

# Hörðnun steypu áhrif hita á steypuspennur

Gylfi Magnússon

# Efnisyfirlit

Varmaorka

Hitamyndun í steypu

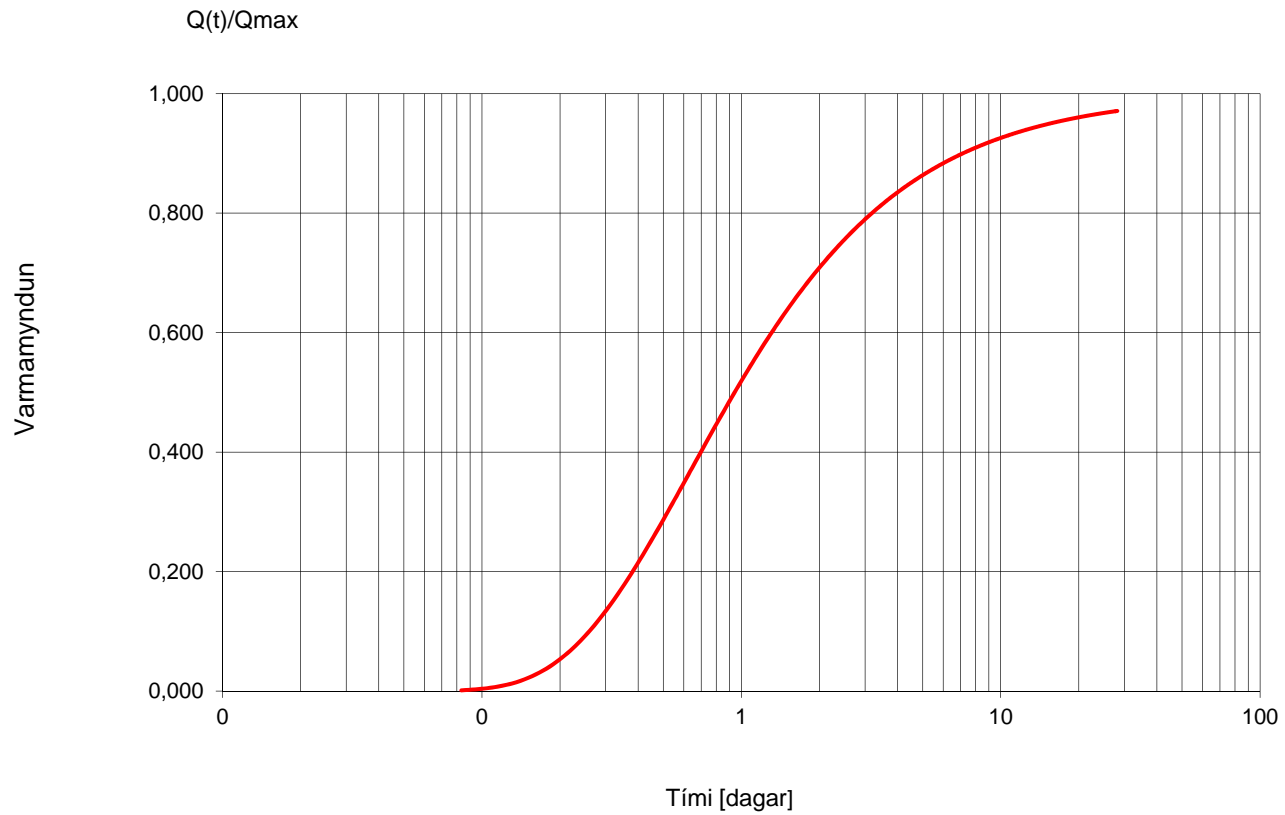
Hvað stýrir hitastigi í steypuþversniði

Mælingar á hitadreifingu

Spennur í steypu á hörðnunartíma

Útreikningar og skýringar

# Varmamyndun



Mælt með „adíabatískum eða isotherm kalorímæli“

# Hörðnun steypu - hitalíkingar

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\lambda}{c\rho} \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + \frac{(M + kF)}{c\rho} \frac{dQ}{d\tau}$$
$$(x, y, z) \in \Omega,$$

$$T|_{\tau=0} = g_0(x, y, z),$$

$$T = g_1(\tau),$$

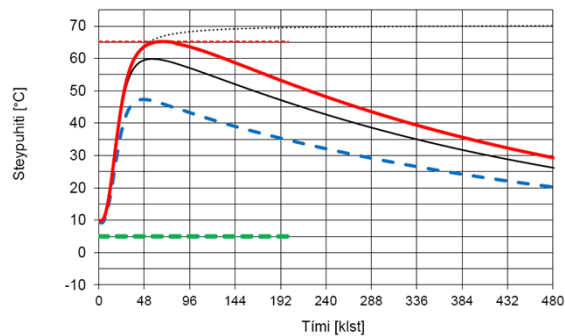
$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial n} = g_2(\tau),$$

