

## ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΒΛΑΒΩΝ ΛΟΓΩ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ ΣΕ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΑΤΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΜΕΛΙΤΗ ΤΗΣ ΔΕΗ

**Ανδρέας Σπηλιόπουλος<sup>1</sup>**

**Μαρία-Ελένη Δασίου<sup>1</sup>**

**Γεωργία Δούγκα<sup>1</sup>**

**Δανάη Δημακογιάννη<sup>1</sup>**

**Ιωάννης Βάγιας<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Πολιτικοί Μηχανικοί, Υποψήφιοι Διδάκτορες

<sup>2</sup>Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, Καθηγητής ΕΜΠ

Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, ΕΜΠ

Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου, ΤΚ 15780, Αθήνα, Ελλάδα

e-mail: spiliopa@central.ntua.gr, vastahl@central.ntua.gr

### **1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Η μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ΑΗΣ Μελίτης στη Βόρεια Ελλάδα είναι μια λιγνιτική μονάδα με εγκατεστημένη μικτή χωρητικότητα των 330 MW. Στις 25.7.2013 εκδηλώθηκε πυρκαγιά σε έναν από τους δύο παράλληλα κινούμενους ταινιοδρόμους, οι οποίοι μεταφέρουν λιγνίτη στο κτίριο προσωρινής αποθήκευσης (Bunker), προκαλώντας βλάβες τόσο στην 240 μέτρων μήκους μεταλλική γέφυρα των ταινιοδρόμων όσο και στο εξοπλισμένο σκυροδέματος κτιρίου “Bunker”. Η αποκατάσταση της γέφυρας πραγματοποιήθηκε χωρίς χρήση ικριωμάτων με τμηματική αντικατάσταση των βλαμμένων μελών και συνδέσεων της. Στο κτίριο οπλισμένου σκυροδέματος οι βλάβες από την πυρκαγιά ήταν τοπικού χαρακτήρα και η αποκατάσταση τους έγινε με χρήση ελασμάτων και υφασμάτων ινοπλισμένων πολυμερών (FRP). Η μονάδα παραγωγής τέθηκε εντός δύο μηνών από την ημερομηνία εκδήλωσης της πυρκαγιάς σε πλήρη λειτουργία.

### **2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Η μονάδα παραγωγής ενέργειας Μελίτη στην ευρύτερη περιοχή της Φλώρινας είναι μια μονάδα ηλεκτροπαραγωγής με εγκατεστημένη μικτή χωρητικότητα 330 MW. Στις 25 Ιουλίου του 2013 στις 12.30 το μεσημέρι, ξέσπασε πυρκαγιά σε έναν από τους δύο ταινιοδρόμους που μεταφέρουν το λιγνίτη στο κτίριο “Bunker”. Πιθανή αιτία έναρξης της πυρκαγιάς είναι η αστοχία ενός από τα κύλιστρα του δυτικού ταινιοδρόμου 10.1 με αποτέλεσμα την ανάπτυξη υψηλής θερμοκρασίας λόγω τριβής μεταξύ του μάντα και του κυλίστρου. Όταν σταμάτησε η λειτουργία του συγκεκριμένου ταινιοδρόμου, μετά την

μεταφορά της προβλεπόμενης ποσότητας λιγνίτη, ο στάσιμος πάνω από το πυρακτωμένο κύλιστρο ιμάντας ανεφλέγη. Η φωτιά μεταδόθηκε άμεσα στον παράλληλα κινούμενο ανατολικό ταινιόδρομο 10.2 ο οποίος εξακολουθούσε να βρίσκεται σε λειτουργία και κυριολεκτικά μετέφερε την πυρκαγιά, συνεπικουρούμενος από τη λειτουργία «καπνοδόχου», αρχικώς προς τα ανάντη στην διεύθυνση του κτιρίου Bunker και στη συνέχεια και προς τα κατόντη λόγω αστοχίας του ιμάντα ο οποίος παρασύρθηκε από το μηχανισμό τάνυσης του. Η κατάσβεση της φωτιάς στο κτίριο Bunker επετεύχθη από το προσωπικό του εργοστασίου περίπου στις 21.00 ώρα, ενώ η φωτιά στην γέφυρα του ταινιοδρόμου είχε σβήσει νωρίτερα μόνη της όταν κάηκε πλέον όλο το καύσιμο υλικό. Από την πυρκαγιά προξενήθηκαν σημαντικές βλάβες τόσο στην 240 μέτρων μήκους μεταλλική γέφυρα των δύο ταινιόδρομων, όσο και στο φέροντα οργανισμό του κτιρίου Bunker στο οποίο αυτοί κατέληγαν. Εντούτοις, δεν προκλήθηκαν τραυματισμοί, καθώς ο χώρος εκκενώθηκε εγκαίρως .

Η οριστική μελέτη των αποκαταστάσεων έπρεπε να παραδοθεί εντός τριών εβδομάδων, η μελέτη εφαρμογής δύο εβδομάδες μετά, ενώ συγχρόνως θα δίνονταν οδηγίες για τη μεθοδολογία και το χρονοδιάγραμμα των παράλληλα διεξαγόμενων εργασιών αποκατάστασης. Ο χρόνος επισκευής και επαναλειτουργίας της μονάδας ήταν ένας πολύ κρίσιμος παράγοντας, λόγω των μεγάλων οικονομικών συνεπειών που προκύπτουν από τη μη λειτουργία της. Η απαίτηση για την άμεση έναρξη των εργασιών αποκατάστασης είχε ως στόχο την εκμετάλλευση του χρονικού διαστήματος τεσσάρων εβδομάδων αρχόμενων από την 15<sup>η</sup> Αυγούστου, κατά το οποίο είχαν προγραμματιστεί οι ετήσιες επισκευές του σταθμού και συνεπώς η μονάδα παραγωγής ενέργειας είχε προγραμματιστεί να παραμείνει ούτως η άλλως εκτός λειτουργίας. Στην παρούσα εργασία αναλύεται ο σχεδιασμός και η εκτέλεση των εργασιών αποκατάστασης της γέφυρας του ταινιόδρομου και του κτιρίου Bunker.



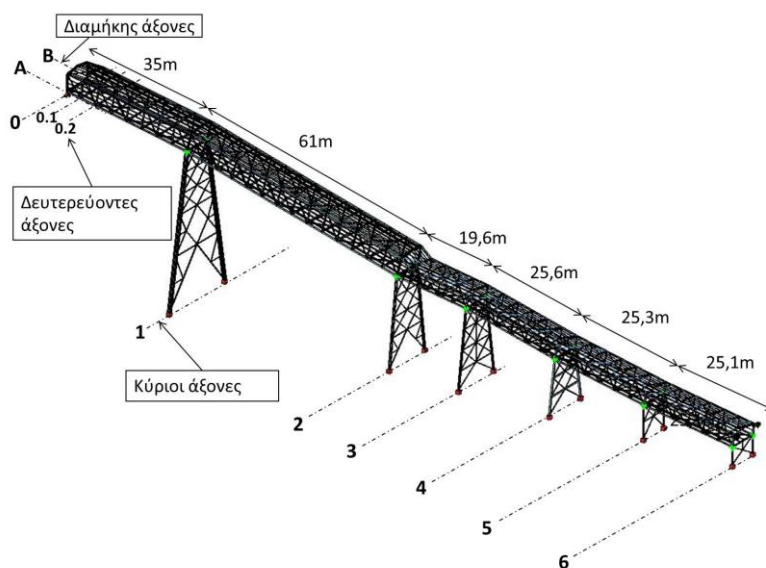
Σχ. 1. Γενική άποψη του εργοστασίου Μελίτη στην οποία διακρίνεται η γέφυρα ταινιοδρόμου και το κτίριο Bunker.

### 3. ΓΕΦΥΡΑ ΤΑΙΝΙΟΔΡΟΜΟΥ

#### 3.1 Περιγραφή υπάρχοντος φορέα (Βλάβες και έλεγχος υλικού)

Όπως αναφέρθηκε στην εισαγωγή ο λιγνίτης μεταφέρεται, μέσω δύο παράλληλων ταινιόδρομων, από το κτίριο Crusher, στο οποίο κονιορτοποιείται το πρωτογενές ορυκτό υλικό με σκοπό τη μετατροπή του σε καύσιμη ύλη, στο κτίριο Bunker όπου και αποθηκεύεται προσωρινά πριν την καύση του. Οι δύο ταινιόδρομοι βρίσκονται εντός κλειστής μεταλλικής γέφυρας η οποία αποτελείται από οχτώ διαφορετικά (8) φατνώματα με συνολικό μήκος 240 μέτρα (Σχ. 2) και η οποία είναι κλειστή από όλες τις πλευρές με τραπεζοειδή φύλλα αλουμινίου.

