

# BETONINORMIKORTISTO

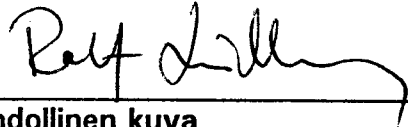
**RakMK B4:n kohta**

2.3.3.3 Halkeilun rajoittaminen

**RakMK B4**

painos (julkaisuvuosi)

6. painos (1993)

<b>Hakijan yhteystiedot</b>	Teräspeikko Oy Vipusenkatu 20 15211 Lahti	Polarkudos Oy Kankaanmaantie 15 36600 Pälkäne	Jäki Oy PL 22 27231 Lappi TI
<b>Hakijan allekirjoitus</b>	yhteyshenkilö Tkt Ralf Lindberg, TTKK 		

**Lyhyt selostus menetelmästä, käyttöalue ja mahdollinen kuva**

## RUOSTUMATTOMIEN RAUDOITTEIDEN (B600KA2, B600KX) KÄYTTÖ KANTAVISSA TERÄSBETONIRAKENTEISSA

Ruostumattoman teräksen pituuden lämpötilakerroin (n.  $17 \cdot 10^{-6} 1/^{\circ}\text{C}$ ) on suurempi kuin betonin (n.  $8 \cdot 10^{-6} - 12 \cdot 10^{-6} 1/^{\circ}\text{C}$ ) tai tavanomaisen seostamattoman betoniteräksen (n.  $12 \cdot 10^{-6} 1/^{\circ}\text{C}$ ). Korkeissa lämpötiloissa betoni pyrkii tartunnan välityksellä estämään ruostumattoman teräksen betonin lämpöpitenemistä suuremman pituuden muutoksen, jolloin betoniin syntyy vetojännitys ja teräksiin puristusjännitys.

Betoninormikortissa on esitetty kimmoteorian mukainen laskentamenetelmä ruostumattoman teräksen vaikutuksesta rakenteen halkeiluun ja taipumaan. Betoninormikortti käsittää kylmämuokatut langat nimellishalkaisijaltaan 4 mm...12 mm.

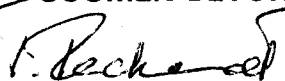
### Menetelmän rajoitukset

Ruostumattoman raudoitteen tulee vastata tartunta- ja ankkurointiominaisuuksiltaan seostamatonta harjaterästä.

Betoniyhdistyksen toimikunta on käynyt läpi ehdotuksen ja todennut sen täyttävän RakMK:n betonirakenteita koskevien määräysten vaatimukset. Kortiston käyttäjällä on vastuu kortiston ohjeiden käytöstä sekä siitä, että RakMK:n betonirakenteita koskevia määräyksiä noudatetaan.

Tämä ohje on voimassa yhtä kauan kuin ylläoleva Rakentamismääräyskokoelman B4:n asianomainen kohta. Tämä ohje voidaan peruuttaa Suomen Betoniyhdistys-Finska Betongföreningen r.y.:n harkinnan perusteella.

Helsingissä kesä kuun 6 päivänä 1994

**SUOMEN BETONIIYHDISTYS - FINSKA BETONGFÖRENINGEN r.y.**


Tapani Rechart



Klaus Söderlund



## BETONINORMIKORTISTO

### RUOSTUMATTOMIEN RAUDOITTEIDEN (B600KA2 JA B600KX) KÄYTTÖ KANTAVISSA TERÄSBETONIRAKENTEISSA

#### 1. BETONINORMIT

##### Kohdassa 2.3.3.3 Halkeilun rajoittaminen

on esitetty vaatimukset rakenteen tiiviyden ja halkeilun suhteen eri ympäristöolosuhteissa. Ympäristöluokassa Y2 (tavalliset olosuhteet) on muun kuin korrosioherkän raudoituksen halkemaleveyden  $w_k$  pitkäaikaiskuormista oltava  $\leq 0,2$  mm ja lyhytaikaiskuormista  $\leq 0,3$  mm. Halkeamaleveys lasketaan raudoituksen käyttötilan venymän perusteella. Käytettäessä betoniraudoitteena teräslaattaa, jonka pituuden lämpötilakerroin on suurempi kuin betonin, tulee halkeamaleveys betonin ja teräksen lämpömuodonmuutoserosta kasvamaan käyttölämpötilan noustessa yli valmistuslämpötilan. Tässä betoninormikortissa esitetään yksinkertainen laskentamenetelmä betonin ja ruostumattoman teräksen erilaisen lämpölaajenemisen vaikutusten arvioimiseksi.

