

Προς την Κατεύθυνση Επιτυχούς Σχεδιασμού Κατασκευών από Δομικό Χάλυβα

Δ. Σ. ΣΟΦΙΑΝΟΠΟΥΛΟΣ

Επίκουρος Καθηγητής Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία επιχειρείται η κριτική παρουσίαση, ο σχολιασμός και η κατά το δυνατόν εμβάθυνση της σημασίας των σπουδαιότερων παραμέτρων, οι οποίες επηρεάζουν τον επιτυχή σχεδιασμό κατασκευών από δομικό χάλυβα. Μετά τον ορισμό του σχεδιασμού και εκτενή αναφορά στις ενέργειες εκείνες, που κρίνονται απαραίτητες για την επίτευξη του προαναφερθέντος σκοπού, δίδονται τα αναγκαία προς τούτο βήματα, εκθειάζεται ο ρόλος της ορθής επιστημονικής κρίσης, η ανάγκη συνεχούς προσοχής στην ομαδική εργασία και την κατασκευασιμότητα, ενώ, παράλληλα, καταγράφονται και σχολιάζονται τόσο ο ρόλος των ηλεκτρονικών υπολογιστών, όσο και της μείωσης των σφαλμάτων μέσω ορισμένων οδηγιών και συστάσεων, προϊόντων της διεθνούς εμπειρίας και πρακτικής. Τέλος, δε, καταδεικνύεται η σημασία της παροχής βοήθειας προς τους μελλοντικούς Μηχανικούς.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Πως μπορεί ένας Πολιτικός Μηχανικός να προβεί στον επιτυχημένο σχεδιασμό κατασκευών από χάλυβα; Η λέξη **σχεδιασμός** είναι συνυφασμένη με την εκπόνηση σχεδίων για μια δομική κατασκευή. Πλην, όμως, το έργο που καλείται ένας Πολιτικός Μηχανικός να επιτελέσει, με σκοπό τον σχεδιασμό αυτό, ισοδυναμεί με τη μόρφωση, ουσιαστικά την πλέον επιτελική συνιστώσα του σχεδιασμού (ήτοι επιλογή διάταξης φερόντων στοιχείων και στατικού συστήματος, τύπου διατομών κλπ., σε συνεργασία με μελετητές άλλων ειδικοτήτων), τη σύνταξη υπολογισμών, τευχών, σχεδίων και προδιαγραφών. Πολλοί Μηχανικοί δίνουν εσφαλμένα έμφαση στην ανάλυση και τους υπολογισμούς, που, όμως, δεν αποτελούν τίποτε περισσότερο από μέσα – εργαλεία για την επίτευξη του στόχου, που δεν είναι άλλος από τον σχεδιασμό.

Σχεδιασμός δεν είναι μόνο υπολογισμοί αλλά ούτε μόνο κατασκευαστικά σχέδια. Αντίθετα, είναι μια σύνθεση διαφορετικών τεχνικών και μεθόδων, οι οποίες χρησιμοποιούνται για να φέρουν στο φως μια ιδέα, την οποία οι κατασκευαστές υλοποιούν.

Ο Δομοστατικός σχεδιασμός δεν είναι μόνο επιστήμη. Όπως είναι γνωστό, χωρίς όμως να είναι και ευρέως αποδε-

κτό, τουλάχιστον στην ελληνική κοινωνία, το να είναι κανείς Μηχανικός είναι και εν μέρει τέχνη. Πρόκειται για την τέχνη του σχεδιασμού, που είναι εξαιρετικά δύσκολο κανείς να την ποσοτικοποιήσει και να την προσομοιάσει. Και το βασικότερο στοιχείο της είναι ότι δεν σχετίζεται με εικασίες, παρά μόνο με υποθέσεις, που έχουν σαν γνώμονα την ορθή επιστημονική κρίση συνδυασμένη με εμπνευση, γνώσεις, εμπειρία και πλήρη εκμετάλλευση της κοινής λογικής.

2. ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΕΠΙΤΥΧΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

Η απάντηση στο ερώτημα αυτό ποικίλλει, διαφοροποιούμενη ανάλογα με τον αποδέκτη της. Πιο συγκεκριμένα, αν ερωτηθεί ο ιδιοκτήτης (κύριος) του έργου, επιτυχής θα είναι ο σχεδιασμός του αν ανταποκριθεί στις προσδοκώμενες – επιθυμητές απαιτήσεις, εντός του τεθέντος χρονοδιαγράμματος και φυσικά εντός του προβλεπόμενου προϋπολογισμού. Αντίθετα, για τον νεαρό μελετητή Μηχανικό, ένα άρτια σχεδιασμένο χαλύβδινο κτίριο είναι εκείνο το οποίο συνδυάζει το ελάχιστο βάρος με τη μέγιστη φέρουσα ικανότητα. Σε περίπτωση, όμως, που το ερώτημα απευθυνθεί σε έναν πεπειραμένο εργοταξιακό Μηχανικό, η πιθανότερη απάντησή του θα είναι ότι ο καλός σχεδιασμός θα πρέπει να οδηγεί σε κατασκευή που ικανοποιεί τον πελάτη – ιδιοκτήτη, ενώ παράλληλα τα συμβατικά τεύχη εφαρμογής (σχέδια, λεπτομέρειες, προδιαγραφές κλπ.) προκαλούν την ελάχιστη δυνατή σύγκυση κατά τη διάρκεια της ανέγερσης αλλά και μετά το πέρας αυτής. Πέραν δε τούτων, για τον επί κεφαλής του οίκου – εταιρείας υπεύθυνη για τον σχεδιασμό και υλοποίηση του έργου (που για τα Ελληνικά δεδομένα δεν είναι πάντοτε το ίδιο φυσικό πρόσωπο, αλλά ας θεωρηθεί προς στιγμήν ότι πρόκειται για ένα και το αυτό), ο επιτυχημένος σχεδιασμός συνδυάζει ικανοποίηση του εργοδότη (οπότε οι πληρωμές των λογαριασμών – πιστοποιήσεων είναι άμεσες) και ικανό κέρδος για τον οίκο.

