

ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΚΟΠΩΣΗ ΠΙΝΑΚΙΔΩΝ ΣΗΜΑΝΣΗΣ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΔΡΟΜΩΝ

Αικατερίνη Νταιϊφώτη

Υποψήφια Διδάκτορας

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, ΕΜΠ

Αθήνα, Ελλάδα

e-mail: ntaifotik@gmail.com

Ακριβή Χατζηδάκη

Υποψήφια Διδάκτορας

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, ΕΜΠ

Αθήνα, Ελλάδα

e-mail: chatzidaki.akrivi@gmail.com

Χάρης Ι. Γαντές

Καθηγητής

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, ΕΜΠ

Αθήνα, Ελλάδα

e-mail: chgantes@central.ntua.gr

Δημήτρης Βαμβάτσικος

Αναπληρωτής Καθηγητής

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, ΕΜΠ

Αθήνα, Ελλάδα

e-mail: divamva@mail.ntua.gr

1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Κατά μήκος των σύγχρονων αυτοκινητοδρόμων διατάσσονται πολλές ελαφρές μεταλλικές κατασκευές στήριξης πινακίδων σήμανσης, οι οποίες παρέχουν σημαντικές πληροφορίες στους χρήστες τους καθημερινά. Καθοριστικός παράγοντας για το σχεδιασμό τέτοιων κατασκευών είναι η κόπωση των συνδέσεων, λόγω της δυναμικής φύσης των φορτίων ανέμου που τις καταπονούν. Η μεγάλη προσβαλλόμενη επιφάνεια των πινακίδων σε σύγκριση με το μικρό συνολικό βάρος της κατασκευής καθιστά τον άνεμο την κρισιμότερη φόρτιση. Παράλληλα η άμεση έκθεσή τους στις περιβαλλοντικές συνθήκες έχει ως αποτέλεσμα την απομείωση της αντοχής και της τελικής διάρκειας ζωής τους λόγω του φαινομένου της διάβρωσης. Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η διαμόρφωση κατάλληλης μεθοδολογίας ελέγχου σε κόπωση φορέων πινακίδων σήμανσης διαφόρων μορφών και τροποποίησή της προκειμένου να διερευνηθεί η απομείωση της αντοχής τους λόγω διάβρωσης. Τα βήματα της προτεινόμενης μεθοδολογίας παρουσιάζονται αναλυτικά μέσω της εφαρμογής τους σε φορείς πινακίδων σήμανσης μορφής Π, Γ και Τ.

2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα σύγχρονα οδικά δίκτυα περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων μια πληθώρα ελαφρών μεταλλικών κατασκευών πινακίδων σήμανσης. Η διέλευση από αυτές χιλιάδων οδηγών σε καθημερινή βάση καθιστά πολύ σημαντικό το σωστό σχεδιασμό τους. Το στατικό τους

σύστημα αποτελείται συνήθως από δύο ή ένα μεταλλικά υποστυλώματα και ένα οριζόντιο μέλος είτε δικτυωτής μορφής είτε ολόσωμης μεταλλικής διατομής, πάνω στο οποίο στηρίζεται η πινακίδα. Λόγω της σημαντικής στρέψης που καταπονεί τα μέλη αυτά επιλέγονται συνήθως κοίλες διατομές λόγω της καλής συμπεριφοράς τους έναντι στρέψης. Το δομικό υλικό που επιλέγεται συνήθως για αυτές τις κατασκευές είναι ο χάλυβας, ο οποίος έχει αντικαταστήσει το αλουμίνιο που χρησιμοποιούνταν ευρέως στο παρελθόν.

Ο άνεμος αποτελεί το κρίσιμο φορτίο σχεδιασμού τέτοιων κατασκευών, καθιστώντας, λόγω της εναλλασσόμενης φύσης του, την κόπωση των συνδέσεων μια από τις κρίσιμότερες μορφές αστοχίας. Επιπλέον, λόγω της έκθεσης αυτών των φορέων στις περιβαλλοντικές συνθήκες, η διάβρωση αποτελεί έναν πολύ σημαντικό παράγοντα που επηρεάζει δραστικά τη διάρκεια ζωής τους. Συγκεκριμένα, η χημική αντίδραση που λαμβάνει χώρα μεταξύ του μετάλλου και του περιβάλλοντος δημιουργεί μια στρώση σκουριάς στην επιφάνεια του μετάλλου ως προϊόν της διάβρωσης, απομειώνοντας έτσι το πάχος της μεταλλικής διατομής. Κατά συνέπεια, απομειώνεται και η αντοχή των μεταλλικών μελών αλλά και των συνδέσεών τους, οι οποίες είναι κρίσιμες κατά τον έλεγχο σε κόπωση. Επομένως, καθίσταται ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα η διερεύνηση των επιπτώσεων της διάβρωσης στην αντοχή σε κόπωση φορέων πινακίδων σήμανσης.

