

## Áhrif brunaferla á hitaþróun í steinsteypu




Atli Rútur Þorsteinsson



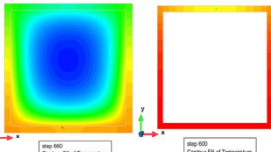


## Bakgrunnur

- Háskóli Íslands 2010 - B.Sc. Umhverfis- og byggingarverkfræði
  - Áhersla á hönnun mannvirkja
- Edinborgarháskóli 2012 - M.Sc. Burðarþols- og brunaverkfræði
  - Lokaverkefni: „Punching shear of flat slabs in fire conditions“
- Efla verkfræðistofa frá 2012 – Bruna- og öryggisvið
  - Brunahönnun bygginga
  - Hita- og reykflæðisgreiningar
  - Ólínulegar FEM greiningar á burðarvirkjum við bruna
  - Rýmingargreiningar
  - O.fl.



## Steinsteypa við bruna

- Steinsteypt burðarvirki almennt talin hafa góða brunamótstöðu
  - Lág varmaleiðni (W/mK)
  - Mikil varmarýmd (J/kgK)
- Helstu áhrif bruna á steinsteypu
  - Þrýstistyrkur minnkar
  - Vatn gufar upp -> gufuþrýstingur
  - Hitamismunur -> spennur
  - Hitapensla
  - „Flögnun“ (e. spalling)

## Brunaferli

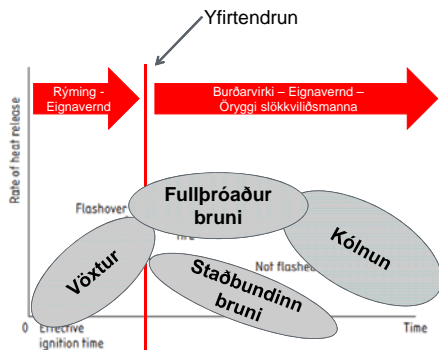






Figure 8 — Fire growth in an uncontrolled room fire

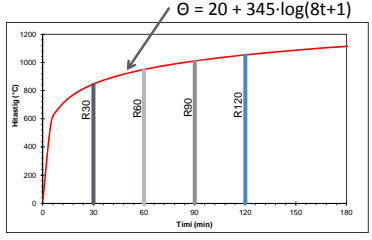


Mynd: PD7974-0, Susan Lamont, 2001



## Staðlað brunaferli

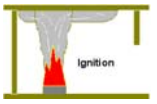
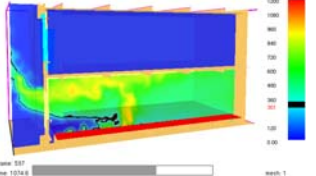
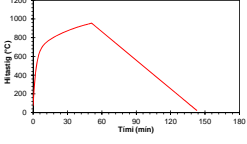



- ISO 834 brunaferlið (staðlað brunaferli)
  - Stakar burðareiningar viðhaldi styrk og formbreytist ekki of mikið við staðlaðan bruna í fyrirskrifaðan tíma (R30, R60, R90 o.s.frv.)
  - Raunbrunaferli venjulega mjög ólík ISO 834

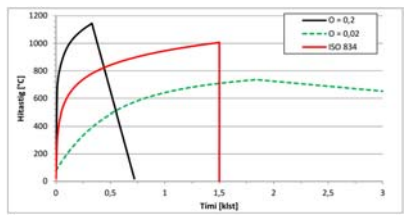
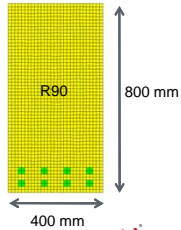

## Náttúruleg brunaferli

- Brunaferli sem tekur tillit til aðstæðna í viðkomandi rými
  - Stærð og hæð rýmis, opnanir, byggingarefni, brunaálag (MJ/m<sup>2</sup>) o.fl.
- “Parametric” brunaferli skv. Eurocode
- Einföld reykmodel (Zone models)
- Bruna- og reykflæðilíkon (CFD)

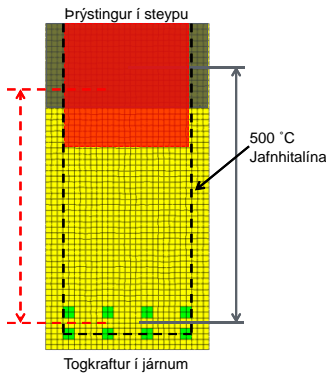

## Dæmi: Steinsteypur biti í skrifstofu

- Skrifstofubygging
  - Brunahólf 500 m<sup>2</sup>
  - Lofthæð 3,5 m
  - Brunaálag 511 MJ/m<sup>2</sup>
- Brunaferlin
  - 90 mínútna staðlaður bruni (ISO 834)
  - Parametric brunaferli (O = 0,2)
  - Parametric brunaferli (O = 0,02)

## Burðarþol

- Steinsteypur biti
  - Þversnið 400 x 800 mm
    - Steypustyrkur  $f_{ck} = 30$  MPa
  - Járbending 8K32 mm
    - Stálstyrkur  $f_{yk} = 300$  MPa
  - Steypuhula 25 mm
    - Uppfyllir R90 brunamótstöðukröfu
- Vægisþol þversniðs
  - Plastísk greining á þversniði
  - Flotstyrkur járna - dýpt þrýstisvæðis
- Við bruna
  - Minna þversnið (> 500 °C ekki með)
  - Dýpra þrýstisvæði (styttri armur)
  - Lægri styrkur járna (vegna hita)

