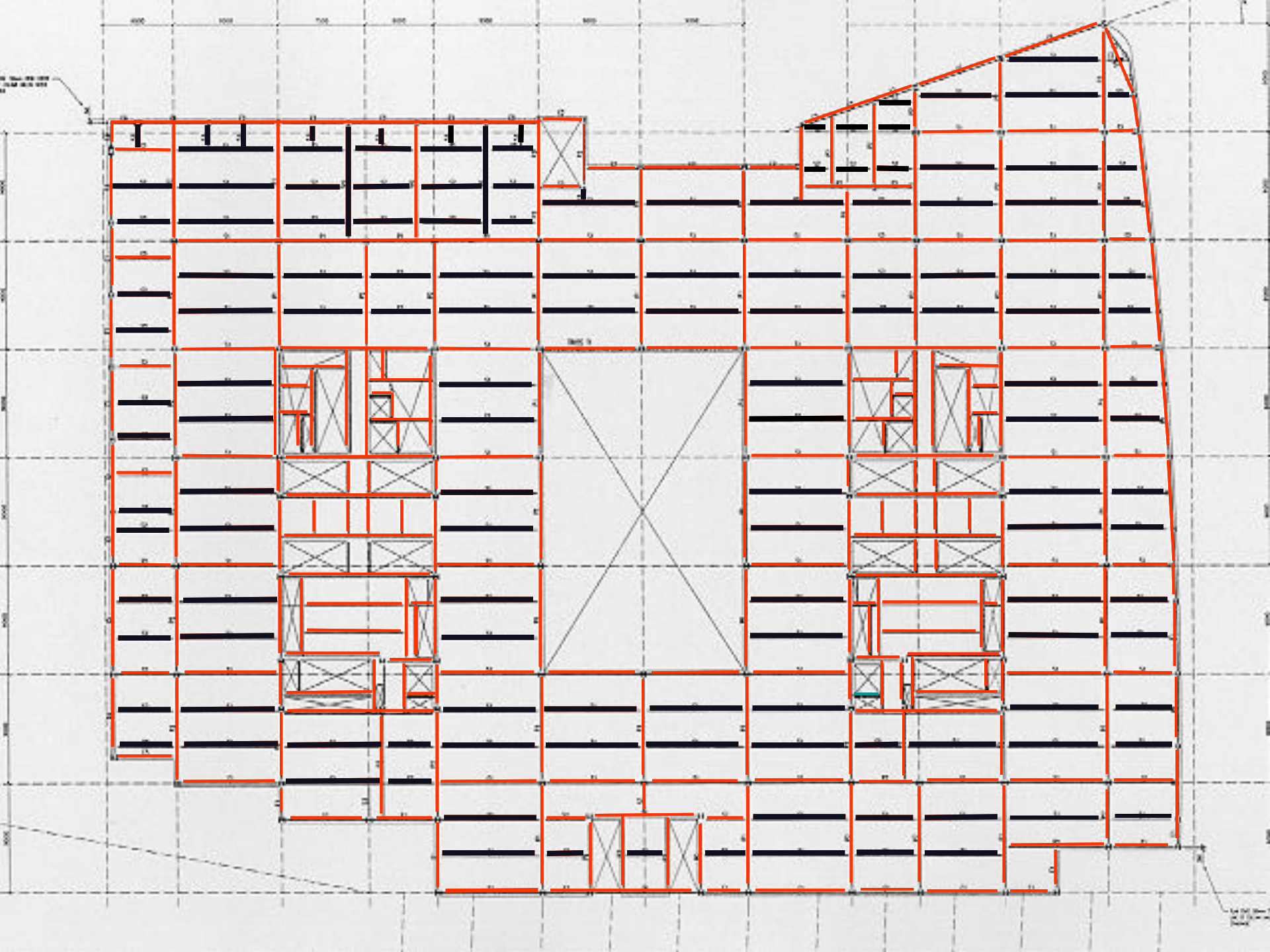
Research Fund for Coal & Steel

Komposiitvahelaed tulekahjuolukorras

Lihtsustatud arvutusmeetod

Arvutusmeetodi olemus



Ettekande sisu

Komposiit-vahelae mehaaniline käitumine

Lihtsustatud arvutusmeetod temperatuuril 20°C

Lihtsustatud arvutusmeetod tulekahjus

- **Komposiitvahelagede mehaaniline käitumine tulekahju**
- **Raudbetoonplaatide lihtsustatud arvutusolukord tavatemperatuuril 20 °C**
  - **vahelaeplaadi mudel**
  - **purunemismudelid**
- **Komposiitvahelagede lihtsustatud arvutusmeetod kõrgetel temperatuuridel**
  - **üleminek tavatemperatuurilt tulekahjule**
  - **membraanjõudude mõju kõrgel temperatuuril**
  - **tulekaitseta talade mõju**
  - **tulekaitega talade arvutus**

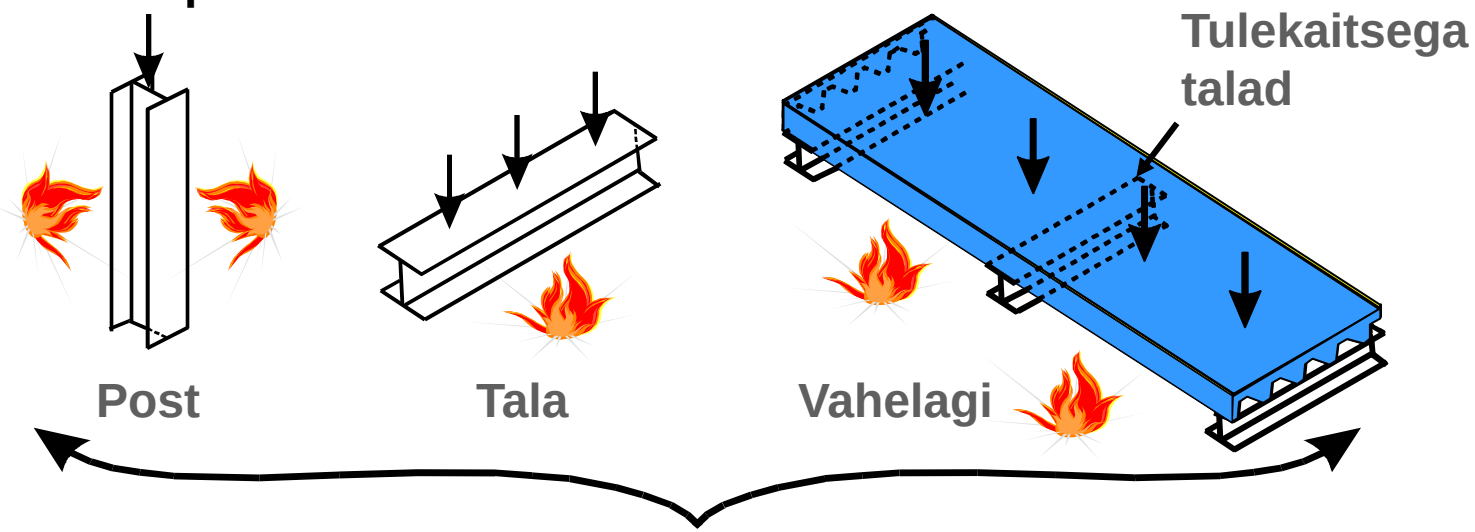
Koposiitvahelagede mehaaniline käitumine

Komposiit-vahelae mehaaniline käitumine

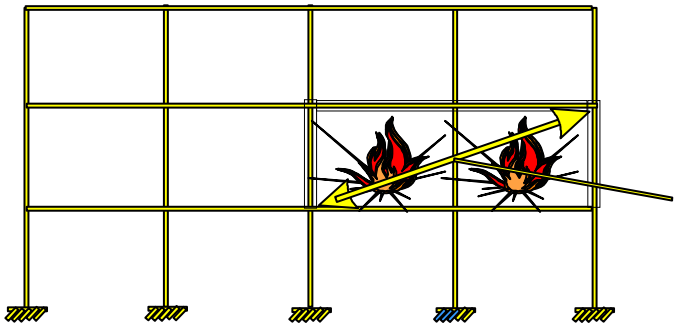
Lihtsustatud arvutusmeetod temperatuuril 20°C

Lihtsustatud arvutusmeetod tulekahjus

- **Tavapärane arvutusmeetod**



Tavapäraste arvutusmeetodite kasutamisel eeldatake, et üksik element käitub sama moodi nagu tegelikus ehitises teistega ühendatud element



