

Ο ΑΝΕΜΟΜΥΛΟΣ ΣΤΑ ΛΙΜΝΙΑ ΑΜΜΟΧΩΣΤΟΥ

Ένα μνημείο τεχνολογίας, περιβάλλοντος και πολιτιστικής κληρονομιάς

ΑΝΕΜΟΜΥΛΟΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΣΤΗΣ

1. ΒΑΣΙΚΗ ΟΜΑΔΑ ΕΡΓΟΥ:

Αρχιτέκτονες: Χρύσανθος Πισσαρίδης, Selen Avkan Yeniada

Πολιτικοί Μηχανικοί: Πλάτωνας Στυλιανού, Alberto Farinola

Επιμετρητές Ποσοτήτων: Μαρίνος Δημοσθένους

Αρχαιολόγος: Έβη Καρυδά

Συντηρήτρια: Κατερίνα Αθηαίνιτου

2. ΤΕΧΝΙΚΗ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ:

ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ: Χρίστος Χατζηγιάνγκου - CHANTORO LTD

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΙ ΕΛΕΓΧΟΙ: ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΛΗΔΡΑ ΚΑΙ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ, ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ

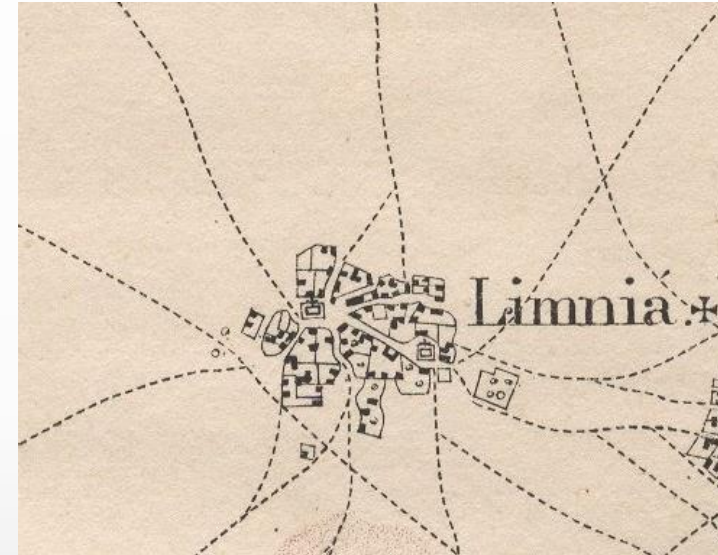
Η παρούσα παρουσίαση βασίζεται στη μελέτη αποκατάστασης του ανεμόμυλου των Λιμνιών, η οποία εκπονήθηκε στο πλαίσιο ανάθεσης από το Πρόγραμμα Ανάπτυξης των Ηνωμένων Εθνών (UNDP) Κύπρου στη πιο πάνω ομάδα εργασίας.

1. Ο Ανεμόμυλος στα Λιμνιά

CONSERVATION STUDY



Joint Venture:
Platonas Stylianou & Associates, Civil and Structural Engineers L.L.C &
Architect firm Chrysanthos Pissaridis



Team:

Engineers: Platonas Stylianou, Alberto Farinola
Architects: Selen Avkan, Chrysanthos Pissaridis,
Topographers: Christos Hadjiyagkou,
Archaeologist: Evi Karyda,
Stone Conservator: Katerina Athiainitou,
Q.S: Marinos Demosthenous, Angela Christoforou



2. Η Αποκατάσταση του Ανεμόμυλου των Λιμνιών

Σε περιοχές της Κύπρου, όπως η Αμμόχωστος και η Καρπασία, όπου οι υδάτινοι πόροι ήταν περιορισμένοι, οι κάτοικοι αξιοποίησαν τη δύναμη του ανέμου κατασκευάζοντας ανεμόμυλους.

Οι ανεμόμυλοι αποτελούν σημαντικά τεκμήρια της παραγωγικής παράδοσης, της τοπικής οικονομίας και της προσαρμογής του ανθρώπου στο φυσικό περιβάλλον.

Ο ανεμόμυλος των Λιμνιών συντηρήθηκε και επιδιορθώθηκε μετά από εισήγηση της Τεχνικής Επιτροπής Πολιτιστικής Κληρονομιάς, με τη χρηματοδότηση της Ευρωπαϊκής Ένωσης, με μελέτη και σχεδιασμό του έργου από την Ομάδα Εργασίας και τεχνική υποστήριξη της UNDP, συμβάλλοντας στη διατήρηση της κοινής πολιτιστικής κληρονομιάς της Κύπρου.



3. Η περιοχή των Λιμνιών

Τα Λιμνιά βρίσκονται στην επαρχία Αμμοχώστου, σε μια περιοχή που διαχρονικά συνδέθηκε με τη γεωργική παραγωγή. Η πεδιάδα της Μεσαορίας και οι περιορισμένοι υδάτινοι πόροι οδήγησαν στην ανάπτυξη έξυπνων τεχνολογικών λύσεων για την αξιοποίηση του ανέμου.

3.1 Οι Ανεμόμυλοι στην Αμμόχωστο

Η περιοχή της Αμμοχώστου ήταν ιστορικά γνωστή για τον μεγάλο αριθμό ανεμόμυλων που διέθετε. Οι ανεμόμυλοι χρησιμοποιούνταν για την άντληση νερού και την υποστήριξη της γεωργικής παραγωγής, συμβάλλοντας σημαντικά στην οικονομική ανάπτυξη της περιοχής.



4. Ιστορικά Στοιχεία για τα Λιμνιά

- Το χωριό Λιμνιά βρίσκεται σε μια περιοχή με πλούσιο και σημαντικό αρχαιολογικό ενδιαφέρον.
- Σύμφωνα με τα διαθέσιμα στοιχεία, το χωριό είναι σχετικά «νεότερο» και η δημιουργία του τοποθετείται στην περίοδο της Οθωμανικής κυριαρχίας.
- Δεν αναφέρεται σε μεσαιωνικά χρονικά ή σε μεσαιωνικούς χάρτες.
- Η πρώτη γνωστή απεικόνιση του χωριού σε χάρτη εντοπίζεται στα μέσα του 18ου αιώνα, στους χάρτες των R. Pococke και T. Jeffery.
- Σύμφωνα με ορισμένες πηγές, το χωριό δημιουργήθηκε από κατοίκους γειτονικών οικισμών, όπως το Παραδείσι, ο Άγιος Πάππος, το Παλιχώρι, οι Κολοί και η Τράπεζα. Οι κάτοικοι μετακινήθηκαν στα Λιμνιά αναζητώντας μεγαλύτερη ασφάλεια από επιδρομές και εισβολές.
- Η ονομασία «Λιμνιά» συνδέεται με τη γεωμορφολογία της περιοχής και προέρχεται από τη λέξη «λίμνη». Τα νερά της βροχής συγκεντρώνονταν στην περιοχή σχηματίζοντας μικρές λίμνες, από τις οποίες πήρε το όνομά του το χωριό.