Ο Πολιτικός Μηχανικός που σχεδιάζει χαλύβδινες κατασκευές αποτελεί αναπόσπαστο μέλος μιας ομάδας. Της ομά-

δας που απαρτίζουν οι μελετητές, ο υπεργολάβος κατασκευής του φέροντα οργανισμού από χάλυβα, οι ασχολούμενοι με τη βιομηχανική παραγωγή και κατεργασία (εργοστάσιο βιομηχανικής κατεργασίας), οι πάσης φύσεως προμηθευτές, οι ειδικοί επί των λεπτομερειών, οι επί τόπου του έργου (Μηχανικοί και εργατοτεχνικό προσωπικό - συνεργείο εργοταξιακής συναρμολόγησης) καθώς και όποιοι άλλοι περιστασιακοί συνεργάτες και αρωγοί του όλου σχεδιασμού. Συνήθως, (αλλά όχι πάντοτε) ο μελετητής Μηχανικός καλύπτει τόσο τη μόρφωση – ανάλυση, όσο και τη σύνταξη των λεπτομερειών. Μόνο όταν όλα τα μέλη της ομάδας, αλλά και ο κύριος του έργου ικανοποιηθούν, τότε δύναται να θεωρηθεί ο σχεδιασμός επιτυχής. Τούτο συνήθως συμβαίνει όταν όλα τα «συμβαλλόμενα» μέλη της ομάδας, μετά από καλή συνεργασία, κερδίζουν από το έργο, ενώ ο ιδιοκτήτης του έχει σχηματίσει την εντύπωση ότι έχει καταφέρει μια οικονομοτεχνικά ευνοϊκή, αλλά και αισθητικά αποδεκτή λύση για το δόμημά του.

3. ΚΑΤΑΛΗΓΟΝΤΑΣ ΣΕ ΕΠΙΤΥΧΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ

Οι Μηχανικοί πρέπει να θέσουν τις κατάλληλες ερωτήσεις σε ό,τι αφορά στη δυσκαμψία, την αντοχή, την ευστάθεια αλλά και την κατασκευασιμότητα, για την ικανοποίηση του στόχου – απαίτησης του επιτυχούς σχεδιασμού. Κατ' ουσία, δεν υπάρχει κάποιος κοινά αποδεκτός κατάλογος κανόνων ή ερωτήσεων που πρέπει να τηρηθούν / απαντηθούν, έτσι ώστε να εξασφαλιστεί η τελειότητα, η ασφάλεια και η αρτιότητα του σχεδιασμού. Η μελέτη και η κατασκευή (ανέγερση) αποτελούν έναν αναπόσπαστο σύνδεσμο, που ναι μεν έκαστο μέρος μπορεί να δρα ανεξάρτητα, αλλά το επιδιωκόμενο αποτέλεσμα επιτυγχάνεται μόνον όταν υπάρχει συντονισμένη δράση. Τούτο απαιτεί, πρωτίστως, αμοιβαίο σεβασμό μεταξύ των μελών της ομάδας, που όμως φθίνει στον σημερινό συχνά εχθρικά ανταγωνιστικό κόσμο.

Το νομικό, αλλά και σε μεγάλο βαθμό και κοινωνικό, περιβάλλον – καθεστώς, το οποίο κατά περίπτωση διέπει τον σχεδιασμό – κατασκευή έργων από χάλυβα, συχνά θέτει φραγμούς και εμπόδια μεταξύ μελετητών και κατασκευαστών. Αυτά οφείλουν αμφότερες οι πλευρές να τα υπερπηδήσουν, καθώς αγωνίζονται για κοινό σκοπό και η συνεργασία τους είναι προαπαιτούμενη για τον σχεδιασμό.

Σύμφωνα με τη διεθνή εμπειρία και πρακτική, μερικά ευρέως αποδεκτά σχόλια – προτάσεις, που συνεισφέρουν στον ως άνω σκοπό έχουν ως εξής :

3.1 Πρώτες ενέργειες μετά την ανάθεση

Όταν σε έναν οίκο ανατεθεί ο σχεδιασμός μιας κατασκευής από χάλυβα, δεν πρέπει να υπάρξει βιασύνη στην ανάθεση – επιμερισμό αρμοδιοτήτων (λόγω ενθουσιασμού

ή έλλειψης αυτοσυγκέντρωσης) και στην έναρξη των απαιτούμενων διεργασιών. Η διαχρονικά τεκμηριωμένη εμπειρία επιτάσσει την κατανόηση και εμπέδωση των αναγκαίων ενεργειών και κατόπιν τον επιμερισμό ευθυνών και την ανάληψη πρωτοβουλιών και συνεργασιών.

3.2 Αντίληψη και κατανόηση της συνολικής («μεγάλης») εικόνας του έργου

Ο επιτυχημένος σχεδιασμός είναι άρρηκτα συνδεδεμένος με την αντίληψη και κατανόηση της λεγόμενης «μεγάλης» εικόνας του όλου έργου. Με άλλα λόγια, δέον όπως ο υπεύθυνος για τον σχεδιασμό αντιληφθεί άμεσα και κατανοήσει πλήρως τη συνολική (καθολική) εικόνα του έργου, που κατ' ουσία σημαίνει ότι πρέπει να ακούει και να σκέφτεται τις ανάγκες του κύριου του έργου, αλλά και της ομάδας, ως άνω. Αν η εικόνα που σχηματίζει για το έργο προέρχεται μόνο από ίδια κρίση, χωρίς να ληφθούν υπ' όψιν και οι απόψεις των υπολοίπων, νομοτελιακά ο σχεδιασμός θα οδηγηθεί σε αποτυχία.

3.3 Προσοχή στην κατασκευασιμότητα εξ αρχής

Ως κατασκευασιμότητα ορίζεται η βέλτιστη χρήση της κατασκευαστικής γνώσης και εμπειρίας στον προγραμματισμό, τον σχεδιασμό, τις προμήθειες υλικών και στους επί τόπου χειρισμούς και ενέργειες για την επίτευξη των συνολικών αντικειμενικών στόχων του έργου. Με άλλα λόγια, «μπορεί η κατασκευή να ολοκληρωθεί με ασφάλεια και σχετική ταχύτητα και ευκολία;». Στο σημείο αυτό, δέον όπως τονιστεί ότι η εμπειρία του μελετητή Μηχανικού αξιολογείται από το κατά πόσον λαμβάνει υπόψη, κατά τη μελέτη, τις παραμέτρους που θα διευκολύνουν τη βιομηχανική παραγωγή και την ανέγερση.