Ο κύριος φορέας της γέφυρας αποτελείται από δύο διαμήκη δικτυώματα με αξονική απόσταση μεταξύ τους ίση με 8,03m τα οποία έχουν ύψος 5,0m στα πρώτα δύο φατνώματα και 3,0m στα υπόλοιπα έξι. Τα άνω και κάτω πέλματα των διαμήκων δικτυωμάτων συνδέονται δύσκαμπτα μεταξύ τους μέσω οριζόντιας δικτύωσης. Με τον τρόπο αυτό δημιουργούνται κλειστά εγκάρσια πλαίσια ανά περίπου 4,30m (Συμβολισμός αξόνων 0.1, 0.2....., 1.1, 1.2....., βλέπε Σχ. 2), των οποίων τα κατακόρυφα στοιχεία είναι οι ορθοστάτες των κυρίων δικτυωμάτων και τα οριζόντια οι ορθοστάτες των οριζοντίων. Το οριζόντιο δικτύωμα του δαπέδου λειτουργεί επίσης και ως στήριξη για τις διαμήκεις δοκούς, πάνω στις οποίες εδράζονται οι φορείς των ταινιόδρομων. Ο φορέας συμπληρώνεται από τεγίδες και μηκίδες, επί των οποίων είναι τοποθετημένα τα τραπεζοειδή φύλλα αλουμινίου των επικαλύψεων και των πλαγιοκαλύψεων αντίστοιχα. Η γέφυρα έχει συνεχές δάπεδο από φύλλα λαμαρίνας πάχους 4-6mm, κατά περίπτωση, τα οποία είναι συγκολλημένα στο άνω πέλμα των μεταλλικών διατομών. Με αυτόν τον τρόπο αποφεύγεται η πτώση του λιγνίτη στο έδαφος κατά τη μεταφορά του αλλά ταυτόχρονα δημιουργούνται και οι απαραίτητοι διάδρομοι για το προσωπικό επιτήρησης και συντήρησης της εγκατάστασης. Ο κύριος φορέας εδράζεται στους άξονες 1 έως 8 σε χαλύβδινους δικτυωτούς πύργους, ενώ στον άξονα 0 και σε ύψος +45.00 m επί του κτιρίου Bunker σε κυλίσεις οι οποίες επιτρέπουν την διαμήκη κίνηση της γέφυρας λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών, ενώ εξασφαλίζουν την στατική ανεξαρτησία των δύο φορέων σε περίπτωση σεισμικής διέγερσης. Η περίπτωση κίνησης προς τα πάνω της γέφυρας (πχ. λόγω αναρρόφησης του ανέμου), στη θέση των συγκεκριμένων στηρίξεων, εμποδίζεται μέσω κατάλληλα διαμορφωμένης διάταξης.



Σχ. 2 Συνολική εικόνα του προσομοιώματος της γέφυρας και επισήμανση των αξόνων της.

### 3.2 Διαπιστώσεις οπτικού ελέγχου

Η πυρκαγιά, με βάση τις μαρτυρίες αλλά και τα ευρήματα, εκδηλώθηκε στην περιοχή του άξονα 1 και μεταδόθηκε, όπως προαναφέρθηκε, λόγω της κίνησης του ταινιοδρόμου και του φαινομένου της «καμινάδας» κυρίως προς τα ανάντη, με κατεύθυνση προς το κτίριο Bunker. Μετά από εύλογο χρονικό διάστημα και αφού κόπηκαν οι καμένοι μιάντες μεταφοράς ο μηχανισμός τάνυσης που βρίσκεται στον άξονα 4 τους παράσχε με αποτέλεσμα τη μεταφορά της φωτιάς και προς τα κατόντη. Οι βλάβες συγκεντρώνονται σε 6 από τα 8 ανοίγματα (μεταξύ αξόνων 0 και 5.4). ενώ στα τμήματα μεταξύ των αξόνων 5.4 και 8 δεν προκλήθηκαν ζημιές (Σχ. 3). Οι επικαλύψεις οροφής και οι πλαγιοκαλύψεις καταστράφηκαν ολοσχερώς. Έγιναν δύο κατ'αρχήν αυτοψίες μία την επομένη της πυρκαγιάς και μία σε διάστημα μίας εβδομάδας. Η πρώτη είχε ως σκοπό την αρχική εκτίμηση της έκτασης και της κρισιμότητας των βλαβών, της συλλογής στοιχείων, φωτογραφικού υλικού και δοκιμίων από τμήματα του φέροντος οργανισμού για περαιτέρω εργαστηριακό έλεγχο. Μετά από την επεξεργασία των προκαταρκτικών αναλύσεων, των πειραμάτων στα δοκίμια του υλικού και του φωτογραφικού υλικού, πραγματοποιήθηκε η δεύτερη κατά σειρά αυτοψία με σκοπό τον εντοπισμό και την λεπτομερή καταγραφή των βλαβών. Στο μεσοδιάστημα είχε απομακρυνθεί η επικάλυψη και η πλαγιοκάλυψη της γέφυρας αφήνοντας ακάλυπτη τη φέρουσα κατασκευή. Από τους προαναφερθέντες οπτικούς ελέγχους διαπιστώθηκαν τα ακόλουθα:

1. Οι μεγαλύτερες ζημιές σε στοιχεία του κύριου (ράβδοι δικτυωμάτων) και του δευτερεύοντα (μηκίδες, τεγίδες) φέροντος οργανισμού παρατηρήθηκαν στην ανατολική πλευρά (άξονας Α) της γέφυρας. Αυτό οφείλεται στο ότι κατά την εκδήλωση της πυρκαγιάς λειτουργούσε μόνο ο ανατολικός ταινιοδρόμος 10.2 καθώς και ότι οι επικρατούντες άνεμοι ήταν δυτικοί.
2. Οι τεγίδες και οι μηκίδες, καθώς και οι οριζόντιες διαγώνιες ράβδοι της οροφής και τα μέσα σύνδεσης τους, υπέστησαν σημαντικές βλάβες σχεδόν στο σύνολο τους (Σχ. 5).
3. Μία ράβδος άνω πέλματος διατομής HEB 300, του ανατολικού διαμήκους δικτυώματος μήκους περίπου 13,50m, ευρισκόμενη μεταξύ των αξόνων 1.3 και 1.6, είχε λυγίσει περί τον ασθενή άξονα (Σχ. 4).
4. Τα δύο κύρια δικτυώματα παρουσίασαν διαφορεική μετατόπιση στο φάτνωμα μεταξύ των αξόνων 1 και 2 (μήκους 61m). Η μετατόπιση δεν ήταν εύκολα ορατή (σχετικά μικρή σε σχέση με το άνοιγμα) και ο εντοπισμός της έγινε μέσω της αξιολόγησης των αναλύσεων και των φωτογραφιών της πρώτης αυτοψίας.



Σχ. 3. Εικόνα άνωθεν της γέφυρας ταινιοδρόμου μετά το πέρασ της πυρκαγιάς.



Σχ. 4. Λυγισμός της άνω χορδής του κύριου δικτυώματος

5. Έξι διαγώνιες ράβδοι του διαμήκους ανατολικού και αντίστοιχα του δυτικού δικτυώματος είχαν εκτραπεί από το επίπεδο του δικτυώματος ως προς τον ασθενή άξονα, με καμπυλότητα μεγαλύτερη από την επιτρεπόμενη βάση των κανονισμών.
6. Δύο ελάσματα σύνδεσης διαγώνιων ράβδων είχαν παραμορφωθεί.
7. Οι διατομές ορισμένων ράβδων είχαν τοπικό λυγισμό.
8. Τα εγκάρσια πλαίσια δεν είχαν υποστεί διαφορικές μετατοπίσεις, με τα μέλη τους στο μεγαλύτερο τμήμα του φορέα να μην παρουσιάζουν βλάβες, βοηθώντας στο να μην μεταβληθεί η συνολική γεωμετρία της γέφυρας (Σχ. 3 έως 5).
9. Το δάπεδο και το σύνολο της μεταλλικής κατασκευής κάτω από αυτό, δηλαδή οι ράβδοι των κάτω πελμάτων των κύριων δοκών, τα κάτω οριζόντια δικτυώματα και οι διαμήκεις δοκοί στήριξης των φορέων των ταινιόδρομων παρέμειναν πρακτικά ανεπηρέαστα από την φωτιά (Σχ. 6). Οι υψηλές θερμοκρασίες αναπτύχθηκαν όπως είναι αναμενόμενο από τον ταινιόδρομο και πάνω, ενώ το δάπεδο λειτούργησε ως διάφραγμα με δυνατότητα, λόγω της μεγάλης επιφάνειας του, απαγωγής σημαντικού ποσοστού θερμότητας.
10. Λόγω της ανάπτυξης σχετικά υψηλών θερμοκρασιών, πολύ μεγαλύτερων της προβλεπόμενης από τη μελέτη θερμοκρασιακής μεταβολής, η εντατική κατάσταση που αναπτύχθηκε στις στηρίξεις επί του κτιρίου Bunker ήταν πολύ μεγαλύτερη από την προβλεπόμενη. Αυτό σε συνδυασμό με την διαφορά θερμοκρασίας που αναπτύχθηκε καθ' ύψος των κυρίων δικτυωμάτων οδήγησε στο ανασήκωμα του φέροντος οργανισμού και στην αστοχία των εδράσεων επί του κτιρίου, με αποτέλεσμα μετά την πυρκαγιά το τελευταίο φάτνωμα της γέφυρας (μήκους 35 μέτρων) να λειτουργεί ως πρόβολος (Σχ. 7).



