

Betonin pitkäaikaiset muodonmuutosominaisuudet—kutistuma ja viruma

Kutistuma

EC2:ssa kokonaiskutistuma ϵ_{cs} jaetaan kuivumiskutistumaan ϵ_{cd} ja sisäiseen kutistumaan ϵ_{ca}

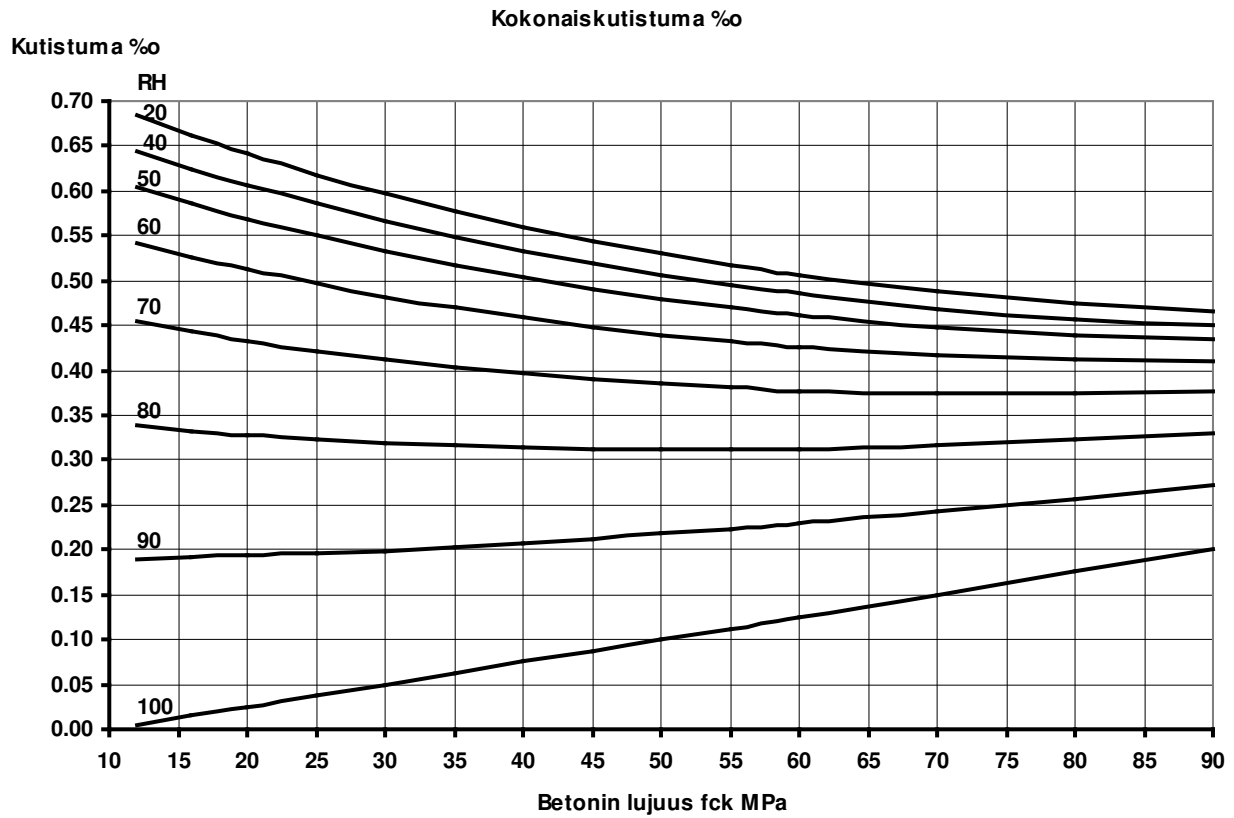
Kokonaiskutistuman loppuarvo

$$\epsilon_{cs,\infty} = \epsilon_{cd,\infty} + \epsilon_{ca,\infty} = k_h \cdot \alpha_{s1} \cdot e^{-\alpha_{ds2} \cdot \frac{f_{ck}+8}{10}} \cdot \left[1 - \left(\frac{RH\%}{100} \right)^3 \right] \cdot \%_o + 0,0025 \cdot (f_{ck} - 10) \cdot \%_o$$

