



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

### ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ

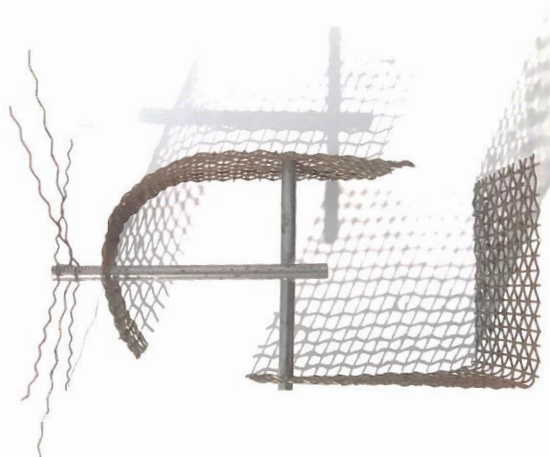
Χώρος σχεδιασμός και δομημένο περιβάλλον

*“Ολοκληρωμένος σχεδιασμός σε ιστορικό δομημένο περιβάλλον με προηγμένες τεχνολογίες και υλικά”*

### Μεταπτυχιακή Διατριβή

Δομική αποκατάσταση και πρόταση επανάχρησης ανεμόμυλου από φέρουσα λιθοδομή

Σελί Αμπέλου – Οροπέδιο Λασιθίου



Νύκταρης Γαβριήλ, Πολιτικός Μηχανικός ΤΕ

Επιβλέπουσα: Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Σταυρουλάκη Μαρία

Χανιά  
Ιανουάριος 2021

## Περιεχόμενα

<b>0.</b>	Πρόλογος	.IV
<b>1.</b>	Εισαγωγή	.01
<b>1.1</b>	Τοποθεσία	.01
<b>1.2</b>	Ιστορική αναδρομή	.02
<b>2.</b>	Υφιστάμενη κατάσταση_παραδοσιακή χρήση	.05
<b>2.1</b>	Γενική περιγραφή συγκροτήματος ανεμόμυλων	.05
<b>2.2</b>	Περιγραφή κατασκευής ανεμόμυλου	.09
<b>2.3</b>	Περιγραφή μηχανισμού άλεσης ανεμόμυλου	.11
<b>2.4</b>	Αρχιτεκτονική αποτύπωση ανεμόμυλου	.16
<b>2.5</b>	Παθολογία ανεμόμυλου	.21
<b>3.</b>	Μελέτη υφιστάμενου λιθόκτιστου τμήματος ανεμόμυλου	.33
<b>3.1</b>	Η μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων	.33
<b>3.2</b>	Περιγραφή διαδικασίας μοντελοποίησης	.34
<b>3.3</b>	Αποτελέσματα ανάλυσης	.39
<b>3.4</b>	Προσομοίωση προτεινόμενης επέμβασης	.55

3.5	Αποτελέσματα ανάλυσης	.57
4.	Πρόταση αποκατάστασης	.70
4.1	Σκεπτικό επέμβασης	.70
4.2	Περιγραφή εργασιών αποκατάστασης	.71
4.3	Περιγραφή μηχανισμού ανεμογεννήτριας	.74
4.4	Σχέδια προτεινόμενης επέμβασης	.77
5.	Συμπεράσματα	.84
6.	Βιβλιογραφικές αναφορές	.85
7.	Παράρτημα αρχιτεκτονικών σχεδίων	.87

## 0. Πρόλογος

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία αφορά την αποκατάσταση και επανάχρηση ενός αλεστικού ανεμόμυλου, από το συγκρότημα 25 ανεμόμυλων που βρίσκονται στο Σελί Αμπέλου στο Οροπέδιο Λασιθίου. Προτείνεται η μετατροπή του σε ανεμογεννήτρια και ταυτόχρονα ως χώρος έκθεσης - ανάδειξης της αρχικής χρήσης του. Πιο συγκεκριμένα, ο μηχανισμός άλεσης αλευριού θα αντικατασταθεί από ένα σύγχρονο μηχανισμό ανεμογεννήτριας, διατηρώντας τα στοιχεία του μηχανισμού που μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν. Σκοπός της συγκεκριμένης επέμβασης είναι η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στο ίδιο το κτίσμα αλλά και στους υπόλοιπους ανεμόμυλους του συγκροτήματος, οι οποίοι ενδεχομένως να έχουν άλλη χρήση. Ο χώρος θα είναι επισκέψιμος ούτως ώστε να αναδείξει την παραδοσιακή χρήση σε αντιπαράθεση με τη σύγχρονη και παράλληλα θα συσσεγάσει όλες τις απαραίτητες εγκαταστάσεις της ανεμογεννήτριας.

Όσον αφορά τη δομική αποκατάσταση, πέραν της επάρκειας της λιθοδομής και της αξιολόγησης της υφιστάμενης κατάστασης, θα μελετηθεί η επίδραση της συνεχούς δυναμικής φόρτισης που προκαλεί ο μηχανισμός του ανεμόμυλου στα σημεία έδρασης με την λιθοδομή. Έτσι, επιχειρείται να βελτιωθεί η σύνδεση μεταξύ αυτών των δύο κατασκευών οι οποίες συνυπάρχουν. Η γεωμετρία του ανεμόμυλου θα συμπληρωθεί με όμοια υλικά ώστε να επανέλθει στην αρχική του κατάσταση, διατηρώντας την αρμονική σχέση του με το περιβάλλον. Επίσης ο μηχανισμός θα κατασκευαστεί σύμφωνα με την μορφή που είχε εξ αρχής, αλλά με σύγχρονα υλικά ούτως ώστε να είναι ευδιάκριτη η λειτουργία του.

Έπειτα γίνεται προσομοίωση με πεπερασμένα στοιχεία, των δύο φορέων ξεχωριστά, αφ' ενός του κτιρίου του ανεμόμυλου και αφ' ετέρου του μηχανισμού του, και στη συνέχεια στατική και δυναμική ανάλυση. Η επίλυση του μηχανισμού, σαν ξεχωριστή κατασκευή, θα βοηθήσει να εξάγουμε συμπεράσματα ως προς το μέγεθος και τη μεταφορά των φορτίων στην τοιχοποιία. Η επίλυση του συνόλου του κτιρίου γίνεται με σκοπό τον έλεγχο στατικής επάρκειας τόσο από την φόρτιση της κατασκευής αυτού του μηχανισμού, όσο και από εξωτερικές φορτίσεις όπως ο σεισμός ή ο άνεμος.

Στόχος η επαναφορά του ανεμόμυλου στην αρχική του μορφή, από άποψη υλικών, προσδίδοντάς του μια χρήση η οποία αποτελεί μετεγγραφή της παραδοσιακής αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας στην σύγχρονη εποχή.



## 0. Abstract

This Diploma Thesis concerns the restoration and reuse of a grinding windmill, from the complex of 25 windmills located in Seli Ampelou on the Lassithi Plateau. It is proposed to convert it into a wind turbine and at the same time as a place of exhibition - highlighting its initial use. More specifically, the flour milling mechanism will be replaced by a modern wind turbine mechanism, retaining the elements of the mechanism that can be reused. The purpose of this intervention is to take advantage of wind energy to supply electricity to the building itself and the other windmills of the complex, which may have other uses. The space will be visitable in order to highlight the traditional use in contrast to the modern one and at the same time it will co-accommodate all the necessary facilities of the wind turbine.

Regarding the structural restoration, in addition to the adequacy of the masonry and the evaluation of the existing condition, the effect of the continuous dynamic load caused by the windmill mechanism at the bearing points with the masonry will be studied. Thus, an attempt is made to improve the connection between these two coexisting structures. The geometry of the windmill will be supplemented with similar materials to return to its original state, maintaining its harmonious relationship with the environment. Also, the mechanism will be manufactured according to the form it had from the beginning, but with modern materials so that its operation is distinct.

Then the finite elements are simulated, of the two bodies separately, on the one hand of the windmill building and on the other hand of its mechanism, and then static and dynamic analysis. Solving the mechanism, as a separate construction, will help to draw conclusions about the size and transport of loads on the masonry. The solution of the whole

building is done in order to check the static adequacy both from the load of the construction of this mechanism, as well as from external loads such as the earthquake or the wind.

The aim is to restore the windmill to its original form, in terms of materials, giving it a use which is a transfer of the traditional utilization of wind energy in modern times.

## Ευχαριστίες

Ευχαριστώ το δήμαρχο Οροπεδίου Λασιθίου Γιάννη Στεφανάκη, το μηχανολόγο-μηχανικό Γιώργο Χατζάκη, τον αρχιτέκτονα Γιώργο Πετράκη και τον τοπογράφο Κώστα Κωστάκη για το υλικό και τις πληροφορίες που μου διέθεσαν απλόχερα.

Την Ειρήνη, την Θεοδώρα, τον Βαγγέλη, τον Γιώργο, τον Νικηφόρο και τον Στέλιο για την πολύτιμη βοήθεια και υποστήριξη όλων αυτών το καιρό.

Την επιβλέπουσα καθηγήτρια Μαρία Σταυρουλάκη, τον καθηγητή Νίκο Σκουτέλη καθώς και τον καθηγητή Κωνσταντίνο Προβιδάκη.

## 1. Εισαγωγή

### 1.1 Τοποθεσία

Το συγκρότημα των 25 ανεμόμυλων το συναντάμε στην βόρεια είσοδο του οροπεδίου Λασιθίου και συγκεκριμένα στην περιοχή Σελί Αμπέλου. Πρόκειται για την κορυφογραμμή βορειοδυτικά του οροπεδίου, σε υψόμετρο 900 περίπου μέτρων, όπου επικρατούν ισχυροί βορειοδυτικοί άνεμοι και το καθιστούν το πλέον κατάλληλο μέρος για την τοποθέτησή τους. Είναι πλήρως εναρμονισμένοι στο ανάγλυφο και από άποψη υλικού αλλά και κλίμακας. Αρκετά κοντά με τις καλλιέργειες διευκόλυνε την μεταφορά των σιτηρών προς άλεση. Η οδός που οδηγεί, σήμερα, προς το οροπέδιο χωρίζει το συγκρότημα σε δύο τμήματα, στο μεν βόρειο με 18 ανεμόμυλους και στο δε νότιο με τους υπόλοιπους 7 (Εικόνα 1).

Ο ανεμόμυλος που θα αποτελέσει αντικείμενο μελέτης βρίσκεται στο βόρειο τμήμα και είναι ο έβδομος κατά σειρά προς το βορρά. Η πρόσβαση σε αυτόν πραγματοποιείται μέσω μιας ανοδικής πορείας μονοπατιού καθορισμένη από το ανάγλυφο.



1. Θέση Συγκροτήματος Ανεμόμυλων στο Σελί Αμπέλου Οροπεδίου Λασιθίου. (Google Earth)



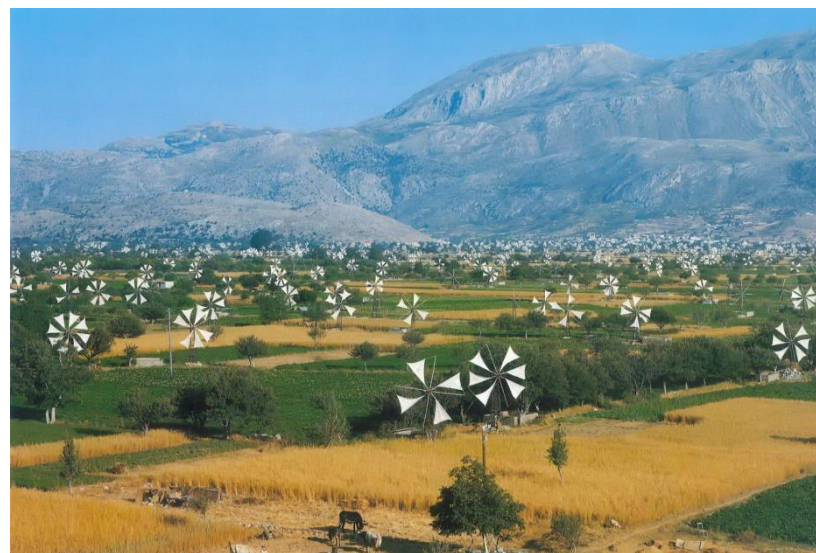
## 1.2 Ιστορική αναδρομή

Οι μύλοι κατασκευάστηκαν από τον άνθρωπο με σκοπό την άλεση των σιτηρών εκμεταλλευόμενοι την ενέργεια του ανέμου είτε του ύδατος. Αποτελούν συνέχεια μικρών οικιακών χειρόμυλων για χονδρό άλεσμα του καρπού. Αναφέρεται ότι υπήρχαν στην Κρήτη από την πρώτη περίοδο της ενετοκρατίας. Μεγαλύτερη συγκέντρωση ανεμόμυλων παρατηρείται, εκείνη την περίοδο, στις Περιοχές “Μαρουλά” και “Κατσαμπά” ανατολικά της πόλης του Χάνδακα (σημερινό Ηράκλειο). Ενώ στην περιοχή του “Αλμυρού” υπήρχαν νερόμυλοι οι οποίοι λειτουργούσαν συνδυαστικά με τους παραπάνω, παρέχοντας τις απαραίτητες ποσότητες αλευριού για τον “Χάνδακα”. Όπως επισημαίνει η Χρυσούλα Τζομπανάκη στο σύγγραμμά της *“Η Αρχιτεκτονική στην Κρήτη: Η περίοδος των νεώτερων χρόνων”* σε αναπαραστάσεις του Francesco Basilicata, *“το Βασίλειο της Κρήτης [The realm of Crete]”* του 1618 διακρίνονται συγκεντρώσεις ανεμόμυλων στις προαναφερθείσες περιοχές (Εικόνα 3).

Αργότερα, υπό τον φόβο της πολιορκίας, προχώρησαν στην κατασκευή ανεμόμυλων εντός των τειχών, φαινόμενο που παρατηρείται σε όλα τα φρούρια της Κρήτης. Στην περιοχή του οροπεδίου Λασιθίου αρχίζουν ήδη να εμφανίζονται οι πρώτοι ανεμόμυλοι την ίδια περίπου περίοδο. Στα τέλη του 19<sup>ου</sup> αιώνα συγκροτούνται αξιόλογα μυλοτόπια στις περιοχές “Ζάρωμα”, “Ασφεντάμι”, “Κατακαλού” και στο “Σελί Αμπέλου” που αποτελεί μέχρι και σήμερα το μεγαλύτερο μυλοτόπι της Κρήτης.<sup>1</sup>

Την εικόνα του μεγάλου Αιολικού πάρκου, ένα από τα πρώτα της Ευρώπης, έρχεται να ολοκληρώσει πληθώρα αντλιτικών ανεμόμυλων στο

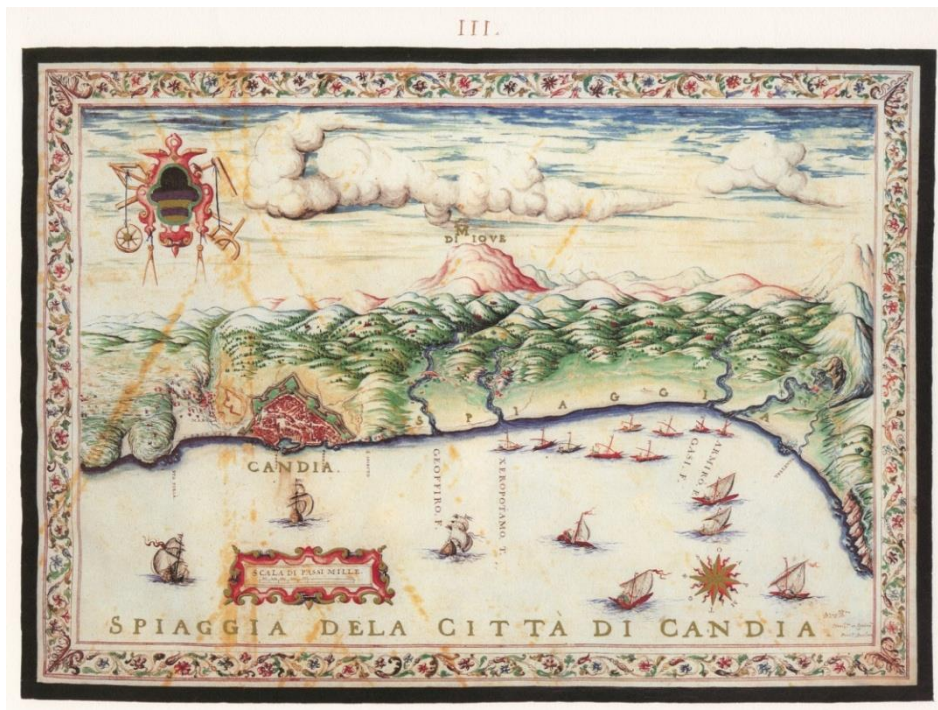
νότιο τμήμα του οροπεδίου (Εικόνα 2). Η κατασκευή τους απορρέει από την ανάγκη άρδευσης νέων καλλιεργειών, κυρίως γεώμηλων, που απαιτούν μεγαλύτερες ποσότητες νερού. Ο μηχανισμός έμοιαζε με τους αλευρόμυλους καινοτομώντας στον τρόπο με τον οποίο διαχειρίζεται τον άνεμο για διαφορετικό σκοπό. Η εφεύρεση αυτή διευκόλυνε την άντληση νερού αυξάνοντας την παραγωγή.



2. Οροπέδιο Λασιθίου την δεκαετία του 1950 (Πηγή: Φωτογραφία Βασίλη Δρόσου)

<sup>1</sup> Χρυσούλα Τζομπανάκη, *Η Αρχιτεκτονική στην Κρήτη: Η περίοδος των νεώτερων χρόνων*, Τόμος Α2, Εκδόσεις Χρυσούλα Τζομπανάκη, 2007, σελ.132, 156





3. Το Βασίλειο της Κρήτης [The realm of Crete] -Francesco Basilicata, 1618. (κάτω αριστερά)  
 Λεπτομέρεια όπου διακρίνεται η παρουσία ανεμόμυλων.  
 (δεξιά) (Πηγή <http://www.laskaridisfoundation.org/en/>)

Στο Σελί Αμπέλου, λοιπόν, υπήρχαν 26 ανεμόμυλοι, λιθόκτιστοι, αλεστικού τύπου, μέχρι την δεκαετία του 1930, όπου και κατεδαφίστηκε ένας για τις ανάγκες διάνοιξης της επαρχιακής οδού που συνδέει το Λασίθι με το Ηράκλειο. Από αυτούς που απέμειναν μόνο ένας ήταν κυλινδρικός, με δυνατότητα περιστροφής ανάλογα την φορά του ανέμου, ενώ οι υπόλοιποι ήταν πεταλοειδούς κάτοψης, μονόκαιροι, δηλαδή η φτερωτή τους ήταν σταθερή σε μια κατεύθυνση. Οι καλλιέργειες καθώς και τα αλώνια, για την συγκομιδή του καρπού, ήταν σε πολύ μικρή απόσταση, από τους μύλους. Η διαδικασία παρουσιάζεται με πολύ περιγραφικό τρόπο σε φιλμ του 1935 (Εικόνα 4). Η λειτουργία τους συνεχίστηκε μέχρι την δεκαετία του 1960, όπου και άρχισε να εκλείπει η χρήση τους, ως και την πλήρη εγκατάλειψη τους. Σε αυτό συνέβαλλε η χρήση σύγχρονων μηχανών φέρνοντας το τέλος του παραδοσιακού τρόπου άλεσης. Η παρουσία τους όμως ήταν χαρακτηριστικό της περιοχής και δεν μπορούσε να μείνει απαρατήρητη. Έπειτα από τότε, την δεκαετία του 1980, ξεκίνησε η συντήρηση κάποιων εκ των 25 που απέμειναν, για τουριστικούς σκοπούς, από ιδιώτες.



4. Η διαδικασία παραγωγής αλευριού στο Σελί Αμπέλου 1935 ( Πηγή: Στιγμιότυπα από την ταινία του 1935 με τίτλο "En Crète sans les dieux" των René Zuber και Roger Leenhardt)





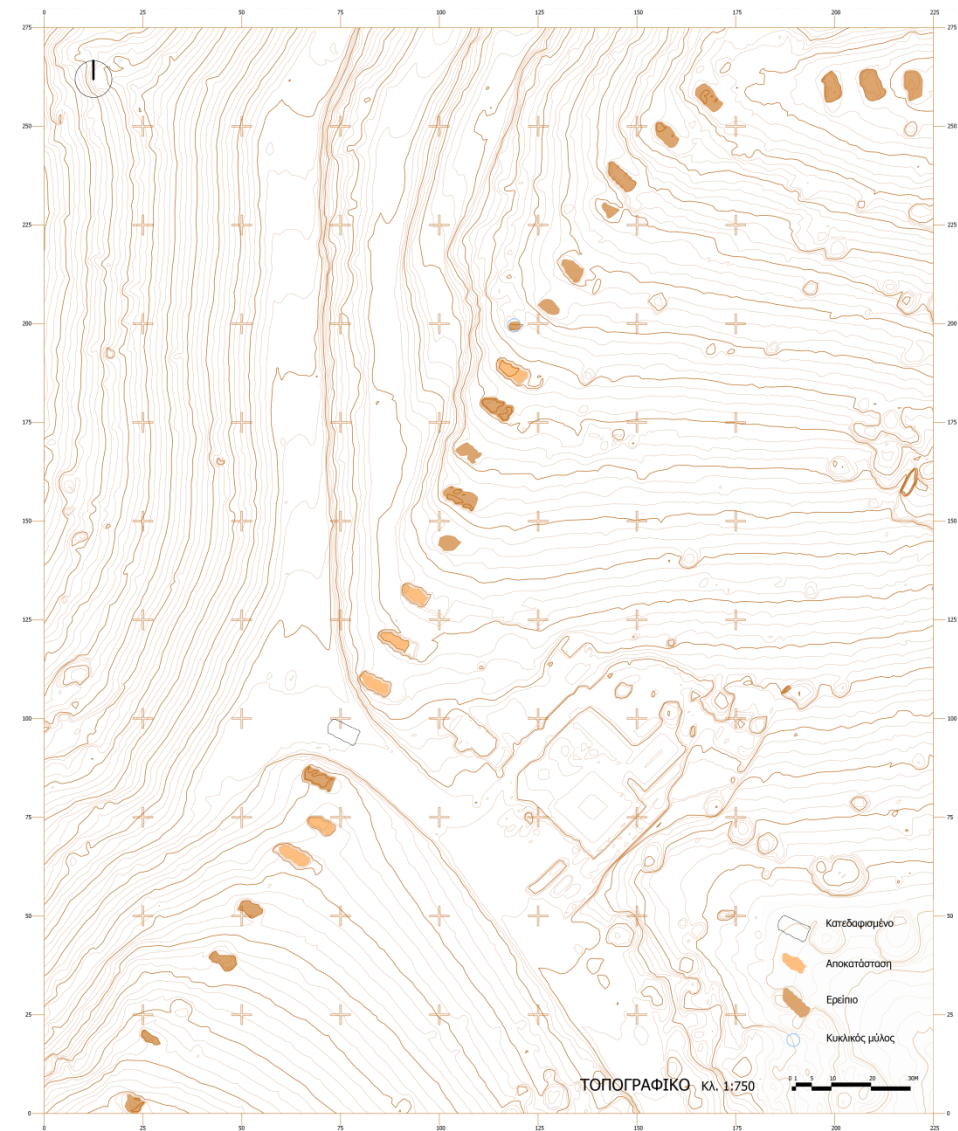
## 2. Υφιστάμενη κατάσταση\_παραδοσιακή χρήση

### 2.1 Γενική περιγραφή συγκροτήματος ανεμόμυλων

Σήμερα διασώζονται 25 ανεμόμυλοι, μονόκαιροι, στους 6 εξ αυτών έχει αποκατασταθεί, πρόσφατα, ολόκληρη η γεωμετρία τους με τους μισούς να είναι σε λειτουργία και ο μηχανισμός τους (Εικόνα 7,8). Πέραν της αποκατάστασης, η οποία είναι σημαντική για την διατήρηση τους, δεν έχει γίνει κάποια προσπάθεια ανάδειξης. Οι υπόλοιποι βρίσκονται σε κακή κατάσταση χρήζοντας άμεση ανάγκη εργασιών συντήρησης (Εικόνα 6,7). Σε διαφορετικά στάδια κατάρρευσης, από ίχνη της βάσης τους έως ολόκληρου λιθόκτιστου μέρους με απώλεια στέγασης. Ολόκληρο το συγκρότημα είναι επισκέψιμο με σκοπό την ενημέρωση και την προβολή του παραδοσιακού τρόπου άλεσης των σιτηρών, παρόλα αυτά χωρίς κάποια διαμόρφωση προς διευκόλυνση της πρόσβασης σε αυτούς. Στο διπλανό διάγραμμα φαίνονται η ακριβής θέση, η κατάσταση και η χρήση κάθε μύλου του συγκροτήματος (Εικόνα 5).

Όσον αφορά το ιδιοκτησιακό καθεστώς, οι ανεμόμυλοι αποτελούν ιδιωτικές ιδιοκτησίες, ενώ πρόσφατα, το 2020, το σύνολο των ανεμόμυλων του οροπεδίου εντάχθηκε στον εθνικό κατάλογο άυλης πολιτιστικής κληρονομιάς.

**5. Τοπογραφικό Διάγραμμα (Βαθμός συντήρησης ανεμόμυλων) συγκροτήματος ανεμόμυλων στο Σελί Αμπέλου (Πηγή υπόβαθρου: Δήμος Οροπεδίου Λασιθίου.)**





6. Κατεστραμένοι ανεμόμυλοι, με τα εναπομείναντα τμήματα μηχανισμού και της στέγης. (αριστερά) Ανεμόμυλοι μεγαλύτερου βαθμού καταστροφής. (δεξιά) Σελί Αμπέλου Λασιθίου (Φωτογραφία 2019)





7. Βόρειο τμήμα του συγκροτήματος, Σελί  
Αμπέλου (Φωτογραφία 2019)

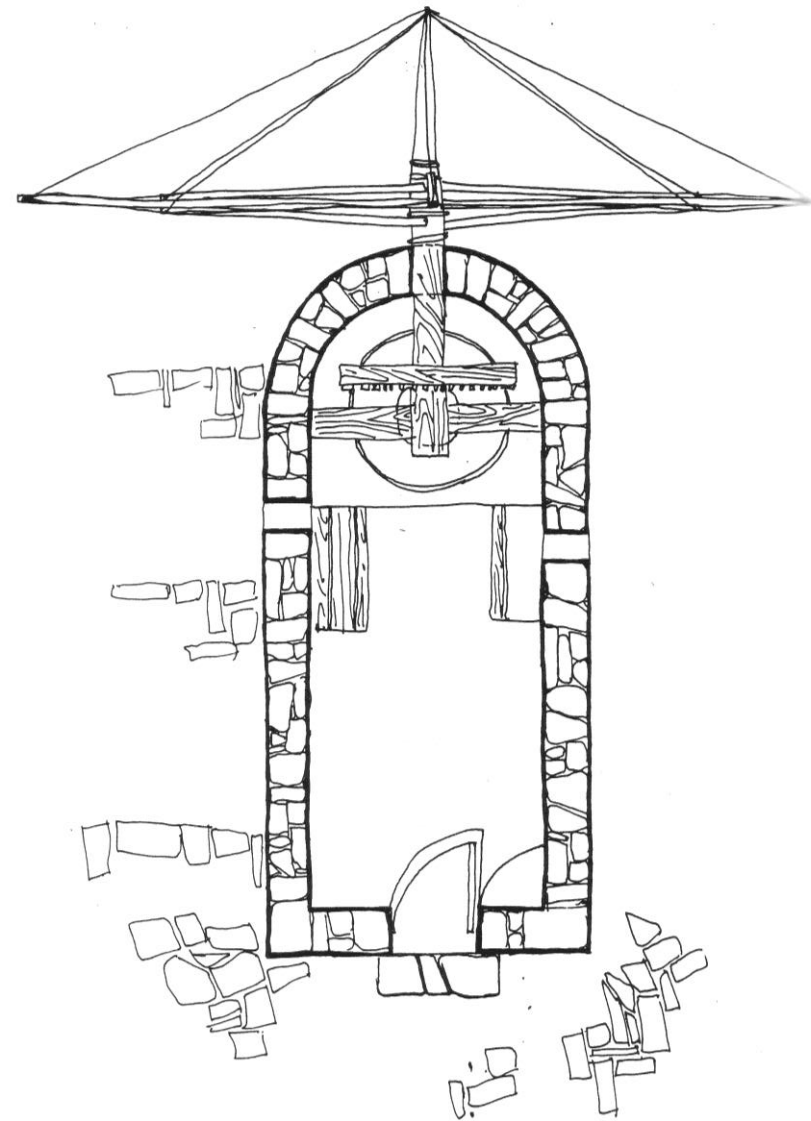


8. Απεκατεστημένος ανεμόμυλος με επανακατασκευή φτερωτής, Σελί Αμπέλου Λασιθίου. (αριστερά)  
Επανακατασκευή αλεστικού μηχανισμού, Σελί Αμπέλου Λασιθίου. (κέντρο)  
Συντήρηση ανεμόμυλου, Σελί Αμπέλου Λασιθίου. (δεξιά) (Φωτογραφία 2019)

## 2.2 Περιγραφή κατασκευής ανεμόμυλου

Η κατασκευή των ανεμόμυλων στην περιοχή μελέτης δεν εμφάνιζε αρκετές διαφορές. Επρόκειτο για πεταλοειδούς σχήματος κάτοψη, συνολικού μήκους 6.50 – 8.00 μέτρα, πλάτους περί τα 3.50 μέτρα και λιθοδομή πλάτους 0.60 – 1.00 μέτρα.<sup>2</sup> Στο ημικυκλικό τμήμα ήταν εγκατεστημένος ο αλεστικός μηχανισμός, απέναντι υπήρχε η θύρα, ενώ στους διαμήκεις τοίχους δημιουργούνταν μικρά ανοίγματα (Εικόνα 9,10). Το υλικό δόμησης του λιθοκτιστού τμήματος ήταν τοπικός ασβεστόλιθος με συνδετικό κονίαμα από χώμα. Για την σύνδεση των εγκάρσιων τοιχοποιιών χρησιμοποιούνταν μεγαλύτερων διαστάσεων λίθοι, τα υπόλοιπα τμήματα πληρωνόταν με μικρότερους αργούς λίθους και τα κενά μεταξύ τους σφραγίζονταν με ακόμα μικρότερους λίθους. Η λιθοδομή σοβαντίζονταν εσωτερικά με λάσπη από χώμα και άχυρα, ενώ εξωτερικά αρμολογούνταν με το ίδιο υλικό. Σε κάποιες περιπτώσεις σοβαντίζονταν εξ ολοκλήρου με λάσπη από ασβέστη και άμμο. Η γεφύρωση του ανοίγματος της θύρας, που ήταν συνήθως 0.70 - 1.00 μέτρα, επιτυγχάνονταν με ένα μεγάλο λίθο ή με ξύλο.

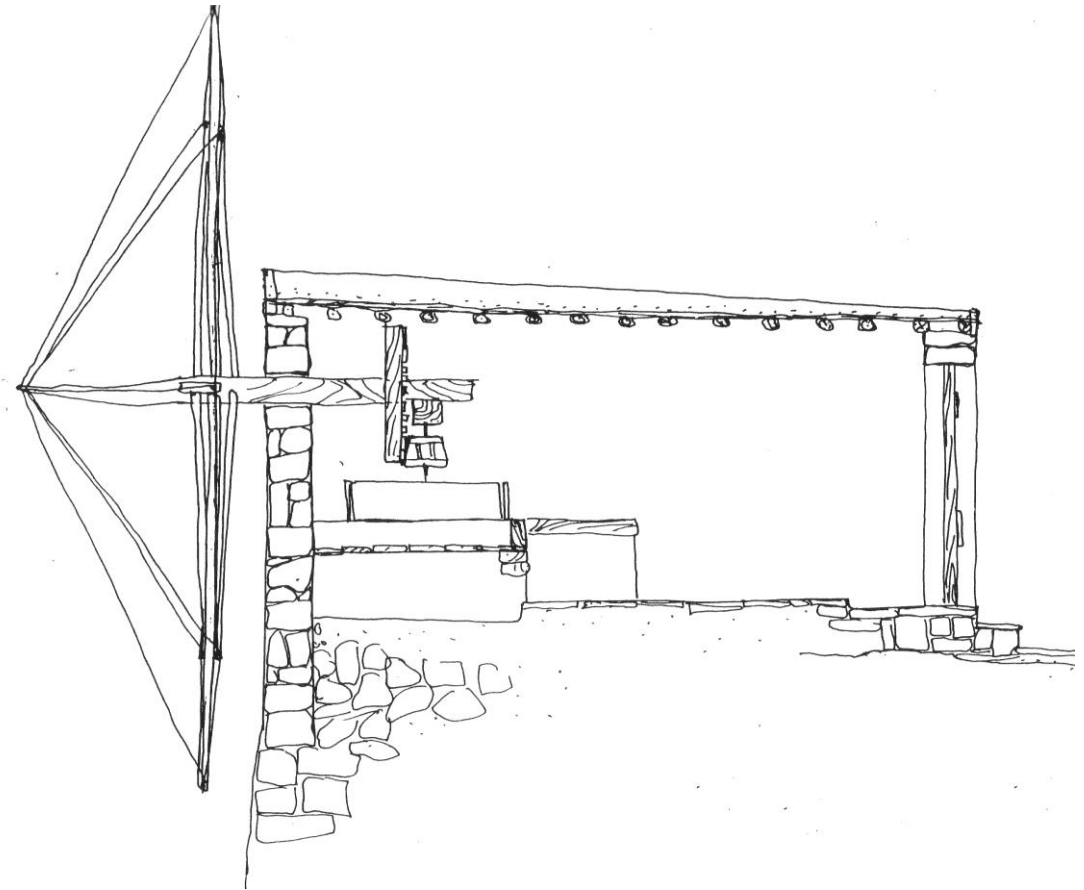
9. Σκαρίφημα Κάτοψης τυπικού ανεμόμυλου στο Σελί Αμπέλου. (Πηγή: Παπαντώνης Δημήτριος, "Διερεύνηση τρόπων αποκατάστασης αλεστικών ανεμόμυλων στη θέση Άμπελος Οροπεδίου Λασιθίου", ΕΜΠ Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Αθήνα 1995)



<sup>2</sup> Παπαντώνης Δημήτριος, Διερεύνηση τρόπων αποκατάστασης αλεστικών ανεμόμυλων στη θέση Άμπελος Οροπεδίου Λασιθίου, ΕΜΠ Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Αθήνα 1995, σελ.2-6



Η στέγαση γινόταν με την χρήση κεκλιμένου δώματος, με το υψηλότερο τμήμα προς την πλευρά του μηχανισμού και το χαμηλότερο προς την θύρα εισόδου. Η στέγη αποτελούνταν από ξύλινα δοκάρια, κυπαρισσιού, πάνω στα οποία τοποθετούνταν ξύλινες σανίδες και σαν τελική επίστρωση λάσπη από χώμα (Εικόνα 11). Η κλίση της στέγης διευκόλυνε την απορροή των υδάτων της βροχής εξασφαλίζοντας καλύτερη υγρομονωτική προστασία. Για την ευκολότερη πρόσβαση στη στέγη, με σκοπό την συντήρηση της, άφηναν κάποιες οπές στην τοιχοποιία ή προεξέχοντες λίθους εν είδει σκαλοπατιών.



10. Εναπομείναντα τμήματα στέγης / δομή τοιχοποιίας ανεμόμυλου στο Σελί Αμπέλου. (Φωτογραφία 2019)

11. Σκαρίφημα Τομής τυπικού ανεμόμυλου στο Σελί Αμπέλου. (Πηγή: Παπαντώνης Δημήτριος, "Διερεύνηση τρόπων αποκατάστασης αλεστικών ανεμόμυλων στη θέση Άμπελος Οροπεδίου Λασιθίου", ΕΜΠ Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Αθήνα 1995)

### 2.3 Περιγραφή μηχανισμού ανεμόμυλου

Ο παραδοσιακός μηχανισμός για την άλεση των σιτηρών ήταν στην πλειονότητα του από ξύλο, διαφορετικής σκληρότητας ανάλογα με τα φορτία και τις καταπονήσεις που δεχόταν. Από πέτρα κατάλληλης αντοχής ήταν το τμήμα εκείνο όπου αλέθονταν οι καρποί του σιταριού, ενώ υπήρχαν και ελάχιστα μεταλλικά εξαρτήματα. Διακρίνεται σε δύο κατηγορίες, τον κινητικό και τον αλεστικό μηχανισμό. Ο κινητικός παραλαμβάνει την ενέργεια του ανέμου, την πολλαπλασιάζει και την μεταφέρει στον αλεστικό μηχανισμό, ο οποίος με την σειρά του αναλαμβάνει την άλεση και παραγωγή του αλευριού.

Ξεκινώντας από τον **κινητικό μηχανισμό**,<sup>3</sup> εκτός του λιθόκτιστου τμήματος συναντάμε την φτερωτή, η οποία παίρνει πρώτη την σκυτάλη στη διαδικασία μετατροπής της ενέργειας του ανέμου σε μηχανική. Η **φτερωτή** ή “αντενωσιά”, αποτελούνταν από τις “αντένες”, κάποια δοκάρια διατομής 0.07 μέτρα και μήκος 4.50 – 5.50 μέτρα, τα οποία πακτώνονταν στο αξόνι, μέσα σε οπές που δημιουργούσαν σε αυτό. Τα δοκάρια αυτά είχαν απόσταση από την λιθοδομή 0.40 μέτρα και από το έδαφος περίπου 0.50 μέτρα. Δένονταν μεταξύ τους με σχοινί δημιουργώντας ένα κύκλο, καθώς επίσης και η κάθε “αντένα” σε ένα επίμηκες δοκάρι, επέκταση του αξονίου, μήκους 3.00 μέτρων. Τέλος κάθε “αντένα” έφερε χειροποίητο βαμβακερό ιστίο, τριγωνικού σχήματος, η μία πλευρά του καρφώνονταν πάνω στο δοκάρι, με το ελεύθερο άκρο ραμμένο με λεπτό σχοινί για περισσότερη αντοχή στον άνεμο (Εικόνα 12).



12. Φτερωτή ή “αντενωσιά” σε αποκατεστημένο ανεμόμυλο στο Σελί Αυπέλου. (Φωτονοαφία 2019)

<sup>3</sup> Χρυσούλα Τζομπανάκη, ο.π., σελ. 103-109

Όλη η κατασκευή της φτερωτής στηρίζονταν πάνω στο **αξόνι**, το οποίο περνούσε από το κέντρο της και κάθετα στο επίπεδο που όριζε. Το αξόνι είχε συνολικό μήκος περίπου 7.00 μέτρα πάχους 0.35 – 0.40 μέτρα. Στερεωνόταν στο μικρό άνοιγμα στο πάνω μέρος του καμπύλου τμήματος της λιθοδομής και εσωτερικά σε μια εγκάρσια δοκό, το **τραβάτουλο** ή αντίξονα, όπου στα σημεία επαφής υπήρχαν ειδικά διαμορφωμένες κοιλότητες, για την βέλτιστη περιστροφή του άξονα. Για ακόμα καλύτερη απόδοση τα σημεία αυτά λιπαίνονταν ανά διαστήματα με σαπουνόνερο. Τέλος το αξόνι έφερε στο μέσον του την ρόδα ένα τροχό παράλληλο με αυτόν της φτερωτής.

Η **ρόδα** κατασκευάζονταν από ξύλο πλάτανου, ήταν διαμέτρου 2.00 μέτρα περίπου, όπου στο κέντρο της είχε τετραγωνική οπή για την τοποθέτηση της στο αξόνι. Στην επιφάνεια της, κοντά στην περίμετρο, τοποθετούνταν τα “δόδια”, μικρά ξύλινα κομμάτια (συνήθως 40 ή 42), τα οποία συμπλέκονταν με ένα οριζόντια περιστρεφόμενο εξάρτημα, την “ανέμη”. Άρα με αυτό το συνδυασμό μεταφέρονταν η περιστροφή σε άλλη διεύθυνση, η επιθυμητή για την περιστροφή της μυλόπετρας (Εικόνα 13,14).

Η “**ανέμη**” ή “φανάρι” ήταν κυλινδρικού σχήματος, διαμέτρου 0.45 μέτρα και ύψους 0.35 μέτρα. Στο μέσον η διατομή ήταν μικρότερη για την τοποθέτηση κατακόρυφων κομματιών ξύλου (7 ή 8), ενώ στο πάνω και κάτω μέρος περισφίγγονταν με μεταλλικά τσέρκια. Η στήριξη της επιτυγχάνονταν με μεταλλικό κατακόρυφο άξονα, τον “μοχλό”, ο οποίος με την σειρά του στηρίζονταν στο άνω μέρος του στο τραβάτουλο και στο κάτω, με την βοήθεια ενός μεταλλικού συνδέσμου, στην κάτω παρειά της “ανώπετρας”.



13. Ρόδα σε αποκατεστημένο ανεμόμυλο στο Σελί Αμπέλου. (Φωτογραφία 2019)



14. Αυθεντικό τμήμα ρόδας σε ανεμόμυλο στο Σελί Αμπέλου. (Φωτογραφία 2019)



Προχωρώντας στον **αλεστικό μηχανισμό**, συναντάμε το σύστημα των **μυλόπετρων** που αποτελείτε από την “κατώπετρα” και την “ανώπετρα”. Η διάμετρος τους έφτανε τα 2.00 μέτρα με πάχος 0.40 μέτρα, δεν ήταν όμως ένα κομμάτι, αλλά αποτελούνταν από αρκετά κομμάτια περισφιγμένα με μεταλλικούς συνδέσμους. Η ποιότητα του λίθου έπρεπε να είναι άριστη από σκληρό και ανθεκτικό πέτρωμα. Επειδή όμως ήταν ακριβά αυτά τα πετρώματα χρησιμοποιούσαν και κομμάτια λιγότερα ανθεκτικά. Οι δύο μυλόπετρες ήταν τοποθετημένες η μια πάνω στην άλλη, εντός ενός ξύλινου κιβωτίου, πάνω σε υπερυψωμένο επίπεδο, υπολογισμένο να αντέχει όλο το βάρος τους. Η πάνω μυλόπετρα περιστρέφονταν, και συγκεκριμένα 5 – 8 φορές σε μία περιστροφή της φτερωτής, ενώ η κάτω παρέμενε σταθερή. Το επίπεδο που έφερε τις μυλόπετρες είχε κατασκευή όμοια με αυτή ξύλινου δαπέδου, πάνω στο οποίο χτίζονταν με πέτρα κυκλική επιφάνεια, 0.20 μέτρα μεγαλύτερη της μυλόπετρας και είχε πάχος 0.15 – 0.40 μέτρα. Έτσι δημιουργούνταν μια σταθερή οριζόντια επιφάνεια για να υποδεχτεί την υπερκείμενη κατασκευή.

Οι μυλόπετρες τροφοδοτούνταν με καρπό από την “κοφινίδα” και τον “ταϊστή”. Η “**κοφινίδα**” ήταν μία χοάνη με την μορφή ανεστραμμένης πυραμίδας, 0.50 επί 0.50 μέτρα στο πάνω μέρος, με ύψος περίπου 0.65 μέτρα, η οποία παραλάμβανε αρκετή ποσότητα καρπού. Ο καρπός έρρεε αργά στον “**ταϊστή**”, μία ξύλινη σέσουλα μήκους 0.75 μέτρα, όπου τον οδηγούσε στην οπή, στο κέντρο της μυλόπετρας, ώστε να αλεσθεί<sup>4</sup> (Εικόνα 15).



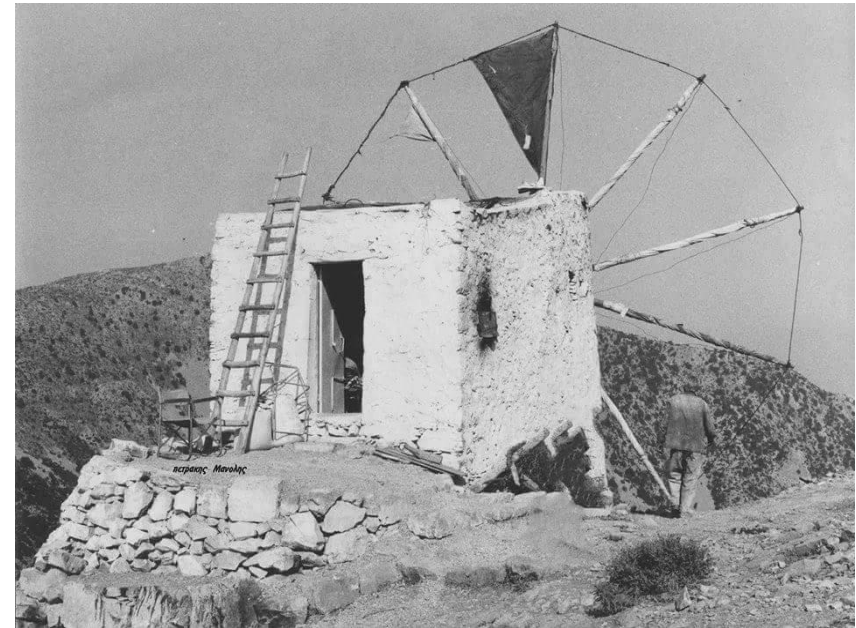
15. Αλεστικός μηχανισμός (κοφινίδα, ταϊστής, μυλόπετρες) σε αποκατεστημένο ανεμόμυλο στο Σελί Αμπέλου. (Φωτογραφία 2019)

<sup>4</sup> Χρυσούλα Τζομπανάκη, ο.π., σελ. 110-112

Αυτά είναι τα κυριότερα στοιχεία του μηχανισμού, όμως υπάρχουν και άλλα μικρότερα εξαρτήματα, για την σύνδεση όσων περιγράφονται παραπάνω. Επίσης υπήρχαν και άλλα συστήματα για την πέδηση του μηχανισμού, για την ρύθμιση του πάχους άλεσης του καρπού και την συλλογή του αλευριού.