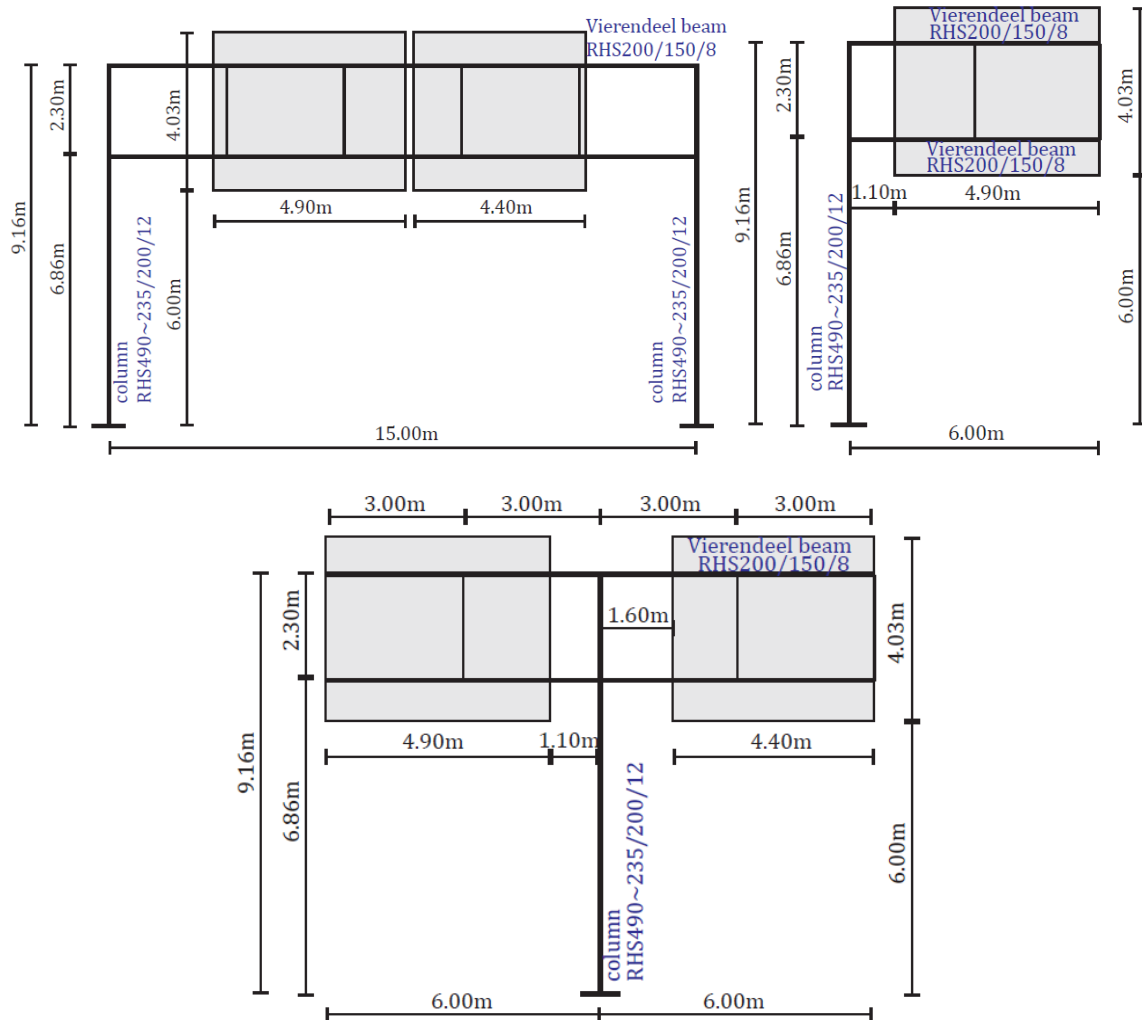
Το συγκεκριμένο θέμα έχει αποτελέσει συχνά αντικείμενο μελέτης των μηχανικών σε ερευνητικό επίπεδο. Στη σύγχρονη βιβλιογραφία εντοπίζονται συχνά άρθρα με θέμα τη μελέτη τέτοιου είδους κατασκευών και την συμπεριφορά τους έναντι διάβρωσης, τόσο μέσω υπολογιστικών αναλύσεων όσο και μέσω κατάλληλων πειραματικών διατάξεων. Μεταξύ άλλων οι Shurbert-Hetzel et al. [1], χρησιμοποίησαν κατάλληλο μοντέλο πεπερασμένων στοιχείων, βαθμονομημένο μέσω πειραματικών μετρήσεων, για να εξετάσουν τη συμπεριφορά τέτοιων κατασκευών μέσω pushover ανάλυσης υπό φορτία ανέμου. Επιπλέον, οι Kacin et al. [2], ανέπτυξαν κατάλληλο αλγόριθμο για τον προσδιορισμό της διάρκειας ζωής σε κόπωση πλαισίων πινακίδων σήμανσης, λαμβάνοντας υπόψη τη μεταβαλλόμενη φύση της φόρτισης του ανέμου. Παράλληλα, μελέτησαν το φαινόμενο της κόπωσης διάβρωσης, υπολογίζοντας τη συσσώρευση βλάβης λόγω κόπωσης για διάφορα σενάρια διάβρωσης.

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η ανάπτυξη κατάλληλης μεθοδολογίας ελέγχου σε κόπωση φορέων πινακίδων σήμανσης από χάλυβα υπό φορτία ανέμου μεταβαλλόμενα με το χρόνο. Στη συνέχεια, η προτεινόμενη μεθοδολογία τροποποιείται κατάλληλα, ώστε να ληφθεί υπόψη η απομείωση της αντοχής σε κόπωση λόγω διάβρωσης. Τα βήματα της μεθοδολογίας παρουσιάζονται αναλυτικά μέσω της εφαρμογής τους σε υφιστάμενους φορείς πινακίδων σήμανσης διαφόρων μορφών των σύγχρονων αυτοκινητοδρόμων.

3. ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΩΝ ΦΟΡΕΩΝ

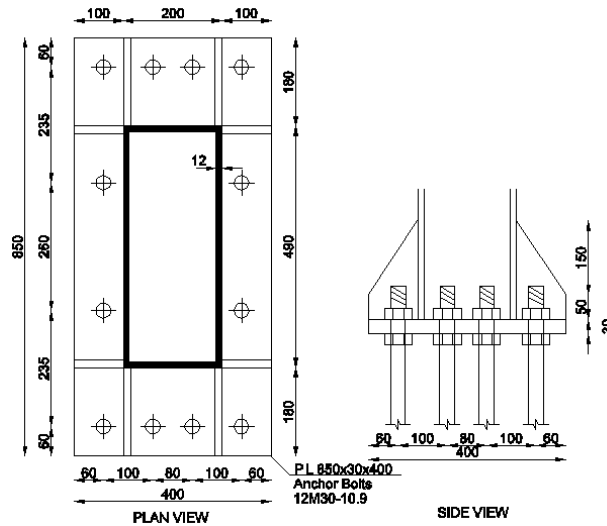
Για την παρουσίαση της προτεινόμενης μεθοδολογίας χρησιμοποιούνται τρεις υφιστάμενοι φορείς με μια τυπική γεωμετρία που συναντάται συχνά στους σύγχρονους αυτοκινητοδρόμους. Η μορφή τους είναι πλαισιακή Π, μονόπλευρου προβόλου Γ ή αμφίπλευρου Τ και έχουν κατασκευαστεί από χάλυβα S275. Η γεωμετρία τους παρουσιάζεται αναλυτικά στο Σχ. 1. Το συνολικό ύψος του φορέα είναι 9,16m και για τις τρεις περιπτώσεις, ενώ το μήκος του είναι 15m για το πλαίσιο μορφής Π, 6m για τον πρόβολο μορφής Γ και Τ. Οι διατομές και τα υλικά είναι ίδια και στις τρεις περιπτώσεις για λόγους σύγκρισης. Οι φορείς αποτελούνται από ένα ή δύο υποστυλώματα κοίλης

ορθογωνικής διατομής με μεταβαλλόμενο ύψος διατομής καθ' ύψος εξαιτίας των μεγαλύτερων εντατικών μεγεθών εκτός επιπέδου στη βάση των υποστυλωμάτων από τον άνεμο. Το ζυγωμα αποτελείται από το άνω και κάτω πέλαμα και ορθοστάτες διατεταγμένους ανά 3m με κοίλες ορθογωνικές διατομές.



