



7^ο ΕΘΝΙΚΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Βόλος 29- 30/09 & 01/10 2011



ΜΗ- ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΠΛΑΙΣΙΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΟ ΣΕΝΑΡΙΟ ΤΗΣ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΓΕΓΟΝΟΤΑ

Δάφνη Παντούσα, Msc, Υπ. Διδάκτωρ
Ευριπίδης Μυστακίδης, Αναπληρωτής Καθηγητής



Εργαστήριο Σχεδιασμού και Ανάλυσης Κατασκευών
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Βόλος

Εισαγωγή

- ✓ Σήμερα, ο σχεδιασμός των κατασκευών γίνεται σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς, ανεξάρτητα για τον σεισμό και για την πυρκαγιά.
 - ✓ Οι ισχύοντες κανονισμοί για τον σχεδιασμό έναντι πυρκαγιάς βασίζονται στην παραδοχή πως στην αρχή της πυρκαγιάς η κατασκευή βρίσκεται στην ελαστική περιοχή. Αυτή η παραδοχή δεν ισχύει στην περίπτωση της πυρκαγιάς μετά από σεισμικά γεγονότα, αφού η κατασκευή έχει υποστεί βλάβες λόγω της σεισμικής φόρτισης.
 - ✓ Ο σεισμός μπορεί να επιφέρει βλάβες τόσο σε δομικά όσο και σε μη-δομικά μέλη. Για τον λόγο αυτό πρέπει να εξετασθούν διάφορα σενάρια «πυρκαγιάς μετά από σεισμικά γεγονότα».
 - ✓ Στην παρούσα μελέτη εξετάζονται μόνο συνδυασμένα σενάρια που σχετίζονται με τις βλάβες των δομικών στοιχείων.
-

Περιγραφή του προβλήματος (1)

- Αυτή η εργασία επικεντρώνεται σε νέα μεταλλικά κτίρια στα οποία εφαρμόζονται οι κανόνες του ικανοτικού σχεδιασμού, σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8.
- Εξετάζονται διαφορετικά σενάρια «πυρκαγιάς μετά από σεισμικά γεγονότα» τα οποία σχετίζονται με **διαφορετικά επίπεδα βλάβης**, λόγω σεισμού, στα άκρα των δοκών.
- Το τελικό ζητούμενο είναι η εύρεση της πυραντοχής των δοκών που έχουν υποστεί βλάβες για τα διαφορετικά σενάρια της «πυρκαγιάς μετά από σεισμικά γεγονότα».

Η μελέτη των δοκών για τα σενάρια της «πυρκαγιάς μετά από σεισμικά γεγονότα» διεξάγεται αριθμητικά μέσω προσομοιωμάτων πεπερασμένων στοιχείων. Συγκεκριμένα διεξάγονται αριθμητικές αναλύσεις ώστε να ποσοτικοποιηθεί (σε όρους χρόνου) η μείωση της πυραντοχής των δοκών, λόγω των βλαβών που εισάγονται κατά τη διάρκεια του σεισμού.

Περιγραφή του προβλήματος (2)

Οι αναλύσεις λαμβάνουν υπόψη:

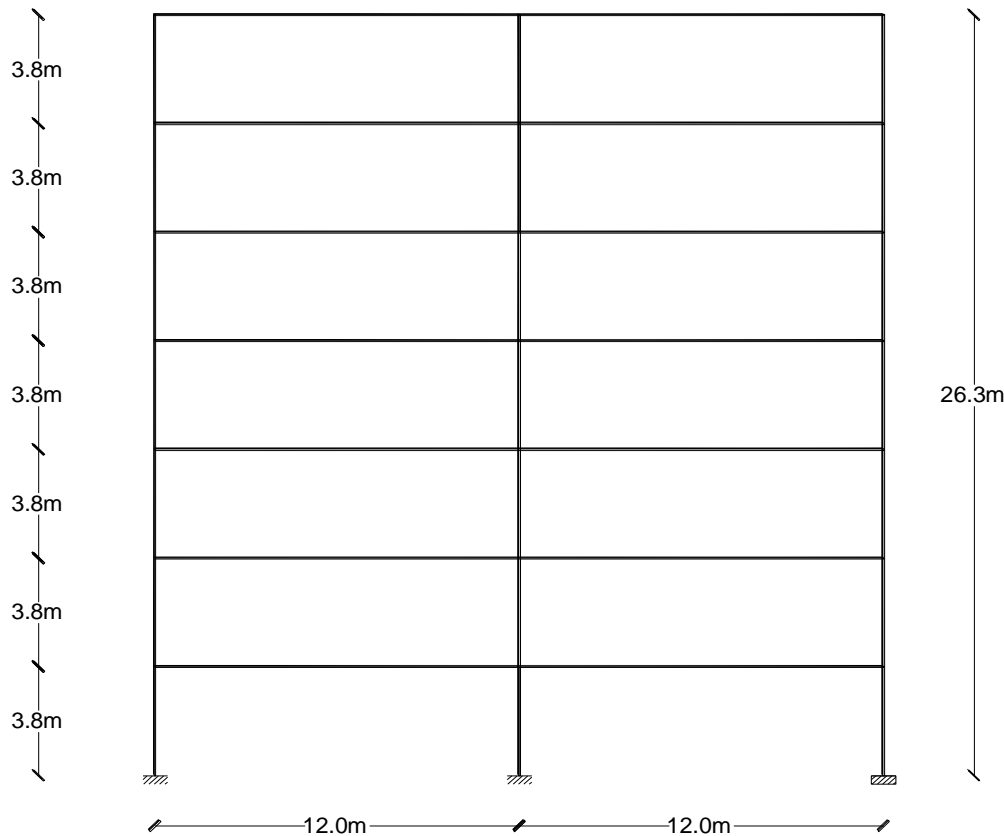
- ✓ Τις αρχικές γεωμετρικές ατέλειες των δοκών
- ✓ Τη μη-γραμμική σχέση τάσεων παραμορφώσεων του χάλυβα στις υψηλές θερμοκρασίες

Οι παραμετρικές αναλύσεις διεξάγονται θεωρώντας :

- ✓ διαφορετικά εύρη αρχικών ατελειών
- ✓ διαφορετικά επίπεδα φόρτισης (που εισάγονται κατά τον σχεδιασμό έναντι πυρκαγιάς)
- ✓ Διαφορετικές μηχανικές συνοριακές συνθήκες για τις δοκούς (**πλευρικά στηριζόμενες** και **μη-στηριζόμενες**).

