

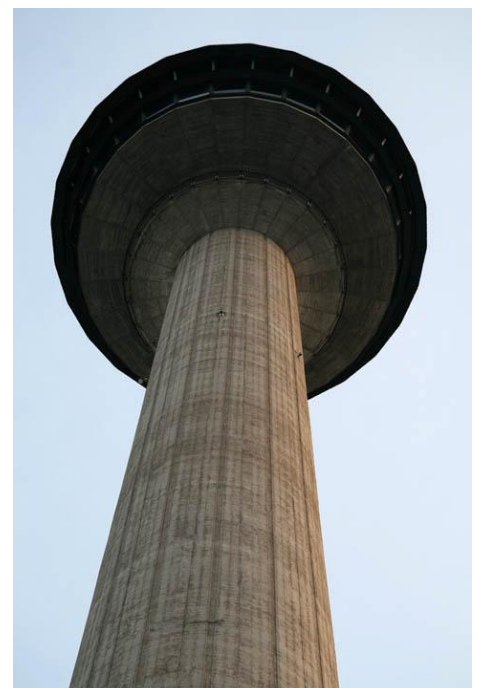
Betonirakenteiden materiaaliominaisuudet

Siltaeurokoodien koulutus, 2.-3.12.2009

Dipl.ins. Ulla Marttila, A-Insinöörit Suunnittelu Oy

Esityksen sisältö:

1. Standardit ja ohjeet
2. Betoni
 - Lujuus, kimmokerroin, viruma ja kutistuma
3. Hitsattavat betoniteräkset
 - Lujuus, kimmokerroin ja sitkeysluokat
4. Jänneteräkset
 - Lujuus, kimmokerroin, relaksaatio



Standardit ja ohjeet

- Betonirakenteet – EN 1992-1-1 (EC2)
- Betoni – EN 206-1
- Hitsattavat betoniteräkset – EN 10080
- Jänneteräkset – EN 10138 osat 1-4 (voimaantulo?)
- BY60 – Suunnitteluohje EC2, osat 1-1 ja 1-2
- BY 1030 – Mitoitusohjelma



Betonin lujuuden merkintä

- Eurokoodin mukaan betonin lujuus merkitään lieriö- ja kuutiolujuuden suhteella
- Vanhat rakentamismääräyskokoelmasta tutut rakenneluokat 1 ja 2 säilyvät Suomessa. Vaatimattomille rakenteille tarkoitettu luokka 3 jää pois.

$K_{f_{ck,cube}}$ -rakenneluokka →

$C_{f_{ck}/f_{ck,cube}}$ -rakenneluokka

Esim. K60-1 → C50/60-1



- Siirtymävaiheen aikana suunnittelussa käytetty standardi merkitään suunnitelmiin betonin lujuuden avulla.

Betonin eri lujuuksia
vastaavat
materiaaliominaisuudet
on esitetty
taulukkomuodossa

(f_{ck} , $f_{ck,cube}$, f_{ctm} , E_{cm} , ϵ)

Kaikki
materiaaliominaisuudet
voidaan määrittää myös
analyttisten kaavojen
avulla.

Betonin lujuusluokka															
f_{ck} (MPa)	12	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90	
$f_{ck,cube}$ (MPa)	15	20	25	30	37	47	50	55	60	67	75	85	95	105	
f_{cm} (MPa)	20	24	28	33	38	43	48	53	58	63	68	78	88	98	
f_{ctm} (MPa)	1,6	1,9	2,2	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0	
$f_{ctk,0,05}$ (MPa)	1,1	1,3	1,5	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,2	3,4	3,5	
$f_{ctk,0,95}$ (MPa)	2,0	2,5	2,9	3,3	3,8	4,2	4,6	4,9	5,3	5,5	5,7	6,0	6,3	6,6	
E_{cm} (GPa)	27	29	30	31	33	34	35	36	37	38	39	41	42	44	
ϵ_{c1} (‰)	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,25	2,3	2,4	2,45	2,5	2,6	2,7	2,8	2,8	
ϵ_{cu1} (‰)					3,5						3,2	3,0	2,8	2,8	
ϵ_{c2} (‰)					2,0						2,2	2,3	2,4	2,5	2,6
ϵ_{cu2} (‰)					3,5						3,1	2,9	2,7	2,6	2,6
η					2,0						1,75	1,6	1,45	1,4	1,4
ϵ_{c3} (‰)					1,75						1,8	1,9	2,0	2,2	2,3
ϵ_{cu3} (‰)					3,5						3,1	2,9	2,7	2,6	2,6

Analyttiset kaavat betonin materiaaliominaisuuksien laskentaan:

