

Η μεταλλική κατασκευή του σταθμού του Η.Σ.Α.Π. στον Πειραιά

Άρης Χατζηδάκης

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ανακοίνωση θα προσπαθήσει, μέσα από τα σχέδια της κατασκευής του υποστέγου του ΗΣΑΠ στον Πειραιά, που φυλάσσονται στην Τεχνική του Υπηρεσία, να δώσει στοιχεία από το ιστορικό του έργου, το τεχνικό περιβάλλον της εποχής καθώς και τις στατικές γνώσεις των αρχών του 1900. Στην ιστορία των κατασκευών οι σταθμοί των τραίνων σημαδεύουν μια εποχή που η κατασκευαστική πρόοδος είναι συνυφασμένη με την γέννηση των σύγχρονων πολιτικών μηχανικών στους οποίους οφείλεται όχι μόνον υποδομή που ήταν απαραίτητη για την λειτουργία του σιδηροδρόμου (τροχιές, γεφυρώσεις κλπ) αλλά σε μεγάλο βαθμό και η μορφολογική και τεχνική διαμόρφωση των σταθμών της εποχής. Σε θεωρητικό επίπεδο η γενίκευση της χρήσης του σιδήρου που ξεκινώντας από την κάλυψη των αναγκών του σιδηροδρομικού δικτύου επεκτάθηκε και στις κτιριακές κατασκευές γέννησε την σύγχρονη στατική μέσα από την πρακτική και θεωρητική αναζήτηση των νόμων της συμπεριφοράς του νέου υλικού. Πιστεύω ότι το υλικό αυτό αξίζει να διασωθεί και η σύντομη παρουσίαση που γίνεται παρακάτω αποτελεί μια μικρή συνεισφορά στη μεγάλη κατασκευαστική παράδοση που εκπροσωπεί.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Αφορμή για το άρθρο αυτό μας έδωσε η «ανακάλυψη» των κατασκευαστικών σχεδίων της μεταλλικής κατασκευής του σταθμού του Πειραιά του Η.Σ.Α.Π. στο αρχείο της Τεχνικής του Υπηρεσίας. Συγκεκριμένα με την συγκατάθεση του Διευθυντού Γραμμής και Έργων του Η.Σ.Α.Π. κου Αθανασίου Ρίζου και την βοήθεια των μηχανικών της Υπηρεσίας Μελετών κυρίων Στρατή Αποστόλου πολιτικού μηχανικού και Ιωάννη Αδάμου αρχιτέκτονα, διερευνήθηκε, ταξινομήθηκε και αξιολογήθηκε το υπάρχον υλικό στα αρχεία αυτά. Από την θέση αυτή θέλω να τους ευχαριστήσω που είχαν την καλοσύνη να μου επιτρέψουν την πρόσβαση σ' αυτό. Η παρουσίαση μερικών έστω τμημάτων της μελέτης μας θυμίζει την εποχή που λόγω έλλειψης των απεριόριστων αναλυτικών-υπολογιστικών μέσων που διαθέτουμε σήμερα καλλιεργούσε μεθόδους αναλυτικές και γραφικές των οποίων ο όγκος των υπολογισμών θα μπορούσε να είναι διαχειρίσιμος από τον μηχανικό με την βοήθεια απλών πινακοποιήσεων και του λογαριθμικού κανόνα δηλαδή με τον λογισμό των αριθμητικών πράξεων και των απλών συναρτήσεων.

2. ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗΝ ΙΣΤΟΡΙΑ

Οι σταθμοί των τραίνων αποτελούν χώρους που μας γεννούν ιδιαίτερα συναισθήματα. Η συνεχής κίνηση των ανθρώπων, η γοητεία και η μυθολογία του ταξιδιού, η μνημειακή πρόθεση και η κλίμακα της κατασκευής συμβάλλουν στα συναισθήματα αυτά. Αποτελούν επίσης σημαντικούς σταθμούς της ιστορίας των κατασκευών ταυτισμένους με την ιδέα της προόδου που συνόδεψε την βιομηχανική επανάσταση και την εκπληκτική διάδοση των μεταλλικών κατασκευών που έκαναν δυνατή την υλοποίηση τολμηρών και επιβλητικών έργων ικανών να εκφράσουν τις φιλοδοξίες μιας εποχής που πίστευε ότι δεν θα γνώριζε όρια Στην ιστορία των κατασκευών σημαδεύουν μια εποχή που η κατασκευαστική πρόοδος είναι συνυφασμένη με την γέννηση των σύγχρονων πολιτικών μηχανικών στους οποίους οφείλεται όχι μόνον υποδομή που ήταν απαραίτητη για την λειτουργία του σιδηροδρόμου (τροχιές, γεφυρώσεις κλπ) αλλά σε μεγάλο βαθμό και η μορφολογική και τεχνική διαμόρφωση των σταθμών της εποχής. Η κατασκευή των πρώτων σιδηροδρόμων επηρέασε σημαντικά την επιστήμη των κατασκευών θέτοντας μια σειρά από νέα προβλήματα τόσο στην γεφυροποιία όσο και στα κτηριακά έργα αυξάνοντας τις απαιτήσεις ακαμψίας των φορέων και το μέγεθος των προς γεφύρωση ανοιγμάτων. Οι πρώτες απαντήσεις στις απαιτήσεις αυτές δόθηκαν κυρίως με την ανάπτυξη δικτυωτών φορέων. Με αφορμή την μελέτη των κιβωτιοειδών γεφυρών που πρότεινε ο Στέφενσον στον Conway και την Britannia στον Menai Straits το 1845 τέθηκαν για πρώτη φορά τα θέματα του λυγισμού των

λεπτότοιχων διατομών, η έρευνα των φορέων μέσω μοντέλου, οι σύνδεσμοι με πριτσίνωμα των μεταλλικών πλακών, η πλευρική πίεση ανέμου, οι θερμοκρασιακές διαφορές κλπ. Χάρης στην ανάπτυξη των σιδηροδρόμων τέθηκε και μελετήθηκε συστηματικά πειραματικά κυρίως από τον Wohler το πρόβλημα της κόπωσης του μετάλλου κάτω από επαναλαμβανόμενη φόρτιση (βασικά οι άξονες των τροχών).

Σε θεωρητικό επίπεδο η γενίκευση της χρήσης του σιδήρου που ξεκινώντας από την κάλυψη των αναγκών του σιδηροδρομικού δικτύου επεκτάθηκε και στις κτιριακές κατασκευές γέννησε την σύγχρονη στατική μέσα από την πρακτική και θεωρητική αναζήτηση των νόμων της συμπεριφοράς του νέου υλικού.

Ο Navier πρώτος το 1826 έδωσε βασισμένος στη θεωρία της ελαστικότητας και τα πειραματικά δεδομένα της εποχής τις μαθηματικές σχέσεις που επέτρεπαν τον υπολογισμό της αντοχής καμπτόμενης δοκού και του βέλους κάμψης. Έδωσε ακόμα μια γενική μέθοδο υπολογισμού στατικώς αόριστων κατασκευών βασισμένη στην ελαστικότητα. Οι πρώτες εφαρμογές δικτυωτών φορέων ήταν ξύλινες γέφυρες ή οροφές. Από την αρχαιότητα έχουμε την περίφημη γέφυρα του Τραϊανού στο Δούναβη και τέτοιες κατασκευές είναι γνωστές από το Παλλάντιο και την Ελβετία. Οι πρώτες σιδηροδρομικές γέφυρες στην Αμερική ήταν επίσης ξύλινα δικτυώματα. Από το 1840 και μετά έχουμε μεταλλικά δικτυώματα και από το 1846 εμφανίζεται το μεταλλικό τριγωνικό δικτύωμα Warren. Παράλληλα αναπτύσσονται αναλυτικές μέθοδοι εύρεσης των εντάσεων των ράβδων από τους Jourawski, Schwelder, και Ritter. Η ανάπτυξη των γραφικών μεθόδων επίλυσης φορέων από τον Culmann το 1851 και στη συνέχεια από τους Ritter, Mohr και Cremona βοήθησαν την διάδοση των δικτυωτών κατασκευών.

