ΜΕΛΕΤΗ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ ΜΠΑΛΤΑ

1. ΓΕΝΙΚΑ

Πρόκειται για μνημείο των νεώτερων χρόνων βρισκόμενο σε απόσταση 900m νότια του αρχαιολογικού χώρου της Κνωσού. Η γέφυρα, με διεύθυνση άξονα ΒΒΔ-ΝΝΑ, αποτελείται από ένα τόξο με άνοιγμα 8m, πλάτος 3,53m, μήκος 21,5m και πάχος στο κλειδί του τόξου 0,86m ενώ στην περιοχή των βάθρων ακολουθεί τη μορφολογία των πρανών.

Ο φορέας δομείται από αργούς λιθόπλινθους διαφόρων διαστάσεων και ακανονίστου σχήματος, σύστασης απολιθωματοφόρου ασβεστόλιθου, μαργαϊκού ασβεστόλιθου, ασβεστιτικού ψαμμίτη και ασβεστόλιθου με συνδετικό κονίαμα με βάση τον ασβέστη. Στις παρειές του τόξου διακοσμείται με ημιλαξευμένους λιθόπλινθους. Η γεωμετρία των βάθρων είναι προσαρμοσμένη στα μαργαϊκής σύστασης πρανή του ποταμού Συλαμιανού.

Η γέφυρα η οποία αποτελούσε τμήμα της παλαιάς οδού, βρίσκεται σε απόσταση 60m περίπου από την κύρια οδό σε παράπλευρο άξονα του δικτύου που εξυπηρετεί τις αγροτικές ιδιοκτησίες της περιοχής.

Σκοπός της μελέτης αποκατάστασης της γέφυρας είναι η διαστασιολόγηση ήπιας μορφής μέτρων για τη στατική ενίσχυση του μνημείου που παρουσιάζει προβλήματα ευστάθειας και μειωμένη φέρουσα ικανότητα, διατηρώντας τα γεωμετρικά και μορφολογικά του στοιχεία.

2. ΥΠΑΡΧΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Η γέφυρα δέχεται συγκεντρωμένα τα όμβρια και από τους δύο κλάδους (όχθες) που οδηγούνται πάνω στο κατάστρωμα ή πλευρικά κατά μήκος της. Τα όμβρια του καταστρώματος κατεισδύουν στη μάζα των λιθοδομών και εκτονώνονται διαμέσου αυτών εξαλλοιώνοντας δόμους και κονιάματα του πυρήνα και της περιοχής έδρασης των βάθρων. Η παράλληλη προς τα βάθρα ροή των ομβρίων που προέρχονται από το δρόμο έχει δημιουργήσει υποσκαφές στην επαφή των βάθρων με το μαργαϊκό υπόβαθρο. Τα πλημμυρικά φαινόμενα του ποταμού έχουν δημιουργήσει διάκενα και

υποσκαφές σε διάφορες στάθμες του ΝΑ βάθρου και έχουν δημιουργήσει αποθέσεις ακραίου φραγμού στο ΒΔ βάθρο.

Στο φορέα της γέφυρας παρατηρείται εμφάνιση βλάστησης, εξαλλοιώσεις κονιαμάτων, επιφανειακά κενά από εξαλλοιώσεις δόμων και καταπτώσεις άλλων, διάκενα μεγάλων διαστάσεων στον πυρήνα των βάθρων του φορέα και μικρότερων διαστάσεων στα τόξα, υποσκαφές στην έδραση των βάθρων (περιοχή κοίτης και πλευρικά), πλήρης καταστροφή του καταστρώματος, ρηγματώσεις σχετικά αναλλοίωτων δόμων. Στο τόξο, στην κάτω παρειά του, έχουν δημιουργηθεί πέντε διαμήκεις ρηγματώσεις παράλληλες μεταξύ τους (Παράρτημα Ι – Φωτογραφική τεκμηρίωση μνημείου).

Οι φθορές που παρουσιάζει το μνημείο βρίσκονται σε εξέλιξη και αναμένεται σε περίπτωση που δεν ληφθούν μέτρα να οδηγηθεί το μνημείο σε κατάρρευση.

3. ΠΕΤΡΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΟΜΩΝ ΚΑΙ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ

Οι λιθοδομές παρουσιάζουν έγκοιλα, ανοιχτούς αρμούς και πορώδες σε ποσοστό άνω του 25%. Οι λιθόπλινθοι παρουσιάζουν διάκενα από αποτμήσεις και έντονες εξαλλοιώσεις. Οι σχετικά αναλλοίωτοι λιθόπλινθοι του φορέα είναι σύστασης απολιθωματοφόρου ασβεστόλιθου σε ποσοστό 49%, ασβεστιτικού ψαμμίτη σε ποσοστό 15%, μαργαϊκού ασβεστολίθου σε ποσοστό 4%, και ασβεστολίθου σε ποσοστό 4%. Το κονίαμα στις περιοχές που σώζεται παρουσιάζεται κατά θέσεις με έντονο βαθμό εξαλλοίωσης (εύθρυπτο).

Για τον προσδιορισμό της σύστασης του κονιάματος και των λιθοπλίνθων έγιναν έξι ορυκτολογικές αναλύσεις αντιπροσωπευτικών δειγμάτων με τη μέθοδο της οπτικής μικροσκοπίας σε πολωτικό μικροσκόπιο τύπου LEICA DMLP και περιθλασιμετρίας ακτίνων- Χ, με περιθλασίμετρο τύπου SIEMENS (Δ/νση Ορυκτολογίας – Πετρολογίας του ΙΓΜΕ). (Παράρτημα ΙΙ - Ορυκτολογική εξέταση, Ακτινογραφήματα περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ, Φωτογραφίες πολωτικού μικροσκοπίου).