Σχ. 5 Βλάβες στις τειγίδες και στις οριζόντιες διαγώνιες ράβδους



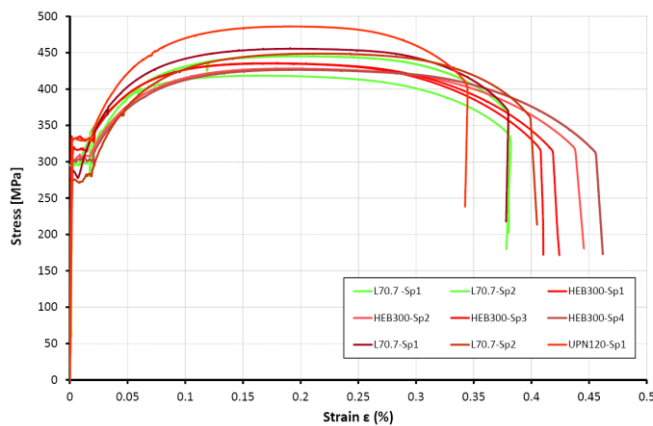
Σχ. 6 Εικόνα από το έδαφος της γέφυρας ταινιόδρομου μετά το πέρας της πυρκαγιάς



Σχ. 7 Ανασήκωμα της φέρουσας κατασκευής στην έδραση της στο κτίριο Bunker

### 3.3 Εργαστηριακός έλεγχος υλικού

Τα μηχανικά χαρακτηριστικά του χάλυβα σε υψηλές θερμοκρασίες είναι ευρέως γνωστά και τεκμηριωμένα σε Κανονισμούς [6]. Αντιθέτως δεν υπάρχουν αντίστοιχες κανονιστικές διατάξεις για την συμπεριφορά του χάλυβα μετά από πυρκαγιά παρά μόνο σχετικά περιορισμένη έρευνα και βιβλιογραφία. Εντούτοις είναι γνωστό, ότι όταν ο χάλυβας θερμαίνεται πέραν των  $600^{\circ}\text{C}$  μειώνονται οι τιμές ορισμένων μηχανικών χαρακτηριστικών του [9]. Ο βαθμός μείωσης εξαρτάται τόσο από την τιμή της αναπτυσσόμενης θερμοκρασίας όσο και από την ποιότητα του χάλυβα, με τους χάλυβες υψηλής αντοχής να είναι πιο ευαίσθητοι. Ο δομικός χάλυβας σύμφωνα με τα κατασκευαστικά σχέδια ήταν St 37-2, κατά DIN 17100. Για τη διαπίστωση των ιδιοτήτων του χάλυβα του έργου και της πιθανής μεταβολής των μηχανικών χαρακτηριστικών του λόγω της επιρροής της πυρκαγιάς διεξήχθησαν καταστροφικοί και μη έλεγχοι. Για τους καταστροφικούς ελέγχους ελήφθησαν κατά τις επί τόπου αυτοψίες δείγματα υλικού από διάφορα τμήματα του φορέα με και χωρίς βλάβες. Από τα δείγματα μορφώθηκαν δοκίμια τα οποία υποβλήθηκαν σε δοκιμές εφελκυσμού, τα αποτελέσματα των οποίων δίνονται στο Σχ. 8 ξεχωριστά για μέλη με βλάβες (κόκκινες καμπύλες) και χωρίς βλάβες (πράσινες καμπύλες). Παρατηρείται ότι το όριο διαρροής και η εφελκυστική αντοχή είναι εντός των ορίων των προδιαγραφών και ότι δεν υπάρχουν αξιοσημείωτες μεταβολές των ιδιοτήτων λόγω της πυρκαγιάς. Οι ως άνω έλεγχοι συμπληρώθηκαν με μη καταστροφικούς ελέγχους δοκιμής σκληρότητας κατά Brinell σε 24 τμήματα του φορέα. Η μέση τιμή ήταν ίση με 132 HB με τυπική απόκλιση 10,5 και χωρίς να εμφανίζεται διαφοροποίηση στα τμήματα με βλάβες και χωρίς. Συνεπώς υπολογίζεται μια μέση τιμή εφελκυστικής αντοχής ίση με 463 MPa, η οποία είναι πολύ κοντά με τις μετρήσεις από τα πειράματα εφελκυσμού (μέση τιμή 410 MPa) και υψηλότερη από την τιμή των κανονιστικών διατάξεων.



Σχ. 8 Αποτελέσματα δοκιμών εφελκυσμού χάλυβα



Σχ. 9 Έλεγχος συγκολλήσεων με δεισδυτικά υγρά

Για την συμπεριφορά των συγκολλήσεων σε υψηλές θερμοκρασίες υπάρχει ανεπαρκής βιβλιογραφία (έρευνα). Στην συγκεκριμένη περίπτωση σημαντική για την καταπόνηση και τη συμπεριφορά των συγκολλήσεων ήταν η αργή ψύξη του φορέα αφού για την κατάσβεση της πυρκαγιάς, στην γέφυρα των ταινιόδρομων, δεν χρησιμοποιήθηκαν συστήματα πυρόσβεσης. Με βάση τα παραπάνω και σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα του οπτικού ελέγχου δεν προέκυπτε ιδιαίτερος λόγος ανησυχίας για την κατάσταση των συγκολλήσεων. Παραταύτα πραγματοποιήθηκαν δειγματοληπτικά μη καταστροφικοί έλεγχοι με δεισδυτικά υγρά (Σχ. 9) με σκοπό τον έλεγχο της εμφάνισης ρωγμών λόγω της εντατικής κατάστασης που αναπτύχθηκε από την εμπόδιση της ελεύθερης

παραμόρφωσης κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς. Οι συγκολλήσεις που ελέγχθηκαν ήταν μεταξύ διαγωνίων, ορθοστατών και χορδής στα κύρια δικτυώματα τη γέφυρας του ταινιόδρομου συμπεριλαμβάνοντας και περιοχές όπου πιθανολογείται ότι η θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς έφτασε στη μέγιστη τιμή της. Συνολικά ελέγχθηκαν οι συγκολλήσεις σε τέσσερις διαφορετικούς κόμβους. Κάθε κόμβος αποτελείται από επτά εξωραφές άρα συνολικά εξετάστηκε η κατάσταση εικοσιοκτώ διαφορετικών συγκολλήσεων, σε καμία από τις οποίες δεν διαπιστώθηκαν βλάβες.

Αντίστοιχα με τα παραπάνω επίσης δεν υπάρχει επαρκής βιβλιογραφία για την συμπεριφορά των κοχλιών μετά από έκθεση σε πυρκαγιά. Είναι ωστόσο γνωστό, ότι δεν συνιστάται η επαναχρησιμοποίηση προεντεταμένων κοχλιών υψηλής αντοχής και ότι οι κοχλίες υψηλής ποιότητας είναι εν γένει πιο ευαίσθητοι. Ορισμένες έρευνες στη βιβλιογραφία [8] έχουν δείξει ότι οι κανονικοί κοχλίες συμπεριφέρονται παρόμοια με τον δομικό χάλυβα, παρουσιάζοντας μείωση της αντοχής τους όταν αναπτύξουν θερμοκρασία μεγαλύτερη των 600°C. Οι κοχλίες υψηλής αντοχής κατασκευάζονται μέσα από εν ψυχρώ διαμόρφωση και ανόπτηση, παρουσιάζοντας μείωση της αντοχής και δυσκαμψίας τους όταν θερμανθούν σε τιμές μεγαλύτερες από της θερμοκρασίας ανόπτησης, η οποία βρίσκεται μεταξύ των 550°C και 600°C. Δεν πραγματοποιήθηκαν πειράματα υλικού στους κοχλίες, καθώς οι προαναφερθέντες έλεγχοι υλικού του δομικού χάλυβα οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι δεν αναπτύχθηκαν τόσο υψηλές θερμοκρασίες, και συνεπώς αποφασίστηκε να γίνει οπτικός έλεγχος όλων των κοχλιών, δειγματοληπτικός έλεγχος σύσφιξης και αντικατάσταση μόνο των βλαμμένων.

