

## ΕΞΕΤΑΣΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΩΝ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗΣ ΓΕΦΥΡΩΝ

### ΧΙΩΤΗ ΕΥΣΤΑΘΙΑ

#### Περίληψη

*Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η εξέταση διαφορετικών ειδών γεφυρών που έχουν καταρρεύσει ανά τον κόσμο κάτω από διαφορετικές συνθήκες και για διαφορετικούς λόγους. Η εργασία θα περιλαμβάνει μια σύντομη ιστορική αναδρομή για τις γέφυρες γενικότερα, αλλά και τους λόγους που κατασκευάζονται και χρησιμοποιούνται. Ακόμα θα περιέχει κάποια δομικά χαρακτηριστικά των γεφυρών που θα αναφερθούν, την υφιστάμενη κατάσταση κατά την διάρκεια της κατάρρευσης τους και τέλος τα αίτια που συνέβαλλαν σε αυτή.*

#### 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

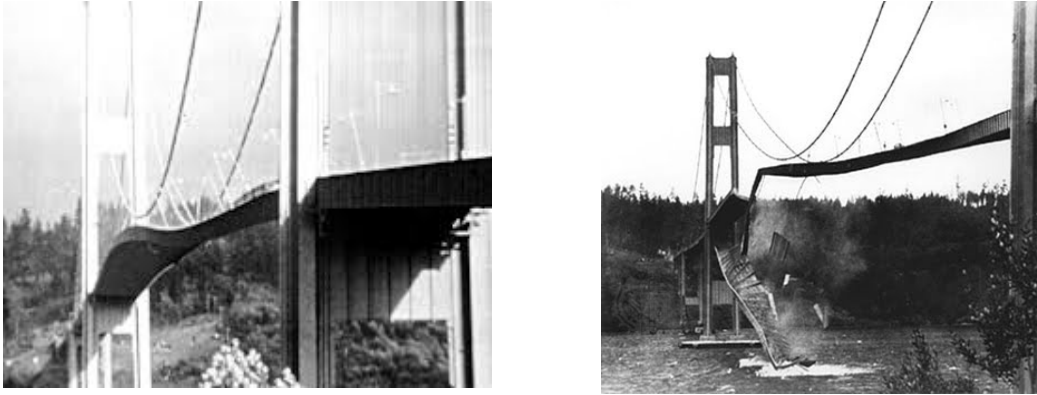
Οι γέφυρες ξεκίνησαν να κατασκευάζονται με σκοπό την διευκόλυνση των μετακινήσεων των ανθρώπων από το ένα μέρος στο άλλο, σε περιπτώσεις που δεν ήταν εφικτή η δημιουργία δρόμων. Αρχικά κατασκευάζονταν από ξύλο και πέτρες, στα τέλη όμως του 18ου αιώνα αρχίζει η περίοδος ανάπτυξης της των σιδηρών γεφυρών, αφού πλέον γίνεται συστηματική χρήση των κραμάτων σιδήρου. Λόγω των πολλών πλεονεκτημάτων που παρουσιάζει η σύσταση του σιδήρου σε σύγκριση με τα μέχρι πρότινος φυσικά υλικά που χρησιμοποιούνταν στην κατασκευή των γεφυρών και της ανάπτυξης των τεχνολογικών μέσων, αρχίζουν να χρησιμοποιούνται αναλυτικές μέθοδοι σχεδιασμού. Οι μηχανικοί τώρα, χρησιμοποιώντας τα μέσα που έχουν στην διάθεση τους, πρέπει να καλύψουν τις ανάγκες για γρήγορη και άμεση μετακίνηση και διακίνηση προϊόντων.

Στις αρχές του 20ου αιώνα, η εμφάνιση του σκυροδέματος συντελεί στην κατασκευή γεφυρών με ασφαλέστερες και οικονομικότερες προδιαγραφές, επιλύοντας σοβαρά προβλήματα που αντιμετώπιζονταν στις κατασκευές μέχρι τότε. Ο συνδυασμός των κραμάτων σιδήρων και του σκυροδέματος στην κατασκευή των σύμμικτων γεφυρών προσφέρει ακόμα καλύτερες προδιαγραφές. Σήμερα κατασκευάζονται διάφορα είδη γεφυρών, τα οποία είναι: i) γέφυρα τύπου δοκού, ii) τοξωτή γέφυρα, iii) κρεμαστή γέφυρα και iv) καλωδιωτή γέφυρα. Με το πέρασμα του χρόνου και παρά την ανάπτυξη των τεχνολογικών μέσων που παρέχονται, η κατάρρευση γεφυρών συνεχίζει να απασχολεί ακόμη και στις μέρες μας την επιστημονική κοινότητα. Παρακάτω θα παρουσιασθούν αναλυτικά μερικά από τα χαρακτηριστικότερα παραδείγματα γεφυρών που κατέρρευσαν καθώς και τα αίτια που προκάλεσαν την κατάρρευση τους.[2]