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial n} = \beta(T - T_a),$$

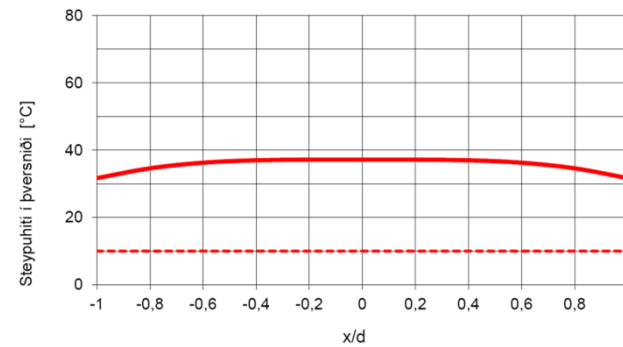
$$T = T_s, \quad \lambda \frac{\partial T}{\partial n} = \lambda_s \frac{\partial T_s}{\partial n},$$

# Hörðnun steypu – Steypuhiti upplýsingar frá framleiðanda

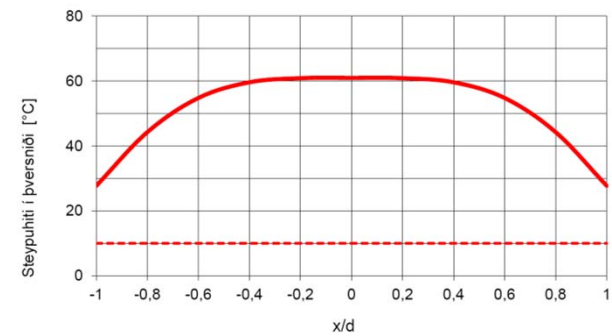
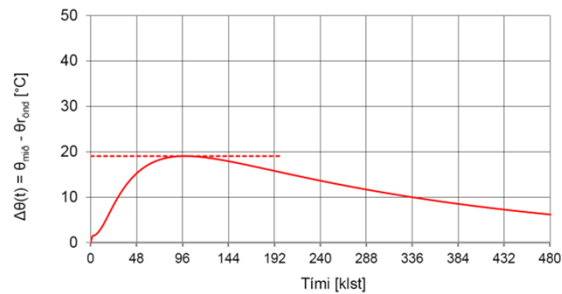
## Hitasaga í steypuáfanga



## Hitaprófill á tilteknum tíma og stað í steypu



$$\Delta T = T_c - T_r$$



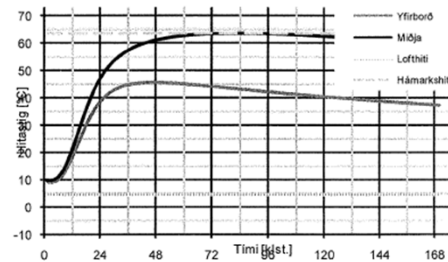
# Útreikningar steypuframl. á hitamyndun í Hvítárbrú



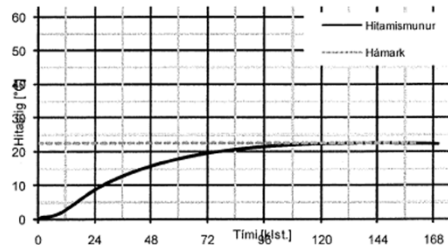
Áætlað hita	Verkkaupi	Verk nr.
í harðnandi steinsteypu	<b>Jáverk</b>	
	Nafn	Dagsetning
	<b>Axel Davíðsson</b>	<b>25.9.2009</b>
	Heimilisfang	
	<b>Gagnheiði 28, 800 Selfoss</b>	
	Verkefni	
	<b>Hvítárbrú</b>	
	Byggingarhluti	
	<b>Sökkjar</b>	

<b>Forsendur</b>					
Breidd - 0,5 x	1,35 m	Sement	400 kg/m <sup>3</sup>	DK RAPID sement	
Kælitala - t0	8 kJ/m <sup>2</sup> /h/°C	Rúmþyngd	2300 kg/m <sup>3</sup>	Q <sub>∞</sub>	354 kJ/kg sement
Kælitala - t1	8 kJ/m <sup>2</sup> /h/°C	Prýstipól - fc2	45 MPa	te	12,6 h
tim, t1	500 h	fc7/fc28	0,78	α	0,93
		Varmarýmnd	1,07 kJ/kg/°C		
Steypuhiti	10 °C	Varmaleiðni	8 kJ/m/h/°C	Hámarkshiti	64 °C
Lofthiti - t0	5 °C			Hám. munur	22 °C
Lofthiti - t1	5 °C			δT	58 °C
				T <sub>b</sub> + δT	68 °C

Hitastig



Hámarkshitismunur (yfirborð - miðja)



## Undirbúningur

Undirbúningur steypuframléiðanda felst m.a. í því að reikna út hvað steypuhitinn getur orðið, þ.e:

- max. hita í massamiðju: T<sub>c</sub>
- ΔT = T<sub>c</sub> - T<sub>r</sub> hitamunur

þar sem:

T<sub>c</sub> : hiti í massamiðju

T<sub>r</sub> : hiti við steypuyfirborð/mót

# Mælingar í Hvítárbrú

Bræðratunguvegur - brú á Hvítá

Hitamælingar steypu

Steypa kanna á  
Lufanemmum ca. kl. 1330

Verk: Yfirbygging 2. afanga

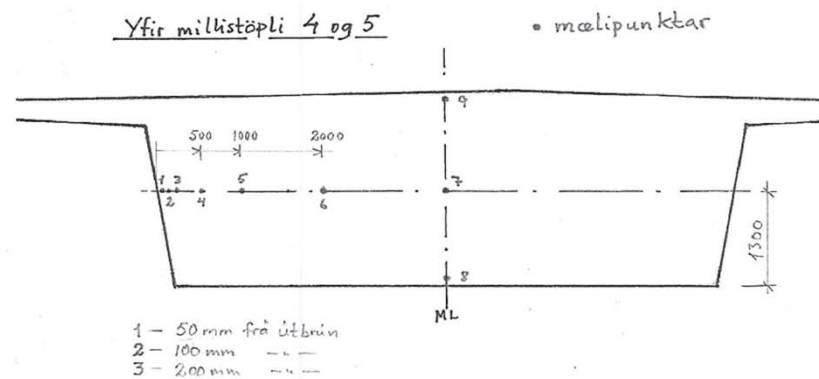
Verkhli: Yfir millistöpli 5

Hitamælingar

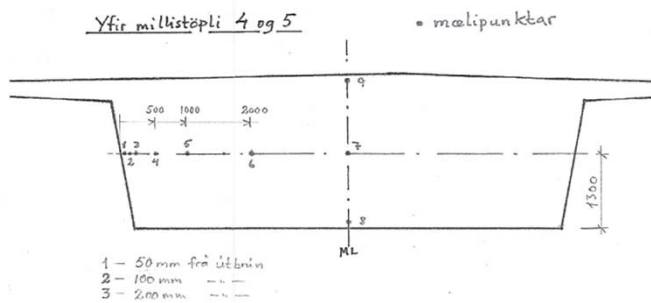
Dags.	Tími	Framkv. af	Lofthiti	Mælipunktur nr. / mældur hiti °C									
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1/9	15:15	Axal	16°	22	22,0	22,1	22,1	22,0	22	22	22	22	22
1/9	17:15	M3G	16°	23,3	24,0	24,0	24,0	24,0	24	24	24	24	24
2/9	8:15	M3G	13°	40,9	53,4	59,9	58,6	58,1	61,3	58,0	47,2	39,3	39,3
2/9	11:25	M3G	~18°	50,4	54,1	57,6	62,1	62,4	60,7	63,8	49,7	43,2	43,2
2/9	14:40	M3G	18°	58,5	55,2	59,7	64,8	66,0	66,4	67,3	52,0	50,0	50,0
3/9	8:10	V08	14°	55,2	57,2	62,2	72,2	74,5	75,4	76,6	59,4	54,5	54,5

Elstak kanna  
Fodaypa  
Verif að setja  
í yfir band

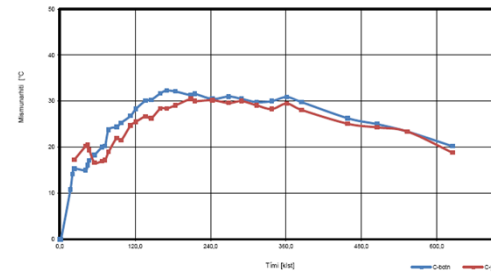
Skýringarmynd



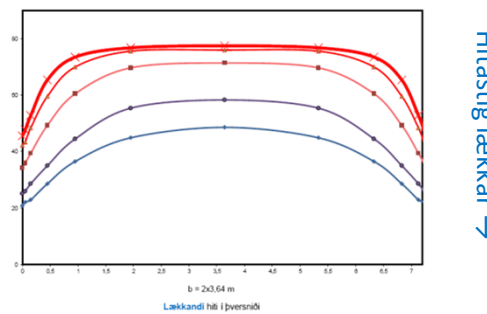
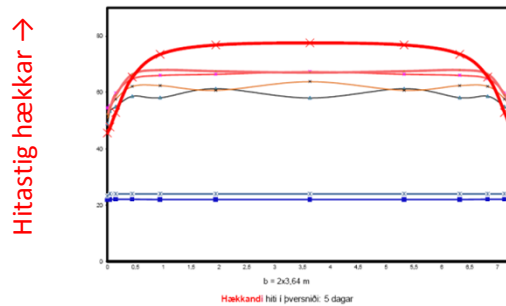
# Mælingar í Hvítárbrú



## Mæling á hitamun



## Mælingar á hitaprófil í brúnni. Seinni áfangi sept. 2010





# Spennuútreikningar

## Forsendur

- Hitadreifingu  $\theta(x,y,z,t)$
- Fjaðurstuðull  $E_{cm}(t)$
- Hitapanstuðull  $\alpha_c(t)$
- Poisson hlutfall  $\nu(t)$
- Skrið  $\epsilon_{cs}(t)$
- Rýrnun  $\epsilon_{cc}(t)$
- Togþol  $f_{ctm}(t)$
- Þrýstipól  $f_{cm}(t)$
- Fyrir járnþendingu þarf:

Hitapanst:  $\alpha_s$

Fjaðurstuðul:  $E_s$

Flatarmál:  $A_s$

Efniseiginleikar skv. EC2 notaðir  
í útreikningum

## Útreikningar þurfa að fullnægja

- Jafnvægisskilyrðum
- Randskilyrðum
- „Fysiskum“ skilyrðum  
(samband  $\sigma - \epsilon$ )
- „Geometriskum“ skilyrðum  
(samband  $\epsilon_i$  við  $\delta u / \delta i$ ,  
o.s.frv.)