ΟΙ ΑΛΕΣΤΙΚΟΙ ΑΝΕΜΟΜΥΛΟΙ ΤΗΣ ΚΥΠΡΟΥ (18ος-20ος ΑΙΩΝΑΣ)

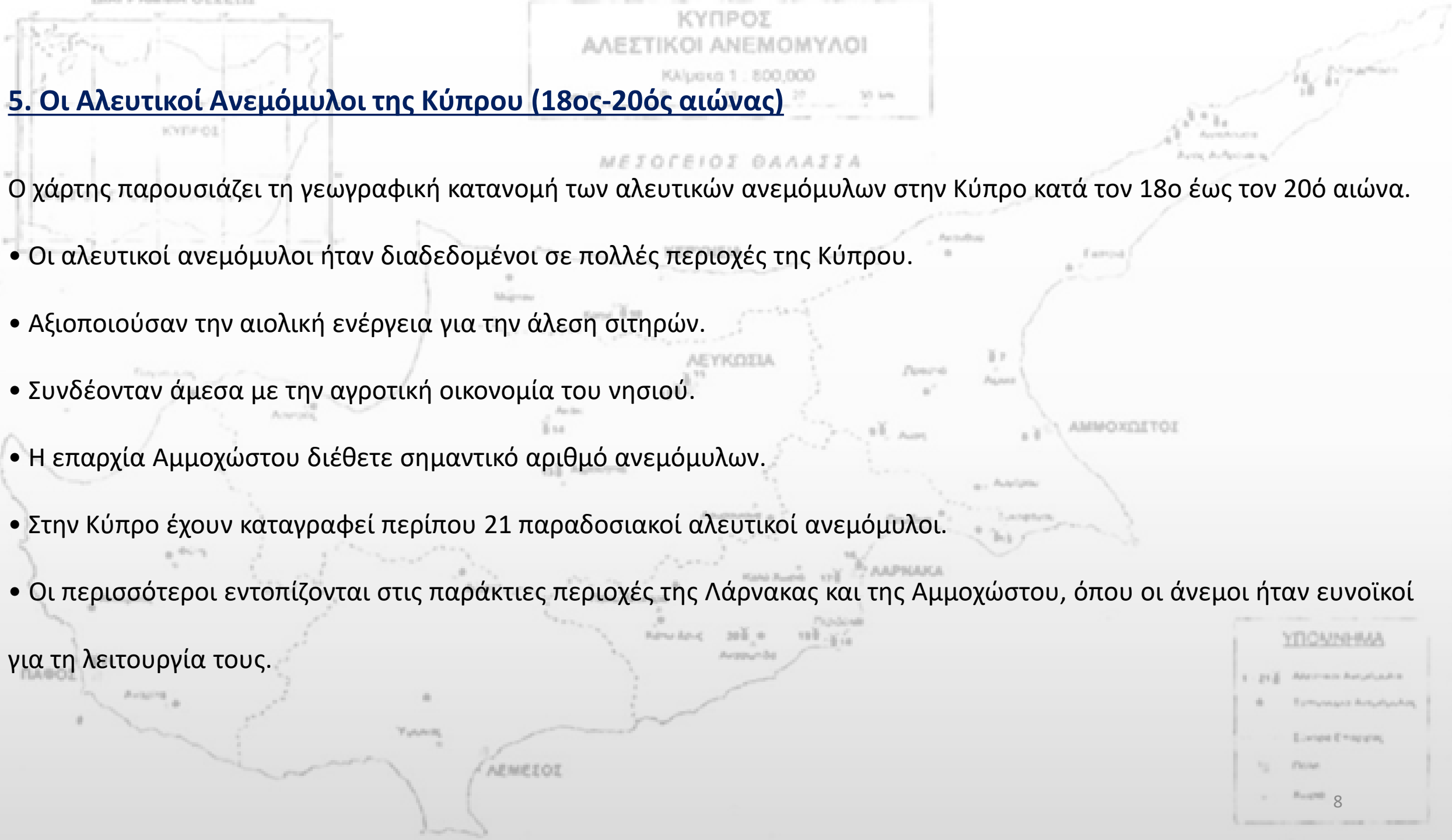


Πηγή: Ριζοπούλου-Ηγουμενίδου, Ε., «Οι αλευτικοί ανεμόμυλοι της Κύπρου (18ος–20ός αιώνας)».

5. Οι Αλευτικοί Ανεμόμυλοι της Κύπρου (18ος-20ός αιώνας)

Ο χάρτης παρουσιάζει τη γεωγραφική κατανομή των αλευτικών ανεμόμυλων στην Κύπρο κατά τον 18ο έως τον 20ό αιώνα.

- Οι αλευτικοί ανεμόμυλοι ήταν διαδεδομένοι σε πολλές περιοχές της Κύπρου.
- Αξιοποιούσαν την αιολική ενέργεια για την άλεση σιτηρών.
- Συνδέονταν άμεσα με την αγροτική οικονομία του νησιού.
- Η επαρχία Αμμοχώστου διέθετε σημαντικό αριθμό ανεμόμυλων.
- Στην Κύπρο έχουν καταγραφεί περίπου 21 παραδοσιακοί αλευτικοί ανεμόμυλοι.
- Οι περισσότεροι εντοπίζονται στις παράκτιες περιοχές της Λάρνακας και της Αμμοχώστου, όπου οι άνεμοι ήταν ευνοϊκοί για τη λειτουργία τους.



6. Τυπολογία των Κυπριακών Ανεμόμυλων

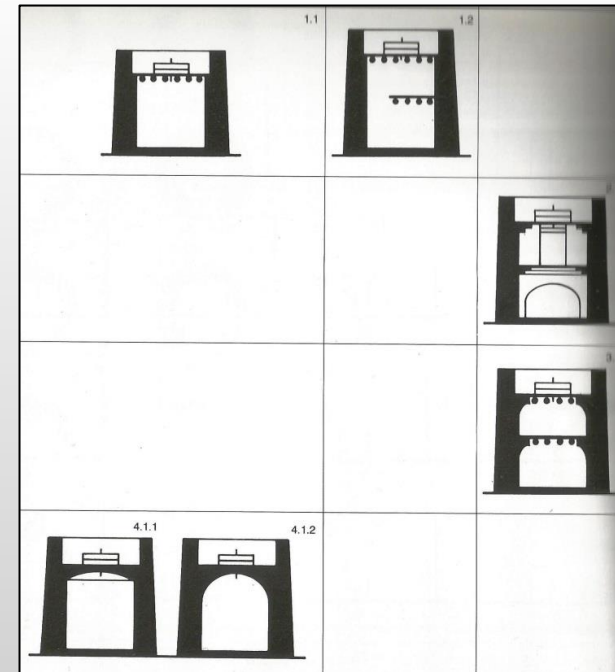
Μεσογειακός τύπος κυλινδρικών ανεμόμυλων με περιστρεφόμενη οροφή και κατακόρυφο τροχό:

- Κυλινδρικοί πύργοι.
- Υλικά κατασκευής: τοπική πέτρα και κονίαμα.

Διαφορετικές διαμορφώσεις ορόφων:

- Ισόγειο και ένας όροφος,
- Ισόγειο, πατάρι και ένας όροφος,
- Ισόγειο και δύο όροφοι.

Το ισόγειο αποτελούσε τον κύριο χώρο εξυπηρέτησης των πελατών, ενώ ο μηχανισμός άλεσης βρισκόταν στον επάνω όροφο.



7. Στατικό σύστημα

Οι παραδοσιακοί πέτρινοι στρογγυλοί μύλοι (ανεμόμυλοι κυκλικής κάτοψης) αποτελούν χαρακτηριστικά παραδείγματα προ-νεωτερικής λιθόκτιστης κατασκευής, όπου η ίδια η φέρουσα τοιχοποιία εξυπηρετεί ταυτόχρονα αρχιτεκτονικές, στατικές και λειτουργικές ανάγκες.

7.1 Βασική δομική διάταξη

Το δομικό σύστημα βασίζεται σε:

- Κυλινδρική λιθόκτιστη φέρουσα τοιχοποιία μεγάλου πάχους.
- Ξύλινα πατώματα που συνδέονται με την τοιχοποιία.
- Ξύλινη ή κωνική στέγη.
- Εσωτερικό ξύλινο μηχανισμό άλεσης.
- Λίθινη θεμελίωση

Η κυκλική γεωμετρία είναι ιδιαίτερα ευνοϊκή διότι διαχέει ομοιόμορφα τις κατακόρυφες και οριζόντιες φορτίσεις.

7.2 Στατική λειτουργία

Η κυλινδρική τοιχοποιία λειτουργεί ως:

- συνεχές θλιβόμενο κέλυφος,
- δακτύλιος αντίστασης στις ανεμοπιέσεις,
- φορέας παραλαβής όλων των κατακόρυφων φορτίων.

Οι θλιπτικές τάσεις είναι γενικά πολύ μικρές σε σχέση με την αντοχή της πέτρας.

7.3 Εσωτερικά πατώματα

Οι περισσότεροι μύλοι ήταν διώροφοι ή τριώροφοι.

Τα δάπεδα αποτελούνταν από:

- ξύλινες δοκούς ακτινικής διάταξης,
- ξύλινο σανίδωμα.

Οι δοκοί πακτώνονταν μέσα στην τοιχοποιία.

