



**ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΝΩΣΗ**

ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΤΑΜΕΙΟ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ (Ε.Τ.Π.Α.)

**ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ  
ΓΕΝΙΚΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΑΝΑΣΤΗΛΩΣΗΣ, ΜΟΥΣΕΙΩΝ  
ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ  
ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΝΕΩΤΕΡΩΝ ΜΝΗΜΕΙΩΝ ΚΑΙ  
ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ Α.Μ.Θ.  
ΤΜΗΜΑ ΜΕΛΕΤΩΝ ΚΑΙ  
ΕΡΓΩΝ ΑΝΑΣΤΗΛΩΣΗΣ, ΜΝΗΜΕΙΩΝ, ΜΟΥΣΕΙΩΝ  
ΚΑΙ ΠΟΛΙΤΙΣΤΙΚΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ**

**ΕΡΓΟ: ΣΤΕΡΕΩΣΗ, ΔΟΜΙΚΗ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ-  
ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΕΝΑΠΟΜΕΙΝΑΝΤΟΣ ΤΜΗΜΑΤΟΣ  
ΙΣΤΟΡΙΚΟΥ ΔΙΑΤΗΡΗΤΕΟΥ ΠΕΤΡΙΝΟΥ  
ΓΕΦΥΡΙΟΥ ΣΤΟ 4ο ΧΙΛ. ΞΑΝΘΗΣ-  
ΣΤΑΥΡΟΥΠΟΛΗΣ.**

## **ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ**

### **ΟΙ ΜΕΛΕΤΗΤΕΣ ΕΡΓΟΥ**

ΜΗΤΛΙΑΓΚΑ ΚΩΝ/ΝΙΑ – ΑΡΧ. ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ  
ΠΑΥΛΙΔΗΣ ΠΕΤΡΟΣ – ΠΟΛΙΤΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ

**ΞΑΝΘΗ ΙΟΥΝΙΟΣ 2023**

Σελίδα 1 από 47

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΤΕΥΧΟΥΣ

ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ .....	3
1. ΣΥΝΤΟΜΟ ΙΣΤΟΡΙΚΟ .....	3
2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ – ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ .....	5
3. ΠΑΘΟΛΟΓΙΑ – ΒΛΑΒΕΣ.....	12
4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ.....	19
5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ .....	28
6. ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ .....	37
7. ΙΚΡΙΩΜΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ .....	39
8. ΣΥΜΜΟΡΦΩΣΗ ΠΡΟΣ ΤΙΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΑΠΟΦΑΣΗΣ ΤΟΥ ΚΣΝΜ.....	41
9. ΠΡΟΣΒΑΣΙΜΟΤΗΤΑ.....	41
10. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	47
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ-ΕΝΕΜΑΤΩΝ .....	A1
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: ΕΝΤΥΠΑ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ .....	B1

## **ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ**

η οποία αφορά την μελέτη της υφιστάμενης λίθινης γέφυρας παρά το 4<sup>ο</sup> χλμ. της Ε.Ο.14 Ξάνθης - Σταυρούπολης – Δράμας, στα πλαίσια της σύμβασης για την εκπόνηση μελέτης ωρίμανσης του έργου «Στερέωση δομική αποκατάσταση – ενίσχυση εναπομείναντος τμήματος του χαρακτηρισμένου ως “ιστορικού διατηρητέου μνημείου” πέτρινου γεφυριού στο 4<sup>ο</sup> χλμ. Ξάνθης-Σταυρούπολης στην ΠΕ Ξάνθης».

### **1. ΣΥΝΤΟΜΟ ΙΣΤΟΡΙΚΟ**

Για την αποκατάσταση – συντήρηση της λίθινης γεφύρωσης στο 4<sup>ο</sup> χλμ. της Ε.Ο.14 Ξάνθης – Δράμας που γεφυρώνει τον ποταμό Κόσυνθο, έχει εκπονηθεί από την ΕΥΕΡΓΟΣ Α.Ε., στο πρόσφατο παρελθόν, σειρά μελετών. Στην υπόψη γεφύρωση, λόγω κυρίως υδραυλικών υπερβάσεων, διασώζονται σήμερα 2 τόξα από αυτά που είχε η αρχική κατασκευή.

Οι μελέτες που εκπονήθηκαν αφορούν τοπογραφική αποτύπωση, φωτογραφική τεκμηρίωση, υδραυλική μελέτη επάρκειας του ρέματος και μελέτη επάρκειας του φέροντα οργανισμού που συνοδεύονταν από προτάσεις επεμβάσεων με στόχο την στερέωση (α' φάση) και την συντήρηση του μνημείου (β' φάση).

Το μνημείο, η μεθοδολογία συντήρησης και οι προτεινόμενες επεμβάσεις παρουσιάστηκαν στο 4ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αναστηλώσεων – ΕΤΕΠΑΜ – στη Θεσσαλονίκη στις 26 – 28 Νοεμβρίου 2015 με το θέμα «Μεθοδολογία Επεμβάσεων σε λίθινες γεφυρώσεις – Προβλήματα εφαρμογής σε πολύτοξη λίθινη γεφύρωση ποταμού Κοσύνθου», με πολύ θετικά σχόλια.

Με την Ε2439 / 26.10.2016 επιστολή η ΕΥΕΡΓΟΣ Α.Ε. έθεσε στην διάθεση της Εφορείας Νεωτέρων Μνημείων τις εκπονηθείσες μελέτες και το υπάρχον υλικό ώστε να χρησιμοποιηθούν κατά την κρίση της με σωστικούς στόχους.

Μέρος των προτεινόμενων επεμβάσεων υλοποιήθηκαν την περίοδο του 2015 από την Υπηρεσία. Σημειώνεται ότι οι επιλεγείσες επεμβάσεις παρουσίασαν απόκλιση από τις προταθείσες ως προς τα υλικά και την έκταση, λόγω ενδεχομένως οικονομικών περιορισμών.

Κατά την πορεία ωρίμανσης του έργου, ζητήθηκαν από την εγκρίνουσα Αρχή που είναι το Κεντρικό Συμβούλιο Νεωτέρων Μνημείων, πρόσθετα στοιχεία, παρεμβάσεις και τεκμηριώσεις οι οποίες δεν περιείχονταν στον υποβληθέντα φάκελο. Η ομαδοποίηση των ζητούμενων έχει ως εξής:

- Ερευνητικές και εργαστηριακές αναλύσεις υλικών δόμησης
- Τεκμηρίωση τιμών χαρακτηριστικών αντοχών βάσει των ανωτέρω ερευνών

- Μελέτη επάρκειας με χρήση των ως άνω τεκμηριώσεων
- Λεπτομέρειες σχεδιασμού για την μεθοδολογία υλοποίησης
- Στοιχεία οικονομικής τεκμηρίωσης για την σύνταξη των τευχών δημοπράτησης.

Μετά την αναλυτική εξέταση των παρατηρήσεων του Κεντρικού Συμβουλίου, αποφασίστηκε να θεωρηθεί η υποβληθείσα μελέτη ως στάδιο προμελέτης – οριστικής και αποφασίστηκε να συνταχθεί μελέτη εφαρμογής, η οποία θα λάβει υπόψη τα πρόσθετα στοιχεία εκ των ερευνών και θα ικανοποιήσει τις λοιπές απαιτήσεις που τέθηκαν στις παρατηρήσεις του Συμβουλίου. Αποφασίστηκε παράλληλα οι εργαστηριακές αναλύσεις να γίνουν από το εργαστήριο του Τμήματος Τεχνικών Ερευνών Αναστήλωσης και Προδιαγραφών της Διεύθυνσης Έρευνας και Τεχνικής Υποστήριξης Μελετών και Έργων Αναστήλωσης (ΔΕΤΥΜΕΑ).

## **2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ – ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ**

Πρόκειται για πολύτοξο γεφύρι στον ποταμό Κόσυνθο, με υφιστάμενα δύο άνισα μεγάλα τόξα και δύο ανακουφιστικά ανοίγματα, κατασκευασμένο πιθανόν τον 16<sup>ο</sup> αιώνα και σε κάθε περίπτωση πριν τα μέσα του 19<sup>ο</sup>. Είναι από τα παλαιότερα στην Θράκη. Το γεφύρι εξυπηρετούσε την πρόσβαση στα χωριά Μάκαλαρ και Πίλημα. Σύμφωνα με εκδοχές αποτελούνταν από εννέα τόξα τα οποία και κατέρρευσαν σταδιακά. Ενδεχομένως στην αρίθμηση να συνυπολογίζονταν και τα ανακουφιστικά ανοίγματα.

Από φωτογραφία του 1900 φαίνεται η γέφυρα με ένα επιπλέον ανακουφιστικό άνοιγμα να καταλήγει σε ανατολικό ακρόβαθρο ή σε επιχωμένο επιπλέον τόξο. Η κοίτη του ποταμού φαίνεται να ήταν περιορισμένη την εποχή εκείνη μεταξύ των δύο κύριων τόξων και η άνω στάθμη της ανατολικής όχθης ήταν στο επίπεδο της δυτικής.



*Εικόνα 1: Φωτογραφία αρχών του 20<sup>ου</sup> αιώνα.*

Σε προπολεμικές φωτογραφίες (1937), το γεφύρι φαίνεται κατεστραμμένο στο ανατολικό του τμήμα με βλάβες αντίστοιχες της σημερινής του μορφής. Είναι πιθανόν να συνέβη κάποιο σημαντικό πλημμυρικό γεγονός κατά το μεσοδιάστημα το οποίο διέυρνε ανατολικά την κοίτη και προκάλεσε τις συγκεκριμένες βλάβες, συμπαρασύροντας το ανατολικό τμήμα του γεφυριού, το οποίο ήταν και χαμηλότερου ύψους. Η τελευταία καταγεγραμμένη κατάρρευση σημειώθηκε τον Δεκέμβριο του 1996 μετά από μεγάλο πλημμυρικό γεγονός, κατά το οποίο σημειώθηκαν και άλλες καταρρεύσεις αντίστοιχων ιστορικών γεφυριών, όπως αυτού στο 8<sup>ο</sup> χλμ. της Ε.Ο. 14 Ξάνθης-Δράμας. Η συγκεκριμένη πλημμύρα συμπαρέσυρε το ανατολικό ανακουφιστικό άνοιγμα.



*Εικόνα 2: Το γεφύρι πριν την πλημμύρα του 1996.*



*Εικόνα 3: Πλημμύρα 1996. Καταστροφή ανατολικού ανακουφιστικού ανοίγματος.  
Συσσώρευση φερτών υλικών στα ανοίγματα.*



*Εικόνα 4: Το γεφύρι το 2010, πριν τις πρώτες σωστικές επεμβάσεις.*

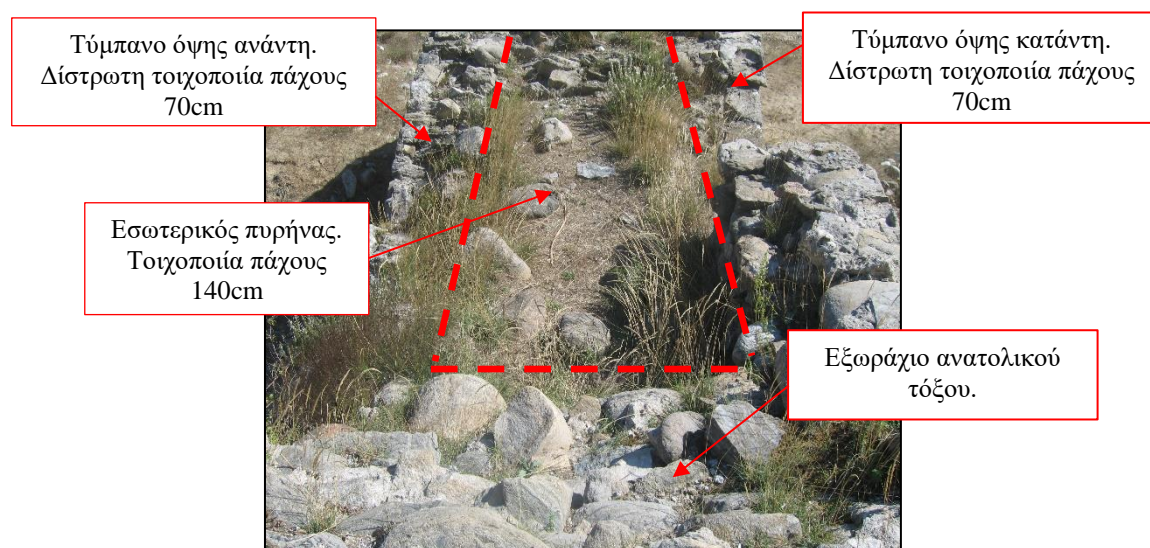


*Εικόνα 5: Υφιστάμενη κατάσταση (μετά και τις σωστικής φύσεως επεμβάσεις του 2015).*

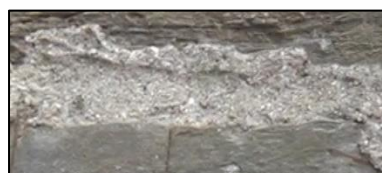
Το σημερινό μήκος του γεφυριού είναι περί τα 35m. Το άνοιγμα του μεγάλου τόξου είναι 12m ενώ του μικρού 8.50m. Αντίστοιχα, το ύψος του μεγάλου τόξου είναι 6.00m ενώ του μικρού περί τα 4.60m από τα υφιστάμενο έδαφος. Το πλάτος του λιθόστρωτου καταστρώματος είναι 2.80m.

Στην περιοχή του γεφυριού ο ποταμός παρουσιάζει διαπλάτυνση και η κοίτη εμφανίζει δύο κύριους κλάδους, τον δυτικό που είναι βαθύτερος και τον ανατολικό που ενεργοποιείται σε μεγαλύτερες παροχές. Ενδιάμεσα έχει σχηματιστεί νησίδα προσχώσεων. Το γεφύρι βρίσκεται στην δυτική κοίτη η οποία είναι ενεργή όλη την διάρκεια του χρόνου και αυτό οπωσδήποτε επιβαρύνει την κατάσταση του. Την κατάσταση επιβάρυναν ταυτόχρονα και οι εκτεταμένες αμμοληψίες, γεγονός που επισημάνθηκε στο παρελθόν και από το παράρτημα της Εφορείας Νεωτέρων Μνημείων στην Ξάνθη.

Η δομή του γεφυριού είναι η τυπική ανάλογων κατασκευών. Τα τόξα των κύριων και των ανακουφιστικών ανοιγμάτων είναι δομημένα με λαξευμένα φυσικά λιθοσώματα, τυπικών διαστάσεων 20x50cm. Ανάλογη καλή ποιότητα λιθοσωμάτων έχει χρησιμοποιηθεί και για τα βάθρα του γεφυριού όπως και για τις τύμπανα των όψεων. Το πάχος των τυμπάνων είναι περίπου 70cm δομημένα ως δίστρωτη τοιχοποιία. Τέλος το εσωτερικό τμήμα, πάχους περί τα 1.40m, έχει πληρωθεί μέχρι την στάθμη κάτω από το κατάστρωμα με ανεπεξέργαστα λιθοσώματα και κονίαμα, αποτελώντας ουσιαστικά τον πυρήνα χαμηλότερης ποιότητας δόμησης. Η όλη δομή κατά πλάτος είναι αντίστοιχη τρίστρωτης τοιχοποιίας. Το κατάστρωμα είναι διαμορφωμένο με πλάκες από φυσικά λιθοσώματα. Ως συνδετικό υλικό χρησιμοποιήθηκε ισχυρό ασβεστοκονίαμα, διαμορφώνοντας αρμούς πάχους από 1 έως και 3cm.