Betonin keskimääräinen puristulujuus 28 vrk ikäisenä f_{cm} (MPa)	$f_{cm} = f_{ck} + 8 \text{ MPa}$	Betonin puristuma jännityksen huippuarvon kohdalla, kun betonin jännitys-muodonmuutos yhteyttä kuvataan paraabeli-suorakaidemallilla ϵ_{c2} (‰) ks. Kuva 4.7.	$\epsilon_{c2} = 2,0 + 0,085(f_{ck} - 50)^{0,53}$, kun $f_{ck} \geq 50 \text{ MPa}$
Betonin keskimääräinen vetolujuus 28 vrk ikäisenä f_{ctm} (MPa)	$f_{ctm} = 0,3f_{ck}^{(2/3)}$, kun $C \leq 50/60$ $f_{ctm} = 2,12 \ln\left(1 + \frac{f_{cm}}{10}\right)$, kun $C > 50/60$	Betonin murtopuristuma, kun betonin jännitys-muodonmuutos yhteyttä kuvataan paraabeli-suorakaidemallilla ϵ_{cu2} (‰) ks. Kuva 4.7.	$\epsilon_{cu2} = 2,6 + 35\left(\frac{90 - f_{ck}}{100}\right)^4$, kun $f_{ck} \geq 50 \text{ MPa}$
Betonin vetolujuuden 5 % fraktiili 28 vuorokauden ikäisenä $f_{ctk,0,05}$ (MPa)	$f_{ctk,0,05} = 0,7f_{ctm}$	η	$\eta = 1,4 + 23,4\left(\frac{90 - f_{ck}}{100}\right)^{0,53}$, kun $f_{ck} \geq 50 \text{ MPa}$
Betonin vetolujuuden 95 % fraktiili 28 vuorokauden ikäisenä $f_{ctk,0,95}$ (MPa)	$f_{ctk,0,95} = 1,3f_{ctm}$	Betonin puristuma jännityksen huippuarvon kohdalla, kun betonin jännitys-muodonmuutos yhteyttä kuvataan bi-lineaarisella mallilla ϵ_{c3} (‰) ks. Kuva 4.8.	$\epsilon_{c3} = 1,75 + 0,55\left(\frac{f_{ck} - 50}{40}\right)$, kun $f_{ck} \geq 50 \text{ MPa}$
Kvartsiittipitoisesta kiviaineksesta valmistetun betonin kimmokerroin E_{cm} (GPa)	$E_{cm} = 22\left(\frac{f_{cm}}{10}\right)^{0,3}$	Betonin murtopuristuma, kun betonin jännitys-muodonmuutos yhteyttä kuvataan bi-lineaarisella mallilla ϵ_{cu3} (‰) ks. Kuva 4.8.	$\epsilon_{cu3} = 2,6 + 35\left(\frac{90 - f_{ck}}{100}\right)^4$, kun $f_{ck} \geq 50 \text{ MPa}$
Betonin puristuma jännityksen huippuarvon kohdalla, kun käytössä on epälineaarinen rakenneanalyysi ϵ_{c1} (‰)	$\epsilon_{c1} = 0,7f_{cm}^{0,31} \leq 2,8$		
Betonin murtopuristuma, kun käytössä on epälineaarinen rakenneanalyysi ϵ_{cu1} (‰)	$\epsilon_{cu1} = 2,8 + 27\left(\frac{98 - f_{cm}}{100}\right)^4$, kun $f_{ck} \geq 50 \text{ MPa}$		

Betonin laskentalujuudet ja osavarmuuskertoimet

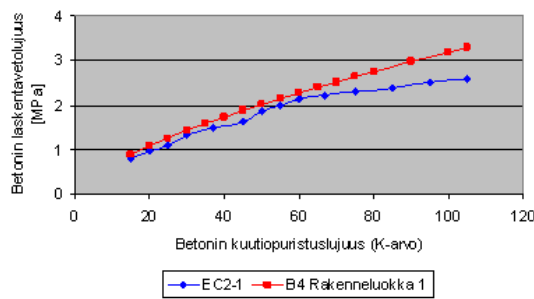
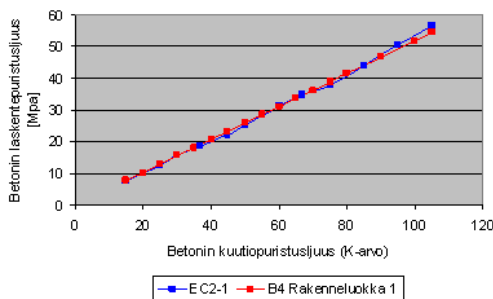
Materiaaliosavarmuusluvut γ_C betonille:

1-rkl	1,35
2-rkl	1,5
Onnettomuus	1,2
Palotilanne	1,0

Myös muita osavarmuuslukuja voidaan käyttää, jos suunnittelussa on käytetty mittoja
 - joita, on pienennetty sallitun mittapoikkeaman verran
 - jotka, on mitattu valmiista rakenteesta

Betonin laskentalujuudet: $f_{cd} = 0,85 \frac{f_{ck}}{\gamma_C}$ $f_{ctd} = \frac{f_{ctk,0,05}}{\gamma_C}$

Kuvissa on vertailtu eurokoodin ja B4 mukaisia laskentalujuuksia rakenneluokassa 1



Betonin lujuuden kehitys ajan funktiona

Betonin lujuuden kehitysnopeus riippuu **sementin tyypistä, lämpötilasta** sekä **jälkihoito-olosuhteista**. Kun betonia on jälkihoitettu standardin EN 12390 mukaisesti, betonin iästä riippuvaa **puristuslujuutta** voidaan arvioida seuraavien kaavojen avulla:

$$\begin{cases} f_{ck}(t) = f_{cm}(t) - 8 \text{MPa} & \text{kun } 3 \text{ vrk} < t < 28 \text{ vrk} \\ f_{ck}(t) = f_{ck} & \text{kun } t \geq 28 \text{ vrk} \end{cases}$$

$$f_{cm}(t) = \beta_{cc}(t) f_{cm}$$

$$\beta_{cc}(t) = e^{-s \left(1 - \sqrt{\frac{28}{t}} \right)}$$

missä

s on sementin tyypistä riippuva kerroin:

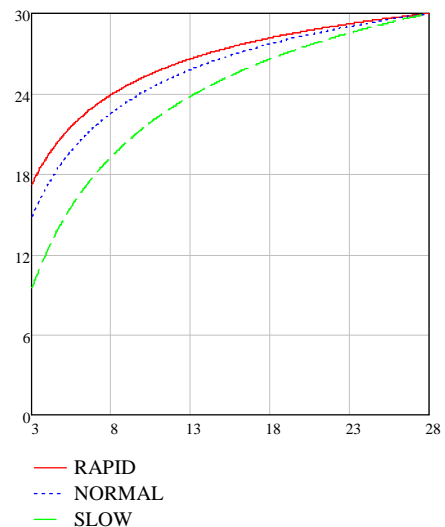
= 0,20 Sementtityyppi R

= 0,25 Sementtityyppi N

= 0,38 Sementtityyppi S

t on betonin ikä vuorokausina

Sementin tyyppi	Sementin lujuusluokat
R (= Rapid)	CEM 42.5 R, CEM 52.5 N ja CEM 52.5 R
N (= Normal)	CEM 32.5 R ja CEM 42.5 N
S (= Slow)	CEM 32.5 N



Kuvassa on esitetty lujuusluokaltaan C30/37 betonin lujuudenkehitystä aikavälillä 3...28vrk eri sementtityypeillä.

Betonin lujuuden kehitys ajan funktiona

Mikäli rakenteen lämpötila on joku muu kuin +20°C voidaan betonin ikää vuorokausissa korjata kaavalla:

$$t_T = \sum_{i=1}^n e^{-\left(\frac{4000}{273+T(\Delta t_i)} - 13,65\right) \Delta t_i}$$

Vetolujuuden kehitykseen ajan myötä vaikuttavat suuresti jälkihoito- ja kuivumisolosuhteet sekä rakenneosien mitat. Ensimmäisenä approksimaationa voidaan olettaa, että vetolujuus $f_{ctm}(t)$ on

$$f_{ctm}(t) = (\beta_{cc}(t))^\alpha f_{ctm}$$

missä

α

= 1,0, kun $t < 28$

= 2/3, kun $t \geq 28$

t on betonin ikä vuorokausina

f_{ctm} on betonin keskimääräinen vetolujuus

Kun lujuuden kehittyminen ajan myötä on tärkeää, suositellaan että lujuuden arvot määritellään kokeellisesti. Kokeita suoritettaessa tulee ottaa huomioon ympäristöolosuhteet sekä rakenneosan mitat.

Betonin kimmokerroin, E_{cm}

Taulukossa 3.1 on esitetty kvartsiittipitoisesta kiviaineksesta valmistetun betonin likimääräinen kimmokertoimen arvo E_{cm} , joka voidaan määrittää analyttisesti kaavalla:

$$E_{cm} = 22 \left(\frac{f_{cm}}{10} \right)^{0,3}$$

Betonin runkoaineen ollessa jotakin kvartsiittipitoisesta kiviaineesta poikkeavaa, muutetaan taulukon 3.1 mukaista kimmomodulin arvoa seuraavasti:

Käytetty kiviaines	betonin E
Kalkkikivipitoinen	$0,9E_{cm}$
Hiekkakivipitoinen	$0,7E_{cm}$
Basalttipitoinen	$1,2E_{cm}$

Betonin kimmokertoimen kehittymistä ajan suhteen voidaan arvioida kaavalla:

$$E_{cm}(t) = \left(\frac{f_{cm}(t)}{f_{cm}} \right)^{0,3} E_{cm}$$

missä

t on betonin ikä vuorokausina

f_{cm} on betonin keskimääräinen lieriölujuus 28 vrk iässä

E_{cm} on betonin keskimääräinen kimmomoduli 28 vrk iässä

Betonin puristusjännityksen jakautumiskuvio

Betonin jännitysresultanttia laskettaessa, voidaan betonin puristusjännityksen jakautumiskuvio korvata suorakaiteella.

Suorakaiteen tehollinen korkeus määritellään kertoimen λ avulla

$$\lambda = 0,8$$

kun $f_{ck} \leq 50\text{MPa}$

$$\lambda = 0,8 - \frac{f_{ck} - 50}{400}$$

kun $50\text{MPa} < f_{ck} \leq 90\text{MPa}$

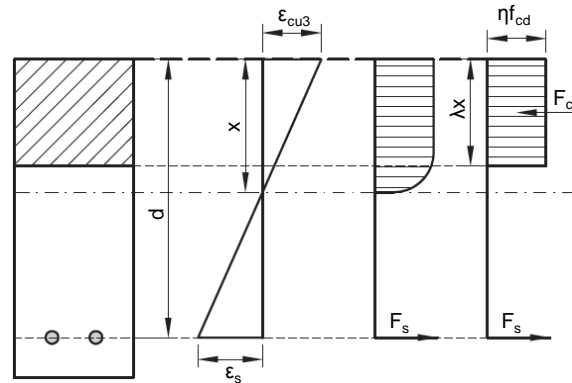
Betonin tehollisen lujuuden määrittelevä kerroin η voidaan määrittää seuraavasti

$$\eta = 1,0$$

kun $f_{ck} \leq 50\text{MPa}$

$$\lambda = 1,0 - \frac{f_{ck} - 50}{200}$$

kun $50\text{MPa} < f_{ck} \leq 90\text{MPa}$



Kutistuminen

Kokonaiskutistuma muodostuu eurokoodin mukaan kahdesta osasta:

SISÄINEN KUTISTUMA ϵ_{ca} ja KUIVUMISKUTISTUMA ϵ_{cd}

SISÄINEN KUTISTUMA:

$$\epsilon_{ca}(\infty) = 2,5(f_{ck} - 10) \times 10^{-6}$$

Alla olevaan taulukkoon on laskettu sisäisen kutistuman lopullisia arvoja [%] betonin lujuusluokille C20/25...C90/105.