Στατικός ρόλος

Εκτός από λειτουργικό στοιχείο:

- λειτουργούν ως εσωτερικοί δακτύλιοι σύνδεσης,
- περιορίζουν την εκτός επιπέδου παραμόρφωση της τοιχοποιίας,
- αυξάνουν τη συνολική δυσκαμψία.

7.4 Στέγη

Ανεμόμυλοι

Συνήθως:

- ξύλινη περιστρεφόμενη κωνική στέγη,
- επενδυμένη με ξύλο, άχυρο ή λαμαρίνα.

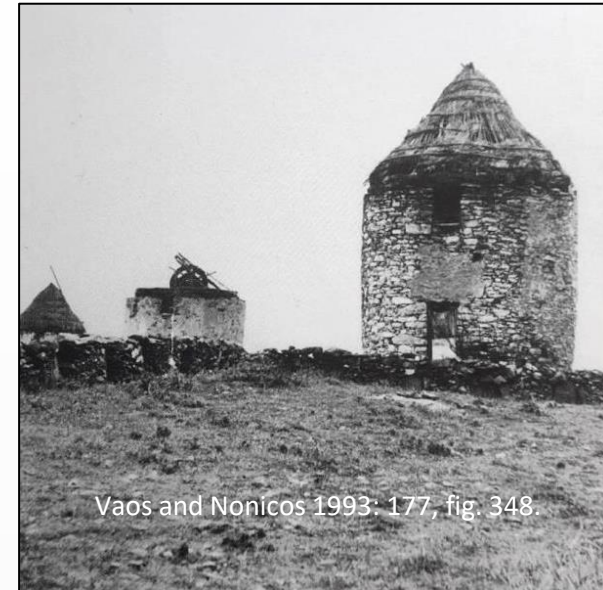
Η στέγη έφερε:

- τον άξονα του μύλου,
- τον μηχανισμό προσανατολισμού προς τον άνεμο.

7.4 Οροφές

Αχυροσκεπείς Οροφές

Το πλαίσιο της οροφής κατασκευαζόταν από ξύλο και καλυπτόταν με άχυρο. Ο σκελετός ενισχυόταν με οριζόντια και κατακόρυφα καλάμια, πάνω στα οποία δένονταν μικρές δεσμίδες άχυρου.



Ξύλινες Οροφές

Το πλαίσιο της οροφής κατασκευαζόταν από ξύλο και καλυπτόταν με ξύλινες σανίδες. Οι οροφές ήταν είτε κωνικές είτε τετράπλευρες πυραμιδοειδείς.



7.5 Δομική φιλοσοφία

Η βασική αρχή λειτουργίας του συστήματος είναι:

«Βαριά κυλινδρική θλιβόμενη τοιχοποιία με ξύλινα διαφράγματα και μικρά ανοίγματα»

που εξασφαλίζει:

- μεγάλη αντοχή σε θλίψη,
- υψηλή ευστάθεια έναντι ανατροπής,
- καλή ανθεκτικότητα στο χρόνο,
- περιορισμένες εφελκυστικές τάσεις.

Γι' αυτό πολλοί πέτρινοι μύλοι της Κύπρου, των Δωδεκανήσων, της Κρήτης και των Κυκλάδων παραμένουν όρθιοι μετά από εκατοντάδες χρόνια λειτουργίας, παρότι έχουν υποστεί σημαντικές σεισμικές και περιβαλλοντικές καταπονήσεις.

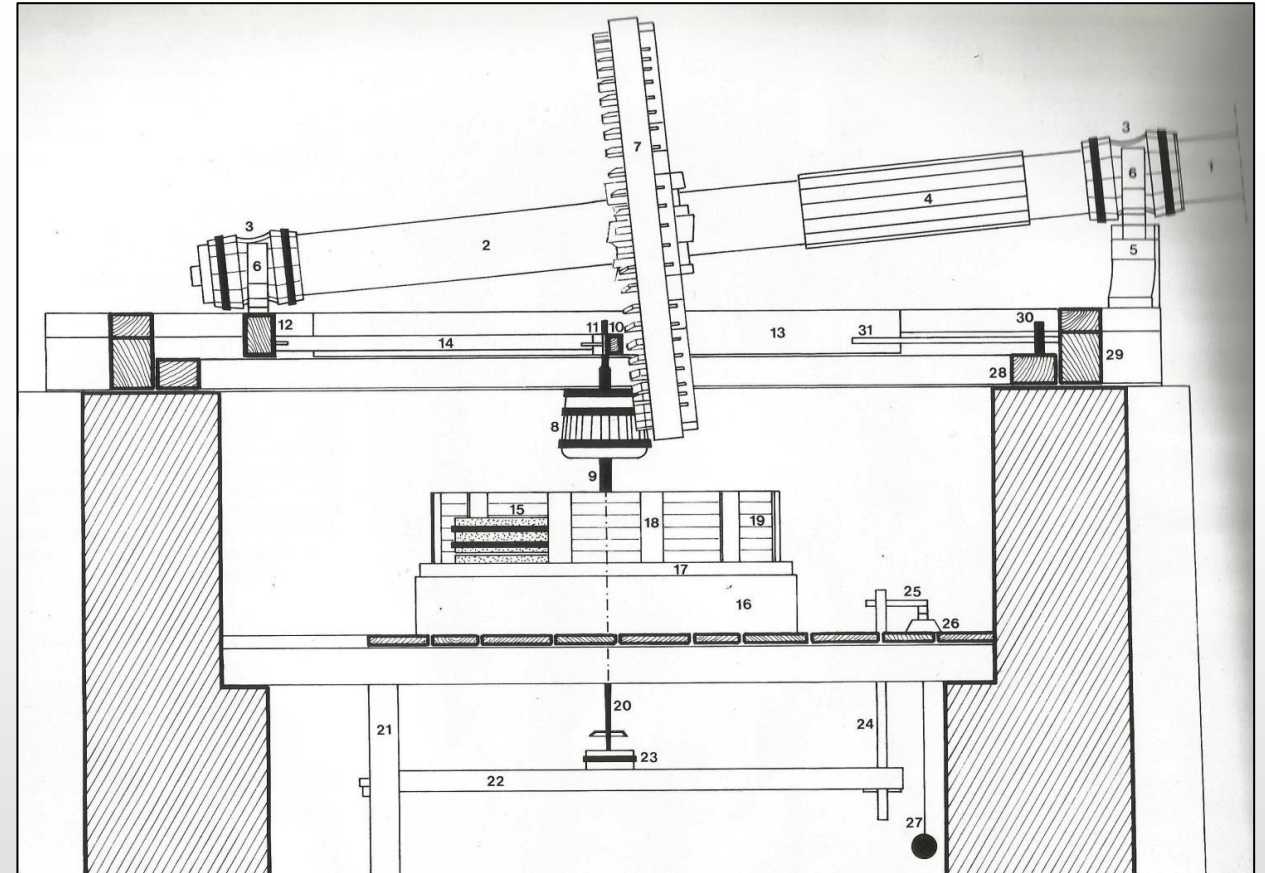
8. Ο Μηχανισμός Λειτουργίας του Ανεμόμυλου

Ο μηχανισμός του ανεμόμυλου αποτελούνταν από τρία βασικά μέρη:

A. Τον μηχανισμό κίνησης, που μετέφερε την ενέργεια του ανέμου.

B. Τον μηχανισμό άλεσης, όπου πραγματοποιούνταν η άλεση των σιτηρών.

Γ. Τον μηχανισμό προσανατολισμού, ο οποίος περιστρέφει την οροφή και τα πτερύγια προς την κατεύθυνση του ανέμου.



Vaos and Nonicos 1993: 216; fig. 475



9. Αρχιτεκτονικά Χαρακτηριστικά του Ανεμόμυλου Λιμνιών

- Χαρακτηριστική κυλινδρική λιθόκτιστη κατασκευή.
- Ευρύτερη βάση για μεγαλύτερη σταθερότητα.
- Η είσοδος βρίσκεται στη νοτιοδυτική πλευρά και διαμορφώνεται με λίθινο τόξο.
- Μικρά ανοίγματα και παράθυρα βρίσκονται στη νοτιοανατολική πλευρά.
- Η κατασκευή έγινε με ντόπια υλικά με τοπική πέτρα και παραδοσιακά κονιάματα.