Παρακάτω παρατίθενται σχέδια του αλεστικού μηχανισμού με την μορφή και τις παραδοσιακές ονομασίες όλων των εξαρτημάτων (Εικόνα 17). Τα σχέδια προέρχονται από την αρχιτεκτονική μελέτη αποκατάστασης ανεμόμυλου στο Σελί Αμπέλου που πραγματοποιήθηκε το 2012 από τους Αρχιτέκτονες Πετράκη Γιώργη και Ανδρονίκη Εμμ. Ιωαννίδου. Μεταξύ άλλων εργασιών συντήρησης και αποκατάστασης, έγινε ανακατασκευή του παραδοσιακού μηχανισμού, ο οποίος είναι σε λειτουργία.

Ανακεφαλαιώνοντας την περιγραφή του ανεμόμυλου, συμπεραίνουμε ότι κάθε στοιχείο δεν ήταν τυχαίο. Το κτίσμα εξυπηρετούσε την ανάγκη του μυλωνά για να εργαστεί και παράλληλα προστάτευε τον μηχανισμό από την βροχή και τον άνεμο. Η λιθοδομή δε, είχε τέτοια μορφή ούτως ώστε να τοποθετείτε ο μηχανισμός και να στηρίζεται, μεταφέροντας τα φορτία στο έδαφος. Τα στοιχεία του μηχανισμού ήταν αυτά ακριβώς που απαιτούνταν για την λειτουργία του, με το σχήμα το υλικό ακόμα και την ονομασία τους να έχουν ιδιαίτερη σημασία.



16. Ανεμόμυλος στο Σελί Αμπέλου σε λειτουργία, 1970.  
(Πηγή: <https://diktaios.blogspot.com>)



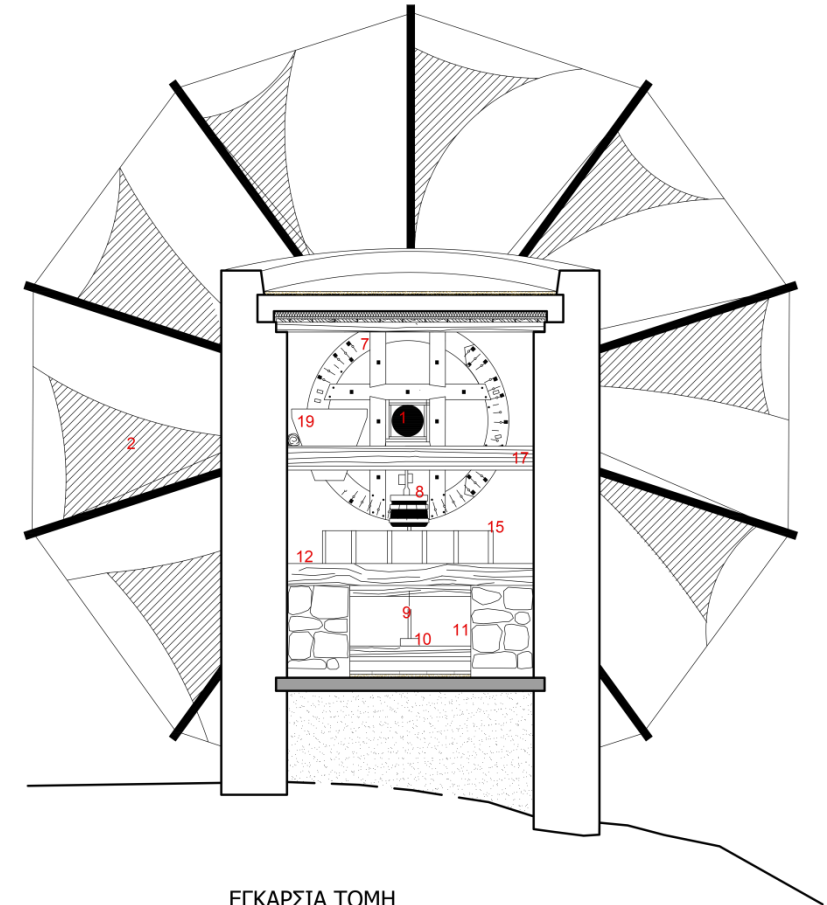
## ΥΠΟΜΝΗΜΑ

1. Αξόνι
2. Φτερό
3. Ξαρτόξυλο
4. Ξάρτι
5. Φουγάρο
6. Μποστίτσο
7. Ρόδα
8. Φανάρι
9. Μοχλός
10. Κατωτράπεζα
11. Ζουργιό
12. Μυλοθεσία
13. Ανώπετρα
14. Κατώπετρα
15. Κουβέρτα
16. Αλεσά
17. Τραβάτουλο
18. Φαναροτράπεζα
19. Κοφινίδα

17. Παραδοσιακός Μηχανισμός  
"μονόκαιρου" ανεμόμυλου. (Πηγή: Πετράκης  
Γιώργης (Αρχιτέκτων Μηχανικός), Ανδρονίκη  
Εμμ. Ιωαννίδου (Αρχιτέκτων Μηχανικός  
ΕΜΠ), Αρχιτεκτονική Μελέτη  
Αποκατάστασης στο Σελί Αμπέλου,  
Χρονολογία μελέτης Απρίλιος 2012)

## ΔΙΑΜΗΚΗΣ ΤΟΜΗ

Κλ. 1:20 0 0.5 1 2M



## ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΤΟΜΗ

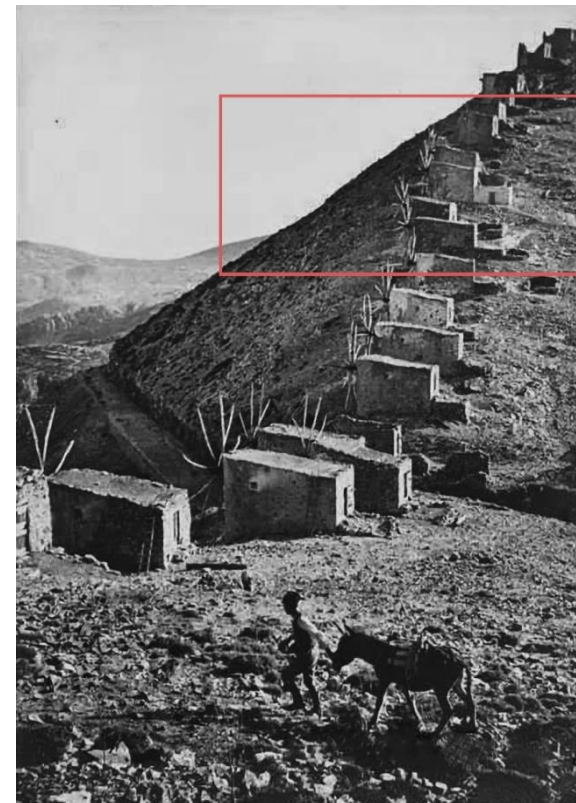
Κλ. 1:20 0 0.5 1 2M

## 2.4 Αρχιτεκτονική αποτύπωση ανεμόμυλου

Ο ανεμόμυλος που θα αποτελέσει αντικείμενο μελέτης βρίσκεται στο βόρειο τμήμα και είναι ο έβδομος κατά σειρά προς το βορρά. Στον περιβάλλοντα χώρο, σε επαφή με τον ανεμόμυλο, από την πλευρά της εισόδου, ήταν κατασκευασμένη αποθήκη. Υπόσκαφο κτίσμα, με την βορειοανατολική του πλευρά εντός του εδάφους και είσοδο από την νοτιοδυτική όψη. Την ύπαρξη του χώρου, προδίδει η επιμελημένη δομή της εναπομένουσας λιθοδομής και η μεγάλη υψομετρική διαφορά με την στάθμη του μύλου. Αποτυπώνεται σε φωτογραφικό στιγμιότυπο του 1955, όπου διακρίνεται η γεωμετρία του, καθώς και η θύρα εισόδου (Εικόνα 18). Ίσως χρησίμευε σαν χώρος αποθήκευσης είτε σαν προσωπικός χώρος διαμονής του μυλωνά.



Το ύψος του υπολογίζεται στα 2.50 μ. με επίπεδο δώμα, το οποίο λειτουργούσε σαν αύλειος χώρος, διαμορφώνοντας την είσοδο του μύλου. Το δώμα έχει καταρρεύσει, με την πάροδο του χρόνου, η λιθοδομή είναι σε καλή κατάσταση διατηρώντας ένα μέσο όρο ύψους 1.50 μ. Το τμήμα που είναι σε επαφή με το έδαφος δεν έχει εμφανίσει κάποια έντονη βλάβη.



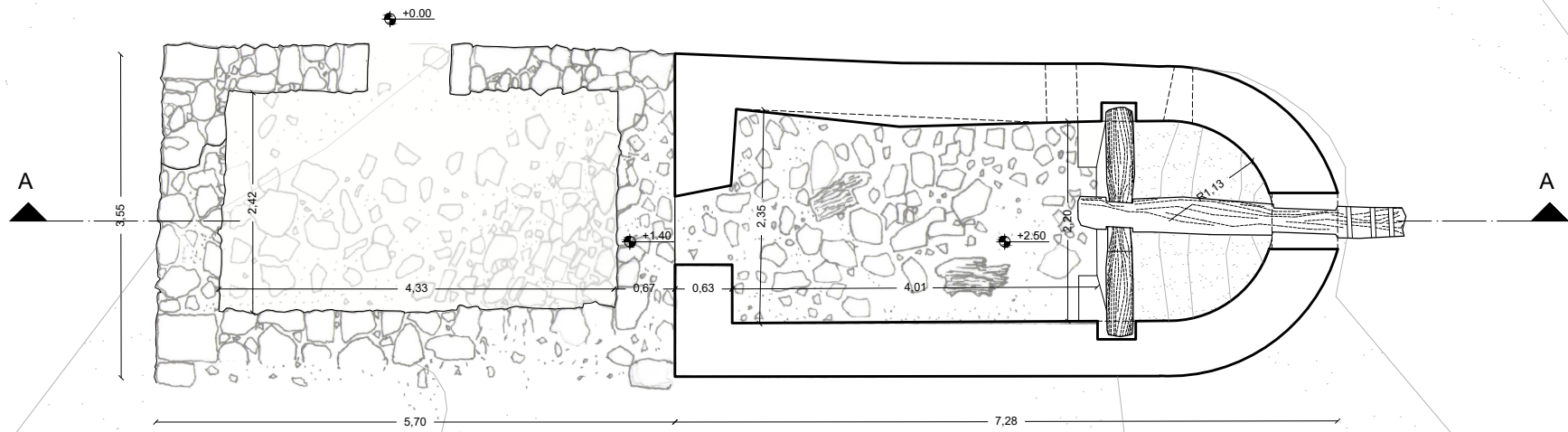
18. Ολόκληρο το συγκρότημα στο Σελί Αμπέλου, 1955 (δεξιά) Λεπτομέρεια ανεμόμυλου μελέτης, όπου διακρίνεται η ύπαρξη αποθήκης. (αριστερά), (Πηγή: Φωτογραφία αγνώστου, Δημοσίευση Γεώργιος Ελ. Μακράκης.



Η αποτύπωση της υφιστάμενης κατάστασης του ανεμόμυλου πραγματοποιήθηκε με την μέθοδο μετρήσεων πεδίου με την χρήση μετροταινίας και χωροβάτη. Επίσης η φωτογραφική αποτύπωση λειτούργησε συμπληρωματικά. Τα σχέδια της υφιστάμενης κατάστασης παρουσιάζονται στις επόμενες σελίδες καθώς και συγκεντρωμένα σε παράρτημα (βλ. Παράρτημα Κεφάλαιο 7)



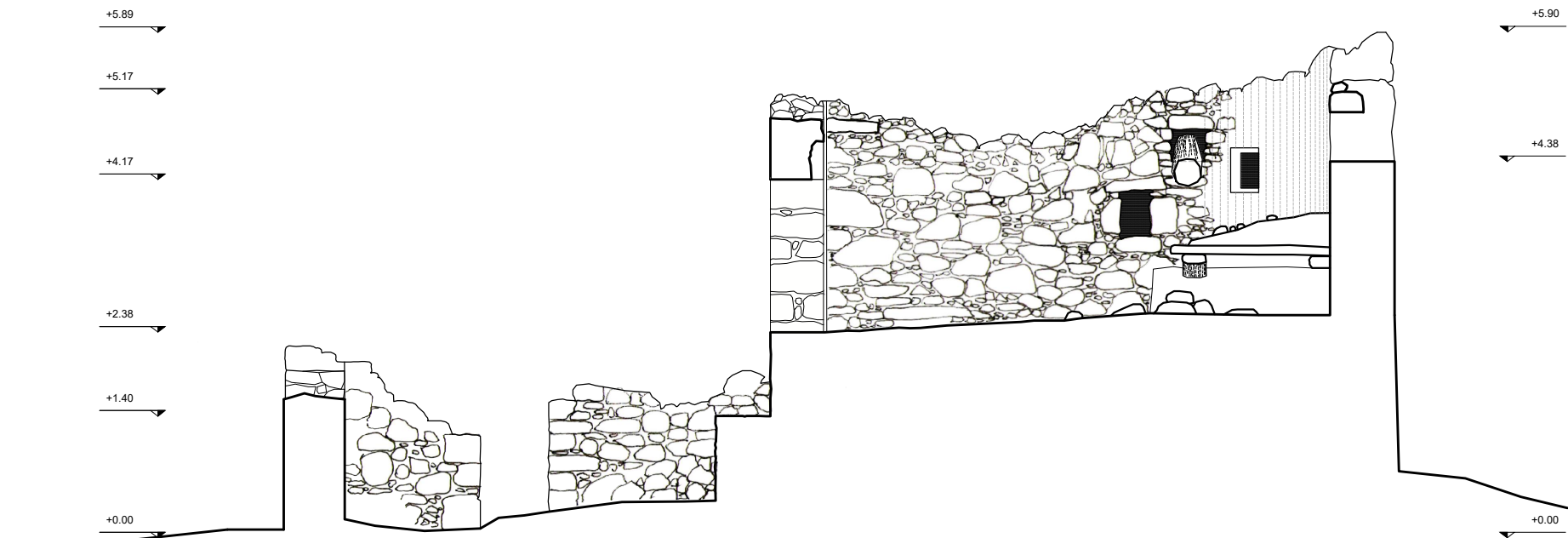
19. Νότια άποψη του κτίσματος (αριστερά)  
Ανατολική άποψη (κέντρο)  
Βόρεια άποψη (δεξιά)  
(Φωτογραφία 2019)



ΚΑΤΟΨΗ ΙΣΟΓΕΙΟΥ

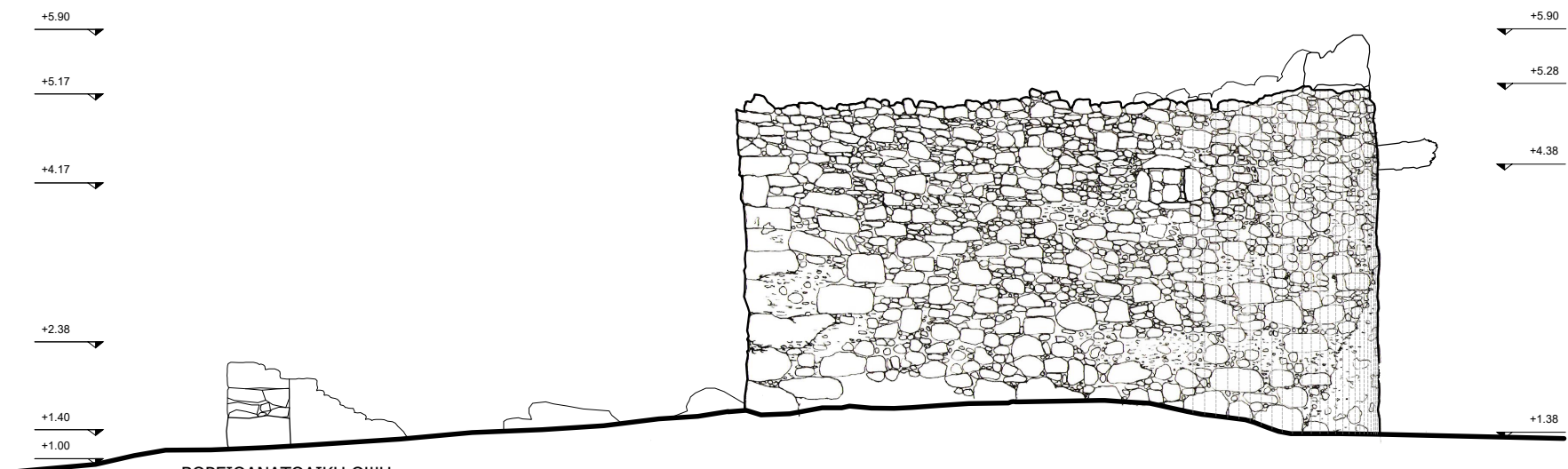
Κλ. 1:50 0 0,5 1 2M





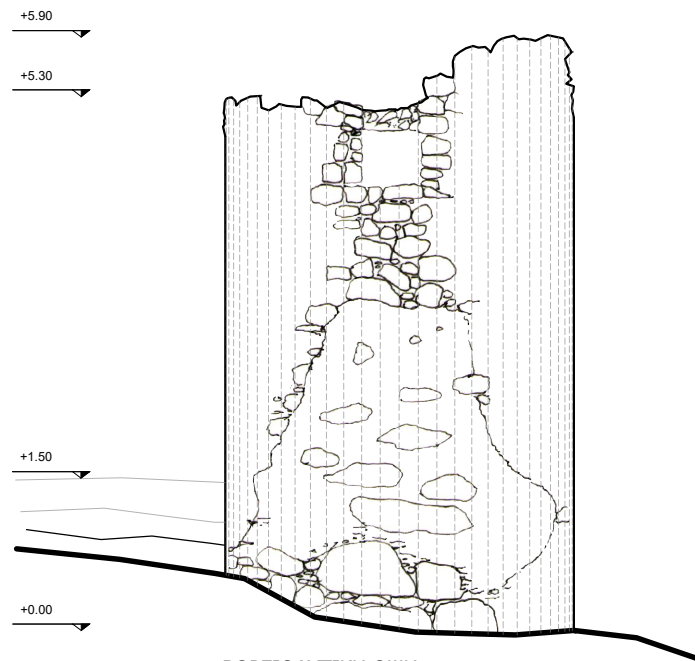
ΤΟΜΗ Α-Α

ΚΛ. 1:50 0 0.5 1 2M



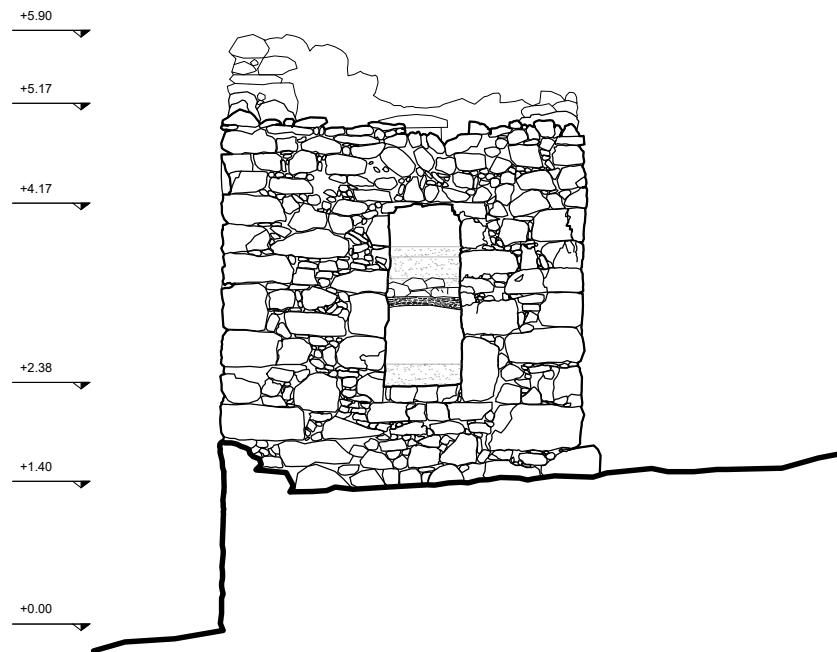
ΒΟΡΕΙΟΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΟΨΗ

ΚΛ. 1:50 0 0.5 1 2M



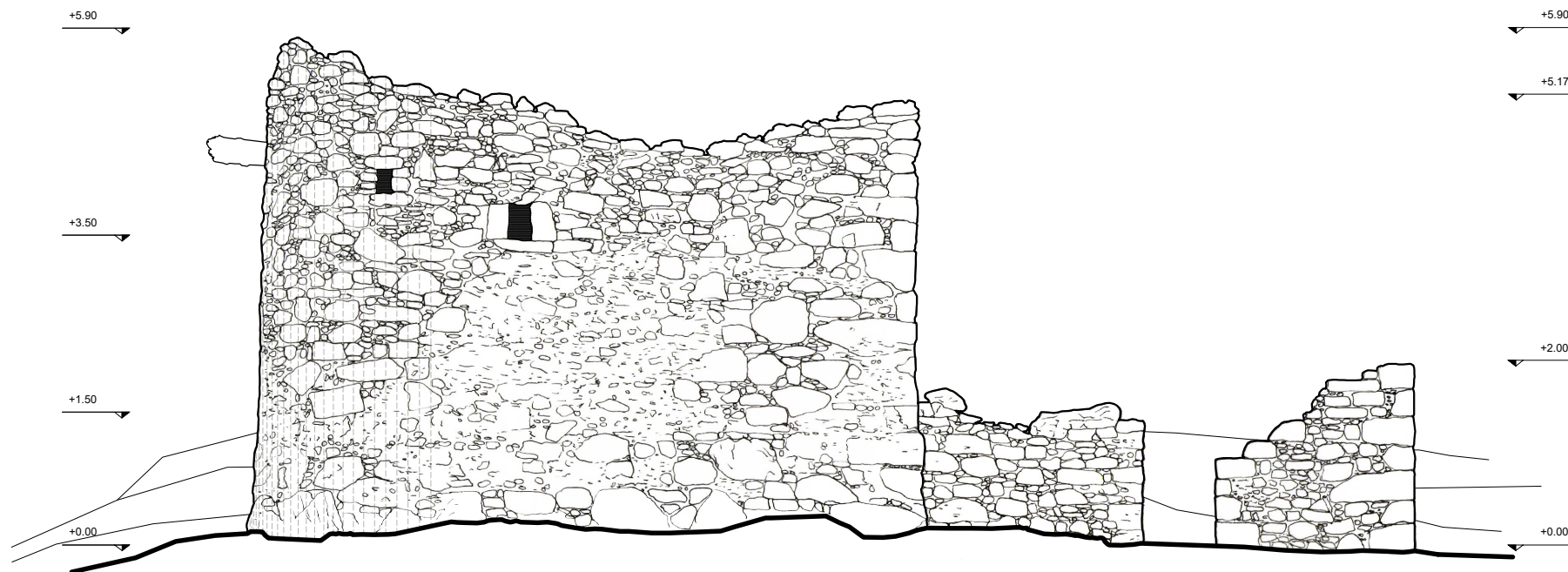
ΒΟΡΕΙΟΔΥΤΙΚΗ ΟΨΗ

Κλ. 1:50 0 0.5 1 2M



ΝΟΤΙΟΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΟΨΗ

Κλ. 1:50 0 0.5 1 2M



ΝΟΤΙΟΔΥΤΙΚΗ ΟΨΗ

Κλ. 1:50 0 0.5 1 2M

## 2.5 Παθολογία ανεμόμυλου

Το λιθόκτιστο κτίσμα διατηρεί σχεδόν το αρχικό του ύψος παρουσιάζοντας ωστόσο αρκετά προβλήματα σε κάποια σημεία. Από τον μηχανισμό έχει απομείνει το “αξόνι”, το “τραβάτουλο”, στερεωμένο στους εγκάρσιους τοίχους, και τμήμα του επιπέδου όπου τοποθετούνταν οι μολόπετρες. Η στέγη έχει καταστραφεί εντελώς, με τα τμήματα από το χωμάτινο δώμα να έχουν αποτεθεί εντός του κτίσματος, κυρίως στο ημικυκλικό μέρος του (Εικόνες 20,21). Η πρόσβαση στο εσωτερικό του επιτυγχάνεται με δυσκολία, αφού, λόγω της κατάρρευσης της στέγης της αποθήκης, η οποία διαμόρφωνε την είσοδο του ανεμόμυλου, η εσωτερική στάθμη είναι ένα μέτρο ψηλότερα από την εξωτερική .



20. Ανατολική άποψη κτίσματος, απώλεια στέγης. (Φωτογραφία 2019)



21. Εσωτερικό ανεμόμυλου με τα αναπομείναντα τμήματα του μηχανισμού και τα κατεστραμένα τμημάτα. (Φωτογραφία 2019)

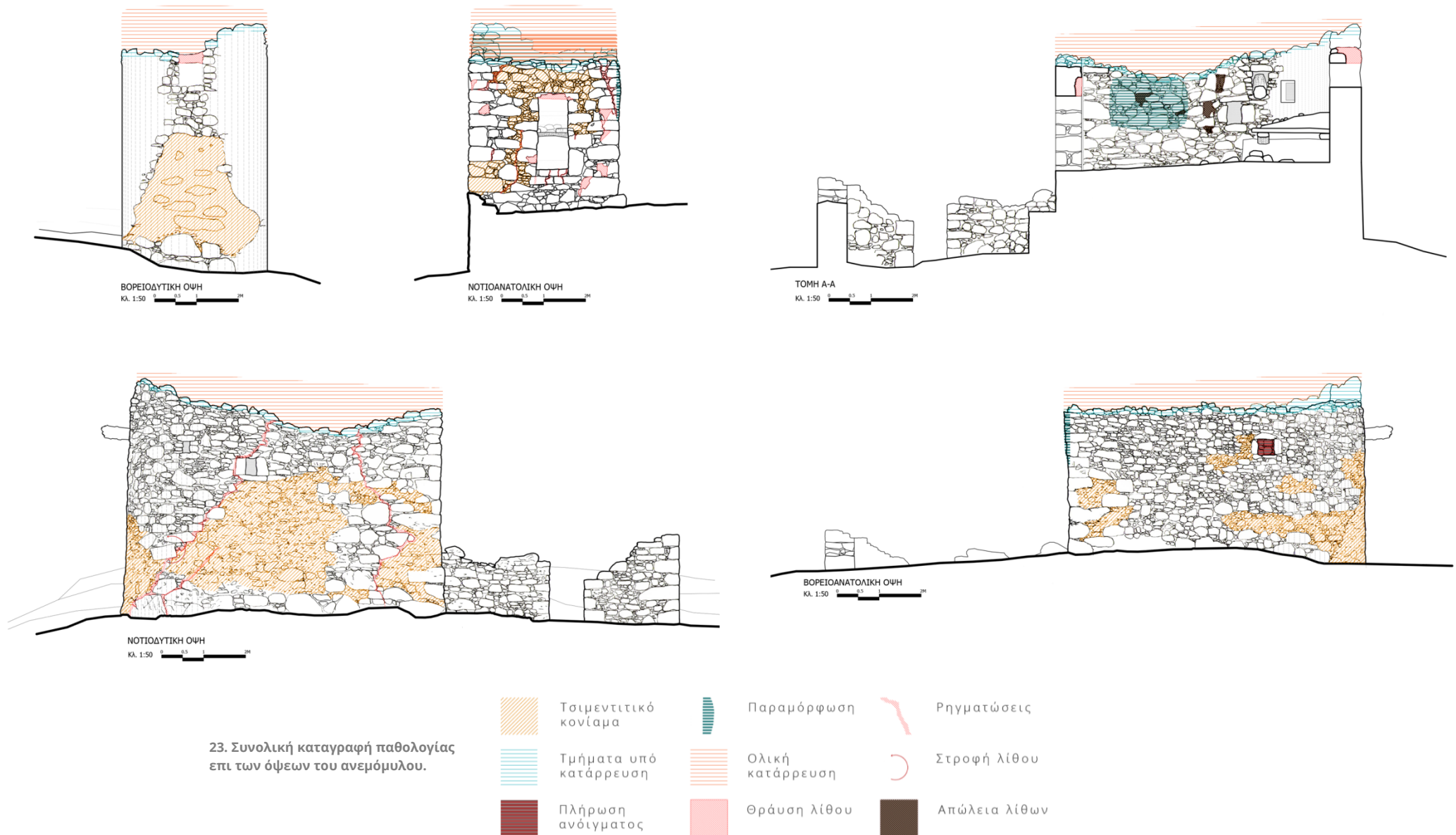


22. Λεπτομέρεια δοκοθυρίδας “τραβάτουλου” (Φωτονοαφία 2019)

Τα προβλήματα που εντοπίστηκαν στο σύνολο του κτίσματος είναι τα εξής και απεικονίζονται στα παρακάτω διαγράμματα (Εικόνα 23):

- Απώλεια στέγης / Μηχανισμού
- Ολική κατάρρευση τμημάτων
- Ρηγματώσεις
- Παραμόρφωση εσωτερικής στρώσης τοιχοποιίας
- Θραύση λίθων
- Απώλεια λίθων
- Τμήματα υπό κατάρρευση
- Προσθήκη τσιμεντιτικού κονιάματος
- Στροφή λίθων



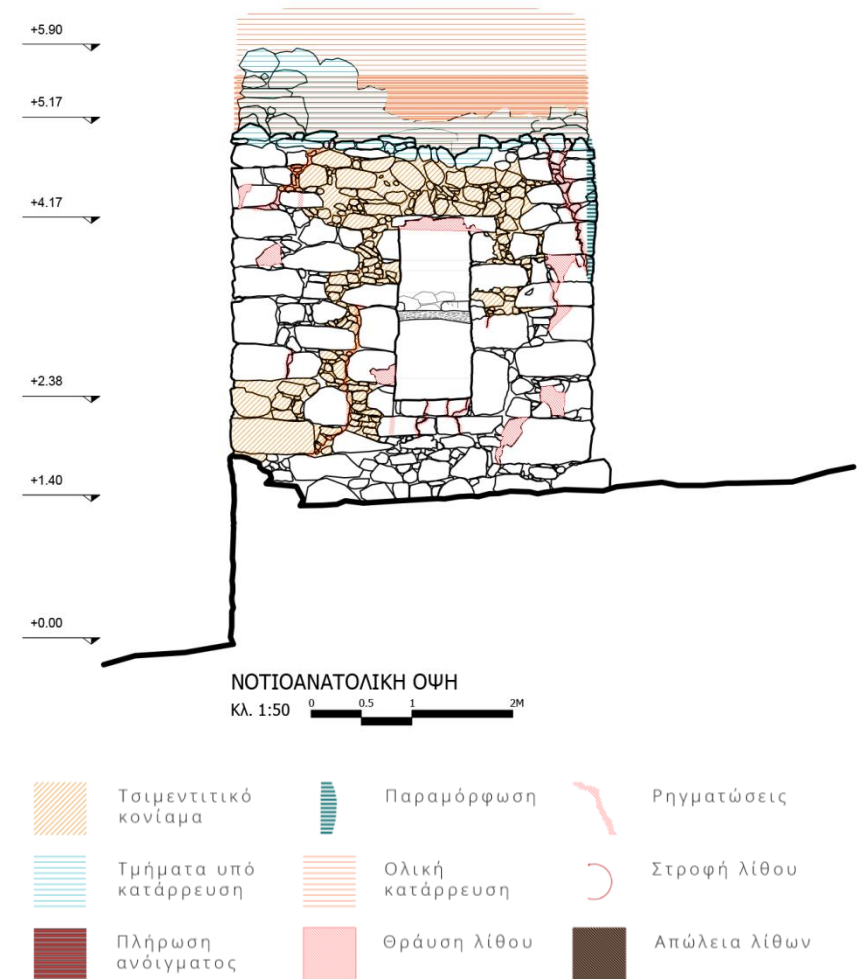




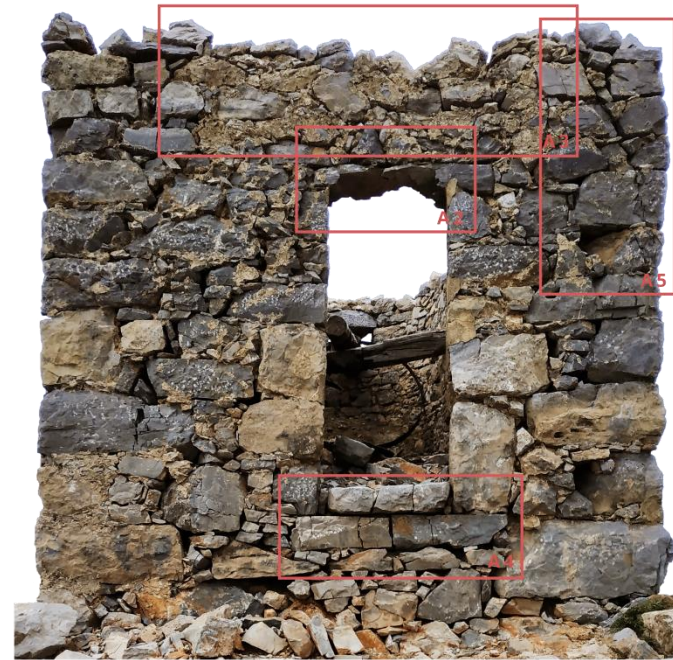
Πιο αναλυτικά, στην Νοτιοανατολική τοιχοποιία, μήκους 3.50 μ. πάχους 0.60 μ. και ύψος 3.70 μ. υπάρχει άνοιγμα 0.80 επί 1.80 μ. όπου ήταν τοποθετημένο ξύλινο θύρωμα. Η διαφορά στάθμης με το εσωτερικό του μύλου έχει ως αποτέλεσμα μια ζώνη ενός μέτρου στη βάση της τοιχοποιίας να έχει επιχωματωθεί εσωτερικά. Παρατηρούμε, επίσης, αρκετά μεγάλους λίθους και πολύ καλή σύνδεση με τις εγκάρσιες τοιχοποιίες. Το σχετικά μικρό μήκος σε συνδυασμό με την ανάγκη του ανοίγματος για ισχυρότερους λίθους στην περίμετρο για την γεφύρωση του, προσδίδει άριστη συνοχή και αντοχή. Έχει δημιουργηθεί ένα είδος πεσών εκατέρωθεν του ανοίγματος, αρκετά δύσκαμπτων σε εντός και σε εκτός επιπέδου φορτίσεις.

Όμως λόγω της έλλειψης στέγασης, άρα εισροή των υδάτων της βροχής στο εσωτερικό της τοιχοποιίας, συνεπάγεται απώλεια του συνδετικού υλικού από χώμα και τοπική κατάρρευση λίθων. Έτσι ένα μέρος της στέψης έχει καταρρεύσει, ενώ οι εναπομείναντες λίθοι είναι εντελώς ασύνδετοι με την υπόλοιπη τοιχοποιία. Η περιοχή πάνω από την θύρα, από την εσωτερική πλευρά του κτίσματος, έχει καταρρεύσει με την εξωτερική να έχει συγκρατηθεί επιφανειακά με κάποιο τσιμεντιτικό κονίαμα (Εικόνες 24, 25).

Το υπέρθυρο είναι λίθινο και έχει καταστραφεί σχεδόν στο σύνολο του, χρήζοντας άμεση την αντικατάστασή του, προτού καταρρεύσει όλο το άνωθεν τμήμα. Βέβαια, για την αντικατάστασή του, το εν λόγω τμήμα πρέπει να ανακατασκευαστεί ούτως ή άλλως. Παρόμοια θραύση λίθων συναντάται σε μικρότερο βαθμό και σε άλλα σημεία. Τέλος, στην άνω δεξιά γωνία έχει δημιουργηθεί ρηγματώση, η οποία δεν ακολουθεί απλώς του αρμούς, αλλά περνά και εντός λίθων. Φαίνεται να έχει μεγάλο βάθος αλλά όχι τόσο σημαντικό εύρος. Ίσως έχει προέλθει από τοπική καταπόνηση από τον σκελετό της στέγης.



24. Αποτύπωση παθολογίας Νοτιοανατολικής όψης



25.Επισήμανση παθολογίας  
Νοτιοανατολικής όψης  
Εσωτερική όψη (αριστερά)  
Εξωτερική όψη (δεξιά)



A1

Κατάρρευση  
εσωτερικής στρώσης  
τοιχοποιίας



A2

Θραύση υπέρθυρου



A3

Στερέωση εξωτερικής στρώσης τοιχοποιίας με  
τσιμεντιτικό κονίαμα



A4

Θραύση λίθων  
κατωφλιού εισόδου



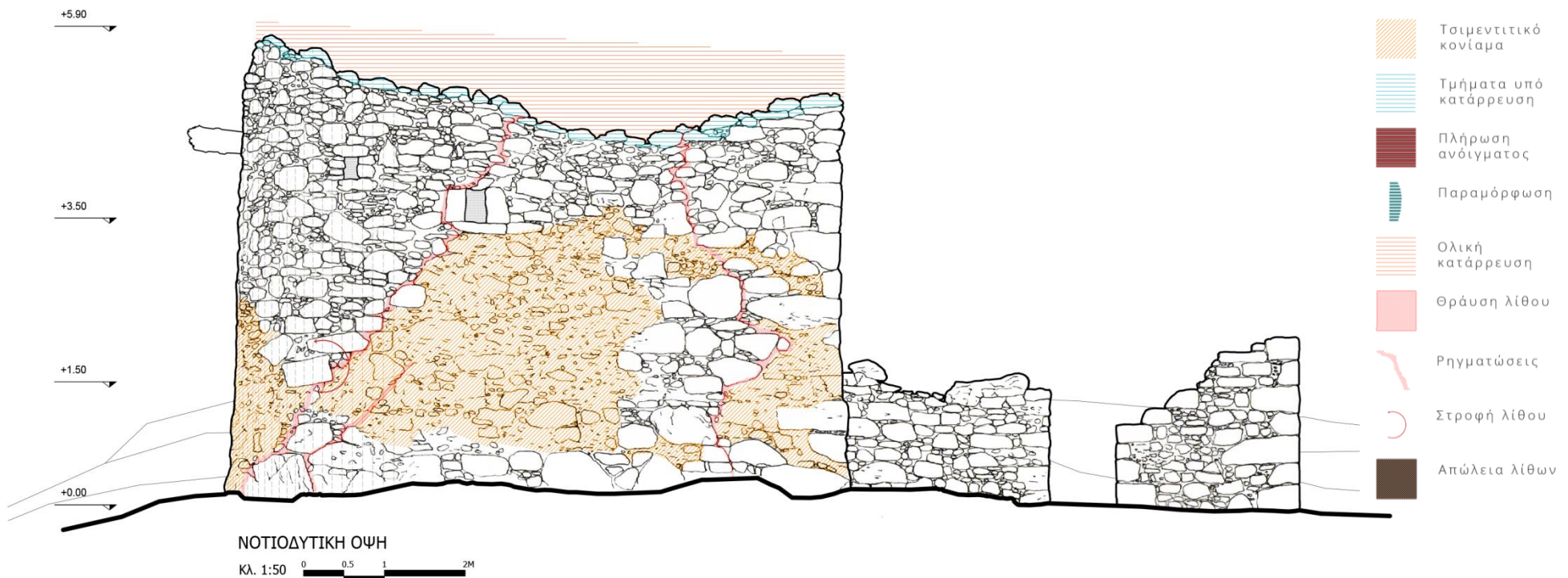
A5

Ρηγμάτωση άνω  
δεξιά γωνίας

Η Νοτιοδυτική τοιχοποιία εδράζεται περίπου 1.50 μ. χαμηλότερα από τις υπόλοιπες λόγω της έντονης υψομετρικής διαφοράς που παρουσιάζει το έδαφος, έχει μήκος 7.30 μ, φτάνοντας στο κυρτό τμήμα το ύψος των 6.00 μ. συνολικά. Ωστόσο η βάση της και συγκεκριμένα μια ζώνη 1.50 μ. αποτελείται από ογκώδεις λίθους και τμήματα βράχων, καθιστώντας την συνέχεια της θεμελίωσης. Λόγω του μεγάλου ύψους της, έχει καταρρεύσει μεγάλο τμήμα στην κορυφή της, ενώ η έλλειψη συντήρησης επιδεινώνει την κατάσταση.

Όμως, το σημαντικότερο πρόβλημα έγκειται στο γεγονός ότι έχουν δημιουργηθεί κατακόρυφες ρηγματώσεις. Δεν φτάνουν σε βάθος

ώστε να εμφανίζονται στην εσωτερική παρειά της τοιχοποιίας, καταλαμβάνουν όμως το σύνολο του ύψους και καταλήγουν στο έδαφος. Οι ρηγματώσεις είναι αποτέλεσμα δυναμικής διέγερσης, καθώς πρόκειται για αρκετά μεγάλο άνοιγμα με απουσία διαφράγματος ή εγκάρσιων στοιχείων. Στην περιοχή που ορίζουν ίσως υπήρχε χαλάρωση των λίθων με πιθανότητα αποκόλλησης τμημάτων, για αυτό και υπάρχει μια προσπάθεια στερέωσης της περιοχής με χρήση τσιμεντιτικού κονιάματος. Επίσης στο κυρτό τμήμα, στο όριο της ρηγματώσης, ένας λίθος παρουσιάζει στρόφη, χωρίς να έχει δημιουργήσει κάποια αστοχία σε αυτή την περιοχή. Άρα ίσως ήταν εκ κατασκευής και επηρεάστηκε ελαφρώς από την ρηγματώση (Εικόνα 26,27).







27.Επισήμανση παθολογίας  
Νοτιοδυτικής όψης



Δ1  
Στροφή λίθου



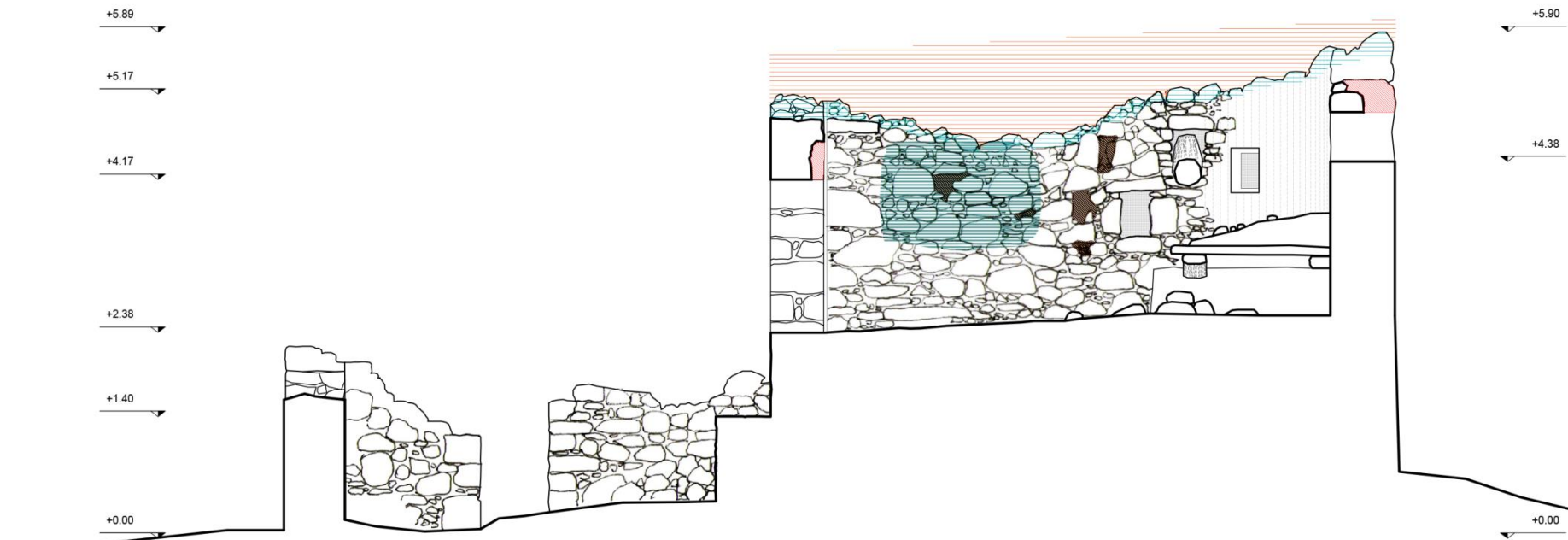
Δ2  
Στερέωση εξωτερικής στρώσης  
τοιχοποιίας με τσιμεντιτικό  
κονίαμα



Δ3  
Ρηγμάτωση



Δ4  
Τμήμα της στέψης της τοιχοποιίας υπο κατάρρευση



ΤΟΜΗ Α-Α

Κλ. 1:50 0 0.5 1 2M

28. Αποτύπωση παθολογίας  
Νοτιοδυτικής τοιχοποιίας  
(εσωτερική παρειά)



Τσιμεντιτικό  
κονίαμα



Τμήματα υπό  
κατάρρευση



Πλήρωση  
ανόιγματος



Παραμόρφωση



Ολική  
κατάρρευση



Θράυση λίθου



Ρηγματώσεις



Στροφή λίθου



Απώλεια λίθων



Τέλος στην εσωτερική παρειά υπάρχει έντονη παραμόρφωση, κυρίως στο άνω μέρος, το κονίαμα από χώμα έχει απομακρυνθεί και οι λίθοι έχουν αποκολληθεί (Εικόνα 29,30). Αυτό συνέβη, διότι δεν υπάρχουν αρκετοί εγκάρσιοι λίθοι που να συνδέουν την εσωτερική με την εξωτερική στρώση της τοιχοποιίας. Παράλληλα, η απώλεια της στέγης και η εισροή των υδάτων, συντέλεσαν στον διαχωρισμό των δύο στρώσεων και στην παραμόρφωση. Αρκετά σύνηθες σε δίστρωτες τοιχοποιίες χωρίς σωστή δομή και δεν επιδέχεται συντήρηση παρά μόνο ανακατασκευή.