⇒ Spennur í steypu og járnþendingu þekktar sem föll

$$\sigma_i = f_i(x,y,z,t, \theta(x,y,z,t))$$

# Spennuútreikningar

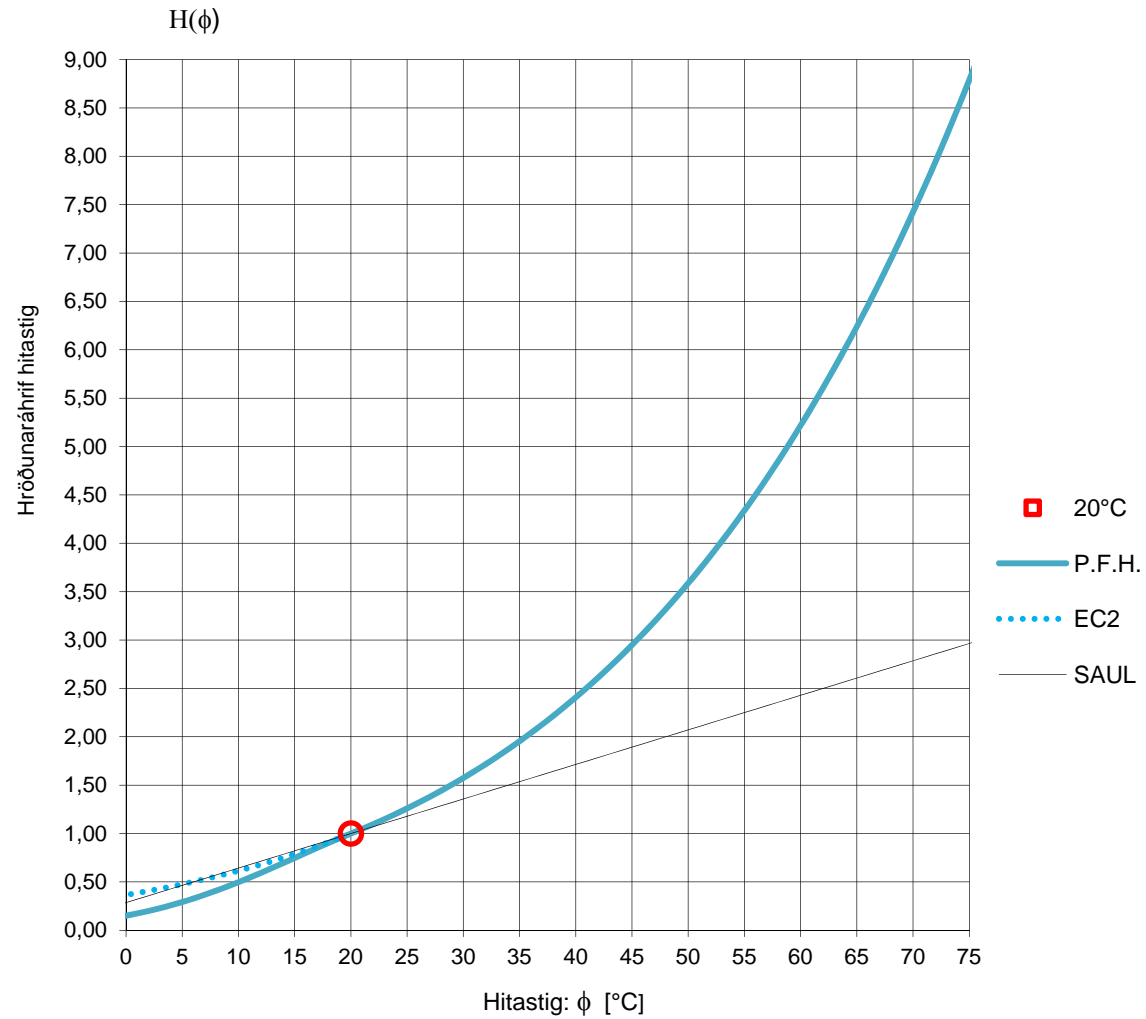
## Rifnar steypa ?

Þegar spennurnar eru þekktar, má reikna út max. höfuspennu (sem er togspenna) á hverjum stað og athuga hvort:

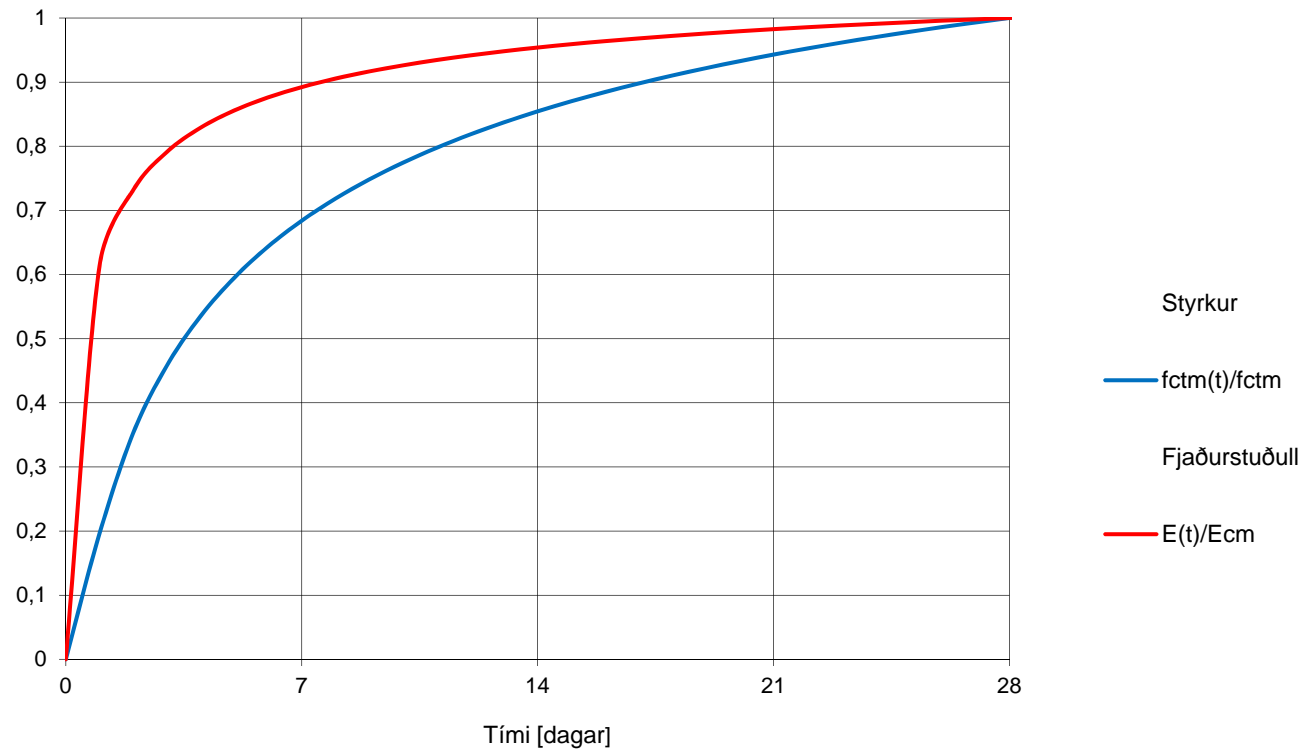
$$\sigma_1 = f_{ij}(x,y,z,t,\theta(x,y,z,t)) \geq f_{ctm}(x,y,z,t,\theta(x,y,z,t))$$

- Ath: EC2 setur ekki skorður á togþolsstreitu

# Áhrif steypuhita á styrk



# Steyppustyrkur og stífni



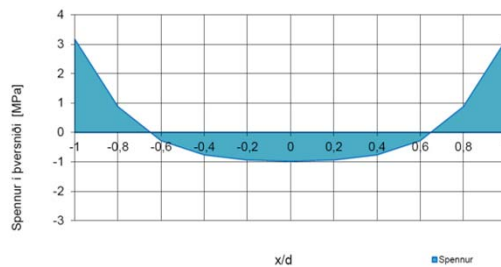
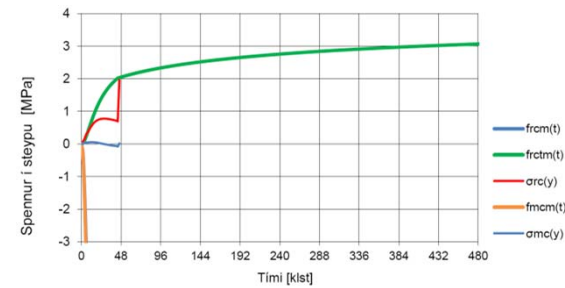
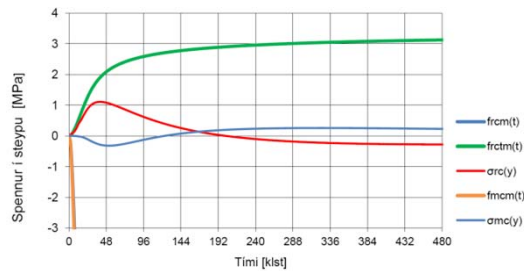
Ferlar skv. Eurocode 2: ÍST EN 1992-1-1: 2004

