

ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΗΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΑΡΓΟΥ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ ΜΕ ΕΝΤΟΝΕΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΛΟΓΩ ΚΑΘΙΖΗΣΕΩΝ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

I. Λαβασάς

Πολιτικός Μηχανικός

e-mail: info@statika.gr

II. Ζέρβας

Δρ. Πολιτικός Μηχανικός

e-mail : info@statika.gr

Γ. Νικολαΐδης

Πολιτικός Μηχανικός

e-mail: info@statika.gr

X. Κ. Μπανιωτόπουλος

Dt.-Ing. Πολιτικός Μηχανικός, Καθηγητής ΑΠΘ

Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

54124 Θεσσαλονίκη, Ελλάδα

e-mail : ccb@civil.auth.gr

1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία αφορά στη μελέτη και στις εργασίες επισκευής μεταλλικής δεξαμενής αποθήκευσης αργού πετρελαίου. Ειδικότερα, αντικείμενο της μελέτης αυτής αποτελεί η διερεύνηση της απόκρισης των στοιχείων της δεξαμενής και η διαστασιολόγηση των προσωρινών κατασκευών που απαιτούνται για την ασφαλή προσωρινή ανύψωση της δεξαμενής κατά 2m ώστε να καταστεί δυνατή η εξυγίανση του υπεδάφους. Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της θεωρίας β' τάξης λόγω της ύπαρξης λεπτότοιχων στοιχείων, καλωδίων (συρματόσχοινων), επιφανειών μονόπλευρης επαφής και εμφάνισης γεωμετρικών ατελειών.

2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα εργασία αφορά στην επισκευή της μεταλλικής δεξαμενής [TK-17] αποθήκευσης αργού πετρελαίου που χωροθετείται στις εγκαταστάσεις των Ελληνικών Πετρελαίων στο Καλοχώρι Θεσσαλονίκης. Η κατασκευή έχει διάμετρο 43.94m, ύψος κελύφους 10.72m και πλωτή οροφή διπλού καταστρώματος, μέσου ύψους 0.69m. Τα πάχη των ελασμάτων κυμαίνονται από 8 έως 20mm στο κέλυφος, ενώ στον πυθμένα και στην πλωτή οροφή είναι ενιαία, 10mm και 5mm αντίστοιχα. Η τελευταία στο άνω κατάστρωμα φέρει ακτινικές νευρώσεις για την παραλαβή των επιβεβλημένων φορτίων και του χιονιού. Στο ύψος των 9.4 m η δεξαμενή διαθέτει εξωτερικό αντιανέμιο δακτύλιο πλάτους 1.10m από στραντζαριστό έλασμα πάχους 5mm, ο οποίος χρησιμεύει και ως διάδρομος κυκλοφορίας. Το συνολικό βάρος της κενής δεξαμενής είναι περίπου 4500kN.

Η δεξαμενή έχει ανεγερθεί το 1983 και έχει σχεδιαστεί βάσει των Αμερικανικών Κανονισμών και ειδικότερα του [API]. Εδράζεται άμεσα στο έδαφος, χωρίς όμως κάποια ιδιαίτερη πρόνοια για την αντιμετώπιση της ιδιαίτερα μεγάλης συμπίεστότητάς του, με αποτέλεσμα την εμφάνιση ολικών και διαφορικών καθιζήσεων, οι οποίες αναπόφευκτα οδήγησαν σε εκτεταμένες, αν και εντός των ορίων επισκευασιμότητας σύμφωνα με τα κριτήρια του κυρίου του έργου, παραμορφώσεις στο φορέα.