Ο κατάλογος των παραμέτρων κατασκευασιμότητας είναι εκτενής, οι σπουδαιότεροι των οποίων παρατίθενται κατωτέρω:

- Ελαχιστοποίηση του αριθμού των αγκυριών (κοχλιών αγκύρωσης) ανά βάση υποστυλώματος και τυποποίηση διαστάσεων πλακών έδρασης.
- Πρόβλεψη και χρήση μόνιμων συνδέσμων δυσκαμψίας και ενισχύσεων, οι οποίοι δύνανται να λειτουργήσουν και ως προσωρινοί, σε όλες τις φάσεις ανέγερσης.
- Εξασφάλιση της δυνατότητας εύκολης μεταφοράς και τελικής τοποθέτησης – σύνδεσης των δοκών στις προβλεπόμενες θέσεις τους, χωρίς παρεμβολές.
- Δυνατότητα πραγματοποίησης ρυθμίσεων και προσαρμογών, λήψη υπ' όψη των ανοχών διαστάσεων, που προκύπτουν από την παραγωγή και τη βιομηχανική κατεργασία των μελών μέσω χρήσης παρεμβυσμάτων και επιμήκων ή υπερμεγέθων οπών κοχλιών.

- Έλεγχος αποφυγής της συσσώρευσης ανοχών, που θα μπορούσε να δημιουργήσει προβλήματα προσαρμογής μελών μεταξύ τους.
 - Εξασφάλιση επαρκούς και ικανοποιητικής πρόσβασης για συγκολλήσεις και κοχλιώσεις.
 - Αποφυγή ανάγκης μεγάλων αποτιμήσεων στις δοκούς, δηλαδή μέλη με διατομή μεγάλου ύψους να μην συνδέονται με άλλα αρκετά μικρότερου.
 - Ύπαρξη ρεαλιστικών προδιαγραφών, που να ταιριάζουν με τις πραγματικές προθέσεις και τις ανάγκες του όλου σχεδιασμού.
 - Χρήση ετοιμοπαράδοτων και ευρέως διαδεδομένων υλικών.
 - Μελέτη και σχεδιασμός – πρόβλεψη συνδέσεων που να κατασκευάζονται εύκολα, χωρίς επιπρόσθετες προσωρινές τοπικές μικροεργασίες, στηρίξεις και άλλου είδους προβλέψεις της τελευταίας στιγμής.
 - Έλεγχος συμβατότητας και συνέχειας καμπυλότητας μεταξύ γειτονικών μελών.
 - Εξασφάλιση επαρκούς πλάτους φερόντων μελών, για στοιχεία που στηρίζονται σε αυτά.
 - Όπου είναι δυνατόν, οι δοκοί να «τρέχουν» πάνω από τις κορυφές των στύλων, για ασφάλεια κατά την ανέγερση.
 - Εξασφάλιση στήριξης όλων των χαλύβδινων δαπέδων προς την ίδια διεύθυνση.
 - Αποφυγή χρήσης συνδέσεων ροπής ως προς τον ασθενή άξονα της διατομής των στύλων.
 - Αποφυγή έδρασης χαλύβδινων στύλων (όπου αναπτύσσεται ροπή) πάνω σε στύλους από σκυρόδεμα.
 - Αν το εργοστάσιο κατασκευής και η ομάδα ανέγερσης είναι γνωστά κατά τη φάση της μελέτης, είναι ευκατὰ η συνεργασία.
- Χρήση τυποποιημένων και ευρέως αποδεκτών τύπων συνδέσεων, κατά το δυνατόν εγκεκριμένων από την επιστημονική κοινότητα, που έχει σαν αντικείμενο τις μεταλλικές κατασκευές.
 - Χρήση κοχλιωτών (επί τόπου) συνδέσεων παρά συγκολλητών. Οι τελευταίες υλοποιούνται στο εργοστάσιο και απαιτούν ελεγχόμενες συνθήκες περιβάλλοντος.
 - Σύνταξη πλήρων κατασκευαστικών σχεδίων, χωρίς περιθώρια για απορίες, που θα απαιτούν συνεχή επικοινωνία.
 - Απλότητα.
 - Έκδοση παραγγελιών για βιομηχανική παραγωγή και μόρφωση λεπτομερειών μόνο αν υπάρχει επαρκής πληρότητα. Σε ενάντια περίπτωση, άμεση ενημέρωση όλων των μελών της ομάδας.
 - Επανάληψη μελών με τις ίδιες διαστάσεις. Το ελάχιστο βάρος δεν ισοδυναμεί με ελάχιστο κόστος!
 - Εμφάνιση στα κατασκευαστικά σχέδια των τιμών όλων των εντατικών μεγεθών.
 - Συνεχής επικοινωνία για ταχεία επίλυση αποριών.
 - Έγκριση των σχεδίων παραγωγής σε εύλογο χρονικό διάστημα.

β. Για τον κατασκευαστή (υπεύθυνο για την ανέγερση) ο επιτυχής σχεδιασμός σχετίζεται με :

- Ύπαρξη άμεσα εφαρμόσιμης μελέτης ανέγερσης, που θα πρέπει να έχει συνταχθεί σε συνεργασία με το γενικό εργολάβο και τον υπεύθυνο της ανέγερσης.
- Χρήση των μέγιστων πρακτικά διαστάσεων συνεχόμενου μήκους για τα υποστυλώματα.
- Όπου είναι εφικτό, πρόβλεψη μόνιμων συνδέσεων δυσκαμψίας, οι οποίοι θα λειτουργούν και ως προσωρινοί.
- Απλότητα και ευκολονόητα σχέδια.

Από τα παραπάνω καθίσταται προφανής τόσο η ομοιότητα των αναγκών ενός εκάστου μέλους της ομάδας, όσο και η ανάγκη συνεχούς ανταλλαγής απόψεων και συνεργασίας, η οποία θα πρέπει πάντως να έχει ολοκληρωθεί μέχρι τη στιγμή σύνταξης των τελικών σχεδίων.