F_{ck} [MPa]	20	25	30	35	40	45	50	60	70	80	90
	0,025	0,037	0,050	0,062	0,075	0,087	0,100	0,125	0,150	0,175	0,200

KUIVUMISKUTISTUMA:

$$\epsilon_{cd,\infty} = k_h \epsilon_{cd,0}$$

missä

$\epsilon_{cd,0}$ on nimellinen kuivumiskutistuma

Kutistuminen

Nimellinen kuivumiskutistuma voidaan määrittää kaavalla:

$$\varepsilon_{cd,0} = 0,85 \left[(220 + 110\alpha_{ds1}) e^{\left(-\alpha_{ds2} \frac{f_{cm}}{f_{cm0}} \right)} \right] 10^{-6} \times 1,55 \left[1 - \left(\frac{RH}{RH_0} \right)^3 \right]$$

missä

f_{cm0} on 10MPa

α_{ds1} on kerroin, joka riippuu sementin tyypistä

S-tyyppi	→	3
N-tyyppi	→	4
R-tyyppi	→	6

α_{ds2} on kerroin, joka riippuu sementin tyypistä

S-tyyppi	→	0,13
N-tyyppi	→	0,12
R-tyyppi	→	0,11

RH on ympäristön suhteellinen kosteus

RH_0 on 100%

Taulukkoon on laskettu nimellisen kuivumiskutistuman arvoja [%] sementtityypin ollessa N

Betonin lujuusluokka	Suhteellinen kosteus (%)					
	20	40	60	80	90	100
20/25	0,62	0,58	0,49	0,30	0,17	0,00
40/50	0,48	0,46	0,38	0,24	0,13	0,00
60/75	0,38	0,36	0,30	0,19	0,10	0,00
80/95	0,30	0,28	0,24	0,15	0,08	0,00
90/105	0,27	0,25	0,21	0,13	0,07	0,00

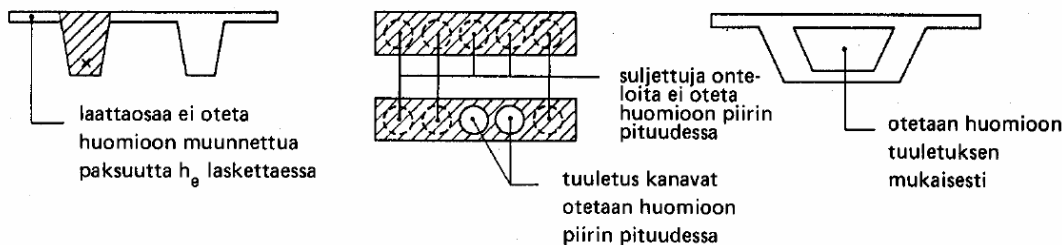
Kutistuminen

Kerroin k_h määrittää poikkileikkauksen muunnetun paksuuden h_0 avulla

$$h_0 = \frac{2A_c}{u}$$

A_c on betonin poikkileikkausala

u on kuivumiselle alttiin poikkileikkauksen piiri



h_0	k_h
100	1,0
200	0,85
300	0,75
≥500	0,70

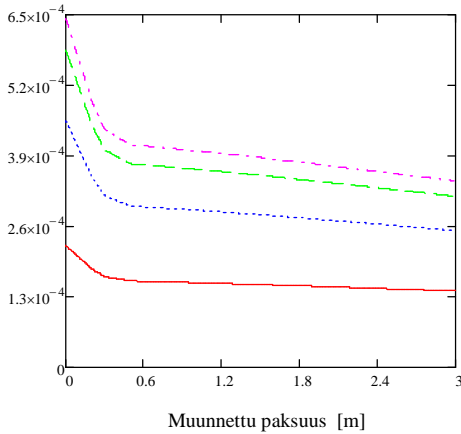
Kun sekä **kuivumiskutistuman** että **sisäisen kutistuman** arvot on määritelty, voidaan laskea **kokonaiskutistuman** ε_{cs} arvo.

$$\varepsilon_{cs} = \varepsilon_{cd} + \varepsilon_{ca}$$

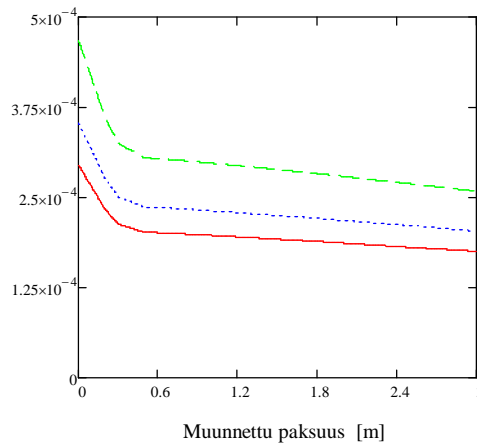
Kutistuminen

Alla olevissa kuvissa on esitetty kutistuman **loppuarvoja** muunnetun paksuuden h_0 funktiona

- Suhteellisen kosteuden vaihdella 30...90%, sementtityyppi = N, $f_{ck}=35\text{MPa}$, $t_s=7\text{vrk}$
- Sementtityypin vaihdella S...R, $f_{ck}=35\text{MPa}$, RH =80%, $t_s=7\text{vrk}$



— RH = 90%
 - - - RH = 70%
 — RH = 50%
 - - - RH = 30%



— S = Slow
 - - - N = Normal
 — R = Rapid

Viruminen

Viruman arvo määritetään virumaluvun avulla seuraavasti, mikäli betonin puristusjännitys on