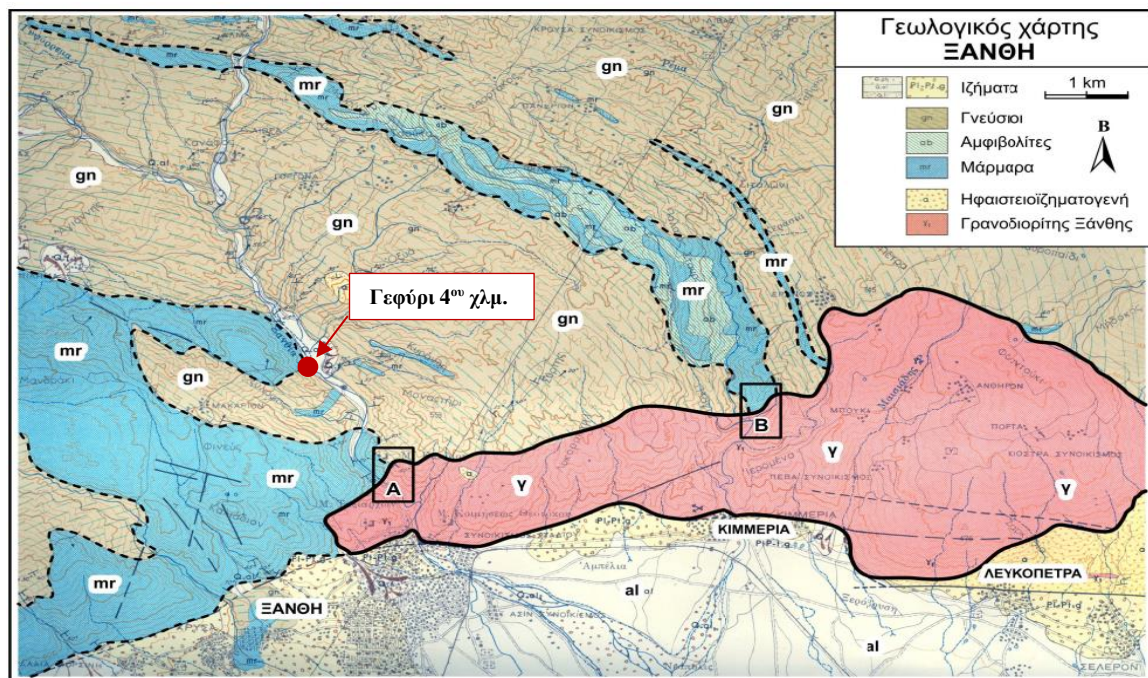


Εικόνα 6: Τυπική δομή φορέα γεφυριού.



Εικόνα 7: Συνδετικό ασβεστοκονίαμα.

Τα πετρώματα που συναντώνται στην συγκεκριμένη περιοχή, σύμφωνα τόσο με τον γεωλογικό χάρτη της περιοχής, όσο και με αποτελέσματα γεωτεχνικών ερευνών στην ευρύτερη γειτονική περιοχή του ποταμού, είναι κυρίως γνεύσιοι, μάρμαρα και αμφιβολίτες, υλικά που χρησιμοποιήθηκαν και για τα λιθοσώματα του γεφυριού.



Εικόνα 8: Γεωλογικός χάρτης Ξάνθης και θέση γεφυριού.



Εικόνα 9: Λιθοσώματα τόξων γεφυριού.



Εικόνα 10: Λιθοσώματα τυμπάνων γεφυριού.



Εικόνα 11: Λιθοσώματα βάθρων γεφυριού.



Για την προστασία των βάθρων του γεφυριού από την ροή του Κοσύνθου στα ανάντη, κατασκευάστηκε ανεξάρτητος κεκλιμένος σε κάτοψη πτερυγότοιχος προστασίας πάχους 40cm στο δυτικό ακρόβαθρο και η περιοχή πίσω από αυτόν μέχρι το βραχώδες πρανές πληρώθηκε με λιθοσώματα.



Εικόνα 12: Πτερυγότοιχος προστασίας ακρόβαθρου ανάντη (αριστερά κάτοψη).

Αντίστοιχα, κατασκευάστηκε θωράκιο προστασίας του βάθρου μεταξύ των δύο σωζόμενων κύριων τόξων του γεφυριού τριγωνικής μορφής σε κάτοψη με λειτουργία υδατοθραύστη. Το θωράκιο αυτό αποτελεί ενιαίο δομικό σύνολο με το βάθρο, όπως χαρακτηριστικά φαίνεται από την πολύ επιμελημένη εμπλοκή των λιθοσωμάτων στις ακμές βάθρου-θωρακίου.



Εικόνα 13: Θωράκιο προστασίας βάθρου ανάντη (αριστερά εμπλοκή λιθοσωμάτων).

Το λιθόστρωτο του καταστρώματος συμπληρώθηκε κατά τις περιορισμένες σωστικές επεμβάσεις το 2015 σε μια προσπάθεια να περιοριστεί η κατείδυση των ομβρίων στο σώμα του γεφυριού.



Εικόνα 14: Λιθόστρωτο καταστρώματος πριν και μετά τις επεμβάσεις.

Τα δύο σωζόμενα τόξα του γεφυριού, το δυτικό που είναι μεγαλύτερο και το ανατολικό το οποίο βρίσκεται κατά το ένα μέρος του θαμμένο στις προσχώσεις του Κοσύνθου, αποτελούν τα ισχυρότερα δομικά στοιχεία του γεφυριού. Οι όψεις τους είναι δομημένες με ελαφριά υποχώρηση προς το εσωτερικό για αισθητικούς λόγους και τα εμφανή λιθωσώματα μορφής πλακών είναι λαξεμένα με επιμέλεια. Στην κατάντη όψη των τόξων, στην περιοχή των κλειδών, βρίσκονται σκαλισμένα σύμβολα στην πλευρά μαρμαρίνων λιθωσμάτων τα οποία αποτελούν την υπογραφή των μαστόρων. Δεν είναι γνωστό εάν πρόκειται για ομάδα Ηπειρωτών ή Θρακών Δουλγέρηδων. Παρόμοια σύμβολα συναντώνται και σε γεφύρια στα ορεινά του νομού (γεφύρι Παπά, γεφύρι Σταμάτη κ.α.).



Εικόνα 15: Δυτικό τόξο και σύμβολο κτιστών στο κλειδί.



Εικόνα 16: Ανατολικό τόξο και σύμβολο κτιστών.

Ο επιμελής τρόπος δόμησης των τόξων με πελεκητές πλάκες ισχυρών λιθωσμάτων είναι εμφανής στο κατεστραμμένο τόξο της γέφυρας στο 8<sup>ο</sup> χλμ. (πλημύρα του 1996), η οποία παρουσιάζει παρόμοια αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά και είναι πιθανότατα κατασκευή της ίδιας περιόδου από τους ίδιους μαστορες.



Εικόνα 17: Λιθωσώματα τόξων (γέφυρα στο 8<sup>ο</sup> χλμ.).

Σημαντικό ρόλο επιτελούν τα ανακουφιστικά ανοίγματα μεταξύ των τόξων τόσο γιατί απομειώνουν τα φορτία στην θεμελίωση του γεφυριού όσο και γιατί αποφορτίζουν το σώμα του γεφυριού κατά την φάση πλημμυρικών συμβάντων. Τα τόξα τους είναι δομημένα με καλά λιθοσώματα μορφής πλακών, αντίστοιχα με αυτά των κυρίων τόξων του γεφυριού. Αναπτύσσονται σε στάθμη πάνω από τα αρχιτεκτονικά μέλη προστασίας από την ροή, τον πτερυγότοιχο ακροβάθρου και το θωράκιο μεσοβάθρου. Το δυτικό ανακουφιστικό άνοιγμα έχει διαστάσεις 2.68m πλάτος και 3.10m μέγιστο ύψος ενώ το ανατολικό έχει διαστάσεις 1.65m πλάτος και 3.37m μέγιστο ύψος αντίστοιχα. Οι ποδιές τους παρουσιάζουν στο εσωτερικό εκβάθυνση 70cm.



*Εικόνα 18: Δυτικό (δεξιά) και ανατολικό (αριστερά) ανακουφιστικό άνοιγμα.*

Σχετικά με την θεμελίωση του γεφυριού παρατηρείται ότι το δυτικό ακρόβαθρο είναι προσαρμοσμένο στο βραχώδες υπόβαθρο του πρανούς ακολουθώντας την μορφολογία του. Εικάζεται ότι και τα υπόλοιπα σωζόμενα βάθρα είναι θεμελιωμένα σε βραχώδεις εξάρσεις της κοίτης του Κοσύνθου, οι οποίες είναι διάσπαρτες καθ' όλη την διαδρομή του στην περιοχή του γεφυριού. Η επιλογή άλλωστε της θέσης γεφύρωσης από τους κτίστες της εποχής γίνονταν πολύ προσεκτικά σύμφωνα με όλες τις βιβλιογραφικές πηγές, πάντα σε συνδυασμό με την καταλληλότητα των θέσεων θεμελίωσης.



*Εικόνα 19: Έδραση ακροβάθρου στο βραχώδες πρανές και μεσοβάθρου.*

Στην διάρκεια των χρόνων το γεφύρι, πλέον των καταρρεύσεων τμημάτων του, εμφάνισε βλάβες οι οποίες αναφέρονται αναλυτικά στα επόμενα με παράλληλη προσπάθεια ερμηνείας των μηχανισμών τους.

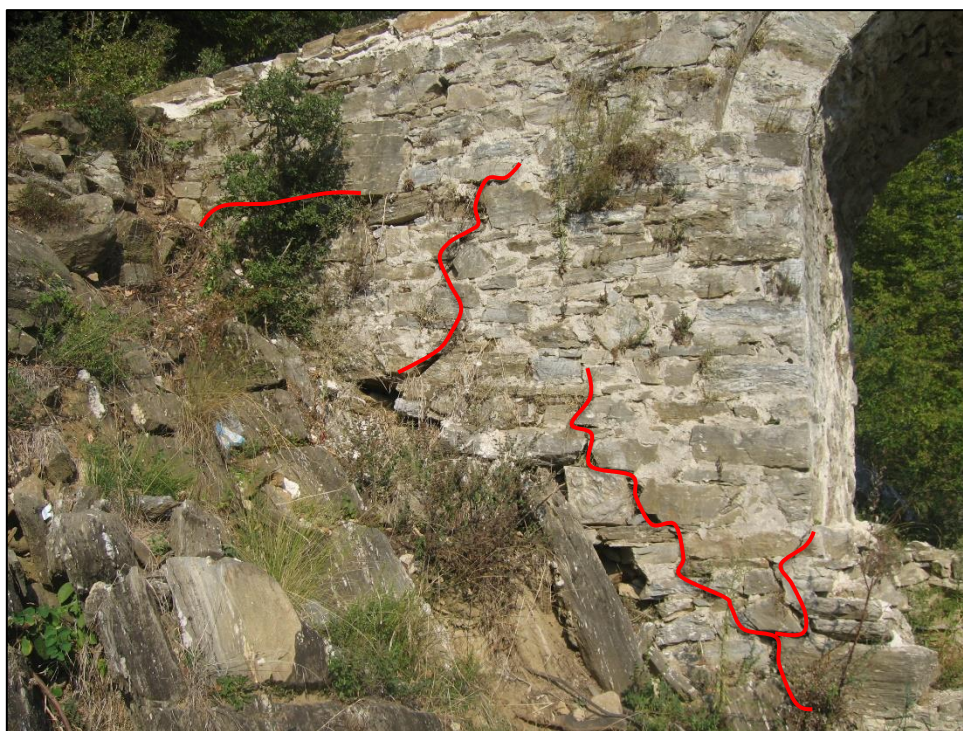
### **3. ΠΑΘΟΛΟΓΙΑ – ΒΛΑΒΕΣ**

Το εναπομείναν τμήμα του γεφυριού παρουσιάζει βλάβες σε σχέση με την αρχική του μορφή. Η μεγάλη διάρκεια ζωής του, η φυσική μεταβολή της κοίτης και τα επαναλαμβανόμενα πλημμυρικά συμβάντα, ένα εκ των οποίων συνέβη και στα πρόσφατα χρόνια, έχουν αφήσει έντονα σημάδια στην μορφή και την λειτουργία του. Ουσιαστικά, έχει μείνει ένα μόνο τμήμα του το οποίο διατηρείται λόγω της στιβαρής κατασκευής του και της ποιότητας των υλικών, σε συνδυασμό με την οριακή επάρκεια της υδραυλικής διατομής του.

Πιο συγκεκριμένα οι βλάβες που εντοπίζονται είναι ομαδοποιημένα οι ακόλουθες:

#### **α) Ρωγμές στα τύμπανα ακροβάθρου.**

Καταγράφονται ρηγματώσεις που διατρέχουν την όψη κατάντη σε διάφορες διευθύνσεις, στο τμήμα μεταξύ της έδρασης στο βραχώδες πρανές και του ανακουφιστικού ανοίγματος. Οι ρωγμές αναπτύσσονται μεταξύ των λιθοσωμάτων στις θέσεις των αρμών.



*Εικόνα 20: Ρηγματώσεις ακροβάθρου κατάντη.*

Επίσης παρουσιάζεται οριζόντια ρωγμή με ελαφριά κλίση προς την στέψη του κύριου δυτικού τόξου, η οποία έχει εκκίνηση στην βάση του τόξου του δυτικού ανακουφιστικού ανοίγματος. Η ρωγμή εμφανίζεται εντονότερα στην όψη του τυμπάνου κατάντη ενώ φαίνεται να αναπτύσσεται και στην όψη ανάντη στην ίδια περιοχή. Η

ρηγμάτωση υφίσταται αμετάβλητη την τελευταία δεκαετία, τουλάχιστον, γεγονός που υποδηλώνει ότι το αίτιο ήταν ατυχηματικό και κατά πάσα πιθανότητα δεν είναι εξελισσόμενο.



*Εικόνα 21: Ρηγμάτωση τυμπάνου δυτικού ακροβάθρου: Διαδοχικά, το 2010, 2015 και 2022.*

Η έντονη ρηγμάτωση στο δυτικό εσωράχιο του δυτικού ανακουφιστικού ανοίγματος, αντιμετωπίστηκε με βαθύ αρμολόγημα κατά τις σωστικές επεμβάσεις του

2015. Η ρηγματώση διέτρεχε διαγωνίως το εσωράχιο και μαζί με τις προαναφερθείσες ρωγμές στο σώμα του ακροβάθρου αποτελούν ένα χωρικό σύνολο μερικής αποδιοργάνωσης της δομής του.



Εικόνα 22: Ρηγματώση εσωραχίου δυτικού ανακουφιστικού ανοίγματος προ και μετά επέμβασης.

Ως αίτια δημιουργίας αυτών των ρηγματώσεων στο ακρόβαθρο, οι οποίες είναι της τάξεως του εκατοστού, μπορούν να αναφερθούν τα παρακάτω:

- Η ασυμμετρία που δημιουργήθηκε με την απώλεια του ανατολικού τμήματος του γεφυριού θεωρείται ότι προκάλεσε την μετακίνησή του προς τα ανατολικά λόγω των μόνιμων φορτίων, η οποία οδήγησε το γεφύρι σε μια νέα θέση ισορροπίας, προκαλώντας και τις εν λόγω εκτεταμένες ρηγματώσεις.
- Οι υδραυλικές πιέσεις στα ανάντη λόγω έντονων πλημμυρικών συμβάντων, σε συνδυασμό με μερική απόφραξη του ανακουφιστικού ανοίγματος και την δημιουργία τοπικού φράγματος φερτών, επέτειναν το πρόβλημα κυρίως στην κατάντη πλευρά λόγω κάμψης του σώματος του ακροβάθρου εκτός επιπέδου.



Εικόνα 23: Παρασυρόμενοι κορμοί δέντρων στην περιοχή του δυτικού ακροβάθρου.

- Η τοπική περιοδική βλάστηση θάμνων και μικρών δέντρων στην όχθη και τα πρανή σε γειτνίαση με το γεφύρι ή ακόμη και πάνω σε αυτό, η οποία μπορεί να αποδιοργανώσει την δομή του, διαταράσσοντας τα κονιάματα.



Εικόνα 24: Βλάστηση σε γειτνίαση και στις όψεις του γεφυριού.

- Με δεδομένο ότι η κατασκευή του γεφυριού ανάγεται σε χρόνο πριν τα μέσα του 19<sup>ου</sup> αιώνα, είναι πολύ πιθανό ο φορέας του να καταπονήθηκε σημαντικά από τον διπλό μεγάλο σεισμό με επίκεντρο την Δράμα που ισοπέδωσε την πόλη της Ξάνθης το 1829 (13 Απριλίου και 5 Μαΐου,  $M=7.3$ ). Στην φωτογραφία του 1900 διακρίνονται κάποια σημάδια διαφοροποίησης της δομής στο ανατολικό τμήμα που σήμερα έχει καταρρεύσει, τα οποία πιθανόν υποδηλώνουν επεμβάσεις της εποχής.

#### β) Απώλειες ασβεστοκονιάματος:

Με την πάροδο των ετών το συνδετικό ασβεστοκονίαμα έχει αποσαθρωθεί και εκπλυθεί ή εκτιναχθεί σε σημαντικό ποσοστό των επιφανειών τόσο στο εσωράχιο των τόξων του γεφυριού όσο και στην περιοχή των βάθρων.



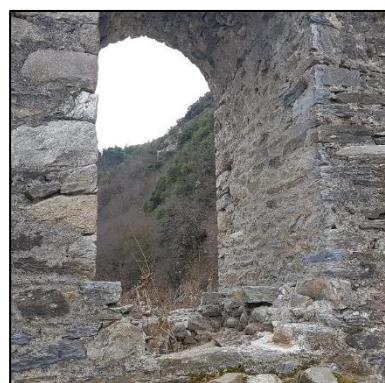
Εικόνα 25: Απώλεια ασβεστοκονιάματος στα εσωράχια των τόξων και στα βάθρα.

