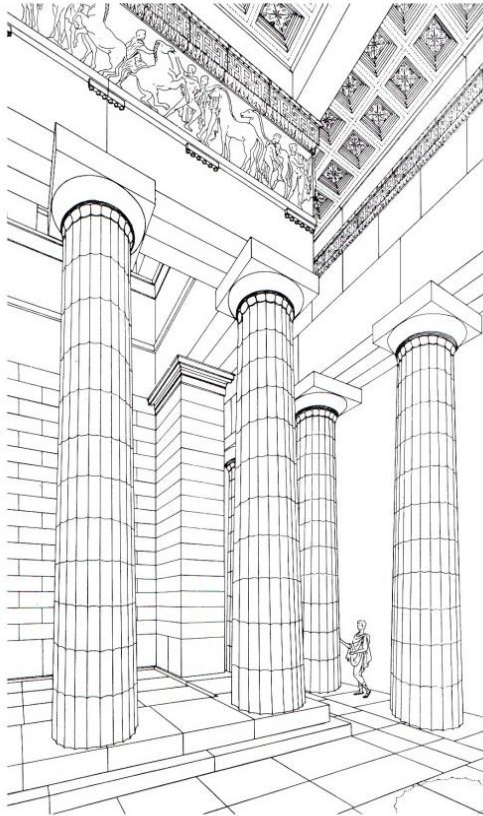
Το τέταρτο και τελευταίο διαμέρισμα του σηκού είναι ο οπισθόναος, όμοιος σε κάτοψη με τον πρόναο (Εικόνα 1.36 - β). Ο οπισθόναος έχει σχήμα πλαγιαστού ορθογωνίου το οποίο περιορίζεται προς τα δυτικά μεν από την εξάστυλη κιονοστοιχία της προστάσεως, προς τα ανατολικά δε από τον πάχους 2.05m θυραίο τοίχο που τον χωρίζει από τον οπισθόδομο. Προς τα βόρεια και τα νότια, περικλείεται από τους γωνιακούς κίονες της προστάσεως και από τους δύο παραστάδες, πλάτους 1.55m, που προεξέχουν κατά 1.56m από τον θυραίο τοίχο. Το μήκος του οπισθόναου, μετρούμενο κατά τον στυλοβάτη της δυτικής πλευράς, είναι 21.71m, ενώ το πλάτος του ανέρχεται στα 5.33m.

Το δάπεδο του πρόναου αποτελείται από δύο είδη ορθογωνίων πλακών:

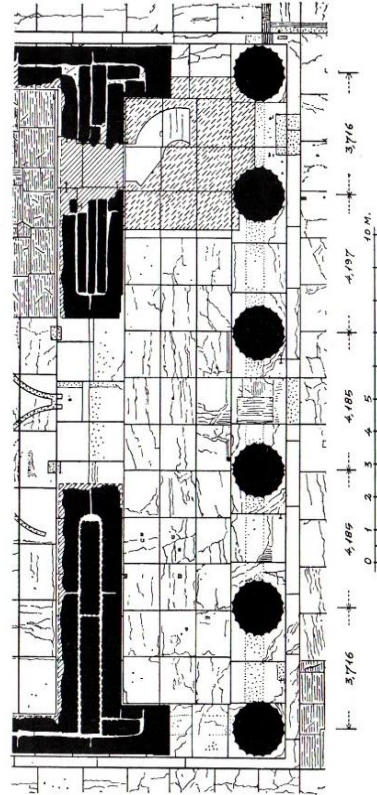
- Από αυτές που σχηματίζουν τον στυλοβάτη των κίωνων της προστάσεως, οι οποίες έχουν το ίδιο ύψος με τον ανώτερο αναβαθμό της κρηπίδας του σηκού.
- Από δεκατρείς κατά το μήκος και τρεις κατά το πλάτος πλάκες που καλύπτουν επιφάνεια $3.50 \times 18.40\text{m}$, η οποία βρίσκεται 0.064m χαμηλότερα από τις πλάκες του στυλοβάτη.

Οι κίονες της προστάσεως, έξι στο πλήθος τους, αποτελούνται από έντεκα (οι δύο ακριανοί) ή δώδεκα (οι τέσσερεις ενδιάμεσοι) ισουψείς σπονδύλους ο καθένας (Εικόνα 1.36 - α), συνολικού ύψους 10.0m και μέγιστης διαμέτρου 1.71m, εκ των οποίων όλοι πλην του κατωτάτου συνδέονται μεταξύ τους με εμπόλια και πόλους όπως ακριβώς και στους κίονες του περoύ. Ο κάθε κίονας έχει είκοσι ραβδώσεις.

Όσον αφορά τους παραστάδες του οπισθόναου, ισχύει ακριβώς ότι αναφέραμε στην ενότητα του πρόναου.



(α)

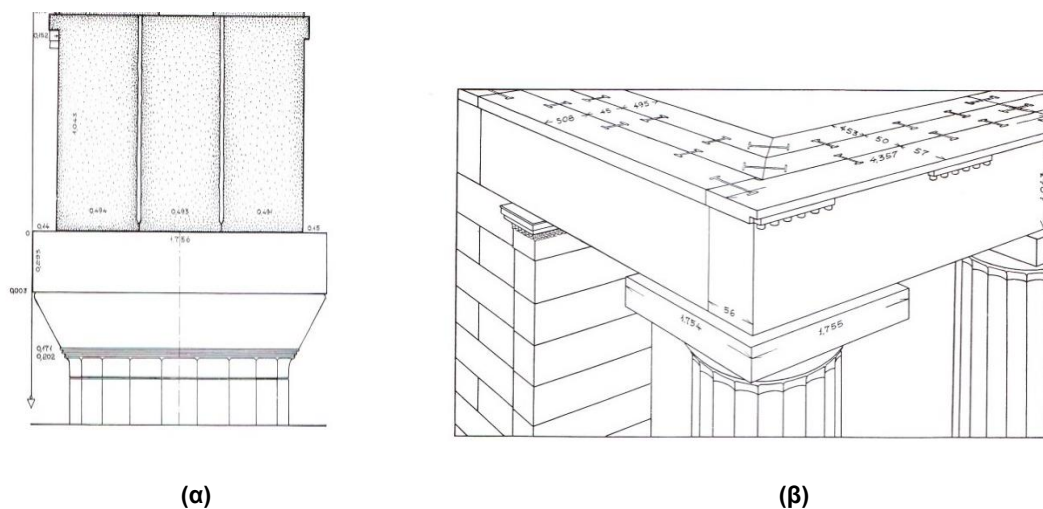


(β)

Εικόνα 1.36 (α) Προοπτική αναπαράσταση της νοτιοδυτικής γωνίας του οπισθόναου μετάμμητος του νοτίου περιστυλίου, (β) κάτοψη του οπισθόναου. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α. Κ. Ορλάνδος, 1950-1952)

1.3.11 Ο Θριγκός του σηκού

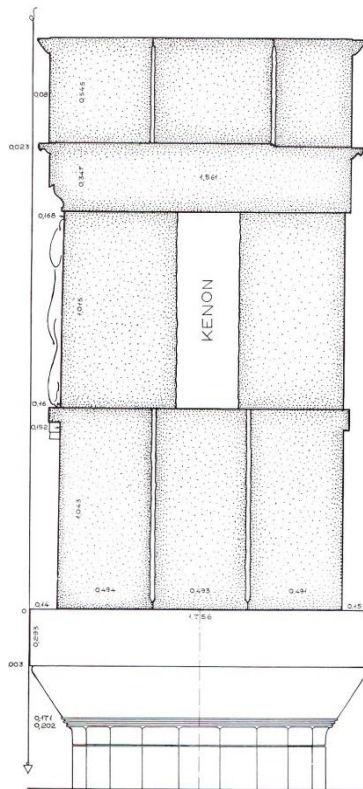
Πάνω στα κιονόκρανα των κίωνων των προστάσεων αλλά και πάνω στους διαμήκεις και τους δύο εγκάρσιους θυραίους τοίχους του σηκού, συναντάμε την πρώτη στρώση του εσωτερικού θριγκού, τα επιστύλια. Τα επιστύλια που εδράζονται στους κίονες αποτελούνται από τρία κατά πλάτος τεμάχια, όπως και τα επιστύλια της περιστασης, έχοντας όμως μικρότερο ύψος (1.04m) (Εικόνα 1.37 - α). Η διαμήκης και εγκάρσια σύνδεση των τεμαχίων των επιστυλίων φαίνεται στην Εικόνα 1.37 – β, όπου γίνεται χρήση συνδέσμων σχήματος διπλού ταυ.



Εικόνα 1.37 (α) Κατά πλάτος τομή στα επιστύλια της δυτικής προστάσεως, (β) σύνδεση των επιστυλίων με συνδέσμους σχήματος διπλού ταυ. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α.Κ. Ορλάνδος, 1950-1952)

Πολύ διαφορετική είναι η σύνθεση των επιστυλίων των μακρών τοίχων του σηκού, τα οποία αποτελούνται από δύο κατά πλάτος σειρές λίθων. Η εξωτερική σειρά (προς το πτερό), αποτελείται από λίθους ορθοστατών μήκους 2.44m, ενώ η εσωτερική αποτελείται από δύο καθ' ύψος στρώσεις λίθων ύψους 0.523m. Τα επιστύλια που εδράζονται στους δύο θυραίους τοίχους αποτελούνται από τέσσερις κατά πλάτος λίθους, γεγονός που οφείλεται στο μεγάλο πάχος των εν λόγω τοίχων (Εικόνα 1.35 – β).

Η επόμενη καθ' ύψος στρώση του εσωτερικού θριγκού είναι η ζωφόρος, η οποία δεν αποτελείται από τριγλύφους και μετόπες αλλά από μια συνεχόμενη ορθογώνια διακοσμητική ζώνη. Όπως παρατηρούμε στην Εικόνα 1.3.34, το στρώμα της ζωφόρου αποτελείται από έναν εξωτερικό λίθο, ο οποίος φέρει το γλυπτό διάκοσμο, και από ένα εσωτερικό αντίθημα, μεταξύ των οποίων υπάρχει κενό πλάτους 0.36m, για λόγους οικονομίας στο υλικό και μείωσης του βάρους της κατασκευής. Οι λίθοι της ζωφόρου εδράζονται στα επιστύλια και συνδέονται με αυτά με γόμφους και παραγόμενους, ενώ συνδέονται και μεταξύ τους με σιδερένιους συνδέσμους σχήματος διπλού ταυ, τοποθετημένους στην άνω έδρα τους.

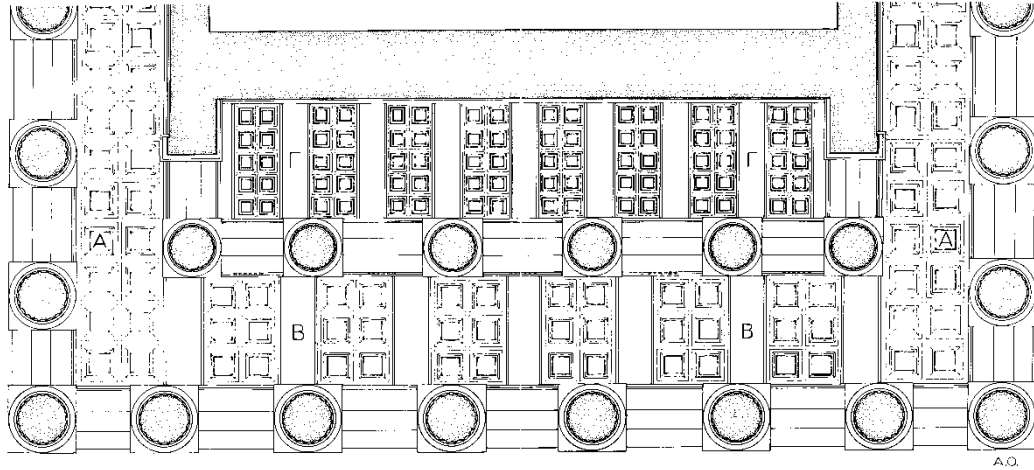


Εικόνα 1.38 Κατά πλάτος τομή στο θριγκό της δυτικής προστάσεως. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α.Κ. Ορλάνδος, 1950-1952)

Το κενό μεταξύ των δύο λίθων της ζωφόρου του σηκού γεφυρώνεται από ένα μπατικό λίθο, τον θρανό (Εικόνα 1.38). Ο θρανός του σηκού διαφέρει από τον εξωτερικό, ως προς το ότι είναι αμφίπλευρος και πλατύς αντί για μονόπλευρος και στενός. Η παρουσία του θρανού είναι κομβική και απαραίτητη αφού αποτελεί την απαραίτητη βάση για την οροφή.

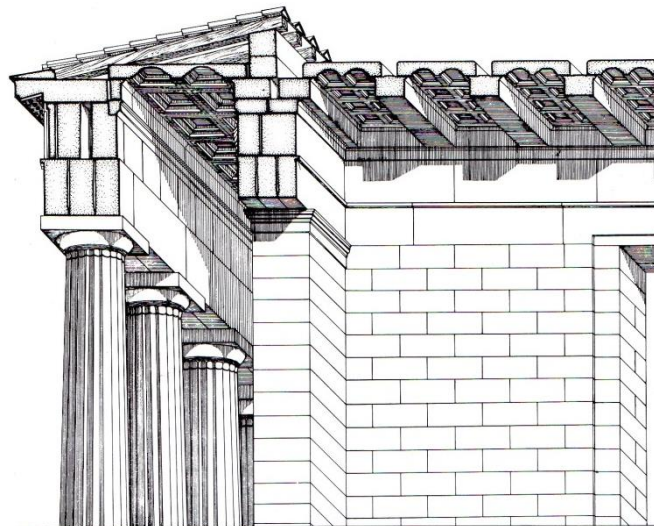
1.3.12 Η Οροφή

Ο ναός καλυπτόταν καθ' όλη του την έκταση από οριζόντια οροφή, η οποία πάνω από τον κυρίως ναό και τον οπισθόδομο ήταν ξύλινη, ενώ πάνω από το πτέρωμα, τον πρόναο και τον οπισθόναο ήταν κατασκευασμένη από μάρμαρο. Η μαρμάρινη οροφή δεν ήταν με τον ίδιο τρόπο κατασκευασμένη και στα τρία διαμερίσματα που κάλυπτε, αλλά είχε άλλη διάταξη στα πλάγια πτερώματα, άλλη στο πτέρωμα των στενών πλευρών και άλλη στον πρόναο και τον οπισθόναο (Εικόνα 1.39). Ανεξαρτήτως του συστήματος και του υλικού κατασκευής, σε όλα τα τμήματα του ναού η οροφή βρισκόταν σε ύψος 13.19m από το δάπεδο.



Εικόνα 1.39 Άνοψη των φατνωματικών οροφών του **A**: πτερού μακρών πλευρών, **B**: πτερού στενών πλευρών, **Γ**: οπισθόναου. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α. Κ. Ορλάνδος, 1950-1952)

Θα ξεκινήσουμε την ανάλυση του δομικού συστήματος της οροφής του ναού από την μαρμάρινη οροφή των πλάγιων μακρών πλευρών του πτερού, η οποία κατασκευαζόταν ως εξής: Κατά μήκος των θρανών του εξωτερικού και του εσωτερικού θριγκού τοποθετούνταν λίθοι ορθογωνικής διατομής (*ημιδόκια*) με συνολικό ύψος 0.54m. Το μήκος τους ποικίλει από 1.08m έως 1.22m ενώ το πλάτος τους, για τα μεν ημιδόκια που εδράζονταν στον εξωτερικό θριγκό είναι 0.32m, για τα δε του εσωτερικού θριγκού ανέρχεται στα 0.90m. Τα ημιδόκια, όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.3.36, εδράζονταν σε όλο το πλάτος του θρανού, με τον οποίο συνδέονταν με χρήση γόμφων, ενώ συνδέονταν και μεταξύ τους με συνδέσμους σχήματος διπλού ταυ, μήκους 0.26m.

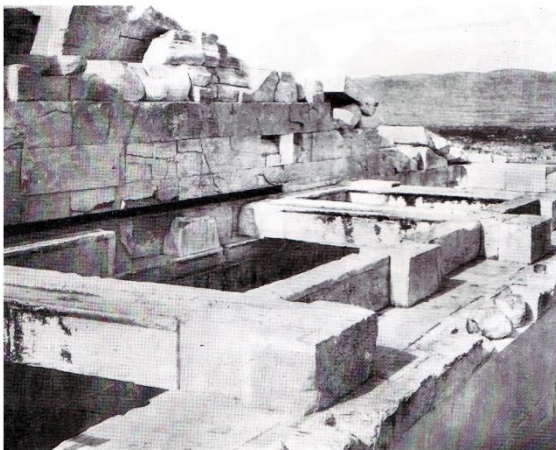


Εικόνα 1.40 Προοπτική τομή των οροφών του βόρειου μακρού πτερού και του οπισθόναου. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α. Κ. Ορλάνδος, 1950-1952)

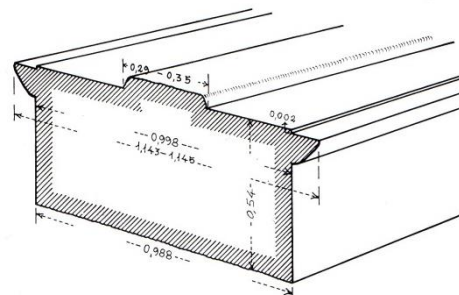
Πάνω στα ημιδόκια τοποθετούνταν χοντρές πλάκες, φέρουσες δύο φατνώματα η κάθε μία, οι οποίες γεφύρωναν το κενό μήκους 65.52m και πλάτους 2.61m μεταξύ των δύο σειρών ημιδοκίων. Κάθε φατνωματική πλάκα συνδεόταν με τη γειτονική της με

συνδέσμους σχήματος διπλού ταν (μήκους 0.26m), ενώ στερεωνόταν στις κατά μήκος του περού και του τοίχου του σηκού ημιδοκούς με τη χρήση γόμφων.

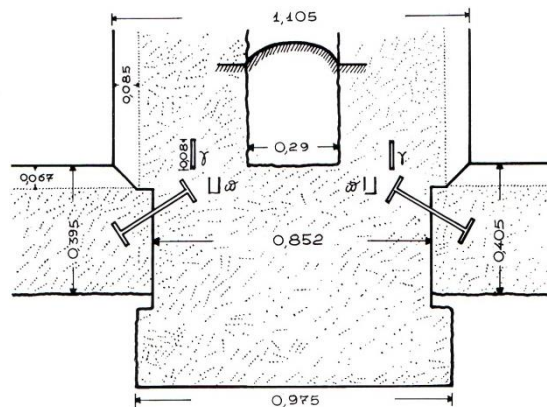
Η οροφή των στενών πλευρών του περού ήταν κατασκευασμένη από δύο στρώσεις δομικών στοιχείων. Την πρώτη στρώση αποτελούσαν επτά μετέωροι δοκοί, οι οποίες εδράζονταν στον εξωτερικό και τον εσωτερικό θρανό (Εικόνα 1.41 – α), χωρίζοντας έτσι τον προς κάλυψη χώρο σε έξι ορθογώνια διαμερίσματα, όπου το καθένα καλυπτόταν από τρεις φατνωματικές πλάκες (Εικόνα 1.39). Οι δοκοί αυτοί εμφανίζουν στο μέσο του πλάτους τους ένα ακατέργαστο εξόγκωμα (Εικόνα 1.41 – β), το οποίο όμως πάνω να υπάρχει στις περιοχές έδρασης τους, εκατέρωθεν του οποίου εδράζονταν οι φατνωματικές πλάκες (δύο φατνώματα η καθεμία) που αποτελούσαν τη δεύτερη και τελευταία στρώση της οροφής.



(α)



(β)



(γ)

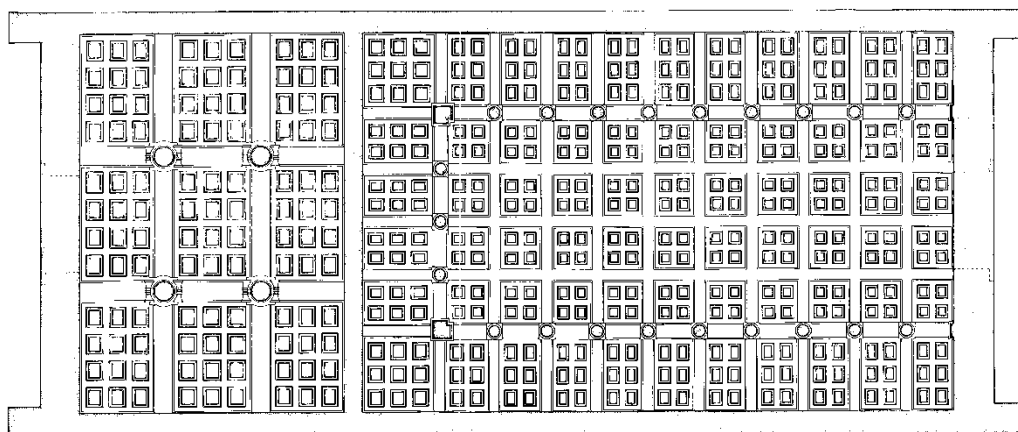
Εικόνα 1.41 Φωτογραφία των δοκών της οροφής της στενής πλευράς του περού, (β) Προοπτική άποψη και κατακόρυφη τομή μιας δοκού της οροφής του δυτικού περού, (γ) τρόπος σύνδεσης της δοκού με τα ημιδόκια. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α.Κ. Ορλάνδος, 1950-1952)

Το κενό διάστημα που δημιουργείται σε όψη, μεταξύ των επτά δοκών και του θρανού, κλείνει με τη χρήση ημιδοκίων τοποθετούμενων κατά μήκος του θρανού. Στην Εικόνα 1.41 - γ φαίνεται ο τρόπος σύνδεσης μιας εκ των επτά μετέωρων δοκών

με τα δύο ημιδόκια που την πλαισιώνουν, κάνοντας χρήση συνδέσμων σχήματος διπλού ταυ.

Το ίδιο σύστημα κατασκευής συναντάμε και στην οροφή του οπισθονάου (ίδια με του πρόναου). Εδώ κάνουν την εμφάνιση τους εννέα δοκοί από τις οποίες οι επτά είναι μετέωροι, χωρίζοντας έτσι τον προς κάλυψη χώρο σε οκτώ ορθογώνια διαμερίσματα όπου το καθένα καλυπτόταν από πέντε φατνωματικές πλάκες με δύο φατνώματα η καθεμία (Εικόνα 1.40).

Όσον αφορά τη ξύλινη οροφή του κυρίως ναού και του οπισθόδομου στην Εικόνα 1.42 δίνεται μια υποθετική αναπαράσταση της σύνθεσης της από τον Α. Ορλάνδο



Εικόνα 1.42 Υποθετική αναπαράσταση της ξύλινης οροφής του κυρίως ναού και του οπισθόδομου. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α.Κ. Ορλάνδος, 1950-1952)

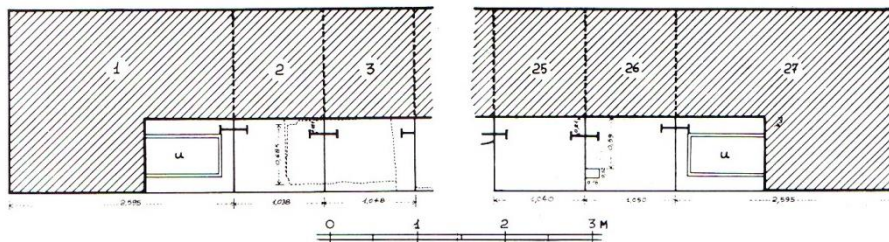
1.3.13 Το Αέτωμα

Το αέτωμα είναι η τριγωνική λίθινη κατασκευή (ύψους: 3.43m, μήκους: 28.35m, πλάτους: 0.91m) που υψώνεται πάνω από τη στάθμη των γείσων του θριγκού των στενών πλευρών του περιστυλίου (Εικόνα 1.7). Η κατασκευή του αετώματος έχει σαν σκοπό να κλείσει το κενό μεταξύ των γείσων και της δίριχτης στέγης του ναού. Καθένα από τα αετώματα της ανατολικής και της δυτικής πλευράς αποτελείται από τέσσερα καθ' ύψος τμήματα τα οποία είναι τα εξής:

- Η **βάση**, η οποία σχηματίζεται από την άνω επιφάνεια των οριζόντιων γείσων των στενών πλευρών του εξωτερικού θριγκού.

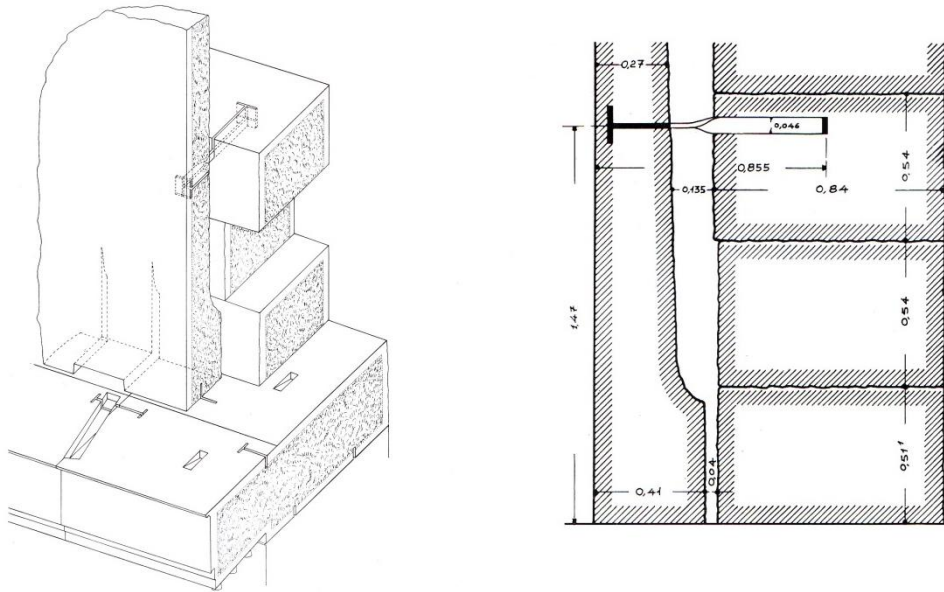
- Το *τύμπανο* και ο *αντιθηματικός τοίχος*, τα οποία κλείνουν το κενό μεταξύ γείσων και στέγης.
- Τα *καταέτια γείσα* με τις *επαετίδες*, τα οποία στέφουν το τριγωνικό τύμπανο.
- Τα *ακρωτήρια*, που εδράζονται πάνω σε οριζόντια βάρη, στην κορυφή και στις γωνίες του τριγώνου.

Τη *βάση* του αετώματος αποτελούν δύο γωνιακά και 25 ενδιάμεσα μικρότερα γείσα τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με δύο συνδέσμους σχήματος διπλού ταυ (μήκους 0.32 – 0.34m), εκ των οποίων ο ένας είναι ακάλυπτος και ο άλλος καλυπτόμενος από τον αντιθηματικό τοίχο (Εικόνα 1.43).



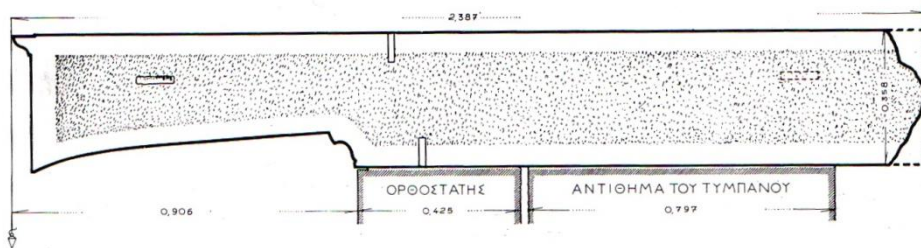
Εικόνα 1.43 Κάτοψη και οριζόντια τομή στο επίπεδο της βάσης των αετωμάτων. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α. Κ. Ορλάνδος, 1950-1952)

Το *τύμπανο* αποτελείται από δύο κατά πλάτος μαρμάρινους τοίχους (Εικόνα 1.44), εκ των οποίων ο πρώτος αποτελείται από δέκα μαρμάρινους ορθοστάτες σχήματος τραπέζιου και ο δεύτερος (αντιθηματικός) από λίθους μήκους 1.81 – 1.83m, ύψους 0.51 – 0.54m και πλάτους 0.84m. Για να μειωθεί το βάρος που θα αναλάμβαναν τα μεσαία επιστύλια, η πίσω πλευρά των τεσσάρων κεντρικών ορθοστατών είναι κοίλα λαξευμένη. Αυτό όμως μετατοπίζει το κέντρο βάρους του ορθοστάτη προς τη βάση του, με αποτέλεσμα να εμφανίζεται κίνδυνος ανατροπής. Για να αντιμετωπιστεί το ενδεχόμενο αυτό οι ορθοστάτες συνδέονται με τον αντιθηματικό τοίχο με χρήση συνδέσμων διπλού ταυ (στρεπτοσύνδεσμοι) όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.44. Αξίζει να αναφέρουμε ότι οι ορθοστάτες στερεώνονταν πάνω στα οριζόντια γείσα με τη βοήθεια μεγάλων σιδερένιων γόμφων. Κάθε γόμφο τον μοιραζόντουσαν από μισό δύο ορθοστάτες στην περιοχή της ένωσης τους.



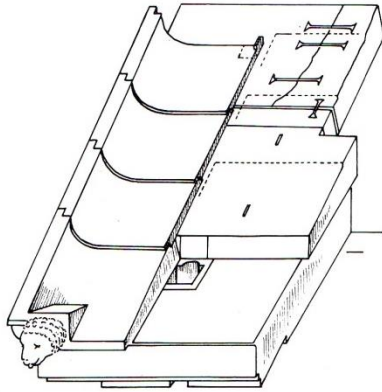
Εικόνα 1.44 Αξονομετρική ακι κατακόρυφη τομή του μέσου ορθοστάτη και του αντιθηματικού τοίχου. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενόνος, Α. Κ. Ορλάνδος, 1950-1952)

Επί της άνω επιφάνειας των ορθοστατών του τυμπάνου τοποθετούνται *τα καταέτια γείσα*, τα οποία αποτελούνται από ένα αιωρούμενο τμήμα που εξέχει από το τύμπανο κατά 0.90m και από ένα άλλο μήκους 2.24 – 2.39m που έχει τον ρόλο αντίβαρού (Εικόνα 1.45). Κάθε γείσο στερεώνεται πάνω στους ορθοστάτες του τυμπάνου με γόμφους και παραγόμφους, με τους δεύτερους να είναι απαραίτητοι λόγω της κεκλιμένης επιφάνειας. Η μεταξύ των γείσων σύνδεση επιτυγχάνεται με συνδέσμους σχήματος διπλού ταυ, μήκους 0.46m.

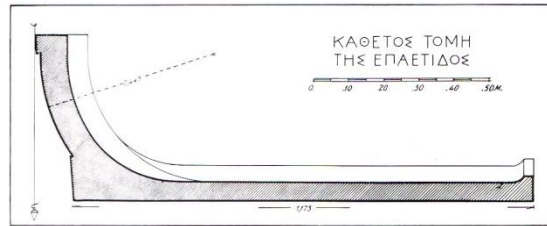


Εικόνα 1.45 Κατακόρυφη τομή καταετίου γείσου. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενόνος, Α.Κ. Ορλάνδος, 1950-1952)

Πάνω στα καταέτια γείσα τοποθετούνταν οι *επαετίδες* που είχαν σαν σκοπό να προστατεύουν τα γλυπτά του αετώματος από τα όμβρια ύδατα. Σε κάθε κεκλιμένη πλευρά του αετώματος υπήρχαν 23 τεμάχια επαετίδων, συμπεριλαμβανομένου του κορυφαίου, τα οποία συνδέονταν μεταξύ τους με ειδικό αρμό σχήματος **Z** (Εικόνα 1.46 - α). Οι γωνιακές επαετίδες παρουσίαζαν διαφορετική κατασκευή από τις υπόλοιπες αφού εκτός του ότι είχαν μεγαλύτερο μήκος, ήταν κατασκευασμένες μαζί με το γωνιακό γείσο από έναν και μόνο λίθο.



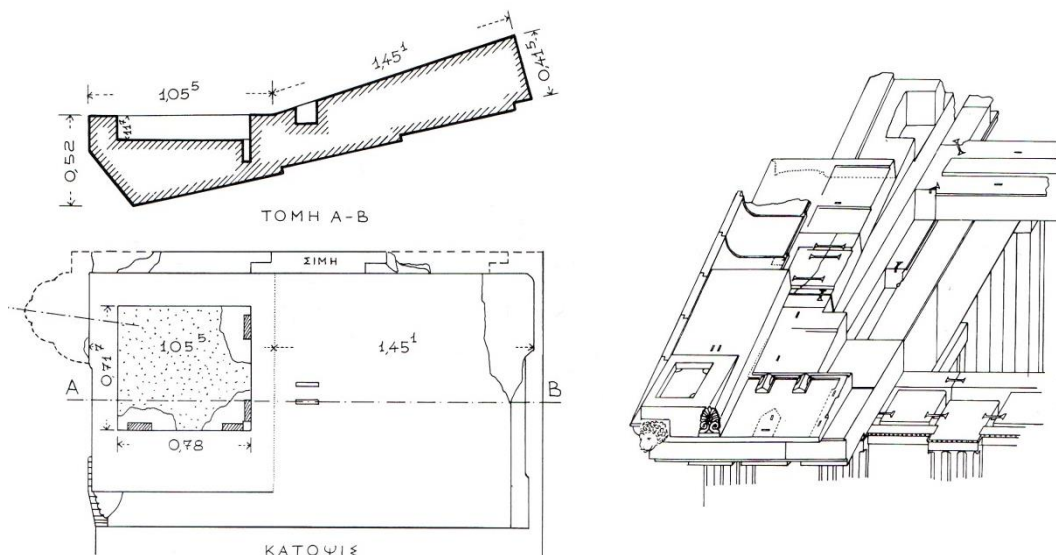
(α)



(β)

Εικόνα 1.46 (α) Εσωτερική άποψη των επαετίδων του δυτικού αετώματος, (β) κατακόρυφη τομή της επαετίδας. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενόνος, Α.Κ. Ορλάνδος, 1950-1952)

Το τελευταίο καθ' ύψος τμήμα του αετώματος, ήταν τα *ακρωτήρια* τα οποία ήταν τοποθετημένα στην κορυφή και τις γωνίες των αετωμάτων (Εικόνα 1.7). Τα γωνιακά ακρωτήρια, τα μόνα για τα οποία έχουμε πληροφορίες, εδράζονταν πάνω σε μαρμάρινες βάσεις, τα βάθρα, οι οποίες είναι τοποθετημένες κατά την κλίση της στέγης και εδράζονται πάνω στις τρεις ακριανές επαετίδες του αετώματος. Στην Εικόνα 1.47 παρατηρούμε την τετράγωνη βάση πάνω στην οποία εδράζεται το ακρωτήριο, για την στερέωση του οποίου χρησιμοποιούνται γόμφοι σχήματος Γ.



Εικόνα 1.47 Τομή, κάτοψη και αξονομετρική παράσταση του κεκλιμένου βάθρου και της βάσης του ΝΔ ακρωτηρίου. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενόνος, Α.Κ. Ορλάνδος, 1950-1952)

1.3.14 Η Στέγη

Θα κλείσουμε την ανάλυση του δομικού συστήματος του Παρθενώνα με την περιγραφή της δίκλινης στέγης που κάλυπτε τον ναό. Ο σκελετός της στέγης ήταν ξύλινος ενώ η επικάλυψη ήταν μαρμάρινη.

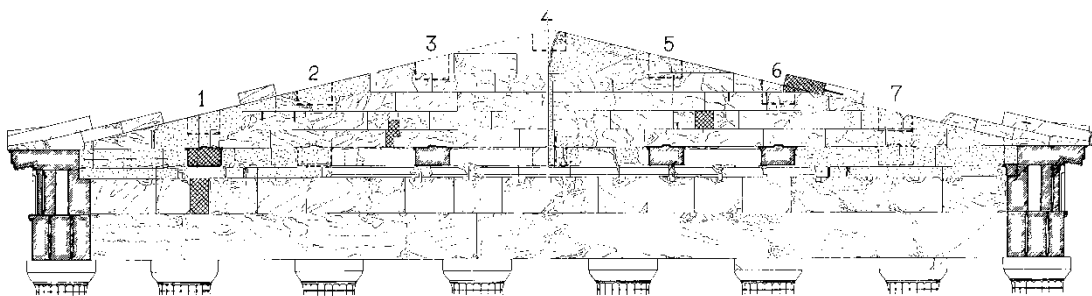
Τον σκελετό της στέγης του πρόναου, του οπισθόδομου και του οπισθόναου αποτελούσαν επτά ξύλινοι δοκοί μεγάλης διατομής, τοποθετημένες κατά μήκος του ναού, τα άκρα των οποίων εδράζονταν σε ειδικές οπές που λαξεύονταν στα αετώματα, τις *δοκοθήκες* (Εικόνα 1.48). Στην Εικόνα 1.49 φαίνεται η διάταξη των δοκών στα προαναφερθέντα διαμερίσματα του ναού. Στον οπισθόναο και τον οπισθόδομο οι δοκοί στηρίζονταν:

- Στο δυτικό αέτωμα.
- Στον θριγικό της δυτικής εξάστυλης πρόστασης του οπισθόναου.
- Στο δυτικό θυραίο τοίχο του οπισθόδομου.
- Στα επιστύλια των ιωνικών κίωνων του οπισθόδομου.
- Στον ενδιάμεσο διαχωριστικό τοίχο μεταξύ οπισθόδομου και κυρίως ναού.

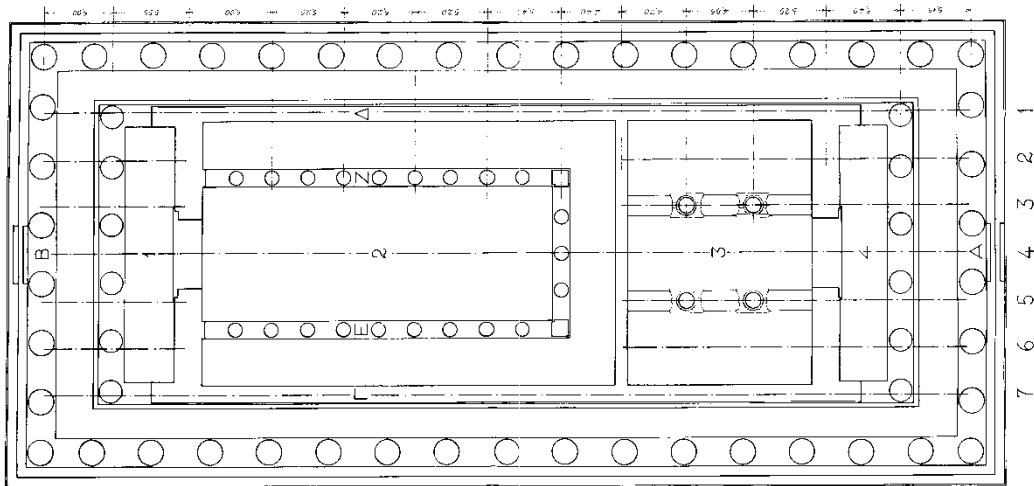
Στον πρόναο οι δοκοί στηρίζονταν:

- Στο ανατολικό αέτωμα.
- Στον θριγικό της ανατολικής εξάστυλης πρόστασης του σηκού.
- Στον ανατολικό θυραίο τοίχο του σηκού.

Πάνω στις δοκούς στηρίζονταν επιτεγίδες, τοποθετημένες κατά την κλίση της στέγης, στις οποίες στερεώνονταν τα μαρμάρινα κεραμίδια.

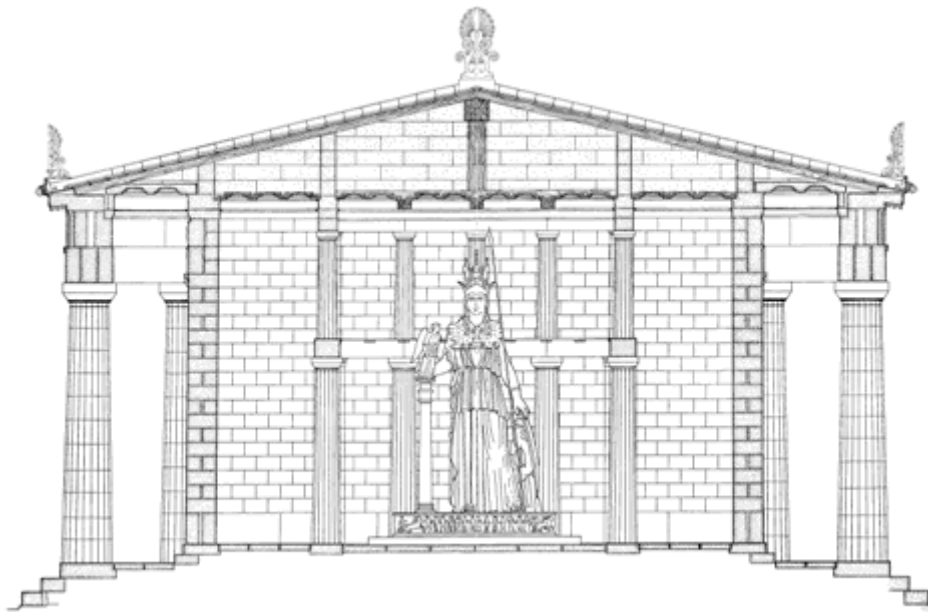


Εικόνα 1.48 Εξωτερική όψη του δυτικού αετώματος. Με τους αριθμούς 1-7 συμβολίζονται οι δοκοθήκες που είναι λαξευμένες στο αέτωμα. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α.Κ. Ορλάνδος, 1950-1952)



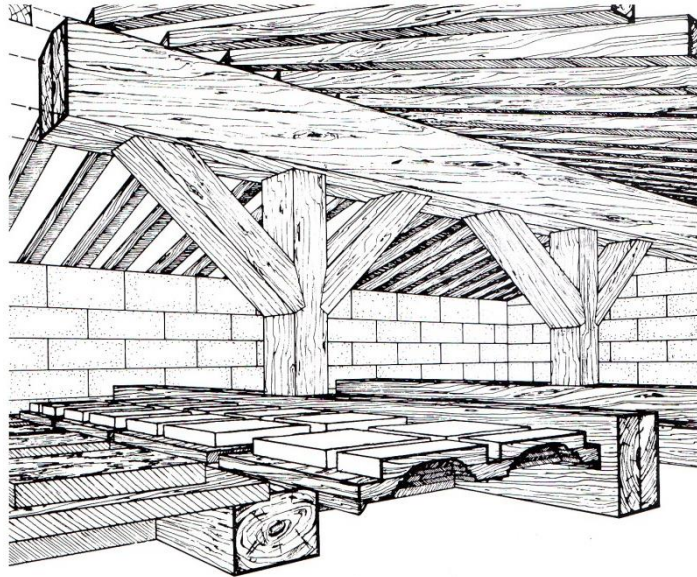
Εικόνα 1.49 Διάταξη των δοκών της στέγης σε σχέση με την κάτοψη του μνημείου. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνας, Α. Κ. Ορλάνδος, 1950-1952)

Στον κυρίως ναό δεν μπορεί να εφαρμοστεί το ίδιο σύστημα στέγασης διότι, όπως παρατηρούμε στην Εικόνα 1.3.45, δεν υπάρχουν στηρίγματα στο χώρο αυτό κατά την προέκταση των επτά δοκών. Για το λόγο αυτό, για τη στέγαση του κυρίως ναού χρησιμοποιήθηκαν ξύλινα ζευκτά, αποτελούμενα από τρεις ορθοστάτες (υποθήματα), τοποθετημένα κατά την εγκάρσια διεύθυνση του ναού. Εξετάζοντας την Εικόνα 1.50, συμπεραίνουμε ότι ο μεσαίος ξύλινος ορθοστάτης του ζευκτού στηρίζει την κορυφαία εκ των επτά δοκών, ενώ οι άλλοι δύο λίθيني ορθοστάτες, οι οποίοι εδράζονταν πάνω στα επιστύλια των εσωτερικών διώροφων κιονοστοιχιών του κυρίως ναού, στήριζαν τις κεκλιμένες πλευρές του ζευκτού.