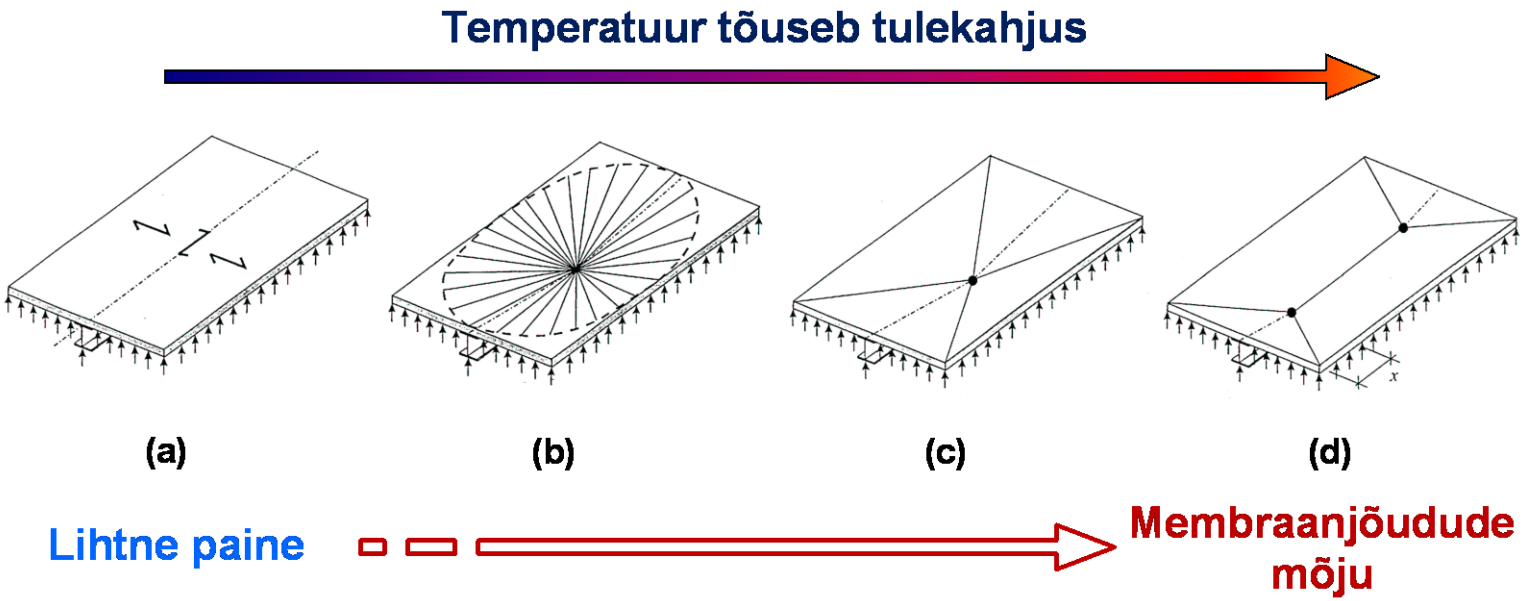
Komposiitvahelagede mehaaniline käitumine

Komposiit-vahelae mehaaniline käitumine

Lihtsustatud arvutusmeetod temperatuuril 20°C

Lihtsustatud arvutusmeetod tulekahjus

- **Komposiitvahelae tegelik toimimine, betoonplaat on armatuurvõrguga armeeritud**



Raudbetoonplaadi lihtsustatud arvutusmeetod temperatuuril 20 °C

Komposiit-vahelae mehaaniline käitumine

Lihtsustatud arvutusmeetod temperatuuril 20°C

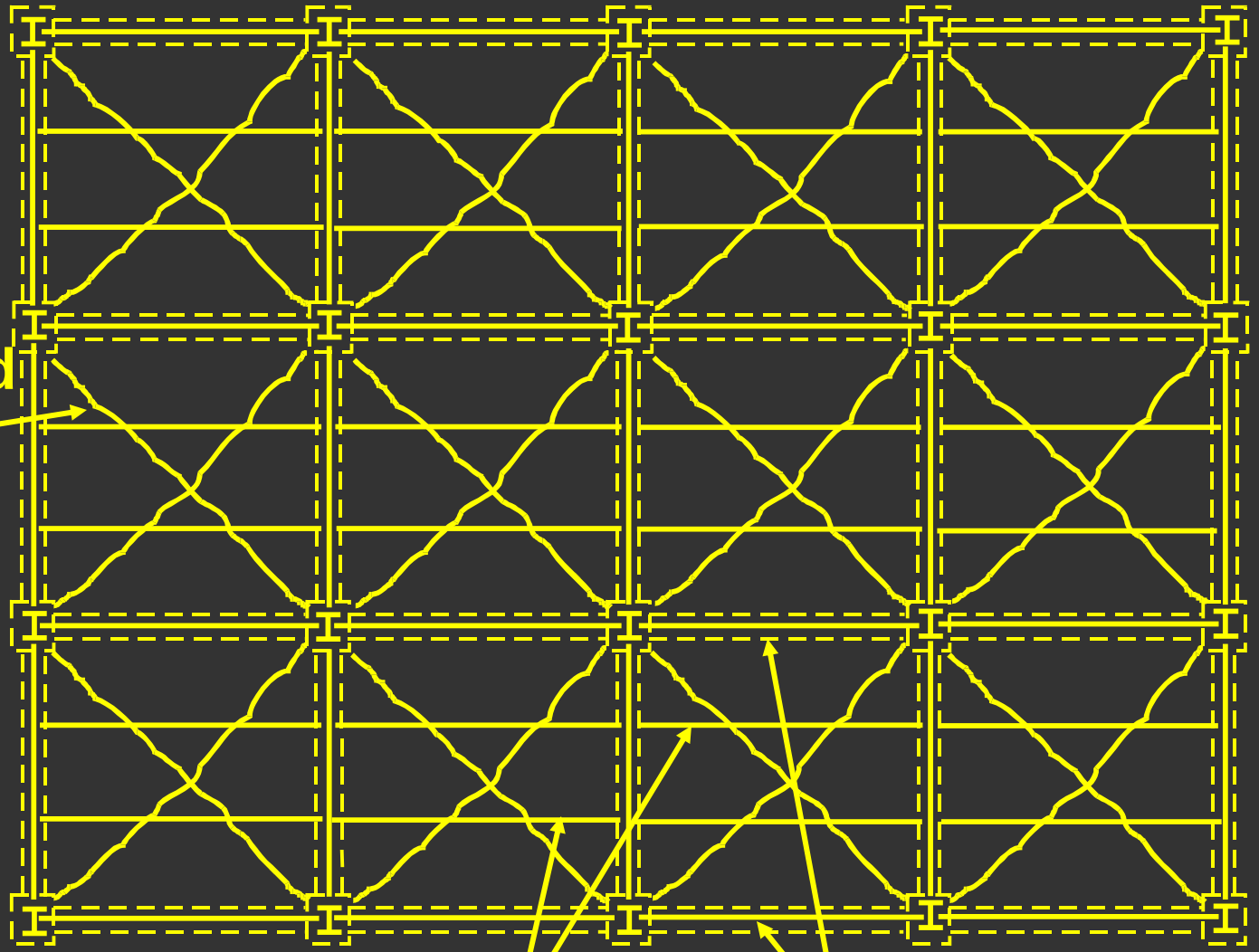
Lihtsustatud arvutusmeetod tulekahjus

- **Meetodi töötas välja Professor Colin Bailey**

  University of Manchester

  varem Building Research Establishment (BRE)

