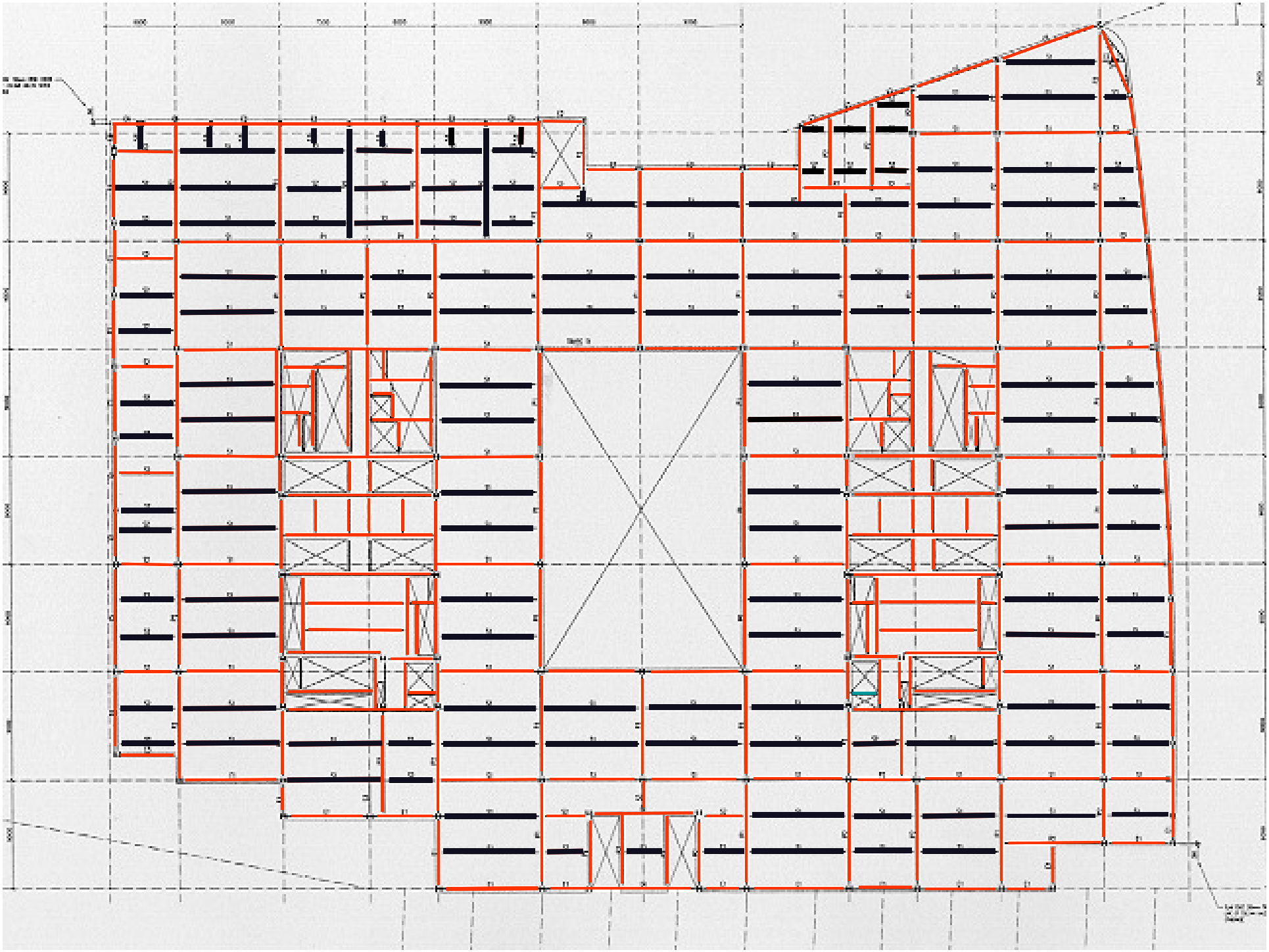
Research Fund for Coal & Steel

Συμπεριφορά μεταλλικών και σύμμικτων συστημάτων πλάκας σε πυρκαγιά

Μέθοδος απλοποιημένου σχεδιασμού

Σκοπός της μεθόδου σχεδίασης



Περιεχόμενα παρουσίασης

- **Μηχανική συμπεριφορά σύμμικτων πλακών σε περίπτωση πυρκαγιάς**
- **Μέθοδος απλής σχεδίασης πλακών οπλισμένου σκυροδέματος στους 20 °C**
  - **Μοντέλο πλάκας δαπέδου**
  - **Μορφές αστοχίας**
- **Μέθοδος απλής σχεδίασης σύμμικτων πλακών σε υψηλές θερμοκρασίες**
  - **Συμπεριφορά της πυρκαγιάς**
  - **Δράσης μεμβράνης σε υψηλές θερμοκρασίες**
  - **Συνεισφορά από μη – μονωμένες δοκούς**
  - **Σχεδιασμός μονωμένων δοκών**

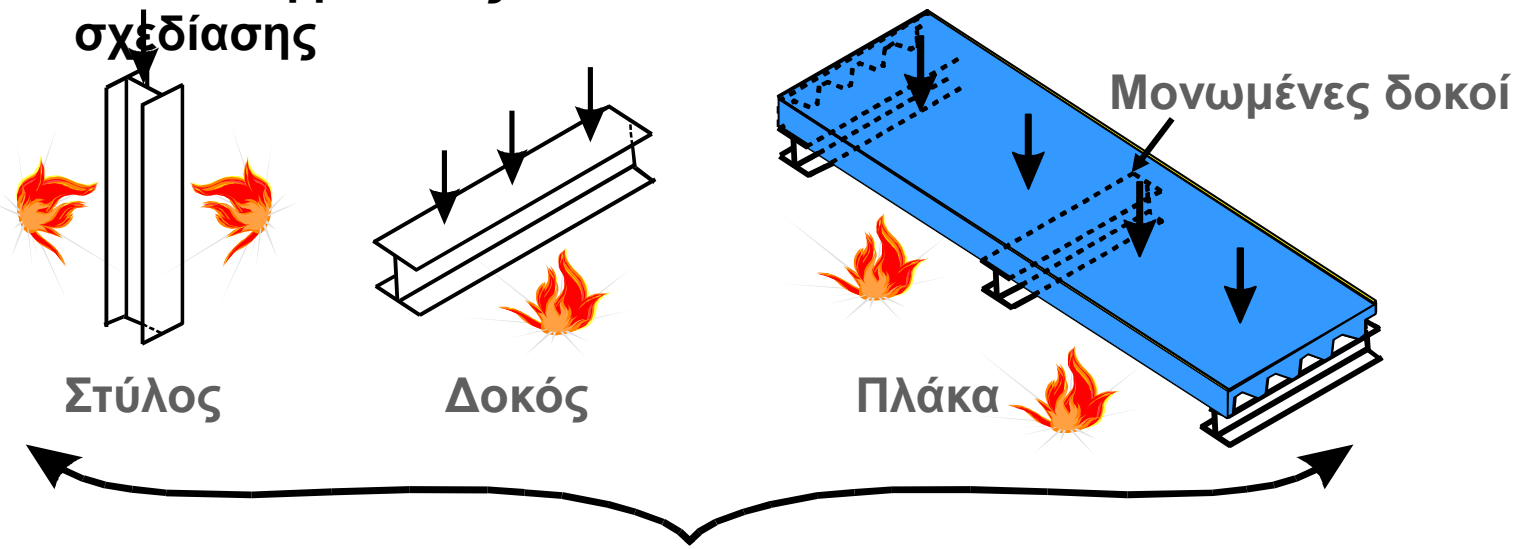
Μηχανική συμπεριφορά σύμμικτων πλακών

Μηχανική συμπεριφορά σύμμικτων πλακών

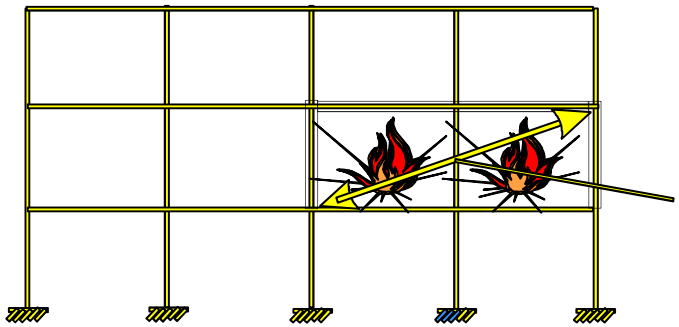
Μέθοδος απλής σχεδίασης πλακών οπλισμένου σκυροδέματος στους 20 °C

Μέθοδος απλής σχεδίασης σύμμικτων πλακών σε υψηλές θερμοκρασίες

- **Κλασσική μέθοδος σχεδίασης**



Οι υπάρχουσες μέθοδοι σχεδίασης υποθέτουν ότι τα μεμονωμένα μέλη θα συμπεριφερθούν με παρόμοιο τρόπο σε πραγματικά κτίρια