Εικόνα 1.50 Κατά πλάτος τομή της στέγασης του κυρίως ναού με ζευκτά αποτελούμενα από τρεις ορθοστάτες. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνας, Α.Κ. Ορλάνδος, 1950-1952)

Ο μεσαίος ορθοστάτης ήταν κατασκευασμένος από ξύλο με σκοπό να μειωθεί το βάρος του ζευκτού και σε κάθε του πλευρά έφερε μια αντηρίδα η οποία στήριζε την κορυφαία διαμήκη δοκό (Εικόνα 1.51)



Εικόνα 1.51 Τρόπος στήριξης της κορυφαίας δικού στον χώρο του κυρίως ναού με χρήση ορθοστατών με λοξές αντηρίδες. (Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος, Α. Κ. Ορλάνδος, 1950-1952)

2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

2.1 Δυναμική συμπεριφορά σπονδυλωτών συστημάτων – λικνισμός και ολίσθηση

Η δυναμική συμπεριφορά των μνημείων της κλασικής αρχαιότητας διαφέρει άρδην αυτής των συνήθων δομικών συστημάτων. Αυτό οφείλετε στον ιδιαίτερο τρόπο δόμησής τους. Τα κύρια φέροντα κατακόρυφα στοιχεία, δηλαδή οι κίονες και οι τοίχοι, κατασκευάζονται από διακριτά σώματα, τους σπονδύλους και τις λιθοπλίνθους αντίστοιχα χωρίς συνδετικό κονίαμα. Οι σπόνδυλοι δεν διαθέτουν συνδέσμους στις επιφάνειες επαφής τους, πέραν κάποιον ξύλινων εμπολίων χαμηλής συνήθως αντοχής που βοηθούν με την τοποθέτηση τους αλλά δεν αυξάνουν την διατμητική αντοχή της διεπιφάνειας. Εξάιρεση αποτελούν ορισμένα δομήματα της ύστερης αρχαιότητας όπως οι στύλοι του Ολυμπίου Διός. Οι τοίχοι διαθέτουν μια ποικιλία από συνδέσμους. Η σχετική μονολιθικότητα που εξασφαλιζόταν από αυτούς, αλλά κυρίως από την διατμητική αντοχή των διεπιφανειών (αρμονία), έχει χαθεί. Τα οριζόντια στοιχεία, όπως οι δοκοί και τα επιστύλια του επιστύλιου θριγκού, εδράζονται απλά στα κατακόρυφα στοιχεία και ασφαλιζονται με συνδέσμους. Ως αποτέλεσμα της ασύνδετης δομής τους τα κατακόρυφα στοιχεία των μνημείων αποκρίνονται στη σεισμική διέγερση με σχετική ολίσθηση και λικνισμό των διακριτών δομικών στοιχείων, μεμονωμένα ή σε μικρές ομάδες [8].

Η ιδιάζουσα απόκριση τέτοιων δομικών συστημάτων έχει ως αποτέλεσμα την έντονα μη γραμμική συμπεριφορά τους σε σεισμική φόρτιση καθώς και την παρατήρηση παραμενουσών παραμορφώσεων. Στην περίπτωση των τοίχων, λόγω της πλοκής των λίθων, οι παραμορφώσεις οφείλονται κυρίως στην ολίσθηση η οποία φαίνεται να αυξάνεται με την αύξηση της συχνότητας της διέγερσης. Γίνεται λοιπόν φανερό ότι η κυριότερη αιτία κατάρρευσης του δομήματος είναι η απώλεια της ευστάθειας του λόγω μεγάλων αποκλίσεων από την αρχική θέση ισορροπίας και όχι η αστοχία του υλικού.

Η ανάλυση της κίνησης ενός λικνιζόμενου σώματος αποτελεί ένα πολύ δύσκολο πρόβλημα το οποίο διερευνήθηκε πρώτη φορά στα τέλη του 19 αιώνα και ενδελεχώς από τον Housner το 1963. Η πολυπλοκότητα του φαινομένου οφείλεται στην ανυπαρξία ιδιομορφών και ιδιοσυχνοτήτων με την κλασική έννοια για λικνιζόμενα σώματα καθώς και την εναλλαγή των εξισώσεων κίνησης για αλλαγή του πόλου περιστροφής. Σε αυτήν την εναλλαγή οφείλεται και η έντονη μη γραμμικότητα του φαινομένου. Η μορφή της ταλάντωσης μιας ομάδας λικνιζόμενων σωμάτων αλλάζει συνεχώς κατά τη διάρκεια της δόνησης, με τον αριθμό των δυνατών μορφών να αυξάνεται εκθετικά με το πλήθος των σωμάτων. Επίσης

κάθε μορφή διέπεται από τις δικές τις εξισώσεις κίνησης οι οποίες με τη σειρά τους εναλλάσσονται με την αλλαγή του πόλου περιστροφής. Το πλήθος των δυνατών μορφών ταλάντωσης καθιστά πρακτικώς αδύνατη τη θέσπιση έστω και γενικών κριτηρίων για τη μετάβαση από τη μια στην άλλη σε συστήματα έστω και μικρού πλήθους σωμάτων. Τέλος υπάρχει και το πρόβλημα της εκτίμησης της απώλειας ενέργειας κατά την κρούση και τριβή των λίθων.

Οι βασικές αρχές της δυναμικής συμπεριφοράς λικνιζόμενου σώματος μπορούν να γίνουν κατανοητές με την εξέταση της επίπεδης κίνησης απλών γεωμετρικά σωμάτων επί οριζοντίου στερεού υποβάθρου. Θεωρούμε στερεό λικνιζόμενο ορθογωνικό σώμα στραμμένο κατά γωνία φ υπό την επίδραση σεισμικής επιτάχυνσης του εδάφους (ή του οιονεί εδάφους). Ο λικνισμός αρχίζει όταν η ροπή ανατροπής υπερβεί τη ροπή ευστάθειας. Οπότε η εδαφική επιτάχυνση που απαιτείται για την έναρξη του λικνισμού είναι :

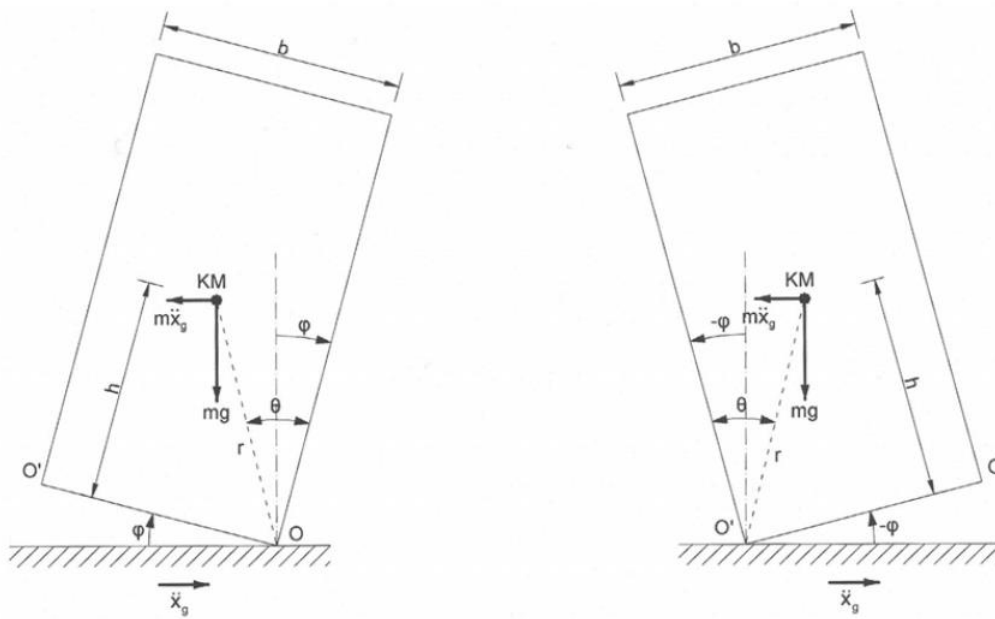
$$(\ddot{\chi}_g)_{cr} = (b/2h)g \quad (2.1)$$

Η γωνία λέγεται γωνία ραδινότητας και δηλώνει πως τα ραδινά σώματα παρουσιάζουν και πιο έντονα φαινόμενα λικνισμού. Σύμφωνα με αυτόν τον τύπο, για την έναρξη του λικνισμού ενός διάτονου λίθου εντός επιπέδου και ενός δρομικού εκτός επιπέδου απαιτείται επιτάχυνση 2.22g και 1.06g αντίστοιχα.

Στο σώμα ασκούνται δυνάμεις D'Alembert και το βάρος. Υπό αυτές τις δυνάμεις η εξίσωση κίνησης είναι :

$$\mp mgr \sin(\theta \mp \varphi) - m\ddot{\chi}_g r \cos(\theta \mp \varphi) = I_0 \ddot{\varphi} \quad (2.2)$$

όπου : $I_0 = \frac{m[b^2+(2h)^2]}{3}$ είναι η ροπή αδράνειας για περιστροφή περί το σημείο O.



Εικόνα 2.1 Λικνιζόμενο σώμα για (α) θετική και (β) αρνητική γωνία στροφής

Θεωρώντας μικρές γωνίες στροφής φ , οπότε $\sin \varphi \approx \varphi$ και $\cos \varphi \approx 1$, και αμελώντας τους όρους δευτέρας τάξης η παραπάνω σχέση απλοποιείται σε :

$$I_0 - mgh\varphi = \mp m \frac{b}{2} g - mh\ddot{\chi}_g \quad (2.3)$$

Πειραματικά έχει επιβεβαιωθεί ικανοποιητική ακρίβεια της παραπάνω σχέσεις για γωνίες στροφής μέχρι και περίπου θ .

Για την περίπτωση της ελεύθερης ταλάντωσης η παραπάνω σχέση μεταπίπτει στην εξής μορφή :

$$I_0 - mgh\varphi = \mp m \frac{b}{2} g \quad (2.4)$$

της οποίας η γενική λύση είναι :

$$\varphi(t) = A \cosh(pt) + B \sinh(pt) \pm \frac{b}{2h} \quad (2.5)$$

όπου: $p = \sqrt{\frac{mgh}{I_0}}$ η «χαρακτηριστική» συχνότητα του συστήματος κατ'αντιστοιχία της ιδιοσυχνότητας των συνήθων κατασκευών. Οι συντελεστές A και B προσδιορίζονται από τις αρχικές συνθήκες και για αρχική εκτροπή του σώματος κατά γωνία $\varphi(0) = \varphi_0$ και $\dot{\varphi}(0) = 0$ προκύπτει η λύση :

$$\varphi(t) = \frac{b}{2h} - \left(\frac{b}{2h} - \varphi_0 \right) \cosh(pt) \quad (2.6)$$

Η σχέση αυτή περιγράφει την περιστροφή του σώματος μέχρι την επιστροφή στην οριζόντια θέση ($\varphi = 0$). Κατά την οριζοντίωση αλλάζει ο πόλος περιστροφής του σώματος από O σε O' και εκδηλώνεται απώλεια ενέργειας λόγω της κρούσης με το έδαφος. Στη συνέχεια η κίνηση περιγράφεται από τις εξισώσεις για αρνητική γωνία στροφής και αρχικές συνθήκες που προκύπτουν από την προηγούμενη εξίσωση κίνησης τη στιγμή της κρούσης. Η εναλλαγή αυτή των εξισώσεων κίνησης οδηγούν στην έντονα μη γραμμική συμπεριφορά.

Θεωρώντας μηδενικές απώλειες ενέργειας το σώμα θα εκτρεπόταν κατά γωνία $-\varphi_0$ περί των νέο άξονα και θα επέστρεφε στην κατακόρυφη θέση και ούτω καθ'εξής. Από τις εξισώσεις κίνησης προκύπτει πως ο χρόνος που απαιτείται για να φτάσει το σώμα μέγιστης εκτροπής στην κατακόρυφη ($T/4$) είναι ίσος με :

$$\frac{T}{4} = \frac{1}{p} \cosh^{-1} \left(\frac{1}{1 - \varphi_0 / (b/2h)} \right) \quad (2.7)$$

Από τη σχέση αυτή φαίνεται πως η περίοδος T εξαρτάται από το εύρος ταλάντωσης , σε αντίθεση με τις συνήθεις ταλαντώσεις συστημάτων μάζας-ακαμψίας.

Κατά την αλλαγή του πόλου περιστροφής του σώματος αλλάζει η διεύθυνση της ταχύτητας του κέντρου μάζας του σώματος, πράγμα που επιφέρει απώλειες ενέργειας.

Θεωρώντας πως κατά την κρούση και αλλαγή του πόλου περιστροφής δεν σημειώνεται καμία αναπήδηση και ολίσθηση και εξισώνοντας τη στροφορμή του συστήματος πριν και μετά την κρούση προκύπτει πως οι αντίστοιχες γωνιακές ταχύτητες συνδέονται με τη σχέση:

$$\dot{\varphi}_2 = \varepsilon \dot{\varphi}_1 \quad (2.8)$$

Όπου : $\varepsilon = 1 - \frac{mb^2}{2I_0}$ ο συντελεστής αποκατάστασης εξαρτώμενος μόνο από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του λικνιζόμενου σώματος.

Λόγω της μείωσης της ταχύτητας έπειτα από κάθε κρούση μειώνεται και η μέγιστη γωνία εκτροπής. Από τις εξισώσεις κίνησης προκύπτει πως μετά τη n-οστή κρούση το εύρος ταλάντωσης δίνεται από τη σχέση:

$$\frac{\varphi_n}{n} = 1 - \sqrt{1 - \varepsilon^n \left[1 - \left(1 - \frac{\varphi_0}{\theta} \right)^2 \right]} \quad (2.9)$$

Για την ολίσθηση στερεού σώματος, αγνοώντας τον λικνισμό, υπό οριζόντια σεισμική διέγερση απαιτείται να υπερνικηθεί από την αδρανειακή δύναμη $F_i = m\ddot{\chi}_g$ η δύναμη τριβής $F_f = \mu mg$. Άρα, για την έναρξη της ολίσθησης η κρίσιμη επιτάχυνση είναι :

$$(\ddot{\chi}_g)_{cr} = \mu g = 0.75g \quad (2.10)$$

Η παραπάνω τιμή, ανεξάρτητα από τη γεωμετρία του σώματος, είναι αρκετά μικρότερη της κρίσιμης επιτάχυνσης για την έναρξη του λικνισμού. Επίσης τροποποιείται περαιτέρω από τη συμβολή της κατακόρυφης σεισμικής συνιστώσας, η οποία δεν μπορεί να αγνοηθεί κατά την περιγραφή κίνησης ολισθαίνοντος σώματος. Η αλληλεπίδραση των δύο φαινομένων, με τη μορφή, για παράδειγμα, της οριζόντιας μετατόπισης ενός μερικώς ανασηκωμένου σώματος, συμβάλλουν, αφενός, στη μη γραμμικότητα της απόκρισης, καθιστούν, αφετέρου, την αναλυτική περιγραφή της κίνησης δυσχερή για απλές διατάξεις και πρακτικά αδύνατη για εκτεταμένα συστήματα.

Μια σειρά από πειράματα [13] και αριθμητικές προσομοιώσεις [15] έδωσε τη δυνατότητα να διερευνηθεί η δυναμική συμπεριφορά τέτοιων συστημάτων υπό σεισμική διέγερση. Τα πειραματικά δοκίμια παρουσίασαν πολύ μεγάλη ευαισθησία σε μικρές αλλαγές των παραμέτρων της σεισμικής διέγερσης και της γεωμετρίας [18]. Ενδεικτικά όμοιες διατάξεις αποκρίθηκαν διαφορετικά στην ίδια διέγερση ενώ, διατάξεις που καταρρέουν για συγκεκριμένο σεισμό δεν καταρρέουν για σεισμό μεγαλύτερης έντασης. Παρατηρήθηκε επίσης πως οι μέγιστες μετατοπίσεις δεν ήταν αντιπροσωπευτικές των τελικών, λόγω της έντονης μη γραμμικότητας της απόκρισης. Παράλληλα παρατηρήθηκαν για περιπτώσεις επίπεδης διέγερσης εκτός επιπέδου μετατόπισης. Όπως είναι γνωστό από τη θεωρία λικνισμού, με μείωση της δεσπόζουσας συχνότητας της διέγερσης αυξάνεται και η απόκριση του λικνιζόμενου σώματος μειώνοντας την ευστάθεια του δομήματος. Τέλος φαίνεται πως με την αύξηση των απολύτων διαστάσεων των μελών του δομήματος αυξάνεται και η ευστάθεια του. Αντιθέτως με αύξηση της συχνότητας της διέγερσης παρατηρούνται πιο έντονα φαινόμενα ολίσθησης. Η γεωμετρία και η πλοκή των λίθων των τοίχων τους καθιστά πιο ευάλωτους σε ολίσθηση παρά σε λικνισμό, ο οποίος περιορίζεται στις ανώτερες στρώσεις.

Πέραν των πειραματικών αποτελεσμάτων και προσομοιώσεων πρέπει να σημειωθεί πως τα μνημεία παρουσιάζουν υψηλή ευστάθεια και ανθεκτικότητα σε δυναμικές φορτίσεις όταν βρίσκονται στην αρχική άθικτη μορφή τους. Ενδεικτικό είναι πως τέτοια μνημεία διατηρούν έστω και τμηματικά τη μορφή και τη στατική τους λειτουργία εδώ και χιλιετίες, σε περιοχές με έντονη σεισμική δραστηριότητα, όπως η Ελλάδα και η Νότια Ιταλία. Στην περίπτωση του Παρθενώνα αυτό μπορεί να αποδοθεί στην σχετική μονολιθικότητα τους για την ποιότητα της κατασκευής, ενώ τα δομητικά προβλήματα στα κατά χώραν τμήματα που οφείλονται σε σεισμικές βλάβες προέκυψαν μετά τις ανθρωπογενείς καταστροφές.

2.2 Ιδιότητες υλικών

Για την κατασκευή όλων των τμημάτων του Παρθενώνα χρησιμοποιήθηκε μάρμαρο από το λατομείο του Πεντελικού. Το λατομείο κατασκευάστηκε για να καλύψει τις ανάγκες του ναού. Από τα πρώτα στάδια της εξόρυξης καταβλήθηκε προσπάθεια για την βέλτιστη αξιοποίηση του υλικού και την επίτευξη υψηλής ποιότητας στο έργο. Στόχοι αυτής της βελτιστοποίησης ήταν η υψηλή αντοχή, η καθαρότητα και η επιδεκτικότητα στη λεπτή κατεργασία των επιφανειών. Για αυτό τον λόγο επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί υλικό με ασυνήθιστα υψηλές για την εποχή προδιαγραφές. Τέλος η αρχαία λιθοτεχνική ήταν τόσο

ανεπτυγμένη ώστε παρήγε αποτελέσματα άφραστα σήμερα χωρίς τη χρήση προηγμένων μέσων από άποψη ποιότητας και ταχύτητας εκτέλεσης.

2.1.1 Αρχαία υλικά- Πεντελικό Μάρμαρο και σίδηρος

Τα μηχανικά χαρακτηριστικά του πεντελικού μαρμάρου είναι γνωστά από μια σειρά ερευνών και πειραματικών δεδομένων. Παρόλα αυτά , τα δεδομένα για τις ελαστικές ιδιότητες του παρουσιάζουν έντονη διασπορά. Αυτό οφείλεται στην ορθότροπη συμπεριφορά του υλικού και την κρυσταλλική δομή του.

Για τις μηχανικές ιδιότητες των επιφανειών έχουν πραγματοποιηθεί πειράματα διερεύνησης του μηχανισμού τριβής. Τα πειράματα έχουν δείξει πως η μέγιστη διατμητική αντοχή επιστρατεύεται μέσα στο πρώτο χιλιοστό ολίσθησης. Επίσης , ο συντελεστής τριβής είναι φθίνουσα συνάρτηση του επιβαλλόμενου κατακόρυφου φορτίου και παρουσιάζει σημαντική διακύμανση τιμών. Λόγω αυτής της διακύμανσης και δεδομένου του σημαντικού ρόλου του συντελεστή τριβής σε προβλήματα ολίσθησης, καθώς και για να ληφθούν υπόψη ενδεχόμενες ατέλειες των επιφανειών, ο συντελεστής τριβής αποτέλεσε αντικείμενο παραμετρικής διερεύνησης.

2.2.2 Σύγχρονα υλικά- Τιτάνιο και τσιμεντοκονίαμα

Το τιτάνιο επιλέχθηκε ως το καταλληλότερο υλικό κατασκευής των νέων συνδέσμων με κριτήριο τις φυσικομηχανικές του ιδιότητες και ιδιαίτερα τη υψηλή αντοχή, την ικανοποιητική πλαστιμότητα και τον χαμηλό συντελεστή θερμικής διαστολής.

Μέτρο ελαστικότητας : $E = 105 \text{ GPa}$

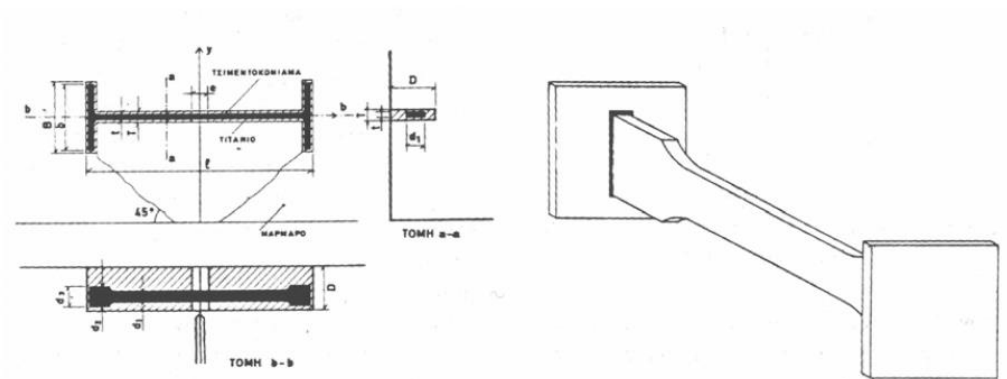
Λόγος Poisson : $\nu = 0.32$

Μέτρο Διάτμησης : $G = 40 \text{ GPa}$

Τάση Διαρροής : $f_y = 300 \text{ MPa}$

Τάση θραύσης : $f_u = 420 \text{ MPa}$

Συντελεστής θερμικής διαστολής : $a = 9 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$

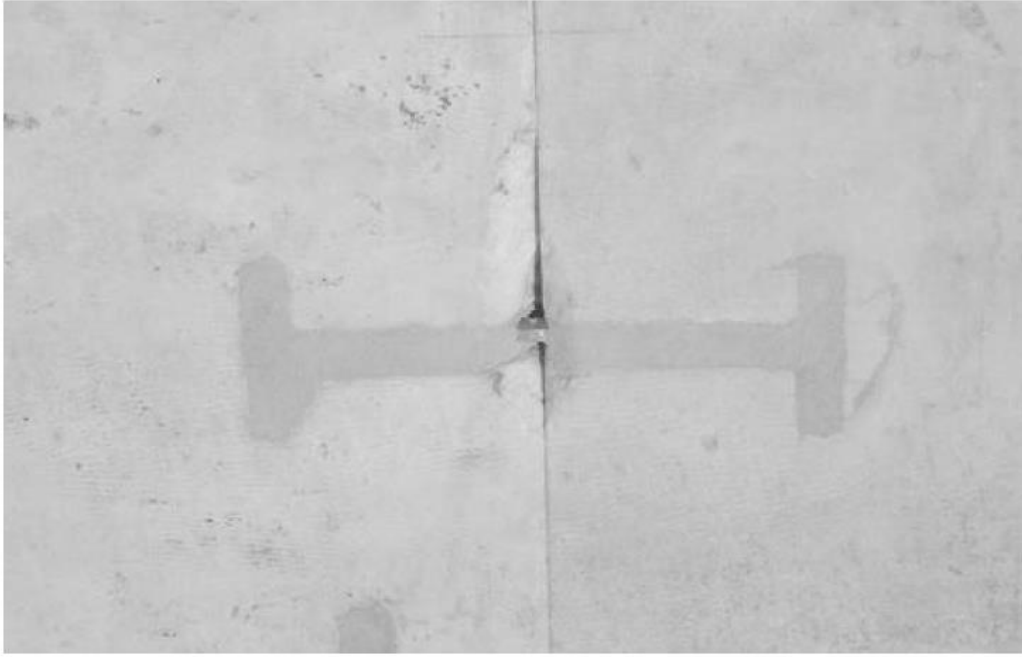


Εικόνα 2.2 Εφελκυστικός σύνδεσμος από τιτάνιο

Το τσιμεντοκονίαμα αποτελείται από λευκό τσιμέντο Portland και χαλαζιακή άμμο. Χρησιμοποιείται για την επιφανειακή προστασία του μαρμάρου, τη σφράγιση των ρωγμών και αρμών, την πλήρωση των εντορμιών και τις συγκολλήσεις των λίθων. Κριτήρια σχεδιασμού του κονιάματος είναι η ικανοποίηση απαιτήσεων αντοχής και συμβατότητας με τα υπόλοιπα υλικά.

Για την προστασία των λίθων κατά την μεταφορά και την τελική τοποθέτηση, η κατεργασία των επιφανειών παρέμενε σε μορφή άπεργου. Για παράδειγμα οι αγκώνες των λίθων διατηρούνταν καθώς εξυπηρετούσαν την μεταφορά των λίθων αλλά και την στήριξη των κριωμάτων και των ξύλινων δαπέδων κατά την τελική κατάταξη των επιφανειών. Επίσης με αυτή τη μέθοδο ήταν δυνατό να επιτευχθεί ομοιόμορφη τελική λάξευση και σύμπτωση των ακμών.

Οι πλευρές ώσεως, ή, κεφαλές των λίθων διατηρούσαν τη μορφή απέργου εκτός από μια ελαφρώς προεξέχουσα περιμετρική λωρίδα

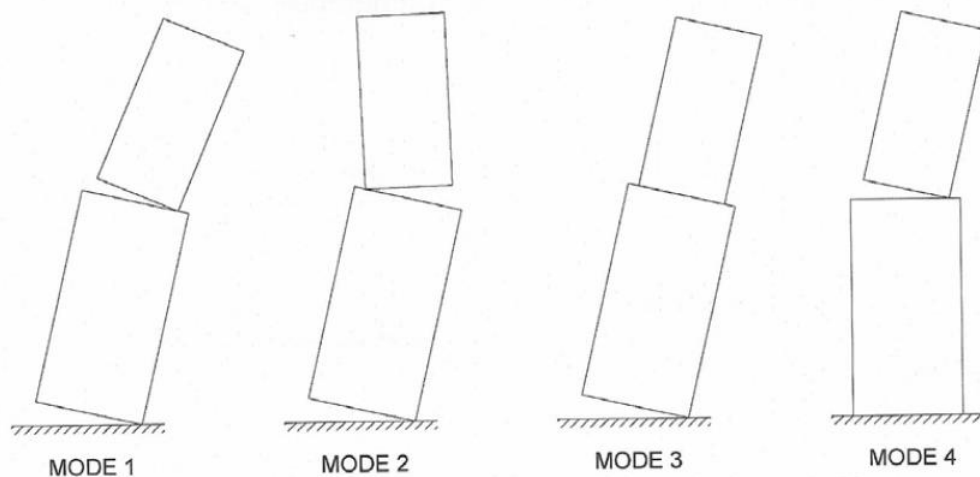


Εικόνα 2.3 Κάλυψη εντορμίας συνδέσμου με κονίαμα

3 ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΟΥ ΦΟΡΕΑ

3.1 Επιλογή μεθόδου ανάλυσης

Το δομικό σύστημα του Οπισθόναου του Παρθενώνα παρουσιάζει μια ιδιαιτερότητα ως προς την οικοδομική προσέγγιση γι' αυτό τον λόγο απαιτεί και μια ιδιαίτερη προσέγγιση κατά την ανάλυση της συμπεριφοράς του. Όσον αφορά τον τοίχο και την κιονοστοιχία ο λικνισμός και η ολίσθηση στις διεπιφάνειες των λίθων δεν επιτρέπουν τη χρήση προσομοιωμάτων για συνήθεις τοιχοποιίες από λιθοσώματα και κονιάματα. Εξάλλου αυτό που πρέπει να διερευνηθεί και αντιμετωπιστεί είναι το πρόβλημα της ευστάθειας των σπονδύλων σε ταλάντωση και όχι η αντοχή του υλικού τους. Κατά την ταλάντωση ενός ασυνεχούς συστήματος του οποίου η γεωμετρία μεταβάλλεται με το χρόνο δεν ισχύουν οι βασικές έννοιες της δυναμικής των συνήθων κατασκευών (μητρώα δυσκαμψίας, μάζας, ιδιομορφές). Αν και η περιγραφή της κίνησης ενός λικνιζόμενου σώματος, είναι ιδιαίτερα πολύπλοκη, η ανάλυση της κίνησης ενός ολισθαίνοντος σώματος αποτελεί αρκετά πιο προσιτό πρόβλημα και μπορεί να λυθεί αναλυτικά για συστήματα περιορισμένης έκτασης. Για συστήματα όμως μερικών δεκάδων λίθων, όπου η δυσκαμψία, ως συνάρτηση των υπερκείμενων φορτίων και η γεωμετρία, ως συνάρτηση των σχετικών μετακινήσεων μεταβάλλεται συνεχώς, η λύση γίνεται πρακτικά αδύνατη. Επομένως είναι απαραίτητη η χρήση ενός αριθμητικού προσομοιώματος για την ανάλυση ενός εκτεταμένου πολυλιθικού συστήματος.



Εικόνα 3.1 Τέσσερις μορφές λικνισμού συστήματος 2 σωμάτων

Για την αριθμητική προσομοίωση ενός συστήματος διακριτών σωμάτων απαιτείται η δυνατότητα διαχείρισης της ανεξάρτητης καθενός κίνησης (λικνισμού και ολίσθησης) και προσομοίωσης της επαφής και αποχωρισμού των αρμών. Οι κώδικες πεπερασμένων στοιχείων, πεπερασμένων διαφορών και συνοριακών στοιχείων μπορούν να προσομοιώσουν ολισθαίνουσες διεπιφάνειες αλλά συναντούν δυσκολίες στη μόρφωση του μοντέλου, τον επαναληπτικό, αυτόματο υπολογισμό νέων επαφών και τη διαχείριση πολύπλοκων δυναμικών φορτίσεων και έχουν συνήθως υψηλό υπολογιστικό κόστος. Επίσης παρουσιάζουν υπολογιστική αστάθεια σε περίπτωση μεγάλων σχετικών μετακινήσεων. Η σχετική αδυναμία των παραπάνω μεθόδων να δώσουν ικανοποιητικά αποτελέσματα οφείλεται στον προσανατολισμό τους σε ανάλυση συνεχών μέσων. Πιο προσαρμοσμένη στις απαιτήσεις του προβλήματος είναι η μέθοδος των διακριτών στοιχείων (Distinct Element Method- DEM).

3.1.1 Περιγραφή του προγράμματος

Η μέθοδος των διακριτών στοιχείων παρουσιάστηκε από τον Cundall το 1971 και χρησιμοποιήθηκε αρχικά για σε εφαρμογές βραχομηχανικής, ευστάθειας σηράγγων και βραχώδων πρηνών, καθώς και σε προβλήματα ροής σωματιδίων.

Η μέθοδος συνίσταται στον επαναληπτικό υπολογισμό δυνάμεων επαφής στις διεπιφάνειες των σωμάτων, τον υπολογισμό των μετακινήσεων των σωμάτων υπό τις δυνάμεις που ασκούνται σε αυτά και την ανανέωση των συνοριακών συνθηκών και δυνάμεων σε κάθε βήμα. Σε κάθε χρονικό βήμα η ταχύτητα και η επιτάχυνση κάθε σώματος θεωρείται σταθερή. Τα σώματα μπορούν να θεωρηθούν ως άκαμπτα ή να αναλυθούν περαιτέρω με διακεκριμενοποίηση με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων και την εισαγωγή των ελαστικών χαρακτηριστικών στο μοντέλο. Η μηχανική συμπεριφορά των αρμών προσομοιώνεται με χρήση γενικευμένου μοντέλου Mohr-Colomb. Η ανάλυση ενέργειας στους αρμούς υπολογίζεται με αναλογική απόσβεση Rayleigh. Από πειράματα και αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Αντισεισμικής Τεχνολογίας του Ε.Μ.Π με των κώδικα διακριτών στοιχείων της εταιρίας ITASCA διαπιστώθηκε πως η μέθοδος μπορεί να προβλέψει με αρκετή ακρίβεια την απόκριση σπονδυλωτών δομητικών συστημάτων.

Για την αποτύπωση της γεωμετρίας, των ιδιοτήτων και της συμπεριφοράς ενός σπονδυλωτού συστήματος με τη μέθοδο των διακριτών στοιχείων είναι απαραίτητη η προσομοίωση των επιμέρους σωμάτων, των επιφανειών τους, της κίνησης τους καθώς και η αναγνώριση των γειτονικών σωμάτων για την καταγραφή και εντοπισμό των υπαρχόντων και νέων επαφών.

Οι λίθοι προσομοιώνονται με άκαμπτα τρισδιάστατα σώματα (blocks) 6 βαθμούς ελευθερίας : 3 μεταφορικούς και 3 περιστροφικούς. Τα πρόσωπα των λίθων προσομοιώνονται με επίπεδες πολυγωνικές επιφάνειες . Οι συντεταγμένες των κορυφών αποθηκεύονται και ελέγχονται κατά την υπολογιστική διαδικασία είτε άμεσα κατά την ανανέωση των παραμέτρων κίνησης είτε έμμεσα κατά την αναζήτηση νέων επαφών.

Για κάθε δύο σώματα σε επαφή καταγράφεται μια σειρά δεδομένων η οποία ανανεώνεται κατά την υπολογιστική διαδικασία. Κάθε επαφή χωρίζεται σε υπό-επαφές όπου ασκούνται οι δυνάμεις αλληλεπίδρασης. Κατά τον υπολογιστικό κύκλο οι επαφές ελέγχονται όλες μία-μία.

Η αναγνώριση των γειτονικών σωμάτων για τον εντοπισμό των υπαρχόντων και των νέων επαφών δεν γίνεται για όλες τις επιφάνειες μία –μία καθώς αυξάνει αρκετά το υπολογιστικό κόστος. Ο χώρος που περικλείει όλα τα σώματα του μοντέλου χωρίζεται σε παραλληλεπίπεδα χωρία ώστε να ελέγχονται οι πιθανές επαφές μεταξύ ενός περιορισμένου αριθμού επιφανειών. Καθώς ένα σώμα κινείται πρέπει να ελέγχεται για πιθανές νέες επαφές. Ο έλεγχος γίνεται μόλις η μετατόπιση του σώματος ξεπεράσει μια οριακή τιμή CTOL. Η μετατόπιση του σώματος ορίζεται ως :

$$u_{acc}^{n+1} = u_{acc}^n + \max\{abs(du)\} \quad (3.1)$$

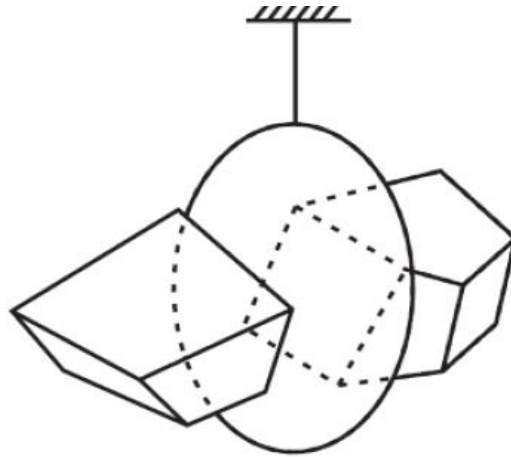
όπου: n= ο αριθμός του υπολογιστικού κύκλου

$\max\{abs(du)\}$ = η μέγιστη βηματική μετατόπιση των κορυφών του σώματος

Μόλις η απόσταση μεταξύ δύο επιφανειών γίνει μικρότερη από CTOL την επαφή καταγράφεται ενώ αν γίνει μεγαλύτερη από CTOL διαγράφεται. Η καταγραφή μιας γειτνίασης δεν συνεπάγεται και αυτομάτως έναρξη της αλληλεπίδρασης των δύο σωμάτων.

Μετά την καταγραφή της γειτνίασης τα δύο σώματα ελέγχονται για τυχόν επαφή. Οι τύποι επαφής δύο σωμάτων μπορεί να είναι κορυφή-επιφάνεια, ακμή-ακμή ή γενίκευσης των προηγούμενων , δηλαδή κορυφή-κορυφή, κορυφή-ακμή, ακμή-επιφάνεια και επιφάνεια – επιφάνεια. Σε κάθε περίπτωση επαφής είναι απαραίτητη να προσδιοριστεί το διάνυσμα που είναι κάθετο στην επιφάνεια επαφής. Ο αριθμός των συνδυασμών των πιθανών τρόπων επαφής δύο σωμάτων εξαρτάται από τον αριθμό των ακμών των σωμάτων στο τετράγωνο. Για την απλοποίηση του προσδιορισμού του κάθετου διανύσματος και τη μείωση του αριθμού των ελέγχων χρησιμοποιείται η έννοια του κοινού πεδίου.

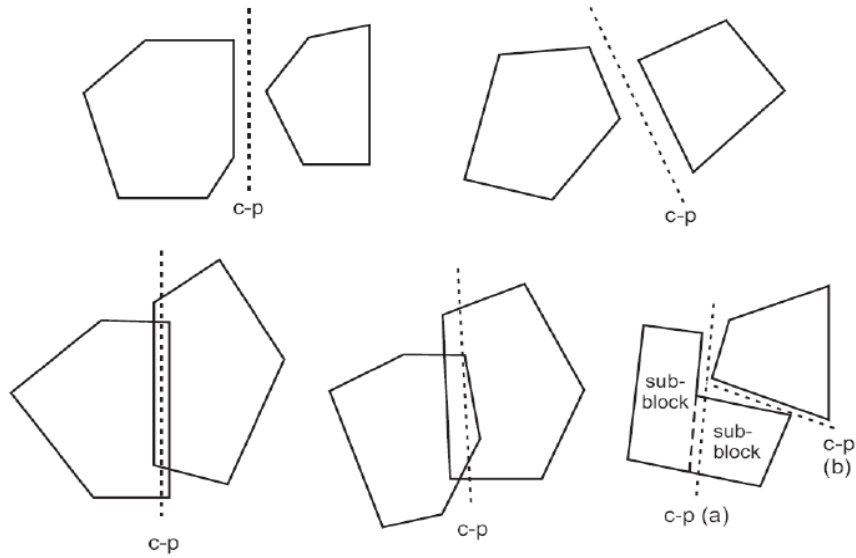
Το κοινό πεδίο είναι το υπολογιστικό ανάλογο μιας υπολογιστικής πλάκας η οποία παγιδεύεται σε μια συγκεκριμένη γωνία μεταξύ δύο σωμάτων που συγκλίνουν μέχρι να έρθουν σε επαφή.



Εικόνα 3.2 Κοινό πεδίο C μεταξύ δύο σωμάτων A και B

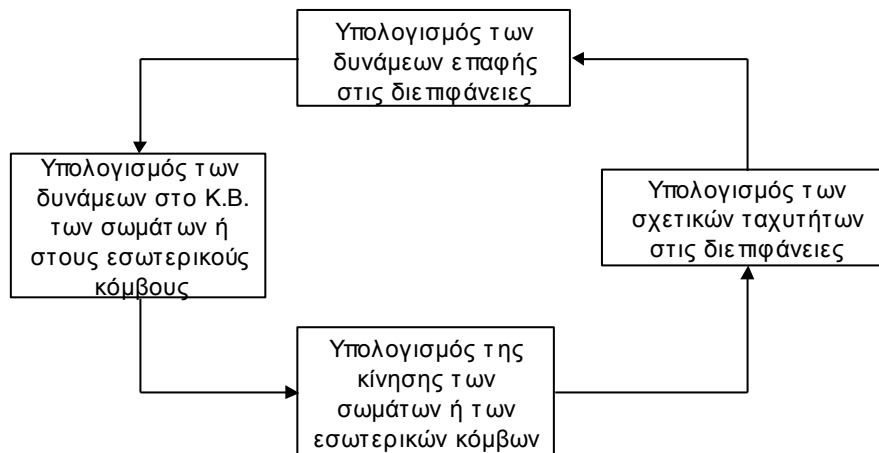
Τα πλεονεκτήματα του κοινού πεδίου είναι πως χρειάζονται να ελέγχονται μόνο επαφές τύπου κορυφής επιπέδου και ο αριθμός των ελέγχων γίνεται γραμμικά ανάλογος του αριθμού των κορυφών. Η απόσταση των δύο σωμάτων είναι ίση με το άθροισμα των αποστάσεων σωμάτων από το κοινό πεδίο.

Η αλληλεπίδραση των δύο σωμάτων καταγράφεται στις υπό-επαφές μόλις μια επιφάνεια ενός σώματος έρθει σε επαφή με το κοινό πεδίο. Για επαφή δύο επιφανειών η μηχανική και μετατοπισιακή επίδραση λαμβάνεται ως ο μέσος όρος των δυνάμεων και μετατοπίσεων των δύο επιφανειών. Η παραπάνω λογική εφαρμόζεται εξίσου για μικρές αλλά και μεγάλες μετατοπίσεις μέσω της μετακίνησης των υπο-επαφών και την ανανέωση του κέντρου βάρους τους ανά κάποιο αριθμό κύκλων ώστε να αποφεύγεται η απότομη διαγραφή υπό-επαφών.



Εικόνα 3.3 Παραδείγματα κοινού πεδίου μεταξύ δύο σωμάτων

Το πρόγραμμα λειτουργεί εκτελώντας τον υπολογιστικό κύκλο του σχήματος.



Εικόνα 3.4 Κύκλος υπολογισμού της μεθόδου των διακριτών στοιχείων [Itasca (1998)]

Ακολουθεί η περιγραφή των υπολογισμών κάθε βήματος και η εξάρτησή τους από τα φυσικά, γεωμετρικά και μηχανικά χαρακτηριστικά των επί μέρους σωμάτων και του συστήματος ως όλον.

Οι εξισώσεις μεταφορικής κίνησης κάθε σώματος έχουν ως εξής :

$$\ddot{\chi}_i + a\dot{\chi}_i = \frac{F_i}{m} + g_i \quad (3.2)$$

$\ddot{\chi}_i$ = η επιτάχυνση του κέντρου βάρους του σώματος

$\dot{\chi}_i$ = η ταχύτητα του κέντρου βάρους του σώματος

a = η σταθερά απόσβεσης

F_i = η συνισταμένη δρώσα δύναμη στο σώμα

m = η μάζα του σώματος

g_i = η επιτάχυνση της βαρύτητας κατά i (ή άλλες δυνάμεις πεδίου)

Οι εξισώσεις αναπόσβεστης περιστροφικής κίνησης κάθε σώματος έχουν ως εξής :

$$I_1\dot{\omega}_1 + (I_3 - I_2)\omega_3\omega_2 = M_1 \quad (3.3\alpha)$$

$$I_2\dot{\omega}_2 + (I_1 - I_3)\omega_1\omega_3 = M_2 \quad (3.3\beta)$$

$$I_3\dot{\omega}_3 + (I_2 - I_1)\omega_2\omega_1 = M_3 \quad (3.3\gamma)$$

Όπου : I_i = οι κύριες ροπές αδρανείας του σώματος

$\dot{\omega}_i$ = οι γωνιακές επιταχύνσεις περί των κυρίων αξόνων του σώματος

ω_i = οι γωνιακές ταχύτητες περί των κυρίων αξόνων του σώματος

M_i = οι συνισταμένες των ροπών περί των κυρίων αξόνων του σώματος

Οι εξισώσεις αποσβενούμενης περιστροφικής κίνησης εξάγονται από τον τύπο :

$$\dot{\omega}_i + a\omega_i = \frac{M_i}{I} \quad (3.4)$$

όπου οι συντελεστές i αναφέρονται στους καθολικούς άξονες του συστήματος.

Η εν χρόνω αριθμητική ολοκλήρωση των εξισώσεων κίνησης γίνεται με τη μέθοδο των κεντρικών διαφορών.

Οι εκφράσεις των ταχυτήτων των μεταφορικών και περιστροφικών κινήσεων έχουν ως εξής :

$$\dot{\chi}_i(t) = \frac{1}{2} \dot{\chi}_i \left[\left(t - \frac{\Delta t}{2} \right) + \dot{\chi}_i \left(t + \frac{\Delta t}{2} \right) \right] \quad (3.5\alpha)$$

$$\omega_i(t) = \frac{1}{2} \omega_i \left[\left(t - \frac{\Delta t}{2} \right) + \omega_i \left(t + \frac{\Delta t}{2} \right) \right] \quad (3.5\beta)$$

Οι αντίστοιχες επιταχύνσεις υπολογίζονται από τους τύπους :

$$\ddot{\chi}_i(t) = \frac{1}{\Delta t} \left[\dot{\chi}_i \left(t - \frac{\Delta t}{2} \right) + \dot{\chi}_i \left(t + \frac{\Delta t}{2} \right) \right] \quad (3.6\alpha)$$

$$\ddot{\omega}_i(t) = \frac{1}{\Delta t} \left[\dot{\omega}_i \left(t - \frac{\Delta t}{2} \right) + \dot{\omega}_i \left(t + \frac{\Delta t}{2} \right) \right] \quad (3.6\beta)$$

Αντικαθιστώντας τις παραπάνω σχέσεις στις εξισώσεις κίνησης προκύπτει :

$$\dot{\chi}_i \left(t + \frac{\Delta t}{2} \right) = \left[D_1 \dot{\chi}_i \left(t - \frac{\Delta t}{2} \right) + \left(\frac{F_i(t)}{m} + g_i \right) \Delta t \right] D_2 \quad (3.7\alpha)$$

$$\omega_i \left(t + \frac{\Delta t}{2} \right) = \left[D_1 \omega_i \left(t - \frac{\Delta t}{2} \right) + \left(\frac{M_i(t)}{m} \Delta t \right) \right] D_2 \quad (3.7\beta)$$

$$\text{Όπου: } D_1 = 1 - \alpha \frac{\Delta t}{2} \quad \text{και } D_2 = \frac{1}{1 + \alpha \frac{\Delta t}{2}}$$

Η νέα θέση του σώματος σε κάθε υπολογιστικό βήμα εξάγεται από τον τύπο :

$$\chi_i(t + \Delta t) = \chi(t) + \dot{\chi}_i(t + \frac{\Delta t}{2})\Delta t \quad (3.8)$$

Στο τέλος κάθε υπολογιστικού κύκλου οι συνισταμένες των δράσεων (δυνάμεων και ροπών) μηδενίζονται.