Για την αποκατάσταση της γεωμετρίας της δεξαμενής και της βάσης έδρασής της προγραμματίστηκε η υπερύψωσή της κατά 2.00m, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται, λαμβανομένων υπ' όψη και των βυθίσεων του φορέα, ένα επαρκές περιθώριο κυκλοφορίας κάτω από τον πυθμένα. Το αντικείμενο της μελέτης αποτελεί ακριβώς η διερεύνηση της απόκρισης των στοιχείων της δεξαμενής και η διαστασιολόγηση των προσωρινών κατασκευών που απαιτούνται για την πραγματοποίηση της ανύψωσης με ασφάλεια. Αναφορικά με τα γεωτεχνικά δεδομένα, οι σχετικές έρευνες έχουν καταδείξει ότι η δεξαμενή βρίσκεται σε μικρή απόσταση από τη θάλασσα, σε μία περιοχή με μηδενική και κατά καιρούς αρνητική στάθμη υδάτινου ορίζοντα. Το έδαφος αποτελείται από αλουβιανές αποθέσεις μικρής αντοχής και μεγάλης συμπίεστότητας. Η μέτρια ποιότητά του δικαιολογεί απόλυτα τις μεγάλες καθιζήσεις της δεξαμενής, τις συνέπειες των οποίων κλήθηκε να αποκαταστήσει η υπ' όψη επέμβαση. Εν τούτοις, για τις νέες διατάξεις υποστήριξης το έδαφος πρακτικά συμπεριφέρεται ως απαραμόρφωτο, επειδή η δεξαμενή έχει επί είκοσι χρόνια προφορτίσει την εν λόγω έκταση με μία μέση τάση περί τα 70 kPa, ενώ η επιφόρτιση κατά τη διάρκεια των επισκευών, προερχόμενη αποκλειστικά από τα ίδια βάρη της κατασκευής, συνοδεύεται από αμελητέα μεταβολή του πεδίου τάσεων, συνιστώντας ουσιαστικά κύκλο αποφόρτισης – φόρτισης. Το γεγονός αυτό επαληθεύτηκε πλήρως και κατά το πρώτο, διερευνητικό, στάδιο του έργου, όπου σε κανένα γρύλο δεν καταγράφηκαν μετρήσιμες καθιζήσεις, αν και ορισμένοι από αυτούς δέχθηκαν σκόπιμα φορτία πολύ μεγαλύτερα των προβλεπόμενων, της τάξης των 300kN.

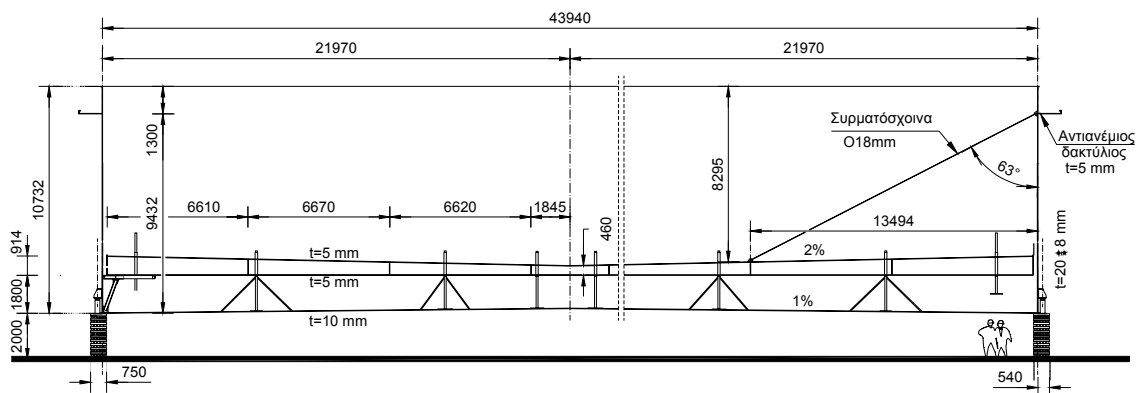
3. ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ

Η βασική φόρτιση για την οποία διερευνάται η επάρκεια τόσο της ίδιας της δεξαμενής, όσο και των διατάξεων στήριξης της κατά τη διάρκεια των εργασιών, συνίσταται από τα μόνιμα φορτία των μεταλλικών στοιχείων που την συνθέτουν. Πιέσεις αποθηκευμένου προϊόντος δεν υπάρχουν εν προκειμένω, όπως φυσικά και επιφόρτιση λόγω χιονιού, εφ' όσον η επέμβαση εκτελέστηκε το καλοκαίρι. Οι θερμοκρασιακές μεταβολές του περιβάλλοντος δεν δημιουργούν πρακτικά καμία ένταση, λόγω της δυνατότητας ελεύθερης παραμόρφωσης του κελύφους τόσο καθ' ύψος, όσο και ακτινικά. Τα ωφέλιμα φορτία,