Sementtityyppi	α_{s1}	α_{ds2}
Hidas S	0,725	0,11
Normaali N	0,870	0,12
Nopea (rapid) R	1,159	0,13

Poikkileikkauksen nimellimitasta (muunnetusta paksuudesta) $h_o = \frac{2 \cdot A_c}{u}$ riippuva kerroin k_h

$h_o = \frac{2 \cdot A_c}{u}$ mm	k_h
100	1,00
200	0,85
300	0,75
≥ 500	0,7



Kokonaiskutistuma %o, normaali (N) sementti

Kutistuman kehittyminen

Kuivumiskutistuman kehittyminen
$$\beta_{ds}(t, t_s) = \frac{t - t_s}{t - t_s + 0.04 \cdot \sqrt{h_o^3}} \quad \beta_{ds}(\infty, t_s) \Rightarrow 1,0$$

t_s on betonin ikä vrk kuivumiskutistuman alkaessa, yleensä betonin jälkihoidon päättyessä
 t on betonin ikä vrk tarkasteluhetkellä

Sisäisen kutistuman kehittyminen
$$\beta_{as}(t) = 1 - e^{-0.2 \cdot \sqrt{t}} \quad \beta_{as}(\infty) \Rightarrow 1,0$$

Viruma

Betonin viruma $\epsilon_{cc}(\infty, t_0)$ hetkellä $t=\infty$, kun betoniin tulee pitkäaikainen jännitys $\sigma_c(t_0)$ hetkellä t_0

$$\epsilon_{cc}(\infty, t_0) = \varphi(\infty, t_0) \cdot \frac{\sigma_c(t_0)}{1,05 \cdot E_{cm}}$$

Virumaa laskettaessa voidaan käyttää betonin kimmokerrointa $1,05E_{cm}$

$\varphi(\infty, t_0)$ on virumaluvun loppuarvo

Kun betoniin vaikuttaa jännitys $\sigma_c(t_0)$ hetkestä t_0 hetkeen t , on virumaluku

$$\varphi(t, t_0) = \varphi_0(t_0) \cdot \beta_c(t, t_0)$$

missä nimellinen virumaluku

$$\varphi_0(t_0) = \varphi_{RH} \cdot \beta(f_{cm}) \cdot \beta(t_0) = \left(1 + \frac{1 - \frac{RH\%}{100}}{0,1 \cdot \sqrt[3]{h_0}} \cdot \alpha_1 \right) \cdot \alpha_2 \cdot \frac{16,8}{\sqrt{f_{cm}}} \cdot \frac{1}{0,1 + t_0^{0,2}}$$

Ympäristön suhteellisen kosteuden ja nimellispaksuuden vaikutus virumalukuun

$$\varphi_{RH} = \left(1 + \frac{1 - \frac{RH\%}{100}}{0,1 \cdot \sqrt[3]{h_0}} \cdot \alpha_1 \right) \cdot \alpha_2 \quad h_0 \text{ (mm)}$$

Betonin lujuuden vaikutus virumalukuun

$$\beta(f_{cm}) = \frac{16,8}{\sqrt{f_{cm}}} = \frac{16,8}{\sqrt{f_{ck} + 8 \text{ MPa}}} \quad f_{ck} \text{ (MPa)}$$

Kuormitusaian t_0 (vrk) vaikutus virumalukuun

$$\beta(t_0) = \frac{1}{0,1 + t_0^{0,2}}$$

$$\alpha_1 = \left(\frac{35}{f_{cm}}\right)^{0,7} \leq 1,0 \quad \alpha_2 = \left(\frac{35}{f_{cm}}\right)^{0,2} \leq 1,0 \quad \alpha_3 = \left(\frac{35}{f_{cm}}\right)^{0,5} \leq 1,0$$