Ο Culmann εργάστηκε αρχικά στους Βαβαρικούς σιδηροδρόμους, ταξίδεψε σε Αμερική και Αγγλία όπου μελέτησε κριτικά τις υπάρχουσες ξύλινες και μεταλλικές σιδηροδρομικές γέφυρες και το 1855 διορίστηκε καθηγητής θεωρίας των κατασκευών στο νεοσύστατο Πολυτεχνείο της Ζυρίχης. Η κατασκευή του δυναμοπολυγώνου και του σχοινοπολυγώνου είναι γνωστή από την εποχή του Varignon και χρησιμοποιήθηκε από τους Lamé και Clapeyron στην ανάλυση των τόξων. Ο Poncelet τα χρησιμοποίησε επίσης στην ανάλυση τοίχων αντιστήριξης. Αποτελούσαν όμως μεμονωμένες εφαρμογές. Η βασική συνεισφορά του Culmann έγκειται στην συστηματική ανάπτυξη των γραφικών μεθόδων για την επίλυση όλων των κατασκευών και στην δημοσίευση το 1866 του πρώτου βιβλίου γραφοστατικής. Η χρήση της κλείουσας του σχοινοπολυγώνου για την εύρεση του διαγράμματος ροπών και της ελαστικής γραμμής σε ολόσωμους ισοστατικούς φορείς οφείλεται κυρίως στην συνεισφορά του Mohr. Σε αυτόν οφείλεται η παρατήρηση ότι το βέλος (απόσταση) μεταξύ της κλείουσας και του σχοινοπολυγώνου σε μία θέση πολλαπλασιαζόμενο με την πολική απόσταση του δυναμοπολυγώνου μας δίνει την καμπτική ροπή στην θέση αυτή. Ο Culmann θεωρούσε σημαντική την προβολική γεωμετρία στην ανάπτυξη των γραφικών μεθόδων και αναπτύσσει τις προβολικές ιδιότητες συστήματος δυνάμεων στο βιβλίο του. Αν η διδασκαλία της παραστατικής γεωμετρίας κληρονομήθηκε από τις ανάγκες της λιθοτομίας και τον Monge, η διδασκαλία της προβολικής γεωμετρίας κληρονομήθηκε από την σύσταση του Culmann ότι είναι απαραίτητη στους μηχανικούς. Οι γραφικές μέθοδοι κυριάρχησαν για τα επόμενα 100 χρόνια, αναπτύχθηκαν από επιστήμονες όπως ο Winkler και ο Mohr και διαδόθηκαν σε όλη την Ευρώπη και από τον Luigi Cremona του Πολυτεχνείου του Μιλάνου ο οποίος συστηματοποίησε την τεχνική της χάραξης των εναλλακτών δυναμοδιαγραμμάτων και μελέτησε τις γεωμετρικές ιδιότητες τους. Οι μέθοδοι αυτές εξάντλησαν τις δυνατότητες μελέτης των ισοστατικών φορέων και με ορισμένες τεχνικές και υπερστατικών. Χρησιμοποιήθηκαν ακόμα στην ανάλυση των λίθινων τόξων για την χάραξη της καμπύλης των πιέσεων υπό κάποιες παραδοχές και του σχοινοπολυγώνου των εξωτερικών δυνάμεων. Η παραπέρα πρόοδος της επιστήμης των κατασκευών θα έπρεπε να αντιμετωπίσει συνθετότερους φορείς και να περιλάβει τις ελαστικές ιδιότητες του υλικού για να μπορέσει να προκρίνει μεταξύ των απείρων δυνατοτήτων ισορροπίας και έντασης ποια είναι συμβατή με τα δεδομένα του προβλήματος. Ξεκινούσε η λαμπρή για την μηχανική εποποιία που βασίστηκε στην μαθηματική θεωρία της ελαστικότητας για να διαψευστεί μετά από 100 χρόνια η αξιοπιστία της προσέγγισης της φύσης με αποκλειστικά ιδανικό μαθηματικό τρόπο. Η επίλυση υπερστατικών τοξοτών κατασκευών αναπτύχθηκε από τον Maxwell και τον Castigliano με ενεργειακή θεώρηση του αποτελέσματος των δυνάμεων πάνω στην κατασκευή και ο Betti γενίκευσε τις σχέσεις ανάμεσα στο έργο των εξωτερικών δυνάμεων

και την ελαστική ενέργεια του φορέα. Έτσι στο τέλος του 19ου αιώνα υπάρχουν τα μέσα για την επίλυση σύνθετων κατασκευών πράγμα που ευνόησε την πραγματοποίηση δικτυωτών τόξων, συνήθως αρθρωτών για την γεφύρωση και την κάλυψη μεγάλων ανοιγμάτων. Είναι η εποχή που η μαθηματική θεωρία της ελαστικότητας φαίνεται η πανάκεια για την επίλυση των πρακτικών προβλημάτων του μηχανικού. Θα χρειαστεί περισσότερο από ένας αιώνας για να γίνει αντιληπτό ότι οι πραγματικές κατασκευές λειτουργούν αρκετά διαφορετικά από τις μαθηματικές τους εξιδανικεύσεις και ότι η εύρεση των εντατικών μεγεθών λειτουργίας μιας πραγματικής κατασκευής είναι σχεδόν ανέφικτη. Οι πειραματικές αυτές διαπιστώσεις οδήγησαν στη συνέχεια στις πλαστικές θεωρήσεις και τη μέθοδο των οριακών καταστάσεων ενός φορέα. Επιστρέψαμε έτσι σε προσεγγίσεις στερεού σώματος και κινηματικές μεθόδους που χρησιμοποιούσαμε πριν την επανάσταση του Navier. Οι θεωρητικές κατακτήσεις της ελαστικότητας προχώρησαν παράλληλα με την πραγματοποίηση καταπληκτικών σιδηρών έργων από μηχανικούς σαν τον Brunel και τον Stephenson στην Αγγλία, τον Roebling στην Αμερική, και τον Eiffel στην Γαλλία, ενώ το πρόβλημα των συνδέσεων λύθηκε με την ανάπτυξη της τεχνικής του πριτσινώματος από τους Hodgkinson και Fairbairn. Οι πριτσινωτές συνδέσεις αποδείχθηκαν καλύτερες από της κοχλιωτές που δεν προσφέρουν παρά αντοχή σε διάτμηση γιατί η τοποθέτηση του ήλου εν θερμώ γεμίζει όλα τα κενά της σύνδεσης και η συρρίκνωση του υλικού με την ψύξη δημιουργεί μια τοπική περίσφιξη ευεργετική για την ποιότητα και αντοχή της σύνδεσης. Δημιουργήθηκε έτσι μια ολόκληρη τεχνολογία συνδέσεων με εξειδικευμένους τεχνίτες «γυρωτές» και μηχανές για μαζικές συνδέσεις στο εργοστάσιο που σημάδεψε την πρώτη εποχή ανάπτυξης των σιδηρών κατασκευών. Οι διεθνείς εκθέσεις, χώροι έκθεσης των βιομηχανικών επιτευγμάτων των αναπτυσσόμενων χωρών της εποχής αλλά και κορυφαίες εκφράσεις του πνεύματος του ανταγωνισμού ανάμεσά τους, έγιναν η αφορμή για την κατασκευή μοναδικών μεταλλικών κατασκευών όπως το Crystal Palace, ο πύργος του Eiffel και η Galerie des Machines του Contamin ενιαίου χώρου με άνοιγμα 107,0μ που αποτέλεσε το πρώτο παράδειγμα χρήσης τριαρθρωτού τόξου για την κάλυψη μεγάλων χώρων.

3.ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΟ ΕΡΓΟ

Ο σταθμός του ΗΣΑΠ στον Πειραιά είναι οικείος σε όλους μας. Σαν κτίριο δεσπόζει στην περιοχή του λιμανιού και μορφολογικά θα μπορούσε να είναι οποιοδήποτε αστικό κτίριο του μεσοπολέμου. Ένα κτήριο υπηρεσιών ή ακόμα ένα μεγάλο ξενοδοχείο. Είναι έργο των αδελφών Αγγέλου, Ιωάννη αρχιτέκτονα και Μιλτιάδη πολιτικού μηχανικού, και θεωρείται επηρεασμένο από τον σταθμό του Μιλάνου. Η αίθουσα αναχωρήσεων και αφίξεων που καλύπτει η μεταλλική κατασκευή αποκρύπτεται πλήρως από τις κύριες όψεις του κτιρίου, έτσι ώστε να πρέπει να μπει μέσα για να αντιληφθείς τη χρήση του. Φαίνεται ότι έγινε συνειδητή επιλογή πλήρους ένταξης του κτιρίου στο αστικό του περιβάλλον. Δεν είναι σαφής η συμβολή των Αγγέλου στην μορφή του υποστέγου γιατί γνωρίζουμε ότι ο διαγωνισμός έγινε με βάση σχέδια του μηχανικού Schneider.