Membraanjõudude mõju tules



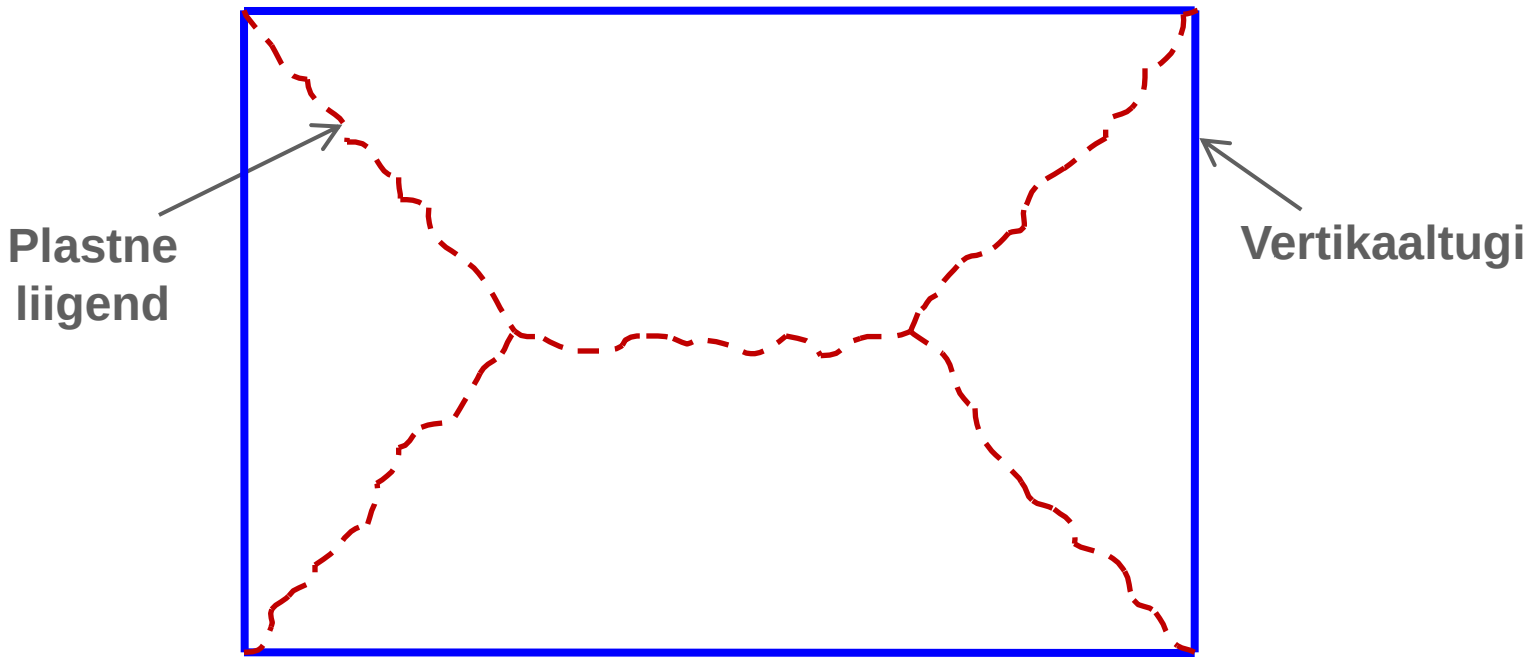
Raudbetoonplaadi lihtsustatud arvutusmeetod temperatuuril 20 °C

Komposiit-vahelae mehaaniline käitumine

Lihtsustatud arvutusmeetod temperatuuril 20°C

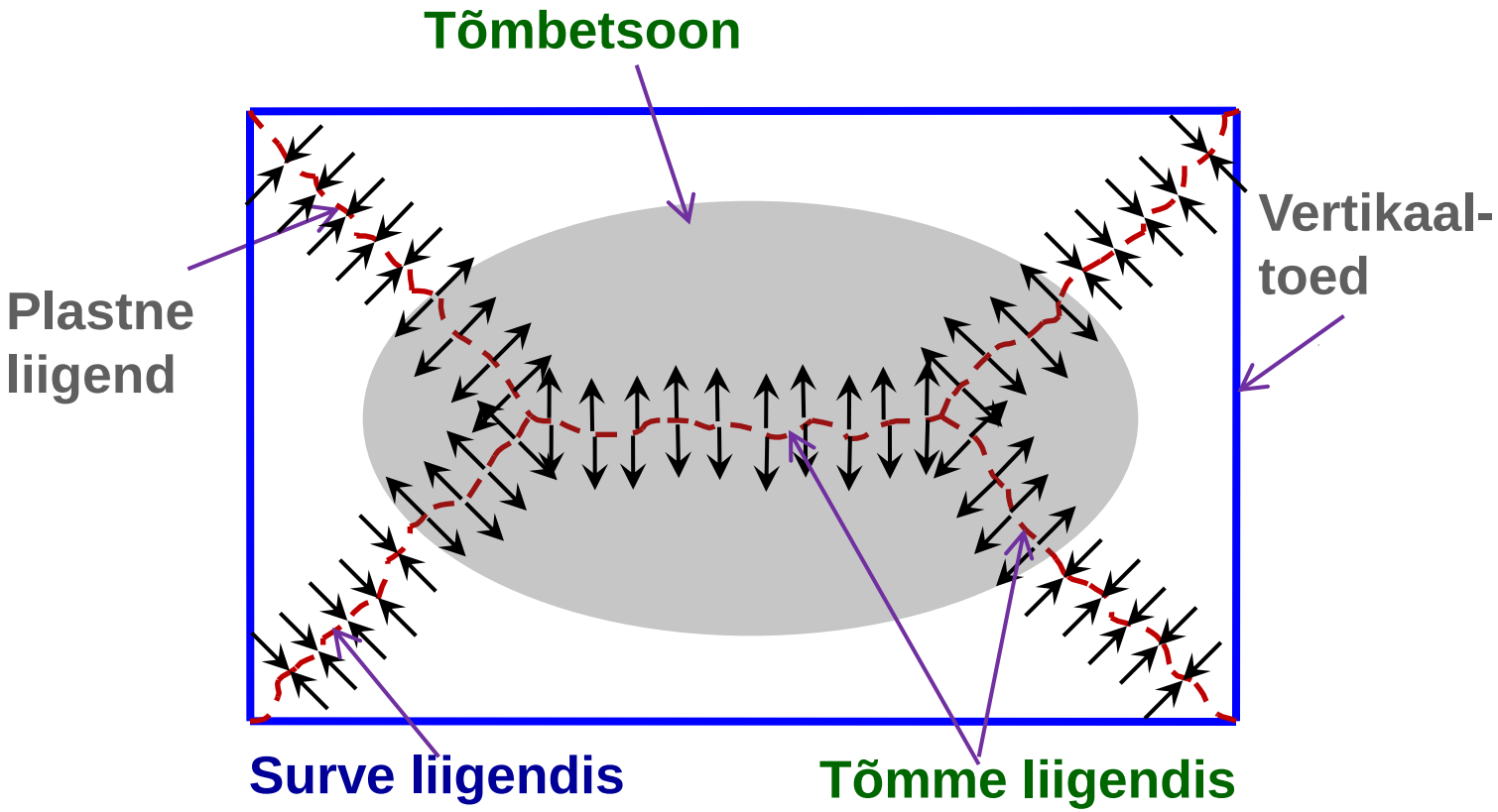
Lihtsustatud arvutusmeetod tulekahjus

- **Vahelaeplaadi mudel, neljal küljel vertikaalsed toed** (Plastsed joonliigendid) – horisontaalidemed puuduvad – väga suur tagavara



Raudbetoonplaadi lihtsustatud arvutusmeetod temperatuuril 20 °C

- **Vahelaeplaadi mudel – membraanjõudude mõjul plastsete liigendite kandevõime kasvab**