#### 2. SUUNNITTELUARVOJA

##### 2.1 Materiaalin osavarmuuskerroin murtorajatilassa (B4, 2.1.2)

Käytettäessä ruostumattomia teräksiä kantavissa rakenteissa voidaan ruostumattoman teräksen sitkeysominaisuuksien vuoksi käyttää materiaalin osavarmuuskertoimena  $\gamma_s$  eri rakenneluokissa seuraavia arvoja

Rakenneluokka	$\gamma_s$
1	1,1
2	1,2
3	1,35

## 2.2 Ominaislujuus (B4, 2.1.6.2)

Ruostumattoman teräksen B600KA2 ominaislujuutena käytetään 0,2-rajaa vastaavaa jännitystä

$$f_{yk} = 600 \text{ N/mm}^2, \text{ kun tangon halkaisija } \phi < 10 \text{ mm, ja}$$

$$f_{yk} = 550 \text{ N/mm}^2, \text{ kun tangon halkaisija } \phi \geq 10 \text{ mm.}$$

Ruostumattoman teräksen B600KX  $f_{yk} = 600 \text{ N/mm}^2$ .

Kun ruostumatonta terästä käytetään puristusraudoituksena, leikkausraudoituksena, työsauman leikkausteräksenä, vääntöhakoina tai vääntöraudoituksen pitkittäisteräksenä, teräksen ominaislujuutena käytetään arvoa  $f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$ .

## 2.3 Kimmomoduuli (B4, 2.1.6.2)

Ruostumattoman teräksen nimellinen alkukimmomoduuli on  $E_s = 2,0 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$ .

## 2.4 Pituuden lämpötilakerroin (B4, 2.1.6.4)

Ruostumattoman teräksen nimellinen pituuden lämpötilakerroin on  $\alpha_{st} = 17 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ .

## 2.5 Tartuntakerroin (B4, 2.2.6.2)

Taulukko 2.5.1 Tartuntakerroin  $k_b$ 

Tartuntatila I Tangon ja vaakatason välinen kulma (valuasennossa) $\geq 45^\circ$ tai raudoituksen etäisyys rakenteen alapinnasta enintään 300 mm.	Tartuntakerroin $k_b = 2,4$
Tartuntatila II Raudoituksen etäisyys alapinnasta yli 300 mm tai rakenteet, joiden ankkurointialueella esiintyy poikittaisesta vedosta aiheutuvaa halkeilua	Tartuntakerroin $k_b = 1,7$

## 2.6 Halkeaman ominaisleveys: kerroin $k_w$ (B4, 2.3.3.3)

Halkeaman ominaisleveys rakenteen pinnassa lasketaan RakMK:n B4 (1993) kaavasta 2.81. Kertoimelle  $k_w$  käytetään arvoa 0,085.

## 2.7 Teräksen kriittinen lämpötila (B4, 8.3.3)

Ruostumattoman teräksen (B600KA2, B600KX) kriittinen lämpötila, jossa teräksen lujuus on laskenut 60 %:iin  $+20\text{ °C}$ :n lämpötilassa olevan teräksen 0,2-rajaa vastaavasta lujuudesta, täyttää Suomen Rakentamismääräyskokoelman B4 (1993) kohdassa 8.3.3 esitetyn vaatimuksen  $T_{cr} = 500\text{ °C}$ . Koetulokset on esitetty VTT:n tutkimuseloituksissa RAT1312/93 ja RTE70097/94.

Muilta osin normikortin tarkastelut koskevat vain käyttörajatilaa, koska ruostumattoman teräksen ja betonin lämpöpitenemiskertoimien erolla ei ole vaikutusta rakenteen käyttäytymiseen murtotilassa.

## 3. TERÄSBETONIPOIKKILEIKKAUKSEN JÄNNITYKSET MATERIAALIEN ERI-LAISISTA LÄMPÖMUODONMUUTOKSISTA KIMMOTEORIAN MUKAAN

Tarkastellaan symmetrisesti raudoitettua poikkileikkausta ja oletetaan, että alkutilanteessa poikkileikkaus on jännityksetön. Koska ruostumattomalla teräksellä ja betonilla on erilaiset lämpöliikkeet, eikä raudoitteen ja betonin välillä ole liukumaa, syntyy materiaalien "vapaiden" muodonmuutosten yhteensovittamisesta (estämisestä) poikkileikkaukseen jännitystilaa. Teräksen muodonmuutokset riippuvat lämpötilasta. Betoniin kytkemättömänä teräksen "vapaa" lämpöpiteneminen olisi