#### 2. TACOMA NARROWS BRIDGE

Το 1940 η Tacoma Narrows Bridge (ή αλλιώς Galloping Gertie) αποτελούσε την τρίτη μεγαλύτερη κρεμαστή γέφυρα στον κόσμο μετά την Golden Gate Bridge και την George Washington Bridge. Η κατασκευή της άρχισε το 1938, το συνολικό της μήκος δεν ξεπερνούσε τα 2km, το πλάτος της ήταν 12m και το ύψος της ήταν περίπου 60m. Δόθηκε στην κυκλοφορία την 1 Ιουλίου 1940 ενώ κατέρρευσε στις 7 Νοεμβρίου του ίδιου χρόνου. Από τις αρχές ακόμα της κατασκευής της παρατηρήθηκε κίνηση της γέφυρας μεγαλύτερη από την αναμενόμενη λόγω των δυνάμεων του αέρα. Για την αντιμετώπιση του φαινομένου έγιναν κάποιες προσπάθειες σταθεροποίησης της οι οποίες όμως όπως αποδείχτηκε αργότερα δεν ήταν αρκετές. Μία από αυτές τις προσπάθειες ήταν η τοποθέτηση υδραυλικών

αποσβεστήρων ανάμεσα στα υποστυλώματα και στην βάση του καταστρώματος για την μείωση της διαμήκουσ κίνησης του κεντρικού καταστρώματος.



Σχήμα 1: Κατάρρευση της Tacoma Narrows bridge[1],[3]

Ακόμη και μετά την ένταξη της στην κυκλοφορία η κίνηση της ήταν εμφανής γεγονός που προσέλκυε πολλούς επισκέπτες αλλά ταυτόχρονα έντεινε και τις ανησυχίες των ειδικών. Για την περεταίρω διερεύνηση του θέματος η Washington Toll Bridge Authority ανέθεσε σε έναν καθηγητή του πανεπιστημίου της Ουάσιγκτον να κατασκευάσει ένα μοντέλο σε κλίμακα της γέφυρας το οποίο στην συνέχεια θα εξεταζόταν με την βοήθεια μιας σήραγγας ανεμοπίεσης. Τελικά για το ζήτημα δόθηκαν δύο λύσεις, η πρώτη αφορούσε την δημιουργία μεγάλου διαμέτρου τρυπών στους πλευρικούς δοκούς οι οποίες θα επέτρεπαν την καλύτερη διείσδυση του αέρα ενώ η δεύτερη αφορούσε την εφαρμογή ενός πιο αεροδυναμικού σχήματος στο τμήμα του καταστρώματος. Δυστυχώς η παραπάνω μελέτη παραδόθηκε στις 2 Νοεμβρίου δηλαδή πέντε μέρες πριν την κατάρρευση της γέφυρας.

Μετά την κατάρρευση της ανατέθηκε στους Ο. Amman, Dr. T. Von Karmen, και G. B. Woodruff να συντάξουν μία έκθεση η οποία θα ανέλυε τους λόγους της κατάρρευσης. Σε γενικότερες γραμμές η έρευνα παρουσίαζε ως κύριους παράγοντες κατάρρευσης την τυχαία δράση ταραχώδους αέρα (ο αέρας σύμφωνα με μετρήσεις δεν ξεπερνούσε τα 42 mile) καθώς και τις περιορισμένες γνώσεις των μηχανικών πάνω στον τομέα της αεροδυναμικής. Βέβαια σε μερικά επιστημονικά κείμενα λόγος γινόταν και για τα κατασκευαστικά λάθη υποστηρίζοντας ότι η μεγαλύτερη αδυναμία ήταν η μεγάλη ελαστικότητα της γέφυρας. Πιο συγκεκριμένα η γέφυρα είχε πολύ ελαφρύ και λεπτό κατάστρωμα, τα πλευρικά καταστρώματα ήταν μεγάλα σε μήκος σε σχέση με το κεντρικό κατάστρωμα και το πλάτος του καταστρώματος ήταν εξαιρετικά στενό σε σύγκριση με το μήκος του ανοίγματος του κέντρου, με αναλογία 1 προς 72.

