

ΝΕΕΣ ΤΑΣΕΙΣ ΣΤΙΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΓΕΦΥΡΩΝ

Ιωάννα Ράπτη

Ηλεκτρολόγος Μηχανικός ΤΕ και Μεταπτ.
Φοιτήτρια ΔΧΤ/ΣΘΕΤ, ΕΑΠ

yianrapph@yahoo.gr, std112639@ac.eap.gr

Χατζηγεωργίου Γεώργιος

Καθηγητής και Μέλος ΣΕΠ ΔΧΤ/ΣΘΕΤ ΕΑΠ

hatzigeorgiou@eap.gr

Περίληψη – Οι σύγχρονες τάσεις στην κατασκευή μεταλλικών κυρίως γεφυρών, σε επίπεδο υλικών, μεθόδων ανέγερσης, έρευνας και σχεδιασμού, αποτελεί αντικείμενο της παρούσας εργασίας. Όσον αφορά τις νέες τάσεις γύρω από τα υλικά κατασκευής, παρατηρείται μια αυξανόμενη ανάγκη για ενσωμάτωση υλικών με βελτιωμένες ιδιότητες, όπως χάλυβα υψηλής αντοχής, καθώς και σύνθετων υλικών σε στοιχεία των γεφυρών, με οφέλη σε κόστος, ποιότητα και απόδοση. Στον Ευρωκώδικα 3, ενσωματώνονται πρόσθετοι όροι για χάλυβες με βελτιωμένες ποιότητες. Από τις μηχανοποιημένες μεθόδους ανέγερσης, η μέθοδος σταδιακής προώθησης είναι από τις πιο ανταγωνιστικές. Ωστόσο τα προβλήματα που δημιουργούνται κατά την προώθηση, από την αλληλεπίδραση ενός συνδυασμού τάσεων, όπως της δύναμης αντίδρασης, της κάμψης του κύριου άξονα και της διάτμησης στο στήριγμα, απασχολούν την επιστημονική κοινότητα η οποία επικεντρώνεται στην έρευνα για την αντιμετώπιση του προβλήματος. Παρουσιάζονται διάφοροι τρόποι αντιμετώπισης του φαινομένου και βελτίωσης των συνθηκών προώθησης, καθώς και η διερεύνηση του Ευρωκώδικα 3 για τον υπολογισμό της αντοχής έναντι στο φαινόμενο αυτό. Για την αντικατάσταση ή αναβάθμιση υφιστάμενων γεφυρών, η μέθοδος πλάγιας ολίσθησης, προτιμάται όλο και πιο συχνά με σκοπό την επιτάχυνση του χρόνου κατασκευής, τις λιγότερες οχλήσεις στην κυκλοφορία. Περιγράφεται η μέθοδος πλάγιας ολίσθησης για την ταχεία αντικατάσταση καταστρώματος σιδηροδρομικής γέφυρας, σε μεγάλο αστικό κέντρο.

Οι νέες τάσεις στις πολιτικές αντιμετώπισης διαφόρων χωρών για την κατασκευή γεφυρών, αφορούν στη διαχείριση των ήδη υφιστάμενων γεφυρών, και τροφοδοτούν με την σειρά τους νέες τάσεις που γεννούν απαιτήσεις για αξιολόγηση του κύκλου ζωής, ανάγκες καταγραφής και κατηγοριοποίησης των υπαρχουσών γεφυρών, ανάγκες για συστηματικούς ελέγχους και έρευνες γύρω από νέες τεχνικές παρακολούθησης των ζημιών και των αστοχιών των κατασκευών.

Λέξεις-Κλειδιά: Χάλυβες υψηλής αντοχής, πλάγια ολίσθηση γεφυρών, επιτάχυνση στην κατασκευή γεφυρών,.

I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι γέφυρες αποτελούν ένα παράδειγμα τέχνης και τεχνικής, φανερώνουν την εξέλιξη της τεχνολογίας και αποτελούν δείγμα πολιτισμού. Μοναδικά στο είδος τους και καινοτόμα σχέδια έχουν κατασκευαστεί σ' ολόκληρο τον κόσμο. Για την ανέγερση έχουν εφαρμοστεί διαφορετικές μέθοδοι κατασκευής, προσαρμοσμένες κάθε φορά στις απαιτήσεις και στις δυσκολίες του έργου. Η

εξέλιξη της επιστήμης των υλικών, της τεχνολογίας της βαριάς μεταφοράς, των εξοπλισμών ανύψωσης, καθώς και η ανάπτυξη της πληροφορικής και των σχεδιαστικών προγραμμάτων, σε συνδυασμό με την τεχνογνωσία του ανθρώπου, έφεραν ρεκόρ διαστάσεων για κάθε τύπο γέφυρας.

Έννοιες όπως ευρωστία και βιωσιμότητα, φαίνεται να εισβάλουν στον κλάδο των γεφυρών με προσανατολισμό σε κατασκευές περισσότερο φιλικές προς το περιβάλλον, με καλύτερη επίδοση και ποιότητα κατασκευής. Η εξέλιξη στην κατασκευή γεφυρών, είναι αλληλένδετη με την χρησιμοποίηση βελτιωμένων υλικών, και με μεθόδους ανέγερσης οι οποίες ενσωματώνουν προηγμένης τεχνολογίας μηχανολογικό εξοπλισμό, δυνατότητα ελέγχου και εποπτείας, και διασφάλισης ποιότητας, σε όλα τα στάδια από την μελέτη μέχρι την κατασκευή.

Η παρούσα εργασία προσπαθεί να εντοπίσει τις νέες τάσεις στις μεθόδους κατασκευής μεταλλικών κυρίως γεφυρών, μέσα από μια σφαιρική και σε παγκόσμιο επίπεδο προσέγγιση των σύγχρονων εξελίξεων, που αφορούν την ενσωμάτωση νέων βελτιωμένων υλικών, μεθόδων και τεχνικών ανέγερσης και πολιτικών αντιμετώπισης.

II. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Η προσέγγιση γίνεται μέσα από έρευνα στη πιο πρόσφατη βιβλιογραφία, σε επιστημονικά άρθρα και κανονισμούς, καθώς και από την εξερεύνηση των επίσημων ιστοσελίδων μεγάλων εταιρειών και οργανισμών, που ειδικεύονται στον κλάδο της έρευνας, του σχεδιασμού και της κατασκευής γεφυρών. Τα δεδομένα θα αντληθούν από μελέτες περιπτώσεων, δηλαδή από γέφυρες που κατασκευάστηκαν ή αναβαθμίστηκαν σε διάφορες χώρες.

III. ΕΚΤΕΤΑΜΕΝΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

A. Νέες τάσεις στον τομέα των υλικών

Τα πλεονεκτήματα από την χρησιμοποίηση του χάλυβα ως υλικό για την κατασκευή γεφυρών, μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:

Η ιδιότητα της υψηλής αντοχής με μειωμένο βάρος, αποτελεί κριτήριο για την χρησιμοποίηση σε γέφυρες μεγάλων ανοιγμάτων, όπου το βάρος της κατασκευής είναι αυξημένο, ενώ δημιουργείται η δυνατότητα

ανέγερσης μεγάλων στοιχείων γρήγορα, και αποτελεσματικά. Η ολκιμότητα και η ανθεκτικότητα του χάλυβα, επιτρέπουν την απορρόφηση της φόρτισης πολύ πάνω από τις τιμές σχεδιασμού, βελτιώνοντας την αντισεισμική συμπεριφορά της κατασκευής. Η τυποποίηση της παραγωγής και ο ποιοτικός έλεγχος που γίνονται στο εργοστάσιο παρασκευής, και όχι στον χώρο του εργοταξίου, προσφέρουν διασφάλιση ποιότητας, ελαττώνοντας συγχρόνως το κόστος.

Υλικά με βελτιωμένες ιδιότητες, όπως χάλυβες υψηλής αντοχής, καθώς και σύνθετα υλικά, χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο στην κατασκευή γεφυρών ενώ η χρήση τους καθίσταται υποχρεωτική για τις μικτές οδικές-σιδηροδρομικές γέφυρες υψηλών ταχυτήτων όπου οι δυνάμεις που ασκούνται στις κύριες δοκούς γεφυρών με μεγάλο μήκος, διώροφο κατάστρωμα είναι τεράστιες.

Οι σύγχρονες χώρες στρέφονται στην χρησιμοποίηση χαλύβων υψηλής απόδοσης στην κατασκευή γεφυρών για την μείωση κόστους και την βελτίωση της ποιότητας.

Στον Ευρωκώδικα 3, που αφορά τον σχεδιασμό μεταλλικών κατασκευών έχει προστεθεί το EN 1993-1-12:2007, που αφορά τον σχεδιασμό και την κατασκευή μεταλλικών κατασκευών από χάλυβα με αντοχή, από 460MPa έως 700MPa.

Οι ιδιότητες του χάλυβα όπως η αντοχή και η ανθεκτικότητα εξαρτώνται από την χημική σύνθεση και τις διαδικασίες παραγωγής. Αν και ο πιο εύκολος τρόπος για την αύξηση της αντοχής του χάλυβα είναι η προσθήκη Άνθρακα ωστόσο η αύξηση της ποσότητας σε άνθρακα οδηγεί σε μείωση άλλων σημαντικών ιδιοτήτων όπως η ικανότητα συγκόλλησης και η ικανότητα μορφοποίησης. Η προσθήκη μικροκρυσμάτων όπως το Νιόβιο, το Βανάδιο ή το Τιτάνιο με αναλογία κάτω από 0,1% γραμμάρια είναι σχετικά αποδοτική και οικονομική λύση για την επίτευξη των κατάλληλων ιδιοτήτων.

Η προσθήκη Νιοβίου επιφέρει αύξηση της αντοχής, της ολκιμότητας, της ικανότητας συγκόλλησης και της ανθεκτικότητας του χάλυβα παρά το γεγονός ότι η περιεκτικότητά του είναι λιγότερη από 0,1%. Το γεγονός αυτό επιτρέπει την μείωση της ποσότητας υλικών για πολλά στοιχεία των γεφυρών οδηγώντας σε ελαφρύτερες κατασκευές με αποτέλεσμα τη σημαντική απόσβεση κόστους της αρχικής επένδυσης λόγω μείωσης του κόστους που σχετίζεται με την μεταφορά, την παραγωγή και την ανέγερση. Επιπλέον λεπτότερες διατομές οδηγούν σε χαμηλότερες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα που παράγονται από τα καύσιμα συγκόλλησης.

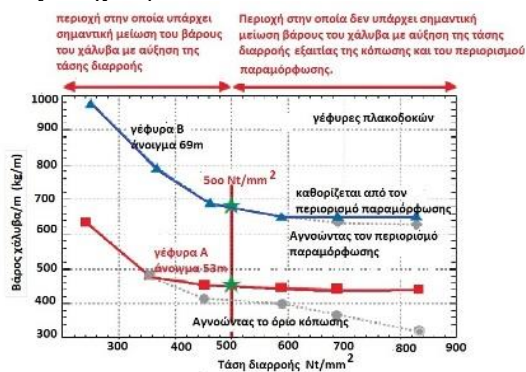
Αυξημένη ποσότητα στα στοιχεία όπως: χαλκός, νικέλιο, χρώμιο και μολυβδαίνιο οδηγούν σε καλύτερη αντιδιαβρωτική προστασία.

Οι χαλύβδινες γέφυρες οι οποίες κατασκευάστηκαν με αντιδιαβρωτικούς δεν απαιτούν βάψιμο και είναι ιδανικές εκεί όπου η πρόσβαση είναι δύσκολη. Έτσι η υψηλή του τιμή από την αγορά αντισταθμίζεται από την εξοικονόμηση που αφορά το κόστος συντήρησης της γέφυρας.