$$\Delta L_{ST} = \alpha_S \Delta T L = \epsilon_{ST} L \quad (1)$$

Teräkseen kytkemättömänä betonin "vapaa" lämpöpiteneminen olisi

$$\Delta L_{CT} = \alpha_C \Delta T L = \epsilon_{CT} L \quad (2)$$

Betonin terästä pienempi lämpöliike estää terästen pitenemistä, joten teräsiin syntyy puristusjännitys ja betoniin vetojännitys. Jännitystilaa vastaava muodonmuutos teräksessä

$$\Delta L_{S\sigma} = N_S L / (E_S A_S), \text{ jossa } N_S = \int_{A_S} \sigma_S dA_S \quad (3)$$

ja betonissa

$$\Delta L_{C\sigma} = N_C L / (E_C A_C), \text{ jossa } N_C = \int_{A_C} \sigma_C dA_C \quad (4)$$

Voimien tasapainoehdosta (kaikissa poikkileikkauksissa) seuraa

$$\begin{aligned} \sum N &= 0 \text{ (ei ulkoista kuormaa) eli} \\ N_C &= -N_S = N \end{aligned} \quad (5)$$

Jos raudoitettujen rakenteiden todellinen muodonmuutos on  $\Delta L$ , voidaan muodonmuutosten yhteensovittamisesta kirjoittaa yhtälö

$$\Delta L = \Delta L_{CT} + \Delta L_{C\sigma} = \Delta L_{ST} - \Delta L_{S\sigma} \quad (6)$$

$$\Rightarrow \Delta L_{ST} - \Delta L_{CT} = \Delta L_{S\sigma} + \Delta L_{C\sigma}$$

$$\Rightarrow (\alpha_s - \alpha_c) \Delta T L = N L \left( \frac{1}{E_s A_s} + \frac{1}{E_c A_c} \right) \quad (7)$$

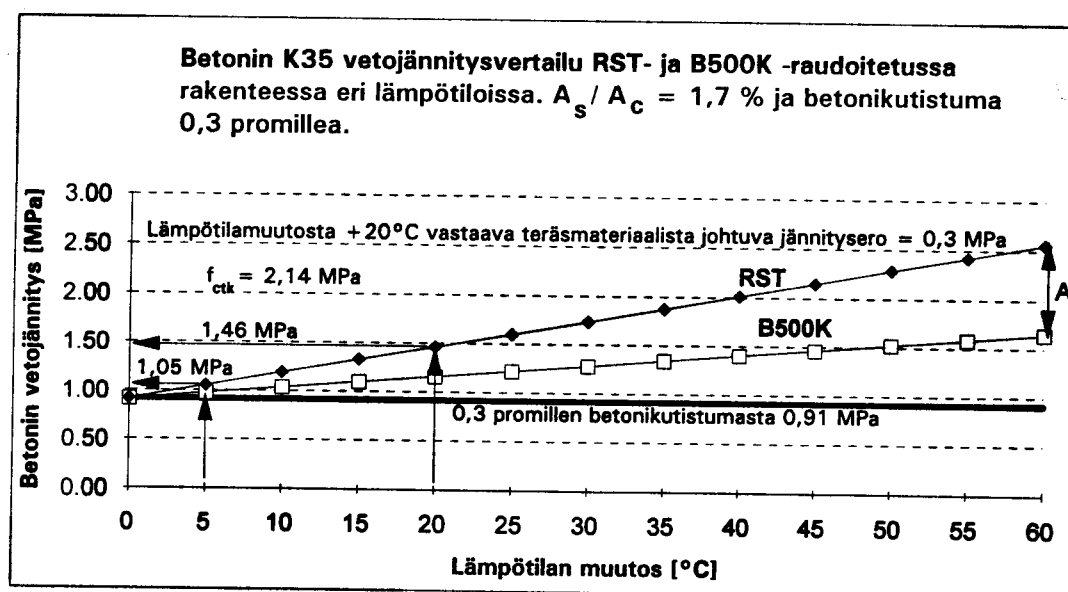
(-merkki  $N_s$  : n edessä on otettu huomioon jo kaavassa 6 )

Koska  $N / A_c = \sigma_c$  (vetojännitys betonissa), voidaan kaavasta 7 ratkaista