Ανά τα χρόνια έχουν πραγματοποιηθεί αναρίθμητες έρευνες προσπαθώντας να κατανοηθεί απόλυτα ό ακριβής λόγος κατάρρευσης της γέφυρας. Προγενέστερες έρευνες υποστήριζαν ότι το γεγονός προκλήθηκε λόγω συντονισμού της εξωτερικής συχνότητας, λόγω του ανέμου, με την ιδιοσυχνότητα της κατασκευής γεγονός όμως που τείνει να απορριφτεί τα τελευταία χρόνια. Στις μέρες μας πολλοί επιστήμονες υποστηρίζουν ότι φαινόμενο που ήταν υπεύθυνο για την κατάρρευση της Tacoma Narrows Bridge είναι ο αεροελαστικός κυματισμός ο οποίος σε συνδυασμό με τις συμπαγείς πλευρικές διαμήκουσ δοκούς οδήγησαν στην κατάρρευση. Πιο αναλυτικά το φαινόμενο του αεροελαστικού

κυματισμού ανάλογα με την ελευθερία μιας δομής οδηγεί σε μία ασταθή ταλάντωση λόγω του ανέμου, η οποία μπορεί να οδηγήσει στη παραμόρφωση και κατάρρευση μίας γέφυρας. Αν και η κατάρρευση της θεωρείται μία από τις μεγαλύτερες τραγωδίες στην ιστορία της μηχανικής, τόσο η κατασκευή της όσο και η μελέτη κατάρρευσής επέφεραν επαναστατικές αλλαγές στους τομείς της μηχανικής και αρχιτεκτονικής των καλωδιωτών γεφυρών. Να σημειωθεί επίσης, ότι η μόνη απώλεια ήταν ένας σκύλος αφού η γέφυρα είχε κλείσει περίπου δύο ώρες πριν την κατάρρευση της.[4]

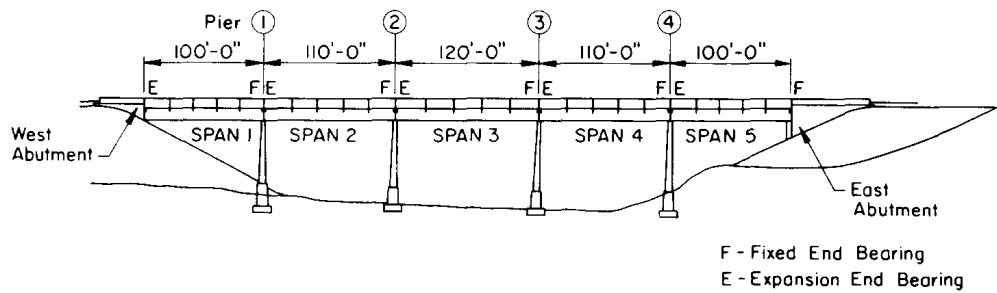
### 3. SCHOHARIE CREEK BRIDGE

Στις 5 Απριλίου 1987 κατέρρευσε η Schoharie Creek Bridge προκαλώντας τον θάνατο 10 ανθρώπων. Το συνολικό μήκος της γέφυρας ήταν 155m και αποτελούνταν από πέντε ανοίγματα με μήκη 30.5m, 33.5m, 36.6m, 33.5m και 30.5m. Η κατάρρευση της γέφυρας Schoharie Creek ξεκίνησε με την ξαφνική ρήξη των πλίνθων και την αντίστοιχη κίνηση προς τα κάτω του νότιου άκρου του βάθρου 3. Δεδομένου ότι όλα τα υποστυλώματα της γέφυρας αλληλοϋποστηρίζονταν, η απώλεια της νότιας δοκού των υποστυλωμάτων 3 και 4, είχε σαν αποτέλεσμα την άμεση κατάρρευση της γέφυρας.