Μηχανική συμπεριφορά σύμμικτων πλακών

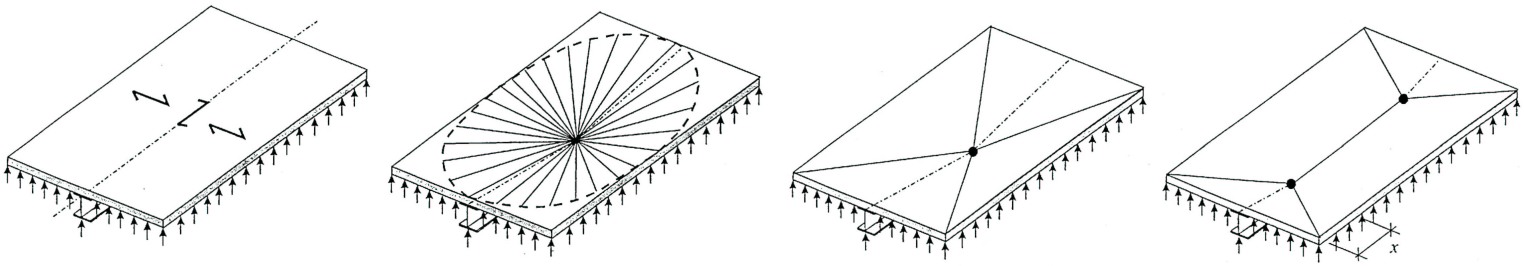
Μηχανική συμπεριφορά σύμμικτων πλακών

Μέθοδος απλής σχεδίασης πλακών οπλισμένου σκυροδέματος στους 20 °C

Μέθοδος απλής σχεδίασης σύμμικτων πλακών σε υψηλές θερμοκρασίες

- **Πραγματική συμπεριφορά σύμμικτων πλακών με οπλισμό ενίσχυσης στην πλάκα σκυροδέματος**

Temperature increase during fire



(a) **(b)** **(c)** **(d)**

Simple bending → **Membrane effect behaviour**

Μέθοδος απλής σχεδίασης πλακών οπλισμένου σκυροδέματος στους 20 °C

Μηχανική συμπεριφορά σύμμικτων πλακών

Μέθοδος απλής σχεδίασης πλακών οπλισμένου σκυροδέματος στους 20 °C

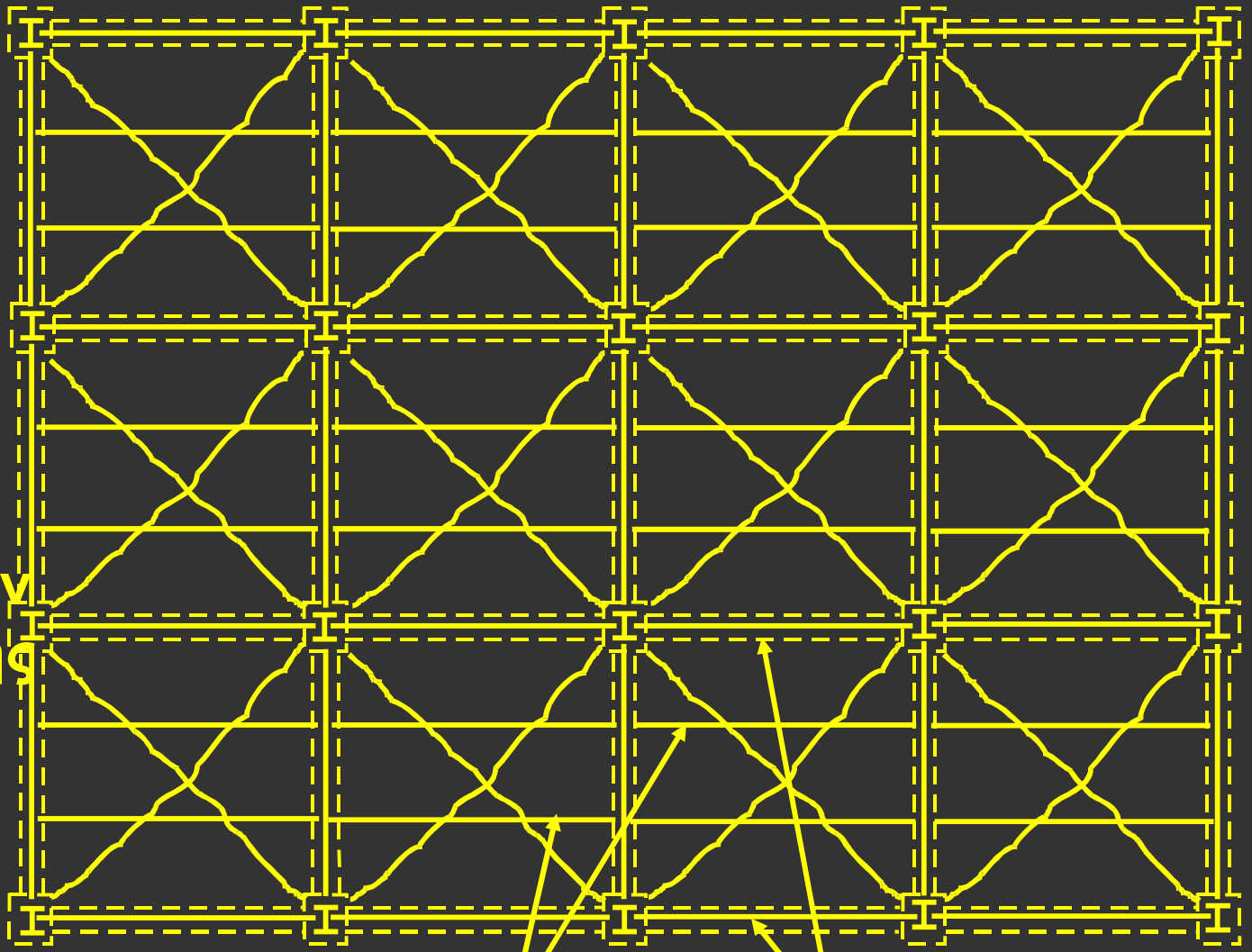
Μέθοδος απλής σχεδίασης σύμμικτων πλακών σε υψηλές θερμοκρασίες

- **Μέθοδος του Professor Colin Bailey**

  University of Manchester

  formerly with Building Research Establishment (BRE)