Εικ. 1: Γενική άποψη του σταθμού

Η αίθουσα αφίξεων-αναχωρήσεων καλύπτεται από μια σειρά ολόσωμων τριαρθρωτών τόξων ανοίγματος 20,20 μ και ύψους 12,70μ, τοποθετημένων ανά 12,30μ σχηματίζοντας μια αίθουσα συνολικού μήκους 123,0μ που καλύπτει τις δύο γραμμές. Το ακραίο προς την Αθήνα πλαίσιο που φέρει τα κατακόρυφα υαλοστάσια που κλείνουν το τόξο από την γένεση της καμπύλης του και άνω είναι διαρθρωτό πιθανόν επειδή η δυνατότητα θάλασης στην κλείδα μπορούσε να δημιουργήσει πρόβλημα στο εκτεταμένο υαλοστάσιο. Τα ανοίγματα μεταξύ των τόξων κατά μήκος της αίθουσας καλύπτονται με αρθρωτές δοκούς Gerber επί των οποίων στερεώνονται δευτερεύουσες δοκοί που φέρουν τα υαλοστάσια της οροφής. Η διαμήκης ακαμψία της κατασκευής εξασφαλίζεται με οριζοντίους αντιανέμιους συνδέσμους καθώς και με διαμήκη δικτυωτό αντιανέμιο στη θέση του κορυφιά της κατασκευής. Υπάρχει επίσης ισχυρή κεφαλοδοκός πλαισίου στο ύψος της γένεσης του τόξου που σχηματίζει ένα διαμήκες πλαίσιο μέσω και της σύνθετης διατομής μορφής T των μεταλλικών στύλων. Η τεγίδα λόγω του μεγάλου ανοίγματος της προκύπτει U 300*100*10, αναπτύσσει τάσεις 480 kg/cm² και μέγιστο βέλος 19 χλστ δηλαδή L/655. Πάνω από τα τόξα υπάρχει τριγωνική υπερύψωση της στέγης (λατέρνα) για τον αερισμό της αίθουσας. Οι σύνθετες διατομές του τόξου μορφώνονται από επίπεδα ελάσματα και γωνιακά προφίλ, έχουν διατομή T ώστε να εμφανίζουν και διαμήκη ακαμψία, έχουν μεταβλητή κατά τον άξονα τους διατομή ώστε να προσαρμόζονται στην μεταβολή των εντάσεων συμβάλλοντας στην οικονομία της κατασκευής. Οι απαραίτητες συνδέσεις για την μόρφωση της όλης κατασκευής είναι κατά κανόνα πριτσινωτές (γυρωτικός ήλος). Τα πλαίσια φέρουν επίσης διακοσμητικά μοτίβα επίσης πριτσινωμένα πάνω στην λαμαρίνα της σύνθετης διατομής.



Εικ.2: Το τέλος του υποστέγου προς Αθήνα και το εσωτερικό.

Η κατασκευή του μεταλλικού υπόστεγου αποτέλεσε ξεχωριστή εργολαβία που ανατέθηκε μετά από προσφορές και διαπραγμάτευση στην Ανώνυμη Εταιρεία Dyle et Bacalan με εργοστάσιο στη Lounvain και έδρα το Παρίσι. Την εταιρεία εκπροσωπούσε στην Αθήνα βάσει πληρεξουσίου ο κ. Β. Αριστόβουλος.

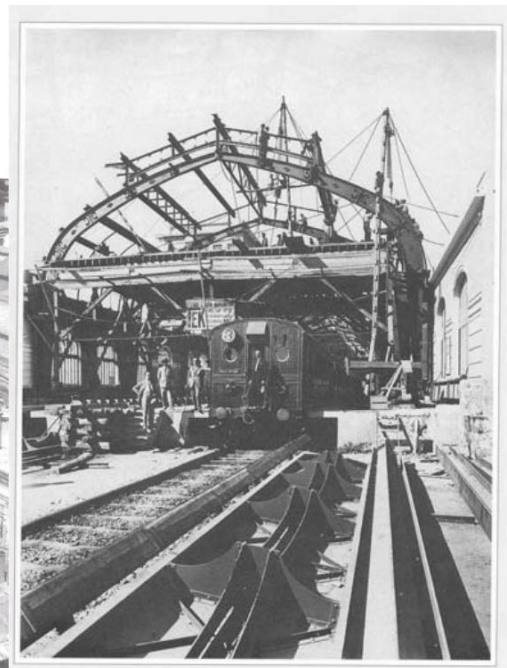
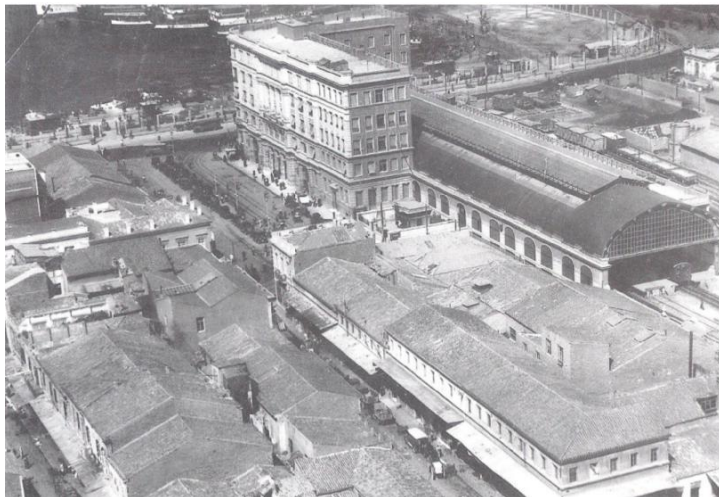
Ενδιαφέρον παρουσιάζει το κείμενο της σχετικής Σύμβασης που υπογράφηκε στις 12 Μαρτίου 1926 μεταξύ του κ Αλέξανδρου Βλάνκαλη που εκπροσωπούσε σαν διευθυντής τους ΕΗΣ (Ελληνικοί Ηλεκτρικοί Σιδηρόδρομοι) και του κ Β. Αριστόβουλου που εκπροσωπούσε τους Dyle et Bacalan. Από το κείμενο της μαθαίνουμε ότι ο διαγωνισμός έγινε με βάση τα σχέδια του μηχανικού Schneider τα οποία εγκρίθηκαν από το Υπουργείο Δημοσίων Έργων και ότι οι προδιαγραφές που όφειλε να ακολουθήσει ο κατασκευαστής είναι αυτές που περιλαμβάνονταν στις ειδικές συγγραφές Υποχρεώσεων του Βελγικού Κράτους. Η διαιτησία για κάθε διαφωνία που θα μπορούσε να προκύψει ανατίθονταν στην Ελβετική Εταιρεία Μηχανικών και Αρχιτεκτόνων (Ste Suisse des Ingenieurs & Architecte) της οποίας η άποψη θα ήταν υποχρεωτική για τους συμβαλλόμενους.

Η προσφορά περιελάμβανε την παράδοση c/cf στον Πειραιά βιομηχανοποιημένου όλου του απαραίτητου υλικού του υποστέγου ενώ την ανέγερση θα ανέλαμβανε η Γενική Εταιρεία Κατασκευών. Το βάρος της κατασκευής ανήλθε σε 375 τόνους πλέον 12,5 τόνους γαλβανισμένων στοιχείων, με συνολικό κόστος 5862 Λιρών Αγγλίας.