### **3.4 Αποτύπωση της γεωμετρίας του παραμορφωμένου φορέα**

Παράλληλα με τους εργαστηριακούς ελέγχους πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις με σκοπό την αποτύπωση της γεωμετρίας του φέροντος οργανισμού στην παρούσα κατάσταση. Οι παραπάνω μετρήσεις πεδίου έδωσαν μια ακριβή εικόνα του μεγέθους των βλαβών αλλά και των παραμενουσών παραμορφώσεων του φορέα επιτρέποντας τη διεξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων σε σχέση με τη βιωσιμότητα του από λειτουργικής απόψεως. Επίσης κατέστη δυνατή η δημιουργία ακριβούς τρισδιάστατου προσομοιώματος στην παραμορφωμένη κατάσταση με σκοπό την ακριβέστερη προσέγγιση των εντατικών μεγεθών λαμβάνοντας υπόψη τα φαινόμενα 2<sup>us</sup> τάξεως. Εκτός από τα παραπάνω, τα αποτελέσματα της αποτύπωσης θα επέτρεπαν την παρακολούθηση της διακύμανσης των παραμορφώσεων κατά τη φάση των εργασιών αποκατάστασης. Με βάση τις παραπάνω μετρήσεις σχεδιάστηκε ο παραμορφωμένος φορέας σε αντιπαραβολή με το θεωρητικό στατικό προσομοίωμα των σχεδίων εφαρμογής της γέφυρας. Η σύγκριση των μετρήσεων πεδίου με τα αρχικά κατασκευαστικά σχέδια έδειξε ότι η γεωμετρία της γέφυρας στο μεγαλύτερο μέρος της δεν παρουσίασε σημαντικές διαφοροποιήσεις εκτός από συγκεκριμένες θέσεις όπως η περιοχή μεταξύ των αξόνων 1 και 2 που όπως αναφέρθηκε και στην παράγραφο 3.2 το δικτύωμα του άξονα Α παρουσίασε διαφορικό βέλος 90mm σε σχέση με αυτό του άξονα Β.

### **3.5 Μελέτη και εφαρμογή αποκατάστασης**

Όπως προαναφέρθηκε στο διάστημα της μίας εβδομάδας που μεσολάβησε μεταξύ του πρώτου και του δεύτερου οπτικού ελέγχου και γνωρίζοντας μέσω της πειραματικής διερεύνησης των υλικών ότι αυτά δεν υπέστησαν αλλοίωση των μηχανικών χαρακτηριστικών τους λόγω της πυρκαγιάς, πραγματοποιήθηκαν στατικές αναλύσεις του χωρικού προσομοιώματος του τμήματος των τριών πρώτων φατνωμάτων της γέφυρας από τον άξονα 0 έως τον άξονα 3. Το προσομοίωμα αυτό βασίστηκε στα σχέδια εφαρμογής και δεν λήφθησαν υπόψη οι αρχικές ατέλειες λόγω των βλαβών. Οι αναλύσεις αυτές είχαν σαν

σκοπό την αρχική εκτίμηση του προβλήματος, τον έλεγχο της ασφάλειας της κατασκευής κατ'αρχήν από το ίδιο βάρος της και εν συνεχεία από τα φορτία που θα ασκούνταν σε περίπτωση που θα πραγματοποιούνταν εργασίες αποξήλωσης των βλαμμένων υλικών και ταινιόδρομων. Τα αποτελέσματα των παραπάνω αναλύσεων οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι η γέφυρα έχει την απαιτούμενη αντοχή αλλά και υπερστατικότητα ώστε να μπορεί να φέρει με ασφάλεια τουλάχιστον τα φορτία της φάσης αποξήλωσης καθώς και ότι δύναται να επισκευαστεί αποφεύγοντας την λύση της καθαίρεσης της και την κατασκευή νέας.

Τα αποτελέσματα της αποτύπωσης τα οποία έδειξαν ότι στο μεγαλύτερο μέρος της η γεωμετρία της γέφυρας δεν παρουσίασε σημαντικές διαφοροποιήσεις, ανέδειξαν και δύο σημαντικά ζητήματα κρίσιμα για την πορεία των εργασιών. Το πρώτο αφορά την περιοχή μεταξύ των αξόνων 1 και 2 στο άνοιγμα των 61 μέτρων που από τις μετρήσεις προέκυψε ότι το βέλος κάμψης του δικτυώματος του ανατολικού άξονα Α ήταν κατά 90mm (μέγιστη τιμή) μεγαλύτερο από το βέλος του δικτυώματος στον δυτικό άξονα Β.

Το δεύτερο είναι το ανασήκωμα των εδράσεων του άξονα 0 στο κτίριο bunker που καθιστούσαν το τελευταίο άνοιγμα των 35 μέτρων πρόβολο με ότι αυτό συνεπάγεται για την ανακατανομή των εντατικών μεγεθών. Σημειώνεται ότι σειρά από αναλύσεις αλλά και τα αποτελέσματα των αντιδράσεων της αρχικής μελέτης στις συγκεκριμένες στηρίξεις για τα φορτία της παρούσης κατάστασης δεν ταυτίζονται με την συμπεριφορά του φορέα δημιουργώντας βάσιμες υπόνοιες ότι οι συγκεκριμένες εδράσεις δεν λειτούργησαν ποτέ με βάση τα προβλεπόμενα στο σχεδιασμό της γέφυρας. Τόσο η παραπάνω διαφορική μετατόπιση όσο και η αλλαγή στατικού συστήματος δεν προκάλεσαν ιδιαίτερη ανησυχία καθώς, λόγω του τρόπου προσομοίωσης, δεν είχε ληφθεί υπόψη στην αρχική μελέτη η υπερστατικότητα του φορέα ο οποίος λειτουργεί ως κιβώτιο, του οποίου τα κατακόρυφα τοιχώματα είναι τα διαμήκη δικτυώματα και τα οριζόντια τοιχώματα τα οριζόντια δικτυώματα. Στην αρχική μελέτη της γέφυρας ο κιβωτιοειδής δικτυωτός φορέας προσομοιώθηκε στο χώρο ως συνεχής δοκός μέσω γραμμικών μελών ισοδύναμων γεωμετρικών χαρακτηριστικών, ενώ στις αναλύσεις που έγιναν κατά τη μελέτη της αποκατάστασης (ακόμα και σε φάση προμελέτης) χρησιμοποιήθηκαν ακριβή χωρικά προσομοιώματα με τη χρήση γραμμικών και επιφανειακών πεπερασμένων στοιχείων.

Λόγω της τοπογραφίας του σταθμού αλλά και του μεγάλου ύψους από το έδαφος που βρίσκονταν οι σημαντικότερες βλάβες (σε ύψος από 30 έως 45 μέτρα) ήταν ιδιαίτερος σημαντικό η αποκατάστασή τους να πραγματοποιηθεί χωρίς τη χρήση κριωμάτων ή προσωρινών στηρίξεων της γέφυρας.

Με βάση τα παραπάνω αποφασίστηκε η επισκευή του φορέα να γίνει μέσω αντικατάστασης ή επισκευής-ενίσχυσης, κατά περίπτωση, των βλαμμένων μελών του. Κριτήρια για την αποδοχή ή απόρριψη ενός στοιχείου αποτέλεσαν η διατήρηση της αντοχής του και η μη ανάπτυξη σε αυτό, μετά την αποθέρμανση της κατασκευής, μόνιμων πλαστικών παραμορφώσεων. Ως αποδεκτά όρια των παραμορφώσεων αυτών θεωρούνται τα όρια των κατασκευαστικών ατελειών, των οφειλομένων τόσο στο αρχικό υλικό όσο και στις φάσεις βιομηχανικής κατεργασίας και εργοταξιακής συναρμολόγησης όπως αυτά προσδιορίζονται από τους Ευρωπαϊκούς Κανονισμούς [11].

Στον πίνακα 1 φαίνονται οι οκτώ (Α έως Η) κύριες κατασκευαστικές φάσεις στις οποίες χωρίστηκαν οι εργασίες της αποκατάστασης. Οι κύριες φάσεις χωρίστηκαν περαιτέρω σε υποφάσεις, οι οποίες περιείχαν τις επιμέρους εργασίες με τη σειρά που αυτές έπρεπε να εκτελεστούν. Η ιεράρχηση των παραπάνω φάσεων και υποφάσεων έγινε με βάση την εξασφάλιση της επάρκειας του φορέα κατά τη διάρκεια εκτέλεσης των εργασιών, της διατήρησης της γεωμετρίας του και τη διαχείριση των ανακατανομών των εντατικών μεγεθών έτσι ώστε μετά την ολοκλήρωση των εργασιών η συμπεριφορά της γέφυρας να είναι κατά το δυνατόν αντίστοιχη με την αρχική της κατάσταση.