Α) Κονίαμα

Το κονίαμα είναι εύθρυπτο και αρκετά ελαφρύ με πορώδες περίπου 12%.

Πρόκειται για ανοικτού τεφρόλευκου χρώματος υλικό, στο οποίο παρατηρούνται μικρά αποστρογγυλεμένα τεμάχια ασβεστολιθικής σύστασης.

Το συνδετικό υλικό είναι μικροκρυσταλλικό και κατά θέσεις κρυπτοκρυσταλλικό με σύσταση κύρια ανθρακική, όπου συνυπάρχουν ασβεστίτης $CaCO_3$, υδροταλκίτης $Mg_6Al_2(CO_3)(OH)_{16}.4H_2O$, καθώς και μικρά κλαστικά τεμάχη χαλαζία, αργιλοπυριτικών ορυκτών (όπως αστρίων, μαρμαρυγιών, χλωρίτη,κ.α.), ενώ ανιχνεύεται μικρή ποσότητα αλάτων (αλίτης) και αργιλικό υλικό (μοντμοριλλονίτης).

Τα κλαστικά τεμάχια αποτελούνται από τα ακόλουθα υλικά:

- ασβεστόλιθο,
- θραύσματα αστρίων (πλαγιόκλαστα αλβιτικής σύστασης)
- κλαστικά τεμάχη χαλαζία.

Στη σημαντική παρουσία του λίαν ευδιάλυτου υδροταλκίτη (σε ποσοστό που φθάνει το 15-20%) που είναι δευτερογενές προϊόν διάβρωσης, καθώς και η παρουσία άλλων υδρόφιλων αργιλοπυριτικών ορυκτών (μαρμαρυγίες, χλωρίτης, λίγος μοντμοριλλονίτης), αλλά και του ευδιάλυτου αλίτη (NaCl), οφείλεται ο έντονος βαθμός εξαλλοίωσης που παρουσιάζει σήμερα το κονίαμα και καθίσταται ιδιαίτερα ευάλωτο σε μελλοντικές διαβρώσεις και σε συνεχείς αυξομειώσεις του όγκου που οδηγούν σε θρυμματισμό του ιστού του.

Η μεγάλη περιεκτικότητα σε αργιλικά που έχει εντοπιστεί δείχνει ότι αυτά έχουν χρησιμοποιηθεί σαν μέρος των αδρανών υλικών του κονιάματος.

Β) Λιθόπλινθοι

- Λιθόπλινθος σύστασης απολιθωματοφόρου ασβεστόλιθου

Πρόκειται για μικροπορώδη - μικριτικό απολιθωματοφόρο ασβεστόλιθο (πορώδες περίπου 12-15%).

Στο δείγμα παρατηρούνται λείψανα απολιθωμάτων και ελάχιστοι βιομικριτικοί ενδοκλάστες. Η κύρια μάζα είναι ασβεστιτική με υφή μικριτική, όπου παρατηρούνται μικρά απολιθώματα (τρηματοφόρα). Παρατηρούνται επίσης αλλοχημικά στοιχεία (σε ποσοστό < 5%), μικροφλεβίδια και

μικροσυγκεντρώσεις σπαριτικού ασβεστίτη, σπάνια φυλλάρια λευκού μαρμαρυγία, σπάνιοι κόκκοι κλαστικού χαλαζία και μικροσυγκεντρώσεις οξειδίων-υδροξειδίων σιδήρου.

- Λιθόπλινθος σύστασης ασβεστιτικού ψαμμίτη

Παρουσιάζεται ως πέτρωμα ανοικτού κιτρινοκάστανου έως καστανού χρώματος πέτρωμα, ομοιγενές και συμπαγές με πορώδες 12% περίπου (δείγμα 1) και ως πέτρωμα καστανο-κιτρίνου χρώματος, εύθρυπτο με πορώδες 17% (δείγμα 2).

Το δείγμα 1 έχει κύρια μάζα αποτελούμενη από μικροκρυσταλλικό ασβεστιτικό υλικό, σε ποσοστό περίπου 70%, κρυστάλλους κλαστικού χαλαζία σε ποσοστό περίπου 15%, αστρίους σε ποσοστό περίπου 10%, διάσπαρτα αργιλικά ορυκτά σε μικροκρυσταλλική κυρίως μορφή (ιλλίτης), σε ποσοστό <6%. Στην κύρια μάζα συνυπάρχει επίσης χλωρίτης με σύσταση κλινόχλωρου (<5%) καθώς και λίγα οξείδια σιδήρου.

Το δείγμα 2 αποτελείται από χαλαζία μορφής μικροκοκκώδων κρυστάλλων, σε ποσοστό περίπου 16%, ασβεστίτη με μικροσπαριτική μορφή ή μικροκρυσταλλική μορφή, που εμφανίζεται σαν συνδετικό υλικό, συχνά με ΄΄ζαχαρώδη υφή΄΄, αστρίους, με σύσταση αλβίτη, μορφής μικρών κοκκωδών κρυστάλλων, σε ποσοστό περίπου 5%, αργιλικά, με σύσταση νοντρονίτη, σε ελάχιστες συγκεντρώσεις, σε ποσοστό <1%, καθώς και γρανάτες, με σύσταση πυρωπού, σε ποσοστό < 2%.

- Λιθόπλινθος σύστασης μαργαϊκού ασβεστόλιθου

Πρόκειται για δείγμα που μακροσκοπικά είναι κιτρινο- λεύκου χρώματος και το οποίο διασχίζεται από φλεβίδια ανθρακικού υλικού .