Σχ. 1: Γεωμετρία εξεταζόμενων φορέων

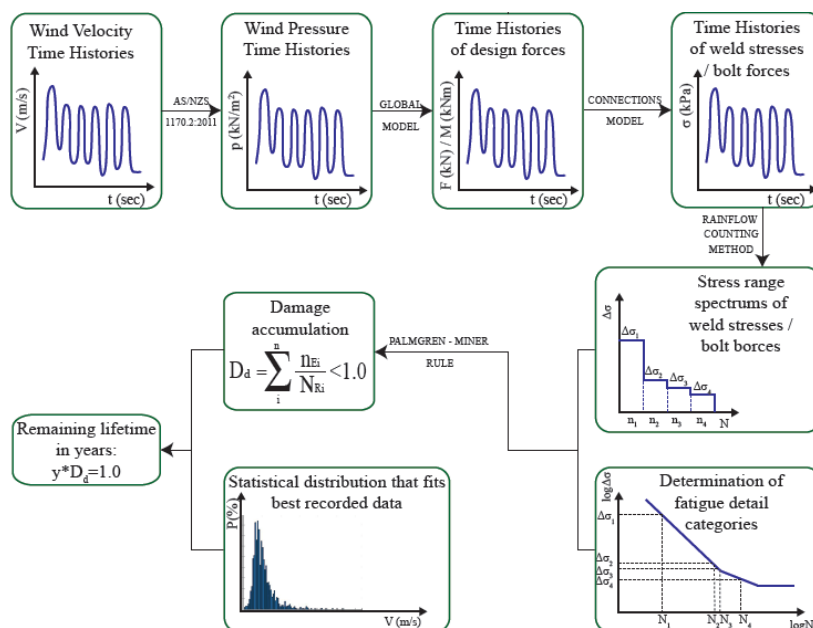
Για τον έλεγχο σε κόπωση απαιτείται και η γεωμετρία των συνδέσεων. Εξετάστηκαν δύο συνδέσεις, η έδραση των μεταλλικών υποστυλωμάτων στη θεμελίωση από σκυρόδεμα και η σύνδεση των πελμάτων του ζυγώματος στο υποστύλωμα. Λόγω της πληθώρας διαφορετικών αποτελεσμάτων στις επόμενες ενότητες παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της διαδικασίας που ακολουθήθηκε μόνο για τη μια σύνδεση, αυτή της έδρασης του υποστυλώματος στη βάση του. Η συγκεκριμένη σύνδεση έχει τη γεωμετρία που απεικονίζεται στο Σχ. 2 και πραγματοποιείται μέσω ενός ελάσματος πάχους 30mm συγκολλημένου στο υποστύλωμα και αγκυρίων M30 τα οποία τοποθετούνται στο θεμέλιο από σκυρόδεμα σε επαρκές βάθος. Περιμετρικά της διατομής τοποθετούνται ενισχυτικά ελάσματα για αύξηση του μήκους της συγκόλλησης και μείωση της κάμψης του ελάσματος βάσης.



Σχ. 2: Λεπτομέρεια έδρασης υποστυλωμάτων

4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΕ ΚΟΠΩΣΗ

Τα βήματα της μεθοδολογίας που προτείνεται για τον υπολογισμό της συσσώρευσης βλάβης λόγω κόπωσης και κατ' επέκταση της διάρκειας ζωής της κατασκευής συνοψίζονται στο ακόλουθο διάγραμμα του Σχ. 3. Αρχικά, παράγονται τεχνητές χρονοϊστορίες ανέμου για διαφορετικές τιμές μέσης ταχύτητας ανέμου χρησιμοποιώντας κατάλληλο λογισμικό. Στη συνέχεια, υπολογίζονται χρονοϊστορίες φορτίου πίεσης ανέμου στην πινακίδα από τις χρονοϊστορίες ταχύτητας ανέμου σύμφωνα με τον Αυστραλιανό κανονισμό AS/NZS 1170.2:2011 [3]. Ο κανονισμός αυτός επιλέχθηκε έναντι του Ευρωκώδικα 1 [4] διότι παρέχει τη δυνατότητα υπολογισμού του φορτίου ανέμου για διάφορες διευθύνσεις εκτός από την διεύθυνση κάθετα στην πινακίδα. Με τρισδιάστατο αριθμητικό προσομοίωμα κάθε φορά υπολογίζονται οι χρονοϊστορίες εντατικών μεγεθών στη θέση της σύνδεσης, οι οποίες μετατρέπονται σε χρονοϊστορίες τάσεων στο αγκύριο και στη συγκόλληση της σύνδεσης μέσω απλοποιητικών αναλυτικών σχέσεων.



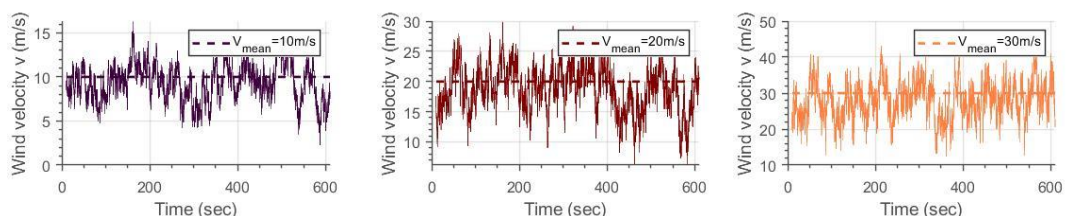
Σχ. 3: Διαδοχικά βήματα προτεινόμενης μεθοδολογίας

Ακολουθως, εφαρμόζεται η μέθοδος βροχοροής (rainflow) [6] για τον υπολογισμό των αντίστοιχων ιστογραμμάτων και με βάση τον EN1993-1-9 [5] εντοπίζεται η κατάλληλη λεπτομέρεια σύνδεσης για τον προσδιορισμό της αντίστοιχης καμπύλης αντοχής σε κόπωση. Με αυτά τα δύο δεδομένα υπολογίζονται τιμές συσσώρευσης βλάβης για το αγκύριο και τη συγκόλληση για κάθε μια χρονοϊστορία ανέμου, σύμφωνα με τον κανόνα Palmgen-Miner [7]. Τα βήματα αυτά παρουσιάζονται λεπτομερώς στις επόμενες υποενότητες και εφαρμόζονται για την περίπτωση μη διαβρωμένων φορέων. Στη συνέχεια, γίνονται κατάλληλες τροποποιήσεις για να προβλεφθεί η μεταβολή των τιμών συσσώρευσης βλάβης στην περίπτωση διάβρωσης σε αστικό περιβάλλον.

5. ΧΡΟΝΟΪΣΤΟΡΙΕΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΑΝΕΜΟΥ

Το αριθμητικό προσομοίωμα κάθε φορέα φορτίζεται με το μόνιμο φορτίο G του ίδιου βάρους του φορέα και της πινακίδας και το κινητό φορτίο ανέμου W , το οποίο δρα στην επιφάνεια της πινακίδας και την επιφάνεια των μεταλλικών μελών. Εν συνεχεία, υπολογίζονται τα εντατικά μεγέθη στη βάση του υποστυλώματος για το συνδυασμό $1,0G+1,0W$, ο οποίος είναι ο κρίσιμος συνδυασμός για τον έλεγχο σε κόπωση.