10. Υλικά Κατασκευής

Τοίχοι: κατασκευασμένοι από τοπική ασβεστολιθική πέτρα και παραδοσιακό κονίαμα.



Δάπεδο: δεν σώζονται στοιχεία του αρχικού δαπέδου.

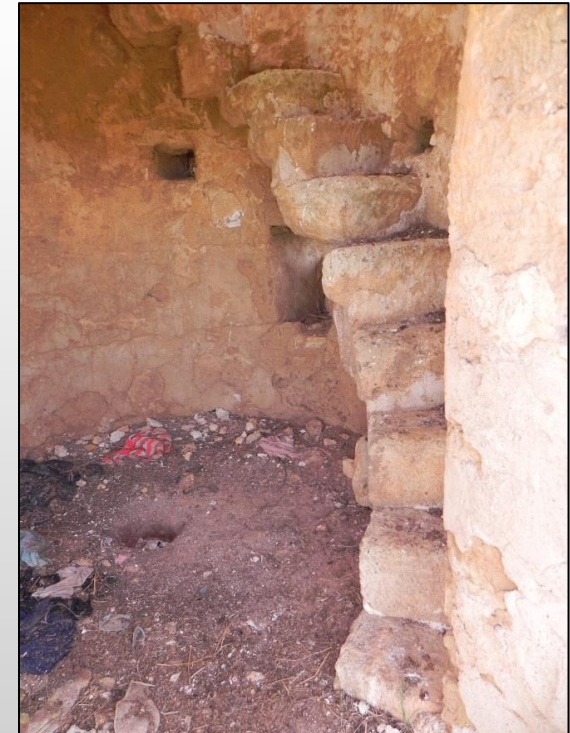


Οροφή: κωνική αχυροσκεπής κατασκευή με ξύλινο σκελετό?



11. Εσωτερική Διάταξη και Λειτουργία του Ανεμόμυλου Λιμνιών

- Ενσωματωμένες πέτρινες σκάλες μέσα στους τοίχους οδηγούσαν στους ανώτερους ορόφους.
- Πιθανότατα διέθετε τρία επίπεδα: ισόγειο, ενδιάμεσο όροφο και ανώτερο όροφο.
- Στον ανώτερο όροφο βρισκόταν ο μηχανισμός άλεσης.
- Η αρχική οροφή δεν διασώζεται, αλλά πιθανότατα ήταν κωνική και καλυμμένη με άχυρο.
- Δεν έχουν διασωθεί στοιχεία του αρχικού μηχανισμού λειτουργίας, ο οποίος πιθανόν αφαιρέθηκε όταν χρησιμοποιήθηκαν νεότερες μηχανές άλεσης.



TECHNICAL ANALYSIS

12. Building Pathology and Damage Diagnosis report

Prior to any conservation intervention work, a damage diagnosis report is necessary in order to obtain a holistic understanding of the main problems/damages found in the windmill. By studying and analyzing the building's defects we will be able to identify the causes of the problem, thus giving the correct remedial actions in the context and philosophy of minimum interventions. The main damages of the windmill are inventorized and presented below.

Stone masonry walls/Jointing mortar			
Code	Damage description	Representative photo	Possible cause of deterioration/damage
SC	Structural cracks		- Severe cracks are located at the interior of the windmill are probably due to: - The partial collapsed masonry wall on the outside surface. - The various openings, cracks are governed to the weakest points.
			

MD	Structural damage due to mechanical		Probably caused during an intervention to re-adjust the masonry walls in order to transform old windmill to a steam gridding mill.
PCW	Partial Collapsed wall		- Local loss of the outer stone layer with the rest of the three-layered masonry. Probably caused by: - Absence of a diaphragmatic (box) behavior. - Horizontal movements generated by earthquakes. The structure is positioned on soft soils with a ground acceleration of 0,25g (Seismic zone III) which makes it vulnerable to high intensity earthquakes.
BC	Biological colonization (Black stains)	 	- Signs of black stains on the surface of the stone wall implies humid conditions. - Since there is no roof to cover the windmill, rain water runs off on the exposed masonry walls. - These spots turn the original surface material darker and are often accompanied by biological growth i.e. moulds.

TECHNICAL ANALYSIS

12. Building Pathology and Damage Diagnosis report

V	Vegetation		Vegetation is growing at the top of the free standing masonry walls. Signs of vegetation implies humid conditions at the top level of the structure. Organic material is trapped in the porous of the stone/rubble material in combination with the presence of humidity encourages plants to thrive (see Biological colonization).
DMR	Decayed of jointing mortar/rendering.		- Deterioration of the existing mortar and plaster rendering. - Lack of maintenance and abandonment of the place (wear and tear) over the years. Structure left to the elements (wear and tear). - Partial detachment of the render used in the windmill. - Based on the results given from the technical laboratory, the rendering material used is an earth lime based mixture that has poor strength characteristics in comparison with the lime based jointing mortar. - Loss of small stone filling at the masonry joints.

D	Debris		- Lack of maintenance and abandonment of the place. - The interior floor of the windmill is covered with plastic debris.
W	Well		- Lack of maintenance and abandonment of the place. - The well is full of debris and dead decomposed animals.



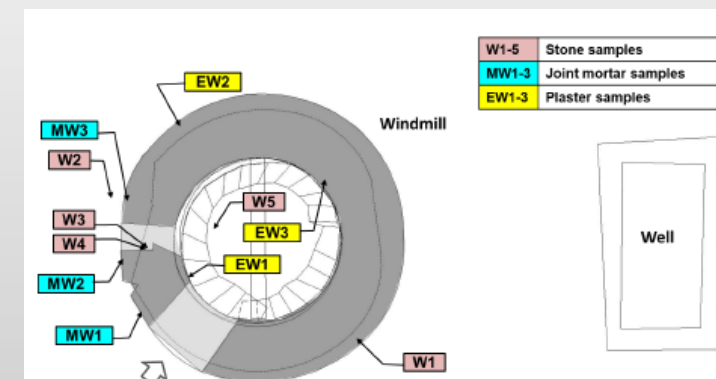
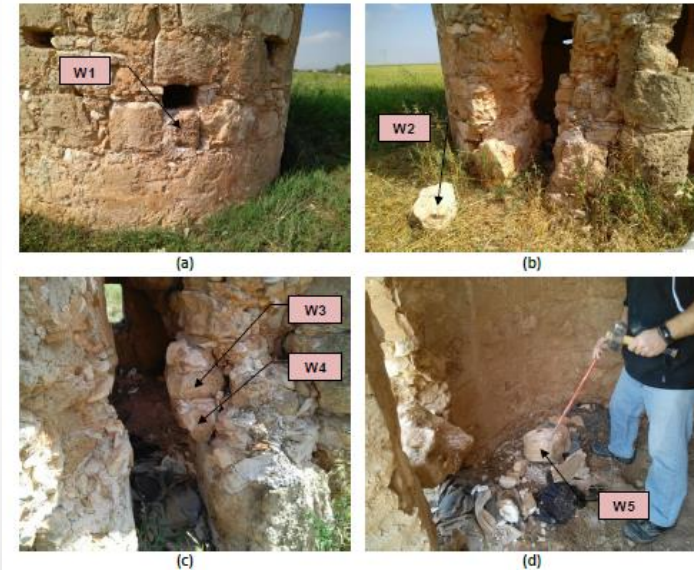
TECHNICAL ANALYSIS

13. Structural evaluation through NDT (site visual inspections, Schmidt hammer) & SDT (Stone samples)

Samples of building stone and joining mortars were extracted from the site on the 21st of February 2018. The tests were performed from the LEDRA laboratories of the University of Cyprus. The purpose is to determine the building's mineralogical composition, density, porosity, the capillary absorption coefficient and compressive strength. The location of the specimens taken from the site is shown in figures below.

Table 7: Mineralogical composition and average physico-mechanical properties (coefficient of variation) of building stones determined from laboratory tests on 5 different samples.