Ως αίτια της απώλειας αυτής των ασβεστοκονιαμάτων και της αποκάλυψης των αρμών μπορούν να αναφερθούν τα παρακάτω:

- Η κατείδυση των ομβρίων μέσω του λιθόστρωτου του καταστρώματος – φαινόμενο υέτιας διάβρωσης των λιθοδομών. Το νερό εισχωρεί στο σώμα της λιθοδομής και συμπαρασύρει σταδιακά το κονίαμα, δημιουργώντας έως και σταλακτίτες ασβεστίου. Το φαινόμενο είναι έντονο στην κορυφή των εσωραχίων των τόξων όπου το πάχος της λιθοδομής είναι μικρότερο.
- Η δράση της ροής του ποταμού ιδιαίτερα σε συνθήκες υψηλών ταχυτήτων. Η λιθοδομή χάνει τις επιφανειακές στρώσεις κονιάματος και συνεπακόλουθα την στεγάνωση της μάζας της με τις όποιες δυσμενείς συνέπειες.
- Η δράση των φυτών και των μικρών θάμνων στις όψεις του τεχνικού, το ριζικό σύστημα των οποίων, αποδιοργανώνει το κονίαμα σε βάθος.

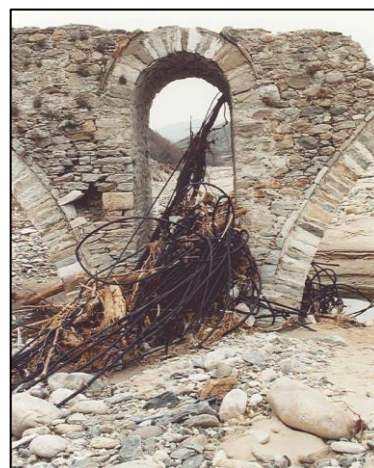
γ) Τοπικές καταρρεύσεις λιθοσωμάτων στις ποδιές των ανακουφιστικών ανοιγμάτων:

Εντοπίζονται καταρρεύσεις λιθοσωμάτων στις “ποδιές” των ανακουφιστικών ανοιγμάτων, στα ανάντη στο ανατολικό και στα κατόντη στο δυτικό. Το πάχος των “ποδιών” είναι αυτό της δίστρωτης τοιχοποιίας των τυμπάνων 70cm. Το ύψος απώλειας είναι της τάξεως των δύο σειρών λιθοσωμάτων.



*Εικόνα 26: Τοπικές καταρρεύσεις στις ποδιές δυτικού και ανατολικού ανακουφιστικού ανοίγματος.*

Ως αίτιο της απώλειας των λιθοσωμάτων θεωρείται ότι είναι η δράση των φερτών υλικών που έφραξαν τα αντίστοιχα ανοίγματα, λόγω του μικρού πλάτους τους, και οδήγησαν εν συνεχεία στην τοπική αποδιοργάνωση.



*Εικόνα 27: Φραγή ανοίγματος από φερτά στην πλημμύρα του 1996.*



#### δ) Απώλεια λιθосωμάτων από την στέψη του υδατοθραύστη:

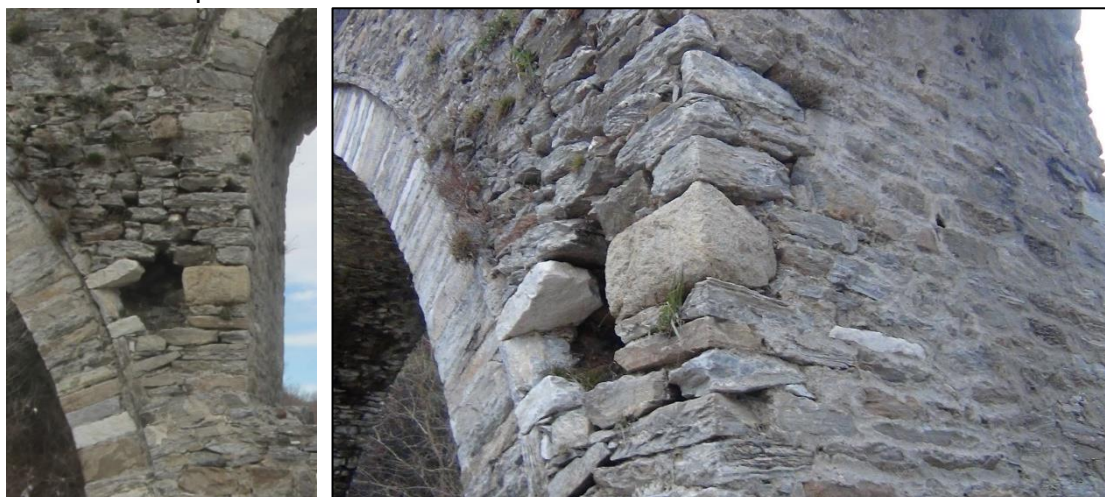
Η άνω επιφάνεια του υδατοθραύστη παρουσιάζει απώλειες λιθосωμάτων της τάξης των δύο σειρών καθ' ύψος μαζί με την επιστέγασή του από κονίαμα, η οποία εικάζεται ότι ήταν αντίστοιχη ανάλογων γεφυριών, όπως αυτού στην γέφυρα προς Πίλημα, στο 7<sup>ο</sup> χλμ.



Εικόνα 28: Απώλεια λιθосωμάτων και επικάλυψης στέψης υδατοθραύστη. Αριστερά αντίστοιχη πλήρης μορφή υδατοθραύστη.

#### ε) Απώλεια λιθосωμάτων από τύμπανα και όψη τόξου

Στο τύμπανο μεταξύ των δύο τόξων στα κατάντη υπάρχει απώλεια λιθосωμάτων σε μια επαφάνεια 50cmx50cm. Από φωτογραφική σύγκριση προκύπτει ότι η συγκεκριμένη βλάβη συνέβη στην πλημμύρα του 1996. Παράλληλα εμφανίζονται σημάδια αποδιοργάνωσης της ακμής προς το ανατολικό ανακουφιστικό άνοιγμα με απώλεια κονιαμάτων.



Εικόνα 29: Απώλεια λιθосωμάτων στο τύμπανο μεταξύ των δύο κύριων τόξων.

Ως αίτιο θεωρείται η δράση των φερτών που έφραξαν το συγκεκριμένο ανατολικό ανακουφιστικό άνοιγμα.

Επισημαίνεται η αποκόλληση του λιθοσώματος του κλειδιού στην κατάντη όψη του μεγάλου δυτικού τόξου. Η συγκεκριμένη αποκόλληση θεωρείται σημαντική γιατί βρίσκεται δίπλα στο σκαλιστό λιθόσωμα του χαρακτηριστικού συμβόλου των κτιστών σε σχήμα ψαροκόκκαλου και είναι δυνατόν να υπάρξει μελλοντική απώλειά του. Το αίτιο της αποκόλλησης είναι δυνατόν να είναι οποιοδήποτε, είτε ατυχηματικό είτε λόγω κακής αρχικής σύνδεσης.



Εικόνα 30: Απώλεια λιθοσώματος κλειδιού κατάντη όψης δυτικού τόξου.

Παρατηρούνται επίσης απώλειες μικρών τμημάτων και τοπικές ρηγματώσεις σε συγκεκριμένα μεμονωμένα λιθοσώματα της όψης των τόξων, προφανώς λόγω τοπικών θλιπτικών πιέσεων.



Εικόνα 31: Απώλειες τμημάτων λιθοσωμάτων τόξων και ρηγματώσεις.

#### στ) Επίχωση τμήματος ανατολικού τόξου

Έχει σημειωθεί εκτεταμένη επίχωση του ανοίγματος του ανατολικού τόξου με φερτά της κοίτης κατά την διάρκεια της ζωής του γεφυριού. Σε περίπτωση νέου πλημμυρικού γεγονότος υφίσταται περαιτέρω κίνδυνος επιβάρυνσης του φορέα λόγω της απομείωσης της υδραυλικής διατομής στο συγκεκριμένο άνοιγμα.

Συμπερασματικά, εντοπίζονται αρκετές βλάβες στο γεφύρι διαφορετικού βαθμού σοβαρότητας. Οι παραπάνω βλάβες προτείνεται να αντιμετωπιστούν κατά το δυνατό στην φάση των επεμβάσεων σύμφωνα με τις προτάσεις της παρούσας μελέτης.

## **4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ**

### **4.1. ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ**

Για την τεκμηρίωση του γεφυριού, και πριν από το στάδιο της αποτύπωσής του, έγινε προσπάθεια συγκέντρωσης του διαθέσιμου υλικού όσον αφορά ιστορικά στοιχεία και βιβλιογραφικές αναφορές για την περίοδο κατασκευής, τους πιθανούς μάλιστα και την καταγωγή τους, έγιναν συγκριτικές διερευνήσεις με αντίστοιχα έργα της περιοχής και αναζητήθηκαν πληροφορίες για τα συμβάντα που πιθανόν καθόρισαν την σημερινή του μορφή και κατάσταση. Οι περιορισμένες πληροφορίες που συγκεντρώθηκαν συνθέτουν τα στοιχεία που δόθηκαν στο κεφάλαιο της περιγραφής του στην παρούσα έκθεση.

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στην αποτίμηση του γεφυριού απαιτεί σαν πρώτο βήμα την αποτύπωση της υφιστάμενης κατάστασης σε επίπεδο γεωμετρίας, του στατικού συστήματος του φορέα και της στοιχειοθέτησης της δομής του, και τέλος των χρησιμοποιούμενων υλικών.

Για την γεωμετρική αποτύπωση της γεφύρωσης εκτελέσθηκαν μετρήσεις υψηλής ακρίβειας με γεωδαιτικό σταθμό, οι οποίες σε συνδυασμό με φωτογραφικές σαρώσεις απέδωσαν την εξωτερική επιφάνεια του έργου με λεπτομέρεια. Με βάση τα αποτελέσματα της γεωμετρικής αποτύπωσης συντάχθηκε το τοπογραφικό σχέδιο της περιοχής του γεφυριού όπως και τα σχέδια όψεων και κατόψεων του. Η ψηφιακή απεικόνιση του έργου μεταφέρθηκε για την σύνθεση του υπολογιστικού προσομοιώματος που χρησιμοποιείται στην ανάλυσή του.

Η στατική αποτύπωση και αναγνώριση του Δομικού Συστήματος περιλάμβανε την αναγνώριση των κύριων φορέων, την σύνθεση των διαφόρων τμημάτων ως ενιαίου φορέα ανάληψης των απαιτούμενων δράσεων, των τύπων δόμησης των φορέων και την διερεύνηση των συνθηκών θεμελίωσης του γεφυριού. Επιβεβαιώθηκε η χρήση της τεχνικής με την οποία κατασκευάζονταν τα λίθινα γεφύρια, όπως περιγράφεται βιβλιογραφικά για τα πέτρινα γεφύρια της Θράκης της αντίστοιχης περιόδου. Συμπερασματικά, είναι προφανές ότι οι κύριοι φορείς είναι τα λίθινα τόξα τα οποία μεταφέρουν με κύρια λειτουργία αυτή της θλίψης τα απαιτούμενα φορτία στα βάθρα, τα οποία αναπτύσσονται μέχρι την γενέτειρα των τόξων και αποτελούν την έδρασή τους, και από εκεί στο βραχώδες υπόβαθρο της θεμελίωσης. Επάνω στα τόξα εκατέρωθεν αναπτύσσονται τα τύμπανα των όψεων ανάντη και κατάντη ως δίστρωτες τοιχοποιίες. Στο μέσον των τυμπάνων, επάνω στα βάθρα, μορφώνονται τα ανακουφιστικά ανοίγματα οριοθετημένα με καλά δομημένες λιθοδομές και τέλος το διάκενο πληρώνεται με ανεπεξέργαστα λιθοσώματα και κονίαμα χαμηλότερης ποιότητας. Ο φορέας του γεφυριού ολοκληρώνεται με την κάλυψη της άνω επιφάνειάς του με τα λιθοσώματα του καταστρώματος. Στο στάδιο της στατικής αποτύπωσης

πραγματοποιήθηκε και η διερεύνηση των βλαβών όπως περιγράφηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Τελευταίο και ιδιαίτερα σημαντικό βήμα στην αποτύπωση αποτέλεσε η αναγνώριση των υλικών της λιθοδομής και οι ιδιότητές τους που καθορίζουν τα μηχανικά χαρακτηριστικά της. Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή, όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο της περιγραφής του γεφυριού, είναι γνεύσιοι, μάρμαρα και αμφιβολίτες και είναι αυτά που συναντώνται στα πρηνή και την κοίτη στην ευρύτερη περιοχή του έργου. Η πρώτη προσέγγιση για τον καθορισμό των μηχανικών χαρακτηριστικών και ιδιοτήτων τους ήταν αυτή της χρησιμοποίησης τεκμηριωμένων βιβλιογραφικών αναφορών για τα αντίστοιχα υλικά οι οποίες έχουν διασταυρωθεί διαχρονικά για την ορθότητά τους και χρησιμοποιούνται εκτεταμένα σε μελέτες. Η ίδια προσέγγιση ακολουθήθηκε και στην εκτίμηση της αντοχής του ασβεστοκονιάματος για την οποία λήφθηκε συντηρητικά τιμή προς τα κάτω όρια των συνήθων αντοχών αυτής της ποιότητας και επιμέλειας κονιαμάτων. Πιο συγκεκριμένα λήφθηκαν, συντηρητικά, τιμές θλιπτικής αντοχής λιθοσωμάτων 50 MPa και κονιάματος 2.5 MPa. Οι συγκεκριμένες παραδοχές ελέγχθηκαν και με την διενέργεια κρουσιμετρήσεων στα λιθοσώματα που επιβεβαίωσαν την καλή ποιότητα τους. Σε επόμενο επίπεδο, μετά από υπόδειξη του ΚΣΝΜ κατά την φάση έγκρισης της οριστικής μελέτης σωστικών επεμβάσεων του έργου, λήφθηκαν δοκίμια λιθοσωμάτων και κονιάματος τα οποία και στάλθηκαν για ανάλυση στο εργαστήριο του Τμήματος Τεχνικών Ερευνών Αναστήλωσης και Προδιαγραφών της Διεύθυνσης Έρευνας και Τεχνικής Υποστήριξης Μελετών και Έργων Αναστήλωσης (ΔΕΤΥΜΕΑ). Τα αποτελέσματα των δοκιμών επιβεβαίωσαν τις βιβλιογραφικές αναφορές τόσο για τα λιθοσώματα όσο και για το κονίαμα (Παράρτημα Α). Πιο συγκεκριμένα, με την καθοδήγηση του εργαστηρίου, στάλθηκαν δείγματα λιθοσωμάτων (6 τεμάχια) και κονιάματος (3 δείγματα σε μορφή τεμαχίου και 6 δείγματα σε μορφή σκόνης) στα οποία διενεργήθηκαν έλεγχοι αντοχής και καθορισμού της σύστασής τους. Για τα λιθοσώματα γνευσιακής προέλευσης που αποτελούν και την πλειοψηφία στο φορέα του γεφυριού προέκυψαν αντοχές σε μονοαξονική θλίψη που κυμαίνονταν από 132 έως 154 MPa, με μέση τιμή 143 MPa (δύο δείγματα με μέσες τιμές 158.7 MPa και 132.4 MPa), για τα λιθοσώματα αμφιβολίτη αντοχές από 81.6 MPa έως 114.7 MPa με μέση τιμή 101 MPa (τρία δείγματα με μέσες τιμές 103,4 MPa, 107.0 MPa και 93.6 MPa) και για τα λιθοσώματα μαρμάρου τιμές από 60.1 έως 67.6 MPa (ένα δείγμα) με μέση τιμή 64.8 MPa. Για το κονίαμα δεν στάθηκε δυνατή η διενέργεια ελέγχου αντοχής παρά μόνο η χημική ανάλυση και η εξακρίβωση της σύστασής του. Η θλιπτική αντοχή εκτιμήθηκε στα επίπεδα της αρχικής παραδοχής και βάση των αναλύσεων δόθηκαν αναλυτικές συστάσεις παρασκευής κονιαμάτων αρμολογήματος και ενεμάτων με βάση την

υδραυλική άσβεστο, την ποζολάνη και την πυριτική άμμο ποταμού. Τα δεδομένα των δειγμάτων και τα εργαστηριακά αποτελέσματα παρατίθενται στα Παράρτηματα.

#### 4.2. ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Μετά την αποτύπωση του Δομικού Συστήματος τέθηκαν οι παραδοχές που θα ληφθούν υπόψη κατά την ανάλυση, τόσο για το προσομοίωμα που χρησιμοποιήθηκε όσο και για τους δράσεις που ασκούνται στον φορέα. Σημαντικό τμήμα της διαδικασίας αποτίμησης της φέρουσας ικανότητας αποτελεί η θέσπιση παραδοχών για τα κριτήρια επάρκειας των διατομών του φορέα, καθώς μέσω αυτών των κριτηρίων προκύπτουν τα συμπεράσματα και οι προτάσεις επεμβάσεων.

