

# “Plastotough”

**Τίτλος:** Plastotough – Μοντέρνος πλαστικός σχεδιασμός μεταλλικών κατασκευών

**Χρηματοδότηση:** Ευρωπαϊκή Κοινότητα Άνθρακα και Χάλυβα (RFSR-CT-2005-00039)

**Συμμετέχοντες :** Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ), Πολυτεχνείο του Άαχεν (RWTH), Χαλυβουργία Reiner Träger, Γερμανία (PTG), Εργαστήριο Υλικών και Μεταλλουργικής Έρευνας, Ostrava, Czech Republic (Vitkovice)

**Επιστημονικός υπεύθυνος:** Καθηγητής Ι. Βάγιας (ΕΜΠ)

**Ερευνητική ομάδα:** Κάρλος Β., Σπηλιόπουλος Α.

**Διάρκεια:** 01/07/05 - 31/12/08

**Προϋπολογισμός:** 710.769,00 €

## Περίληψη

Στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος μελετήθηκε η δυνατότητα πρόβλεψης του γεωμετρικού και χρονικού σημείου δημιουργίας μιας ρωγμής σε κατασκευές είτε υπό στατικές φορτίσεις, είτε υπό φορτία που μεταβάλλονται με την πάροδο του χρόνου. Το ΕΜΠ ήταν υπεύθυνο για τις αριθμητικές αναλύσεις συγκολλητών μεταλλικών κόμβων δοκών-υποστυλωμάτων πλαισίων ροπής υπό ανακυκλιζόμενες συνθήκες φόρτισης. Οι αντίστοιχες πειραματικές διερευνήσεις πραγματοποιήθηκαν στο πανεπιστήμιο του Aachen. Οι χρονοϊστορίες φόρτισης καθορίστηκαν μέσα από αναλύσεις της απόκρισης κατασκευών διαφορετικής γεωμετρίας υπό γνωστές σεισμικές καταγραφές. Το τελικό αποτέλεσμα του προγράμματος ήταν η σύνταξη ενός εγχειριδίου με ολοκληρωμένες προτάσεις για τη βελτίωση της επιλογής υλικού ώστε να αποφεύγονται περιπτώσεις πρόωρης ρηγμάτωσης που μπορεί να οδηγήσουν σε πρόωρη αστοχία μιας σύνδεσης.

## Δημοσιεύσεις

### **Περιοδικά:**

1. Karlos V., Vayas I., “Ultra-Kurzzeitermüdung geschweisster Träger-Stützen Knotenverbindungen aus Stahl”, Bauingenieur, Springer VDI Verlag, Berlin, Band 87, p.130-136, 2012.
2. V. Karlos , M. Feldmann, B. Eichler, D. Schäfer, G. Sedlacek, I. Vayas, and A. Spiliopoulos (2011) “Toughness requirements for plastic design with structural steel”, Steel Construction, Volume 4, Issue 2, pp. 94-113, 2011.
3. V. Karlos, M. Feldmann, B. Eichler, D. Schäfer, L. Amlung, B. Hoffmeister, M. Lippe, Z. Kubon, I. Vayas, A. Spiliopoulos, “Modern Plastic Design for Steel Structures“, JRC Scientific and Technical Reports, EUR 24227 EN, ISBN: 978-92-79-14601-5, 2010.

