

# BETONIRAKENTEIDEN KÄYTTÖRAJATILATARKASTELUT – VERTAILUA EUROKOODIEN KÄYTTÖÖNOTTOA VALMISTELTAESSA

Satu Siniluoto, diplomi-insinööri

Eurocode-standardit eli eurokoodit ovat kantavien rakenteiden suunnittelustandardeja, jotka laatii eurooppalainen standardointijärjestö CEN Euroopan komission toimeksiannosta. CENin laatimat standardit tulevat voimaan myös Suomessa maaliskuuhun 2010 mennessä, ja niiden kanssa ristiriidassa olevat kansalliset rakenteiden suunnittelua koskevat säännöt on kumottava. Betonirakenteiden käyttörajatilamitoitusta käsitellään *EN-1992:ssa eli eurokoodi 2:ssa (EC2)*.

Tähän asti Suomessa on käytetty betonirakenteiden käyttörajatilamitoituksessa ympäristöministeriön asunto- ja rakennusosaston hyväksymää Suomen rakentamismääräyskokoelman osaa B4. B4:n ohjeisiin on käytännön mitoitustyön kokemuksen perusteella oltu tyytyväisiä. Tämän takia siirtymisen uusien suunnittelustandardien käyttöön on herättänyt kysymyksiä.

Diplomityössä ”*Betonirakenteiden käyttörajatilatarkasteluiden vertailua eurokoodien käyttöönottoa valmisteltaessa*” tarkastellaan eurokoodien käyttöönoton vaikutuksia joihinkin käyttörajatilamitoituksessa esille tuleviin asioihin pääpainon ollessa betonirakenteisiin syntyvien halkeamien leveyksien määrittämiseen liittyvissä kysymyksissä.

## HALKEAMIEN LEVEYKSIEN ARVIOIMINEN EI OLE YKSIKÄSITTEISTÄ

Betonirakenteisiin syntyy halkeamia, kun kuormien tai muiden voimien aiheuttamat vetojännitykset ovat suuruudeltaan vähintään betonin vetolujuuden suuruisia. Betonin pienen vetolujuuden takia teräsbetonirakenteiden halkeilua ei voida ilman erikoistoimenpiteitä välttää. Esteettisen haitan lisäksi halkeamien katsotaan vaikuttavan teräsbetonirakenteiden säilyvyyteen, vaikkakin asiasta on toisistaan eroavia näkemyksiä eri maissa.

Suomessa vallitsevan käsityksen mukaan rakenteellisten halkeamien ollessa riittävän suuria ne edistävät raudoitusterästen korroosiota helpottamalla korroosion mahdollistavien tai korroosiota edistävien aineiden pääsyä kosketuksiin terästen kanssa. Tämän takia pidetään erittäin aiheellisenä selvittää, miten siirtymisen eurokoodien käyttöön vaikuttaa määritettyihin halkeamaleveyksiin.

Ennen eurokoodien käyttöönottoa kussakin maas-

sa on käytetty rakenteeseen syntyvien halkeamien leveyksien arvioimisessa omia kansallisia kaavoja, jotka voivat erota toisistaan paljonkin. Halkeamaleveyttä määrittävän kaavan muodosta ei ole yksimielisyyttä. Halkeamien muodostuminen on monimutkainen mekaaninen ja geometrinen ilmiö, jota on hankala mallintaa tarkasti. Myös halkeiluun vaikuttavista seikoista on erimielisyyttä. Halkeamien muodostumiseen vaikuttavat lisäksi osittain sattumanvaraisetkin seikat, kuten esimerkiksi betonissa ilmenevät lujuusvaihtelut. Osa kaavoista onkin muodostettu tutkimustulosten perusteella kokeellisesti. Tarkka kaava halkeamaleveyden,  $w$ , määrittämiseksi saadaan terästangon ja betonin todellisten venymien erotuksen eli liukuman kertymänä halkeamien välissä. Suuri osa kaavoista on pyritty johtamaan tästä käyttäen sopiviksi katsottuja yksinkertaistuksia.