##### 4.2.1. ΑΝΤΟΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΥΛΙΚΩΝ

Με βάση τα αποτελέσματα της στατικής αποτύπωσης ως προς την μορφολογία του φέροντος οργανισμού, τα αποτελέσματα των εργαστηριακών αναλύσεων και την βιβλιογραφική και κανονιστική ανασκόπηση, επιλέγονται οι μηχανικές ιδιότητες των υλικών.

α) Θλιπτική αντοχή τοιχοποιίας

Χρησιμοποιείται η σχέση 2.6.3 του ΚΑΔΕΤ:

$$f_{wc} = \xi \left[ \frac{2}{3} \sqrt{f_{bc}} - f_0 \right] + \lambda f_{mc}$$

όπου,

$V_m, V_w$  ο όγκος του κονιάματος και ο όγκος της τοιχοποιίας

$f_{bc}$  η θλιπτική αντοχή του λιθοσώματος

$\lambda$  συντελεστής συνάφειας λιθοσώματος-κονιάματος,

$$\xi = 1 : [1 + 3,5(k - k_0)] < 1,0$$

$$k = (\text{όγκος κονιάματος}) : (\text{όγκος τοιχοποιίας}) = V_m / V_w \geq 0,30$$

$$k_0 = 0,30$$

Εάν  $V_m / V_w \leq 0,30$ , τότε λαμβάνεται  $\xi = 1,00$ .

ι) Τόξα κύρια και ανακουφιστικά:

Θεωρείται τιμή  $f_{bc} = 75 \text{ MPa}$ , ως μια μέση τιμή των πειραματικών δεδομένων  $100 \text{ MPa}$  απομειωμένη με συντελεστή  $0.75$  για ικανοποιητική διερεύνηση (οιονεί χαρακτηριστική τιμή).

$\lambda = 0.25$  λίγο τραχείς λίθοι

$f_0 = 0.50$  για κανονικούς λίθους

$V_m / V_w < 0.30$  άρα  $\xi = 1$

Κονίαμα  $f_{mc} = 2.5 \text{ MPa}$

Η χαρακτηριστική θλιπτική προκύπτει:  $f_{wc} = 5.9 \text{ MPa}$

ii) Τύμπανα όψεων και βάρθα:

Θεωρείται τιμή  $f_{bc}=75\text{MPa}$ , ως μια μέση τιμή των πειραματικών δεδομένων  $100\text{MPa}$  απομειωμένη με συντελεστή  $0.75$  για ικανοποιητική διερεύνηση.

$\lambda=0.20$  για αυξημένο ποσοστό λείων λίθων

$f_o=1.00$  για ημικανονικούς λίθους

$V_m/V_w=0.31$  άρα  $\xi=0.97$

Κονίαμα  $f_{mc}=2.5\text{MPa}$

Η χαρακτηριστική θλιπτική προκύπτει:  $f_{wc}=5.1\text{MPa}$

iii) Υλικό πλήρωσης:

Θεωρείται τιμή  $f_{bc}=75\text{MPa}$ , ως μια μέση τιμή των πειραματικών δεδομένων  $100\text{MPa}$  απομειωμένη με συντελεστή  $0.75$  για ικανοποιητική διερεύνηση.

$\lambda=0.15$  για αρκετά λείους λίθους

$f_o=2.50$  αργολιθοδομή πλήρωσης

$V_m/V_w=0.35$  άρα  $\xi=0.85$

Κονίαμα  $f_{mc}=1.0\text{MPa}$

Η χαρακτηριστική θλιπτική προκύπτει:  $f_{wc}=2.9\text{MPa}$

β) Μέτρο ελαστικότητας  $E_w$ :

Χρησιμοποιείται εκτίμηση μεταξύ τιμών που προκύπτουν από Πίνακα 5.1 σύμφωνα με EC8-3, της σχέσης του Hendry  $E_w=2f_{wc}/\epsilon_u$  και των ορίων του ΚΑΔΕΤ  $300 \div 1000 f_{wc}$  με τις ισχυρότερες τοιχοποιίες να κυμαίνονται στο κάτω όριο των τιμών.

i) Τόξα κύρια και ανακουφιστικά:

$E_{wc}=2*5.9/0.35\% \rightarrow E_w=3370\text{MPa}$  ( $\cong 570 f_{wc}$ )

ii) Τύμπανα όψεων και βάρθρα:

$E_{wc}=2*5.1/0.35\% \rightarrow E_w=2915\text{MPa}$  ( $\cong 570 f_{wc}$ )

iii) Υλικό πλήρωσης:

$E_{wc}=2*5.1/0.25\% \rightarrow E_w=2320\text{MPa}$  ( $\cong 800 f_{wc}$ )

γ) Μέτρο διάτμησης  $G_w$ :

Με τιμή του λόγου Poisson  $\nu=0.20$  για την τοιχοποιία και βάσει της σχέσης

$$G=E/2(\nu+1)$$

i) Τόξα κύρια και ανακουφιστικά:

$G=1400\text{MPa}$

ii) Τύμπανα όψεων και βάρθρα:

$G=1200\text{MPa}$

iii) Υλικό πλήρωσης:

$$G=950 \text{ MPa}$$

δ) Εφελκυστική αντοχή τοιχοποιίας  $f_{wt}$ .

Λαμβάνονται υπόψη οι συστάσεις του ΚΑΔΕΤ §6.4 και 6.5. Θα χρησιμοποιηθούν για εποπτικούς λόγους.

i) Τόξα κύρια και ανακουφιστικά:

$$\text{Για αντοχή } f_{wc}=5.9 \text{ MPa} > 5.0 \text{ MPa} \rightarrow f_{wt}=0.40 \text{ MPa}$$

ii) Τύμπανα όψεων και βάθρα:

$$\text{Για αντοχή } f_{wc}=5.1 \text{ MPa} > 5.0 \text{ MPa} \rightarrow f_{wt}=0.40 \text{ MPa}$$

iii) Υλικό πλήρωσης:

$$\text{Για αντοχή } f_{wc}=2.9 \text{ MPa} > 2.0 \text{ MPa} \rightarrow f_{wt}=0.20 \text{ MPa}$$

ε) Διατμητική αντοχή τοιχοποιίας  $f_v$ .

Σύμφωνα με τον ΚΑΔΕΤ και του Πίνακες 5.1/5.2 του EC8-3 ισχύει η σχέση:

$f_v = f_{v0} + \mu \times \sigma < 0.0565 f_{bc}$  των λιθοσωμάτων. Ο συντελεστής τριβής  $\mu$  συνίσταται να ληφθεί αυξημένος για δόμημα αρχιτεκτονικής αξίας. Τυπική τιμή  $\mu=0.40$  άρα λαμβάνεται  $\mu=0.50$ .

i) Τόξα κύρια και ανακουφιστικά:

$$\text{Τύπος VI: } f_{v0}=0.22 \text{ MPa και } \lambda_1=1.20 \rightarrow f_{v0}=0.26 \text{ MPa}$$

Η επίλυση για IB δίνει  $\sigma_{max}=0.3 \text{ MPa}$  θλιπτική, εκτίμηση τυπικής τιμής  $0.25 \text{ MPa}$  άρα  $f_v=0.38 \text{ MPa}$ .

ii) Τύμπανα όψεων και βάθρα:

$$\text{Τύπος V: } f_{v0}=0.15 \text{ MPa και } \lambda_1=1.60 \rightarrow f_{v0}=0.24 \text{ MPa}$$

Η επίλυση για IB δίνει  $\sigma_{max}=0.27 \text{ MPa}$  θλιπτική, εκτίμηση τυπικής τιμής  $0.20 \text{ MPa}$  άρα  $f_v=0.33 \text{ MPa}$ .

iii) Υλικό πλήρωσης:

$$\text{Τύπος I: } f_{v0}=0.10 \text{ MPa (τιμή βιβλιογραφίας και EC6)}.$$

Η επίλυση για IB δίνει  $\sigma_{max}=0.21 \text{ MPa}$  θλιπτική, εκτίμηση τυπικής τιμής  $0.10 \text{ MPa}$  άρα  $f_v=0.15 \text{ MPa}$ .

στ) Ειδικό βάρος  $\gamma_w$ .

i) Τόξα κύρια και ανακουφιστικά:

Για λιθοσώματα κυρίως γνευσιακής προέλευσης από βιβλιογραφία,  $\gamma_w=26 \text{ kN/m}^3$ .

ii) Τύμπανα όψεων και βάρθα:

Για περισσότερα διάκενα και κονίαμα,  $\gamma_w=23 \text{ kN/m}^3$ .

iii) Υλικό πλήρωσης:

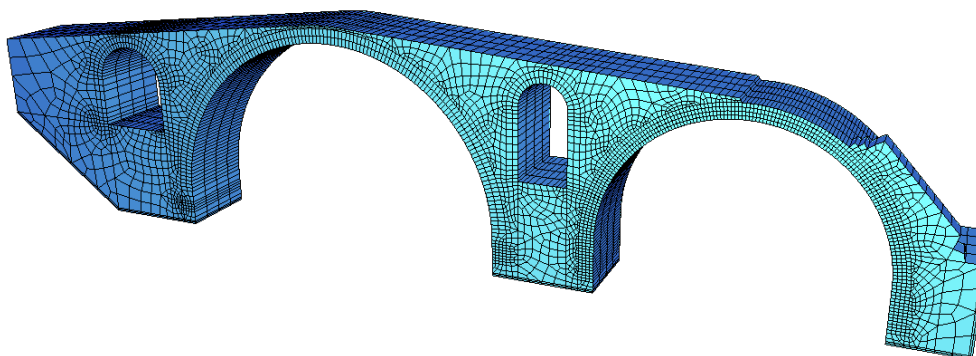
Για αργολιθοδομές, τύπος II πίνακας 5.1 EC8-3,  $\gamma_w=20 \text{ kN/m}^3$ .

Συνοπτικός πίνακας παραδοχών μηχανικών ιδιοτήτων υλικών:

a/α	Υλικό	Θλιπτική αντοχή $f_{wc}$ (MPa)	Εφελκυστική αντοχή $f_{wt}$ (MPa)	Μέτρο ελαστικότητας $E_w$ (MPa)	Μέτρο διάτμησης $G_w$ (MPa)	Λόγος Poisson $\nu$ (-)	Διατμητική αντοχή $f_v$ (MPa)	Ειδικό βάρος $\gamma_w$ (kN/m <sup>3</sup> )
1	Τόξα	5.9	0.40	3370	1400	0.20	0.38	26
2	Τύμπανα	5.1	0.40	2915	1200	0.20	0.33	23
3	Πυρήνας	2.9	0.20	2320	950	0.20	0.15	20

#### 4.2.2. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΦΟΡΕΑ

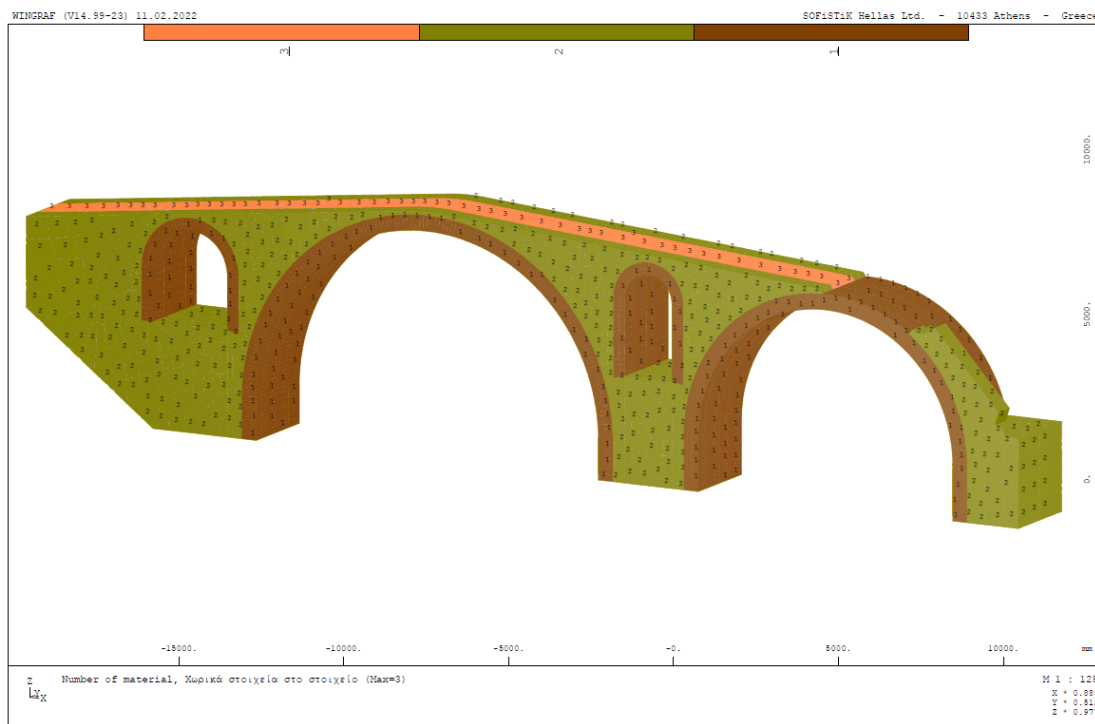
Ο φορέας προσομοιώνεται με βάση την γεωμετρική αποτύπωση με χωρικά πεπερασμένα στοιχεία (Brick elements) τα οποία θεωρείται ότι περιγράφουν ορθότερα την λειτουργία του στατικού φορέα με βάση την ιδιομορφία του, την πολυπλοκότητα και την μη συμβατική μορφή του (αναφορά ΚΑΔΕΤ σε ανάλυση με πεπερασμένα στοιχεία όγκου §5.3.3.1).



Εικόνα 32: Στατικό προσομοίωμα φορέα με χωρικά πεπερασμένα στοιχεία.

Με την χρήση των εξαεδρικών πεπερασμένων στοιχείων τύπου brick περιγράφεται ο εξωτερικός ισχυρός φλοιός του φορέα της γέφυρας και αποδίδεται η διαφορετική σύνθεση του σώματος κατά την εγκάρσια διεύθυνση, ως τρίστρωτη λιθοδομή, με χρήση των διαφορετικών υλικών και παραδοχών του προηγούμενου κεφαλαίου.





Εικόνα 33: Η διακριτοποίηση του φορέα ανάλογα με το υλικό.

Η έδραση των βάθρων υλοποιείται επί ισχυρού βραχώδους υπεδάφους, σε άγνωστο βάθος αφού δεν ήταν δυνατή κατά την φάση της αποτύπωσης η αποκάλυψη των θεμελίων. Για τους σκοπούς της προσομοίωσης επιλέχθηκε η χρήση ελαστικής έδρασης κατά Winkler των πεπερασμένων στοιχείων της βάσης των βάθρων με μεγάλη τιμή ελατηριακής σταθεράς έδρασης της τάξης του  $1E6 \text{ kN/m}^3$ , θεώρηση που εκτιμάται ότι περιγράφει ορθότερα την συμπεριφορά του υπεδάφους όσο και την φύση της έδρασης των λιθοσωμάτων σε αυτό.

Για τον προσδιορισμό των εντατικών μεγεθών λόγω της ισχυρώς ψαθυρής φύσης χρησιμοποιήθηκε προσομοίωμα με ελαστική συμπεριφορά το οποίο, για παρόμοιες περιπτώσεις, παρουσιάζει ικανοποιητική αξιοπιστία και το οποίο επιπλέον εμφανίζει αποτελέσματα εποπτικά και άμεσα αναγνωρίσιμα.

Επί του φορέα του προσομοιώματος ασκούνται τα μόνιμα, κινητά και σεισμικά φορτία που περιγράφονται στο επόμενο κεφάλαιο.

#### 4.2.3. ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ ΦΟΡΕΑ ΓΕΦΥΡΙΟΥ

Οι φορτίσεις του φορέα που λαμβάνονται υπόψη αναφέρονται στα παρακάτω:

##### A. ΜΟΝΙΜΑ ΦΟΡΤΙΑ

##### 1. ΙΔΙΟ ΒΑΡΟΣ: LC1

Λαμβάνεται αυτόματα με βάση τα υλικά και τις ιδιότητές τους, όπως περιγράφηκαν στα προηγούμενα:

Λιθοδομή τόξων:  $\gamma=26 \text{ kN/m}^3$

Λιθοδομή τυμπάνων και βάθρων:  $\gamma=23 \text{ kN/m}^3$

Λιθοδομή πλήρωσης:  $\gamma=20 \text{ kN/m}^3$

## B. ΜΕΤΑΒΛΗΤΑ ΦΟΡΤΙΑ

### 1. ΚΙΝΗΤΟ ΦΟΡΤΙΟ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ: LC10 έως LC17

Θεωρείται ομοιόμορφο φορτίο κυκλοφορίας (λόγω επισκεψιμότητας):  
 $q=5.0 \text{ kN/m}^2$ .