Σχεδίαση για δράση μεμβράνης σε πυρκαγιά



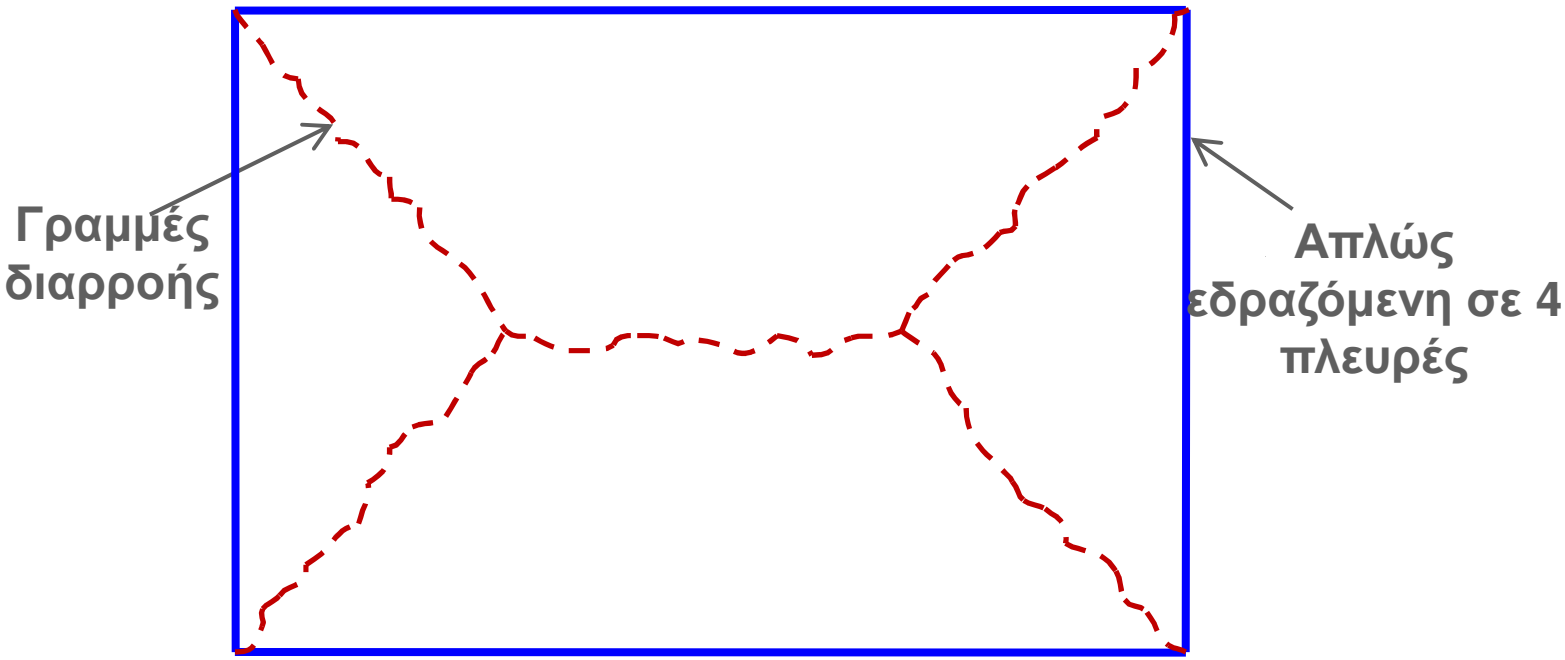
Διάταξη των γραμμών διαρροής

Μη – μονωμένες δοκοί

Μονωμένες δοκοί

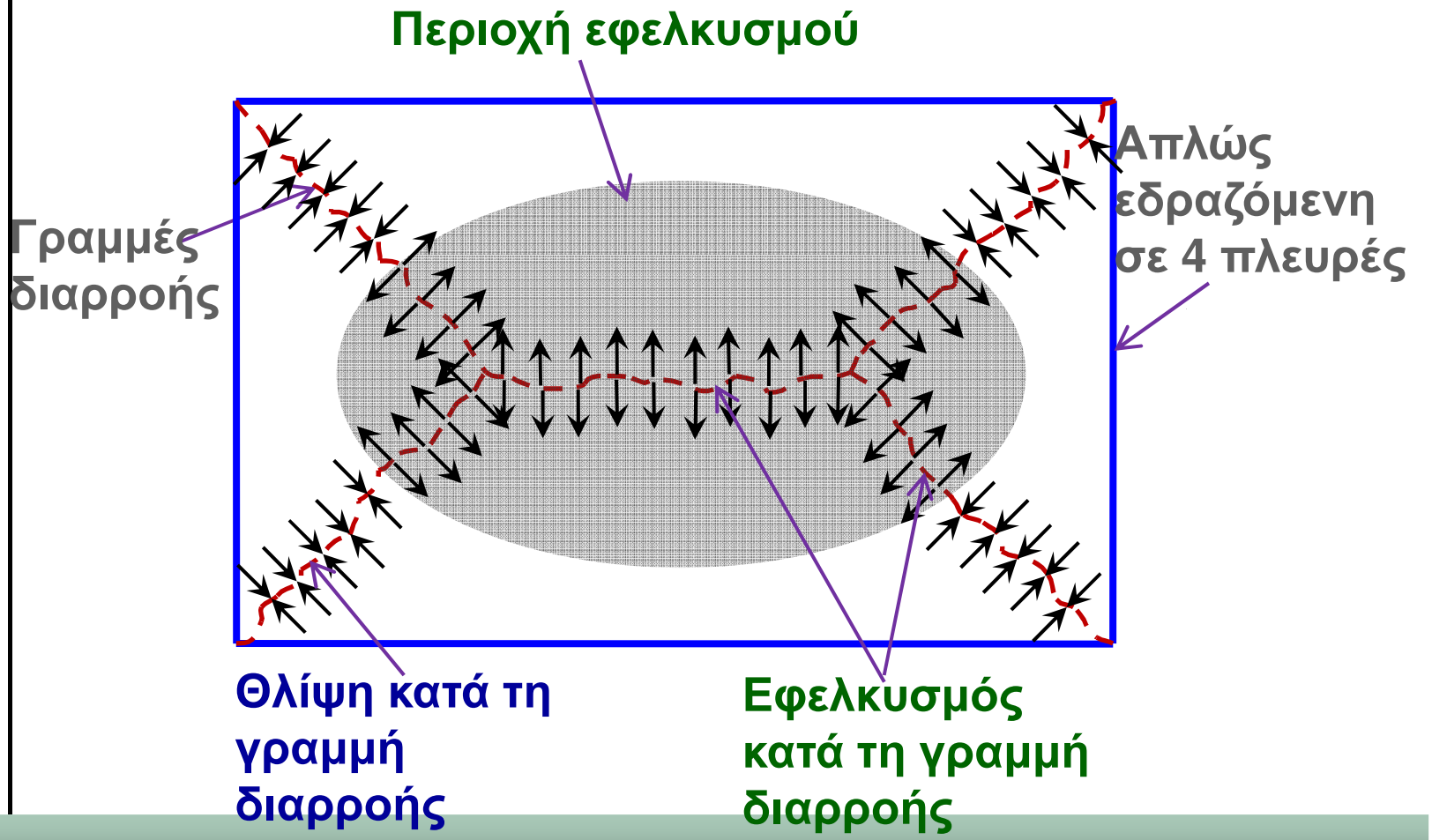
Μέθοδος απλής σχεδίασης πλακών οπλισμένου σκυροδέματος στους 20 °C

- **Μοντέλο πλάκας δαπέδου με 4 κατακόρυφα δεσμευμένες πλευρές** (Πλαστικές γραμμές διαρροής) – Οριζόντια ελεύθερες – πολύ συντηρητική παραδοχή



Μέθοδος απλής σχεδίασης πλακών οπλισμένου σκυροδέματος στους 20 °C

- **Μοντέλο πλάκας δαπέδου**
  - Η δημιουργία μεμβράνης ενισχύει την ατνοχή των γραμμών διαρροής



Μηχανική συμπεριφορά σύμμικτων πλακών

Μέθοδος απλής σχεδίασης πλακών οπλισμένου σκυροδέματος στους 20 °C

Μέθοδος απλής σχεδίασης σύμμικτων πλακών σε υψηλές θερμοκρασίες

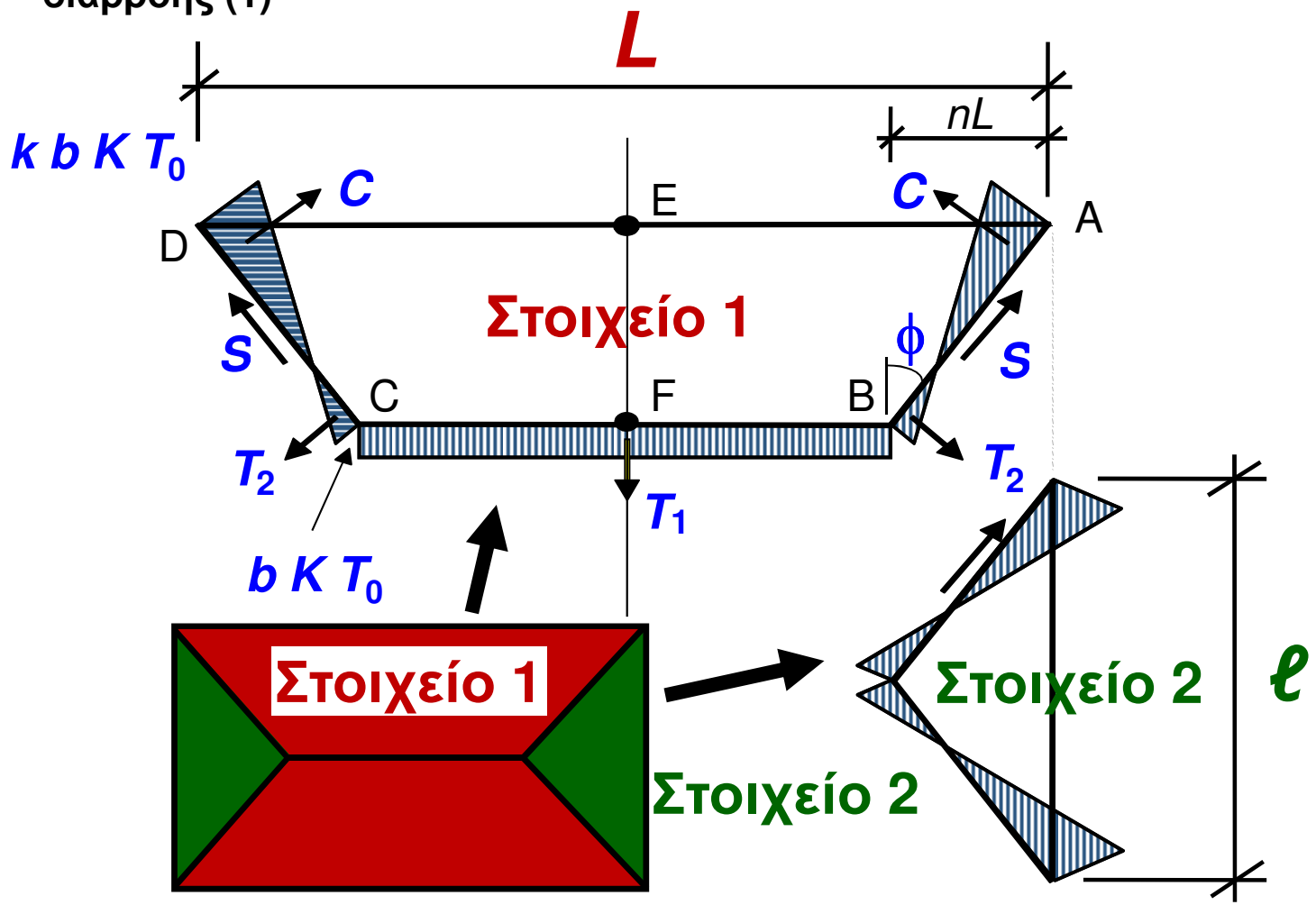
Μέθοδος απλής σχεδίασης πλακών οπλισμένου σκυροδέματος στους 20 °C