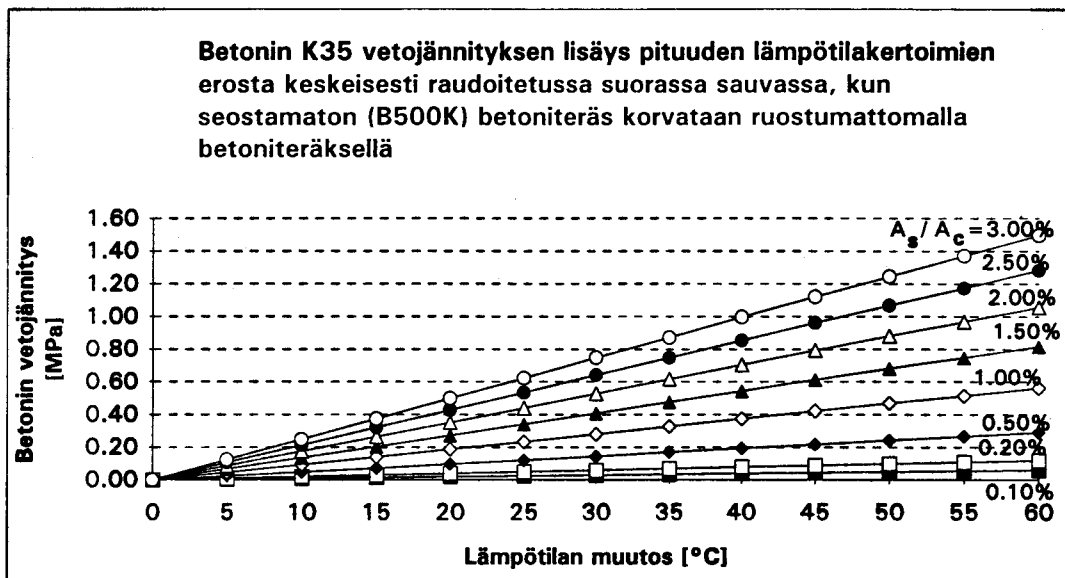
$$\sigma_c = \frac{(\alpha_s - \alpha_c) \Delta T}{\frac{A_c}{E_s A_s} + \frac{1}{E_c}} \quad (8)$$

Betonin kutistuma lisää betonin ja teräksen muodonmuutosesta aiheuttaen raudoitettussa rakenteessa betoniin vetoa ja teräsiin puristusta (kuvassa 1 betonin kuivumiskutistuma  $\epsilon_{cs} = 0,3 \text{ ‰}$ , joka vastaa vetojännitystä 0,91 MPa).

$$\sigma_c = \frac{(\alpha_s - \alpha_c) \Delta T + \epsilon_{cs}}{\frac{A_c}{E_s A_s} + \frac{1}{E_c}} \quad (9)$$



Kuva 1. Betonin (K35) ja ruostumattoman teräksen pituuden lämpötilakerrotoimien erosta sekä betonin kuivumiskutistumasta ( $\epsilon_{cs} = 0,3 \text{ ‰}$ ) betonille tuleva vetojännitys lämpötilan kohoamisen funktiona. Teräsmateriaalin vaikutus (alue A) on esitetty kuvassa 2 eri rauditusprosentteilla.



Kuva 2. Betonin ja ruostumattoman teräksen pituuden lämpötilakertoimien erosta aiheutuva betonin vetojännityksen kasvu lämpötilan kohoamisen funktiona eri rauditusprosentteilla, kun seostamaton B500K-teräs vaihdetaan ruostumattomaan harjateräkseen (kuvan 1 alue A).

#### 4. PURISTETTU RAKENNE

Puristetun rakenteen halkeilu pääteräksiä vastaan kohtisuorassa tasossa on mahdollista, jos

1. pystykuorma on pieni
2. betonin kuivumiskutistuma on suuri
3. rakenteen lämpötila on huomattavasti betonointi- ja lujittumisvaiheen lämpötilaa korkeampi.

Halkeamien muodostuminen tapahtuu betonin estetyt kutistuman ja lämpöjännitysten yhteisvaikutuksesta. Jos rakenteeseen syntyy halkeamia, ovat halkeamien etäisyys ja halkeamaleveys teräksen ja betonin välisestä tartunnasta riippuvia. Pahimmassa tapauksessa voidaan betonin ja teräksen muodonmuutoksen olettaa kokonaisuudessaan keskittyvän halkeamavälin  $l_b$  etäisyydellä toisistaan oleviin halkeamiin. Halkeamien leveydeksi muodostuu tällöin lämpöpitenemiskertoimien erosta ja kuivumiskutistumasta aiheutuva teräksen ja betonin kokonaismuutosero jaettuna halkeamien lukumäärällä kappaleen pituutta kohden. Tarkastelutapa yliarvioi halkeamaleveyttä, koska halkeamien välillä teräs ja betoni toimivat edelleen yhdessä.