Το φορτίο εφαρμόζεται τμηματικά σε περιοχές του καταστρώματος ώστε τελικά να προκύπτουν οι κρίσιμοι συνδυασμοί του ανά θέση ελέγχου (γραμμές επιρροής).

### 2. ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ ΕΤΗΣΙΑΣ ΠΑΡΟΧΗΣ: LC20

Το υδροδυναμικό φορτίο για την ετήσια παροχή η οποία έχει υπολογιστεί σε προγενέστερα μελετητικό στάδιο και είναι  $Q_1=270 \text{ m}^3/\text{sec}$  με  $u_{\max}=2.54 \text{ m/sec}$  και Α.Σ.Υ.  $h_{\max}=101.5\text{m}$ , προκύπτει από την σχέση 4.1 του EN 1991-1-6:  $F_{wa} = 1/2 k \rho_{wa} h b u_{wa}^2$ , όπου  $k=1.44$  για κάθετη επιφάνεια και  $k=0.70$  για κυκλική. Θεωρώντας  $\rho_{wa}=1000\text{kg/m}^3$ , προκύπτει επιφανειακή πίεση:

α)  $p=0 \div 2.7 \text{ kN/m}^2$  τριγωνική κατανομή μέχρι την στέψη του υδατοθραύστη ( $\Delta h=1.82\text{m}$ ) για  $k=0.70$  και

β)  $p=4.5 \div 9.3 \text{ kN/m}^2$  τραπεζοειδής κατανομή από την στέψη του υδατοθραύστη έως την Α.Σ.Υ. ( $\Delta h=1.45\text{m}$ ) για  $k=1.44$

### 3. ΦΟΡΤΙΟ ΑΝΩΣΗΣ ΕΤΗΣΙΑΣ ΠΑΡΟΧΗΣ: LC21

Ασκείται φορτίο άνωσης  $\gamma=10\text{kN/m}^3$  έως την Α.Σ.Υ. για ετήσια παροχή ( $\Delta h=4.07\text{m}$  από την θεμελίωση).

Στα μεταβλητά φορτία δεν εξετάζονται φορτία χιονιού και ανέμου λόγω της προφανούς μικρής επίδρασής τους.

## Γ. ΤΥΧΗΜΑΤΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ

### 1. ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ ΠΑΡΟΧΗΣ 50ΕΤΙΑΣ: LC60

Το υδροδυναμικό φορτίο για την παροχή πενήκονταετίας η οποία έχει υπολογιστεί σε προγενέστερα μελετητικό στάδιο και είναι  $Q_1=520 \text{ m}^3/\text{sec}$  με  $u_{\max}=2.00 \text{ m/sec}$  και Α.Σ.Υ.  $h_{\max}=102.5\text{m}$ , προκύπτει από την σχέση 4.1 του EN 1991-1-6:  $F_{wa} = 1/2 k \rho_{wa} h b u_{wa}^2$ , όπου  $k=1.44$  για κάθετη επιφάνεια και  $k=0.70$  για κυκλική. Θεωρώντας  $\rho_{wa}=1000\text{kg/m}^3$ , προκύπτει επιφανειακή πίεση:

α)  $p=0 \div 2.6 \text{ kN/m}^2$  τριγωνική κατανομή μέχρι την στέψη του υδατοθραύστη ( $\Delta h=1.82\text{m}$ ) για  $k=0.70$  και

β)  $p=2.6\div 5.8 \text{ kN/m}^2$  τραπεζοειδής κατανομή από την στέψη του υδατοθραύστη έως την Α.Σ.Υ. ( $\Delta h=1.45\text{m}$ ) για  $k=1.44$

## 2. ΦΟΡΤΙΟ ΑΝΩΣΗΣ ΕΤΗΣΙΑΣ ΠΑΡΟΧΗΣ: LC61

Ασκείται φορτίο άνωσης  $\gamma=10\text{kN/m}^3$  έως την Α.Σ.Υ. για ετήσια παροχή ( $\Delta h=5.07\text{m}$  από την θεμελίωση).

### Δ. ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ

Θα χρησιμοποιηθεί το φάσμα σχεδιασμού του EC8-1 με τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

$\gamma_i=1.20$  συντελεστής σπουδαιότητας,

$q=1.00$  συντελεστής συμπεριφοράς (άοπλη τοιχοποιία),

Ζώνη I,  $a_{gR}=0.16g$  (Ξάνθη),

Έδαφος κατηγορίας A:  $S=1.00$ ,  $T_B=0.15\text{sec}$ ,  $T_C=0.40\text{sec}$ ,  $T_D=2.5\text{sec}$ ,

$\xi=20\%$  ιξώδης απόσβεση (ΚΑΔΕΤ, σύσταση ΟΑΣΠ):  $\eta=0.63$ ,

Κατακόρυφο φάσμα:  $a_v=0.9a_{gR}$ ,  $T_B=0.05\text{sec}$ ,  $T_C=0.15\text{sec}$ ,  $T_D=1.0\text{sec}$ .

## 5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ

Εξετάστηκαν συνδυασμοί των παραπάνω δράσεων τόσο σε οριακές καταστάσεις αστοχίας για την διερεύνηση της τάξεως των αναπτυσσόμενων εντάσεων σε όρους κύριων θλιπτικών και εφελκυστικών τάσεων και μέγιστων διατμητικών, όσο και οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας για την αποτίμηση της απόκρισης σε όρους παραμορφώσεων, με αντίστοιχη θεώρηση των επιμέρους συντελεστών ασφαλείας δράσεων των σύγχρονων κανονισμών και συστάσεων του ΚΑΔΕΤ. Συγκεκριμένα:

- Για τους συνδυασμούς σε οριακή κατάσταση αστοχίας χρησιμοποιήθηκαν οι σχέσεις 6.10α και 6.10.β του EN 1990

$$6.10\alpha: \gamma_{G,j} G_{k,j} + \sum \gamma_{Q,i} \psi_{o,i} Q_{k,i}$$

$$6.10\beta: \xi \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \psi_{o,1} Q_{k,1} + \sum \gamma_{Q,i} \psi_{o,i} Q_{k,i}$$

$$\text{όπου: } \gamma_g = 1.35 / 1.00$$

$$\gamma_Q = 1.35 / 0.00 \text{ για φορτία πεζών και } \psi_o = 0.40$$

$$\gamma_Q = 1.50 / 0.00 \text{ για υδροδυναμικά φορτία και } \psi_o = 1.00$$

$$\gamma_Q = 1.35 / 1.00 \text{ για φορτίο άνωσης και } \psi_o = 1.00$$

$$\text{και } \xi = 0.85, \text{ ώστε } \xi \gamma_G = 1.15$$

- Ως συνδυασμός σε οριακή κατάσταση λειτουργικότητας θεωρήθηκε ο οιονεί μόνιμος του Πίνακα Α 2.6.:  $G_{k,j} + \sum \psi_{2,i} Q_{k,i}$ .

Με δεδομένο ότι για τα φορτία πεζών  $\psi_2 = 0.0$ , ως παραμορφωσιακά κριτήρια λειτουργικότητας ισχύουν τα αποτελέσματα της φόρτισης του ίδιου βάρους.

- Ως τυχηματικός συνδυασμός χρησιμοποιήθηκε ο συνδυασμός της σχέσης:

$$6.11 \alpha/\beta: G_{k,j} + A_d + \sum \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

- Ως σεισμικός συνδυασμός λαμβάνεται αυτός της σχέσης:

$$6.12 \alpha/\beta: G_{k,j} \text{ “+” } E_d + \sum \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Ο φορέας του γεφυριού αναλύθηκε για τη υφιστάμενη κατάσταση ώστε να διαπιστωθεί το επίπεδο επάρκειας και να εκτιμηθούν οι περιοχές αυξημένης έντασης.

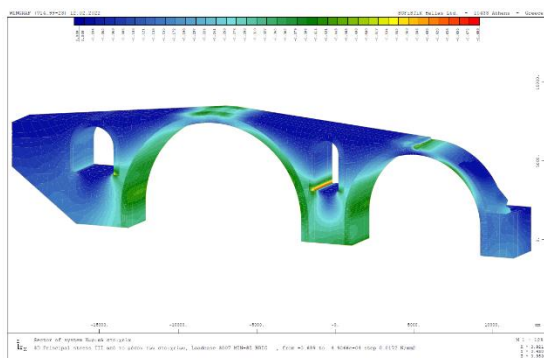
Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης του χωρικού προσομοιώματος του γεφυριού χρησιμοποιήθηκαν δύο επίπεδα ελέγχου. Οι έλεγχοι περιορίζονται στο ισχυρότερο φέρον εξωτερικό κέλυφος του φορέα.

Σε πρώτο επίπεδο ελέγχου εξετάστηκε το εύρος των αναπτυσσόμενων κύριων τάσεων  $\sigma_I$  έως  $\sigma_{III}$  και των μέγιστων διατμητικών τάσεων  $T_{v,max}$  στην φέρουσα λιθοδομή του γεφυριού όπως αυτές προκύπτουν από τους συνδυασμούς δράσεων που προαναφέρθηκαν. Οι τάσεις αυτές συγκρίθηκαν με τις τάσεις σχεδιασμού που προκύπτουν από τις χαρακτηριστικές αντοχές της φέρουσας λιθοδομής.

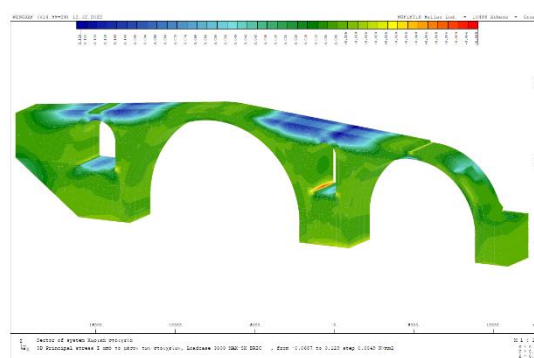
Στα ενδεικτικά σκαριφήματα ισοτασικών περιοχών που παρουσιάζονται, διαπιστώνεται ότι οι αναπτυσσόμενες τάσεις βρίσκονται γενικώς, πλην ελαχίστων περιοχών, εντός των επιτρεπόμενων ορίων, γεγονός αναμενόμενο λόγω της ποιότητας κατασκευής και της ορθής μορφολογίας του φορέα. Με θεώρηση τιμής συντελεστή ασφαλείας  $\gamma_m=1.35$  και με βάση τις χαρακτηριστικές τιμές αντοχών παράλληλα με τις συστάσεις του ΚΑΔΕΤ στο 6<sup>ο</sup> κεφάλαιο, προκύπτουν ως οριακές τιμές θλιπτικής αντοχής οι ακόλουθες ανά group στοιχείων:

α/α	Υλικό	Θλιπτική αντοχή $f_{wc}$ (MPa)	Εφελκυστική αντοχή $f_{wt}$ (MPa)	Διατμητική αντοχή $f_v$ (MPa)
1	Τόξα	4.4	0.30	0.28
2	Τύμπανα	3.8	0.30	0.24
3	Πυρήνας	2.1	0.15	0.11

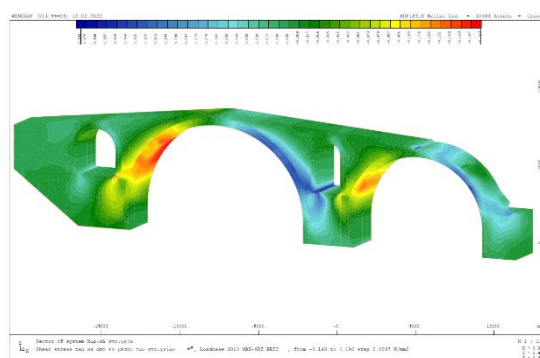
Πιο συγκεκριμένα, από την ανάλυση για τους στατικούς συνδυασμούς δράσεων προέκυψε ότι οι μέγιστες κύριες θλιπτικές τάσεις κυμαίνονται στην περιοχή των 0.50 MPa στην βάση των τόξων, οι αντίστοιχες εφελκυστικές στα 0.13 MPa στις στέψεις των τυμπάνων, ενώ οι διατμητικές τάσεις στα εσωράχια των τόξων, στην περιοχή του μέσου ύψους, με τιμές της τάξης των 0.20 MPa.



Εικόνα 34: Κύριες τάσεις  $\sigma_3$  (στατικοί)



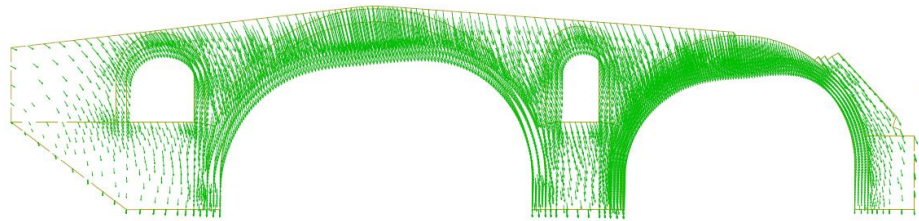
Εικόνα 35: Κύριες τάσεις  $\sigma_1$  (στατικοί)



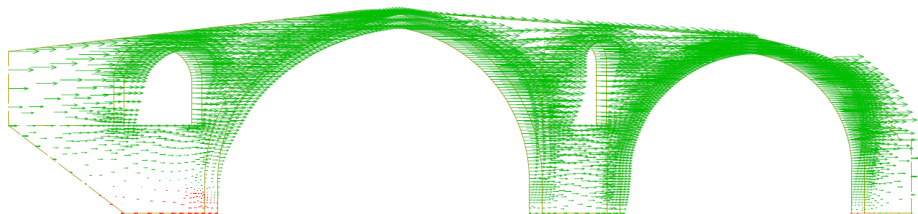
Εικόνα 36: Μέγιστες διατμητικές τάσεις (στατικοί)

Με βάση τα αποτελέσματα της ανάλυσης προκύπτει ότι με βάση την σύγκριση σε επίπεδο κυρίων τάσεων και μέγιστων διατμητικών, όσον αφορά τους συνδυασμούς σε οριακή κατάσταση αστοχίας, δεν παρατηρούνται υπερβάσεις στις αντοχές των υλικών.

Η παραμορφωσιακή κατάσταση για τα μόνιμα φορτία (ίδιο βάρος), δείχνει την τάση μετατόπισης του φορέα προς τα ανατολικά, γεγονός που οφείλεται στην ασυμμετρία του γεφυριού μετά την απώλεια του ανατολικού του τμήματος. Η συνολική μετατόπιση προκύπτει  $d=1.5\text{mm}$  στην στέψη του κυρίου τόξου:

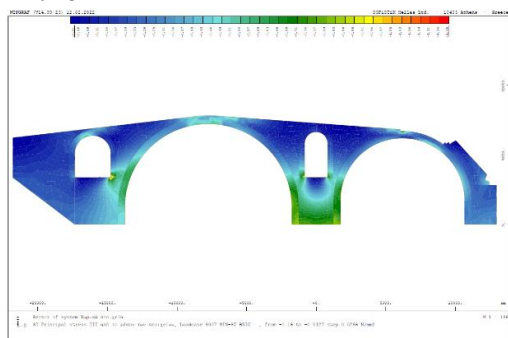


Εικόνα 37: Συνολικό διάνυσμα μετατόπισης στην ΟΚΛ

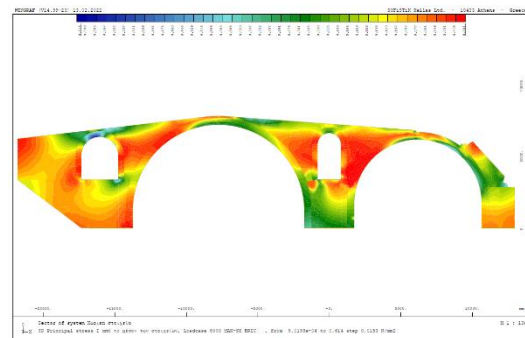


Εικόνα 38: Οριζόντια συνιστώσα διανύσματος μετατόπισης

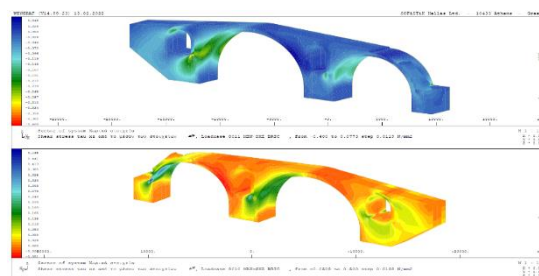
Στην περίπτωση των σεισμικών συνδυασμών δράσεων προέκυψαν, όπως ήταν αναμενόμενο, αυξημένες εντάσεις οι οποίες όσον αφορά τις μέγιστες θλιπτικές τάσεις κυμαίνονται στην περιοχή των 1.2 MPa στην βάση των τόξων, τις αντίστοιχες μέγιστες εφελκυστικές στα 0.6 MPa ενώ παρατηρούνται και υπερβάσεις στις διαμητικές τάσεις στις παρειές του τόξου στην περιοχή του μέσου ύψους με τιμές της τάξης των 0.35 MPa.