Stone sample	Mineralogical composition	Apparent density (kg/m³)	Total open porosity (%)	Capillary absorption coefficient (g/m²s¹/²)	Compressive strength (MPa)										
W1	Calcite: 70.73% Quartz: 11.10% Plagioclase: 14.60% Clay Minerals: 3.56%	1710 (2%)	36.3 (4%)	698 (15%)	4.5 (18%)										
W2	Calcite: 70.14% Mg-rich calcite: 26.54% Quartz: 1.55% Plagioclase: 1.77%	2203 (3%)	16.6 (15%)	104 (63%)	22.9 (20%)										
W3	Calcite: 66.56% Quartz: 1.55% Plagioclase: 17.31% Clay Minerals: 4.46%	1850 (10%)	29.4 (23%)	285 (38%)	8.2 (57%)										
W4	<table><tr><th>Layer A</th><th>Layer B</th></tr><tr><td>Calcite: 74.00%</td><td>69.35%</td></tr><tr><td>Mg-rich Calcite: 22.84%</td><td>8.24%</td></tr><tr><td>Quartz: 1.00%</td><td>9.31%</td></tr><tr><td>Plagioclase: 2.16%</td><td>12.41%</td></tr></table>	Layer A	Layer B	Calcite: 74.00%	69.35%	Mg-rich Calcite: 22.84%	8.24%	Quartz: 1.00%	9.31%	Plagioclase: 2.16%	12.41%	1793 (6%)	32.9 (14%)	823 (7%)	9.3 (37%)
Layer A	Layer B														
Calcite: 74.00%	69.35%														
Mg-rich Calcite: 22.84%	8.24%														
Quartz: 1.00%	9.31%														
Plagioclase: 2.16%	12.41%														
W5	Calcite: 80.27% Mg-rich calcite: 18.14% Quartz: 0.78% Plagioclase: 0.81%	2180 (1%)	16.3 (5%)	33.7 (75%)	33.7 (6%)										



Laboratory test results



14. Computational model (FEM Analysis) – Define Mechanical Characteristics of Masonry Walls

In order to make an as-built evaluation and determine the remaining load bearing capacity and lateral resistance of the masonry wall, we have to take into account:

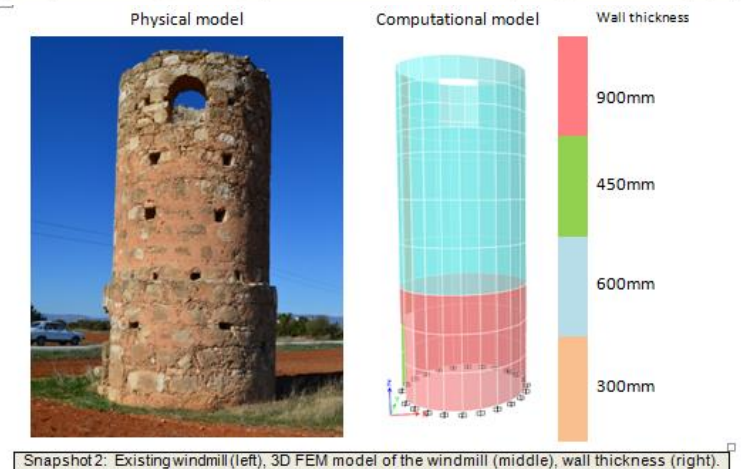
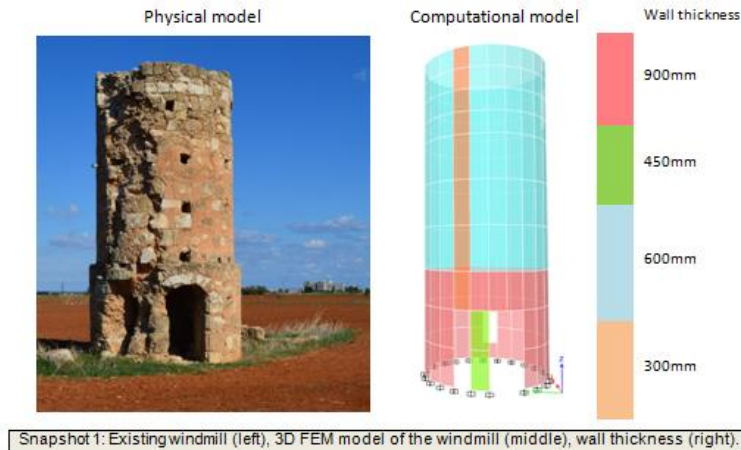
1. The different construction techniques used to build the windmill (e.g. brickwork, boundary connections, end connections, etc).
2. The construction phases of the windmill (e.g. attached or semi attached structural elements).
3. State of conservation of the different material used (damage diagnosis, pathological issues that observed on the materials).

Using the above in combination with the relevant fractions provided in EUROCODE 6 for the identification of the compressive strength of the masonry ($f_{w,c}=K*f_{bc}^{0.7}*f_m^{0.3}$), the following mechanical characteristics are assumed for the stone masonry are the ones used for the analysis procedure :

Table 2: Stone masonry mechanical properties – Model Analysis			
• Material's Weight Density (mean value approximation of 5 stones):	2,000 kg/m ³	• Modulus of Elasticity:	915MPa
• Poisson's Ratio:	0,2	• Shear Modulus:	382MPa
• Directional Symmetry Type:	Isotropic	• Specified Compressive Strength:	1,85 MPa
		• Specified shear Strength:	0,11 MPa

14. Computational model (FEM Analysis)

The modelling of the structure initiates with the simulation of shell elements for stone masonry walls. In the following snapshots, all different wall element thicknesses are indicated with the use of contour colours.



Assumptions

- ❑ The load bearing masonry system of the windmill consists of three layers; an internal and external stone surface and a filling with rubble stones which are binding together with a mortar mixture (three-layered masonry). To achieve the best simulation of the wall's behavior as a whole system, the total thickness of the walls is introduced in the model whose structural characteristics have been accordingly modified/ reduced, as the EC-6 for masonry structures foresees. For that reason, a reduction factor of 0,50 was chosen for the bending and shear in all local elements direction which will take into account the reduction of the wall's strength due to the presence of cracks and loose stone elements, missing joint mortar etc.
- ❑ In order to have a more precise analysis, the vertical area where the stones are missing (left from the entrance) were modeled with a reduced thickness (green and orange colors).
- ❑ The mechanical characteristics of all wall sections that are facing deterioration due to raising humidity, bedding problems and absence of pointing, are further reduced to lower design values in that zone.
- ❑ Meshing of the walls is set to a 0,25 x 0,25 m grid for each surface element in order to achieve the best stress distribution on the walls without making the model file heavy and slow down the analysis.
- ❑ The foundation system is modeled with fix-end supports.
- ❑ The dead weight is calculated from the self-weight of the structure based on the input geometry.

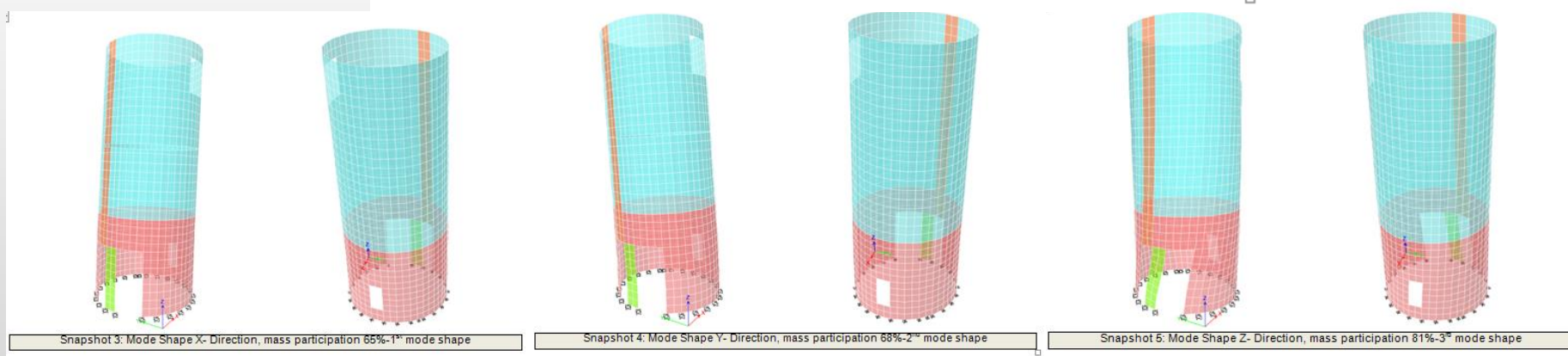


16. Mode Shapes

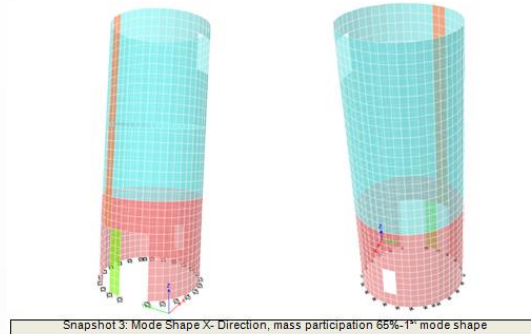
The behavior of the final structure is checked through the observation of its **modal parameters**, such as frequencies and mode shapes. Those parameters are helpful to understand how a structure responds to dynamic excitations, such as earthquakes or winds, and to calibrate the computational model of the structure to real life conditions.