Σχεδιασμός του χαλύβδινου πλαισίου σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς (1)

Στην εργασία αυτή μελετάται ένα επταώροφο μεταλλικό πλαίσιο.



1.Σχεδιασμός για τα φορτία βαρύτητας

Ο σχεδιασμός γίνεται για τον συνδυασμό των δράσεων που αντιστοιχεί στην οριακή κατάσταση αστοχίας και:

$$G = 27 \text{ kN/m}$$

$$Q = 30 \text{ kN/m για όλα τα επίπεδα}$$

$$Q = 12 \text{ kN/m για το τελευταίο επίπεδο}$$

$$\text{Συνδυασμός Ο.Κ.Α.} \rightarrow \mathbf{1.35G + 1.50Q}$$

Σχεδιασμός του χαλύβδινου πλαισίου σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς (2)

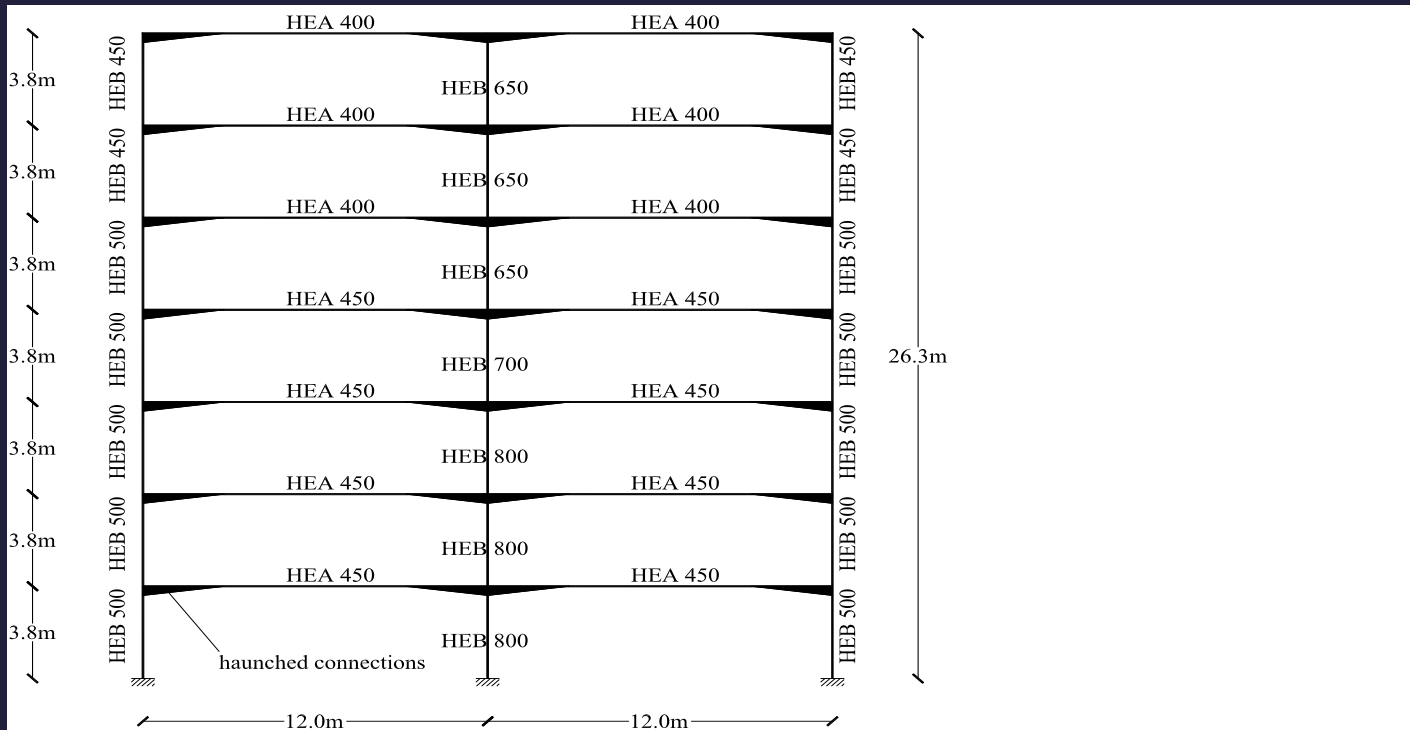
2. Σχεδιασμός για σεισμική φόρτιση

Ο σχεδιασμός για τα σεισμικά φορτία διεξάγεται σύμφωνα με τις διατάξεις το 1998-1-1 και χρησιμοποιείται η απλοποιημένη φασματική μέθοδος υπολογισμού.

- ✓ Τύπος 1 ελαστικού φάσματος σχεδιασμού
 - ✓ $a_g=0.16g$
 - ✓ Τύπος εδάφους A ($S=1.00$)
 - ✓ Συντελεστής συμπεριφοράς $q = 6$
-

Σχεδιασμός του χαλύβδινου πλαισίου σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς (3)

Οι διατομές των δοκών και των υποστυλωμάτων που προκύπτουν φαίνονται στο παρακάτω σχήμα:



Σημείωση:

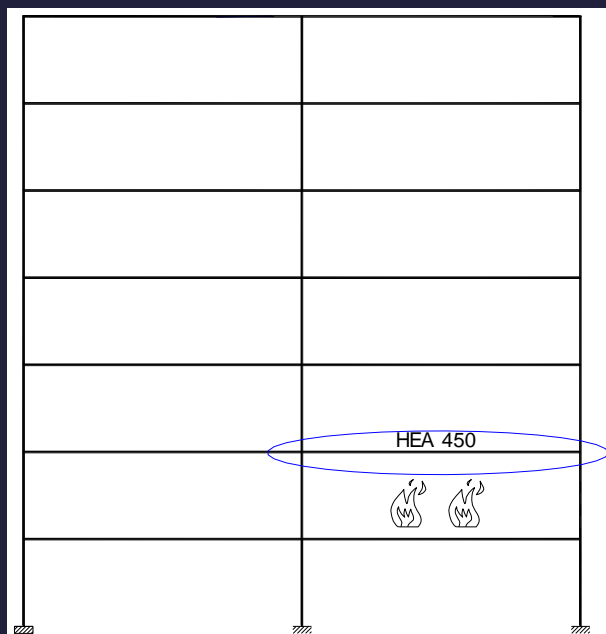
Οι δοκοί είναι ενισχυμένες και στα δύο άκρα τους σε μήκος $L_h = 1.2\text{m}$.