Περιέχει ανθρακικά ορυκτά, με σύσταση δολομίτη σε ποσοστό περίπου 50% και ασβεστίτη σε ποσοστό περίπου 45%, σε μικροκοκκώδεις κρυστάλλους και σε μικροκρυσταλλική μορφή. Μέσα στην κύρια μάζα συνυπάρχουν χλωρίτης, με σύσταση κλινόχλωρου, ελάχιστος χαλαζίας, σε μικροκρυσταλλική μορφή, καθώς και λίγα οξείδια σιδήρου.

- Λιθόπλινθος ασβεστολιθικής σύστασης

Πρόκειται για μονόμικτο ασβεστολίθο τεφρού έως τεφρόλευκου χρώματος που αποτελείται από σπαριτικό - μικροσπαριτικό ασβεστίτη καλά κρυσταλλωμένο χωρίς εξαλλοιώσεις γεγονός που οφείλεται στην πολύ καλή

κρυστάλλωση και την απουσία προσμίξεων. (Παράρτημα ΙΙ – Ορυκτολογικές αναλύσεις - ακτινογράμματα περιθλασιμετρίας ακτίνων Χ)

4. ΦΥΣΙΚΑ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΟΜΩΝ, ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ, ΚΑΙ ΜΑΡΓΑΪΚΟΥ ΥΠΟΒΑΘΡΟΥ

Για τον προσδιορισμό των φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων των δόμων, του κονιάματος και του μαργαϊκού υποβάθρου ελήφθησαν αντιπροσωπευτικά δείγματα από τα οποία μορφώθηκαν στο εργαστήριο δοκίμια.

Οι εργαστηριακές δοκιμές έγιναν με τις ισχύουσες προδιαγραφές Ε103-84 (ΦΕΚ/70/Β/8.2.85), προδιαγραφές της INTERNATIONAL SOCIETY FOR ROCK MECHANICS Suggested Methods (Rock Characterization Testing and Monitoring).

Εκτελέστηκαν οι ακόλουθες εργαστηριακές δοκιμές:

Α/Α	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΟΚΙΜΗΣ	ΑΡΘΡΟ ΥΠΕΧΩΔΕ	ΠΟΣ/ΤΑ
1	Προσδιορισμός φυσικής υγρασίας	ΓΤΕ 002.28	6
2	Προσδιορισμός φαινόμενης πυκνότητας	ΓΤΕ 002.29	6
3	Προσδιορισμός αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη	ΓΤΕ 002.30	18
4	Προσδιορισμός αντοχής σε έμμεσο εφελκυσμό	ΓΤΕ 002.37	18

Για κάθε δείγμα που εξετάστηκε δίνονται στο Παράρτημα τα αντίστοιχα πρωτόκολλα εργαστηριακών δοκιμών και διαγράμματα (Παράρτημα ΙΙΙ – Πρωτόκολλα εργαστηριακών δοκιμών).

5. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΦΟΡΕΑ ΓΕΦΥΡΑΣ (ΛΙΘΟΔΟΜΗ) ΚΑΤΑ EC6

Με βάση τις διαστάσεις και τη διάταξη των λιθοπλίνθων, τον όγκο των κενών της λιθοδομής, το εύρος και τη διάταξη των αρμών και τα μηχανικά χαρακτηριστικά των λιθόπλινθων και του κονιάματος η μέση θλιπτική αντοχή κατά EC6 της λιθοδομής για κονίαμα γενικής εφαρμογής λαμβάνεται ίση με f_{mc1}=1740kN/m^2, το μέτρο ελαστικότητας ίσο με E_1=3,0GPa και ο λόγος Poisson v_1=0,2. Η μέγιστη εφελκυστική αντοχή λαμβάνεται ίση με

f_{mt1}=40kN/m^2. Το ίδιο βάρος της λιθοδομής λαμβάνεται ίσο με γ_1=22kN/m^3. Με τη συμπλήρωση των ελλειπόντων και αντικατάσταση των εξαλλοιωμένων λιθοπλίνθων, και την εφαρμογή αρμολογημάτων και ενεμάτων η μέση θλιπτική αντοχή κατά EC6 της λιθοδομής γίνεται ίση με f_{mc1}=3000kN/m^2, η εφελκυστική αντοχή ίση με f_{mt1}=100kN/m^2. (Παράρτημα IV – Μηχανικά χαρακτηριστικά φορέα γέφυρα (λιθοδομή) κατά EC6).

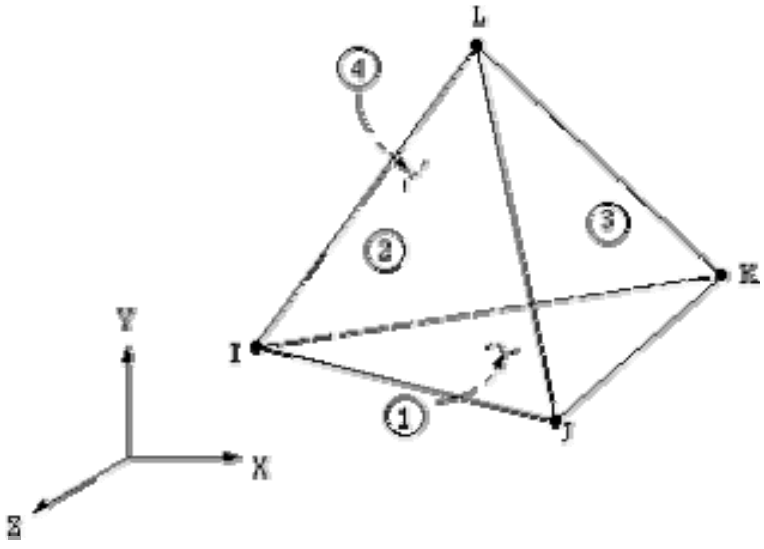
6. ΣΤΑΤΙΚΗ ΕΠΙΛΥΣΗ

6.1. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Σκοπός της στατικής μελέτης είναι ο προσδιορισμός των φορτίων που μπορεί να παραλάβει η γέφυρα μετά την εφαρμογή ήπιων μέτρων ενίσχυσης σύμφωνα με τις εντολές της αρχαιολογικής υπηρεσίας.