Sekä EC2:n että B4:n halkeamaleveyttä määrittävät kaavat on johdettu halkeamien muodostumisen teoreettisesta taustasta. Ne ovatkin rakenteeltaan samankaltaisia. Molemmat rakentuvat halkeamaväliä kuvaavan tekijän,  $s_r$ , ja venymää kuvaavan tekijän,  $\varepsilon$ , tulona:

$$w_k = \varepsilon \cdot s_r = \varepsilon \left( k_a c + k_b \frac{\phi}{\rho_{eff}} \right),$$

jossa

$c$  on teräksiä suojaavan betonipeitteen paksuus

$\phi$  on vektorauuditustankojen halkaisija

$\rho_{eff}$  on tehollinen raudoitussuhde

$k_a$  ja  $k_b$  ovat vakioita.

Tehollinen raudoitussuhde,  $\rho_{eff}$ , saadaan käyttäen kaavaa:

$$\rho_{eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}},$$

jossa

$A_s$  on vektorauoituksen pinta-ala

$A_{c,eff}$  on betonipoikkileikkauksen vedetyn osan tehollinen pinta-ala.

Kaavojen suurimpia eroavaisuuksia on kertoimien erisuuruisten arvojen ohella  $\varepsilon$ -tekijän ja betonipoikkileikkauksen vedetyn osan tehollisen pinta-alan,

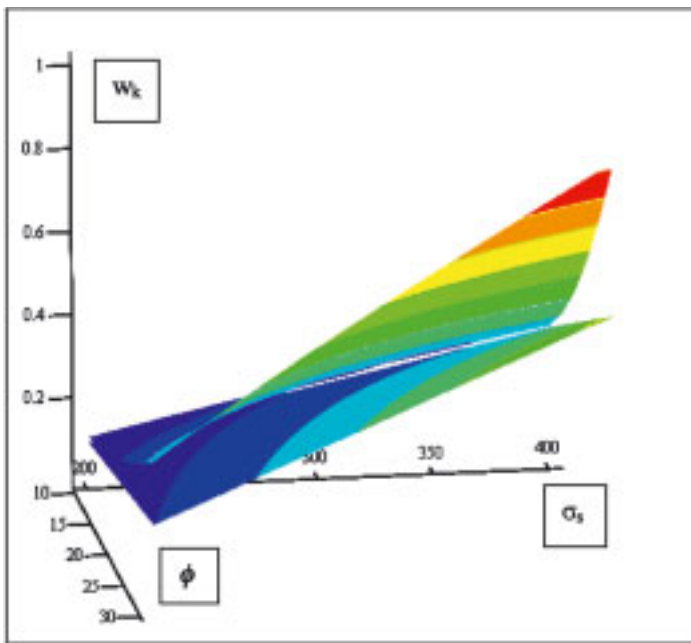
$A_{c,eff}$ , erilainen määrittely. B4:n määritelmää käyttäen  $\varepsilon$ -tekijä saa yleensä suurempia arvoja.  $A_{c,eff}$ :n määritelmässä merkittävin ero EC2:n ja B4:n välillä on, että jälkimmäisessä kyseinen tekijä riippuu voimakkaasti käytettyjen terästankojen halkaisijasta. B4:n määritelmää käyttäen  $A_{c,eff}$ :n arvo on lähes aina suurempi. Kertoimien suuruus osittain tasoitaa muiden tekijöiden aiheuttamaa erisuuruutta halkeamaleveyksien arvoissa.

Eroja EC2:n ja B4:n halkeamatarkasteluissa aiheuttavat myös erot mitoituksessa käytettävän kuormitusyhdistelmän valinnassa ja itse kuormitusyhdistelmässä. Eroja on myös sallituissa halkeamaleveyden arvoissa, joihin laskettuja halkeamaleveyksiä verrataan. Näitä eroja ei kuitenkaan diplomityössä tehdyissä laskelmissa ole otettu huomioon.