3.4 Παροχή της μέγιστης δυνατής βοήθειας στην ομάδα

Ο Πολιτικός Μηχανικός μπορεί να αποτελέσει ουσιαστικό αρωγό στην προσπάθεια για έναν επιτυχημένο σχεδιασμό μέσω των ενεργειών του. Το να αντιληφθεί τις ανάγκες του παραγωγού - προμηθευτή και του κατασκευαστή – υπεύθυνου για την ανέγερση δεν είναι ιδιαίτερα δύσκολο και συνοψίζεται σε ό,τι ακολουθεί:

α. Ο παραγωγός – προμηθευτής επιθυμεί σχεδιασμό που να επιτρέπει την απρόσκοπτη και ανεμπόδιστη ροή του υλικού στη γραμμή παραγωγής του. Τούτο σημαίνει ότι ο σχεδιασμός δεν θα πρέπει να περιλαμβάνει συγκολλήσεις σε ένα υποστύλωμα ή μια δοκό, αν στο ίδιο μέλος απαιτούνται, επίσης, διανοίξεις οπών για κοχλιώσεις. Οι γραμμές διάνοιξης οπών (είτε κρουστικά είτε περιστροφικά με τρύπημα) διαφέρουν από τις γραμμές συγκολλήσεων κατά τη βιομηχανική παραγωγή και κατεργασία, και είναι ιδιαίτερα δαπανηρή η μεταφορά ενός μέλους από την μια γραμμή στην άλλη. Οι συστάσεις των προμηθευτών για επιτυχή σχεδιασμό είναι οι ακόλουθες:

4. ΒΗΜΑΤΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Τα ακόλουθα βήματα, σε προσεγγιστική σειρά, ακολουθηθούν, πρόκειται να αποτελέσουν βασικούς παράγοντες επιτυχούς σχεδιασμού.

- α. Καθορισμός των κριτηρίων (οριακών καταστάσεων) λειτουργικότητας για τις δοκούς και τα καμπύλα μέλη.
- β. Καθορισμός των κριτηρίων – απαιτήσεων πλευρικής μετατόπισης.
- γ. Καθορισμός των κριτηρίων – απαιτήσεων προστασίας του υλικού.
- δ. Καθορισμός της κατεύθυνσης απορροής των ομβρίων υδάτων στεγών (κυρίως για μονώροφες κατασκευές).

- ε. Καθορισμός του δομικού συστήματος, με την έννοια του είδους των κύριων φορέων (π.χ. ενισχυμένα πλαίσια, πλαίσια ροπής, διατμητικά τοιχώματα κλπ.).
- στ. Καθορισμός των φορτίων επί της κατασκευής.
- ζ. Καθορισμός του είδους των συνδέσεων που θα χρησιμοποιηθούν για το σύστημα ανάλυσης πλευρικών δράσεων.
- η. Προσδιορισμός των διαστάσεων των μελών βάσει όλων των κριτηρίων λειτουργικότητας.
- θ. Πραγματοποίηση ανάλυσης για τον έλεγχο συμμόρφωσης της κατασκευής με τις απαιτήσεις των οριακών καταστάσεων λειτουργικότητας.
- ι. Έλεγχος διαστάσεων μελών έναντι αντοχής (οριακές καταστάσεις αστοχίας).
- ια. Έλεγχος ευστάθειας μελών και κατασκευής.
- ιβ. Επιλογή των διαστάσεων των μελών με σκοπό τη βέλτιστη δομική λειτουργία και αντοχή των συνδέσεων.
- ιγ. Μόρφωση και υπολογισμός συνδέσεων.
- ιδ. Παραγωγή σχεδίων σε κατάλληλες κλίμακες, τεύχους υπολογισμών και τεύχους προδιαγραφών.
- ιε. Χρήση ορθής επιστημονικής κρίσης.

5. Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΟΡΘΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗΣ ΚΡΙΣΗΣ

Η ορθή επιστημονική κρίση αποτελεί θεμελιώδη παράγοντα για την επίτευξη αξιόπιστου δομοστατικού σχεδιασμού. Όμως, υπάρχει έντονη η τάση μείωσης της χρήσης του παράγοντα αυτού (ειδικά τα τελευταία χρόνια) τόσο στους υπολογισμούς, όσο και στην όλη ανάλυση.

Ως ορισμός της ορθής κρίσης μπορεί να θεωρηθεί «η δυνατότητα ευφυούς προσέγγισης καταστάσεων και προβλημάτων και η λήψη ορθών σχετικών αποφάσεων». Σύμφωνα με τον Η. Petroski [1], «... οι βελτιώσεις στα αναλυτικά εργαλεία και μοντέλα δεν μπορούν μόνες τους να οδηγήσουν σε βελτίωση της άσκησης του επαγγέλματος του Μηχανικού και της αξιοπιστίας των προϊόντων της επιστήμης του, καθώς η επιλογή των δεδομένων εισόδου και η ερμηνεία των αποτελεσμάτων της ανάλυσης απαιτούν επιπρόσθετη επιστημονική κρίση. Όντως, προσπάθειες για τη βελτίωση του δομοστατικού σχεδιασμού, που επικεντρώνονται στην τελειοποίηση των ευκολότερα ποσοτικοποιούμενων αναλυτικών προσομοιωμάτων και εργαλείων, μπορούν τελικά να αποβούν αντιπαραγωγικές, αν γίνουν σε βάρος εκείνων των ενεργειών, που στοχεύουν στη βελτίωση των υποθετικών και ερμηνευτικών ικανοτήτων των Μηχανικών...».

Πρέπει, κατά συνέπεια, να χρησιμοποιείται η κρίση του Μηχανικού κατά την ανάλυση και τον σχεδιασμό, των οποίων τα αποτελέσματα θα πρέπει να ελέγχονται ώριμα και διεξοδικά. Πολλές από τις λύσεις των προβλημάτων κατασκευασιμότητας, όπως αυτά προαναφέρθηκαν, αποτελούν στην πραγματικότητα προϊόντα ορθής κρίσης, ενώ είναι γενικά παραδεκτό ότι στην επαγγελματική καθημερινότητά του ο

Μηχανικός προβαίνει σε υποθέσεις και εξάγει συμπεράσματα (όπως πχ. αγνοεί δευτερεύουσες δυνάμεις και ροπές, θεωρεί αρθρωτούς τους κόμβους επιπέδων δικτυωμάτων, αμελεί μικρές διαφορικές καθιζήσεις κλπ.), που με την πάροδο των ετών καθίστανται δεύτερη φύση του.