The differences in mass participation percentages in various mode shapes of the structure can be seen clearly in the following pictures. The deformation configurations of the mode shapes are mainly out-of-plane modes as expected. In the following table, the three first mode shapes are presented as far as the period / frequency and mass participation ratio is concerned.

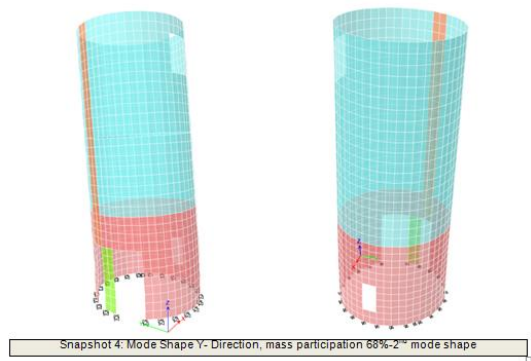
Mode	Period (sec)	Frequency (Hz)	UX	UY	RZ
1	0,243	4,112	0,6514	0,0006	0,0001
2	0,229	4,363	0,0006	0,6803	0,0061
3	0,125	7,993	0,000024	0,0004	0,8169



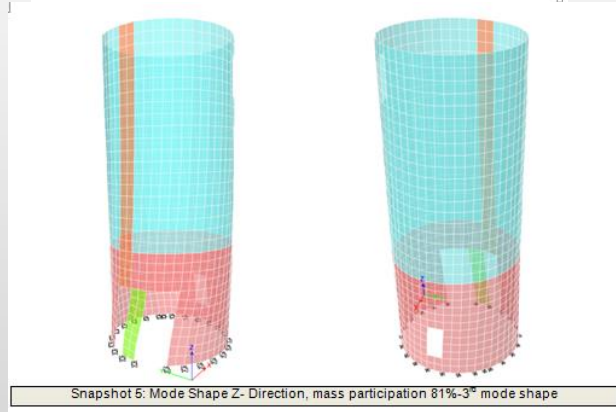
16. Mode Shapes



The dominant mode shape of the structure is the 1st with mass participation over 65% at **the x-direction** (snapshot 3). By observing the deformation shape, one can clearly state that the small mass participation factor (compare to Y-direction) is due to the fact that the majority of the energy in this direction is absorbed by the walls where the two openings are. Therefore, the mass that is contributing in this direction is less in comparison with the X-direction.



The 2nd **mode shape** is the **dominant y-direction** mode shape with participation of mass 68% (snapshot 4). There is no significant deviation from the X-direction, this is expect due to the cylindrical shape of the windmill. However, the slight difference in mass participation is mainly due to the fact that there is no openings on the Y-direction, so the entire body of the structure is resisting when subjected to a seismic load.



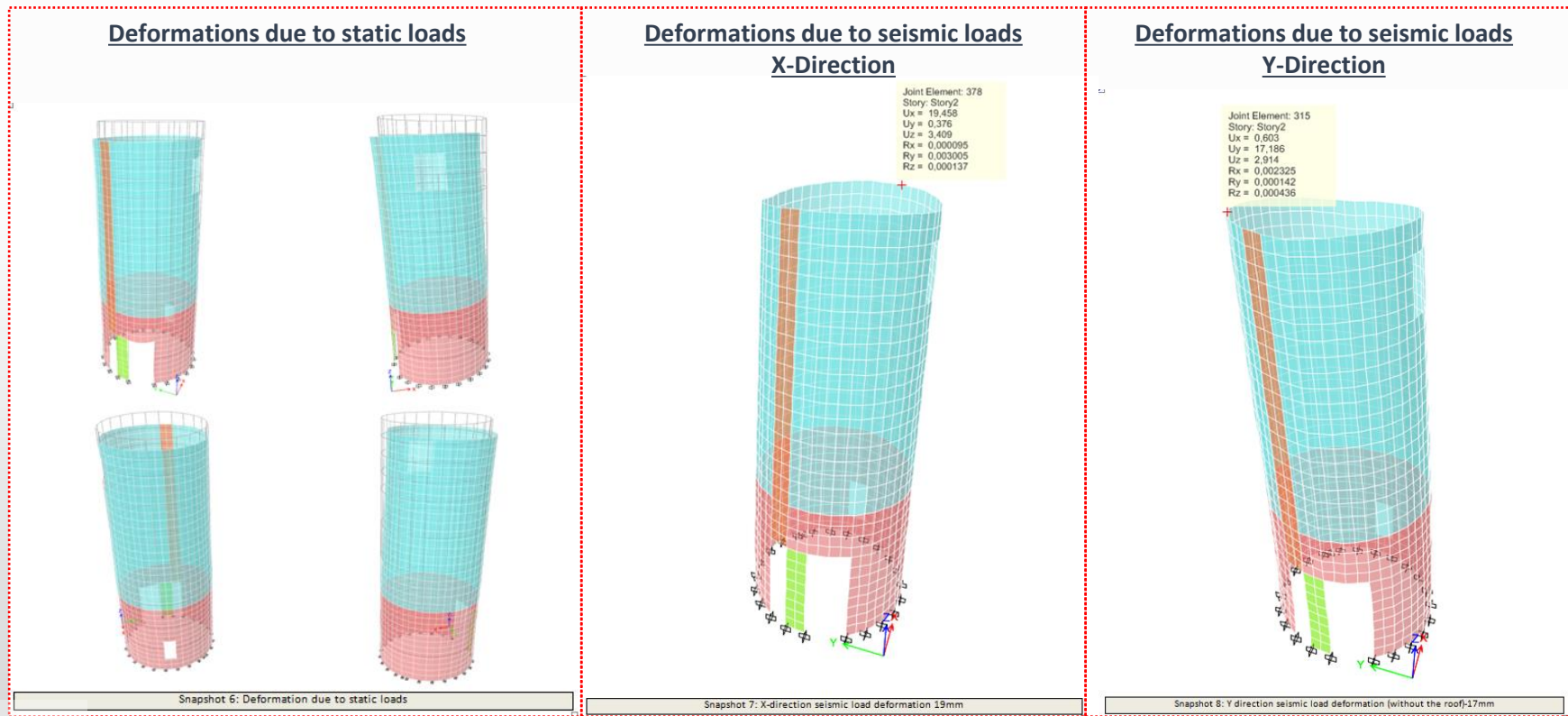
The 3rd **mode shape** is the **dominant rotational direction** with participation of mass 81% (snapshot 5).



17. Deformations

The analysis due to gravity loads has revealed the overall reaction of the structure under loading condition as well as the weak zones on the masonry wall. Seismic loading conditions will also give us deformation patterns similar or not to the ones observed previously but with larger values.

- ❑ Deformation on the **X-Direction** causes a maximum displacement of **19 mm** at top part of the windmill.
- ❑ Deformation on the **Y-Direction** causes a maximum displacement at the top part of the masonry wall. The displacement observed at **17 mm**.