Σχήμα 2: Κατάρρευση της Schoharie Creek bridge[5]

Η απότομη ρήξη των πλίνθων του βάθρου 3 οφειλόταν στην εκτεταμένη διάβρωση της βάσης των τριών βάθρων από την ροή του νερού. Αυτή η διάβρωση του βάθρου προκάλεσε ανακατανομή των τάσεων στο βάθρο, με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί επαρκής εφελκυστική τάση στην κορυφή του εφέδρανου κοντά στην βάση του βόρειου υποστυλώματος και η ρωγμή να αυξηθεί. Στο σημείο αυτό πρέπει να επισημανθεί πρώτον ότι το εφέδρανο δεν είχε δομική ενίσχυση, παρά μόνο ενίσχυση για την συστολή και τις συνθήκες θερμοκρασίας. Δευτερεύον παράγοντας αποτέλεσε το γεγονός ότι μέσα στον πρώτο χρόνο παράδοσης της γέφυρας στην κυκλοφορία παρατηρήθηκαν κάθετες ρωγμές στο σκυρόδεμα όλων των βάθρων. Στο βάθρο 3, οι ρωγμές αποδόθηκαν σε μεγάλες καμπτικές εφελκυστικές τάσεις εξαιτίας των πιέσεων στη βάση του πέδιλου θεμελίωσης. Το 1957 προστέθηκε χάλυβας στον οπλισμό του εφεδράνου, ο οποίος δεν ήταν συνεχής μέσα στην βάση των υποστυλωμάτων, αλλά συνδέθηκε με το εφέδρανο μέσω ενός συνόλου κάθετων ήλων εκ των οποίων η πρώτη βρισκόταν 20 ίντσες από την εσωτερική πλευρά του υποστυλώματος.[6]

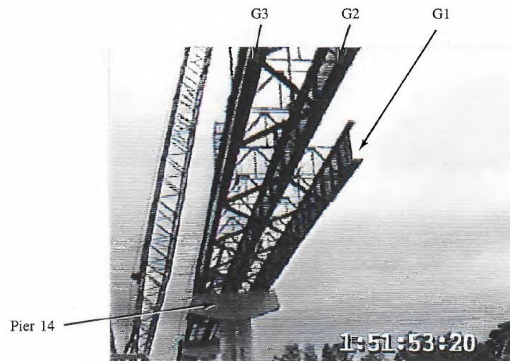


Σχήμα 3: Schoharie Creek Bridge[6]

#### 4. TENNESSEE HIGHWAY

Η γέφυρα στον αυτοκινητόδρομο 69 στο Tennessee κατέρρευσε κατά την διάρκεια κατασκευής της στις 16 Μαρτίου 1995. Αυτή η γέφυρα αποτελούνταν από προκατασκευασμένες δοκούς από σκυρόδεμα πολλαπλών ανοιγμάτων μήκους 515m πάνω από τη γη και από υβριδικές πλακοδοκούς συνεχούς ανοίγματος μήκους 367m πάνω από τον ποταμό Tennessee.

Σε μία υβριδική πλακοδοκό, το πέλμα της δοκού έχει υψηλότερη αντοχή από τον κορμό. Γι' αυτό και ο σχεδιασμός με τις υβριδικές πλακοδοκούς βελτιστοποιεί τις διαστάσεις, ώστε να δέχεται τις διατμητικές τάσεις και τις ροπές σε όλο το μήκος του ανοίγματος. Σημαντικότερος παράγοντας αποτέλεσε το γεγονός ότι κατά την διάρκεια της κατάρρευσης, αυτές οι υβριδικές πλακοδοκοί ήταν υπό κατασκευή.



Σχήμα 4: Υπό κατασκευή η γέφυρα του Tennessee Highway[7]

Επίσης κατά την επιθεώρηση μετά την κατάρρευση, οι θέσεις των διαμήκων ελασμάτων καταγράφηκαν σε σύγκριση με την θέση τους κοντά στο πάνω ή στο κάτω πέλμα. Επειδή μερικά ανακτηθέντα τμήματα των δοκών G1 και G3 ήταν πεσμένα πλευρικά, δεν μπορούσε να γίνει ανάλυση των διαμήκων ελασμάτων. Διαπιστώθηκε όμως ότι το άνοιγμα μεταξύ των βάθρων 14 και 15 κατέρρευσε περίπου στο μέσο του ανοίγματος και έπεσε στον πυθμένα του ποταμού. Το δυτικό άκρο των δοκών παρέμεινε να συγκρατείται από το βάθρο 15, ενώ οι δοκοί στο βάθρο 14 παρέμεναν σχετικά ευθεία με μία μικρή ανοδική κλίση. Οι δοκοί μεταξύ των βάθρων 13 και 14 παρέμεναν φαίνονταν ότι είχαν εκτοπιστεί προς τα πάνω, μετά όμως λόγω κάμψης στο μέσο του ανοίγματος, ένα τμήμα της δοκού προς το βάθρο 13 έπεσε στο ποτάμι. Τέλος σημειώθηκε ότι και τα βάθρα 14 και 15 είχαν υποστεί ζημιές.