Η ορθή επιστημονική κρίση ελαχιστοποιεί τα ανθρώπινα σφάλματα, οδηγεί τον σχεδιασμό προς τη σωστή κατεύθυνση και πρέπει να κυριαρχεί σε όλες τις φάσεις του, έτσι ώστε να διατηρηθεί στην κατεύθυνση αυτή. Με την κρίση διαχωρίζονται και αξιολογούνται οι κύριες και οι δευτερεύουσες λεπτομέρειες και ο Μηχανικός οδηγείται στη βέλτιστη επιλογή των επί μέρους στοιχείων του αναλυτικού του μοντέλου, των υποτημάτων εκείνων του σχεδιασμού που χρήζουν ανεξάρτητου ελέγχου, στα σημεία επί τόπου που πρέπει να θεωρηθούν ιδιαίτερα και τελικά στον εντοπισμό των λαθών.

Η κρίση αυτή εκπορεύεται από την εμπειρία και από την εμπάθυνση των αιτίων των σφαλμάτων άλλων, αλλά και ημών των ιδίων. Οι επιτυχημένοι Μηχανικοί του παρελθόντος είναι οι καλύτεροι διδάσκαλοι σε ό,τι αφορά στην επιστημονική κρίση και οι πρακτικές τους είναι άμεσα συνδεδεμένες με τις αντίστοιχες επιλογές των σημερινών Μηχανικών. Πέραν δε τούτων, η κρίση καλλιεργείται και αποκτάται μέσω συνεχούς ανταλλαγής απόψεων, συνεχιζόμενης εκπαίδευσης – ενημέρωσης, καθώς και ενεργού συμμετοχής στις εξελίξεις του κλάδου.

6. Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Όπως παλαιότερα ο Wooten [2] εύστοχα παρατήρησε, η απόκτηση ασυνήθιστης γνώσης αναστέλλει την εφαρμογή της κοινής λογικής. Απεικόνιση της αναμφισβήτητης αυτής πραγματικότητας είναι ο ηλεκτρονικός υπολογιστής (H/Y), ένα μηχάνημα που μπορεί να απορροφήσει τεράστιο όγκο της πιο εξεζητημένης, μη κοινής γνώσης, παραμένοντας όμως αβυσσαλέα ηλίθιο, καθώς η επεξεργασία των πληροφοριών οδηγεί σε πλήρως μη αποδεκτά αποτελέσματα, αν το λογισμικό περιέχει έστω και ποσοτικά ελάχιστα λάθη.

Δυστυχώς, όπως ο H/Y, υπάρχει η τάση ο Μηχανικός να «προγραμματιστεί» παρά να μορφωθεί.

Ο H/Y τείνει να καταστήσει άχρηστη την ανάγκη ορθολογικής οργάνωσης και απλοποίησης των προβλημάτων, μέχρι σημείου να δρα ανασταλτικά στην κατανόησή τους. Δεν υπάρχει λόγος να αισθάνεται κανείς ένοχος, όταν χρησιμοποιεί απλές λύσεις, τη στιγμή που ο H/Y μπορεί να τις κάνει ιδιαίζοντως περίπλοκες. Επιτυχής και πρακτικός σχεδιασμός επιτυγχάνεται μόνο μέσω αλληλεπίδρασης μελετητή και μηχανήματος. Αυτός, και όχι ο H/Y, πρέπει να έχει την ελευθερία λήψης όλων των κρίσιμων αποφάσεων για την επίλυση ενός συγκεκριμένου προβλήματος. Εξαιρετικής δε σημασίας είναι η εξέταση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης πριν την επιλογή των διαστάσεων των μελών μιας κατασκευής. Ο H/

Υ είναι ένα βοηθητικό εργαλείο για τον σχεδιασμό και εκείνα τα αποτελέσματά του, που αντίκεινται στην επιστημονική κρίση, θα πρέπει να εξετάζονται εξονυχιστικά και συνήθως να απορρίπτονται.

7. Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΜΕΙΩΣΗΣ ΤΩΝ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ

Το σύνολο των Μηχανικών συμφωνεί πως η κυριότερη αιτία μη επιτυχούς σχεδιασμού είναι *το ανθρώπινο σφάλμα*. Για να μην συμβεί κάτι τέτοιο, θα πρέπει για κάθε μέλος, για κάθε σύνδεση, αλλά και για την κατασκευή συνολικά να εξετάζονται διεξοδικά όλες οι πιθανές μορφές αστοχίας και να λαμβάνονται υπ' όψιν στον υπολογισμό της αντοχής (επάρκειας έναντι υφιστάμενων δράσεων) και της φέρουσας ικανότητας (μέγιστων ασφαλώς αναλαμβανόμενων δράσεων). Αλλαγές στον σχεδιασμό, ιδίως αυτές που πραγματοποιούνται σε προχωρημένο στάδιο της διαδικασίας, μπορεί να εισάγουν νέες μορφές αστοχίας ή να ενεργοποιήσουν κάποιες υποθάλπουσες. Οποιαδήποτε αλλαγή ή τροποποίηση, ανεξαρτήτως μεγέθους, θα πρέπει να εξετάζεται και να αναλύεται έχοντας σαν στόχο τις απαιτήσεις και το συνολικά επιθυμητό αντικείμενο του σχεδιασμού.

Ιδιαίτερη προσοχή, επίσης, θα πρέπει να δίδεται στον σχεδιασμό έργων, των οποίων η κλίμακα μεγέθους είναι σημαντικά μεγαλύτερη από τα ήδη σχεδιασθέντα. Η επιρροή του μεγέθους είναι ένας ουσιώδης παράγων που συχνά αμελείται.