Εικόνα 39: Κύριες τάσεις  $\sigma_3$  (σεισμικοί)

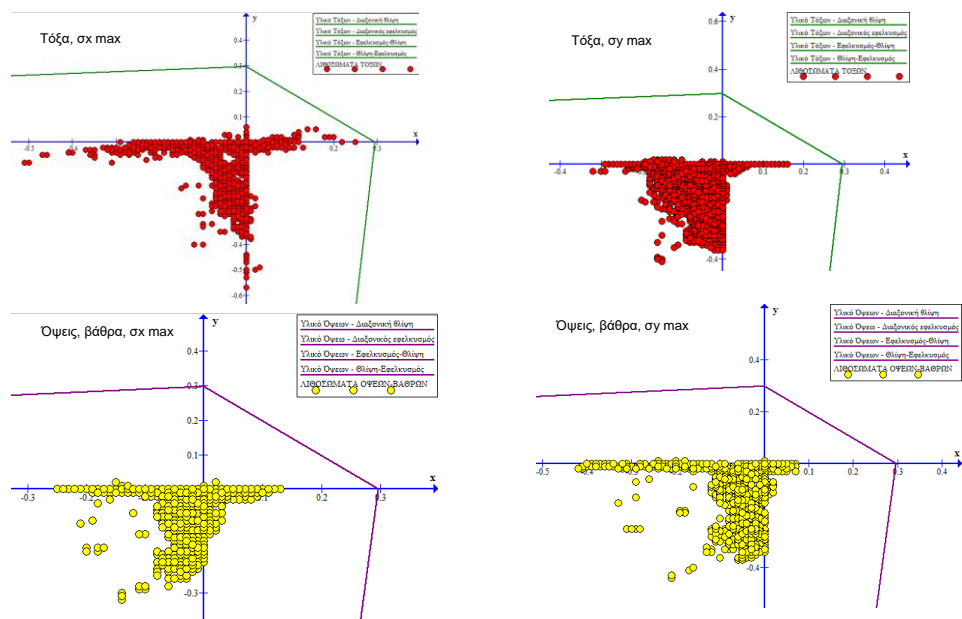


Εικόνα 40: Κύριες τάσεις  $\sigma_1$  (σεισμικοί)

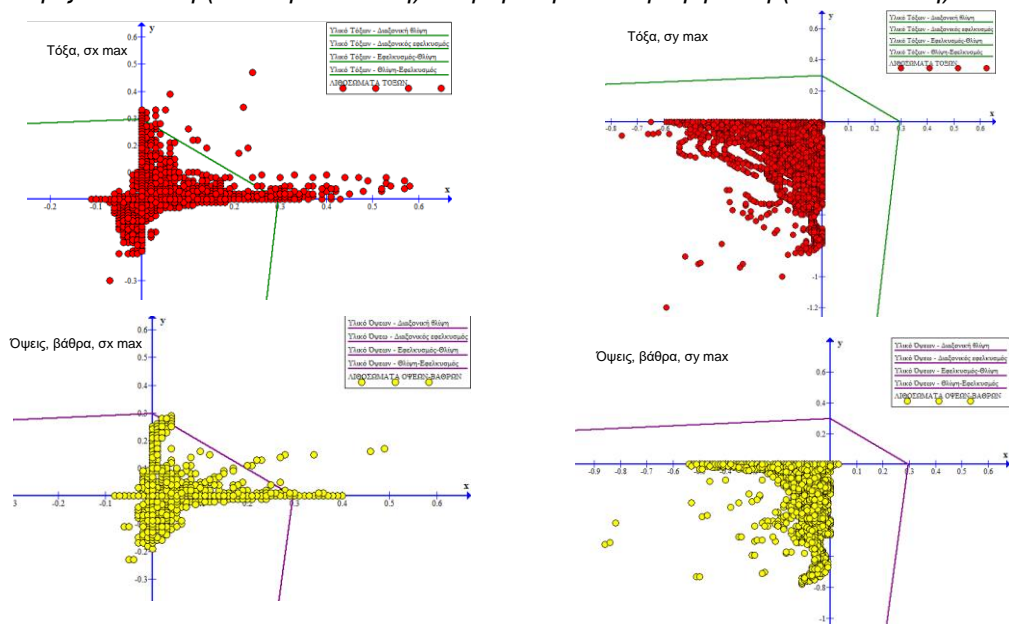


Εικόνα 41: Μέγιστες διαμητικές τάσεις (σεισμικοί)

Σε δεύτερο επίπεδο ελέγχου διερευνήθηκε η φέρουσα ικανότητα με βάση κριτήρια αστοχίας υπό διαξονική ένταση. Χρησιμοποιήθηκαν κριτήρια αστοχίας για τοιχοποιίες από αντίστοιχες εργασίες και δημοσιεύσεις (Συρμακέζης Κ./Αστερής Π. και Καραντώνη Φ./Φαρδής Μ./Βιντζηλαίου Ε./Χαρίση Α.), κατάλληλα προσαρμοσμένα στις ιδιότητες και αντοχές της συγκεκριμένης λιθοδομής. Με βάση τα αποτελέσματα της σύγκρισης και όσον αφορά στην υφιστάμενη κατάσταση επιβεβαιώνεται ότι η αναπτυσσόμενη ένταση στο κυρίως φέρον εξωτερικό κέλυφος του γεφυριού βρίσκεται εντός των επιτρεπομένων ορίων για τους στατικούς συνδυασμούς δράσεων και υπάρχουν μεμονωμένες υπερβάσεις υπό σεισμικούς συνδυασμούς δράσεων σε κάποια στοιχεία του φορέα.

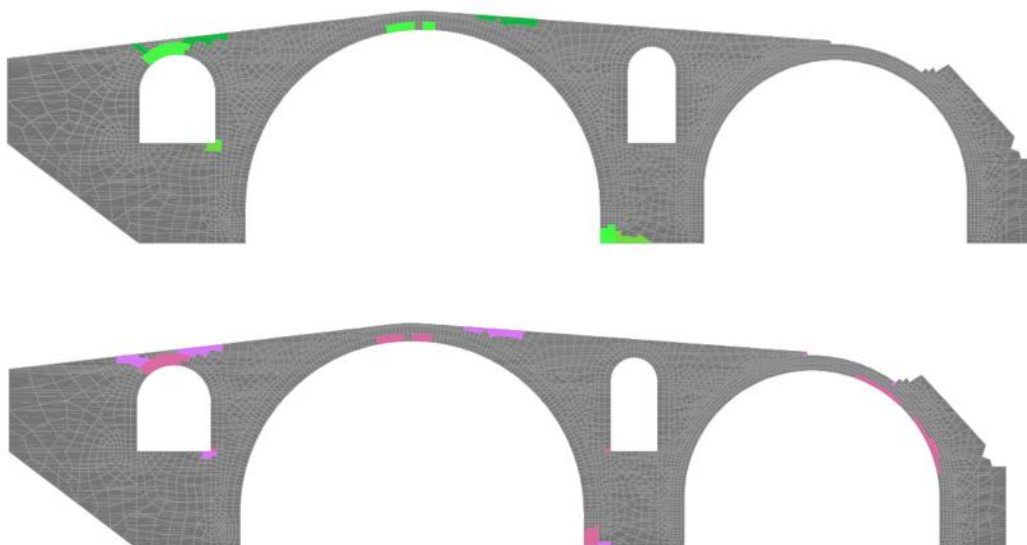


Εικόνα 42: Ενδεικτικά αποτελέσματα κριτηρίου αστοχίας Συρμακέζη-Αστερή για τα λιθοσώματα τόξων και όψεων-βάρθων (στατικοί συνδυασμοί). Περιβάλλουσα συνδυασμών για μέγιστη οριζόντια τάση (max εφελκυστική) και μέγιστη κατακόρυφη τάση (max θλιπτική).



Εικόνα 43: Αντίστοιχα ενδεικτικά αποτελέσματα κριτηρίου αστοχίας για σεισμικούς συνδυασμούς

Η εφαρμογή των δύο προαναφερθέντων κριτηρίων αστοχίας έδωσαν παρόμοιες περιοχές υπερβάσεων των αντοχών της λιθοδομής.



Εικόνα 44: Αποτελέσματα υπερβάσεων για σεισμικούς συνδυασμούς με βάση το κριτήριο των Συρμακέζη (άνω) και Καραντώνη (κάτω).

Με βάση τις υπερβάσεις των αναλύσεων για σεισμικές δράσεις αλλά και τα ευρήματα της παθολογίας του φορέα όπως αυτά περιγράφηκαν στα προηγούμενα, προτείνονται επεμβάσεις αποκατάστασης και ενίσχυσης της φέρουσας ικανότητας του φορέα του γεφυριού. Η συνεισφορά των επεμβάσεων στην συμπεριφορά του φορέα, ελέγχθηκε με θεώρηση αυξημένων αντοχών σύμφωνα με κανονιστικές συστάσεις και σχέσεις (ΚΑΔΕΤ, βιβλιογραφία) και αξιολογήθηκε η αποτελεσματικότητά τους. Οι επεμβάσεις που προτείνονται αφορούν βαθιά αρμολογήματα, ενέματα και αποκατάσταση απώλειας λιθοσωμάτων στο σώμα της λιθοδομής. Πιο συγκεκριμένα:

i) Αρμολογήματα: εφαρμόζονται στα τόξα, τα βάθρα και τις όψεις ανάντη και κατόντη προς αναπλήρωση σε περιοχές απώλειας ή και σαθρών κονιαμάτων.

α) Από άποψη μηχανικών αντοχών θεωρείται ότι απλά αντικαθιστούν την αρχική αντοχή

β) Επιτυγχάνεται σφράγισμα των αρμών για εφαρμογή ενεμάτων

γ) Εξασφαλίζουν την υδραυλική προστασία μέσω στεγάνωσης της λιθοδομής.

ii) Ενέματα μάζας: εφαρμόζονται κατά σειρά προτεραιότητας στα τόξα, στα βάθρα έως την στέψη των ανακουφιστικών ανοιγμάτων και στις όψεις του δυτικού ακροβάθρου.



α) Θλιπτική αντοχή λιθοδομής:

αύξηση της θλιπτικής αντοχής σύμφωνα με την σχέση:  $f_{wcs}=f_{wco}[1+(15 V_{gr}/V_o)^2]$

όπου:  $V_{gr}/V_o= 5\%$  (όγκος ενέματος προς όγκο λιθοδομής, συντηρητική παραδοχή)

$f_{wco}$  η αρχική τιμή της θλιπτικής αντοχής της λιθοδομής

Συνεπώς προκύπτει  $f_{wcs}=1.56f_{wco}$

Θεωρείται συντηρητικά αύξηση της αντοχής μόνο κατά 20%.

β) Η εφελκυστική αντοχή θεωρείται ότι αυξάνεται κατά το ίδιο ποσοστό.

Συνεπώς προκύπτει  $f_{wts}=1.20f_{wto}$

γ) Το μέτρο ελαστικότητας λαμβάνεται αμετάβλητο.

δ) Η διατμητική αντοχή θεωρείται αμετάβλητη.

Με βάση τα παραπάνω ο συνοπτικός πίνακας ιδιοτήτων σχεδιασμού μεταβάλλεται ως εξής:

α/α	Υλικό	Θλιπτική αντοχή $f_{wc}$ (MPa)	Εφελκυστική αντοχή $f_{wt}$ (MPa)	Διατμητική αντοχή $f_v$ (MPa)
1	Τόξα	5.2	0.36	0.28
2	Βάθρα	4.5	0.36	0.28
2	Τύμπανα	3.8	0.30	0.24
3	Πυρήνας	2.9	0.15	0.11

ε) Το ίδιο βάρος με την προσθήκη των ενεμάτων μεταβάλλεται ως εξής:

i) Λιθοδομή τόξων:  $\gamma=27\text{kN/m}^3$ ,

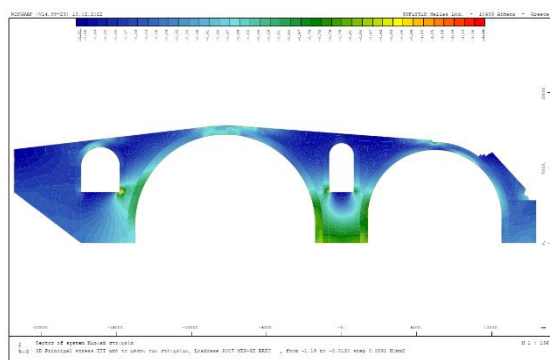
ii) Λιθοδομή βάθρων:  $\gamma=24\text{ kN/m}^3$ ,

iii) Λιθοδομή όψεων:  $\gamma=23\text{ kN/m}^3$ ,

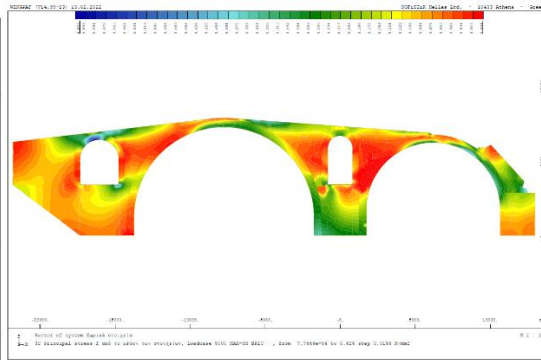
iv) Λιθοδομή πυρήνα:  $\gamma=20\text{ kN/m}^3$ .

Στα ενδεικτικά σκαριφήματα ισοστασικών περιοχών που παρουσιάζονται για τον ενισχυμένο φορέα και για τους σεισμικούς συνδυασμούς, όπου υπήρχαν οι υπερβάσεις στην υφιστάμενη κατάσταση, διαπιστώνεται ότι οι αναπτυσσόμενες τάσεις βρίσκονται γενικώς πλην ελαχίστων περιοχών εντός των επιτρεπόμενων ορίων.

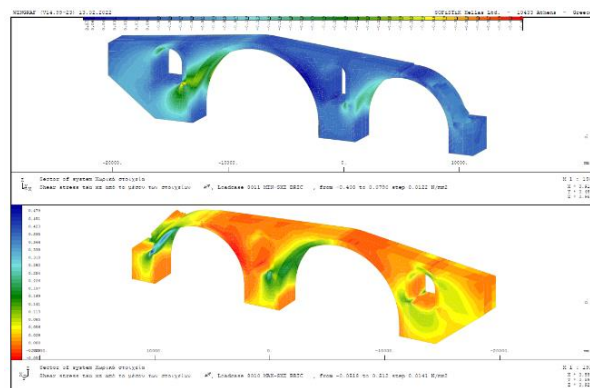
Πιο συγκεκριμένα, από την ανάλυση για τους σεισμικούς συνδυασμούς δράσεων προέκυψε ότι οι μέγιστες κύριες θλιπτικές τάσεις κυμαίνονται και πάλι στην περιοχή των 1.2 MPa στην βάση των τόξων, οι αντίστοιχες εφελκυστικές στα 0.63 MPa στις στέψεις των τυμπάνων, ενώ οι διατμητικές τάσεις στα εσωράχια των τόξων, στην περιοχή του μέσου ύψους, με τιμές της τάξης των 0.32 MPa.