Komposiit-vahelae mehaaniline käitumine

Lihtsustatud arvutusmeetod temperatuuril 20°C

Lihtsustatud arvutusmeetod tulekahjus

Raudbetoonplaadi lihtsustatud arvutusmeetod temperatuuril 20 °C

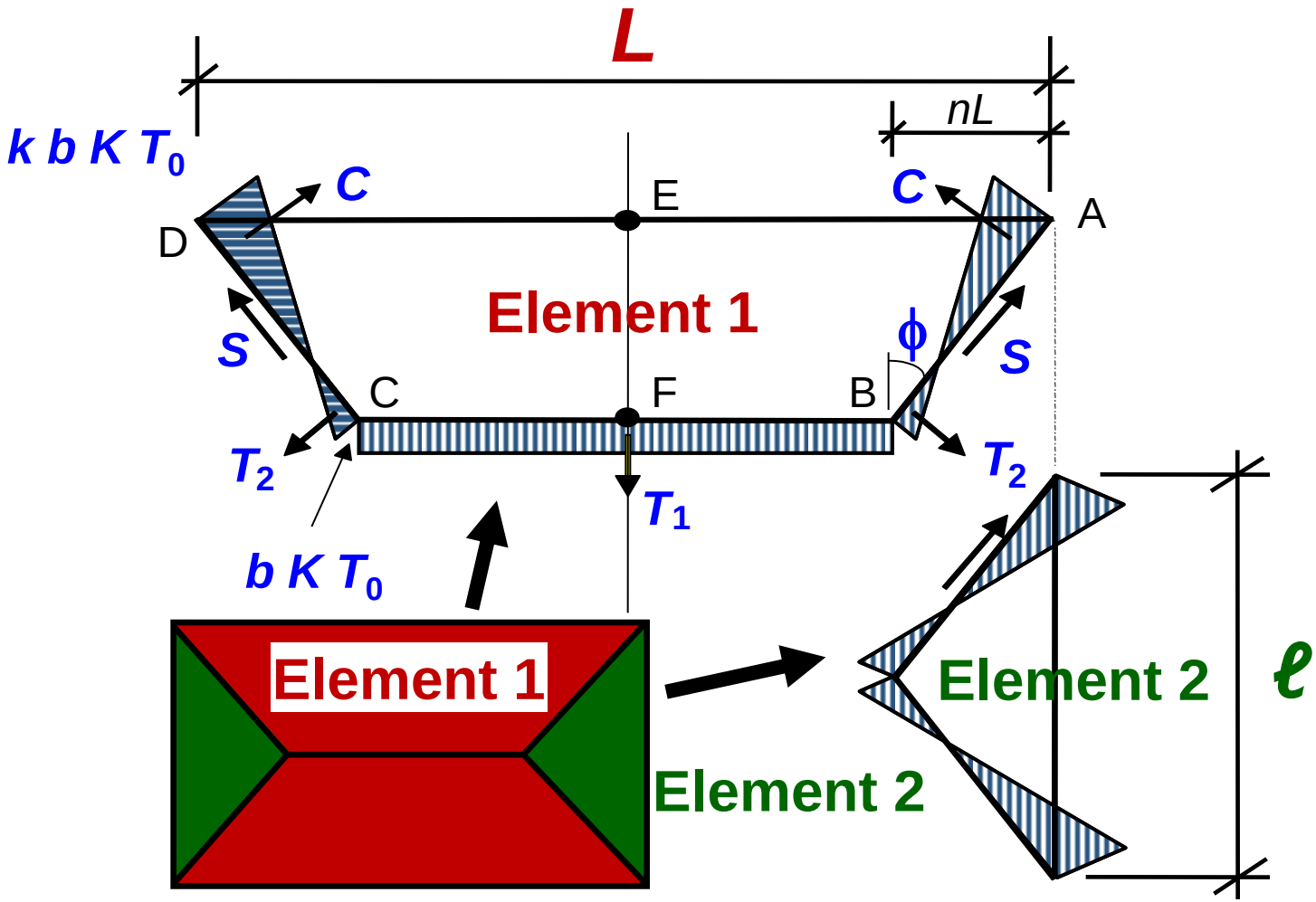
Research Fund for Coal & Steel

Komposiit-vahelae mehaaniline käitumine

Lihtsustatud arvutusmeetod temperatuuril 20°C

Lihtsustatud arvutusmeetod tulekahjus

- **Membraanjõud liigendites (1)**



Raudbetoonplaadi lihtsustatud arvutusmeetod temperatuuril 20 °C

- **Membraanjõud liigendites (2)**

k*, *b	membraanjõudude suurust määratlevad parameetrid,
n	plastsusteooriast tulenev tegur,
K	on lühema ja pikema silde armatuuri pindade suhe,
KT_0	on armatuurvõrgu kandevõime ühilaius kohta,
T_1, T_2, C, S	on membtaanjõud plastsetes liigendites.

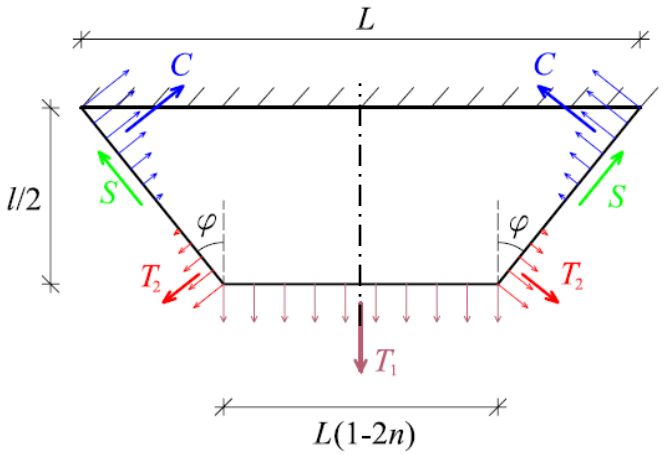
Raudbetoonplaadi lihtsustatud arvutusmeetod temperatuuril 20 °C

Komposiit-vahelae mehaaniline käitumine

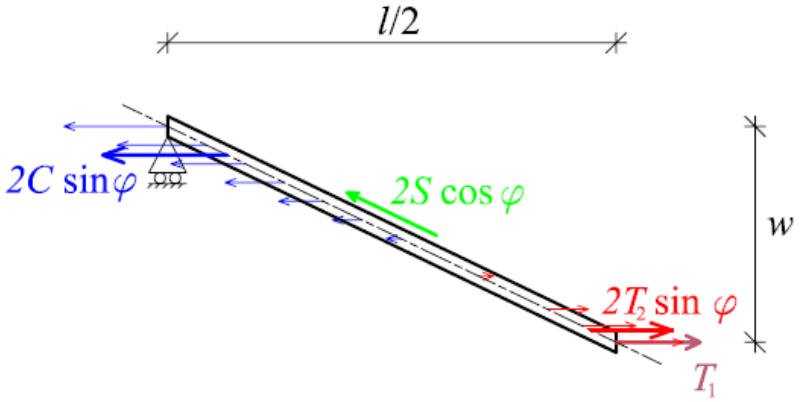
Lihtsustatud arvutusmeetod temperatuuril 20°C

Lihtsustatud arvutusmeetod tulekahjus

- **Membraanjõudude mõju (1)**
  - **Element 1**



Membraanjõud plaadi tasandis



Membraanjõudud külgvaates, läbipainde *w* puhul

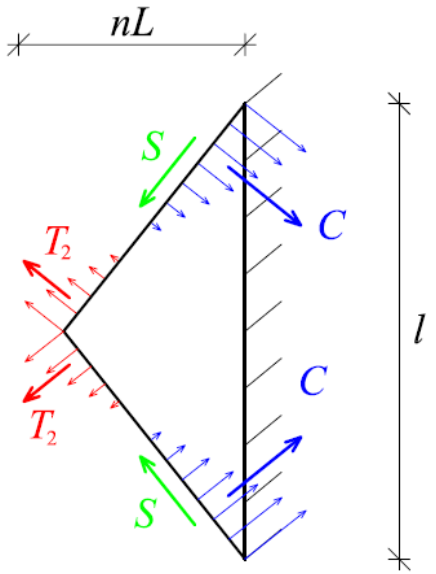
Raudbetoonplaadi lihtsustatud arvutusmeetod temperatuuril 20 °C

Komposiit-vahelae mehaaniline käitumine

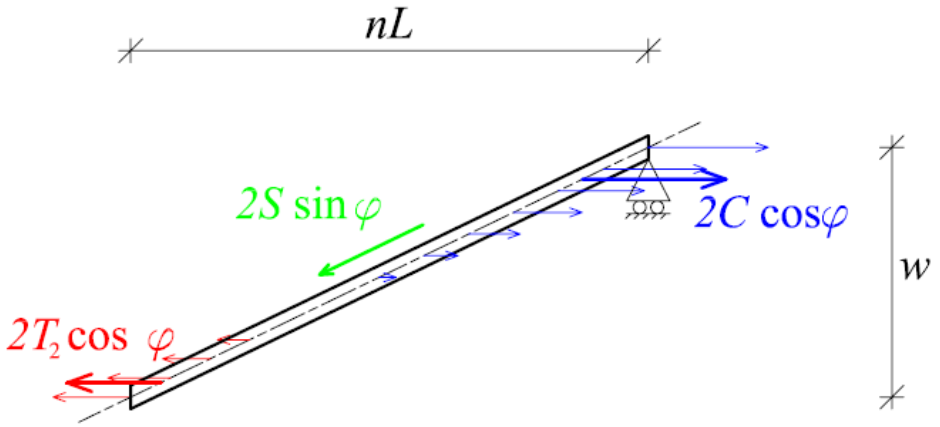
Lihtsustatud arvutusmeetod temperatuuril 20°C

Lihtsustatud arvutusmeetod tulekahjus

- **Membraanjõudude mõju (2)**
  - **Element 2**



Membraanjõud plaadi tasandis



Membraanjõudud külgvaates, läbipainde *w* puhul

- **Membraanjõudue mõju (3)**
  - **Parandustegur igale elemendile**

$e_{i,\ i=1,2}$ = { e_{im} : membraanjõude arvestav parandustegur elemendile i + e_{ib} : plaadi tasandis mõjuvaid jõude arvestav paindekandevõime parandustegur.