Halkeamatarkastelu tehdään 1 m:n pituiselle pilarin osalle. Halkeilun oletetaan aiheutuvan betonin ( $8 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$ ) ja teräksen ( $17 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$ ) pituuden lämpötilakertoimien erosta. Lämpötilamuutokseksi pilarin valmistusvaiheeseen verrattuna oletetaan  $\Delta T = +5^\circ\text{C}$  ja  $\Delta T = +20^\circ\text{C}$ . Kuormien aiheuttamaa vetojännityksen kompensointia ei huomioida.

$$\begin{aligned}\frac{\Delta T}{\Delta \epsilon} &= +5 \text{ }^{\circ}\text{C} \\ \Delta \epsilon &= \Delta \alpha \Delta T \\ &= 9 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^{\circ}\text{C} \cdot 5 \text{ }^{\circ}\text{C} \\ &= 0,045 \text{ ‰} = 0,045 \text{ mm/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{\Delta T}{\Delta \epsilon} &= +20 \text{ }^{\circ}\text{C} \\ \Delta \epsilon &= \Delta \alpha \Delta T \\ &= 9 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^{\circ}\text{C} \cdot 20 \text{ }^{\circ}\text{C} \\ &= 0,180 \text{ ‰} = 0,180 \text{ mm/m}\end{aligned}$$

Pilarin halkeamaväli on raudoituksen ankkuroinnista riippuvainen: betoniin voi kehittyä vetojännitystä raudoituksen ankkurointipituuden matkalla vrt. RakMk B4 2.2.6.2. Kun pilarin halkeamaväliksi otaksutaan 200 mm, saadaan tarkasteltuun pilariin 5 halkeamaa. Kun teräksen ja betonin muodonmuutoksen oletetaan keskittyvän avautuneisiin halkeamiin, saadaan yhden halkeaman leveydeksi:

$$w_k = 0,045 / 5 = 0,009 \text{ mm}$$

$$w_k = 0,180 / 5 = 0,036 \text{ mm}$$

## 5. TAIVUTETTU RAKENNE

Ruostumattomin teräksin raudoitettu taivutettu rakenne käyttäytyy samalla tavoin kuin tavanomaisin teräksin raudoitettu, kun tarkastellaan omanpaimon, hyötykuormien ja betonin pitkäaikaisen kutistuman aiheuttamia jännityksiä ja muodonmuutoksia. Ruostumattoman raudoitteen tavanomaisista terästä suuremmasta pituuden lämpötilakertoimesta  $17 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^{\circ}\text{C}$  johtuen on odotettavissa, että betonin vetojännitys, taipuma ja halkeamaleveys kasvavat lämpötilan noustessa yli valmistuslämpötilan.

Betonin ja ruostumattoman teräksen pituuden lämpötilakertoimien ero:

$$\Delta \alpha = \alpha_s - \alpha_c = (17 - 8) \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^{\circ}\text{C} = 9 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^{\circ}\text{C}$$

Suhteellinen muodonmuutosero (raudoitusprosentista riippumaton) :

$$\Delta T = 5 \text{ }^{\circ}\text{C} \Rightarrow \Delta \epsilon = 9 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^{\circ}\text{C} \cdot 5 \text{ }^{\circ}\text{C} = 0,045 \text{ ‰}$$

$$\Delta T = 20 \text{ }^{\circ}\text{C} \Rightarrow \Delta \epsilon = 9 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^{\circ}\text{C} \cdot 20 \text{ }^{\circ}\text{C} = 0,180 \text{ ‰}$$

Lasketaan halkeamaleveys kaavasta (RakMk B4, kohta 2.3.3.3) :

$$w_k = \epsilon_s (3,5 c + k_w \phi / \phi_r) ; \epsilon_s = \Delta \epsilon$$

$c$  = suojabetonikerroksen paksuus

$k_w$  = 0,085 (B600KA2, B600KX)

$\phi$  = raudoitustangon halkaisija

$\phi_n$  =  $\phi \sqrt{h}$  = tankonipun halkaisija

$\phi_r$  =  $A_s / A_{ce}$ , pinta-alaan  $A_{ce}$  lasketaan se poikkileikkauksen vetovyöhykkeen alue, jota rajoittavat suorat matkan  $7,5 \phi$ :n (tai  $\phi_n$ :n) päässä yksittäisen tangon (tai tankonipun) keskipisteestä.



Ruostumattoman teräksen ja betonin lämpöpiteneiskertoimien erosta johtuva lisäkäyristymä rakenteen halkeilleen osan poikkileikkauksessa lasketaan betonin ja teräksen muodonmuutoseuron, joka "keskittyy" halkeamiin, ja rakenteen laskentapaksuuden suhteena. Halkeilemattomalla osalla rakenteen jäykkyys vastustaa vetoterästen lämpöpiteneisen vaikutusta, ja käyristymän lisäys jää huomattavasti pienemmäksi kuin halkeilleen osan käyristymän lisäys.