Σχεδιασμός του χαλύβδινου πλαισίου σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς (4)

3. Σχεδιασμός έναντι πυρκαγιάς

Ο σχεδιασμός έναντι πυρκαγιάς γίνεται βάση του συνδυασμού φορτίσεων για τυχηματικές δράσεις, όπως ορίζεται στο EN 1991-1-2

Συνδυασμός φορτίσεων → $G + \psi_{2,1} Q$



- ✓ Εξετάζονται τρεις διαφορετικές περιπτώσεις στις οποίες διαφοροποιείται ο συντελεστής για τις συχνές τιμές δράσεων $\psi_{2,i}$.
- ✓ Η τιμή του $\psi_{2,i}$ θεωρείται 0.3, 0.5 and 0.8 σε κάθε περίπτωση αντίστοιχα.

Στη μελέτη αυτή η αντοχή έναντι πυρκαγιάς προκύπτει από την αριθμητική ανάλυση που επακολουθεί

Θεωρούνται δύο περιπτώσεις δοκών :

- Στην πρώτη περίπτωση η δοκοί θεωρούνται πλευρικά στηριγμένες (*Beam LR*)
- Στην δεύτερη περίπτωση οι δοκοί θεωρείται πλευρικά μη-στηριγμένες (*Beam LU*)

Σημείωση: Στα άκρα των δοκών είναι δεσμευμένοι οι στροφικοί βαθμοί ελευθερίας και δεν είναι δεσμευμένοι οι μεταφορικοί βαθμοί ελευθερίας κατά τη διαμήκη διεύθυνση .

Συνδυασμένα σενάρια πυρκαγιάς μετά από σεισμικά γεγονότα

- ✓ Εξετάζονται δύο διαφορετικά σενάρια πυρκαγιάς μετά από σεισμικά γεγονότα και για τις δύο περιπτώσεις δοκών. Τα σενάρια διαφοροποιούνται στο επίπεδο βλάβης των δοκών λόγω των σεισμικών φορτίων.
- ✓ Διεξάγονται παραμετρικές αναλύσεις σε σχέση με:
 - Το εύρος των αρχικών ατελειών
 - Το επίπεδο της φόρτισης

Fire-after-earthquake scenario	Beam LR (laterally restraint)						Beam LU (laterally unrestrained)		
	Loading level: % of the yield stress						Loading level: % of the yield stress		
	40	50	58	40	50	58	40	50	58
	Maximum amplitude of initial imperfections (mm)						Maximum amplitude of initial imperfections (mm)		
A	2	5	2	5	2	5	2	2	2
B	2	5	2	5	2	5	2	2	2

Τα αριθμητικά μοντέλα

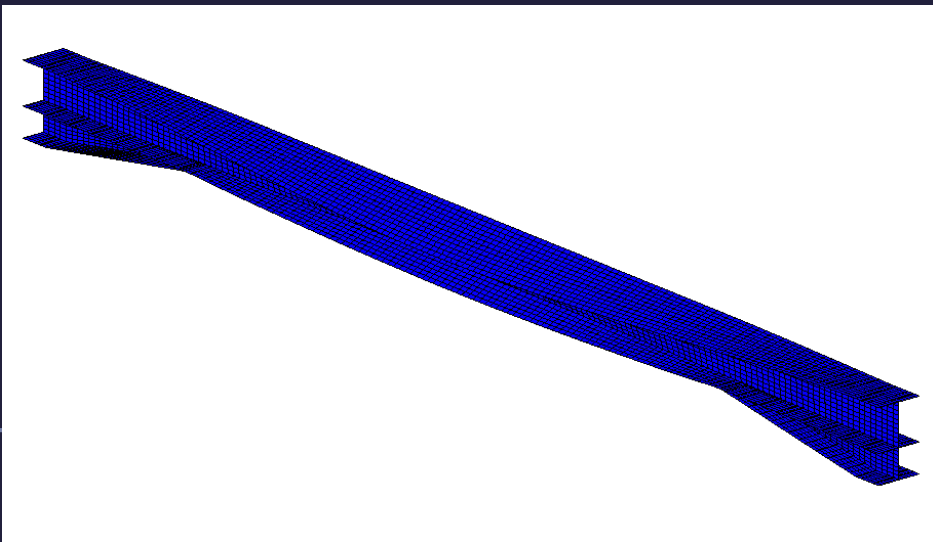
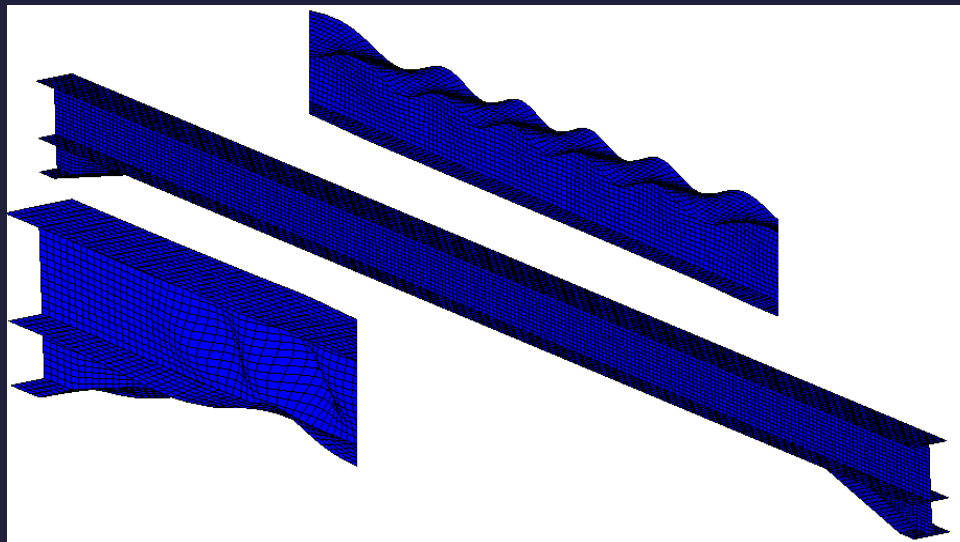
Η αριθμητική ανάλυση διεξάγεται στον κώδικα πεπερασμένων στοιχείων MSC-MARC.

Αρχικές γεωμετρικές ατέλειες ενσωματώνονται στην γεωμετρία των δοκών με σκοπό την πιο ρεαλιστική προσομοίωση της συμπεριφοράς των δοκών.