Εικόνα 45: Κύριες τάσεις  $\sigma_3$  (σεισμική)



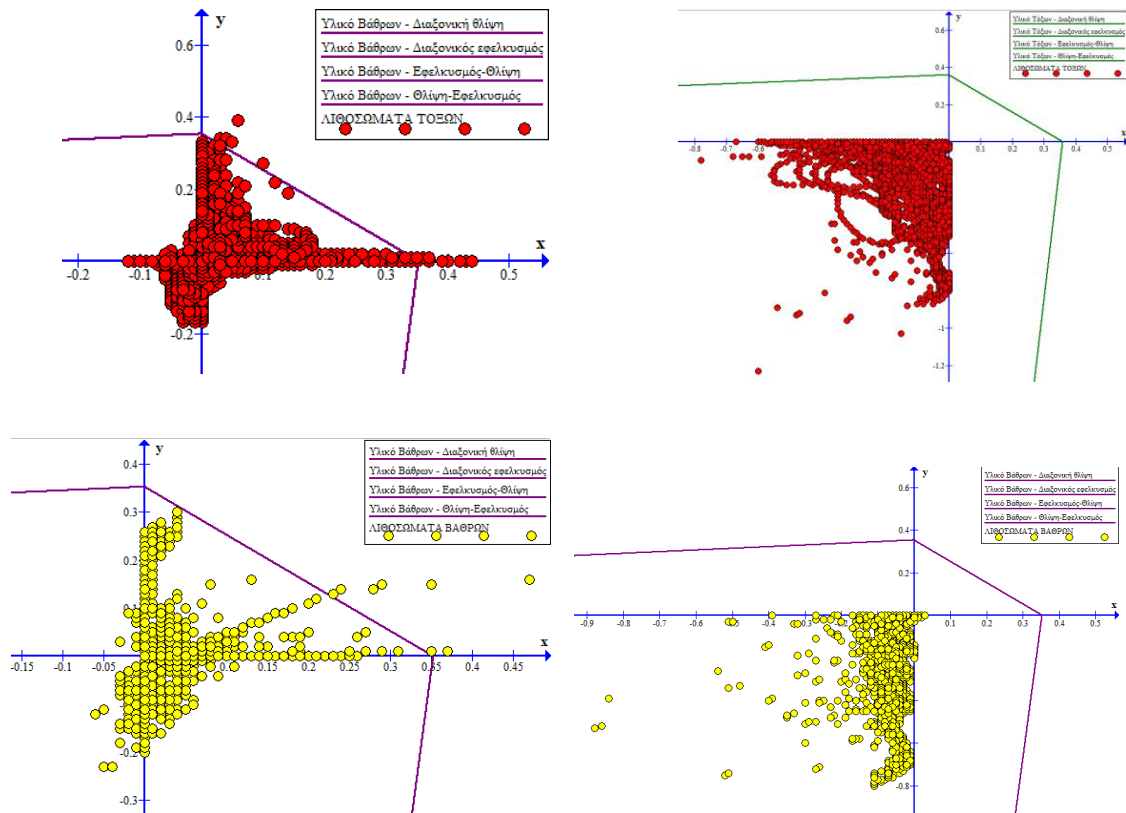
Εικόνα 46: Κύριες τάσεις  $\sigma_1$  (σεισμική)



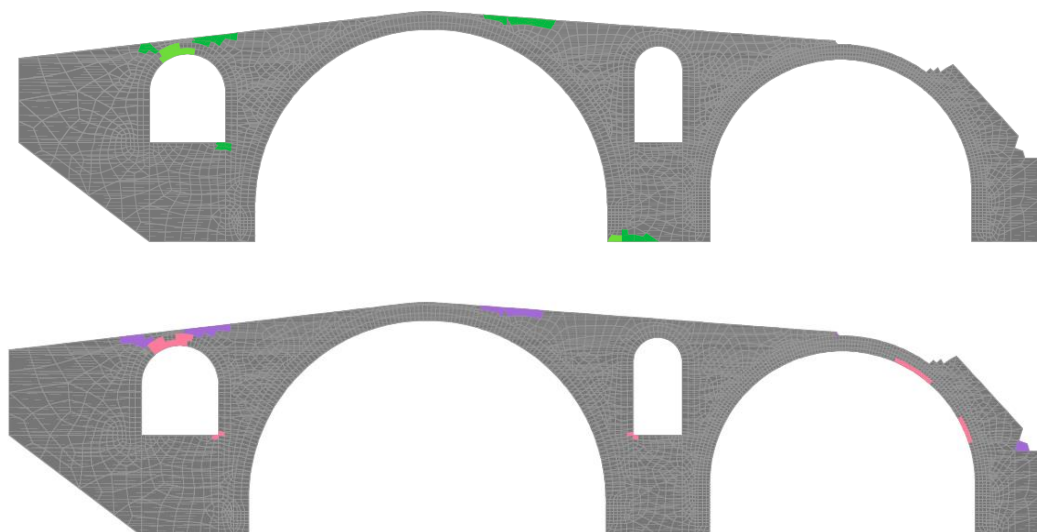
Εικόνα 47: Μέγιστες διατμητικές τάσεις (σεισμική)

Στα επόμενα παρουσιάζεται η διερεύνηση σε δεύτερο επίπεδο ελέγχου με βάση κριτήρια αστοχίας υπό διαξονική ένταση. Με βάση τα αποτελέσματα της σύγκρισης και όσον αφορά στην ενισχυμένη κατάσταση επιβεβαιώνεται ότι η αναπτυσσόμενη ένταση στο κυρίως φέρον εξωτερικό κέλυφος του γεφυριού βρίσκεται γενικώς εντός των επιτρεπομένων ορίων και υπάρχουν μεμονωμένες υπερβάσεις υπό σεισμικούς συνδυασμούς δράσεων σε κάποια στοιχεία του φορέα. Ωστόσο η κατάσταση βελτιώνεται, όπως φαίνεται και από την παρουσίαση των υπερβάσεων για την ενισχυμένη κατάσταση ιδιαίτερα για τα βασικά φέροντα στοιχεία των κύριων τόξων και των βάθρων (Εικόνα 49 σε σύγκριση με Εικόνα 44). Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι οι υπερβάσεις των τόξων αντιμετωπίζονται πλήρως καθώς και η υπέρβαση στη βάση του ανατολικού μεσοβάθρου. Οι υπερβάσεις στις γωνιακές περιοχές οφείλονται απλώς σε μοντελιστικές θέσεις ακροτάτων (singularities) και δεν αξιολογούνται. Το τόξο του δυτικού ανακουφιστικού ανοίγματος παρουσιάζει πολύ μικρές (ανεκτές) υπερβάσεις.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η προσέγγιση ανάλυσης με χρήση πεπερασμένων στοιχείων, που επιχειρούν να περιγράψουν ρεαλιστικά τόσο την δομή όσο και τις μηχανικές ιδιότητες υφιστάμενων λιθοδομών και ιδιαίτερα μνημείων, αποτελεί μόνο μία εξορθολογισμένη προσέγγιση με στόχο την εξαγωγή βασικών συμπερασμάτων που αφορούν την συμπεριφορά τους σε στατικά και σεισμικά φορτία και την σύγκριση μεταξύ υφιστάμενης και ενισχυμένης κατάστασης.



Εικόνα 48: Ενδεικτικά αποτελέσματα κριτηρίου αστοχίας για σεισμικούς συνδυασμούς με επεμβάσεις.



Εικόνα 49: Αποτελέσματα υπερβάσεων για σεισμικούς συνδυασμούς με βάση το κριτήριο των Συρμακέζη (άνω) και Καραντώνη (κάτω) για την ενισχυμένη κατάσταση.

Συνοπτικά, απαιτούνται επεμβάσεις στις λιθοδομές του γεφυριού όπως προτάθηκαν στα προηγούμενα και συνοψίζονται στην επόμενη παράγραφο.

## **6. ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ**

Μετά την έκθεση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης και την παρουσίαση των βλαβών που εντοπίζονται στο κεφάλαιο της παθολογίας του γεφυριού προτείνονται οι παρακάτω σωστικές επεμβάσεις στην λιθοδομή του γεφυριού που εκτιμάται ότι θα αναβαθμίσουν την φέρουσα ικανότητά του και θα συνεισφέρουν στην αντοχή του στο χρόνο.

α) Καθαρισμός με χειρωνακτικό τρόπο και εργαλεία χειρός ή/και ελαφριά υδροβολή των αλάτων, φυτικών, βρύων και λειχηνών από τις επιφάνειες του γεφυριού. Η όλη εργασία απαιτεί ιδιαίτερη επιμέλεια ώστε να μην υπάρξει φθορά των λιθοσωμάτων και περαιτέρω αποδιοργάνωση της λιθοδομής.

β) Καθαρισμός και ελαφριά διάνοιξη αρμών σε θέσεις σαθρών κονιαμάτων και αρμολόγημα με βάση την σύνθεση και τις οδηγίες εφαρμογής του εργαστηρίου του Τμήματος Τεχνικών Ερευνών Αναστήλωσης και Προδιαγραφών της ΔΕΤΥΜΕΑ:

Σύνθεση	(% κ. β.)	Χαρμάνι (10 κιλών)
Φυσική Υδραυλική Άσβεστος NHL3.5	27	2.7kg
Φυσική Ποζολάνη	3	0.3kg
Άμμος Πυριτικής σύστασης (0-4mm)	70	7.0kg

Το βέλτιστο νερό του κονιάματος προσδιορίζεται στα 216 ml ανά 1000 g ξηρού κονιάματος. Στην περίπτωση που υπάρχουν κενά μεγάλου εύρους, κατά την εφαρμογή του κονιάματος πρέπει να τοποθετούνται χάλικες ή σκύρα (τσιβίκια) ή μεγαλύτερα τεμάχια λίθων ή και λιθοσώματα στα κενά αυτά, ούτως ώστε να ελαχιστοποιηθεί ενδεχόμενη συστολή του κονιάματος και να αποφευχθεί η δημιουργία μικρορηγματώσεων κατά την πλαστική φάση. Μετά την εφαρμογή απαιτείται η κάλυψη με υγρές λινάτσες για μία εβδομάδα τουλάχιστον. Η πλήρης προδιαγραφή σύστασης και οδηγίες εφαρμογής παρατίθενται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.

γ) Μετά το αρμολόγημα και το σφράγισμα των όψεων εφαρμόζεται ένεμα στις λιθοδομές των κύριων τόξων, των βάθρων και στις όψεις του δυτικού ακροβάθρου με την σειρά προτεραιότητας που αναφέρθηκε. Η σύνθεση είναι βάσει των προδιαγραφών του εργαστηρίου του Τμήματος Τεχνικών Ερευνών Αναστήλωσης και Προδιαγραφών της ΔΕΤΥΜΕΑ:

Σύνθεση Ενέματος	(% κ. β.)
Φυσική υδραυλική άσβεστος κατηγορίας NHL5 (ενδεικτικού τύπου St. Astier)	90
Φυσική λεπτόκοκκη Ποζολάνη,	10
Ρευστοποιητή Chemium 172	1
Νερό επί της στερεάς φάσης του ενέματος	80

Για την εφαρμογή των ενεμάτων εφαρμόζονται σωληνάκια σε κάνναβο ζατρικίου με εφαρμογή 4τμχ/μ<sup>2</sup>. Η εισπίεση ξεκινάει από τα κάτω σωληνάκια και όταν το ένεμα υπερχειλίζει από την αμέσως επόμενη σειρά προς τα άνω, σφραγίζονται και συνεχίζει

η διαδικασία με την επάνω σειρά. Η προδιαγραφή και οι οδηγίες παρατίθενται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α και στα σχέδια της παρούσας.

δ) Σε περιοχές απώλειας λιθοσωμάτων στην όψη και στα ανακουφιστικά ανοίγματα όπως και στον υδατοθραύστη του μεσοβάθρου, απαιτείται η συμπλήρωση της λιθοδομής με χρήση του κονιάματος της προδιαγραφής και επιλεγμένων λιθοσωμάτων από την περιοχή του γεφυριού, αντίστοιχα των υφισταμένων.

Οι εργασίες σε κάθε περίπτωση απαιτούν προγραμματισμό σε περίοδο καλοκαιρίας ώστε να έχουν το βέλτιστο αποτέλεσμα.

## **7. ΙΚΡΙΩΜΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

Για την υλοποίηση των επεμβάσεων απαιτείται, πέραν των τυπικών ικριωμάτων εργασίας ανάντη και κατόντη του γεφυριού σε περιοχές ευχερούς πρόσβασης στις όχθες, η ανάπτυξη ικριώματος εργασίας στην περιοχή του κυρίου τόξου του γεφυριού. Λόγω της ύπαρξης της κοίτης του ποταμού η εργασία στο σημαντικό αυτό τμήμα και στην γειτονική του περιοχή είναι δυσχερής. Για τον λόγο αυτό μελετήθηκε και παρουσιάζεται, στο τεύχος υπολογισμού και σε ξεχωριστό σχέδιο της παρούσας, η μελέτη ειδικού ικριώματος εργασίας προς διευκόλυνση της πρόσβασης για την ολοκλήρωση των απαιτούμενων επεμβάσεων.

Το συγκεκριμένο ικρίωμα αναπτύσσεται αναρτημένο από το κατάστρωμα του γεφυριού και διαμορφώνεται σε τρία επίπεδα εργασίας που ακολουθούν την καμπυλότητα του τόξου εκατέρωθεν. Η λογική της μορφολογίας του είναι να υπάρχει πρόβλεψη διαδοχικής αποσύνδεσης των επιπέδων, ανάλογα με την πρόοδο των εργασιών από το κατώτερο προς τα ανώτερα επίπεδα.

Πριν την έδραση του ικριώματος διαστρώνονται τέσσερις στρωτήρες στο λιθόστρωτο του καταστρώματος, με κατάλληλες προσαρμογές σε αυτό, ώστε να εξασφαλίζεται η ομοιόμορφη έδρασή τους. Επάνω σε αυτούς, σε κατάλληλα διαμορφωμένες εγκοπές ώστε να εξασφαλίζεται η οριζόντια τοποθέτησή τους, βιδώνονται οι εννέα δοκοί ανάρτησης διατομής HEA120. Από αυτές αναρτώνται, εκατέρωθεν των παρειών του γεφυριού, κατακόρυφα μέλη διατομής IPE120, τέσσερα ανά αναρτήρα, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους κατά τις δύο οριζόντιες διευθύνσεις με δοκούς διατομής IPE100. Έτσι διαμορφώνονται τα αναρτημένα πλαίσια του ικριώματος. Ο περιορισμός της κινητότητάς του ικριώματος κατά τις οριζόντιες διευθύνσεις εξασφαλίζεται με τοποθέτηση κατάλληλων χιαστί μελών διατομής CHS33.7x3.0, τα οποία συνδέονται αρθρωτά σε κομβοελάσματα των αναρτήρων IPE120. Επί των επιπέδων που διαμορφώνουν τα πλαίσια ανάρτησης διαστρώνονται, ανάλογα με την εκάστοτε στάθμη εργασίας, μαδέρια διατομής 25cm x 2.5cm.

Ανά στάθμη εργασίας προβλέπονται επί των μελών των αναρτήρων κόμβοι αποσύνδεσης επιπέδου ώστε να αποσυνδέεται και να απομακρύνεται, από κάτω προς τα πάνω και ανάλογα με την εξέλιξη των εργασιών, το αντίστοιχο επίπεδο εργασίας.

Λεπτομέρειες κατασκευής παρουσιάζονται στο αντίστοιχο σχέδιο της παρούσας μελέτης.

Προβλέπεται η ταυτόχρονη παρουσία στο ικρίωμα έως και πέντε εργαζομένων. Συνιστάται να αποφεύγεται ο συνωστισμός στους ακραίους διαδρόμους πρόσβασης ώστε να μην καταπονείται ασύμμετρα το μνημείο.

Οι εργασίες πρέπει να προγραμματιστούν σε περίοδο καλοκαιρίας και να ληφθεί μέριμνα για τον χρονικό προγραμματισμό τους ώστε να μειωθεί ο χρόνος χρήσης του ικριώματος. Σε περίπτωση κακοκαιρίας το ικρίωμα επιβάλλεται να

αποσυναρμολογείται κατάλληλα ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος από την εμφάνιση πλημμυρικών φαινομένων.

Το βάρος του ικριώματος δεν καταπονεί περισσότερο τον φορέα του γεφυριού από το ομοιόμορφο φορτίο κυκλοφορίας ( $5\text{kN/m}^2$ ) που λήφθηκε υπόψη στην ανάλυση του φορέα. Συνεπώς τα φορτία του παραλαμβάνονται ασφαλώς από τον φορέα.

Το υλικό των μεταλλικών διατομών είναι χάλυβας Fe360 (S235). Τα μέσα σύνδεσης είναι κοχλίες M12 8.8 και όπου απαιτούνται συγκολλήσεις ίδιας κατηγορίας αντοχής με τις διατομές και πλάτους  $a=4\text{mm}$ .

Ως φορτία υπολογισμού λήφθηκαν υπόψη:

α) το ίδιο βάρος του μεταλλικού φορέα με  $\gamma=78.5\text{ kN/m}^3$ ,

β) το ίδιο βάρος των μαδεριών  $5\text{kN/m}^2$  (θεώρηση διατομής  $25\times 2.5\text{cm}$ ),

γ) κινητό φορτίο συνολικά πέντε εργαζομένων ταυτόχρονα  $5\times 1\text{ kN}$ ,

δ) ανεμοπίεση με ταχύτητα  $v_b=33\text{m/sec}$ , πίεση αιχμής  $q_p=1.72\text{ kN/m}^2$ .

Τα φορτία συνδυάσθηκαν για στατικούς συνδυασμούς κατά EN 1990 και διαστασιολογήθηκαν με βάση το EN 1993-1-1 και οι συνδέσεις με το EN 1993-1-8.