- pitkäaikakuormien vaikuttaessa alle $0,45f_{ck}$
- ajan hetkellä t_0 (=betonin ikä kuormituksen alkaessa) alle $0,45f_{ck}(t_0)$

$$\varepsilon_{cc}(\infty, t_0) = \varphi(\infty, t_0) \frac{\sigma_c}{E_c}$$

Missä

E_c on tangenttimoduuli $1,05E_{cm}$

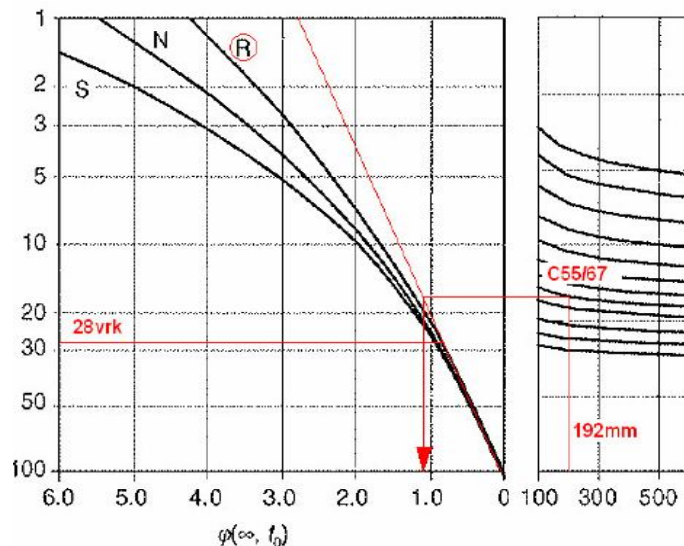
$\varphi(\infty, t_0)$ on virumaluku

Eurokoodissa on esitetty kaksi vaihtoehtoista tapaa määrittää virumaluku: **KUVASARJASTA** tai **LASKEMALLA**

-Virumaluvun määrittämiselle on esitetty omat kuvasarjansa suhteellisen kosteuden ollessa 50% sekä 80%

- Jotta virumaluvun määrittäminen kuvasarjasta on mahdollista, tulee tietää betonin lujuus, poikkileikkauksen nimellismitta, sementtityyppi sekä kuormituksen alkamisajankohta

-Kuvasarja antaa 70 vuoden ikäisen betonin virumaluvun arvon



Viruminen

Virumaluvun määrittäminen laskemalla:

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

missä

t on betonin ikä vrk tarkasteluajankohtana
t₀ on betonin ikä vrk kuormituksen alkaessa

Nimellinen virumaluku φ_0

$$\varphi_0 = \varphi_{RH} \beta(f_{cm}) \beta(t_0)$$

missä

$$\varphi_{RH} = 1 + \frac{1 - \frac{RH}{RH_0}}{0,1 \times \sqrt[3]{h_0}} \quad \text{kun } f_{cm} \leq 35 \text{ MPa} \quad \varphi_{RH} = \left[1 + \frac{1 - \frac{RH}{RH_0}}{0,1 \times \sqrt[3]{h_0}} \times \left(\frac{35 \text{ MPa}}{f_{cm}} \right)^{0,7} \right] \times \left(\frac{35 \text{ MPa}}{f_{cm}} \right)^{0,2} \quad \text{kun } f_{cm} > 35 \text{ MPa}$$

$$\beta(f_{cm}) = \frac{16,8}{\sqrt{f_{cm}}}$$

$$\beta(t_0) = \frac{1}{0,1 + t_0^{0,20}}$$

Virumisen kehittymistä ajan myötä kuvaava kerroin

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

missä

$$\beta_H = 1,2 \left[1 + (0,012 RH)^{18} \right] \times h_0 + 250 \leq 1500 \quad \text{kun } f_{cm} \leq 35 \text{ MPa}$$

$$\beta_H = 1,5 \left[1 + (0,012 RH)^{18} \right] \times h_0 + 250 \left(\frac{35 \text{ MPa}}{f_{cm}} \right)^{0,5} \leq 1500 \quad \text{kun } f_{cm} > 35 \text{ MPa}$$

Viruminen

Lämpökäsittelyn ja sementtityypin vaikutus virumaan otetaan huomioon muokatun kuormituksen alkamisajankohdan avulla.

LÄMPÖKÄSITTELYN VAIKUTUS:

$$t_T = \sum_{i=1}^n e^{-\left(\frac{4000}{273 - T(\Delta t_i)} - 13,65 \right) \Delta t_i}$$

missä

t_T on lämpötilakorjattu betonin ikä

T(Δt_i) on lämpötila aikavälillä Δt_i [°C]

Δt_i on aika vuorokausina, jonka betoni on lämpötilassa T

SEMENTTITYYPIN VAIKUTUS:

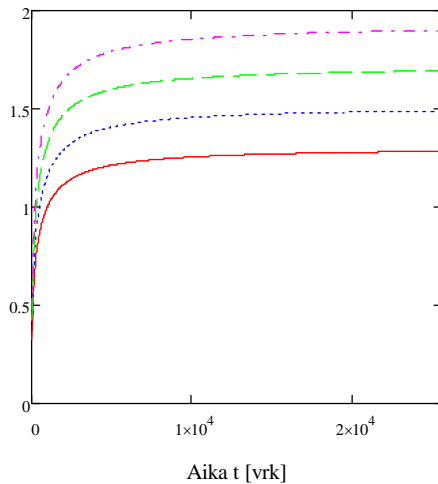
$$t_S = t_{0,T} \left(\frac{9}{2 + t_{0,T}^{1,2}} \right)^\alpha \geq 0,5 \text{ vrk}$$

- -1, kun sementti on tyyppiä S
- 0, kun sementti on tyyppiä N
- 1, kun sementti on tyyppiä R