Για την προσομοίωση της αλληλεπίδρασης των διακριτών σωμάτων στους αρμούς αρχικά εντοπίζεται το επίπεδο επαφής και στη συνέχεια πραγματοποιείται η διακριτοποίηση των προσώπων σε τριγωνικά στοιχεία, τις υπο-επαφές. Η διακριτοποίηση πραγματοποιείται αυτομάτως με τον εντοπισμό κάθε νέας επαφής.

Η ταχύτητα επαφής κατά τους καθολικούς άξονες i,j,k στο επίπεδο επαφής των επιφανειών A και B υπολογίζεται από τον τύπο :

$$V_i = \chi_i^B + e_{ijk}\omega_\xi^B (C_k - B_k) - \chi_i^A - e_{ijk}\omega_j^A (C_k - A_k) \quad (3.9)$$

Όπου : $\{A\}, \{B\}, \{C\}$ τα διανύσματα θέσης των κέντρων βάρους των σωμάτων A και B και του σημείου αναφοράς του επιπέδου επαφής C αντίστοιχα.

$\dot{\chi}_i^{A,B}$ = τα διανύσματα μεταφορικών ταχυτήτων των σωμάτων

$\omega_i^{A,B}$ = οι γωνιακές ταχύτητες των σωμάτων περί των άξονα i

e_{ijk} = ο τανυστής μετάθεσης

Η αύξηση της σχετικής μετατόπισης στον αρμό σε κάθε χρονικό βήμα δίνεται από τον τύπο :

$$\Delta U_i = V_i \Delta t \quad (3.10)$$

Στη συνέχεια υπολογίζεται η αύξηση της κάθετης στην επαφή μετατόπισης από τον τύπο :

$$\Delta U^n = \Delta U_i n_i \quad (3.11)$$

όπου: $\{n\}$ το μοναδιαίο διάνυσμα κάθετο στην επαφή

Η διατμητική μετατόπιση υπολογίζεται από τον τύπο :

$$\Delta U_i^S = \Delta U_i - \Delta U_j n_i n_j \quad (3.12)$$

Οι δυνάμεις που δρουν στις επαφές υπολογίζονται με βάση τη βηματική προσαύξηση των μετακινήσεων σε αυτές. Η αύξηση των δυνάμεων κάθετα και στην επιφάνεια των αρμών δίνεται από τους τύπους :

$$\Delta F_n = -K_n \Delta U^n A_c \quad (3.13)$$

$$\Delta F_i^S = -K_s \Delta U^S A_c \quad (3.14)$$

Η συμπεριφορά των αρμών εκφράζεται ως εξής.

$$\text{Μέγιστη εφελκυστική δύναμη : } T_{max} = -A_c T$$

όπου : T = η εφελκυστική αντοχή του αρμού

$$A_c = \text{η επιφάνεια επαφής}$$

$$\text{Μεγιστη διατμητική δύναμη : } F_{max}^S = c A_c + F^n \tan \varphi$$

Όπου : c = η συνοχή του αρμού

φ = η γωνία τριβής του αρμού

Εάν σε κάποια υπο-επιφάνεια διαπιστωθεί αρχή αστοχίας σε εφελκυσμό ή διάτμηση, η εφελκυστική αντοχή και η συνοχή μηδενίζονται, δηλαδή:

$$T_{max} = 0$$

$$F_{s,max} = F_n \cdot \tan \varphi$$

Κατά την προσομοίωση του συγκεκριμένου προβλήματος, λόγω του χαρακτήρα του φορέα και της φόρτισης σε αυτόν οι λίθοι θεωρήθηκαν απαραμόρφωτοι. Η παραδοχή αυτή δίνει εξίσου αξιόπιστα αποτελέσματα με τη θεώρηση παραμορφώσιμων λίθων δεδομένης της πολύ χαμηλής στάθμης των αναπτυσσόμενων τάσεων και του υψηλού μέτρου ελαστικότητας. Παράλληλα ελαφρύνεται η υπολογιστική διαχείριση του προβλήματος. Επομένως τα χαρακτηριστικά του υλικού και των αρμών που είναι απαραίτητα για την ανάλυση είναι τα παρακάτω :

Πυκνότητα υλικού : $\rho = 2750 \text{Kg/m}^3$

Συντελεστής τριβής : $\mu = 0.75 \div 1.15 (\varphi = 36.87^\circ \div 48.99^\circ)$

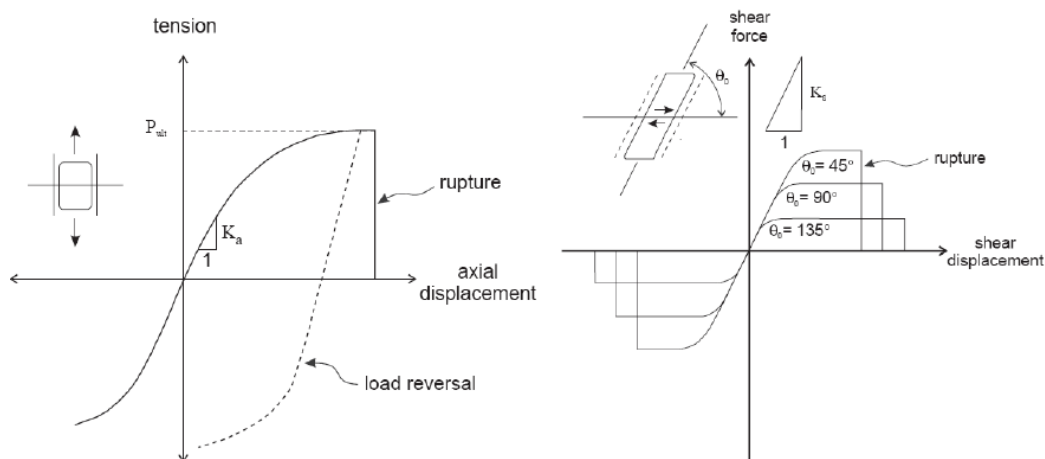
Συνοχή : $c = 0$

Εφελκυστική αντοχή αρμών : $T = 0$

Εφελκυστική ακαμψία αρμών : $k_{t,j} = 10^6 \text{KPa/m}$

Διατμητική ακαμψία αρμών : $k_{s,j} = 10^6 \text{KPa/m}$

Το μοντέλο μπορεί να προσομοιώσει και τους μεταλλικούς συνδέσμους ως σημειακές ενισχύσεις επί της επιφάνειας επαφής (ασυνέχειας) των λίθων με διγραμμική συμπεριφορά. Σε κάθε σύνδεσμο μπορεί να δοθεί εφελκυστική και διατμητική αντοχή, όριο αντοχής και μέγιστη παραμόρφωση , πέραν της οποίας ο σύνδεσμος θραύεται και παύει να λειτουργεί. Τα παραπάνω μεγέθη εξάγονται από τις ιδιότητες του χρησιμοποιούμενου υλικού και τη λειτουργία των συνδέσμων και των εντορμιών.



Εικόνα 3.5 Αξονική και διατμητική συμπεριφορά συνδέσμου

Η σχέση φορτίου μετατόπισης των συνδέσμων υπό αξονική και διατμητική καταπόνηση , κατά το εκάστοτε χρονικό/υπολογιστικό βήμα είναι :

$$\Delta F_a = K_a |\Delta u_a| \quad (3.15\alpha)$$

$$\Delta F_s = K_s |\Delta u_s| \quad (3.15\beta)$$

Πολύ σημαντική συνιστώσα της παραμετρικής διερεύνησης της δυναμικής συμπεριφοράς αρχαίων μνημείων αποτελεί η επιλογή των παραμέτρων απόσβεσης. Η επιλογή της μεθόδου απόσβεσης επηρεάζει το απαιτούμενο χρονικό βήμα της ανάλυσης καθώς και τα τελικά στάδια της απόκρισης μετά το πέρας του σεισμού , όπου το σύστημα πραγματοποιεί ελεύθερη ταλάντωση.

Σκοπός πάντα είναι η σύγκλιση των αποτελεσμάτων των αριθμητικών επιλύσεων με τα πειραματικά δεδομένα , σε συνδυασμό με την επίτευξη αποδεκτών υπολογιστικών χρόνων. Η χρήση αναλογικής ως προς την ακαμψία απόσβεσης χαμηλής στάθμης δίνει πιο ακριβή και συντηρητικά αποτελέσματα , απαιτεί μικρό όμως χρονικό βήμα. Η χρήση αναλογικής ως προς τη μάζα απόσβεσης είναι ευνοϊκή για τον υπολογιστικό χρόνο αλλά δίνει υψηλή απόσβεση στο σύστημα που δεν παρατηρήθηκε στα πειράματα. Το πρόβλημα της απόσβεσης μπορεί να αντιμετωπιστεί επίσης θέτοντας μηδενική απόσβεση μέχρι το πέρας της σεισμικής διέγερσης και μια αιφνίδια εφαρμογή μια υψηλής τιμής αναλογικής ως προς τη μάζα απόσβεσης κατά την ελεύθερη ταλάντωση του συστήματος και την τελική ηρεμία. Με αυτή τη μέθοδο αποτυπώνονται καλύτερα οι παραμένουσες λόγω του σεισμού παραμορφώσεις.

Όμως λόγω της αυξημένης επίδρασης στην απόσβεση υψίσυχνων κραδασμών της αναλογικής με βάση την ακαμψία απόσβεσης και της ευαισθησίας των λίθων στην ολίσθηση που αυτοί προκαλούν είναι προτιμότερο να αποφεύγεται η μέθοδος αυτή ώστε να μην αλλοιώνεται η τελική παραμορφωσιακή εικόνα.

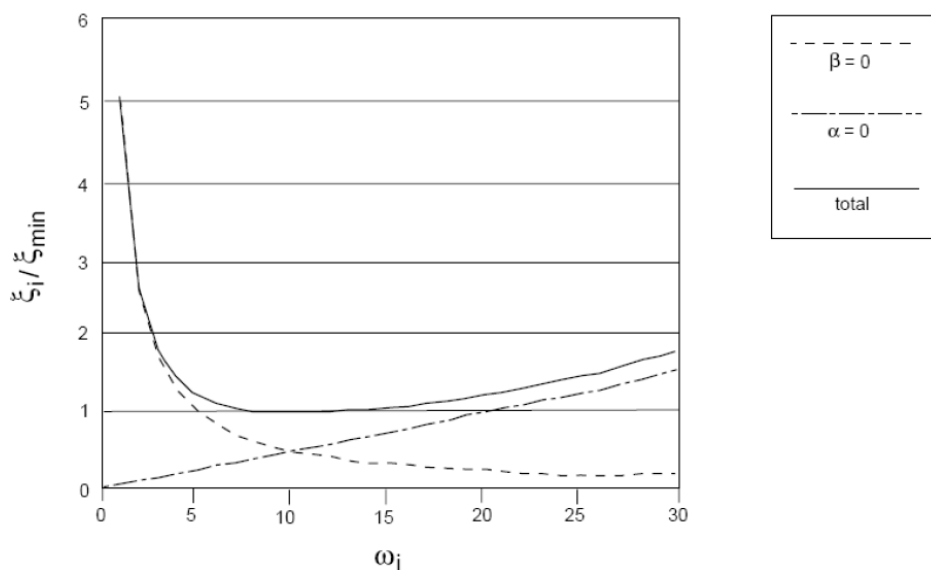
Στη δυναμική ανάλυση συστημάτων η αναλογική απόσβεση δίνεται από ένα μητρώο της μορφής :

$$C = \alpha K + \beta M \quad (3.16)$$

Σε ένα πολυβάθμιο σύστημα ο λόγος απόσβεσης ξ_i για κάθε ιδιοσυχνότητα ω_i δίνεται από τον τύπο:

$$\xi_i = \frac{1}{2} \left(\frac{\alpha}{\omega_i} + \beta \omega_i \right) \quad (3.17)$$

Η καμπύλη του σχήματος λαμβάνει την ελάχιστη τιμή για $\xi_{min} = (\alpha\beta)^{1/2}$ και $\omega_{min} = (\alpha/\beta)^{1/2}$. Για τον προσδιορισμό της απόσβεσης Rayleigh στο μοντέλο απαιτείται ο προσδιορισμός των παραμέτρων f_{min} και $\xi_{min} = \omega_{min}/2\pi$.

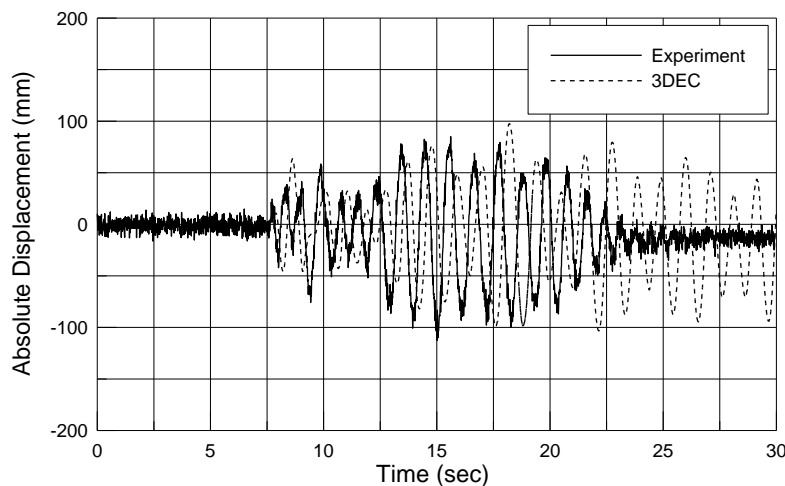


Εικόνα 3.6 Λόγος απόσβεσης ιδιομορφής i

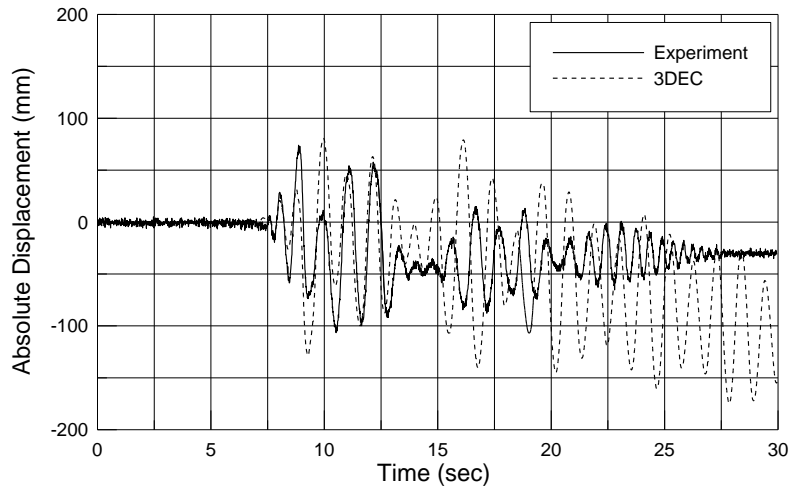
Είναι σκόπιμο να σημειωθεί πως η επιτυχία της προσομοίωσης της δομικής συμπεριφοράς ενός συστήματος έγκειται κυρίως στην κατάλληλη προσαρμογή των παραδοχών και των παραμέτρων του προσομοιώματος στις πραγματικές συνθήκες και δευτερεύοντος στην επιλεγείσα μέθοδο ανάλυσης. Εκτιμάται, εντούτοις, πως η παραπάνω μέθοδος ανάλυσης περιγράφει με τη μεγαλύτερη ακρίβεια τις ιδιαιτερότητες και την πολυπλοκότητα της συμπεριφοράς του συστήματος και της επιρροής των καταγεγραμμένων φθορών.

3.1.2 Αξιοπιστία της μεθόδου ανάλυσης

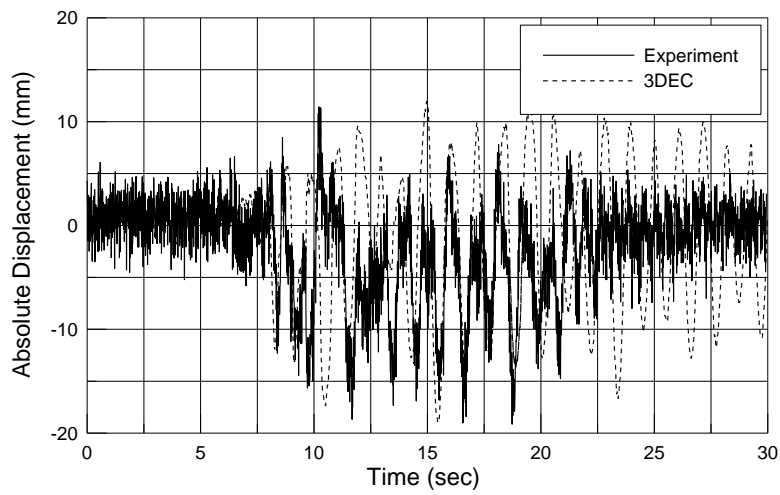
Έχει διαπιστωθεί από παλαιότερες έρευνες η ικανοποιητική σύμπτωση των πειραματικών και αναλυτικών αποτελεσμάτων στη μελέτη σπονδυλωτών συστημάτων υπό σεισμική φόρτιση. Η μέθοδος των διακριτών στοιχείων μπορεί να προβλέψει με αρκετή ακρίβεια την απόκριση του συστήματος κατά τη διάρκεια της ισχυρής εδαφικής κίνησης σε όρους συμπεριφοράς και μεγέθους μετατοπίσεων. Η μέγιστη ακρίβεια επιτυγχάνεται για μηδενική τιμή της απόσβεσης κατά την ισχυρή δόνηση. Εμφανίζεται κάποια απόκλιση στα τελικά στάδια της κίνησης, όταν το σύστημα πραγματοποιεί ελεύθερη ταλάντωση. Εφόσον η μέγιστη μετατόπιση παρατηρείται στα πρώτα στάδια της κίνησης και ταυτόχρονα αποτελεί τη σημαντικότερη παράμετρο κατάρρευσης τα αποτελέσματα των αναλύσεων μπορούν να χαρακτηριστούν αξιόπιστα ως μέτρο εκτίμησης του βαθμού ασφαλείας του φορέα.



(α)



(β)

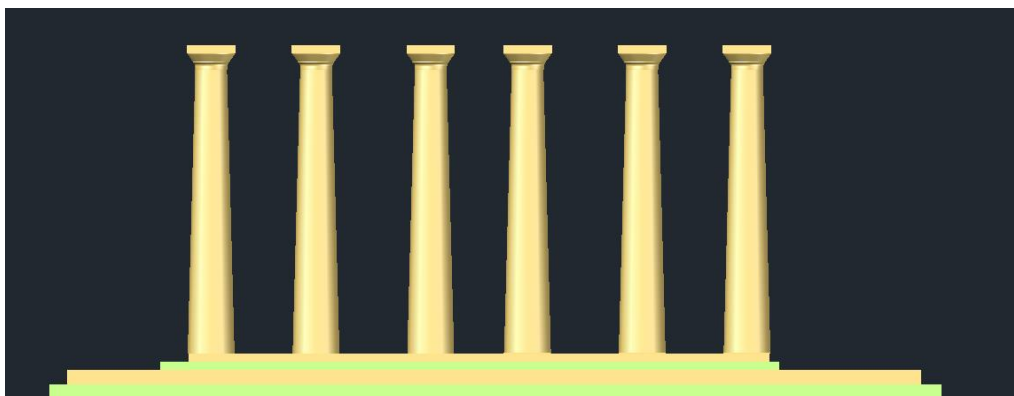


Εικόνα 3.7 Σύγκριση αποτελεσμάτων 3DEC με πειραματικά δεδομένα για το σεισμό της Καλαμάτας και μηδενική απόσβεση : (α) διαμήκης διεύθυνση, (β) εγκάρσια διεύθυνση, (γ) κατακόρυφη διεύθυνση [Papantonopoulos et al (2002)]

3.2 Διαδικασία προσομοίωσης

Εφόσον σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η επιρροή των συνδέσμων από τιτάνιο στην περιστροφική κίνηση και τον λικνισμό του δομήματος του Οπισθόναου κατασκευάστηκαν δύο γεωμετρικά προσομοιώματα. Το πρώτο περιλαμβάνει το δομικό σύστημα του Οπισθόναου και το δεύτερο το δομικό σύστημα μαζί με τους συνδέσμους που είναι τοποθετημένοι στην ανωδομή του ναού.

Το γεωμετρικό προσομοίωμα περιλαμβάνει τους έξι κίονες που ανήκουν στον Οπισθόναο του Παρθενώνα, την ανωδομή (θριγκός) που αποτελείται από τα επιστύλια, την ζωφόρο και τους θράνους, καθώς και την τοιχοποιία που περικλείει τους κίονες του Οπισθόναου.



Εικόνα 3.8 Κινοστοιχία του Οπισθόναου του Παρθενώνα. (Ε.-Ε. Τουμπακάρη & Θ. Μαρίνης)

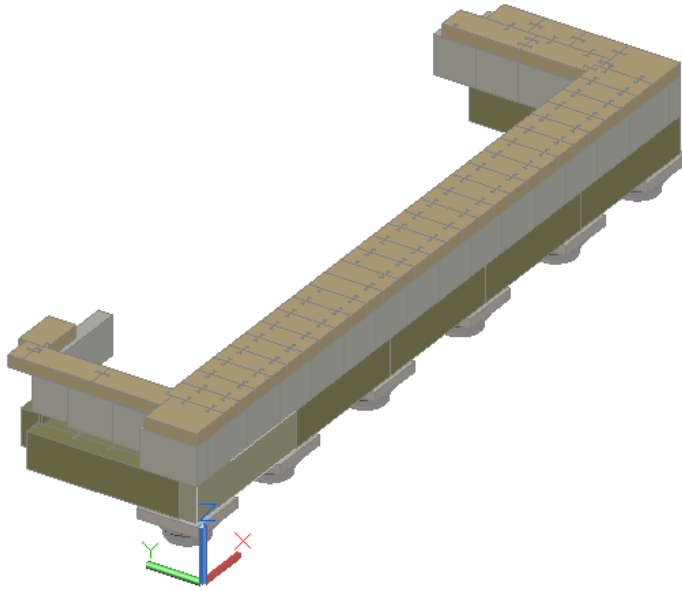
Οι έξι κίονες της προστάσεως έχουν κάτω διάμετρο 1.71 m συμπεριλαμβανομένων και των ραβδώσεων ,άνω διάμετρο 1.33 m και αυλακώνονται από 22 ραβδώσεις , χορδής 0.267 m έως 0.2675 m και βέλους μη μετρούμενου λόγω θραύσεως των ακμών.

Το συνολικό ύψος των κίωνων είναι 10.08 m και αποτελούνται από το κιονόκρανο και τους σπονδύλους. Καθ'ύψος οι κίονες αποτελούνται από διαφορετικό αριθμό σπονδύλων. Συγκεκριμένα οι δύο ακριανοί κίονες (ΒΔ. και ΝΔ.) αποτελούνται από 11 σπονδύλους ,ενώ οι υπόλοιποι 4 ενδιάμεσοι κίονες από 12. Τα ύψη των σπονδύλων διαφοροποιούνται σε καθέναν από τους έξι κίονες.

Οι διαστάσεις του άβακα είναι ίδιες σε όλους τους κίονες και συγκεκριμένα είναι 1.75m μήκος, 1.75m πλάτος και ύψος 0.293m. Το συνολικό ύψος του κιονοκράνου συμπεριλαμβανομένου του άβακα είναι 0.70m.

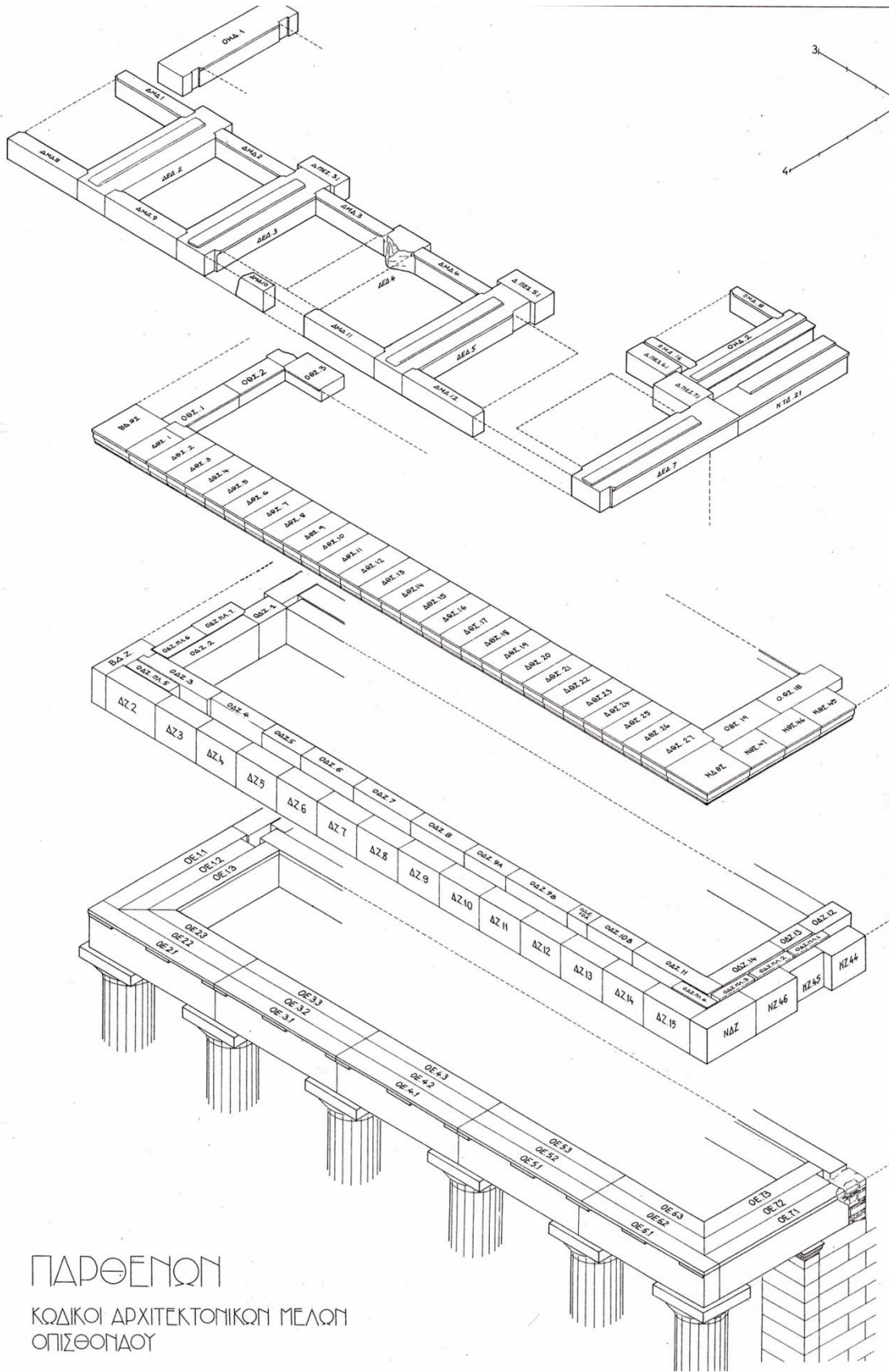
Η ανωδομή του Οπισθόναου η οποία ονομάζεται και θριγκός, αποτελείται από τρεις στρώσεις. Η πρώτη στρώση είναι τα επιστύλια τα οποία έχουν συνολικό μήκος 20.76 m, πλάτος 5.62 m και ύψος 1.05 m . Τα επιστύλια αποτελούνται από επτά μετακίονια διαστήματα.

Η δεύτερη στρώση η οποία ονομάζεται Ζωφόρος έχει συνολικό μήκος 20.76 m, πλάτος 5.55 m και ύψος 1.21 m. Η τρίτη στρώση ονομάζεται Θράνοι και έχει συνολικό μήκος 20.76 m, πλάτος 6.07 m και ύψος 0.35 m. Μέλος της ανωδομής αποτελούν και κάποιες δοκοί οι οποίοι ονομάζονται πτερά, στηρίζονται όμως στην περιμετρική κοινοστοιχία του Παρθενώνα η οποία δεν ανήκει στον Οπισθόναο και για αυτό τον λόγο δεν χρησιμοποιήθηκε η προσομοίωση τους στο τελικό γεωμετρικό μοντέλο.



Εικόνα 3.9 Η ανωδομή του Οπισθόναου του Παρθενώνα (Ε.-Ε. Τουμπακάρη & Θ. Μαρίνης)

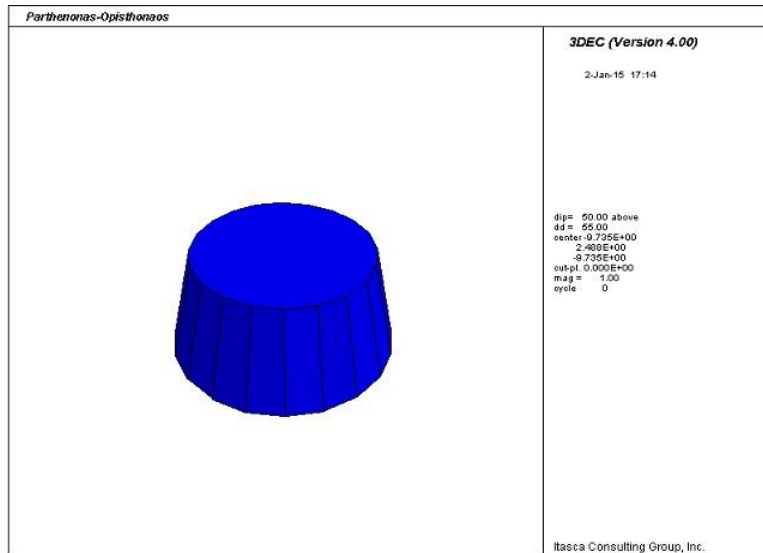
Στην εικόνα 3.10 φαίνονται αναλυτικά οι τρεις στρώσεις του θριγκού, καθώς και η ονομασία των μελών τους.



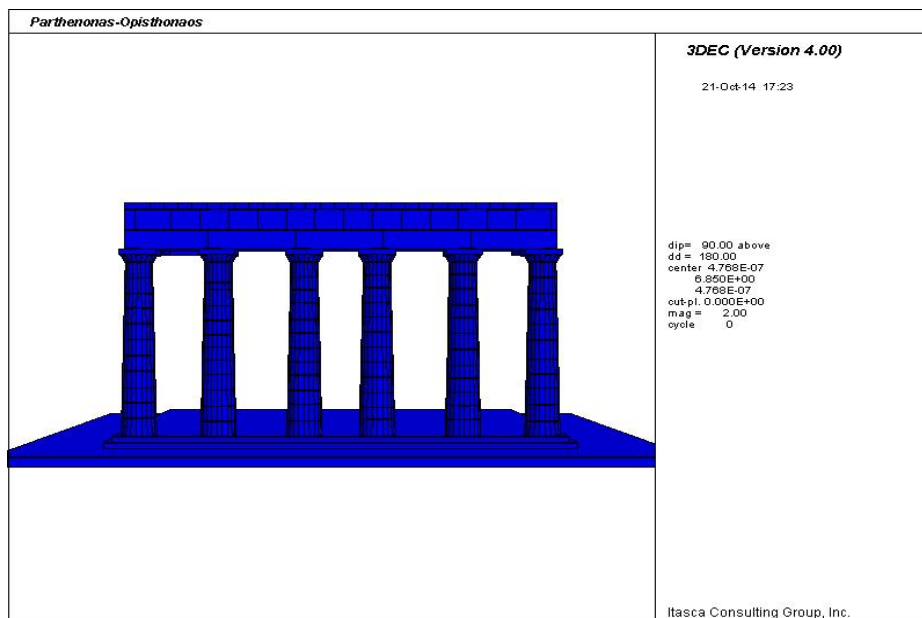
Εικόνα 3.10 Κωδικοί αρχιτεκτονικών μελών θριγκού Οπισθονάου

3.2.1 Στάδια προσομοίωσης του δομήματος του οπισθόναου

Οι κίονες προσομοιώθηκαν αρχικά σαν ενιαίοι κόλουμεροι κώνοι και έπειτα έγινε η καθύψους τομή τους ανάλογα με τα ύψη των σπονδύλων.



Εικόνα 3.11 Τυπική μορφή σπονδύλου που χρησιμοποιήθηκε στο προσομοίωμα



Εικόνα 3.12 Προσομοίωση της κιονοστοιχίας και της ανωδομής

3.2.2 Προσομοίωση της τοιχοποιίας

Αιτιολόγηση διαστάσεων δυτικού τοίχου

Ο τοίχος αποτελείται από έναν ορθοστάτη ύψους 1.15 μέτρων και 17 στρώσεις λίθων τυπικού ύψους 0.525m (ΟΡΛΑΝΔΟΣ). Άρα το συνολικό ύψος προκύπτει 10.075m . Προκειμένου να επιτευχθεί το ίδιο ύψος με την άνω έδρα του ύψους των κιονόκρανων το ύψος του ορθοστάτη γίνεται 1.155μ και το συνολικό ύψος του τοίχου μέχρι τη στάθμη των επιστύλιων γίνεται 10.08m.

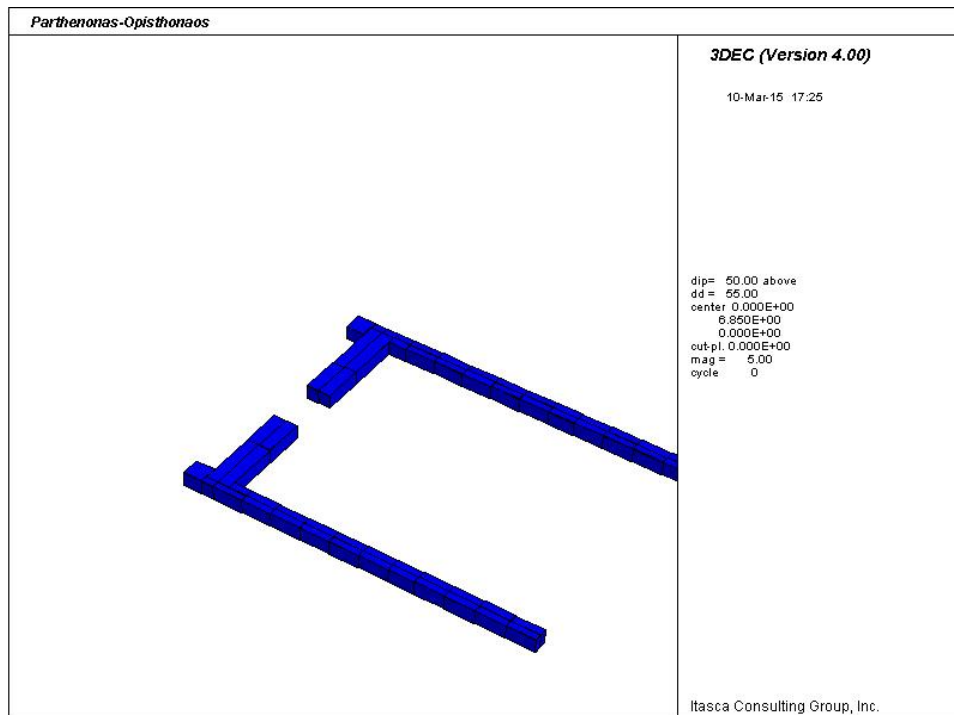
Οι διαστάσεις της θύρας είναι 5.10 m κάτω και 4.89m άνω. Η μείωση αυτή κρίνεται άνευ σημασίας για στατικούς λόγους και κατά συνέπεια επιλέγεται ενιαίο πλάτος θύρας 5.10m.(ΚΟΡΡΕΣ)

Οι διαστάσεις του τοίχου εξωτερικά πρόέκυψαν ως εξής:

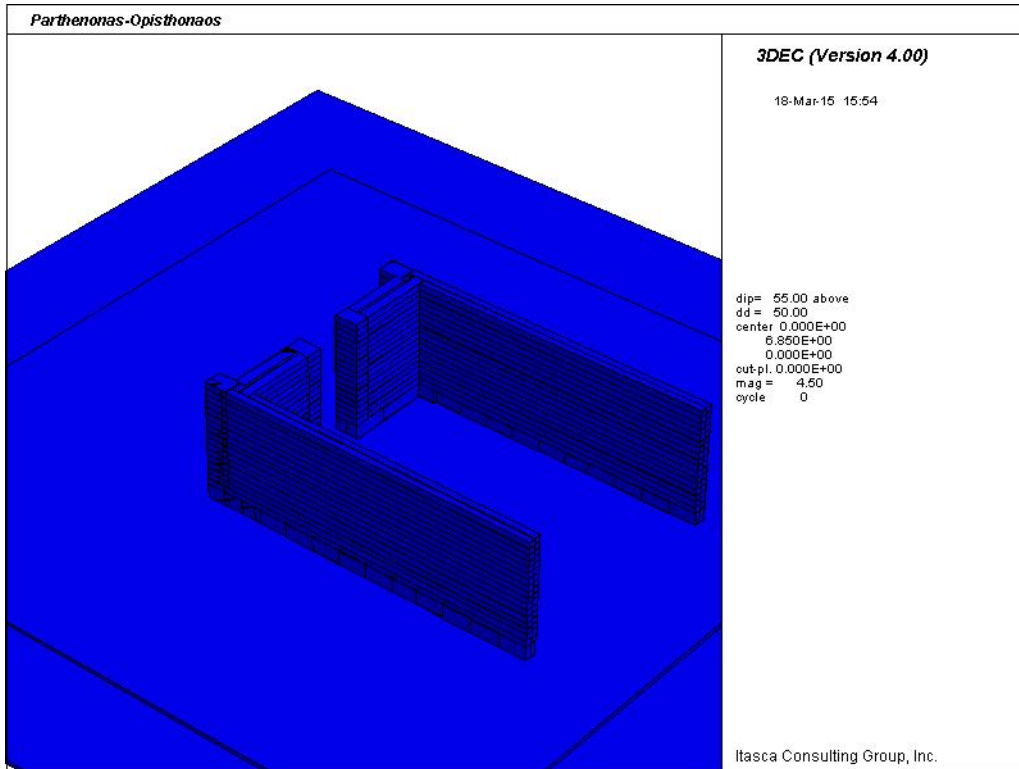
1. **Πάχος θυραίου τοίχου** στον Πίνακα 1 (τομ. 4 ΚΟΡΡΕΣ), μετρήθηκε συνολικό πάχος 2.10m (αμελώντας την απώλεια μάζας λόγω της πυρκαγιάς) χρησιμοποιήθηκε όμως πάχος 2.0m προκειμένου να είναι ίσο με το συνολικό πάχος των επιστυλίων.
2. **Μήκος πλευρικών τοίχων εξωτερικά:** επειδή το μεσαιωνικό κλιμακοστάσιο καλύπτει τμήμα του νότιου εξωτερικού θυραίου τοίχου οι διαστάσεις μετρήθηκαν από τη στάθμη των επιστυλίων (Πίνακας 2 ΚΟΡΡΕΣ τόμος 4) .Στη στάθμη των επιστυλίων έχουμε τα εξής μέλη (αναφέρεται το μήκος της κάτω έδρας μόνο) : 1.715m, 3.595m, 7.75, 3.778m, 1.599m. το μήκος των επιστυλίων αριστερά της θύρας ισούται με $3.595+1.715=5.31\text{m}$ και το μήκος των επιστυλίων δεξιά ισούται με $1.599+3.778=5.377\text{m}$. Συνεπώς υπάρχει μια διαφορά 6.7 cm. Το συνολικό μήκος γίνεται 18.437m και ακόμα εάν θεωρηθεί μήκος επιστυλίου 7.77m το συνολικό μήκος του δυτικού θυραίου τοίχου εξωτερικά γίνεται 18.457m .Οι μικρές αυτές διαφορές κρίθηκε ότι δεν επηρεάζουν την απόκριση του φορέα και έτσι δεν προσομοιώθηκαν. Οι τελικές διαστάσεις του τοίχου αποφασίστηκαν θεωρώντας ότι είναι συμμετρικός . Αν λοιπόν από τα 18.457m αφαιρέσουμε το άνοιγμα της θύρας ($18.457-5.10=13.357\text{m}$) τότε το μήκος των τοίχων εκατέρωθεν της θύρας γίνεται 6.6785μ, το οποίο τελικά στρογγυλεύεται σε 6.679m
3. **Διαστάσεις Παραστάδων:** χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα που δίνονται στο σχέδιο Ορλάνδου: πάχος 1,522m και μήκος 1,55m.
4. **Μήκος πλευρικών τοίχων εσωτερικά:** Από τον Πίνακα 5 (σχέδιο Μ.Κορρέ) προκύπτει ότι το συνολικό μήκος του τοίχου εσωτερικά είναι 17.826m. Άρα αφαιρώντας το θυραίο άνοιγμα που είναι 5.10 m ($17.826-5.10=12.726$) προκύπτει ότι το μήκος των τοίχων εκατέρωθεν της θύρας είναι 6.363m ($12.726/2.0$)
5. **Προσομοίωση της δομής του ορθοστάτη του δυτικού τοίχου:** Αποφασίστηκε να μην προσομοιωθεί η πολύπλοκη δομή που παρουσιάζεται στις εργασίες Ορλάνδου και Κορρέ. Επειδή η ακριβής προσομοίωση δεν θα συνεισέφερε σε μεγαλύτερη ακρίβεια ενώ θα εισήγαγε αβεβαιότητες ως προς την προσομοίωση των διεπιφανειών. Ανταυτών επιλέχθηκε να προσομοιωθούν με την κανονικότητα που παρουσιάζουν οι

υπερκείμενοι λίθοι και με διαστάσεις ίσες με εκείνες των όψεων, συγκεκριμένα θεωρείται ότι ο καθένας από τους δύο ορθοστάτες του θυραίου τοίχου αποτελείται από 4 λίθους πάχους 1.0m ο καθένας. Το μήκος των εξωτερικών λίθων προέκυψε ως μέσος όρος των πραγματικών διαστάσεων οι οποίες παρουσιάζονται στον Πίνακα 2 και στην Εικόνα 11 στο Κορρές 1994 . Οι εν λόγω διαστάσεις είναι 3.22, 3.17 και 3.26m, οπότε το μήκος των προσομοιωμένων λίθων γίνεται 3.22m.

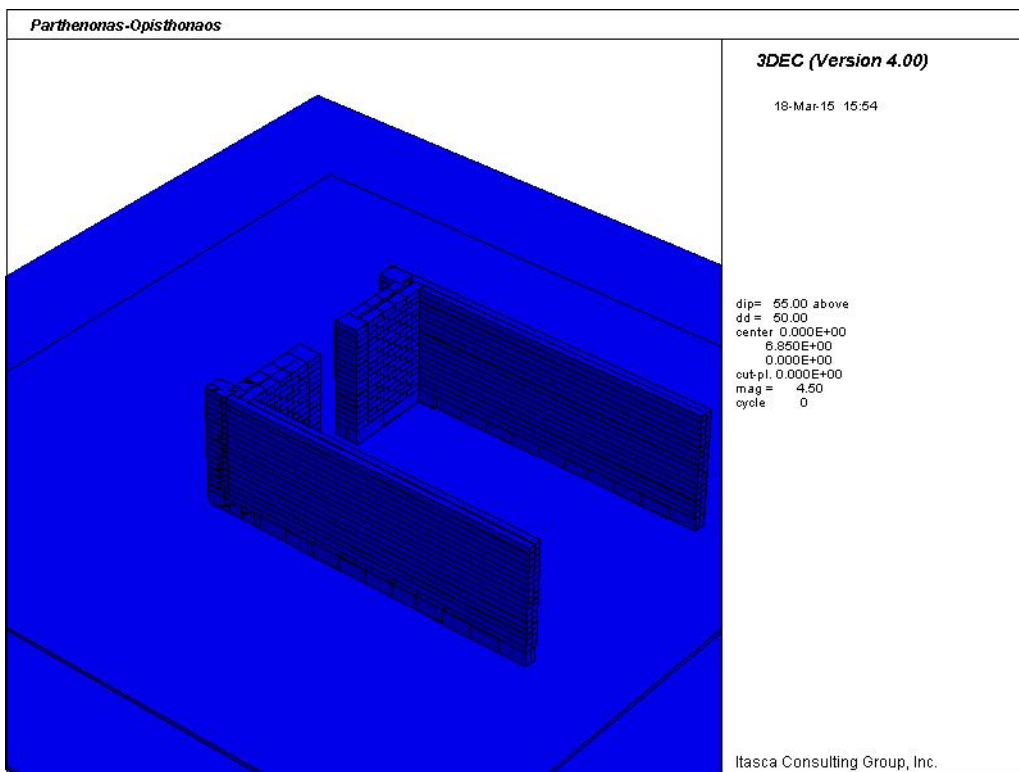
Όσον αφορά την τοιχοποιία, αρχικά κατασκευάστηκε η πρώτη στρώση των ορθοστατών , η δομή και οι διαστάσεις της οποίας διαφέρουν από τις αντίστοιχες διαστάσεις των υπολοίπων στρώσεων του τοίχου.