Οι υβριδικές δοκοί δηλαδή οι δοκοί που συνδυάζουν διαφορετικές ποιότητες χάλυβα με συνήθως υψηλότερης αντοχής χάλυβα στο πέλμα και χαμηλότερης αντοχής στον κορμό έχει αποδειχθεί ότι αποτελούν την

οικονομικότερη λύση συγκριτικά με δοκούς που χρησιμοποιούν παντού την ίδια ποιότητα χάλυβα.

Η σύγκριση δύο γεφυρών πλακοδοκών, έδειξε ότι υπάρχει σημαντική μείωση του βάρους του χάλυβα έως την τάση διαρροής 500 Nt/mm², ενώ από 500 Nt/mm² και άνω, η μείωση είναι μηδαμινή. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι άλλοι κρίσιμοι παράγοντες όπως η κόπωση και η παραμόρφωση, δρουν ανασταλτικά στην μείωση του βάρους του χάλυβα.



Σχήμα 1- Σχέση βάρους χάλυβα και τάσης διαρροής

Για κρεμαστές γέφυρες με μεγάλο μήκος χάλυβες με τάση διαρροής 700 Nt/mm² συνεισφέρουν στον οικονομικό σχεδιασμό.

Οι χάλυβες υψηλής αντοχής παράγονται με μεθόδους που επιδρούν στην μικροδομή τους, όπως η βαφή και επαναφορά (Q & T), και η μέθοδος εξέλασης με θερμομηχανική διαδικασία, γνωστή ως TMCP οι οποίες επιδρούν στην μικροδομή του χάλυβα, δημιουργώντας υλικό με λεπτόκοκκη δομή που επιτρέπει την μείωση του ισοδύναμου του άνθρακα χωρίς μείωση της ικανότητας συγκόλλησης, ενώ συγχρόνως επιτρέπει την παραγωγή χάλυβα με υψηλή αντοχή και καλή δυσθραυστότητα.

Η αντοχή των χαλύβδινων καλωδίων ανάρτησης έχει αυξηθεί από 1570 Mpa, μέχρι και 2000 Mpa, για να επιτραπούν ακόμα μεγαλύτερα ανοίγματα ανοίγματα, με μείωση βάρους και αριθμού των καλωδίων.

Τα πολυμερή από ίνες άνθρακα FRP (Fiber Reinforced Polymers), ενσωματώνονται όλο και πιο συχνά στην κατασκευή και στην συντήρηση γεφυρών. Χρησιμοποιούνται για την αντισεισμική ενίσχυση κατασκευών διότι εκτός από την υψηλή αντοχή και τον υψηλό συντελεστή ελαστικότητας δεν διαβρώνονται. Βρίσκουν εφαρμογή και στις καλωδιωτές γέφυρες, συγκεκριμένα στα καλώδια όπου τα συρματόσχοινα χάλυβα αντικαθίστανται από ενισχυμένα καλώδια ινών άνθρακα μερικών ή και εξολοκλήρου. Τα μειονεκτήματα σε σύγκριση με τον χάλυβα είναι το υψηλό κόστος παραγωγής, το υψηλό κόστος συντήρησης και το κόστος από την απαίτηση για ειδικές αγκυρώσεις, και είναι ευαίσθητα σε υψηλές θερμοκρασίες. Ακόμα η συμπεριφορά τους στον χρόνο δεν έχει ακόμα αξιολογηθεί.

Β. Νέες τάσεις στην έρευνα γύρω από τις μεθόδους κατασκευής

Η σύγχρονη τάση στην έρευνα, στρέφεται στην αναζήτηση τεχνικών για την βελτίωση των συνθηκών προώθησης με την αντιμετώπιση της συγκεντρωμένης

δύναμης που προκαλεί κύρτωση (patch loading), και της αλληλεπίδρασης των τάσεων κάμψης- διάτμησης που εμφανίζεται κατά την προώθηση μεταλλικών γεφυρών στο σημείο στήριξης του προβόλου.

Στον Ευρωκώδικα 3, και συγκεκριμένα στο EN 1993-1-5, η εφαρμογή των εγκάρσιων δυνάμεων χωρίζεται σε τρεις τύπους όπως φαίνεται στο σχήμα 2. Οι εξισώσεις που προέκυψαν με μικρές τροποποιήσεις και απλοποιήσεις έχουν ως εξής:

Για έναν μη ενισχυμένο ή ενισχυμένο κορμό η μέγιστη αντοχή στη συγκεντρωμένη δύναμη που προκαλεί κύρτωση είναι:

$$F_{r0} = F_y \chi(\lambda)$$

Όπου F_y η αντοχή διαρροής η οποία δίνεται ως:

$$F_y = f_{yw} t_w l_y$$

Ο μειωτικός συντελεστής χ_F λαμβάνεται από τη σχέση:

$$\chi_F = 0,5 / \sqrt{\lambda F}$$

Για τις περιπτώσεις (α) και (β) του σχήματος 2, το ενεργό φορτιζόμενο μήκος από τη σχέση:

$$l_y = s_s + 2t_f(1 + \sqrt{m_1 + m_2})$$

Για την περίπτωση (γ), το l_y θα λαμβάνεται ως η μικρότερη τιμή από τις παρακάτω εξισώσεις της παρ.6.5 του EN1993-1-5:

$$l_y = l_e + t_f \sqrt{\frac{m_1}{2} + \left(\frac{l_e}{t_f}\right)^2} + m_2$$

$$l_y = l_e + t_f \sqrt{m_1 + m_2}$$

$$l_e = \frac{k_F E t_w^2}{2 f_{yw} h_w} \leq s_s + c$$

Η ανηγμένη λυγηρότητα είναι :

$$\bar{\lambda}_F = \sqrt{F_y / F_{cr}}$$

όπου F_{cr} , το κρίσιμο ελαστικό φορτίο λυγισμού και m_1, m_2 αδιάστατες παράμετροι οι οποίες προκύπτουν από τις σχέσεις: 6.11, 6.12, και 6.13 του EN 1993-1-5