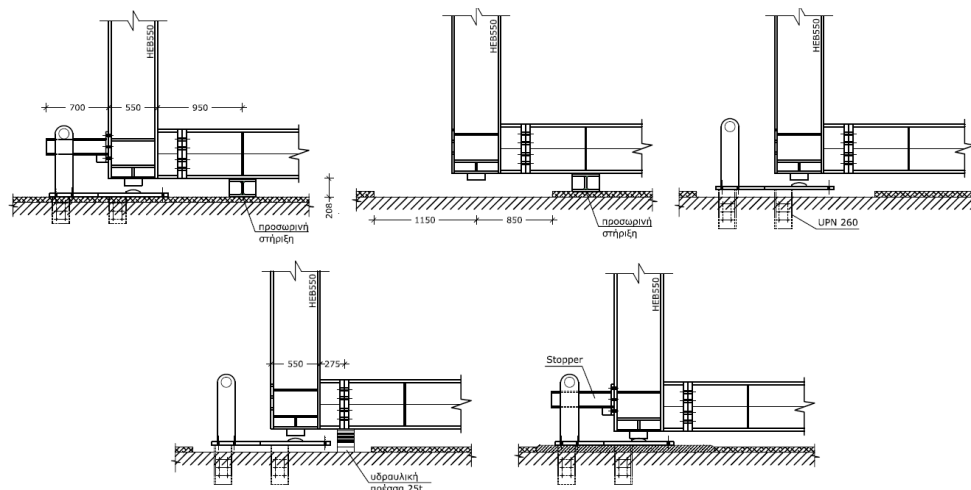
| Φάση<br>Κατασκευής | Υπόφαση | Περιγραφή εργασιών   |
|--------------------|---------|--|
|                    |         |  |
| A                  | A1      | Τοποθέτηση προσωρινής στήριξης στον άξονα 0 επι του κτιρίου bunker   |
|                    | A2      | Αποξήλωση βλαμμένων τμημάτων πλαγιοκάλυψης και επικάλυψης  |
|                    | A3      | Αποξήλωση της κατασκευής στήριξης ταινιοδρόμων 10.1-10.2   |
|                    | A4      | Αμμοβολή του φέροντος οργανισμού.  |
|                    | A5      | Επιθεώρηση των συνδέσεων του φορέα.  |
|                    | A6      | Τμηματική αντικατάσταση των τεγίδων στους άξονες 2 έως 5.4   |
|                    | A7      | Τμηματική αντικατάσταση των τεγίδων εκατέρωθεν του κορφιά στους άξονες 0 έως 2   |
|                    |         |  |
| B                  | B1      | Αντικατάσταση των οριζόντιων συνδέσμων δυσκαμψίας στους άξονες 0 έως 6   |
|                    | B2      | Οι εργασίες αποξήλωσης και αντικατάστασης των εν λόγω ράβδων θα αρχίσουν από τον άξονα 6 και θα ολοκληρωθούν στον άξονα 0. |
| Γ                  | Γ1      | Αντικατάσταση διαγ. συνδέσμου δυσκαμψίας μεταξύ αξόνων 2.3 και 2.4 του άξονα A   |
|                    | Γ2      | Αντικατάσταση διαγ. συνδέσμου δυσκαμψίας μεταξύ αξόνων 5.2 και 5.3 του άξονα A   |
|                    | Γ3      | Τμηματική αντικατάσταση των μηκίδων στους άξονες 3 έως 6   |
|                    |         |  |
| Δ                  | Δ1      | Δ1. Αντικατάσταση διαγωνίου συνδέσμου δυσκαμψίας μεταξύ αξόνων 0.3 και 0.4 στους άξονες A και B                            |
|                    | Δ2      | Αντικατάσταση κομβοελάσματος διαγωνίων συνδέσμων δυσκαμψίας μεταξύ αξόνων 2 και 2.1 στους άξονες A και B                   |
|                    | Δ3      | Τμηματική αντικατάσταση των υπόλοιπων τεγίδων στους άξονες 0 έως 1   |
| E                  | E1      | Αντικατάσταση της άνω χορδής του δικτύωματος του άξονα A διατομής HEB300 στο τμήμα μεταξύ αξόνων 1.2 και 1.6               |
|                    | E2      | Τοποθέτηση ενισχυτικού ελάσματος στην άνω χορδή στους κόμβους αξόνων 4.4, 4.1, 4.2, 4, 3.5 στους άξονες A και B            |
| ΣΤ'                | ΣΤ1     | Αντικατάσταση των υπόλοιπων τεγίδων στους άξονες 1 έως 2   |
|                    | ΣΤ2     | Τμηματική αντικατάσταση των μηκίδων στους άξονες 2 έως 3   |
| Z                  | Z1      | Αντικατάσταση μηκίδων μεταξύ αξόνων 0 έως 2 (οι εργασίες θα ξεκινήσουν από τον άξονα 0 και θα καταλήξουν στον 2)           |
|                    | Z2      | Αμμοβολή και βαφή της γέφυρας  |
| H                  | H1      | Ανακατασκευή ταινιοδρόμου μεταξύ αξόνων 0 έως 1 και 2 έως 6  |
|                    | H2      | Ανακατασκευή ταινιοδρόμου μεταξύ αξόνων 1 έως 2  |
|                    | H3      | Απότμηση τμήματος του κορφιά στο εγκάρσιο πλαίσιο του άξονα 0  |
|                    | H4      | Τοποθέτηση λαμαρίνων επικάλυψης και πλαγιοκάλυψης  |
|                    | H5      | Τελική ρύθμιση εδράσεων επι του κτιρίου bunker και πλήρωση με μη συρρικνούμενη τσιμεντοκονία                               |
|                    | H6      | Επιθεώρηση και επί τόπου επισκευή σε τυχόν βλάβες στην επιφανειακή προστασία του φέροντος οργανισμού                       |

Πίν. 1. Περιγραφή των φάσεων αποκατάστασης των βλαβών της γέφυρας

Μετά την προσωρινή αποκατάσταση της στήριξης επί του κτιρίου bunker στον άξονα 0, οι εργασίες ξεκίνησαν με την αποξήλωση των πλαγιοκαλύψεων, των δύο ταινιόδρομων, τον καθαρισμό του φέροντος οργανισμού και την επιθεώρηση των συνδέσεων. Για να διατηρηθεί η απόσταση μεταξύ των εγκάρσιων πλαισίων σταθερή, αντικαταστάθηκαν αρχικά οι δύο τεγίδες εκατέρωθεν του κορφιά και μετέπειτα οι υπόλοιπες.

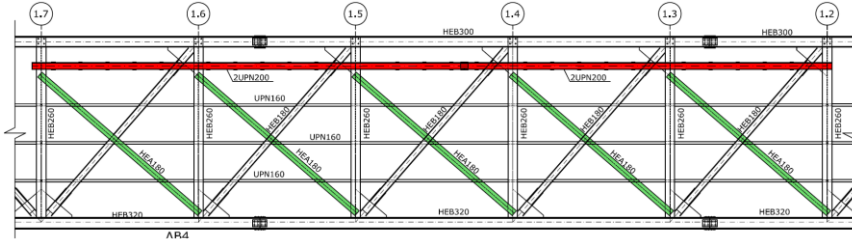
Ακολούθησε η τμηματική αντικατάσταση των οριζοντίων συνδέσεων της οροφής ολοκληρώνοντας έτσι τις πρώτες φάσεις που ως σκοπό είχαν την διατήρηση της γεωμετρίας αλλά και την σταδιακή αύξηση της φέρουσας ικανότητας. Στη συνέχεια ακολούθησε η αντικατάσταση και η επισκευή - ενίσχυση των διαγωνίων μελών και των συνδέσεων τους στα κύρια δικτύματα των αξόνων Α και Β. Ακολούθησε μια από τις σημαντικότερες φάσεις της αποκατάστασης (Ε1) που αφορούσε την αντικατάσταση της άνω χορδής του δικτύματος του άξονα Α διατομής HEB300 στο τμήμα μεταξύ αξόνων 1.2 και 1.6. Η συγκεκριμένη φάση αφορά την αποξήλωση και αντικατάσταση τμήματος της άνω χορδής του δικτύματος διάστασης περίπου 13,5 μέτρων της οποίας τα επιμέρους βήματα περιγράφονται αναλυτικά στον πίνακα 2. Ακολούθησε η αντικατάσταση των υπόλοιπων τεγίδων και μηκίδων, η αμμοβολή και η βαφή της γέφυρας καθώς και η ανακατασκευή του ταινιόδρομου καταλήγοντας σε μία επίσης ιδιαίτερης σημασίας εργασία που αφορά την αποκατάσταση της έδρασης της γέφυρας στο κτίριο Bunker (Φάσεις Α1, Η3, Η5). Η πορεία των βημάτων της συγκεκριμένης εργασίας η οποία φαίνεται στα Σχ.τα 10.1 έως 10.5 έχει ως εξής:

1. Τοποθέτηση προσωρινών εδράσεων κάτω από τη μεταλλική δοκό του άξονα 0 και ρύθμιση τους μέσω αποστατών (Σχ. 10.1).
2. Αποξήλωση και απομάκρυνση των δύο συστημάτων έδρασης και της τσιμεντοκονίας και έλεγχος της κύριας δοκού από οπλισμένο σκυρόδεμα στις θέσεις των αγκυρίων για τυχόν βλάβες (Σχ. 10.2).
3. Επανατοποθέτηση της πλάκας έδρασης. Τα αγκύρια στο εσωτερικό του κτιρίου είναι ρυθμιζόμενα καθ' ύψος μέσω διπλού περικοχλίου ενώ αυτά της εξωτερικής πλευράς δεν τοποθετούνται στην παρούσα φάση.
4. Ανύψωση της γέφυρας με τη χρήση υδραυλικών πρεσσών ικανότητας 25tn στη φάση εργασιών αποκατάστασης Η3 και παρακολούθηση της πίεσης μέχρι την ολοκλήρωση των εργασιών της φάσης Η5.
5. Τελική ρύθμιση του ύψους έδρασης και αφαίρεση των πρεσσών, τοποθέτηση των εγκάρσιων αγκυρίων της πλάκας έδρασης εξωτερικό του κτιρίου, πλήρωση του κενού κάτω από την πλάκα έδρασης με μη συρρικνούμενη τσιμεντοκονία και επανατοποθέτηση των stoppers HEB180 στις άκρες του πλαισίου.