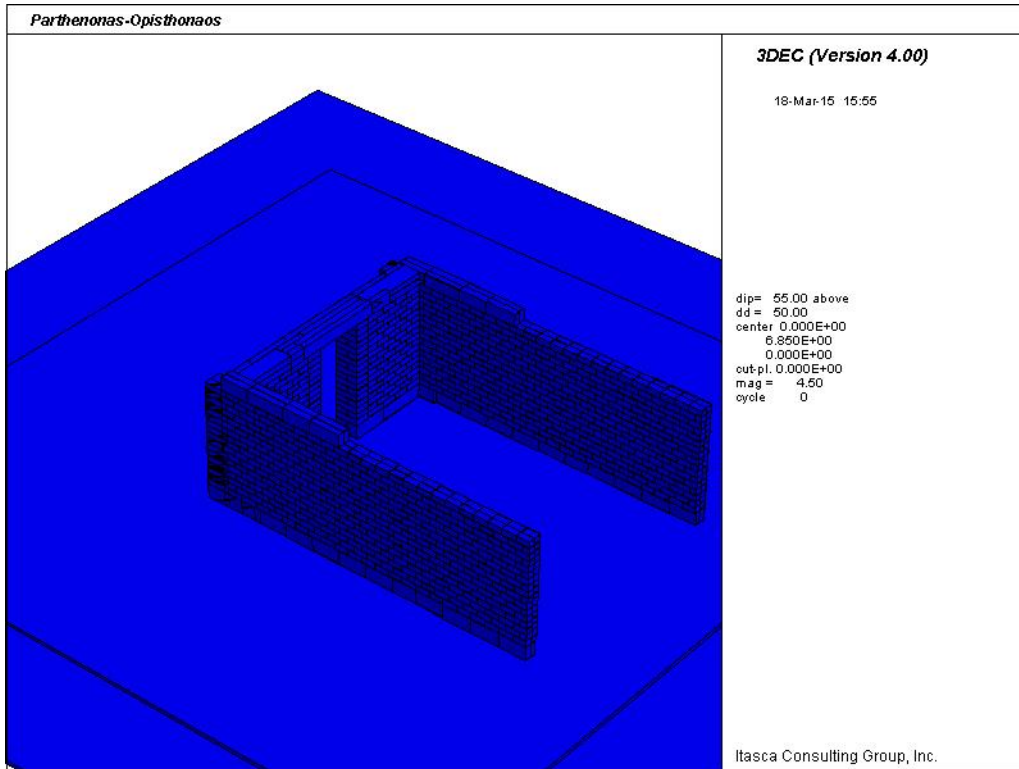
Εικόνα 3.13 Προσομοίωση της πρώτης στρώσεις των παραστάδων και των ορθοστατών



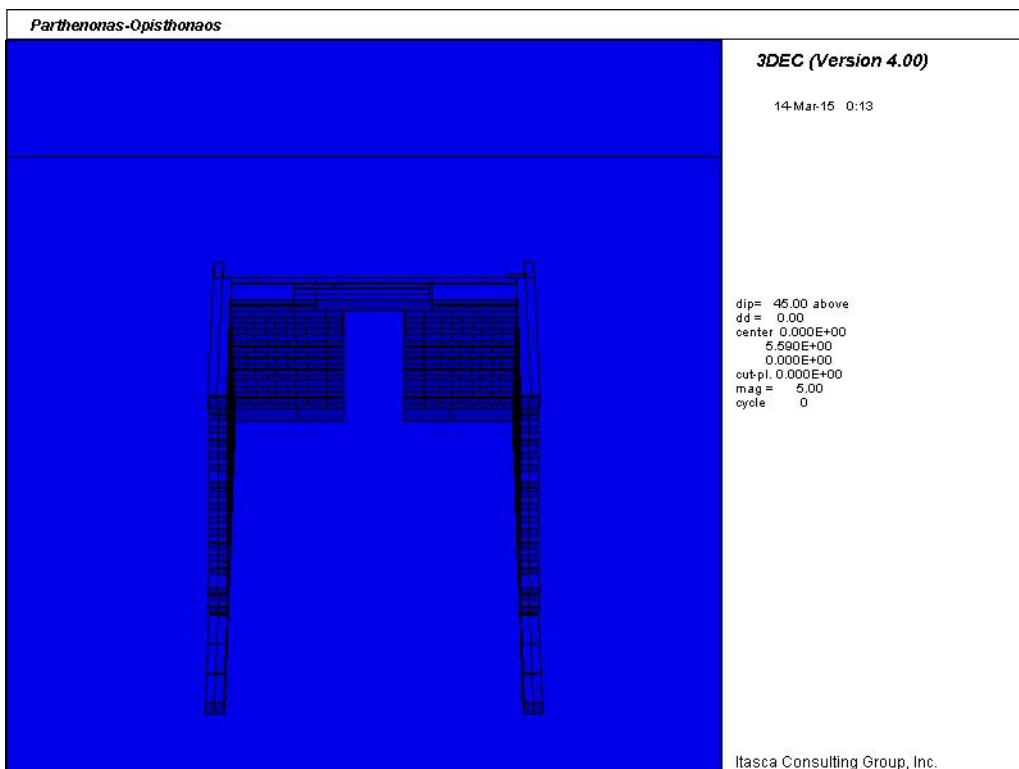
Εικόνα 3.14 Προσομοίωση των υπολοίπων στρώσεων του τοίχου



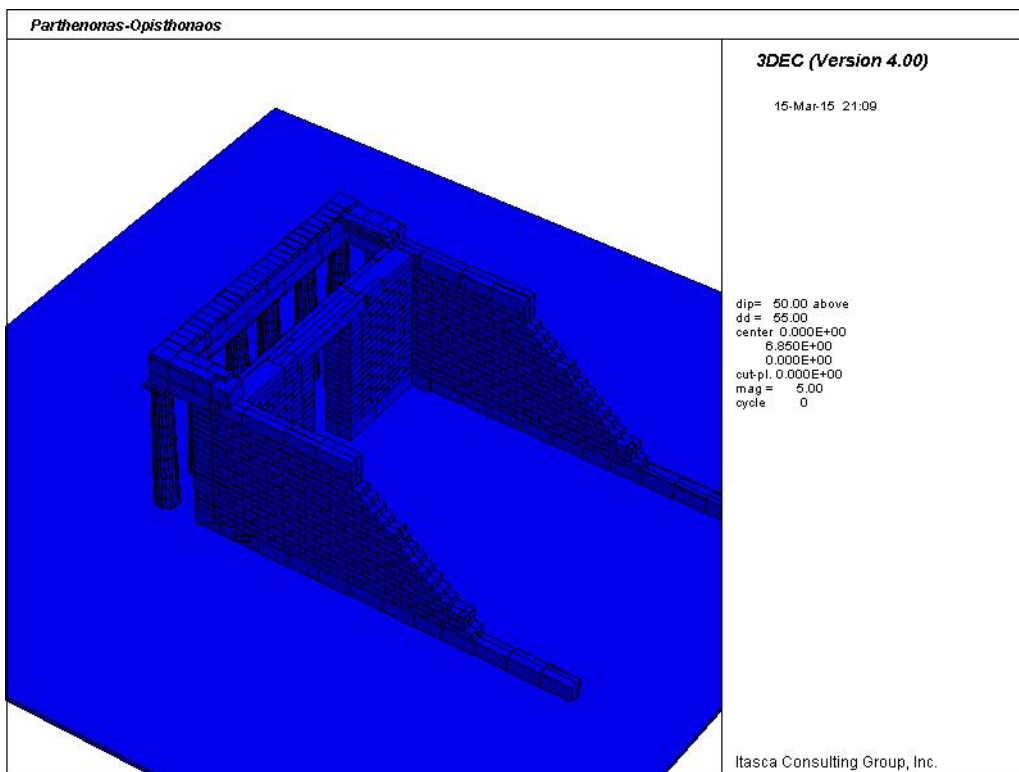
Εικόνα 3.15 Δημιουργία αρμών στους παραστάδες



Εικόνα 3.16 Κατασκευή 18^{ης} και 19^{ης} στρώσης, δημιουργία αρμών στον βόρειο και νότιο τοίχο

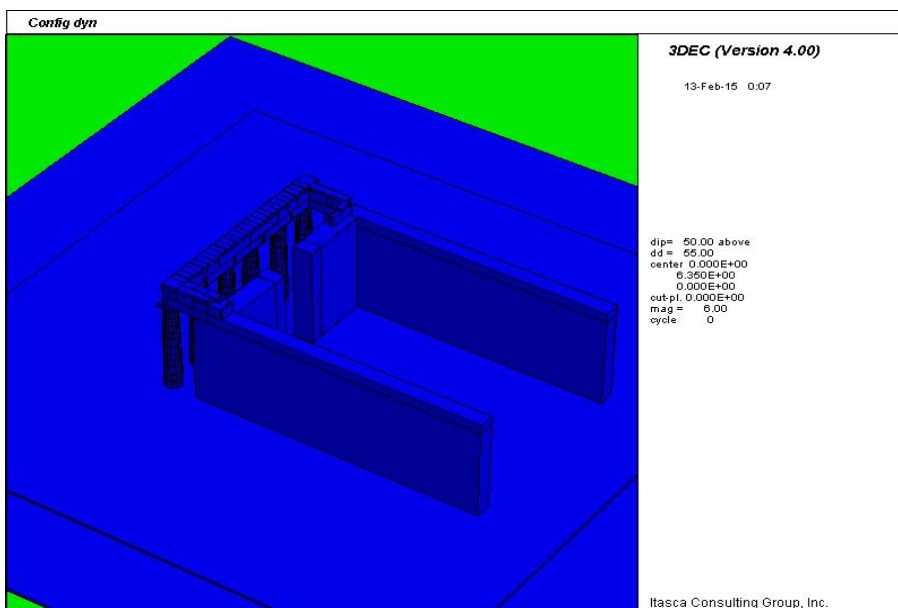


Εικόνα 3.17 Προσομοίωση των 17 στρώσεων των παραστάδων και ορθοστατών

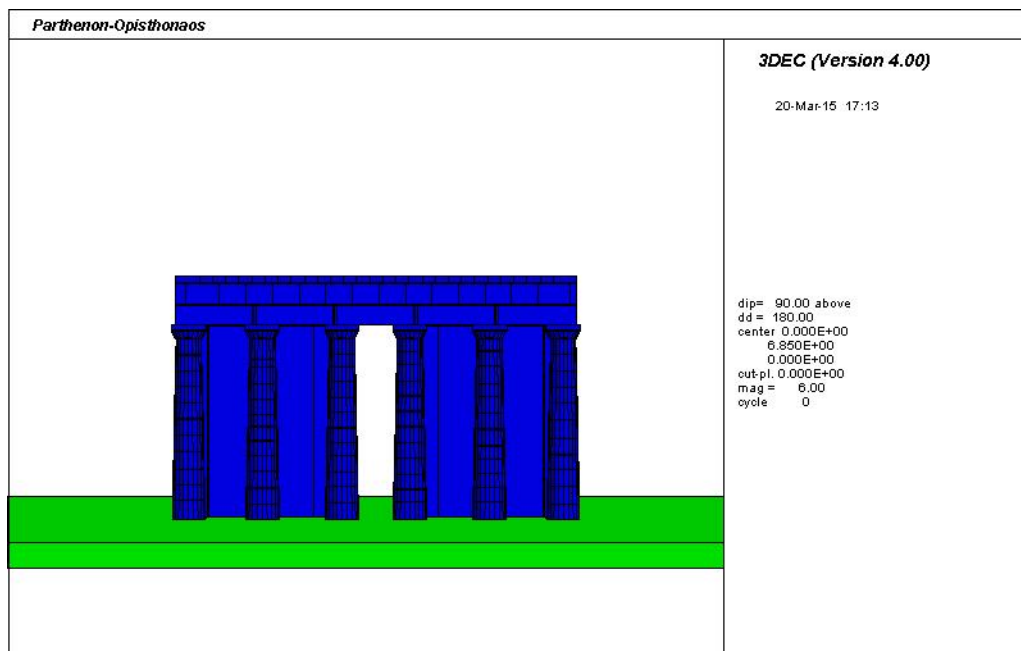


Εικόνα 3.18 Ολοκληρωμένο προσομοίωμα του δομήματος του οπισθόναου

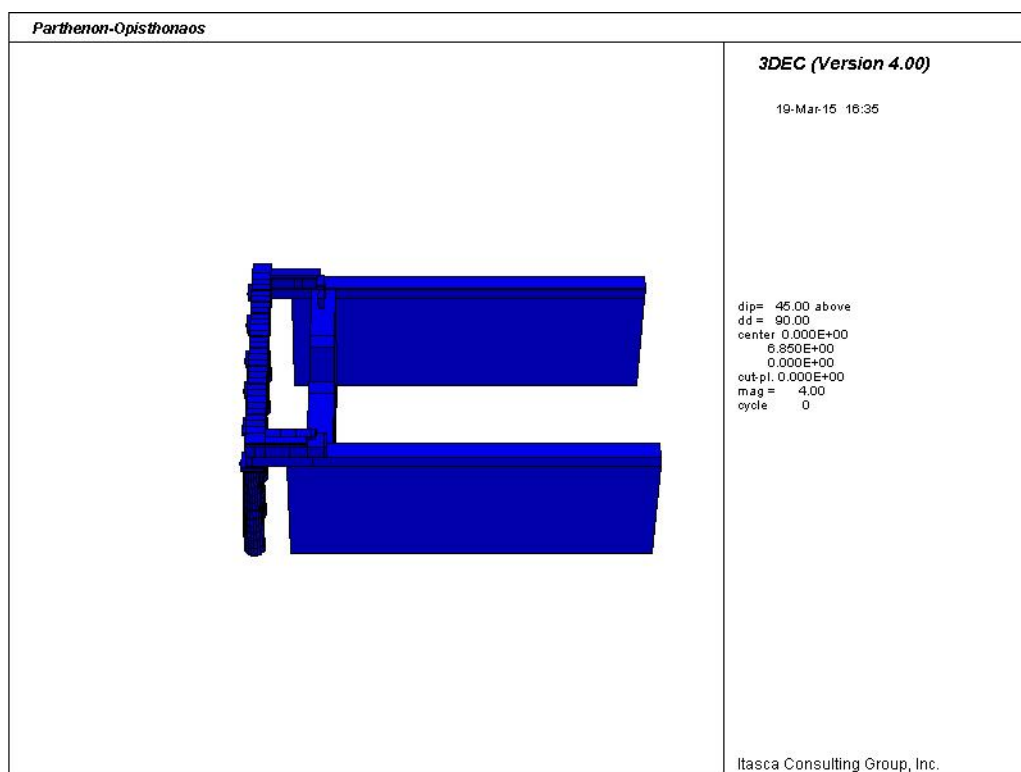
Λόγω του μεγάλου πλήθους των λίθων και δυσχερειών του προγράμματος δεν ήταν δυνατών να αναλυθεί ο φόρεας όπως προσομοιώθηκε στο τελικό στάδιο. Για αυτό τον λόγο στην ανάλυση χρησιμοποιήθηκε το απλοποιημένο γεωμετρικό μοντέλο του δυτικού τοίχου, το οποίο φαίνεται στο παρακάτω σχήμα :



Εικόνα 3.19 Απλοποιημένο προσομοίωμα της τοιχοποιίας



Εικόνα 3.20 Απλοποιημένο γεωμετρικό προσομοίωμα του Οπισθόναου



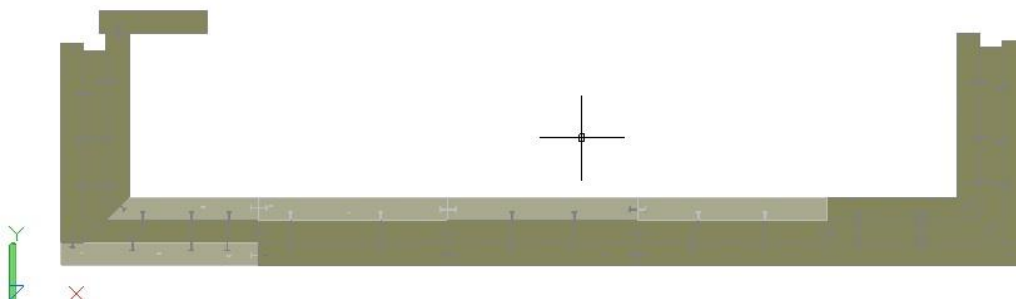
Εικόνα 3.21 Σύνδεση των δοκών της αναδομής με την τοιχοποιία

3.2.3 Προσομοίωση των συνδέσμων

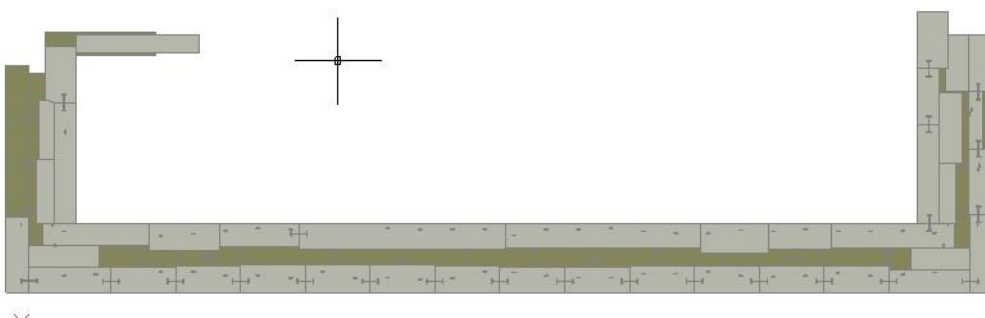
Αφού ολοκληρώθηκε η προσομοίωση του δομικού συστήματος του Οπισθόναου τοποθετήθηκαν οι σύγχρονοι σύνδεσμοι από τιτάνιο που είναι τοποθετημένοι στον Θρικγό του Οπισθόναου. Επίσης σύνδεσμοι είναι τοποθετημένοι και στην τοιχοποιία του Παρθενώνα, δεν έχουν όμως ληφθεί υπόψη στο προσομοίωμα διότι αυτό ξεπερνά τις απαιτήσεις της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Οι σύγχρονοι σύνδεσμοι αποτελούνται από συνδέσμους διατομής διπλού ταυ για την παραλαβή των εφελκυστικών και διατμητικών δυνάμεων που δημιουργούνται μεταξύ των μπλοκ, καθώς και από γόμφους τετραγωνικής διατομής για την παραλαβή των διατμητικών δυνάμεων.

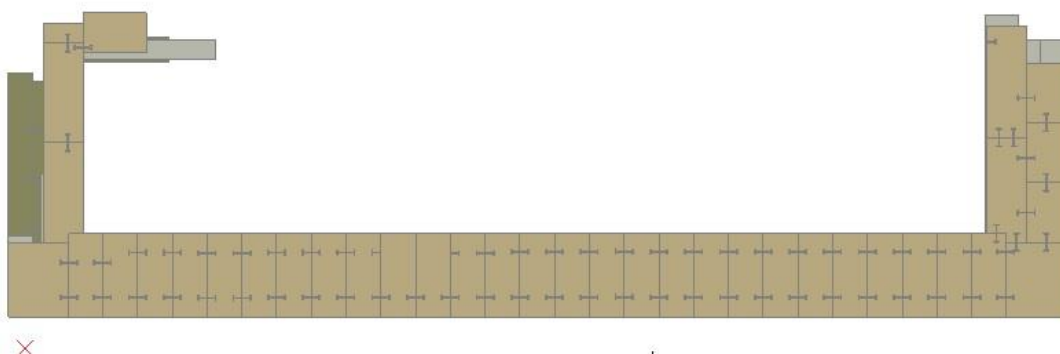
Στο πρόγραμμα οι σύνδεσμοι προσομοιώθηκαν ως γραμμικά στοιχεία που συνδέουν τα διάφορα μπλοκ που είναι διαχωρισμένα από τους αρμούς. Συγκεκριμένα οι σύνδεσμοι δίνονται στον κώδικα σαν γραμμικά στοιχεία τοποθετώντας τις συντεταγμένες των κόμβων αρχής και τέλους. Τα στοιχεία της διατομής τους λήφθηκαν υπόψη μέσω των ιδιοτήτων των συνδέσμων. Στις παρακάτω εικόνες φαίνονται αναλυτικά οι σύνδεσμοι στο επίπεδο των επιστυλίων, της ζωφόρου, των αντιθημάτων και των θράνων.



Εικόνα 3.22 Σύνδεσμοι στο επίπεδο των επιστυλίων



Εικόνα 3.23 Σύνδεσμοι στο επίπεδο της ζωφόρου και των αντιθημάτων



Εικόνα 3.24 Σύνδεσμοι στο επίπεδο των θράνων

Στους παρακάτω πίνακες φαίνονται τυπικές διαστάσεις συνδέσμων :

Πίνακας 3.1 Διαστάσεις εφελκυστικών συνδέσμων στα επιστύλια

Κωδικός συνδέσμου	Ύψος (mm)	Πάχος (mm)	Μήκος (mm)
1 ^ο Μετακίονιο διάστημα			
σύνδεσμος 1.3.1.	18.5	8	220
σύνδεσμος 1.2.1.	15.5	8	289
σύνδεσμος 1.2.2.	15.5	8	299
2 ^ο Μετακίονιο διάστημα			
σύνδεσμος 2.1.3	19.5	8	435
σύνδεσμος 2.2.4	19.5	8	340
σύνδεσμος 3.2.3	18	8	705
σύνδεσμος 4.2.1	18	8	560
σύνδεσμος 4.3.4	20	8	643

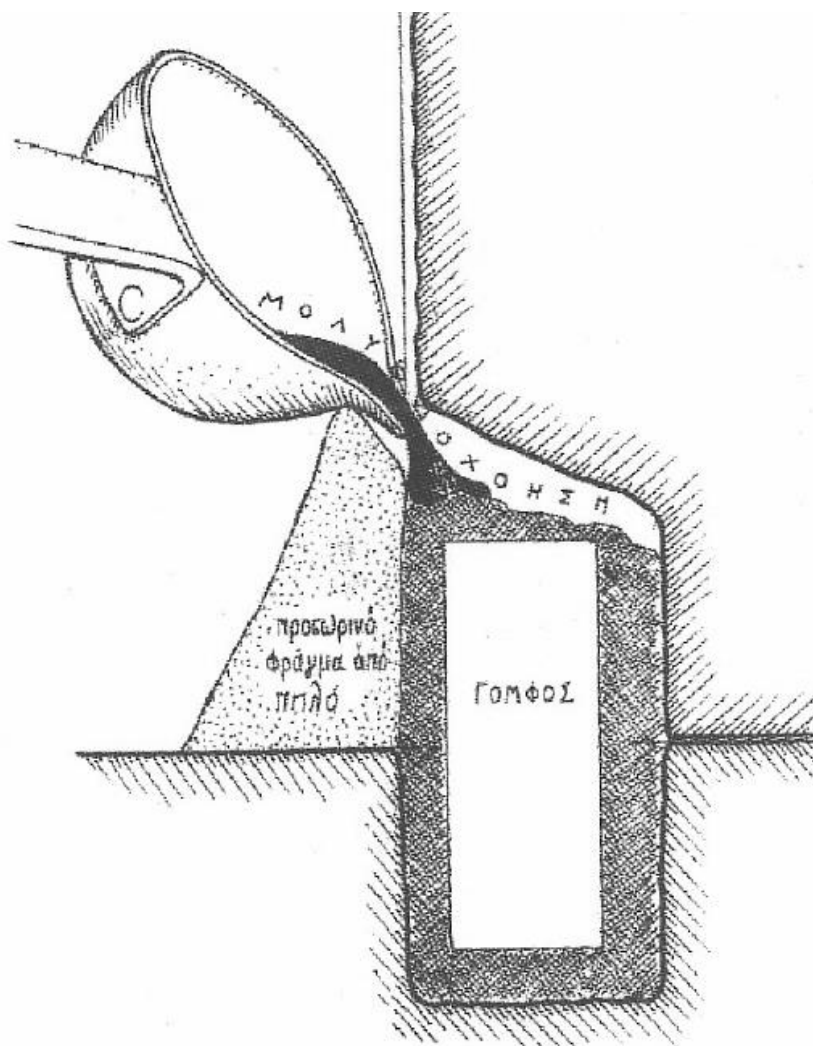
Πίνακας 3.2 Διαστάσεις εφελκυστικών συνδέσμων διπλού ταυ

	Ζωφόρος	Αντιθήματα Ζωφόρου	Θράνοι
Ύψος (mm)	20	20	20
Πάχος (mm)	6	6	6
Μήκος (mm)	380	320	310

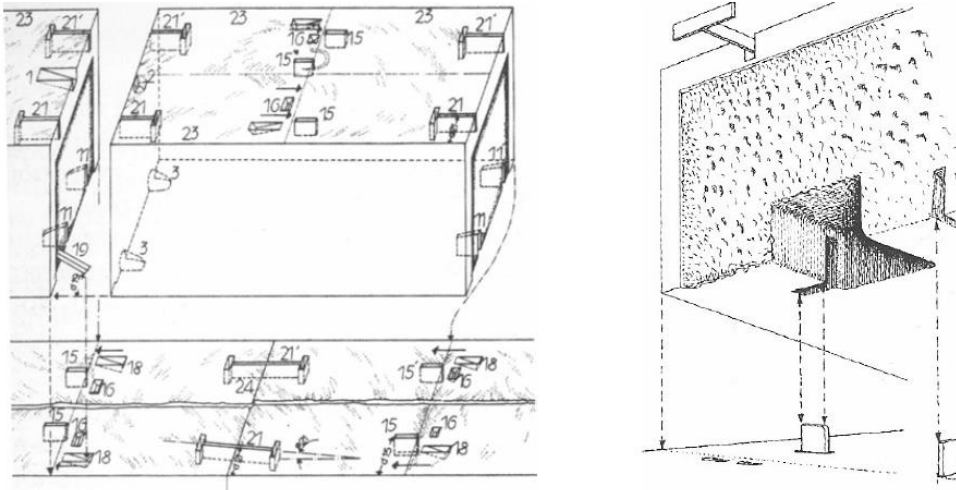
Πίνακας 3.3 Διαστάσεις διατμητικών συνδέσμων (γόμφων)

Πίνακας 3 : Διαστάσεις Διατμητικών Συνδέσμων (Γόμφων)		
Ύψος (mm)	Πάχος (mm)	Μήκος (mm)
40	10	40

Οι γόμφοι έχουν τις ίδιες διαστάσεις σε όλες τις δοκούς της ανωδομής.



Εικόνα 3.25 Μολυβδοχόηση σε εντορμία λίθου



Εικόνα 3.26 Σύνδεσμοι και εντορμίες διάτονου λίθου

Τέλος υπολογίστηκαν οι ιδιότητες των συνδέσμων , λαμβάνοντας υπόψη τα μηχανικά τους χαρακτηριστικά. Οι γόμφοι έχουν προσομοιωθεί ώστε να συμπεριφέρονται μόνο διατμητικά, ενώ τα συνδετήρια μορφής διπλού ταυ ώστε να παραλαμβάνουν αξονικές και διατμητικές δυνάμεις.

Παρακάτω φαίνεται ο τρόπος με τον οποίο υπολογίστηκαν οι ιδιότητες των συνδετήριων στοιχείων.

Γόμφοι

- Ενεργό μήκος γόμφου

$$r_{len} = 0.01\text{m}$$

- Διατμητική δυσκαμψία

$$r_{sstiff} = \frac{G \times A}{L} = \frac{40 \times 10^9 \text{N/m}^2}{0.02} \times (0.01 \times 0.04) \text{m}^2 = 0.8 \times 10^9 \text{N/m}$$

- Διατμητική δύναμη αντοχής σε θραύση σε (N)

$$r_{ushear} = \left(\frac{\sigma_y}{\sqrt{3}} \right) \times A = \frac{\left(\frac{1 \times 10^6}{\sqrt{3}} \right) \text{N}}{\text{m}^2} \times (0.01 \times 0.04) \text{m}^2 = 231 \text{N}$$

Σύνδεσμοι διπλού ταν

- Ενεργό μήκος συνδέσμου

$$r_{len} = 0.06\text{m}$$

- Εμβαδό διατομής

$$A_2 = t \times h = (0.8 \times 2) \times 10^{-6}\text{m}^2 = 1.6 \times 10^{-6}\text{m}^2$$

- Αξονική δυσκαμψία συνδέσμου

$$r_{kax} = \frac{105 \times 10^9 \times (1.6 \times 10^{-8}\text{m}^2)}{0.60} = 2.8 \times 10^7\text{N/m}$$

- Δύναμη αντοχής σε θραύση

$$r_{ult} = \sigma_y \times A = \frac{(1.0 \times 10^6)\text{N}}{\text{m}^2} \times 1.6 \times 10^{-8}\text{m}^2 = 160\text{ N}$$

- Διατμητική δυσκαμψία

$$r_{sstiff} = \frac{G \times A}{L} = \frac{(40 \times 10^9)\text{N/m}^2(1.6 \times 10^{-6}\text{m}^2)}{0.06\text{m}} = 1.1 \times 10^7\text{N/m}$$

- Διατμητική δύναμη αντοχής σε θραύση σε (N)

$$r_{ushear} = \left(\frac{\sigma_y}{\sqrt{3}}\right) \times A = \frac{\left(\frac{1 \times 10^6}{\sqrt{3}}\right)\text{N}}{\text{m}^2} \times (1.6 \times 10^{-6})\text{m}^2 = 92\text{ N}$$

- Αξονική παραμόρφωση τιτανίου

$$r_{strain} = 0.20$$

όπου : E= μέτρο ελαστικότητας του τιτανίου

A = t × h, το εμβαδόν της διατομής

L= το συνολικό μήκος του συνδέσμου

$\sigma_{\tau} = 1 \text{ MPa}$, η τάση συνάφειας του τιτανίου

$G = 105 \text{ GPa}$, το μέτρο διάτμησης του τιτανίου

Λόγω του μεγάλου πλήθους των συνδέσμων και του μεγάλου πλήθους των μηκών τους, για να χρησιμοποιηθούν στην ανάλυση, έγινε κατηγοριοποίηση με βάση τα στοιχεία των διατομών τους.

Οι κατηγορίες και οι ιδιότητες φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 3.4 Μηχανικές ιδιότητες των συνδετηρίων

Κατηγορία	r _{len} (m)	r _{kax} (N/m)	r _{ult} (N)	r _{strain}	r _{stiff} (N/m)	r _{shear} (N)
1	0.22	7.10e7	148	148	2.7e7	85
2	0.6	2.8e7	160	0.20	1.1e7	92
3	0.38	3.5e7	128	0.20	1.3e7	74
4	0.71	2.10e7	144	0.20	8.1e6	83
5	0.47	3.4e7	152	0.20	1.3e7	88
6	0.06	22.0e7	128	0.20	8.53e7	74
7	0.06	28e7	160	0.20	8.53e7	92
8	0.01	1.0	-	-	8.0e8	231

4. ΕΠΙΛΟΓΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΜΗ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

4.1 Μηχανικά χαρακτηριστικά υλικών

Όλοι οι σπόνδυλοι και τα κιονόκρανα θεωρήθηκαν απαραμόρφωτα σώματα .

Τα χαρακτηριστικά του μαρμάρου που λήφθηκαν υπόψη στην ανάλυση είναι :

Πυκνότητα : $\rho = 2700 \text{ kG/m}^3$

Δυσκαμψία : $K = 5.8 \times 10^7 \text{ N/m}$

Μέτρο διάτμησης : $G = 2.2 \times 10^7 \text{ N/m}^2$

Συντελεστής αξονικής δυσκαμψίας : $k_n = 5.0 \times 10^9$

Συντελεστής διατμητικής δυσκαμψίας : $k_s = 1.0 \times 10^9$

Γωνία τριβής: $f_r = 36.87$ που αντιστοιχεί σε συντελεστή τριβής $\mu=0.75$

4.2 Συνοριακές συνθήκες

Θεωρήθηκε ότι το έδαφος επί του οποίου εδράζεται ο Οπισθόναος είναι απαραμόρφωτο. Η υπόθεση αυτή είναι ρεαλιστική επειδή ο ναός είναι θεμελιωμένος απευθείας σε βράχο.

4.3 Σεισμοί Ελέγχου

Για τη διερεύνηση της σεισμικής ευστάθειας του Οπισθόναου, λαμβάνοντας υπόψη την ευαισθησία της απόκρισης στις μεταβολές των παραμέτρων της διέγερσης είναι επιθυμητό να χρησιμοποιηθεί μια ποικιλία καταγεγραμμένων σεισμικών διεγέρσεων. Σκοπός είναι να εκτιμηθεί η επίδραση ορισμένων παραμέτρων, όπως η ένταση, η διάρκεια και η δεσπόζουσα περίοδος, στην ολίσθηση και τον λικνισμό των λιθοπλίνθων, στο μέγεθος των παραμενουσών αλλά και των μεγίστων μετατοπίσεων και στον κίνδυνο κατάρρευσης του δομήματος. Με αυτή την προσέγγιση είναι δυνατή η ιεράρχηση των πιθανών κινδύνων και η έγκαιρη και ορθολογική αντιμετώπιση τους με ειδικά μέτρα, καθώς και η εκτίμηση της αναγκαιότητας για λήψη τέτοιων μέτρων.

Ένας άλλος παράγοντας που καθιστά τη χρήση διαφορετικών σεισμικών διεγέρσεων είναι η ανάγκη για εξασφάλιση έναντι σεισμικών συμβάντων που πιθανόν να απαντηθούν σε ευρύ χρονικό ορίζοντα που υπερβαίνει αυτόν των συνήθων και νέων κατασκευών. Σε όρους πιθανοτικής προσέγγισης αυτό θα μπορούσε να μεταφραστεί σε σεισμό ελέγχου με μεγαλύτερη της συνηθισμένης περιόδου επαναφοράς, άρα και δυσανάλογα μεγάλης έντασης, ή, πιο ευνοϊκά, μιας σειράς σεισμών ελέγχου με αποκλίνοντα χαρακτηριστικά.

Τις τελευταίες δεκαετίες εγκαταστάθηκαν και τέθηκαν σε λειτουργία στο βράχο της Ακρόπολης σεσμογράφοι ώστε να σχηματιστεί μια συγκεκριμένη εικόνα του κατά πόσο επηρεάζεται μια σεισμική διέγερση στην περιοχή από τη θεμελίωση των μνημείων σε βράχο, καθώς και να ανιχνευτούν σχέσεις μεταξύ των σεισμικών παραμέτρων και των παρατηρούμενων μετακινήσεων και βλαβών των δομικών στοιχείων.

4.3.1 Βασικά χαρακτηριστικά των σεισμών που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση

- 1) Σεισμός της Αθήνας (1999) : Ο σεισμός ήταν μεγέθους $M_w = 5.9$ και χρησιμοποιήθηκε η καταγραφή σε βάθος 7.00 m στο σταθμό του μετρώ της πλατείας Συντάγματος σε απόσταση 21.0 m από το επίκεντρο. Το πέτρωμα στην περιοχή είναι αθηναϊκός σχιστόλιθος . Πρόκειται για υψίσυχη δόνηση κατά τη διάρκεια της ισχυρής κίνησης ακολουθούμενη από δόνηση μικρότερης επιτάχυνσης αλλά μεγαλύτερης περιόδου, με αποτέλεσμα να παρουσιάζονται υψηλές τιμές στο φάσμα ταχυτήτων σε όλο το εύρος από 0.2-0.9 sec.

Οι συνιστώσες του σεισμού πολλαπλασιάστηκαν με τον αυξητικό συντελεστή 3.5, συντελεστής που έχει προκύψει από την εφαρμογή του σεισμού στους κίονες του μνημείου του Θρασσύλου [Ambraseys & Psycharis, 2012] που βρίσκεται κοντά στην Ακρόπολη.

- 2) Σεισμός της Bisaccia (1980) : Ο σεισμός ήταν μεγέθους $M_w = 6.93$ και σε απόσταση 21 km από το επίκεντρο.

Λόγω του ότι ο ίδιος σεισμός είχε εφαρμοστεί και στο μνημείο του Θρασσύλου, και μάλιστα προκάλεσε την πτώση σπονδύλων, οι συνιστώσες του πολλαπλασιάστηκαν με τον μειωτικό συντελεστή 0.9 που είναι ένα ασφαλές άνω όριο σεισμικής διέγερσης [Ambraseys & Psycharis, 2012].

Πίνακας 4.1 Βασικά χαρακτηριστικά των σεισμών που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση

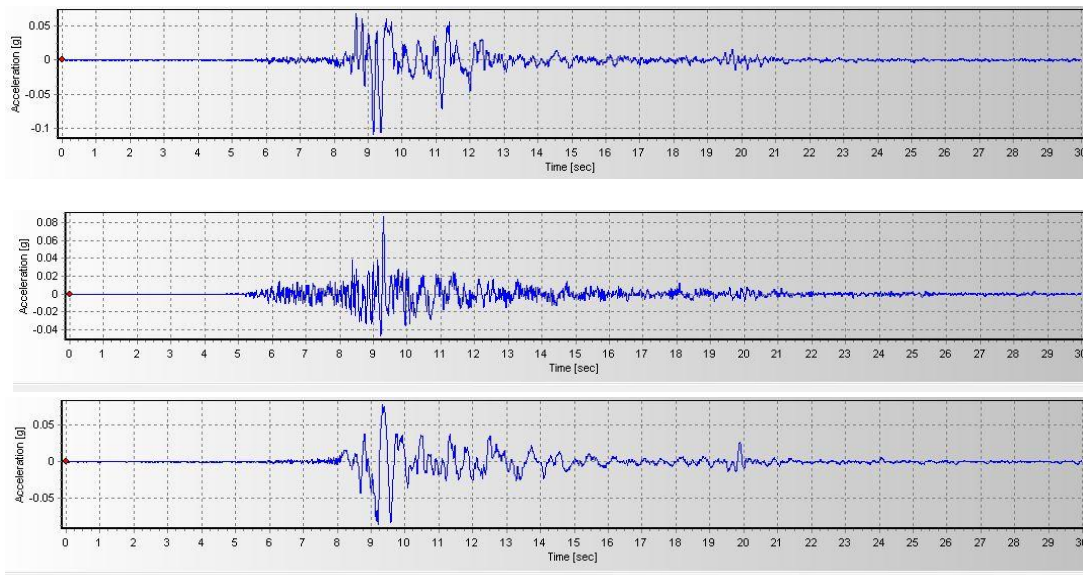
Σεισμική καταγραφή	Μέγεθος M_w	Απόστασ η από το επίκεντρο (km)	Διαμήκης διεύθυνση			Εγκάρσια διεύθυνση		
			pga (m/s ²)	pgv (cm/sec)	T_d (sec)	pga (m/s ²)	pgv (cm/sec)	T_d (sec)
Σύνταγμα-B (1999)	5.9	10	1.07	10	0.89	0.84	11	0.52
Bisaccia (1980)	6.93	21	0.90	16	2.02	0.78	15	2.10

Πίνακας 4.2 Χαρακτηριστικά των σεισμών με τους συντελεστές που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση

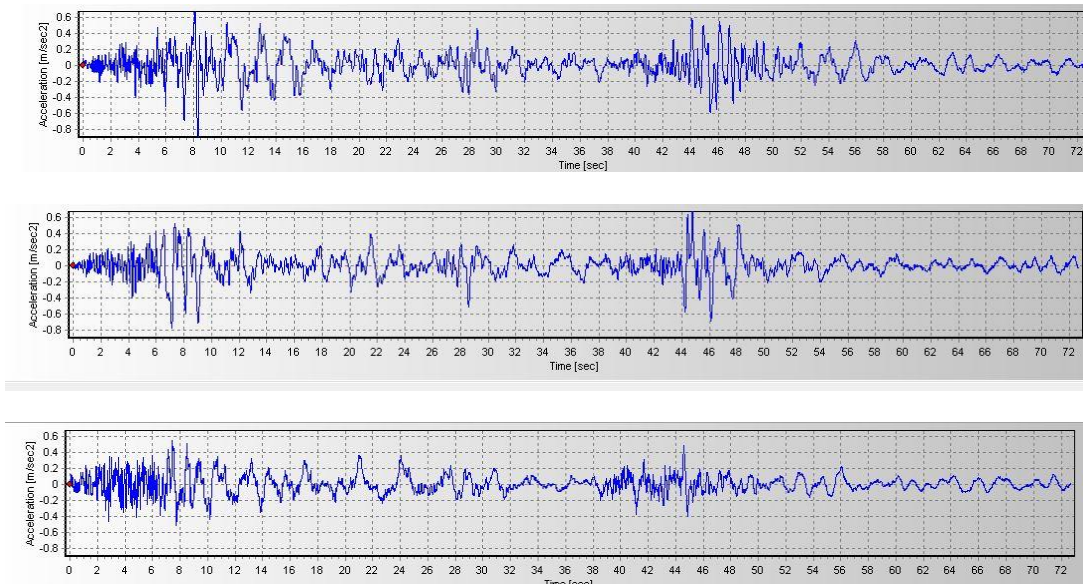
Σεισμός	Συντελεστής	pga (m/s ²)	pga (m/s ²)
Σύνταγμα- B	3.5	3.75	39
Bisaccia	0.9	0.81	14

Κατά τη διάρκεια των αναλύσεων χρησιμοποιήθηκαν και οι δύο οριζόντιες συνιστώσες των σεισμών, καθώς και η κατακόρυφη συνιστώσα η οποία δεν μπορεί να αγνοηθεί σε προβλήματα ολίσθησης. Η οριζόντια συνιστώσα με τη μεγαλύτερη ένταση ασκήθηκε στη διεύθυνση κάθετα στην κιονοστοιχία , η οποία είναι και η κρισιμότερη. Τα χαρακτηριστικά των σεισμικών διεγέρσεων παρουσιάζονται στον πίνακα 5, ενώ στον πίνακα 6 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των σεισμών με τους συντελεστές που εφαρμόστηκαν στις αναλύσεις.

Στις παρακάτω εικόνες φαίνονται τα επιταχυνσιογραφήματα των σεισμών ελέγχου.



Εικόνα 4.1 Επιταχυνσιογραφήματα του σεισμού της Αθήνας (1999) κατά της τρεις διευθύνσεις, x,y,z αντίστοιχα



Εικόνα 4.2 Επιταχυνσιογραφήματα του σεισμού της Bisaccia κατά τις 3 διευθύνσεις x,y,z αντίστοιχα

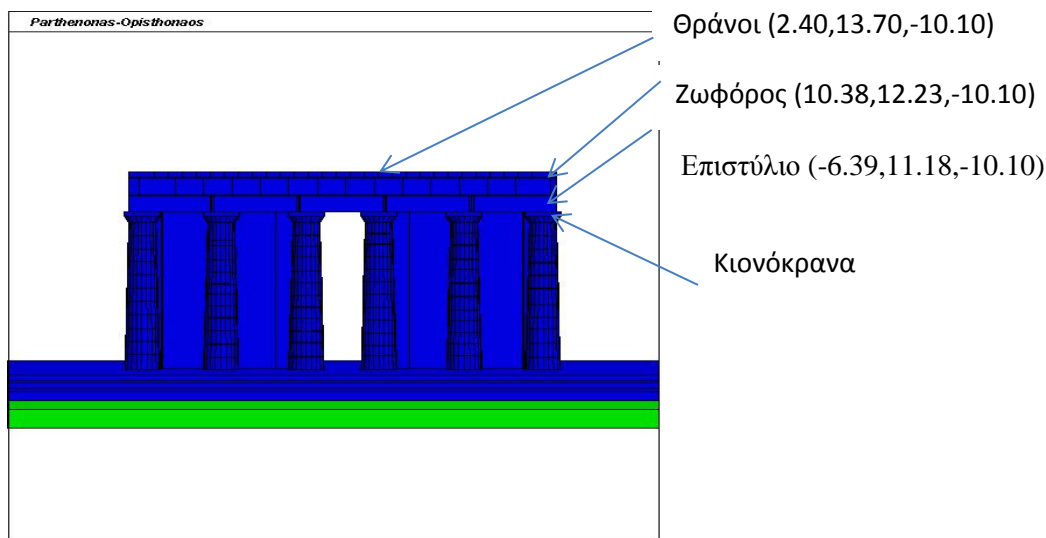
4.4 Επιλογή απόσβεσης

Κατά τη διάρκεια της ανάλυσης η απόσβεση θεωρήθηκε μηδενική για τα πρώτα 16 δευτερόλεπτα της απόκρισης. Ύστερα εφαρμόστηκε απόσβεση μερικής μάζας με τιμή 10% της κρίσιμης στα 0.3 Hz για $t = 16-50 \text{ sec}$, ενώ στο υπόλοιπο της ανάλυσης χρησιμοποιήθηκε απόσβεση μερικής μάζας 20% της κρίσιμης στα 0.3 Hz ώστε να εξασθενήσει γρηγορότερα η κίνηση του δομήματος μετά τη σεισμική διέγερση και να διευκολύνουμε τον προσδιορισμό της παραμένουσας μετατόπισης.