Lisäkäyristymä rakenteen halkeilleella osalla:

$$1/r = \Delta\varepsilon / d, \Delta\varepsilon = \Delta\alpha \Delta T$$

Lisätaipuma rakenteen halkeilleen osan lisäkäyristymästä :

$$v = k L^2 / r, \quad k = \text{rakenteen tuennasta riippuva kerroin}$$

$$v = k \Delta\varepsilon L^2 / d$$

(Kohdassa 7 sovellusesimerkki)

## 6. KÄYTTÖEDELLYTYKSET

Ruostumattoman raudoitteen tulee vastata tartunta- ja ankkurointiominaisuuksiltaan seostamatonta harjaterästä. Ankkuroinnin varmistamiseksi on edellytyksenä riittävä betonipeite, vähintään suojattavan tangon halkaisijan suuruinen (kuitenkin  $\geq 10$  mm).

## 7. ESIMERKKI

Laskelmissa on käsitelty esimerkkinä ulokkeena toimivaa parvekelaattaa. Kuvissa 3 ja 4 on halkeamaleveys  $w_k$  ja kuvassa 5 keskimääräinen halkeamaväli  $s_{rm}$  laskettu rauditusprosentteilla 0,2%...3,0%.

Ulokelaatta  $h = 200$  mm,  $b = 1000$  mm,  $c = 20$  mm,  
 $d = 200 - 20 - 11/2 \approx 175$  mm,  $A_c = 200\,000$  mm<sup>2</sup>

Halkeamaleveys :

$$w_k = \varepsilon_s ( 3,5 c + k_w \phi / \phi_r ) ; \varepsilon_s = \Delta\varepsilon \quad (\text{RakMk B4, kohta 2.3.3.3})$$

Keskimääräinen halkeamaväli (lämpötilasta riippumaton) :

$$s_{rm} = k_1 c + k_2 \phi / \phi_r ; \quad (\text{RIL 125 Teräsbetonirakenteet 1986, kohta 3.221})$$