# Hörðnun steypu - Spennur

## Niðurstöður spennuútreikninga

Áhrif frá: Mismunarhita - skriði - rýrnun - járnbandingu

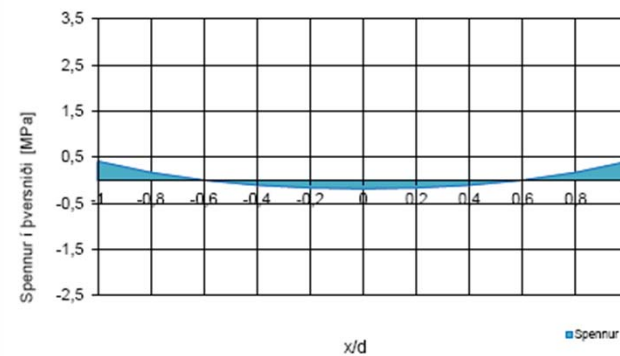
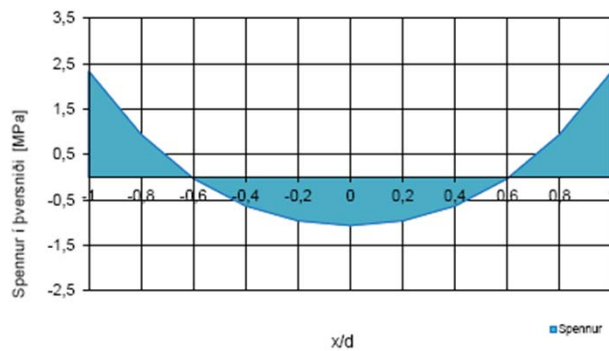
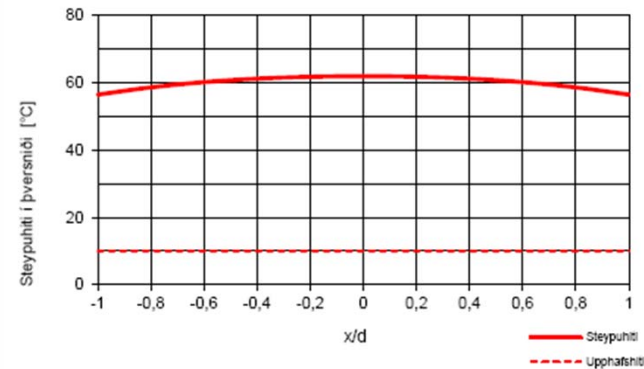
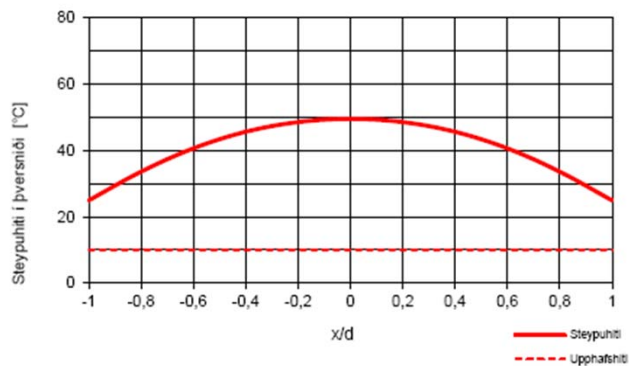
Spennur í steypu sem fall af tíma



Spennur á tilteknum stað og tíma í steypumassa

# Hörðnun steypu - Spennur

Áhrif einangrunar á mótum: max hiti hækkar  
hitamunur minnkar  
spennur lækka



# Spennur í steypu

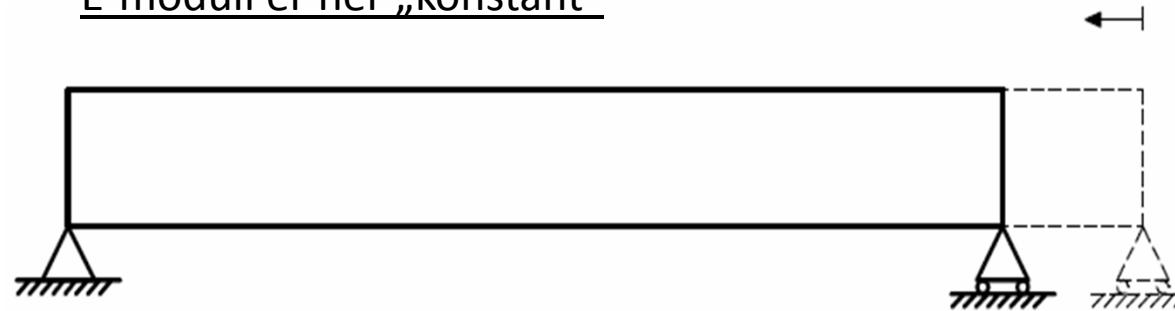
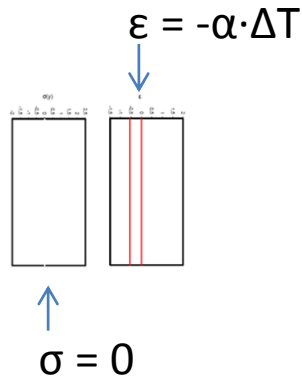
Eiföld dæmi til glöggunar  
Mismunur á streituáraun í  
harðri steypu og heitri