29. Εσωτερική παρειά νοτιοδυτικής λιθοδομής (αριστερά) Λεπτομέρεια απώλειας λίθου (δεξιά)



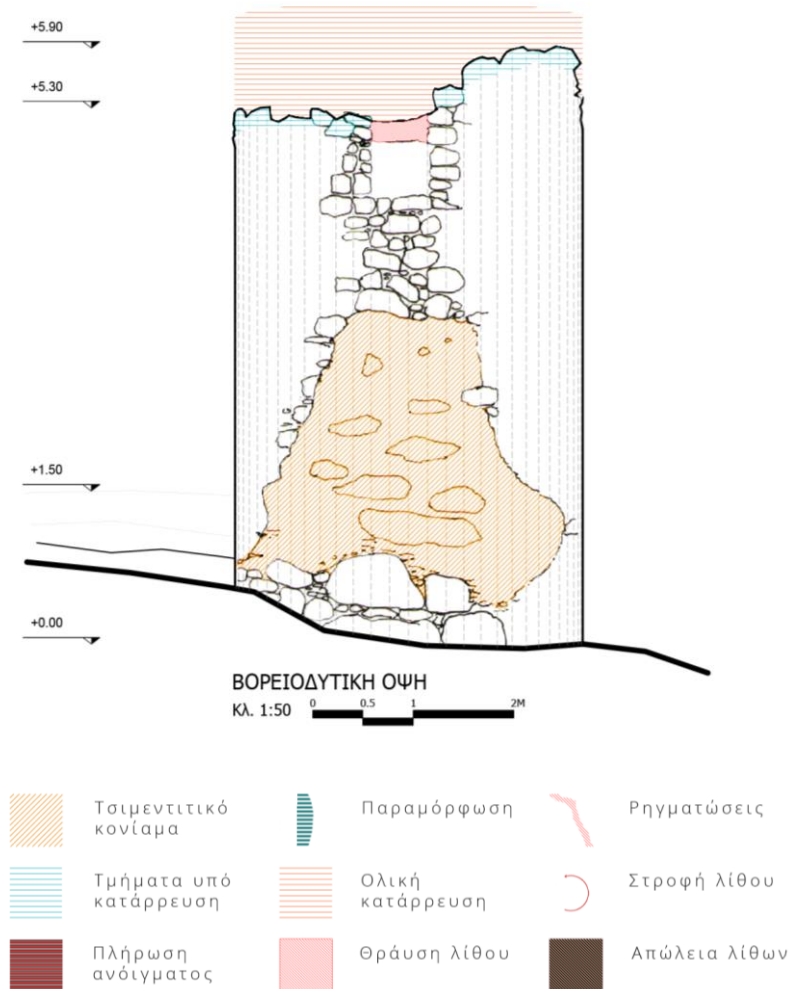
30. Εσωτερική όψη/ έλλειψη συνδετικού υλικού άνω μέρους .

Βορειοδυτικά, βρίσκεται το ημικυκλικό τμήμα του μύλου. Στο ανώτερο τμήμα του, όπου υπάρχει άνοιγμα 0.60 επί 0.60 μ για την τοποθέτηση του “αξονίου”, έχει καταρρεύσει εξωτερικά η περιοχή του ανοίγματος. Μεγάλο τμήμα της στέψης έχει καταρρεύσει και οι εξέχοντες λίθοι στην κορυφή είναι υπό κατάρρευση. Στην βάση θεμελιώνεται με μεγάλου μεγέθους λίθους, ενώ λίγο πιο πάνω υπάρχει μια μεγάλη περιοχή με τσιμεντοκονίαμα, πιθανόν για συγκράτηση μικρότερων λίθων (Εικόνα 32,33).

Η χρήση του κονιάματος καθώς και απόθεση υλικών στο εσωτερικό δεν επιτρέπουν περαιτέρω αξιολόγηση της κατάστασης. Παρόλα αυτά δεν παρουσιάζει ρηγματώσεις, ούτε παραμορφώσεις στην γεωμετρία του, εκτός από κάποιες απώλειες μικρών λίθων.

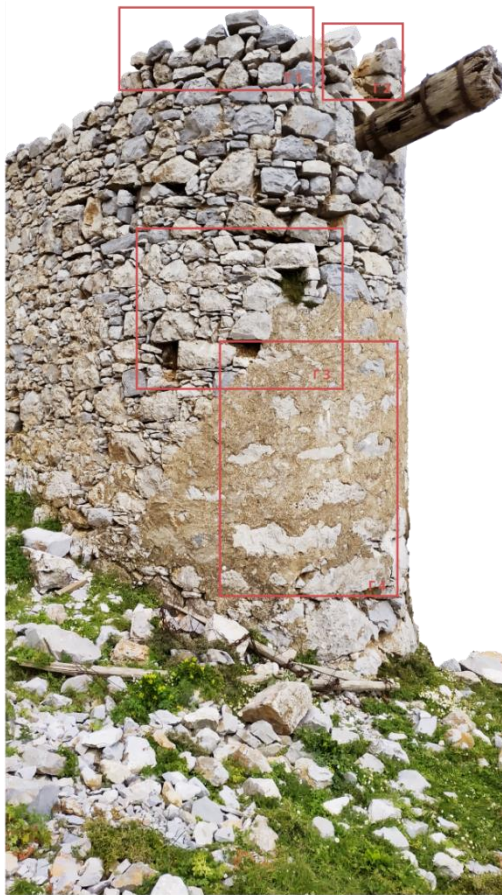


31. Εσωτερική παρειά βορειοδυτικής τοιχοποιίας, λεπτομέρεια ανοίγματος



32. Αποτύπωση παθολογίας Βορειοδυτικής όψης





Γ1 Τμήματα υπό κατάρρευση



Γ2 Κατάρρευση ανωφλίου εξωτερικά



Γ3 Απώλεια λίθων



Γ4 Περιοχή με τσιμεντικό κονίαμα



Γ5 Τμήματα υπό κατάρρευση εσωτερικής στρώσης



Γ6 Λαξευτό Ανώφλιο ανοίγματος

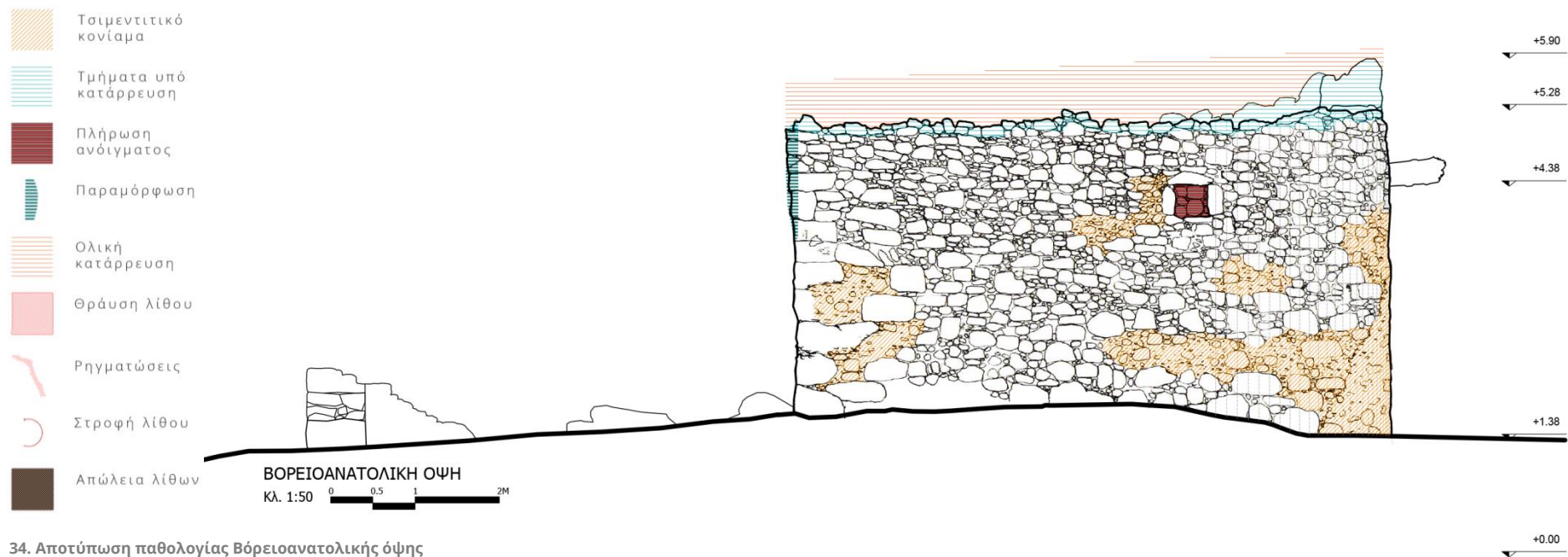


33.Επισήμανση παθολογίας Βόρειοδυτικής όψης



Τέλος, η Βορειοανατολική τοιχοποιία δεν παρουσιάζει κάποιο πρόβλημα, πέραν μικρών απωλειών λίθων και την ρευστότητα των λίθων της στέψης. Η σύνδεσή της με την εγκάρσια τοιχοποιία είναι ικανοποιητική, με συμπλοκή μεγάλων λίθων, όπως και με την χρήση ενός πλακοειδούς εξέχοντος λίθου (Εικόνα 35,B6) ίσως έχουν γίνει τα τελευταία χρόνια κάποιες εργασίες συντήρησης, καθώς διακρίνεται σε μικρές περιοχές χρήση τσιμεντιτικού κονιάματος (Εικόνα 34,35).

Στο σημείο όπου ξεκινά η καμπύλη υπάρχει άνοιγμα το οποίο έχει σφραγιστεί. Πιθανόν, το συγκεκριμένο άνοιγμα να χρησίμευε για την τοποθέτηση της εγκάρσιας δοκού (τραβάτουλο). Μετά την αποπεράτωση της λιθοδομής, τοποθετούσαν την συγκεκριμένη δοκό, από το άνοιγμα, στην δοκοθυρίδα της απέναντι τοιχοποιίας και έπειτα σφράγιζαν το άνοιγμα εξωτερικά (Εικόνα 35.B2).





35.Επισήμανση παθολογίας Βόρειοανατολικής όψης



**B 1**  
Απώλεια λίθων



**B 2**  
Πλήρωση ανοίγματος



**B 3**  
Τμήματα της στέψης τοιχοποιίας υπό κατάρρευση



**B 4**  
Εργασίες συντήρησης με τσιμεντιτικό κονίαμα



**B 5**  
Θυρίδες διευκόλυνσης χτισίματος κατά την κατασκευή



**B 6**  
Συνδετήριος λίθος με την εγκάρσια τοιχοποιία

### 3. Μελέτη υφιστάμενου λιθόκτιστου τμήματος ανεμόμυλου

#### 3.1 Η μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων

Η μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων (finite element method) έχει ευρεία χρήση στην επίλυση μηχανικών προβλημάτων κατασκευών, καθώς και προβλημάτων θερμοδυναμικής ή μηχανικής ρευστών. Αποτελεί εξέλιξη της μητρικής ανάλυσης ραβδωτών κατασκευών με την χρήση Η/Υ και μπορεί να επιλύσει σύνθετα προβλήματα περίπλοκων γεωμετριών. Η διαδικασία που ακολουθεί είναι η διαίρεση της κατασκευής σε επιμέρους στοιχεία, τα πεπερασμένα στοιχεία (finite elements), το κάθε ένα από τα οποία έχει τις ιδιότητες της κατασκευής που περιγράφεται. Τα στοιχεία αυτά συνδέονται μεταξύ τους με κόμβους (nodes) στους οποίους μπορεί να επιλεγούν οι βαθμοί ελευθερίας, να καθοριστούν συνοριακές συνθήκες και να εφαρμοστούν δυνάμεις οι άλλες φορτίσεις.

Ο τρόπος που χρησιμοποιείται είναι η επίλυση διαφορικών εξισώσεων με βασικές μεταβλητές τις μετακινήσεις ή τις δυνάμεις των επιμέρους κόμβων. Η μέθοδος που ακολουθεί είναι η προσέγγιση της λύσης μέσω επαναληπτικών επιλύσεων. Σε αυτό συνέβαλλε η εξέλιξη της τεχνολογίας, που μας επιτρέπει την επίλυση σύνθετων εξισώσεων μειώνοντας αρκετά τον χρόνο όλης της διαδικασίας.

Το είδος των πεπερασμένων στοιχείων επιλέγεται βάσει των χαρακτηριστικών της κατασκευής, με άξονα την καλύτερη προσομοίωση της μηχανικής του συμπεριφοράς. Μπορεί να είναι στοιχεία ράβδου, επίπεδα στοιχεία τετράπλευρα ή τριγωνικά, τρισδιάστατα στοιχεία και άλλα.

Η διακριτοποίηση, η ανάλυση του φορέα σε μικρότερα στοιχεία, απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή. Μικρός αριθμός στοιχείων μπορεί να οδηγήσει σε λανθασμένη προσομοίωση της κατασκευής, ενώ μεγάλος αριθμός μπορεί να υπερφορτώσει το μοντέλο και να δυσκολέψει τον υπολογισμό. Η διαδικασία που απαιτείται σε αυτό το στάδιο είναι η διαδοχική πύκνωση των στοιχείων μέχρι το σημείο καλής απόκρισης του μοντέλου χωρίς μεγάλο υπολογιστικό κόστος.



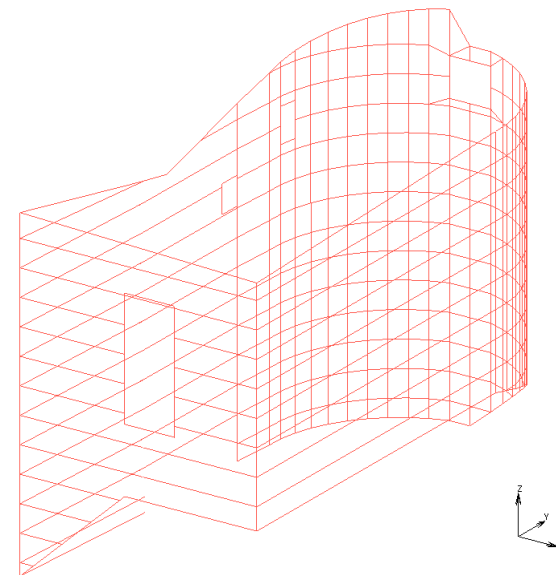
### 3.2 Περιγραφή διαδικασίας μοντελοποίησης

Για την προσομοίωση της κατασκευής χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Marc-Mentat της MSC Software version 2019 student edition.

Αρχικά το κτίριο σχεδιάστηκε στο πρόγραμμα AutoCAD και στη συνέχεια εισήχθη στο Marc σαν τρισδιάστατη γεωμετρία (3d as solid). Στις διαφορετικές πλευρές του δημιουργήθηκαν επιφάνειες (surfaces) οι οποίες διαιρέθηκαν χειροκίνητα σε πεπερασμένα στοιχεία (finite elements) ως επί το πλείστον τετράπλευρα και κάποια τριγωνικά. Το είδος των στοιχείων που επιλέχθηκε είναι τρισδιάστατα στοιχεία κελύφους (Structural 3d-shell), στα οποία δόθηκε πάχος 0.60 m. Έπειτα από μια επίλυση διαπιστώθηκε ότι χρειαζόταν πύκνωση των στοιχείων και έτσι έγινε αύξηση σε ικανοποιητικό βαθμό. Το μοντέλο που προέκυψε εν τέλει αποτελείται από 2738 στοιχεία, 2876 κόμβους και έξι βαθμούς (τρεις μεταφορικούς και τρεις στρωφικούς) ελευθερίας ανά κόμβο.

Επόμενο στάδιο, αφού αποδόθηκε η γεωμετρία του φορέα, είναι η επιλογή των ιδιοτήτων των υλικών της κατασκευής. Παρατηρώντας την κατασκευή και αξιολογώντας την παθολογία του καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι στο μεγαλύτερο μέρος της η λιθοδομή έχει συνοχή, αποτελείται από μεσαίου μεγέθους λίθους και έχει ένα χωμάτινο κονίαμα. Υπάρχουν όμως τμήματα όπου το κονίαμα έχει απομακρυνθεί, η λιθοδομή έχει χάσει την συνοχή της με αποτέλεσμα σε αυτά τα σημεία να έχουμε μειωμένη αντοχή. Ένα παράδειγμα είναι όλο το άνω μέρος του ανοίγματος της θύρας.

Οπότε υπήρξε ανάγκη διαχωρισμού των δύο αυτών περιοχών (Εικόνα 38). Ο τύπος του υλικού που χρησιμοποιήθηκε και στις δύο περιπτώσεις είναι ελαστοπλαστικό ισότροπο (elastic-plastic isotropic), ενώ τα μηχανικά χαρακτηριστικά του εκάστοτε υλικού (σε αυτή τη φάση μελέτης) επιλέχθηκαν από την βιβλιογραφία<sup>5</sup> βασισμένα στο εθνικό προσάρτημα. Έτσι οι τιμές του μέτρου ελαστικότητας, του λόγου poisson και της πυκνότητας της κάθε λιθοδομής που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι παρακάτω (Πίνακας 1).

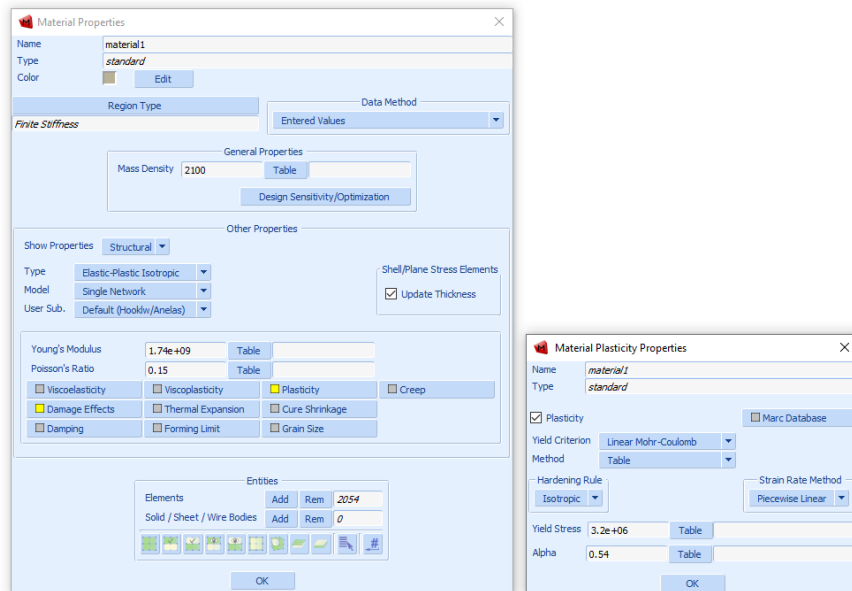


36. Προσομοίωση στο πρόγραμμα Marc -Mentat. (Surfaces)

<sup>5</sup> Κωνσταντίνος Σπυράκος, Κατασκευές από τοιχοποιία: Αποτίμηση και Επεμβάσεις για σεισμικά φορτία, Εκδόσεις ΕΡΓΟΝΟΜΟΣ ΙΚΕ, 2020, σελ. 87- 97

	Αργολιθοδομή με κανονική δόμηση (material1)	Αργολιθοδομή με κανονική δόμηση (χωρίς συνδετικό κονίαμα) (material2)
<b>E</b> : Μέτρο Ελαστικότητας (Young's Modulus) – (Pa ή N/m <sup>2</sup> )	1.74 * 10 <sup>9</sup>	0.87 * 10 <sup>9</sup>
<b>ν</b> : Poisson's Ratio	0.15	0.15
<b>ρ</b> : Ειδικό Βάρος (Mass Density)-(Kg/m <sup>3</sup> )	2100	1900

Πίνακας 1. Μηχανικά χαρακτηριστικά Λιθοδομής.



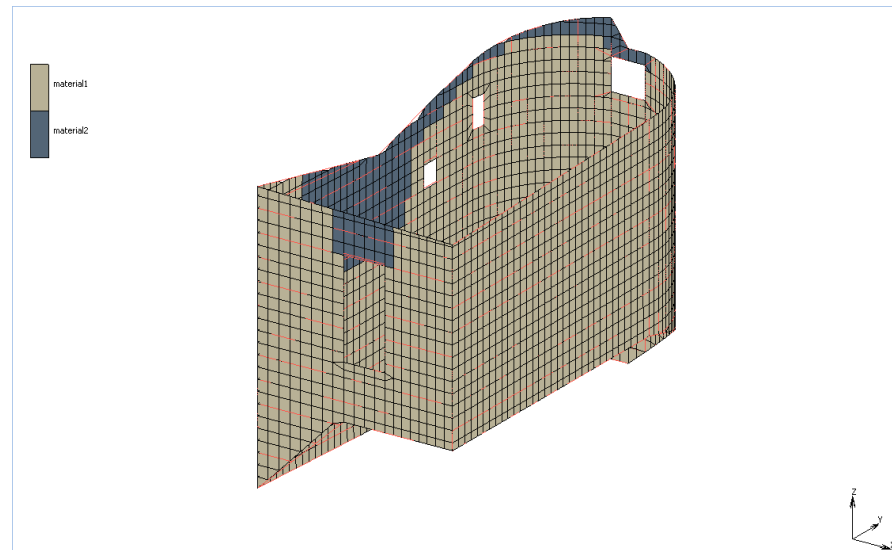
37. Ιδιότητες υλικών (Material Properties) (Material1) - Plasticity

Επιπλέον αποδόθηκε στο υλικό το όριο διαρροής από την επιλογή (plasticity) (Εικόνα 30), η τιμή του είναι ίση με  $\sigma_{yc}=3.20 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$  (yield stress). Η μέθοδος που επιλέχθηκε από το πρόγραμμα είναι η Linear Mohr-Coulomb . Ο συντελεστής  $a=0.54$  (Alpha) υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση.

$$a = \frac{2 \sin \phi}{\sqrt{3}(3 - \sin \phi)} = \frac{\sigma_{yc} - \sigma_{yt}}{\sqrt{3}(\sigma_{yc} + \sigma_{yt})} = \frac{m - 1}{\sqrt{3}(m + 1)}$$

$$m = \frac{\sigma_{yc}}{\sigma_{yt}} \quad \text{όπου:} \quad \sigma_{yt} : \text{εφελκυστική αντοχή υλικού}$$

$$\sigma_{yc} : \text{θλιπτική αντοχή υλικού}$$

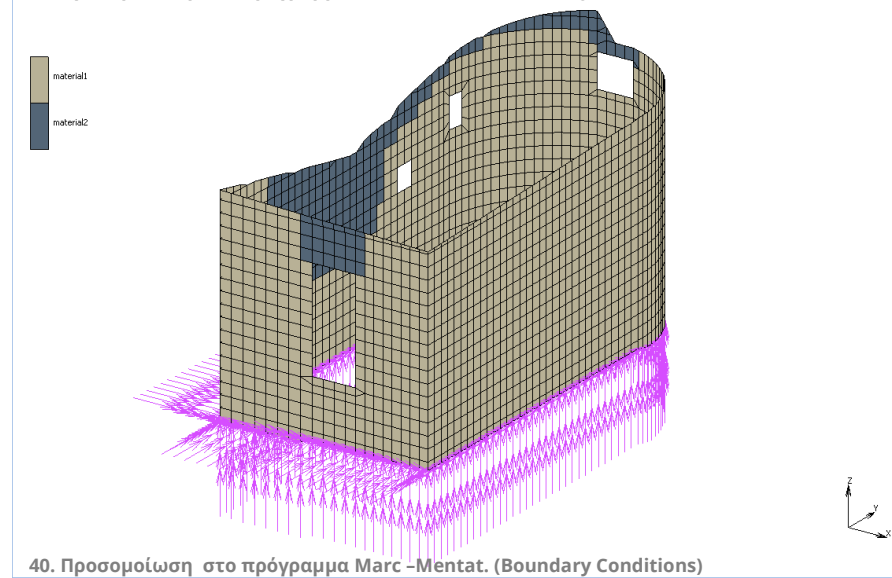
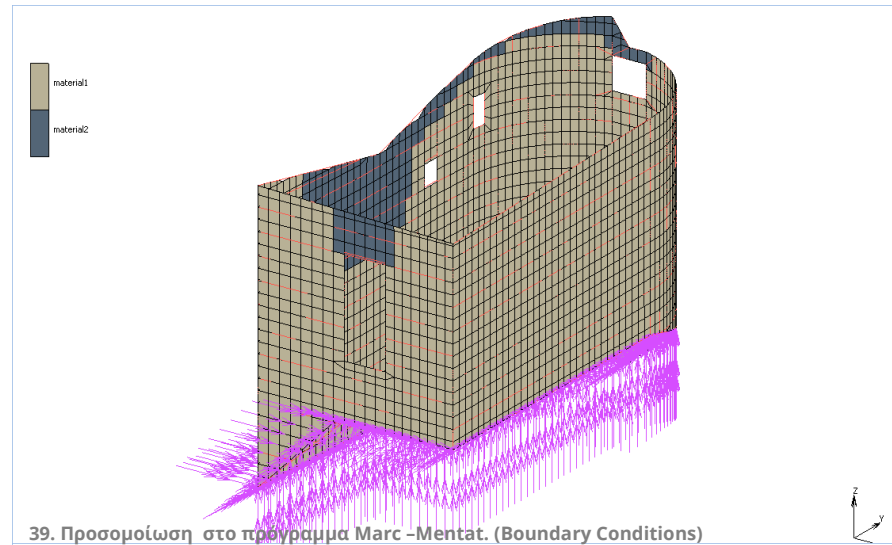


38. Προσομοίωση στο πρόγραμμα Marc -Mentat. (Materials)

Στη συνέχεια ορίστηκαν οι συνοριακές συνθήκες (Boundary Conditions) του φορέα και συγκεκριμένα το φορτίο βαρύτητας (Gravity Load) και η πάκτωση της κατασκευής στο έδαφος (Fixed Displacement). Σε όλα τα στοιχεία εφαρμόζεται η επιτάχυνση της βαρύτητας ( $9.81 \text{ m/s}^2$ ), ενώ η πάκτωση εφαρμόζεται σε όλους τους κόμβους της βάσης του κτιρίου. Για να επιτευχθεί αυτή η συνθήκη, δεσμεύονται όλοι οι βαθμοί ελευθερίας στους κόμβους αυτούς (Εικόνα 39).

Να σημειωθεί, πως το δάπεδο στο εσωτερικό του κτίσματος βρίσκεται στο ύψος του κατωφλιού της εισόδου. Υπάρχει ανισόπεδη θεμελίωση λόγω της μορφολογίας του εδάφους καθώς και υπερύψωση του δαπέδου εσωτερικά για λειτουργικούς λόγους. Δηλαδή το κατώτερο σημείο θεμελίωσης είναι 2.50 m κάτω από την εσωτερική στάθμη, ενώ το ανώτερο σημείο είναι 1.00 m κάτω. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το ελεύθερο ύψος των λιθοδομών να εμφανίζεται μεγαλύτερο από το πραγματικό. Όμως, επειδή πρόκειται για επιχωμάτωση και όχι για κάποιο δάπεδο το οποίο συνδέεται με την λιθοδομή, δεν λαμβάνεται καθόλου υπ' όψιν.

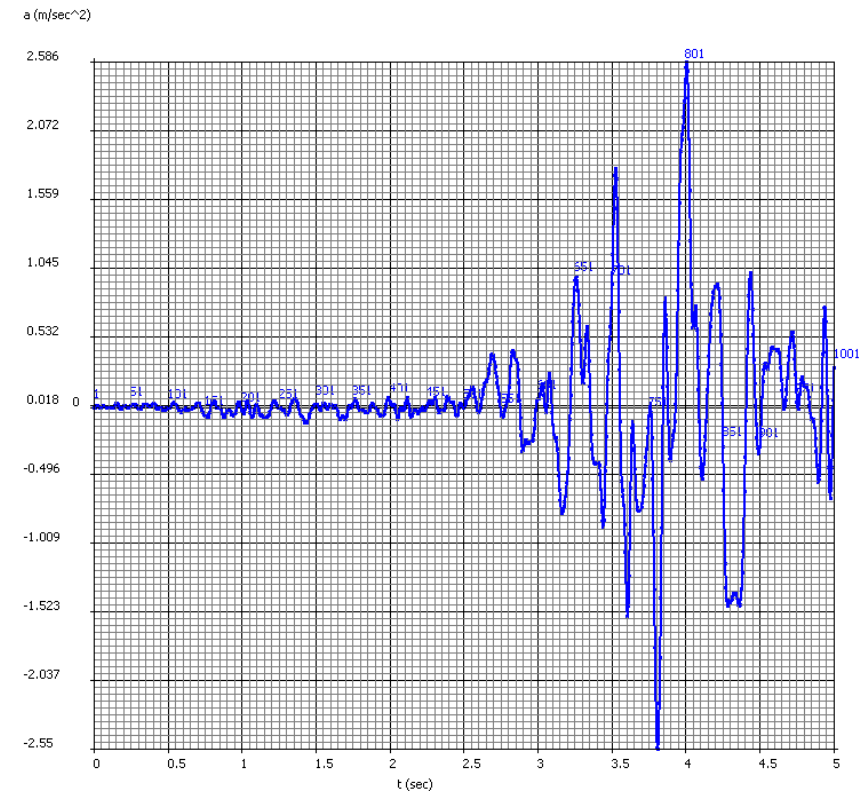
Λόγω αυτής της ιδιαιτερότητας στη θεμελίωση, κατά την ανάλυση παρουσίαζε εκτεταμένες αστοχίες στην νοτιοδυτική τοιχοποιία. Κρίθηκε απαραίτητο να μειωθεί το συνολικό ύψος της συγκεκριμένης τοιχοποιίας διότι, αν και δυσμενέστερη περίπτωση, δεν αντιπροσώπευε την πραγματική κατάσταση. Το επιπλέον ύψος στη βάση, αποτελείται από τμήματα βράχου, μεγάλου μεγέθους λίθους και πάχος αρκετά μεγαλύτερο των 0.60 m. Με αυτό το σκεπτικό, αφαιρέθηκαν τα στοιχεία της βάσης, και η τελική θεμελίωση έγινε 1.00 m κάτω από την στάθμη του εσωτερικού δαπέδου, όπως και στο σύνολο του κτίσματος (Εικόνα 40).





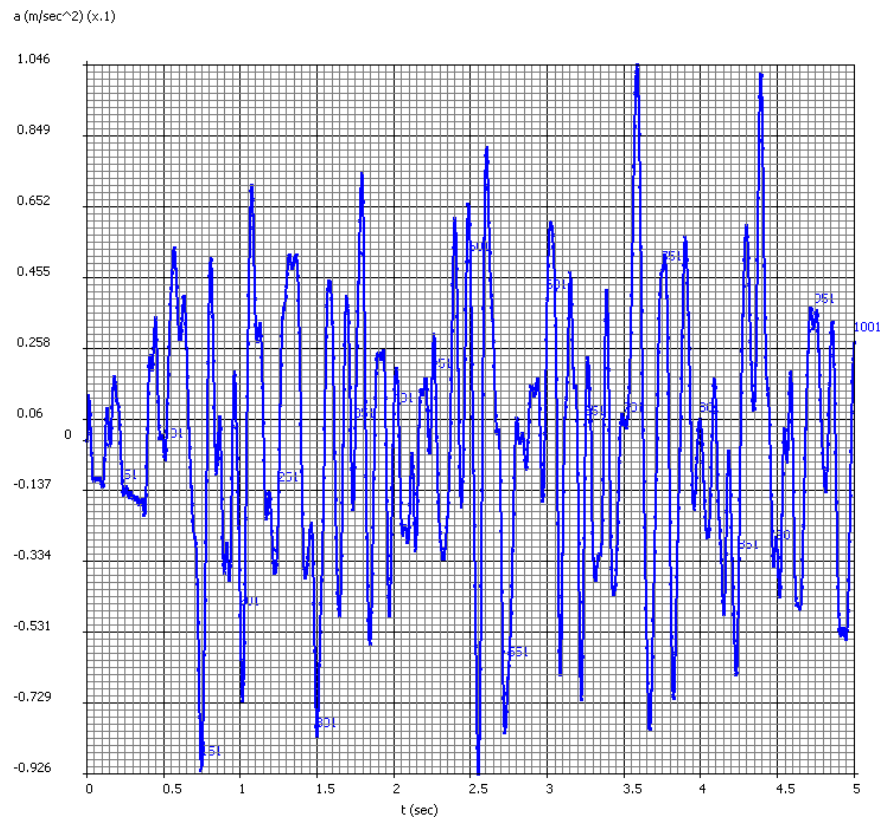
Ως δυναμική καταπόνηση του κτιρίου, για μελέτη της συμπεριφοράς του, επιβλήθηκε στην βάση του, σεισμική διέγερση υπό τη μορφή γραφήματος επιτάχυνσης. Έγιναν δύο αναλύσεις, η πρώτη με τον σεισμό των Χανίων του 1994 και η δεύτερη με τον σεισμό της Αθήνας του 1999<sup>6</sup> (Εικόνα 41,42). Οι καταγραφές των επιταχύνσεων εισήχθησαν στο πρόγραμμα σε μορφή πίνακα (table). Η συνθήκη αυτή ορίστηκε με τον ίδιο τρόπο και στους ίδιους κόμβους με την πάκτωση. Δύο περιπτώσεις σεισμικής διέγερσης εξετάστηκαν σύμφωνα με τον αντισεισμικό κανονισμό. Στην πρώτη θεωρήθηκε το 100% την σεισμικής διέγερσης στην Χ κατεύθυνση και το 30% στην Υ ενώ στην δεύτερη το αντίστροφο.

Τα αποτελέσματα για τον σεισμό των Χανίων, είναι πιο ήπια από αυτά της Αθήνας και δεν βοηθούν ώστε να βγάλουμε συμπέρασμα ως προς το μέγεθος το μετακινήσεων του φορέα. Παρότι τα μέγιστα μετατοπίσεων και τάσεων εμφανίζονται σε παρόμοιες περιοχές και στους δύο σειμούς επιλέχθηκαν να παρουσιαστούν τα αποτελέσματα που αφορούν την δυναμική καταπόνηση με την χρονοιστορία του σεισμού της Αθήνας του 1999, τα οποία βοηθούν καλύτερα στην αξιολόγηση της κατάστασης.



41. Επιταχυνσιογράφημα σεισμού Αθήνας 1999 (Table)

<sup>6</sup> Πηγή: Ινστιτούτο Τεχνικής Σεισμολογίας και Αντισεισμικών Κατασκευών (ΙΤΣΑΚ)



42. Επιταχυνσιογράφημα σεισμού Χανίων Κρήτης 1994 (Table)

Για να ολοκληρωθεί η διαδικασία μοντελοποίησης πρέπει να δημιουργήσουμε τις διαφορετικές φορτίσεις (Loadcases). Θα γίνουν δύο αναλύσεις, μια για την διεύθυνση x και μια για την y. Ο τύπος της ανάλυσης

είναι δυναμική – μεταβλητή (Structural, Dynamic Transient) με 5 sec συνολική διάρκεια φόρτισης.

Ωστόσο είναι αρκετά χρήσιμο, να ορίσουμε κάποια κριτήρια αστοχίας των υλικών ώστε να εξάγουμε και τα αποτελέσματα τυχών υπερβάσεων κατά την φόρτιση. Επιλέγουμε το κριτήριο των μέγιστων τάσεων ορίζοντας το όριο της θλιπτικής και εφελκυστικής αντοχής των λιθοδομών σε όλους τους άξονες (x,y,z). Οι τιμές των χαρακτηριστικών αντοχών έχουν παρθεί από βιβλιογραφία<sup>7</sup> και παρουσιάζονται στον πίνακα δεξιά (Πίνακας 2).

Τα αποτελέσματα που παράγει το πρόγραμμα εμφανίζονται είτε σε αναλυτικό τεύχος, είτε σε χρωματικές απεικονίσεις κατανομής τάσεων, μέγιστων μετακινήσεων, υπερβάσεις τάσεων κ.ά.

	Αργολιθοδομή με κανονική δόμηση (material1)	Αργολιθοδομή με κανονική δόμηση (χωρίς συνδετικό κονίαμα) (material2)
<b>σ<sub>yc</sub></b> : Θλιπτική Αντοχή Λιθοδομής (Pa ή N/m <sup>2</sup> )	3.20 * 10 <sup>6</sup>	1.50 * 10 <sup>6</sup>
<b>σ<sub>yt</sub></b> : Εφελκυστική Αντοχή Λιθοδομής (Pa ή N/m <sup>2</sup> )	0.097 * 10 <sup>6</sup>	0.039 * 10 <sup>6</sup>

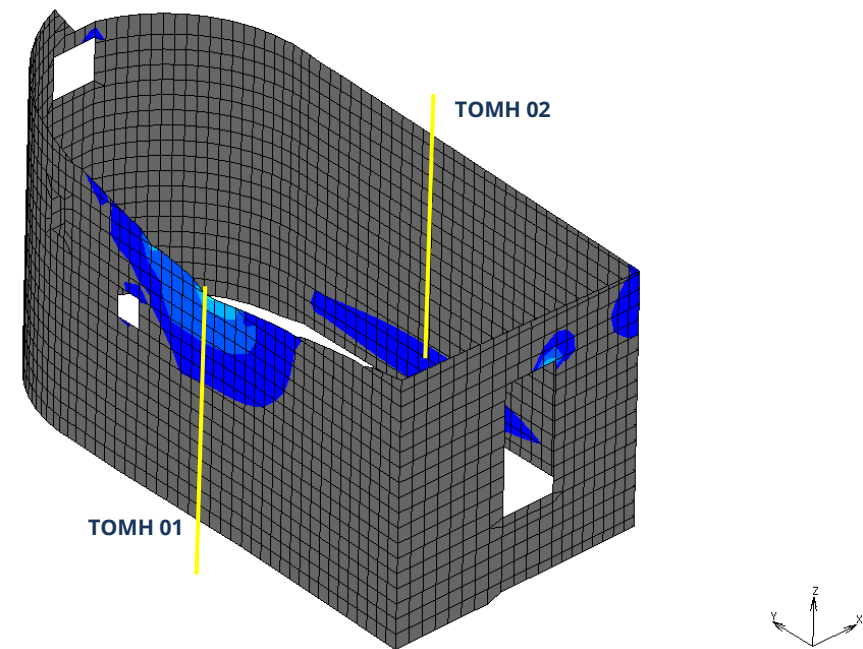
Πίνακας 2. Μηχανικά χαρακτηριστικά Λιθοδομής

<sup>7</sup> Κωνσταντίνος Σπυράκος, οπ., σελ. 87- 97

### 3.3 Αποτελέσματα ανάλυσης υφιστάμενης κατάστασης

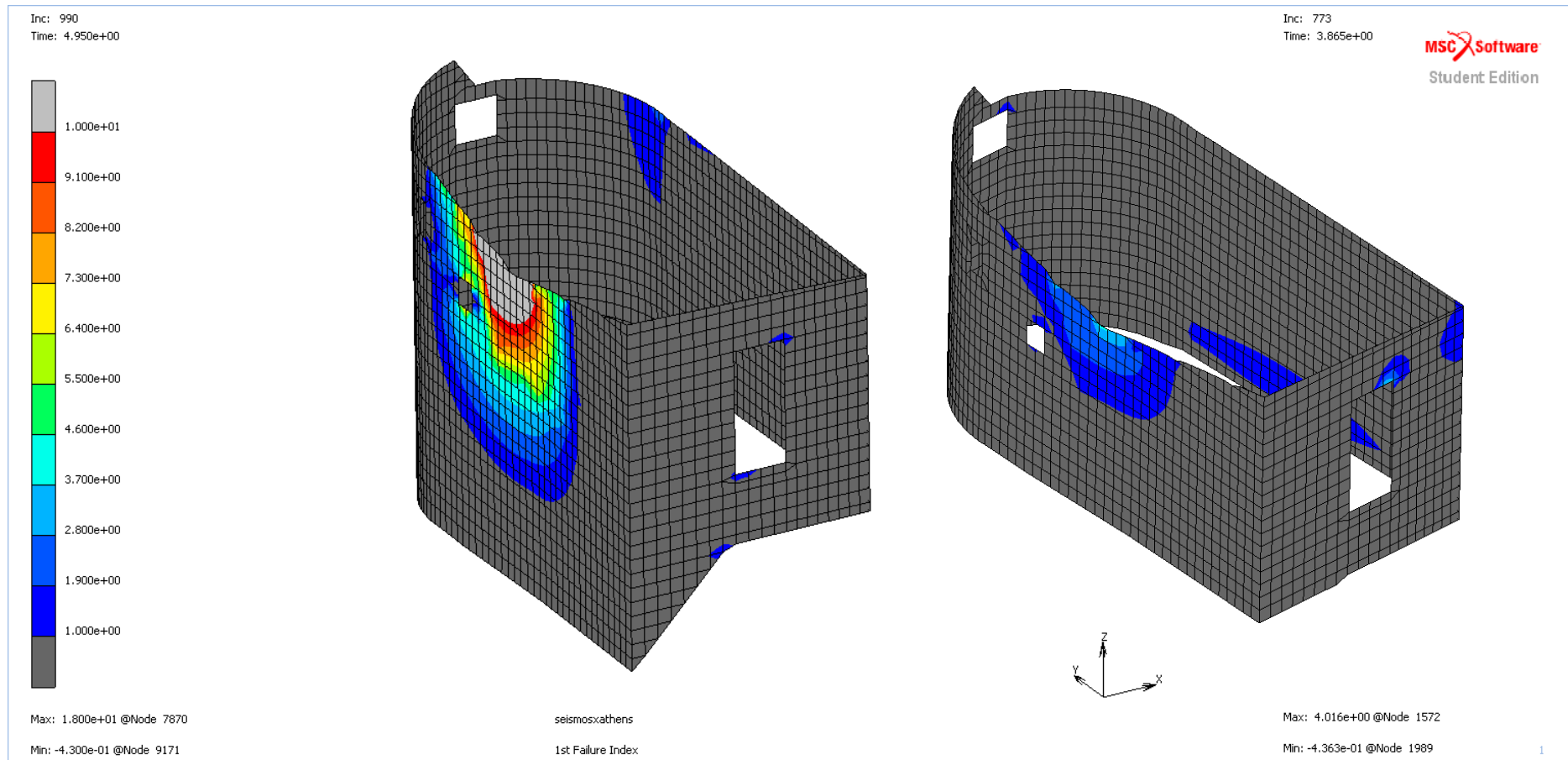
Αρχικά, όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα, έγιναν δύο μοντέλα, σχετικά με την κατάσταση θεμελίωσης της νοτιοδυτικής τοιχοποιίας, καταλήγοντας στο δεύτερο ως πιο αξιόπιστο. Στην πρώτη εικόνα (Εικόνα 44) συγκρίνοντας το βαθμό αστοχίας, του εκάστοτε φορέα, ως προς την εφελκυστική τάση στον άξονα  $x$ , παρατηρούμε ότι το πρώτο μοντέλο αστοχεί σε ευρύτερη περιοχή από το δεύτερο. Επιπλέον, θεωρώντας σαν υπέρβαση την μονάδα και φτάνοντας έως το δέκα, βλέπουμε το πρώτο μοντέλο να έχει μεγαλύτερες τιμές και να ξεπερνά το δέκα κατά πολύ (Max:18, @node7870). Με αυτά τα δεδομένα σε συνδυασμό με μεγάλες μετακινήσεις που εμφανίζει η συγκεκριμένη περιοχή, το μοντέλο που εξετάζεται παρακάτω είναι το δεύτερο (Εικόνα 44\_ δεξιά).

Στη συνέχεια παρουσιάζονται, σε χρωματικές απεικονίσεις, οι απόλυτες μετατοπίσεις για του δύο συνδυασμούς φορτίσεων (1:  $x+0.3y$  και 2:  $y+0.3x$ ) (Εικόνα 45 – 48). Έπειτα οι μέγιστες κύριες τάσεις (Maximum Principle value of stress), μας δίνουν μία πρώτη ανάγνωση για την κατανομή των τάσεων και τις περιοχές με εφελκυσμό (Εικόνα 49,50), ενώ τα κριτήρια αστοχίας εμφανίζουν ακριβώς τις περιοχές υπέρβασης τάσεων (Εικόνα 51-54). Τέλος, για την καλύτερη κατανόηση των σημείων που εμφανίζουν μεγάλες μετατοπίσεις, έγιναν δύο τομές όπως φαίνονται στην Εικόνα 43. Στις τομές έγινε καταγραφή των μετατοπίσεων στον άξονα  $x$  (εκτός επιπέδου παραμόρφωση), καθ' όλη την διάρκεια της καταπόνησης (5 sec), στον κόμβο της βάσης της μέσης και της κορυφής της τοιχοποιίας (history plot). Επίσης, στις συγκεκριμένες τομές δημιουργήθηκαν διαγράμματα όπου, την χρονική στιγμή που εμφανίζονται οι μέγιστες τιμές μετατόπισης, μας δίνουν τις τιμές μετατόπισης κάθε κόμβου στην τομή αυτή (path plot)(Εικόνα 55-57).

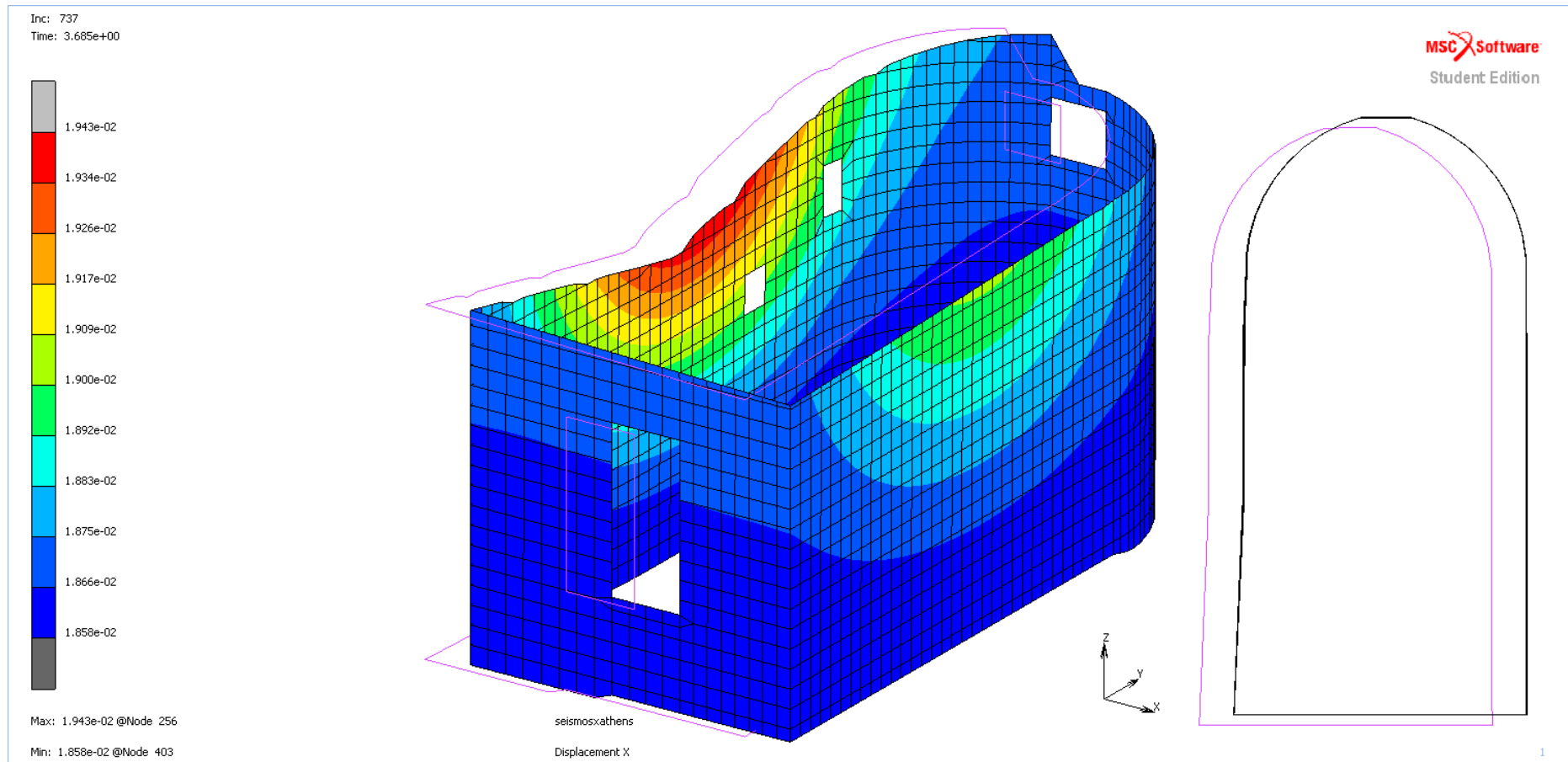


43. Θέση τομών 01 και 02 για την παραγωγή διαγραμμάτων path & history plot.