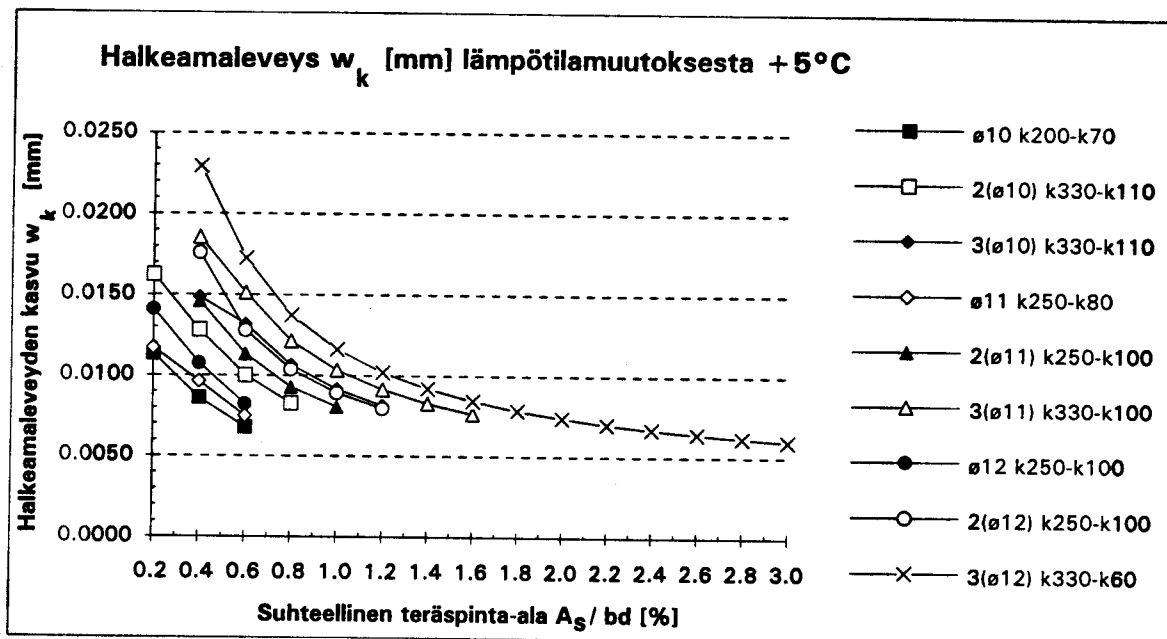
$$k_1 = 2,0$$

$$k_2 = 0,006 \dots 0,240 \Rightarrow k_{2ka} \approx 0,123$$

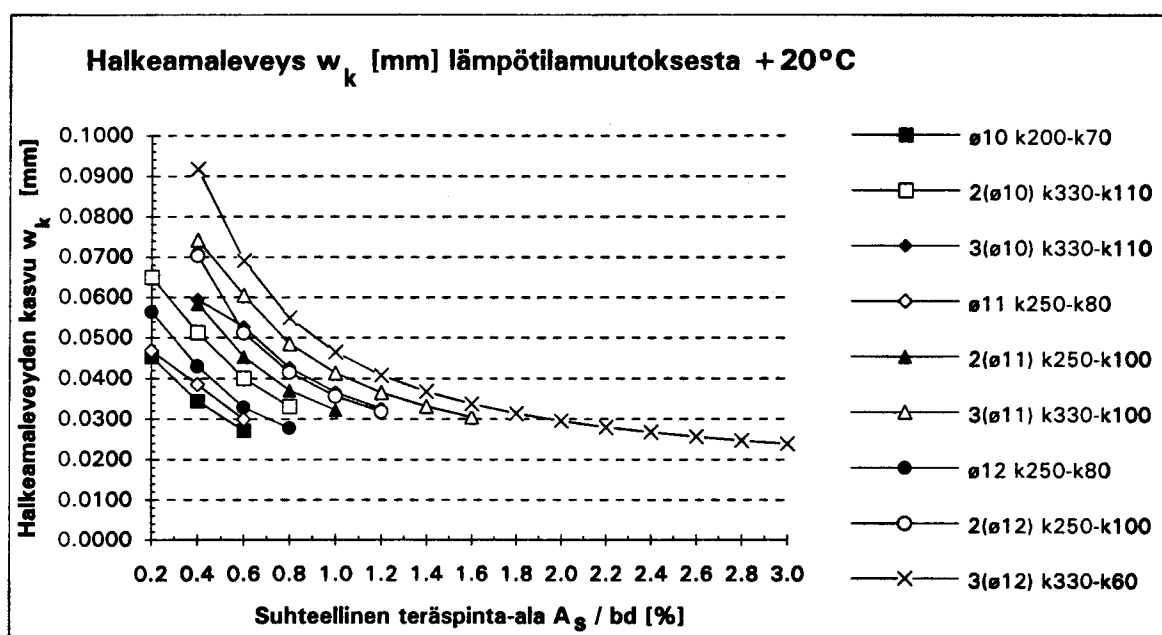
Raudoitustankojen  $\phi = 10, 11, 12$  mm, tankonippujen  $\phi_n = \phi\sqrt{n}$ ,  $n = 2, 3$ .  
Laatan yläpinta ja yläpinnan vetoteräkset lämpenevät auringon säteilyn vaikutuksesta

$\Delta T = +5$  °C, kuva 3 ja

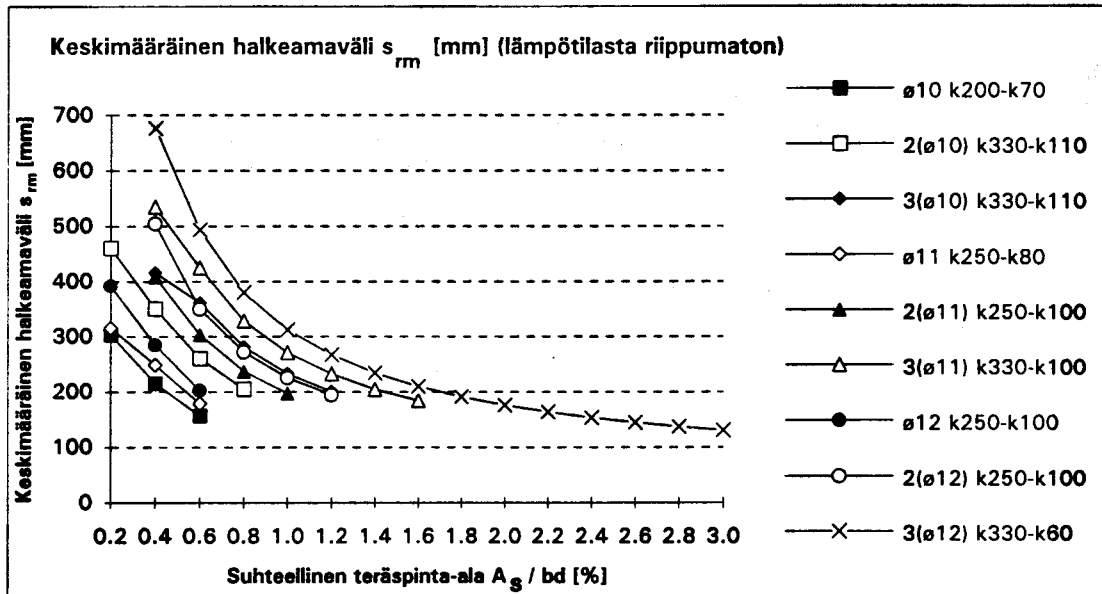
$\Delta T = +20$  °C, kuva 4.