Τα τμήματα των δοκών G1, G2 και G3 τοποθετούνταν σταδιακά, την στιγμή όμως της κατάρρευσης και ενώ τα τμήματα των δοκών G2 και G3 είχαν τοποθετηθεί από το βάθρο 14 έως το βάθρο 15, ένα αρκετά μεγάλο τμήμα της δοκού G1 δεν είχε τοποθετηθεί ακόμα. Συμπερασματικά, η ανεπαρκής πλευρική αντιστήριξη, με την μορφή πλαισίων ή την προσωρινή αντιστήριξη, ήταν η κύρια αιτία κατάρρευσης της γέφυρας.[8]



Σχήμα 5: Φωτογραφία από την κατάρρευση της γέφυρας στον ποταμό Tennessee[8]

## 5. OMORI BRIDGE

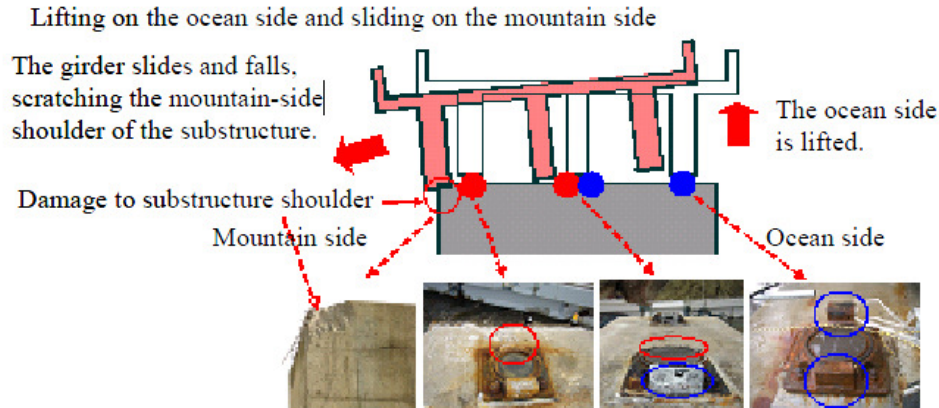
Η Omori bridge του εθνικού αυτοκινητόδρομου 229 βρίσκεται στο χωριό Kamoenai, στην Ιαπωνία και υπέστη σοβαρές ζημιές από τον τυφώνα Songda στις 8 Σεπτεμβρίου 2004. Αυτή η γέφυρα έχει χτιστεί σε βραχώδη ύφαλο του οποίου η ανύψωση είναι +0.5m. Από την εσωτερική πλευρά της γέφυρας υπάρχει ένας απόκρημνος λόφος και πέρα από το υπεράκτιο άκρο το υψόμετρο μειώνεται απότομα σε -10m. Τα αποτελέσματα από το χτύπημα του τυφώνα ήταν: i) κατάρρευση τεσσάρων ανοιγμάτων, ii) διαγώνιες ρωγμές πλάτους περίπου 0.7mm για το βάθρο P2, iii) καμπτική-διατμητική αστοχία του βάθρου P3 με κλίση περίπου 0.3mm και iv) καμπτικές ρωγμές βάθους περίπου 0.2mm στο βάθρο P8.



Σχήμα 6: Κατάρρευση της Omori bridge[9]

Οι αιτίες που κατάρρευσε η γέφυρα Omori ήταν τρεις. Αρχικά υπήρχε μια ασυνήθιστη αύξηση της στάθμης της θάλασσας, λόγω πτώσης της βαρομετρικής πίεσης και των ισχυρών ανέμων που κατέφθαναν από την θάλασσα. Επίσης σημαντικό ρόλο έπαιξε και η ιδιαίτερη

τοπογραφία της γέφυρας. Τα κύματα που προσέκρουαν στον λόφο συγκεντρώθηκαν γύρω από την γέφυρα, εξαιτίας του υφάλου κάτω από την γέφυρα και του απότομου βράχου που περικλείει τον ύφαλο. Τα εκτονωμένα κύματα στα υποστυλώματα της γέφυρας δημιούργησαν μια λίμνη στον ύφαλο, προκαλώντας μεγαλύτερη άνοδο της θάλασσας. Τέλος, στατικά κύματα δημιουργήθηκαν λόγω παρεμβολών των κυμάτων που εισέρχονταν στον ύφαλο και αυτών που προσέκρουαν στον βράχο συμβάλλοντας και αυτά στην αύξηση του επίπεδο της θάλασσας, με αποτέλεσμα την αύξηση του ύψους των κυμάτων στον ύφαλο.