5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΗ ΓΡΑΜΜΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ

5.1 Θέσεις παρακολούθησης

Οι θέσεις παρακολούθησης της κινηματικής συμπεριφοράς κάθε δομικού μέλους παρουσιάζονται στην εικόνα 5.1 μαζί με τις αντίστοιχες συντεταγμένες τους.



Εικόνα 5.1 Μέλοι παρακολούθησης της κινηματικής συμπεριφοράς

5.1.1 Επεξεργασία αποτελεσμάτων

Για την ανάλυση των αποτελεσμάτων έγινε κατάλληλη επεξεργασία των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την επίλυση, τα οποία δίνονται σε μορφή αρχείου τύπου dat. Για την ευκολότερη επεξεργασία τους και δεδομένου ότι οι μετακινήσεις που προκύπτουν από το πρόγραμμα είναι απόλυτες, τα αρχεία αυτά μετατρέπονται σε αρχεία τύπου Excel και γίνεται η εξής επεξεργασία:

- α. εύρεση των συνιστωσών των μετακινήσεων κατά x, y και z της βάσης (οιονεί «εδάφους»).

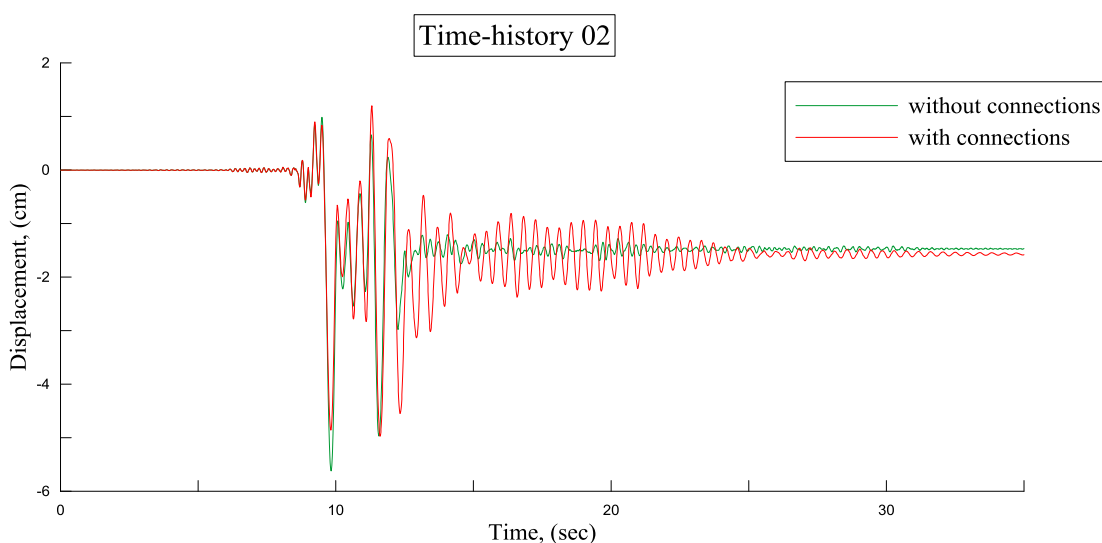
- β. αφαίρεση των μετακινήσεων αυτών από τις αντίστοιχες μετακινήσεις των σημείων παρακολούθησης επί του δομήματος. Τα δεδομένα που προκύπτουν περιγράφουν τις **σχετικές ως προς το έδαφος** μετακινήσεις των σημείων αυτών.
- γ. αφαίρεση των μετακινήσεων κάθε επιμέρους μέλους του φορέα (όπως υπολογίστηκαν στο β) από τις αντίστοιχες μετακινήσεις του υποκειμένου μέλους αυτού. Τα δεδομένα που προκύπτουν περιγράφουν τις **σχετικές** μετακινήσεις των σημείων παρακολούθησης, δηλ. τις σχετικές μετακινήσεις μεταξύ των ίδιων των μελών.
- δ. μόρφωση κατάλληλων διαγραμμάτων, με τα οποία αναλύεται και κατανοείται η συμπεριφορά των δομικών μελών, τόσο σε όρους σχετικών ως προς το έδαφος μετατοπίσεων κατά τη διάρκεια της δόνησης όσο και σχετικών μετατοπίσεων μεταξύ των μελών, δηλ. μετατοπίσεων ενός μέλους σε σχέση με το υποκείμενο μέλος αυτού.

5.2 Σεισμός Αθήνας (1999)

5.2.1 Ανάλυση σχετικών οριζοντίων μετακινήσεων ως προς το έδαφος κατά X και Z

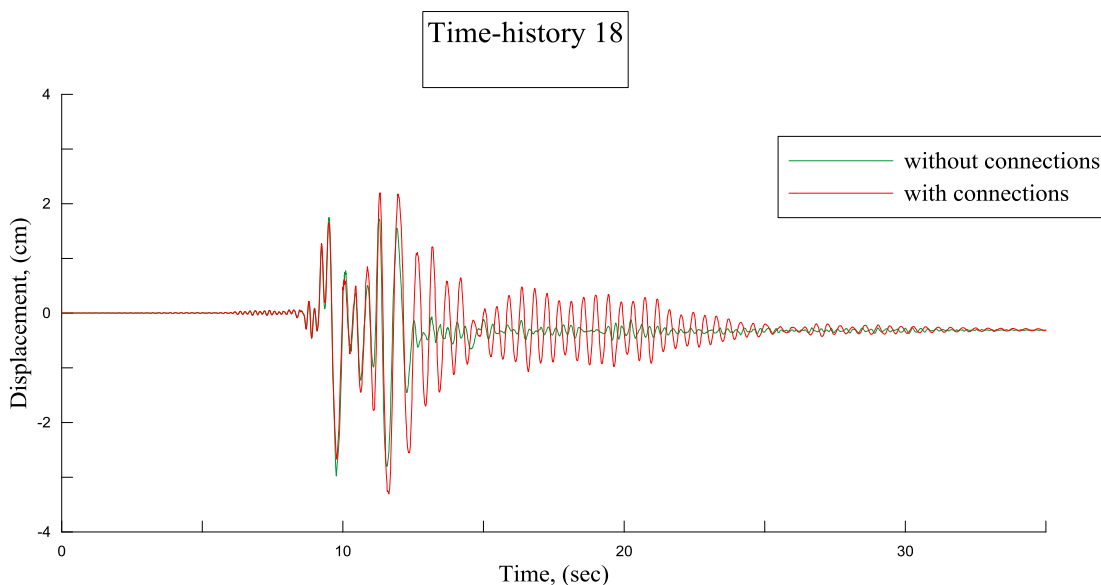
Πίνακας 5.1 Χρονοϊστορίες σχετικών ως προς το έδαφος μετακινήσεων κατά x

α/α	μέλος	περιγραφή	συντεταγμένες
χρονοϊστ. 02	κιονόκρανο	*hist 2 xdis	hist xdis -6.39 11.18 -10.10
χρονοϊστ. 18	επιστύλιο	*hist 18 xdis	hist xdis 2.15 12.23 -8.60
χρονοϊστ. 20	ζωφόρος	*hist 20 xdis	hist xdis -6.69 13.35 -4.60



Σχήμα 5.1 Χρονοϊστορία σχετικής οριζόντιας μετατόπισης σημείου στο επίπεδο των κιονοκράνων κατά x

Κατά τη διαμήκη διεύθυνση η μέγιστη μετακίνηση στο προσομοίωμα χωρίς τους συνδέσμους είναι 5.66 cm και επιτυγχάνεται γύρω στο 10^ο δευτερόλεπτο της κίνησης, ενώ στο προσομοίωμα με τους συνδέσμους είναι 5.0 cm και επιτυγχάνεται σε χρόνο $t = 12\text{sec}$. Η ταλάντωση του δομήματος ξεκινάει σε χρόνο $t = 8\text{ sec}$ και διαρκεί μέχρι $t = 25\text{ sec}$. Σε αυτό το διάστημα παρατηρούμε μεγαλύτερες μετακινήσεις στο προσομοίωμα με τους συνδέσμους, οπότε καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι οι σύνδεσμοι εξαναγκάζουν τον φορέα σε λικνισμό παρά να ολισθήσει. Οι παραμένουσες μετατοπίσεις είναι μικρότερες στο προσομοίωμα με τους συνδέσμους πράγμα που επιβεβαιώνει την συμβολή τους στη μείωση των παραμενουσών μετατοπίσεων.

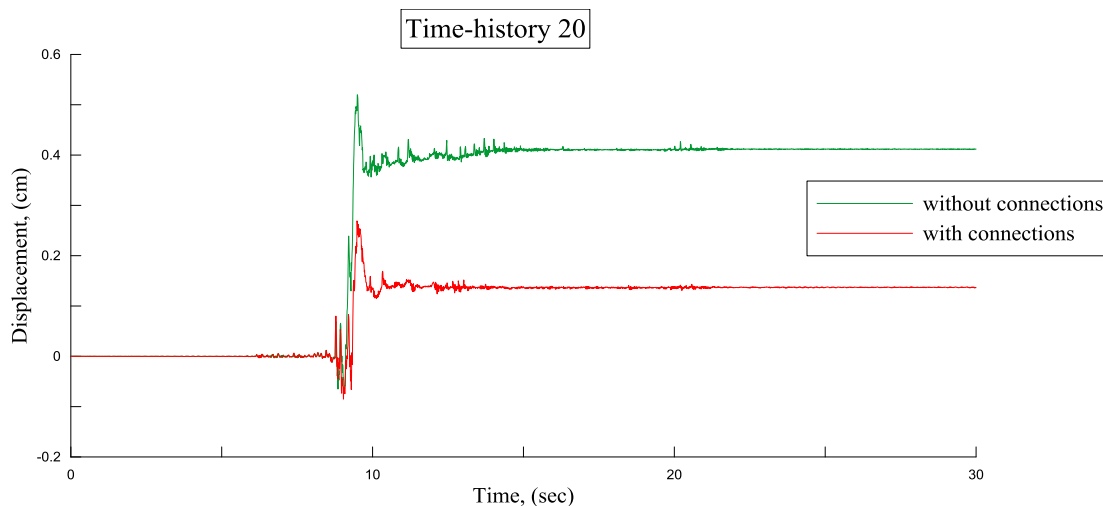


Σχήμα 5.2 Χρονοϊστορία σχετικής οριζόντιας μετατόπισης σημείου στο επίπεδο των επιστυλίων κατά x

Η απόκριση του δομήματος είναι παρόμοια με αυτή της χρονοϊστορίας 02.

Μοντέλο χωρίς συνδέσμους, μέγιστη μετακίνηση $d_{\max} = 2.98\text{ cm}$

Μοντέλο με τους συνδέσμους, μέγιστη μετακίνηση $d_{\max} = 3.30\text{ cm}$



Σχήμα 5.3 Χρονοϊστορία σχετικών ως προς το έδαφος μετακινήσεων στο επίπεδο της ζωφόρου κατά x

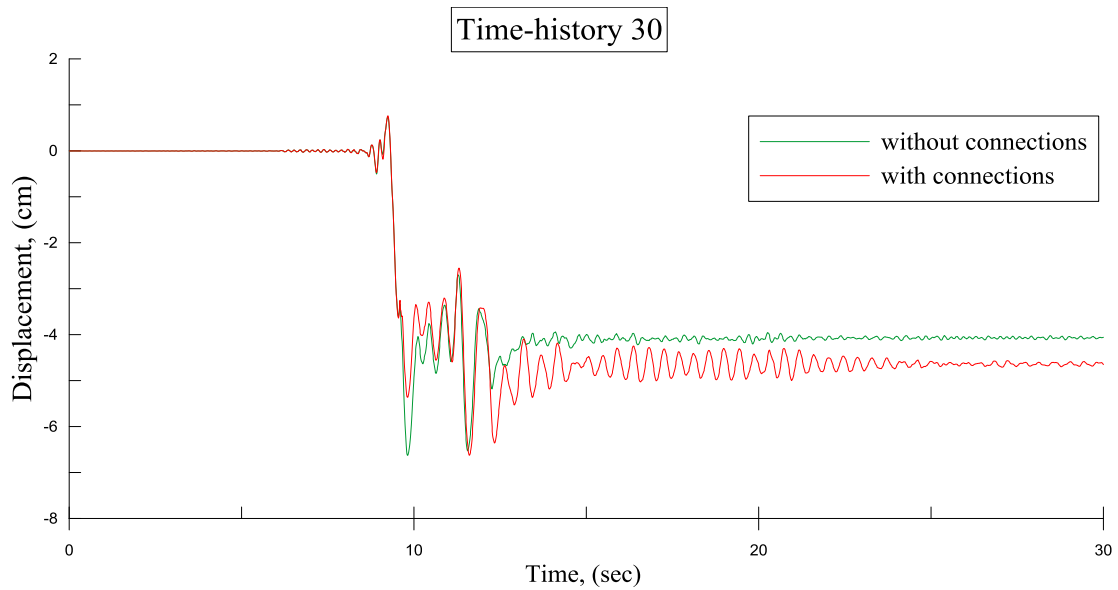
Παρατηρούμε ότι και οι μέγιστες, αλλά και οι παραμένουσες μετατοπίσεις στο σημείο που βρίσκεται στην εσωτερική πλευρά του οπισθόναου είναι αρκετά μεγαλύτερες στο μοντέλο που δεν περιέχει τους συνδέσμους από τιτάνιο.

Μοντέλο χωρίς τους συνδέσμους, μέγιστη μετακίνηση, $d_{\max} = 0.52 \text{ cm}$

Μοντέλο με τους συνδέσμους, μέγιστη μετακίνηση, $d_{\max} = 0.27 \text{ cm}$

Πίνακας 5.2 Χρονοϊστορίες σχετικών ως προς το έδαφος μετακινήσεων κατά z

α/α	μέλος	περιγραφή	συντεταγμένες
χρονοϊστ. 30	κιονόκρανο	*hist 30 zdis	hist zdis -6.39 11.18 -10.10
χρονοϊστ. 45	επιστύλιο	*hist 45 zdis	hist zdis 2.15 12.23 -8.60
χρονοϊστ. 47	ζωφόρος	*hist 47 zdis	hist zdis -6.69 13.35 -4.60



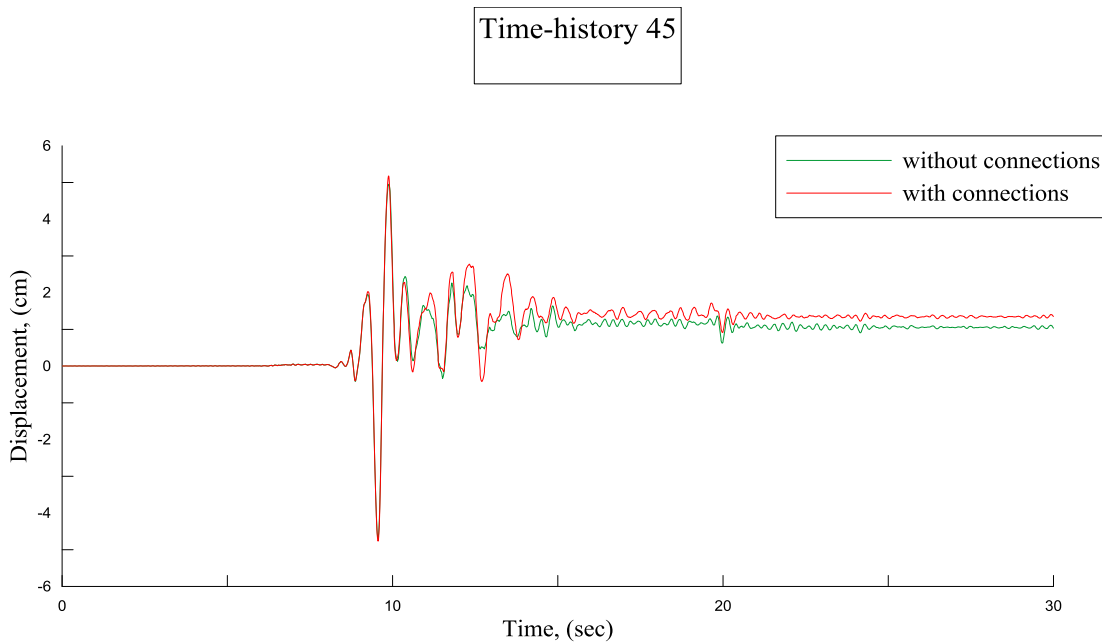
Σχήμα 5.4 Χρονοϊστορία σχετικής οριζόντιας μετατόπισης σημείου στο επίπεδο των κιονοκράνων κατά z

Κατά την κύρια διεύθυνση του προσομοιώματος, παρατηρούμε μικρότερες μετατοπίσεις στο μοντέλο με τους συνδέσμους σε σύγκριση με το αντίστοιχο μοντέλο που δεν περιέχει τους συνδέσμους.

Μοντέλο χωρίς τους συνδέσμους, μέγιστη μετακίνηση = 6.63 cm

Μοντέλο με τους συνδέσμους, μέγιστη μετακίνηση = 5.20 cm

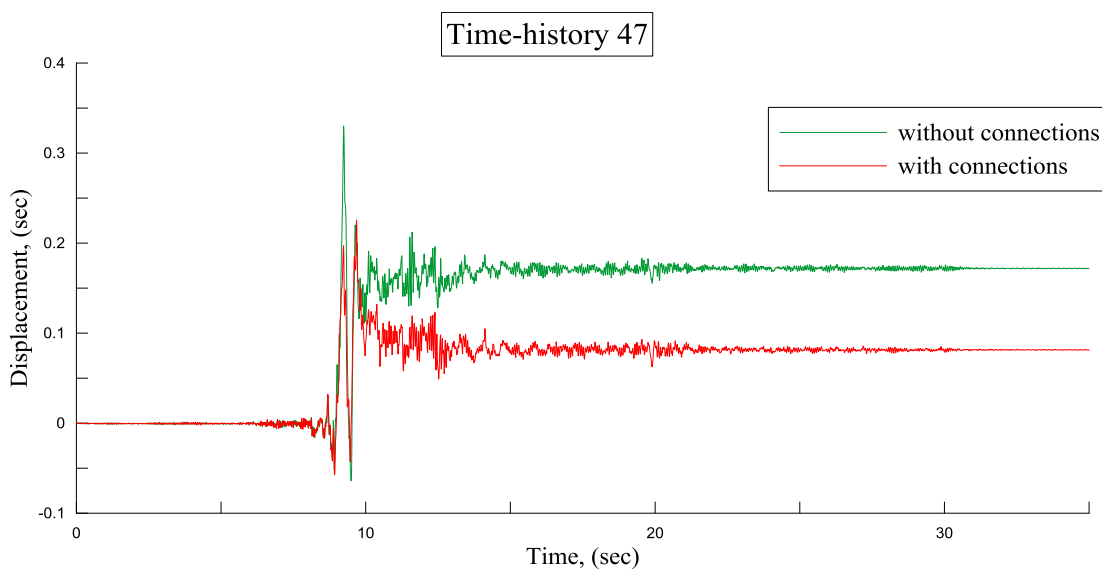
Όσον αφορά τις παραμένουσες μετατοπίσεις, παρατηρείται ότι αυτές εξελίσσονται γραμμικά μέχρι να σταθεροποιηθούν. Επίσης είναι εμφανής η συμβολή των συνδέσμων στη μείωση των παραμενουσών μετατοπίσεων.



Σχήμα 5.5 Χρονοϊστορία σχετικής οριζόντιας μετατόπισης σημείου στο επίπεδο των επιστυλίων κατά z Παρατηρούμε ότι κατά τη διάρκεια της ισχυρής δόνησης της εδαφικής κίνησης οι μέγιστες τιμές μετακινήσεων είναι παρόμοιες και στα δύο γεωμετρικά μοντέλα , ενώ όσον αφορά τις παραμένουσες μετατοπίσεις αυτές παρουσιάζονται μεγαλύτερες στο μοντέλο που περιέχει τους συνδέσμους.

Μοντέλο χωρίς τους συνδέσμους, μέγιστη μετακίνηση, $d_{\max} = 4.95\text{cm}$

Μοντέλο με τους συνδέσμους, μέγιστη μετακίνηση , $d_{\max} = 5.20\text{cm}$



Σχήμα 5.6 Χρονοϊστορία σχετικών ως προς το έδαφος μετακινήσεων στο επίπεδο της ζωφόρου κατά z

Σε αυτό το διάγραμμα φαίνεται η σημαντική συμβολή των συνδέσμων στη μείωση των παραμενούσων μετακινήσεων.

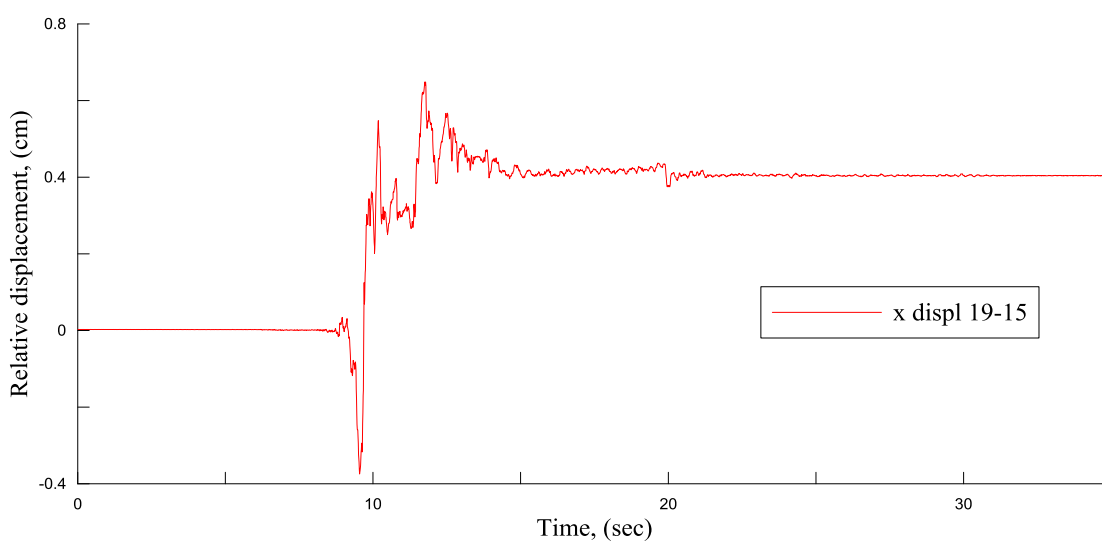
Μοντέλο χωρίς τους συνδέσμους, μέγιστη μετακίνηση, $d_{\max} = 0.33\text{cm}$

Μοντέλο με τους συνδέσμους, μέγιστη μετακίνηση, $d_{\max} = 0.23\text{cm}$

5.2.2 Ανάλυση σχετικών οριζοντίων μετατοπίσεων μεταξύ των δομικών μελών κατά x και z

Πίνακας 5.3 Σχετική μετακίνηση σημείου στο επίπεδο των θράνων σε σχέση με το υποκείμενο μέλος του στο επιστύλιο κατά x

α/α	μέλος	περιγραφή	συντεταγμένες
χρονοϊστ. 15	επιστύλιο	*hist 15 xdis	hist xdis 2.15 12.23 -10.10
χρονοϊστ. 19	θράνοι	*hist 19 xdis	hist xdis 2.40 13.70 -10.10

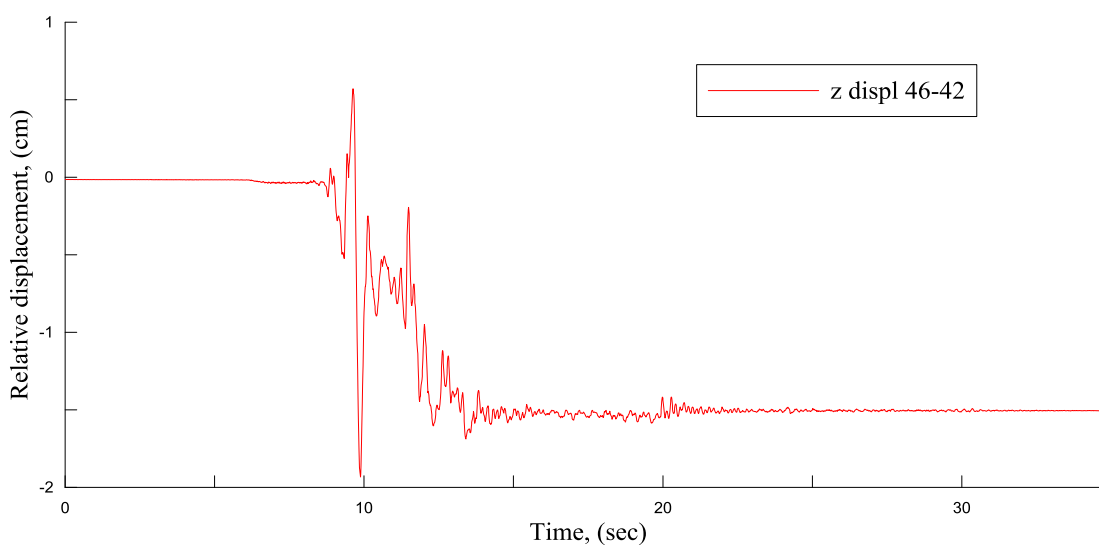


Σχήμα 5.7 Χρονοϊστορία σχετικής μετακίνησης σημείου στο επίπεδο των θράνων σε σχέση με το υποκείμενο μέλος του στο επιστύλιο κατά x

Μέγιστη σχετική μετακίνηση των μελών κατά x, $d_{\max} = 0.63 \text{ cm}$

Πίνακας 5.4 Σχετική μετακίνηση σημείου στο επίπεδο των θράνων σε σχέση με το υποκείμενο μέλος του στο επιστύλιο κατά z

α/α	μέλος	περιγραφή	συντεταγμένες
χρονοϊστ. 42	επιστύλιο	*hist 42 zdis	hist zdis 2.15 12.23 -10.10
χρονοϊστ. 46	θράνοι	*hist 46 zdis	hist zdis 2.40 13.70 -10.10



Σχήμα 5.8 Χρονοϊστορία σχετικής μετακίνησης σημείου στο επίπεδο των θράνων σε σχέση με το υποκείμενο μέλος του στο επιστύλιο κατά z

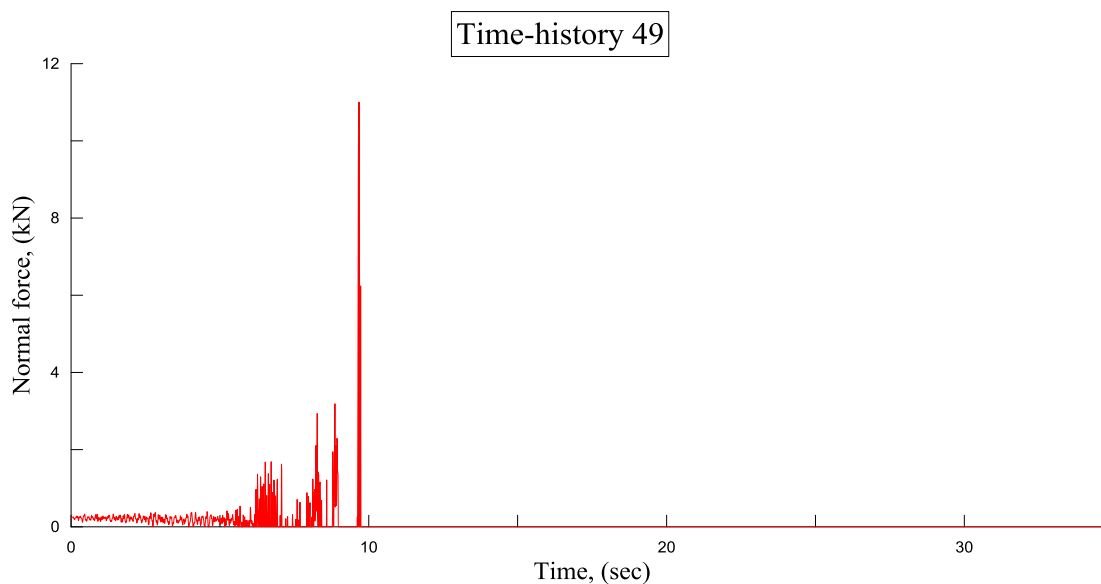
Μέγιστη σχετική μετακίνηση των μελών κατά z, $d_{\max} = 1.8 \text{ cm}$

Παρατηρούμε ότι κατά τη διεύθυνση κάθετα στην κιονοστοιχία που είναι και η κύρια διεύθυνση οι σχετικές μετατοπίσεις είναι μεγαλύτερες σε σχέση με τις αντίστοιχες κατά την ασθενή διεύθυνση x.

5.2.3 Ανάλυση εφελκυστικών δυνάμεων των συνδέσμων διπλού ταυ

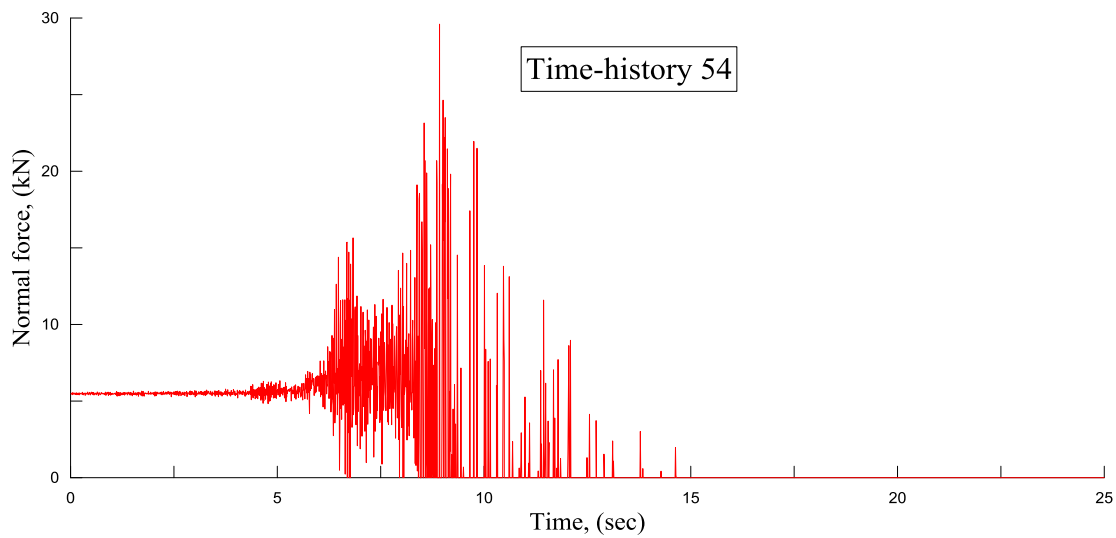
Πίνακας 5.5 Χρονοϊστορίες εφελκυστικών δυνάμεων των συνετηρίων διπλού ταυ

α/α	μέλος	περιγραφή	συντεταγμένες
χρονοϊστ. 49	θράνοι	*hist 49 nf	hist nf -0.505 13.70 -8.94
χρονοϊστ. 54	θράνοι	*hist 54 nf	hist nf 10.247 13.70 -7.775



Σχήμα 5.9 Χρονοϊστορία εφελκυστικών δυνάμεων συνδέσμου στο επίπεδο των θράνων

Παρατηρούμε ότι ο εφελκυστικός σύνδεσμος στο επίπεδο των θράνων ενεργοποιείται κατά τη διάρκεια της ισχυρής εδαφικής κίνησης για τα πρώτα 10 sec, παρουσιάζοντας μέγιστη τιμή εφελκυστικής δύναμης 11 kN στο 9^ο δευτερόλεπτο, ύστερα μειώνεται στα 6kN, ενώ ύστερα εξασθενεί παρουσιάζοντας μηδενικές τιμές.

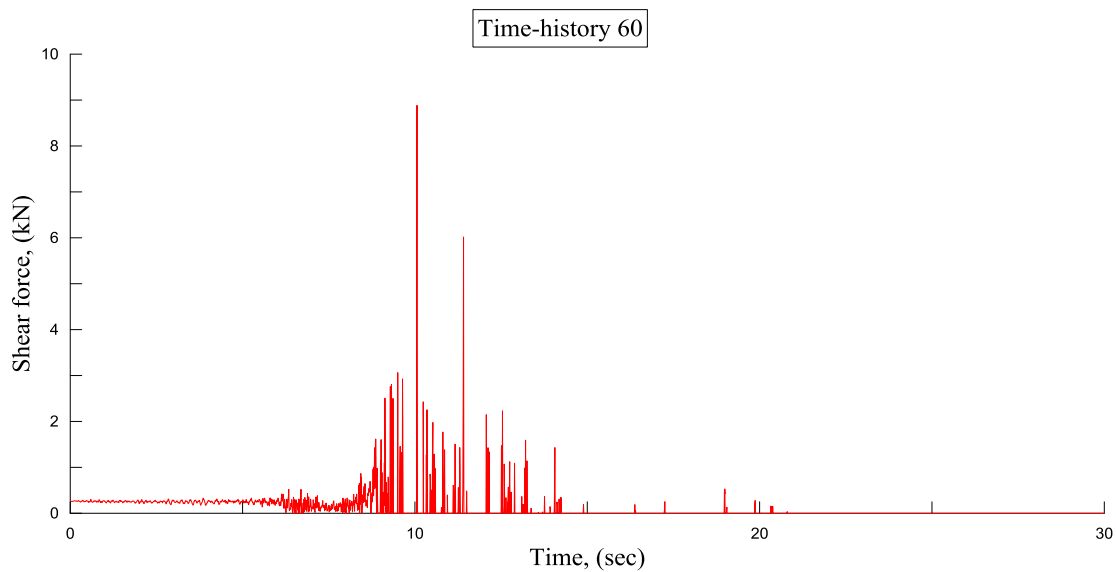


Σχήμα 5.10 Χρονοϊστορία εφελκυστικών δυνάμεων συνδέσμου στο επίπεδο των θράνων

5.2.3 Ανάλυση διατμητικών δυνάμεων στους συνδέσμους διπλού ταυ και στους γόμφους

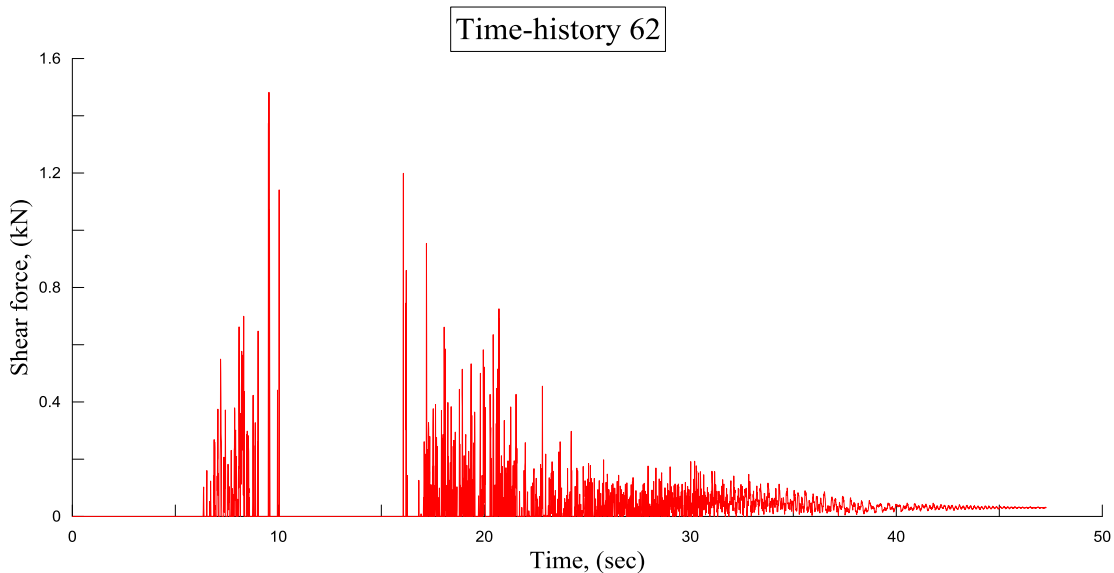
Πίνακας 5.6 Χρονοϊστορίες διατμητικών δυνάμεων

α/α	μέλος	περιγραφή	συντεταγμένες
χρονοϊστ. 60	ζωφόρος	* hist 60 sf	hist sf 3.82 13.35 -9.69
χρονοϊστ. 62	ζωφόρος	*hist 62 sf	hist sf 4.52 13.35 -8.82



Σχήμα 5.11 Χρονοϊστορία διατμητικής δύναμης συνδέσμου διπλού ταυ στο επίπεδο της ζωφόρου

Όπως φαίνεται από την χρονοϊστορία της διατμητικής δύναμης του συνδέσμου, αυτός ενεργοποιείται κατά τη διάρκεια της ισχυρής εδαφικής κίνησης, στο έκτο δευτερόλεπτο, και η διατμητική δύναμη αυξάνει σταδιακά παρουσιάζοντας μέγιστη τιμή 9 kN στο 10^ο δευτερόλεπτο, ενώ μετά από t=15 sec παύει να λειτουργεί παρουσιάζοντας μηδενικές τιμές.



Σχήμα 5.12 Χρονοϊστορία διατμητικής δύναμης γόμφου στο επίπεδο της ζωφόρου

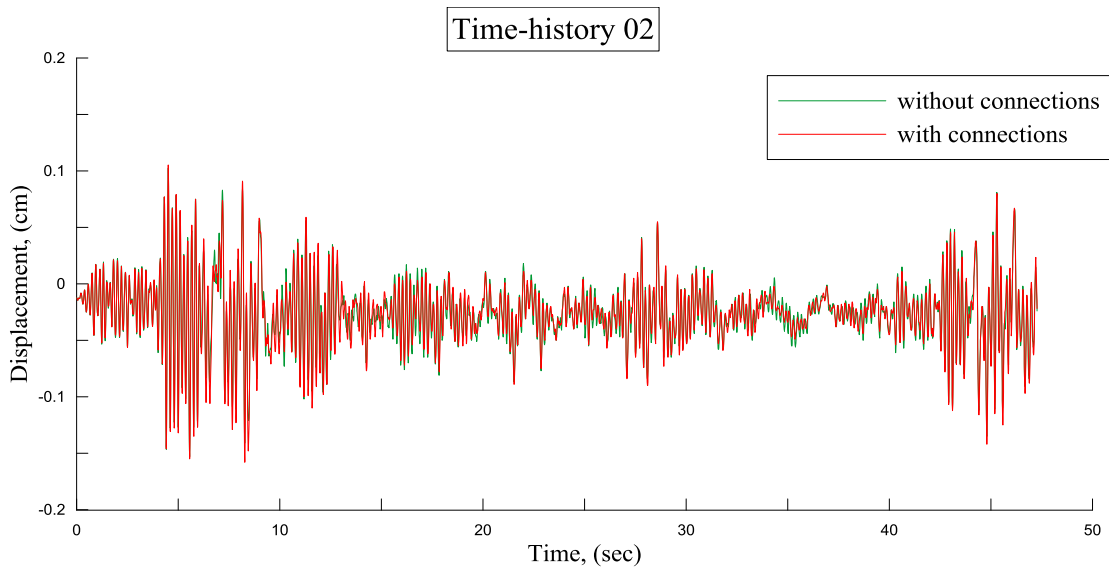
Μέγιστη διατμητική δύναμη γόμφου = 1.5 kN

5.3 Σεισμός Bisaccia (1980)

5.3.1 Ανάλυση σχετικών οριζοντίων μετακινήσεων ως προς το έδαφος κατά x και z

Πίνακας 5.7 Χρονοϊστορίες σχετικών ως προς το έδαφος οριζοντίων μετακινήσεων κατά x

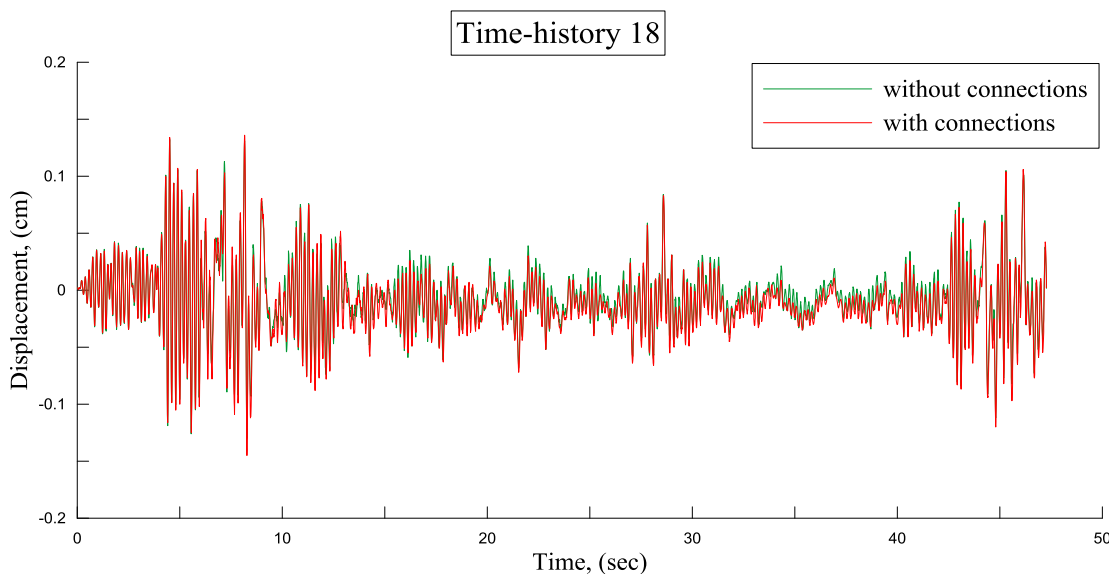
α/α	μέλος	περιγραφή	συντεταγμένες
χρονοϊστ. 02	κιονόκρανο	*hist 2 xdis	hist xdis -6.39 11.18 -10.10
χρονοϊστ. 18	επιστύλιο	*hist 18 xdis	hist xdis 2.15 12.23 -8.60
χρονοϊστ. 20	ζωφόρος	*hist 20 xdis	hist xdis -6.69 13.35 -4.60



Σχήμα 5.13 Χρονοϊστορία σχετικής ως προς το έδαφος μετακίνησης σημείου στο επίπεδο επαφής κινγκράνου και επιστυλίων κατά x

Προσομοίωμα χωρίς τους συνδέσμους, $d_{\max} = 0.15\text{cm}$

Προσομοίωμα με τους συνδέσμους, $d_{\max} = 0.16\text{ cm}$

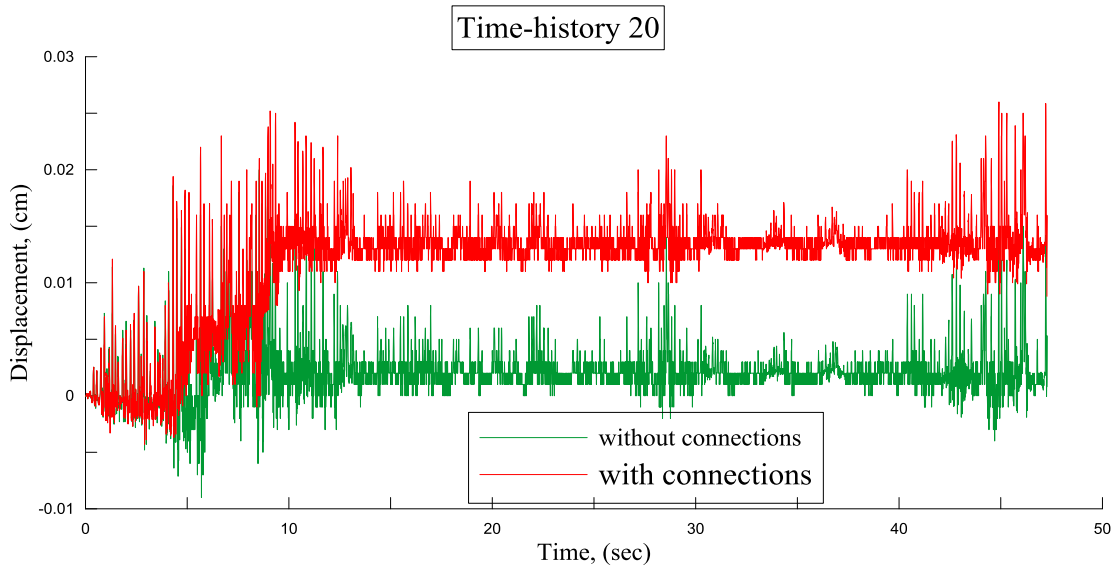


Σχήμα 5.14 Χρονοϊστορία σχετικής ως προς το έδαφος μετακίνησης σημείου στο επίπεδο επαφής επιστυλίου με το επίπεδο της ζωφόρου κατά x

Όπως φαίνεται από τις χρονοϊστορίες μετακινήσεων κατά την διαμήκη διεύθυνση , υπάρχει έντονη ταλάντωση του δομήματος καθόλη τη διάρκεια της σεισμικής διέγερσης.