Πολύ σημαντικός είναι ακόμα ο έλεγχος των υπολογισμών έναντι σφαλμάτων λογικής ή μαθηματικών, που πολλές φορές είναι και χονδροειδή. Επιπρόσθετα, ο έλεγχος των σχεδίων, τευχών υπολογισμού και προδιαγραφών για παραλείψεις ή μη συμβατότητα μπορεί να εξοικονομήσει μεγάλα ποσά, που πιθανόν να απαιτηθούν για τις εκ των υστέρων επί τόπου διορθώσεις, διευθετήσεις και προσαρμογές, ενώ μπορεί να προλάβει αστοχίες, όταν αυτές είναι ακόμα «στο χαρτί».

Δεν πρέπει να παραγνωρίζεται ότι ο κατ' εξοχήν υπεύθυνος για τον σχεδιασμό μπορεί κατ' εξακολούθηση να αγνοεί (ή να παραβλέπει) τα ίδια λάθη, ενώ ένας έμπειρος ελεγκτής (ή κατ' ανάγκη και πιθανός τιμωρός) ή ακόμα και κάποιος συνάδελφος μπορεί να ανακαλύψει εμφανή, αλλά και λανθάνοντα σφάλματα και εσφαλμένη λογική. Ο εμπειριστάωμένος έλεγχος στον σχεδιασμό είναι ουσιαστικής σημασίας, πλην όμως ο ελεγκτής θα πρέπει να έλθει στο προσκήνιο (με την έννοια της ενημέρωσης) από την αρχική κιόλας φάση σχεδιασμού του έργου. Σύμφωνα με τον Hauser [3], η πιο αποτελεσματική μέθοδος βελτίωσης της δομικής ασφάλειας και παράλληλα μείωσης της προσπάθειας διατήρησης ενός υψηλού επιπέδου ποιότητας στο έργο, είναι η βελτίωση των μεθόδων και πρακτικών ελέγχου των δεδομένων, δηλαδή «σύλληψης» τυχόν σφαλμάτων, παρά η βελτίωση των μοντέλων ανάλυσης.

8. ΣΥΣΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΟΔΗΓΙΕΣ

Σαν επιστέγασμα όλων των προηγούμενων, παρατίθενται στην ενότητα αυτή ορισμένες βασικές οδηγίες και συστάσεις για επιτυχή σχεδιασμό, απαύγασμα της διεθνούς εμπειρίας και πρακτικής [4].

- **Απλότητα.** Ο σχεδιασμός με γνώμονα την απλότητα, και ειδικά σε ό,τι αφορά στην κατασκευή – ανέγερση είναι, συνήθως, επιτυχημένος. Δεν πρέπει να παραβλέπεται το γεγονός ότι το εργατοτεχνικό προσωπικό, που θα επωμισθεί την ανέγερση, θα εργάζεται σε πολλές περιπτώσεις υπό αντίξοες καιρικές συνθήκες, οπότε η πολυπλοκότητα είναι το τελευταίο πράγμα που θα πρέπει να το απασχολεί. «Το λιγότερο είναι περισσότερο».
- **Γνώση του «δρόμου του φορτίου»** Πρόκειται για τον τρόπο κατανομής της έντασης στον φορέα, η γνώση του οποίου για κάθε μέλος, σύνδεση, κοχλία ή ραφή βοηθά τα μέγιστα τον Μηχανικό, με την έννοια της αρχικής κατανόησης της πιθανής συμπεριφοράς της κατασκευής, στην εκπόνηση αξιόπιστης μελέτης και στην ελαχιστοποίηση των σφαλμάτων σχεδιασμού.
- **«Αν λειτουργεί μην το αλλάξεις».** Υπάρχει μεγάλη σοφία και ορθή επιστημονική κρίση στη ρήση αυτή. Ένας αποδεδειγμένα λειτουργικός και αποτελεσματικός σχεδιασμός θα παραμείνει με αυτά τα χαρακτηριστικά όσες φορές και αν εφαρμοστεί, αρκεί να μην αλλάξει η κλίμακα του έργου.
- **Ο μύθος του ελάχιστου βάρους.** Σχεδόν ποτέ το ελάχιστο βάρος μιας χαλύβδινης κατασκευής δεν ισοδυναμεί με το ελάχιστο κόστος.
- **Αποφυγή λυγισμού.** Αν ο μελετητής (αλλά και ο κατασκευαστής) κατορθώσει μέσω του σχεδιασμού να αποτρέψει την πιθανότητα τοπικού, (στρεπτο)καμπτικού, αλλά και καθολικού λυγισμού, τότε μόνον μπορεί να βασιστεί ο σχεδιασμός στη δυσκαμψία, την αντοχή και την λειτουργικότητα.
- **Σύνδεσμοι δυσκαμψίας.** Η παρουσία τους, ακόμα και αν έχουν προβλεφθεί περισσότεροι του δέοντος, αυξάνει την ευστάθεια και την αντοχή χωρίς ουσιαστική επίπτωση στο κόστος της κατασκευής.
- **Συστηματικός ποιοτικός έλεγχος.** Αποτελεί, σε συνδυασμό με την παρακολούθηση του έργου, πολύ σημαντικό παράγοντα επιτυχούς εκτέλεσής του. Ως ενδεικτικά στοιχεία του ποιοτικού ελέγχου αναφέρονται η αβίαστη τήρηση της γεωμετρίας της κατασκευής, οι αποκλίσεις από την ευθύτητα και την κατακορυφότητα, ο έλεγχος των συγκολλήσεων και ο έλεγχος σύσφιξης των κοχλιών. Ο μελετητής Μηχανικός, κατά τη μελέτη του, θα πρέπει, μέσω της τεχνικής προδιαγραφής που θα συντάξει, να κατευθύνει, στο μέτρο των δυνάμεων του, την εκτέλεση του έργου υπό τη διαδικασία ενός αποτελεσματικού ποιοτικού ελέγχου.