# Hitabreyting - Spennur í steypu

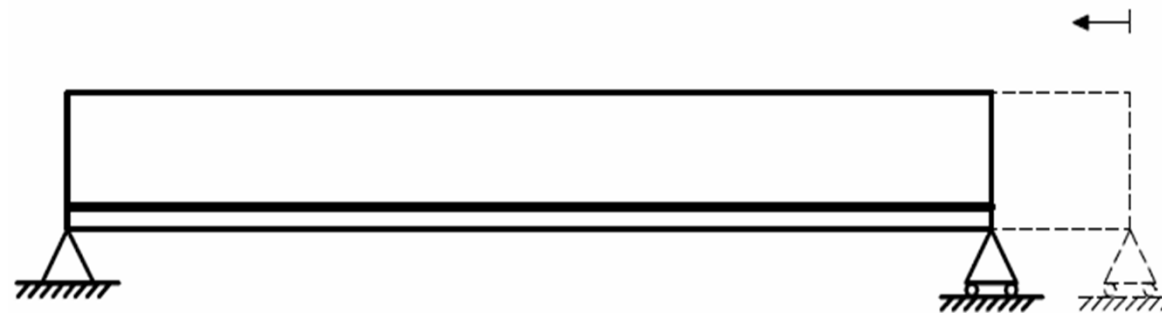
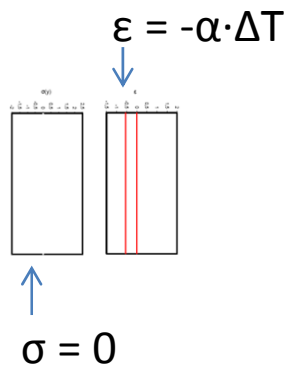
Dæmi: Steypa getur formbreyst án þvingunar

Steita vegna kónunar  $\varepsilon = -\alpha \cdot \Delta T$  er jöfn yfir þversniðið

E-módúll er hér „konstant“



Engar spennur myndast í steypu



Hitapanstuðull steypu og stáls er sá sami (hörðnuð steypa)

=> Engar spennur myndast í steypu eða járnum

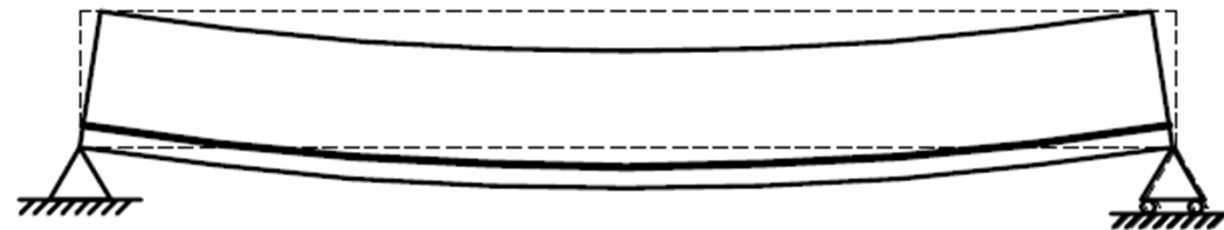
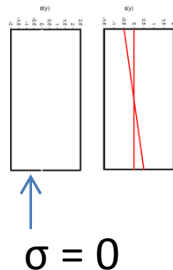
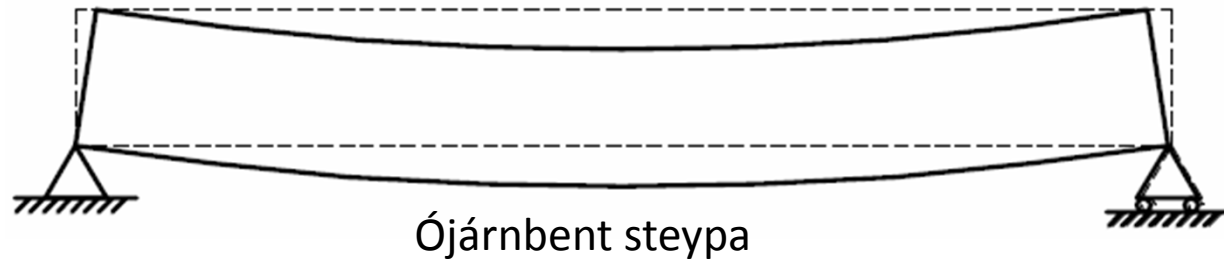
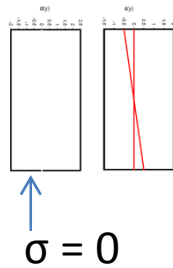


# Hitabreyting - Spennur í steypu

Dæmi: Steypa getur formbreyst án þvingunar

Steita vegna hita  $\epsilon = \alpha \cdot \Delta T$  breytist línuleg yfir þversnið

E-módúll er hér alls staðar sá sami í þversniði



Hitapanstuðull steypu og stáls er sá sami (hörðnuð steypa)