### Jaðarskilyrði og varmaleiðni

- Jaðarskilyrði:
 
$$\dot{h}_{net,d} = \underbrace{\alpha_c(\theta_g - \theta_m)}_{\text{Varmastreymi}} + \underbrace{\epsilon_m \epsilon_f \sigma(\theta_g^4 - \theta_m^4)}_{\text{Varmageislun}}$$
- Hitadreifing innan þversniðs:
 
$$\frac{\partial}{\partial x} \left( k_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( k_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) + Q = \rho c \frac{\partial T}{\partial t}$$

Varmaleiðni

EFLA  
VERKFRÆÐISTOFA

### Varmæiginleikar steypu við bruna

- Varmarýmnd
  - Háð rakastigi
- Varmaleiðni
  - Skilgreind efri og neðri mörk

- Gert ráð fyrir að rúmpyngd (kg/m<sup>3</sup>) sé óháð hitastigi

EFLA  
VERKFRÆÐISTOFA

### 1. Niðurstöður – Staðlað R90 brunaferli

- Dýpt 500°C jafnhitalínu 33 mm
- Styrkur 76 % af upphaflegum styrk

Mynd: Hitadreifing eftir 90 mínútur

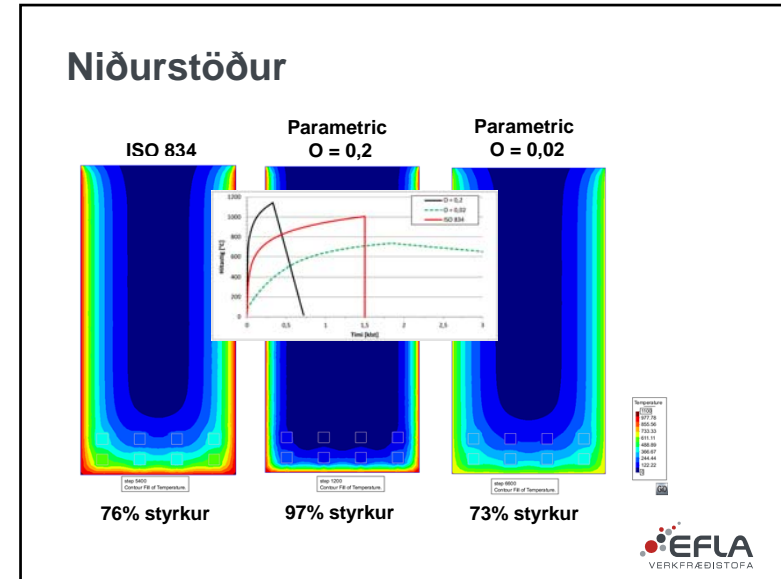
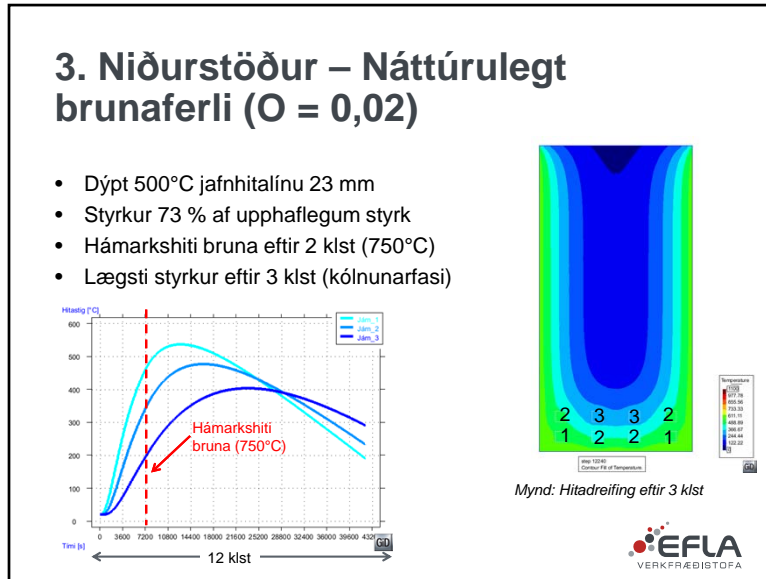
EFLA  
VERKFRÆÐISTOFA

### 2. Niðurstöður – Náttúrulegt brunaferli (O = 0,2)

- Dýpt 500°C jafnhitalínu 20 mm
- Styrkur 97 % af upphaflegum styrk
- Hámarkshiti bruna eftir 20 mínútur (1200°C)
- Lægsti styrkur eftir 26 mínútur (kólnunarfasi)

Mynd: Hitadreifing eftir 26 mínútur

EFLA  
VERKFRÆÐISTOFA



### Samantekt

- Mikilvægt að taka tillit til kólnunarfasa bruna
  - Krítískt ástand verður oft þegar hitastig í byggingu fer lækkandi
  - Kólnun getur tekið mjög langan tíma
  - Getur valdið hættu þegar hitaþensla gengur til baka
- Getur verið varfærnara að miða við náttúrulegt brunaferli
  - Staðlað brunaferli ekki alltaf öruggast
- Samtvinnnaðir útreikningar á bruna og burðarþoli
  - Hægt að skoða afleiðingar hitastigsmunar innan þversniða
  - Hægt að meta hættu á og áhrif flögnunar
  - Hægt að skoða afleiðingar hitaþenslu á burðarvirki