## LASKELMAT SELVENTÄVÄT KAAVOJEN EROJA

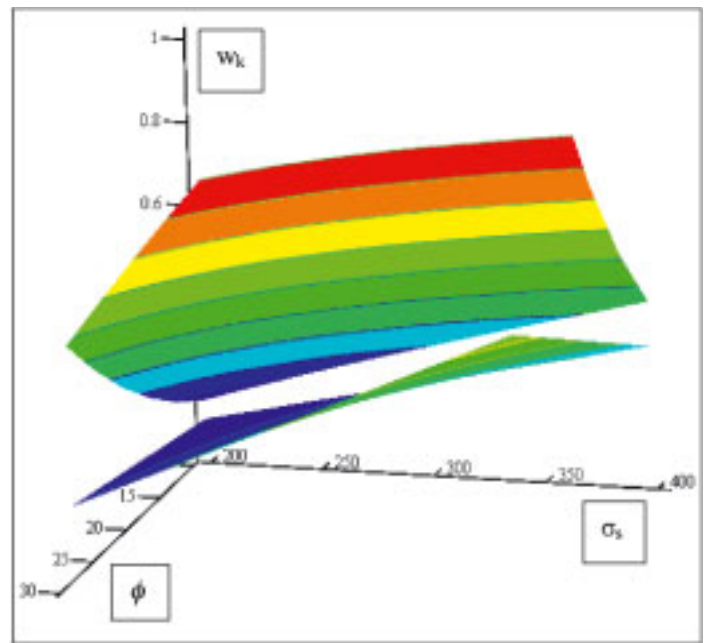
Diplomityössä lasketaan halkeamaleveyden arvoja 200 ...1000 mm paksuisten laattojen tapauksissa käyttäen sekä EC2:n että B4:n kaavoja. Laatan paksuuden ohella muuttujina käytetään terästankojen halkaisijan suuruutta (ja tankojen välistä etäisyyttä) ja rakenteeseen kohdistuvan ulkoisen kuormituksen suuruutta. Laskelmissa mukana olleiden tapausten suuresta määrästä huolimatta tarkasteluja voisi vielä laajentaa esimerkiksi muuttamalla kunkin laatan paksuuden kohdalla käytettyä teräsmäärää.

Tulosten mukaan EC2:n kaavaa käyttäen saadaan käytännössä lähes aina pienempiä halkeamaleveyden arvoja. Laatan paksuuden ollessa pieni (alle 300 mm) ero kaavojen antamien tulosten välillä on huomattavan suuri, kuva 2. Laatan paksuuden ollessa yli 400 mm suurenee ero laatan paksuuden kasvaessa mutta ei yhtä suureksi kuin ohuiden laattojen tapauksessa, kuva 1. Terästankojen halkaisijan kasvaessa ero halkeamaleveyden arvoissa EC2:n ja B4:n välillä kasvaa selkeästi. Käsitys terästankojen halkaisijan vaikutuksesta halkeamien leveyteen onkin erilainen Suomessa ja toisaalta monissa muissa Euroopan maissa. Myös ulkoisen kuormituksen kasvaessa ero halkeamaleveyden arvoissa kasvaa jonkin verran. Suuressa osassa tarkastelluista tapauksista ero EC2:n ja B4:n kaavoja käyttäen laskettujen tulosten välillä on hyvinkin selvä.



wEC, wBN

1



wEC, wBN

2

Eurokoodien kaavoihin on mahdollista jossain määrin vaikuttaa kansallisen liitteen kautta, jonka Suomessa julkaisee talonrakentamisen osalta ympäristöministeriö. Osalle EC2:n kaavoissa esiintyvistä kertoimista voidaan kussakin maassa määrittää annetusta suosituksesta poikkeavat arvot. Koska B4:n halkeamaleveyttä määrittävän kaavan avulla saatuihin tuloksiin on Suomessa oltu tyytyväisiä, on nähty hyvänä vaihtoehtona pyrkiä määrittämään kansallisesti valittavien kertoimien arvot siten, että EC2:n kaavaa käyttäen lasketut halkeamaleveyden arvot vastaisivat mahdollisimman hyvin B4:n tuloksia.