Kuva 3. Halkeamaleveydestarkastelu lämpömuodonmuutoksesta,  $\Delta T = +5$  °C.



Kuva 4. Halkeamaleveydestarkastelu lämpömuodonmuutoksesta,  $\Delta T = +20$  °C.



Kuva 5. Keskimääräinen halkeamaväli.

Raudoitusta lisättäessä halkeamaleveys ja keskimääräinen halkeamaväli pienenevät. Halkeamatarkastelun kuvaajissa (kuvat 3 ja 4) on esitetty raudoitustangon (tai tankonipun) halkaisijasta riippuva "järkevä" k-jako alue.

#### Lisätaipuma lämpömuodonmuutoksista

Lisäkäyristymä rakenteen halkeilleella osalla:

$$1/r = \Delta\varepsilon / d$$

$$\Delta T = +5 \text{ °C}; \Delta\varepsilon = \Delta\alpha \Delta T = 0,045 \text{ ‰}$$

$$\Rightarrow 1/r = 0,045 / 175 \text{ mm} = 0,257 \cdot 10^{-6} \text{ 1/mm}$$

$$\Delta T = +20 \text{ °C}; \Delta\varepsilon = \Delta\alpha \Delta T = 0,18 \text{ ‰}$$

$$\Rightarrow 1/r = 0,180 / 175 \text{ mm} = 1,029 \cdot 10^{-6} \text{ 1/mm}$$

Lisätaipuma rakenteen halkeilleen osan lisäkäyristymästä :

$$v = k L^2 / r, \quad k = 0,5 \text{ (uloke)}$$

$$v = 0,5 \cdot \Delta\varepsilon L^2 / d$$

$$\Delta T = +5 \text{ °C}:$$

$$d / L = 1/10 \Rightarrow L = 10d$$

$$v / L = 0,5 \cdot \Delta\varepsilon \cdot 10 = 0,5 \cdot 0,045 \cdot 10^{-3} \cdot 10$$

$$= 1 / 4444 \text{ (} \approx 2,8 \text{ \% taipumarajasta } 1/125\text{)}$$

$$\Delta T = +20 \text{ °C}:$$

$$d / L = 1/10 \Rightarrow L = 10d$$

$$v / L = 0,5 \cdot \Delta\varepsilon \cdot 10 = 0,5 \cdot 0,18 \cdot 10^{-3} \cdot 10$$

$$= 1 / 1111 \text{ (} \approx 11,2 \text{ \% taipumarajasta } 1/125\text{)}$$

## 8. Yhteenveto

Betonin ja ruostumattoman teräksen (B600KA2, B600KX) erilainen lämpöpiteneminen Suomen ilmasto-olosuhteissa ei aiheuta merkittäviä rajoituksia rakenteiden suunnittelulle. Julkisivuelementtien ulkokuoressa betonin vetojännityksen nousu jää käytännössä vähäiseksi, eikä taivutetuissa rakenteissa lämpömuodonmuutosten aiheuttama halkeamaleveyden tai taipuman kasvu ole merkittävää.

Puristetussa rakenteessa lämpötilan nousun  $\Delta T = +5 \text{ }^{\circ}\text{C}$  ja  $\Delta T = +20 \text{ }^{\circ}\text{C}$  aiheuttaman halkeamaleveyden kasvun ylärajaksi (raudoitusprosentista riippumaton) saatiin n. 0,009 mm ja 0,036 mm, kun keskimääräiseksi halkeamaväliksi oletettiin 200 mm.

Kimboteoreettinen vetojännityslaskelma on lisäksi halkeamien muodostumisen suhteen varmallalla puolella mm. seuraavista syistä

- betonin jännitys-venymäkäyttäytyminen vedossa ei ole lineaarisesti kimmoista
- viruma, jota laskelmissa ei otettu huomioon, pienentää kuivumiskutistumasta aiheutuvaa alkuvetojännitystä betonissa.

Lämpömuodonmuutosten vaikutusta halkeiluun ei voitane pitää erityisen haitallisena varsinkaan siksi, ettei ruostumatonta raudoitusta käytettäessä korroosioriski lisääny.