Για την LR-beam συνδυάζονται δύο ιδιομορφές:

- ✓ ιδιομορφή που σχετίζεται με τον τοπικό λυγισμό στο άνω πέλμα της δοκού στο μέσον του ανοίγματος
- ✓ ιδιομορφή που σχετίζεται με τον τοπικό λυγισμό στο κάτω πέλμα της δοκού στα ενισχυμένα άκρα

Για την LU-beam η ιδιομορφή που χρησιμοποιείται σχετίζεται με τον πλευρικό λυγισμό



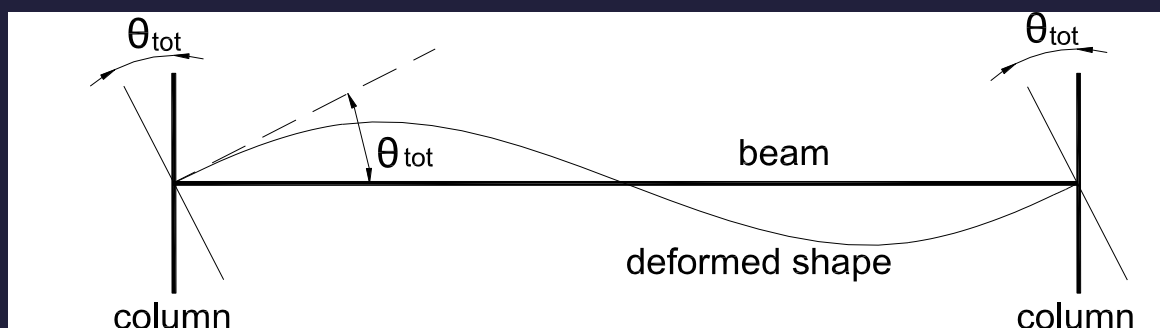
Ανάλυση για το σενάριο της πυρκαγιάς

Αριθμητικές αναλύσεις διεξάγονται με σκοπό να βρεθεί ο χρόνος πυραντίστασης των δοκών

- ✓ Οι δοκοί υποβάλλονται σε πυρκαγιά για 60 λεπτά. Η πυρκαγιά ακολουθεί την καμπύλη ISO όπως ορίζεται στο πρότυπο EN 1991-1-2.
- ✓ Το προφίλ θερμοκρασίας της διατομής της δοκού προκύπτει σύμφωνα με τη διαδικασία που προτείνεται στο πρότυπο EN 1993-1-2. Για τον λόγο αυτό δεν υπάρχει διαβάθμιση θερμοκρασίας στην διατομή και η θερμοκρασία θεωρείται σταθερή κατά μήκος της δοκού.

Ανάλυση για τα συνδυασμένα σενάρια πυρκαγιάς μετά από σεισμικά γεγονότα (1)

Οι σεισμικές δράσεις προσομοιώνονται μέσω των **στροφών των στύλων** που εισάγονται κατά την σεισμική διέγερση



Ορίζονται δύο διαφορετικά σενάρια πυρκαγιάς μετά από σεισμικά γεγονότα :

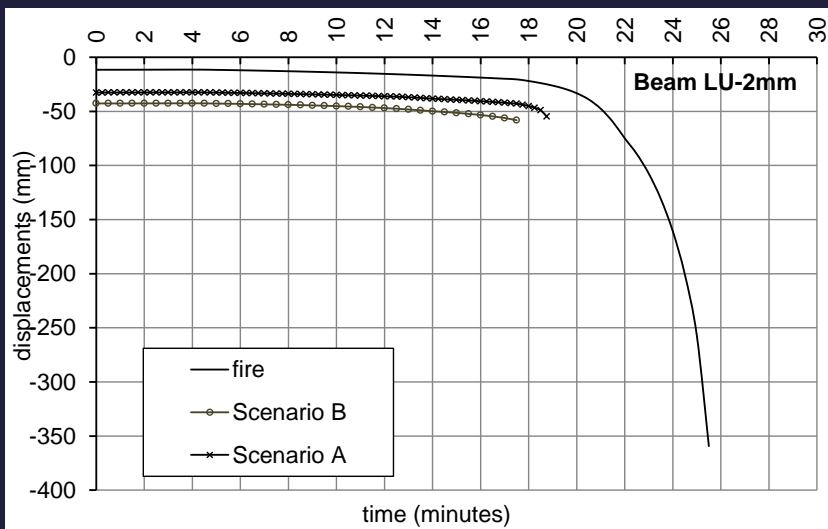
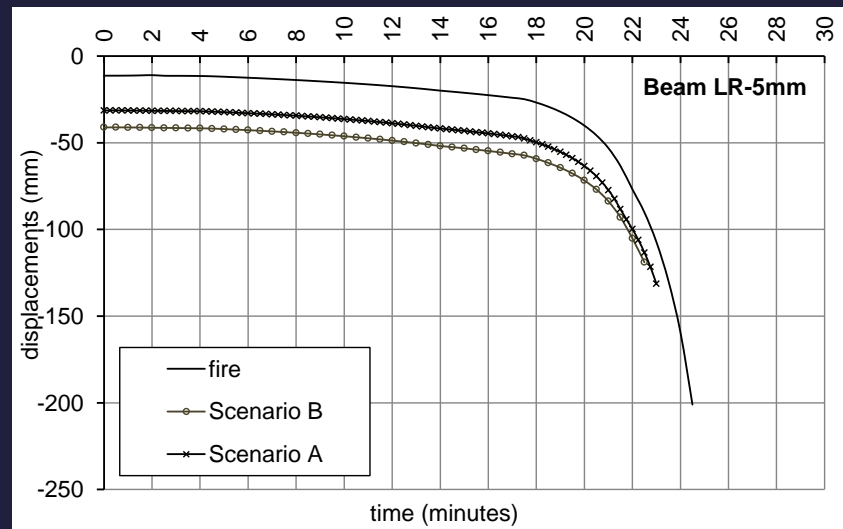
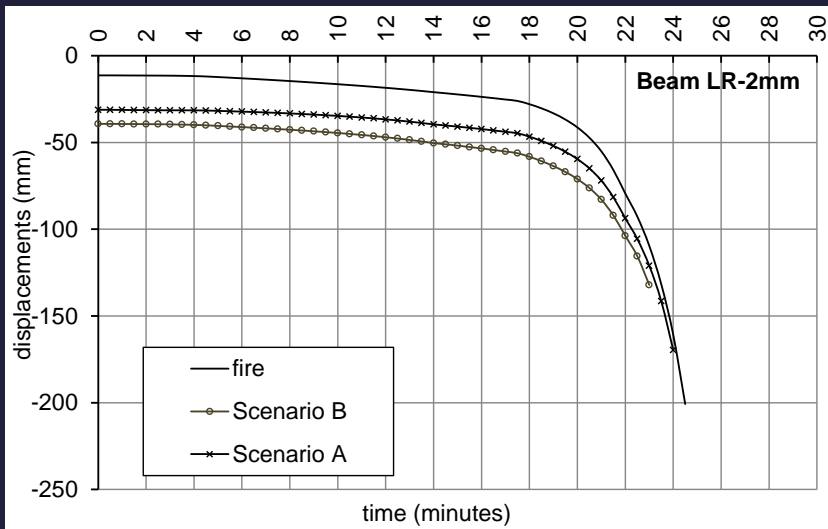
- ✓ Στο πρώτο σενάριο (A) η συνολική στροφή είναι $\theta_{tot}=20\text{mrad}$
- ✓ Στο δεύτερο σενάριο (B) η συνολική στροφή είναι $\theta_{tot}=30\text{mrad}$