Προσομοίωμα χωρίς τους συνδέσμους, $d_{\max} = 0.13 \text{ cm}$

Προσομοίωμα με τους συνδέσμους, $d_{\max} = 0.15 \text{ cm}$



Σχήμα 5.15 Χρονοϊστορία σχετικής ως προς το έδαφος μετακίνησης σημείο στην εσωτερική πλευρά του ναού κατά x

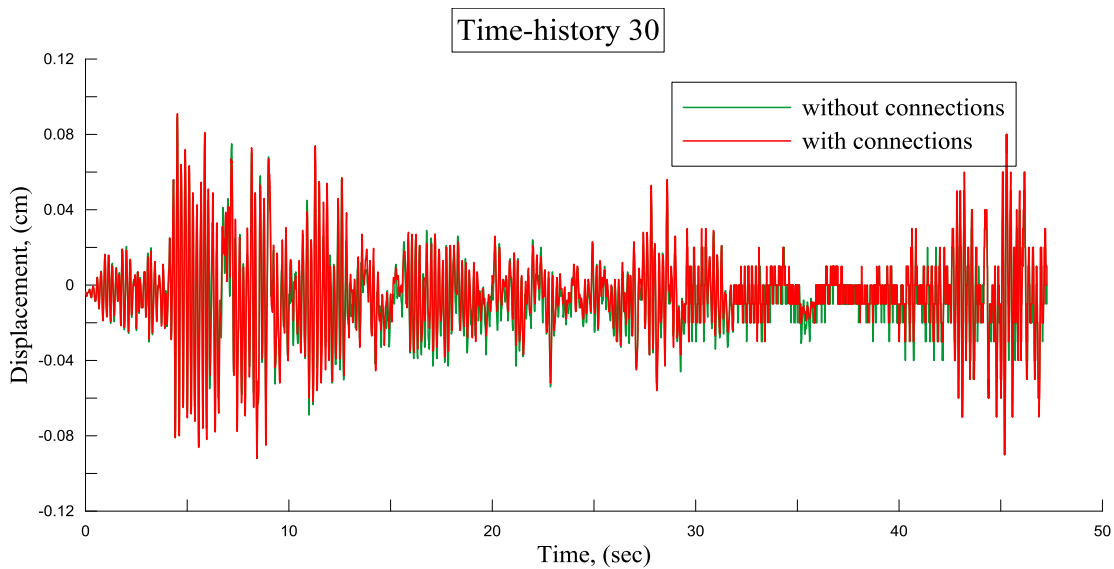
Στο σημείο που βρίσκεται στην εσωτερική πλευρά του ναού, παρατηρούνται πιο απότομες μετακινήσεις, άρα συμπαίρνουμε ότι υπάρχει σχετική ολίσθηση στο προσομοίωμα που περιέχει τους συνδέσμους.

Προσομοίωμα χωρίς τους συνδέσμους, $d_{\max} = 0.015 \text{ cm}$

Προσομοίωμα με τους συνδέσμους, $d_{\max} = 0.026 \text{ cm}$

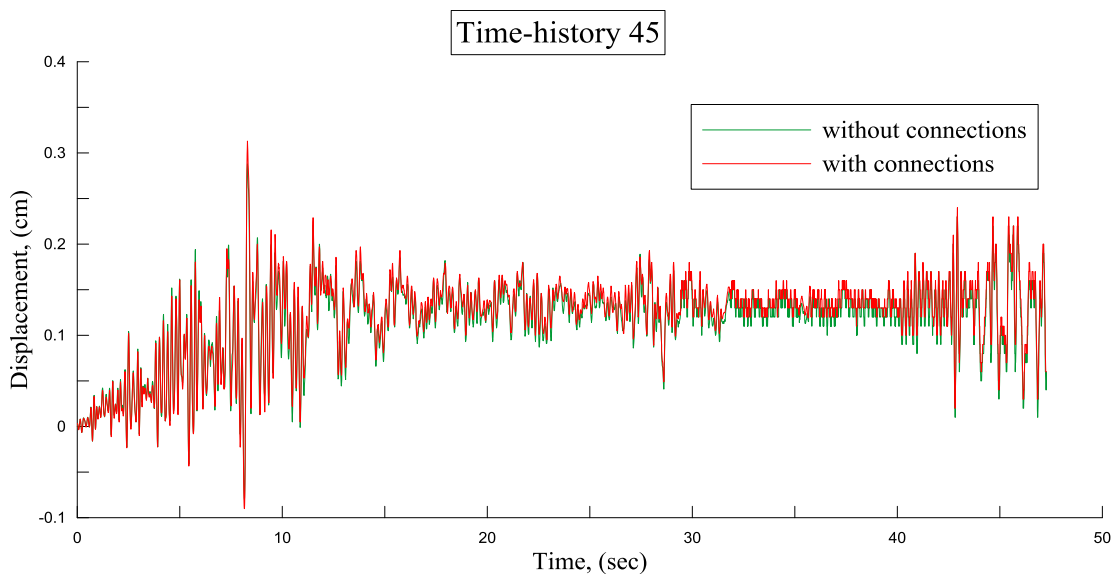
Πίνακας 5.8 Χρονοϊστορίες σχετικών ως προς το έδαφος οριζοντίων μετακινήσεων κατά z

α/α	μέλος	περιγραφή	συντεταγμένες
χρονοϊστ. 30	κιονόκρανο	*hist 30 zdis	hist zdis -6.39 11.18 -10.10
χρονοϊστ. 45	επιστύλιο	*hist 45 zdis	hist zdis 2.15 12.23 -8.60
χρονοϊστ. 47	ζωφόρος	*hist 47 zdis	hist zdis -6.69 13.35 -4.60



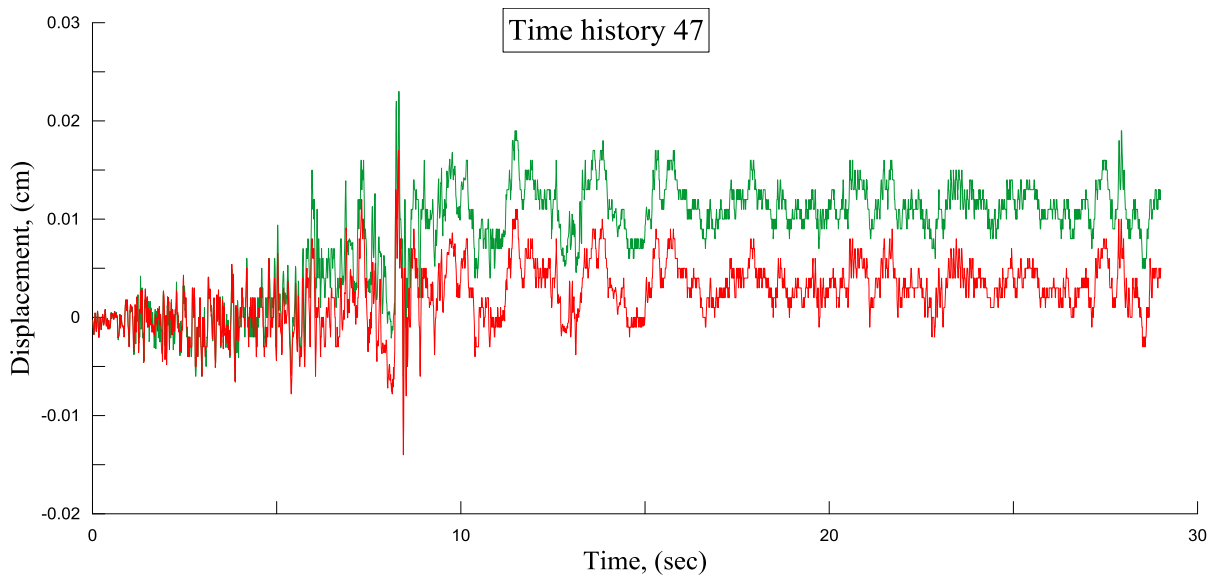
Σχήμα 5.16 Χρονοϊστορία σχετικής ως προς το έδαφος μετακίνησης σημείου στην κορυφή του κιονοκράνου κατά z

Μέγιστη μετατόπιση στο σύνθετο προσομοίωμα = 1.6 cm



Σχήμα 5.17 Χρονοϊστορία σχετικής ως προς το έδαφος μετακίνησης σημείου στο επίπεδο του επιστυλίου κατά z

Όπως φαίνεται από την χρονοϊστορία μετακίνησης του σημείου ...που βρίσκεται στο επίπεδο της ζωφόρου, έχουμε απότομη μετακίνηση της αναδομής, άρα υπάρχει ολίσθηση του δομήματος.

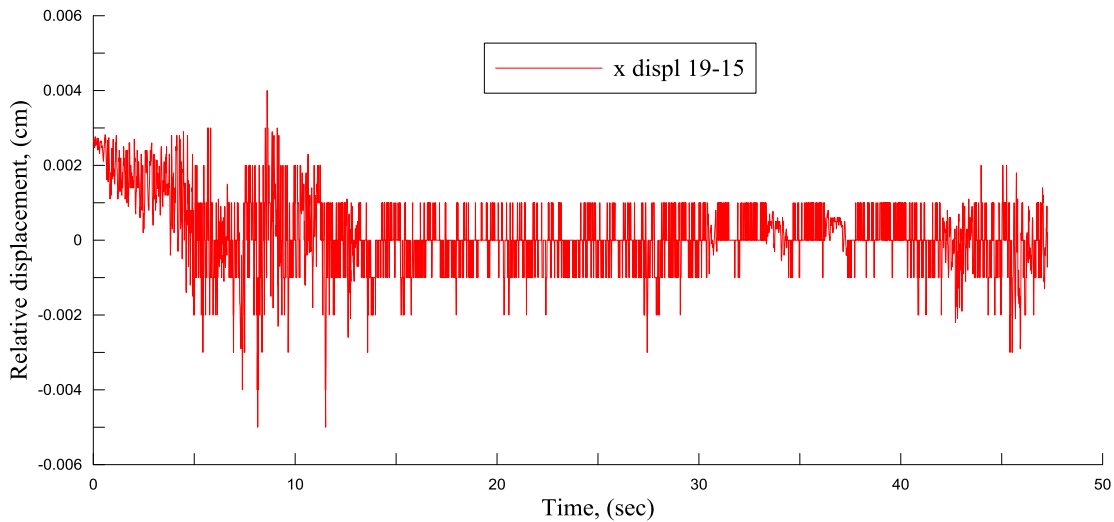


Σχήμα 5.18 Χρονοϊστορία σχετικής ως προς το έδαφος μετακίνησης σημείο στην εσωτερική πλευρά του ναού κατά z

5.3.2 Ανάλυση σχετικών οριζοντίων μετατοπίσεων μεταξύ των δομικών μελών κατά x και z

Πίνακας 5.9 Χρονοϊστορίες σχετικών οριζοντίων μετατοπίσεων μεταξύ των μελών κατά x για τον σεισμό της Bisaccia

α/α	μέλος	περιγραφή	συντεταγμένες
χρονοϊστ. 15	ζωφόρος	*hist 15 xdis	hist xdis 2.15 12.23 -10.10
χρονοϊστ. 19	θράνοι	*hist 19 xdis	hist xdis 2.40 13.70 -10.10

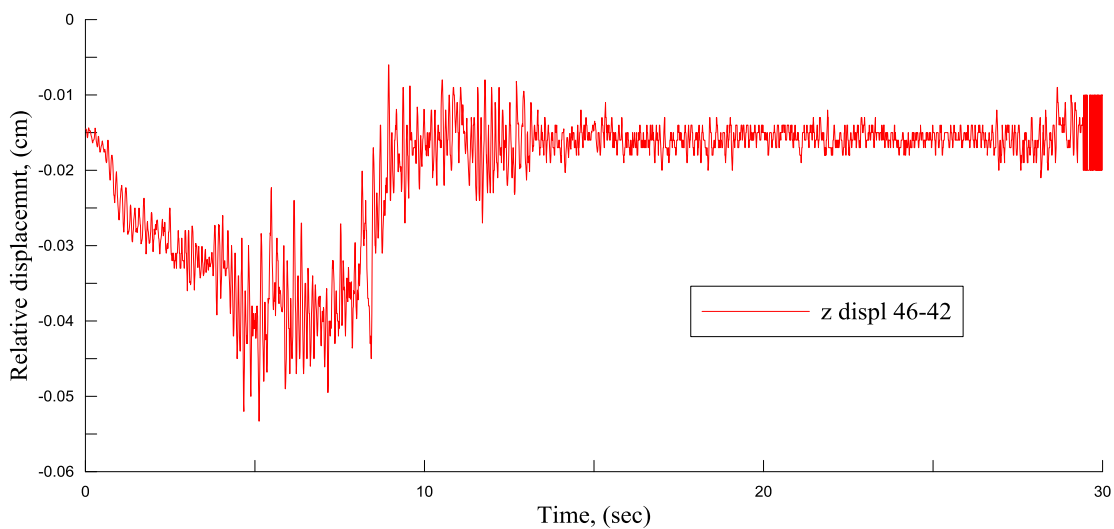


Σχήμα 5.19 Χρονοϊστορία σχετικής μετακίνησης ενός μέλους στο επίπεδο των θράνων σε σχέση με το υποκείμενο του στο επίπεδο των επιστυλίων κατά x

Κατά την διαμήκη διεύθυνση υπάρχουν πολύ μικρές μετακινήσεις του σημείου στο επίπεδο των θράνων σε σχέση με τη στρώση της ζωφόρου.

Πίνακας 5.10 Χρονοϊστορίες σχετικών οριζοντίων μετατοπίσεων μεταξύ των μελών κατά z για τον σεισμό της Bisaccia

α/α	μέλος	περιγραφή	συντεταγμένες
χρονοϊστ. 42	ζωφόρος	*hist 42 zdis	hist zdis 2.15 12.23 -10.10
χρονοϊστ. 46	θράνοι	*hist 46 zdis	hist zdis 2.40 13.70 -10.10



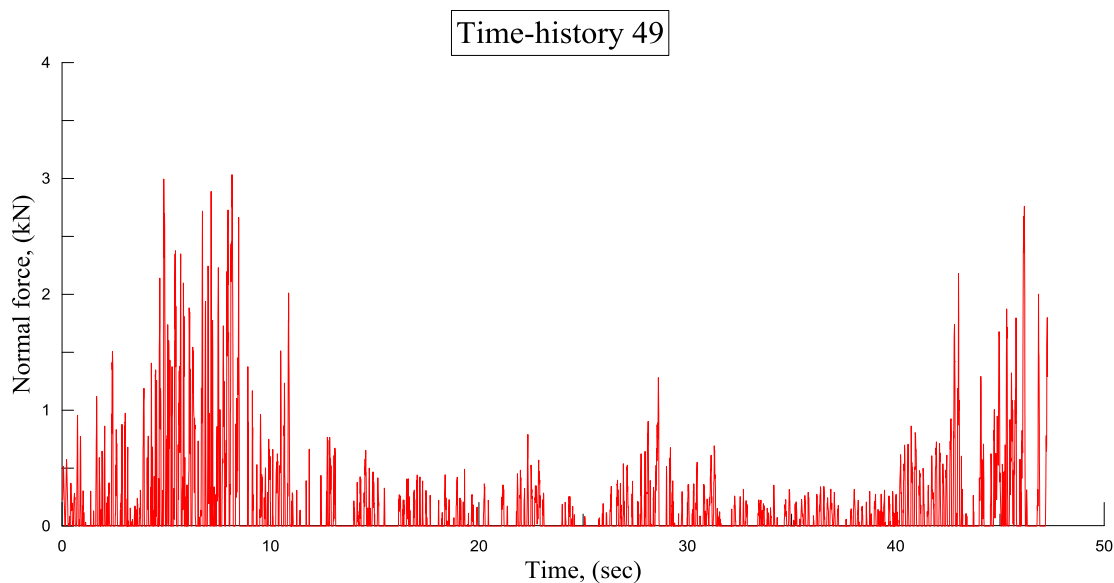
Σχήμα 5.20 Χρονοϊστορία σχετικής μετακίνησης ενός μέλους στο επίπεδο των θράνων σε σχέση με το υποκείμενο του στο επίπεδο των επιστυλίων κατά z

Κατά την εγκάρσια διεύθυνση που είναι και η κρίσιμη για τις μετακινήσεις παρατηρούμε ότι υπάρχει μια απότομη μετατόπιση, σχετική ολίσθηση μεταξύ των μελών.

5.3.2 Ανάλυση εφελκυστικών δυνάμεων των συνδέσμων διπλού ταυ

Πίνακας 5.11 Χρονοϊστορίες εφελκυστικών δυνάμεων συνδετηρίων διπλού ταυ για τον σεισμό της Bisaccia

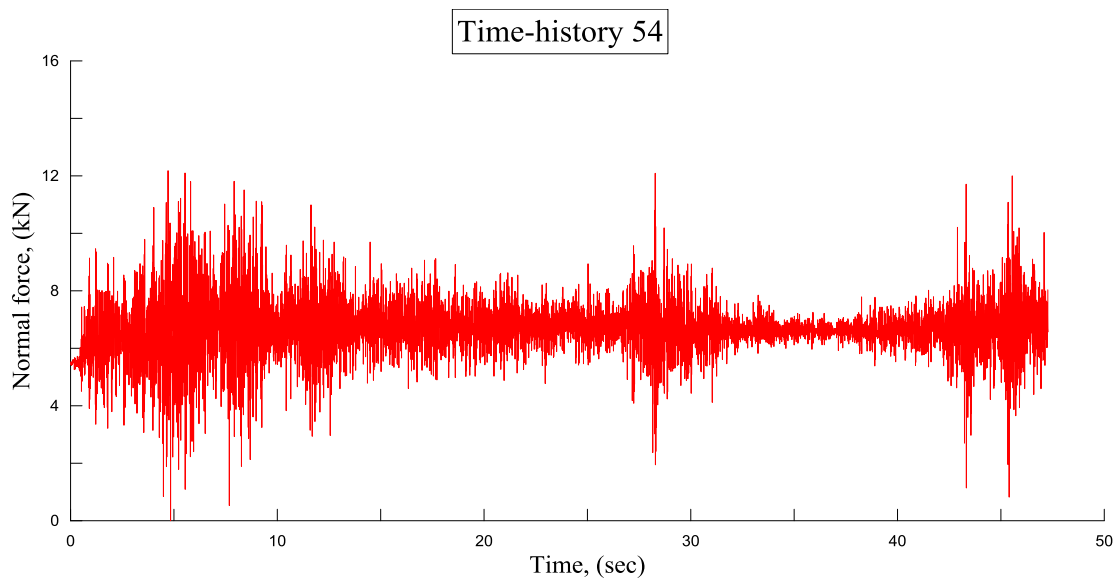
α/α	μέλος	περιγραφή	συντεταγμένες
χρονοϊστ. 49	θράνοι	*hist 49 nf	hist nf -0.505 13.70 -8.94
χρονοϊστ. 54	θράνοι	*hist 54 nf	hist nf 10.247 13.70 -7.775



Σχήμα 5.21 Χρονοϊστορία εφελκυστικών δυνάμεων συνδέσμου διπλού ταυ στο επίπεδο των θράνων

Ο σύνδεσμος στο επίπεδο των θράνων είναι ενεργοποιημένος καθ'ολη τη διάρκεια σεισμικής δόνησης.

Μέγιστη εφελκυστική δύναμη : 3 kN



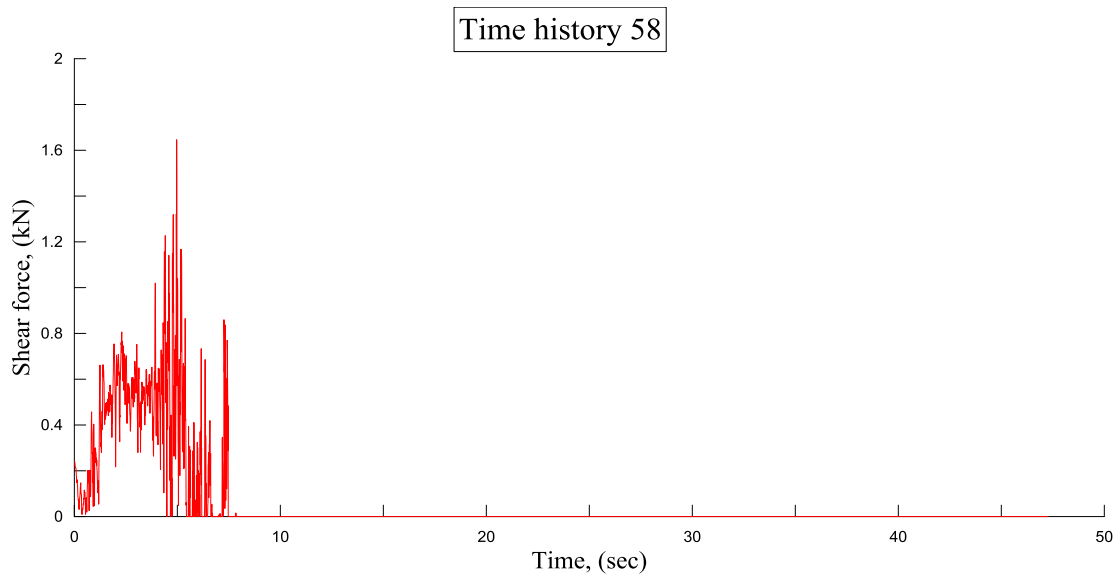
Σχήμα 5.22 Χρονοϊστορία εφελκυστικών δυνάμεων συνδέσμου διπλού ταυ στο επίπεδο των θράνων

Μέγιστη εφελκυστική δύναμη : 12 kN

5.3.3 Ανάλυση διατμητικών δυνάμεων στους συνδέσμους διπλού ταυ και στους γόμφους

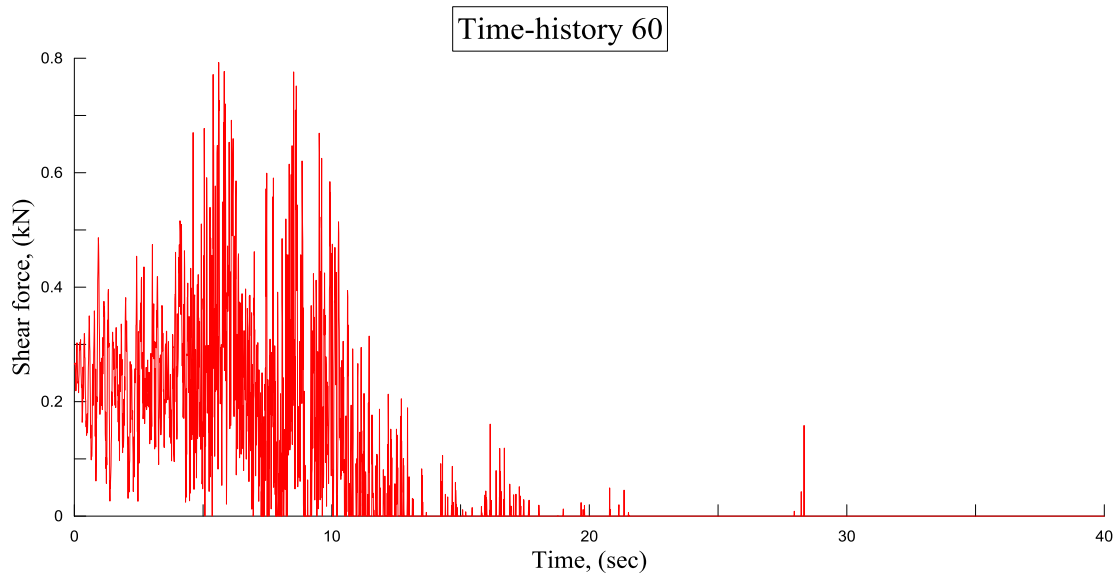
Πίνακας 5.12 Χρονοϊστορίες διατμητικών δυνάμεων στον σεισμό της Bisaccia

α/α	μέλος	περιγραφή	συντεταγμένες
χρονοϊστ. 58	αντιθήματα	*hist 58 sf	hist sf 6.61 13.35 -9.695
χρονοϊστ. 60	ζωφόρος	*hist 60 sf	hist sf 3.82 13.35 -9.69
χρονοϊστ. 62	ζωφόρος	*hist 62 sf	hist sf 4.52 13.35 -8.82



Σχήμα 5.23 Χρονοϊστορία διατμητικών δυνάμεων συνδέσμου διπλού ταυ στο επίπεδο των αντιθημάτων

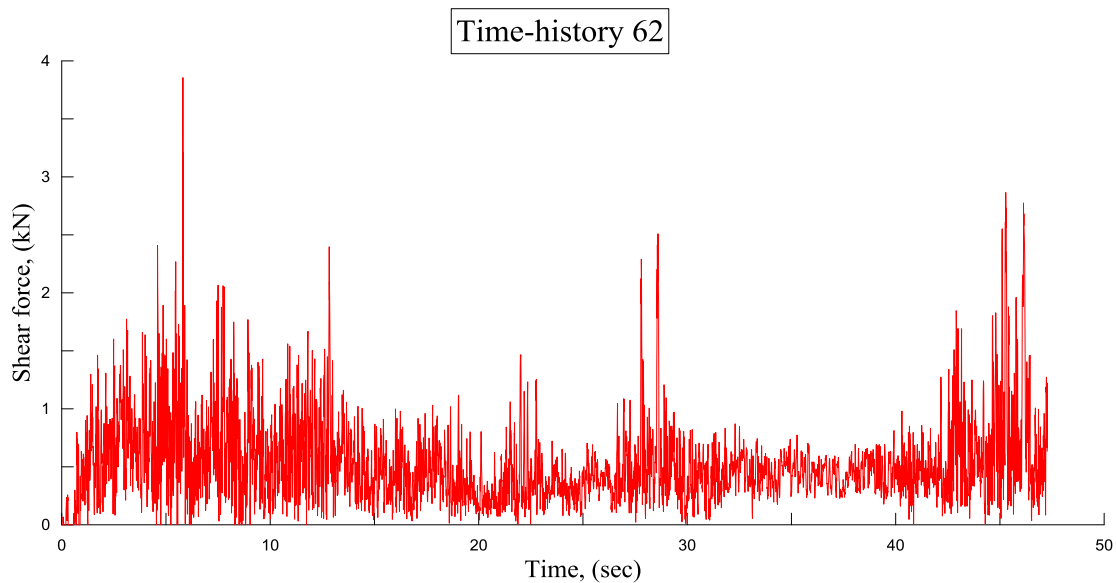
Μέγιστη διατμητική δύναμη = 1.65 kN



Σχήμα 5.24 Χρονοϊστορία διατμητικών δυνάμεων συνδέσμου διπλού ταυ στο επίπεδο της ζωφόρου

Από την χρονοϊστορία διατμητικής δύναμης του συνδέσμου στο επίπεδο της ζωφόρου, παρατηρούμε ότι αυτός ενεργοποιείται κυρίως για τα πρώτα 15 δευτερόλεπτα της σεισμικής δόνησης.

Μέγιστη διατμητική δύναμη : 0.8 kN



Σχήμα 5.25 Χρονοϊστορία διατμητικών δυνάμεων γόμφου στο επίπεδο της ζωφόρου

Στον γόμφο ο οποίος βρίσκεται στο επίπεδο της ζωφόρου έχουμε σημαντική διακύμανση των τιμών της διατμητικής δύναμης, παρουσιάζοντας μέγιστη τιμή για χρόνο $t = 6 \text{ sec}$.

Μέγιστη διατμητική δύναμη : 3.8 kN

6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Μετά το πέρας των αναλύσεων και στα δύο προσομοιώματα, με και χωρίς τους σύγχρονους συνδέσμους από τιτάνιο, συγκρίνοντας την συμπεριφορά του δομήματος, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι ο οπισθόναος του Παρθενώνα εξακολουθεί να αντιστέκεται σημαντικά ακόμη και σε μεγάλες σεισμικές διεγέρσεις, όπως αυτές που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση.

Μετατοπίσεις κατά την διαμήκη διεύθυνση : Όπως προκύπτει από τις χρονοϊστορίες μετακινήσεων ως προς το έδαφος, οι μέγιστες μετατοπίσεις δεν ξεπερνούν τα 6cm για τον σεισμό της Αθήνας, η καταγραφή του οποίου πολλαπλασιάστηκε με συντελεστή προσαύξησης 3.5, ενώ για τον σεισμό της Bisaccia, η καταγραφή του οποίου εφαρμόστηκε με μειωτικό συντελεστή 0.9 sec παρουσιάζονται πολύ μικρότερες μετακινήσεις .

Μετατοπίσεις κατά την εγκάρσια διεύθυνση : κατά την εγκάρσια διεύθυνση που είναι και η κρίσιμη για τον φορέα παρατηρούνται μεγαλύτερες μετατοπίσεις για τον σεισμό της Αθήνας που δεν ξεπερνούν όμως τα 7 cm, ενώ για τον σεισμό της Bisaccia οι μετατοπίσεις δεν ξεπερνούν τα 0.20 cm.

Εφελκυστικές δυνάμεις : Στον σεισμό της Αθήνας, οι σύνδεσμοι διπλού ταυ ενεργοποιούνται κυρίως κατά τη διάρκεια της ισχυρής δόνησης μέχρι $t = 15$ sec αναλαμβάνοντας εφελκυστικές δυνάμεις που φτάνουν τα 80.0 kN και μετά παρουσιάζουν μηδενικές τιμές, ενώ στον σεισμό της Bisaccia οι σύνδεσμοι είναι ενεργοποιημένοι καθόλη τη διάρκεια της δόνησης με μέγιστες τιμές εφελκυστικών δυνάμεων 12-14 kN. Και στις δύο περιπτώσεις σεισμικής φόρτισης δεν υπάρχει κίνδυνος αστοχίας των συνδέσμων.

Διατμητικές δυνάμεις : Οι σύνδεσμοι διπλού ταυ αναλαμβάνουν μικρές διατμητικές δυνάμεις με μέγιστες τιμές 9 kN στον σεισμό της Αθήνας και ≈ 1 kN στον σεισμό της Bisaccia. Όσον αφορά τους γόμφους οι μέγιστες τιμές για τον σεισμό της Αθήνας κυμαίνονται στα 2 kN, ενώ στον σεισμό της Bisaccia 4 kN.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Ορλάνδος Αναστάσιος , *Η αρχιτεκτονική του Παρθενώνος* , 1950-1952

Ζάμπας Κ, *Μέλετη Αποκαταστάσεως του Παρθενώνα* , Τόμος 3β, Αθήνα

Κορρές Μανόλης, *Μελέτη Αποκαταστάσεως του Παρθενώνα*, Τόμος 4, Αθήνα

Δρούγκας Α., *Σεισμική συμπεριφορά των τοίχων του Παρθενώνα*, Διπλ. Εργασία, επιβλέπων: Αναπλ. Καθ.Ι.Ψυχάρης , Σχολή Πολιτικών Μηχ. ΕΜΠ, Αθήνα 2008

Φιλιπουπολίτης Μάριος, *Επιστόλια Οπισθονάου Παρθενώνα: Ανάλυση των αναπτυσσομένων τάσεων και ο ρόλος των συνδετηρίων στοιχείων*, Διπλ. Εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών, επιβλέπουσες : Θ. Καραντώνη, Ελένη Τουμπακάρη, Μάρτιος 2009

Itasca Consulting Group Inc [1999] 3 Dimensional Distinct Element Code user's guide

Ambraseys Nicholas and Psycharis Ioannis : Earthquake Stability of Columns and Statues, *Journal of Earthquake Engineering*, 15: 685-710, 2011

Psycharis Ioannis , Anastasios E. Drougas, and Maria Eleni Dasiou , Seismic Behaviour of the Walls of the Parthenon. A Numerical Study, *Computational Methods in Earthquake Engineering, Computational Methods in Applied Sciences*, 21, (2011)

Ambraseys Nicholas and Ioannis Psycharis , Assessment of the long –term seismicity of Athens from two classical columns, *Bulletin of Earthquake Engineering* (2012) 10:1635-1666.

Psycharis Ioannis : A Probe into the Seismic History of Athens, Greece from the current State of a Classical Monument, *Earthquake Spectra*, Volume 23, No. 2, pages 319-15, May 2007

Papantonopoulos C., I. N. Psycharis, D. Y. Papastamatiou, J. V. Lemos and H. P. Mouzakis, Numerical prediction of the earthquake response of classical columns using the distinct element method, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* 2002; 31: 1699-1717.

Psycharis I., J. V. Lemos, D. Y. Papastamatiou, C. Zambas and C. Papantonopoulos Numerical study of the seismic behaviour of a part of the Parthenon Pronaos, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* 2003;32: 2063-2084.

Psycharis I. , D. Y. Papastamatiou and A. P. Alexandris : Parametric investigation of the stability of classical columns under harmonic and earthquake excitations, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* 2000; 29: 1093-1109.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ Α : ΤΟ ΔΟΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΟΥ ΟΠΙΣΘΟΝΑΟΥ ΤΟΥ ΠΑΡΘΕΝΩΝΑ

```
Set log
New
head
Parthenon-Opisthonaos
Config dyn
Set nupdt 1
Set nucp 1
Set nucx 1
Set _ucp_face off
Set _cx_radial on
```

```
*columns
*first column
poly drum -9.735 1.100 -9.735 -9.735 10.48 &
-9.735 0.855 0.655 20 90
poly drum -9.735 10.48 -9.735 -9.735 10.887 &
-9.735 0.665 0.875 20 90
poly brick -10.575,-8.825 10.887,11.180 -10.504,-8.754
```

```
*discontinuities of first column
Jset dip 0. Dd 0. Org 0., 2.075 0.
Jset dip 0. Dd 0. Org 0., 2.900 0.
Jset dip 0. Dd 0. Org 0., 3.700 0.
Jset dip 0. Dd 0. Org 0., 4.600 0.
Jset dip 0. Dd 0. Org 0., 5.450 0.
Jset dip 0. Dd 0. Org 0., 6.300 0.
Jset dip 0. Dd 0. Org 0., 7.150 0.
Jset dip 0. Dd 0. Org 0., 8.00 0.
Jset dip 0. Dd 0. Org 0., 8.780 0.
Jset dip 0. Dd 0. Org 0., 9.630 0.
```

```
*second column
poly drum -5.9035 1.100 -9.735 -5.9035 10.48 &
-9.735 0.855 0.655 20 90
poly drum -5.9035 10.48 -9.735 -5.9035 10.887 &
-9.735 0.665 0.875 20 90
poly brick -6.780,-5.029 10.887,11.180 -10.5035,-8.7535
```

*discontinuities of second column
hide -10,-8 1.100,13 -15,15

Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	1.900	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	2.720	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	3.595	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	4.420	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	5.180	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	5.905	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	6.555	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	7.330	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	8.130	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	9.005	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	9.380	0.

seek

*third column
poly drum -1.7535 1.100 -9.735 -1.7535 10.48 &
-9.735 0.855 0.655 20 90
poly drum -1.754 10.48 -9.735 -1.754 10.887 &
-9.735 0.665 0.875 20 90
poly brick -2.625,-0.875 10.887,11.180 -10.5035,-8.7535
hide -10,-2 1.100,13 -15,15

*discontinuities of the third column
Jset dip 0. Dd 0. Org 0., 1.930 0.
Jset dip 0. Dd 0. Org 0., 2.830 0.
Jset dip 0. Dd 0. Org 0., 3.560 0.
Jset dip 0. Dd 0. Org 0., 4.390 0.
Jset dip 0. Dd 0. Org 0., 5.090 0.
Jset dip 0. Dd 0. Org 0., 5.840 0.
Jset dip 0. Dd 0. Org 0., 6.660 0.
Jset dip 0. Dd 0. Org 0., 7.380 0.
Jset dip 0. Dd 0. Org 0., 8.280 0.
Jset dip 0. Dd 0. Org 0., 8.980 0.
Jset dip 0. Dd 0. Org 0., 9.680 0.

seek

*4th column
poly drum 1.7535 1.100 -9.735 1.7535 10.48 &
-9.735 0.855 0.655 20 90
poly drum 1.7535 10.48 -9.735 1.7535 10.887 &
-9.735 0.665 0.875 20 90
poly brick 0.875,2.625 10.887,11.180 -10.5035,-8.7535
hide -10,1 1.100,13 -15,15

*discontinuities of the fourth column

Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	2.025	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	2.650	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	3.430	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	4.280	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	5.080	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	5.905	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	6.705	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	7.505	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	8.280	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	9.105	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	9.780	0.

seek

hide -10,5 1.100,13 -15,15

*5th column

poly drum	5.904	1.100	-9.735	5.904	10.48	&
	-9.735	0.855	0.655	20	90	
poly drum	5.904	10.48	-9.735	5.904	10.887	&
	-9.735	0.665	0.875	20	90	
poly brick	5.029,6.780	10.887,11.180	-10.5035,-8.7535			

*discontinuities of fifth column

Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	2.000	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	2.750	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	3.480	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	4.230	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	4.905	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	5.775	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	6.625	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	7.475	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	8.150	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	9.050	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	9.825	0.

seek

*6th column

poly drum	9.735	1.100	-9.735	9.735	10.48	&
	-9.735	0.855	0.655	20	90	
poly drum	9.735	10.48	-9.735	9.735	10.887	&
	-9.735	0.665	0.875	20	90	
poly brick	8.825,10.575	10.887,11.180	-10.5035,-8.7535			

hide -10,9 1.100,13 -15,15

*discontinuities of sixth column

Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	1.900	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	2.800	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	3.700	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	4.450	0.

```

Jset dip 0.   Dd  0.   Org 0.,   5.250  0.
Jset dip 0.   Dd  0.   Org 0.,   6.275  0.
Jset dip 0.   Dd  0.   Org 0.,   7.125  0.
Jset dip 0.   Dd  0.   Org 0.,   7.925  0.
Jset dip 0.   Dd  0.   Org 0.,   8.800  0.
Jset dip 0.   Dd  0.   Org 0.,   9.650  0.

```

```
poly brick -10.380,10.380 11.18,13.70 -10.10,-8.60
```

```

Jset dip 0.   Dd  90.   Org 0,12.23,0
Jset dip 0.   Dd  90.   Org 0,13.35,0

```

```

hide -15.45,15.45 0.000,11.18 -15.45,15.45
hide -10.70,11.00 12.23,13.35,-9.80,-2.4
hide -10.70,10.70 13.35,13.70 -9.80,-2.4

```

```

Jset dip 90.   Dd  90.   Org -6.34,0,0
Jset dip 90.   Dd  90.   Org -2.14,0,0
Jset dip 90.   Dd  90.   Org 2.05,0,0
Jset dip 90.   Dd  90.   Org 6.25,0,0

```

```

Jset dip 90.   Dd  180.   Org 0,0,-9.60
Jset dip 90.   Dd  180.   Org 0,0,-9.10

```

```

hide -6.34,10.38 11.18,12.23 -10.10,-8.60
hide -10.38,-6.34 11.18,12.23 -10.10,-9.60

```

```

tunnel region 2 &
a -9.88,11.18,-9.10 -9.38,11.18,-9.10 -9.88,11.18,-9.60 &
b -9.88,12.23,-9.10 -9.38,12.23,-9.10 -9.88,12.23,-9.60
remove r 2

```

```

tunnel region 3 &
a -10.38,11.18,-9.10 -9.88,11.18,-9.10 -9.88,11.18,-9.60 &
  -10.38,11.18,-9.60 &
b -10.38,12.23,-9.10 -9.88,12.23,-9.10 -9.88,12.23,-9.60 &
  -10.38,12.23,-9.60
de r 3

```

```
hide -10.38,-6.34 11.18,12.23 -9.60,-9.10
```

```

tunnel region 1 &
a -9.38,11.18,-8.60 -8.88,11.18,-8.60 -9.38,11.18,-9.10 &
b -9.38,12.23,-8.60 -8.88,12.23,-8.60 -9.38,12.23,-9.10
remove r 1

```

```

tunnel region 4 &
a -10.38,11.18,-8.60 -9.38,11.18,-8.60 -9.38,11.18,-9.10 &
  -10.38,11.18,-9.10 &
b -10.38,12.23,-8.60 -9.38,12.23,-8.60 -9.38,12.23,-9.10 &
  -10.38,12.23,-9.10
de r 4

```

```

hide -10.38,-6.34    11.18,12.23  -9.10,-8.60

poly brick  -10.38,-9.88    11.18,12.23  -9.60,-4.90
hide -10.38,-9.88    11.18,12.23  -9.60,-4.90

poly brick  -9.88,-9.38    11.18,12.23  -9.60,-4.90

tunnel region 5 &
a -9.38,11.18,-9.10  -9.38,11.18,-9.60 -9.88,11.18,-9.60 &
b -9.38,12.23,-9.10  -9.38,12.23,-9.60 -9.88,12.23,-9.60
remove r 5

hide -9.88,-9.38    11.18,12.23  -9.60,-4.90

poly brick  -9.38,-8.88    11.18,12.23  -9.10,-4.90

tunnel region 6 &
a -8.88,11.18,-8.60  -8.88,11.18,-9.10 -9.38,11.18,-9.10 &
b -8.88,12.23,-8.60  -8.88,12.23,-9.10 -9.38,12.23,-9.10
remove r 6

hide -9.38,-8.88    11.18,12.23  -9.10,-4.90

seek 6.25,10.38    11.18,12.23  -10.10,-8.60
hide 6.25,10.38    11.18,12.23  -10.10,-9.60

tunnel region 7 &
a 9.38,11.18,-9.10  9.88,11.18,-9.10    9.88,11.18,-9.60 &
b 9.38,12.23,-9.10  9.88,12.23,-9.10    9.88,12.23,-9.60
de r 7

tunnel region 8 &
a 10.38,11.18,-9.10  9.88,11.18,-9.10  9.88,11.18,-9.60 &
  10.38,11.18,-9.60 &
b 10.38,12.23,-9.10  9.88,12.23,-9.10  9.88,12.23,-9.60 &
  10.38,12.23,-9.60
de r 8

hide 6.25,10.38    11.18,12.23  -9.60,-9.10

tunnel region 9 &
a 8.88,11.18,-8.60  9.38,11.18,-8.60    9.38,11.18,-9.10 &
b 8.88,12.23,-8.60  9.38,12.23,-8.60    9.38,12.23,-9.10
de r 9

tunnel region 10 &
a 9.38,11.18,-8.60  9.88,11.18,-8.60    9.88,11.18,-9.10 &
  9.38,11.18,-9.10 &
b 9.38,12.23,-8.60  9.88,12.23,-8.60    9.88,12.23,-9.10 &
  9.38,12.23,-9.10
de r 10

```



```
tunnel region 11 &
a 9.88,11.18,-8.60 10.38,11.18,-8.60 10.38,11.18,-9.10 &
  9.88,11.18,-9.10 &
b 9.88,12.23,-8.60 10.38,12.23,-8.60 10.38,12.23,-9.10 &
  9.88,12.23,-9.10
de r 11
```

```
hide 6.25,10.38 11.18,12.23 -10.10,-8.60
```

```
poly brick 9.88,10.38 11.18,12.23 -9.60,-4.90
hide 9.88,10.38 11.18,12.23 -9.60,-4.90
```

```
poly brick 9.38,9.88 11.18,12.23 -9.60,-4.90
tunnel region 12 &
a 9.38,11.18,-9.10 9.38,11.18,-9.60 9.88,11.18,-9.60 &
b 9.38,12.23,-9.10 9.38,12.23,-9.60 9.88,12.23,-9.60
remove r 12
hide 9.38,9.88 11.18,12.23 -9.60,-4.90
```

```
poly brick 8.88,9.38 11.18,12.23 -9.10,-4.90
```

```
tunnel region 13 &
a 8.88,11.18,-8.60 8.88,11.18,-9.10 9.38,11.18,-9.10 &
b 8.88,12.23,-8.60 8.88,12.23,-9.10 9.38,12.23,-9.10
remove r 13
```

```
hide 8.88,9.38 11.18,12.23 -9.10,-4.90
```

```
*=====
=====
```

```
seek -10.38,10.38 11.18,12.23 -10.10,-4.90
```

```
*Intermediate nodes-Epistylis
```

```
Jset dip 90. Dd 90. Org -6.44,0,0
Jset dip 90. Dd 90. Org -6.24,0,0
```

```
Jset dip 90. Dd 90. Org -2.04,0,0
Jset dip 90. Dd 90. Org -2.24,0,0
```

```
Jset dip 90. Dd 90. Org 1.95,0,0
Jset dip 90. Dd 90. Org 2.15,0,0
```

```
Jset dip 90. Dd 90. Org 6.15,0,0
Jset dip 90. Dd 90. Org 6.35,0,0
```

```
join -10.38,-6.39 11.18,12.23 -10.10,-5.0
join -6.24,-2.04 11.18,12.23 -10.10,-5.0
join -2.24,1.95 11.18,12.23 -10.10,-5.0
join 2.15,6.35 11.18,12.23 -10.10,-5.0
join 6.35,10.38 11.18,12.23 -10.10,-5.0
```

seek

hide -15.45,15.45 0.000,12.23 -15.45,15.45
hide -10.70,10.70 13.35,13.70 -9.80,-2.4

Jset dip 90. Dd 180. Org 0,0,-9.35

hide -10.38,10.38 12.23,13.35 -9.35,-8.60

Jset dip 90. Dd 90. Org -9.88,0,0
Jset dip 90. Dd 90. Org -8.13,0,0
Jset dip 90. Dd 90. Org -6.75,0,0
Jset dip 90. Dd 90. Org -5.37,0,0
Jset dip 90. Dd 90. Org -3.99,0,0
Jset dip 90. Dd 90. Org -2.61,0,0
Jset dip 90. Dd 90. Org -1.23,0,0
Jset dip 90. Dd 90. Org 0.15,0,0
Jset dip 90. Dd 90. Org 1.53,0,0
Jset dip 90. Dd 90. Org 2.91,0,0
Jset dip 90. Dd 90. Org 4.29,0,0
Jset dip 90. Dd 90. Org 5.67,0,0
Jset dip 90. Dd 90. Org 7.05,0,0
Jset dip 90. Dd 90. Org 8.43,0,0
Jset dip 90. Dd 90. Org 10.10,0,0

find -10.38,10.38 12.23,13.35 -9.35,-8.60
hide -10.38,10.38 12.23,13.35 -10.10,-9.35

Jset dip 90. Dd 90. Org -10.15,0,0
Jset dip 90. Dd 90. Org -9.73,0,0
Jset dip 90. Dd 90. Org -9.06,0,0
Jset dip 90. Dd 90. Org -7.22,0,0
Jset dip 90. Dd 90. Org -5.85,0,0
Jset dip 90. Dd 90. Org -4.4,0,0
Jset dip 90. Dd 90. Org -0.19,0,0
Jset dip 90. Dd 90. Org 4.3,0,0
Jset dip 90. Dd 90. Org 6.0,0,0
Jset dip 90. Dd 90. Org 6.48,0,0
Jset dip 90. Dd 90. Org 9.10,0,0
Jset dip 90. Dd 90. Org 9.70,0,0
Jset dip 90. Dd 90. Org 9.85,0,0
Jset dip 90. Dd 90. Org 10.10,0,0

*ZOFOROS

poly brick -9.73,-8.88 12.23,13.35 -8.60,-6.00
poly brick 8.88,10.380 12.23,13.35 -8.60,-3.82

hide 9.58,10.380 11.18,13.70 -8.62,-4.60

Jset dip 90. Dd 90. Org -9.33,0,0
hide -9.33,-8.88 12.23,13.35 -8.60,-6.

