

ΑΡΧΕΣ ΕΝΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Δήμητρα Τζουρμακλιώτου

Επίκουρος Καθηγήτρια

Δ. Π. Θ., Τμ. Πολ. Μηχ., Εργ. Μετ. Κατ.

Ξάνθη, Ελλάδα

e-mail: dimitratz@gmail.com

Άγγελος Αλέξανδρος Γαλούσης

Υποψήφιος Διδάκτορας

Δ. Π. Θ., Τμ. Πολ. Μηχ., Εργ. Μετ. Κατ.

Ξάνθη, Ελλάδα

e-mail : aagalousis@yahoo.com

1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

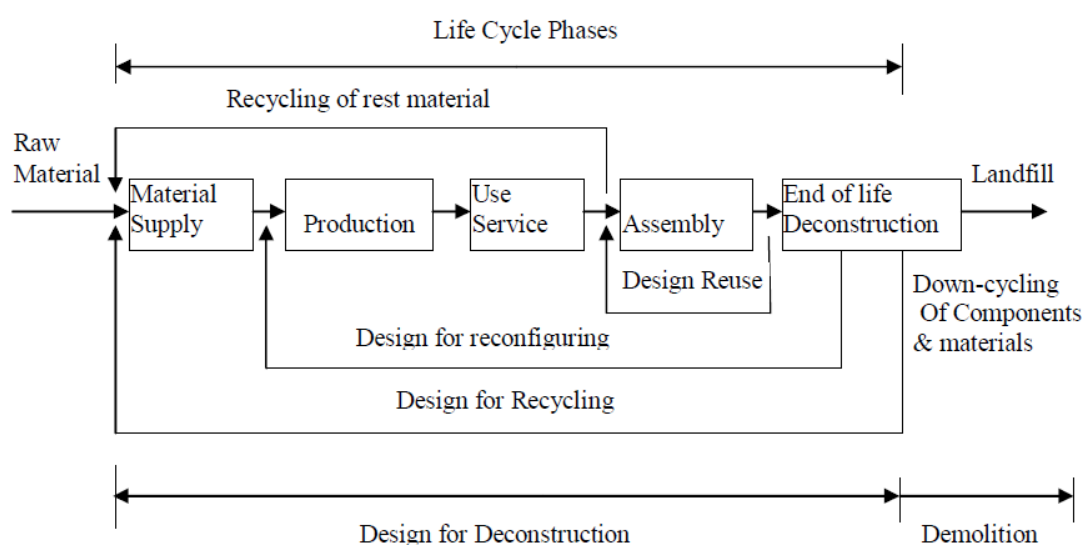
Στις συμβατικές σχεδιαστικές πρακτικές, τα υλικά επιλέγονται με βάση την αισθητική, το κόστος, και την απόδοση. Ο βιώσιμος σχεδιασμός χρησιμοποιεί ένα ευρύτερο σύνολο κριτηρίων για να αναγνωρίσει τα υλικά με το μέγιστο γενικό όφελος. Παραδείγματος χάριν, οι μεταλλικές κατασκευές αποτελούν μια βιώσιμη επιλογή επειδή μπορούν αφενός να επαναχρησιμοποιούνται και να ανακυκλώνονται σε ποσοστό ογδόντα πέντε τοις εκατό (85%) και αφετέρου παρουσιάζουν καλύτερη μηχανική συμπεριφορά κατά τη διάρκεια της διάρκειας ζωής τους. Το μεγαλύτερο εμπόδιο που παρουσιάζει μια τέτοια προσπάθεια είναι ότι ο σχεδιασμός των μεταλλικών κατασκευών έως σήμερα δεν λαμβάνει υπόψη του μελλοντικά σενάρια επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης. Ο επιτυχής σχεδιασμός των συνδέσεων αποτελεί τον σημαντικότερο και κρισιμότερο παράγοντα του σχεδιασμού για αποσυναρμολόγηση. Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να υποδείξει τις απαραίτητες αρχές που πρέπει να ακολουθούνται κατά την διαδικασία σχεδιασμού των συνδέσεων μεταλλικών κτιρίων προκειμένου να μπορούν αυτά να επαναχρησιμοποιηθούν.