Ανάλυση για τα συνδυασμένα σενάρια πυρκαγιάς μετά από σεισμικά γεγονότα (2)

Η ανάλυση για τα συνδυασμένα σενάρια της πυρκαγιάς μετά από σεισμικές δράσεις περιλαμβάνει τρία στάδια:

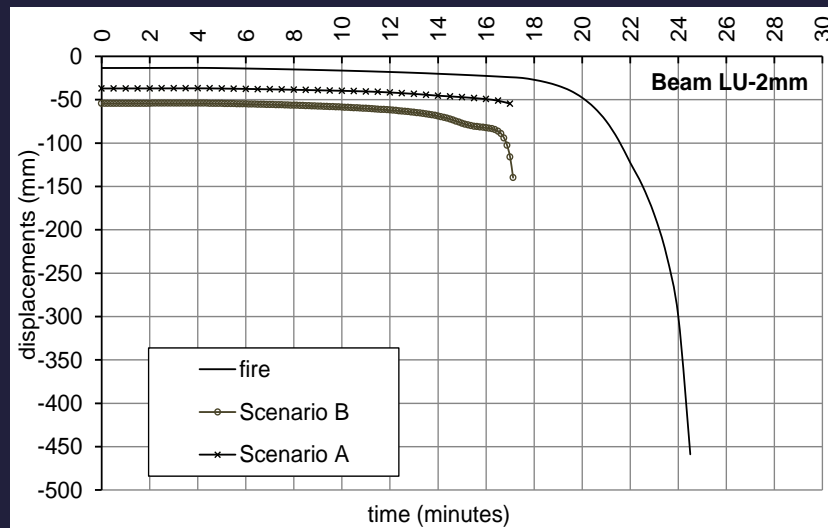
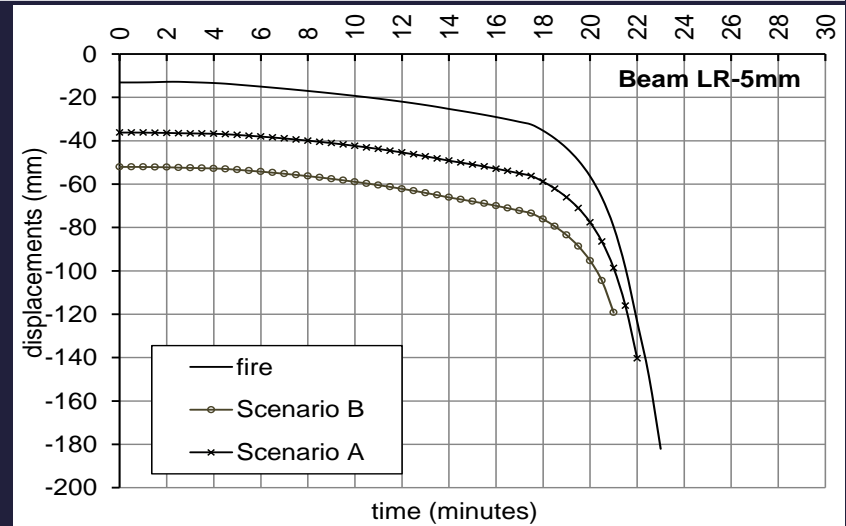
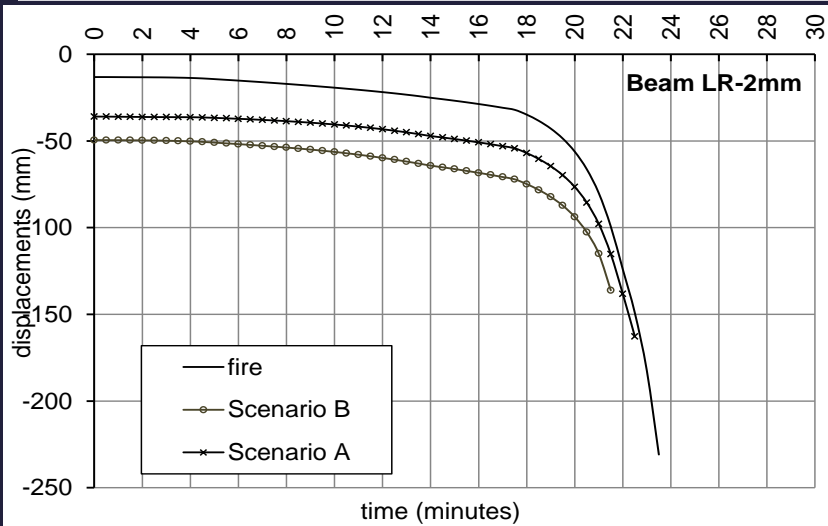
1. Στο πρώτο στάδιο εισάγεται σταδιακά η στροφή στα άκρα των δοκών, μέχρι την επιθυμητή τιμή.
 2. Στη συνέχεια ακολουθεί το **στάδιο της αποφόρτισης**. Το τμήμα της στροφής που αφαιρείται είναι ίσο με το ελαστικό μέρος θ_{el} της συνολικής στροφής.
 3. Στο τρίτο στάδιο οι δοκοί εκτίθενται σε πυρκαγιά για 60 mins και η πυρκαγιά ακολουθεί την καμπύλη ISO.
-