  - **Üldine parandusegur**

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

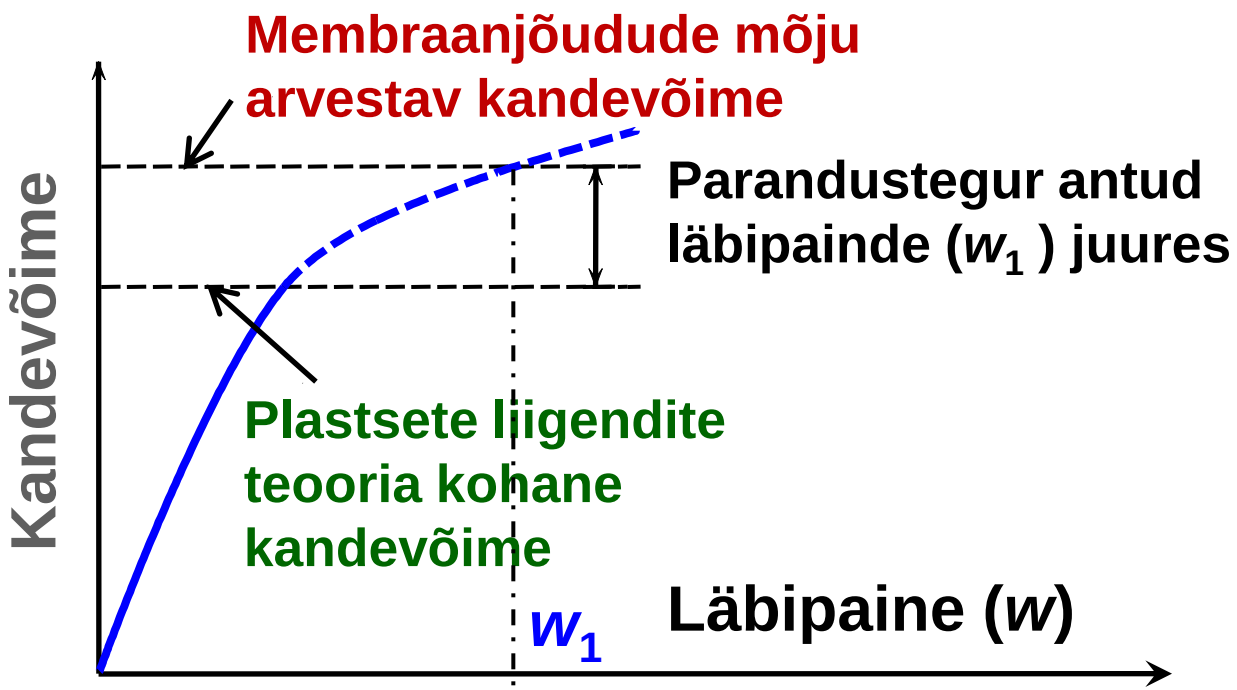
kus:

μ armatuuri ortotroopsust arvestav tegur

a plaadi külgede suhe = L/ℓ

Raudbetoonplaadi lihtsustatud arvutusmeetod temperatuuril 20 °C

- **Membraanjõudude mõju (4)**



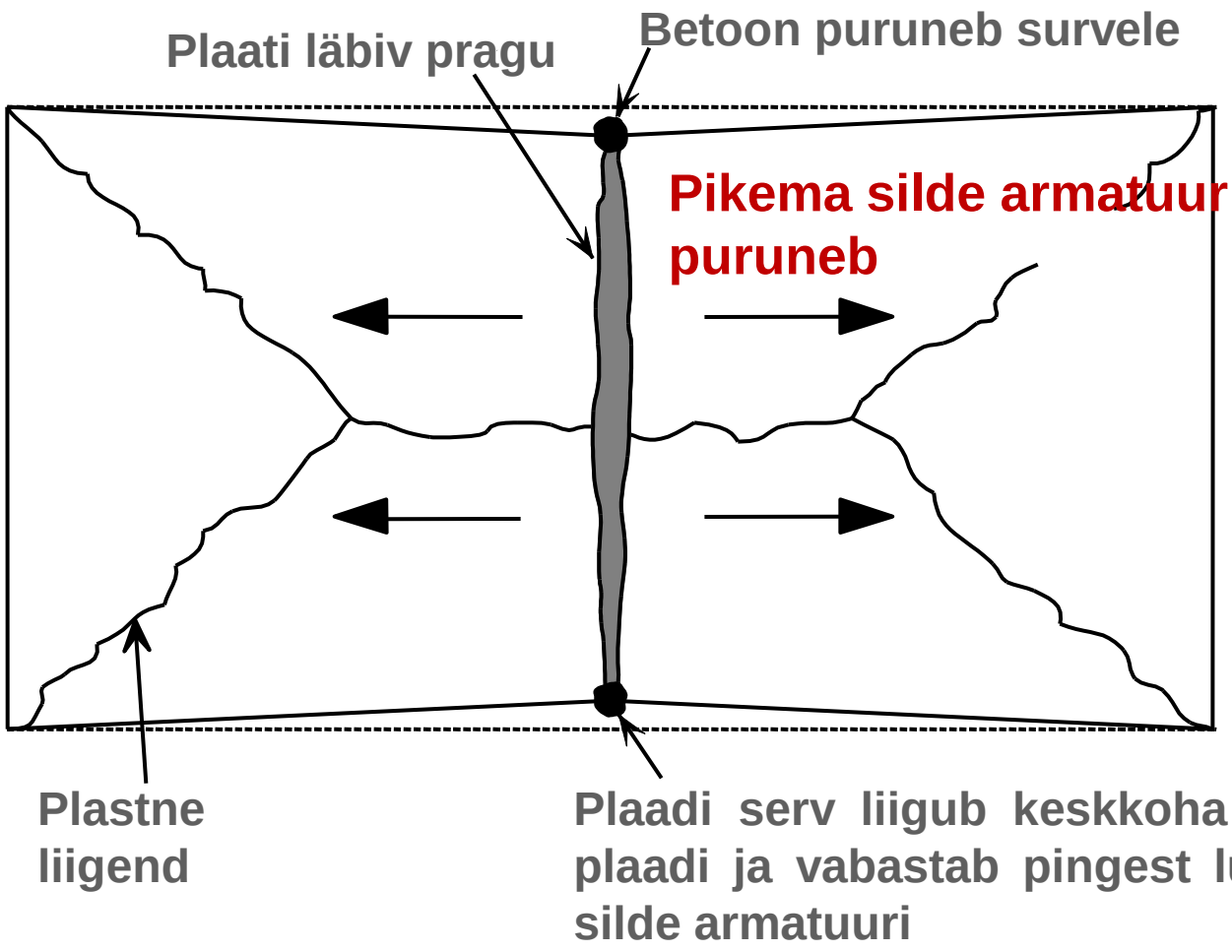
Raudbetoonplaadi lihtsustatud arvutusmeetod temperatuuril 20 °C

Komposiit-vahelae mehaaniline käitumine

Lihtsustatud arvutusmeetod temperatuuril 20°C

Lihtsustatud arvutusmeetod tulekahjus

- **Purunemisviis** (armatuuri purunemine tõmbele)