$$m_1 = f_{yf} \cdot b_f / f_{yw} t_w \quad \text{με } b_f = 15 \epsilon t_f$$

$$m_2 = 0,02 [h_w / t_f]^2 \quad \text{εάν } \lambda_F > 0,5$$

$$m_2 = 0 \quad \text{εάν } \lambda_F < 0,5$$

Η κρίσιμη ελαστική αντοχή λυγισμού F_{cr} έχει απλοποιηθεί ως εξής:

$$F_{cr} = 0,9 k_F E t_w^3 / h_w$$

Και ο συντελεστής κύρτωσης, ο οποίος εξαρτάται από τον τύπο εφαρμογής του, και την γεωμετρία δίνεται από τη σχέση:

$$K_F = 6 + 2 (h_w / a)^2 + (5,44 b_f / a - 0,21) \sqrt{\gamma_s t}$$

Για αντοχή στη συγκεντρωμένη δύναμη που προκαλεί κύρτωση, κατά την διάρκεια προώθησης μιας γέφυρας πρέπει να εξετάζονται οι παρακάτω περιορισμοί:

$$\eta_2 = \frac{F_{Ed}}{f_{yw} L_{eff} t_w} \leq 1,0$$

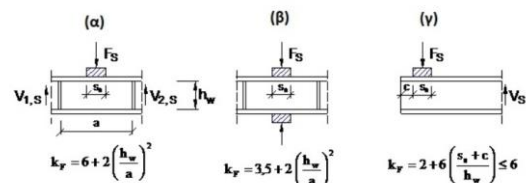
$$\gamma_{M1}$$

Και για την αλληλεπίδραση μεταξύ εγκάρσιας δύναμης, καμπτικής ροπής και αξονικής δύναμης, θα πρέπει να ισχύει:

$$n_2 + 0,8 n_1 \leq 1,4$$

Με τους περιορισμούς που αναφέρονται για τον υπολογισμό της ενεργού επιφάνειας κάθε υποφατνώματος και του συντελεστή κύρτωσης K_F .

Οι εξισώσεις στο EN 1993:1-5:2006, προέκυψαν από πειραματικές προσομοιώσεις και κάποιες από αυτές έχουν απλοποιηθεί, όπως οι εξισώσεις που αναφέρονται στον συντελεστή λυγισμού του σχήματος 2, καθώς και στον μειωτικό συντελεστή, του οποίου η πραγματική τιμή ήταν: $\chi(\bar{\lambda}) = 0,06 + 0,47 / \bar{\lambda} \leq 1$. Οι συντελεστές λυγισμού που προκύπτουν από τις εξισώσεις είναι έγκυροι μόνο για δοκούς με κανονικά πέλματα. Στον Ευρωκώδικα 3 μέρος 1-5, δεν δίνονται σαφείς κανόνες για την αντιμετώπιση του φαινομένου των συγκεντρωμένων φορτίων για την προώθηση των γεφυρών. Χρησιμοποιείται η κοινή πρακτική προσθήκης διαμήκων ενισχύσεων, στην μέγιστη αντοχή σχεδιασμού των πλακοδοκών που βασίζεται στην θεωρία αντοχής λυγισμού για σταθερά φορτία, και δεν λαμβάνει υπόψη την αλληλεπίδραση του συστήματος προώθησης και του προωθούμενου φορέα. Η αντιμετώπιση του προβλήματος γίνεται συνήθως με μετρήσεις καταπόνησης κατά την διάρκεια της προώθησης και που χρησιμοποιούνται συνήθως ως αναφορά για την σύγκριση με προβλέψεις από αποτελέσματα που συγκεντρώθηκαν με την μέθοδο πεπερασμένων στοιχείων. Η επιρροή του μήκους άκαμπτης έδρασης s_s που στην παρούσα έκδοση του 2006 έχει ως όριο να μην ξεπερνά το ύψος του κορμού. Αυτό είναι σημαντικό γιατί στις προωθήσεις γεφυρών ένας απλός τρόπος αύξησης της αντίστασης είναι η αύξηση του μήκους έδρασης στο πέδιλο προώθησης. Οι περισσότερες δοκιμές αφορούν τις περιπτώσεις εφαρμογής φορτίου των τύπων (α) και (β) ενώ για τον τύπο (γ) υπάρχουν περιορισμένα δεδομένα. Από τη μελέτη της βιβλιογραφίας προκύπτει, ότι υπάρχουν ελάχιστες έρευνες γύρω από την συμπεριφορά των σύνθετων δοκών με τραπεζοειδείς ή ημιτονοειδείς πτυχωτούς κορμούς στο φαινόμενο για τους οποίους αναφέρονται κανόνες σχεδιασμού στο παράρτημα D του EN 1993-1-5:2006.



Σχήμα 2: Συντελεστές λυγισμού για διάφορους τύπους εφαρμογής του φορτίου πηγή: Ευρωκώδικας 3 παρ.6.1

Γ. Νέες τάσεις στις μεθόδους κατασκευής γεφυρών για επιτάχυνση του χρόνου κατασκευής

Υπάρχει αυξανόμενη ανάγκη για την αναβάθμιση των υπάρχουσών υποδομών, εξαιτίας παλαιότητας, αυξανόμενων φορτίων, επικαιροποίησης των κανονισμών νέων τεχνολογιών, με διαφορετικές απαιτήσεις (τρένα μεγάλης ταχύτητας), αλλά και λόγω προστασίας του περιβάλλοντος και ανάγκης βελτίωσης της ποιότητας των έργων. (ανάγκη για μείωση οχλήσεων σε θόρυβο, κυκλοφοριακές επιπτώσεις κ.α.). Οι παράγοντες αυτοί οδήγησαν στην ανάγκη να αναπτυχθούν καινοτόμοι συνδυασμοί τεχνικών και μεθόδων που οδηγούν στην γρήγορη ανέγερση γεφυρών με προσεκτικό σχεδιασμό της εκτέλεσης των εργασιών, των επί μέρους στοιχείων και των μεθόδων ανέγερσης. Αναπόσπαστα στοιχεία των μεθόδων αυτών είναι η χρησιμοποίηση προκατασκευασμένων στοιχείων, τα οχήματα μεταφοράς πολύ βαρέων φορτίων, (self propelled modular transporters), καθώς και οι μηχανοποιημένες μέθοδοι ανέγερσης μεταξύ των οποίων και η μέθοδος της πλάγιας ολίσθησης.