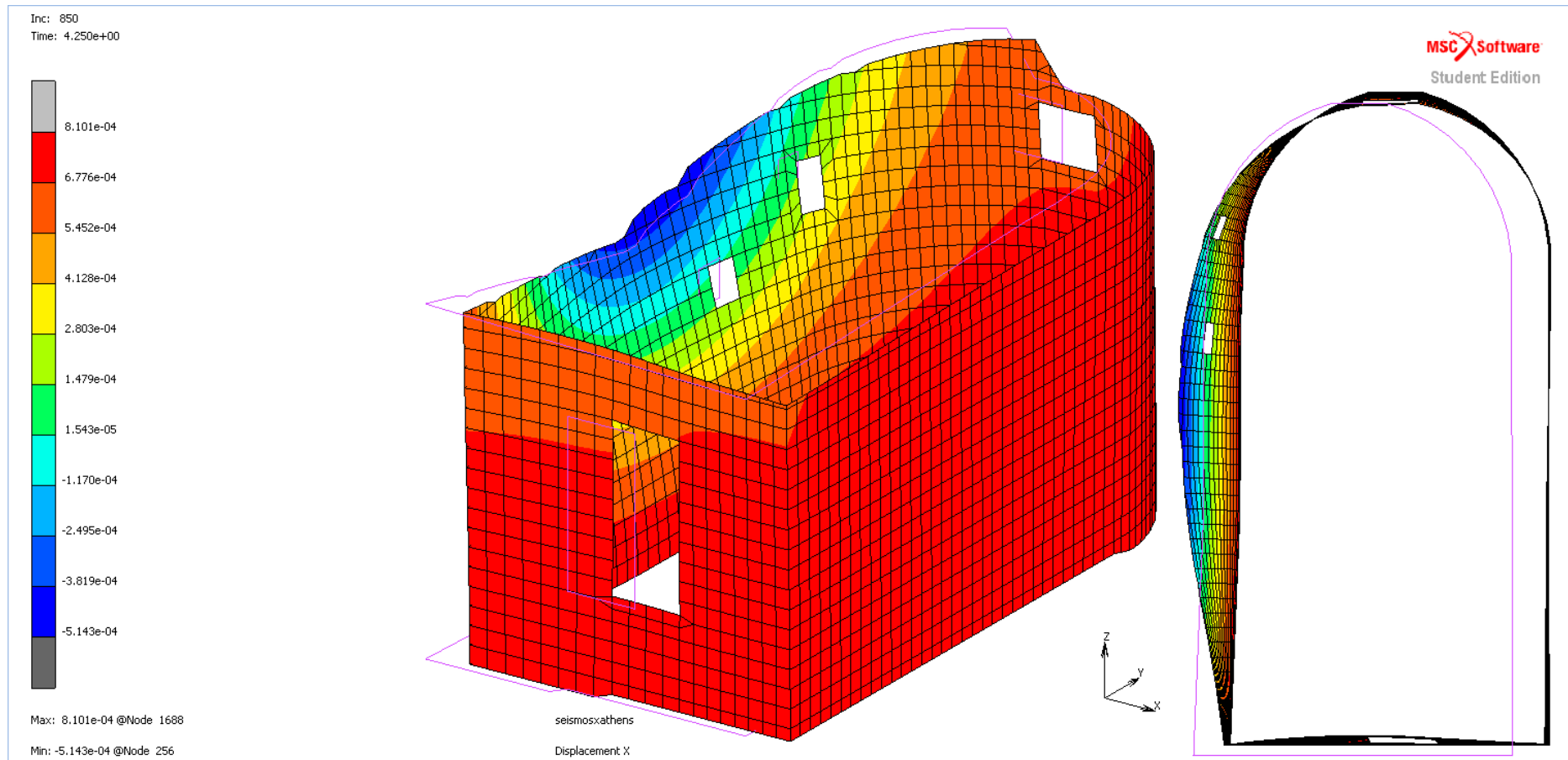




44.1st Failure Index - Tensile stress  $\times 10$  Κριτήριο αστοχίας - εφελκυστική τάση άξονα  $x$   
Σύγκριση αρχικού μοντέλου (αριστερά) με τελικό (δεξιά).

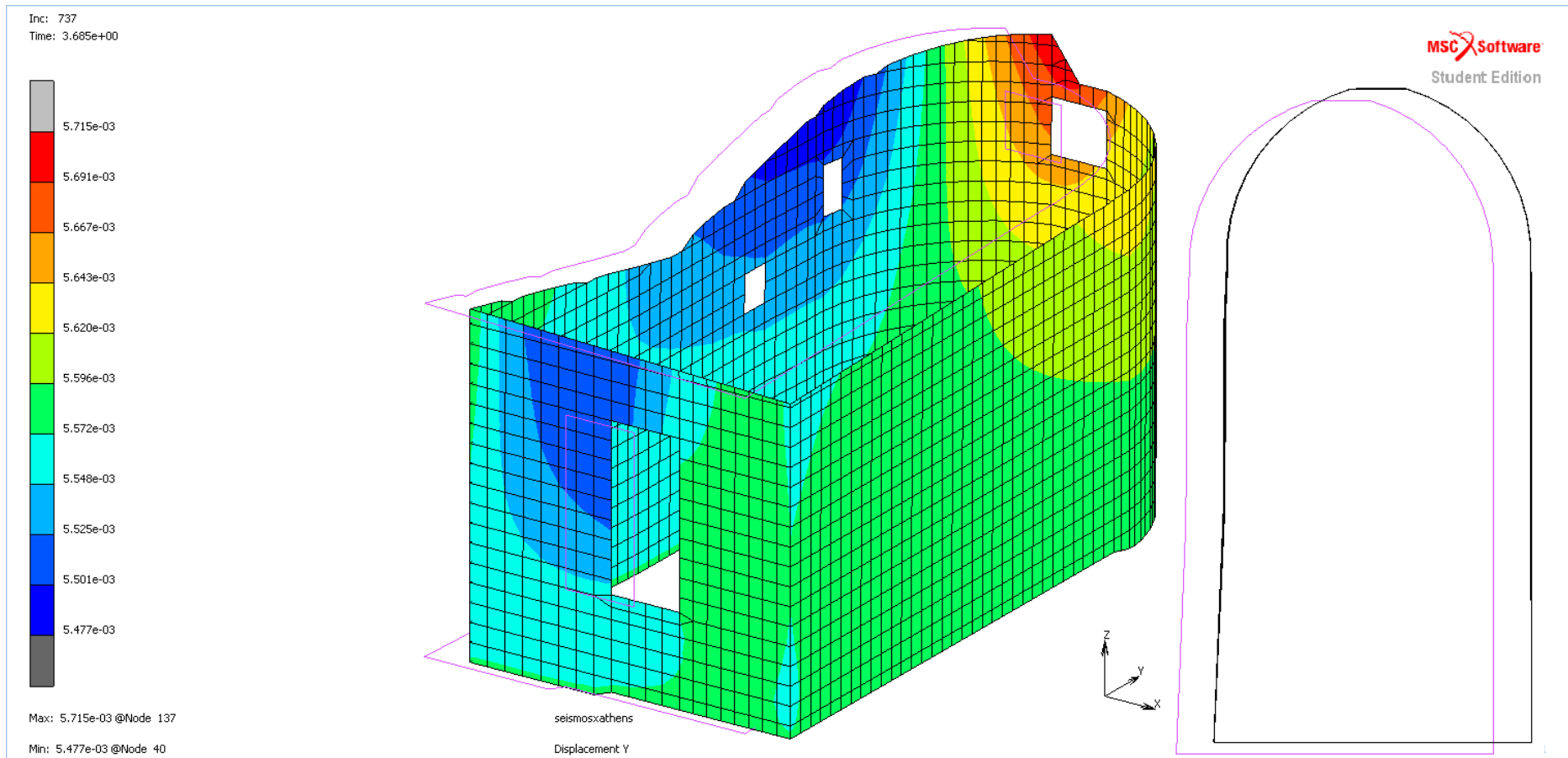


45. Μετατόπιση  $x$  : 1<sup>η</sup>ς φόρτισης ( $x+0.3y$ )  
Time : 3,685 sec

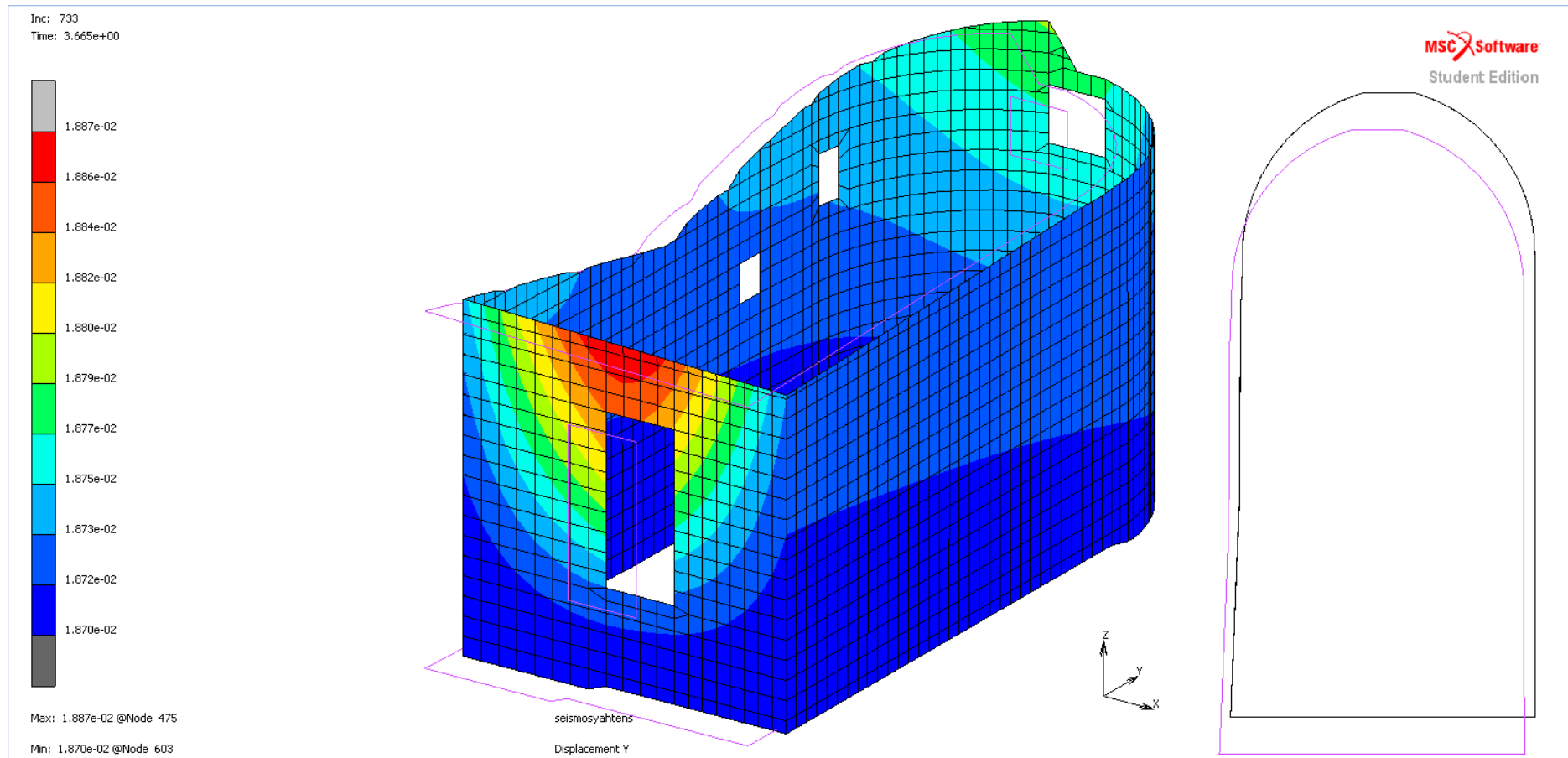


46. Μετατόπιση  $x$  : 1<sup>η</sup>ς φόρτισης ( $x+0.3y$ )  
Time : 4,250 sec

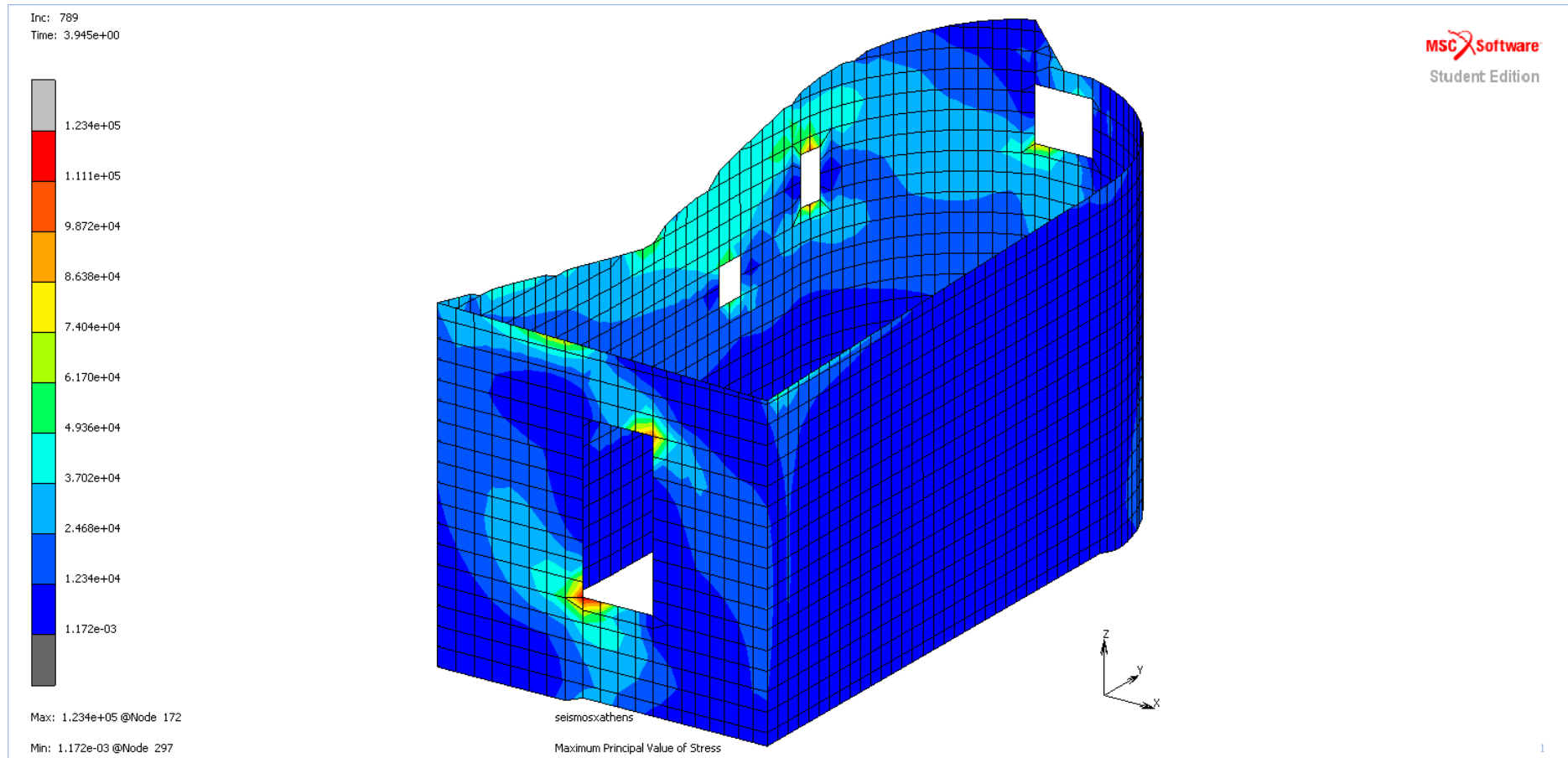




47. Μετατόπιση y : 1<sup>η</sup>ς φόρτισης (x+0.3y)  
Time : 3,685 sec

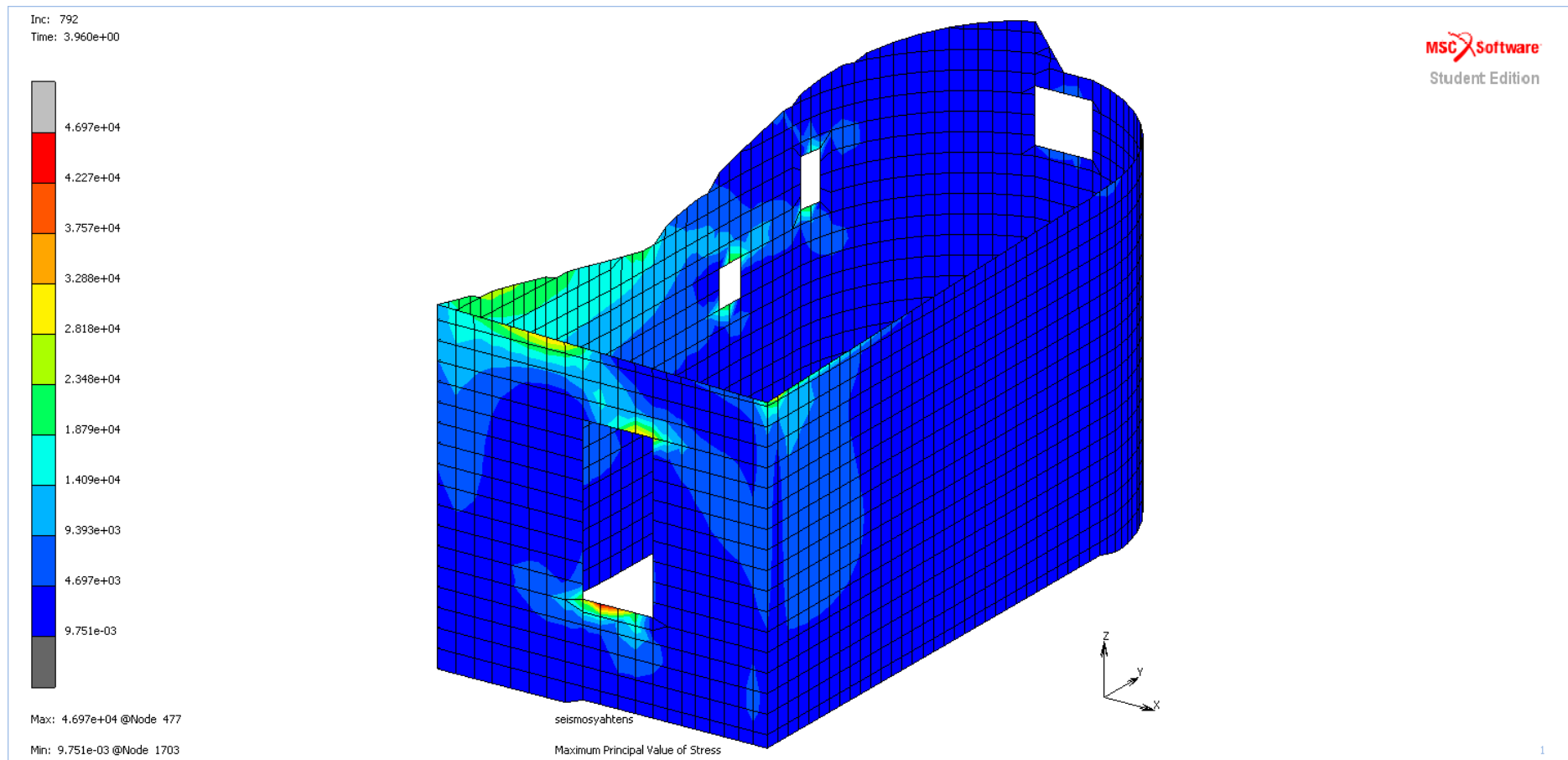


48. Μετατόπιση  $y$  : 2<sup>η</sup>ς φόρτισης ( $y+0.3x$ )  
Time : 3,685 sec

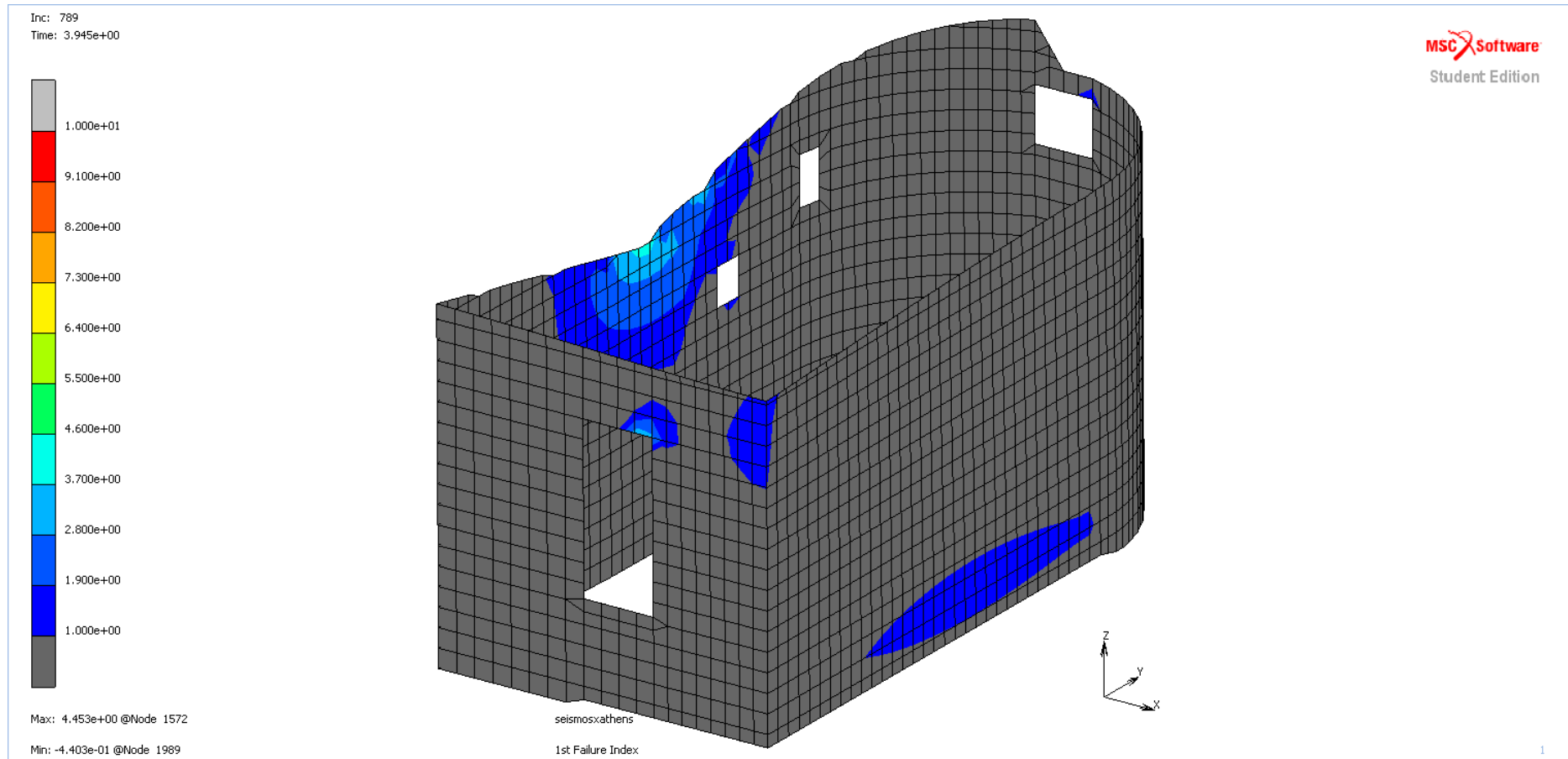


49. Μέγιστες κύριες τάσεις: 1<sup>η</sup>  
φόρτισης (x+0.3y)

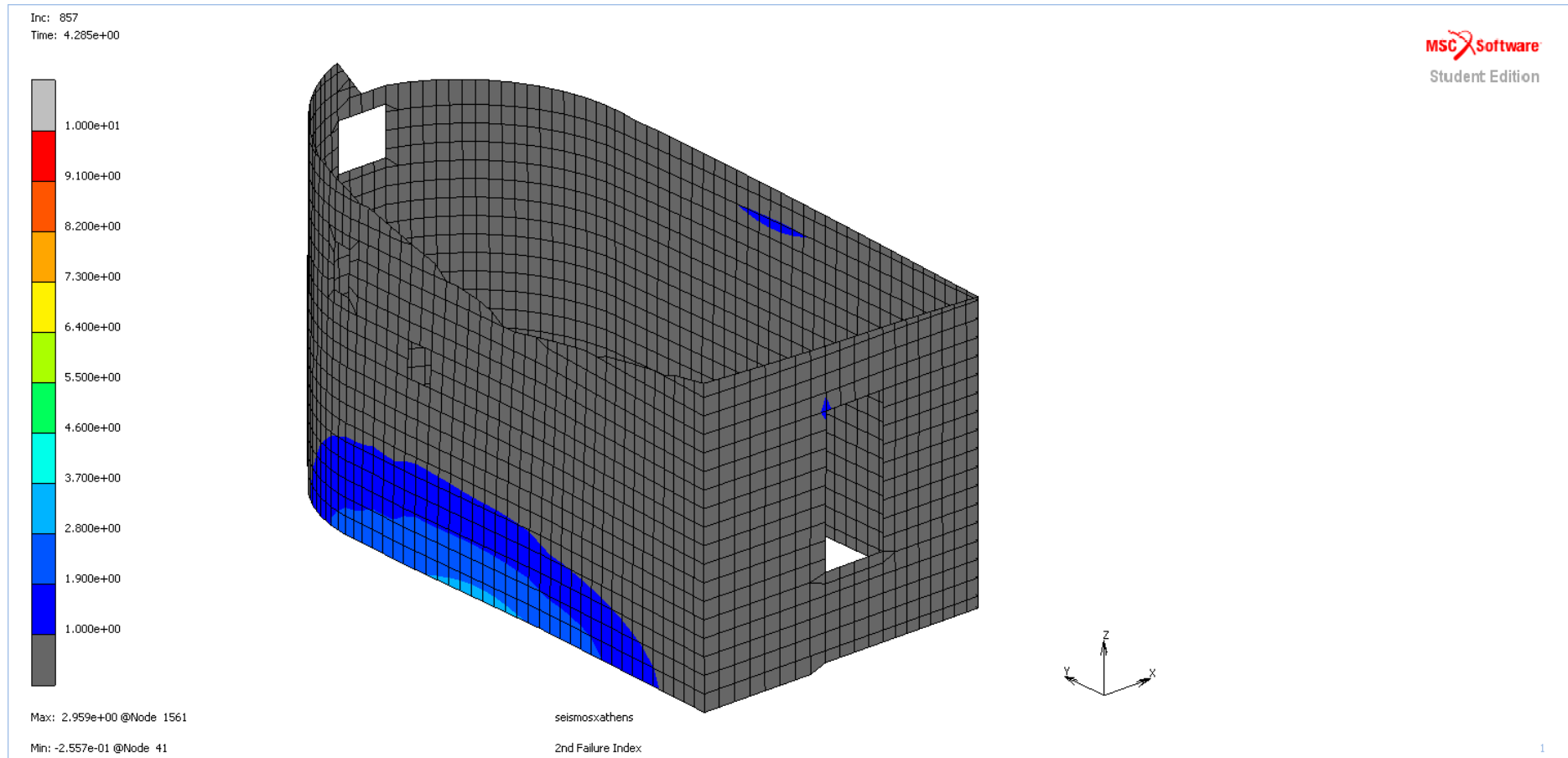




50. Μέγιστες κύριες τάσεις: 2<sup>ης</sup> φόρτισης (y+0.3x)

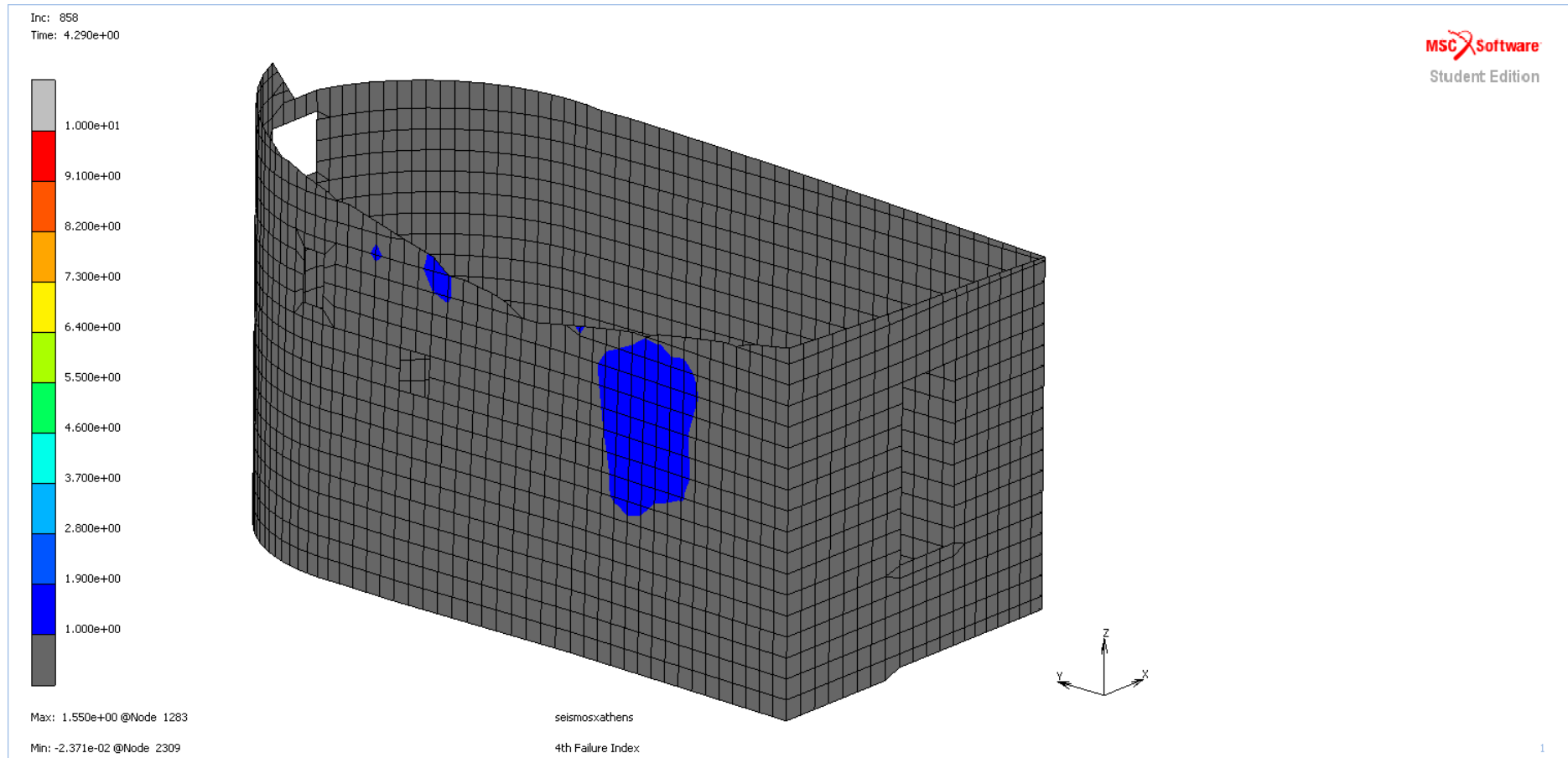


51. 1st Failure Index - Tensile stress x  
1ο Κριτήριο αστοχίας - Εφελκυστική τάση  
άξονα x : 1<sup>η</sup>ς φόρτισης (x+0.3y)

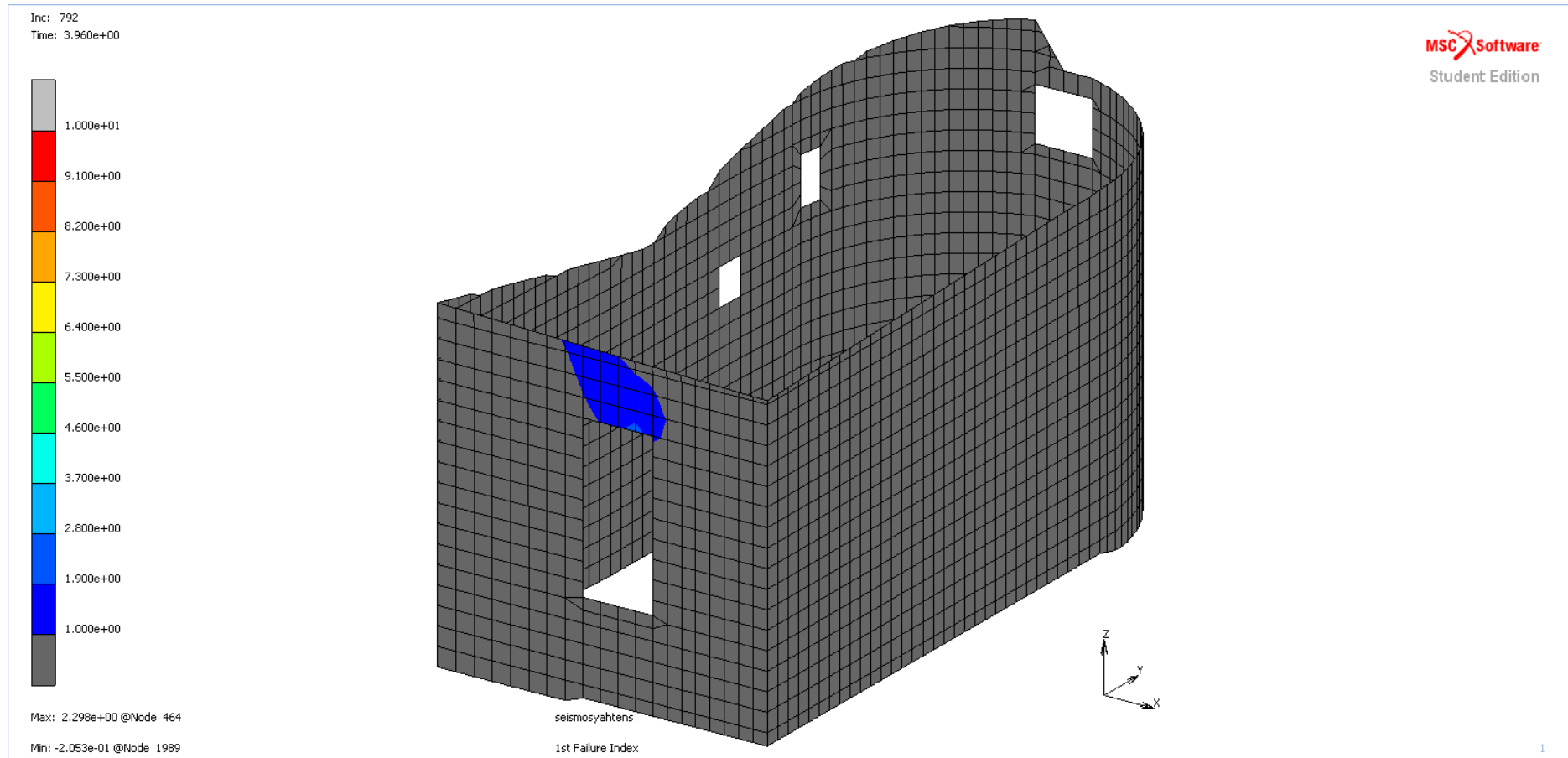


52. 2st Failure Index -Compressive stress x  
2ο Κριτήριο αστοχίας -Θλιπτική τάση  
άξονα x : 1<sup>η</sup>ς φόρτισης (x+0.3y)

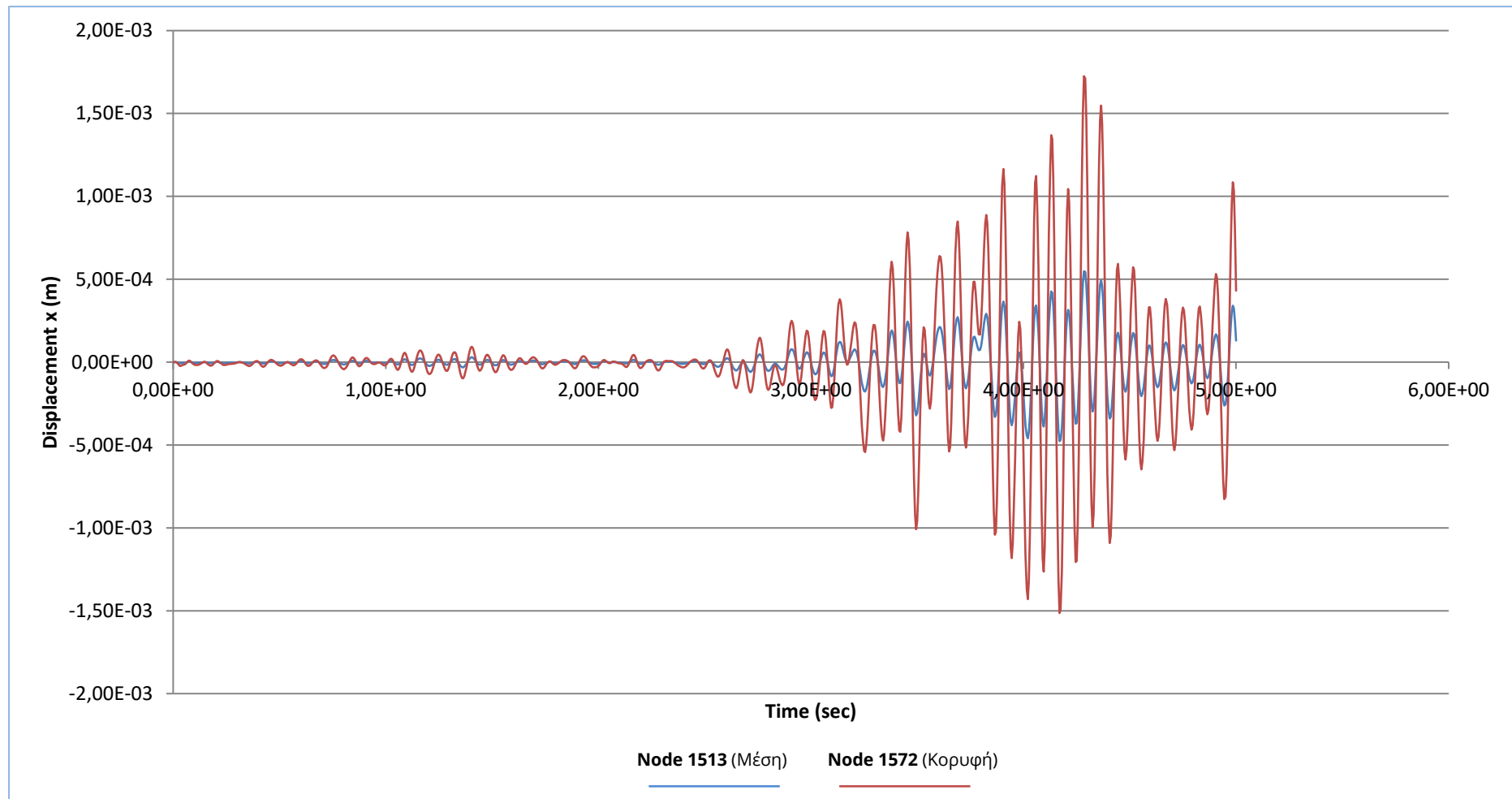




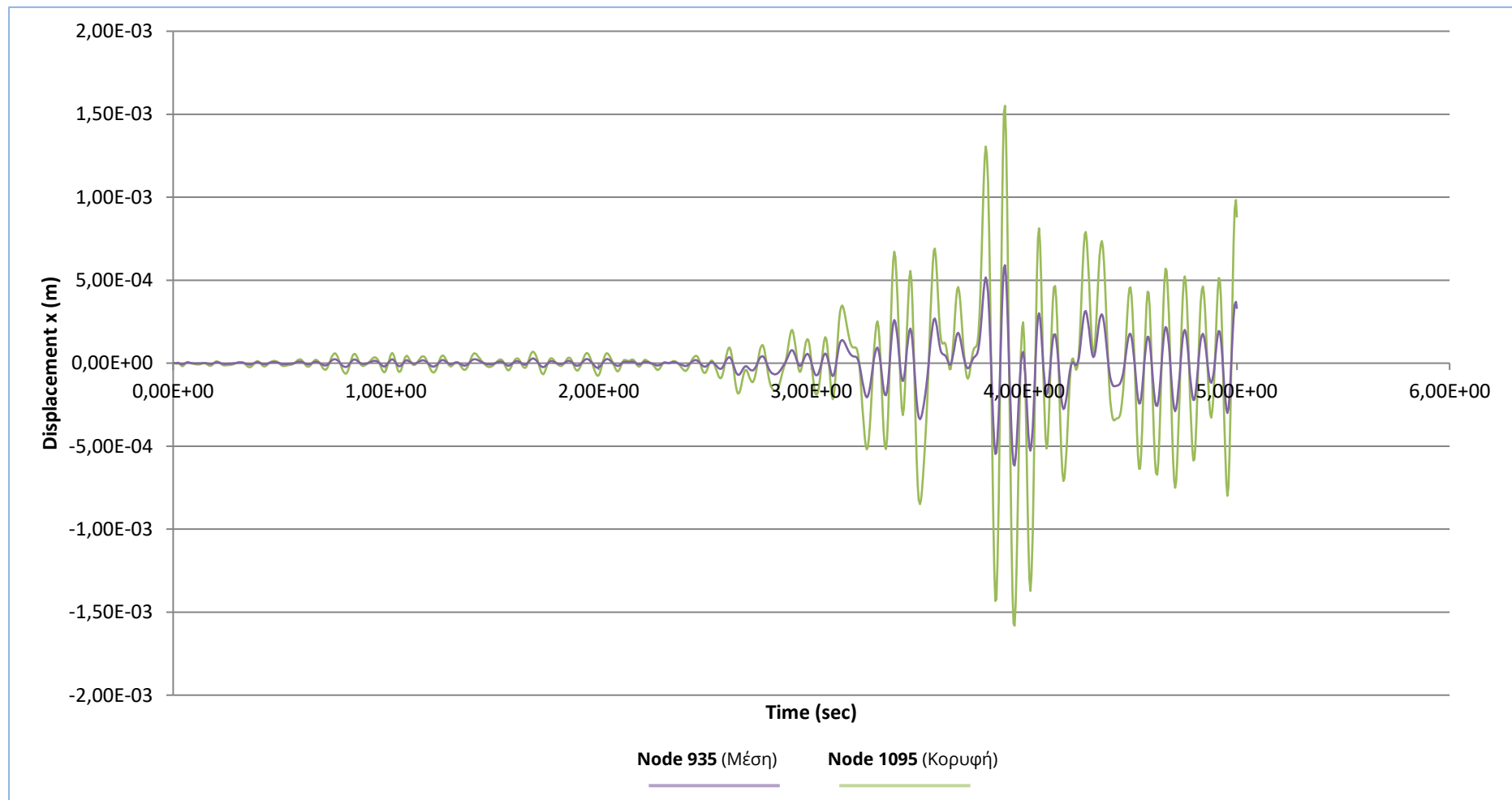
53. 4st Failure Index -Compressive stress y  
4ο Κριτήριο αστοχίας -Θλιπτική τάση  
άξονα y : 1<sup>η</sup>ς φόρτισης (x+0.3y)



54. 1st Failure Index -Tensile stress x  
1ο Κριτήριο αστοχίας -Εφελκυστική τάση  
άξονα x : 2<sup>ης</sup> φόρτισης (γ+0.3x)

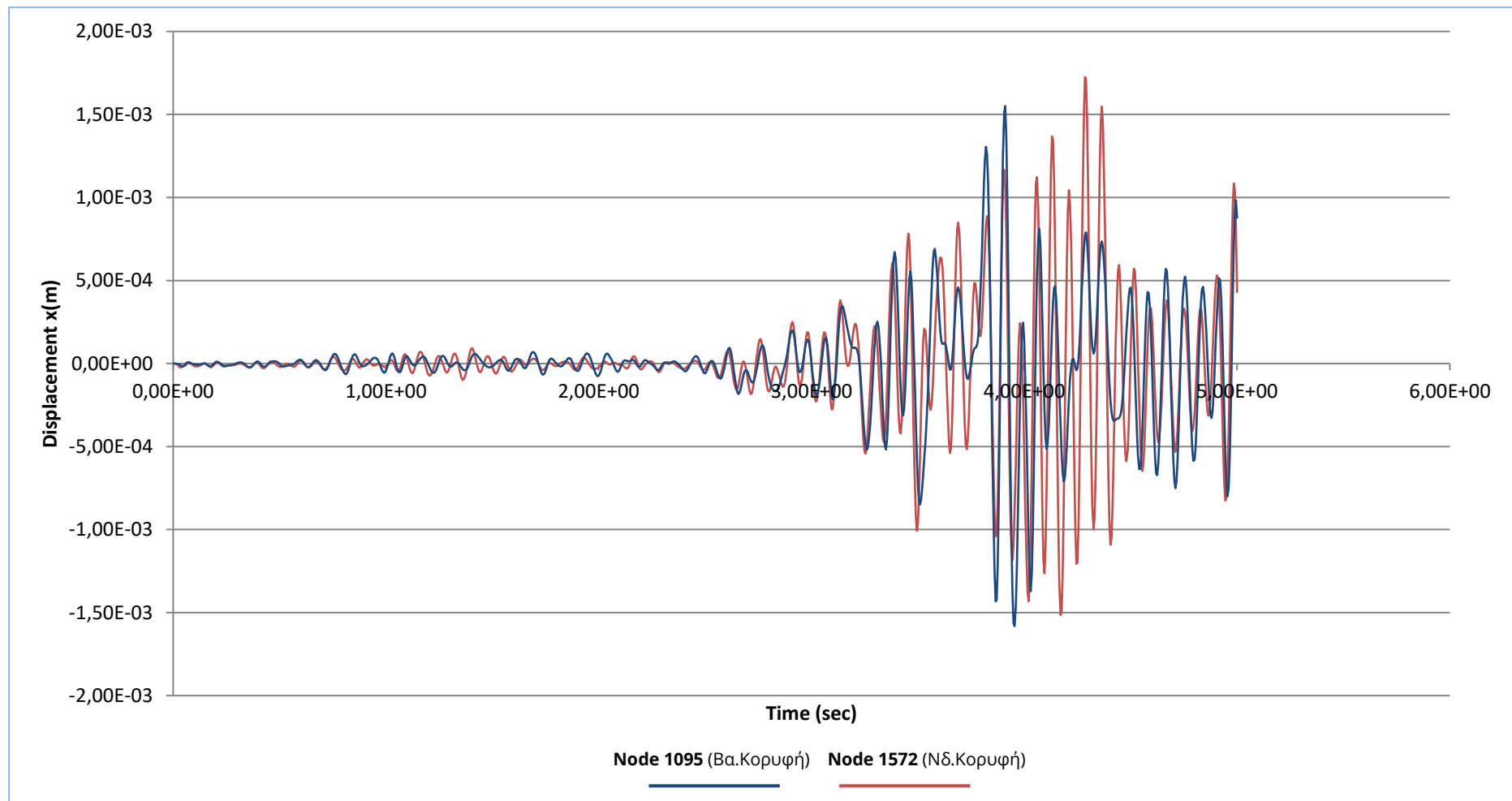


55. Διάγραμμα Μετατόπισης  $x$  - Χρόνου  
Κόμβων μέσης και κορυφής  
Νοτιοδυτικής τοιχοποιίας (Τομή 01)



56. Διάγραμμα Μετατόπισης  $x$  - Χρόνου  
Κόμβων μέσης και κορυφής  
Βορειοανατολικής τοιχοποιίας (Τομή 02)





57. Διάγραμμα Μετατόπισης  $x$  - Χρόνου Κόμβων κορυφής Βορειοανατολικής και Νοτιοδυτικής τοιχοποιίας (Τομή 01 & 02)

Από τα παραπάνω αποτελέσματα παρατηρούμε ότι η ασυνέχεια της γεωμετρίας σε συνδυασμό με τα μικρής αντοχής τμήματα, δεν επιτρέπουν στην κατασκευή να ταλαντώνεται σαν σύνολο. Ιδιαίτερα κατά την φόρτιση στον άξονα  $x$ , η βορειοανατολική και νοτιοδυτική τοιχοποιία, όπου δέχονται φορτίσεις εκτός επιπέδου, ταλαντώνονται αυτόνομα. Στην νοτιοδυτική τοιχοποιία εμφανίζονται μεγαλύτερες μετατοπίσεις, σε σχέση με την βορειοανατολική, ωστόσο οι τιμές των απόλυτων μετατοπίσεων κυμαίνονται από 0 έως 2 mm. Στη διεύθυνση  $y$  όπως ήταν αναμενόμενο δεν παρουσιάζονται αξιόλογες μετατοπίσεις.