9. ΠΑΡΟΧΗ ΒΟΗΘΕΙΑΣ ΣΤΟΥΣ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΟΥΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥΣ

Όλοι μαθαίνουμε από τους προκατόχους μας. Ο κάθε Μηχανικός ανεξάρτητα από την ειδικότητά του ή τον επαγγελματικό του προσανατολισμό (μελετητής, κατασκευαστής, παραγωγός ή ακαδημαϊκός δάσκαλος) μπορεί να αποτελέσει τον καλύτερο αρωγό, προκειμένου οι Μηχανικοί του μέλλοντος να αποκτήσουν τα εφόδια, τις γνώσεις, τα προσόντα και εν τέλει την ικανότητα επιτυχούς σχεδιασμού.

Οι παλαιότεροι μελετητές θα πρέπει να λειτουργούν σαν καθοδηγητές και να αφιερώνουν χρόνο για να μεταδίδουν την εμπειρία τους στους νεότερους και να τους εκθειάζουν τον ρόλο της ορθής επιστημονικής κρίσης, παραμένοντας ανοικτοί στην ανταλλαγή απόψεων και ιδεών, αγκαλιάζοντας το μέλλον. Ο σχεδιασμός δεν είναι μια στατική διαδικασία, αλλά συνεχώς εξελισσόμενη, απαιτεί δε συνεχή επαναπροσδιορισμό, ενστερνισμό νέων μεθόδων και ιδεών, καθώς και την εν συνεχεία εφαρμογή τους μετά από προσεκτική μελέτη.

Οι παλαιότεροι παραγωγοί και κατασκευαστές δέον όπως μεταφέρουν τις γνώσεις τους και την εμπειρία τους προς τα έξω συμμετέχοντας σε συλλογικά όργανα (π.χ. Τεχνικές Επιτροπές), όπως έχουν συνεχή πρόσβαση σε νέες τεχνολογίες και συνεχή επαφή με νεότερους του κλάδου, καθοδηγώντας τους σε θέματα σχεδιασμού αλληλουχίας δραστηριοτήτων και κοστολόγησης. Τέλος, και εδώ, η διαρκής επιμόρφωση επιβάλλεται.

Οι πανεπιστημιακοί διδάσκαλοι θα πρέπει να εκπαιδεύουν τους σπουδαστές τους με τρόπο που να καθιστά τη σκέψη τους δημιουργική και να συγκεντρώνουν την προσοχή τους στις θεμελιώδεις αρχές και μεθόδους. Να αναδεικνύουν τη σπουδαιότητα της λογικής ανάλυσης, των ορθών συνοριακών συνθηκών και της ορθολογικής εφαρμογής των μαθηματικών. Η χρήση και μόνο της κατάλληλης θεωρίας για την επίλυση

ενός ή περισσότερων προβλημάτων στο πλαίσιο του σχεδιασμού δεν εξασφαλίζει αυτόματα την αξιοπιστία αυτού, αλλά ούτε και την ασφάλεια του όλου έργου. Οι ακαδημαϊκοί δάσκαλοι θα πρέπει να αναθέτουν την επίλυση ασκήσεων, που θα αναπτύσσουν τη χρήση της επιστημονικής κρίσης και να ρωτούν πάντοτε «μοιάζει η απάντηση σωστή;». Πιο πολύ δε απ' όλα, θα πρέπει οι σπουδαστές να διδάσκονται πλαστική ανάλυση στον σχεδιασμό χαλύβδινων κατασκευών, καθώς μόνο μέσω αυτής μπορεί κανείς να εκμεταλλευτεί πλήρως τα πλεονεκτήματα του χάλυβα ως δομικού υλικού (ολκιμότητα, κράτυση κλπ.), αλλά και να προσομοιάσει αξιόπιστα τη συμπεριφορά της κατασκευής που σχεδιάζει.

10. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Για να οδηγηθεί ο Πολιτικός Μηχανικός σε επιτυχημένο σχεδιασμό χαλύβδινων δομικών κατασκευών θα πρέπει πάντοτε :

- α. να κατανοεί τη συνολική εικόνα του έργου,
- β. να προσέχει την κατασκευαστικότητα,
- γ. να είναι ενεργό μέλος της ομάδας και
- δ. να χρησιμοποιεί την ορθή επιστημονική κρίση.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Petroski, H., **Design Paradigms: Case Histories of Error and Judgement**, Cambridge University Press, 1994.
2. Wooten, J., "Wooten's Third Law and Steel Column Design", **AISC Modern Steel Construction**, Second quarter, 1971.
3. Hauser, R., "Lessons from European Failures", **Concrete International**, 1979, 21-25.
4. Fisher, J. M., "Design!", Keynote Lecture in Proc. **2006 North American Steel Construction Conference**, AISC Pub., San Antonio, TX, USA.

Extended summary

Towards Achieving the Most Successful Designs in Structural Steel

D. S. SOPHIANOPOULOS

Assistant Professor, UTH

Abstract

The most critical parameters affecting the goal of achieving successful design in structural steel are discussed in the present work. More specifically, the role of accounting for constructability, teamwork, and the use of engineering judgment are enhanced, in conjunction with well accepted guidelines and suggestions for achieving the above aim, such as always looking at the big picture. The effect of not correctly considering computer-aided design, as well as the actions leading to a reduction in human errors, are dealt with, while some distinct characteristics of the importance of properly instructing young engineers towards the anticipated goal are comprehensively presented.

1. INTRODUCTION

How can we, as engineers, best achieve successful designs in structural steel? Design, defined as “composing a plan for a building”, is for the engineering profession the set of necessary actions in order to produce construction documents, plans and specs. Many engineers wrongly emphasize analysis and calculations. They are but a means to the goal: a design.

Design is neither solely calculations nor construction documents; rather, it is a synthesis of techniques used to communicate a concept that constructors bring to reality. Engineering design is not purely science. As we know, engineering is also an art. It is the art of design that is difficult to quantify or measure. Design should not involve guessing, although at times we must use educated guesses, always based on the capabilities of common sense, whose rational utilization is the primary and distinctive tool of engineers.

2. WHAT IS SUCCESSFUL DESIGN?

The answer varies, depending on to whom the question is asked. For example, for the owner of the building a good

design is one in which the building meets its intended function, with construction costs that came under budget. For the young designer, a good design is usually thought of as the building of least weight that will carry intended loads. To the senior project manager, a good design is a structure that satisfies the owner, and one for which the construction documents caused little or no confusion during or after construction. To the owner of the firm, a good design is one with which the client is pleased, thus paying promptly, and one from which the firm makes a profit on the project.