Kun $f_{cm} \leq 35$ MPa (betonin lujuusluokkaan C25/30 asti), $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = 1,0$

Viruman kehittyminen aikavälillä $t_0 \Rightarrow t$ $\beta_c(t, t_0) = \left[\frac{t - t_0}{\beta_H + t - t_0} \right]^{0,3}$

$t = 70$ v ~ 26000 vrk $\sim \infty$ $\beta_c(\infty, t_0) \Rightarrow 1,0$

Poikkileikkauksen kuivumisnopeudesta (eli nimellispaksuudesta ja suhteellisesta kosteudesta) riippuva termi

$$\beta_H = 1,5 \cdot \left[1 + (0,012 \cdot RH\%)^{18} \right] \cdot h_0 + 250 \cdot \alpha_3 \leq 1500 \cdot \alpha_3$$

Kun betonin pitkäaikainen jännitys muuttuu hetkellä $t_1 > t_0$ määrän $\Delta\sigma_c(t_1)$ on kokonaisviruma hetkellä $t > t_1$

$$\begin{aligned} \varepsilon_{cc}(t, t_0) &= \varphi(t, t_0) \cdot \frac{\sigma_c(t_0)}{1,05 \cdot E_{cm}} + \varphi(t_1, t_0) \cdot \frac{\Delta\sigma_c(t_1)}{1,05 \cdot E_{cm}} = \\ &= \varphi_0(t_0) \cdot \beta_c(t_1, t_0) \cdot \frac{\sigma_c(t_0)}{1,05 \cdot E_{cm}} + \varphi_0(t_0) \cdot (\beta_c(t, t_0) - \beta_c(t_1, t_0)) \cdot \frac{\sigma_c(t_0)}{1,05 \cdot E_{cm}} \\ &\quad + \varphi_0(t_1) \cdot \beta_c(t, t_1) \cdot \frac{\Delta\sigma_c(t_1)}{1,05 \cdot E_{cm}} \end{aligned}$$

Sementin vaikutus virumaan otetaan huomioon korjaamalla termissä $\beta(t_0)$ betonin ikää kuormitushetkellä lausekkeella

$$t_0 = t_{0,T} \cdot \left(\frac{9}{2 + t_{0,T}^{1,2}} + 1 \right)^\alpha \geq 0,5$$

$\alpha = -1$ hitaasti (slow) kovettuva sementti (S)

$\alpha = 0$ normaalisti kovettuva sementti (N) $\Rightarrow t_0 = t_{0,T}$

$\alpha = 1$ nopeasti (rapid) kovettuva sementti (R)

Jos betonin kovettumisen aikana lämpötila poikkeaa arvosta $T = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$, käytetään t:n ja t_0 :n asemesta kaavoissa lämpötilakorjattua betonin ikää t_T (t_{oT})

$$t_T = \sum e \left[\frac{4000}{273+T(\Delta t_i)} - 13,65 \right] \cdot \Delta t_i$$

$T(\Delta t_i)$ on lämpötila ($^{\circ}\text{C}$) aikavälillä Δt_i

Kun $T=20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ kovettumisen aikana, niin $t_T = t$ ja $t_{oT}=t_0$