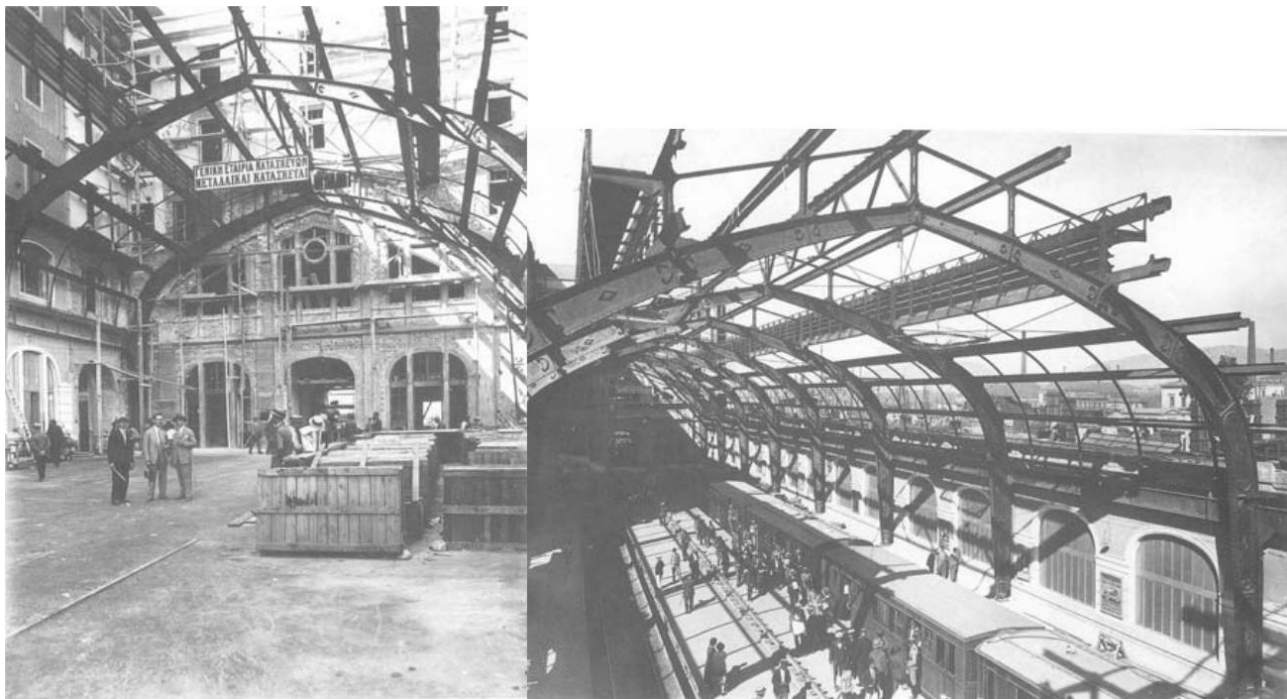


Εικ.3: Προσυπογραφή των σχεδίων από την Γ.Ε.Κ για την ανέγερση του υποστέγου

Στη συνέχεια παραθέτουμε μερικές ιστορικές φωτογραφίες από την περίοδο της κατασκευής του υπόστεγου το 1926. Οι φωτογραφίες αυτές είναι δημοσιευμένες σε Λεύκωμα που εξέδωσε ο ΗΣΑΠ με την επέτειο των 130 χρόνων από την λειτουργία της γραμμής.



Εικ. 4: Το συγκρότημα του σταθμού το 1930, εικόνα από την ανέγερση.

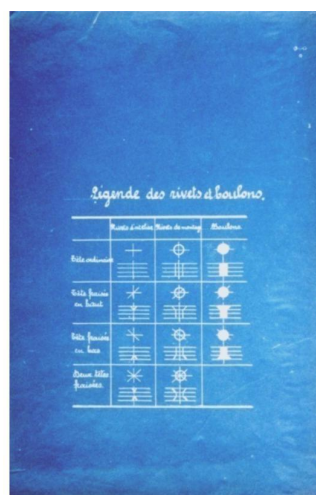


Εικ.5: Εικόνες από την ανέγερση

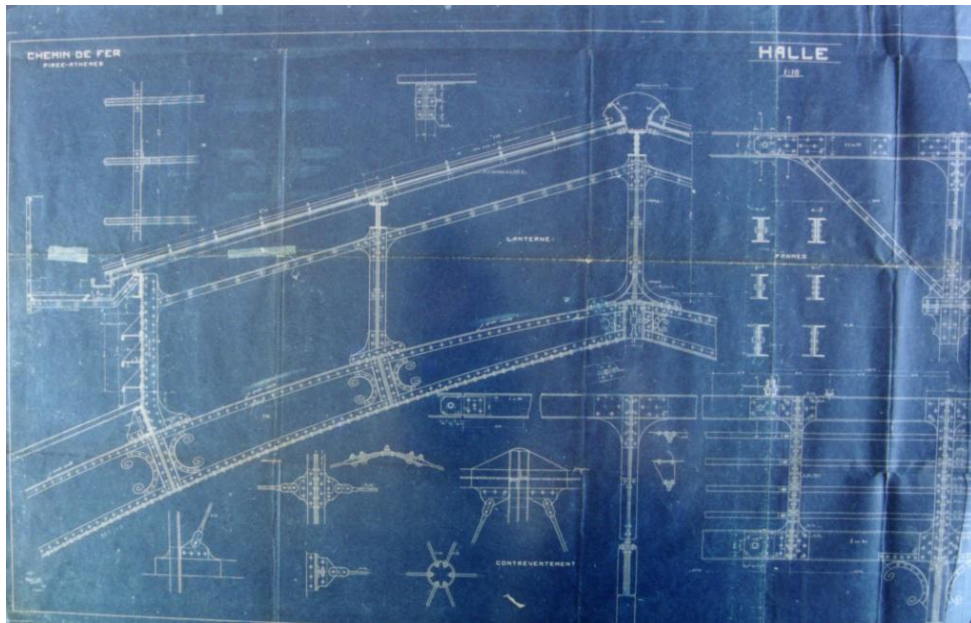
4.ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΛΕΤΗ

Τα σχέδια και το τεύχος των υπολογισμών που έχουν σωθεί στο αρχείο της Υπηρεσίας είναι αντίγραφα φτιαγμένα με την τεχνική της ηλιοτυπίας που ήταν η μόνη διαθέσιμη, πλην της αντιγραφής, την εποχή εκείνη. Δηλαδή το διαφανές του σχεδίου τοποθετούνταν σε επαφή και πάνω από ένα χαρτί ευαίσθητο στο φως που άφηνε λευκές τις γραμμές και έκαιγε τις υπόλοιπες περιοχές εξ' ου και το μπλε φόντο των σχεδίων.

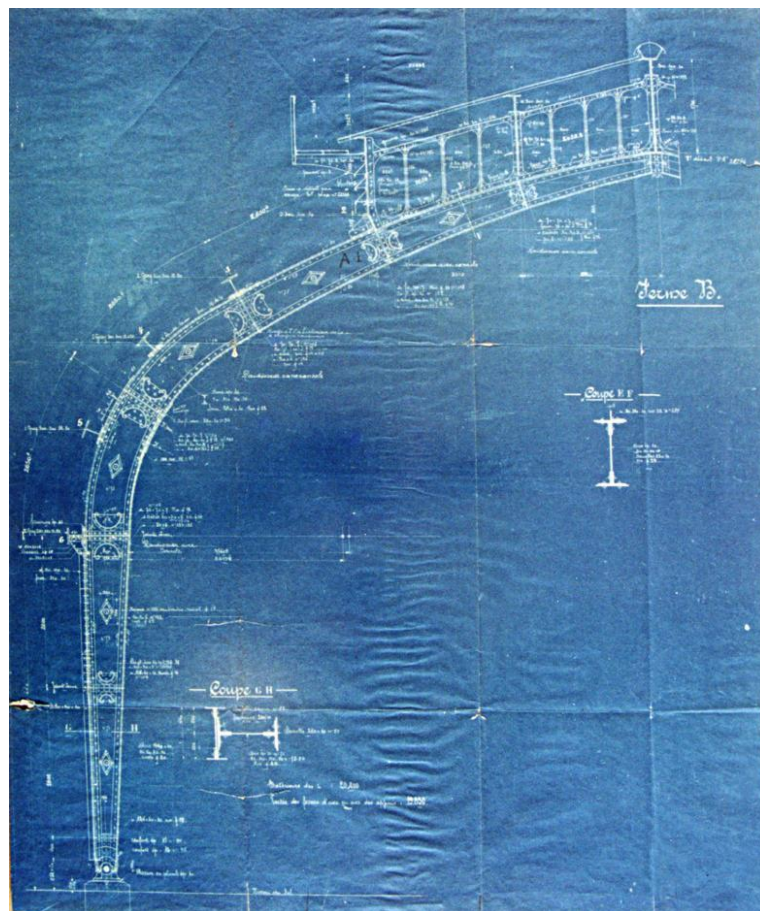
Η παράθεση μερικών από τα σχέδια αυτά, παρά την κακή ποιότητα της αναπαραγωγής τους που έγινε με φωτογράφιση, γίνεται κυρίως σαν ιστορική τεκμηρίωση μιας φάσης της κατασκευαστικής μας ιστορίας. Εμπειριέχει όμως αναπόφευκτα και μια μικρή δόση νοσταλγίας για μια εποχή που η σχέση του μηχανικού με το έργο του ήταν πολύ πιο προσωπική και οι στατικές μας δυνατότητες και μέθοδοι, έστω και απλοποιητικές, επέτρεπαν μια καλύτερη φυσική αίσθηση των δυνάμεων και της λειτουργίας του φορέα.