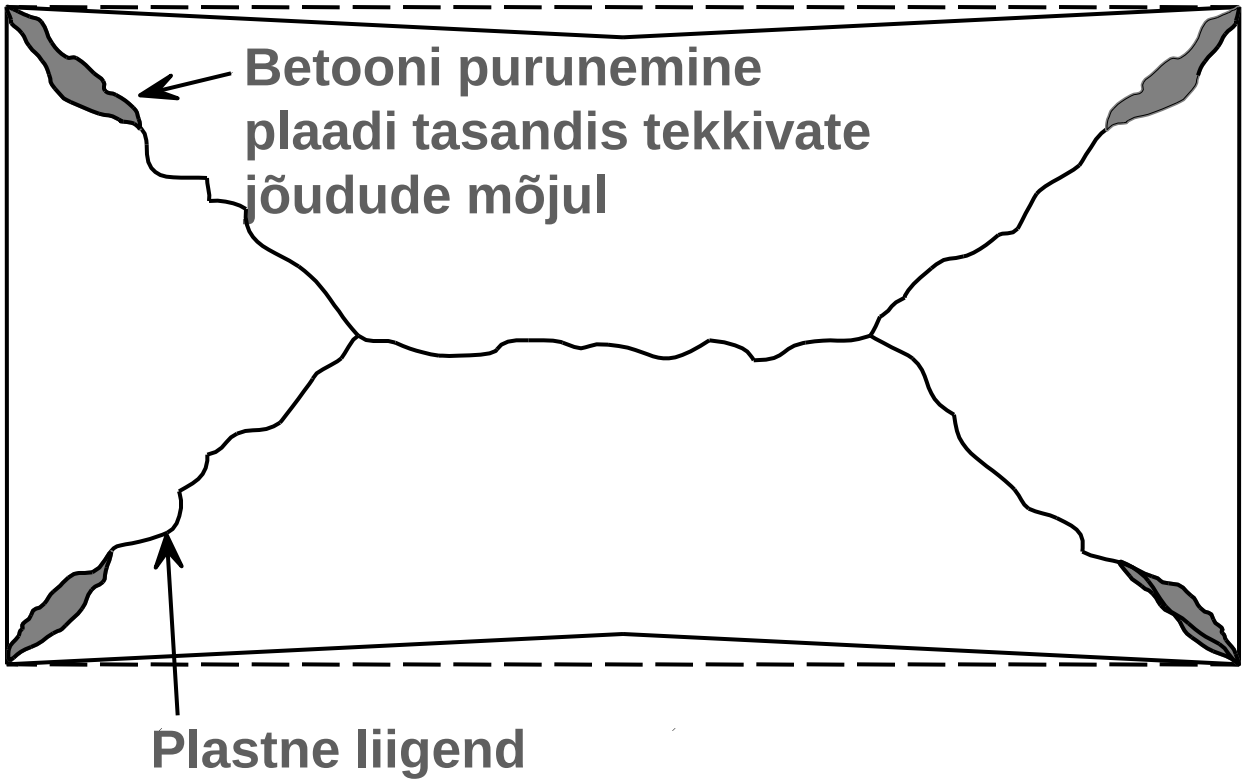
Raudbetoonplaadi lihtsustatud arvutusmeetod temperatuuril 20 °C

Komposiit-vahelae mehaaniline käitumine

Lihtsustatud arvutusmeetod temperatuuril 20°C

Lihtsustatud arvutusmeetod tulekahjus

- **Purunemisviis** (betooni purunemine survele)
  - **Tõenäolisem suhteliselt tugeva armatuurvõrgu puhul**



Raudbetoonplaadi lihtsustatud arvutusmeetod temperatuuril 20 °C

- **Purunemisviis** (katseline kontroll)

Komposiit-vahelae mehaaniline käitumine

Lihtsustatud arvutusmeetod temperatuuril 20°C

Lihtsustatud arvutusmeetod tulekahjus

Armatuuri purunemine tõmbele

Betooni purunemine survele

Lihtsustatud arvutusmeetod kõrgetel temperatuuridel

Komposiit-vahelae mehaaniline käitumine

Lihtsustatud arvutusmeetod temperatuuril 20°C

Lihtsustatud arvutusmeetod tulekahjus

- **Vahelaeplaat kõrgetele temperatuuridel (1)**
  - **aluseks sama mudel, mis tavatemperatuuril**
  - **arvesse võetakse temperatuuri mõju materjali omadustele.**

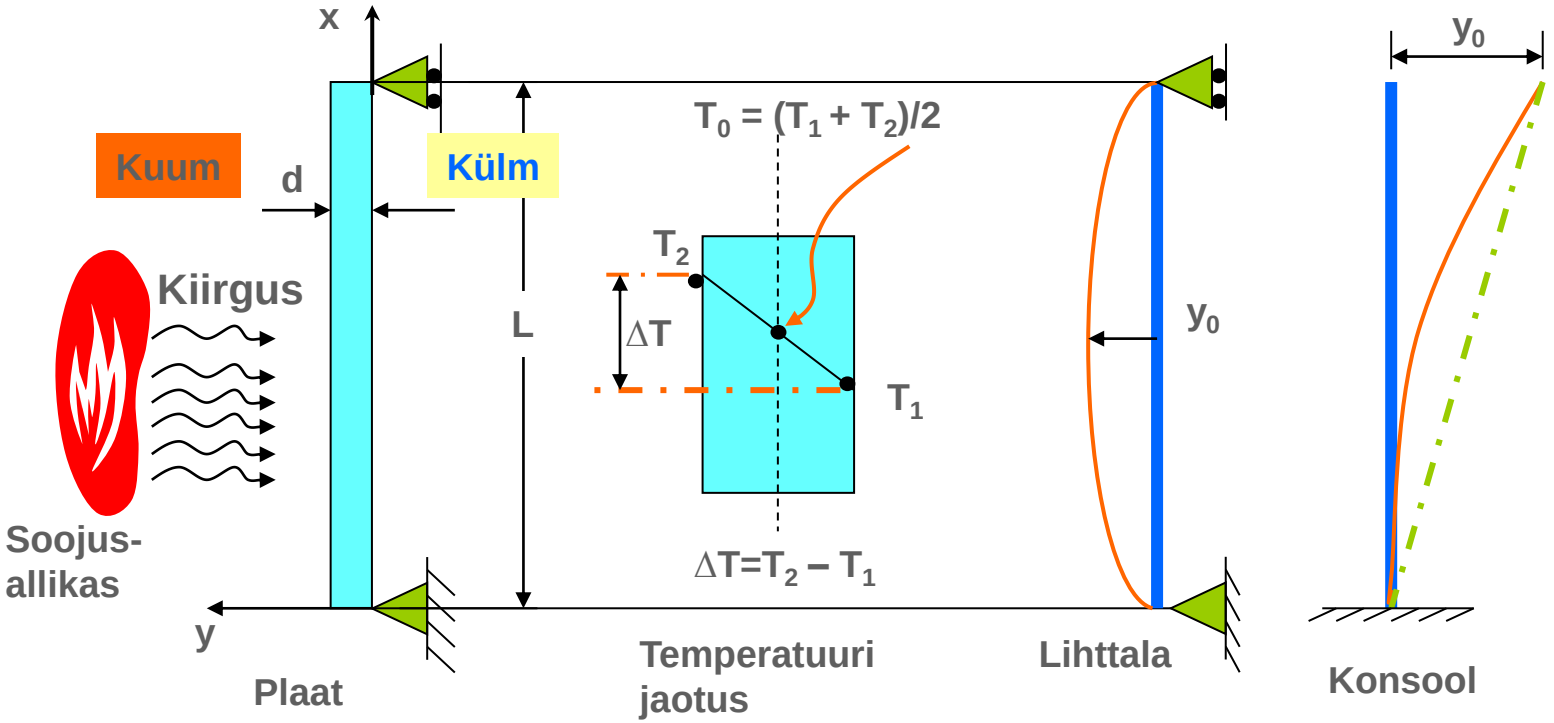
Lihtsustatud arvutusmeetod kõrgetel temperatuuridel

Komposiit-vahelae mehaaniline käitumine

Lihtsustatud arvutusmeetod temperatuuril 20°C

Lihtsustatud arvutusmeetod tulekahjus

Plaadi vaba kõverdumine



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

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

Kõverdumist põhjustab temperatuuride erinevus $\Delta T=T_2 - T_1$ või gradient $\Delta T/d$

Lihtsustatud arvutusmeetod kõrgetel temperatuuridel

Komposiit-vahelae mehaaniline käitumine

Lihtsustatud arvutusmeetod temperatuuril 20°C

Lihtsustatud arvutusmeetod tulekahjus

- **Vahelaeplaat kõrgetel temperatuuridel (2)**
  - **Temperatuuri gradiendist plaadi paksuse ulatuses tekib plaadi termiline kõverdumine :**

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

kus:

h on plaadi efektiivpaksus

ℓ on plaadi lühem külg

α on betooni soojuspaisumistegur

Kergbetoonidele, vastavalt EN 1994-1-2 võetakse

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

Normaalbetoonidele

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

T_2 on temperatuur plaadi alumisel pinnal (tule mõju poolel)

T_1 on temperattuur plaadi ülemisel pinnal (tule mõju vastaspoolel)