### **Συνέδρια:**

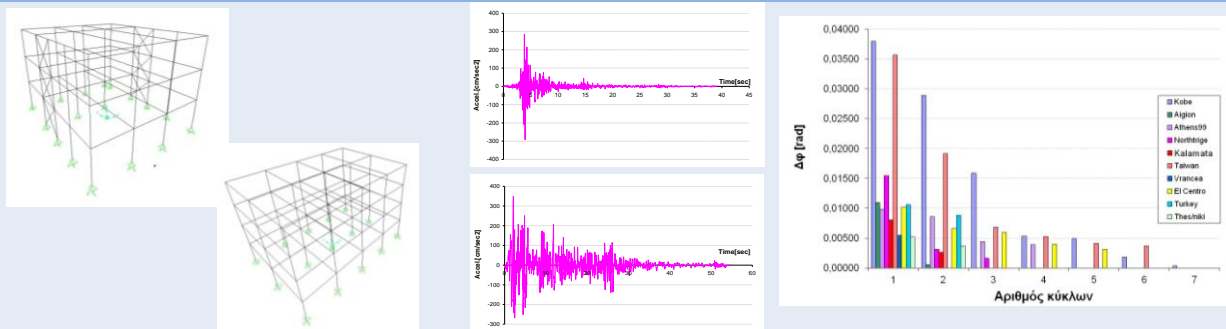
1. Karlos V., Vayas I., “Crack Initiation at Steel Welded Connections” European Conference on Steel Structures "EUROSTEEL 2011", Budapest, Hungary, 31 August-2 September, 2011.
2. V. Karlos , M. Feldmann, D. Schaefer, B. Eichler, A. Spiliopoulos, I. Vayas, “An Upper Shelf Criterion for the Choice of Steel based on Damage Mechanics”, 33rd IABSE Symposium, Bangkok, Thailand, 9-11 September, 2009.
3. V. Karlos , A. Spiliopoulos, I. Vayas, “Prediction of Crack Formation at Steel Welded Beam-to-Column Joints under Cyclic Loading” STESSA 2009, Behaviour of Steel Structures in Seismic Areas, Philadelphia, 16-20 August, 2009.
4. V. Karlos , A. Spiliopoulos, I. Vayas, “Prediction of ductile/brittle failure of steel joints”, European Conference on Steel Structures "EUROSTEEL 2008", Graz, Austria, 3–5 September, 2008

5. A. Spiliopoulos, V. Karlos, I. Vayas, "Inelastic deformation requirements for steel buildings", European Conference on Steel Structures "EUROSTEEL 2008", Graz, Austria, 3–5 September, 2008.
6. V. Karlos, I. Vayas, "Crack initiation prediction of welded joints under seismic loading " 7th National Conference of Steel Structures, Volos, Greece, 29–30 September, 2011.
7. V. Karlos, A. Spiliopoulos, I. Vayas, "Ductile/brittle failure at welded beam-to-column joints under seismic loading " 3o National Conference on Earthquake Engineering and Engineering Seismology, Athens, Greece, 5–7 November, 2008.
8. A. Spiliopoulos, V. Karlos, I. Vayas, "Deformation requirements of steel structures in seismic regions" 3o National Conference on Earthquake Engineering and Engineering Seismology, Athens, Greece, 5–7 November, 2008.

## Περιγραφή ερευνητικού προγράμματος PLASTOTOUGH

### Στάδιο 1: Ανάλυση κτιριακών κατασκευών

Μελέτη της μη γραμμικής δομικής συμπεριφοράς 8 κτιρίων (πλαισίων ροής ή συνδέσμων δυσκαμψίας) για 10 διαφορετικά σεισμικά επιταχυνσιογραφήματα με χρήση της IDA (Incremental Dynamic Analysis). Από τις αναλύσεις προκύπτουν οι απαιτήσεις παραμόρφωσης σε μορφή πλαστικών στροφών, οι οποίες αποτελούν τα δεδομένα που εισάγονται στην πειραματική και αριθμητική ανάλυση που θα ακολουθήσει.