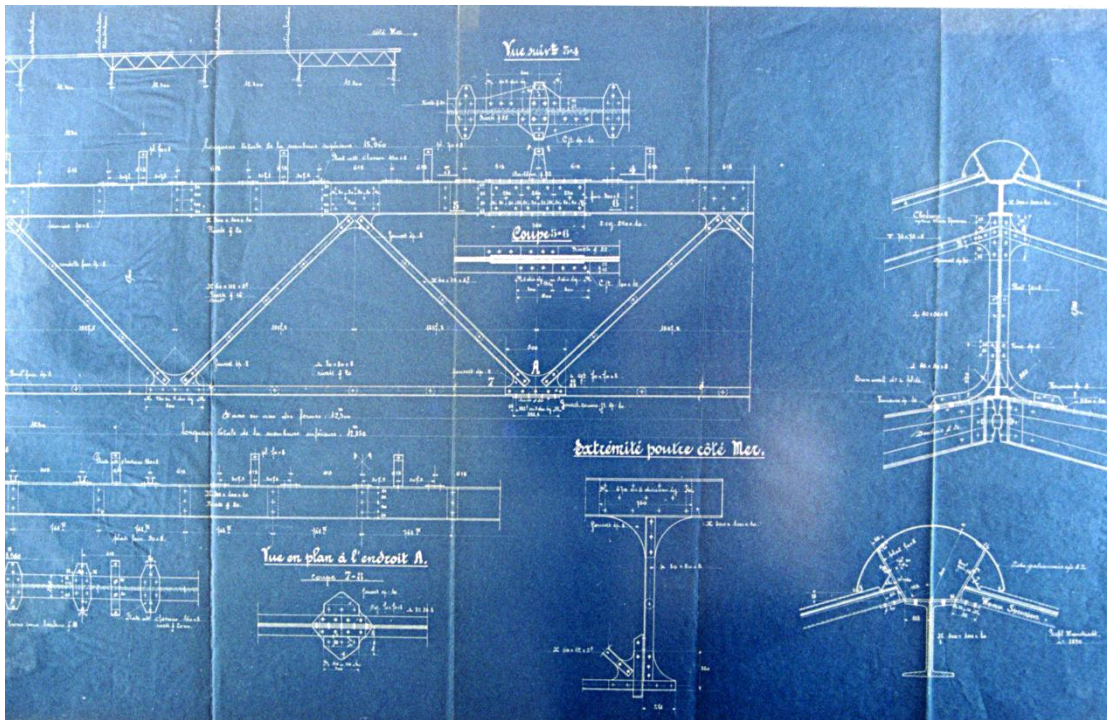
Εικ. 6: Η πινακίδα των σχεδίων και το υπόμνημα των συμβολισμών των συνδέσεων



Εικ. 9: Λεπτομέρειες περί την μεσαία άρθρωση και την υπερυψωμένη λατέρνα



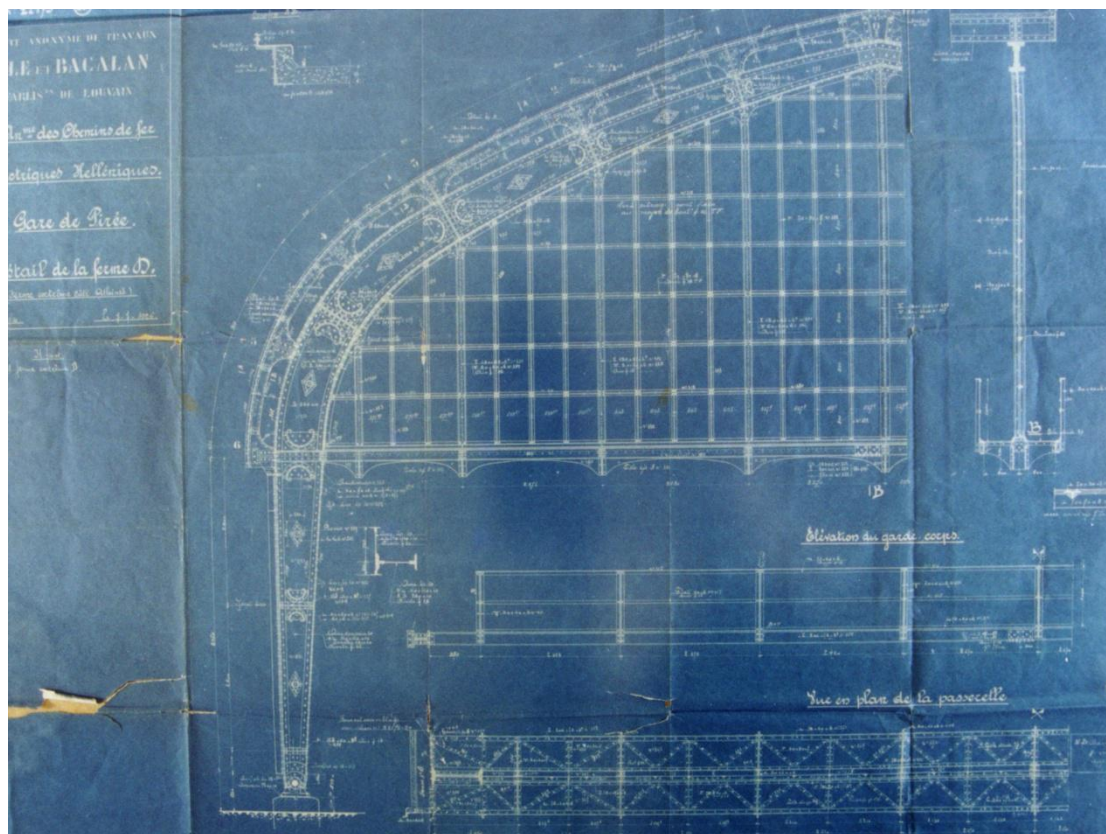
Εικ. 10: Το τόξο με τα ένθετα διακοσμητικά του στοιχεία



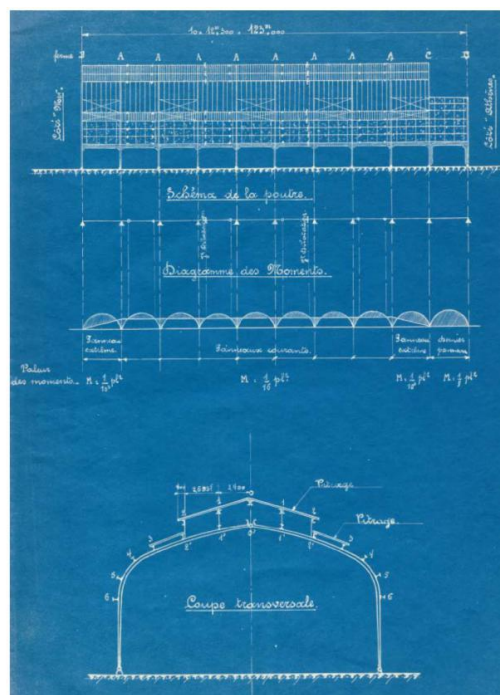
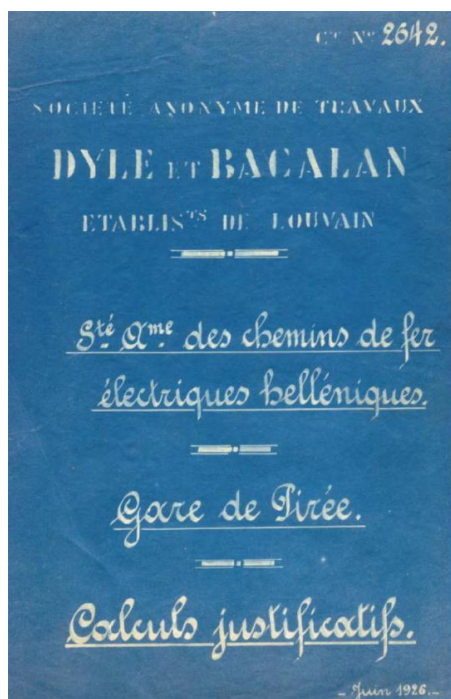
Εικ. 11: Λεπτομέρειες περί τον κορφιά της λατέρνας, κατακόρυφος αντιανέμιος σύνδεσμος