Όσον αφορά την κατανομή των κύριων τάσεων συγκεντρώνονται κυρίως στην νοτιοδυτική νοτιοανατολική όψη, στις περιοχές που είναι τα ανοίγματα της θύρας και των παραθύρων. Στην όψη που υπάρχει και το μεγαλύτερο άνοιγμα εισόδου, εμφανίζονται στις διαγώνιους, στο ανώφλι και γενικότερα στο άνωθεν τμήμα της εισόδου, λόγω της χαμηλής αντοχής του. Επίσης εκτός από τα μικρότερων διαστάσεων ανοίγματα τα οποία εμφανίζουν ανάλογες συγκεντρώσεις τάσεων, παρατηρείται το ίδιο και στο μέσον της νοτιοδυτικής τοιχοποιίας λόγω της ακανόνιστης στέψης της, αλλά και της μικρότερης αντοχής της στο σημείο αυτό.

Συμπληρωματικά, τα κριτήρια αστοχίας, επισημαίνουν της περιοχές που υπερβαίνουν το όριο διαρροής σε μια κλίμακα από 1 -10. Μεγαλύτερη υπέρβαση της εφελκυστικής τάσης εμφανίζουν τα σημεία της νοτιοδυτικής και νοτιοανατολικής όψης που προαναφέρθηκαν, γνωρίζοντας ωστόσο την χαμηλή αντοχή λιθοδομών σε εφελκυσμό. Το μέσον της νοτιοδυτικής όψης, στην επιτόπια καταγραφή των δομικών βλαβών, εμφανίζει έντονες ρηγματώσεις. Ακόμα, η άνω δεξιά γωνία της νοτιοανατολικής όψης, παρουσιάζει μικρότερη αστοχία, το οποίο όμως το συναντάμε στην πραγματικότητα στην σημερινή κατάσταση με μία τοπική ρηγμάρωση.

Τέλος από τις τομές 01 και 02, παρήχθησαν διαγράμματα Μετατόπισης  $x$  – Χρόνου με τις απόλυτες μετατοπίσεις των κόμβων στο μέσον και την κορυφή της κάθε τοιχοποιίας. Η κάθε τοιχοποιία φαίνεται να συμπεριφέρεται ομοιόμορφα, το μέσον με μικρότερη ταλάντωση ακολουθεί την ταλάντωση της κορυφής. Πιο χρήσιμο είναι να τονισθεί η διαφορετική συμπεριφορά των δύο τοιχοποιιών. Στο διάγραμμα της εικόνας 57, διακρίνουμε χρονικά μετατοπισμένες τις δύο ταλαντώσεις καθ' όλη την διάρκεια της φόρτισης και επίσης οι μεγιστοποιήσεις εμφανίζονται σε διαφορετική χρονική στιγμή.

Συμπερασματικά, διαπιστώνουμε ότι υπάρχει έλλειψη σύνδεσης των τοιχοποιιών με τις εγκάρσιες, ώστε να μεταφέρονται τα φορτία στις απέναντι τοιχοποιίες. Σε αυτό συμβάλλει η απώλεια της στέγης και κατά συνέπεια η ανυπαρξία οποιασδήποτε διαφραγματικής λειτουργίας. Οι περιοχές δε, με χαμηλότερη αντοχή που είναι υπό κατάρρευση, αφενός αστοχούν και αφετέρου δυσχεραίνουν την κατάσταση δυσκολεύοντας περισσότερο την σύνδεση των επιμέρους στοιχείων.

### 3.4 Προσομοίωση προτεινόμενης επέμβασης

Έχοντας εξάγει κάποια συμπεράσματα από την παθολογία και την δυναμική ανάλυση, προχωράμε σε πιθανές επεμβάσεις στο μοντέλο προσομοίωσης. Αρχικά πρέπει να ολοκληρωθεί η γεωμετρία του φορέα όπως ήταν εξ αρχής. Στα νέα στοιχεία που προστίθενται στην λιθοδομή, καθώς και στο σύνολο της, αυξάνεται η αντοχή κατά 30% από την υπάρχουσα κατάσταση<sup>8</sup>. Αυτή η αύξηση προκύπτει από το γεγονός ότι θα ανακατασκευαστούν περιοχές, θα συμπληρωθούν νέα τμήματα και ολόκληρη η λιθοδομή θα αρμολογηθεί εσωτερικά και εξωτερικά.

Στην στέγη τοποθετούνται ξύλινες δοκοί διαμέτρου 0.15 m σε απόσταση 0.60 m, στις οποίες εφαρμόζεται το φορτίο του χωμάτινου δώματος. Πιο συγκεκριμένα ο υπολογισμός του φορτίου, που αντιστοιχεί σε κάθε δοκό, γίνεται από τον παρακάτω τύπο:

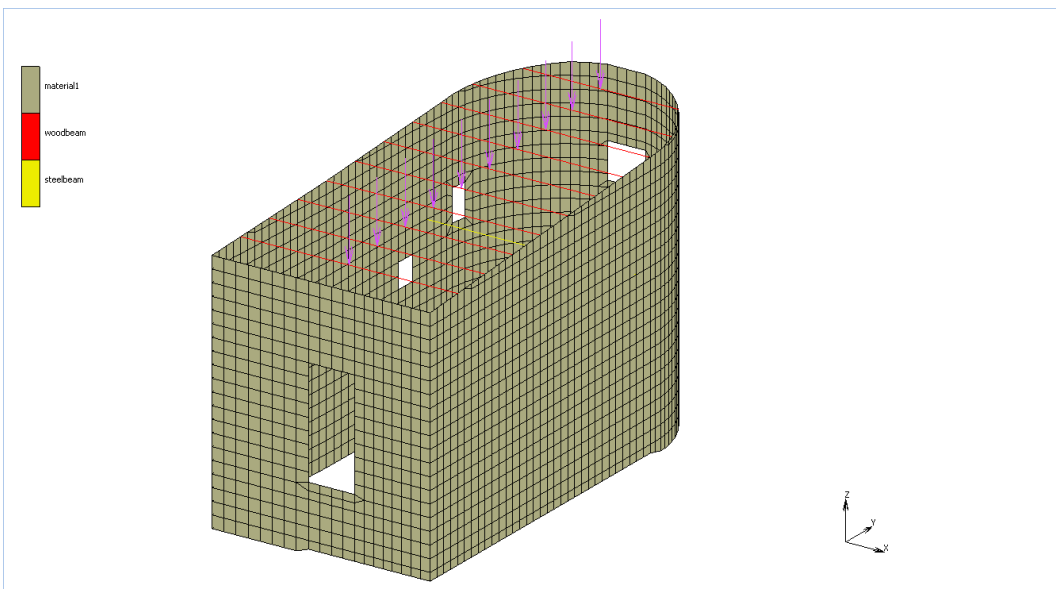
$$F = 1,35 * (l * b * h) * \gamma, \text{ όπου } l, b, h : \text{όγκος χώματος} \\ \gamma : \text{ειδικό βάρος χώματος}$$

Η δύναμη που προκύπτει είναι **F = 8.079,75 N** και εφαρμόζεται στο μέσον της δοκού στην διεύθυνση του άξονα z με αρνητικό πρόσημο (Εικόνα 58). Το τρίτο υλικό που χρησιμοποιείται είναι ο χάλυβας, για τις δοκούς του νέου μηχανισμού της ανεμογεννήτριας. Οι μηχανικές ιδιότητες των υλικών φαίνονται στον Πίνακα 3.

Τέλος, πέραν τις δυναμικής φόρτισης λόγω σεισμού, προστέθηκαν φορτία και ροπές λόγω του μηχανισμού ανεμογεννήτριας. Οι φορτίσεις αυτές είναι οι εξής : **F1**=δύναμη λόγω φορτίου φτερωτής, **F2**= δύναμη λόγω

	Αργολιθοδομή με κονίαμα υδραυλικής ασβέστου (material1)	Ξύλινες δοκοί (material2)	Μεταλλικές δοκοί (material3)
<b>E</b> : Μέτρο Ελαστικότητας (Young's Modulus) – (Pa ή N/m <sup>2</sup> )	2.44 * 10 <sup>9</sup>	0.00993 * 10 <sup>9</sup>	210 * 10 <sup>9</sup>
<b>ν</b> : Poisson's Ratio	0.15	0.41	0.30
<b>ρ</b> : Ειδικό Βάρος (Mass Density)- (Kg/m <sup>3</sup> )	2100	690	7850

Πίνακας 3. Μηχανικά χαρακτηριστικά υλικών προτεινόμενης επέμβασης



58. Προσομοίωση προτεινόμενης επέμβασης στο πρόγραμμα Marc - Mentat. (Materials)

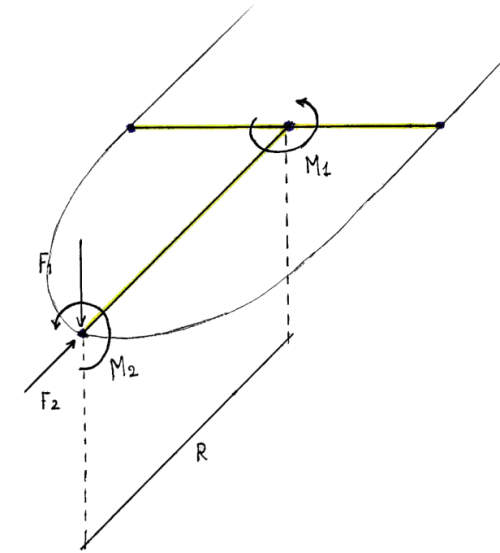
<sup>8</sup> Κωνσταντίνος Σπυράκος, ο.π., σελ. 87- 97

λειτουργίας της φτερωτής, **M1**=ροπή λόγω της **F1** και η **M2**=ροπή λόγω της εκκεντρότητας της λοξής διέλευσης του ανέμου στην φτερωτή<sup>9</sup>. Πιο αναλυτικά για τον υπολογισμό της F1, η φτερωτή αποτελείται από 10 κοιλοδοκούς (L=3.50m D=76.1mm, t=5.0mm G=8.77kg/m), οπότε προκύπτει **F1=3.069,5 N**. Η F2=Pn\*A όπου, A: επιφάνεια σάρωσης φτερωτής και Pn=1/2 \*Cfb\*ρ\*vr<sup>2</sup> όπου, Cfb: συντελεστής έκθεσης στον άνεμο, στην περίπτωση μας Cfb=8/9, ρ: πυκνότητα του αέρα = 1.25 kg/m<sup>3</sup>, vr: η μέση ταχύτητα του ανέμου =16 m/sec, επομένως **F2=17.194,78 N**. Η M1= F1\*R, όπου R: απόσταση φτερωτής από τον εγκάρσιο άξονα, άρα **M1=7675 Nm**. Τέλος η M2=F2\*e,

$$e = \frac{w \cdot a^2}{2 \cdot v r^2}, \quad (w: \text{φορτίο ανέμου}, a: \text{ακτίνα φτερωτής})$$

όπου υπολογίζεται η **M2=51.926 Nm** (Εικόνα 59).

Όπως και στην ανάλυση της υφιστάμενης κατάστασης και σε αυτή την ανάλυση θα ελεγχθούν τα κριτήρια αστοχίας. Οι τιμές της εφελκυστικής και θλιπτικής αντοχής προέκυψαν ως το 30% της υπάρχουσας κατάστασης (Πίνακας 4).



59. Θέση ροπών και δυνάμεων στην κατασκευή λόγω του μηχανισμού ανεμογεννήτριας

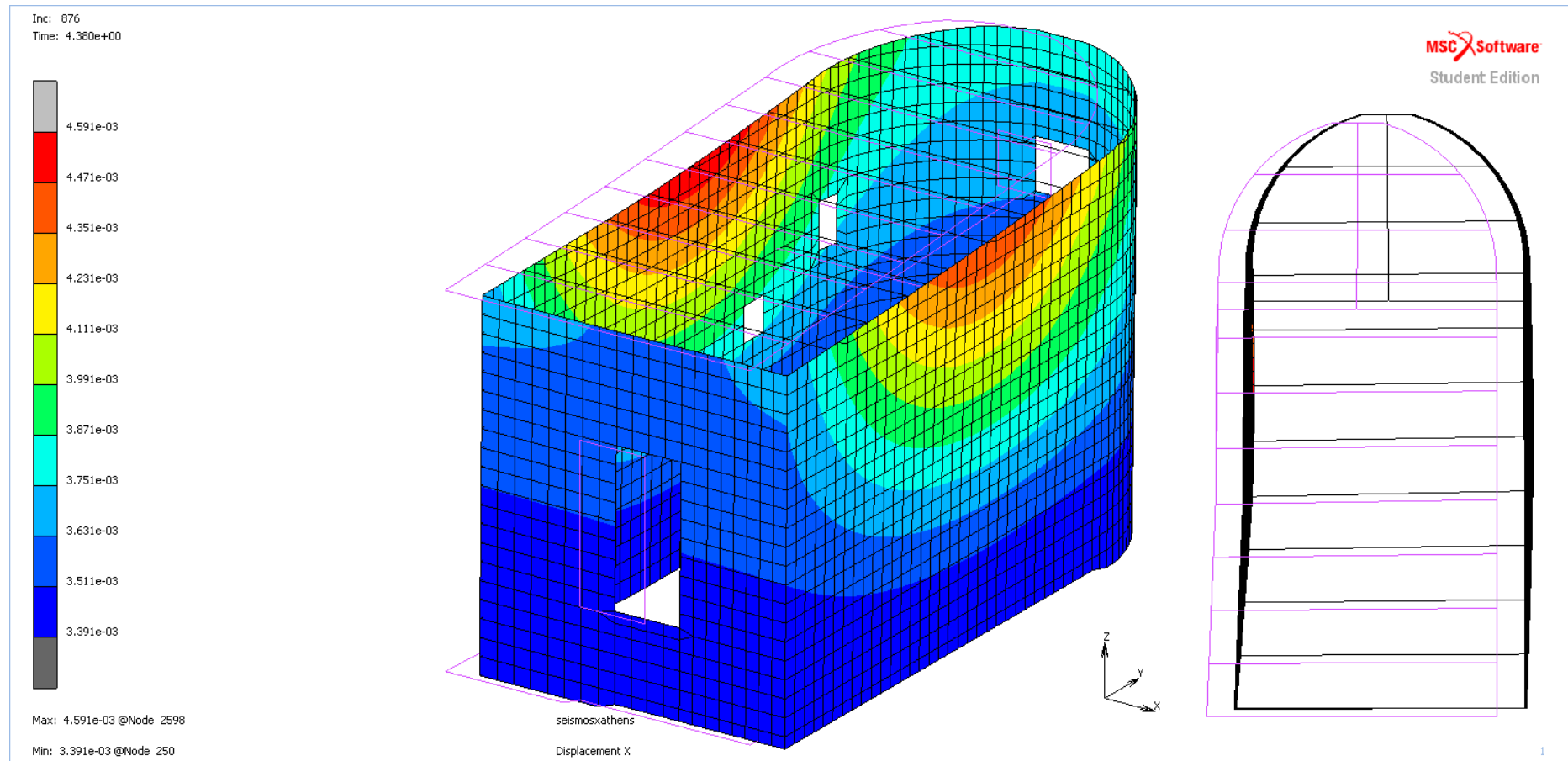
Αργολιθοδομή με κονίαμα υδραυλικής ασβέστου (material1)	
<b>σ<sub>yc</sub></b> : Θλιπτική Αντοχή Λιθοδομής (Pa ή N/m <sup>2</sup> )	4.48 * 10 <sup>6</sup>
<b>σ<sub>yt</sub></b> : Εφελκυστική Αντοχή Λιθοδομής (Pa ή N/m <sup>2</sup> )	0.1358 * 10 <sup>6</sup>

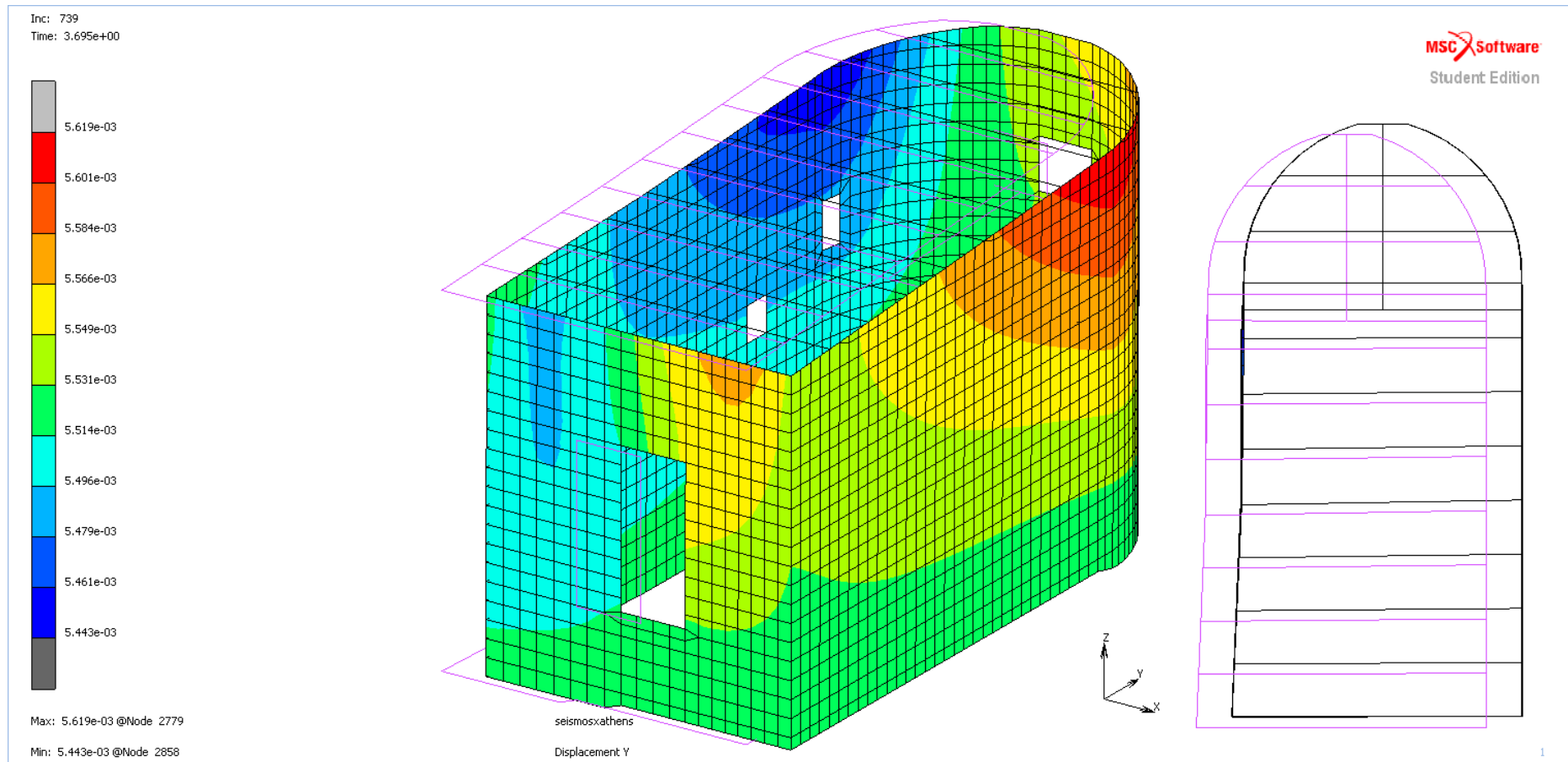
Πίνακας 4. Μηχανικά χαρακτηριστικά υλικών προτεινόμενης επέμβασης

<sup>9</sup> Μπανιωτόπουλος Κ. Χαράλαμπος, Νικολαΐδης Ν. Θεμιστοκλής, Κατασκευές από χάλυβα, παραδείγματα σχεδιασμού στο πλαίσιο του Ευρωκώδικα 3, ΖΗΤΗ, 2012, σελ. 15-42

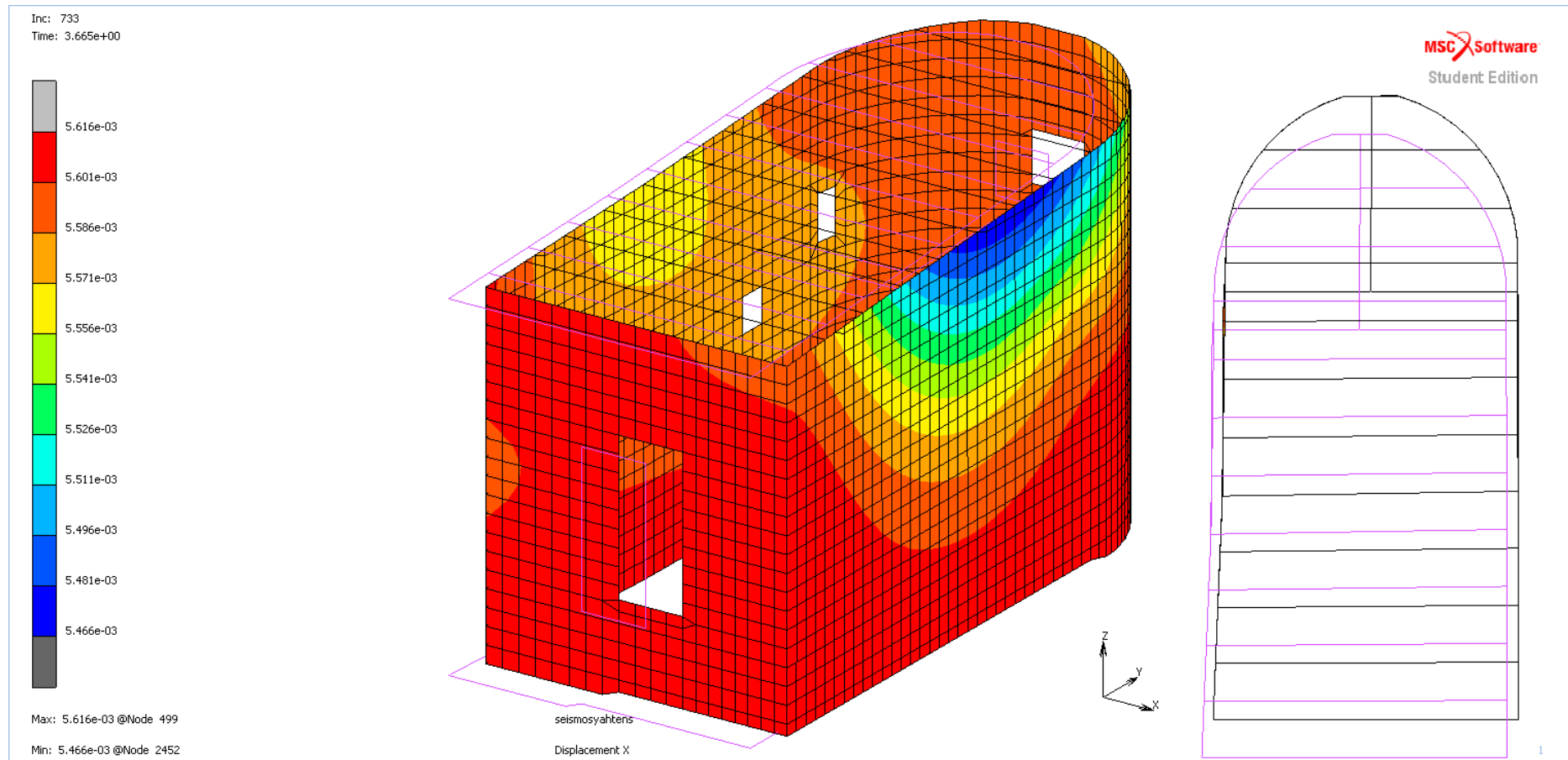


## 3.5 Αποτελέσματα ανάλυσης προτεινόμενης επέμβασης

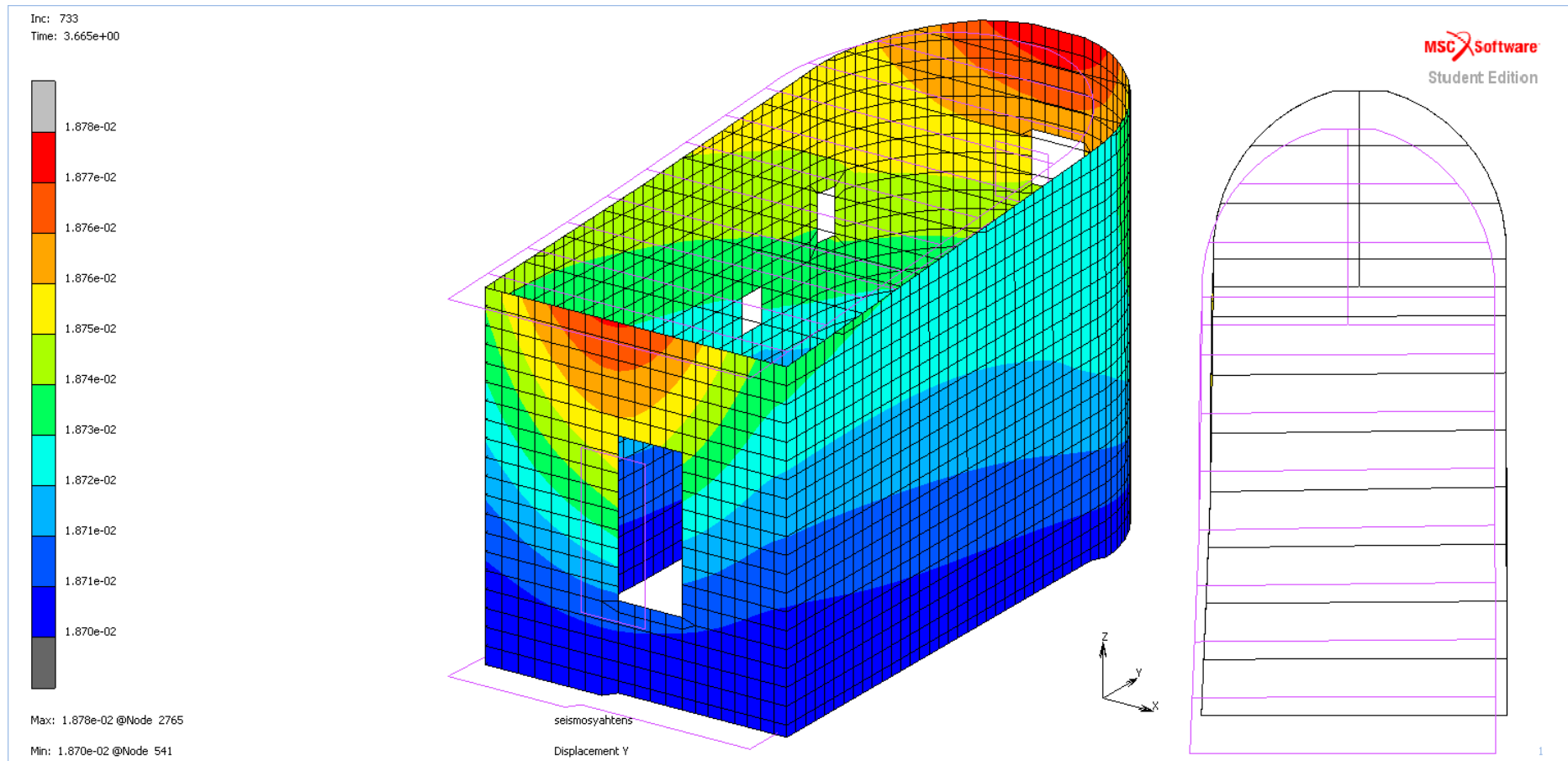
60. Μετατόπιση x : 1<sup>η</sup> φόρτισης (x+0.3y)



61. Μετατόπιση  $y$  : 1<sup>η</sup> φόρτισης ( $x+0.3y$ )

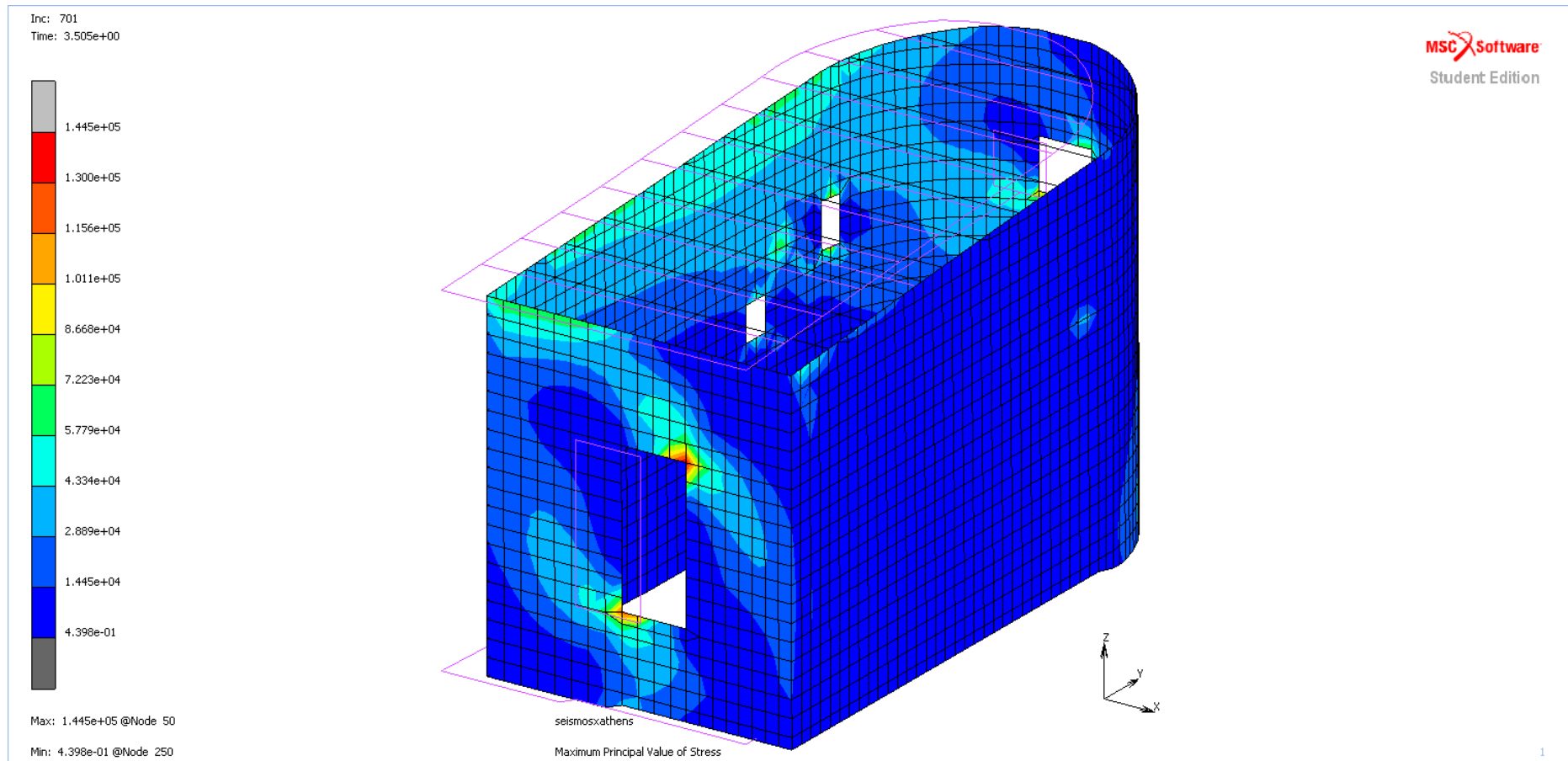


62. Μετατόπιση x : 2<sup>η</sup> φόρτισης (y+0.3x)

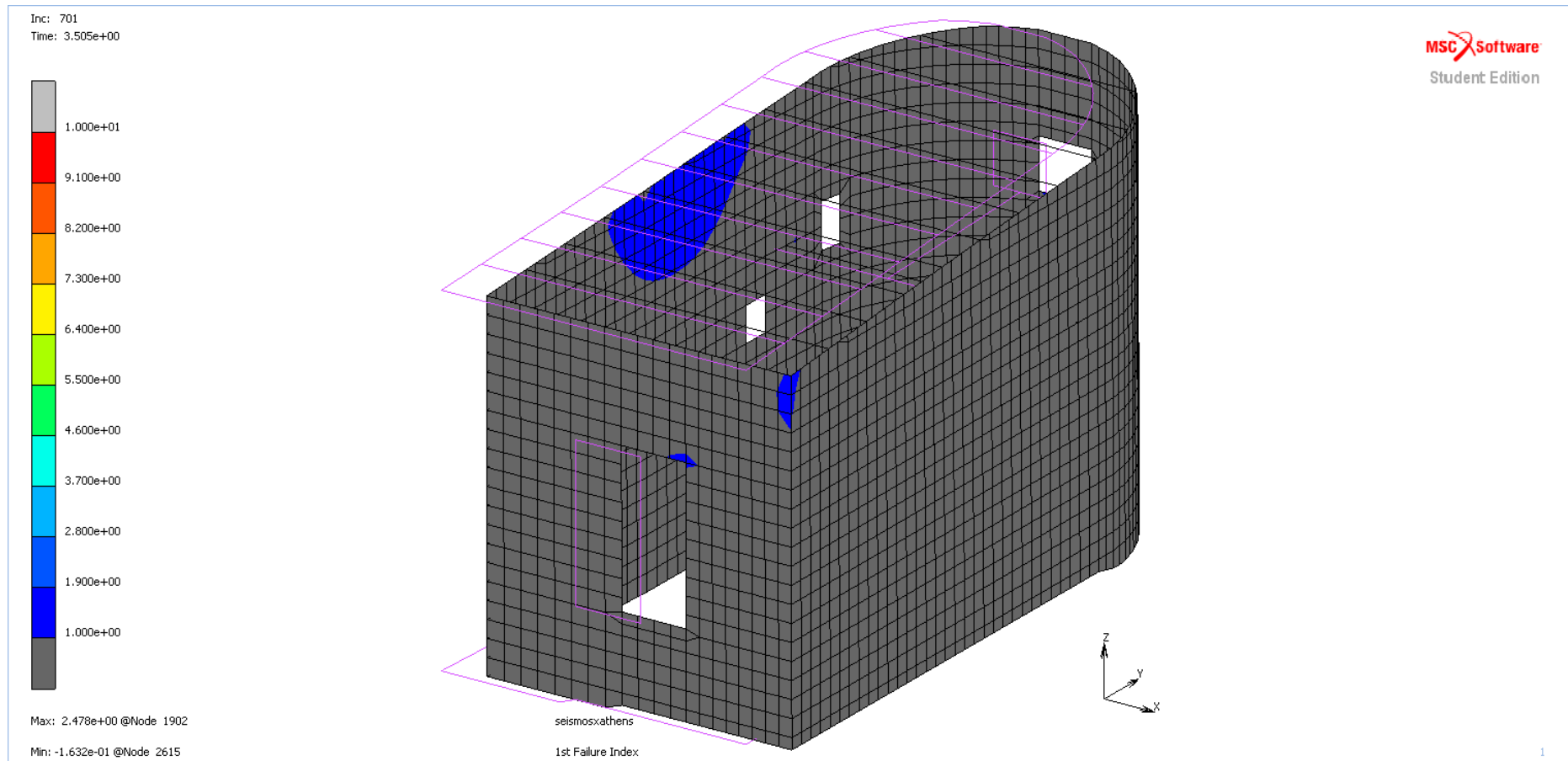


63. Μετατόπιση  $y$  : 2<sup>η</sup> φόρτισης ( $y+0.3x$ )

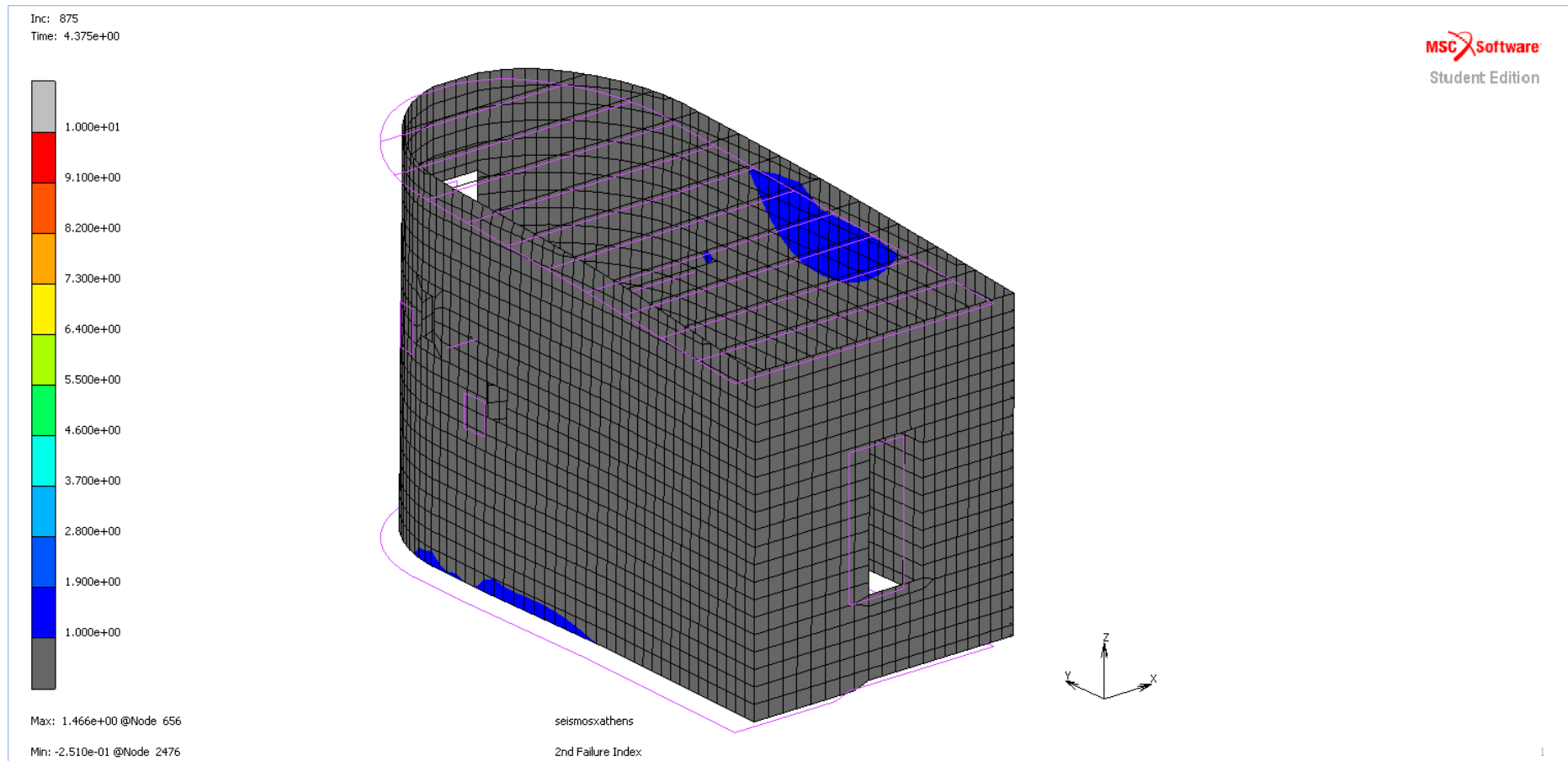




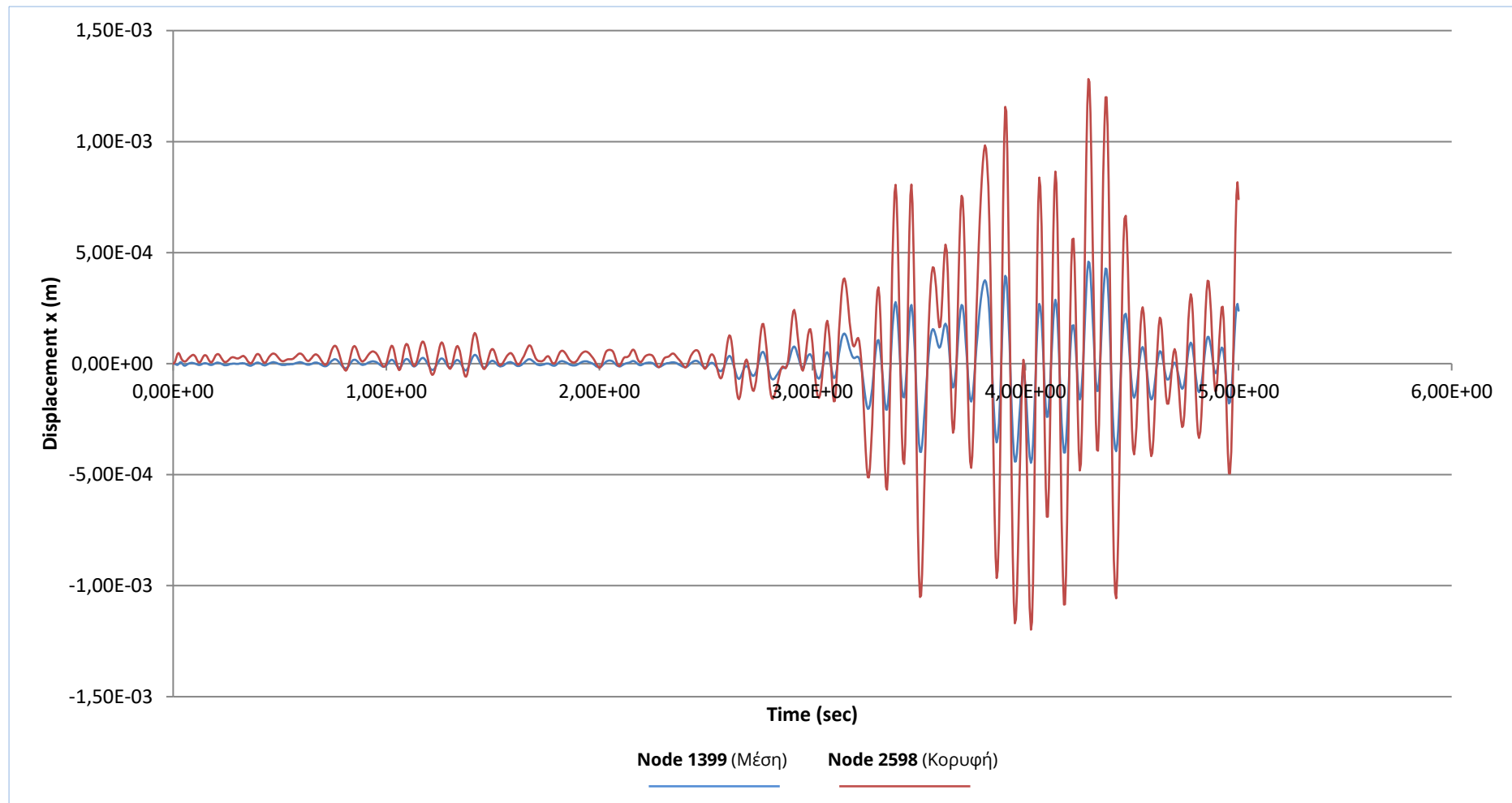
64. Μέγιστες κύριες τάσεις: 1<sup>η</sup>  
φόρτισης (x+0.3y)