2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ανεξάρτητα από το πόσο σωστά έχει δομηθεί μια μεταλλική κατασκευή, δε θα κρατήσει για πάντα. Οι δομοστατικοί μηχανικοί, καιρό τώρα, ανέπτυξαν την ιδέα μιας ‘χρήσης ζωής’ βάσει της οποίας ένα κτίριο (ή άλλη κατασκευή) μελετάται να είναι δομικά ανθεκτικό επί σειρά ετών μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής, συνήθως για 50 χρόνια [1]. Τα σύγχρονα κτίρια σπανίως αντέχουν σε μια τέτοια διάρκεια – ιδιοκτήτες αλλάζουν, ανάγκες αλλάζουν, και αναπόφευκτα φτάνει μια στιγμή που η κατασκευή παύει να ικανοποιεί τον αρχικό σκοπό της. Επιπρόσθετα, το πέρας-ζωής για ένα κτίριο συνήθως σημαίνει πέρας-ζωής του συνόλου των

συνιστούντων υλικών του. Οι συμβατικές μέθοδοι κατασκευής δημιουργούν αλληλοεξαρτώμενα και συμπαγή συστήματα τα οποία δυσχεραίνουν την αποσυναρμολόγηση του μεταλλικού κτιρίου στα επιμέρους στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν κατά την συναρμολόγησή του. Ως εκ τούτου η μόνη λύση (ή τουλάχιστον η φθηνότερη) να είναι η κατεδάφιση, η κατάτμηση του όγκου του κτιρίου σε μάζα και η αποστολή των σε χώρο ταφής απορριμμάτων. Περίπου το 40% της παγκόσμιας ροής υλικών που διοχετεύονται από την εξόρυξη σε χώρους ταφής απορριμμάτων, σχετίζονται με νέες κατασκευές, ανακαινίσεις και κατεδαφίσεις [2].

Πρακτικές βιωσιμότητας τείνουν να εξαλείφουν απόβλητα και να περιορίζουν τη ζήτηση για νέα υλικά, συνήθως μεταστρέφοντας γραμμικές διαδικασίες (όπως ο πρότυπος κύκλος ζωής ενός κτιρίου, από την κατασκευή - στην ωφέλιμη ζωή - στην



Σχ. 1. Σχεδιασμός για αποσυναρμολόγηση και Κύκλος Ζωής Υλικών

κατεδάφιση) σε κυκλικές διαδικασίες που μεγιστοποιούν την επαναχρησιμοποίηση και ελαχιστοποιούν τη σπατάλη πόρων, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1 [3]. Ο Σχεδιασμός για Αποσυναρμολόγηση (ΣγΑ), είναι μία αναδυόμενη διαδικασία που εξυπηρετεί το σκοπό αυτόν. Ειδικότερα, ο ΣγΑ θεωρεί πως οτιδήποτε συμβαίνει σε μία κατασκευή στο πέρας της ζωής της, οφείλει να εξετάζεται κατά το στάδιο του σχεδιασμού και της μελέτης. Καθώς μια μεταλλική κατασκευή δεν θα διαρκέσει για πάντα, οι μελετητές πρέπει να τη μελετήσουν με τέτοιο τρόπο ώστε να ελαχιστοποιηθούν τα απόβλητα στο πέρας ζωής της.

Υπάρχουν τρία πιθανά σενάρια για το πέρας ζωής ενός μεταλλικού κτιρίου και των συνιστούντων υλικών του.

- Η συμβατική λύση, και η λιγότερο βιώσιμη, είναι η απευθείας κατεδάφιση, κατά την οποία ο όγκος των υλικών στέλνεται σε χώρο ταφής απορριμμάτων.
- Η αμέσως επόμενη λύση είναι η ανακύκλωση, καθώς ο χάλυβας δε χάνει καμία από τις ιδιότητες του υλικού του κατά την τήξη και επαναμορφοποίηση του. Η ανακύκλωση του χάλυβα έχει μικρότερο κόστος από την εξόρυξη σιδηρομεταλλεύματος και κατασκευής χάλυβα εκ νέου, κατά βάση λόγω του ότι απαιτείται μόνο περί του 25% της ενέργειας που είναι απαραίτητη για την

κατασκευή νέου. Σήμερα, το 87% του παγκόσμιου χάλυβα ανακυκλώνεται, και μόλις το 2% στέλνεται σε χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων.