TECHNICAL ANALYSIS

18. Results interpretation to static and seismic response loads

The final step of the analysis is to investigate the acting stresses on the shell elements in order to establish a better idea about the maximum stress values, the weakest parts and determine the failure type according to each static and dynamic loading condition. In the following views, the maximum stresses for the whole structure due to non-seismic and seismic loads are presented below.

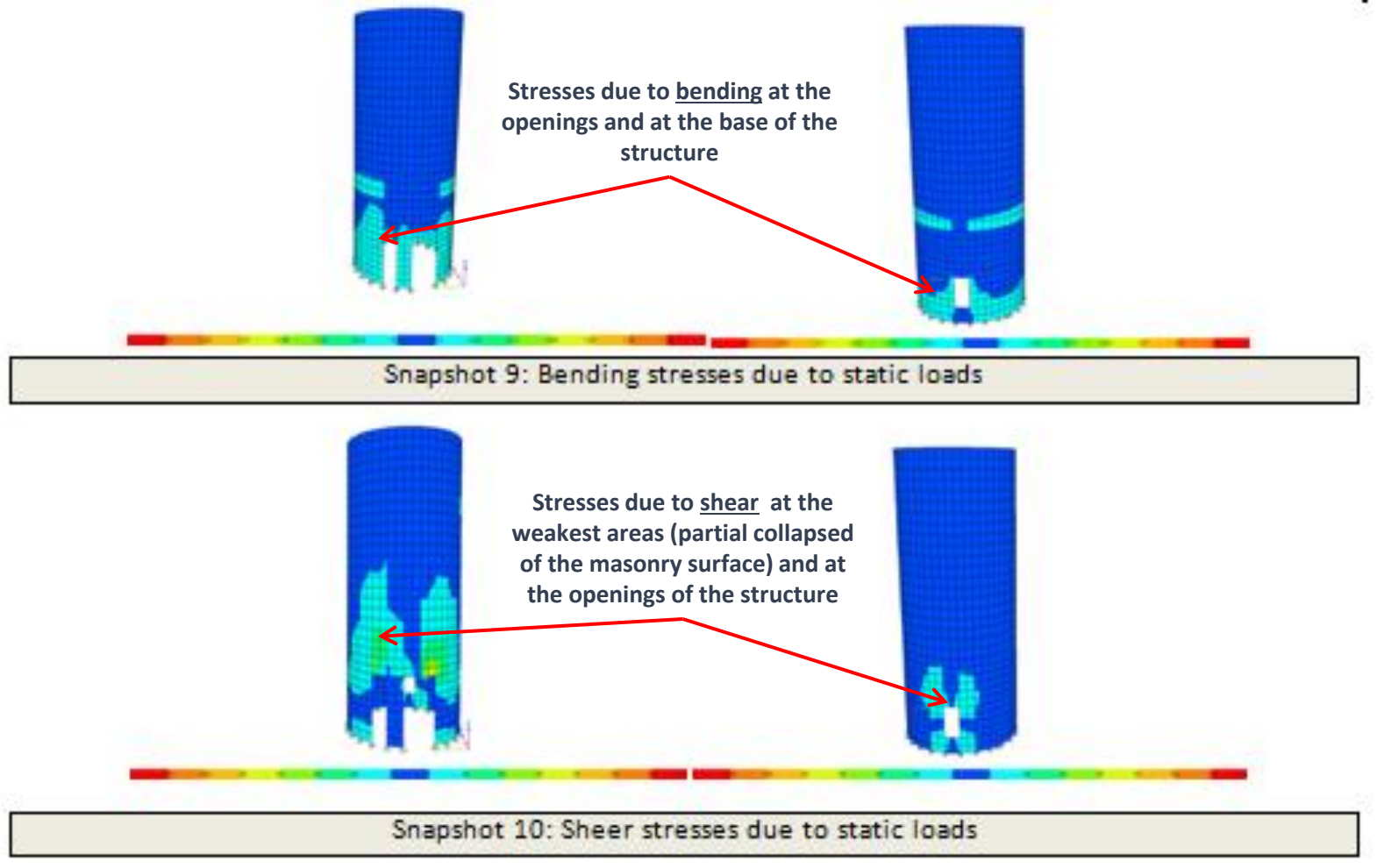
The evaluation of the structure to transfer its own self-weight was conducted with the current European Standards codes under the ultimate limit state (ULS) for a load combination of 1.35G+1.5Q for Dead (G) and Live (Q) loads. Given the assumptions made for the structure's geometry, reduced stiffness modifications factors, and mechanical properties of the various materials, the structure was found capable of withstanding the static loads corresponding to ULS combination.

Assessment for non-seismic loads

After the analysis, the masonry walls have no signs of significant distress or any structural disturbance from bending and shear stresses, except from some small distresses that were arising on the unreinforced masonry due to the openings. This is mainly due to the large thicknesses of the walls at the base of the windmill that are laterally resisting the compressive loads coming from above which tends to push the walls outwards. **Overall, this is expected as the windmill stood the test of time without serious problems.** Therefore, the most stressed areas due to bending and shear are presented in the picture below .

TECHNICAL ANALYSIS

18. Results interpretation to static loads

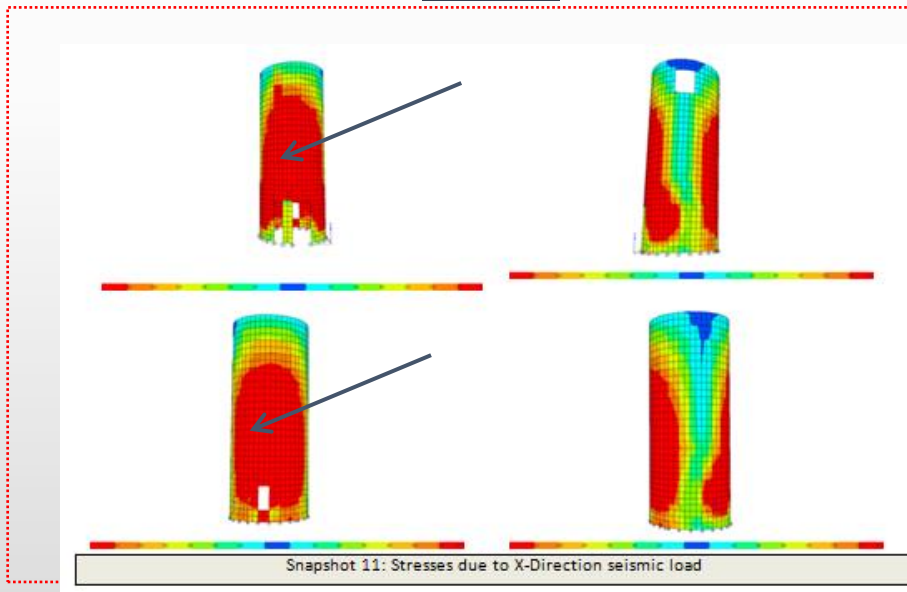


18. Results interpretation to seismic response loads

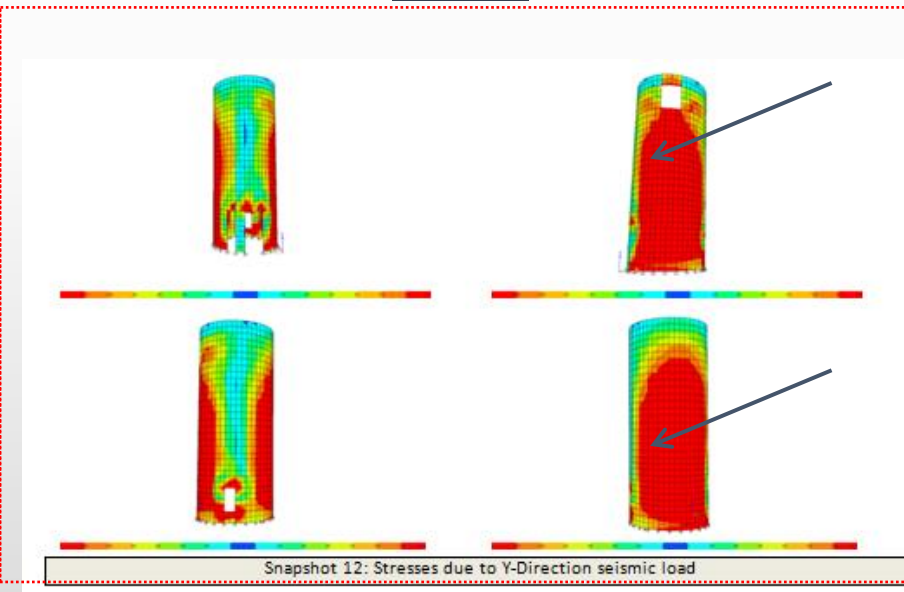
Assessment for seismic loads (Y&X-Direction for 0,25g)

Depending on the examined direction, **significant shear stress values** (colored in red) are observed in all the directions of the windmill and at the openings. This is mainly due to the cylindrical shape of the windmill. This is a really common behavior; since the stresses are govern to the weakest parts of the structure where big openings are located.