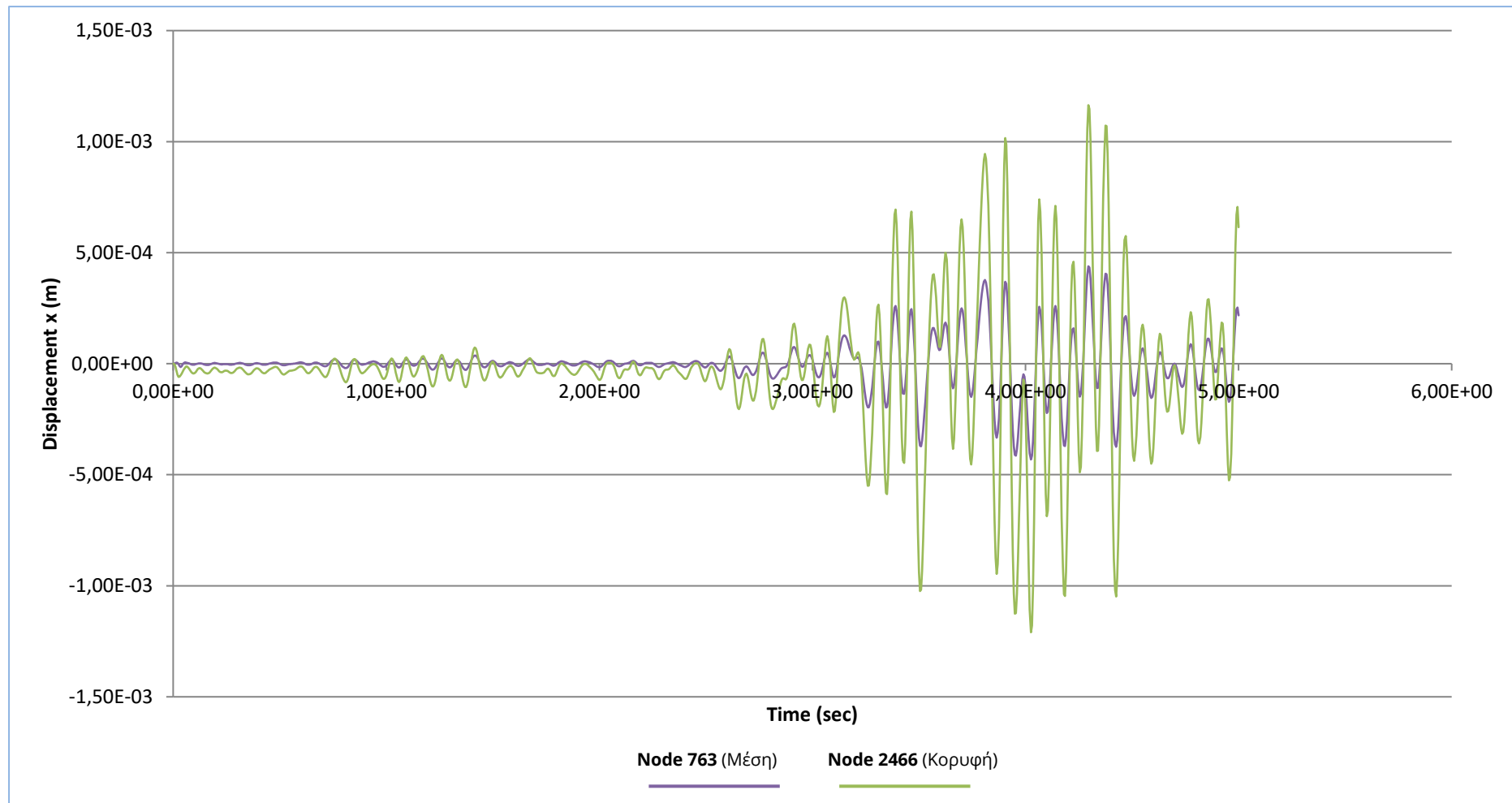
65. 1st Failure Index - Tensile stress x  
1ο Κριτήριο αστοχίας - Εφελκυστική τάση  
άξονα x : 1<sup>η</sup>ς φόρτισης (x+0.3y)



66. 2st Failure Index -Compressive stress x  
2o Κριτήριο αστοχίας -Θλιπτική τάση  
άξονα x : 1<sup>ης</sup> φόρτισης (x+0.3y)

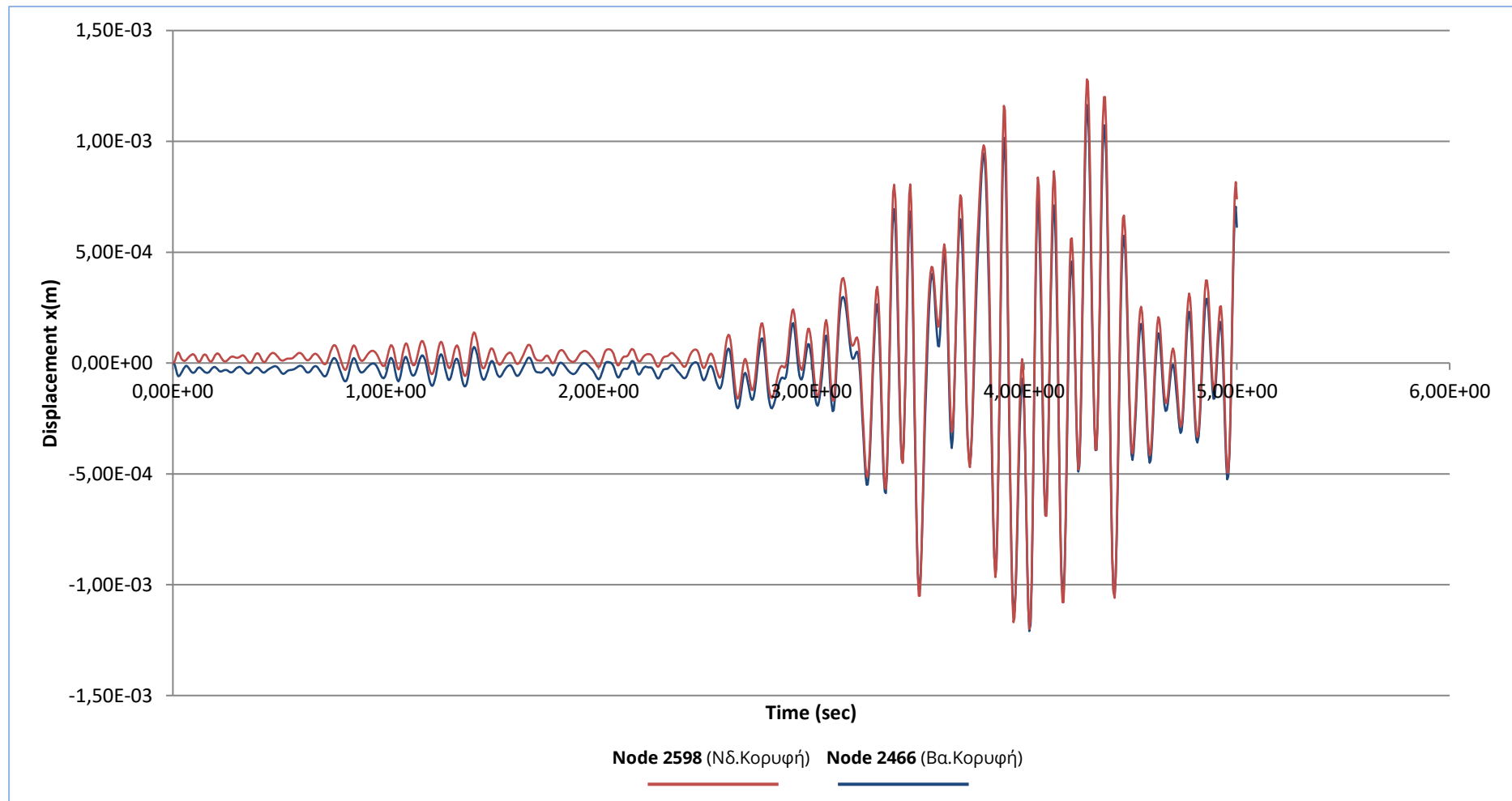


67. Διάγραμμα Μετατόπισης  $x$  - Χρόνου  
Κόμβων μέσης και κορυφής (Πρότασης)  
Νοτιοδυτικής τοιχοποιίας (Τομή 01)

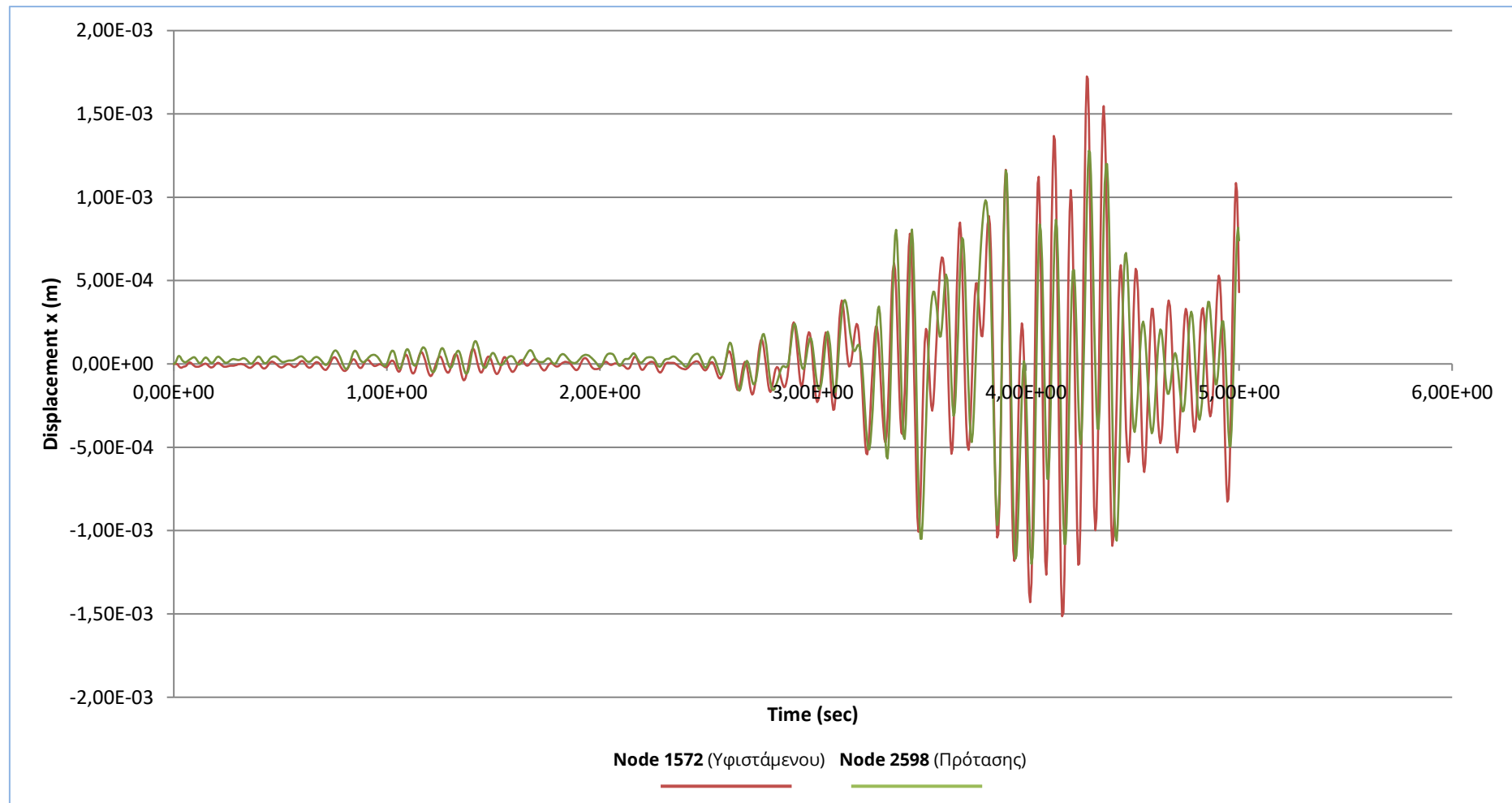


68. Διάγραμμα Μετατόπισης  $x$  - Χρόνου  
Κόμβων μέσης και κορυφής (Πρότασης)  
Βορειοανατολικής τοιχοποιίας (Τομή 02)

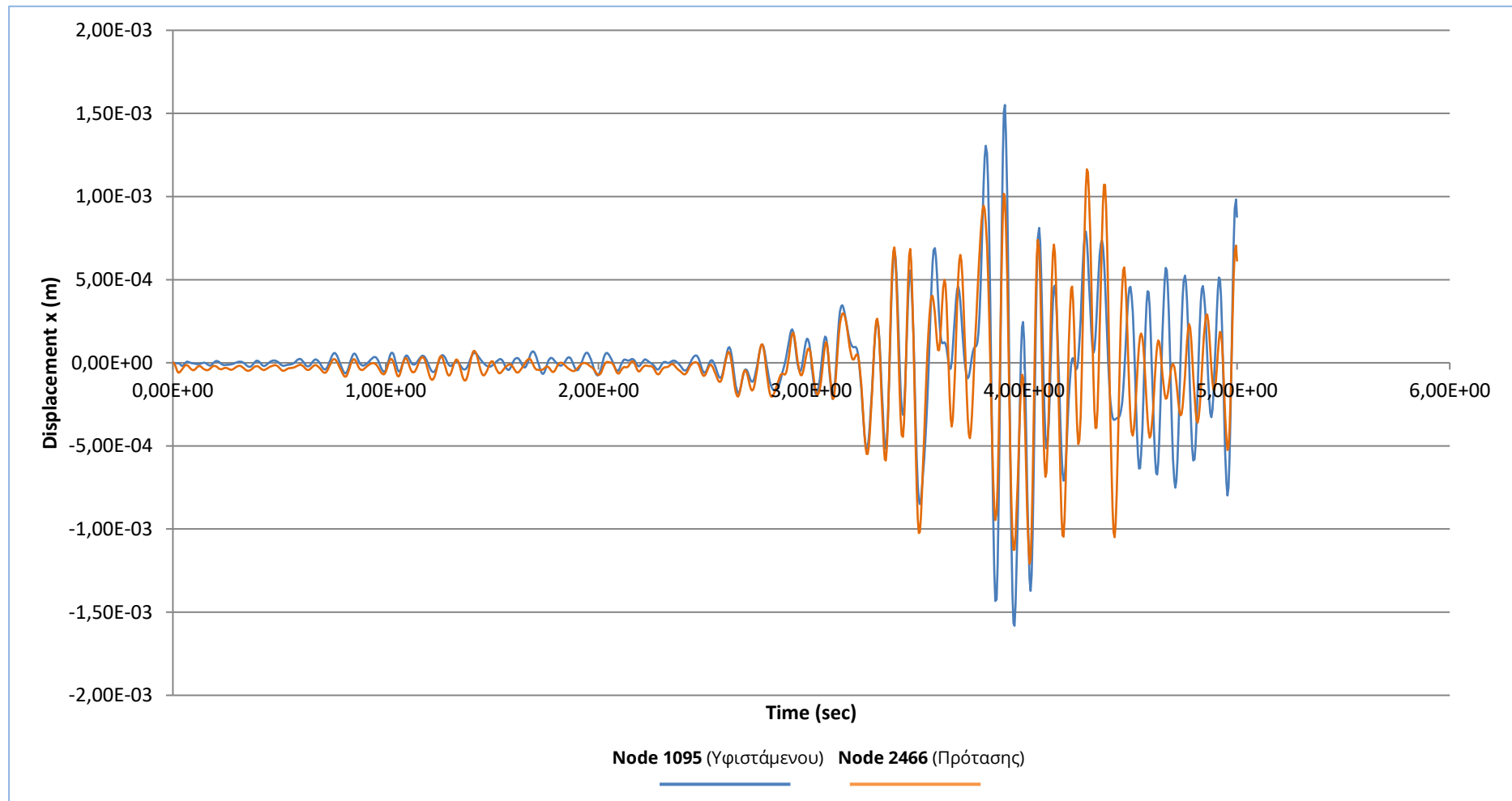




69. Διάγραμμα Μετατόπισης  $x$  - Χρόνου  
Κόμβων κορυφής (Πρότασης) Νοτιοδυτικής  
και Βορειοανατολικής τοιχοποιίας (Τομή 01 &  
02)



70. Διάγραμμα Μετατόπισης x - Χρόνου  
Κόμβων κορυφής (σύγκριση υφιστάμενης  
κατάστασης και πρότασης) Νοτιοδυτικής  
τοιχοποιίας (Τομή 01)



71. Διάγραμμα Μετατόπισης  $x$  - Χρόνου  
Κόμβων κορυφής (σύγκριση υφιστάμενης  
κατάστασης και πρότασης)  
Βορειοανατολικής τοιχοποιίας (Τομή 02)

Έπειτα από τις επεμβάσεις οι μετατοπίσεις εμφανίζουν ομοιογένεια σε όλο το μήκος της εκάστοτε τοιχοποιίας, ενώ οι τιμές των μετατοπίσεων έχουν μειωθεί. Στην πρώτη ανάλυση, με την φόρτιση στον άξονα  $x$ , οι μετατοπίσεις  $x$  της νοτιοδυτικής και βορειοανατολικής τοιχοποιίας φαίνεται να συμπεριφέρονται όμοια και να ταλαντώνονται ταυτόχρονα (Εικόνα 60). Παρόμοια κατάσταση διαπιστώνεται και στον άξονα  $y$  με την φόρτιση στον άξονα  $y$  (Εικόνα 63).

Οι κύριες τάσεις κατανέμονται στα ίδια σημεία με την υφιστάμενη κατάσταση, δηλαδή στα ανοίγματα σε διαγώνια διάταξη, όπως ήταν αναμενόμενο (Εικόνα 64). Γνωρίζουμε ότι τα ανοίγματα έχουν ισχυρότερη δομή, με μεγάλους μεγέθους λίθους, το οποίο δεν έχει ληφθεί υπόψη κατά την προσομοίωση.

Συνεχίζοντας με την αξιολόγηση των τάσεων, τα κριτήρια αστοχίας, σε αντίθεση με την υφιστάμενη κατάσταση, μας δείχνουν ελάχιστες υπερβάσεις. Κυρίως κατά την πρώτη ανάλυση, φόρτιση στον άξονα  $x$ , έχουμε υπέρβασης της εφελκυστικής τάσης σε μία μικρή περιοχή στο μέσον της νοτιοδυτικής τοιχοποιίας. Ενώ σε αντίστοιχη περιοχή στην βορειοανατολική τοιχοποιία παρατηρείται υπέρβαση της θλιπτικής αντοχής (Εικόνα 65,66).

Τέλος με τα διαγράμματα Μετατόπισης  $x$  – Χρόνου των κόμβων στο μέσον και την κορυφή των προαναφερθέντων τοιχοποιιών, επιβεβαιώνεται ότι ταλαντώνονται ταυτόχρονα σε όλη την διάρκεια της διέγερσης (Εικόνα 67,68). Πιο ξεκάθαρα φαίνεται συγκρίνοντας την κορυφή των δύο τοιχοποιιών (Εικόνα 69). Όμως για να κατανοήσουμε την διαφορά της συμπεριφοράς του κτίσματος έπειτα από τις επεμβάσεις συγκρίνουμε τις δύο περιπτώσεις (Εικόνα 70,71).

Τα φορτία λόγω του μηχανισμού δεν επηρεάζουν την κατασκευή στα σημεία που αυτός εδράζεται. Στα σημεία αυτά θα γίνει κατάλληλη σύνδεση με σκοπό την καλύτερη μεταφορά των φορτίων στην λιθοδομή και το έδαφος.

Συμπεραίνουμε, λοιπόν, ότι το κτίσμα εμφανίζει συνοχή, συμπεριφέρεται σαν σύνολο διοχετεύοντας τα φορτία μέσω των εγκάρσιων τοιχοποιιών αλλά και τις δοκούς τις στέγης. Οι ξύλινες δοκοί σε μικρή απόσταση, δεδομένου του μικρού πλάτους της κατασκευής, αρκούν για να συνδέσουν την κατασκευή στην στέψη της, προσδίδοντάς της διαφραγματική λειτουργία. Ακόμα, η βελτίωση της φέρουσας λιθοδομής οφείλεται στην συμπλήρωση των καταρριφθέντων τμημάτων αλλά και στην ανακατασκευή τμημάτων, τα οποία συνδέουν και τα εκατέρωθεν αυτών τμήματα. Στη συνέχεια στο **Κεφάλαιο 4** θα προχωρήσουμε στην πρόταση αποκατάστασης αξιοποιώντας τα συμπεράσματα των αναλύσεων.

## 4. Πρόταση αποκατάστασης

### 4.1 Σκεπτικό επέμβασης

Το σύνολο των ανεμόμυλων στο Σελί Αμπέλου έχει μια ιστορική αξία λόγω της παλαιότητας του. Η κατασκευή τους δεν εξυπηρετούσε την ανάγκη του μνημείου ως ηθελημένου έργου για αυτό το σκοπό. Όμως, η σημαντική τους συνεισφορά στην εξέλιξη της τεχνολογίας και σαν επιτεύγματα της εποχής τους, προσδίδουν μια εκούσια αξία μνήμης<sup>10</sup>. Αναγνωρίζοντας τις αξίες του συγκροτήματος των ανεμόμυλων αλλά και του συγκεκριμένου ανεμόμυλου ως αυτόνομη οντότητα, προτείνεται να διατηρηθούν τα αυθεντικά στοιχεία του κελύφους και να επαναφέρω την γεωμετρία του σύμφωνα με αρχική του μορφή.

Όσον αφορά την χρήση προτείνεται η τοποθέτηση ενός μηχανισμού ανεμογεννήτριας και η μετατροπή του κτιρίου σε εκθεσιακό χώρο. Ο σύγχρονος μηχανισμός που θα χρησιμοποιηθεί θα έχει διττή σημασία. Αφενός ο κύριος ρόλος του είναι να παράγει ηλεκτρική ενέργεια αλλά αφετέρου ως έκθεμα θα έχει ένα διδακτικό χαρακτήρα.

Σκοπός της διαδικασίας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι η αξιοποίησή της τόσο για την κάλυψη των αναγκών του συγκεκριμένου κτιρίου, όσο και για τους υπόλοιπους ανεμόμυλους. Για παράδειγμα θα μπορούσε να φωταγωγεί ολόκληρο το συγκρότημα εξωτερικά και να παρέχει ηλεκτρική ενέργεια στο εσωτερικό κάθε ανεμόμυλου.

Ως εκθεσιακός χώρος θα παρέχει πληροφορίες της παραδοσιακής χρήσης για παραγωγή αλευριού, δίνοντας έμφαση στον τρόπο με τον οποίο κατάφεραν να εκμεταλλευτούν τον άνεμο. Επίσης θα ενημερώνει τους επισκέπτες για την σημερινή χρήση και τον τρόπο με τον οποίο παράγεται η ηλεκτρική ενέργεια αντιπαραθέτοντας τις δύο διαδικασίες.

Ο νέος μηχανισμός θα είναι προσαρμοσμένος στην μορφή των στοιχείων του παραδοσιακού μηχανισμού, ενώ το υλικό του θα είναι μέταλλο, ώστε να μην παραπέμπει στο παραδοσιακό μηχανισμό. Θα γίνει, ακόμα, προσθήκη σύγχρονων εξαρτημάτων, γεννήτριας καθώς και δευτερευόντων συστημάτων. Η ακριβής μορφή του παρουσιάζεται παρακάτω στην **Ενότητα 4.3**.

<sup>10</sup> Alois Riegl, Ουσία και γένεση της μοντέρνας λατρείας των μνημείων, Επιμέλεια Παναγιώτης Παύλου, Ανώτατη Σχολή Καλών Τεχνών, Αθήνα 2006



## 4.2 Περιγραφή εργασιών αποκατάστασης

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστούν και θα αναλυθούν οι εργασίες που απαιτούνται για την αποκατάσταση του κτίσματος του ανεμόμυλου. Οι εργασίες στοχεύουν στην συντήρηση των εναπομεινάντων τμημάτων, στην συμπλήρωση όσων έχουν καταστραφεί και στην ενίσχυση του συνόλου του κτίσματος. Συνοπτικά πρόκειται για τις εξής:

- Καθαρισμός απομάκρυνση καθαιρεμένων υλικών
- Καθαίρεση τμημάτων υπό κατάρρευση
- Απομάκρυνση μεταγενέστερων επεμβάσεων
- Συμπλήρωση - Κατασκευή νέας λιθοδομής
- Συρραφή ρηγματώσεων
- Αρμολόγημα – Χαλικολόγημα
- Εξυγίανση εσωτερικού δαπέδου
- Κατασκευή στέγης
- Διαμόρφωση περιβάλλοντος χώρου – Αποθήκης

Αρχικά, ώστε να ξεκινήσουν οι εργασίες αλλά και να εμφανιστούν δυσπρόσιτες περιοχές, απομακρύνονται λίθοι, χώμα, ξύλα και άλλα υλικά που έχουν καταρρεύσει εντός του ανεμόμυλου. Οι λίθοι καθαρίζονται και συλλέγονται σε ένα μέρος ώστε να χρησιμοποιηθούν ξανά. Κυρίως, στο σημείο που ήταν τοποθετημένος ο αλεστικός μηχανισμός, αφαιρείται το χώμα και τα ξύλα που δημιουργούσαν το επίπεδο για τις μυλόπετρες. Όπως επίσης η σωρός λίθων εντός της αποθήκης είτε στον περιβάλλοντα χώρο. Ο άξονας και η εγκάρσια δοκός του μηχανισμού είναι φθαρμένα και βάση της πρότασης αντικαθίστανται από μεταλλικές δοκούς. Ωστόσο μπορούν να συντηρηθούν και να αναρτηθούν εντός του κτίσματος ως ανάμνηση της αρχικής χρήσης του κτίσματος.

Στη συνέχεια με μεγάλη προσοχή καθαίρονται τμήματα της λιθοδομής που έχουν αναφερθεί στην παθολογία (Κεφάλαιο 2.5). Πρόκειται για το άνω τμήμα της εισόδου, η άνω δεξιά γωνία στην νοτιοανατολική όψη, το άνω τμήμα του ανοίγματος της φτερωτής, το μεσαίο τμήμα της νοτιοδυτικής τοιχοποιίας και μια σειρά λίθων της στέψης όλου του κτίσματος. Οι λίθοι που καθαίρονται καθαρίζονται από χώμα ή μεταγενέστερα κονιάματα και τοποθετούνται μαζί με τις υπόλοιπες.

Η καθαίρεση των μεταγενέστερων επεμβάσεων με τσιμεντινικά κονιάματα γίνεται προσεκτικά, ενώ σε περιοχές που υπάρχει εκτεταμένη χρήση γίνεται τμηματικά. Κατά την απομάκρυνση των κονιαμάτων θα αξιολογηθεί η περιοχή και θα εξετασθεί το ενδεχόμενο τοπικής ενίσχυσης με ενισχυμένο κονίαμα.

Στη νοτιοδυτική τοιχοποιία, στη εξωτερική παρειά, θα γίνει συρραφή των ρηγματώσεων προτού ξεκινήσει το κτίσιμο. Ως ένα σημείο, περίπου 1.50 μ. από την κορυφή, οι ρηγματώσεις θα αντιμετωπιστούν με την ανακατασκευή ολόκληρου του τμήματος. Η διαδικασία που ακολουθείται περιλαμβάνει την απομάκρυνση μεμονωμένων λίθων εκατέρωθεν αυτής και την τοποθέτηση στην θέση τους συνδετικού λίθου. Αυτό επαναλαμβάνεται ανά αποστάσεις 0.50 μ. και το κενό της ρηγματώσεως σφραγίζεται με το κονίαμα του αρμολογήματος.

Η κατασκευή νέων τμημάτων θα είναι όμοια με την υφιστάμενη με τοπικούς ασβεστόλιθους ακατέργαστους, όμως με συνδετικό υλικό κονίαμα υδραυλικής ασβέστου, πυριτικής άμμου και θραυσμένου κεραμικού, με σκοπό την ενίσχυση της δομής του κτίσματος. Η σύσταση του νέου κονιάματος είναι τέτοια ώστε να παρουσιάζει παρόμοιες ιδιότητες με τον λίθο, όπως παρόμοιο μέτρο ελαστικότητας, συντελεστή

απορρόφησης νερού και πορώδες<sup>11</sup>. Το κτίσιμο επιμελείται και στις δύο παρειές με αρκετές εγκάρσιες συνδέσεις με μεγάλους λίθους. Η γωνία ανακατασκευάζεται με μεγάλους λίθους σε συμπλοκή, επιτυγχάνοντας την καλύτερη σύνδεση των εγκάρσιων τοιχοποιιών. Το άνοιγμα της εισόδου γεφυρώνεται με ένα μεγάλο λίθο, όπου υπήρχε αλλά είχε καταστραφεί, ομοίως και το άνοιγμα της φτερωτής εξωτερικά. Τέλος στην απόληξη της λιθοδομής από την εσωτερική παρεία δημιουργούνται δοκοθυρίδες 0.15μ. με επιμελημένο κτίσιμο για την τοποθέτηση των δοκών της στέγης.

Ολοκληρώνοντας την αποκατάσταση του λιθόκτιστου κτίσματος απομένει χαλκολόγημα, δηλαδή σφράγισμα μικρών κενών με μικρούς λίθους, και αρμολόγημα. Αρχικά οι επιφάνειες καθαρίζονται με διαβροχή νερού, χωρίς πίεση, για την απομάκρυνση χωμάτινου κονιάματος από τους αρμούς μεταξύ των λίθων. Το ζητούμενο είναι να εφαρμοστεί το νέο κονίαμα σε μεγάλο βάθος έχοντας καλή πρόσφυση με τους λίθους. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται και στις δύο παρειές κάθε τοιχοποιίας. Εφόσον οι τελικές επιφάνειες θα παραμείνουν ανεπίχριστες, τυχόν κενά σφραγίζονται με μικρότερους λίθους (χαλίκια) με χρήση κονιάματος. Η τελική επιφάνεια αρμολογείται όσο το δυνατόν στα όρια των αρμών. Το κονίαμα καλύπτει κάποιους πολύ μικρούς λίθους αλλά δεν πρέπει να είναι μεγάλου πάχους που να εξέχει της επιφάνειας των λίθων που μένουν ανεπίχριστοι. Προφανώς οι γωνιακοί λίθοι όπως και οι περισσότεροι λίθοι παραμένουν ανεπίχριστοι, αυτοί που επιχρίονται είναι μονάχα πολύ μικροί που δεν είναι εφικτό να αρμολογηθούν.

Πολύ σημαντικό είναι το εσωτερικό δάπεδο το οποίο είναι επιχωμάτωση και έρχεται σε επαφή με την τοιχοποιία. Για το λόγο αυτό

διανοίγεται μια ζώνη περιμετρικά του κτίσματος σε βάθος περίπου μισού μέτρου, επιτρέποντας την συντήρηση της λιθοδομής με κονίαμα. Η τελική επιφάνεια του δαπέδου αποτελείται από ένα μείγμα ποζολάνης, φυσικών λεπτόκοκκων αδρανών και συνδετικών υλών. Προηγείται μια στρώση αδρανών περίπου 25εκ. και μια ακόμα με λεπτόκοκκο συμπιεσμένο χώμα. Το κατώφλι της εισόδου παραμένει ως ήταν με ένα μεγάλο ημιλαξευτό λίθο. Τέλος, το σημείο που φιλοξενούσε τις μυλόπετρες, αντικαθίστανται από μία πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος λόγω της επιβάρυνσης του από τον νέο μηχανισμό.

Με φυσικά υλικά όπως το εσωτερικό δάπεδο κατασκευάζεται η στέγη με σκοπό την προστασία της κατασκευής από το νερό αλλά και την σύνδεση της. Ο σκελετός κατασκευάζεται από ξύλο κυπαρισσιού, με δοκούς κυκλικής διατομής 15 εκ. και σανίδες 2\*10 εκ. Ακολουθούν μεμβράνη υγρομόνωσης, θερμομονωτικά φύλλα πάχους 6 εκ. και τελική στρώση 15 εκ. συμπιεσμένου χώματος. Στο κατώτερο σημείο της κλίσης της στέγης δημιουργείται ζώνη απορροής των υδάτων της βροχής. Τοποθετείται διάτρητος σωλήνας εντός αδρανών για προστασία από την θερμοκρασία. Η στέψη της τοιχοποιίας επικαλύπτεται με κονίαμα για την αποφυγή εισχώρησης υδάτων ενώ ταυτόχρονα διαμορφώνεται μικρή κλίση.

Ομοίως αποκαθίστανται η αποθήκη, σε επαφή με τον ανεμόμυλο, στεγάζεται με τον ίδιο τρόπο, διαμορφώνοντας ένα βατό δώμα από συμπιεσμένο χώμα. Η λιθοδομή εκτείνεται πάνω από το δώμα δημιουργώντας στηθαίο ύψους 50 εκ. Ό χώρος θα λειτουργεί βοηθητικά πιθανώς για τοποθέτηση συσσωρευτών της ανεμογεννήτριας. Προς διευκόλυνση των επισκεπτών, καθαρίζεται το μονοπάτι ανάβασης στη

<sup>11</sup> P. Maravelaki-Kalaitzaki, A. Bakolas, I. Karatasios, V. Kilikoglou, *Hydraulic lime mortars for the restoration of historic masonry in Crete*, *Cement and Concrete Research* 35, 2005

θέση του ανεμόμυλου, ενώ βορειοανατολικά του ανεμόμυλου διαμορφώνεται ένα επίπεδο με συμπιεσμένο χώμα. Σαν συνέχεια του βατού δώματος του χώρου της αποθήκης, είναι ένας χώρος εκτόνωσης και επιπλέον δίνει τη δυνατότητα θέασης προς το οροπέδιο άλλα και καλύτερη αντίληψη του συνόλου του ανεμόμυλου.

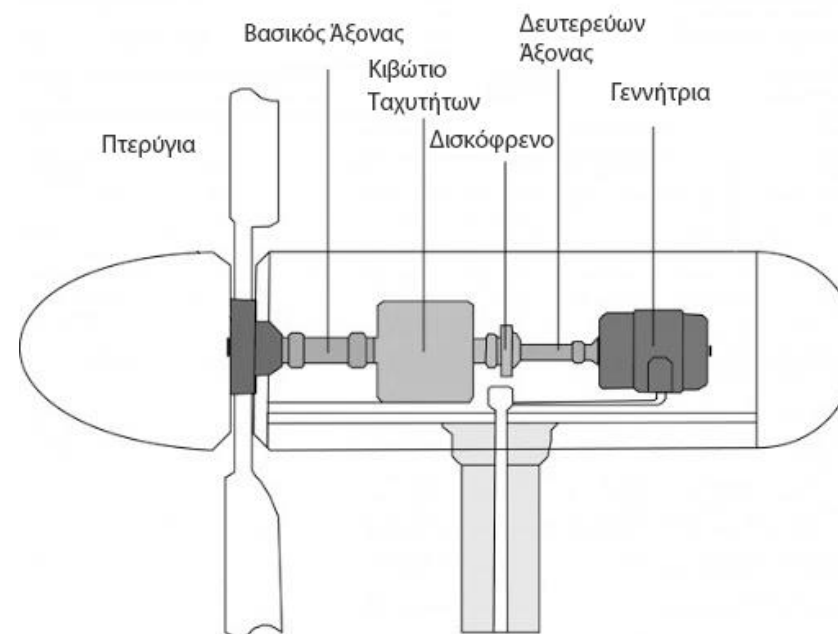
Τέλος, για τις ανάγκες του χώρου έκθεσης, τοποθετούνται εντός του κτίσματος πινακίδες πληροφοριών. Κατασκευάζεται μεταλλικός σκελετός, εκ δεξιών της εισόδου, για την ανάρτηση πινακίδων πληροφοριών ή άλλων εκθεμάτων καθώς και του πίνακα ελέγχου της ανεμογεννήτριας, αντιμετωπίζοντας τον έτσι ως έκθεμα. Η μεταλλική κατασκευή στερεώνεται στην τοιχοποιία, σε απόσταση από αυτήν, χωρίς να την επηρεάζει ή να της προσδίδει αντοχή.

### 4.3 Περιγραφή μηχανισμού ανεμογεννήτριας

Η ανεμογεννήτρια αποσκοπεί στην μετατροπή της αιολικής ενέργειας αρχικά σε κινητική και έπειτα σε ηλεκτρική. Μία τυπική διάταξη ανεμογεννήτριας αποτελείται από τα εξής βασικά στοιχεία: τα πτερύγια, το κιβώτιο ταχυτήτων και την γεννήτρια (Εικόνα 72). Τα πτερύγια δεσμεύουν την ενέργεια του ανέμου και την μεταφέρουν μέσω ενός άξονα στο κιβώτιο ταχυτήτων. Το κιβώτιο ταχυτήτων πολλαπλασιάζει τις στροφές που παραλαμβάνει και συνδέεται με την γεννήτρια, η οποία παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Η γεννήτρια ανάλογα το είδος της, μπορεί να παράγει συνεχές (DC) ή εναλλασσόμενο (AC) ρεύμα, όπου στην συνέχεια αποθηκεύεται σε συσσωρευτές, συνδέεται με το δίκτυο είτε καταναλώνεται. Παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση της ανεμογεννήτριας είναι το μέγεθος και ο αριθμός των πτερυγίων και το είδος της ηλεκτρογεννήτριας.

Επίσης υπάρχουν και δευτερεύοντα στοιχεία στον μηχανισμό ανεμογεννήτριας όπως το δισκόφρενο, μικρότερα εξαρτήματα σύνδεσης των επιμέρους λειτουργιών, συστήματα περιστροφής, αλλαγής προσανατολισμού κ.ά. Όπως και περιφερειακά συστήματα, πίνακα ελέγχου, συσσωρευτές, ρυθμιστή τάσης, μετατροπείς AC -DC κ.ά.

Σύμφωνα με την κατεύθυνση και την κεντρική ιδέα της αποκατάστασης, ο μηχανισμός οφείλει να είναι διακριτός από το υφιστάμενο κέλυφος και να προδίδει την εποχή και την χρήση του. Έτσι, θα ακολουθήσει την φιλοσοφία μιας τυπικής ανεμογεννήτριας, δανειζόμενη στοιχεία από την μορφή του παραδοσιακού μηχανισμού.



72. Τυπική δομή ανεμογεννήτριας. (Πηγή: [Wind Energy Factsheet | Center for Sustainable Systems](#))

Πιο αναλυτικά ο μηχανισμός που προτείνεται αποτελείται από δύο μέρη, πρώτον εκείνο που πρόκειται για ανακατασκευή κάποιων παραδοσιακών τμημάτων και δεύτερον την προσθήκη σύγχρονων εξαρτημάτων. Στο πρώτο μέρος έχουμε την φτερωτή, τον κύριο άξονα (αξόνι) και την εγκάρσια στον άξονα, δοκό (τραβάτουλο). Τα υπόλοιπα στοιχεία είναι η γεννήτρια, το δισκόφρενο καθώς και μικρότερα εξαρτήματα για καλύτερη σύνδεση των επιμέρους στοιχείων.

Η **φτερωτή** αποτελείται από 10 μεταλλικές ράβδους μήκους 3.50 m κοίλης, κυκλικής διατομής 70 mm αξονικά διατεταγμένες στο ελεύθερο άκρο του άξονα. Οι ράβδοι δεν είναι παράλληλες μεταξύ τους, διότι δεν είναι τοποθετημένες στο ίδιο σημείο του άξονα και το ελεύθερο άκρο τους πρέπει να σχηματίζει έναν νοητό κύκλο. Τα ελεύθερα άκρα συνδέονται με συρματόσχοινο, επιτυγχάνεται βέλτιστη περισφιξη της φτερωτής. Για επιπλέον στήριξη στη εγκάρσια διεύθυνση τοποθετείται ως επέκταση του άξονα, αντίστοιχη με τις προηγούμενες, ράβδος μήκους 3.00 m διατομής 70 mm. Σε αυτήν συνδέονται με συρματόσχοινο κάθε μία από τις ακτινωτές ράβδους. Τέλος, τοποθετούνται τριγωνικά ιστία με την βάση τους 1.00 m και τις δύο ίσες πλευρές 2.00 m. Η μικρότερης διάστασης πλευρά στερεώνεται στο συρματόσχοινο, η μία από τις δύο ίσες πλευρές στερεώνεται στην εκάστοτε ράβδο ενώ η τελευταία μένει ελεύθερη.

Όσον αφορά την επιλογή ιστίων αξίζει να αναφερθεί μια καινοτομία πάνω σε αυτό το ζήτημα. Πρόσφατα, το 2015, ο Γεώργιος Χατζάκης<sup>12</sup> βραβεύτηκε από την Europa Nostra για την δημιουργία ελαστικών πολυεστερικών διάτρητων ιστίων με σκοπό την αποκατάσταση ανεμόμυλων στο οροπέδιο Λασιθίου. Τα συγκεκριμένα ιστία σε περίπτωση

μεγάλης εντάσεως ανέμου οι οπές διαστέλλονται με αποτέλεσμα να επιτρέπουν την διείσδυση του αέρα. Αυτό βοηθάει ιδιαίτερα στην συντήρηση της φτερωτής, χωρίς να χρειάζεται να μαζεύονται τα ιστία σε περιπτώσεις ισχυρών ανέμων. Επομένως η εφαρμογή τους, μεταξύ άλλων θα βελτίωνε την απόδοση της γεννήτριας και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Προχωρώντας, στον κύριο **άξονα**, πρόκειται για δοκό μήκους 4.00 m κοίλης, κυκλικής διατομής 250 mm. Η δοκός στηρίζεται σε δύο σημεία. Το ένα της άκρο, το οποίο φέρει την φτερωτή, στηρίζεται στην λιθοδομή, στο κατώφλι του ανοίγματος στο άνω τμήμα της λιθοδομής. Το άλλο άκρο στην εγκάρσια δοκό. Στα δύο αυτά σημεία θα δημιουργηθούν μεταλλικοί υποδοχείς, δηλαδή κοιλότητες με ρουλεμάν για καλύτερη περιστροφή του άξονα. Ο άξονας θα φέρει επίσης δύο εξαρτήματα. Το ένα είναι ένας μεταλλικός τροχός διαμέτρου 1.50 m που βρίσκεται περίπου στο μέσον του άξονα. Ο τροχός αυτός συνδέεται μέσω ενός ιμάντα με την γεννήτρια. Το δεύτερο σύστημα αφορά την πέδηση του μηχανισμού. Θα τοποθετηθεί αξονικά, στο πίσω μέρος του άξονα, μεταλλικός δίσκος διαμέτρου 1.00 m.

Η **εγκάρσια δοκός** χρησιμεύει στην στήριξη του άξονα και στην μεταφορά των φορτίων του μηχανισμού στην λιθοδομή και τέλος στο έδαφος. Για τον λόγο αυτό θα τοποθετηθεί, εντός διαμορφωμένων οπών, στις εγκάρσιες σε αυτήν τοιχοποιίες. Η οπές θα πρέπει να καταλαμβάνουν περίπου το μισό πάχος της λιθοδομής και να είναι ιδιαίτερα επιμελημένες με μεγάλους λίθους. Οι διαστάσεις της είναι 2.60 m κοίλης, ορθογώνιας

<sup>12</sup> European Heritage Awards / Europa Nostra Awards 2015 : Restoration of Lasithi Plateau's windmills with perforated sails

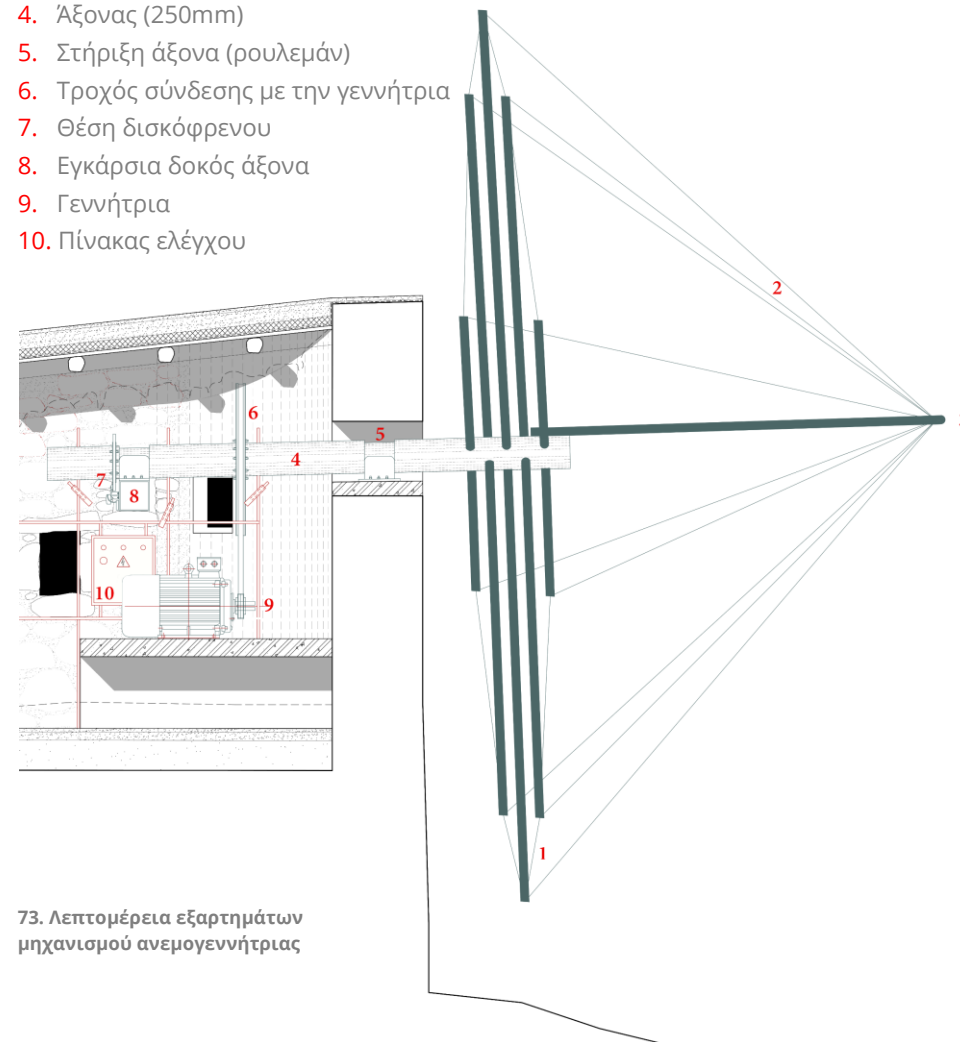


διατομής 350 x 250 mm. Στο μέσον αυτής θα τοποθετηθεί ο μηχανισμός πέδησης (δισκόφρενο). Με την βοήθεια ενός βραχίονα θα έρχεται σε επαφή με τον δίσκο που έχει τοποθετηθεί στον άξονα και θα τον ακινητοποιεί.