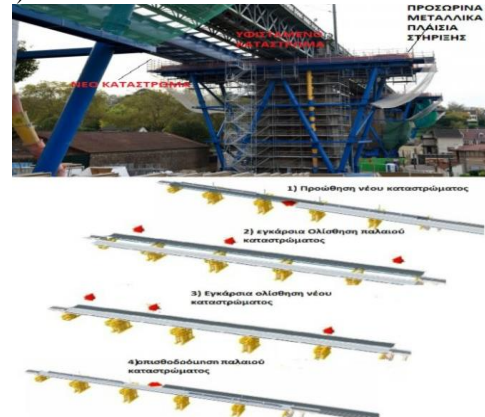
Τα πλεονεκτήματα από τις μεθόδους ταχείας κατασκευής είναι:

- Ελαχιστοποίηση διακοπών κυκλοφορίας
- Βελτίωση της ασφάλειας στις ζώνες εργασίας (μέρος της γέφυρας συνήθως το κατάστρωμα κατασκευάζεται σε έναν ειδικό και διαμορφωμένο για το σκοπό αυτό χώρο εντός του εργοταξίου).
- Βελτίωση της ικανότητας κατασκευής, (ο ειδικός χώρος που διαμορφώνεται εντός του εργοταξίου, προσφέρει ευκολία πρόσβασης στο έργο, αποφεύγοντας τη διέλευση σε οδούς, ή περιβαλλοντικά ευαίσθητες περιοχές).
- Βελτίωση Ποιότητας (ποιοτικότερος έλεγχος των εργασιών στην περιοχή κατασκευής της γέφυρας εντός του εργοταξίου, χωρίς να υπάρχει πίεση χρόνου για το άνοιγμα της κυκλοφορίας).
- Αύξηση του κύκλου ζωής της κατασκευής. (βελτιωμένη ποιότητα συνεπάγεται αύξηση της συνολικής διάρκειας ζωής του έργου).

Επιπλέον η επιτάχυνση του χρόνου κατασκευής οδηγεί στην μείωση των περιβαλλοντικών και κυκλοφοριακών επιπτώσεων.

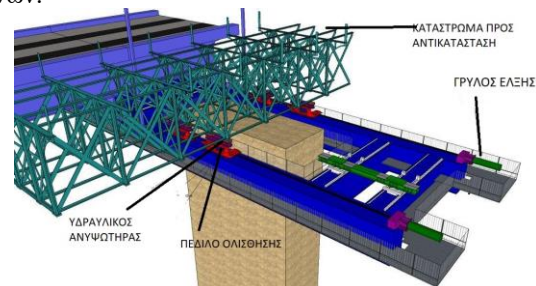
Η πλάγια ολίσθηση χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο για την γρήγορη αντικατάσταση ή αναβάθμιση υφιστάμενων γεφυρών που βρίσκονται σε αστικά κέντρα. Χρησιμοποιείται συνήθως σε συνδυασμό με μια μέθοδο προώθησης όπου το κατάστρωμα της γέφυρας κατασκευάζεται σε παράπλευρη θέση με την υφιστάμενη. Για την μέθοδο χρησιμοποιείται ειδικός εξοπλισμός υδραυλικών ανυψωτήρων και γρύλων έλξης καθώς και ειδικών πέδινων ολίσθησης. Η διαδικασία ολίσθησης είναι αυτοματοποιημένη και ελέγχεται από κάποια κεντρική μονάδα που αποτελείται από το υδραυλικό σύστημα και το κέντρο ελέγχου. Η μέθοδος έχει το σημαντικό πλεονέκτημα ότι επιτυγχάνει ρεκόρ

στον χρόνο ανέγερσης γεφυρών. Παράδειγμα εφαρμογής αποτελεί η αναβάθμιση σιδηροδρομικής γέφυρας στην Γαλλία μήκους 246 μέτρων, και ανοιγμάτων (43,5m+3×53m+43,5m), με αντικατάσταση του υφιστάμενου καταστρώματος λόγω παλαιότητας, αυξημένου θορύβου από τη διέλευση των αμαξοστοιχιών, αλλά και συμβατότητας με τις αμαξοστοιχίες νέας τεχνολογίας. Επειδή η γέφυρα βρισκόταν σε μεγάλο αστικό κέντρο επιλέχθηκε η μέθοδος ταχείας κατασκευής με συναρμολόγηση και σταδιακή προώθηση του νέου καταστρώματος παράπλευρα της τελικής του θέσης, και πλάγια ολίσθησή του στην τελική του θέση μέσα σε μία ημέρα. Η αντικατάσταση έγινε σε τέσσερα στάδια. (σχήμα 3)



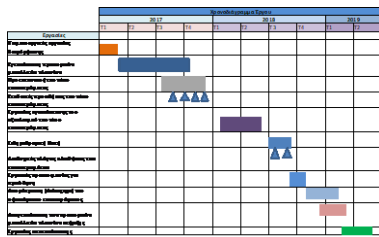
Σχήμα 3- Στήριξη καταστρωμάτων στα προσωρινά μεταλλικά πλαίσια και βήματα μετακινήσεων