Αποτελέσματα των αναλύσεων- Επίπεδο φόρτισης : 40% της τάσης διαρροής



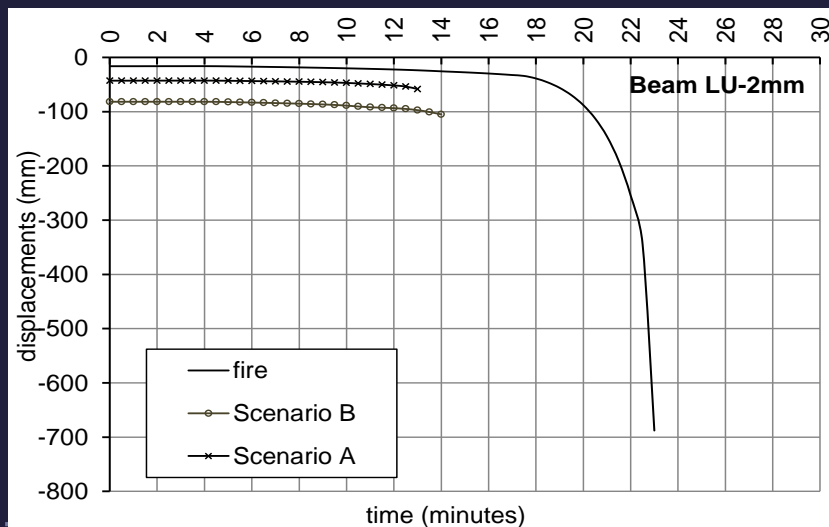
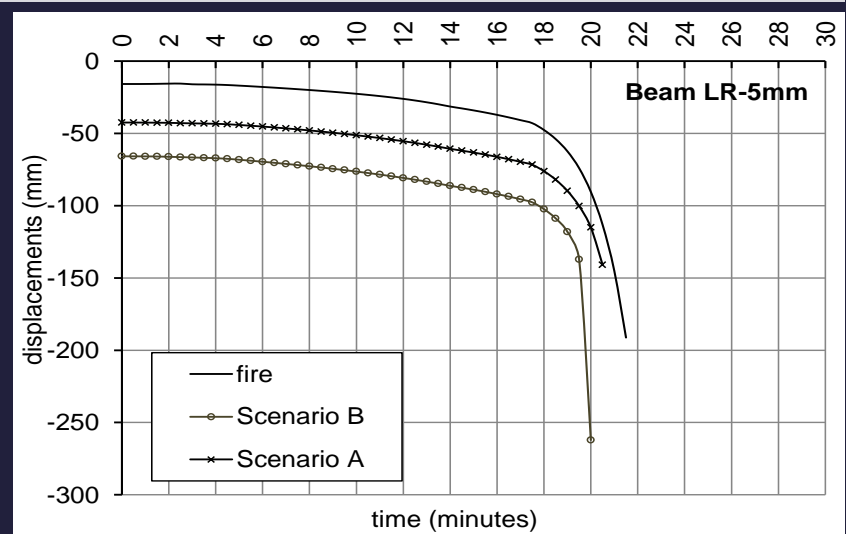
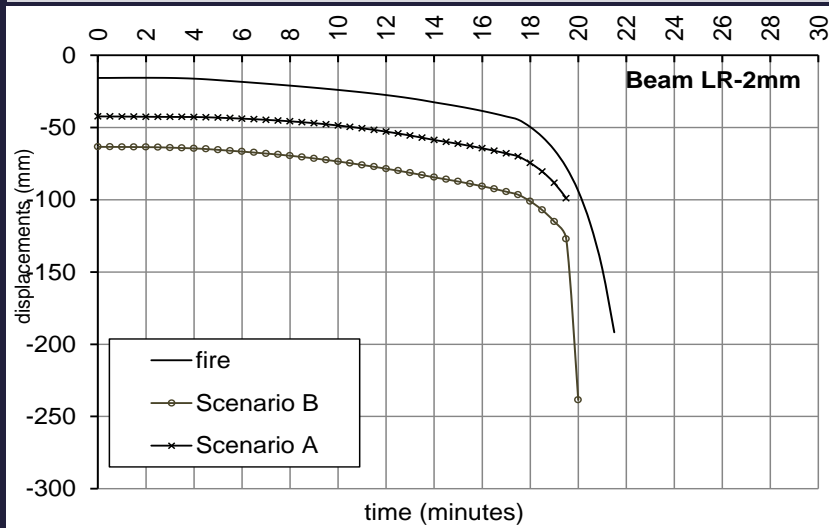
- ✓ Στην περίπτωση της πλευρικά στηριζόμενης δοκού, όσο αυξάνεται το εύρος των αρχικών ατελειών, τόσο μειώνεται ο χρόνος πυραντοχής σε σχέση με την περίπτωση αναφοράς που είναι το σενάριο πυρκαγιάς (χωρίς σεισμό)

Αποτελέσματα των αναλύσεων- Επίπεδο φόρτισης : 50% της τάσης διαρροής



- ✓ Στην περίπτωση της πλευρικά μη – στηριζόμενης δοκού παρατηρείται αξιοσημείωτη μείωση του χρόνου πυραντοχής και για τα δύο συνδυασμένα σενάρια πυρκαγιάς μετά από σεισμικά γεγονότα

Αποτελέσματα των αναλύσεων- Επίπεδο φόρτισης : 58% της τάσης διαρροής



- ✓ Ο χρόνος πυραντοχής εξαρτάται από το επίπεδο φόρτισης και για τα δύο εξεταζόμενα είδη δοκών
- ✓ Το επίπεδο φόρτισης επηρεάζει την επιρροή των αρχικών ατελειών στον χρόνο πυραντίστασης σε σχέση με την κατάσταση αναφοράς που είναι το σενάριο της πυρκαγιάς (χωρίς σεισμό)

Αποτελέσματα των αναλύσεων σε όρους πυραντοχής

Αποτελέσματα των παραμετρικών αναλύσεων για την πλευρικά στηριζόμενη δοκό (Beam LR)

Analysis	Loading level: % of the yield stress					
	40		50		58	
	Maximum amplitude of initial imperfections					
	2mm	5mm	2mm	5mm	2mm	5mm
	Fire resistance in time domain (minutes)					
Fire	24.5	24.5	23.5	23	21.5	21.5
Scenario A	24	24	22.5	22	21	20.5
Scenario B	23	22.5	21.5	21	20	20