Το σημαντικότερο στοιχείο, το οποίο τελικά παράγει ηλεκτρική ενέργεια, είναι η **γεννήτρια**. Η επιλογή του μεγέθους και της απόδοσής της χρήζει εξειδικευμένης μηχανολογικής μελέτης, καθώς και δεδομένα για την συνολική διαχείριση του συγκροτήματος. Όπως επίσης το είδος της και ο τρόπος αξιοποίησης της παραγόμενης ενέργειας δεν μπορεί να επιλεγεί αυθαίρετα, χωρίς να γνωρίζουμε τις ανάγκες που θέλουμε να καλύψουμε. Εντελώς ενδεικτικά, για τις ανάγκες της εργασίας θα χρησιμοποιηθεί γεννήτρια μόνιμων μαγνητών 50 kw, η οποία παράγει ρεύμα εναλλασσόμενης τάσης (AC).

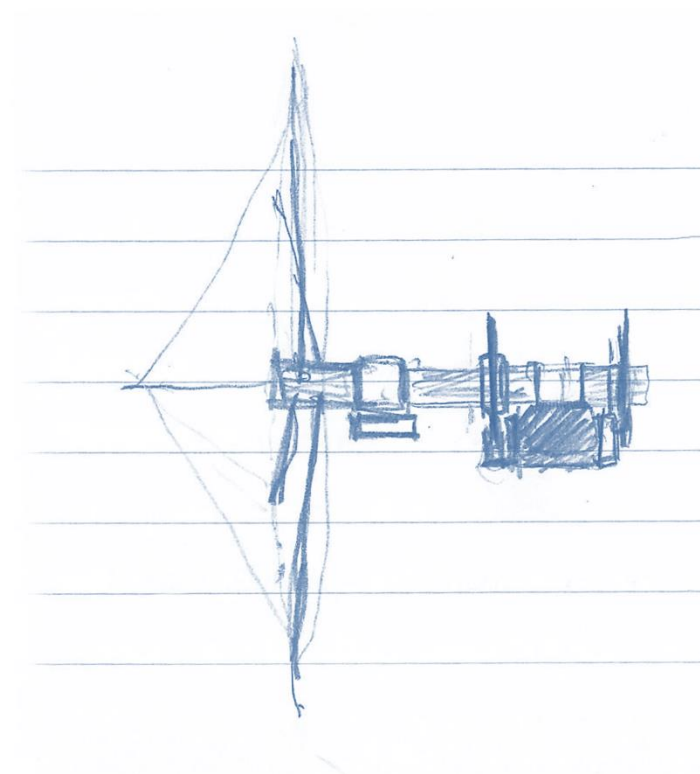
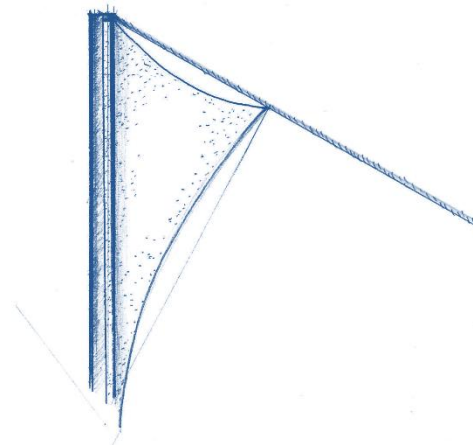
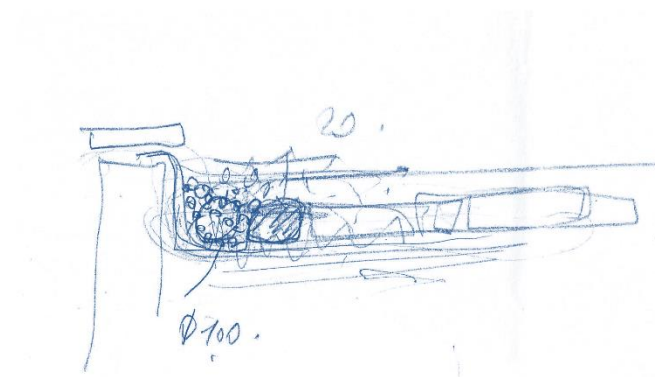
Τέλος, η παραγόμενη ενέργεια μπορεί να καταναλωθεί σε πραγματικό χρόνο, όσο περιστρέφεται η φτερωτή είτε να αποθηκευτεί σε συσσωρευτές. Όσο περισσότερες απαιτήσεις έχουμε τόσο αυξάνεται το μέγεθος και το κόστος των συσσωρευτών. Στην περίπτωση αυτή η ενέργεια πρέπει να μετατραπεί σε συνεχή τάση (DC) μέσω ενός μετατροπέα τάσης. Για την εποπτεία όλων αυτών των ενεργειών υπάρχει πίνακας ελέγχου, όπου συγκεντρώνονται όλες οι λειτουργίες. Στο διπλανό σχέδιο παρουσιάζονται με λεπτομέρεια όλα τα στοιχεία που αναλύθηκαν (Εικόνα 73).

1. Μεταλλικές ράβδοι φτερωτής (70mm)
2. Συρματοσχοινο
3. Οριζόντια ράβδος φτερωτής(70mm)
4. Άξονας (250mm)
5. Στήριξη άξονα (ρουλεμάν)
6. Τροχός σύνδεσης με την γεννήτρια
7. Θέση δισκόφρενου
8. Εγκάρσια δοκός άξονα
9. Γεννήτρια
10. Πίνακας ελέγχου



73. Λεπτομέρεια εξαρτημάτων μηχανισμού ανεμογεννήτριας

#### 4.4 Σχέδια προτεινόμενης επέμβασης



74. Σκίτσα διερεύνησης προσέγγισης  
επεμβάσεων. Απορροή υδάτων /  
Κατασκευή ιστίων / Μηχανισμός  
ανεμογεννήτριας



+0.00

+2.25

+2.35

+1.85

A

A

3.55

2.35

0.63

4.01

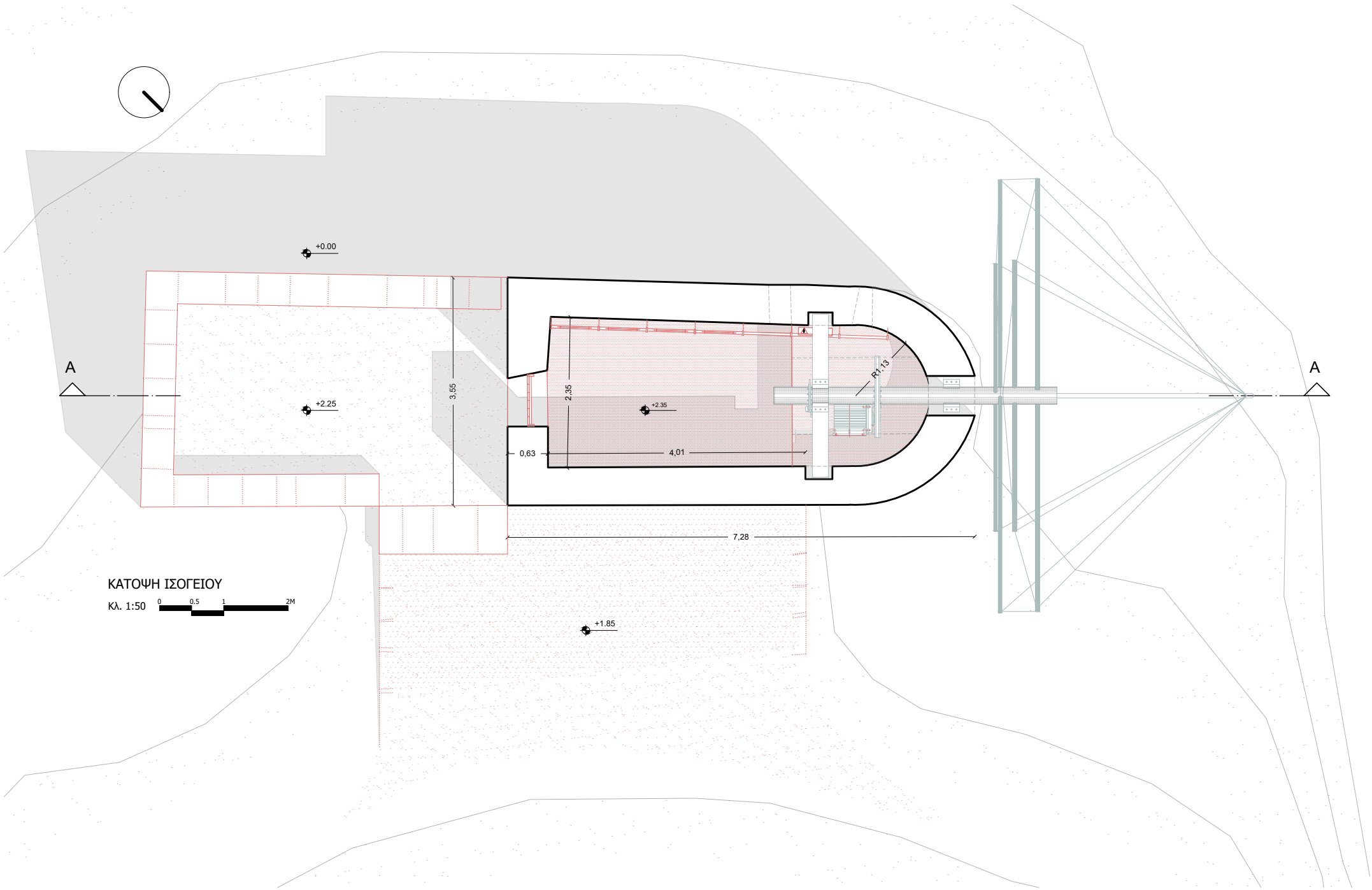
7.28

R1.13

ΚΑΤΩΦΗ ΙΣΟΓΕΙΟΥ

Κλ. 1:50

0 0.5 1 2M





+0.00

A

+2.25

3.55

+5.35

+6.00

A

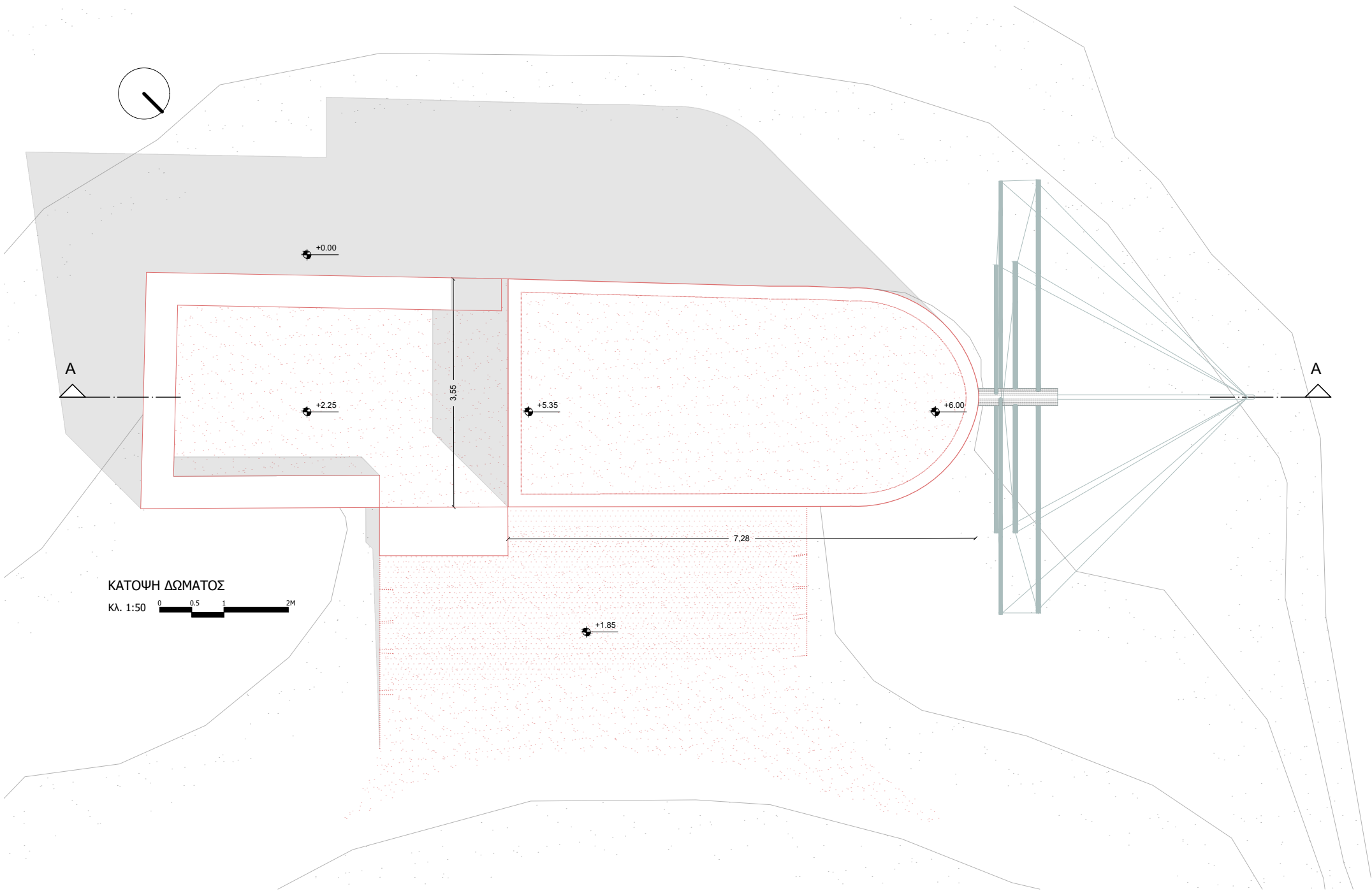
ΚΑΤΟΨΗ ΔΩΜΑΤΟΣ

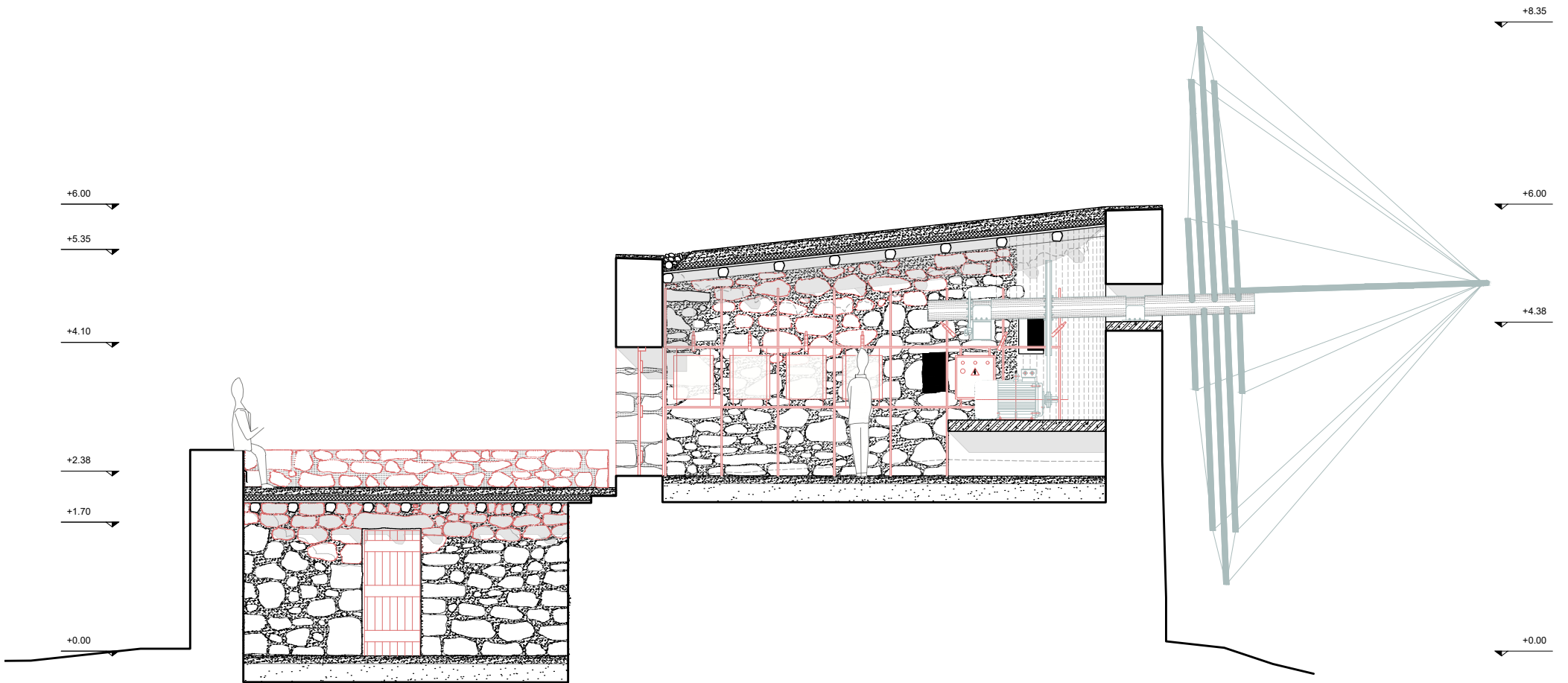
Κλ. 1:50



7.28

+1.85

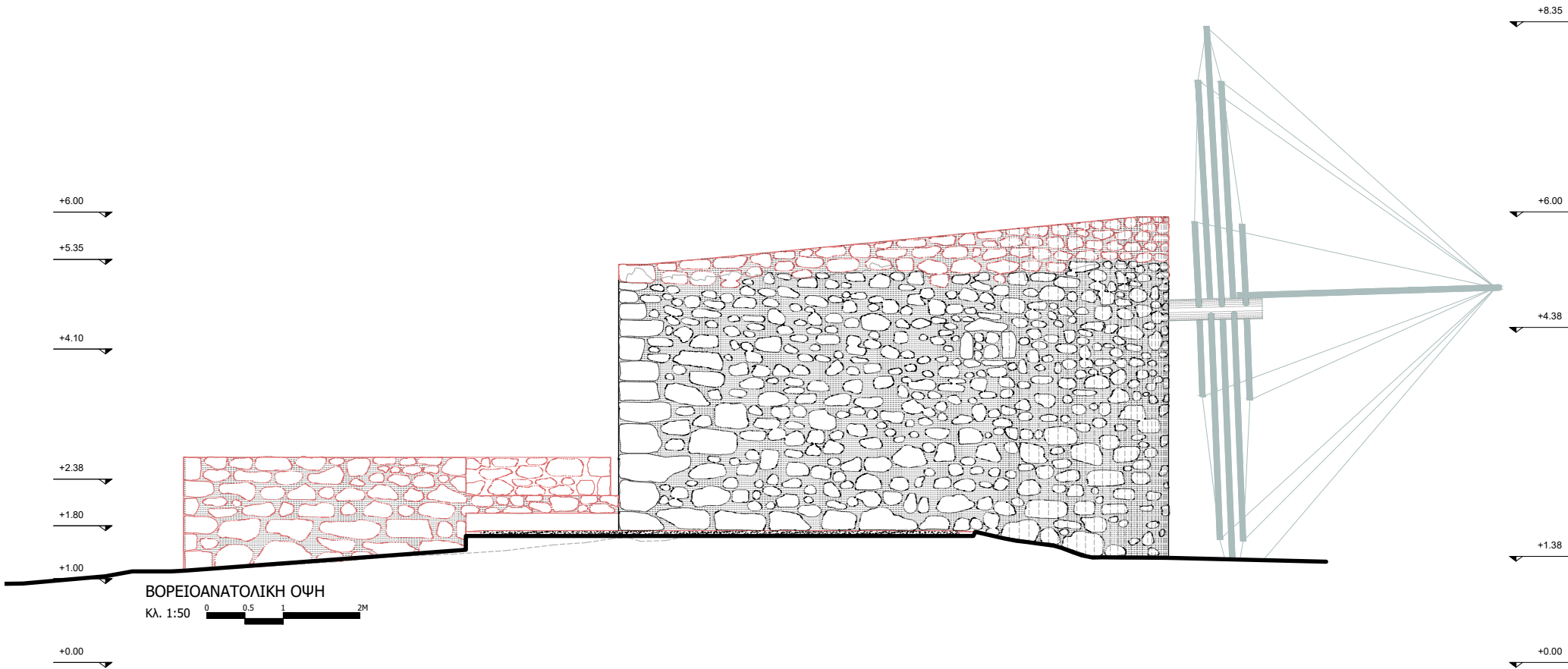


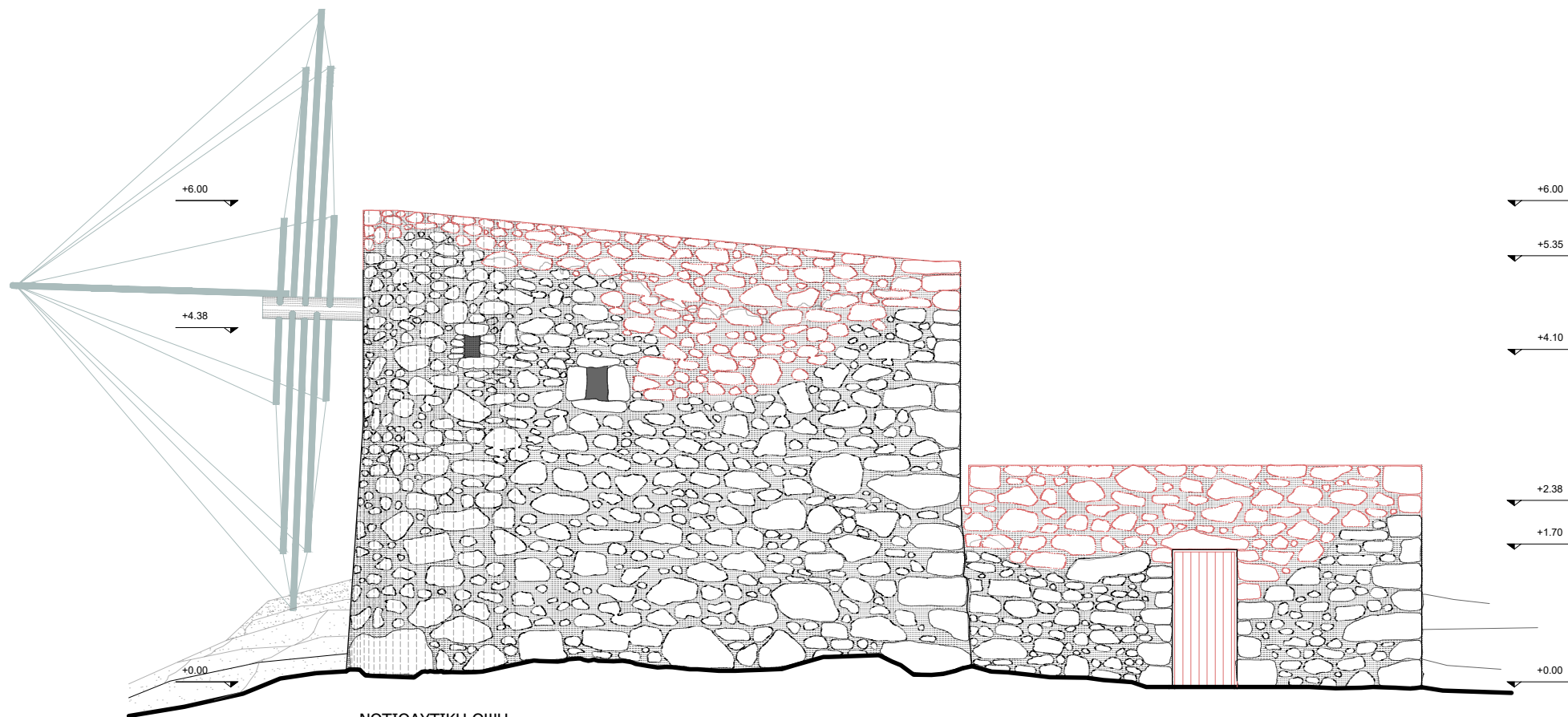


TOMH A-A

Κλ. 1:50 0 0.5 1 2M

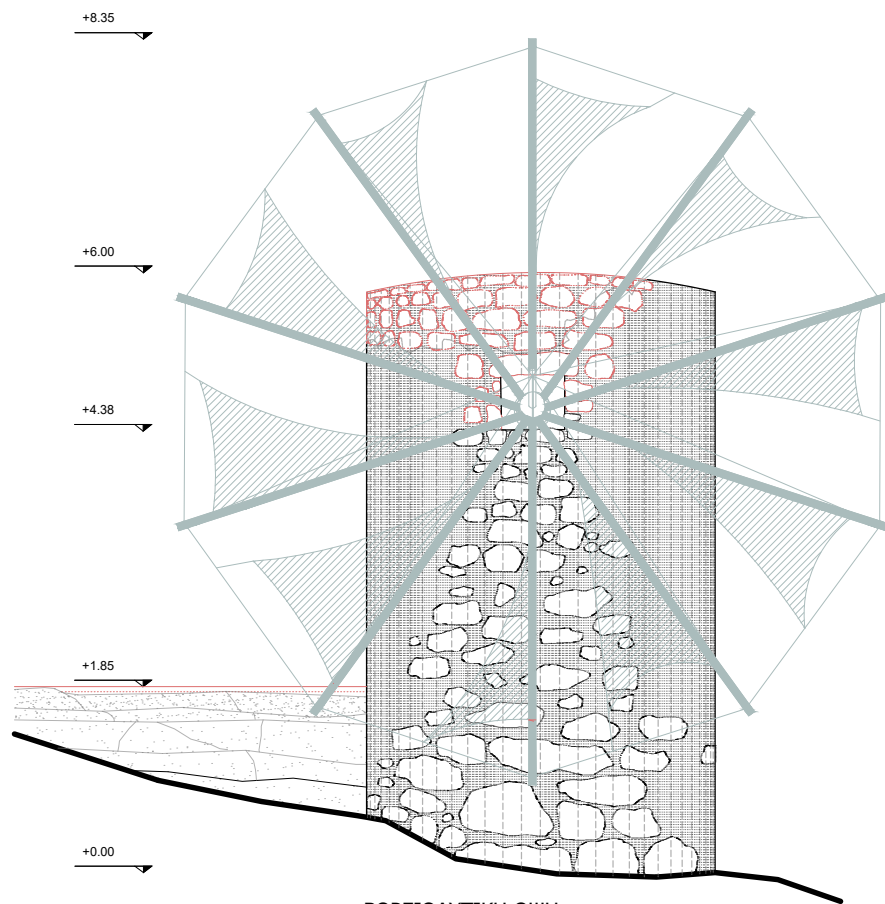




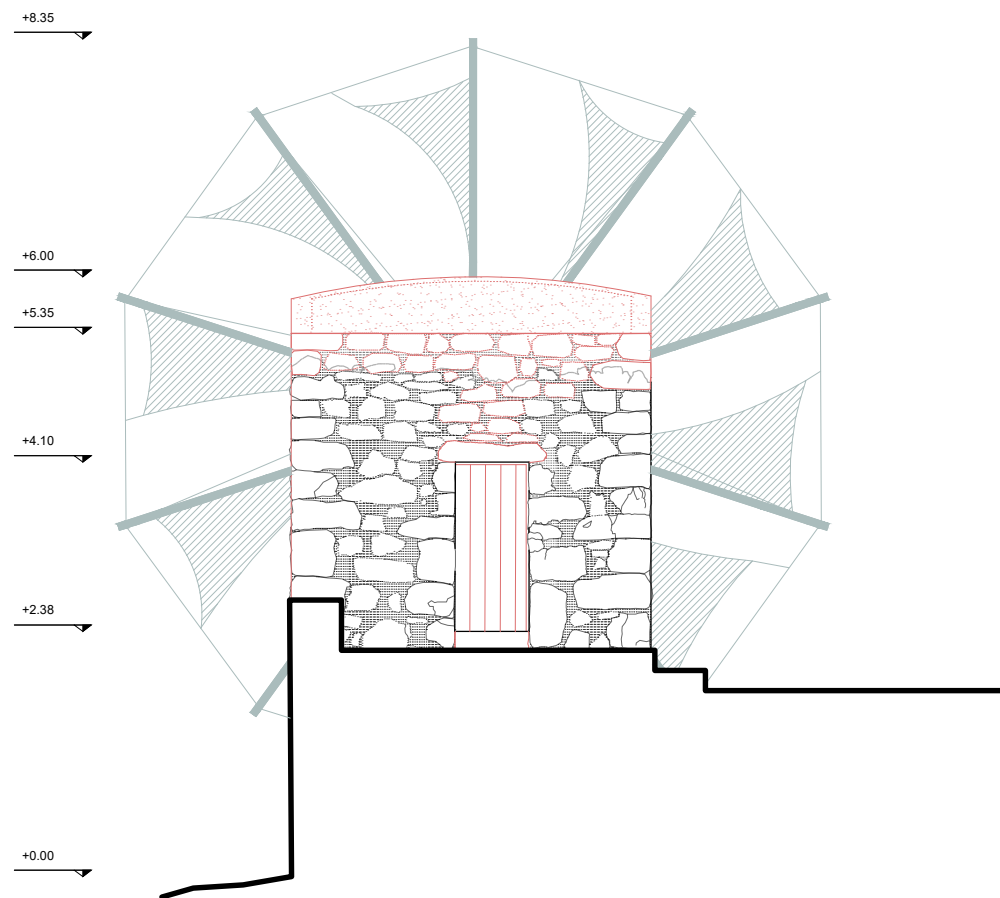


ΝΟΤΙΟΔΥΤΙΚΗ ΟΨΗ

Κλ. 1:50 0 0.5 1 2M



ΒΟΡΕΙΟΔΥΤΙΚΗ ΟΨΗ  
Κλ. 1:50 0 0.5 1 2M



ΝΟΤΙΟΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΟΨΗ  
Κλ. 1:50 0 0.5 1 2M

## 5. Συμπεράσματα

Η συντήρηση του ανεμόμυλου δεν αρκεί για να διασφαλίσει την ανάδειξη της μνήμης του παρελθόντος. Η απόδοση νέας χρήσης ώστε να συνεχίσει να είναι ενεργός, δίνει την ευκαιρία στον επισκέπτη να βιώσει τον χώρο και να αναλογιστεί τα επιτεύγματα αυτής της εποχής. Ωστόσο ευρύτερος στόχος είναι η πλήρης αποκατάσταση του συνόλου του συγκροτήματος ανεμόμυλων και η ανάγνωση του σαν ενιαία οντότητα. Παρότι μπορεί η χρήση σήμερα να ποικίλει, κοινός άξονας πρέπει να είναι ο σεβασμός στην παραδοσιακή χρήση. Δεν προτείνεται να εφαρμοστεί η συγκεκριμένη χρήση σε κάθε ανεμόμυλο, αντιθέτως. Δεν είναι, όμως, αξιοποίηση να υπάρχουν 26 πλήρως αποκατεστημένα κτίσματα τα οποία θα είναι απλώς επισκέψιμα.

Σε επόμενο στάδιο της μελέτης απαιτείται μελλοντική διερεύνηση με πειραματικές μετρήσεις των υλικών δόμησης και συμπλήρωση της δυναμικής ανάλυσης του φορέα για το φάσμα σχεδιασμού (δυναμική φασματική ανάλυση) ή/και μη γραμμική δυναμική ανάλυση και για άλλους σεισμούς. Αντικείμενο μελλοντικής διερεύνησης, επίσης θα μπορούσε να αποτελέσει η συνολικότερη μελέτη της περιοχής, με σκοπό την ενεργοποίηση του χώρου των ανεμόμυλων, καθιστώντας τον πόλο έλξης για την περιοχή. Όσον αφορά την πρόταση χρήσης ανεμογεννήτριας, χρειάζεται, ειδικότερη ηλεκτρομηχανολογική έρευνα για την καλύτερη απόδοση και αξιοποίηση της παραγόμενης ενέργειας. Επίσης χρήζει γενικότερης οικονομοτεχνικής μελέτης, αναλόγως την χρήση και τις απαιτήσεις του συγκροτήματος. Συμπληρωματικά μετρήσεις κατανάλωσης ενέργειας, θα δώσουν στοιχεία για το είδος της γεννήτριας και τον τρόπο αποθήκευσης ενέργειας. Έπειτα να διεξαχθεί κοστολόγηση, σενάρια απόσβεσης, ώστε να δημιουργηθεί ένα σύστημα εντελώς

αυτόνομο, όπου μελλοντικά θα μπορούσε να εξυπηρετεί την ευρύτερη περιοχή του οροπεδίου.

Σε καμία περίπτωση δεν είναι ζητούμενη η μεγιστοποίηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Με ένα μηχανισμό προσαρμοσμένο στο υφιστάμενο κέλυφος, σεβόμενοι την κλίμακα, τον χαρακτήρα της περιοχής και του φυσικό τοπίο επαναπροσδιορίζεται η χρήση σύμφωνα με τα δεδομένα της εποχής μας. Το οποίο έχει ως απώτερο σκοπό την υπενθύμιση των αξιών των προκατόχων του.

## 6. Βιβλιογραφικές αναφορές

Eurocode 6: *Design of masonry structures* EN 1996-1-1, 2005

P. Maravelaki-Kalaitzaki, A. Bakolas, I. Karatasios, V. Kilikoglou, *Hydraulic lime mortars for the restoration of historic masonry in Crete, Cement and Concrete Research* 35, 2005

Riegl Alois, *Ουσία και γένεση της μοντέρνας λατρείας των μνημείων*, μετ. Παναγιώτης Πούλος, Βιέννη, 1903

Stavroulaki Maria, Skoutelis Nikos, Maravelaki Noni-Pagona, Drosopoulos Georgios, Stavroulakis Georgios, *Fragokastello Sfakia: Restoration and Conservation through Compatible Architectural, Structural and Construction Materials*, CESARE'17 International Conference "COORDINATING Engineering For Sustainability and Resilience", Dead Sea, Jordan, 2017

Stavroulaki Maria E., Liarakos Evangelos V., *Parametric Finite Element Analysis of Masonry Structures using different constitutive models*, 6th GRACM International Congress on Computational Mechanics, Thessaloniki, Greece, 2008

Tomazevic, Miha, *Αντισεισμικός σχεδιασμός κτηρίων από τοιχοποιία*, Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα, 2004

Αλεξάκης Σωτήρης, *Διπλωματική Εργασία Μεταπτυχιακού: Τεχνολογία και κοινωνία, Από τον Αντλητικό ανεμόμυλο στην εκμηχανισμένη άδρευση στο οροπέδιο Λασιθίου*, Επιβλέπων Τύμπας Αριστοτέλης, ΕΚΠΑ Τμήμα Μεθοδολογίας, Ιστορίας και Θεωρίας της Επιστήμης, ΕΜΠ Σχολή Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών, Αθήνα, 2016

Βάος Ζαφείρης, Νομικός Στέφανος, *Ο ανεμόμυλος στις Κυκλάδες*, Δωδώνη, Αθήνα, 1993

Δήμος Οροπεδίου Λασιθίου, *Οροπέδιο Λασιθίου, ο τόπος των Θεών και των θρύλων*, ΤΥΠΟΚΡΕΤΑ, Ηράκλειο, 2007

Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Κρήτης και Νήσων Αιγαίου 2007-2013, *Αποκατάσταση και ανάδειξη μονόκαιρων ανεμόμυλων στην είσοδο του Οροπεδίου Λασιθίου*, Τζερμιάδο 2012

Καμπάνη Γ. Θεανώ, *Διπλωματική Εργασία: Σύγκριση στατικής και δυναμικής συμπεριφοράς μεταξύ πύργων ανεμογεννητριών από χάλυβα και σύνθετα υλικά*, Επιβλέπων Ιωάννης Ραυτογιάννης, ΕΜΠ, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Αθήνα, 2012

Καραντώνη Β. Φ., *Κατασκευές από τοιχοποιία, Σχεδιασμός και επισκευές*, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, 2004

Μαλλούχου Tufano, Φ., *Προστασία και Διαχείριση Μνημείων*. [ηλεκτρ. βιβλ.] Αθήνα : Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών, 2016 Διαθέσιμο στο: <http://hdl.handle.net/11419/6466>

Μαυράκης Μιχαήλ, *Διπλωματική Διατριβή μεταπτυχιακού Διπλώματος: Αποτίμηση φέροντος οργανισμού νοτιοανατολικού τμήματος φρουρίου κούλε με την μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων*, Επιβλέπουσα Μαρία Σταυρουλάκη, Πολυτεχνείο Κρήτης, Γενικό Τμήμα, Χανιά, 2015

Μπανιωτόπουλος Κ. Χαράλαμπος, Νικολαΐδης Ν. Θεμιστοκλής, *Κατασκευές από χάλυβα, παραδείγματα σχεδιασμού στο πλαίσιο του Ευροκώδικα 3*, ΖΗΤΗ, 2012

Μπούρας Χαράλαμπος, Φιλιππίδης Δημήτρης, *Αρχιτεκτονική*, εκδοτικός οίκος Μέλισσα, Αθήνα, 2013

Παπαντώνης Δημήτριος, *Διερεύνηση τρόπων αποκατάστασης αλεστικών ανεμόμυλων στη θέση Άμπελος Οροπεδίου Λασιθίου*, ΕΜΠ Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Αθήνα, 1995

Σπυράκος Κωνσταντίνος, *Κατασκευές από τοιχοποιία, Αποτίμηση και Επεμβάσεις για σεισμικά φορτία*, Εκδόσεις ΕΡΓΟΝΟΜΟΣ ΙΚΕ, 2020



Τάσιος Θ.Π., *Η Μηχανική της Τοιχοποιίας*, Εκδόσεις Συμμετρία, Ε.Μ.Π., Αθήνα, 1992

Τζομπανάκη Χρυσούλα, *Η Αρχιτεκτονική στην Κρήτη, περίοδος των νεότερων χρόνων*, Τόμος Α2, έκδοση Χρυσούλα Τζομπανάκη, Ηράκλειο, 2007

Τριανταφύλλου Χ. Αθανάσιος, *Δομικά Υλικά*, Ιδιωτική έκδοση, Πάτρα, 2008

Χατζάκης Γεώργιος, *Το αιολικό πάρκο των Θεών: οροπέδιο Λασιθίου*, ΤΥΠΟΚΡΕΤΑ, Ηράκλειο, 2011

\_Ιστοσελίδες

<http://www.charta-von-venedig.de/>

Χάρτης της Βενετίας για την Αποκατάσταση και Συντήρηση Μνημείων και Μνημειακών Συνόλων, ο.επ. στις 12.12.20

[Restoration of Latishi Plateau's windmills with perforated sails - European Heritage Awards / Europa Nostra Awards](#)

European Heritage Awards / Europa Nostra Awards 2015 : Restoration of Lasithi Plateau's windmills with perforated sails

[Windmills of the Monastery of St. John the Theologian - European Heritage Awards / Europa Nostra Awards](#)

European Heritage Awards / Europa Nostra Awards 2012 : Windmills of the Monastery of St. John the Theologian

<http://www.itsak.gr/>

Ινστιτούτο Τεχνικής Σεισμολογίας και Αντισεισμικών Κατασκευών Ερευνητικό και Τεχνολογικό Ινστιτούτο

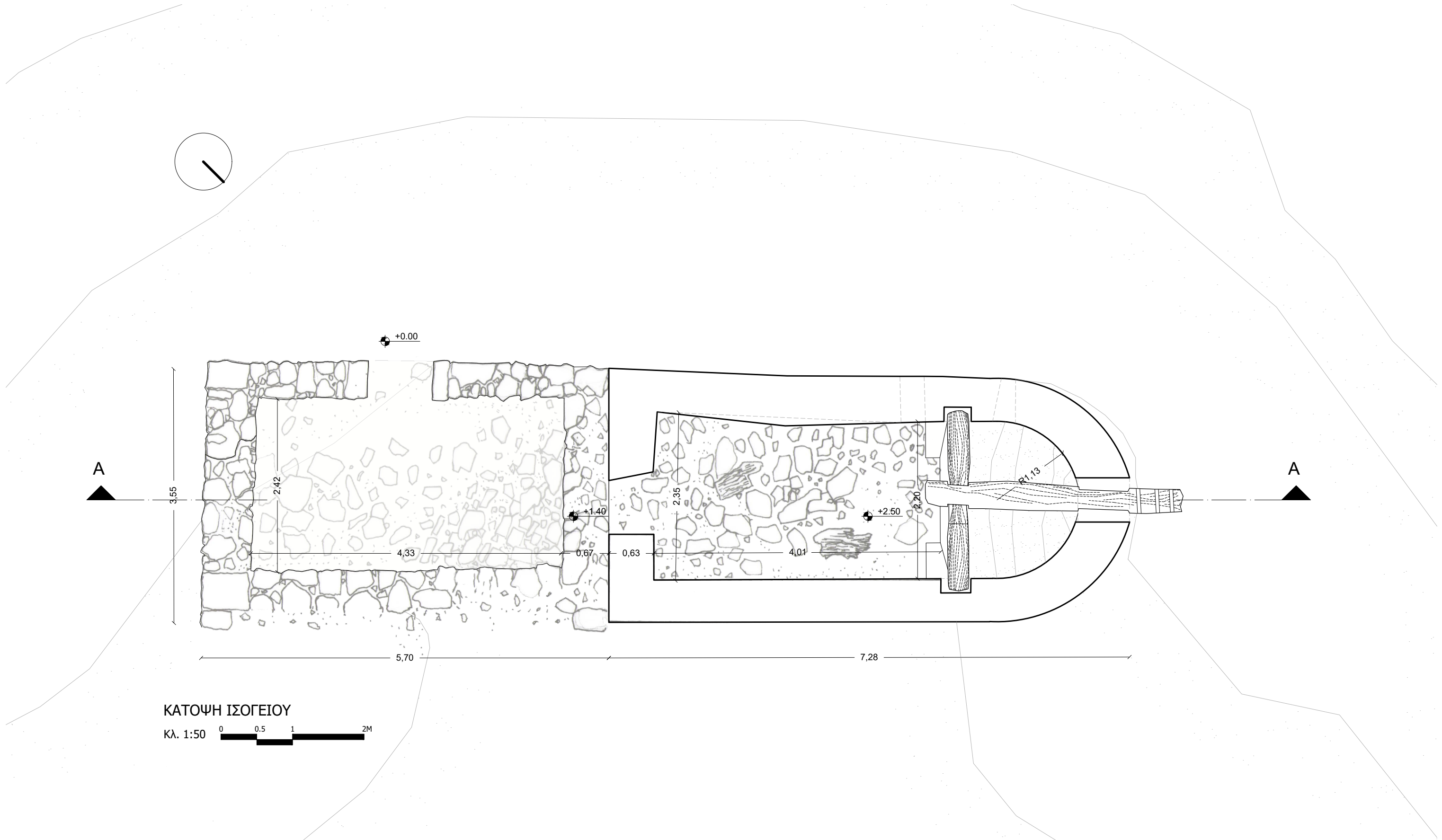
<https://www.mssoftware.com/product/marc>