- Το υπολειπόμενο 11% του δομικού χάλυβα εξηγεί την τρίτη, και πιο βιώσιμη, λύση για το πέρασ-ζωής, την επαναχρησιμοποίηση.

Παρόλο που η διαδικασία της ανακύκλωσης εξοικονομεί τεράστιες ποσότητες σε πρώτες ύλες και ενεργειακά κόστη, η διαδικασία της τήξης και επαναμορφοποίησης εξακολουθεί να απαιτεί σημαντική εισροή ενέργειας. Αντίθετα, εάν ένα στοιχείο απλά αποσυναρμολογηθεί και επαναχρησιμοποιηθεί 'ως έχει', ουσιαστικά η μόνη εισροή ενέργειας που απαιτείται είναι το κόστος μεταφοράς στο νέο εργοτάξιο. Ο ΣγΑ αναγνωρίζει ότι ο χάλυβας είναι κατάλληλος για αποσυναρμολόγηση, και αναζητεί στρατηγικές για μελέτη των μεταλλικών κατασκευών με τρόπο τέτοιο ώστε μεγαλύτερη αναλογία χάλυβα να μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί από το ένα κτίριο στο άλλο. Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να περιγράψει τις αρχές που πρέπει να ακολουθούνται στο σχεδιασμό ώστε να διασφαλιστεί ότι τα μεταλλικά στοιχεία μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν, αντί να ανακυκλωθούν, μέσω κατάλληλης μελέτης συνδέσεων.

3. Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ

Ανάμεσα στα πρότυπα κατασκευαστικά υλικά σήμερα, ο χάλυβας παρουσιάζει μια εξαιρετική δυναμική για επαναχρησιμοποίηση. Τα διασωθέντα μεταλλικά στοιχεία του είναι ευέλικτα και ανθεκτικά. Είναι προϊόντα εργοστασιακής διέλασης που γίνονται με χαμηλές ανοχές σε ένα πρότυπο σύστημα σχημάτων, διευκολύνοντας έτσι την αντιστοιχία ενός διασωθέντος στοιχείου με κάποιον μελλοντικό χρήστη. Οι Webster και Costello [2] αναφέρουν μια σειρά από στρατηγικές που μπορούν να ακολουθηθούν προκειμένου να καταστεί δυνατή η επαναχρησιμοποίηση του, εξοικονομώντας σημαντική ενέργεια σε αντίθεση με την συνήθη επιλογή της ανακύκλωσης. Σε έναν ιδεατό κόσμο, όλα τα μεταλλικά κτίρια θα μπορούσαν να κατασκευαστούν από ένα σει πρότυπου-μεγέθους στοιχείων και συνδέσεων. Οι οπές για τους κοχλιές μπορούν να προκατασκευαστούν στα στοιχεία, επιτρέποντας τη χρήση ελάχιστου αριθμού συνδέσεων για τη δημιουργία οποιασδήποτε επιθυμητής γεωμετρίας στοιχείου. Τα στοιχεία μπορούν να συναρμολογηθούν και να αποσυναρμολογηθούν γρήγορα, και να συνδυαστούν αενάως σε σωρεία διαμορφώσεων. Το κύριο θέμα όμως σε αυτήν την περίπτωση είναι ο περιορισμός που εξασκεί στην αρχιτεκτονική μελέτη: εάν οι δομοστατικοί μηχανικοί δεν έχουν δικαίωμα να λάβουν αποφάσεις σχετικά με την αρχιτεκτονική σύλληψη του έργου, για να ταιριάζουν τα διαθέσιμα επαναχρησιμοποιούμενα στοιχεία, μόνο τυποποιημένα χαμηλού αρχιτεκτονικού ενδιαφέροντος έργα, όπως χώροι στάθμευσης και αποθήκευσης είναι κατάλληλα για ένα τέτοιο σύστημα. Για περισσότερο περίπλοκες μεταλλικές κατασκευές, η έμφαση του ΣγΑ έγκειται στη σωστότερη σχεδίαση των συνδέσεων. Μπορεί να υποστηριχθεί ότι οι συνδέσεις αντιπροσωπεύουν έως και το μισό κόστος της κατασκευής, όντας υπεύθυνες για τη μερίδα του λέοντος στη μελέτη, κατασκευή και συναρμολόγηση [4]. Επιπρόσθετα, ο σχεδιασμός των συνδέσεων υπαγορεύει την κατάσταση των δομικών στοιχείων – υποστρώματα και δοκάρια – όταν αυτά διασώζονται για επαναχρησιμοποίηση. Μια συγκολλητή σύνδεση είναι δύσκολο να αφαιρεθεί καθαρά, ενώ μια κοχλιωτή σύνδεση αφήνει οπές που πρέπει να επιδιορθωθούν για να επανέλθει το στοιχείο ολόκληρο εκ νέου. Μερικές συνδέσεις χάλυβα απαιτούν κάποια στοιχεία να κοπούν,