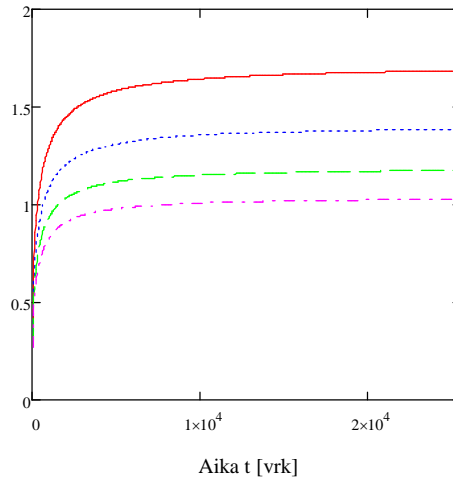
Viruminen

Alla olevissa kuvissa on esitetty virumaluvun arvoja ajan t funktiona

- Suhteellisen kosteuden vaihdellessa 30...90%, Sementtityyppi = N, $f_{ck}=35\text{MPa}$, $t_0=28\text{vrk}$, $h_0=1000\text{mm}$
- Betonin lujuuden vaihdellessa C25/30...C55/67, Sementtityyppi = N, RH=80%, $t_0=28\text{vrk}$, $h_0=1000\text{mm}$



— RH = 90%
 - - - RH = 70%
 - - - RH = 50%
 - - - RH = 30%



— C25/30
 - - - C35/45
 - - - C45/55
 - - - C55/67

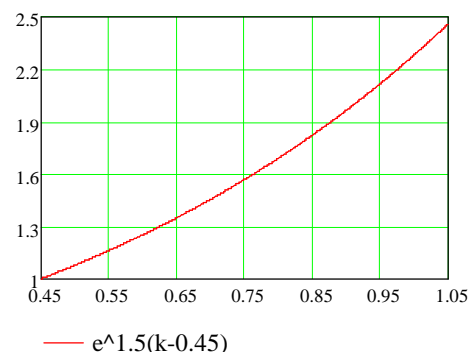
Viruminen

Viruman epälineaarisuus otetaan huomioon, kun betonin puristusjännitys

- pitkäaikaiskuormien vallitessa ylittää arvon $0,45f_{ck}$
- ajan hetkellä t_0 (=betonin ikä kuormituksen alkaessa) ylittää arvon $0,45f_{ck}(t_0)$

Epälineaarinen virumaluku määritetään seuraavasti:

$$\varphi_{nl}(\infty, t_0) = \varphi(\infty, t_0) e^{1,5(k_\sigma - 0,45)}$$

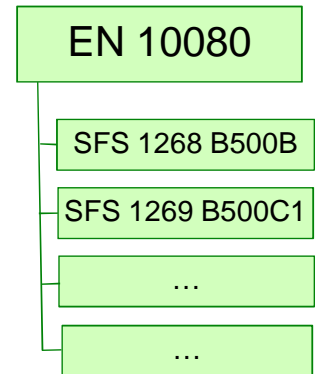


$\varphi_{nl}(\infty, t_0)$ on epälineaarinen virumaluku, joka korvaa virumaluvun

k_σ on jännityksen ja lujuuden välinen suhde $\sigma_c / f_{ck}(t_0)$, missä σ_c on puristusjännitys ja $f_{ck}(t_0)$ on betonin puristuslujuuden ominaisarvo hetkellä t_0

Standardeista

- Standardi EN 10080 – Hitsattavat Betoniteräkset käsittää kaikilta betoniteräksiltä vaadittavat ominaisuudet sekä niiden testausmenetelmät
- Vanhat teräsluokat standardeineen (SFS 1215 A500HW, SFS 1216 A700HW, SFS 1257 B500K, SFS 1258 B500S, SFS 1259 B600KX, SFS 1260 B700K) poistuvat eurokoodin myötä ja tilalle tulevat uudet eurokoodiyhteensopivat standardit
- Uusia teräsluokkia B500B sekä B500C1 koskevat EN 10080 mukaiset kansalliset standardit on vahvistettu.
 - SFS 1268 Betoniteräkset. Hitsattava kuumavalssattu tanko B500B
 - SFS 1269 Betoniteräkset. Hitsattava kuumavalssattu tanko B500C1
- Muita teräsluokkia koskevat kansalliset standardit ovat vielä valmisteilla.
 - B500BHW, B500AK, B700AHW standardeja koskeva revisioehdotus on käsittelyssä
 - Loput standardit revisioidaan myöhemmin
- CE-merkintä tulee aikanaan korvaamaan kansalliset standardit.



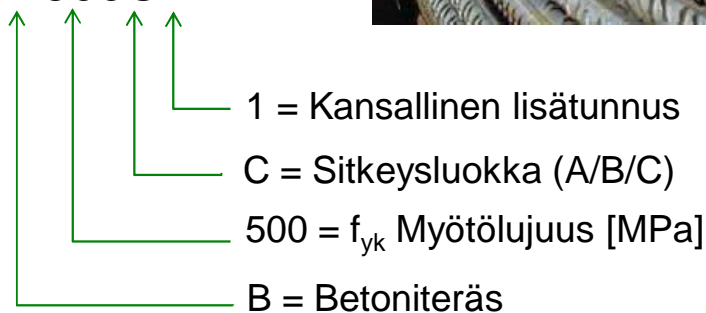
Betoniteräkset

Eurokoodien mukaisessa suunnittelussa käytettyjen terästen tulee täyttää EN 10080 asettamat vaatimukset ja suunnitelmissa tulee käyttää terästen uutta merkintää.