6.2. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Χρησιμοποιείται το πρόγραμμα υπολογισμού και ανάλυσης χωρικών μοντέλων ANSYS, με χρήση γραμμικών, επιφανειακών και χωρικών πεπερασμένων στοιχείων. Οι τύποι στοιχείων που έχουν χρησιμοποιηθεί είναι χωρικά πεπερασμένα στοιχεία μορφής πυραμίδας με τον χαρακτηρισμό «CONCRETE» όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



CONCRETE — Τρισδιάστατο στοιχείο τεσσάρων κόμβων με δυνατότητα στροφής

Το στοιχείο αυτό καθορίζεται από 4 κόμβους που έχουν έξι βαθμούς ελευθερίας για μετακίνηση και στροφή στους απόλυτους άξονες X, Y και Z. Οι μονάδες μέτρησης που χρησιμοποιούνται είναι: kN, m, sec.

6.3. ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΦΟΡΕΑ – ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΝΝΑΒΟΥ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Δίδεται τρισορθογώνιο σύστημα καθολικών συντεταγμένων ΟΧΨΖ στο οποίο εισάγεται το γεωμετρικό χωρικό μοντέλο του φορέα. Το γεωμετρικό μοντέλο συντίθεται από απλά γεωμετρικά σχήματα (παραλληλεπίπεδα, κύβοι κλπ.) τα οποία ορίζονται με την εισαγωγή στο καθολικό σύστημα συντεταγμένων των σημείων των κορυφών τους.

Η διακριτοποίηση του προσομοιώματος (όψεις και τομές) σε πεπερασμένα στοιχεία παρουσιάζονται στο τεύχος υπολογισμών. Οι στηρίξεις εισάγονται σαν μηδενικές επιβεβλημένες παραμορφώσεις σε κόμβους, γραμμές και επιφάνειες. Ο φορέας με φαινόμενη πυκνότητα $\gamma=2,2 g/cm^3$ διερευνάται εδραζόμενος στην επιφάνεια θεμελίωσής του με δέσμευση των μετατοπισιακών βαθμών ελευθέριας όλων των κόμβων του χωροδικτυώματος των πεπερασμένων στοιχείων στην επιφάνεια αυτή. Το φορτίο από το ίδιο βάρος της λιθοδομής κατανέμεται αυτόματα από το πρόγραμμα λαμβάνοντας υπόψη τη γεωμετρία του φορέα και τα αντίστοιχα φαινόμενα βάρη της λιθοδομής. (Παράρτημα V – Επίλυση φορέα)

6.4. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΔΥΝΑΜΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΤΑ Ε.Α.Κ.

<u>α) Σεισμική επιτάχυνση εδάφους</u>

Σύμφωνα με τον ΕΑΚ η περιοχή του μνημείου ανήκει στην ζώνη σεισμικότητας Ι με $A= \alpha_h * g \Rightarrow A=0,24$ g.

β) Σπουδαιότητα γέφυρας

Το μνημείο από άποψη σπουδαιότητας κατατάσσεται στην κατηγορία Σ4 οπότε γ_1=1,3.

γ) Συντελεστής συμπεριφοράς

Η μείωση των σεισμικών επιταχύνσεων της πραγματικής κατασκευής λόγω της μετελαστικής συμπεριφοράς του φορέα για την συγκεκριμένη λιθοδομή εκφράζεται με τον συντελεστή q=2.

δ) Συντελεστής θεμελίωσης

Λόγω μικρού βάθους και μικρής ακαμψίας: θ = 1

ε) Ποσοστό κρίσιμης απόσβεσης

Το ποσοστό κρίσιμης απόσβεσης θεωρείται ίσο με 5% οπότε λαμβάνεται η=1

ζ) Υπολογισμός ισοδύναμου οριζόντιου σεισμικού συντελεστή ε_h

γ_1=1,3

q=2,0

θ=1,0 $\varepsilon_h = a*\gamma 1*(\beta_o/q)*\theta*\eta = 0,39$

a=0,24

β_o=2,5

η=1

η) Υπολογισμός ισοδύναμου κατακόρυφου σεισμικού συντελεστή ε_v

γ_1=1,3

q_v=0.5*q=1,0

θ=1,0 $\varepsilon_v=a_v*\gamma 1*(\beta_o/q_v)*\theta*\eta = 0,546$

a_v=0.7a=0,168

β_o=2,5

η=1

6.5. ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΔΡΑΣΕΩΝ

Ο φορέας επιλύεται με τα μηχανικά χαρακτηριστικά της υπάρχουσας κατάστασης με όχημα βάρους 200kN σε διάφορες θέσεις και για σεισμό με οριζόντια και κατακόρυφη συνιστώσα. Με την παραδοχή αυξημένων μηχανικών χαρακτηριστικών λόγω της εφαρμογής μέτρων στερέωσης επιλύεται ο φορέας και προσδιορίζεται το μέγιστο φορτίο οχήματος που μπορεί να παραλάβει (350kN).