ή να τροποποιηθούν για να ταιριάζουν σε συγκεκριμένες θέσεις, ενώ άλλες διατηρούν τα υπόλοιπα άθικτα. Σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να τηρούνται οι περιορισμοί που υπαγορεύονται από τους EC

4. ΣΥΝΔΕΣΕΙΣ - ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΚΟΧΛΙΕΣ

Οι συνδέσεις είναι μείζονος σημασίας στον ΣγΑ, ειδικότερα στις μελέτες μεταλλικών κατασκευών ο ενδεδειγμένος σχεδιασμός τους απαιτείται ώστε να διακριβωθεί η βέλτιστη επιλογή συνδέσεων. Μεταξύ όλων των πιθανών συνδέσεων χάλυβα, ο πιο κοινός στην πράξη (και ο λιγότερο ακριβός, χάρη στην εξοικείωση των κατασκευαστών) είναι η χρήση πλακών και γωνιών - βοηθητικές συνδέσεις - που συνδέονται με τα κύρια στοιχεία χρησιμοποιώντας είτε συγκολλήσεις, είτε κοχλίες. Στην πραγματικότητα, η πλειοψηφία των κοινών τύπων σύνδεσης χρησιμοποιεί κοχλίες και συγκολλήσεις σε συνδυασμό. Μια κεντρική ερώτηση στην παρούσα εργασία είναι εάν οι κοχλιωτές συνδέσεις πρέπει να προτιμηθούν από τις συγκολλήσεις ή αντίστροφα, ή εάν και τα δύο είναι εξίσου αποδεκτές.

<u>Ζήτημα</u>	<u>Συγκολλήσεις</u>	<u>Κοχλίες</u>
Μηχανική	Επαρκής αντοχή	Επαρκής αντοχή
	Ψαθυρή αστοχία	Ελαστική αστοχία
Χρηματοδότηση	Υψηλό κόστος οργάνωσης	Μηδενικό κόστος οργάνωσης
	Χαμηλό κόστος ανά σύνδεση	Υψηλότερο κόστος ανά σύνδεση
Κατασκευή	Θέμα προσβασιμότητας	Μικρότερο θέμα προσβασιμότητας
	Εξειδικευμένη εργασία	Ανειδίκευτη εργασία
	Δύσκολη πιστοποίηση/έλεγχος	Εύκολη πιστοποίηση/έλεγχος
Αποσυναρμολόγηση	Δυσκολία απομάκρυνσης	Ευκολία απομάκρυνσης
	Μηδαμινή ζημιά στα δομικά στοιχεία	Τα στοιχεία πιθανό να χρειαστούν επιδιόρθωση

Πιν. 1: Σύγκριση ανάμεσα σε Συγκολλήσεις και Κοχλίες

Η απάντηση εξαρτάται κατά ένα μεγάλο μέρος από τη φύση της μεταλλικής κατασκευής και τους πόρους των κατασκευαστών. Μια σύγκριση μεταξύ των δύο δίνεται στον Πίνακα 1.

Οι συγκολλήσεις και οι κοχλίες υπόκεινται στις αυστηρές απαιτήσεις σχεδιασμού των ευρωκωδίκων, και μπορεί να ειπωθεί ότι όλες οι κατάλληλα σχεδιασμένες συνδέσεις έχουν την ίδια αντοχή και μπορούν να παραλάβουν το ίδιο φορτίο. Οι συγκολλήσεις μπορούν να έχουν ποικιλία και ευελιξία σε πάχη και διαμορφώσεις, ενώ τα μεγέθη και οι ποσότητες κοχλιών μπορούν επίσης να επιλεγούν κατάλληλα για να υποστηρίξουν το απαραίτητο φορτίο. Κατά συνέπεια, από μια καθαρώς δομική προοπτική, υπάρχει μια μικρή προτίμηση για τους κοχλίες μόνο λόγω του συνηθισμένου τρόπου αστοχίας τους. Οι κοχλίες έχουν μια τάση να παρουσιάζουν πλαστική παραμόρφωση πριν από την αστοχία, σε αντιδιαστολή με τις συγκολλήσεις που αστοχούν ξαφνικά. Αυτό το φαινόμενο παρουσιάζεται συχνά κατά τη διάρκεια