Nimeäminen:

B500C1



Teräksen tulee valssausmerkit, joilla se voidaan yhdistää teräslaadun merkintään (standardiin)

Betoniteräksen laskentalujuus ja osavarmuusluvut

Materiaaliosavarmuusluvut γ_S betoniteräkselle:

1-rkl	1,10
2-rkl	1,15
Onnettomuus	1,0
Palotilanne	1,0

RakMK:n mukaan rakenneluokassa 2 osavarmuuslukuna käytettiin 1,20

Betoniteräksen laskentalujuus:

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_S}$$

Raudoituksen myötölujuuden mitoitusarvo f_{yd}

lujuusluokka	1-luokan rakenteet	2-luokan rakenteet
400	364	348
500	455	435
600	545	526
700	636	609

Betoniteräksen kimmokertoimen E_s mitoitusarvoksi oletetaan 200GPa

Betoniteräksien sitkeysluokat

Betoniteräokset jaotellaan Eurokoodin mukaan kolmeen sitkeysluokkaan.

Sitkeys kasvaa A → C

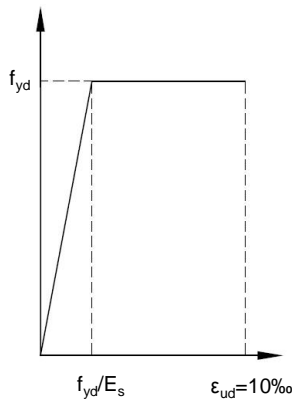
Sitkeysluokka	A	B	C
Murto/myötö (f_t/f_{yk}) Tasavenymä ϵ_{uk} [%]	$\geq 1,05$ $\geq 2,5\%$	$\geq 1,08$ $\geq 5,0\%$	$\geq 1,15$ $\geq 7,5\%$
Lujuus 500	B500K → B500AK 1,05 3,0%	B500B 1,08 5,0% A500HW → B500BHW 1,08 6,5% (5,0%?)	B500C1 1,15 7,5...8,0%
Lujuus 600	B600KX rst ? 2,5...3,5%		
Lujuus 700	A700HW → B700AHW 1,07 4,5% B700K ? 2,5...3,5%		

Eurokoodiyhteen sopiva uusi standardi

Muutosehdotus eurokoodiyhteen sopivaksi

Ei eurokoodiyhteen sopiva, ei vielä muutosehdotusta

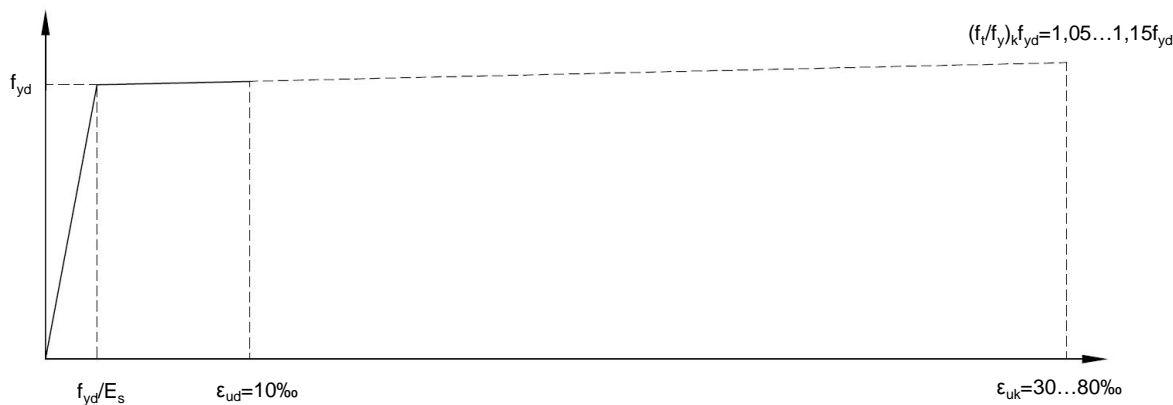
Betoniteräksen jännitys-muodonmuutos yhteys



Eurokoodissa annetaan kaksi vaihtoehtoa betoniteräksen jännitys-muodonmuutos yhteyden kuvaamiselle:

- Nouseva jännitys muodonmuutoksen sallittuun ylärajaan ϵ_{ud} saakka
- Myötörajan saavuttamisen jälkeen jännitys pysyy vakiona, jolloin muodonmuutoksen suuruutta ei tarvitse rajoittaa.

$(f_t/f_y)_k$:n ja tasavenymän ϵ_{uk} :n arvot voidaan poimia kansallisista standardeista.



Jänneteräksset

Standardeista:

- EN 10138 osat 1-4 käsittävät jänneteräksiltä (punokset, langat ja tangot) vaadittavat ominaisuudet sekä niiden testausmenetelmät
 - Standardista EN 10138 on tällä hetkellä ainoastaan draft-versio saatavilla. Lopullinen versio julkaistaan standardin voimaan astumisen jälkeen (muutaman vuoden kuluttua?).
- EN 10138:n voimaantuloon asti jänneterästen tuotehyväksyntä tulee tapahtumaan by:n myöntämän varmennetun käyttöselosteen BY 2 B:n muodossa.
- Jatkossa jänneteräksien ominaisuudet selvitetään CE-merkinnällä

Nimeäminen:

Y 1860 S 7

- ↑ 7 = lankojen lukumäärä (2/3/7)
- ↑ S = Punos (C = Lanka, H = Tanko)
- ↑ 1860 = f_{pk} vetolujuus [MPa]
- ↑ Y = Jänneteräs



Jänneteräksille määriteltävät lujuusarvot muuttuvat siirryttäessä Eurokoodiin.