Το τεύχος των υπολογισμών παρουσιάζει εξαιρετικό ενδιαφέρον για τον πολιτικό μηχανικό που διαπιστώνει ότι μέχρι και πριν από 20 χρόνια όταν ήταν ακόμα σε χρήση το DIN 1050 δεν θα είχε να κάνει ουσιαστικά διαφορετικά πράγματα από τον μελετητή του 1925.

Δεν εμφανίζονται οι κανονιστικές διατάξεις για φορτία συνδυασμούς και επιτρεπόμενες τάσεις αναφέρεται όμως στη σύμβαση ως κανονιστικό πλαίσιο αυτό των Βελγικών προδιαγραφών. Το όλο πρόβλημα έχει αναλυθεί σε επίπεδους γραμμικούς φορείς που έχουν επιλυθεί με γραφικές μεθόδους. Σε ότι αφορά τα ισοστατικά τριαρθρωτά τόξα η εύρεση των αντιδράσεων και των εντάσεων είναι εφικτή με απλές σχέσεις ισορροπίας στερεού σώματος, για το διαρθρωτό όμως πρέπει να έγινε προσφυγή για τον προσδιορισμό της οριζόντιας αντίδρασης σε σχετικό τυπολόγιο. Η διαστασιολόγηση των επί μέρους διατομών γίνεται με επιτρεπόμενες τάσεις και τις γνωστές σχέσεις της αντοχής των υλικών για την κάμψη με ορθή δύναμη και η περίπτωση του λυγισμού αντιμετωπίζεται με μείωση της διαθέσιμης διατομής με συντελεστή ανάλογο των πινάκων ω που χρησιμοποιούσαμε πριν λίγα χρόνια. Οι έννοιες της ροπής αντιστάσεως της διατομής καθώς και της ακτίνας αδρανείας (γυροσκοπίου στο κείμενο) έχουν τρέχουσα χρήση. Οι τάσεις κρατιούνται σχετικά χαμηλά από 500-600 Kg/cm² σε κυρίως καμπτόμενα μέλη μέχρι το μέγιστο 1000 kg/cm² σε σύνθετη ένταση. Αξίζει να παρατηρήσουμε την ευπρέπεια της παρουσίασης, την τάξη και την λογική σειρά των υπολογισμών. Δυστυχώς η εκ των πραγμάτων περιορισμένη φωτογραφική αναπαραγωγή του τεύχους δεν επιτρέπει την πλήρη παρακολούθηση συλλογισμών και μεθόδων.



Εικ.12: Το τελευταίο τόξο προς Αθήνα με την τζαμαρία που κλείνει την αίθουσα. Στο κάτω μέρος υπάρχει γέφυρα συντήρησης (catwalk) η οποία προφανώς έχει σχεδιαστεί και λειτουργεί ως οριζόντια δικτυωτή δοκός για την ανεμοπίεση επί της τζαμαρίας.



Εικ.13: Το εξώφυλλο του τεύχους των υπολογισμών και η επίλυση της τεγίδας, βλέπουμε ότι στο βασικό τμήμα του υποστέγου οι ροπές κρατιούνται στο 1/10 στα ακραία και στο 1/16 στα μεσαία ανοίγματα σε σχέση με το 1/8QL2 της ακραίας ροπής.

2) Ganneaux normaux

$\left. \begin{array}{l} \sin \alpha = 0,362 \\ \cos \alpha = 0,932 \\ \tan \alpha = 0,389 \end{array} \right\}$

Sollicitation

1) Poids mort: Bouture. $47 \times \frac{3,680}{2} \times 0,932 = 59 \text{ kg}$
 Poids propre. $47 \times 0,932 = 44$
 Carroi. $52 \times 0,932 = 48,5$
 Poutrelle. $36 \times 0,932 = 33,5$
 $\underline{\hspace{1cm}} 185 \text{ kg}$

2) Neige: $25 \times 0,916 \times 0,932 \times \frac{4,690}{2} = 257 \text{ kg}$

3) Pent: $125 \times 0,761 \times \frac{3,680}{2} \times \cos(30^\circ 46' - 19^\circ 45') = 287 \text{ kg}$

Charge par mt. ct. à l'axe principale de la panne: $185 + 257 + 287 = 629 \text{ kg}$

K^o fl. $= \frac{241 \times 12,300}{16} = 2283 \text{ kgm}$

L'homme donne un moment fléchissant de 308 kgm qui se décompose normal à l'axe principale: $308 \times 0,932 = 287 \text{ kgm}$
 parallèle " " " $308 \times 0,362 = 111 \text{ kgm}$
 K^o fl. total (normal) = $2283 + 287 = 2570 \text{ kgm}$

Profil. $\text{L } 300 \times 100 \times 10$

$\frac{I}{V} = \frac{535 \text{ cm}^3}{2570} = 0,208 \text{ kg/cm}^3$
 $R = \frac{2570}{0,208} = 12,35 \text{ kg/cm}^2$
 flèche = $4,8 + \frac{12,35 \times 4,715}{30} = 10,8 \text{ cm}$, soit $\frac{L}{655}$

La poussée suivant l'axe principale de la panne = $241 \times 0,389 = 93 \text{ kg}$
 La résultante des composantes du vent suivant le versant, a une tendance à soulager la poutrelle sub. l'axe principale de la panne.

Profil: $\text{I} \text{ âme } 750 \times 10$
 $\text{5L } 110 \times 110 \times 10$
 $12 \text{ cm. sup. } 380 \times 10$

$I = 136.000 \text{ cm}^4$ (âme et 4L)
 $\frac{I}{V} = 3630 \text{ cm}^3$
 Section bruto: 15.900 mm^2
 $R = \frac{3520}{3630} + \frac{4,080}{15900} = 10 \text{ kg/mm}^2$ (environ)

5) Sur milieux

$\Sigma \text{Kf p} = 8800 + 1650 = 10450 \text{ kgm}$
 Effort de compression K^o = 4080 kg

Profil: (voir plus haut)

longueur de flambage latéral = 18×300
 Rayon de giration minimum en tenant compte du plat supérieur: $\approx 140 \text{ mm}$
 $\frac{L}{r} = 88 \text{ mm}$
 Section de flambage = $15900 \times 0,568 = 9000 \text{ mm}^2$
 $R = \frac{10450}{3630} + \frac{4,080}{9000} = 3,1 \text{ kg/mm}^2$