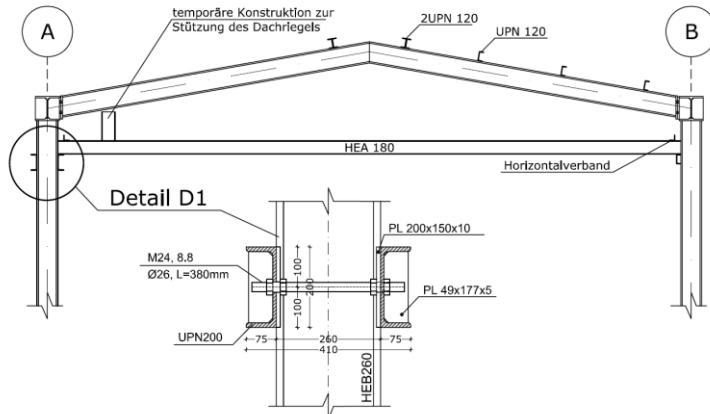


Σχ. 10 (1 έως 5). Μεμονωμένες φάσεις αποκατάστασης της έδρασης στον άξονα 0

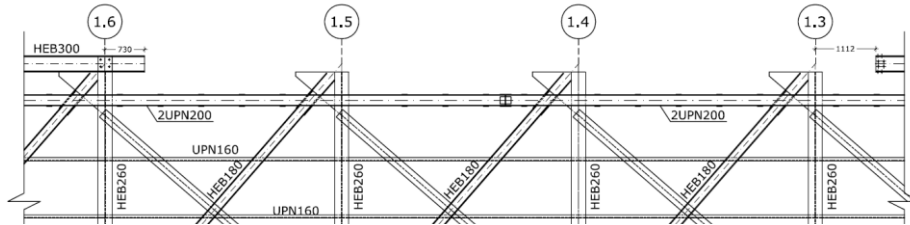
Αποξήλωση άνω μηκίδας UPN 160 στους άξονες 1.1 έως 1.8



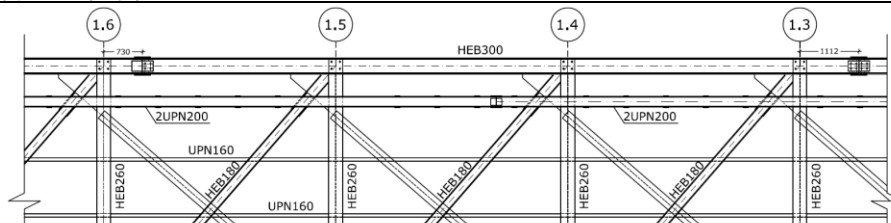
Τοποθέτηση (με συγκόλληση) των προσωρινών διαγωνίων HEA 180 (πράσινο χρώμα) μεταξύ των αξόνων 1.2-1.7  
 Τοποθέτηση (με συγκόλληση) της σύνθετης διατομής 2UPN200 (κόκκινο χρώμα) εκατέρωθεν των ορθοστατών HEB260 απο τους άξονες 1.2 έως 1.7. Στην παρούσα φάση η προσωρινή διαγώνιος HEA 180 και η σύνθετη δοκός 2UPN200 δεν συγκολλούνται στον ορθοστάτη του άξονα 1.5.



Τοποθέτηση (με συγκόλληση) δοκών HEA 180 μεταξύ των αξόνων A και B στους άξονες 1.3, 1.4, 1.5, 1.6  
 Τοποθέτηση (με συγκόλληση) οριζοντίων συνδέσμων δυσκαμψίας L70.7 στο επίπεδο των παραπάνω δοκών  
 Αποσύνδεση των ζυγωμάτων των αξόνων 1.3, 1.4 και 1.5 απο τη χορδή HEB 300 στον άξονα A  
 Αποσύνδεση των οριζοντίων συνδέσμων δυσκαμψίας που συντρέχουν στον άξονα 1.4



Αποκοπή της άνω χορδής HEB 300 του άξονα A από τον ορθοστάτη του άξονα 1.5  
 Σύσφιξη του μηχανισμού ρύθμισης επί των 2UPN200 με σκοπό την ευθυγράμμιση του ορθοστάτη του άξονα 1.5  
 Συγκόλληση του προσωρινού διαγ. HEA 180 και της σύνθετης δοκού 2UPN200 στον ορθοστάτη του άξονα 1.5  
 Αφαίρεση της άνω χορδής HEB300 στον άξονα A μεταξύ των αξόνων 1.2 και 1.6.  
 Καθαρισμός της αποκατάστασης στον άξονα 1.3 από τα υπολείμματα τη παλαιάς συγκόλλησης  
 Κοπή της άνω χορδής HEB300 στον άξονα A σε απόσταση 730mm από τον άξονα 1.6 και προετοιμασία της επιφάνειας για εσωραφή

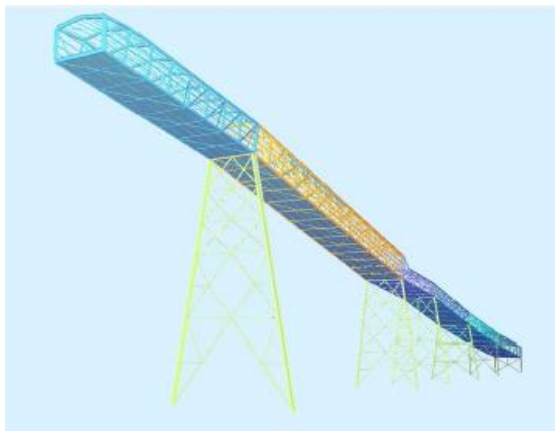


Τοποθέτηση νέας χορδής διατομής HEB 300 μεταξύ των αξόνων 1.2 και 1.6  
 Αποκατάσταση όλων των συγκολλήσεων στις κεφαλές των ορθοστατών των αξόνων 1.2, 1.3, 1.4 και 1.5  
 Αποκατάσταση των ελασμάτων σύνδεσης επί της χορδής μεταξύ των αξόνων 1.3, 1.4 και 1.5  
 Σύνδεση νέων οριζοντίων συνδέσμων δυσκαμψίας στα φατνώματα μεταξύ των αξόνων 1.3 και 1.6  
 Σύνδεση των ζυγωμάτων των αξόνων 1.3, 1.4 και 1.5 με τη νέα χορδή HEB 300 του άξονα A

Αφαίρεση όλων των προσωρινών εξαρτημάτων μεταξύ των αξόνων

Πίν. 2. Υποφάσεις της κύριας φάσης E1 η οποία αφορά την αντικατάσταση της πλευρικά λυγισμένης άνω χορδής του κύριου δικτυώματος μεταξύ των αξόνων 1.2 και 1.6

Για την μελέτη της αποκατάστασης χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα ανάλυσης SoFiSTiK [10], το οποίο παρέχει τη δυνατότητα μη γραμμικών αναλύσεων χωρικών προσομοιωμάτων, με τη χρήση γραμμικών και επιφανειακών πεπερασμένων στοιχείων, καθώς και την διαδοχική ανάλυση φάσεων κατασκευής (construction stages). Η ιδιομορφία του συγκεκριμένου έργου έγκειται στην συνεχή ανακατανομή των εντάσεων και των παραμορφώσεων ανάλογα με την εκάστοτε εργασία. Ως αρχική γεωμετρία του φορέα λήφθηκε η παραμορφωμένη κατάσταση που προέκυψε από την αποτύπωση μετά την πυρκαγιά ενώ κάθε εργασία αποτελούσε μια φάση κατασκευής με αρχική κατάσταση την προηγούμενη. Με αυτόν τον τρόπο έγινε μια αλληλουχία αναλύσεων του συνόλου των κατασκευαστικών φάσεων, με τη χρήση ενός προσομοιώματος, από την οποία προέκυψε η χρονοιστορία των παραμορφώσεων και των εντάσεων. Σημειώνεται ότι ο έλεγχος της επάρκειας του φορέα μετά το πέρας των επισκευών, στην ΟΚΛ και ΟΚΑ, έγινε βασιζόμενος στο ίδιο προσομοίωμα στο οποίο οι επιβληθείσες φορτίσεις αποτέλεσαν την τελευταία κατασκευαστική φάση. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων ελέγχονταν κατά τη διάρκεια των εργασιών αποκατάστασης μέσω διαρκών μετρήσεων των μετατοπίσεων με τοπογραφικά όργανα και καταγραφής των δεδομένων της πρέσσας. Αυτό οδήγησε στην δημιουργία ενός αναλυτικού προσομοιώματος στο οποίο συμπεριλήφθηκε και το δάπεδο εργασίας (από λαμαρίνα) μέσω επιφανειακών πεπερασμένων στοιχείων του οποίου τα αποτελέσματα ήταν σε πλήρη συμφωνία με τις μετρήσεις (Σχ. 11). Παράλληλα με τις αριθμητικές αναλύσεις και την ολοκλήρωση των σχεδίων πραγματοποιείται και η επίβλεψη των εργασιών αποκατάστασης. Η οποία ολοκληρώθηκε με τον έλεγχο των ταινιόδρομων μόλις 50 μέρες μετά την ανάθεση από τον Κύριο του Έργου. Στο Σχ. 12 δίνονται φωτογραφίες της γέφυρας μετά το πέρας των εργασιών.