Τα φορτία ανέμου υπολογίζονται σύμφωνα με τον AS/NZS 1170.2:2011 [3] ως συνάρτηση της ταχύτητας του ανέμου v . Για την παραγωγή τεχνητών χρονοϊστοριών ταχύτητας ανέμου χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό TurbSim [10], το οποίο αναπτύχθηκε από το εργαστήριο National renewable Energy Laboratory (NREL) [8] και το κέντρο National Wind Technology Center (NWTC) [9]. Πρόκειται για έναν στοχαστικό προσομοιωτή τυρβώδους πεδίου ανέμου, ο οποίος χρησιμοποιεί ένα στατιστικό μοντέλο για την αριθμητική προσομοίωση χρονοϊστοριών ταχύτητας ανέμου, σε σημεία ενός διδιάστατου ορθογωνικού πλέγματος, κάθετα στην κύρια διεύθυνση του ανέμου, το οποίο θεωρείται σταθερό στο χώρο. Τα εισαγόμενα δεδομένα στο TurbSim [10] είναι γεωμετρικά χαρακτηριστικά για τον προσδιορισμό του ορθογωνικού πλέγματος ώστε να υπολογιστεί η ταχύτητα ανέμου στο ύψος του κέντρου βάρους της πινακίδας και μετεωρολογικά δεδομένα. Με το TurbSim παράγονται χρονοϊστορίες ανέμου διάρκειας 10 λεπτών ανά 0.1sec για διάφορες τιμές μέσης τιμής ταχύτητας ανέμου από 1m/s έως 40m/s με βήμα 1m/s. Λαμβάνονται 10 διαφορετικές ισοπίθανες χρονοϊστορίες για κάθε μέση τιμή ταχύτητας ανέμου, δηλαδή σε σύνολο 400 χρονοϊστορίες. Στο Σχ. 4 παρουσιάζονται μερικές από τις χρονοϊστορίες που χρησιμοποιήθηκαν για μέση τιμή ταχύτητας ανέμου 10m/s, 20m/s και 30m/s.

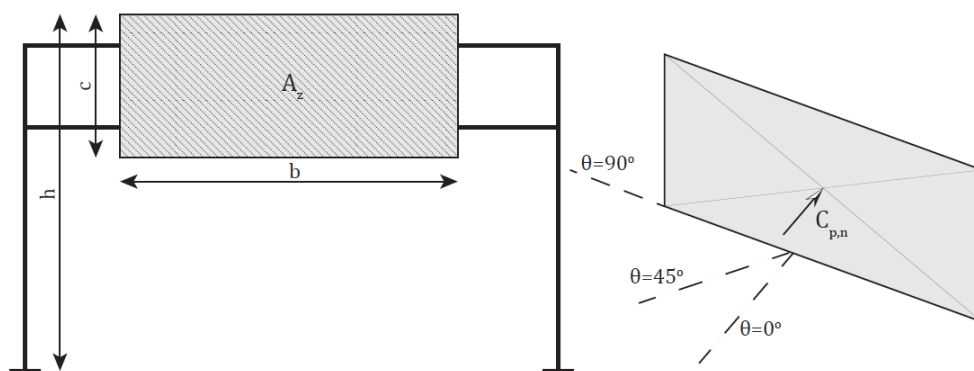


Σχ. 4: Χρονοϊστορίες ταχύτητας ανέμου για διαφορετικές τιμές μέσης ταχύτητας v_{mean}

Στη συνέχεια, υπολογίζεται σύμφωνα με τον AS/NZS 1170.2:2011 [3] το φορτίο ανέμου ως συνάρτηση της ταχύτητας του ανέμου v σύμφωνα με την εξ. (1).

$$p=(0.5\rho_{air})[v_{des,\theta}]^2C_{fig}C_{dyn} \quad (1)$$

όπου ρ_{air} η πυκνότητα του αέρα, ίση με $1,2\text{kg/m}^3$, $v_{\text{des},\theta}$ η ταχύτητα ανέμου σε διάφορες διευθύνσεις με θ τη γωνία πρόσπτωσης του ανέμου στην πινακίδα, ενώ C_{fig} , C_{dyn} είναι αεροδυναμικοί συντελεστές με τιμές που λαμβάνονται από τον κανονισμό. Η πίεση της παραπάνω εξίσωσης πολλαπλασιάζεται με την επιφάνεια αναφοράς A_z που φαίνεται και στο Σχ. 5 και με τον συντελεστή $C_{p,n}$, ώστε να προκύψει το τελικό φορτίο. Ο συντελεστής αυτός εισάγεται από τον κανονισμό για πινακίδες σήμανσης και η τιμή του εξαρτάται από τις διαστάσεις της πινακίδας και την υψομετρική της θέση, δηλαδή απ' τις παραμέτρους που απεικονίζονται και στο Σχ. 5. Η τελικώς υπολογιζόμενη πίεση δρα πάντα κάθετα στην πινακίδα ανεξάρτητα απ' τη γωνία ανέμου θ η οποία κυμαίνεται από 0° έως 360° ανά 45° . Αυτό που διαφοροποιείται είναι η τιμή του συντελεστή και κατ' επέκταση η τελική τιμή της πίεσης. Επομένως προκύπτει το φορτίο ανέμου ως συνάρτηση της ταχύτητας ανέμου v , η οποία αντιστοιχεί στις τιμές κάθε χρονοϊστορίας που παράχθηκε με το TurbSim, καταλήγοντας έτσι στις χρονοϊστορίες πίεσης ανέμου.



Σχ. 5: Υπολογισμός συντελεστή $C_{p,n}$ για πινακίδες σήμανσης

Το υπολογιζόμενο με βάση τα ανωτέρω φορτίο ανέμου ασκείται μαζί με τα μόνιμα φορτία στο αριθμητικό προσομοίωμα ολόκληρου του φορέα και λαμβάνονται τα εντατικά μεγέθη στη θέση της σύνδεσης. Απ' τα δρώντα εντατικά μεγέθη, τα οφειλόμενα στα μόνιμα φορτία έχουν σταθερή τιμή, ενώ αυτά που προκύπτουν από την πίεση του ανέμου έχουν μεταβλητή τιμή ανάλογη με το τετράγωνο της ταχύτητας του ανέμου v . Επειδή στον υπολογισμό συσσώρευσης βλάβης υπεισέρχονται μόνο τα εύρη των τάσεων, δηλαδή η μεταβολή των τάσεων με το χρόνο, λαμβάνονται υπόψη μόνο τα εντατικά μεγέθη λόγω ανέμου.

6. ΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗ ΒΛΑΒΗΣ ΛΟΓΩ ΚΟΠΩΣΗΣ ΣΕ ΜΗ ΔΙΑΒΡΩΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Για τον υπολογισμό συσσώρευσης βλάβης απαιτούνται τα εύρη των τάσεων για τα συστατικά μέρη της εξεταζόμενης σύνδεσης, δηλαδή για το αγκύριο και τη συγκόλληση. Για τον υπολογισμό τους χρησιμοποιούνται απλοποιητικές αναλυτικές σχέσεις της μορφής των εξ. (2) και (3).

$$\sigma_w = \frac{M_{y,Ed}}{W_y}$$

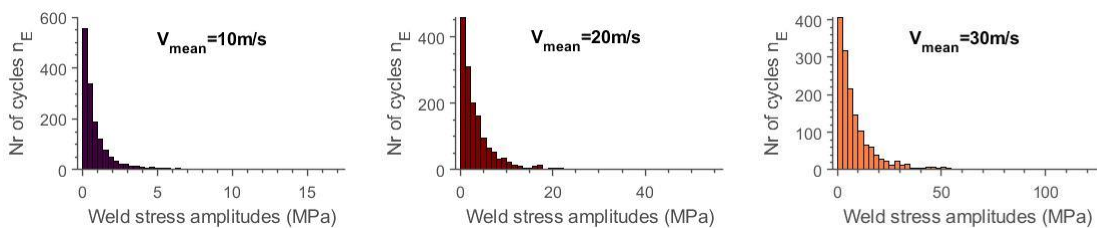
(2)

$$\sigma_B = \frac{M_{y,Ed}}{n \times s}$$

(3)

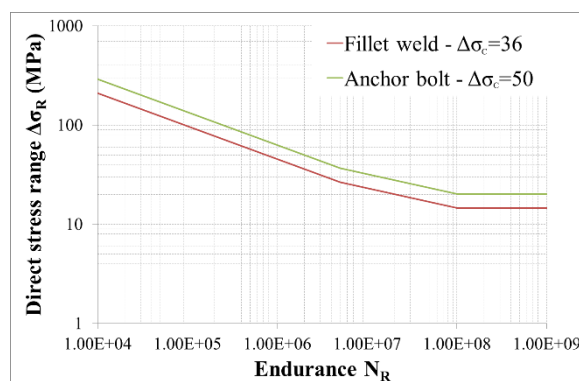
Στις εξ. (2) και (3) σ_w και σ_B είναι η ορθή τάση στη συγκόλληση και στο αγκύριο αντίστοιχα, $M_{y,Ed}$ η δρώσα καμπτική ροπή εκτός επιπέδου λόγω ανέμου, W_y η ελαστική ροπή αντίστασης της διατομής στη βάση με τα ενισχυτικά ελάσματα, n το πλήθος των αγκυρίων σε κάθε πλευρά της σύνδεσης και s η απόσταση των εξωτερικών σειρών αγκυρίων για την εξεταζόμενη διεύθυνση. Αντίστοιχα, υπολογίζονται διατμητικές τάσεις λόγω στρέψης και διάτμησης στη διεύθυνση του ανέμου, κάθετα στο επίπεδο της πινακίδας.

Ακολούθως, οι χρονοϊστορίες τάσεων στη συγκόλληση και στο αγκύριο διάρκειας 10min μετατρέπονται σε ιστογράμματα εύρους τάσεων, όπως αυτά του Σχ. 6 με τη μέθοδο βροχοροής (rainflow) [6]. Στον οριζόντιο άξονα απεικονίζονται τα εύρη των τάσεων και στον κατακόρυφο ο αριθμός των κύκλων που εμφανίζεται κάθε εύρος σε μια χρονοϊστορία.



Σχ. 6: Ιστογράμματα τάσεων στη συγκόλληση για διαφορετικές τιμές μέσης ταχύτητας ανέμου

Τελευταίο δεδομένο που απαιτείται για τον υπολογισμό της συσσώρευσης βλάβης είναι η αντοχή σε κόπωση. Με βάση τον EN1993-1-9 [5] επιλέγεται η κατάλληλη κατασκευαστική λεπτομέρεια για τη συγκόλληση και το αγκύριο και προσδιορίζονται οι καμπύλες αντοχής σε κόπωση του Σχ. 7.



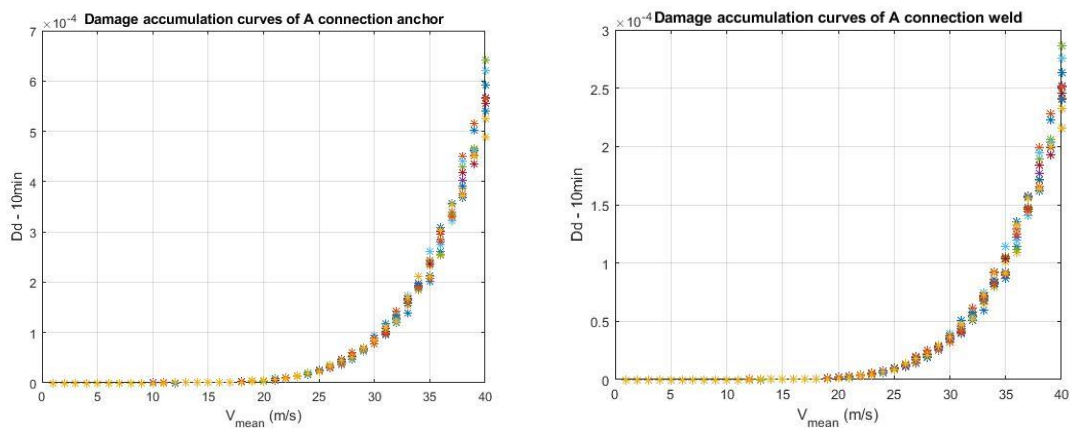
Σχ. 7: Καμπύλες αντοχής σε κόπωση για τη συγκόλληση και το αγκύριο

Η συσσώρευση βλάβης λόγω κόπωσης δίνεται από τη σχέση της εξ. (4), σύμφωνα με τον κανόνα Palmgren – Miner [7]. Ο κανόνας αυτός ορίζει ότι το άθροισμα των λόγων του αριθμού των κύκλων που κάθε εύρος τάσεων εμφανίζεται στο ιστογράμμα προς τον