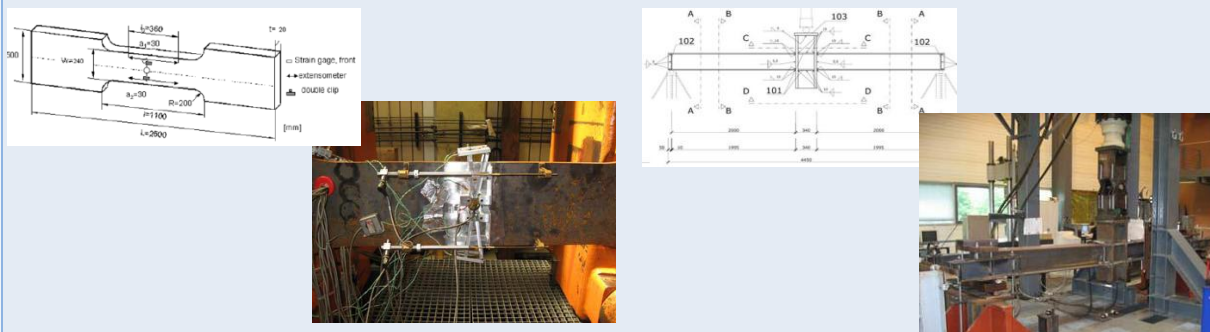


Εικ.1 Τυπική περιγραφή ανάλυσης κτιριακών κατασκευών

## Πειραματικές διερευνήσεις

### Στάδιο 2: Πειράματα μεγάλης κλίμακας

Σκοπός αυτών των πειραμάτων είναι να εξεταστεί η παραμόρφωση και η συμπεριφορά έναντι θραύσης κατασκευαστικών λεπτομερειών υπό στατική και ανακυκλιζόμενη φόρτιση. Τα δοκίμια που εξετάστηκαν ήταν μεταλλικές πλάκες υπό εφελκυσμό και συγκολλητοί κόμβοι δοκού-υποστυλώματος, ενώ κανένα από τα δοκίμια δεν έφερε προϋπάρχουσες ρωγμές.



Εικ.2 Δοκίμια πειραμάτων μεγάλης κλίμακας

### Στάδιο 2β: Πειράματα μικρής κλίμακας

Σκοπός αυτών των πειραμάτων είναι να εξεταστούν τα χαρακτηριστικά του υλικού. Συγκεκριμένα πραγματοποιήθηκαν δοκιμές Charpy, έλεγχοι της κοκκομετρίας του υλικού, φασματοσκοπικοί έλεγχοι και μονοαξονικές εφελκυστικές δοκιμές. Ταυτόχρονα, εξετάστηκε η αντοχή του υλικού έναντι ρηγμάτωσης με χρήση των αρχών της θραυστομηχανικής και της μηχανικής της βλάβης.