Επιμέρους δράσεις:

$\Phi_1 = G_{ΙΔ.ΒΑΡ} + Q_{ΟΧΗΜΑ\ 200kN\ ΣΤΟ\ ΜΕΣΟ\ ΤΟΥ\ ΑΝΟΙΓΜΑΤΟΣ}$

$\Phi_2 = G_{ΙΔ.ΒΑΡ} + Q_{ΟΧΗΜΑ\ 200kN\ ΠΑΝΩ\ ΑΠΟ\ ΤΗΝ\ ΒΑΣΗ\ ΤΟΥ\ ΤΟΞΟΥ}$

$\Phi_3 = G_{ΙΔ.ΒΑΡ} + Q_{ΟΧΗΜΑ\ 200kN\ ΣΤΟ\ ΜΕΣΟ\ ΤΟΥ\ ΑΚΡΟΒΑΘΡΟΥ}$

$\Phi_4 = G_{ΙΔ.ΒΑΡ} + S_{VERTICAL} + S_{HORIZONTAL}$

$\Phi_5 = 1.35G_{ΙΔ.ΒΑΡ} + 1.5Q_{ΟΧΗΜΑ\ 350kN\ ΣΤΟ\ ΜΕΣΟ\ ΤΟΥ\ ΑΝΟΙΓΜΑΤΟΣ} + q$

όπου:

$S_{VERTICAL}$= Αδρανειακά φορτία σε κατακόρυφη σεισμική δράση

$S_{HORIZONTAL}$ = Αδρανειακά φορτία σε οριζόντια σεισμική δράση

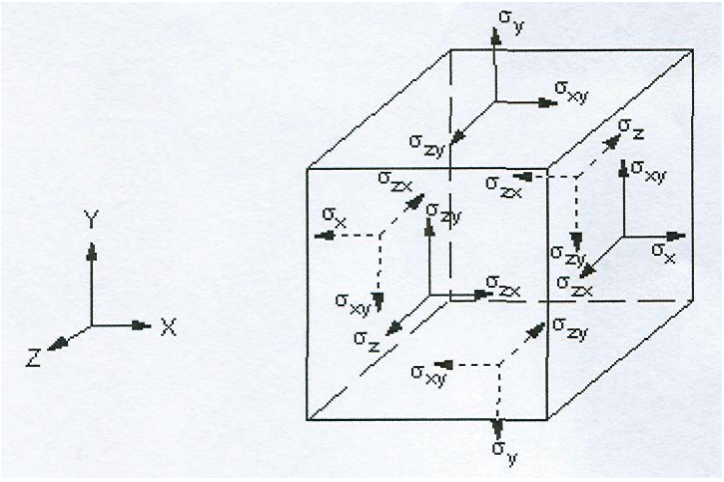
$G_{ΙΔ.ΒΑΡ}$= Τα στατικά φορτία της κατασκευής

q = Κινητό φορτίο λωρίδας κυκλοφορίας 5kN/m^2

6.6. ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΟΥ ΦΟΡΕΑ

Ο φορέας επιλύεται για κάθε ένα από τους προαναφερθέντες συνδυασμούς φόρτισης και εξάγονται τα αντίστοιχα κρίσιμα μετατοπισιακά μεγέθη υπό μορφή σκαριφημάτων στις λιθοδομές. Ακολούθως, δίδονται οι αναπτυσσόμενες ορθές, διατμητικές και κύριες τάσεις στο φορέα.

Οι ορθές τάσεις σx, σy, σz και οι διατμητικές σxy, σyz, σxz αναφέρονται σύμφωνα με τον παρακάτω ορισμό.



Ορισμός ανυσμάτων τάσεων

Όλες οι επιλύσεις γίνονται με την θεώρηση της μη γραμμικής ελαστικής ανάλυσης με δυνατότητα δημιουργίας ρηγματώσεων σε περιοχές υπέρβασης του κριτηρίου αστοχίας. Στις περιοχές αυτές γίνεται ανακατανομή τάσεων και επαναπροσδιορίζεται η έκταση της περιοχής αστοχίας.

Ο έλεγχος των λιθοδομών γίνεται σύμφωνα με το κριτήριο αστοχίας Drucker – Prager όπου υπολογίζεται ο συντελεστής αστοχίας f_{DP}:

$f_{DP} = a*I_1+((J_2)-k$

$a = ((3)/3*(-1+(f_{mc}/f_{mt}))/(1+(f_{mc}/f_{mt}))$

$k=f_{mt}*(a+(((3)/3))$

$I_1=\sigma_1+\sigma_2+\sigma_3$

$I_2=\sigma_1\sigma_2+\sigma_2\sigma_3+\sigma_3\sigma_1$

$J_2=(I_1 2/3)-I_2$

όπου (f_{mc}) είναι η μοναξονική θλιπτική και (f_{mt}) η εφελκυστική αντοχή της λιθοδομής ίση με την εφελκυστική αντοχή του κονιάματος και σ_1, σ_2, σ_3 οι αναπτυσσόμενες κύριες τάσεις. Σύμφωνα με το κριτήριο Drucker – Prager, η λιθοδομή αστοχεί όταν $f_{DP}>0$. Στην περίπτωση αυτή ο συντελεστής ασφαλείας που παρουσιάζεται στο υπόμνημα των όψεων και τομών του προσομοιώματος κατά την εφαρμογή των υπολογισμών του κριτηρίου αστοχίας είναι η<1 περιοχές με κόκκινο χρώμα.