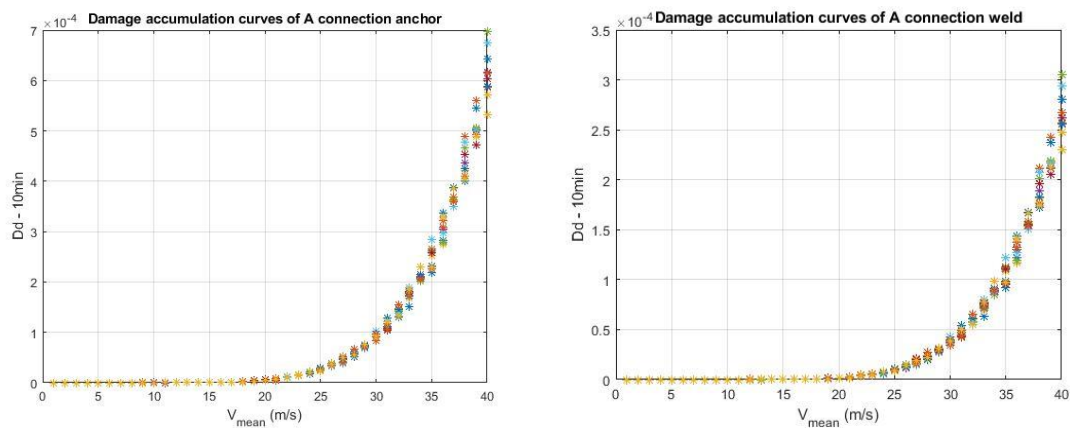
αντίστοιχο αριθμό κύκλων που αντέχει η εκάστοτε λεπτομέρεια για αυτό το εύρος τάσεων, είναι η συσσώρευση βλάβης λόγω κόπωσης και έχουμε αστοχία όταν η τιμή αυτή γίνει ίση με 1,0. Με τα ιστογράμματα του Σχ. 6 και τις καμπύλες αντοχής σε κόπωση του Σχ. 7 υπολογίζεται η τιμή του D_d για κάθε χρονοϊστορία διάρκειας 10min και έτσι προκύπτουν τα γραφήματα των σχημάτων Σχ. 8 έως Σχ. 10. Σε καθένα απ' αυτά τα γραφήματα δίνονται για κάθε μέση τιμή ταχύτητας ανέμου από 1m/s έως 40m/s 10 τιμές συσσώρευσης βλάβης 10λέπτου οι οποίες αντιστοιχούν στις 10 χρονοϊστορίες που έχουν ληφθεί για κάθε μέση τιμή ταχύτητας V_{mean} .

$$D_d = \sum_i^n \frac{n_{Ei}}{N_{Ri}} < D_{max}$$

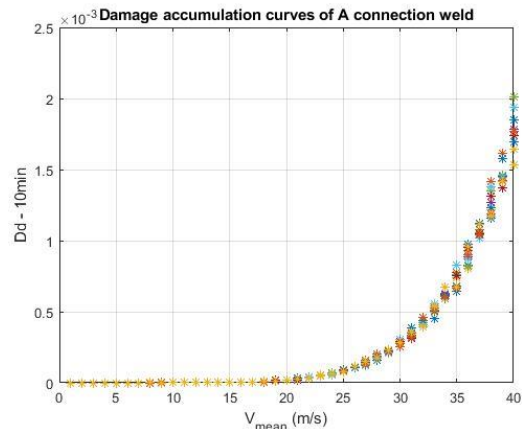
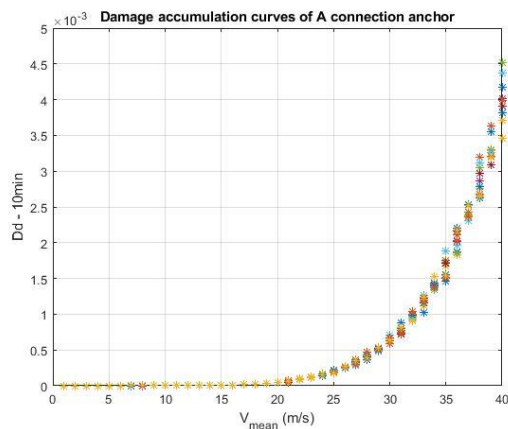
(4)



Σχ. 8: Καμπύλες συσσώρευσης βλάβης για το αγκύριο και τη συγκόλληση της γέφυρας μορφής Π



Σχ. 9: Καμπύλες συσσώρευσης βλάβης για το αγκύριο και τη συγκόλληση της γέφυρας μορφής Γ

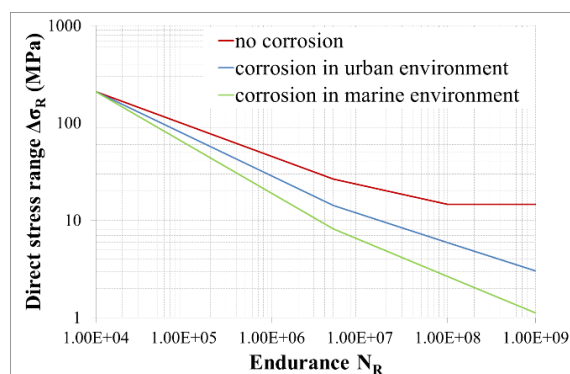
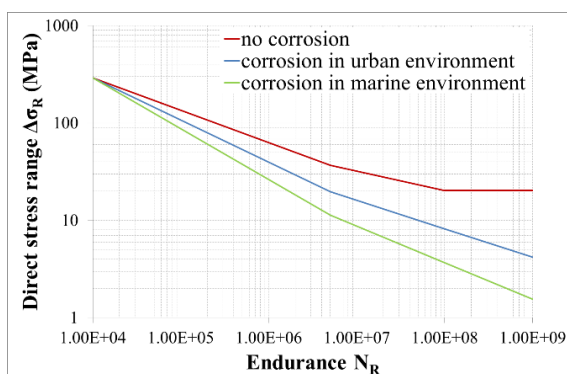


Σχ. 10: Καμπύλες συσσώρευσης βλάβης για το αγκύριο και τη συγκόλληση της γέφυρας μορφής T

7. ΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗ ΒΛΑΒΗΣ ΣΕ ΑΣΤΙΚΟ ΔΙΑΒΡΩΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