Στο πρώτο στάδιο το νέο κατάστρωμα κατασκευάστηκε με τη μέθοδο της σταδιακής προώθησης σε παράπλευρη θέση χωρίς την ανάγκη διακοπής της κυκλοφορίας των τρένων κατά την κατασκευή παρά μόνο τα Σαββατοκύριακα όπου γινόταν η προώθηση των επιμέρους τμημάτων του φορέα για λόγους που σχετίζονται με την ασφάλεια. Στο δεύτερο στάδιο αποξηλώνεται ο εξοπλισμός των σιδηροδρομικών γραμμών και το υφιστάμενο κατάστρωμα απομακρύνεται προς την αντίθετη κατεύθυνση μέσα σε διάρκεια μερικών ωρών με την μέθοδο της πλάγιας ολίσθησης σε κατάλληλα διαμορφωμένα για την προσωρινή στήριξη μεταλλικά πλαίσια. (σχήμα 4) (Διακοπή της κυκλοφορίας). Στο τρίτο στάδιο με την μέθοδο της πλάγιας ολίσθησης και μέσα σε διάστημα μίας ημέρας το νέο κατάστρωμα μετακινείται με πλάγια ολίσθηση στην οριστική του θέση για απόσταση 11 μέτρα. (σχήμα 4). Στο τέταρτο στάδιο το υφιστάμενο κατάστρωμα απομακρύνεται με σταδιακή οπισθοδρόμηση στην παράπλευρη θέση και αποσυναρμολογείται κατά τμήματα με την βοήθεια γερανών.



Σχήμα 4- Λεπτομέρεια εξοπλισμού ολίσθησης καταστρώματος

Η γέφυρα κατασκευάστηκε σε δύο χρόνια, (Σχήμα 5), με διακοπή της κυκλοφορίας των τρένων μόνο για τέσσερα σαββατοκύριακα για την προώθηση, και ένα μόλις μήνα για την ολίσθηση κατά την διάρκεια του Καλοκαιριού. Οι επιπτώσεις στο περιβάλλον και στην καθημερινότητα των ανθρώπων υπήρξε η ελάχιστη δυνατή.



Σχήμα 5 Χρονοδιάγραμμα κατασκευής για την αναβάθμιση της σιδηροδρομικής γέφυρας με πλάγια ολίσθηση

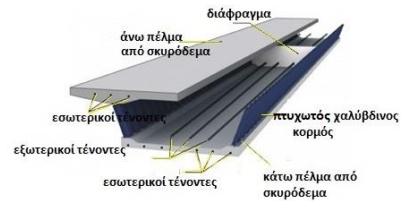
Δ. Σύγχρονες τάσεις στην κατασκευή γεφυρών στον κόσμο

Στην Κίνα η χρησιμοποίηση χαλύβδινων σωλήνων πληρωμένων από σκυρόδεμα (Concrete filled tube) αρχίζει να εφαρμόζεται όλο και πιο συχνά για την κατασκευή τοξωτών γεφυρών, για το γεγονός ότι οι σωλήνες πληρωμένου σκυροδέματος παρέχουν εξαιρετικές στατικές ιδιότητες. Η πλήρωση με σκυρόδεμα καθυστερεί τον τοπικό λυγισμό του χαλύβδινου σωλήνα, ο οποίος με τη σειρά του ενισχύει την αντοχή του σκυροδέματος στις τάσεις τις ροπές κάμψης και τις δυνάμεις διάτμησης, ενώ ταυτόχρονα λειτουργεί ως ξυλότυπος για το σκυρόδεμα κατά τη διάρκεια της κατασκευής, εξαλείφοντας ένα σημαντικό κόστος. Στην Κίνα είναι διαδεδομένη η κατασκευή τοξωτών γεφυρών CFT τα τελευταία χρόνια, και έχει επιτευχθεί άνοιγμα τόξου 460 μέτρα (γέφυρα Wushan Yangtze).

Για ανοίγματα (200-500 μ) μια οικονομική λύση είναι η γέφυρα δικτυωτού τόξου. Η αποτελεσματικότητα της κατασκευής βασίζεται στην μεγάλη αντοχή του δικτυωτού τμήματος. (Γέφυρα Chaotianmen άνοιγμα:552 m).

Για σιδηροδρομικές γέφυρες υψηλών ταχυτήτων ένας διαδεδομένος τύπος είναι η καλωδιωτή γέφυρα με δικτυωτό φορέα και διώροφο κατάστρωμα. Γέφυρα ορόσημο αυτού του τύπου αποτελεί η γέφυρα Tianxigzhou.

Στην Ιαπωνία λόγω οικονομικής ύφεσης οι βιομηχανίες χάλυβα και σκυροδέματος προσανατολίζονται στην δημιουργία νέων οικονομικών τύπων γεφυρών για μικρά και μεσαία ανοίγματα, με σκοπό την τόνωση του κατασκευαστικού κλάδου, όπως γέφυρες από σύνθετες δοκούς με πτυχωτούς κορμούς χάλυβα. (σχήμα. 6). Το πλεονέκτημα αυτού του τύπου γεφυρών οφείλεται στην μεγάλη αντοχή σε κάμψη του κορμού σε εγκάρσια κατεύθυνση με αποτέλεσμα την μείωση των εγκάρσιων πλακών στις γέφυρες με δοκούς, και συγχρόνως τη δυνατότητα μείωσης του πάχους του κορμού και επομένως και του ίδιου βάρους της κατασκευής. Το γεγονός αυτό οδηγεί σε ευκολότερες διαδικασίες ανέγερσης ειδικά κατά τη σταδιακή προώθηση.(Σχήμα 6)



Σχήμα 6-Προεντεταμένη δοκός κιβωτοειδούς διατομής με τραπεζοειδή πτυχωτό κορμό

Ε. Νέες τάσεις στη διαχείριση γεφυρών

Στον Ευρωκώδικα EN-1990:Βάσεις Σχεδιασμού των φερουσών κατασκευών, ορίζεται ως ενδεικτική διάρκεια ζωής σχεδιασμού των γεφυρών τα 100 χρόνια. Το γεγονός ότι με βάση τον Κανονισμό πολλές γέφυρες πλησιάζουν το τέλος ζωής τους, καθώς και η κατάρρευση αρκετών γεφυρών στον κόσμο, οδήγησε ως εθνική προτεραιότητα των αναπτυγμένων χωρών τη διαχείριση των ήδη υφιστάμενων γεφυρών. Η διαχείριση μπορεί να περιλαμβάνει, την συντήρηση, την αναβάθμιση, ή και την αντικατάσταση των υπαρχουσών γεφυρών.