Σύμφωνα με τα μηχανικά χαρακτηριστικά του φορέα της γέφυρας που εκτιμήθηκαν κατά EC6 η γέφυρα στην υπάρχουσα κατάσταση μπορεί οριακά να παραλάβει φορτία από όχημα συνολικού βάρους 200kN. Αυτή η περίπτωση φόρτισης είναι δυσμενέστερη από την καταπόνηση του φορέα

κατά ΕΑΚ2000. Δεδομένου ότι το φαινόμενο της μείωσης των μηχανικών χαρακτηριστικών της γέφυρας είναι έντονο και σε εξέλιξη (λόγω της ανεξέλεγκτης ροής των ομβρίων, την εμφάνιση βλάστησης, του παλιρροϊκού φαινομένου κλπ.) η φέρουσα ικανότητα της γέφυρας θα μειώνεται με τον χρόνο με κίνδυνο σύντομα να καταρρεύσει.

Η επίλυση του φορέα επαναλαμβάνεται με αυξημένα μηχανικά χαρακτηριστικά μετά από την αποκατάσταση της συνέχειας του με συμπληρώσεις ελλειπόντων λιθοπλίνθων και αντικατάσταση των εξαλλοιωμένων και την αύξηση της εφελκυστικής αντοχής με την εφαρμογή ενεμάτων και αρμολογημάτων σε βάθος, και προσδιορίζεται το φορτίο οχήματος που μπορεί να παραλάβει ο φορέας χωρίς να αστοχήσει. Η ελάχιστη εφελκυστική αντοχή του κονιάματος στην περίπτωση αυτή είναι 100kN/m^2 με αντίστοιχη θλιπτική αντοχή κονιάματος 1,0MPa, αντοχή λιθοδομής 3,0MPa και μέτρο ελαστικότητας λιθοδομής 3.000MPa. Το μέγιστο φορτίο που μπορεί να παραλάβει ο φορέας κατά EC1 είναι 350kN.

7. ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΑΠΟΣΧΙΣΗΣ ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑΤΟΣ

Στη λιθοδομή του καταστρώματος για την φόρτιση Φ_5 οι μέγιστες εφελκυστικές τάσεις κάθετα στον άξονα της γέφυρας (τάσεις απόσχισης) είναι 25kN/m^2. Για την παραλαβή των τάσεων απόσχισης λαμβάνεται οπλισμός απόσχισης Φ16/50cm ο οποίος τοποθετείται εγκάρσια του άξονα, 15cm κάτω από την επιφάνεια του καταστρώματος της γέφυρας. Ο οπλισμός πακτώνεται στις λίθους των παρειών, είναι ποιότητας χάλυβα AISI316 με δυνατότητα προέντασης με «μούφα» στο μέσο του.

8. ΕΞΑΣΦΑΛΙΣΗ ΒΑΘΡΩΝ ΓΕΦΥΡΑΣ ΕΝΑΝΤΙ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ

Στη διεπιφάνεια βάθρων – εξαλλοιωμένης μάργας δρούν διατμητικές τάσεις με μέση τιμή 86kN/m^2 που αντιστοιχούν σε διατμητική δύναμη 86*25=2150kN/βάθρο. Για την παραλαβή τους κατασκευάζονται 4 διατμητικά στοιχεία (ριζοπάσσαλοι) Φ160 με οπλισμό HEA100 που αντιστοιχεί σε διατομή επιφάνειας 21.2cm^2. Με την παραδοχή ότι το σύνολο της διατμητικής δύναμης παραλαμβάνεται από τον οπλισμό των ριζοπασσάλων, σε κάθε

διατμητικό στοιχείο αναπτύσσεται διατμητική τάση 253,5MPa < 290MPa = αντοχή χάλυβα ποιότητας AISI316.

9. ΜΕΤΡΑ ΣΤΕΡΕΩΣΗΣ - ΣΕΙΡΑ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

Για την αύξηση της φέρουσας ικανότητας του φορέα και την προστασία του θα εφαρμοστούν τα ακόλουθα μέτρα με τη σειρά που αναφέρονται.

1) Αποξήρανση καθαρισμοί φυτών και βλάστησης που αναπτύσσονται στο φορέα και σε απόσταση μέχρι 1,0m από αυτόν.
2) Κατασκευή ικριώματος εργασίας με λειτουργία αντιστήριξης, που θα εξασφαλίζει την πρόσβαση σε όλες τις περιοχές του μνημείου και με δυνατότητα τμηματικής αποσυναρμολόγησης στις περιοχές των βάθρων. Η εξασφάλιση έναντι ανατροπής του ικριώματος θα γίνει με αντηρίδες και όχι με ανάρτηση του στο μνημείο.
3) Συστηματικός τμηματικός καθαρισμός αρμών (max $1m^2$) από προϊόντα εξαλλοίωσης με απλά μηχανικά μέσα και σε βάθος έως 8 cm. Εφαρμογή αρμολογημάτων σε βάθος με παράλληλη καθαίρεση εξαλλοιωμένων λιθόπλινθων και ταυτόχρονη τοποθέτηση ακροφυσίων για εισπίεση ενεμάτων. Ολοκλήρωση των εργασιών αρχικά στην κάτω παρειά του τόξου. Εισπίεση ενεμάτων ελεγχόμενου ιξώδους.
4) Διάνοιξη διατρημάτων από την επιφάνεια του καταστρώματος Φ140, μέχρι βάθους 2,50m στο συμπαγές μαργαϊκό υπόβαθρο για την κατασκευή διατμητικών στοιχείων. Ολόσωμη εισπίεση ενέματος. Επαναδιάτρηση Φ160, τοποθέτηση διατμητικού οπλισμού και πλήρωση διατρήματος με κονίαμα υψηλής αντοχής.
5) Τοπικές αποχωματώσεις, Κατασκευή ξυλότυπων για την πλήρωση των υποσκαφών στην κοίτη και στις παρειές των βάθρων και την κατασκευή των φορέων προστασίας. Τελική φάση με λιθεπένδυση των στοιχείων.
6) Συμπλήρωση διακένων και ελλειπόντων λιθόπλινθων με νέους αναλλοίωτους και σύνδεσή τους στη λιθοδομή με διατμητικά βλήτρα.
7) Τοποθέτηση και συμπλήρωση νέων γωνιόλιθων και σύνδεσή τους με τη λιθοδομή με διατμητικά βλήτρα.