της αποσυναρμολόγησης - όταν οι συγκολλήσεις αφαιρούνται μπορούν να σπάσουν χωρίς προειδοποίηση, μια επικίνδυνη και ανεπιθύμητη δυνατότητα. Συνεπώς, η αφαίρεση συνδέσεων με κρίσιμες συγκολλήσεις απαιτεί τη σταθερή ενίσχυση ενός γερανού για να διευκολύνει το φορτίο στις συνδέσεις, και τοποθετεί την αφαίρεση συγκόλλησης στην κρίσιμη διαδρομή της διαδικασίας αποσυναρμολόγησης, με μεγάλο κόστος. Δεδομένου ότι η σταθερότητα των κοχλιών μπορεί να καθοριστεί εύκολα κατά τη διάρκεια της αποσυναρμολόγησης, ο γερανός δεν απαιτείται παρά μόνο τη στιγμή που κάποιο στοιχείο είναι έτοιμο για αφαίρεση.

Από κατασκευαστική άποψη, είναι προτιμητέο να ληφθεί μια απόφαση για ολόκληρο το μεταλλικό κτίριο ως προς το εάν θα χρησιμοποιηθούν κοχλίες ή συγκολλήσεις. Η συγκόλληση έχει ένα πολύ υψηλό κόστος οργάνωσης, που το καθιστά αντικοινωνικό για τα μικρά κτίρια, αλλά η χαμηλότερη κόστος-ανά-σύνδεσή συνθήκη το καθιστά προτιμότερο από την κοχλιώση στα μεγαλύτερα έργα. Έχει υπολογιστεί ότι το χαμηλότερο όριο προκειμένου ένα έργο να ευνοείται οικονομικά με τη χρήση συγκολλήσεων από τη χρήση κοχλιών είναι 500-1000 τόνοι [4]. Επιπρόσθετα, η ανάμιξη συγκολλήσεων και κοχλιώσεων στο ίδιο έργο καθιστά το κτίριο πιο σύνθετο, δυσχεραίνοντας και παρεμποδίζοντας τόσο τη γρήγορη και οικονομική συναρμολόγηση όσο και την αποσυναρμολόγηση του [5]. Στον Πίνακα 2 δίνονται οι κατευθυντήριες γραμμές που πρέπει να τηρούνται κατά τον σχεδιασμό των συνδέσεων προκειμένου τα μεταλλικά κτίρια να μπορούν αφενός να αποσυναρμολογούνται με ασφάλεια, ευκολία και οικονομία και αφετέρου να μεγιστοποιείται το ποσοστό επαναχρησιμοποίησης των μεταλλικών του στοιχείων.











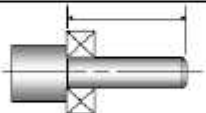
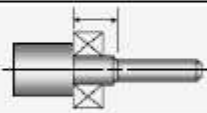
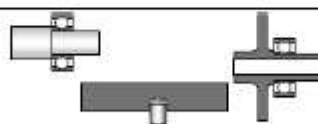
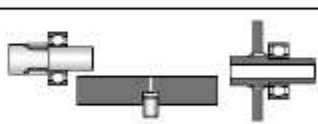