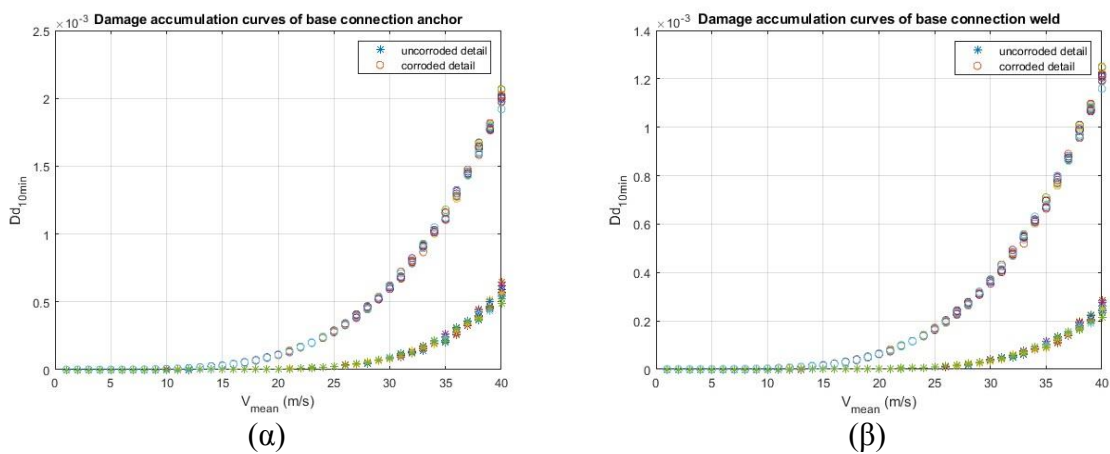
Οι μεταλλικές κατασκευές οι οποίες εκτίθενται άμεσα στις περιβαλλοντικές συνθήκες με την πάροδο του χρόνου υφίστανται επιδείνωση των μηχανικών χαρακτηριστικών τους και της δυσκαμψίας τους λόγω του φαινομένου της διάβρωσης. Τα αποτελέσματα της διάβρωσης μπορεί να είναι εκτεταμένα ή τοπικά, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του μητρικού υλικού και γι' αυτό υπάρχουν πολλές διαφορετικές μορφές διάβρωσης. Ο όρος της διάβρωσης κόπωσης έχει εισαχθεί για να περιγράψει τη διάβρωση που προκύπτει από συνδυασμένη δράση χημικών ή ηλεκτροχημικών διαβρωτικών παραγόντων και μηχανικών τάσεων που επιβάλλονται λόγω κυκλικής φόρτισης και εντείνουν την ανάπτυξη ρηγματώσεων.

Για τον υπολογισμό της συσσώρευσης βλάβης λόγω κόπωσης σε διαβρωτικό περιβάλλον, οι τιμές του εύρους τάσεων που καταπονούν τη σύνδεση παραμένουν ίδιες, αυτό που μεταβάλλεται είναι η αντοχή σε κόπωση. Σε αυτή τη κατεύθυνση έχει προταθεί μια ενδιαφέρουσα μεθοδολογία από τους Adasooriya et al. [11], για τον προσδιορισμό των καμπυλών αντοχής σε κόπωση διαβρωμένων λεπτομερειών σε αστικό και παραθαλάσσιο περιβάλλον. Συγκεκριμένα, μέσω πειραματικών δεδομένων προτείνουν κάποιες σχέσεις για τον υπολογισμό των τροποποιημένων αντοχών ως συνάρτηση των παραμέτρων του μη διαβρωμένου υλικού. Με εφαρμογή των σχέσεων αυτών καταλήγουμε στις καμπύλες του Σχ. 11 για το αγκύριο και τη συγκόλληση της εξεταζόμενης σύνδεσης. Παρατηρείται ότι οι καμπύλες του διαβρωμένου υλικού είναι διγραμμικές, διότι δεν υπάρχει στη διάβρωση όριο αποκοπής και όλοι οι κύκλοι προσμετρούνται στη συσσώρευση βλάβης. Επίσης, στην ολιγοκυκλική περιοχή οι καμπύλες διαβρωμένου και μη διαβρωμένου υλικού ταυτίζονται.

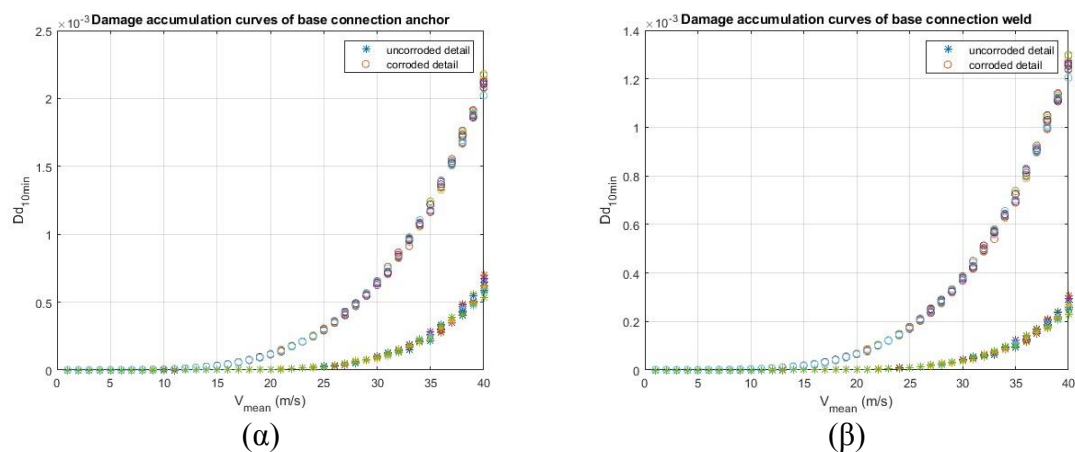


(α) (β)
 Σχ. 11: Καμπύλες αντοχής σε κόπωση για το αγκύριο (α) και τη συγκόλληση (β) διαβρωμένων και μη διαβρωμένων λεπτομερειών

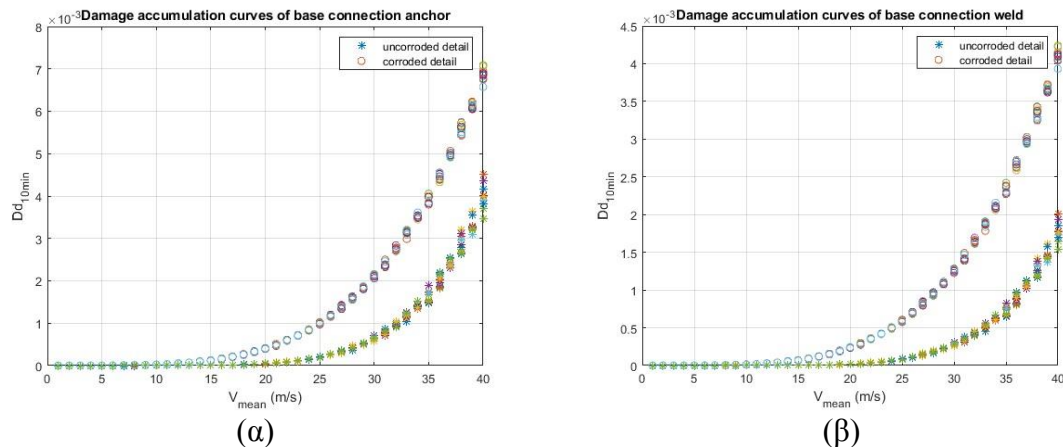
Στη συνέχεια, με εφαρμογή της τροποποιημένης καμπύλης αντοχής σε κόπωση σε αστικό περιβάλλον υπολογίζεται η συσσώρευση βλάβης για το αγκύριο και τη συγκόλληση για τις γέφυρες μορφής Π, Γ και Τ και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στα σχήματα Σχ. 12 έως Σχ. 14, συγκρινόμενα με τα αντίστοιχα αποτελέσματα της μη διαβρωμένης λεπτομέρειας. Όπως παρατηρείται από τα γραφήματα οι τιμές συσσώρευσης βλάβης για τη διαβρωμένη λεπτομέρεια είναι περίπου τετραπλάσιες σε σύγκριση με την αντίστοιχη μη διαβρωμένη, τόσο για τη γέφυρα μορφής Π όσο και για τη γέφυρα μορφής Γ. Τα αγκύρια παραμένουν πιο κρίσιμα από τη συγκόλληση, όπως και στην περίπτωση μη διαβρωμένου υλικού. Τέλος, για τη γέφυρα μορφής Τ η επιρροή της διάβρωσης είναι σημαντική, αλλά μικρότερη συγκρινόμενη με τις άλλες δύο μορφές.