Justification des montants

$\Sigma \text{Kf c} = 3520 \text{ kgm}$

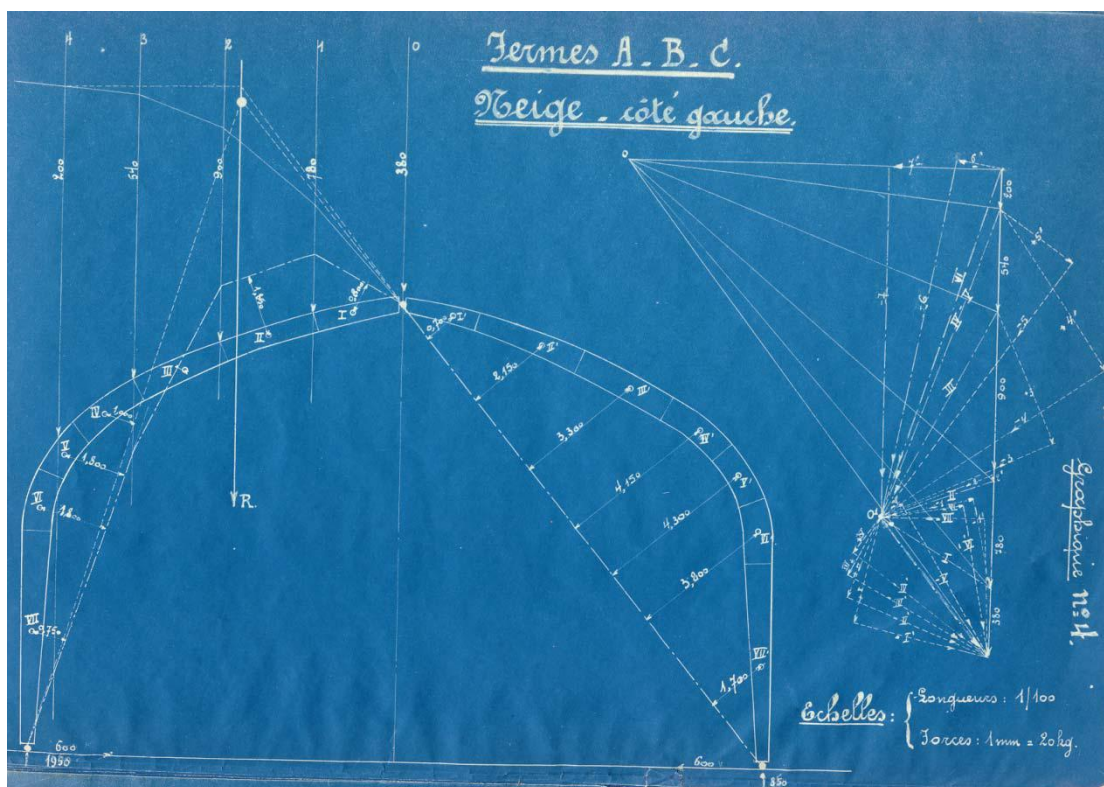
Reactions verticales:

$V_1 = 2000 \text{ kg}$ (environ)
 $V_2 = 3420 + 2 \times 1400 + 2 \times 2915 = 15650 \text{ kg}$
 $V_3 = 1250 \text{ kg}$
 $V = V_1 + V_2 + V_3 = 18870 \text{ kg}$

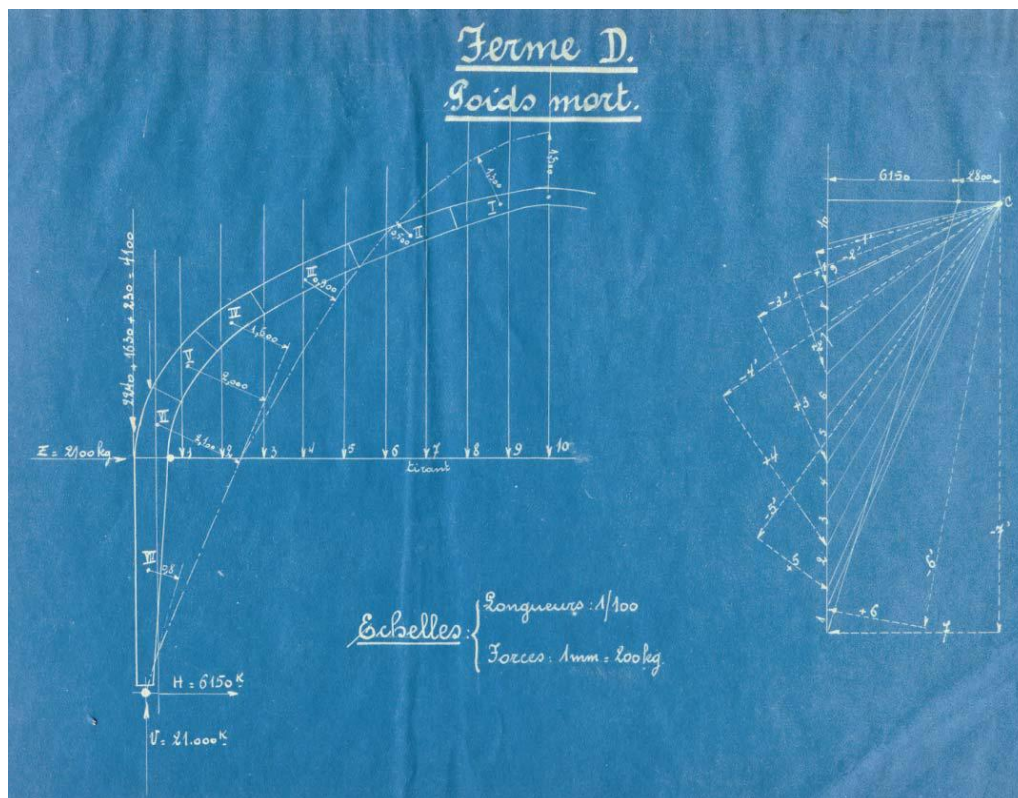
Profil: $\text{I} \text{ âme } 970 \times 10$
 $\text{4L } 110 \times 110 \times 10$

$I = 218.000 \text{ cm}^4$; $\frac{I}{V} = 4450 \text{ cm}^3$; R bruto = 18100 mm^2
 longueur de flambage = 5×100 ; rayon de giration (en tenant compte de la liaison avec les fermes) = 50 mm
 $\frac{L}{r} = \frac{500}{50} = 10$; R flambage = $18100 \times 0,715 = 12900 \text{ mm}^2$
 $\frac{18870}{3630} + \frac{3520}{12900} = \frac{18,870}{3630} + \frac{4,080}{12900} = 5,2 \text{ kg/mm}^2$

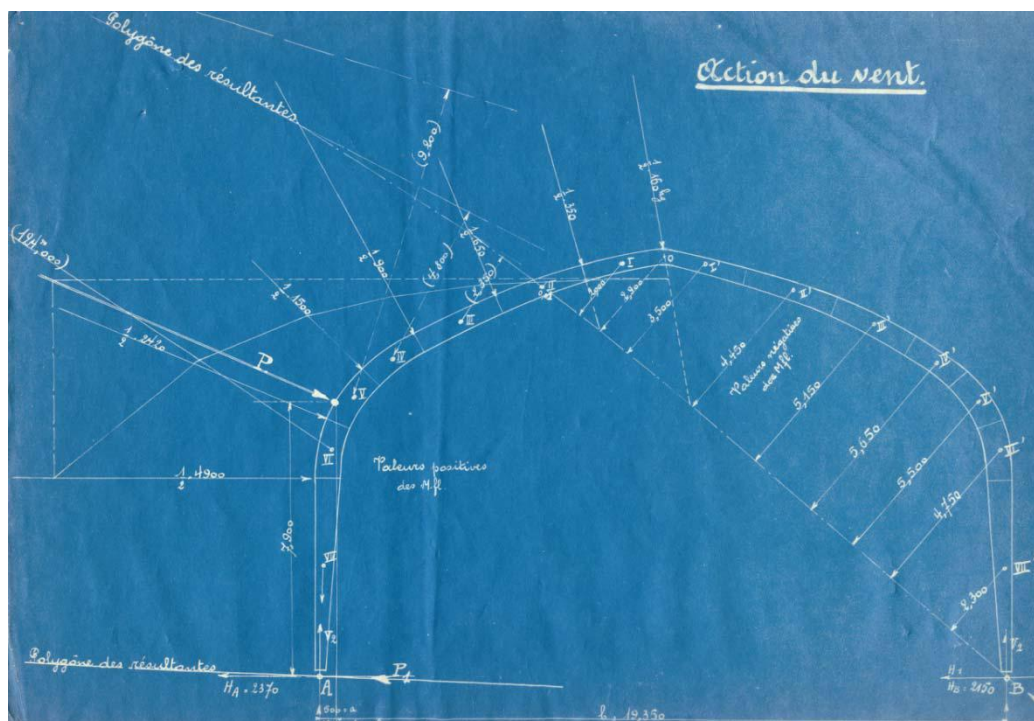
Εικ.14: Διαστασιολόγηση στοιχείων της κατασκευής Το χιόνι λαμβάνεται με 25 kg/m² ενώ ο άνεμος με 125 Kg/m², το προφίλ της δεξιάς σελίδας υπολογίζεται σε λυγισμό με μείωση της διατομής (sectio de flambage)



Εικ.15: Επίλυση με μονόπλευρη χιονοφόρτιση



Εικ.16: Επίλυση με νεκρά φορτία του ακραίου διαρθρωτού πλαισίου



Εικ.17: Επίλυση σε ανεμοπτίεση του ακραίου πλαισίου.