→ 0,2-rajasta siirrytään 0,1-rajaan.

→ Alla on esitetty taulukko, jossa on standardin draft-version FprEN10138 antamia eri punoskokojen lujuuksien ja pinta-alojen arvoja:

Nimike	d [mm]	A [mm ²]	f _{p0,1k}	f _{pk}
Y1770S7	9,3	52	1560	1770
	9,6	55		
	12,5	93		
	12,9	100		
	15,3	140		
	15,7	150		
Y1860S7	9,3	52	1640	1860
	9,6	55		
	12,5	93		
	12,9	100		
	15,3	140		
	15,7	150		

Uuden 0,1-rajan ja vanhan 0,2-rajan ero on n. 10MPa

Jänneteräksen laskentalujuus

Jänneteräksen mitoituslujuus määritetään seuraavasti:

$$f_{pd} = \frac{f_{p0,1k}}{\gamma_S}$$

Kaavassa esiintyvä materiaalin osavarmuusluku riippuu tilanteesta sekä rakenneluokasta.

Materiaaliosavarmuusluvut γ_S jänneteräkselle:

1-rkl	1,10
2-rkl	1,15
Onnettomuus	1,0
Palotilanne	1,0

RakMK:n mukaan osavarmuuslukuna käytettiin

- rakenneluokassa 1: 1,15
- rakenneluokassa 2: 1,25

Jänneteräksen kimmomoduulin arvona käytetään:

- 195 GPa punoksille
- 205 GPa langoille ja tangoille

Relaksaatio

Relaksaatiossa jänneteräksen jännitys pienenee venymän pysyessä vakiona. Jänneteräokset on eurokoodissa luokiteltu kolmeen relaksaatioluokkaan.

Luokka 1	Langat ja punokset joilla tavanomainen relaksaatio
Luokka 2	Langat ja punokset joilla pieni relaksaatio
Luokka 3	Kuumavalssatut ja muokatut tangot

Jänneteräksen mitoituslaskelmissa käytetään arvoa ρ_{1000} . ρ_{1000} kuvaa relaksaatiohäviötä, joka tapahtuu ensimmäisen 1000 tunnin aikana +20 °C lämpötilassa.

Relaksaatioluokka	ρ_{1000}
Luokka 1	8%
Luokka 2	2,5 %
Luokka 3	4 %

Suomessa käytettävät langat ja punokset kuuluvat relaksaatioluokkaan 2.

Relaksaatio

Relaksaatiohäviön arvo tietyllä ajanhetkellä voidaan laskea seuraavilla kaavoilla:

$$\text{Luokka 1: } \frac{\Delta\sigma_{pr}}{\sigma_{pi}} = 5,39\rho_{1000}e^{6,7\mu}\left(\frac{t}{1000}\right)^{0,75(1-\mu)} 10^{-5}$$

$$\text{Luokka 2: } \frac{\Delta\sigma_{pr}}{\sigma_{pi}} = 0,66\rho_{1000}e^{9,1\mu}\left(\frac{t}{1000}\right)^{0,75(1-\mu)} 10^{-5}$$

$$\text{Luokka 3: } \frac{\Delta\sigma_{pr}}{\sigma_{pi}} = 1,98\rho_{1000}e^{8\mu}\left(\frac{t}{1000}\right)^{0,75(1-\mu)} 10^{-5}$$

missä

$\Delta\sigma_{pr}$ = jännityksen relaksaatiohäviöiden itseisarvo

σ_{pi} = jänteeseen laukaistu vetojännitys vähennettynä jännittämisen aikaisilla välittömillä häviöillä

$\mu = \sigma_{pr} / f_{pk}$

t = jännittämisen jälkeinen aika tunteina

Relaksaatiohäviöiden pitkäaikaisarvo vastaa eurokoodin mukaan betonin ikää 500 000h (n. 57vuotta)

Lämpötilan vaikutus relaksaatioon

Relaksaatiohäviöt ovat herkkiä teräksen lämpötilalle. Sitä nopeammin relaksaatio tapahtuu, mitä korkeammassa lämpötilassa se tapahtuu.

Lämpötilan vaikutus otetaan EC2:n mukaan huomioon siten, että relaksaatioluokkaa vastaavassa kaavassa käytettävään jännittämisen jälkeiseen aikaan t lisätään ekvivalentti aika t_{eq}

t_{eq} määritellään seuraavasti:

$$t_{eq} = \frac{1,14 T_{MAX} - 20^{\circ}\text{C}}{T_{MAX} - 20^{\circ}\text{C}} \sum_{i=1}^n (T_{\Delta t_i} - 20^{\circ}\text{C}) \Delta t_i$$

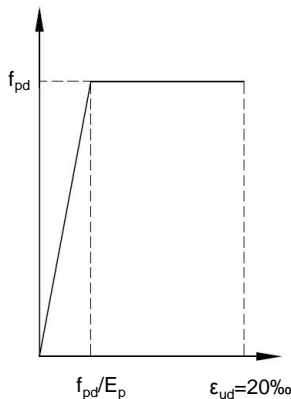
missä

t_{eq} on ekvivalentti aika tunteina

$T_{\Delta t_i}$ on lämpötila aikavälillä Δt_i

T_{MAX} on suurin lämpötila lämpökäsittelyn aikana

Jänneteräksen jännitys-muodonmuutosyhteys



Eurokoodissa annetaan kaksi vaihtoehtoa myös jänneteräksen jännitys-muodonmuutosyhteyden kuvaamiselle:

- Jännitys nousee venymän sallittuun ylärajaan ϵ_{ud} saakka
- Plastinen jännitys on vakio ilman venymärajoitusta