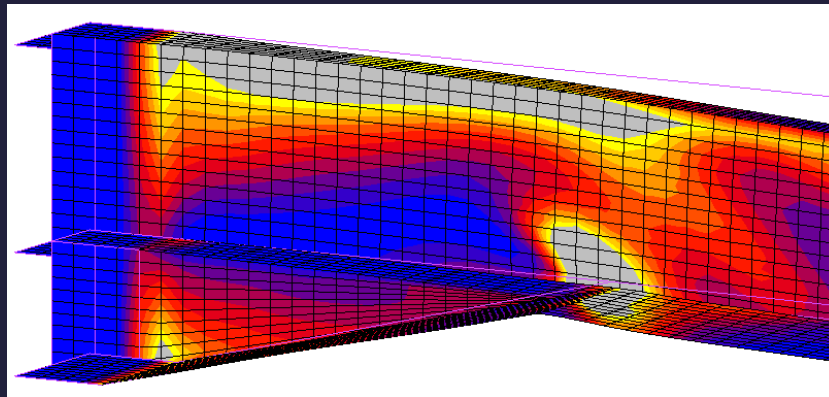
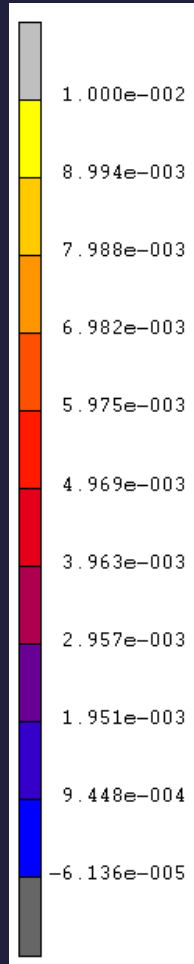
Αποτελέσματα των παραμετρικών αναλύσεων για την πλευρικά μη-στηριζόμενη δοκό (Beam LR)

Analysis	Loading level: % of the yield stress		
	40	50	58
	Maximum amplitude of initial imperfections		
	2mm	2mm	2mm
	Fire resistance in time domain (minutes)		
Fire	25.5	24.5	23
Scenario A	18.75	17	14
Scenario B	17.5	17	13

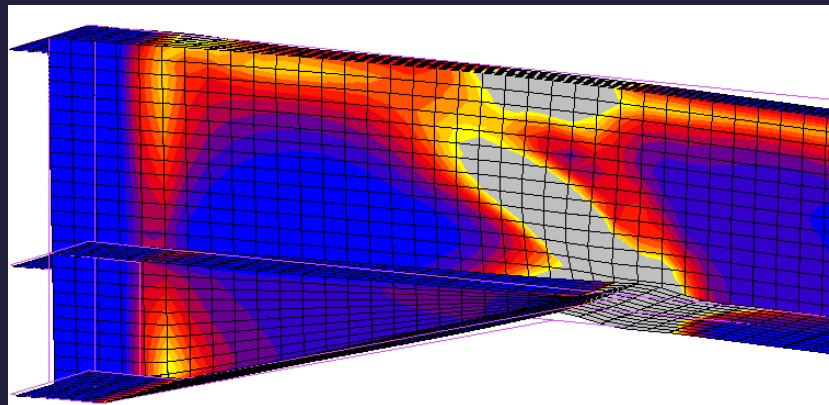
Αποτελέσματα των αναλύσεων-

Επίπεδο φόρτισης : 40% της τάσης διαρροής

Πεδίο ισοδύναμων πλαστικών παραμόρφσεων στο τελευταίο βήμα της ανάλυσης



Ανάλυση : Πυρκαγιά
Εύρος αρχικών ατελειών: 5mm
Μέγιστη πλαστική παραμόρφωση: 0.024
Χρόνος πυραντίστασης: 24.5minutes



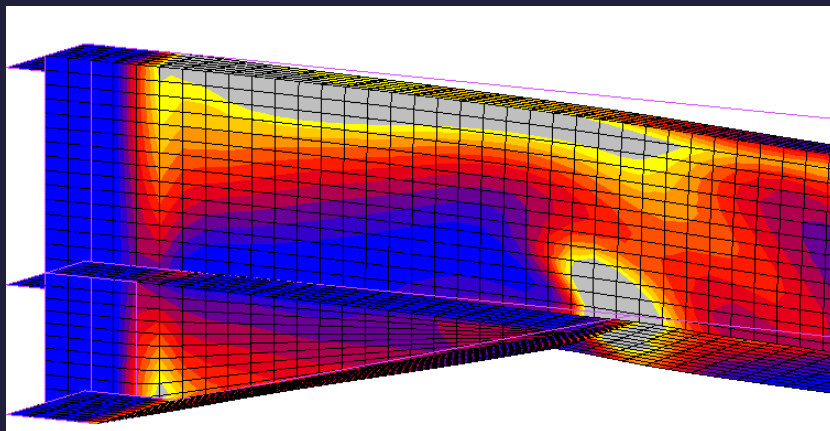
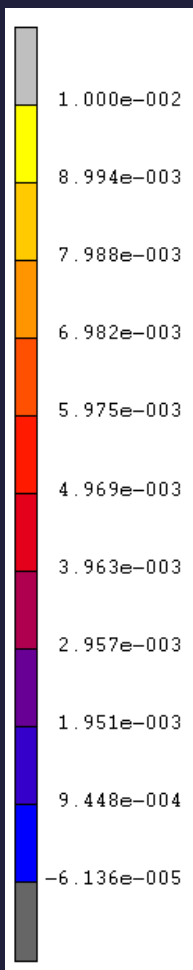
Ανάλυση : Συνδυασμένο σενάριο Β
Εύρος αρχικών ατελειών: 5mm
Μέγιστη πλαστική παραμόρφωση: 0.150
Χρόνος πυραντίστασης: 22.5minutes