Lihtsustatud arvutusmeetod kõrgetel temperatuuridel

- **Vahelaeplaat kõrgetel temperatuuridel (3)**
  - **Eeldatakse keskmist mehaanilist deformatsiooni, mis vastab poolele voolavuspiiri pingele**
  - **Plaadi läbipaine vertikaalkoormusest, lähtudes paraboolsest läbipaindekujust:**

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

kus:

E_s on armatuurterase elastsusmoodultemperatuuril 20°C
f_{sy} on armatuurterase voolavuspiir temperatuuril 20°C
L plaadi pikem sille

Lihtsustatud arvutusmeetod kõrgetel temperatuuridel

Komposiit-vahelae mehaaniline käitumine

Lihtsustatud arvutusmeetod temperatuuril 20°C

Lihtsustatud arvutusmeetod tulekahjus

- **Vahelaeplaat kõrgetel temperatuuridel (4)**
  - **Vahelaeplaadi maksimaalne läbipaine:**

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

  - **Siiski ei tohi plaadi läbipaine ületada piirväärtusi:**

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

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

Lihtsustatud arvutusmeetod kõrgetel temperatuuridel

Komposiit-vahelae mehaaniline käitumine

Lihtsustatud arvutusmeetod temperatuuril 20°C

Lihtsustatud arvutusmeetod tulekahjus

- **Vahelaeplaadi mudeli konservatiivsus kõrgetel temperatuuridel**
  - **eeldatakse armatuuri katkemist tugedel;**
  - **termilisest kõverdumisest tingitud läbipainded on alahinnatud võrreldes teoreetiliste arvutustulemustega;**
  - **termiline kõverdumine on arvutatud plaadi lühema külje järgi**
  - **ei arvestata täiendava vertikaalse deformatsiooniga, mida põhjustab termiline paisumine tugedel paindejäiga kinnitusega plaadis pärast selle stabiilsuse kaotust;**
  - **profiilpleki mõju hüljartakse;**
  - **hüljatakse armatuuri venivuse kasv temperatuuri kasvades**

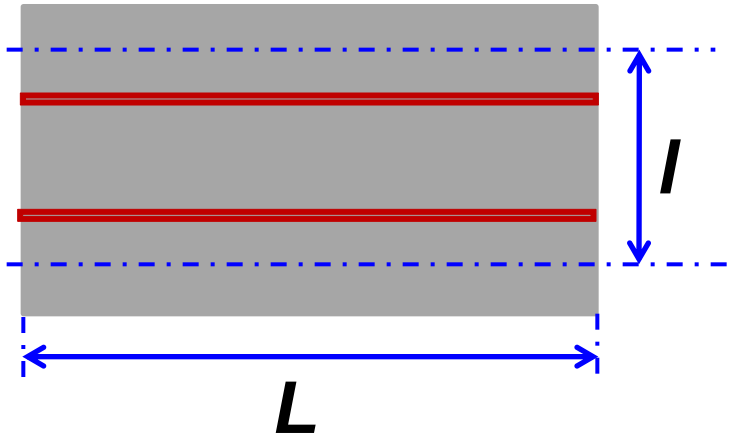
Lihtsustatud arvutusmeetod kõrgetel temperatuuridel

- **Tulekaitseta terastalad parandavad vahelaeplaadi kandevõimet (1)**
  - **Aheljoonena tõmbele töötavaid tulekaitseta talasid ei võeta arvesse**
  - **Tulekaitseta talade paindekandevõime võetakse arvesse järgmiste eeldustega:**
    - mõlemad toed ainult vertikaaltoed
    - terasristlõikes temperatuur arvutatakse vastavalt EN1994-1-2 4.3.4.2, võttes arvesse varjestus mõju
    - terase ja betooni termilised ja mehaanilised omadused vastavalt EN 1994-1-2

Lihtsustatud arvutusmeetod kõrgetel temperatuuridel

- **Tulekaitseta terastalad parandavad vahelaeplaadi kandevõimet (2)**
  - **parandustegur:**

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



kus:

n_{ub} tulekaitseta talade arv

$M_{Rd,fi}$ on iga tulekaitseta tala paindekandevõime

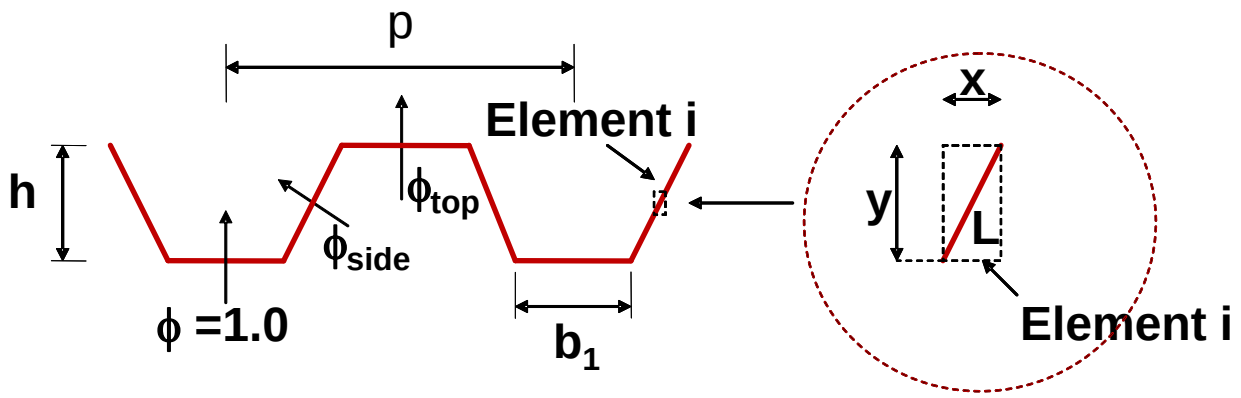
Lihtsustatud arvutusmeetod kõrgetel temperatuuridel

Komposiit-vahelae mehaaniline käitumine

Lihtsustatud arvutusmeetod temperatuuril 20°C

Lihtsustatud arvutusmeetod tulekahjus

- **Temperatuuri arvutus komposiittalas**
  - **Numbriliste meetodite baasil**
    - 2D lõplike vahede meetod
    - Nii terase kui betooni materjalide termilised omadused Eurokoodeksist Eurocode 4 osa 1-2
    - Komposiitplaatidel võetakse arvesse varjestusefekt



Lihtsustatud arvutusmeetod kõrgetel temperatuuridel

Komposiit-vahelae mehaaniline käitumine

Lihtsustatud arvutusmeetod temperatuuril 20°C

Lihtsustatud arvutusmeetod tulekahjus

- **Tulekaitsega servatalade kandevõime**
  - **Üldine vahelae plastne käitumine piirolukorras sõltub tala kandevõimest**
  - **Koormusaste tulekahjuolukorras**
    - Tulekaitsega talade lisakoormus
  - **Kriitilise temperatuuri lihtsustatud arvutusmeetod (EN 1994-1-2)**