Jset dip 90. Dd 180. Org 0,0,-7.23

seek

poly brick -9.52,-8.88 12.23,13.35 -6.,-4.73
poly brick -9.17,-6.49 12.23,13.35 -4.70,-4.20

hide -15.45,15.45 0.000,11.18 -15.45,15.45
hide -10.70,11.00 11.18,12.23 -10.20,-8.52
hide -10.380,-4.0 11.18,12.23 -8.62,-4.60
hide 8.88,10.380 11.18,12.23 -8.62,-4.60

hide -9.52,-6.49 12.23,13.35 -6.,-4.2

Jset dip 90. Dd 180. Org -0,0,-6.69
Jset dip 90. Dd 180. Org -0,0,-5.28
Jset dip 90. Dd 180. Org -0,0,-4.03
Jset dip 90. Dd 180. Org -0,0,-2.79

seek

hide -15.45,15.45 0.000,11.18 -15.45,15.45
hide -10.70,11.00 11.18,12.23 -10.10,-2.4
hide -10.70,11.00 12.23,13.35 -10.10,-2.4

*BD THS
Jset dip 90. Dd 90. Org -9.16,0,0
*DTHS.1
Jset dip 90. Dd 90. Org -8.48,0,0
*DTHS.2
Jset dip 90. Dd 90. Org -7.80,0,0
*DTHS.3
Jset dip 90. Dd 90. Org -7.12,0,0
*DTHS.4
Jset dip 90. Dd 90. Org -6.44,0,0
*DTHS.5
Jset dip 90. Dd 90. Org -5.76,0,0
*DTHS.6
Jset dip 90. Dd 90. Org -5.08,0,0
*DTHS.7
Jset dip 90. Dd 90. Org -4.40,0,0
*DTHS.8
Jset dip 90. Dd 90. Org -3.72,0,0
*DTHS.9
Jset dip 90. Dd 90. Org -3.04,0,0
*DTHS.10
Jset dip 90. Dd 90. Org -2.36,0,0
*DTHS.11
Jset dip 90. Dd 90. Org -1.68,0,0
*DTHS.12
Jset dip 90. Dd 90. Org -1.00,0,0
*DTHS.13
Jset dip 90. Dd 90. Org -0.32,0,0
*DTHS.14

Jset dip 90. Dd 90. Org 0.36,0,0
 *DTHS.15
 Jset dip 90. Dd 90. Org 1.04,0,0
 *DTHS.16
 Jset dip 90. Dd 90. Org 1.72,0,0
 *DTHS.17
 Jset dip 90. Dd 90. Org 2.40,0,0
 *DTHS.18
 Jset dip 90. Dd 90. Org 3.08,0,0
 *DTHS.19
 Jset dip 90. Dd 90. Org 3.76,0,0
 *DTHS.20
 Jset dip 90. Dd 90. Org 4.44,0,0
 *DTHS.21
 Jset dip 90. Dd 90. Org 5.12,0,0
 *DTHS.22
 Jset dip 90. Dd 90. Org 5.80,0,0
 *DTHS.23
 Jset dip 90. Dd 90. Org 6.48,0,0
 *DTHS.24
 Jset dip 90. Dd 90. Org 7.16,0,0
 *DTHS.25
 Jset dip 90. Dd 90. Org 7.84,0,0
 *DTHS.26
 Jset dip 90. Dd 90. Org 8.52,0,0
 *DTHS.27
 Jset dip 90. Dd 90. Org 9.20,0,0

seek

*THRANOI

*OTHS (.1,.2)

poly brick -9.73,-8.88 13.35,13.70 -8.60,-4.60

*OTHS.3

poly brick -8.88,-7.60 13.35,13.70 -4.82,-4.220

*NTHS (.45,.46,.47)

poly brick 9.58,10.380 13.35,13.70 -8.62,-5.42

*OTHS (.18,.19)

poly brick 8.78,9.580 13.35,13.70 -8.62,-4.67

hide -15.45,15.45 0.000,11.18 -15.45,15.45

hide -10.70,11.00 11.18,13.70 -10.20,-8.52

hide -10.380,-4.0 11.18,13.70 -8.62,-4.60

hide 8.88,10.380 11.18,13.35 -8.62,-4.60

hide 9.58,10.380 13.35,13.70 -8.62,-5.42

Jset dip 90. Dd 180. Org 0,0,-8.59

Jset dip 90. Dd 180. Org 0,0,-7.38

Jset dip 90. Dd 180. Org 0,0,-6.18

Jset dip 90. Dd 180. Org 0,0,-4.98

seek

*TOIXOS

poly brick	-10.38,-8.858	1.10,11.18	-6.879,22.14
poly brick	8.858,10.38	1.10,11.18	-6.879,22.14
poly brick	8.858,10.38	11.18,12.23	-5.329,22.14
poly brick	-10.38,-8.858	11.18,12.23	-5.329,22.14
poly brick	-8.858,-3.315	1.10,12.23	-5.329,-3.329
poly brick	3.315,8.858	1.10,12.23	-5.329,-3.329
poly brick	-3.315,-2.00	1.10,12.23	-5.329,-3.329
poly brick	2.00,3.315	1.10,12.23	-5.329,-3.329

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ Β : ΤΟ ΔΟΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΟΥ ΟΠΙΣΘΟΝΑΟΥ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΟ ΜΕ ΤΑ ΣΥΝΔΕΤΗΡΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

```
Set log
New
head
Parthenon-Opisthonaos
Config dyn
Set nupdt 1
Set nucp 1
Set nucx 1
Set   _ucp_face off
Set   _cx_radial on
*base
*poly brick   -50.00,50.00   0.000,0.500   -50.00,50.00
*poly brick   -40.00,40.00   0.500,0.800   -40.00,40.00
*poly brick   -30.00,30.00   0.0,1.100   -30.00,30.00 ;base

*columns
*first column
poly drum   -9.735  1.100  -9.735  -9.735  10.48 &
-9.735  0.855  0.655  20  90
poly drum   -9.735  10.48  -9.735  -9.735  10.887 &
-9.735  0.665  0.875  20  90
poly brick  -10.575,-8.825  10.887,11.180  -10.504,-8.7535

*hide   -8,13  1.100,13  -15,15

*discontinuities of first column
Jset dip 0.  Dd 0.  Org 0.,  2.075  0.
Jset dip 0.  Dd 0.  Org 0.,  2.900  0.
Jset dip 0.  Dd 0.  Org 0.,  3.700  0.
Jset dip 0.  Dd 0.  Org 0.,  4.600  0.
Jset dip 0.  Dd 0.  Org 0.,  5.450  0.
Jset dip 0.  Dd 0.  Org 0.,  6.300  0.
Jset dip 0.  Dd 0.  Org 0.,  7.150  0.
Jset dip 0.  Dd 0.  Org 0.,  8.00  0.
Jset dip 0.  Dd 0.  Org 0.,  8.780  0.
Jset dip 0.  Dd 0.  Org 0.,  9.630  0.

*second column
poly drum   -5.9035  1.100  -9.735  -5.9035  10.48 &
-9.735  0.855  0.655  20  90
poly drum   -5.9035  10.48  -9.735  -5.9035  10.887 &
-9.735  0.665  0.875  20  90
poly brick  -6.780,-5.029  10.887,11.180  -10.5035,-8.7535
```

*discontinuities of second column
hide -10,-8 1.100,13 -15,15

Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	1.900	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	2.720	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	3.595	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	4.420	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	5.180	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	5.905	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	6.555	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	7.330	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	8.130	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	9.005	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	9.380	0.

seek

*third column

poly drum -1.7535 1.100 -9.735 -1.7535 10.48 &
-9.735 0.855 0.655 20 90
poly drum -1.754 10.48 -9.735 -1.754 10.887 &
-9.735 0.665 0.875 20 90
poly brick -2.625,-0.875 10.887,11.180 -10.5035,-8.7535

hide -10,-2 1.100,13 -15,15

*discontinuities of the third column

Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	1.930	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	2.830	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	3.560	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	4.390	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	5.090	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	5.840	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	6.660	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	7.380	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	8.280	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	8.980	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	9.680	0.

seek

*4th column

poly drum 1.7535 1.100 -9.735 1.7535 10.48 &
-9.735 0.855 0.655 20 90
poly drum 1.7535 10.48 -9.735 1.7535 10.887 &
-9.735 0.665 0.875 20 90
poly brick 0.875,2.625 10.887,11.180 -10.5035,-8.7535

hide -10,1 1.100,13 -15,15

*discontinuities of the fourth column

Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	2.025	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	2.650	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	3.430	0.

Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	4.280	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	5.080	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	5.905	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	6.705	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	7.505	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	8.280	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	9.105	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	9.780	0.

seek

hide -10,5 1.100,13 -15,15

*5th column

poly drum	5.904	1.100	-9.735	5.904	10.48	&
	-9.735	0.855	0.655	20	90	
poly drum	5.904	10.48	-9.735	5.904	10.887	&
	-9.735	0.665	0.875	20	90	
poly brick	5.029,6.780	10.887,11.180	-10.5035,-8.7535			

*discontinuities of fifth column

Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	2.000	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	2.750	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	3.480	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	4.230	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	4.905	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	5.775	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	6.625	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	7.475	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	8.150	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	9.050	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	9.825	0.

seek

*6th column

poly drum	9.735	1.100	-9.735	9.735	10.48	&
	-9.735	0.855	0.655	20	90	
poly drum	9.735	10.48	-9.735	9.735	10.887	&
	-9.735	0.665	0.875	20	90	
poly brick	8.825,10.575	10.887,11.180	-10.5035,-8.7535			

hide -10,9 1.100,13 -15,15

*discontinuities of sixth column

Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	1.900	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	2.800	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	3.700	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	4.450	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	5.250	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	6.275	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	7.125	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	7.925	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	8.800	0.
Jset dip 0.	Dd 0.	Org 0.,	9.650	0.

```

*ANODOMI( THRIGOS)
poly brick  -10.380,10.380   11.18,13.70  -10.10,-8.60

Jset dip 0.   Dd  90.   Org 0,12.23,0
Jset dip 0.   Dd  90.   Org 0,13.35,0

hide  -15.45,15.45  0.000,11.18   -15.45,15.45
hide  -10.70,11.00  12.23,13.35,-9.80,-2.4
hide  -10.70,10.70   13.35,13.70  -9.80,-2.4

Jset dip 90.   Dd  90.   Org -6.34,0,0
Jset dip 90.   Dd  90.   Org -2.14,0,0
Jset dip 90.   Dd  90.   Org  2.05,0,0
Jset dip 90.   Dd  90.   Org  6.25,0,0

Jset dip 90.   Dd  180.   Org 0,0,-9.60
Jset dip 90.   Dd  180.   Org 0,0,-9.10

hide -6.34,10.38  11.18,12.23  -10.10,-8.60
hide -10.38,-6.34 11.18,12.23  -10.10,-9.60

tunnel region 2 &
a -9.88,11.18,-9.10  -9.38,11.18,-9.10  -9.88,11.18,-9.60 &
b -9.88,12.23,-9.10  -9.38,12.23,-9.10  -9.88,12.23,-9.60
remove r 2

tunnel region 3 &
a -10.38,11.18,-9.10  -9.88,11.18,-9.10  -9.88,11.18,-9.60 &
  -10.38,11.18,-9.60 &
b -10.38,12.23,-9.10  -9.88,12.23,-9.10  -9.88,12.23,-9.60 &
  -10.38,12.23,-9.60
de r 3

hide -10.38,-6.34  11.18,12.23  -9.60,-9.10

tunnel region 1 &
a -9.38,11.18,-8.60  -8.88,11.18,-8.60  -9.38,11.18,-9.10 &
b -9.38,12.23,-8.60  -8.88,12.23,-8.60  -9.38,12.23,-9.10
remove r 1

tunnel region 4 &
a -10.38,11.18,-8.60  -9.38,11.18,-8.60  -9.38,11.18,-9.10 &
  -10.38,11.18,-9.10 &
b -10.38,12.23,-8.60  -9.38,12.23,-8.60  -9.38,12.23,-9.10 &
  -10.38,12.23,-9.10
de r 4

hide -10.38,-6.34  11.18,12.23  -9.10,-8.60

poly brick  -10.38,-9.88   11.18,12.23  -9.60,-4.90
hide -10.38,-9.88   11.18,12.23  -9.60,-4.90

poly brick  -9.88,-9.38   11.18,12.23  -9.60,-4.90

```

```

tunnel region 5 &
a -9.38,11.18,-9.10 -9.38,11.18,-9.60 -9.88,11.18,-9.60 &
b -9.38,12.23,-9.10 -9.38,12.23,-9.60 -9.88,12.23,-9.60
remove r 5

hide -9.88,-9.38 11.18,12.23 -9.60,-4.90

poly brick -9.38,-8.88 11.18,12.23 -9.10,-4.90

tunnel region 6 &
a -8.88,11.18,-8.60 -8.88,11.18,-9.10 -9.38,11.18,-9.10 &
b -8.88,12.23,-8.60 -8.88,12.23,-9.10 -9.38,12.23,-9.10
remove r 6

hide -9.38,-8.88 11.18,12.23 -9.10,-4.90

seek 6.25,10.38 11.18,12.23 -10.10,-8.60
hide 6.25,10.38 11.18,12.23 -10.10,-9.60

tunnel region 7 &
a 9.38,11.18,-9.10 9.88,11.18,-9.10 9.88,11.18,-9.60 &
b 9.38,12.23,-9.10 9.88,12.23,-9.10 9.88,12.23,-9.60
de r 7

tunnel region 8 &
a 10.38,11.18,-9.10 9.88,11.18,-9.10 9.88,11.18,-9.60 &
10.38,11.18,-9.60 &
b 10.38,12.23,-9.10 9.88,12.23,-9.10 9.88,12.23,-9.60 &
10.38,12.23,-9.60
de r 8

hide 6.25,10.38 11.18,12.23 -9.60,-9.10

tunnel region 9 &
a 8.88,11.18,-8.60 9.38,11.18,-8.60 9.38,11.18,-9.10 &
b 8.88,12.23,-8.60 9.38,12.23,-8.60 9.38,12.23,-9.10
de r 9

tunnel region 10 &
a 9.38,11.18,-8.60 9.88,11.18,-8.60 9.88,11.18,-9.10 &
9.38,11.18,-9.10 &
b 9.38,12.23,-8.60 9.88,12.23,-8.60 9.88,12.23,-9.10 &
9.38,12.23,-9.10
de r 10

tunnel region 11 &
a 9.88,11.18,-8.60 10.38,11.18,-8.60 10.38,11.18,-9.10 &
9.88,11.18,-9.10 &
b 9.88,12.23,-8.60 10.38,12.23,-8.60 10.38,12.23,-9.10 &
9.88,12.23,-9.10
de r 11

hide 6.25,10.38 11.18,12.23 -10.10,-8.60

```

```
poly brick 9.88,10.38 11.18,12.23 -9.60,-4.90
hide 9.88,10.38 11.18,12.23 -9.60,-4.90
```

```
poly brick 9.38,9.88 11.18,12.23 -9.60,-4.90
tunnel region 12 &
a 9.38,11.18,-9.10 9.38,11.18,-9.60 9.88,11.18,-9.60 &
b 9.38,12.23,-9.10 9.38,12.23,-9.60 9.88,12.23,-9.60
remove r 12
```

```
hide 9.38,9.88 11.18,12.23 -9.60,-4.90
```

```
poly brick 8.88,9.38 11.18,12.23 -9.10,-4.90
```

```
tunnel region 13 &
a 8.88,11.18,-8.60 8.88,11.18,-9.10 9.38,11.18,-9.10 &
b 8.88,12.23,-8.60 8.88,12.23,-9.10 9.38,12.23,-9.10
remove r 13
```

```
hide 8.88,9.38 11.18,12.23 -9.10,-4.90
```

```
*=====
=====
```

```
seek -10.38,10.38 11.18,12.23 -10.10,-4.90
```

```
*Intermediate nodes-Epistyllo
```

```
Jset dip 90. Dd 90. Org -6.44,0,0
Jset dip 90. Dd 90. Org -6.24,0,0
```

```
Jset dip 90. Dd 90. Org -2.04,0,0
Jset dip 90. Dd 90. Org -2.24,0,0
```

```
Jset dip 90. Dd 90. Org 1.95,0,0
Jset dip 90. Dd 90. Org 2.15,0,0
```

```
Jset dip 90. Dd 90. Org 6.15,0,0
Jset dip 90. Dd 90. Org 6.35,0,0
```

```
join -10.38,-6.39 11.18,12.23 -10.10,-5.0
join -6.24,-2.04 11.18,12.23 -10.10,-5.0
join -2.24,1.95 11.18,12.23 -10.10,-5.0
join 2.15,6.35 11.18,12.23 -10.10,-5.0
join 6.35,10.38 11.18,12.23 -10.10,-5.0
```

```
seek
```

```
hide -15.45,15.45 0.000,12.23 -15.45,15.45
hide -10.70,10.70 13.35,13.70 -9.80,-2.4
```

```
Jset dip 90. Dd 180. Org 0,0,-9.35
```

```
hide -10.38,10.38 12.23,13.35 -9.35,-8.60
```

```

Jset dip 90.    Dd 90.    Org -9.88,0,0
Jset dip 90.    Dd 90.    Org -8.13,0,0
Jset dip 90.    Dd 90.    Org -6.75,0,0
Jset dip 90.    Dd 90.    Org -5.37,0,0
Jset dip 90.    Dd 90.    Org -3.99,0,0
Jset dip 90.    Dd 90.    Org -2.61,0,0
Jset dip 90.    Dd 90.    Org -1.23,0,0
Jset dip 90.    Dd 90.    Org 0.15,0,0
Jset dip 90.    Dd 90.    Org 1.53,0,0
Jset dip 90.    Dd 90.    Org 2.91,0,0
Jset dip 90.    Dd 90.    Org 4.29,0,0
Jset dip 90.    Dd 90.    Org 5.67,0,0
Jset dip 90.    Dd 90.    Org 7.05,0,0
Jset dip 90.    Dd 90.    Org 8.43,0,0
Jset dip 90.    Dd 90.    Org 10.10,0,0

```

```

find   -10.38,10.38    12.23,13.35  -9.35,-8.60
hide   -10.38,10.38    12.23,13.35  -10.10,-9.35

```

```

Jset dip 90.    Dd 90.    Org -10.15,0,0
Jset dip 90.    Dd 90.    Org -9.73,0,0
Jset dip 90.    Dd 90.    Org -9.06,0,0
Jset dip 90.    Dd 90.    Org -7.22,0,0
Jset dip 90.    Dd 90.    Org -5.85,0,0
Jset dip 90.    Dd 90.    Org -4.4,0,0
Jset dip 90.    Dd 90.    Org -0.19,0,0
Jset dip 90.    Dd 90.    Org 4.3,0,0
Jset dip 90.    Dd 90.    Org 6.0,0,0
Jset dip 90.    Dd 90.    Org 6.48,0,0
Jset dip 90.    Dd 90.    Org 9.10,0,0
Jset dip 90.    Dd 90.    Org 9.70,0,0
Jset dip 90.    Dd 90.    Org 9.85,0,0
Jset dip 90.    Dd 90.    Org 10.10,0,0

```

*=====

*ZOFOROS

```

poly brick -9.73,-8.88    12.23,13.35  -8.60,-6.00
poly brick  8.88,10.380    12.23,13.35  -8.60,-3.82

```

```

hide   9.58,10.380    11.18,13.70  -8.62,-4.60

```

```

Jset dip 90.    Dd 90.    Org -9.33,0,0
hide -9.33,-8.88    12.23,13.35  -8.60,-6.

```

```

Jset dip 90.    Dd 180.    Org 0,0,-7.23

```

seek

```

poly brick -9.52,-8.88    12.23,13.35  -6.,-4.73
poly brick -9.17,-6.49    12.23,13.35  -4.70,-4.20

```

```

hide   -15.45,15.45    0.000,11.18  -15.45,15.45
hide   -10.70,11.00    11.18,12.23  -10.20,-8.52
hide   -10.380,-4.0    11.18,12.23  -8.62,-4.60

```

hide 8.88,10.380 11.18,12.23 -8.62,-4.60

hide -9.52,-6.49 12.23,13.35 -6.,-4.2

Jset dip 90. Dd 180. Org -0,0,-6.69

Jset dip 90. Dd 180. Org -0,0,-5.28

Jset dip 90. Dd 180. Org -0,0,-4.03

Jset dip 90. Dd 180. Org -0,0,-2.79

seek

hide -15.45,15.45 0.000,11.18 -15.45,15.45

hide -10.70,11.00 11.18,12.23 -10.10,-2.4

hide -10.70,11.00 12.23,13.35 -10.10,-2.4

*BD THS

Jset dip 90. Dd 90. Org -9.16,0,0

*DTHS.1

Jset dip 90. Dd 90. Org -8.48,0,0

*DTHS.2

Jset dip 90. Dd 90. Org -7.80,0,0

*DTHS.3

Jset dip 90. Dd 90. Org -7.12,0,0

*DTHS.4

Jset dip 90. Dd 90. Org -6.44,0,0

*DTHS.5

Jset dip 90. Dd 90. Org -5.76,0,0

*DTHS.6

Jset dip 90. Dd 90. Org -5.08,0,0

*DTHS.7

Jset dip 90. Dd 90. Org -4.40,0,0

*DTHS.8

Jset dip 90. Dd 90. Org -3.72,0,0

*DTHS.9

Jset dip 90. Dd 90. Org -3.04,0,0

*DTHS.10

Jset dip 90. Dd 90. Org -2.36,0,0

*DTHS.11

Jset dip 90. Dd 90. Org -1.68,0,0

*DTHS.12

Jset dip 90. Dd 90. Org -1.00,0,0

*DTHS.13

Jset dip 90. Dd 90. Org -0.32,0,0

*DTHS.14

Jset dip 90. Dd 90. Org 0.36,0,0

*DTHS.15

Jset dip 90. Dd 90. Org 1.04,0,0

*DTHS.16

Jset dip 90. Dd 90. Org 1.72,0,0

*DTHS.17

Jset dip 90. Dd 90. Org 2.40,0,0

*DTHS.18

Jset dip 90. Dd 90. Org 3.08,0,0

*DTHS.19

Jset dip 90. Dd 90. Org 3.76,0,0
 *DTHS.20
 Jset dip 90. Dd 90. Org 4.44,0,0
 *DTHS.21
 Jset dip 90. Dd 90. Org 5.12,0,0
 *DTHS.22
 Jset dip 90. Dd 90. Org 5.80,0,0
 *DTHS.23
 Jset dip 90. Dd 90. Org 6.48,0,0
 *DTHS.24
 Jset dip 90. Dd 90. Org 7.16,0,0
 *DTHS.25
 Jset dip 90. Dd 90. Org 7.84,0,0
 *DTHS.26
 Jset dip 90. Dd 90. Org 8.52,0,0
 *DTHS.27
 Jset dip 90. Dd 90. Org 9.20,0,0

seek

*THRANOI

*OTHS (.1,.2)

poly brick -9.73,-8.88 13.35,13.70 -8.60,-4.60

*OTHS.3

poly brick -8.88,-7.60 13.35,13.70 -4.82,-4.220

*NTHS (.45,.46,.47)

poly brick 9.58,10.380 13.35,13.70 -8.62,-5.42

*OTHS (.18,.19)

poly brick 8.78,9.580 13.35,13.70 -8.62,-4.67

hide -15.45,15.45 0.000,11.18 -15.45,15.45

hide -10.70,11.00 11.18,13.70 -10.20,-8.52

hide -10.380,-4.0 11.18,13.70 -8.62,-4.60

hide 8.88,10.380 11.18,13.35 -8.62,-4.60

hide 9.58,10.380 13.35,13.70 -8.62,-5.42

Jset dip 90. Dd 180. Org 0,0,-8.59

Jset dip 90. Dd 180. Org 0,0,-7.38

Jset dip 90. Dd 180. Org 0,0,-6.18

Jset dip 90. Dd 180. Org 0,0,-4.98

Seek

*WALL

poly brick -10.38,-8.858 1.10,11.18 -6.879,22.14

poly brick 8.858,10.38 1.10,11.18 -6.879,22.14

poly brick 8.858,10.38 11.18,12.23 -5.329,22.14

poly brick -10.38,-8.858 11.18,12.23 -5.329,22.14

poly brick -8.858,-3.315 1.10,12.23 -5.329,-3.329

```

poly brick    3.315,8.858    1.10,12.23    -5.329,-3.329
poly brick   -3.315,-2.00    1.10,12.23    -5.329,-3.329
poly brick    2.00 ,3.315    1.10,12.23    -5.329,-3.329

```

```

*=====
=
*Base
poly mat=2 brick    -30.,30.    0.,1.10    -30.,30.
*=====
=
*base
facetri yr 0., 1.10 triang
facetri yr 1.10 11.18 radial
facetri yr 11.18 13.70 triang
*=====
=
* Material
prop mat=1 den=2700. k=58000000. g=22000000. kn=5.e9 ks=1.e9
fr=36.87
prop mat=2 den=2700. k=58000000. g=22000000. kn=5.e9 ks=1.e9
fr=36.87
*=====
===

```

```

* Connections
*syndesmos 1.3.1
struct axial  -9.346 12.23 -5.06  -9.346 12.23  -4.840 prop 1
*syndesmos 1.2.1
struct axial  -9.797 12.23 -6.006 -9.503 12.23  -6.006 prop 3
*syndesmos 1.2.2
struct axial  -9.800 12.23 -7.256 -9.501 12.23  -7.256 prop 3
*syndesmos 1.2.3
struct axial  -9.795 12.23 -8.286 -9.506 12.23  -8.286 prop 3
*syndesmos 1.1.3
struct axial -10.297 12.23 -6.006 -10.003 12.23 -6.006 prop 3
*syndesmos 1.1.2
struct axial -10.295 12.23 -7.256 -10.006 12.23 -7.256 prop 3
*syndesmos 1.1.1
struct axial -10.30 12.213 -8.271 -10.001 12.23 -8.271 prop 3

```

```

** Material of Connections
struct prop 1 rlen 0.22 rkax 7.10e7 rult 148 rstrain 0.20
struct prop 1 rsstiff 2.7e7 rushear 85

```

```

** Material of Connections
struct prop 3 rlen 0.38 rkax 3.5e7 rult 128 rstrain 0.20
struct prop 3 rsstiff 1.3e7 rushear 74

```

```

** Material of Connections
struct prop 5 rlen 0.47 rkax 3.4e7 rult 152 rstrain 0.20
struct prop 5 rsstiff 1.3e7 rushear 88

```



```

*syndesmos 2.1.3
struct axial -10.20 12.23 -9.78 -10.20 12.23 -9.345 prop 5
*syndesmos 2.2.4
struct axial -10.00 12.23 -9.10 -9.66 12.23 -9.50 prop 3
*syndesmos 2.3.4
struct axial -9.52 12.23 -8.6 -9.18 12.23 -8.40 prop 3

*syndesmos 2.2.1
struct axial -7.00 12.216 -9.74 -7.00 12.23 -9.46 prop 3
*syndesmos 2.2.2
struct axial -7.816 12.23 -9.734 -7.816 12.23 -9.466 prop 3
*syndesmos 2.2.3
struct axial -9.126 12.23 -9.737 -9.126 12.23 -9.464 prop 3
*syndesmos 2.3.1
struct axial -6.976 12.23 -9.243 -6.976 12.23 -8.957 prop 3
*syndesmos 2.3.2
struct axial -7.806 12.23 -9.239 -7.806 12.23 -8.962 prop 3
*syndesmos 2.3.3
struct axial -8.866 12.23 -9.241 -8.866 12.23 -8.960 prop 3

*syndesmos 3.1.5
struct axial -6.508 12.21 -9.931 -6.053 12.23 -9.931 prop 5
*syndesmos 3.2.3
struct axial -6.633 12.23 -8.42 -5.928 12.23 -8.42 prop 4
*syndesmos 3.3.3
struct axial -6.513 12.23 -7.921 -6.048 12.23 -7.921 prop 2

*syndesmos 3.3.2
struct axial -5.63 12.23 -9.250 -5.63 12.23 -8.951 prop 3
*syndesmos 3.2.2
struct axial -5.63 12.23 -9.747 -5.63 12.23 -9.453 prop 3
*syndesmos 3.3.1
struct axial -3.62 12.23 -9.247 -3.62 12.23 -8.953 prop 3
*syndesmos 3.2.1
struct axial -3.62 12.23 -9.752 -3.62 12.23 -9.448 prop 3

** Material of Connections
struct prop 2 rlen 0.6 rkax 2.8e7 rult 160 rstrain 67
struct prop 2 rsstiff 1.1e7 rushear 92

** Material of Connections
struct prop 4 rlen 0.71 rkax 2.10e7 rult 144 rstrain 0.20
struct prop 4 rsstiff 8.1e6 rushear 83

*syndesmos 4.1.4
struct axial -2.329 12.21 -9.931 -1.864 12.23 -9.931 prop 5
*syndesmos 4.2.1
struct axial -2.376 12.23 -8.42 -1.816 12.23 -8.42 prop 2
*syndesmos 4.3.4

```

```

struct axial -2.418 12.21 -7.921 -1.775 12.23 -7.921 prop 2

*syndesmos 4.1.6
struct axial 0.65 12.23 -9.737 0.65 12.23 -9.463 prop 2
*syndesmos 4.1.5
struct axial -0.72 12.213 -9.733 -0.72 12.23 -9.468 prop 2
*syndesmos 4.3.7
struct axial 0.68 12.213 -9.226 0.68 12.23 -8.975 prop 2
*syndesmos 4.3.8
struct axial -0.68 12.213 -9.226 -0.68 12.23 -8.975 prop 2

*syndesmos 5.1.7
struct axial 1.811 12.23 -9.931 2.381 12.23 -9.931 prop 2
*syndesmos 5.2.3
struct axial 1.761 12.23 -8.42 2.431 12.23 -8.42 prop 2
*syndesmos 5.3.5
struct axial 1.796 12.23 -7.921 2.396 12.23 -7.921 prop 2

*syndesmos 5.2.1
struct axial 4.856 12.23 -9.745 4.856 12.23 -9.456 prop 3
*syndesmos 5.2.2
struct axial 3.256 12.23 -9.745 3.256 12.23 -9.456 prop 3
*syndesmos 5.3.2
struct axial 4.846 12.23 -9.245 4.846 12.23 -9.956 prop 3
*syndesmos 5.3.3
struct axial 3.39 12.23 -9.245 3.39 12.23 -9.956 prop 3

*syndesmos 6.2.4
struct axial 6.04 12.23 -8.42 6.60 12.23 -8.42 prop 2

*syndesmos 6.2.1
struct axial 8.42 12.23 -9.754 8.42 12.23 -9.445 prop 3
*syndesmos 6.2.2
struct axial 8.29 12.23 -9.754 8.29 12.23 -9.445 prop 3
*syndesmos 6.2.3
struct axial 6.98 12.23 -9.754 6.98 12.23 -9.445 prop 3
*syndesmos 6.3.1
struct axial 8.42 12.23 -9.255 8.42 12.23 -8.946 prop 3
*syndesmos 6.3.2
struct axial 8.29 12.23 -9.255 8.29 12.23 -8.946 prop 3
*syndesmos 6.3.3
struct axial 6.98 12.23 -9.255 6.98 12.23 -8.946 prop 3

*syndesmos 7.2.4
struct axial 8.95 12.23 -9.635 9.51 12.23 -9.055 prop 2
*syndesmos 7.3.5
struct axial 9.085 12.23 -9.135 9.655 12.23 -8.565 prop 2
*syndesmos 7.3.1
struct axial 9.40 12.23 -5.295 9.40 12.23 -5.00 prop 2

*syndesmos 7.2.1
struct axial 10.016 12.23 -5.98 10.305 12.23 -5.98 prop 3
*syndesmos 7.2.2
struct axial 10.016 12.23 -7.37 10.305 12.23 -7.37 prop 3

```

```

*syndesmos 7.2.3
struct axial 10.016 12.23 -8.28 10.305 12.23 -8.28 prop 3
*syndesmos 7.3.2
struct axial 9.65 12.23 -5.95 9.815 12.23 -5.95 prop 3
*syndesmos 7.3.3
struct axial 9.65 12.23 -7.24 9.815 12.23 -7.24 prop 3
*syndesmos 7.3.4
struct axial 9.506 12.23 -8.29 9.815 12.23 -8.29 prop 3

```

```

*epistylion 1.2
*gomfos 2.1.2
struct axial -10.17 12.19 -8.285 -10.13 12.23 -8.285 prop 8
*gomfos 2.1.1
struct axial -8.488 12.19 -8.285 -8.448 12.23 -8.285 prop 8
*gomfos 3.1.2
struct axial -4.17 12.19 -8.285 -4.13 12.23 -8.285 prop 8
*gomfos 3.1.4
struct axial -5.57 12.19 -8.285 -5.53 12.23 -8.285 prop 8
*gomfos 3.3.4
struct axial -6.02 12.19 -8.795 -5.98 12.23 -8.795 prop 8
*gomfos 3.3.5
struct axial -4.29 12.19 -8.965 -4.25 12.23 -8.965 prop 8
*gomfos 3.1.1
struct axial -2.27 12.19 -9.915 -2.23 12.23 -9.915 prop 8
*gomfos 5.3.7
struct axial 7.20 12.19 -8.955 7.24 12.23 -8.955 prop 8

```

** Material of Connections

```

*gomfoi
struct prop 8 rlen 0.01 rkax 2.1e9 rult 400
struct prop 8 rsstiff 8.0e8 rushear 231

```

```

struct axial -10.32 13.35 -9.86 -9.94 13.35 -9.86 prop 3
struct axial -8.58 13.35 -9.86 -8.20 13.35 -9.86 prop 3
struct axial -7.00 13.35 -9.86 -6.62 13.35 -9.86 prop 3
struct axial -5.58 13.35 -9.86 -5.20 13.35 -9.86 prop 3
struct axial -4.18 13.35 -9.86 -3.8 13.35 -9.86 prop 3
struct axial -2.80 13.35 -9.86 -2.42 13.35 -9.86 prop 3
struct axial -1.40 13.35 -9.86 -1.02 13.35 -9.86 prop 3
struct axial -0.02 13.35 -9.86 0.36 13.35 -9.86 prop 3
struct axial 1.21 13.35 -9.86 1.59 13.35 -9.86 prop 3
struct axial 2.60 13.35 -9.86 2.98 13.35 -9.86 prop 3
struct axial 4.00 13.35 -9.86 4.38 13.35 -9.86 prop 3
struct axial 5.41 13.35 -9.86 5.79 13.35 -9.86 prop 3
struct axial 6.82 13.35 -9.86 7.20 13.35 -9.86 prop 3
struct axial 8.23 13.35 -9.86 8.61 13.35 -9.86 prop 3
struct axial 9.97 13.35 -9.86 10.35 13.35 -9.86 prop 3

```

```

struct axial -4.64 13.35 -8.757 -4.32 13.35 -8.757 prop 3

```

```

struct axial 9.293 13.35 -8.46 9.293 13.35 -8.14 prop 3
struct axial 10.203 13.35 -8.41 10.203 13.35 -8.09 prop 3
struct axial 10.203 13.35 -7.16 10.203 13.35 -6.84 prop 3
struct axial 9.293 13.35 -6.65 9.293 13.35 -6.33 prop 3
struct axial 10.203 13.35 -5.95 10.203 13.35 -5.63 prop 3
struct axial 9.293 13.35 -5.47 9.293 13.35 -5.15 prop 3
struct axial 9.383 13.35 -6.18 9.383 13.35 -5.86 prop 3

```

```

*DZ.2
struct axial -9.43 13.35 -9.745 -9.39 13.35 -9.745 prop 8
*DZ.2
struct axial -8.74 13.35 -9.715 -8.70 13.35 -9.715 prop 8
*DZ.3
struct axial -7.36 13.35 -9.665 -7.32 13.35 -9.665 prop 8
*DZ.4
struct axial -6.65 13.35 -9.665 -6.61 13.35 -9.665 prop 8
*DZ.4
struct axial -5.92 13.35 -9.735 -5.88 13.35 -9.735 prop 8
*DZ.5
struct axial -5.26 13.35 -9.735 -5.22 13.35 -9.735 prop 8
*DZ.5
struct axial -4.56 13.35 -9.785 -4.52 13.35 -9.785 prop 8
*DZ.6
struct axial -3.86 13.35 -9.645 -3.82 13.35 -9.645 prop 8
*DZ.6
struct axial -3.15 13.35 -9.785 -3.11 13.35 -9.785 prop 8
*DZ.7
struct axial -2.46 13.35 -9.785 -2.42 13.35 -9.785 prop 8
*DZ.7
struct axial -1.70 13.35 -9.815 -1.66 13.35 -9.815 prop 8
*DZ.8
struct axial -1.00 13.35 -9.795 -0.96 13.35 -9.795 prop 8
*DZ.8
struct axial -0.29 13.35 -9.645 -0.25 13.35 -9.645 prop 8
*DZ.9
struct axial 0.29 13.35 -9.665 0.33 13.35 -9.665 prop 8
*DZ.9
struct axial 0.98 13.35 -9.735 1.02 13.35 -9.735 prop 8
*DZ.10
struct axial 1.70 13.35 -9.775 1.74 13.35 -9.775 prop 8
*DZ.10
struct axial 2.39 13.35 -9.775 2.43 13.35 -9.775 prop 8
*DZ.11
struct axial 3.09 13.35 -9.695 3.13 13.35 -9.695 prop 8
*DZ.11
struct axial 3.78 13.35 -9.695 3.82 13.35 -9.695 prop 8
*DZ.12
struct axial 4.48 13.35 -9.665 4.52 13.35 -9.665 prop 8
*DZ.12
struct axial 5.19 13.35 -9.745 5.23 13.35 -9.745 prop 8
*DZ.13
struct axial 5.88 13.35 -9.695 5.92 13.35 -9.695 prop 8

```

```

*DZ.13
struct axial 6.61 13.35 -9.695 6.65 13.35 -9.695 prop 8
*DZ.14
struct axial 7.28 13.35 -9.685 7.32 13.35 -9.685 prop 8
*DZ.14
struct axial 7.98 13.35 -9.745 8.02 13.35 -9.745 prop 8

struct axial 8.67 13.35 -9.715 8.71 13.35 -9.715 prop 8
struct axial 9.35 13.35 -9.665 9.39 13.35 -9.665 prop 8

```

*ANTITHIMATA

```

*ODZ.3
struct axial -9.43 13.35 -8.805 -9.39 13.35 -8.805 prop 8
*ODZ.4
struct axial -7.36 13.35 -8.905 -7.32 13.35 -8.905 prop 8
*ODZ.4
struct axial -6.65 13.35 -8.845 -6.61 13.35 -8.845 prop 8
*ODZ.5
struct axial -5.92 13.35 -8.795 -5.88 13.35 -8.795 prop 8
*ODZ.5
struct axial -5.26 13.35 -8.735 -5.22 13.35 -8.735 prop 8
*ODZ.5
struct axial -4.56 13.35 -8.765 -4.52 13.35 -8.765 prop 8
*gomfos
struct axial -2.46 13.35 -8.735 -2.42 13.35 -8.735 prop 8
*gomfos
struct axial -1.70 13.35 -8.765 -1.66 13.35 -8.765 prop 8
*ODZ.7
struct axial -1.00 13.35 -8.755 -0.96 13.35 -8.755 prop 8
*ODZ.7
struct axial -0.29 13.35 -8.755 -0.25 13.35 -8.755 prop 8
*ODZ.8
struct axial 0.29 13.35 -8.885 0.33 13.35 -8.885 prop 8
*ODZ.8
struct axial 0.98 13.35 -8.755 1.02 13.35 -8.755 prop 8
struct axial 1.70 13.35 -8.765 1.74 13.35 -8.765 prop 8
struct axial 2.39 13.35 -8.735 2.43 13.35 -8.735 prop 8
struct axial 3.09 13.35 -8.815 3.13 13.35 -8.815 prop 8
struct axial 3.78 13.35 -8.825 3.82 13.35 -8.825 prop 8
struct axial 4.48 13.35 -8.825 4.52 13.35 -8.825 prop 8
struct axial 5.19 13.35 -8.765 5.23 13.35 -8.765 prop 8
struct axial 5.88 13.35 -8.795 5.92 13.35 -8.795 prop 8
struct axial 6.61 13.35 -8.755 6.65 13.35 -8.755 prop 8
struct axial 7.28 13.35 -8.795 7.32 13.35 -8.795 prop 8
struct axial 7.98 13.35 -8.795 8.02 13.35 -8.795 prop 8
struct axial 8.67 13.35 -8.795 8.71 13.35 -8.795 prop 8
struct axial 9.35 13.35 -8.825 9.39 13.35 -8.825 prop 8

```

```

struct axial -0.505 13.70 -8.94 -0.195 13.70 -8.94 prop 3
struct axial -1.205 13.70 -8.94 -0.895 13.70 -8.94 prop 3
struct axial -1.905 13.70 -8.94 -1.595 13.70 -8.94 prop 3

```

struct axial -3.305 13.70 -8.94 -2.995 13.70 -8.94 prop 3
struct axial -4.00 13.70 -8.94 -3.69 13.70 -8.94 prop 3
struct axial -4.705 13.70 -8.94 -4.395 13.70 -8.94 prop 3
struct axial -5.395 13.70 -8.94 -5.085 13.70 -8.94 prop 3
struct axial -6.095 13.70 -8.94 -5.785 13.70 -8.94 prop 3
struct axial -6.785 13.70 -8.94 -6.475 13.70 -8.94 prop 3
struct axial -7.505 13.70 -8.94 -7.195 13.70 -8.94 prop 3
struct axial -8.205 13.70 -8.94 -7.895 13.70 -8.94 prop 3
struct axial -8.905 13.70 -8.94 -8.595 13.70 -8.94 prop 3
struct axial -9.595 13.70 -8.94 -9.285 13.70 -8.94 prop 3