Μηχανική συμπεριφορά σύμμικτων πλακών

Μέθοδος απλής σχεδίασης πλακών οπλισμένου σκυροδέματος στους 20 °C

Μέθοδος απλής σχεδίασης σύμμικτων πλακών σε υψηλές θερμοκρασίες

- **Δράσεις μεμβράνης κατά τις γραμμές διαρροής (1)**



Μέθοδος απλής σχεδίασης πλακών οπλισμένου σκυροδέματος στους 20 °C

- **Δράσεις μεμβράνης κατά τις γραμμές διαροής (2)**

k, b	είναι παράμετροι που καθορίζουν το μέγεθος των δράσεων μεμβράνης,
n	είναι συντελεστής που προέρχεται από τη θεωρία γραμμών διαρροής,
K	είναι ο λόγος του οπλισμού ενίσχυσης στο μικρό άνοιγμα προς τον οπλισμό ενίσχυσης στο μεγάλο άνοιγμα,
KT_0	είναι η αντίσταση του οπλισμού ενίσχυσης ανά μονάδα μήκους,
T_1, T_2, C, S	είναι οι δράσεις μεμβράνης κατά τις γραμμές διαρροής.

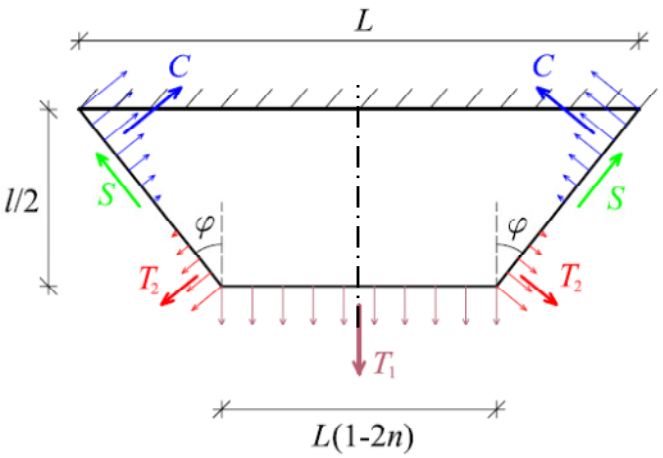
Μέθοδος απλής σχεδίασης πλακών οπλισμένου σκυροδέματος στους 20 °C

Μηχανική συμπεριφορά σύμμικτων πλακών

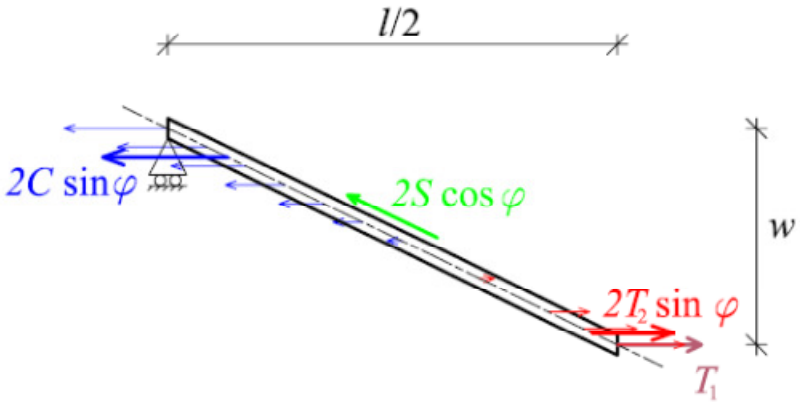
Μέθοδος απλής σχεδίασης πλακών οπλισμένου σκυροδέματος στους 20 °C

Μέθοδος απλής σχεδίασης σύμμικτων πλακών σε υψηλές θερμοκρασίες

- **Συνεισφορά της δράσης μεμβράνης (1)**
  - **Στοιχείο 1**



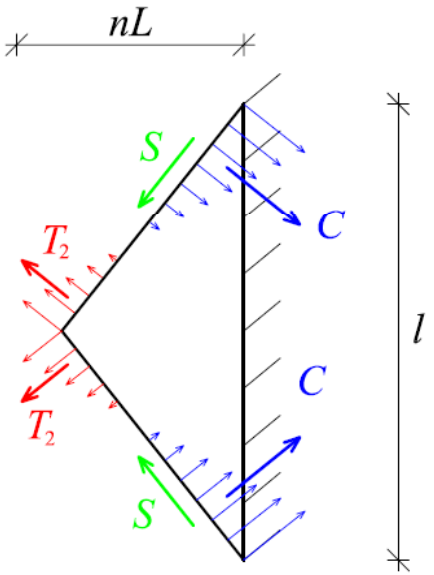
Εντός-επιπέδου απεικόνιση των δράσεων μεμβράνης



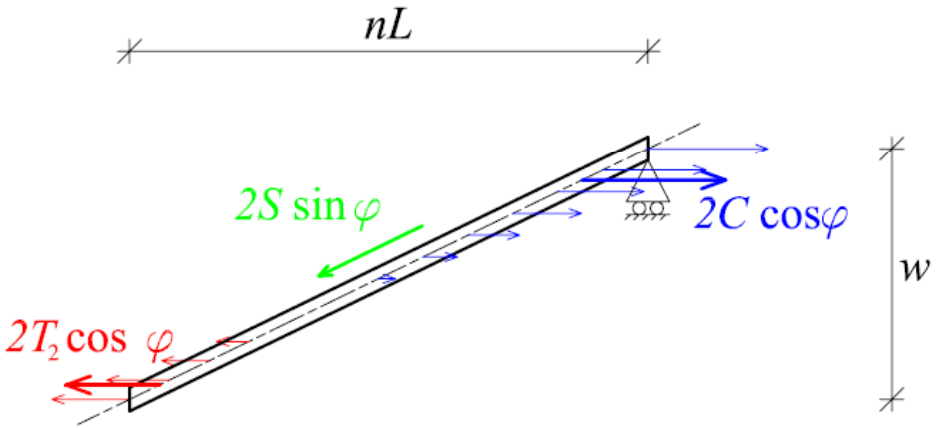
Πλευρική απεικόνιση των δράσεων μεμβράνης υπό βύθιση ίση με *w*

Μέθοδος απλής σχεδίασης πλακών οπλισμένου σκυροδέματος στους 20 °C

- **Συνεισφορά της δράσης μεμβράνης (2)**
  - **Στοιχείο 2**



Εντός-επιπέδου απεικόνιση των δράσεων μεμβράνης



Πλευρική απεικόνιση των δράσεων μεμβράνης υπό βύθιση ίση με *w*

Μέθοδος απλής σχεδίασης πλακών οπλισμένου σκυροδέματος στους 20 °C

- **Συνεισφορά της δράσης μεμβράνης (3)**
  - **Ενισχυτικός συντελεστής για κάθε στοιχείο**

$e_{i,\ i=1,2}$ = { e_{im} : ενίσχυση λόγω των δράσεων μεμβράνης στο στοιχείο i + e_{ib} : ενίσχυση λόγω της επίδρασης των δράσεων εντός-επιπέδου στην καμπτική ικανότητα.