προερχόμενα από το προσωπικό των συνεργείων και τη διακίνηση των υλικών, είναι αμελητέα σε σύγκριση με το ίδιο βάρος της κατασκευής, και δεν λήφθηκαν υπ' όψη. Εξ άλλου, η ένταση της σεισμικής διέγερσης που αντιστοιχεί στην περιορισμένη διάρκεια των εργασιών επισκευής είναι αναλογικά μικρή και δεν αποτελέσει παράμετρο σχεδιασμού. Η οριακή αντοχή της δεξαμενής σε ανεμοπίεση δεν εξετάστηκε, επειδή τα φορτία σχεδιασμού πρακτικά δεν διαφοροποιούνται με την υπερύψωσή της και θεωρείται δεδομένο ότι ο σχετικός έλεγχος αποτέλεσε αντικείμενο της αρχικής μελέτης. Αυτό όμως δεν ισχύει και για τη στατική της ισορροπία και ειδικότερα την επάρκειά της σε ολίσθηση, επειδή εν προκειμένω η έδραση δεν είναι πλέον επιφανειακή, αλλά κατανεμημένη σε 36 θέσεις περιφερειακά του κελύφους. Μετά τη σχετική διερεύνηση και αφού επιβλήθηκαν τα κατανεμημένα φορτία του ανέμου στο κέλυφος, στην πλωτή οροφή και στον πυθμένα σύμφωνα με την ακριβή μέθοδο του [EC 1-2-4] [1], το συμπέρασμα που προέκυψε ήταν ότι η κατασκευή είναι ασφαλής για ταχύτητα αναφοράς $v_{ref}=18\text{m/s}$, την μισή δηλαδή που προβλέπει ο Ευρωκώδικας για τις παραθαλάσσιες περιοχές της Ελλάδας.

4. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΕΠΕΜΒΑΣΗ

Από τον εργοδότη καθορίστηκε ότι η όλη φιλοσοφία της επέμβασης θα πρέπει να είναι συμβατή με συγκεκριμένες προδιαγραφές, που όμως στην ουσία αποτελούν ένα γενικό οδηγό βασιζόμενο σε εμπειρικά στοιχεία ενός αριθμού εκτελεσθέντων ανάλογων εργασιών και δεν έχει θέση, όπως ρητά αναφέρεται, επίσημου Κανονισμού [2]. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να σημειωθεί ότι δεν κατέστη δυνατό να βρεθεί, κάποιος άλλος ανάλογος Κανονισμός ή βιβλιογραφία, παρά τη σχετική έρευνα.



Σχ. 1: Διάταξη ανύψωσης της δεξαμενής

Σύμφωνα με τις προαναφερθείσες Προδιαγραφές, η ανύψωση της δεξαμενής επιτυγχάνεται με τη χρήση 18 υδραυλικών αντλιών (γρύλλων) μέγιστης διαδρομής 10cm, τοποθετημένων πάνω σε ξύλινα υποθέματα (τακαρίες) σε ισαπέχουσες θέσεις περιφερειακά του κελύφους. Σε 18 ενδιάμεσες θέσεις τοποθετούνται πρόσθετες τακαρίες για την στήριξη της δεξαμενής μετά από κάθε φάση ανύψωσης, σύμφωνα με την παρακάτω διαδικασία:

Ανυψώνεται η δεξαμενή κατά 10cm με χρήση των γρύλλων

Στις ενδιάμεσες θέσεις προστίθεται μια σειρά ξύλινων τάκων.

Οι υδραυλικοί γρύλλοι μαζεύονται προς τα επάνω, και κάτω από αυτούς προστίθεται μια σειρά ξύλινων τάκων



Φωτ. 1, 2: Λεπτομέρειες των διατάξεων ανύψωσης, στήριξης και ανάρτησης

Δεδομένου ότι η δεξαμενή είναι κενή, η πλωτή οροφή βρίσκεται στη θέση συντήρησης, εδραζόμενη επί του πυθμένα μέσω τεσσάρων σειρών ορθοστατών μέσου ύψους 1.8m. Για τη σύνδεση του πυθμένα και της οροφής με το όλο σύστημα ανάρτησης προβλέπονται οι εξής διατάξεις:

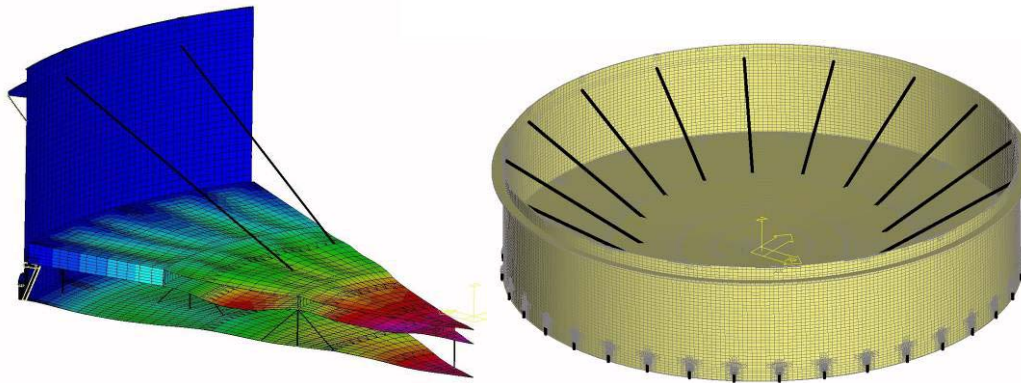
Εγκαθίστανται στη συναρμογή κελύφους και πυθμένα 18 τριγωνικά δικτυώματα, συνδεδεμένα μεταξύ τους με τετραγωνικές κοιλοδοκούς, με το άνω οριζόντιο σκέλος τους να στηρίζει ακτινικά την πλωτή οροφή, μη δεσμεύοντας όμως τις οριζόντιες μετακινήσεις. Συγκολλώνται τα ελάσματα έδρασης των ορθοστατών της πλωτής οροφής στον πυθμένα, μετατρέπόμενα έτσι σε αναρτήρες του τελευταίου.

Στερεώνονται 18 συρματόσχοινα κατά μήκος της περιφέρειας του κεντρικού εγκάρσιου δακτυλίου της πλωτής οροφής και οδηγούνται στις ισάριθμες κονσόλες των θέσεων έδρασης των αντλιών, αφού διέλθουν από τη στέψη του κελύφους.

Διευκρινίζεται ότι κατά τη διάρκεια της μελέτης και της εκτέλεσης του έργου κατέστη αναγκαίο οι ως άνω διατάξεις που βασίζονται στις Προδιαγραφές να διαφοροποιηθούν, όπως αναλυτικότερα αναπτύσσεται στα επόμενα κεφάλαια.

4. ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Για την ανάλυση της δεξαμενής και του συστήματος ανύψωσης καταστρώθηκε ένα προσομοίωμα πεπερασμένων στοιχείων, που αφορούσε το 1/9 της όλης κατασκευής δηλαδή έναν τυπικό εμβάτη, ώστε με την παράλληλη περιγραφή των κατάλληλων συνοριακών συνθηκών κυκλικής συμμετρίας να αποδίδεται χωρίς απώλεια της ακρίβειας το σύνολο του φορέα. Στο μοντέλο, που περιλάμβανε 9125 επιφανειακά και 730 γραμμικά στοιχεία, εφαρμόστηκε η θεωρία των μεγάλων παραμορφώσεων και εισήχθησαν οι γεωμετρικές ατέλειες, βάσει των σχετικών μετρήσεων του κυρίου του έργου, καθώς και οι μη γραμμικοί καταστατικοί νόμοι των υλικών (GMNIA). Βασικό κριτήριο για την ανάλυση τμήματος και όχι ολόκληρης της δεξαμενής αποτέλεσε ο απαιτούμενος χρόνος επίλυσης, καθώς η μεγάλη ευκαμψία του συστήματος σε συνδυασμό με τη θεωρία των μεγάλων παραμορφώσεων οδηγούσε στη χρήση υπερβολικού αριθμού επαναλήψεων μέχρι να επιτευχθεί αξιόπιστη σύγκλιση.



Σχ. 2: Προσομοίωμα πεπερασμένων στοιχείων (μερικώς παραμορφωμένο και πλήρως απαραμόρφωτο)

Συμπληρωματικά του μερικού στατικού προσομοιώματος δημιουργήθηκε και ένα πλήρες για ολόκληρη την δεξαμενή με 82125 επιφανειακά και 6570 γραμμικά στοιχεία, το οποίο χρησιμοποιήθηκε αποκλειστικά στον έλεγχο της γενικής ισορροπίας του συστήματος, όπου η γραμμική ανάλυση (LA) ήταν επαρκής.