Yksinkertaistettu virumaluvun lauseke, kun

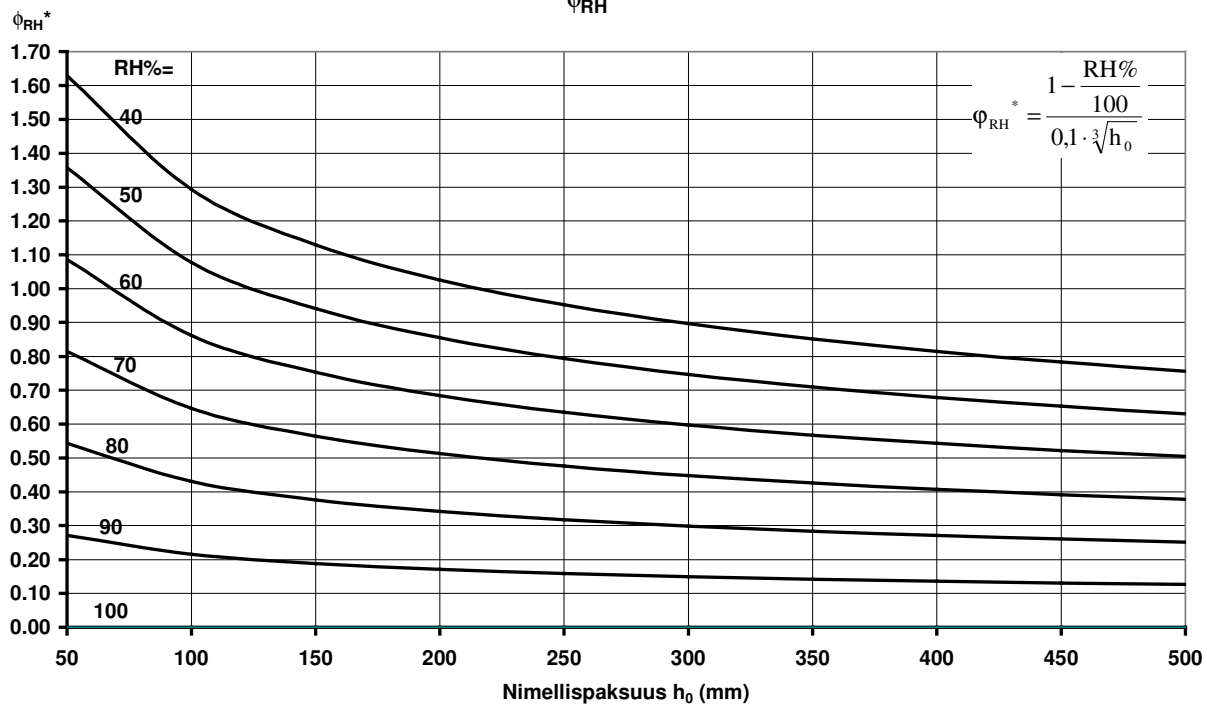
- kovettumisen aikana lämpötila vakio $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$
- normaali sementti (N) $\Rightarrow \alpha = 1 \Rightarrow t_0$
- betonin ikä $t_0 = 28$ vrk, kun rakenteelle tulee pitkäaikaista kuormaa
- betonin jännitys $\sigma_c(t_0)$ pitkäaikaisesta kuormasta ei merkittävästi muutu rakenteen käyttöaikana
- tarkastellaan virumaa lopputilassa eli n. 70 vuoden jälkeen $t = \infty \Rightarrow \beta_c(\infty, t_0) \Rightarrow 1,0$
- betonin lujuus korkeintaan C25/37 ($f_{cm} < 35\text{ MPa} \Rightarrow \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = 1,0$)

$$\varphi_0(\infty, t_0) = (1 + \varphi_{RH}^* \cdot \alpha_1) \cdot \alpha_2 \cdot \beta(f_{cm}) \cdot \beta(t_0)$$