## **8. ΣΥΜΜΟΡΦΩΣΗ ΠΡΟΣ ΤΙΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΑΠΟΦΑΣΗΣ ΤΟΥ ΚΣΝΜ**

Η μελέτη μετά, από ανασκόπηση της απόφασης έγκρισης του ΚΣΝΜ, έλαβε υπόψη όλες τις υποδείξεις του. Πιο συγκεκριμένα, και με αναφορά σε καθένα από τα σημεία επισήμανσης της συγκεκριμένης απόφασης:

1. Τεκμηριώθηκε περαιτέρω η στατική μελέτη με θεώρηση των μηχανικών ιδιοτήτων που προέκυψαν από τις τιμές ιδιοτήτων των υλικών με βάση τα εργαστηριακά αποτελέσματα.
2. Διενεργήθηκαν σε συνεργασία με το εργαστήριο της ΔΕΤΥΜΕΑ έλεγχοι σε δείγματα που λήφθηκαν από το γεφύρι σύμφωνα και με τις κατάλληλες υποδείξεις του.
3. Δεν προτείνεται χρήση ρητινενέσεων για την στερέωση ρηγματωμένων λιθοσωμάτων.
4. Δεν απαιτείται η μελέτη ικριώματος βαρέως τύπου για την στερέωση του γεφυριού. Εκπονήθηκε μελέτη προτεινόμενου ικριώματος εργασίας για την διενέργεια των επεμβάσεων.
5. Δεν προτείνεται στεγάνωση του καταστρώματος με διάστρωση αργιλικού υλικού. Η στεγάνωση προτείνεται να επιτευχθεί με αρμολόγημα των πλακών του λιθόστρωτου.
6. Λήφθηκε υπόψη στα οικονομικά στοιχεί η σύσταση για χειρωνακτικό καθαρισμό με χρήση εργαλείων χειρός έως και ήπιας υδροβολής για τον καθαρισμό της λιθοδομής από άλατα, βρύα, λειχήνες και λοιπά φυτικά, χωρίς την χρήση αμμοβολής.

## **9. ΠΡΟΣΒΑΣΙΜΟΤΗΤΑ**

Στο πλαίσιο υλοποίησης του έργου απαραίτητη είναι η εξασφάλιση της προσβασιμότητας στο μνημείο, το οποίο σήμερα έχει απωλέσει τη χρηστική σημασία του. Επομένως η πρόσβαση αφορά μόνο τη θέαση και όχι τη χρήση του, καθώς πρόκειται για εναπομείναν τμήμα γέφυρας.

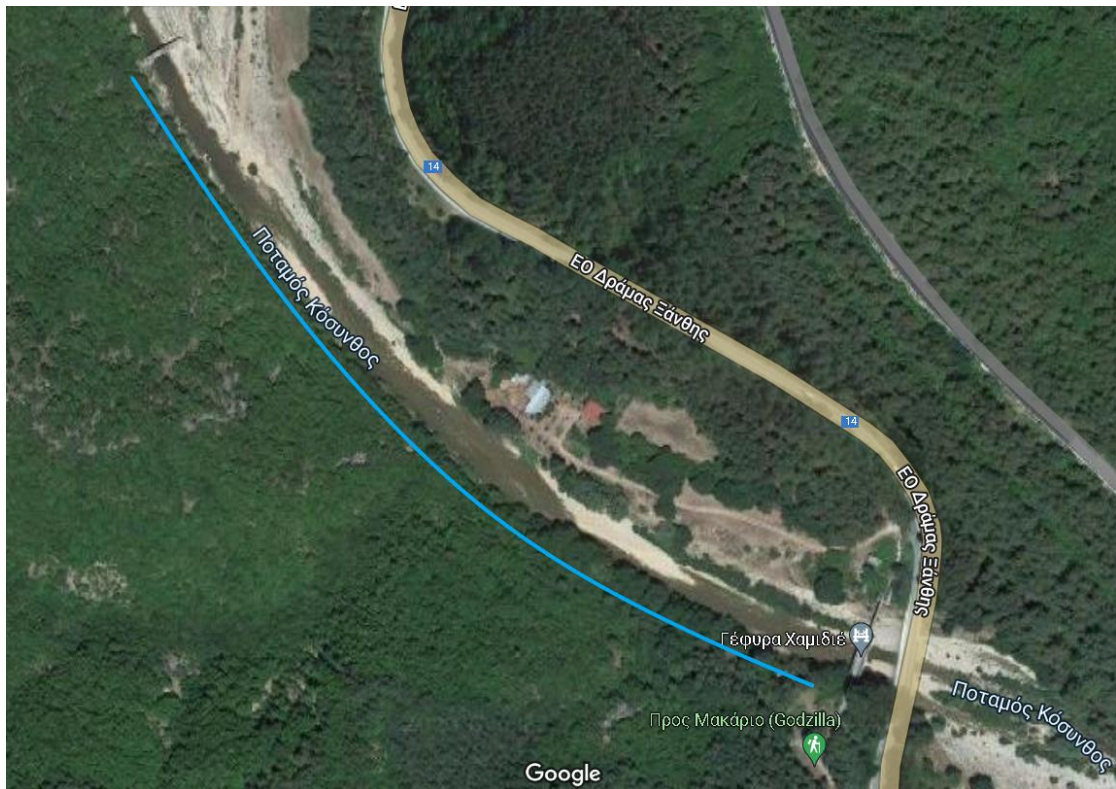
Στόχος είναι η κατά το δυνατό μικρότερη επέμβαση στο φυσικό περιβάλλον του μνημείου, το οποίο πλαισιώνεται από ορεινό όγκο στα δυτικά, με πυκνή θαμνώδη βλάστηση, και από τη διευρυμένη κοίτη του ποταμού στα Ανατολικά, και τον επαρχιακό δρόμο Ξάνθης-Σταυρούπολης. Παραπλεύρως του δρόμου που διέρχεται πλησίον της γέφυρας, προς το ποτάμι, σχηματίζονται πλατώματα, από όπου η θέαση στο μνημείο δύναται να εξασφαλιστεί με ήπιους καθαρισμούς της υφιστάμενη βλάστησης. Καθώς είναι απαραίτητο να εξασφαλιστεί η πρόσβαση προς όλους (συμπεριλαμβανομένων και των ΑΜΕΑ), προτείνεται η δυνατότητα πρόσβασης να είναι διπλή, ως εξής:

Α) Μέσω του προϋφιστάμενου μονοπατιού, το οποίο οδηγούσε στα χωριά Μάκαλαρ και Πίλημμα. Το μονοπάτι αυτό σήμερα καλύπτεται από πυκνή θαμνώδη βλάστηση. Προτείνεται ο καθαρισμός του σε μήκος 600μ., και πλάτος 2μ., κατά μήκος της δυτικής

όχθης του ποταμού Κόσσουνθου, με εκκίνηση από το πλάτωμα που σχηματίζεται πλησίον της προηγούμενης λίθινης γέφυρα (4ο χλμ. Ξάνθης-Σταυρούπολης), και έως τη γέφυρα του θέματος. Το μονοπάτι θα επαναδιανοιχθεί, με εργασίες αποψίλωσης της υφιστάμενης βλάστησης και εξομάλυνσης του εδάφους, με παράλληλη απομάκρυνση τυχόν μεγάλων λίθων καθώς και των απορριμμάτων του καθαρισμού (κλαδιά, φύλλα, πέτρες, χώμα κτλ) και απόθεσή τους σε κατάλληλη θέση. Η αποψίλωση θα πρέπει να επαναλαμβάνεται ετησίως προκειμένου για τη διατήρηση της βατότητάς του (η εργασία αυτή δεν αποτελεί αντικείμενο του παρόντος έργου και θα γίνεται σε συνεννόηση με το δασαρχείο). Παράλληλα θα τοποθετηθεί κατάλληλη σήμανση (πινακίδες κατεύθυνσης επί της επαρχιακής οδού και επί του πλατώματος). Σημειώνεται ότι ο συγκεκριμένος τρόπος πρόσβασης δεν ενδείκνυται για ΑΜΕΑ.



*Εικ. 1 Το προϋφιστάμενο μονοπάτι το οποίο προτείνεται να επαναδιανοιχθεί.*

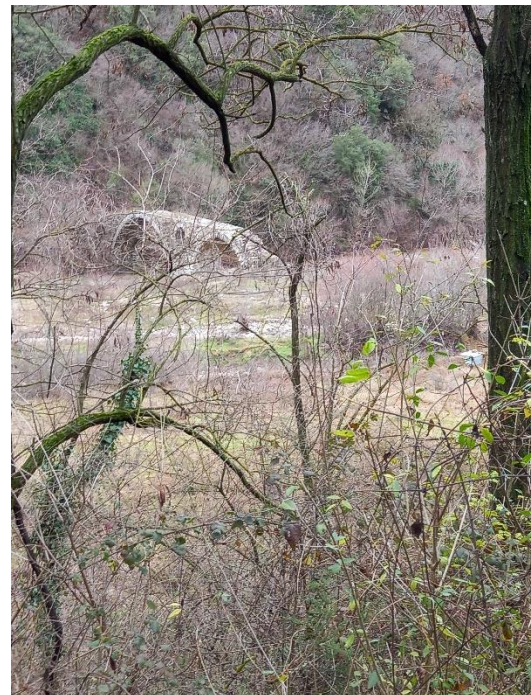


Εικ. 8 Η χάραξη του προϋφιστάμενου μονοπατιού το οποίο θα επαναδιανοιχθεί

Β) Μέσω πλατώματος που βρίσκεται έναντί του γεφυριού, στα Ανατολικά του, σε απόσταση περίπου 75 μ., το οποίο είναι προσβάσιμο από τον επαρχιακό δρόμο. Εκεί προτείνεται η διαμόρφωση στάσης για τη θέαση του μνημείου. Το πλάτωμα αυτό έχει επίπεδη χωμάτινη επιφάνεια με χαμηλή βλάστηση, και αραιά δέντρα (πεύκα) ικανού ύψους. Βρίσκεται σε υψηλότερη στάθμη από το μνημείο και προσφέρει απρόσκοπτη θέα. Στο σημείο αυτό ήδη υφίσταται διαμορφωμένος χωματόδρομος, παράλληλος με το επαρχιακό οδικό δίκτυο, ευρισκόμενος στα δυτικά του, με δύο σημεία εισόδου και εξόδου προς αυτό, βατός για οχήματα, με επιφάνεια από πατημένο χώμα και χόρτα. Η προτεινόμενη επέμβαση είναι κατά το δυνατό ήπια, με ελάχιστη διατάραξη στο φυσικό τοπίο. Προτείνονται καθαρισμοί και αποψιλώσεις όπου χρειαστεί, με κοπή 4-5 δένδρων για τη διάνοιξη πλατώματος διαστάσεων 7x7μ., και λίγων δενδρυλίων που βρίσκονται σε χαμηλότερη στάθμη και δύνανται να εμποδίσουν την ορατότητα προς τη γέφυρα κατά τους ανοιξιάτικους και καλοκαιρινούς μήνες που το φύλλωμα είναι πυκνό. Θα γίνουν επίσης τοπικές εξομαλύνσεις του εδάφους και καθαρισμοί του υφιστάμενου μονοπατιού και του πλατώματος. Επίσης θα τοποθετηθούν κατάλληλες πινακίδες σήμανσης επί του οδικού δικτύου και επί του πλατώματος. Στο πλάτωμα υπάρχει δυνατότητα προσωρινής στάθμευσης αυτοκινήτων.



Εικ.1 Η θέση διαμόρφωσης του πλατώματος για τη θέαση του γεφυριού και ο υφιστάμενος παράδρομος.



Εικ. 2-3 Η θέαση του γεφυριού από το πλάτωμα



*Εικ. 4 Η Βόρεια είσοδος στο χωμάτινο παράδρομο, προς το πλάτωμα (από την κατεύθυνση Σταυρούπολη-Ξάνθη)*



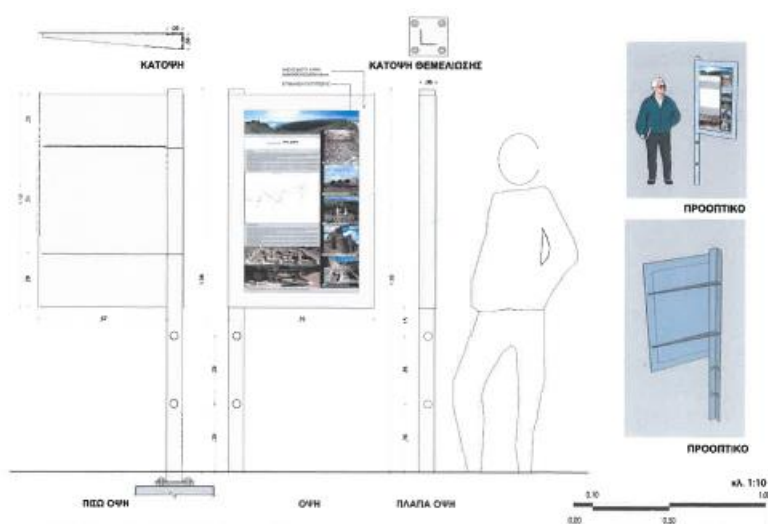
*Εικ. 5 Η Νότια είσοδος στο χωμάτινο παράδρομο, προς το πλάτωμα (από την κατεύθυνση Ξάνθη-Σταυρούπολη)*



*Εικ. 6 Ο χωμάτινος διαμορφωμένος παράδρομος προς το πλάτωμα θέασης (βόρειο τμήμα)*



Εικ. 7 Ο χωμάτινος διαμορφωμένος διάδρομος προς το πλάτωμα θέασης (νότιο τμήμα)



Εικ. 8 Ενδεικτική μορφή της ενημερωτικής πινακίδας μνημείου, η οποία θα τοποθετηθεί σε θέση που θα οριστεί από την επιβλέπουσα Υπηρεσία.

Ξάνθη 01/06/2023

Οι συντάκτες

Μητλιάγκα Κων/να –  
Αρχιτέκτων Μηχανικός

Παυλίδης Πέτρος –  
Πολιτικός Μηχανικός

Ξάνθη 02/06/2023

Ελέγχθηκε & Θεωρήθηκε  
Η Αναπληρώτρια Προϊσταμένη  
του Τμήματος Έργων της  
ΥΝΜΤΕΑΜΘ

Κωνσταντινά Κατσαντρίδου  
Πολιτικός Μηχανικός

Ξάνθη 08/06/2023

Εγκρίθηκε  
Ο Προϊστάμενος της  
ΥΝΜΤΕΑΜΘ

Θεόδωρος Πριγγόπουλος  
MSc Αρχιτέκτων Μηχ.,  
με Α' βαθμό

## **10. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- “*Τα Πέτρινα Γεφύρια Της Ξάνθης και της Υπόλοιπης Θράκης*” - Μιχάλης Δ. Πασσαλής, Έκδοση Νομαρχίας Ξάνθης, 2005
- “*Αναζητώντας Τα Πέτρινα Γεφύρια της Ελλάδας*” - Εύη Μπεληγιάννη, Εκδοτικός οίκος Α.Α.Λιβάνη, Αθήνα 2007
- “*Η «γέφυρα του παπά» στα Πομακοχώρια της Ξάνθης*”, Νικόλαος Θ. Κόκκας, “*Περί Πετρογέφυρων*”, Β’ επιστημονική συνάντηση Κέντρου Μελέτης Πέτρινων Γεφυριών, Αθήνα 2005 σελ. 317-359.
- “*Η Μηχανική της Τοιχοποιίας*”, Τάσιος Θ.Π., Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα 1987
- “*Κατασκευές από Τοιχοποιία*”, Φ.Β. Καραντώνη, Αθήνα 2004
- “*Κατασκευές από Τοιχοποιία – Αποτίμηση και Επεμβάσεις για Σεισμικά Φορτία*”, Κ. Σπυράκος, Αθήνα 2019
- “*Συστάσεις για τις Επισκευές Κτηρίων Βλαμμένων από Σεισμό*”, ΕΜΠ, Αθήνα, 1981
- “*Η Σκουραϊκή Γη σε Κονιάματα και Ενέματα Επισκευής Τοιχοποιιών Ιστορικών Κτισμάτων*”, Καραβεζύρογλου Μ., Παπαγιάννη Ι., Τεχν.Χρον.Α, Τομ.ΙΙ, Τεύχος 3, 1991
- “*Συντήρηση και επιδιόρθωση γεφυρών – Νέες και παλαιές γέφυρες – Λίθινες γέφυρες*” – Ελληνική Εταιρεία Μελέτης Γεφυρών / Ε.Μ.Π., Αθήνα 2013
- Karantoni, F., Fardis, M.N., Vintzeleou, E. & Harisis, A, Effectiveness of seismic strengthening interventions, 549-556, Proc. IABSE Syrnop. on Struct. Preservation of the Architectural Heritage, Roma, 1993.