  - **Συνολική ενίσχυση**

$$e = e_1 - \frac{e_1 - e_2}{1 + 2\mu a^2}$$

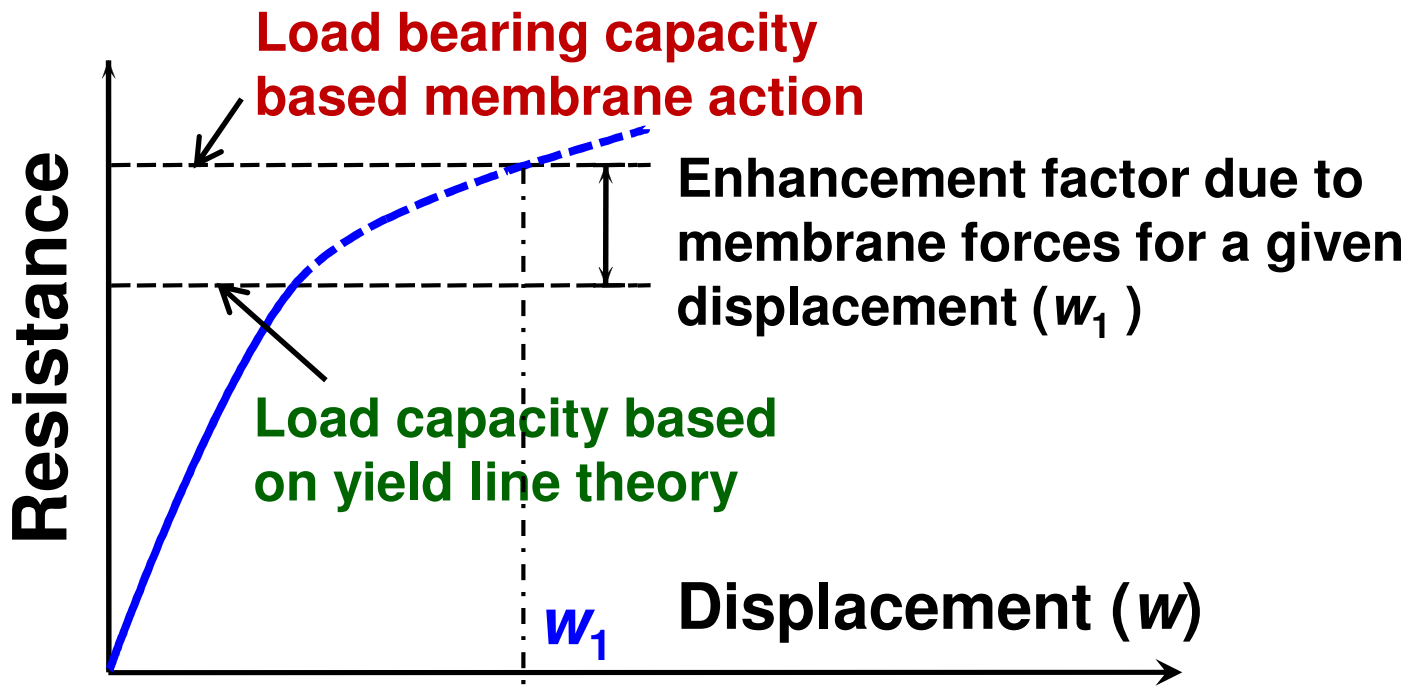
όπου:

μ είναι ο συντελεστής της ορθοτροπίας του οπλισμού ενίσχυσης

a είναι ο λόγος διαστάσεων της πλάκας = L/ℓ

Μέθοδος απλής σχεδίασης πλακών οπλισμένου σκυροδέματος στους 20 ℃

- **Συνεισφορά της δράσης μεμβράνης (4)**



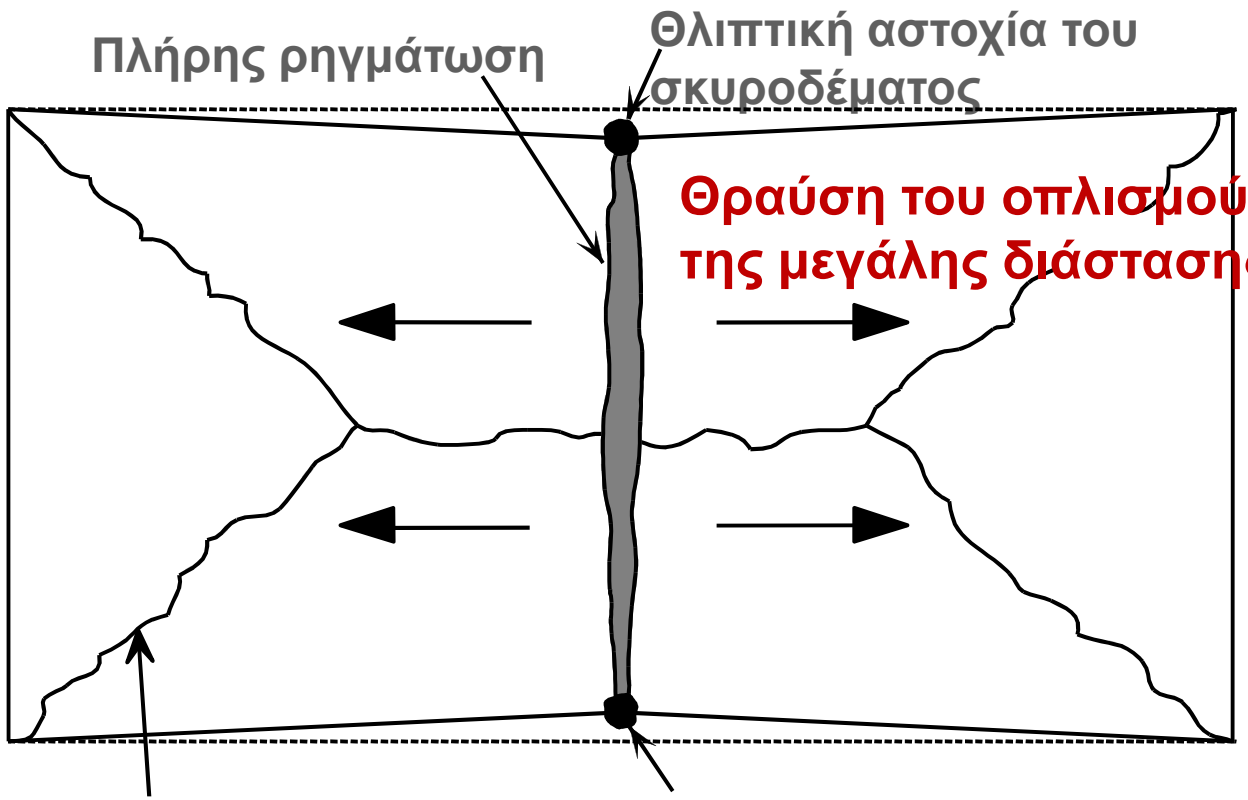
Μέθοδος απλής σχεδίασης πλακών οπλισμένου σκυροδέματος στους 20 °C

Μηχανική συμπεριφορά σύμμικτων πλακών

Μέθοδος απλής σχεδίασης πλακών οπλισμένου σκυροδέματος στους 20 °C

Μέθοδος απλής σχεδίασης σύμμικτων πλακών σε υψηλές θερμοκρασίες

- **Μορφές αστοχίας** (εφελκυστική αστοχία του οπλισμού)



Μέθοδος απλής σχεδίασης πλακών οπλισμένου σκυροδέματος στους 20 °C

Μηχανική συμπεριφορά σύμμικτων πλακών

Μέθοδος απλής σχεδίασης πλακών οπλισμένου σκυροδέματος στους 20 °C

Μέθοδος απλής σχεδίασης σύμμικτων πλακών σε υψηλές θερμοκρασίες

- **Μορφές αστοχίας** (θλιπτική αστοχία του σκυροδέματος)
  - **Πιο πιθανό να συμβεί σε περίπτωση ισχυρού οπλισμού**

Μέθοδος απλής σχεδίασης πλακών οπλισμένου σκυροδέματος στους 20 °C

Μηχανική συμπεριφορά σύμμικτων πλακών

Μέθοδος απλής σχεδίασης πλακών οπλισμένου σκυροδέματος στους 20 °C

Μέθοδος απλής σχεδίασης σύμμικτων πλακών σε υψηλές θερμοκρασίες

- **Μορφές αστοχίας** (πειραματικά αποτελέσματα)

Εφελκυστική αστοχία οπλισμού

Θλιπτική αστοχία σκυροδέματος

Μέθοδος απλής σχεδίασης σύμμικτων πλακών σε υψηλές θερμοκρασίες

Μηχανική συμπεριφορά σύμμικτων πλακών

Μέθοδος απλής σχεδίασης πλακών οπλισμένου σκυροδέματος στους 20 ℃

Μέθοδος απλής σχεδίασης σύμμικτων πλακών σε υψηλές θερμοκρασίες

- **Μοντέλο πλάκας δαπέδου σε υψηλές θερμοκρασίες (1)**
  - **Βάσει του μοντέλου σε θερμοκρασία δωματίου**
  - **Λαμβάνοντας υπόψη τις συνέπειες της θερμοκρασίας στις ιδιότητες του υλικού.**