Marc - Mentat Guide

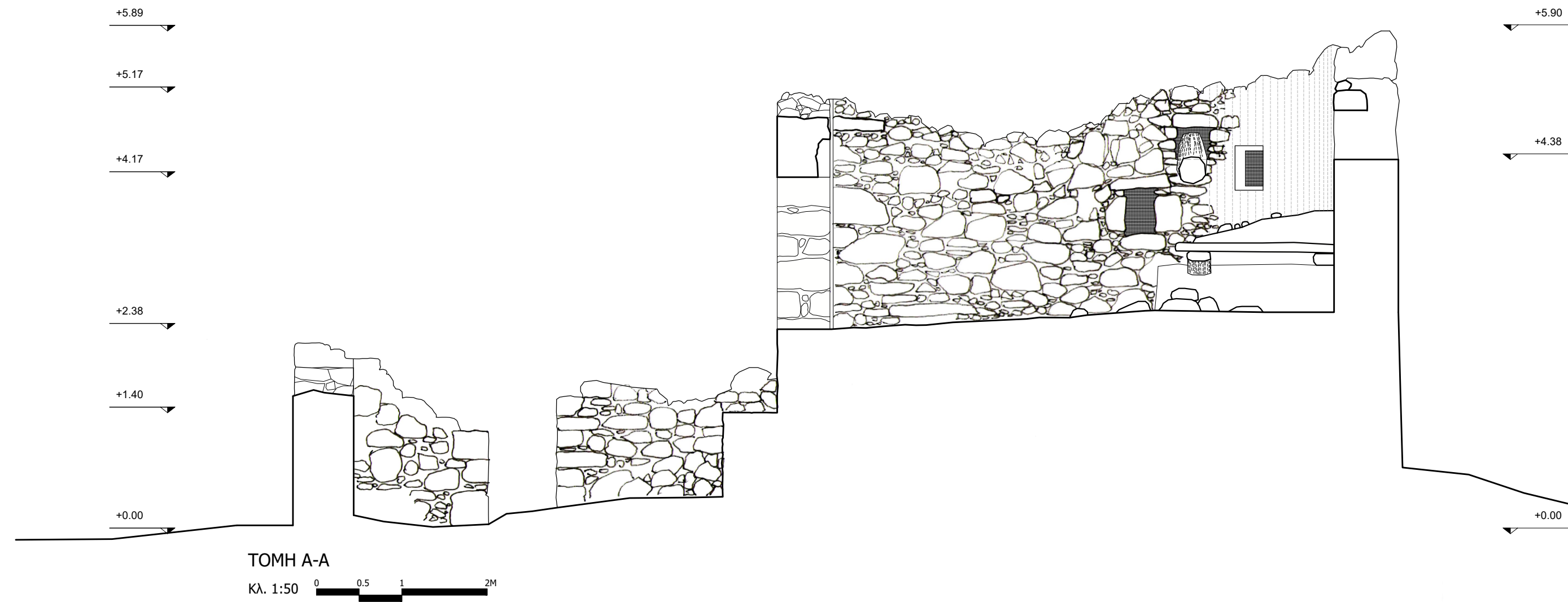
7. Παράρτημα αρχιτεκτονικών σχεδίων

**A.01 – A.05** Σχέδια Αποτύπωσης

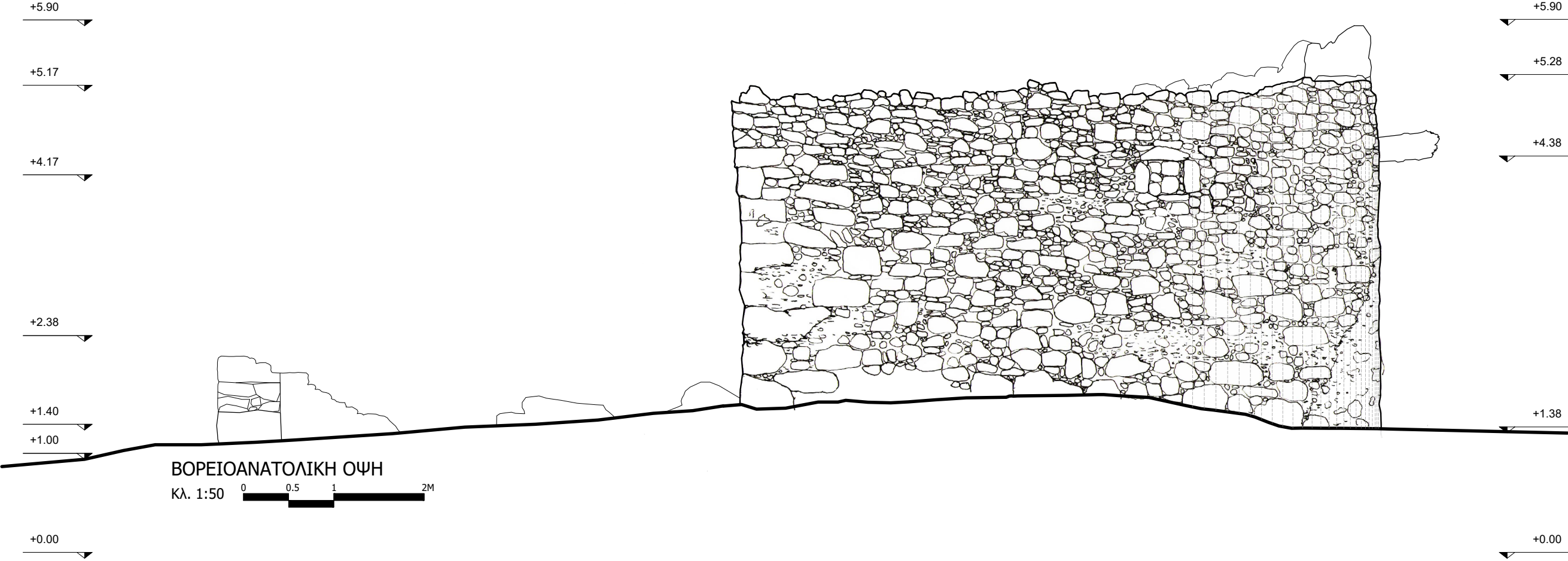
**A.06 – A.11** Σχέδια Πρότασης



Αρ. Σχεδίου	Τίτλος Σχεδίου		Πολυτεχνείο Κρήτης   Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών   Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών   Χώρος, Σχεδιασμός και Δομημένο Περιβάλλον “Ολοκληρωμένος σχεδιασμός σε ιστορικό δομημένο περιβάλλον με προηγμένες τεχνολογίες και υλικά” <b>Μεταπτυχιακή Διατριβή</b> Δομική αποκατάσταση και πρόταση επανάχρησης ανεμόμυλου από φέρουσα λιθοδομή. Σελί Αμπέλου - Οροπέδιο Λασιθίου.
<b>A.01</b>	Κλίμακα	Φοιτητής: Νύκταρης Γαβριήλ	
Χανιά Ιανουάριος 2021	<b>1 / 50</b>	Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Σταυρουλάκη Μαρία	
			Σχέδια Αποτύπωσης



Αρ. Σχεδίου	Τίτλος Σχεδίου		Πολυτεχνείο Κρήτης   Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών   Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών   Χώρος, Σχεδιασμός και Δομημένο Περιβάλλον “Ολοκληρωμένος σχεδιασμός σε ιστορικό δομημένο περιβάλλον με προηγμένες τεχνολογίες και υλικά” <b>Μεταπτυχιακή Διατριβή</b> Δομική αποκατάσταση και πρόταση επανάχρησης ανεμόμυλου από φέρουσα λιθοδομή. Σελί Αμπέλου - Οροπέδιο Λασιθίου.
<b>A.02</b>	Κλίμακα	Φοιτητής: Νύκταρης Γαβριήλ	
Χανιά Ιανουάριος 2021	<b>1 / 50</b>	Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Σταυρουλάκη Μαρία	
			Σχέδια Αποτύπωσης

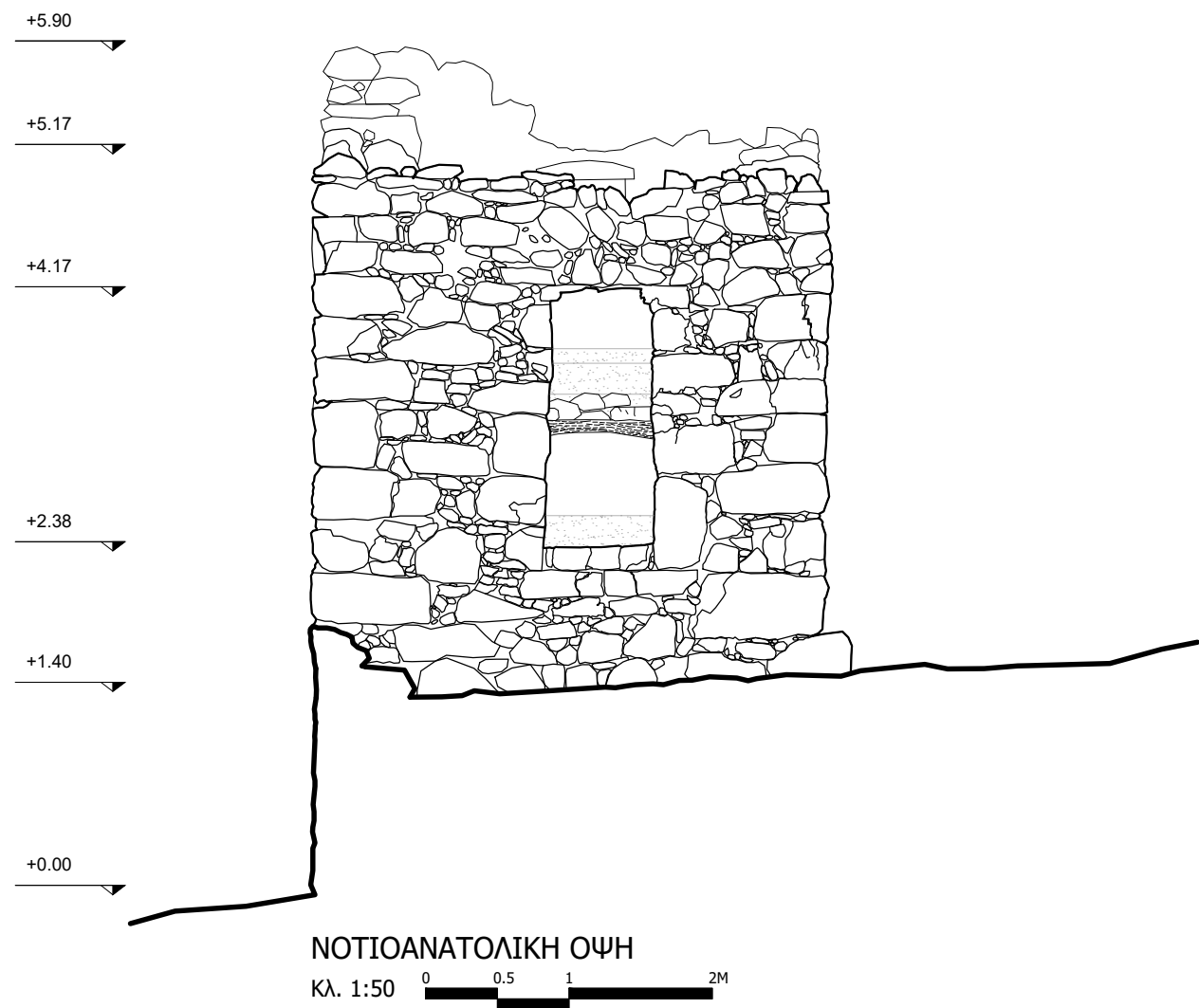
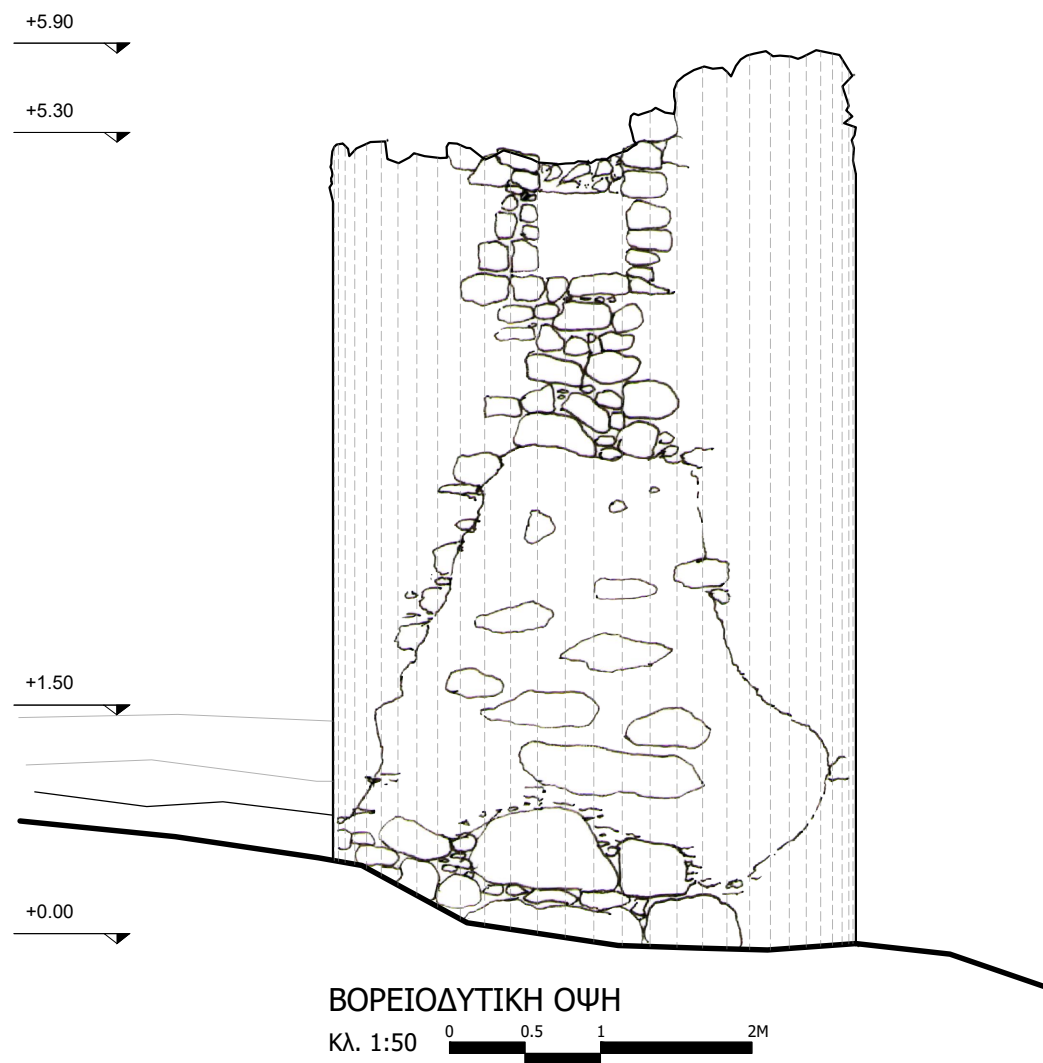


Αρ. Σχεδίου	Τίτλος Σχεδίου		Πολυτεχνείο Κρήτης   Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών   Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών   Χώρος, Σχεδιασμός και Δομημένο Περιβάλλον “Ολοκληρωμένος σχεδιασμός σε ιστορικό δομημένο περιβάλλον με προηγμένες τεχνολογίες και υλικά” <b>Μεταπτυχιακή Διατριβή</b> Δομική αποκατάσταση και πρόταση επανάχρησης ανεμόμυλου από φέρουσα λιθοδομή. Σελί Αμπέλου - Οροπέδιο Λασιθίου.
A.03	Κλίμακα	Φοιτητής: Νύκταρης Γαβριήλ	
Χανιά Ιανουάριος 2021	1 / 50	Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Σταυρουλάκη Μαρία	
			Σχέδια Αποτύπωσης

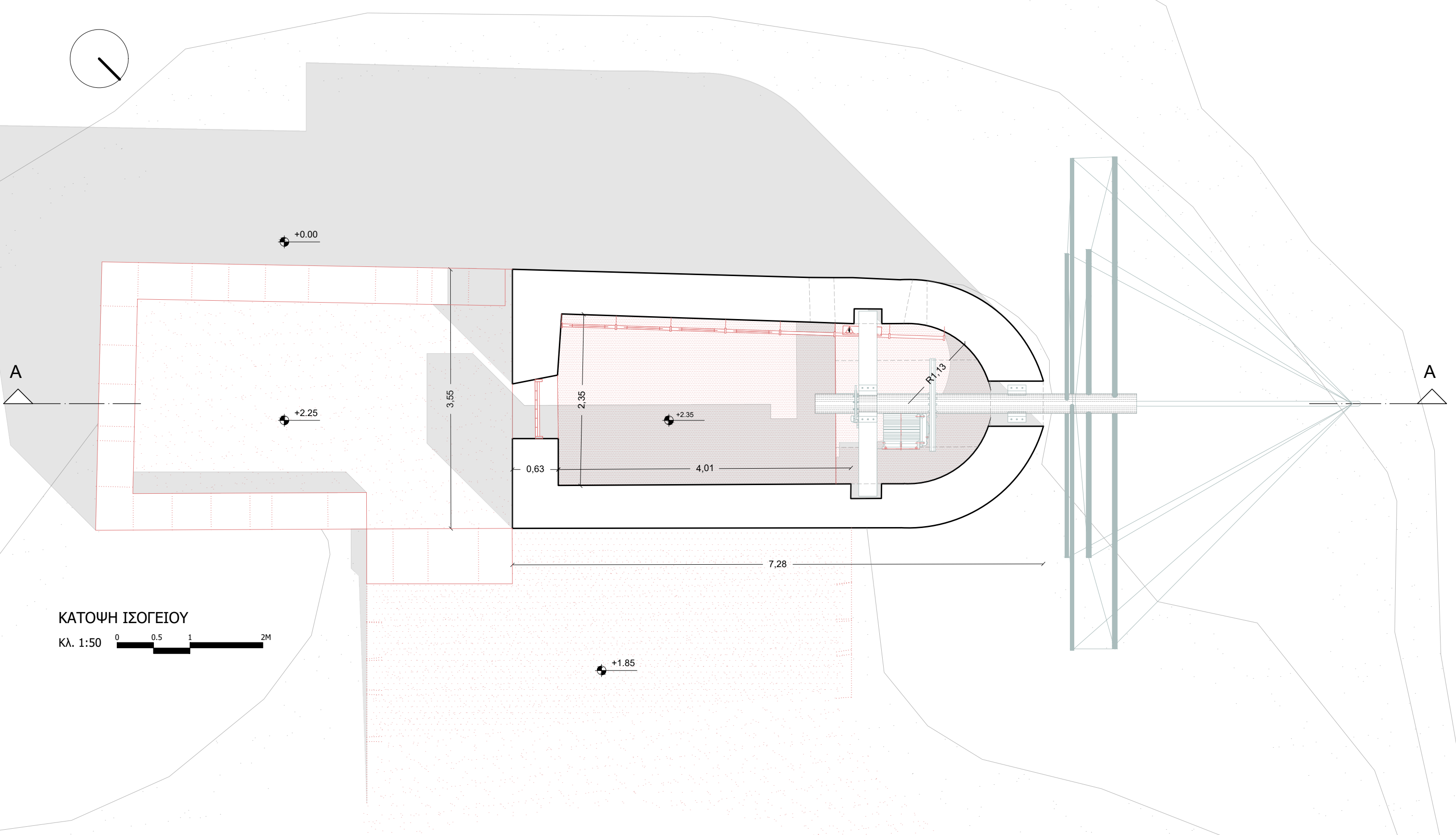




Αρ. Σχεδίου	Τίτλος Σχεδίου		Πολυτεχνείο Κρήτης   Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών   Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών   Χώρος, Σχεδιασμός και Δομημένο Περιβάλλον “Ολοκληρωμένος σχεδιασμός σε ιστορικό δομημένο περιβάλλον με προηγμένες τεχνολογίες και υλικά” <b>Μεταπτυχιακή Διατριβή</b> Δομική αποκατάσταση και πρόταση επανάχρησης ανεμόμυλου από φέρουσα λιθοδομή. Σελί Αμπέλου - Οροπέδιο Λασιθίου.
A.04	Κλίμακα	Φοιτητής: Νύκταρης Γαβριήλ	
	1 / 50	Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Σταυρουλάκη Μαρία	
Χανιά Ιανουάριος 2021			Σχέδια Αποτύπωσης



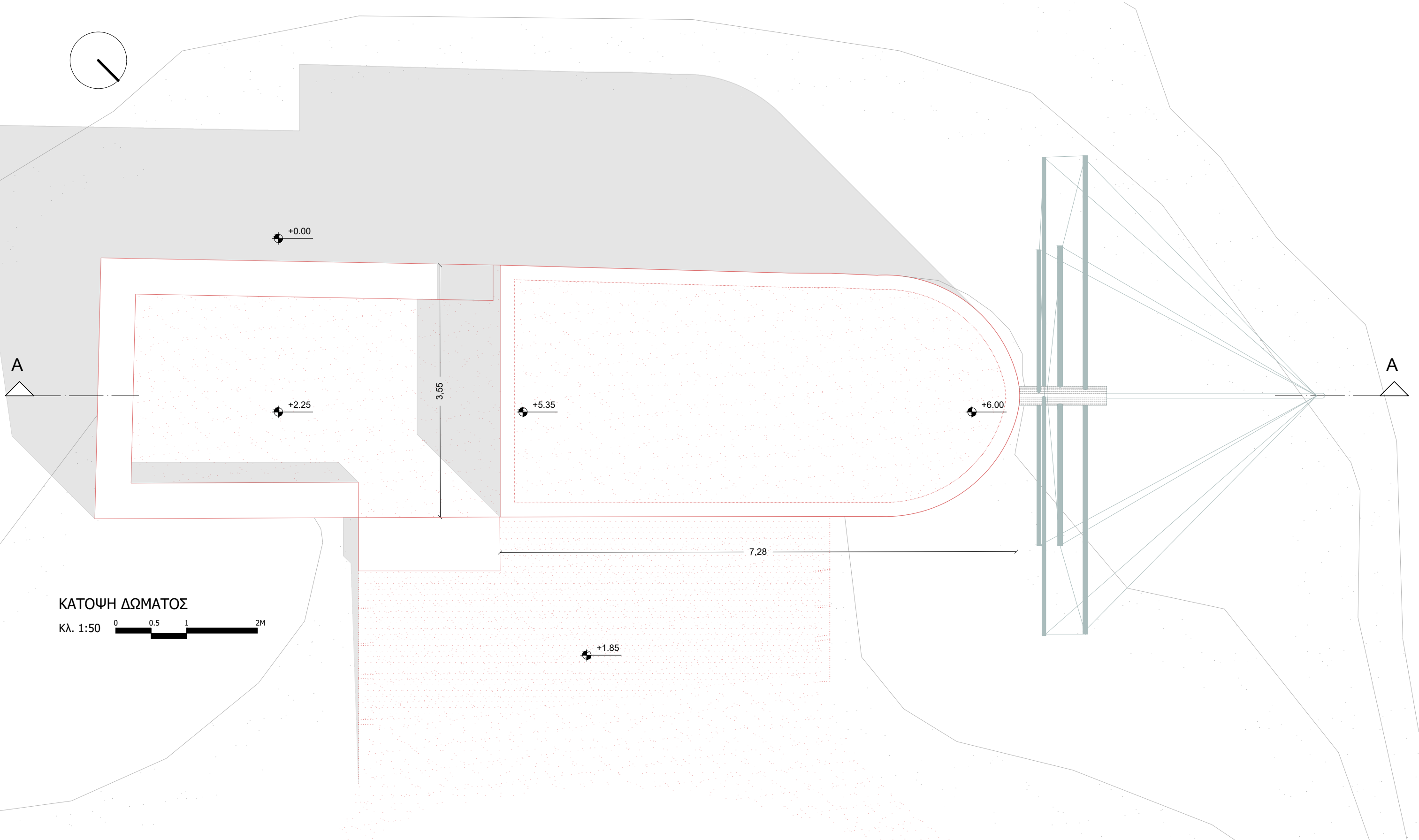
Αρ. Σχεδίου	Τίτλος Σχεδίου		Πολυτεχνείο Κρήτης   Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών   Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών   Χώρος, Σχεδιασμός και Δομημένο Περιβάλλον “Ολοκληρωμένος σχεδιασμός σε ιστορικό δομημένο περιβάλλον με προηγμένες τεχνολογίες και υλικά” <b>Μεταπτυχιακή Διατριβή</b> Δομική αποκατάσταση και πρόταση επανάχρησης ανεμόμυλου από φέρουσα λιθοδομή. Σελί Αμπέλου - Οροπέδιο Λασιθίου.
<b>A.05</b>	Κλίμακα	Φοιτητής: Νύκταρης Γαβριήλ	
Χανιά Ιανουάριος 2021	<b>1 / 50</b>	Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Σταυρουλάκη Μαρία	
			Σχέδια Αποτύπωσης



ΚΑΤΟΨΗ ΙΣΟΓΕΙΟΥ

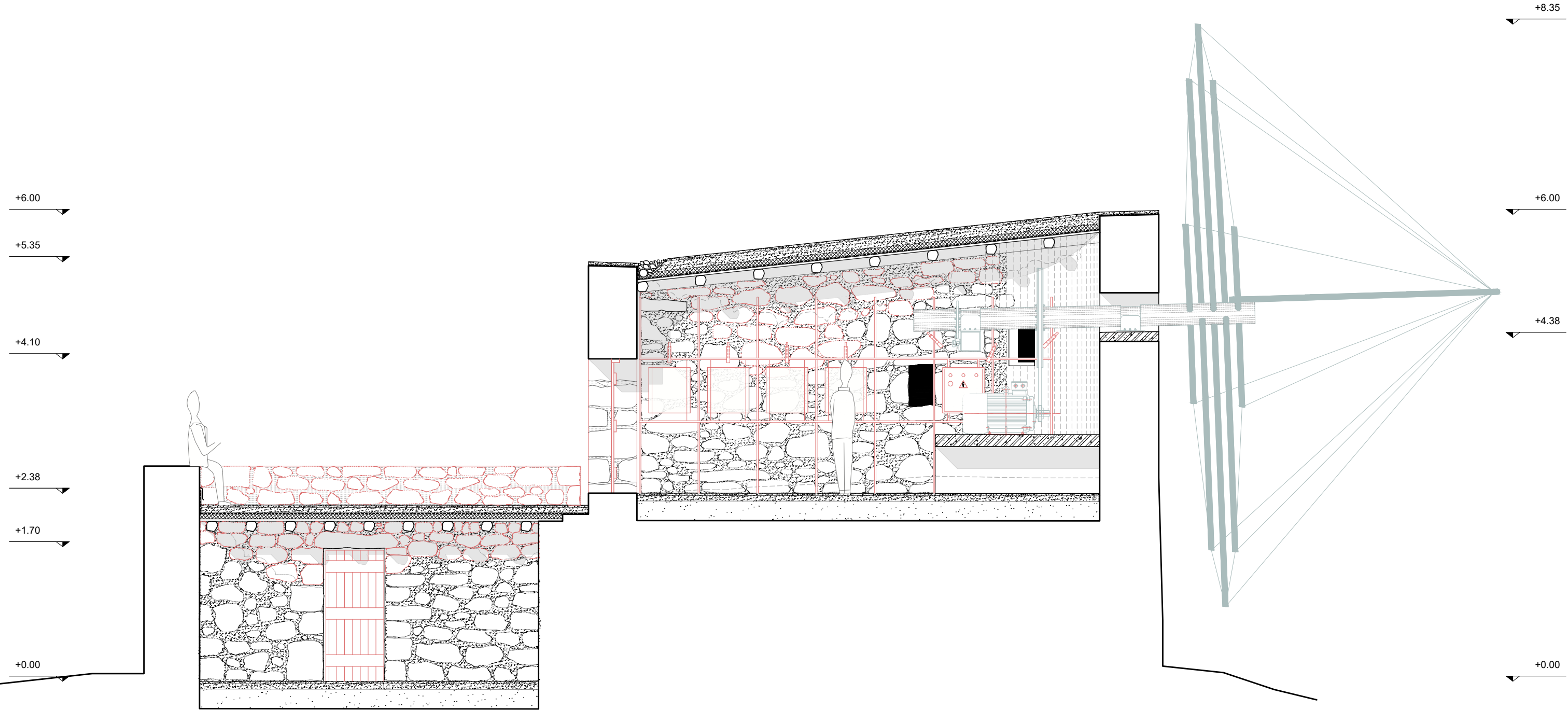
Κλ. 1:50 0 0.5 1 2M

Αρ. Σχεδίου		Τίτλος Σχεδίου		Πολυτεχνείο Κρήτης   Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών   Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών   Χώρος, Σχεδιασμός και Δομημένο Περιβάλλον “Ολοκληρωμένος σχεδιασμός σε ιστορικό δομημένο περιβάλλον με προηγμένες τεχνολογίες και υλικά” <b>Μεταπτυχιακή Διατριβή</b> Δομική αποκατάσταση και πρόταση επανάχρησης ανεμόμυλου από φέρουσα λιθοδομή. Σελί Αμπέλου - Οροπέδιο Λασιθίου.	
<b>A.06</b>		Κλίμακα	Φοιτητής: Νύκταρης Γαβριήλ		
Χανιά Ιανουάριος 2021		<b>1 / 50</b>	Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Σταυρουλάκη Μαρία		
Σχέδια Πρότασης					



Αρ. Σχεδίου <b>A.07</b>	Τίτλος Σχεδίου <b>Κάτοψη Δώματος</b>		Πολυτεχνείο Κρήτης   Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών   Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών   Χώρος, Σχεδιασμός και Δομημένο Περιβάλλον “Ολοκληρωμένος σχεδιασμός σε ιστορικό δομημένο περιβάλλον με προηγμένες τεχνολογίες και υλικά” <b>Μεταπτυχιακή Διατριβή</b> Δομική αποκατάσταση και πρόταση επανάχρησης ανεμόμυλου από φέρουσα λιθοδομή. Σελί Αμπέλου - Οροπέδιο Λασιθίου.
	Κλίμακα <b>1 / 50</b>	Φοιτητής: Νύκταρης Γαβριήλ Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Σταυρουλάκη Μαρία	
	Χανιά Ιανουάριος 2021		
			Σχέδια Πρότασης

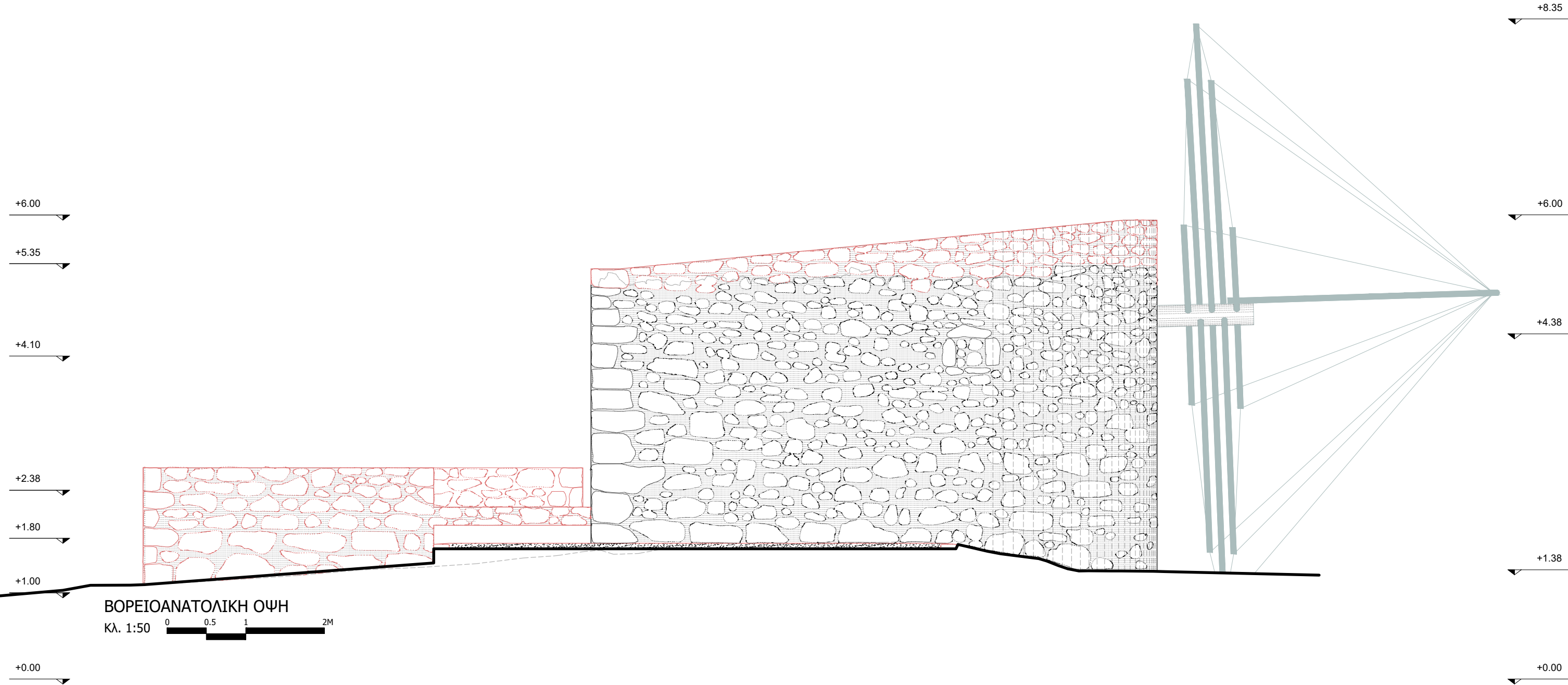




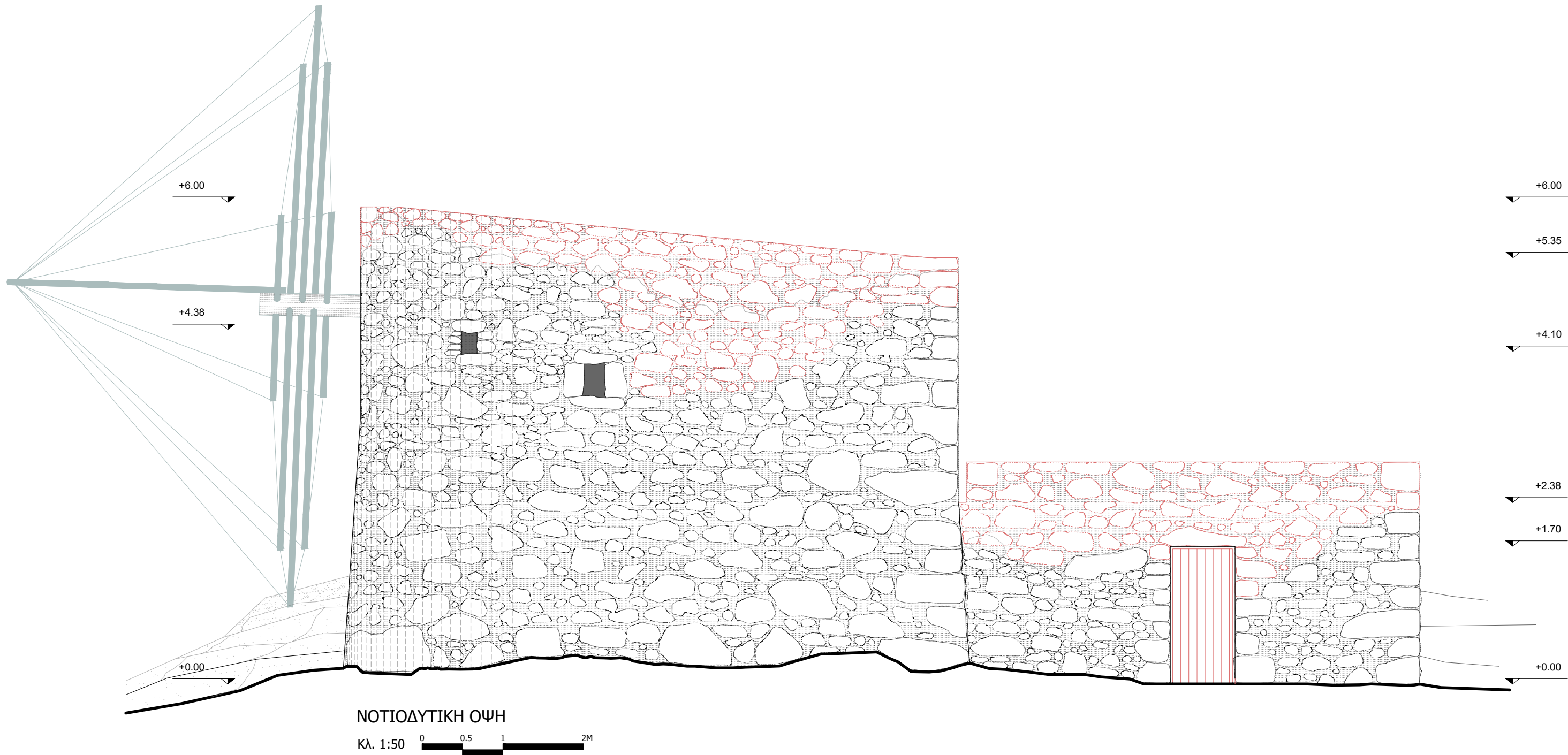
TOMH A-A  
Κλ. 1:50

Αρ. Σχεδίου	Τίτλος Σχεδίου		Πολυτεχνείο Κρήτης   Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών   Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών   Χώρος, Σχεδιασμός και Δομημένο Περιβάλλον “Ολοκληρωμένος σχεδιασμός σε ιστορικό δομημένο περιβάλλον με προηγμένες τεχνολογίες και υλικά” <b>Μεταπτυχιακή Διατριβή</b> Δομική αποκατάσταση και πρόταση επανάχρησης ανεμόμυλου από φέρουσα λιθοδομή. Σελί Αμπέλου - Οροπέδιο Λασιθίου.
<b>A.08</b>	Κλίμακα	Φοιτητής: Νύκταρης Γαβριήλ	
Χανιά Ιανουάριος 2021	<b>1 / 50</b>	Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Σταυρουλάκη Μαρία	
			Σχέδια Πρότασης

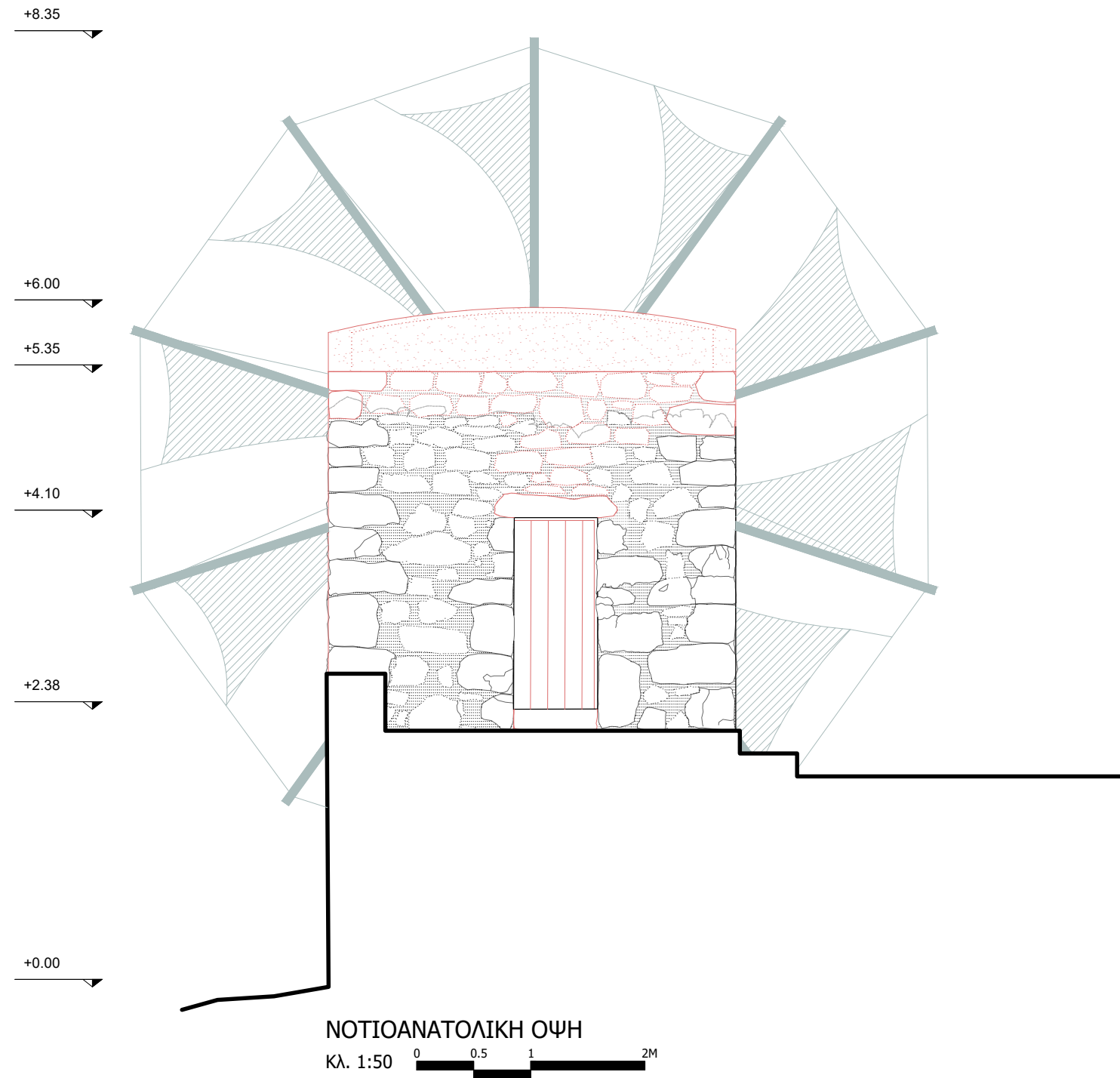
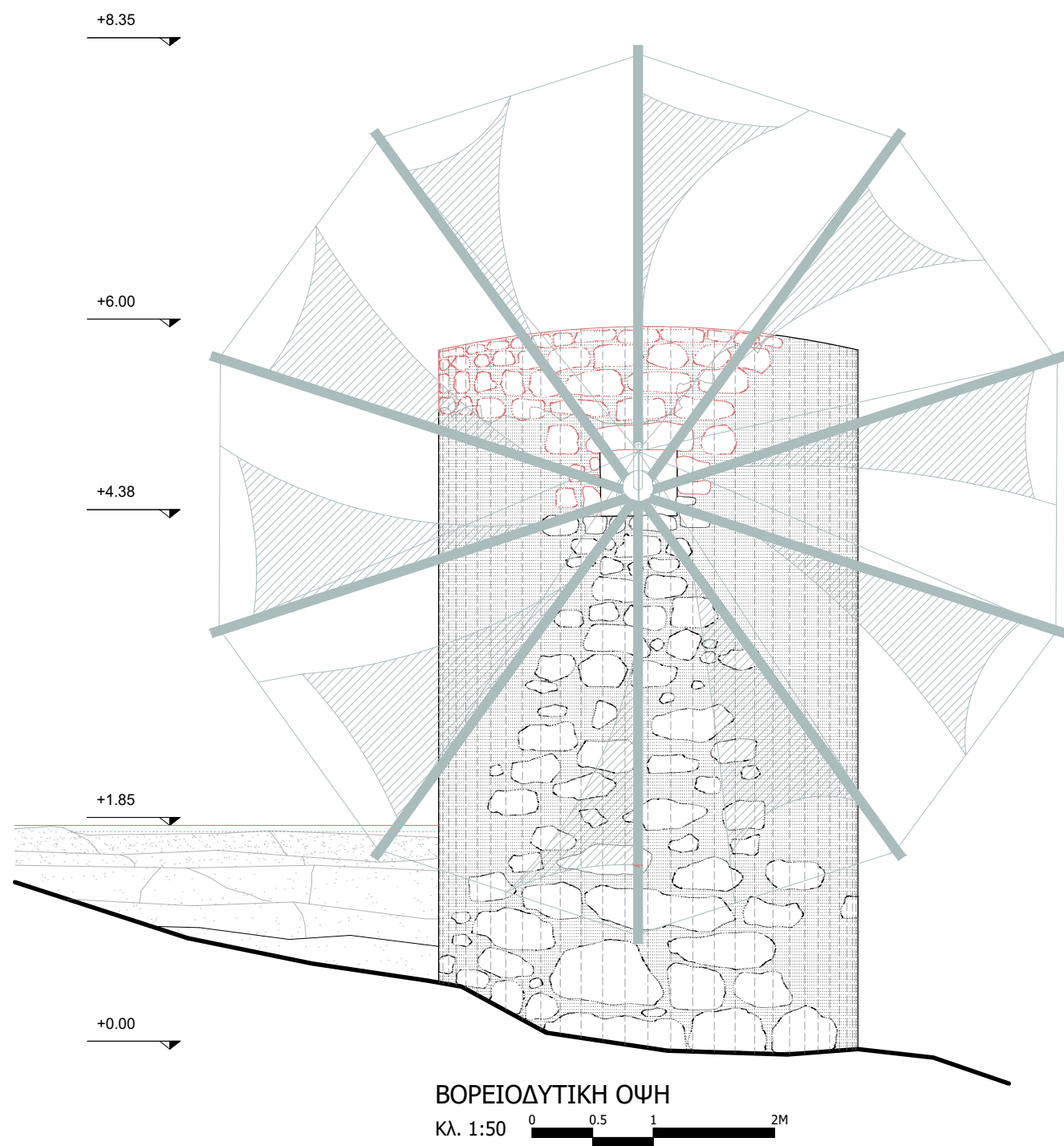




Αρ. Σχεδίου <b>A.09</b>	Τίτλος Σχεδίου <b>Βορειοανατολική Όψη</b>		Πολυτεχνείο Κρήτης   Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών   Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών   Χώρος, Σχεδιασμός και Δομημένο Περιβάλλον “Ολοκληρωμένος σχεδιασμός σε ιστορικό δομημένο περιβάλλον με προηγμένες τεχνολογίες και υλικά” <b>Μεταπτυχιακή Διατριβή</b> Δομική αποκατάσταση και πρόταση επανάχρησης ανεμόμυλου από φέρουσα λιθοδομή. Σελί Αμπέλου - Οροπέδιο Λασιθίου.
	Κλίμακα <b>1 / 50</b>	Φοιτητής: Νύκταρης Γαβριήλ Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Σταυρουλάκη Μαρία	
	Χανιά Ιανουάριος 2021		Σχέδια Πρότασης



Αρ. Σχεδίου	Τίτλος Σχεδίου		Πολυτεχνείο Κρήτης   Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών   Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών   Χώρος, Σχεδιασμός και Δομημένο Περιβάλλον “Ολοκληρωμένος σχεδιασμός σε ιστορικό δομημένο περιβάλλον με προηγμένες τεχνολογίες και υλικά”  Μεταπτυχιακή Διατριβή Δομική αποκατάσταση και πρόταση επανάχρησης ανεμόμυλου από φέρουσα λιθοδομή. Σελί Αμπέλου - Οροπέδιο Λασιθίου.
A.10	Κλίμακα	Φοιτητής: Νύκταρης Γαβριήλ	
Χανιά Ιανουάριος 2021	1 / 50	Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Σταυρουλάκη Μαρία	
			Σχέδια Πρότασης



Αρ. Σχεδίου <b>A.11</b>	Τίτλος Σχεδίου <b>Βορειοδυτική και Νοτιοανατολική Όψη</b>		Πολυτεχνείο Κρήτης   Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών   Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών   Χώρος, Σχεδιασμός και Δομημένο Περιβάλλον “Ολοκληρωμένος σχεδιασμός σε ιστορικό δομημένο περιβάλλον με προηγμένες τεχνολογίες και υλικά” <b>Μεταπτυχιακή Διατριβή</b> Δομική αποκατάσταση και πρόταση επανάχρησης ανεμόμυλου από φέρουσα λιθοδομή. Σελί Αμπέλου - Οροπέδιο Λασιθίου.
	Κλίμακα <b>1 / 50</b>	Φοιτητής: Νύκταρης Γαβριήλ Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Σταυρουλάκη Μαρία	
	Χανιά Ιανουάριος 2021		
Σχέδια Πρότασης			