Σχ. 12: Καμπύλες συσσώρευσης βλάβης για το αγκύριο (α) και τη συγκόλληση (β) διαβρωμένων και μη διαβρωμένων λεπτομερειών για τη γέφυρα μορφής Π



Σχ. 13: Καμπύλες συσσώρευσης βλάβης για το αγκύριο (α) και τη συγκόλληση (β) διαβρωμένων και μη διαβρωμένων λεπτομερειών για τη γέφυρα μορφής Γ



Σχ. 14: Καμπύλες συσσώρευσης βλάβης για το αγκύριο (α) και τη συγκόλληση (β) διαβρωμένων και μη διαβρωμένων λεπτομερειών για τη γέφυρα μορφής T

8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στην επιρροή του φαινομένου της διάβρωσης στην αντοχή σε κόπωση ελαφρών μεταλλικών κατασκευών των σύγχρονων αυτοκινητοδρόμων. Σε αυτή την κατεύθυνση αρχικά προτάθηκε κατάλληλη μεθοδολογία για τη διενέργεια του ελέγχου σε κόπωση πινακίδων σήμανσης διαφόρων μορφών και στη συνέχεια τροποποιήθηκε κατάλληλα για να ληφθεί υπόψη το φαινόμενο της διάβρωσης κόπωσης. Η μεθοδολογία αυτή εφαρμόστηκε σε τρεις γέφυρες σήμανσης με τυπική γεωμετρία μορφής Π, Γ και T και τα αποτελέσματα συγκρίνονται μεταξύ τους.

Συμπερασματικά, για το μη διαβρωμένο υλικό παρατηρείται ότι πιο κρίσιμα είναι τα αποτελέσματα ελέγχου σε κόπωση της γέφυρας μορφής T, ακολουθεί η γέφυρα μορφής Γ και τέλος η Π. Στη συγκεκριμένη σύνδεση που ελέγχθηκε, το αγκύριο ήταν κρίσιμότερο από τη συγκόλληση, γεγονός που οδηγεί στο συμπέρασμα ότι μια προένταση των αγκυρίων θα ήταν χρήσιμη. Τέλος, η επιρροή της διάβρωσης στα αποτελέσματα ήταν εξαιρετικά σημαντική, οδηγώντας σε περίπου τετραπλάσιες τιμές συσσώρευσης βλάβης από τις αρχικές. Επιπλέον, για το διαβρωμένο υλικό είναι αρκετά χαμηλότερη και η τιμή ταχύτητας ανέμου όπου αλλάζει η κλίση του γραφήματος και η αύξηση της τιμής συσσώρευσης είναι πιο απότομη. Για το αμιγές υλικό η τιμή αυτή της ταχύτητας ήταν κοντά στο 25m/s ενώ για την περίπτωση της διάβρωσης σε αστικό περιβάλλον η αντίστοιχη τιμή μέσης ταχύτητας ανέμου είναι 15m/s.

9. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Cole Shurbert-Hetzel and Behrouz Brent Phares “Performance of steel dynamic message sign-support structures in extreme wind events”, Elsevier, Engineering Structures, 2021; 237; 112086.
- [2] Kacin J., Rizzo P. and Tajari M. “Fatigue analysis of overhead sign support structures”, Elsevier, 2010; 32; 1659-1670.
- [3] AS/NZS 1170.2:2011: Australian/ New Zealand Standard, Structural design actions – part 2: Wind actions, Joint Standards Australia/ Standards New Zealand Committee, 2011.
- [4] EN1991-1-4 (2005): Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-4: General actions

- Wind actions, European Committee for Standardization, 2010.
- [5] EN1993-1-9 (2005): Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-9: Fatigue, European Committee for Standardization, 2005.
- [6] Lee Y.L., Barkey M.E. and Kang H.T. “Metal Fatigue Analysis Handbook, Practical problem-solving techniques for computer-aided engineering”, Elsevier, 2012.
- [7] Murakami Y. “Metal Fatigue – Effects of Small Defects and Nonmetallic Inclusions” (2nd ed.), Elsevier, 2019.
- [8] National Renewable Energy Laboratory, NREL, <https://www.nrel.gov/>.
- [9] National Wind Technology Center, NWTC, <https://www.nrel.gov/wind/>.
- [10] Jonkman B.J., Kilcher L., “TurbSim User's Guide”, Technical Report, September 2012.
- [11] Adasooriya N., Pavlou D. and Hemmingsen T. “Fatigue strength degradation of corroded structural details: A formula for S-N curve”, Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures, 2019; 43; 721-733.

CORROSION INFLUENCE ON FATIGUE RESISTANCE OF HIGHWAY SIGN BRIDGES

Aikaterini Ntaifoti

PhD Candidate

National Technical University of Athens

Athens, Greece

e-mail: ntaifotik@gmail.com

Akrivi Chatzidaki

PhD Candidate

National Technical University of Athens

Athens, Greece

e-mail: chatzidaki.akrivi@gmail.com

Charis Gantes

Professor

National Technical University of Athens

Athens, Greece

e-mail: chgantes@central.ntua.gr

Dimitris Vamvatsikos

Associate Professor

National Technical University of Athens

Athens, Greece

e-mail: divamva@mail.ntua.gr

SUMMARY

Road infrastructure (RI) resilience is significant for the prosperity and development of modern societies. Lightweight steel structures, such as sign bridges, constitute an integral part of modern highways and their proper design ensures the safety of the RI users. Sign support structures provide direction instructions and/or traffic information to the drivers and their spans become constantly longer due to lane number increase. A common characteristic of such structures is the large dimensions of signpost plates, compared to the surfaces of the structural members, resulting in a critical role of wind loading in structural design. Moreover, such structures are exposed to harsh environmental conditions, thus being prone to corrosion, attacking the metal surface, creating a rust film, progressively reducing the material thickness, consequently producing a decrease in the structural performance in terms of strength, stiffness, and ductility. Moreover, corrosion accelerates fatigue effects and reduces the remaining lifetime of the connections and hence of the entire structure. In the present work the effect of corrosion on the fatigue resistance of typical sign bridges is quantified. Towards that objective, a methodology to assess the remaining lifetime is developed and applied to typical sign bridge structures of contemporary motorways with different shapes.