Shear stresses due to seismic loads
X-Direction



Shear stresses due to seismic loads
Y-Direction



TECHNICAL ANALYSIS

19. Structural Recommendations for Conservation Interventions of the Windmill

By observing, recording and investigating all the findings mentioned in the previous paragraphs, the following issues need to be assessed in order to restore the bearing capacity of the windmill:

- ✓ Strengthening of the masonry walls through the homogeneity of the masonry's consistency by using grout injections.
- ✓ Re-construct and restore the partially collapsed and/or missing sections of stone masonry walls.
- ✓ Repair all major cracks using the stitching technique (placement of horizontal stainless steel rods inside the joints, perpendicular to the cracks) and deep grouting injection if necessary.
- ✓ Provide a stiff connection at the roof level by installing a wooden boundary ring beam above the stone masonry walls in order to ensure a diaphragmatic rigidity when subjected in lateral forcing.
- ✓ Replacement of heavily decayed/damaged stones.
- ✓ Protect the structure from humidity that causes material deterioration.

By evaluating the FEM's findings, it is observed that the stone masonry walls needs strengthening **to better and more efficiently absorb the shear stresses** that mainly arising during dynamic loading.

Finally, it should be stated that the stone windmill as it is, although originally well-built and maintained standing **is not earthquake resistant and under stressing conditions it will possibly face serious problems.** The proposed measures stated above will only help the monument behave and perform in a better way in an earthquake event, however, these will not make the structure fully earthquake resistant as it was not originally designed as such. Additional strengthening measures are required to completely stabilize the windmill from earthquakes.

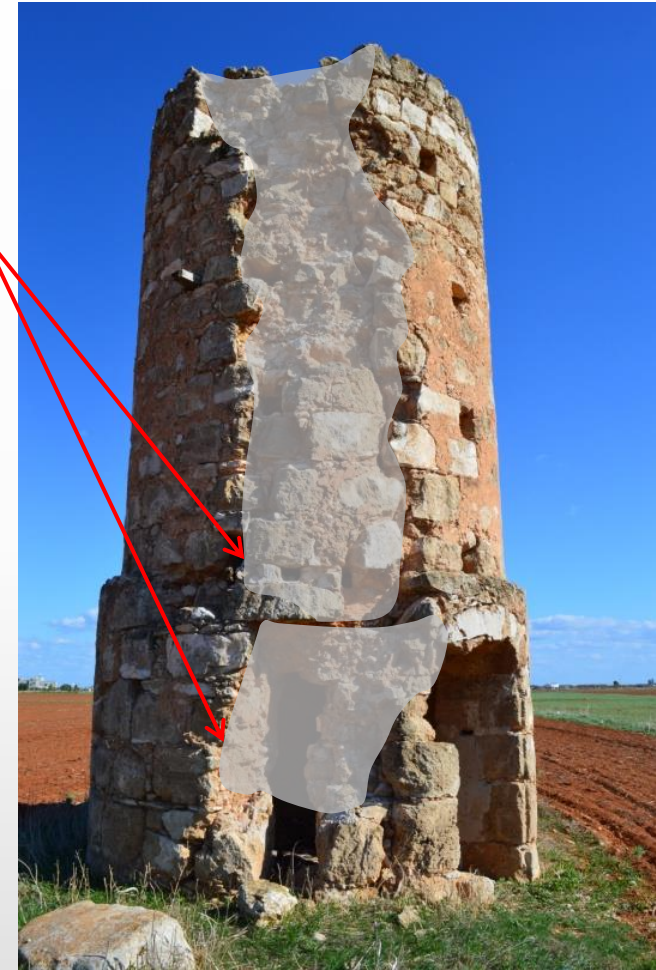
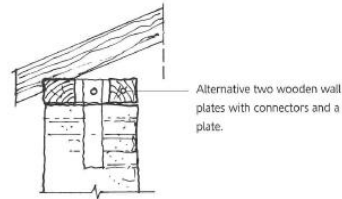
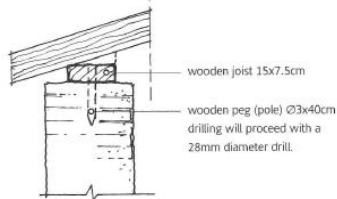
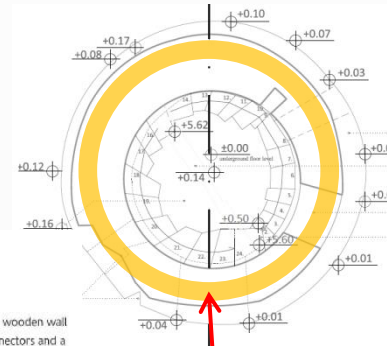
TECHNICAL ANALYSIS

19. Structural Recommendations for Conservation Interventions of the Windmill



Healing of cracks using the stitching method accompanied with stone stitching and grouting injections

Re-construct and restore the partially collapsed and/or missing sections of stone masonry walls.



Provide a stiff connection at the roof level by installing a wooden boundary ring beam above the stone masonry walls in order to ensure a diaphragmatic rigidity when subjected in lateral forcing.



20. Ο Ανεμόμυλος Σήμερα

Μετά τις εργασίες αποκατάστασης, ο ανεμόμυλος των Λιμνιών αποτελεί ένα σημαντικό μνημείο της πολιτιστικής κληρονομιάς της Κύπρου. Η διατήρησή του συμβάλλει στην ανάδειξη της ιστορίας, της παραδοσιακής τεχνολογίας και της σχέσης του ανθρώπου με το φυσικό περιβάλλον.

Η Αξιοποίηση της Αιολικής Ενέργειας στην Κύπρο.

Η δύναμη του ανέμου αξιοποιήθηκε στην Κύπρο με διάφορους τρόπους. Από τους παραδοσιακούς λιθόκτιστους ανεμόμυλους μέχρι τους νεότερους μεταλλικούς ανεμόμυλους άντλησης νερού, ο άνεμος αποτέλεσε μια πολύτιμη πηγή ενέργειας για τις ανάγκες της γεωργίας και της καθημερινής ζωής. Η χρήση του συνέβαλε στην ανάπτυξη των αγροτικών περιοχών χωρίς κατανάλωση καυσίμων και χωρίς επιβάρυνση του περιβάλλοντος.



❑ Η Σημασία της Διατήρησης

Η προστασία του ανεμόμυλου δεν αφορά μόνο τη διάσωση ενός ιστορικού κτιρίου. Αφορά τη διατήρηση της συλλογικής μνήμης, της παραδοσιακής τεχνογνωσίας και της πολιτιστικής ταυτότητας του τόπου. Μέσα από τη διατήρηση τέτοιων μνημείων, οι επόμενες γενιές μπορούν να γνωρίσουν την ιστορία, την τεχνολογία και τον τρόπο ζωής του παρελθόντος.

❑ Συμπεράσματα

Ο ανεμόμυλος των Λιμνιών αποτελεί ένα μοναδικό μνημείο της αγροτικής και τεχνολογικής κληρονομιάς της Κύπρου. Η αποκατάστασή του διασώζει ένα σημαντικό κομμάτι της ιστορίας μας και υπενθυμίζει τη διαχρονική αξία της αξιοποίησης των φυσικών πόρων με σεβασμό προς το περιβάλλον.

Σας ευχαριστώ για την προσοχή σας!!