Tableau indiquant, en chaque section, les valeurs du moment fléchissant des efforts de traction ou compression, de l'effort tranchant.

Sections	I			II			III			IV			V			VI			VII		
	M _f	$\frac{E}{\sigma}$	FT	M _f	$\frac{E}{\sigma}$	FT	M _f	$\frac{E}{\sigma}$	FT	M _f	$\frac{E}{\sigma}$	FT	M _f	$\frac{E}{\sigma}$	FT	M _f	$\frac{E}{\sigma}$	FT	M _f	$\frac{E}{\sigma}$	FT
Poids mort.	-700	-8000	-400	-4000	-3600	-3000	-4400	-1200	-7600	-3300	-16000	-9000	-4500	-2200	-6000	-4800	-2400	-4500	-17000	-3300	-8000
Vent. Côté vent Côté opposé	+550	-500	-500	+1200	-640	+50	-250	-1000	-800	-1100	-1450	-1250	-3800	-1700	+500	-3200	-1960	-240	-1500	-1370	-600
	-700	-750	+800	-2050	-820	+500	-3200	-870	-300	-4000	-900	-250	-4150	-930	-150	-3650	-500	-440	-1650	-750	-580
	+150	-120	+300	-850	-1460	+550	-3450	-1370	-1160	-5200	-2350	-1500	-7350	-2630	-330	-8850	-2760	-680	-3150	-2620	-1780
Vent. Côté vent Côté opposé	+680	-2700	-5700	+1300	-1100	+4700	+2920	+200	-4100	+3320	+500	-3100	+4130	+1500	-1200	+7120	+4700	+2000	+2600	+1000	+7000
	-5200	-5000	+1000	-4430	-5300	+3400	-2800	-6000	+2700	-24300	-6400	+1900	-23800	-6500	-600	-25700	-5700	-3400	-11700	-5400	-3200
	Valeurs maxima.																				
	-6750	-17250	-6000	-2030	-8560	+6950	-39950	-20170	-10300	-65500	-34500	+10900	-81350	-31130	+6500	-80450	-30660	-8280	-31850	-41060	-12580

Εικ.18: Πίνακας εντάσεων των διατομών, καμπτικών, αξονικών και διατμητικών.

Articulations des fermes.

1. Articulation supérieure.

Notule.

Reaction verticale: poids mort: 0
 charge d'un côté: 800
 vent: 5200
 5200 kg

Reaction horizontale: poids mort: 8000
 charge: 5200
 vent (côté opposé): 5200
 13200 kg

Essai de travail à la compression:
 $\frac{5200}{200 \times 100 \times 22} = 1,2 \text{ kg/mm}^2$

Effort de cisaillement:
 $\frac{6000}{200 \times 100 \times 22} = 0,13 \text{ kg/mm}^2$

2. Articulation inférieure.

Les reactions maximum sont données par la forme C.

at Fivot.

Reaction verticale: poids mort: 5460
 charge: 260
 vent, côté opposé: 2000
 8260 kg

Barres horizontales: poids mort: 8000
 charge: 5200
 vent (côté opposé): 5200
 13200 kg

Effort maximum: $P = \sqrt{4200^2 + 1200^2} = 44800$

Profil: $\Phi 110 \text{ mm}$.

Section: 9500 mm²
 $R = \frac{44800}{9500} = 4,7 \text{ kg/mm}^2$

b) Appareils d'appui.

Joints: surface d'appui qui résisterait: $200 \times \frac{110}{2} = 11000 \text{ mm}^2$
 $R = \frac{44800}{11000} = 4,1 \text{ kg/mm}^2$

Encrage: 4 boulons $\Phi 25$
 section: 4 x 481 = 1924 mm²
 pression horizontale: 13050 kg
 $R = \frac{13050}{1924} = 6,8 \text{ kg/mm}^2$

Fondation des fermes.

Pierre d'assise.

Reaction verticale: 8260 kg
 charge transmise aux pierres de taille sur béton: $\frac{2 \times 48000}{200 \times 20} = 48 \text{ kg/mm}^2$
 mais estimons que cette valeur est un peu exagérée.

Fondation.

La fondation est en béton et se pose sur une pierre spéciale.

La pression sur le sol ne doit pas dépasser 1,5 kg/mm².

A. Les conditions les plus défavorables sont données par la forme C, qui donne une pression maximum vers l'extérieur.

Εικ.19: Πίνακας διαστασιολόγησης των διατομών, το σχετικό τυπολόγιο εμφανίζεται στις δεξιές στήλες

Tableau des profils de la ferme C.

Section	Moment M.	Effort de compression	Profil.	$\frac{I}{V} \cdot \text{cm}^2$	$\frac{D}{t}$ mm.	Section tubes a.b.	Section flambé a.b.	$\frac{M}{V} \cdot R_c$	$\frac{F}{A} \cdot R_c$	εR_c
I	- 0750	- 14250	 Anne 440 x 10 H L 110 x 110 x 10 1 semelle 280 x 10	2600	36	18490	13300	2,6	1,04	3,7
II	- 20330	- 16560	 Anne 580 x 10 H L 110 x 110 x 10 1 semelle 280 x 10	3860	38	19760	14200	5,23	1,77	6,4
III	- 32950	- 20170	 Anne 690 x 10 H L 110 x 110 x 10 2 semelles 280 x 10	6000	37	26600	19300	6,65	1,04	7,7
IV	- 65500	- 24550	 Anne 780 x 10 H L 110 x 110 x 10 3 semelles 280 x 10	8450	24	32700	26000	7,75	0,98	8,7
V	- 81350	- 31130	 Anne 800 x 10 H L 110 x 110 x 10 3 semelles 280 x 10	9000	24	33100	25300	9,05	1,23	10,3
VI	- 80450	- 30060	 Anne 800 x 10 H L 110 x 110 x 10 3 semelles 280 x 10	9000	24	33100	25300	8,9	1,21	10,1
VII	- 31850	- 41060	 Anne 940 x 10 H L 110 x 110 x 10 Anne 590 x 10 H L 110 x 110 x 10 2 semelles 280 x 10	5100	21	25600	19770	6,25	2,08	8,3

Εικ. 20: Διαστασιολόγηση των αρθρώσεων του τόξου και διαστασιολόγηση των θεμελίων

Θεώρησα χρέος μου με την σύντομη αυτή παρουσίαση να προσθέσω μια μικρή συνεισφορά στην τεχνική ιστορία των κατασκευών και των μηχανικών στην Ελλάδα γιατί πιστεύω ότι δεν έχουν ακόμα βρει την θέση που τους αξίζει.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Το αρχείο της Τεχνικής Υπηρεσίας του ΗΣΑΠ
- Stephen Timoshenko History of strength of materials, Dover publications 1983
- Κωνστ. Γεωργικόπουλου Τεχνική Μηχανική Γραφοστατική , ΤΕΕ 1967

ΒΙΟΓΡΑΦΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ

Ο **Άρης Χατζηδάκης** είναι πολιτικός μηχανικός απόφοιτος Ε.Μ.Π, 1974. Είναι ελεύθερος επαγγελματίας και ασχολείται με μελέτες και κατασκευές έργων. Έχει ιδιαίτερη ενασχόληση και εμπειρία σε αποκαταστάσεις μνημείων και επεμβάσεις σε υφιστάμενες κατασκευές. Έχει διατελέσει επί εικοσαετία μέλος του .Σ. και Αντιπρόεδρος του Συλλόγου Πολιτικών Μηχανικών Ελλάδος. Έχει διατελέσει επανειλημμένα μέλος της Αντιπροσωπείας του ΤΕΕ, εκπρόσωπος του τμήματος Δυτικής Κρήτης. Στα πλαίσια της συνδικαλιστικής και επιστημονικής του δραστηριότητας έχει εισηγηθεί πλήθος θεμάτων σε ημερίδες και συνέδρια, και, έχει γράψει το βιβλίο "Λίθινα γεφύρια του Νομού Ρεθύμνου".