Σχήμα 7: Διαδικασία κατάρρευσης γέφυρας[10]

Αρχικό στάδιο της κατάρρευσης αποτέλεσε η ανυψωτική δύναμη που υπέστησαν οι στηρίξεις των βάθρων από την πλευρά της γέφυρας που βρισκόταν στον ωκεανό και οι οποίες καταστράφηκαν, ενώ οι στηρίξεις από την πλευρά του βράχου καταπονήθηκαν και καταστράφηκαν από πλευρικές δυνάμεις. Ακόμα διαπιστώθηκε ζημιά στην προεξοχή του προβόλου της γέφυρας από την εσωτερική πλευρά. Αυτό αποδεικνύεται από το γεγονός ότι πρώτα ανυψώθηκε η δοκός από την πλευρά του ωκεανού και στην συνέχεια η ίδια δοκός μετατοπίστηκε προς την πλευρά του λόφου καταστρέφοντας ταυτόχρονα την επιφάνεια της βάσης της γέφυρας. Πιστεύεται ότι κατά τη διάρκεια πτώσης των κύριων δοκών, οι συνδεδεμένοι δοκοί προκάλεσαν ζημίες σε προσκείμενες δοκούς με αποτέλεσμα να αστοχήσουν τρία βάθρα της γέφυρας.[10]

## 6. I-35W BRIDGE

Η I-35W είναι μια χαλύβδινη δικτυωτή γέφυρα στην Minneapolis των Η.Π.Α., η οποία κατάρρευσε εντελώς την 1 Αυγούστου 2007. Αρχικά η γέφυρα αυτή δόθηκε στην κυκλοφορία το 1967 και τα σχέδια προέβλεπαν δυο λωρίδες κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση με μια εξωτερική λωρίδα επιτάχυνσης/επιβράδυνσης. Το 1988 επαναδιαγραμμίστηκε και προστέθηκε μια επιπλέον λωρίδα για κάθε κατεύθυνση, αυξάνοντας έτσι τον συνολικό αριθμό των λωρίδων σε 8. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι κατά την διάρκεια κατάρρευσης της, η γέφυρα συντηρούνταν από την κατασκευαστική εταιρία PSA.





Σχήμα 8: Μετά την κατάρρευση της I-35W bridge[11]

Η ανωδομή της γέφυρας αποτελούνταν από δύο κύρια συνεχόμενα διαμήκη δικτυώματα με τρία ανοίγματα μήκους 81m, 139m και 81m. Τα δύο διαμήκη δικτυώματα συνδέονταν μεταξύ τους με εγκάρσια δικτυώματα σε κάθε φάτνωμα, τα οποία προεκτείνονταν εξωτερικά από την δυτική και την ανατολική πλευρά της γέφυρας, με κάθε πρόβολο να αποτελεί μια λωρίδα κυκλοφορίας. Σύμφωνα με τα αρχικά σχέδια, το κατάστρωμα είχε πάχος 16.5cm, αλλά κατά την ανακατασκευή του την περίοδο 1977-1998 προστέθηκε επιπλέον πάχος 5cm στην επιφάνεια του οδοστρώματος, με αποτέλεσμα το συνολικό πάχος να είναι 22cm.

Μετά από μελέτες που πραγματοποιήθηκαν, πιστεύεται ότι ο φορέας U10 είναι αυτή που αρχικά είχε αστοχήσει και από την οποία ξεκίνησε η προοδευτική κατάρρευση της γέφυρας. Μια εβδομάδα μετά την κατάρρευση, μετρήθηκε το πάχος της πλάκας του φορέα U10 και βρέθηκε 22mm μικρότερο από τον σχεδιασμό που έπρεπε να πληρούνταν. Επίσης αποδείχτηκε, ότι οι συνδέσεις που βρίσκονταν στο εσωτερικού του υποστυλώματος του φορέα U10, ήταν τα πιο αδύναμα σημεία και ίσως να ήταν ο λόγος που είχε επέλθει αστοχία λυγισμού της πλάκας.