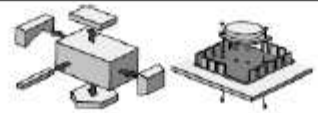



5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι αρχές του ΣγΑ προτείνουν αρκετές στρατηγικές που επιτρέπουν την αποσυναρμολόγηση ενός κτιρίου στο πέρας ζωής του, μέσω αποφάσεων που λαμβάνονται στο στάδιο της μελέτης. Ενώ κάποιες από τις στρατηγικές είναι απίθανο να υιοθετηθούν στο κοντινό μέλλον, η μελέτη συνδέσεων για μέγιστη αποσυναρμολόγηση μπορεί σε μεγάλο βαθμό να επιτευχθεί με μεθόδους ήδη γνωστές σε κατασκευαστές και δομοστατικούς μηχανικούς. Οι κοχλίες θα πρέπει να προτιμώνται από τις συγκολλήσεις, όπου είναι δυνατόν. Παρόλο που και τα δύο απαιτούν κάποια ανακατασκευή των υλικών για να τα προετοιμάσουν για επαναχρησιμοποίηση, οι κοχλίες είναι πολύ πιο εύκολο να αποσυναρμολογηθούν. Ως πρωταρχική αρχή, οι καλύτερες στρατηγικές σχεδιασμού συνδέσεων διατηρούν την ανεξαρτησία των στοιχείων, ενισχύοντας την ικανότητα αποσυναρμολόγησης και επαναχρησιμοποίησης.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] SARJA A. “Integrated Life Cycle Design of Structures” London, UK, Spoon Press, 2002.
- [2] WEBSTER M. and COSTELLO D., “Designing Structural Systems for Deconstruction: How to Extend a New Building’s Useful Life and Prevent it from Going to Waste When the End Finally Comes” Proceedings of the 2005 Greenbuild Conference, Atlanta, USA, November 2005.

- [3] SASSI P., “Study of Current Building Methods that Enable the Dismantling of Building Structures and their Classifications According to their Ability to be Reused, Recycled or Down-cycled”, Proceedings of the World Sustainable Building Conference, Oslo, Norway, 2002.

ΚΑΤΕΥΘΥΝΤΗΡΙΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ	ΔΕΝ ΠΡΟΤΕΙΝΕΤΑΙ	ΠΡΟΤΕΙΝΕΤΑΙ
Χρήση παρελκόμενων τα οποία μπορούν να αποσυν/λογηθούν εύκολα		
Ελαχιστοποίηση του αριθμού των συνδέσεων		
Χρησιμοποίηση του ίδιου τύπου συνδέσεων		
Εξασφάλισε εύκολη πρόσβαση για αποσυναρμολόγηση		
Χρήση απλών πρότυπων εργαλείων		
Αποφυγή μεγάλων διαδρομών αποσυν/λόγησης		
Προσεκτική αποσυν/λόγηση για την αποφυγή ζημιών		
Χρήση ίδιων εργαλείων για συναρμολόγηση & αποσυν/λόγηση		
Χρησιμοποίηση μιας κατεύθυνσης αποσυν/λόγησης		
Σχεδίαση για πολλαπλή αποσυν/λόγηση σε ένα στάδιο		

Πιν. 2 Κατευθυντήριες γραμμές για το σχεδιασμό συνδέσεων

- [4] OWENS G. and Cheal B., “Structural Steelwork Connections. London, UK, Butterworth & Co Publishers Ltd, 1989.
- [5] AVENI M., “Steel Connector Could Reduce Assembly Time”, Civil Engineering, October 2001.

INTEGRATED DESIGN PRINCIPLES FOR THE RE-USE OF STEEL STRUCTURES

Dimitra Tzourmakliotou

Assistant Professor

Dept. of Civil Engineering, Lab. of Steel Structures, DUTH.

Xanthi, Greece

e-mail: dimitratz@gmail.com

Angelos Alexandros Galoussis

Ph.D. Student

Dept. of Civil Engineering, Lab. of Steel Structures, DUTH.

Xanthi, Greece

e-mail : aagaloussis@yahoo.com

1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

In the conventional design practices, materials are selected on the basis of aesthetics, costs, and performance. However, the sustainable design uses a broader set of criteria to recognize materials with the maximum overall interests. For example, steel construction constitute a viable option because may on the one hand be reused and recycled in percentage up to eighty-five per cent (85%) and on the other hand presents the best structural behavior during the life cycle. The biggest obstacle which presents such an effort is that the designing of steel construction until today does not take into account future scenarios of reuse and recycling. Designing for reuse after deconstruction will require that the element can be removed from the building with as little damage as possible. A suitable deconstruction sequence must be planned appropriate to the time when the component is likely to be removed. Therefore, the successful design of connections is the most important and crucial factor of design for deconstruction. The purpose of this work is to indicate the necessary principles to be followed during the planning process for connections of steel buildings in order to be reused.