Τα θέματα που αφορούν τη συντήρηση γεφυρών περιλαμβάνουν τον ορισμό του κύκλου ζωής, την επιθεώρηση και την παρακολούθηση, την αξιολόγηση της ανθεκτικότητας και την ασφάλεια των υφιστάμενων γεφυρών και την ανάπτυξη μεθόδων για την επιλογή της κατάταξης προτεραιότητας για επισκευή, την ανάπτυξη συστήματος για την συντήρηση των γεφυρών, όπως ανάπτυξη νέων υλικών, και τεχνικών συντήρησης και συστημάτων επείγουσας επισκευής, την συντήρηση, λαμβάνοντας υπόψη την αρμονία με το περιβάλλον, την σεισμική απόδοση και τον οικονομικό προϋπολογισμό.

Οι εργασίες συντήρησης μπορεί να αφορούν, εργασίες επισκευής και ενίσχυσης κατά της φθοράς λόγω κόπωσης, έναντι αυξημένων φορτίων, λόγω αναθεωρημένων προδιαγραφών σχεδιασμού. Όσον αφορά τον ορισμό του κύκλου ζωής, τίθεται το ερώτημα αν πολλές υφιστάμενες γέφυρες καλύπτουν τις απαιτήσεις για αξιοπιστία όπως για παράδειγμα ασφάλεια, λειτουργικότητα και ανθεκτικότητα. Η διαχείριση των γεφυρών απαιτεί κατάλληλα καταρτισμένο επιστημονικό προσωπικό, την χρηματοδότηση ερευνητικών προγραμμάτων για νέα υλικά, και τεχνικές ελέγχου, την οργανωμένη καταγραφή των υπαρχουσών γεφυρών, με συστηματικούς ελέγχους οι οποίοι ιεραρχούνται ανάλογα με την θέση, το είδος σύνδεσης, τον τρόπο κατασκευής, την στατική επάρκεια, τον έλεγχο ρηγματώσεων και τον έλεγχο οξειδωσης οπλισμού.

Στην Ιαπωνία λόγω αυξημένης σεισμικότητας, για τον έλεγχο γεφυρών, εκτελούνται πειραματικές δοκιμές, οι οποίες προσομοιώνουν την δυναμική συμπεριφορά μιας κατασκευής, σε συνεργασία με διαφορετικά εργαστήρια που επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω διαδικτύου. Η εφαρμογή ενός έξυπνου συστήματος para-stressing, σε συνεργασία με ένα απομακρυσμένο σύστημα παρακολούθησης και ελέγχου, SMS (Smart Monitoring System), έχει αναπτυχθεί για να παρακολουθεί και να

ελέγχει σε πραγματικό χρόνο για απρόσμενα φορτία όπως σεισμοί, τυφώνες κ.λπ. Παράλληλα αναπτύσσονται νέα βελτιωμένα υλικά, όπως χάλυβες υψηλής αντοχής, εφέδρανα υψηλής απόδοσης, κοχλίες υψηλής αντοχής, φύλλα με ίνες άνθρακα και καλώδια με ίνες άνθρακα. Για τον έλεγχο και το βάθος των ρωγμών κόπωσης στα διάφορα χαλύβδινα στοιχεία της γέφυρας αναπτύσσονται έναντι του οπτικού ελέγχου οι μέθοδοι NDT (Non-Destructive Testing), οι οποίες βασίζονται στη χρήση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, μετατροπής ήχου και άλλων μετατροπών σήματος για την επιθεώρηση των ρωγμών.

Στις ΗΠΑ πολλές γέφυρες έχουν αντικατασταθεί από μοντέρνες μεταλλικές λόγω της ευκολίας ανέγερσης ενώ το Ινστιτούτο Ανάπτυξης και Αγοράς Χάλυβα (SMDI), ανέπτυξε ένα δωρεάν web-based εργαλείο σχεδίασης το οποίο επιτρέπει στους χρήστες να κατεβάζουν σχέδια εξατομικευμένων χαλύβδινων γεφυρών μικρών ανοιγμάτων.