8) Αφαίρεση των υλικών που διαμορφώνουν σήμερα το κατάστρωμα μέχρι το φορέα της λιθοδομής. Τοποθέτηση εφελκυστικού οπλισμού – οπλισμού απόσχισης Φ16/50cm κάθετα στον άξονα της γέφυρας με πάκτωση στις παρειές του τόξου. Διαμόρφωση καταστρώματος με ειδικό κονίαμα υψηλής αντοχής με διαμορφωμένες ρύσεις ποιότητας αντίστοιχης με C20.
9) Κατασκευή τεχνικών εκατέρωθεν της γέφυρας με εσχάρα καθαρισμού για τη διευθέτηση των ομβρίων.
10) Κατασκευή προστατευτικού δικτυώματος στις παρειές του καταστρώματος με κατακόρυφα στοιχεία πάκτωσης έξω από το φορέα.
11) Αποξήλωση εργοταξίου.
12) Κατασκευή δρόμου εκατέρωθεν της γέφυρας (δεν αποτελεί αντικείμενο της μελέτης).

10. ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

Μετά την αφαίρεση της βλάστησης κατασκευάζεται το ικρίωμα εργασίας – αντιστήριξης. Αρχικά θα καθαιρεθούν όλα τα εύθρυπτα κονιάματα, θα καθαριστούν οι αρμοί και θα γίνει αρμολόγημα σε βάθος έως 8cm με ταυτόχρονη τοποθέτηση ακροφυσίων εισπίεσης ενεμάτων σε κάνναβο 50Χ50 cm. Ακολουθεί έκπλυση του εξαλλοιωμένου κονιάματος από τον πυρήνα της λιθοδομής και εισπίεση ενέματος ελεγχόμενου ιξώδους.

Τα κονιάματα και ενέματα που θα εφαρμοστούν θα είναι με βάση το λευκό τσιμέντο με μικρή περιεκτικότητα σε θειικά και ανθεκτικό σε θειικές ενώσεις και ποζολανικό υλικό υψηλής καθαρότητας, με υψηλή περιεκτικότητα σε ενεργό SiO_2.

Για το κονίαμα προτείνεται η παρακάτω σύνθεση κατά βάρος:

Λευκό τσιμέντο με μικρή περιεκτικότητα σε θειικά και ανθεκτικό στις θειικές ενώσεις: 1,00
Ποζολάνη: 1,50
Επιλέγεται νερό ανάμιξης για εξάπλωση: 16,5±1cm κατά ΕΝ 1015-3/ 2004.

Το κονίαμα αυτό παρουσιάζει φαινόμενη πυκνότητα 1,65g/cm^3, τιμή αντοχής σε μονοαξονική θλίψη σε ηλικία επτά ημερών 7,78MPa και τιμή μέτρου ελαστικότητας 0,77GPa.

Για το ένεμα προτείνεται η παρακάτω σύνθεση κατά βάρος:

Λευκό τσιμέντο με μικρή περιεκτικότητα σε θειικά και ανθεκτικό στις θειικές ενώσεις:	1,00
Ποζολάνη:	0,30
N/T:	1/1

Το ένεμα αυτό παρουσιάζει ιξώδες μετρούμενο με τον κώνο Marsch 60sec, φαινόμενη πυκνότητα στη φάση εφαρμογής του 1,32g/cm^3 και σκληρυμένο 1,64 g/cm^3, συναίρεση 11%, τιμή αντοχής σε μονοαξονική θλίψη σε ηλικία επτά ημερών 9,33MPa και τιμή μέτρου ελαστικότητας 1,29GPa.

Η αποκατάσταση της γεωμετρίας του φορέα στην περιοχή της στάθμης της κοίτης και η προστασία του από περαιτέρω διάβρωση, θα γίνει με πλήρωση των υποσκαφών με κονίαμα υψηλής αντοχής. Θα γίνει καθαρισμός των υποσκαφών από τα προσχωσιγενή υλικά και τα προϊόντα αποσάθρωσης και εξαλλοίωσης, εφαρμογή διατμητικών βλήτρων, κατασκευή ξυλοτύπου με στόμιο πλήρωσης σε υψηλότερη στάθμη από την άνω στάθμη της υποσκαφής και εφαρμογή κονιάματος υψηλής αντοχής αντίστοιχής με C20. Μετά την αφαίρεση του ξυλοτύπου διαμορφώνεται με λάξευση η άνω στάθμη της υποθεμελίωσης και λιθεπενδύεται το στοιχείο με λιθόπλινθους ασβεστολιθικής σύστασης dmax=10cm.

Στο κατάστρωμα θα γίνει αφαίρεση των χαλαρών υλικών μέχρι τη στάθμη του φορέα της λιθοδομής, καθαρισμός των αρμών και αντικατάσταση εξαλλοιωμένων λιθόπλινθων. Ακολουθεί τοποθέτηση οπλισμού ποιότητας χάλυβα AISI316 με Φ16/50cm που θα συνδέει τις παρειές του καταστρώματος και θα προεντείνεται με μούφα. Ο φορέας αποκαθίσταται με πλήρωση του καταστρώματος με ειδικό κονίαμα υψηλής αντοχής αντίστοιχης του C20 και διαμορφωμένες ρύσεις.