Δοκός πλευρικά στηριζόμενη

Αποτελέσματα των αναλύσεων-

Επίπεδο φόρτισης : 58% της τάσης διαρροής

Πεδίο ισοδύναμων πλαστικών παραμορφώσεων στο τελευταίο βήμα της ανάλυσης

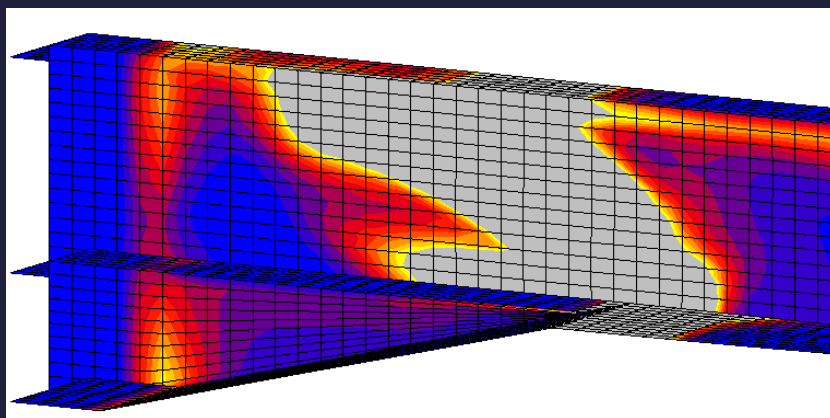


Ανάλυση : Πυρκαγιά

Εύρος αρχικών ατελειών: 5mm

Μέγιστη πλαστική παραμόρφωση: 0.021

Χρόνος πυραντίστασης: 21.5minutes



Ανάλυση : Συνδυασμένο σενάριο Β

Εύρος αρχικών ατελειών: 5mm

Μέγιστη πλαστική παραμόρφωση: 0.349

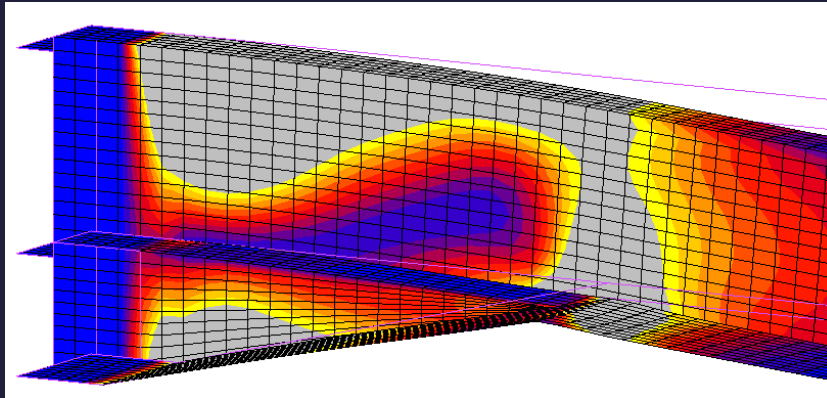
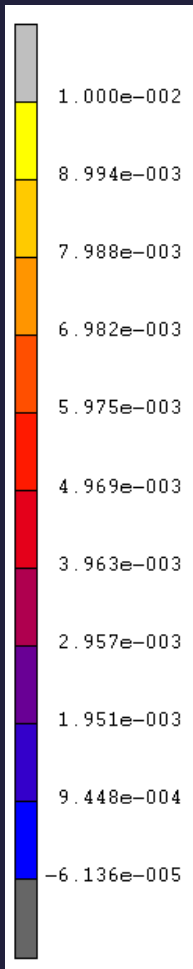
Χρόνος πυραντίστασης: 20minutes

Δοκός πλευρικά στηριζόμενη

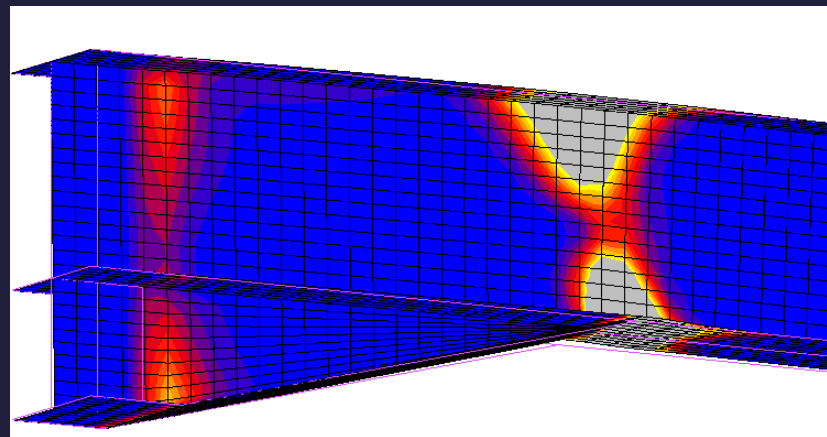
Αποτελέσματα των αναλύσεων-

Επίπεδο φόρτισης : 40% της τάσης διαρροής

Πεδίο ισοδύναμων πλαστικών παραμόρφωσεων στο τελευταίο βήμα της ανάλυσης



Ανάλυση : Πυρκαγιά
Εύρος αρχικών ατελειών: 5mm
Μέγιστη πλαστική παραμόρφωση: 0.036
Χρόνος πυραντίστασης: 25.5minutes



Ανάλυση : Συνδυασμένο σενάριο B
Εύρος αρχικών ατελειών: 5mm
Μέγιστη πλαστική παραμόρφωση: 0.032
Χρόνος πυραντίστασης: 18.75minutes

Δο' κός πλευρικά μη στηριζόμενη

Συμπεράσματα

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των αριθμητικών αναλύσεων:

- ✓ Και για τα δύο συνδυασμένα σενάρια της πυρκαγιάς μετά από σεισμικά γεγονότα, για την περίπτωση των πλευρικά μη-στηριζόμενων δοκών, παρατηρείται αξιοσημείωτη μείωση του χρόνου πυραντοχής σε σχέση με την κατάσταση αναφοράς που είναι η πυρκαγιά (χωρίς σεισμό)
- ✓ Στην περίπτωση των συνδυασμένων σεναρίων, για τις πλευρικά στηριζόμενες δοκούς, η μείωση του χρόνου πυραντοχής είναι περιορισμένη
- ✓ Όσο αυξάνεται το εύρος των αρχικών ατελειών τόσο μειώνεται ο χρόνος πυραντοχής και για τα δύο συνδυασμένα σενάρια της πυρκαγιάς μετά από σεισμικά γεγονότα
- ✓ Όσο αυξάνεται το επίπεδο φόρτισης (άρα και ο συντελεστής $\psi_{2,i}$) τόσο μειώνεται ο χρόνος πυραντοχής

Ευχαριστώ για την προσοχή σας

Η παρούσα έρευνα έχει συγχρηματοδοτηθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο - ΕΚΤ) και από εθνικούς πόρους μέσω του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» του Εθνικού Στρατηγικού Πλαισίου Αναφοράς (ΕΣΠΑ) – Ερευνητικό Χρηματοδοτούμενο Έργο: Ηράκλειτος II . Επένδυση στην κοινωνία της γνώσης μέσω του Ευρωπαϊκού Κοινωνικού Ταμείου.