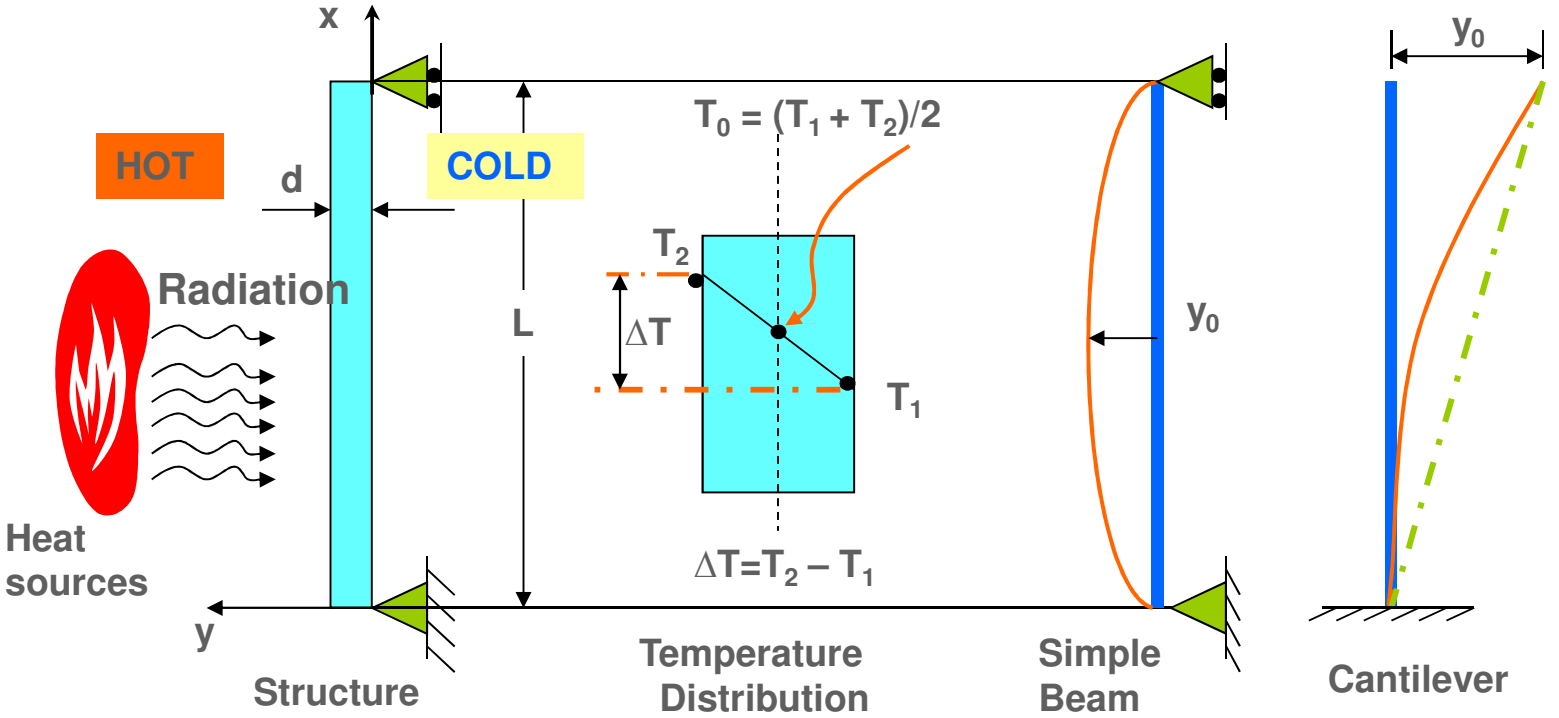
Μέθοδος απλής σχεδίασης σύμμικτων πλακών σε υψηλές θερμοκρασίες

Μηχανική συμπεριφορά σύμμικτων πλακών

Μέθοδος απλής σχεδίασης πλακών οπλισμένου σκυροδέματος στους 20 ℃

Μέθοδος απλής σχεδίασης σύμμικτων πλακών σε υψηλές θερμοκρασίες

Ελεύθερη καμπύλωση της πλάκας σκυροδέματος



Simple Beam $y = \frac{\alpha L^2}{8}\frac{(T_2 - T_1)}{d}$

Cantilever $y = \frac{\alpha L^2}{2}\frac{(T_2 - T_1)}{d}$

Bowing is caused by Temperature Difference $\Delta T=T_2 - T_1$ Or Gradient $\Delta T/d$

Μέθοδος απλής σχεδίασης σύμμικτων πλακών σε υψηλές θερμοκρασίες

- **Μοντέλο πλάκας δαπέδου σε υψηλές θερμοκρασίες (2)**
  - **Συμπεριλαμβανομένης της θερμικής καμπύλωσης της πλάκας λόγω της ανομοιόμορφης θερμοκρασίας κατά το ύψος που ισούται με :**

$$w_\theta = \frac{\alpha (T_2 - T_1) \ell^2}{19.2\ h}$$

όπου:

h είναι το ενεργό ύψος της πλάκας

ℓ είναι η μικρότερη διάσταση της πλάκας

α είναι ο συντελεστής θερμικής διαστολής του σκυροδέματος

Για LW σκυρόδεμα, ο EN 1994-1-2 λαμβάνει τιμή

$\alpha_{LWC} = 0.8 \times 10^{-5}\ °K^{-1}$

Για NW σκυρόδεμα, η συντηρητική τιμή λαμβάνεται

$\alpha_{NWC} = 1.2 \times 10^{-5}\ °K^{-1} < 1.8 \times 10^{-5}\ °K^{-1}$ (EN 1994-1-2 value)

T_2 είναι η θερμοκρασία στην κάτω πλευρά της πλάκας (εκτεθειμένη στην πυρκαγιά)

T_1 είναι η θερμοκρασία στην πάνω πλευρά της πλάκας (μη-εκτεθειμένη στην πυρκαγιά)

Μέθοδος απλής σχεδίασης σύμμικτων πλακών σε υψηλές θερμοκρασίες

- **Μοντέλο πλάκας δαπέδου σε υψηλές θερμοκρασίες (3)**
  - **Λαμβάνεται μέση μηχανική ανηγμένη παραμόρφωση σε τάση ίση με το μισό της τάσης διαρροής σε θερμοκρασία δωματίου**
  - **Βύθιση της πλάκας στη βασή μιας παραβολικής ελαστικής γραμμής της πλάκας λόγω της εγκάρσιας φόρτισης :**

$$w_{\varepsilon} = \sqrt{\left(\frac{0.5 f_{sy}}{E_s}\right)} \frac{3L^2}{8} \leq \frac{\ell}{30}$$

ΟΠΟΥ:

E_s είναι το μέτρο ελαστικότητας του οπλισμού στους 20°C

f_{sy} είναι το όριο διαρροής του οπλισμού στους 20°C

L είναι η μεγάλη διάσταση της πλάκας

Μέθοδος απλής σχεδίασης σύμμικτων πλακών σε υψηλές θερμοκρασίες

- **Μοντέλο πλάκας δαπέδου σε υψηλές θερμοκρασίες (4)**
  - **Συνεπώς, η μέγιστη βύθιση της πλάκας είναι :**

$$w = \frac{\alpha (T_2 - T_1)\ell^2}{19.2\,h} + \sqrt{\left(\frac{0.5 f_{sy}}{E_s}\right)\frac{3L^2}{8}}$$

  - **Παρόλα αυτά, η μέγιστη βύθιση της πλάκας περιορίζεται στα :**

$$w < \frac{\alpha (T_2 - T_1) l^2}{19.2h} + l/30$$

$$w \le \frac{L + \ell}{30}$$

Μέθοδος απλής σχεδίασης σύμμικτων πλακών σε υψηλές θερμοκρασίες

- **Συντηρητικότητα του μοντέλου πλάκας δαπέδου σε υψηλές θερμοκρασίες**
  - Οι οπλισμοί στηρίξεων θεωρείται ότι θραύονται
  - Οι υπολογιζόμενες κατακόρυφες μετατοπίσεις λόγω θερμικής καμπυλότητας υποεκτιμώνται συγκριτικά με τις θεωρητικές τιμές
  - Η θερμική καμπυλότητα υπολογίζεται βάση της μικρότερης διάστασης της πλάκας
  - Οποιεσδήποτε επιπρόσθετες μετατοπίσεις που προκαλούνται λόγω της δεσμευμένης θερμικής διαστολής όταν η πλάκα είναι σε μετα-λυγισμικό στάδιο αγνοούνται
  - Οποιαδήποτε συνεισφορά από το μεταλλικό υπόστρωμα αγνοείται
  - Η αύξηση της ολκιμότητας με την αύξηση της θερμοκρασίας αγνοείται