Από το κατάστρωμα θα γίνει διάνοιξη κατακόρυφων διατρημάτων Φ140, με σωλήνωση του άνω τμήματός τους, μέχρι βάθους 2,50m στο συμπαγές

μαργαϊκό υπόβαθρο. Με ειδικά διαμορφωμένη κεφαλή προσαρμοζόμενη στη σωλήνωση εισπιέζεται ένεμα με βάση το τσιμέντο με αναλογία N/T= 0.5 ώστε να πληρωθούν τα κενά πέριξ του διατρήματος σε όλο του το μήκος με παράλληλη εξαγωγή της σωλήνωσης. Ακολουθεί επαναδιάτρηση Φ160, τοποθέτηση δοκών I (HEA100) στα διατρήματα και πλήρωση των διακένων με ένεμα με βάση το τσιμέντο με αναλογία N/T= 0.4 από τον πυθμένα προς την ανώτερη στάθμη.

Γίνεται συμπλήρωση ελλειπόντων τεμαχίων λιθοπλίνθων και των διακένων των επιφανειών της λιθοδομής με λάξευση λίθων, αντίστοιχης σύστασης με τους υπάρχοντες, που θα αναρτηθούν - συνδεθούν με τους υπάρχοντες μέσω διατμητικών βλήτρων. Τα βλήτρα θα είναι ποιότητας χάλυβα AISI316, διατομής Φ10 και θα έχουν μήκος πάκτωσης 10d=10cm.

Για τη συλλογή και διευθέτηση των ομβρίων θα γίνουν τεχνικά, διατομής 40X50cm, με εσχάρα, κάθετα στον άξονα της γέφυρας στα άκρα των βάθρων που θα οδηγούν τα όμβρια στην κοίτη του ποταμού. Νότια της γέφυρας και σε απόσταση 100m περίπου για την προστασία του μνημείου από τα όμβρια θα γίνει ως πρώτη ανάσχεση αντίστοιχο τεχνικό που θα οδηγεί αυτά σε υπάρχον ρέμα.

Στα συνημμένα σχέδια παρουσιάζονται η υπάρχουσα κατάσταση, η πρόταση στερέωσης και οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες των μέτρων στερέωσης. (Παράρτημα VI - Σχέδια).

Οι Τεχνικές Προδιαγραφές του έργου, ο Φάκελος και το Σχέδιο Ασφάλειας και Υγείας, οι Ποσότητες και ο Προϋπολογισμός του έργου παρουσιάζονται στο Παράρτημα VII (συνημμένο τεύχος).

11. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Το μνημείο παρουσιάζει φθορές που βρίσκονται σε εξέλιξη και αναμένεται σε περίπτωση που δεν ληφθούν μέτρα να οδηγηθεί το μνημείο σε κατάρρευση. Στην υπάρχουσα κατάσταση η γέφυρα έχει περιορισμένη φέρουσα ικανότητα με μέγιστο κατανεμημένο φορτίο που μπορεί να δεχθεί σήμερα 200kN.

Για την αύξηση της φέρουσας ικανότητας της γέφυρας και την αντισεισμική της θωράκιση θα εφαρμοστούν ήπια μέτρα όπως αύξηση των μηχανικών αντοχών του φορέα με αρμολόγημα σε βάθος και εφαρμογή ενεμάτων, αντικατάσταση εξαλλοιωμένων λιθόπλινθων και συμπλήρωση επιφανειακών διακένων με νέους λιθόπλινθους, πλήρωση υποσκαφών, εφαρμογή διατμητικών στοιχείων στη στάθμη έδρασης των βάθρων, τοποθέτηση οπλισμού απόσχισης και εφαρμογή κονιάματος υψηλής αντοχής στο κατάστρωμα. Τα μέτρα αυτά ενισχύουν στατικά και αποκαθιστούν το μνημείο χωρίς όμως να αντιμετωπίζουν το κύριο αίτιο των προβλημάτων που είναι η ανεξέλεγκτη ροή των ομβρίων.

Για την προστασία του μνημείου ώστε να μην επαναληφθούν φθορές που θα επηρεάσουν ξανά τη φέρουσα ικανότητά του απαιτείται η συλλογή και διευθέτηση των ομβρίων που οδηγούνται στη γέφυρα, από την ευρύτερη περιοχή. Θα κατασκευαστούν συλλεκτήρια, με εσχάρα, κάθετα στον άξονα της γέφυρας στα άκρα των βάθρων και θα οδηγούν τα όμβρια στην κοίτη του ποταμού. Νότια της γέφυρας και σε απόσταση 50m περίπου θα γίνει, ως πρώτη ανάσχεση, αντίστοιχο τεχνικό που θα οδηγεί τα όμβρια σε υπάρχον ρέμα.

Η ολοκλήρωση του έργου θα πρέπει να περιλαμβάνει την επισκευή του δρόμου εκατέρωθεν της γέφυρας και την κατασκευή προστατευτικού κιγκλιδώματος – πετάσματος που θα αναρτηθεί σε πάσσαλους στο όριο του φορέα της γέφυρας, που δεν αποτελούν όμως αντικείμενο της μελέτης αυτής.

Τα μέτρα στερέωσης παρουσιάζονται στο συνημμένο κατασκευαστικό σχέδιο.

Ηράκλειο, 11/06/2008

Για την Δρ. Μ. Αρβανιτάκης & Συνεργάτες

GEORGIOS TAVERNARAKIS

Digitally signed by GEORGIOS TAVERNARAKIS
Date: 2020.02.27 11:19:08 +02'00'

Ο συντάξας

Π. Πιερράκος.