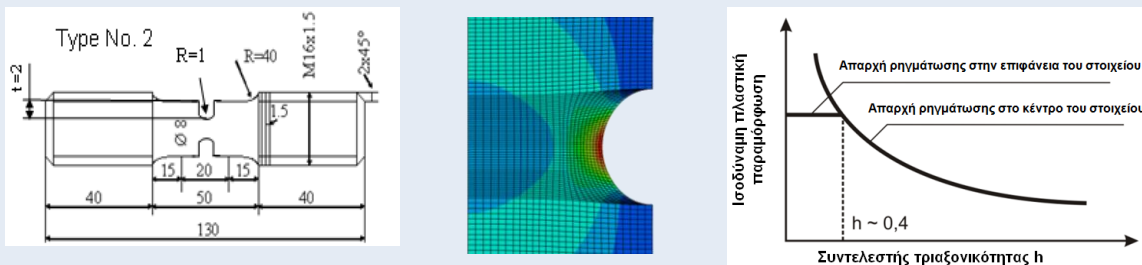


Εικ.3 Πειράματα μικρής κλίμακας και ρηγμάτωση δοκιμίων

### Αριθμητικές διερευνήσεις

#### Στάδιο 3α: Αριθμητικές αναλύσεις μικρής κλίμακας

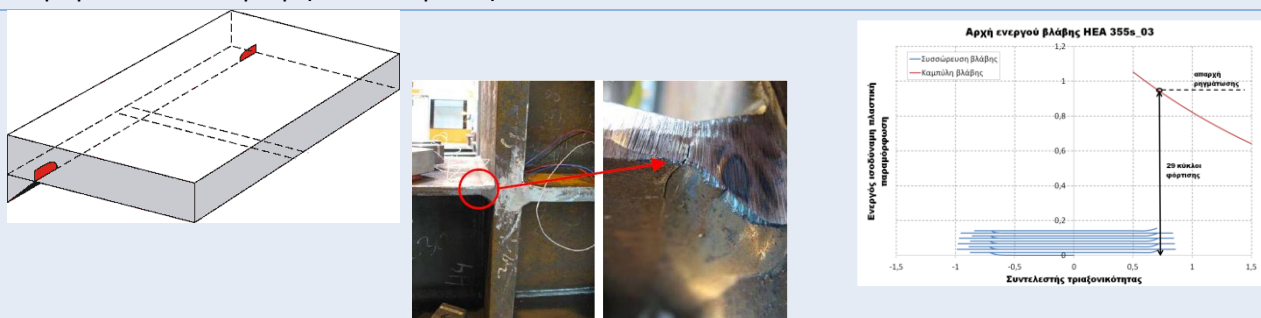
Σκοπός αυτών των αναλύσεων είναι να εξεταστεί η προοδευτική βλάβη του υλικού με τη μορφή δημιουργίας και συνένωσης των μικροκενών του. Εξετάστηκαν διαφορετικά μοντέλα τα οποία διέπονται από τις αρχές της μηχανικής της βλάβης και τελικά υιοθετήθηκε η χρήση των καμπύλων βλάβης λόγω της απλότητάς τους. Οι καμπύλες βλάβης παρέχουν μια ποσοτική σχέση ανάμεσα στην ισοδύναμη πλαστική παραμόρφωση και το συντελεστή τριαξονικότητας στο υλικό τη στιγμή της αστοχίας.



Εικ.4 Αριθμητικές αναλύσεις πειραμάτων μικρής κλίμακας

#### Στάδιο 3β: Αριθμητικές αναλύσεις μεγάλης κλίμακας

Σκοπός αυτών των αναλύσεων είναι να καθοριστεί αριθμητικά το χρονικό και γεωμετρικό σημείο απαρχής ρηγμάτωσης στις πειραματικές διατάξεις δοκού-υποστυλώματος καθώς και στις μεταλλικές πλάκες. Όταν η φόρτιση ήταν ανακυκλιζόμενης φύσεως η συσσώρευση της βλάβης υπολογίστηκε με χρήση της αρχής της ενεργού βλάβης. Με τον τρόπο αυτό επιβεβαιώθηκε η καλή σύγκλιση μεταξύ πειραματικών και αριθμητικών διερευνήσεων.

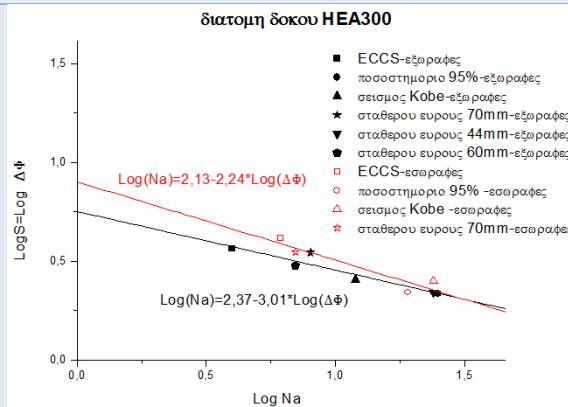


Εικ.5 Αριθμητικές αναλύσεις πειραμάτων μεγάλης κλίμακας

## Ανάλυση αποτελεσμάτων

### Στάδιο 4: Απεικόνιση αποτελεσμάτων

Σκοπός αυτών των αναλύσεων είναι να παρουσιαστούν τα αποτελέσματα της έρευνας με τρόπο ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν ευκολότερα στην κατασκευαστική πρακτική. Συγκεκριμένα κατασκευάστηκαν διαγράμματα τα οποία συνδέουν τον αριθμό των κύκλων στις οποίες μία κατασκευαστική λεπτομέρεια συγκεκριμένης ποιότητας υλικού αναμένεται να ρηγματωθεί σε σχέση με την ένταση της φόρτισης. Τα διαγράμματα αυτά ακολουθούν την ίδια λογική με τις καμπύλες κόπωσης S-N που εμπεριέχονται στον EN1993-1-9.