=> Engar spennur myndast í steypu eða járnum

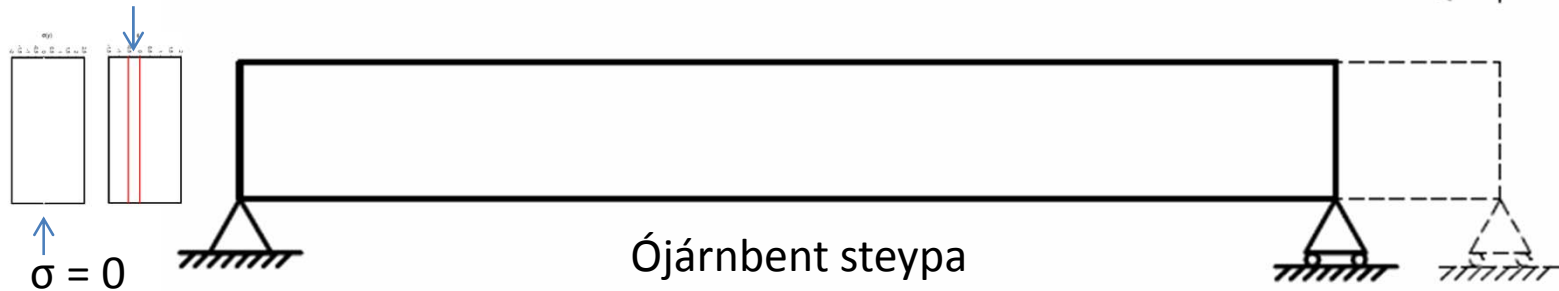
# Rýrnun - Spennur í harðri steypu

Dæmi: Steypan getur formbreyst án þvingunar

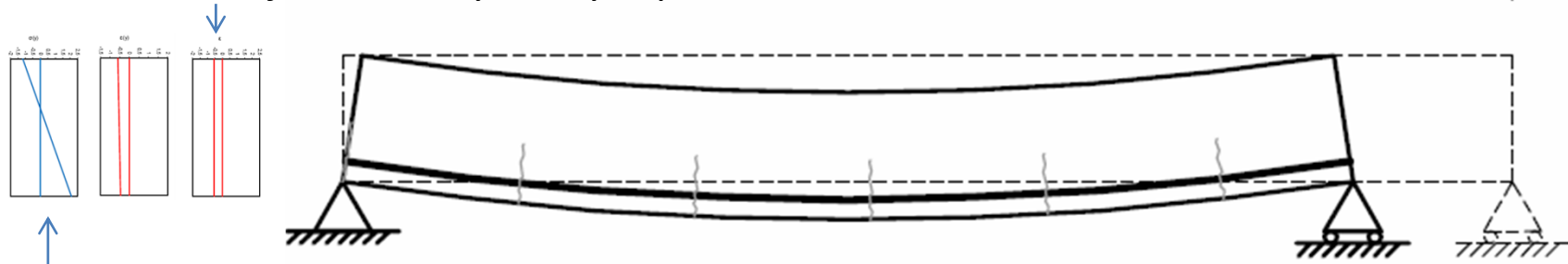
Steita vegna rýrnunar  $\epsilon$ , er jöfn yfir þversniðið

E-módúll er hér alls staðar sá sami í þversniði

$\epsilon$  = jafndreifð rýrnun yfir þversniðið



$\epsilon$  = jafndreifð rýrnun yfir þversniðið



$\sigma \neq 0$  Togspennur myndarst í neðri brún steypu

# Hitaáraun - Spennur í steypu

Dæmi: Steypan getur formbreyst án þvingunar

Steita: ólínuleg hitaáraun  $\varepsilon = \alpha \cdot \Delta T$  yfir þversniðið

E-módúll er hér alls staðar sá sami í þversniði

T: hiti í steypuþversniði,  $T > 0$

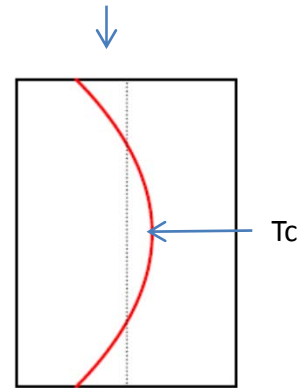
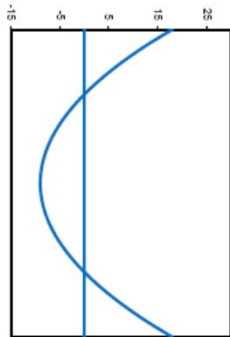


$\sigma$ : Togspennur myndast við yfirborð steypu,  
þrýstispenntur innar í þversniði

Engin ytri þvingun er fyrir hendi. þvingun á sér stað í efninu sjálfu (innri þvingun)

# Hitaáraun - Spennur í steypu

$T(y)$ : Steypuhiti í þversniði,  $T(y) > 0$



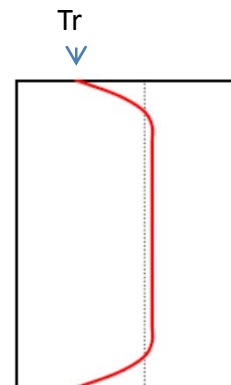
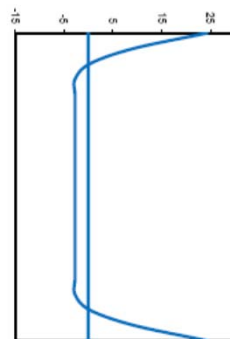
## Áhrif hitaferils (lögunar) á spennur

$\Delta T = T_c - T_r$  er sá sami á myndunum

$T_c$ : Steypuhiti í massamiðju

$T_r$ : Steypuhiti við yfirborð

Spennur í steypu: Togspennur við yfirborð  
Þrýstispenntur í miðju



Á neðri myndinni er „hitagradíentinn“ meiri  
 $\Rightarrow$  Tospennur við yfirborð **hækka**

$\sigma$ : Togspennur við yfirborð steypu