IV.: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την έρευνα διαφαίνεται ότι κοινωνικοί οικονομικοί και περιβαλλοντικοί παράγοντες που αποτελούν κριτήρια βιωσιμότητας, καθορίζουν τις σύγχρονες τάσεις στις μεθόδους κατασκευής γεφυρών. Η ενσωμάτωση βελτιωμένων υλικών υψηλής απόδοσης, για την δημιουργία πιο ανθεκτικών γεφυρών, αλλά και η χρήση καινοτόμων τεχνικών και μεθόδων ανέγερσης για την μείωση των κυκλοφοριακών καθυστερήσεων αλλά και για την επιτάχυνση του χρονοδιαγράμματος κατασκευής, αποτελούν πτυχές αειφορίας. Τα οφέλη από την χρήση χαλύβων υψηλής αντοχής όπως σε καλώδια κρεμαστών γεφυρών, μεθόδων ταχείας κατασκευής και τεχνικών διαχείρισης φαίνεται ότι αποσβένουν το αρχικό κόστος, από την αύξηση της διάρκειας ζωής των κατασκευών, το μειωμένο κόστος συντήρησης, το μειωμένο κόστος από την ενσωμάτωση λιγότερων υλικών, τις λιγότερες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Επίδοση, απόδοση, και βιωσιμότητα, είναι οι έννοιες που καθορίζουν τον σχεδιασμό την κατασκευή και την διαχείριση των γεφυρών.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Casas, Joan. (2015). The Bridges of the Future or the Future of Bridges?. *Frontiers in Built Environment*. 1. 10.3389/fbuil.2015.00003
- Chen, W. F., Duan, L. (2014) *Bridge Engineering Handbook Second Edition*: CRC Press
- Chung, K.F., Chiew, S.P. (2015) *Selection of Equivalent Steel Materials to European Steel Materials Specifications*. Professional Guide HKCMSA –P001 Ανακτήθηκε στις 08 Φεβρουαρίου 2019 από <https://www.polyu.edu.hk/cnecsteel/images/publications/Selection-of-Equivalent-Steel-Materials-to-European-Steel-Materials-Specifications.pdf>
- Collin, P. & Johansson, B. (2006). *Bridges in high strength steel*. IABSE Symposium Report. 92. 1-9. 10.2749/222137806796185562
- Collin, P. & Lundmark, T. (2002). *Competitive Swedish Composite Bridges*. IABSE Symposium Report. 86. DOI: 10.2749/222137802796335901
- Graciano, C. & Zapata-Medina, D. (2015). Effect of longitudinal stiffening on bridge girder webs at incremental launching stage. *Ingeniería e Investigación*. 35. 201524-30. DOI: 10.15446/ing.investig.v35n1.42220
- Günther, H.P. (2005). Use and Application of High-Performance Steels for Steel Structures. *Structural Engineering Documents*. Zürich. IABSE-AIPC-IVBH. ISBN 3-85748-113-7
- He, Xu Hu & Wu, Teng & Zou, Yunfeng & Frank Chen, Y & Guo, Hui & u, Zhiwu. (2017). Recent developments of high-speed railway bridges in China. *Structure and Infrastructure Engineering*. 10.1080/15732479.2017.1304429.
- Hu, Nan & Dai, Gonglian & Bin, Yan & Liu, Ke. (2014). Recent development of design and construction of medium and long span high-speed railway bridges in China. *Engineering Structures*. 74. 233–241. 10.1016/j.engstruct.2014.05.052.
- Hiroshi Nakai (Prof.), Shigeyuki Matsui (Prof.), Teruhiko Yoda (Prof.) & Akimitsu Kurita (Prof.) (1998) Trends in Steel-Concrete Composite Bridges in Japan, *Structural Engineering International*, 8:1, 30-34. DOI: 10.2749/101686698780489540
- Jiang, R.J. & Au, Francis & Xiao, Yu. (2015). Prestressed Concrete Girder Bridges with Corrugated Steel Webs: Review. *Journal of Structural Engineering*. 141. 04014108. 10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001040.
- Johansson, B. & Maquoi, G. & Sedlacek, G. & Müller, D.B. (2007). Commentary and worked examples to EN 1993-1-5 “Plated structural elements” (2010, February 25). Ανακτήθηκε από <https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/eur-scientific-and-technical-research-reports/commentary-and-worked-examples-en-1993-1-5-plated-structural-elements>
- Kitada, Toshiyuki. (2006). Considerations on recent trends in, and future prospects of, steel bridge construction in Japan. *Journal of Constructional Steel Research*. 62. 1192-1198. 10.1016/j.jcsr.2006.06.016.
- Miki, C., Homma, K. & Tominaga, T. (2002). High strength and high performance steels and their use in bridge structures. *Journal of Construction Steel Research* 58, 3-20. Ανακτήθηκε 20 Φεβρουαρίου, 2019 από <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0143974X01000281?via%3Dihub>
- Miyamoto, A., Motoshita, M., Casas, Joan. R., (2013). Development of an integrated remote technique and its application to para-stressing bridge system. *International Journal of Advanced Structural Engineering*. pp5-28 ανακτήθηκε στις 20 Φεβρουαρίου 2019 από <http://www.advancedstructeng.com/content/5/1/28>
- Navarro- Manso A., del Coz Diaz J.J. , Alonso-Martinez M., Blanco-Fernández E., Castro-Fresno D. ; New launching method for steel bridges based on a self-supporting deck system :FEM and DOE analyses; *Automation in Construction*. Vol 44(8) p.p.183-196 (2014) Elsevier
- Pacheco, P., Adão da Fonseca, António P., Resende, A., Campos, & R. (2010). Sustainability in bridge construction processes *Clean Technologies and Environmental Policy*. Volume 12 p.p. 75-82. doi:10.1007/s10098-009-0223-6
- Pedro, José & Reis, António. (2013). *Composite steel-concrete cable-stayed bridges: Developments and future trends*. Ανακτήθηκε 10 Φεβρουαρίου 2019 από https://www.researchgate.net/publication/281280573_Composite_steel-concrete_cable-stayed_bridges_Developments_and_future_trends
- Yu, Xiong & Yu, B. (2019). *STATE OF PRACTICE OF NDE TECHNOLOGIES IN BRIDGE INSPECTION*. Ανακτήθηκε 12 Φεβρουαρίου 2019 από https://www.researchgate.net/publication/267999815_STATE_OF_PRACTICE_OF_NDE_TECHNOLOGIES_IN_BRIDGE_INSPECTION
- Zhang, Yezhi & Luo, Rudeng. (2012). *Patch Loading and Improved Measures of Incremental Launching of Steel Box Girder*. *Journal of Constructional Steel Research*. 68. 11–19. 10.1016/j.jcsr.2011.06.013.
- Buonomo, M. Servant, C., Virlogeux, M., Cremer, J.M. Goyet V. Delforno, J. *The design and construction of the Millau Viaduct*. Steelbridge (2004). Ανακτήθηκε στις 10 Ιανουαρίου 2019 από <http://people.bath.ac.uk/jjo20/bh09/Papers/design.pdf>
- Zhang, Y. Luo, R (2011, August 06). *Patch loading and improved measures of incremental launching of steel box girder*. Ανακτήθηκε 15 Φεβρουαρίου 2019, από <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0143974X11001829>