Λόγω της ιδιαιτερότητας της σχεδιαζόμενης επέμβασης κατέστη αναγκαία η συγκρότηση έξι στατικών προσομοιωμάτων για την περιγραφή των διαφόρων καταστάσεων επιπόνησης του φορέα. Συγκεκριμένα, έπρεπε να διακριθούν οι περιπτώσεις έδρασης στις αντλίες [a] ή στις τακαρίες [b], καθώς και να καλυφθούν οι πιθανότητες τα συρματόσχοινα να είναι ελαφρώς προεντεταμένα [1] ή ελαφρώς χαλαρά [2], με περιθώριο ανοχής ± 30 mm ($\approx 2\%$ του θεωρητικού μήκους). Περαιτέρω, ελέγχθηκε ιδιαίτερα η γενική στατική ισορροπία [4], καθώς και μία ενδιάμεση κατάσταση [3] κατά την οποία η μεν οροφή έχει αναρτηθεί, χωρίς όμως να φέρει ακόμη τον πυθμένα. Η περίπτωση αυτή απέδειξε σε ένα πρώτο στάδιο την επάρκεια της στατικής προσομοίωσης, εφ' όσον η βύθιση της πλωτής οροφής στο κέντρο της μετρήθηκε ίση με 280mm, ταυτιζόμενη πρακτικά με την υπολογισθείσα θεωρητική των 270mm. Τελικά επιλύθηκαν τα εξής μορφώματα:

- [1a] : Έδραση στις αντλίες - προεντεταμένα συρματόσχοινα
- [1b] : Έδραση στις τακαρίες - προεντεταμένα συρματόσχοινα
- [2a] : Έδραση στις αντλίες - χαλαρά συρματόσχοινα
- [2b] : Έδραση στις τακαρίες - χαλαρά συρματόσχοινα
- [3a] : Έδραση στις αντλίες - ανάρτηση μόνον της οροφής
- [4b] : Έδραση στις τακαρίες - προεντεταμένα συρματόσχοινα - γενική ισορροπία

Τα πεπερασμένα στοιχεία του κελύφους, του πυθμένα, της οροφής και γενικά των επιπέδων μελών είναι κατά κύριο λόγο τετράπλευρα, με τα τριγωνικά να περιορίζονται σε μεταβατικές ζώνες, όπως γύρω από τις ενισχύσεις. Η διάταξή τους πραγματοποιήθηκε με τρόπο ώστε να περιγράφονται με επαρκή λεπτομέρεια οι θέσεις ειδικού ενδιαφέροντος (στηρίξεις και αναρτήσεις, ζώνες αλλαγής πάχους ελασμάτων κτλ.). Τα ποδαρικά, οι αναρτήσεις και τα profiles της πλωτής οροφής προσομοιώθηκαν ως γραμμικά μέλη, ενώ τα συρματόσχοινα αποδόθηκαν ως στοιχεία καλωδίου. Στις στηρίξεις της δεξαμενής επί των αντλιών και της πλωτής οροφής επί των τριγωνικών δικτυωμάτων χρησιμοποιήθηκαν σύνδεσμοι μονόπλευρης επαφής, ενεργοί μόνο σε θλίψη.

5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΕΛΕΓΧΟΙ

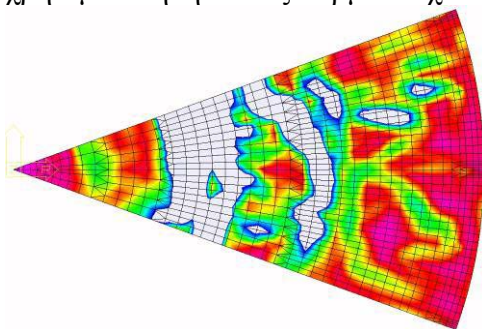
Στο αρχικό υπολογιστικό προσομοίωμα τα συρματόσχοινα ανάρτησης της οροφής