(α)



(β)

Σχ. 11. Τρισδιάστατο προσομοίωμα με (α) και χωρίς (β) δάπεδο εργασίας

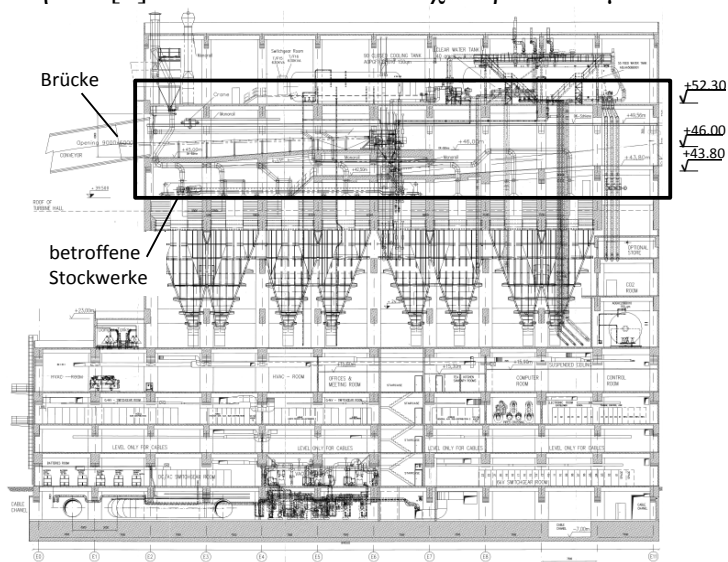


Σχ. 12. Αποψη από το εσωτερικό και εξωτερικό της γέφυρας μετά το πέρας των εργασιών

## 4. ΚΤΙΡΙΟ BUNKER

### 4.1 Βλάβες και διερεύνηση υλικού

Το κτίριο Bunker είναι 12ώροφο κτίριο από οπλισμένο σκυρόδεμα με συνολικό ύψος 62m (Σχ. 13). Στο κτίριο αυτό καταλήγει ο λιγνίτης μέσω των ταινιοδρόμων όπου διανέμεται σε ανεξάρτητους μύλους. Ο κύριος φορέας του κτιρίου αποτελείται από δέκα (10) πλαίσια ανοίγματος 17m επαναλαμβανόμενα ανά 7.5m στην εγκάρσια έννοια και δύο πλαίσια 9 ανοιγμάτων στη διαμήκη έννοια. Οι δοκοί των πλαισίων είναι εν γένει πλάτους 0,80m και ύψους 1,80, ενώ οι δοκοί που βρίσκονται κάτω από βαριά μηχανήματα έχουν πλάτος 1,20m. Οι διαστάσεις των διαδοκίδων είναι εν γένει 0.3x0.7m, με εκείνες που βρίσκονται κάτω από βαριές δεξαμενές νερού να έχουν μεγαλύτερο πλάτος ή/και αντίστοιχα μεγαλύτερο ύψος. Το πάχος των πλακών είναι εν γένει 14 cm και σε ορισμένες περιπτώσεις 20 έως και 35 cm. Η επικάλυψη του σκυροδέματος είναι 40 mm στα υποστυλώματα, 35 mm στις δοκούς και 25 mm στις πλάκες. Η ποιότητα του σκυροδέματος βάση του [1] είναι C30/37 και του χάλυβα οπλισμού S500.



Σχ. 13. Τομή του κτιρίου Bunker

Από της επιτόπου αυτοψίες του έργου διαπιστώθηκε ότι:

1. Οι βλάβες περιορίζονται σε μία μεσαία ζώνη του κτιρίου πάνω από τους ταινιοδρόμους 10.1/10.2 στους οποίους είχε εκδηλωθεί πυρκαγιά.
2. Οι βλάβες αφορούν κυρίως την κάτω παρειά της στάθμης +52.30, και δευτερευόντως τις κάτω παρειές των σταθμών +45.00-46.00 και +42.50-43.80.
3. Τα υποστυλώματα και οι πλαισιακοί κόμβοι κυρίων δοκών – υποστυλωμάτων δεν έχουν βλάβες.



Σχ. 14. Βλάβες στο φέροντα οργανισμό κτίριο Bunker

Για την επιβεβαίωση των ως άνω οπτικών ελέγχων και τον ακριβή προσδιορισμό του βάθους αλλοίωσης των χαρακτηριστικών του σκυροδέματος διεξήχθησαν από εξειδικευμένη εταιρεία εκτεταμένες μετρήσεις σε διάφορες θέσεις και δομικά στοιχεία των ως άνω σταθμών με τη βοήθεια καταστροφικών και μη ελέγχων.

Με απόλυτα αδιατάρακτο τρόπο, πραγματοποιήθηκε πυρηνοληψία, σε διάφορες θέσεις πυρήνων διαμέτρου Ø100, ενώ προ της πυρηνοληψίας προηγήθηκε ανίχνευση οπλισμού με σάρωση υπερήχων, προκειμένου να αποφευχθεί η κοπή ράβδων οπλισμού. Το πάχος ασβεστοποίησης προσδιορίστηκε με εργαστηριακό έλεγχο που πραγματοποιήθηκε στους πυρήνες, αλλά και με έμμεσες, μη καταστροφικές μεθόδους, με τη χρήση συσκευής υπερήχων. Η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιεί τη μέτρηση της ταχύτητας των υπερήχων σε υγιές αλλά και ασβεστοποιημένο σκυρόδεμα με σκοπό τον προσδιορισμό του σημείου στο οποίο αλλάζει κλίση η καμπύλη της ταχύτητας το οποίο συμπίπτει με το βάθος της ασβεστοποίησης. Οι μετρήσεις έδειξαν ότι το μέγιστο βάθος της ασβεστοποίησης είναι 30 mm, βάθος μικρότερο από την επικάλυψη του σκυροδέματος.

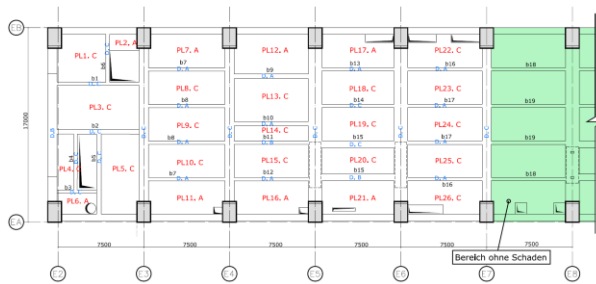
Από τα αποτελέσματα των οπτικών ελέγχων και των μετρήσεων έγινε κατάταξη των βλαβών του κάθε δομικού μέλους σε κατηγορίες (Πίνακας 3), οι οποίες εισήχθησαν και στα σχέδια (Σχ.15).

| Δομικό στοιχείο | Κατηγορίες βλαβών - Συμβολισμός | Περιγραφή                              |
|-----------------|---------------------------------|--|
| Πλάκες          | Κατηγορία A – PL.A              | Χωρίς βλάβες                           |
|                 | Κατηγορία B – PL.B              | Βλάβες στην επικάλυψη                  |
|                 | Κατηγορία C – PL.C              | Βλάβες στην επικάλυψη και στον οπλισμό |
| Δοκοί           | Κατηγορία A – D.A               | Χωρίς βλάβες                           |
|                 | Κατηγορία B – D.B               | Βλάβες στην επικάλυψη                  |
|                 | Κατηγορία C – D.C               | Βλάβες στην επικάλυψη και στον οπλισμό |

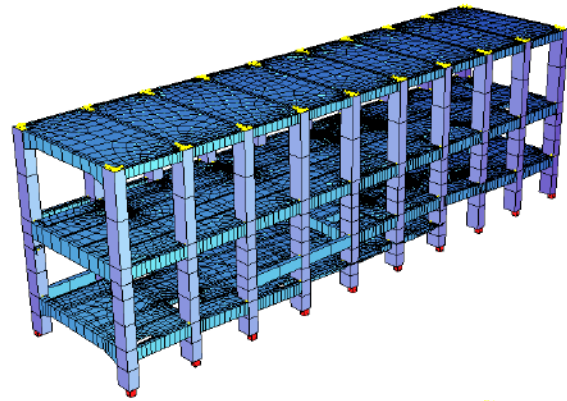
Πίν. 3. Κατάταξη των δομικών στοιχείων σε κατηγορίες βλαβών.