*THRANOI

struct axial -0.505 13.70 -9.752 -0.195 13.70 -9.752 prop 3
struct axial -1.205 13.70 -9.752 -0.895 13.70 -9.752 prop 3
struct axial -1.905 13.70 -9.752 -1.595 13.70 -9.752 prop 3
struct axial -2.60 13.70 -9.752 -2.29 13.70 -9.752 prop 3
struct axial -3.305 13.70 -9.752 -2.995 13.70 -9.752 prop 3
struct axial -4.00 13.70 -9.752 -3.69 13.70 -9.752 prop 3
struct axial -4.705 13.70 -9.752 -4.395 13.70 -9.752 prop 3
struct axial -5.395 13.70 -9.752 -5.085 13.70 -9.752 prop 3
struct axial -6.095 13.70 -9.752 -5.785 13.70 -9.752 prop 3
struct axial -6.785 13.70 -9.752 -6.475 13.70 -9.752 prop 3
struct axial -7.505 13.70 -9.752 -7.195 13.70 -9.752 prop 3
struct axial -8.205 13.70 -9.752 -7.895 13.70 -9.752 prop 3
struct axial -8.905 13.70 -9.752 -8.595 13.70 -9.752 prop 3
struct axial -9.595 13.70 -9.752 -9.285 13.70 -9.752 prop 3

struct axial 0.195 13.70 -8.94 0.505 13.70 -8.94 prop 3
struct axial 0.895 13.70 -8.94 1.205 13.70 -8.94 prop 3
struct axial 1.595 13.70 -8.94 1.905 13.70 -8.94 prop 3
struct axial 2.59 13.70 -8.94 2.90 13.70 -8.94 prop 3
struct axial 2.995 13.70 -8.94 3.305 13.70 -8.94 prop 3
struct axial 4.395 13.70 -8.94 4.705 13.70 -8.94 prop 3
struct axial 5.085 13.70 -8.94 5.395 13.70 -8.94 prop 3
struct axial 5.785 13.70 -8.94 6.095 13.70 -8.94 prop 3
struct axial 6.475 13.70 -8.94 6.785 13.70 -8.94 prop 3
struct axial 7.505 13.70 -8.94 7.195 13.70 -8.94 prop 3
struct axial 7.235 13.70 -8.94 7.545 13.70 -8.94 prop 3
struct axial 7.895 13.70 -8.94 8.205 13.70 -8.94 prop 3
struct axial 8.595 13.70 -8.94 8.905 13.70 -8.94 prop 3
struct axial 9.285 13.70 -8.94 9.595 13.70 -8.94 prop 3

struct axial 0.195 13.70 -9.752 0.505 13.70 -9.752 prop 3
struct axial 0.895 13.70 -9.752 1.205 13.70 -9.752 prop 3
struct axial 1.595 13.70 -9.752 1.905 13.70 -9.752 prop 3
struct axial 2.59 13.70 -9.752 2.90 13.70 -9.752 prop 3
struct axial 2.995 13.70 -9.752 3.305 13.70 -9.752 prop 3
struct axial 4.395 13.70 -9.752 4.705 13.70 -9.752 prop 3
struct axial 5.085 13.70 -9.752 5.395 13.70 -9.752 prop 3
struct axial 5.785 13.70 -9.752 6.095 13.70 -9.752 prop 3
struct axial 6.475 13.70 -9.752 6.785 13.70 -9.752 prop 3
struct axial 7.195 13.70 -9.752 7.505 13.70 -9.752 prop 3

```

struct axial 7.895 13.70 -9.752 8.205 13.70 -9.752 prop 3
struct axial 8.595 13.70 -9.752 8.905 13.70 -9.752 prop 3
struct axial 9.285 13.70 -9.752 9.595 13.70 -9.752 prop 3

struct axial -9.45 13.70 -6.465 -9.45 13.70 -6.155 prop 3
struct axial -9.45 13.70 -4.705 -9.45 13.70 -4.395 prop 3
struct axial -9.305 13.70 -4.797 -8.995 13.70 -4.797 prop 3
struct axial 9.44 13.70 -8.575 9.44 13.70 -8.265 prop 3
struct axial 9.633 13.70 -8.735 9.633 13.70 -8.425 prop 3
struct axial 10.247 13.70 -8.735 10.247 13.70 -8.425 prop 3
struct axial 9.695 13.70 -8.197 10.01 13.70 -8.197 prop 3
struct axial 10.247 13.70 -7.775 10.247 13.70 -7.465 prop 3
struct axial 9.695 13.70 -7.104 10.01 13.70 -7.104 prop 3
struct axial 9.32 13.70 -6.855 9.32 13.70 -6.545 prop 3
struct axial 9.627 13.70 -6.855 9.627 13.70 -6.545 prop 3
struct axial 10.247 13.70 -6.565 10.247 13.70 -6.255 prop 3
struct axial 9.695 13.70 -5.927 10.01 13.70 -5.927 prop 3
struct axial 9.07 13.70 -4.83 9.38 13.70 -4.83 prop 3

```

*SHEAR

```

*syndesmos 1.3.1
struct axial -9.35 12.23 -5.01 -9.35 12.23 -4.95 prop 7

```

```

*syndesmos 1.2.1
struct axial -9.68 12.23 -5.98 -9.62 12.23 -5.98 prop 6
*syndesmos 1.2.2
struct axial -9.68 12.23 -7.23 -9.62 12.23 -7.23 prop 6
*syndesmos 1.2.3
struct axial -9.68 12.23 -8.26 -9.62 12.23 -8.26 prop 6
*syndesmos 1.1.3
struct axial -10.18 12.23 -5.98 -10.12 12.23 -5.98 prop 6
*syndesmos 1.1.2
struct axial -10.18 12.23 -7.23 -10.12 12.23 -7.23 prop 6
*syndesmos 1.1.1
struct axial -10.18 12.23 -8.26 -10.12 12.23 -8.26 prop 7

```

```

*syndesmos 2.1.3
struct axial -10.20 12.23 -9.63 -10.20 12.23 -9.57 prop 5
*syndesmos 2.2.4
struct axial -9.86 12.23 -9.86 -9.80 12.23 -9.397 prop 7
*syndesmos 2.3.4
struct axial -9.38 12.23 -8.60 -9.32 12.23 -8.40 prop 7

```

```

*syndesmos 2.2.1
struct axial -6.996 12.23 -9.63 -6.996 12.23 -9.57 prop 6
*syndesmos 2.2.2
struct axial -7.816 12.23 -9.63 -7.816 12.23 -9.57 prop 6
*syndesmos 2.2.3
struct axial -9.434 12.23 -9.63 -9.434 12.23 -9.57 prop 6
*syndesmos 2.3.1
struct axial -6.972 12.23 -9.13 -6.972 12.23 -9.07 prop 6
*syndesmos 2.3.2
struct axial -7.806 12.23 -9.13 -7.806 12.23 -9.07 prop 6

```

```

*syndesmos 2.3.3
struct axial -8.866 12.23 -9.13 -8.866 12.23 -9.07 prop 6

*syndesmos 3.1.5
struct axial -6.311 12.21 -9.931 -6.251 12.23 -9.931 prop 7
*syndesmos 3.2.3
struct axial -6.311 12.23 -8.42 -6.251 12.23 -8.42 prop 7
*syndesmos 3.3.3
struct axial -6.311 12.23 -7.921 -6.251 12.23 -7.921 prop 7

*syndesmos 3.3.2
struct axial -5.626 12.23 -9.13 -5.626 12.23 -9.07 prop 6
*syndesmos 3.2.2
struct axial -5.626 12.23 -9.63 -5.626 12.23 -9.57 prop 6
*syndesmos 3.3.1
struct axial -3.616 12.23 -9.13 -3.616 12.23 -9.07 prop 6
*syndesmos 3.2.1
struct axial -3.616 12.23 -9.63 -3.616 12.23 -9.57 prop 6

*syndesmos 4.1.4
struct axial -2.126 12.21 -9.931 -2.066 12.23 -9.931 prop 7
*syndesmos 4.2.1
struct axial -2.126 12.23 -8.42 -2.066 12.23 -8.42 prop 7
*syndesmos 4.3.4
struct axial -2.126 12.21 -7.921 -2.066 12.23 -7.921 prop 7

*syndesmos 4.1.6
struct axial 0.65 12.23 -9.63 0.65 12.23 -9.57 prop 2
*syndesmos 4.1.5
struct axial -0.72 12.213 -9.631 -0.72 12.23 -9.571 prop 2
*syndesmos 4.3.7
struct axial 0.68 12.213 -8.971 0.68 12.23 -8.911 prop 2
*syndesmos 4.3.8
struct axial -0.68 12.213 -8.971 -0.68 12.23 -8.911 prop 2

*syndesmos 5.1.7
struct axial 2.066 12.23 -9.931 2.126 12.23 -9.931 prop 7
*syndesmos 5.2.3
struct axial 2.066 12.23 -8.42 2.126 12.23 -8.42 prop 7
*syndesmos 5.3.5
struct axial 2.066 12.23 -7.921 2.126 12.23 -7.921 prop 7

*syndesmos 5.2.1
struct axial 4.856 12.23 -9.63 4.856 12.23 -9.57 prop 6
*syndesmos 5.2.2
struct axial 3.256 12.23 -9.63 3.256 12.23 -9.57 prop 6
*syndesmos 5.3.2
struct axial 4.846 12.23 -9.13 4.846 12.23 -9.07 prop 6
*syndesmos 5.3.3
struct axial 3.39 12.23 -9.13 3.39 12.23 -9.07 prop 6
*syndesmos 5.3.4
*struct axial -2.26 12.23 -9.13 -2.26 12.23 -9.07 prop 6

```



```

*syndesmos 6.1.4
*struct axial -2.27 12.23 -8.419 -2.21 12.23 -8.419 prop 7
*syndesmos 6.2.4
struct axial 6.29 12.23 -8.394 6.35 12.23 -8.394 prop 7
*syndesmos 6.3.5
*struct axial -2.27 12.23 -8.419 -2.21 12.23 -8.419 prop 7

*syndesmos 6.2.1
struct axial 8.42 12.23 -9.63 8.42 12.23 -9.57 prop 6
*syndesmos 6.2.2
struct axial 8.29 12.23 -9.63 8.29 12.23 -9.57 prop 6
*syndesmos 6.2.3
struct axial 6.98 12.23 -9.63 6.98 12.23 -9.57 prop 6
*syndesmos 6.3.1
struct axial 8.42 12.23 -9.13 8.42 12.23 -9.07 prop 6
*syndesmos 6.3.2
struct axial 8.29 12.23 -9.13 8.29 12.23 -9.07 prop 6
*syndesmos 6.3.3
struct axial 6.98 12.23 -9.13 6.98 12.23 -9.07 prop 6

*syndesmos 7.2.4
struct axial 8.95 12.23 -9.635 9.51 12.23 -9.055 prop 2
*syndesmos 7.3.5
struct axial 9.37 12.23 -9.135 9.43 12.23 -8.565 prop 2
*syndesmos 7.3.1
struct axial 9.41 12.23 -5.03 9.41 12.23 -5.00 prop 7

*syndesmos 7.2.1
struct axial 10.13 12.23 -5.976 10.19 12.23 -5.976 prop 6
*syndesmos 7.2.2
struct axial 10.13 12.23 -7.366 10.19 12.23 -7.366 prop 6
*syndesmos 7.2.3
struct axial 10.13 12.23 -8.276 10.19 12.23 -8.276 prop 6
*syndesmos 7.3.2
struct axial 9.63 12.23 -5.966 9.69 12.23 -5.966 prop 6
*syndesmos 7.3.3
struct axial 9.63 12.23 -7.256 9.69 12.23 -7.256 prop 6
*syndesmos 7.3.4
struct axial 9.63 12.23 -8.306 9.69 12.23 -8.306 prop 6
** Material of Connections
struct prop 6 rlen 0.06 rkax 22.0e7 rult 128 rstrain 0.20
struct prop 6 rsstiff 8.53e7 rushear 74

** Material of Connections
struct prop 7 rlen 0.06 rkax 28e7 rult 160 rstrain 0.20
struct prop 7 rsstiff 8.53e7 rushear 92

struct axial -10.18 13.35 -9.86 -10.12 13.35 -9.86 prop 7
struct axial -8.43 13.35 -9.86 -8.37 13.35 -9.86 prop 7
struct axial -7.02 13.35 -9.86 -6.96 13.35 -9.86 prop 7

```

struct axial -5.62 13.35 -9.86 -5.56 13.35 -9.86 prop 7
struct axial -4.22 13.35 -9.86 -4.16 13.35 -9.86 prop 7
struct axial -2.81 13.35 -9.86 -2.76 13.35 -9.86 prop 7
struct axial -1.40 13.35 -9.86 -1.34 13.35 -9.86 prop 7
struct axial 0.3 13.35 -9.86 0.9 13.35 -9.86 prop 7
struct axial 1.34 13.35 -9.86 1.40 13.35 -9.86 prop 7
struct axial 2.76 13.35 -9.86 2.81 13.35 -9.86 prop 7
struct axial 4.16 13.35 -9.86 4.22 13.35 -9.86 prop 7
struct axial 5.56 13.35 -9.86 5.62 13.35 -9.86 prop 7
struct axial 6.99 13.35 -9.86 7.05 13.35 -9.86 prop 7
struct axial 8.37 13.35 -9.86 8.61 13.35 -9.86 prop 7
struct axial 10.12 13.35 -9.86 10.18 13.35 -9.86 prop 7

struct axial -4.59 13.35 -8.757 -4.53 13.35 -8.757 prop 7
struct axial 9.36 13.35 -8.30 9.42 13.35 -8.30 prop 7
struct axial 10.20 13.35 -8.25 10.26 13.35 -8.25 prop 7
struct axial 10.20 13.35 -7.00 10.26 13.35 -7.00 prop 7
struct axial 9.36 13.35 -6.49 9.42 13.35 -6.49 prop 7
struct axial 10.20 13.35 -5.79 10.26 13.35 -5.79 prop 7
struct axial 9.36 13.35 -5.31 9.42 13.35 -5.31 prop 7
struct axial 9.42 13.35 -6.02 9.48 13.35 -6.02 prop 7

struct axial -0.38 13.70 -8.94 -0.32 13.70 -8.94 prop 7
struct axial -1.08 13.70 -8.94 -1.02 13.70 -8.94 prop 7
struct axial -1.78 13.70 -8.94 -1.72 13.70 -8.94 prop 7
struct axial -3.19 13.70 -8.94 -3.13 13.70 -8.94 prop 7
struct axial -3.91 13.70 -8.94 -3.85 13.70 -8.94 prop 7
struct axial -4.55 13.70 -8.94 -4.49 13.70 -8.94 prop 7
struct axial -5.27 13.70 -8.94 -5.21 13.70 -8.94 prop 7
struct axial -5.97 13.70 -8.94 -5.91 13.70 -8.94 prop 7
struct axial -6.66 13.70 -8.94 -6.60 13.70 -8.94 prop 7
struct axial -7.35 13.70 -8.94 -7.29 13.70 -8.94 prop 7
struct axial -8.78 13.70 -8.94 -8.72 13.70 -8.94 prop 7
struct axial -9.46 13.70 -8.94 -9.40 13.70 -8.94 prop 7

struct axial -0.38 13.70 -9.752 -0.32 13.70 -9.752 prop 7
struct axial -1.08 13.70 -9.752 -1.02 13.70 -9.752 prop 7
struct axial -1.78 13.70 -9.752 -1.72 13.70 -9.752 prop 7
struct axial -2.49 13.70 -9.752 -2.43 13.70 -9.752 prop 7
struct axial -3.19 13.70 -9.752 -3.13 13.70 -9.752 prop 7
struct axial -3.91 13.70 -9.752 -3.85 13.70 -9.752 prop 7
struct axial -4.55 13.70 -9.752 -4.49 13.70 -9.752 prop 7
struct axial -5.27 13.70 -9.752 -5.21 13.70 -9.752 prop 7
struct axial -5.97 13.70 -9.752 -5.91 13.70 -9.752 prop 7
struct axial -6.66 13.70 -9.752 -6.60 13.70 -9.752 prop 7
struct axial -7.35 13.70 -9.752 -7.29 13.70 -9.752 prop 7
struct axial -8.13 13.70 -9.752 -8.07 13.70 -9.752 prop 7
struct axial -8.78 13.70 -9.752 -8.72 13.70 -9.752 prop 7
struct axial -9.46 13.70 -9.752 -9.40 13.70 -9.752 prop 7

struct axial 0.46 13.70 -8.94 0.52 13.70 -8.94 prop 7
struct axial 1.145 13.70 -8.94 1.205 13.70 -8.94 prop 7

```

struct axial 1.54 13.70 -8.94 1.60 13.70 -8.94 prop 7
struct axial 2.64 13.70 -8.94 2.70 13.70 -8.94 prop 7
struct axial 2.94 13.70 -8.94 3.00 13.70 -8.94 prop 7
struct axial 4.16 13.70 -8.94 4.22 13.70 -8.94 prop 7
struct axial 4.70 13.70 -8.94 4.76 13.70 -8.94 prop 7
struct axial 5.91 13.70 -8.94 5.97 13.70 -8.94 prop 7
struct axial 6.60 13.70 -8.94 6.66 13.70 -8.94 prop 7
struct axial 7.36 13.70 -8.94 7.42 13.70 -8.94 prop 7
struct axial 8.02 13.70 -8.94 8.08 13.70 -8.94 prop 7
struct axial 8.72 13.70 -8.94 8.78 13.70 -8.94 prop 7
struct axial 9.29 13.70 -9.13 9.29 13.70 -9.07 prop 7

struct axial 0.46 13.70 -9.752 0.52 13.70 -9.752 prop 7
struct axial 1.145 13.70 -9.752 1.205 13.70 -9.752 prop 7
struct axial 1.54 13.70 -9.752 1.60 13.70 -9.752 prop 7
struct axial 2.64 13.70 -9.752 2.70 13.70 -9.752 prop 7
struct axial 2.94 13.70 -9.752 3.00 13.70 -9.752 prop 7
struct axial 4.16 13.70 -9.752 4.22 13.70 -9.752 prop 7
struct axial 4.70 13.70 -9.752 4.76 13.70 -9.752 prop 7
struct axial 5.91 13.70 -9.752 5.97 13.70 -9.752 prop 7
struct axial 6.60 13.70 -9.752 6.66 13.70 -9.752 prop 7
struct axial 7.36 13.70 -9.752 7.42 13.70 -9.752 prop 7
struct axial 8.02 13.70 -9.752 8.08 13.70 -9.752 prop 7
struct axial 8.72 13.70 -9.752 8.78 13.70 -9.752 prop 7
struct axial 9.285 13.70 -9.752 9.345 13.70 -9.752 prop 7
struct axial -9.45 13.70 -6.80 -9.45 13.70 -6.74 prop 7
struct axial -9.45 13.70 -4.86 -9.45 13.70 -4.80 prop 7
struct axial -9.18 13.70 -4.797 -9.12 13.70 -4.797 prop 3
struct axial 9.44 13.70 -8.27 9.44 13.70 -8.21 prop 3
struct axial 9.633 13.70 -8.89 9.633 13.70 -8.83 prop 3
struct axial 10.247 13.70 -8.89 10.247 13.70 -8.83 prop 3
struct axial 9.86 13.70 -8.197 9.92 13.70 -8.197 prop 3
struct axial 10.247 13.70 -6.65 10.247 13.70 -6.59 prop 3
struct axial 9.86 13.70 -7.104 9.92 13.70 -7.104 prop 3
struct axial 9.32 13.70 -6.73 9.32 13.70 -6.67 prop 7
struct axial 9.627 13.70 -6.73 9.627 13.70 -6.67 prop 3
struct axial 10.247 13.70 -6.43 10.247 13.70 -6.37 prop 3
struct axial 9.86 13.70 -5.927 9.92 13.70 -5.927 prop 3
struct axial 9.07 13.70 -4.83 9.10 13.70 -4.83 prop 3

```

** Material of Connections

```

struct prop 7 rlen 0.06 rkax 28e7 rult 160 rstrain 0.20
struct prop 7 rsstiff 8.53e7 rushear 92

```


ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3

ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ ΤΟΙΧΟΥ

poly brick	-10.38,-8.858	1.10,2.255	-6.879,-5.329
poly brick	8.858,10.38	1.10,2.255	-6.879,-5.329
poly brick	-9.81,-5.02	1.10,2.255	-5.329,-4.329
poly brick	5.02,9.81	1.10,2.255	-5.329,-4.329
poly brick	-5.02,-2.00	1.10,2.255	-5.329,-4.329
poly brick	2.00,5.02	1.10,2.255	-5.329,-4.329
poly brick	-5.02,-2.00	1.10,2.255	-4.329,-3.329
poly brick	2.00,5.02	1.10,2.255	-4.329,-3.329
poly brick	-9.81,-5.02	1.10,2.255	-4.329,-3.329
poly brick	5.02,9.81	1.10,2.255	-4.329,-3.329
poly brick	-10.38,-9.81	1.10,2.255	-5.329,-4.299
poly brick	9.81,10.38	1.10,2.255	-5.329,-4.299
poly brick	-10.38,-9.81	1.10,2.255	-4.299,-1.854
poly brick	9.81,10.38	1.10,2.255	-4.299,-1.854
poly brick	-9.81,-9.225	1.10,2.255	-3.329,-1.854
poly brick	9.225,9.81	1.10,2.255	-3.329,-1.854

poly brick	-10.38,-9.81	1.10,2.255	-1.854,0.591
poly brick	-10.38,-9.81	1.10,2.255	0.591,3.036
poly brick	-10.38,-9.81	1.10,2.255	3.036,5.481
poly brick	-10.38,-9.81	1.10,2.255	5.481,7.926
poly brick	-10.38,-9.81	1.10,2.255	7.926,10.371
poly brick	-10.38,-9.81	1.10,2.255	10.371,12.46
poly brick	-10.38,-9.81	1.10,2.255	12.46,14.905
poly brick	-10.38,-9.81	1.10,2.255	14.905,17.35
poly brick	-10.38,-9.81	1.10,2.255	17.35,19.795
poly brick	-10.38,-9.81	1.10,2.255	19.795,22.14

poly brick	9.81,10.38	1.10,2.255	-1.854,0.591
poly brick	9.81,10.38	1.10,2.255	0.591,3.036
poly brick	9.81,10.38	1.10,2.255	3.036,5.481
poly brick	9.81,10.38	1.10,2.255	5.481,7.926
poly brick	9.81,10.38	1.10,2.255	7.926,10.371
poly brick	9.81,10.38	1.10,2.255	10.371,12.46
poly brick	9.81,10.38	1.10,2.255	12.46,14.905
poly brick	9.81,10.38	1.10,2.255	14.905,17.35
poly brick	9.81,10.38	1.10,2.255	17.35,19.795
poly brick	9.81,10.38	1.10,2.255	19.795,22.14

poly brick	-9.81,-9.435	1.10,2.255	-1.854,0.591
poly brick	-9.81,-9.435	1.10,2.255	0.591,3.036
poly brick	-9.81,-9.435	1.10,2.255	3.036,5.481
poly brick	-9.81,-9.435	1.10,2.255	5.481,7.926
poly brick	-9.81,-9.435	1.10,2.255	7.926,10.371
poly brick	-9.81,-9.435	1.10,2.255	10.371,12.46
poly brick	-9.81,-9.435	1.10,2.255	12.46,14.905
poly brick	-9.81,-9.435	1.10,2.255	14.905,17.35
poly brick	-9.81,-9.435	1.10,2.255	17.35,19.795
poly brick	-9.81,-9.435	1.10,2.255	19.795,22.14

poly brick	9.435 ,9.81	1.10,2.255	-1.854,0.591
poly brick	9.435 ,9.81	1.10,2.255	0.591,3.036
poly brick	9.435,9.81	1.10,2.255	3.036,5.481
poly brick	9.435,9.81	1.10,2.255	5.481,7.926
poly brick	9.435,9.81	1.10,2.255	7.926 ,10.371
poly brick	9.435,9.81	1.10,2.255	10.371,12.46
poly brick	9.435,9.81	1.10,2.255	12.46,14.905
poly brick	9.435,9.81	1.10,2.255	14.905,17.35
poly brick	9.435,9.81	1.10,2.255	17.35,19.795
poly brick	9.435,9.81	1.10,2.255	19.795,22.14
poly brick	-3.315,-2.00	2.255,11.18	-5.329,-3.329
poly brick	-8.858,-3.315	2.255,11.18	-5.329,-4.429
poly brick	-9.81,-3.315	2.255,11.18	-4.229,-3.329
poly brick	-10.38,-8.858	1.10,2.255	-6.879,-4.879
poly brick	-10.38,-8.858	2.255,11.18	-6.879,-4.879
poly brick	-10.38,-9.81	1.10,2.255	-4.879,-3.654
poly brick	-10.38,-9.81	1.10,2.255	-3.654,-2.429
poly brick	2.00,3.315	2.255 ,11.18	-5.329,-3.329
poly brick	3.315,8.858	2.255 ,11.18	-5.329,-4.429
poly brick	3.315,9.81	2.255 ,11.18	-5.329,-4.229
poly brick	8.858 ,10.38	1.10,2.255	-6.879,-4.879
poly brick	9.81,10.38	1.10,2.255	-4.879,-3.654
poly brick	9.81 ,10.38	1.10,2.255	-3.654,-2.429
poly brick	3.315,9.81	2.255 ,11.18	-4.229,-3.329
poly brick	-10.38,-9.81	2.255,11.18	-5.329,22.14
poly brick	9.225,9.81	2.255,11.18	-3.329,22.14
poly brick	9.81,10.38	2.255,11.18	-5.329,22.14
poly brick	-9.81,-9.225	2.255,11.18	-3.329,22.14
poly brick	-10.38,-9.81	2.255,11.18	-6.879,-5.329
poly brick	9.81,10.38	2.255,11.18	-6.879,-5.329
hide	-9.735,9.735	1.10,13.70	-10.10,-8.10
hide	-15.45,15.45	0.000,1.10	-15.45,15.45
Jset dip 00.	Dd 00.	Org 0,2.780,0	
Jset dip 00.	Dd 00.	Org 0,3.305,0	
Jset dip 00.	Dd 00.	Org 0,3.830,0	
Jset dip 00.	Dd 00.	Org 0,4.355,0	
Jset dip 00.	Dd 00.	Org 0,4.880,0	
Jset dip 00.	Dd 00.	Org 0,5.405,0	
Jset dip 00.	Dd 00.	Org 0,5.930,0	
Jset dip 00.	Dd 00.	Org 0,6.455,0	
Jset dip 00.	Dd 00.	Org 0,6.980,0	
Jset dip 00.	Dd 00.	Org 0,7.505,0	
Jset dip 00.	Dd 00.	Org 0,8.030,0	
Jset dip 00.	Dd 00.	Org 0,8.555,0	
Jset dip 00.	Dd 00.	Org 0,9.080,0	
Jset dip 00.	Dd 00.	Org 0,9.605,0	
Jset dip 00.	Dd 00.	Org 0,10.13,0	

Jset dip 00. Dd 00. Org 0,10.655,0

hide -10.59,-10.015 1.10,11.18 -5.329,31.328
hide -10.015,-9.435 1.10,11.18 -3.329,31.328
hide 10.015,10.59 1.10,11.18 -5.329,31.328
hide 9.435,10.015 1.10,11.18 -3.329,31.328

hide -15.45,15.45 0.000,2.255 -6.879,22.14
hide -15.45,15.45 2.780,3.305 -6.879,22.14
hide -15.45,15.45 3.830,4.355 -6.879,22.14
hide -15.45,15.45 4.880,5.405 -6.879,22.14
hide -15.45,15.45 5.930,6.455 -6.879,22.14
hide -15.45,15.45 6.980,7.505 -6.879,22.14
hide -15.45,15.45 8.030,8.555 -6.879,22.14
hide -15.45,15.45 9.080,9.605 -6.879,22.14
hide -15.45,15.45 10.13,10.655 -6.879,22.14

Jset dip 90. Dd 90. Org -7.753,0,0
Jset dip 90. Dd 90. Org -6.438,0,0
Jset dip 90. Dd 90. Org -5.123,0,0

Jset dip 90. Dd 90. Org 7.753,0,0
Jset dip 90. Dd 90. Org 6.438,0,0
Jset dip 90. Dd 90. Org 5.123,0,0

find -9.735,9.735 1.10,14.50 -10.10,-8.10

find -15.45,15.45 0.000,2.255 -6.879,22.14
find -15.45,15.45 2.780,3.305 -6.879,22.14
find -15.45,15.45 3.830,4.355 -6.879,22.14
find -15.45,15.45 4.880,5.405 -6.879,22.14
find -15.45,15.45 5.930,6.455 -6.879,22.14
find -15.45,15.45 6.980,7.505 -6.879,22.14
find -15.45,15.45 8.030,8.555 -6.879,22.14
find -15.45,15.45 9.080,9.605 -6.879,22.14
find -15.45,15.45 10.13,10.655 -6.879,22.14
find -15.45,15.45 10.655,14.50 -6.879,22.14

hide -15.45,15.45 0.000,2.780 -6.879,22.14
hide -15.45,15.45 3.305,3.83 -6.879,22.14
hide -15.45,15.45 4.355,4.88 -6.879,22.14
hide -15.45,15.45 5.405,5.93 -6.879,22.14
hide -15.45,15.45 6.455,6.98 -6.879,22.14
hide -15.45,15.45 7.505,8.030 -6.879,22.14
hide -15.45,15.45 8.555,9.080 -6.879,22.14
hide -15.45,15.45 9.605,10.13 -6.879,22.14
hide -15.45,15.45 10.655,11.18 -6.879,22.14
hide -9.735,9.735 1.10,14.50 -10.10,-8.10

Jset dip 90. Dd 90. Org -8.305,0,0
Jset dip 90. Dd 90. Org -6.99,0,0
Jset dip 90. Dd 90. Org -5.675,0,0
Jset dip 90. Dd 90. Org -4.36,0,0

Jset dip 90. Dd 90. Org 8.305,0,0
 Jset dip 90. Dd 90. Org 6.99,0,0
 Jset dip 90. Dd 90. Org 5.675,0,0
 Jset dip 90. Dd 90. Org 4.36,0,0

find -15.45,15.45 0.000,2.780 -6.879,22.14
 find -15.45,15.45 3.305,3.83 -6.879,22.14
 find -15.45,15.45 4.355,4.88 -6.879,22.14
 find -15.45,15.45 5.405,5.93 -6.879,22.14
 find -15.45,15.45 6.455,6.98 -6.879,22.14
 find -15.45,15.45 7.505,8.030 -6.879,22.14
 find -15.45,15.45 8.555,9.080 -6.879,22.14
 find -15.45,15.45 9.605,10.13 -6.879,22.14
 find -15.45,15.45 10.655,11.18 -6.879,22.14

hide -9.735,9.735 1.10,14.50 -10.10,-8.10
 hide -15.45,15.45 0.000,1.10 -15.45,15.45

hide -10.38,-3.105 2.255,14.50 -5.329,-3.329
 hide 3.105,10.38 2.255,14.50 -5.329,-3.329
 hide -3.105,-2.00 2.255,3.305 -5.329,-3.329
 hide -3.105,-2.00 3.83,4.355 -5.329,-3.329
 hide -3.105,-2.00 4.88,5.405 -5.329,-3.329
 hide -3.105,-2.00 5.93,6.455 -5.329,-3.329
 hide -3.105,-2.00 6.98,7.505 -5.329,-3.329
 hide -3.105,-2.00 8.030,8.555 -5.329,-3.329
 hide -3.105,-2.00 9.080,9.605 -5.329,-3.329

hide 2.00,3.105 2.255,3.305 -5.329,-3.329
 hide 2.00,3.105 3.83,4.355 -5.329,-3.329
 hide 2.00,3.105 4.88,5.405 -5.329,-3.329
 hide 2.00,3.105 5.93,6.455 -5.329,-3.329
 hide 2.00,3.105 6.98,7.505 -5.329,-3.329
 hide 2.00,3.105 8.030,8.555 -5.329,-3.329
 hide 2.00,3.105 9.080,9.605 -5.329,-3.329

hide -9.05,-2.05 1.10,11.18 -5.05,-3.05
 hide 2.05,9.05 1.10,11.18 -5.05,-3.05
 hide -15.45,15.45 0.000,2.255 -6.879,22.14
 hide -15.45,15.45 2.780,3.305 -6.879,22.14
 hide -15.45,15.45 3.830,4.355 -6.879,22.14
 hide -15.45,15.45 4.880,5.405 -6.879,22.14
 hide -15.45,15.45 5.930,6.455 -6.879,22.14
 hide -15.45,15.45 6.980,7.505 -6.879,22.14
 hide -15.45,15.45 8.030,8.555 -6.879,22.14
 hide -15.45,15.45 9.080,9.605 -6.879,22.14
 hide -15.45,15.45 10.13,10.655 -6.879,22.14
 hide -15.45,15.45 11.18,14.50 -6.879,22.14

Jset dip 90. Dd 180. Org 0,0,-4.879


```

Jset dip 90.    Dd 180.    Org 0,0,-3.654
Jset dip 90.    Dd 180.    Org 0,0,-2.249
Jset dip 90.    Dd 180.    Org 0,0,-1.024
Jset dip 90.    Dd 180.    Org 0,0,0.201
Jset dip 90.    Dd 180.    Org 0,0,1.426
Jset dip 90.    Dd 180.    Org 0,0,2.651
Jset dip 90.    Dd 180.    Org 0,0,3.876
Jset dip 90.    Dd 180.    Org 0,0,5.101
Jset dip 90.    Dd 180.    Org 0,0,6.326
Jset dip 90.    Dd 180.    Org 0,0,7.551
Jset dip 90.    Dd 180.    Org 0,0,8.776
Jset dip 90.    Dd 180.    Org 0,0,10.001
Jset dip 90.    Dd 180.    Org 0,0,11.226
Jset dip 90.    Dd 180.    Org 0,0,12.451
Jset dip 90.    Dd 180.    Org 0,0,13.676
Jset dip 90.    Dd 180.    Org 0,0,14.901
Jset dip 90.    Dd 180.    Org 0,0,16.126
Jset dip 90.    Dd 180.    Org 0,0,17.351
Jset dip 90.    Dd 180.    Org 0,0,18.576
Jset dip 90.    Dd 180.    Org 0,0,19.801
Jset dip 90.    Dd 180.    Org 0,0,21.026

```

```

find  -9.735,9.735  1.10,14.50    -10.10,-8.10
find  -15.45,15.45  0.000,2.255    -6.879,22.14
find  -15.45,15.45  2.780,3.305    -6.879,22.14
find  -15.45,15.45  3.830,4.355    -6.879,22.14
find  -15.45,15.45  4.880,5.405    -6.879,22.14
find  -15.45,15.45  5.930,6.455    -6.879,22.14
find  -15.45,15.45  6.980,7.505    -6.879,22.14
find  -15.45,15.45  8.030,8.555    -6.879,22.14
find  -15.45,15.45  9.080,9.605    -6.879,22.14
find  -15.45,15.45  10.13,10.655   -6.879,22.14
find  -15.45,15.45  11.18,14.50    -6.879,22.14

```

```

hide  -15.45,15.45  0.000,2.255    -6.879,22.14
hide  -15.45,15.45  2.255 ,2.780   -6.879,22.14
hide  -15.45,15.45  3.305,3.83     -6.879,22.14
hide  -15.45,15.45  4.355,4.88     -6.879,22.14
hide  -15.45,15.45  5.405 ,5.93    -6.879,22.14
hide  -15.45,15.45  6.455,6.98     -6.879,22.14
hide  -15.45,15.45  7.505,8.030    -6.879,22.14
hide  -15.45,15.45  8.555,9.080    -6.879,22.14
hide  -15.45,15.45  9.605,10.13    -6.879,22.14
hide  -15.45,15.45  10.655,11.18   -6.879,22.14
hide  -15.45,15.45  11.18,14.50    -6.879,22.14

```

```

hide  -9.735,9.735  1.10,14.50    -10.10,-8.10
hide  -15.45,15.45  0.000,1.10     -15.45,15.45
hide  -10.38,-3.105  2.255,14.50   -5.329,-3.329
hide  3.105,10.38     2.255,14.50   -5.329,-3.329

```

Jset dip 90.	Dd 180.	Org 0,0,-5.389
Jset dip 90.	Dd 180.	Org 0,0,-4.164
Jset dip 90.	Dd 180.	Org 0,0,-2.939
Jset dip 90.	Dd 180.	Org 0,0,-1.714
Jset dip 90.	Dd 180.	Org 0,0,-0.489
Jset dip 90.	Dd 180.	Org 0,0,0.736
Jset dip 90.	Dd 180.	Org 0,0,1.961
Jset dip 90.	Dd 180.	Org 0,0,3.186
Jset dip 90.	Dd 180.	Org 0,0,4.411
Jset dip 90.	Dd 180.	Org 0,0,5.636
Jset dip 90.	Dd 180.	Org 0,0,6.861
Jset dip 90.	Dd 180.	Org 0,0,8.086
Jset dip 90.	Dd 180.	Org 0,0,9.311
Jset dip 90.	Dd 180.	Org 0,0,10.536
Jset dip 90.	Dd 180.	Org 0,0,11.761
Jset dip 90.	Dd 180.	Org 0,0,12.986
Jset dip 90.	Dd 180.	Org 0,0,14.211
Jset dip 90.	Dd 180.	Org 0,0,15.436
Jset dip 90.	Dd 180.	Org 0,0,16.661
Jset dip 90.	Dd 180.	Org 0,0,17.886
Jset dip 90.	Dd 180.	Org 0,0,19.111
Jset dip 90.	Dd 180.	Org 0,0,20.336
Jset dip 90.	Dd 180.	Org 0,0,21.561

find	-15.45,15.45	0.000,2.255	-6.879,22.14
find	-15.45,15.45	2.255,2.780	-6.879,22.14
find	-15.45,15.45	3.305,3.83	-6.879,22.14
find	-15.45,15.45	4.355,4.88	-6.879,22.14
find	-15.45,15.45	5.405,5.93	-6.879,22.14
find	-15.45,15.45	6.455,6.98	-6.879,22.14
find	-15.45,15.45	7.505,8.030	-6.879,22.14
find	-15.45,15.45	8.555,9.080	-6.879,22.14
find	-15.45,15.45	9.605,10.13	-6.879,22.14
find	-15.45,15.45	10.655,11.18	-6.879,22.14
find	-15.45,15.45	11.18,14.50	-6.879,22.14

find -9.735,9.735 1.10,14.50 -10.10,-8.10

seek

*DTE.1 OK

poly brick -9.125,-7.375 11.18,12.23 -5.329,-4.829

*DTE.2

poly brick -7.375,-3.785 11.18,12.23 -5.329,-4.829

*DTE3.1

poly brick -3.785,3.785 11.18,12.23 -5.329,-4.829

*DTE3.2

poly brick -3.6,2.6 11.18,12.23 -4.829,-4.329

*DTE3.3

poly brick -3.6,3.84 11.18,12.23 -4.329,-3.829

*DTE3.4

poly brick -3.795,3.795 11.18,12.23 -3.829,-3.329

poly brick -3.795,-3.6 11.18,12.23 -4.829,-3.829

poly brick 2.6,3.84 11.18,11.705 -4.829,-4.329

poly brick	2.6, 5.145	11.705, 12.23	-4.829, -4.329
poly brick	3.84, 5.145	11.705, 12.23	-4.329, -3.829
*DTE.4			
poly brick	3.785, 7.565	11.18, 12.23	-5.329, -4.829
*DTE.5			
poly brick	7.565, 10.015	11.18, 12.23	-5.329, -4.829
*18.6			
poly brick	3.795, 5.145	11.18, 11.705	-4.829, -3.829
poly brick	3.795, 5.145	11.18, 11.705	-3.829, -3.329
*18.7-18.9			
poly brick	5.145, 9.59	11.18, 11.705	-4.829, -3.329
*18.1-18.4			
poly brick	-9.59, -3.795	11.18, 11.705	-4.829, -3.329
*19.6			
poly brick	3.795, 5.145	11.705, 12.23	-3.829, -3.329
*19.7			
*poly brick	5.145, 6.495	11.705, 12.23	-4.829, -3.329
*19.8			
*poly brick	6.495, 7.845	11.705, 12.23	-4.829, -3.329
*19.9			
*poly brick	7.845, 9.23	11.705, 12.23	-4.829, -3.329
*19.4			
*poly brick	-3.795, -5.145	11.705, 12.23	-4.829, -3.329
*19.3			
*poly brick	-5.145, -6.495	11.705, 12.23	-4.829, -3.329
*19.2			
*poly brick	-6.495, -7.845	11.705, 12.23	-4.829, -3.329
*19.1			
*poly brick	-7.845, -9.23	11.705, 12.23	-4.829, -3.329
*19.7-19.9			
poly brick	5.145, 9.23	11.705, 12.23	-4.829, -3.329
*19.1-19.4			
poly brick	-9.23, -3.795	11.705, 12.23	-4.829, -3.329
poly brick	9.805, 10.38	11.18, 12.23	-5.329, -2.879
poly brick	9.805, 10.38	11.18, 12.23	-2.879, 0.429
poly brick	9.805, 10.38	11.18, 12.23	0.429, 2.879
poly brick	9.805, 10.38	11.18, 12.23	2.879, 5.546
poly brick	9.23, 9.805	11.18, 12.23	-5.329, -2.879
poly brick	9.23, 9.805	11.18, 12.23	-2.879, 0.429
poly brick	9.23, 9.805	11.18, 12.23	0.429, 2.879
poly brick	9.23, 9.805	11.18, 12.23	2.879, 5.546
poly brick	-10.38, -9.805	11.18, 12.23	-5.329, -2.879
poly brick	-10.38, -9.805	11.18, 12.23	-2.879, 0.429
poly brick	-10.38, -9.805	11.18, 12.23	0.429, 2.879
poly brick	-10.38, -9.805	11.18, 12.23	2.879, 5.546
poly brick	-9.805, -9.23	11.18, 12.23	-5.329, -2.879
poly brick	-9.805, -9.23	11.18, 12.23	-2.879, 0.429

poly brick	-9.805,-9.23	11.18,12.23	0.429,2.879
poly brick	-9.805,-9.23	11.18,12.23	2.879,5.546
poly brick	-5.805,-3.795	11.18,12.23	-3.829,-3.329
poly brick	-3.56,-3.88	11.18,12.23	-4.329,-3.829

find	-9.735,9.735	1.10,14.50	-10.10,-8.10
find	-15.45,15.45	0.000,1.10	-15.45,15.45

tunnel region 100 &
a -12.,2.255,14.721 -12.,2.255 ,22.14 -12.,11.18,22.14 &
-12.,11.18,14.721 b 12.,2.255,14.721 12.,2.255,22.14 &
12.,11.18,22.14 12.,11.18,14.721
de r 100

tunnel region 101 &
a -12.,2.78,14.121 -12.,2.78 ,14.721 -12.,11.18,14.721 &
-12.,11.18,14.121 b 12.,2.78,14.121 12.,2.78,14.721 &
12.,11.18,14.721 12.,11.18,14.121
de r 101

tunnel region 102 &
a -12.,3.305,14.121 -12.,3.305,22.14 -12.,11.18,22.14 &
-12.,11.18,14.121 b 12.,3.305,14.121 12.,3.305,22.14 &
12.,11.18,22.14 12.,11.18,14.121
de r 102

tunnel region 103 &
a -12.,3.83,12.896 -12.,3.83 ,14.121 -12.,11.18,14.121 &
-12.,11.18,12.896 b 12.,3.83,12.896 12.,3.83,14.121 &
12.,11.18,14.121 12.,11.18,12.896
de r 103

tunnel region 104 &
a -12.,4.355,12.271 -12.,4.355,12.896 -12.,11.18,12.896 &
-12.,11.18,12.271 b 12.,4.355,12.271 12.,4.355,12.896 &
12.,11.18,12.896 12.,11.18,12.271
de r 104

tunnel region 105 &
a -12.,4.88,11.671 -12.,4.88,12.271 -12.,11.18,12.271 &
-12.,11.18,11.671 b 12.,4.88,11.671 12.,4.88,12.271 &
12.,11.18,12.271 12.,11.18,11.671
de r 105

tunnel region 106 &
a -12.,5.405,11.046 -12.,5.405,11.671 -12.,11.18,11.671 &
-12.,11.18,11.046 b 12.,5.405,11.046 12.,5.405,11.671 &
12.,11.18,11.671 12.,11.18,11.046
de r 106

tunnel region 107 &
a -12.,5.93,10.446 -12.,5.93,11.046 -12.,11.18,11.046 &
-12.,11.18,10.446 b 12.,5.93,10.446 12.,5.93,11.046 &
12.,11.18,11.046 12.,11.18,10.446
de r 107

tunnel region 108 &
a -12.,6.455,9.821 -12.,6.455,10.446 -12.,11.18,10.446 &
-12.,11.18,9.821 b 12.,6.455,9.821 12.,6.455,10.446 &
12.,11.18,10.446 12.,11.18,9.821
de r 108

tunnel region 109 &
a -12.,6.98,9.221 -12.,6.98,9.821 -12.,11.18,9.821 &
-12.,11.18,9.221 b 12.,6.98,9.221 12.,6.98,9.821 &
12.,11.18,9.821 12.,11.18,9.221
de r 109

tunnel region 110 &
a -12.,7.505,8.926 -12.,7.505,9.221 -12.,11.18,9.221 &
-12.,11.18,8.926 b 12.,7.505,8.926 12.,7.505,9.221 &
12.,11.18,9.221 12.,11.18,8.926
de r 110

tunnel region 111 &
a -12.,8.030,7.996 -12.,8.030,8.926 -12.,11.18,8.926 &
-12.,11.18,7.996 b 12.,8.030,7.996 12.,8.030,8.926 &
12.,11.18,8.926 12.,11.18,7.996
de r 111

tunnel region 112 &
a -12.,8.555,7.371 -12.,8.555,7.996 -12.,11.18,7.996 &
-12.,11.18,7.371 b 12.,8.555,7.371 12.,8.555,7.996 &
12.,11.18,7.996 12.,11.18,7.371
de r 112

tunnel region 113 &
a -12.,9.080,6.771 -12.,9.080,7.371 -12.,11.18,7.371 &
-12.,11.18,6.771 b 12.,9.080,6.771 12.,9.080,7.371 &
12.,11.18,7.371 12.,11.18,6.771
de r 113

tunnel region 114 &
a -12.,9.605,6.146 -12.,9.605,6.771 -12.,11.18,6.771 &
-12.,11.18,6.146 b 12.,9.605,6.146 12.,9.605,6.771 &
12.,11.18,6.771 12.,11.18,6.146

de r 114

tunnel region 115 &
a -12.,10.13,5.546 -12.,10.13,6.146 -12.,11.18,6.146 &
-12.,11.18,5.546 b 12.,10.13,5.546 12.,10.13,6.146 &
12.,11.18,6.146 12.,11.18,5.546
de r 115