Μέθοδος απλής σχεδίασης σύμμικτων πλακών σε υψηλές θερμοκρασίες

Μηχανική συμπεριφορά σύμμικτων πλακών

Μέθοδος απλής σχεδίασης πλακών οπλισμένου σκυροδέματος στους 20 °C

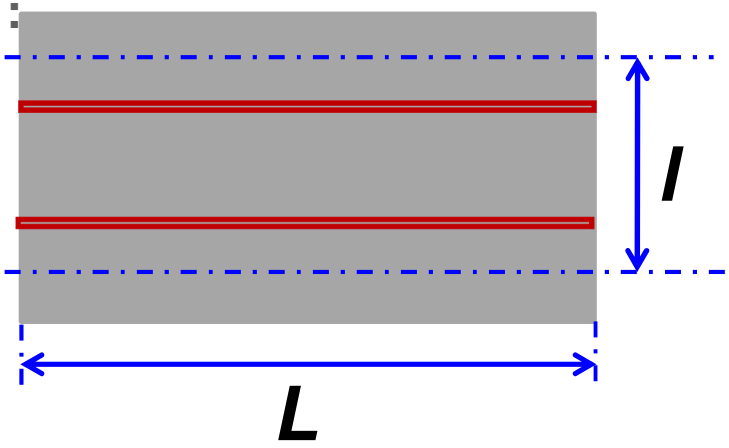
Μέθοδος απλής σχεδίασης σύμμικτων πλακών σε υψηλές θερμοκρασίες

- **Η φέρουσα ικανότητα του μοντέλου πλάκας δαπέδου ενισχύθηκε με την παρουσία μη μονωμένων μεταλλικών δοκών (1)**
  - **Η αλυσιδωτή δράση των μη μονωμένων δοκών αγνοείται**
  - **Η καμπτική αντίσταση των μη μονωμένων δοκών λαμβάνεται υπόψη με τις παρακάτω παραδοχές :**
    - Αρθρώσεις στα άκρα
    - Η θέρμανση της μεταλλικής διατομής υπολογίζεται σύμφωνα με EN1994-1-2 4.3.4.2, θεωρώντας και το φαινόμενο σκίασης
    - Θερμικές και μηχανικές ιδιότητες για το μέταλλο και το σκυρόδεμα σύμφωνα με EN 1994-1-2

Μέθοδος απλής σχεδίασης σύμμικτων πλακών σε υψηλές θερμοκρασίες

- **Η φέρουσα ικανότητα του μοντέλου πλάκας δαπέδου ενισχύθηκε με την παρουσία μη μονωμένων μεταλλικών δοκών (2)**
  - **Η ενίσχυση της φέρουσας ικανότητας από τις μη μονωμένες δοκούς είναι :**

$$\frac{8M_{Rd,fi}}{L^2}\frac{1+n_{ub}}{\ell}$$



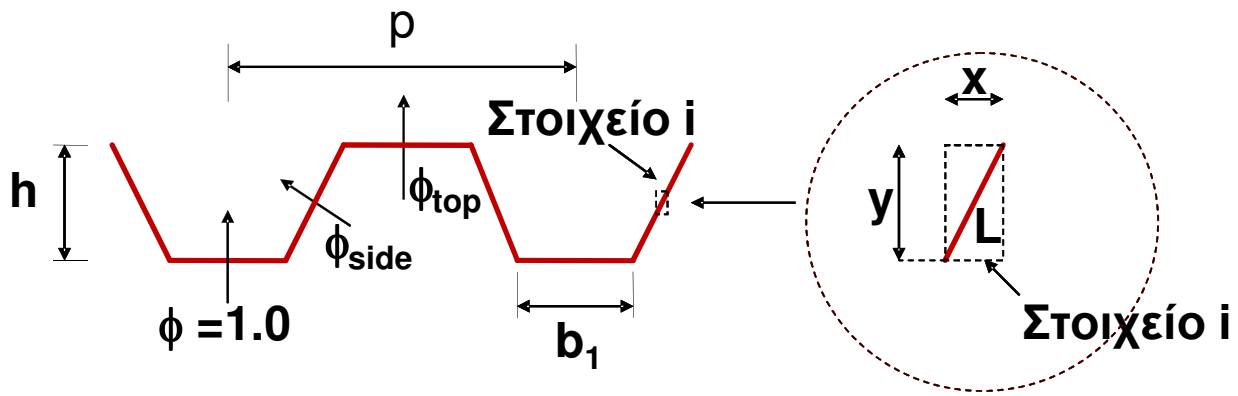
όπου:

n_{ub} είναι ο αριθμός των μη μονωμένων δοκών

$M_{Rd,fi}$ είναι η ροπή αντίστασης κάθε μη μονωμένης σύμμικτης δοκού

Μέθοδος απλής σχεδίασης σύμμικτων πλακών σε υψηλές θερμοκρασίες

- **Υπολογισμός θερμοκρασίας της σύμμικτης πλάκας**
  - **Σύμφωνα με τα προηγμένα υπολογιστικά μοντέλα**
    - Δισδιάστατη μέθοδος πεπερασμένων διαφορών
    - Θερμικές ιδιότητες υλικού από τον Ευρωκώδικα 4 μέρος 1-2 για μέταλλο και σκυρόδεμα
    - Το φαινόμενο σκίασης λαμβάνεται υπόψη για σύμμικτες πλάκες



Μέθοδος απλής σχεδίασης σύμμικτων πλακών σε υψηλές θερμοκρασίες

Μηχανική συμπεριφορά σύμμικτων πλακών

Μέθοδος απλής σχεδίασης πλακών οπλισμένου σκυροδέματος στους 20 °C

Μέθοδος απλής σχεδίασης σύμμικτων πλακών σε υψηλές θερμοκρασίες

- **Η φέρουσα ικανότητα των μονωμένων περιμετρικών δοκών**
  - **Μηχανισμός πλαστικοποίησης της πλάκας βασισμένος στην αντίσταση των δοκών**
  - **Λόγος φορτίου σε κατάσταση πυρκαγιάς**
    - Επιπρόσθετο φορτίο σε μονωμένες δοκούς
  - **Κρίσιμη θερμοκρασία βάση απλής υπολογιστικής μεθόδου (EN 1994-1-2)**

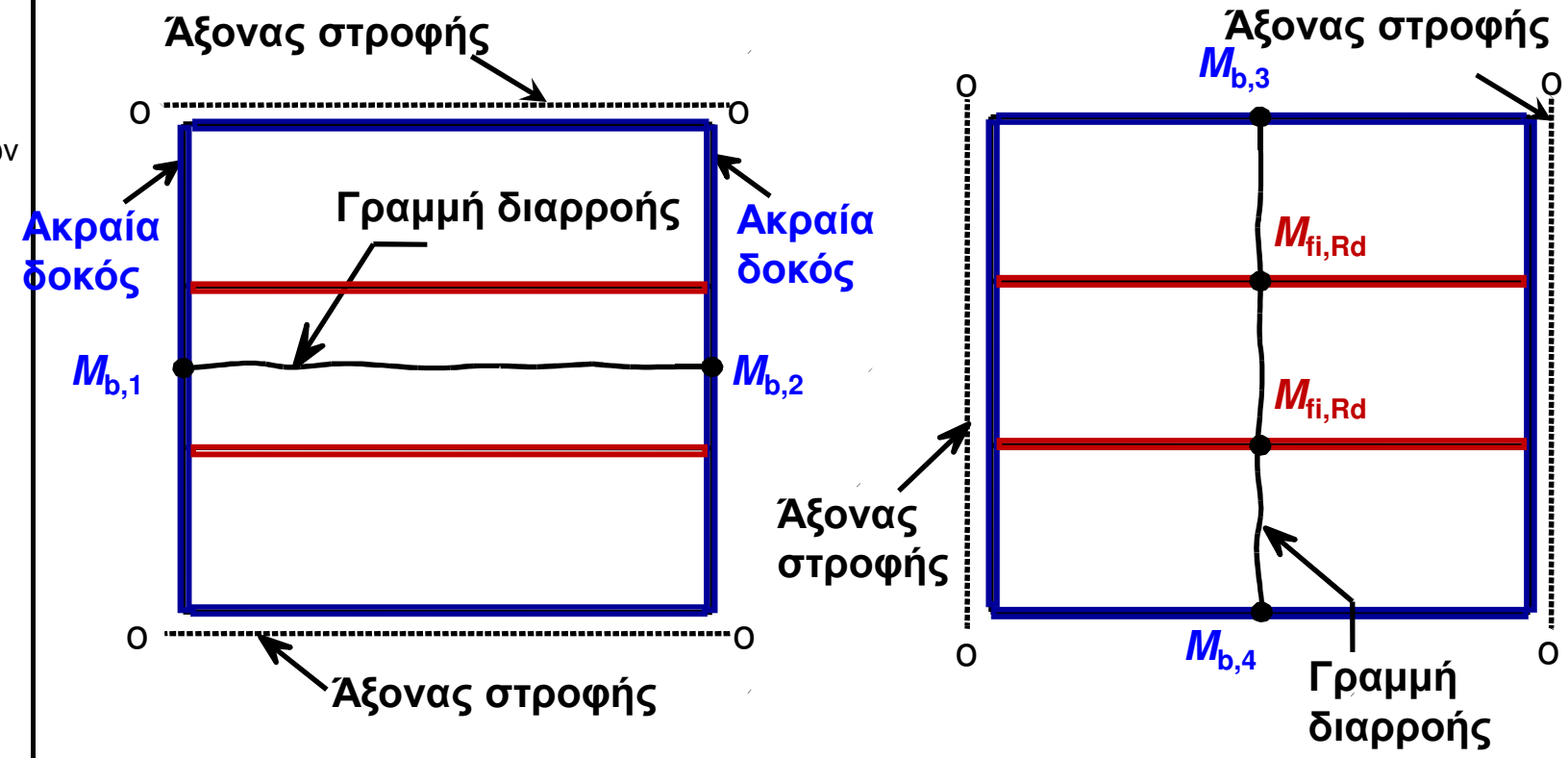
Μέθοδος απλής σχεδίασης σύμμικτων πλακών σε υψηλές θερμοκρασίες