#### 4.2 Μελέτη και εφαρμογή της αποκατάστασης

Με βάση τις ως άνω διαπιστώσεις εξήχθη το συμπέρασμα ότι οι βλάβες είναι τοπικού χαρακτήρα και δεν αφορούν το συνολικό φορέα του κτιρίου. Έτσι η μελέτη αποκατάστασης περιορίστηκε στον έλεγχο των κύριων δοκών, των δευτερευουσών δοκών και των πλακών με βλάβες. Σκοπός ήταν η αποκατάστασή τους με κατάλληλο τρόπο ώστε να παραλαμβάνουν με ασφάλεια τα μόνιμα και τα επιβαλλόμενα ωφέλιμα κατακόρυφα φορτία, ενώ δεν κρίθηκε απαραίτητος ο έλεγχος του συνολικού φορέα, π.χ. έναντι σεισμού, ο οποίος θεωρήθηκε ότι καλύπτεται από την αρχική μελέτη. Για τους στατικούς υπολογισμούς – ανάλυση και διαστασιολόγηση χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό SOFiStiK, με το οποίο επιλύθηκε το τρισδιάστατο χωρικό προσομοίωμα των τεσσάρων ανώτερων ορόφων του κτιρίου δηλαδή οι στάθμες +52.30, +45.00/46.00, +42.50/43.80, οι οποίες εμφάνισαν βλάβες και η στάθμη +61.80 που δεν εμφάνισε βλάβες (Σχ.16). Πιο συγκεκριμένα οι δοκοί και τα υποστυλώματα προσομοιώθηκαν μέσω ραβδωτών πεπερασμένων στοιχείων (beam elements) και οι πλάκες μέσω επιφανειακών πεπερασμένων στοιχείων κελύφους (shell elements). Για την ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των διατομών, όπως αυτά υπολογίζονται αυτόματα από το στατικό πρόγραμμα. Για τους υπολογισμούς λαμβάνεται υπόψη η δυσκαμψία του σταδίου II όπως προβλέπεται στους κανονισμούς [1] και [4].



Σχ. 15. Κατάταξη βλαβών στις πλάκες της στάθμης +52.5m



Σχ. 16. Αριθμητικό προσομοίωμα τμήματος του κτιρίου Bunker

Λόγω του τοπικού χαρακτήρα των βλαβών και με βασικό γνώμονα την μη περαιτέρω αλλοίωση των δυσκαμυγίων και αντοχών των φερόντων στοιχείων που θα είχαν επιπτώσεις στη συμπεριφορά του συνολικού φορέα επιλέχτηκε ως μέθοδος αποκατάστασης η χρήση ελασμάτων και υφασμάτων ινοπλισμένων πολυμερών (FRP). Το μέγεθος της επέμβασης αποφασιζόταν ανάλογα με το δομικό στοιχείο και την κατηγορία βλάβης του. Η διαστασιολόγηση προέκυπτε από πρόγραμμα υπολογισμού που κατασκευάστηκε βασίζόμενο στον κανονισμό [7]. Ως τελική στρώση εφαρμόστηκε κονίαμα πυροπροστασίας, το οποίο εξασφαλίζει δείκτη πυροπροστασίας >90min.

Από τις μετρήσεις των καταστροφικών και μη ελέγχων προέκυψε ότι ο διαμήκης οπλισμός των δοκών δεν έχει υποστεί βλάβες από την πυρκαγιά σε αντίθεση με τους συνδετήρες οι οποίοι έχουν επηρεαστεί έστω και οριακά. Για το λόγο αυτό αποφασίστηκε να αποκατασταθεί η διατμητική αντοχή των δοκών με την τοποθέτηση ανθρακουφασμάτων θεωρώντας την εξωτερική τμήση των συνδετήρων ανενεργή.

Για αποκατάσταση των πλακών με βλάβες κατηγορίας C τοποθετήθηκαν και στις δυο διευθύνσεις ανθρακοελάσματα ινοπλισμένων πολυμερών (FRP). Τα ανθρακοελάσματα της κύριας διεύθυνσης αγκυρώθηκαν με μεταλλικά ελάσματα και μηχανικά αγκύρια. Στο σχήμα 17 φαίνεται ενδεικτικά μία πλάκα του κτιρίου μετά την αποκατάσταση της.



Σχ. 17. Άποψη πλάκας του κτιρίου bunker μετά την αποκατάσταση

## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η άμεση αντίδραση του συνόλου των εμπλεκόμενων αλλά και της διοίκησης της ΔΕΗ επέτρεψε την ταχύτατη αποκατάσταση της μονάδας, πράγμα που εκ πρώτης όψεως έδειχνε ιδιαίτερες δυσχερές.

Η χρήση ιδιαίτερα αναλυτικών προσομοιωμάτων, ακόμα και σε φάση προμελέτης, σε συνδυασμό με την άμεση και ορθή αξιολόγηση των επιπτώσεων της πυρκαγιάς στα φέροντα στοιχεία της γέφυρας επέτρεψαν τη διατήρηση και την επισκευή της αποτρέποντας την καθαίρεση του φορέα και την εκ νέου κατασκευή του.

Η παράλληλη πορεία των εργασιών της ανάλυσης του σχεδιασμού και της επίβλεψης εκτός από την δυνατότητα της άμεσης επίλυσης των προβλημάτων που προέκυπταν επέτρεψε την λειτουργία της μονάδας σε διάστημα μόλις 50 ημερών μετά την ανάθεση από τον Κύριο του Έργου.

Στην περίπτωση καθαίρεσης και ανακατασκευής της γέφυρας ο απαιτούμενος χρόνος θα ήταν τουλάχιστον 2,5 φορές μεγαλύτερος με αυξημένο κόστος αλλά και σημαντική ζημιά λόγω της παρατεταμένης αναστολής της λειτουργίας της μονάδας.

Η επισκευή των βλαβών στον φέροντα οργανισμό οπλισμένου σκυροδέματος του κτιρίου bunker, με τη χρήση ανθρακοελασμάτων και ανθρακουφασμάτων, αποκατέστησε ή και ενίσχυσε στη φέρουσα ικανότητα των βλαμμένων στοιχείων χωρίς να επηρεάσει την συμπεριφορά του συνολικού φορέα αφού δεν αλλοίωσε τη δυσκαμψία τους.

Η λύση που εφαρμόστηκε επέτρεψε την ταχύτερη λειτουργία της μονάδας αφού παράλληλα επισκευαζόταν και στη συνέχεια λειτουργούσε ο μηχανολογικός εξοπλισμός του κτιρίου πράγμα αδύνατο στην περίπτωση ενισχύσης πχ. με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα.

## **6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- [1] ΕΚΩΣ 2000. Ελληνικός Κανονισμός Οπλισμένου Σκυροδέματος-έκδοση 2000
- [2] EN 1990 (Ευρωκώδικας 0): Βάσεις σχεδιασμού φερουσών κατασκευών.. CEN, European Committee for Standardisation, 2004
- [3] EN 1991 (Ευρωκώδικας 1): Δράσεις στις φέρουσες Κατασκευές, CEN, European Committee for Standardisation, 2005
- [4] EN 1992-1 (Ευρωκώδικας 2): Σχεδιασμός φορέων από σκυρόδεμα, Μέρος 1-1 : Γενικοί κανόνες και κανόνες για κτίρια, CEN, European Committee for Standardisation, 2005
- [5] EN 1993-1-1 (Ευρωκώδικας 3): Σχεδιασμός κατασκευών από χάλυβα, Μέρος 1-1 : Γενικοί κανόνες και κανόνες για κτίρια, CEN, European Committee for Standardisation, 2005
- [6] EN 1993-1-2 (Ευρωκώδικας 3): Σχεδιασμός κατασκευών από χάλυβα, Μέρος 1-2 : Γενικοί κανόνες - Σχεδιασμός φορέων σε πυρκαγιά, CEN, European Committee for Standardisation, 2005
- [7] ΚΑΝΕΠΕ: Κανονισμός Επεμβάσεων σε κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα, ΟΑΣΠ 2013
- [8] Liang Yu, 'Behavior of Bolted Connections During and After Fire', Dissertation University of Texas at Austin, 2006
- [9] 'The Reinstatement of Fire Damaged Steel and Iron Framed Structures', British Steel Technical Swinden Laboratories, 1993
- [10] SoFiSTik, Finite Element Software, [www.sofistik.com](http://www.sofistik.com)
- [11] EN 1090-1 : Απαιτήσεις συμμόρφωσης για τα δομικά στοιχεία, 2009



# **STRUCTURAL RAHABILITATION OF THE POWER PLANT MELITI, GREECE AFTER FIRE**

**Andreas Spiliopoulos<sup>1</sup>**

**Maria-Eleni Dasiou<sup>1</sup>**

**Georgia Dougka<sup>1</sup>**

**Danai Dimakogianni<sup>1</sup>**

**Ioannis Vayas<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Civil Engineer, PhD Candidates

<sup>2</sup>Dr.-Ing., Professor

Institute of Steel Structures, School of Civil Engineering, National Technical University of  
Athens, Zografou Campus, 15780, Greece  
e-mail: spiliopa@central.ntua.gr, vastahl@central.ntua.gr

## **ABSTRACT**

The power plant Meliti in Northern Greece is a 300MW power station that uses lignite as fuel. On the 25th of July 2013 a fire broke out in the conveyor belt that transports the coal to the bunker. The fire resulted in damages in the 240 m long steel conveyor bridge and the concrete bunker structure. The conveyor bridge was repaired without scaffolding temporary supports by exchanging the damaged parts and the connection media with new. The bunker was subjected to local damages that were rehabilitated by application of FRP sheets and FRP wraps. The plant was in operation in 2 months.