Πριν την κατάρρευση της γέφυρας και για αρκετούς μήνες, η κατασκευαστική εταιρία PSA, έκανε επισκευές στο κατάστρωμα. Οι επισκευές που πραγματοποιούνταν ήταν η αφαίρεση 5cm σκυροδέματος από την επιφάνεια του οδοστρώματος, η κοπή 100cm αρμού διαστολής από την πλάκα σκυροδέματος και η αντικατάστασή τους, και τέλος η αφαίρεση ενός τμήματος του καταστρώματος. Έτσι το συνολικό φορτίο της κατασκευής ήταν μεγαλύτερο σε σχέση με τον αρχικό σχεδιασμό και εκτιμάται ότι το συνολικό βάρος του υλικού κατασκευής καθώς και του εξοπλισμού στο κατάστρωμα ακριβώς πάνω από το κομβοέλασμα του φορέα U10 ή κοντά σε αυτό ήταν 2600kN.

Ακόμα από φωτογραφίες της γέφυρας που είχαν τραβηχτεί παλαιότερα, αποδεικνύεται ότι η I-35W είχε πρόβλημα διάβρωσης λόγω της διέλευσης του ποταμού. Αναφορές επιθεωρήσεων έδειξαν ότι η παρουσία διαβρώσεως σε κάποια κομβοελάσματα και σε παρακείμενες περιοχές είχαν σαν αποτέλεσμα να μεταβάλουν το πάχος σχεδιασμού των στοιχείων κατά την διάρκεια της κατάρρευσης.



Σχήμα 9: Λυγισμός κομβοελασμάτων του φορέα U10[12]

Όπως αναφέραμε παραπάνω, η γέφυρα αυτή σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε πριν το 1970, όταν ακόμα υπήρχε περιορισμένη αντίληψη της συμπεριφοράς κόπωσης των συγκολλημένων μελών και των συνδέσεων των μεταλλικών γεφυρών. Έτσι σε μια αναφορά που έγινε το 1998, βρέθηκαν ρωγμές κόπωσης σε περιοχές, όπου το ενισχυτικό διάφραγμα δεν είχε συγκολληθεί με το πάνω πέλμα. Τέτοιες ρωγμές είναι πιθανόν να προκαλέσουν θραύση του κυρίου μέλους ή των συνδέσεων των δικτυωμάτων, προκαλώντας την προοδευτική κατάρρευση ολόκληρου του ανοίγματος.[12]

#### 7. BRIDGE NO. SN 019-5010

Η γέφυρα NO. SN 019-5010 βρίσκεται στην περιοχή DeKalb County του Illinois και κατέρρευσε στις 19 Αυγούστου 2008. Η γέφυρα αυτή κατασκευάστηκε με σκοπό την εξυπηρέτηση των τοπικών γεωργικών κοινωνιών και αποτελούνταν από τρία τοξωτά ανοίγματα μήκους 12.81m και ύψους 4.27m πάνω από την κοίτη του ποταμού. Το κατάστρωμα της γέφυρας κατασκευάστηκε με 1.5 ίντσα ασφαλτωμένο οδόστρωμα πάνω από 17 ίντσες προκατασκευασμένης προεντεταμένης δοκού από σκυρόδεμα στηριζόμενες σε κορυφές σκυροδετημένων πασσάλων, ενώ το πέδιλο θεμελίωσης αποτελείται από πασσάλους από ξύλο βελανιδιάς διαμέτρου 10 ιντσών.



Σχήμα 10: Κατάρρευση της γέφυρας NO. SN 019-5010[13]

Σχήμα 8: Φωτογραφία της γέφυρας NO. SN 019-5010 την ημέρα της κατάρρευσης

Η δοκός 3 αστόχησε με συνέπεια την κατάρρευση των ανατολικών και μεσαίων στοιχείων ζεύξης. Η κορυφή των πασσάλων της δοκού 3 στηρίχθηκε στην κοίτη του ποταμού και απόκρυπτε την θεμελίωση των πασσάλων. Στην δοκό 4 η κορυφή των πασσάλων του βάθρου περιστράφηκε με την κατάρρευση του καταστρώματος, ενώ το δυτικό άνοιγμα μεταξύ των δοκών 1 και 2 έμεινε σταθερό. Η σύνδεση του πασσάλου κορυφής με την πλάκα