3. ACHIEVING SUCCESSFUL DESIGN

Engineers must ask the right questions regarding stiffness, strength, stability, and constructability in order to achieve a successful design. There is no checklist of rules or questions that one can apply and answer in order to declare that the design is perfect, safe and successful. Design and construction go together like partners in a three-legged race. Both are individuals, but they only win the race by acting in coordination. As a designer of structural steel, one is a part of a team. This team has contractual relationships with one another, and it is the team that can help each member the most. This requires mutual respect that is often lacking in our adversarial world, a situation requiring special attention and prompt solution.

4. DESIGN STEPS

The following steps, in approximate order, will lead to successful design : (a) Determine - (i) serviceability criteria for beams and spandrel members, (ii) the lateral drift criteria, (iii) fire protection criteria, (iv) the direction of roof drainage, especially for single storey structures, (vi) the structural

system and the loads on the structure, (vii) the type of connections to use for the lateral load system, (viii) member sizes based on the drift criteria and the other serviceability criteria; (b) perform analysis to check conformance with drift criteria; (c) select member sizes that make the connections work; (d) design connections and draw plans and details to an appropriate scale; (e) check to make sure that the design has been correctly transferred into the construction documents; (f) *always think about the big picture, considering the needs of the owner in the present as well as in the future, as the project takes its form until completed*; and (g) *use judgement*.

5. THE ROLE OF JUDGEMENT

Good judgment, defined as *the capacity to access situations and circumstances shrewdly and to draw sound conclusions*, is the *single most important factor* in providing success and reliability in engineering design. We must use engineering judgement in our analysis and design, supplementing the results with thoughtful and careful considerations of the overall outcome.

Judgement comes from experience, from examining the poor judgement and mistakes of others and oneself, and additionally what engineers were doing in past times has relevance to what we should be doing today. Sound judgement is our most important engineering tool. Let your judgement guide and temper all your design decisions.

6. THE ROLE OF THE COMPUTER

The computer renders obsolete the necessity of rationalizing and simplifying problems – or even understanding them. No one need feel guilty of using simple solutions when the computer can make them extremely complicated. The computer is only a tool that should be used to assist our work as a designer. Analysis results that differ from our judgement and common sense should be carefully scrutinized, and furthermore one must never forget that the computer may become completely unhinged if one jot or tittle is misplaced in its programs, or that successful and practical designs can only be obtained through the interaction of the designer and the machine.

7. OBTAINING SUCCESSFUL DESIGNS BY REDUCING DESIGN ERRORS

All engineers and forensic specialists agree that *human error* is the major cause of design failures. Thinking in terms of preventing failure is the major means by which successful

designs are accomplished. Visualizing the limit states for each element, each connection, and for the structure as a whole, allows one to determine if safety is accomplished in the design. Understanding past design errors increases our judgment, and thus is beneficial for reducing *human error* in today's designs. Design changes, especially those made late in the design process, can introduce new failure modes or bring into play hidden failure modes. Any design change, no matter how small, must be analyzed with the objectives of the original design in mind. Be very careful about making design changes during the course of a design team meeting or construction meeting. How often have you agreed to a change, only to realize when you are driving back to the office that the change negatively affects another part of the design? Be particularly aware of designs that are of larger scale or size than you have performed in the past. A principle of design that is all too often forgotten is the effect of size or scale. Checking calculations for logic and mathematical errors is extremely important. Checking plans and specifications for inconsistencies and omissions can save expensive field correction costs and can catch failures when they are still on paper. It is important to remember that the original designer can continue to overlook the same errors he or she made, whereas a peer or colleague may discover latent errors and mistaken logic. Peer review on all designs is very beneficial, but the reviewer should be brought on board at the conceptual design phase of the project. Note that the most efficient way to improve structural safety or to reduce the overall effort to maintain a certain level of structural safety is to refine the methods of data checking (to catch design errors) and not to refine the models of analysis.

8. A FEW GUIDELINES

- Strive for structural simplicity
- Acknowledge the load path
- If it works, don't mess with it, if there is no change in scale
- Learn from your failures
- Less is more
- God is in the details
- Don't worship the weight God
- If we can prevent local buckling and lateral buckling, then we should be able to design any structure based on stiffness and serviceability considerations.
- I'd rather be an over-braced and under-designed building, than an over-designed, under-braced building.

9. ASSISTING FUTURE ENGINEERS

We all learn from our predecessors. We as engineers, fabricators, detailers, erectors, and educators can best assist

future engineers in becoming successful designers.

Engineers

- Be a mentor. Take time to relay your years of experience to younger, less experienced engineers.
- Talk about judgment to your young engineers, and talk about the importance of judgment in the design process.
- Be open to design suggestions by fabricators, erectors, and detailers.
- Embrace the future. Design is not a static process. Methods change. You will obtain successful designs by embracing the future, but study new ideas carefully before embracing them.
- Give of your time to professional organizations. You will learn the latest technology to “pass on.” You can also make a contribution to the profession, and in addition you will obtain satisfaction and lasting friends.

Fabricators, Erectors, and Detailers

- Give time to technical committees: the academics and engineering practitioners need your input.
- Take time to talk to young engineers about design issues and provide input as to how certain procedures affect project costs.
- Provide input through various publications and seminars to engineers and educators as to how certain design features affect fabrication costs.

Fabricators

- Offer tours of your facilities to designers.

Educators

- Teach students to think creatively. Severe limits exist in classroom time, but more open-ended problems are invaluable to the student’s education.
- Concentrate on fundamentals. It is the job of the employer to teach how to design.
- Stress the importance of logical analysis, having the correct boundary conditions, and having the mathematics correct. Using the correct theory to solve a problem does not in itself make the structure safe.
- Give students as many exercises as possible to develop judgment, and then ask questions like, “Does the answer look correct?”
- Teach plastic steel design. Plastic design procedures provide the student with fundamental knowledge on how structures behave and help the student develop judgment.

10. CONCLUSIONS

To achieve successful designs, remember to:

- Think about the big picture
- Think constructability
- Be a team player, and
- Use your judgment at all times.