Φωτ. 3: Διάταξη συρματόσχοινων στο εσωτερικό της δεξαμενής

αναδιπλώνονταν, σύμφωνα με τις προδιαγραφές του εργοδότη, στη στέψη του κελύφους και κατέληγαν στις εξωτερικές κονσόλες των αντλιών. Μετά την ολοκλήρωση του πρώτου κύκλου της μη γραμμικής ανάλυσης παρατηρήθηκε ότι οι οριζόντιες μετακινήσεις του κελύφους στις θέσεις των συρματόσχοινων ήταν μεν ανεκτές, της τάξης των 40mm, καταγραφόταν όμως μία σαφής ευαισθησία τους σε σχέση με το μέγεθος των γεωμετρικών ατελειών που εισήγοντο στην ανάλυση. Για το λόγο αυτό πραγματοποιήθηκε επί τόπου έλεγχος με την εγκατάσταση ενός συρματόσχοινου και άσκηση σταδιακά της δύναμης προέντασης, όπου αποδείχθηκε ότι στις περιοχές με τοπικά αυξημένη καμπυλότητα του κελύφους λόγω παραμορφώσεων (ovalization), το σύστημα κατέληγε γρήγορα σε απώλεια της ευστάθειας. Έτσι αποφασίστηκε η μεταφορά της θέσης αγκύρωσης των συρματόσχοινων εσωτερικά του κελύφους, στο ύψος του αντιανέμιου δακτυλίου, η μεγάλη ακαμψία του οποίου πρακτικά μηδένιζε τις επιπτώσεις των όποιων τοπικών παραμορφώσεων.

Η μέγιστη βύθιση του πυθμένα της δεξαμενής υπολογίστηκε περί τα 340mm, με μία τυπική απόκλιση $\pm 25\text{mm}$ εξαρτώμενη από το ποσοστό προέντασης των συρματόσχοινων. Οι οριζόντιες μετακινήσεις των στοιχείων του φορέα βρέθηκαν κατά κανόνα περιορισμένες, με τις εντονότερες, της τάξης των 12mm, να καταγράφονται στην περιφέρεια της πλωτής οροφής, οφειλόμενες κύρια στη στροφή της ως στερεού σώματος. Το κέλυφος παραμορφώνεται στη στάθμη του αντιανέμιου δακτυλίου ελάχιστα, λιγότερο από 3 mm. Οι πρόσθετες κατασκευές (κονσόλες, τριγωνικά δικτυώματα κτλ.) διαστασιολογήθηκαν σύμφωνα με τον [EC 3-1], ενώ τα καλώδια διατομής $\text{Ø}18$, που χρησιμοποιήθηκαν ως συρματόσχοινα, διέθεταν συντελεστή ασφαλείας περίπου 2.00.



Με λευκό χρώμα αποτυπώνονται οι πλαστικοποιημένες περιοχές

Σχ. 3: Κάτω κατάστρωμα πλωτής οροφής – διάγραμμα τάσεων

Αναφορικά με τα ελάσματα και τα profiles της ίδιας της δεξαμενής, οι αναπτυσσόμενες τάσεις αποδείχθηκαν κατά κανόνα περιορισμένες και μόνο σε ορισμένες χαρακτηριστικές περιοχές εμφανίστηκαν αιχμές που πλησίαζαν τα όρια διαρροής (βλ. Σχ. 3).

6. ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

Αρχικά από τα συρματόσχοινα αναρτήθηκε η πλωτή οροφή με την δεξαμενή επί εδάφους, προκειμένου να γίνουν οι εργασίες μετατροπής της γεωμετρίας του πυθμένα σε μορφή “cone-up”. Στη συνέχεια συγκολλήθηκαν στον πυθμένα οι ορθοστάτες της οροφής (πλην της εξωτερικής σειράς) και οι πρόσθετοι αναρτήρες και ξεκίνησε η διαδικασία ανύψωσης η οποία δεν αντιμετώπισε ιδιαίτερα προβλήματα μέχρι και του ύψους 1.50m. Από εκεί και μετά άρχισε να παρατηρείται μια μικρή μετάπτωση της δεξαμενής από την αρχική θέση κατά λίγα χιλιοστά ανά βήμα, η οποία καταγραφόταν μόνο κατά τη διάρκεια της ανύψωσης, ενώ στην κατάσταση ηρεμίας (στήριξη στις τακαρίες) η δεξαμενή ήταν απόλυτα σταθερή. Η δεξαμενή παρέμεινε στη θέση ανύψωσης για διάστημα περίπου 2 μηνών, μέχρις ότου να ολοκληρωθούν οι εργασίες αμμοβολής και βαφής του πυθμένα και της εξυγίανσης του εδάφους της υπόβασης με συμπιεσμένο αμμοχάλικο. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε η επισκευή του κελύφους και τέλος ακολούθησαν οι διάφοροι έλεγχοι (ραδιογραφίες συγκολλήσεων, υδραυλικές δοκιμές κτλ.).