- **Φέρουσα ικανότητα των μονωμένων περιμετρικών δοκών βάση του ολικού μηχανισμού πλαστικοποίησης**

Μηχανική συμπεριφορά σύμμικτων πλακών

Μέθοδος απλής σχεδίασης πλακών οπλισμένου σκυροδέματος στους 20 °C

Μέθοδος απλής σχεδίασης σύμμικτων πλακών σε υψηλές θερμοκρασίες



Επιβεβαίωση με πειραματικά αποτελέσματα

Μηχανική συμπεριφορά σύμμικτων πλακών

Μέθοδος απλής σχεδίασης πλακών οπλισμένου σκυροδέματος στους 20℃

Μέθοδος απλής σχεδίασης σύμμικτων πλακών σε υψηλές θερμοκρασίες

7 Πραγματικής- κλίμακας Cardington Πειράματα

1 μεγάλης – κλίμακας BRE πείραμα (κρύο αλλά προσομοιωμένο για πυρκαγιά)

10 Κρύα πειράματα πραγματοποιήθηκαν στα 1960/1970s

15 μικρής κλίμακας πειράματα πραγματοποιήθηκαν από το Sheffield University το 2004

44 μικρής κλίμακας κρύα και πειράματα πυρκαγιάς πραγματοποιήθηκαν από το University of Manchester

FRACOF και COSSFIRE ISO- Πειράματα πυρκαγιάς

Πραγματικής κλίμακας πειράματα πραγματοποιήθηκαν από το Ulster University το 2010.

Μικρής-κλίμακας πειραματική συμπεριφορά και σχεδίαση των πλακών σκυροδέματος

Μηχανική συμπεριφορά σύμμικτων πλακών

Μέθοδος απλής σχεδίασης πλακών οπλισμένου σκυροδέματος στους 20 ℃

Μέθοδος απλής σχεδίασης σύμμικτων πλακών σε υψηλές θερμοκρασίες

22 Κρύα πειράματα και 22 Ιδανικά Ζεστά πειράματα (Τόσο με MS όσο και SS οπλισμό ενίσχυσης)

Αποτελέσματα από την εφαρμογή της μεθοδολογίας

Μηχανική συμπεριφορά σύμμικτων πλακών

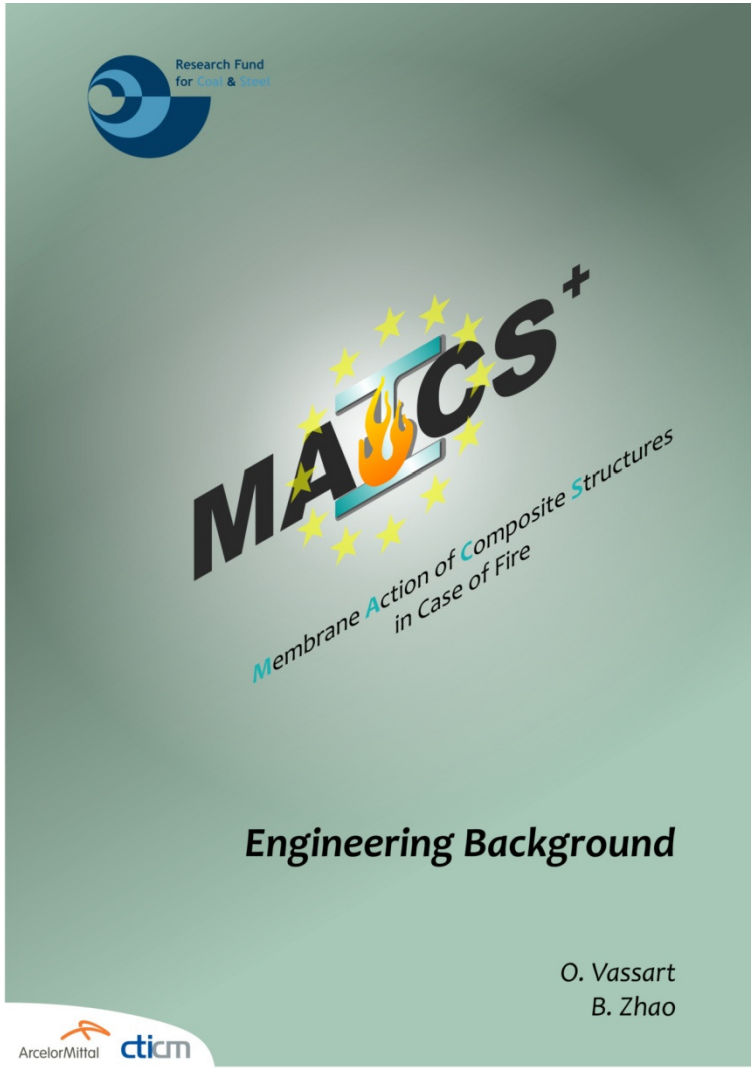
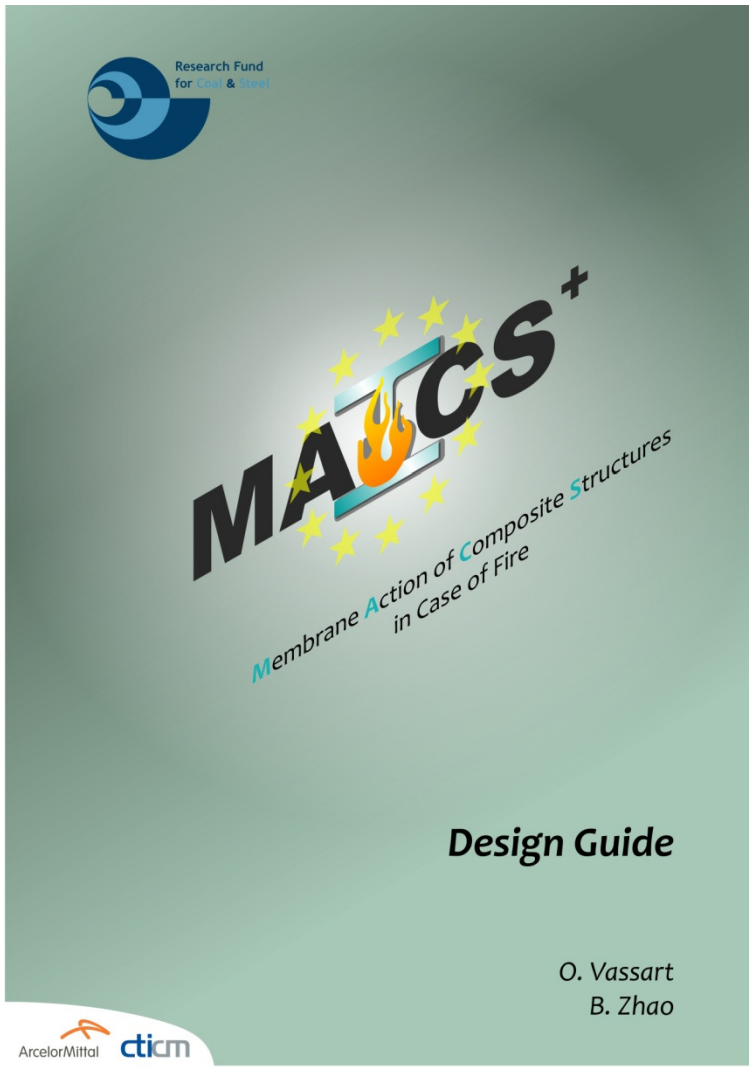
Μέθοδος απλής σχεδίασης πλακών οπλισμένου σκυροδέματος στους 20 ℃

Μέθοδος απλής σχεδίασης σύμμικτων πλακών σε υψηλές θερμοκρασίες

40 με 55% των δοκών μπορούν να είναι μη μονωμένες με την εφαρμογή προστασίας όπου χρειάζεται.

Διαθέσιμα έγγραφα

Μηχανική συμπεριφορά σύμμικτων πλακών

Μέθοδος απλής σχεδίασης πλακών οπλισμένου σκυροδέματος στους 20 °C

Μέθοδος απλής σχεδίασης σύμμικτων πλακών σε υψηλές θερμοκρασίες