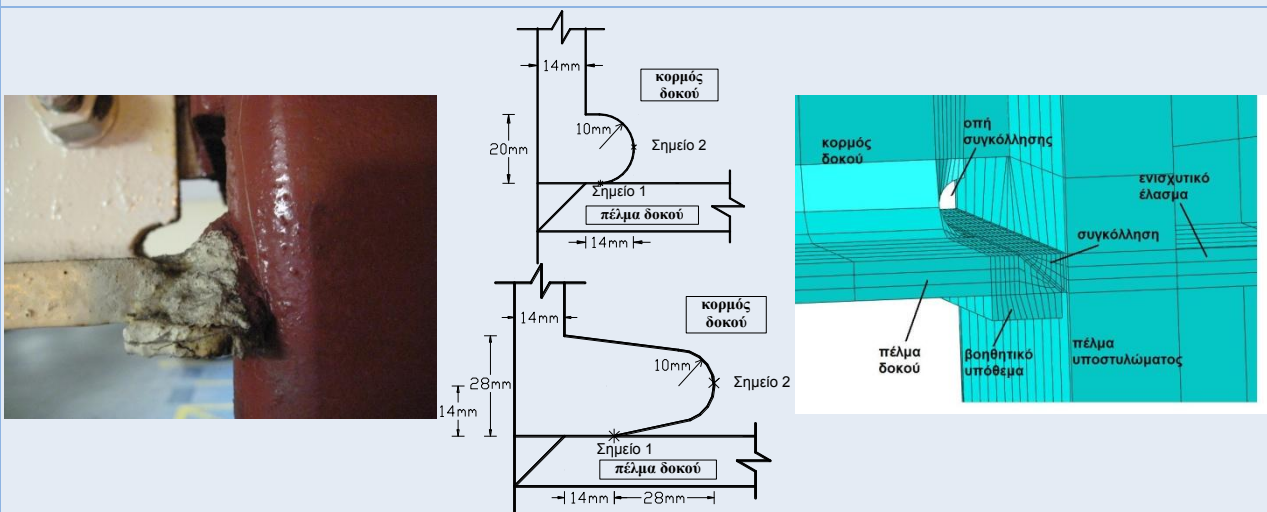


Εικ.6 Προσδιορισμός καμπύλων S-N για τα δοκίμια της μελέτης

## Παραδείγματα εφαρμογής

### Στάδιο 5: Εφαρμογή σε κατασκευαστικές λεπτομέρειες

Σκοπός αυτών των αναλύσεων είναι η διεύρυνση της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε σε κατασκευαστικές λεπτομέρειες που χρησιμοποιούνται στην κατασκευαστική πρακτική και η αποτίμηση της αντοχής τους έναντι ρηγματώσης. Με τον τρόπο αυτό μελετήθηκε η επιρροή της παρουσίας οπών συγκόλλησης και βοηθητικών υποθεμάτων σε συγκολλητές συνδέσεις δοκού-υποστυλώματος σε πλαίσια ροπής και προτάθηκαν εναλλακτικές γεωμετρίες οι οποίες εξασφαλίζουν υψηλότερη αντοχή έναντι ρηγματώσης και επομένως μικρότερη πιθανότητα αστοχίας.



Εικ.7 Εφαρμογή μεθοδολογίας σε κατασκευαστικές λεπτομέρειες