Φωτ. 4: Η δεξαμενή [TK-17] στην τελική θέση ανύψωσης

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Παρόλο που η αναλυτική προσέγγιση δεν αποτελεί ακόμη κοινή πρακτική στις επισκευές των δεξαμενών, γεγονός τουλάχιστον ασυνήθιστο για τέτοιας κλίμακας επεμβάσεις, αποδείχτηκε πως αυτό είναι αναγκαίο προκειμένου να σχεδιαστεί με ασφάλεια η όλη επιχείρηση της ανέγερσης. Εκτελώντας τις εργασίες μόνον εμπειρικά και δεδομένης της έλλειψης κανονιστικού πλαισίου, υπάρχει κίνδυνος να οδηγηθούμε σε αστοχίες ή πλαστικές παραμορφώσεις τμημάτων της κατασκευής, οι οποίες δεν είναι πάντα έγκαιρα ανιχνεύσιμες. Η προσφυγή σε μη γραμμική ανάλυση, λόγω της ύπαρξης λεπτότοιχων στοιχείων και συρματόσχοινων, παράλληλα με την εισαγωγή γεωμετρικών ατελειών. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι η επίλυση του υπ' όψη συστήματος βάσει της θεωρίας 1^{ης} τάξης κατέληξε σε μέγιστη βύθιση του πυθμένα περί το 1.00m, κάτι που απείχε πολύ από την πραγματικότητα.

8. ΠΑΡΑΠΟΜΠΕΣ

[1] ENV 1991, “Actions on structures”, CEN, Brussels, 1991.

[2] EXXON, “Tank maintenance guide”, Exxon Research Co, 1983.

REPAIRING OF A HIGHLY DEFORMED OIL STORAGE STEEL TANK DAMAGED DUE TO EXTENSIVE SOIL SETTLEMENTS

I. Lavassas

Dipl. Civil Engineer
e-mail: info@statika.gr

P. Zervas

Dr. Civil Engineer
e-mail: info@statika.gr

G. Nikolaidis

Dipl. Civil Engineer
e-mail: info@statika.gr

C.C. Baniotopoulos

Dr.-Ing. Civil Engineer, Professor A.U.Th.,
Institute of Steel Structures
Aristotle University of Thessaloniki
54124 Thessaloniki, Greece
e-mail : ccb@civil.auth.gr

ABSTRACT

The present paper concerns the repairing of a highly deformed oil storage steel tank, in Kalohori-Thessaloniki, owned by “Hellenic Petroleum”, which was damaged due to extensive soil settlements. The tank that was initially constructed 20 years ago, has a diameter of 43.94 m and a height of 10.72 m. Using hydraulic jacks, tank was lifted in steps of 10 cm to a final height of 2.0 m above ground, obtaining sufficient space to work below for soil improvement. At every step, tank was supported by ascending wooden chock stacks, 18 in raise position below the jacks, and 18 in support position. The bottom of the tank, as well as the floating roof, were suspended from the shell, by 18 steel cables along the circumference.

Empirical specifications were given by the tank owner and the “EXXON tank maintenance guide”. Although tank repair is a common practice in oil industry, no sophisticated computational approach has been found in the international bibliography. For the analysis, six detailed FE models were prepared; geometric and material non-linearity laws (GMNA) together with frictional unilateral contact conditions to determine structure behavior and to design all temporary structures required to achieve the erection safely have been included to the latter models. Analysis was performed for the tank self-weight and for the wind loading.

During each step of the repairing work, FE model results were compared with ad loc measurements and tests. The initial employer’s suggestion for the suspension of the bottom has been changed due to in situ test results before starting tank erection. Final in situ measurements certified a high degree of approach to the results of the non-linear model, in contrast, to those obtained by the linear analysis (LA) testing, which produced irrational results. Worksite experience showed empirical specification weaknesses and proved the necessity of using highly advanced FE models in similar cases.