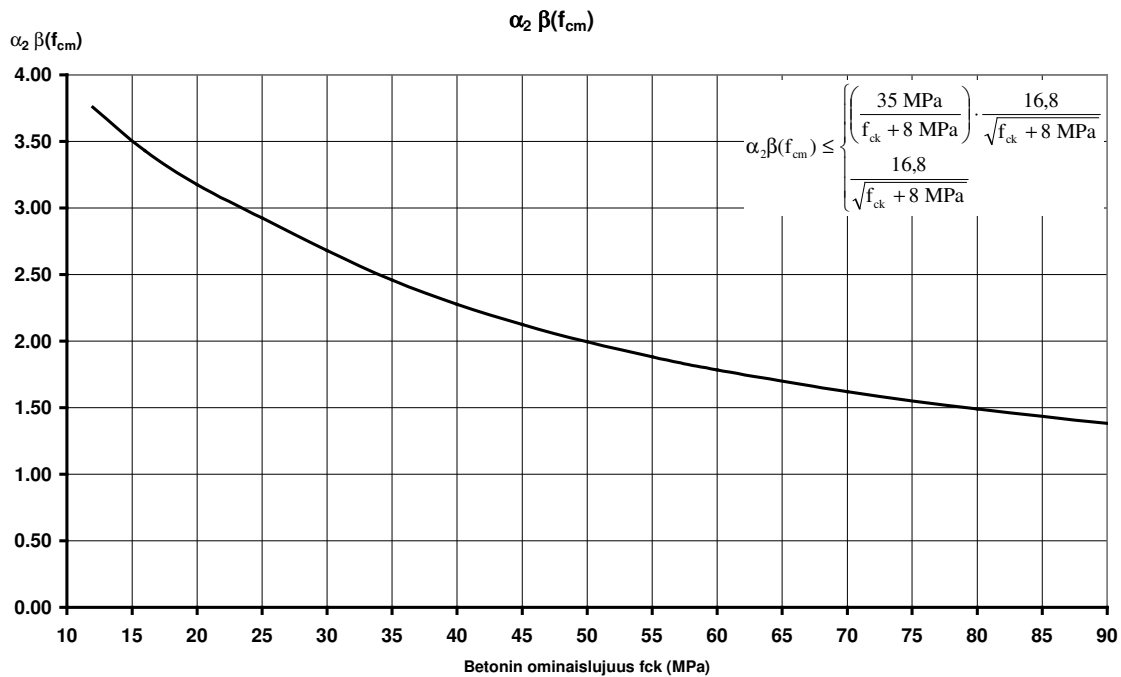
φ_{RH}^*

h_0 (mm)	RH %						
	40	50	60	70	80	90	100
50	1.63	1.36	1.09	0.81	0.54	0.27	0.00
100	1.29	1.08	0.86	0.65	0.43	0.22	0.00
150	1.13	0.94	0.75	0.56	0.38	0.19	0.00
200	1.03	0.86	0.68	0.51	0.34	0.17	0.00
250	0.95	0.79	0.64	0.48	0.32	0.16	0.00
300	0.90	0.75	0.60	0.45	0.30	0.15	0.00
350	0.85	0.71	0.57	0.43	0.28	0.14	0.00
400	0.81	0.68	0.54	0.41	0.27	0.14	0.00
450	0.78	0.65	0.52	0.39	0.26	0.13	0.00
500	0.76	0.63	0.50	0.38	0.25	0.13	0.00

φ_{RH}^*



f_{ck}	f_{cm}	α_1	α_2	α_3	$\beta(f_{cm})$	$\alpha_2 \cdot \beta(f_{cm})$
12	20	1.00	1.00	1.00	3.76	3.76
16	24	1.00	1.00	1.00	3.43	3.43
20	28	1.00	1.00	1.00	3.17	3.17
25	33	1.00	1.00	1.00	2.92	2.92
30	38	0.94	0.98	0.96	2.73	2.68
35	43	0.87	0.96	0.90	2.56	2.46
40	48	0.80	0.94	0.85	2.42	2.28
45	53	0.75	0.92	0.81	2.31	2.12
50	58	0.70	0.90	0.78	2.21	1.99
55	63	0.66	0.89	0.75	2.12	1.88
60	68	0.63	0.88	0.72	2.04	1.78
70	78	0.57	0.85	0.67	1.90	1.62
80	88	0.52	0.83	0.63	1.79	1.49
90	98	0.49	0.81	0.60	1.70	1.38



t_0 vrk	$\beta(t_0)$
3	0.74
7	0.63
14	0.56
21	0.52
28	0.49
35	0.47
42	0.45
60	0.42
90	0.39
120	0.37
180	0.34
1 v	0.30
2 v	0.26
5 v	0.22
70 v	0.13

Kuormitustiän vaikutus virumaan