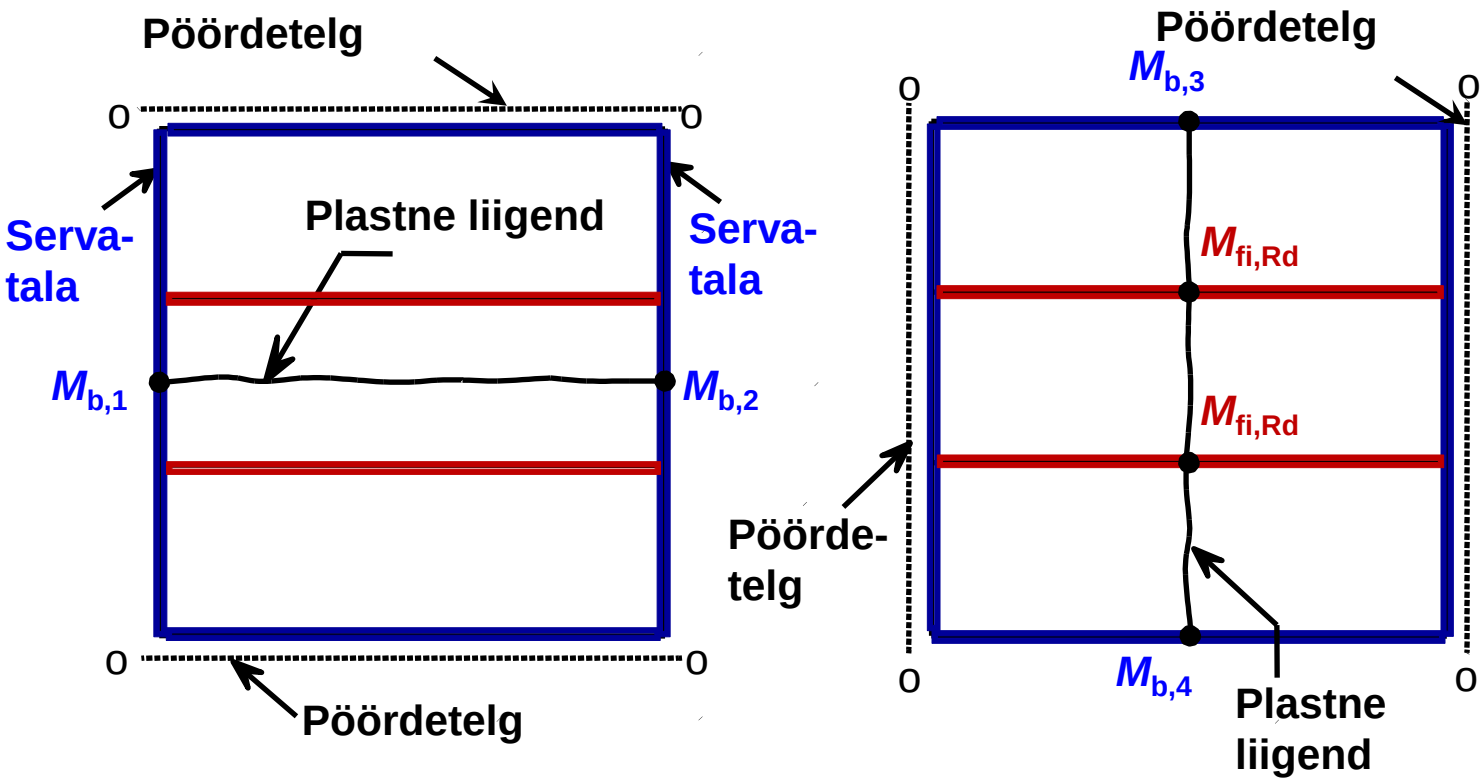
Lihtsustatud arvutusmeetod kõrgetel temperatuuridel

- **Üldise plastsusteooria alusel määratud tulekaitseta servatalade kandevõime**

Komposiit-vahelae mehaaniline käitumine

Lihtsustatud arvutusmeetod temperatuuril 20°C

Lihtsustatud arvutusmeetod tulekahjus



Meetodi kontroll võrdluskatsetega

Komposiit-vahelae mehaaniline käitumine

Lihtsustatud arvutusmeetod temperatuuril 20°C

Lihtsustatud arvutusmeetod tulekahjus

7 täismõõtmelise vahelae katset Cardingtonis

1 suuremõõtmeline katse BRE-s (tavatemperatuur)

10 katset tavatemperatuuril 1960/1970-ndatel

15 katset väikesemõõdulistel mudelitel, Sheffield University, 2004 aastal

44 katset tavatemperatuuril ja tulekahjus väikesemõõdulistel mudelitel, University of Manchester

FRACOF ja COSSFIRE katsed ISO tulekahju tingimustes

Täismõõtmeliste konstruktsioonide katsed, Ulster University, 2010.

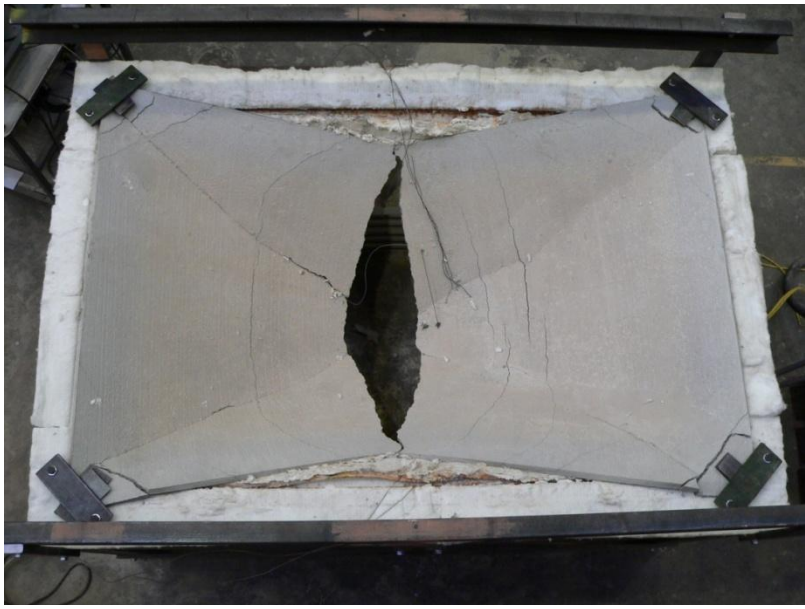
Raudbetoon vahelagede katseline ja arvutuslik uurimine – väikesemõõdulised katsed

Komposiit-vahelae mehaaniline käitumine

Lihtsustatud arvutusmeetod temperatuuril 20°C

Lihtsustatud arvutusmeetod tulekahjus

22 katset tavatemperatuuril ja 22 identset katset tulekahjus (mõlemad - MS ja SS armatuurvõrk)



Esitatud metoodika rakendamine

Komposiit-vahelae mehaaniline käitumine

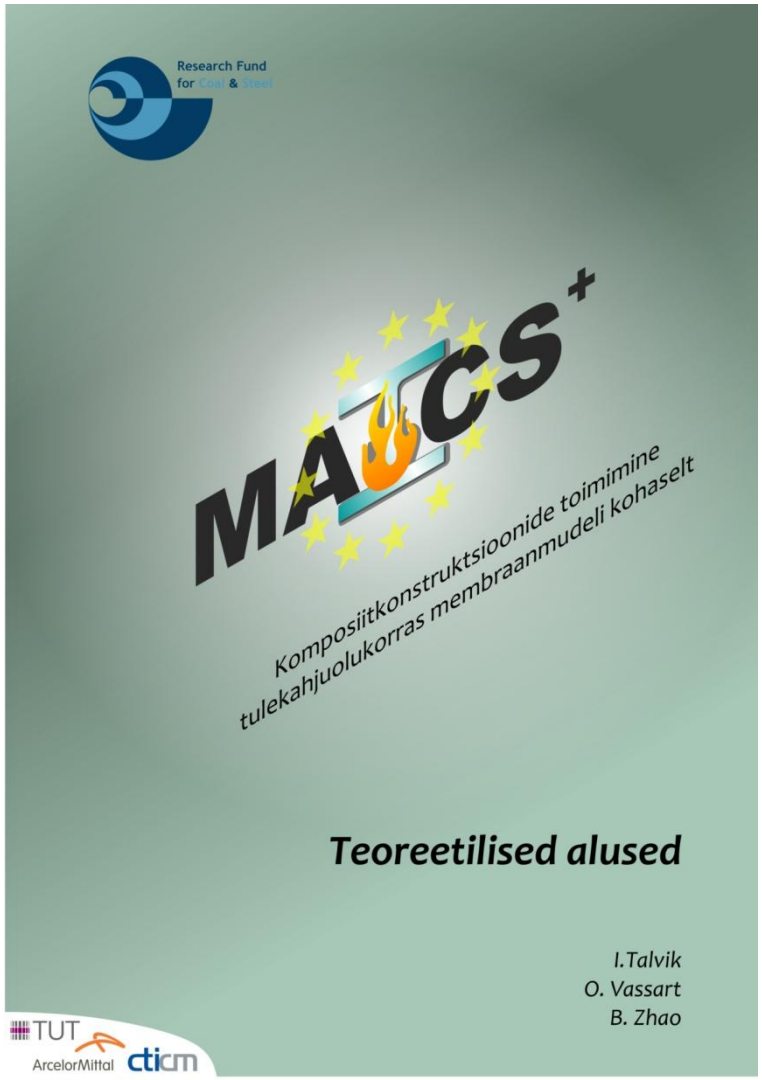
Lihtsustatud arvutusmeetod temperatuuril 20°C

Lihtsustatud arvutusmeetod tulekahjus

40 kuni 55% taladest on tulekaitseta, kui tulekaitse paigaldatakse sinna, kus seda on vaja.

Dokumendid

Komposiit-vahelae mehaaniline käitumine

Lihtsustatud arvutusmeetod temperatuuril 20°C

Lihtsustatud arvutusmeetod tulekahjus