αντιστήριξης στην δοκό 3 παρέμεινε ανέπαφη μετά από την κατάρρευση, διατηρώντας έτσι την ικανότητα των συνδέσεων να παραλαμβάνουν αξονικές δυνάμεις και ροπές. Επειδή το κατάρωμα δεν ήταν συνεχόμενο στην κορυφή των πασσάλων, υπήρξε μεγάλη περιστροφή μεταξύ των δυο τμημάτων του οδοστρώματος με αποτέλεσμα να ραγίσει η ασφαλική επιφάνεια. Η σύνδεση του καταστρώματος με τους πασσάλους ενισχυόταν από χαλύβδινους πύλους, που μπόρεσαν να διατηρήσουν ένα μέρος της διατμητικής τους αντοχής.[13]

## 8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα αίτια κατάρρευσης των γεφυρών ποικίλλουν ανάλογα με το είδος της γέφυρας. Ωστόσο η επιτυχής κατασκευή και συντήρηση μιας γέφυρας στηρίζεται στην σωστή εκτίμηση όλων των παραμέτρων, φυσικών και τεχνικών, που συμβάλλουν στην ολοκλήρωση και την επισκευή της γέφυρας. Γι' αυτό είναι σημαντικό να λαμβάνονται υπόψη όλοι οι παράγοντες, όπως η τοπογραφία της γέφυρας, οι κλιματικές και γεωτεχνικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή, το είδος της κατασκευής, τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν αλλά και ο σωστός προγραμματισμός των εργασιών για την ολοκλήρωση της γέφυρας. Ακόμα όμως και κατά την διάρκεια επισκευής και συντήρησης μιας γέφυρας πρέπει να λαμβάνονται υπό σκέψη όλοι οι παραπάνω παράγοντες, καθώς και η παλαιότητα της γέφυρας και την καταπόνηση που έχουν υποστεί τα μέλη της. Συμπερασματικά η κατάρρευση οποιαδήποτε γέφυρας μπορεί να αποφευχθεί δίνοντας ιδιαίτερη προσοχή στους προαναφερθέντες παράγοντες.

## 9. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] <http://el.wikipedia.org/wiki/Γέφυρα>
- [2] Ιωάννης Χ. Ερμόπουλος, “Σιδηρές και Σύμμικτες γέφυρες” Εκδόσεις Κλειδάριθμος 2008.
- [3] <http://teacherweb.com/BLOG/MA/LittletonMiddleSchool/MsFinnerty/1/blog.aspx?Post=9e65feed-bdc9-4e1c-b3c6-d7f9cba6358e> (Λήψη Φωτογραφικού Υλικού)
- [4] K. Yusuf Billah, Robert H. Scanlan, “Resonance, Tacoma Narrows bridge failure, and undergraduate physics textbooks”, 1990
- [5] <http://sc.water.usgs.gov/projects/bridgescour/> (Λήψη Φωτογραφικού Υλικού)
- [6] Daniel V. Swenson, Anthony R. Ingraffea, “The collapse of the Schoharie Creek Bridge: a case study in concrete fracture mechanics” International Journal of Fracture 51: p. 73-92, 1991.
- [7] <http://failures.wikispaces.com/Tennessee+River+Bridge+Collapse>
- [8] Daniel A. Wojnowski, August W. Domel, John A. Wilkinson, Matthew T. Kenner, “Analysis of a hybrid plate girder bridge during erection: collapse of Tennessee Highway 69 bridge” Engineering Systems Inc., USA
- [9] [http://labs.eng.hokudai.ac.jp/labo/coast/?page\\_id=77](http://labs.eng.hokudai.ac.jp/labo/coast/?page_id=77) (Λήψη Φωτογραφικού Υλικού)
- [10] Shinya OKADA, Hiroshi MITAMURA, Hiroyuki ISHIKAWA, “The Collapse Mechanism and the Temporary Restoration of Omori Bridge Damaged by the Storm Surge of Typhoon”, No. 18, 2004.
- [11] <http://content.asce.org/I-35W/NTSBI35W.html> (Λήψη Φωτογραφικού Υλικού)
- [12] Astaneh-AIs, “Progressive Collapse of Steel Truss Bridges, the Case of I-35W Collapse”, Invited Keynote paper, Proceedings, 7<sup>th</sup> International Conference on Steel Bridges, Guimaraes, Portugal, 4-6 June, 2008
- [13] Danniell J. Borello, Bassem Andrawes, Jerome F. Hajjar, Scott M. Olson, James Hansen, Jason Buenker, “Forensic Collapse Investigation of a Concrete Bridge with Timber Piers”, Illinois Center for Transportation Series No. 09-042, 2009