EC2:n suositusarvot kansallisesti valittaville kertoimille ovat vakioita. Diplomityön laskelmien perusteella kertoimien määrittäminen yksittäisinä vakioina ei kuitenkaan ole mahdollista, sillä EC2:n ja B4:n kaavojen avulla lasketujen tulosten erotuksen suuruus vaihteli hyvin paljon. Kyseisten kertoimien arvot olisivatkin määrittävä riippuvaisina ainakin rakenteen mitoista (esimerkiksi laatan paksuudesta) ja raudoituksen jakautumisesta (eli käytettyjen terästankojen halkaisijan koosta). Diplomityön puitteissa laajempiin tarkasteluihin ei kuitenkaan ollut mahdollisuutta. Asiaa on sen sijaan selvitetty muilla tahoilla, ja kertoimien määrittelyyn on sisällytetty muuttujina esimerkiksi terästankojen halkaisijan suuruus ja betonipeitteen paksuuden arvo.

### EC2 NÄYTTÄÄ USEIN ALIARVIOIVAN HALKEAMIEN LEVEYDET

Diplomityön laskelmat osoittavat, että EC2:n ja B4:n kaavoja käyttäen saadaan hyvinkin erilaisia tuloksia. Käytännön suunnittelutoiminnassa onkin syytä ottaa huomioon, että eurokoodia käyttäen saadaan usein aiempaa pienempiä halkeamaleveyksiä. Tämä pätee erityisesti matalissa rakenteissa sekä sellaisissa tapauksissa, joissa rakenteessa on käytetty halkaisijaltaan suuria raudoitustankoja.

Suomalaisesta näkökulmasta EC2:n antamat halkeamaleveyden arvot antavat siis monessa tapauksessa liian optimistisen kuvan rakenteen halkeilusta. Tilannetta olisi mahdollista korjata EC2:n kaavan kansallisesti määritettävien kertoimien avulla ja työ sopivien arvojen selvittämiseksi kyseisille kertoimille jatkuu muilla tahoilla.

### MUITA LEVEYKSIEN MÄÄRITTÄMISEEN VAIKUTTAVIA SEIKKOJA

Edellä läpikäytyjen tarkasteluiden ohella diplomityössä otetaan esille muitakin halkeamaleveyksien määrittämiseen liittyviä asioita. Harjaterästankojen suhteellisen harjapinta-alan ja halkeamaleveyden yhteyttä selvittävien laskelmien perusteella todetaan, että nykyiset halkeamaleveyttä määrittävät kaavat eivät näytä ottavan tarpeeksi huomioon käytettyjen terästankojen tartuntaominaisuuksia, joita suhteellisen harjapinta-alan katsotaan kuvaavan hyvin. Halkeilun ja halkeamien leveyden vaikutusta betonirakenteiden säilyvyyteen selvennetään eri näkökulmista.

EC2:ssa käyttörajatilamitoituksen yhteydessä esitetty vaatimus halkeilua rajoittavan minimiraudoituksen lisäämisestä rakenteeseen koskee myös jännitetyjä betonirakenteita. Jännebetonirakenteisiin ei perinteisesti Suomessa talonrakentamisessa ole lisätty tavanomaisia raudoitusteräksiä, eikä tälle nähdä tarvetta EC2:n käyttöönoton jälkeenkään. Nykykäytännön jatkaminen eurokoodien käyttöönoton jälkeenkin todetaan mahdolliseksi, sillä kyseinen minimirauditus vaaditaan vain halkeileviin rakenteisiin, ja Suomessa monet jännitetyt betonirakenteet suunnitellaan jo lähtökohdiltaan halkeilemattomiksi.

Taipuman määrittämiseen liittyvissä tarkasteluissa tuodaan esille ero mitoituskuormituksen määrittämistavassa EC2:ssa ja B4:ssä. EC2:n joustavamman lähestymistavan takia rakenteiden taipumakestävyydelle asetetut vaatimukset lieventyvät eurokoodien käyttöönoton myötä. Käytännön rakenteiden suunnittelijat pitävät tätä myönteisenä muutoksena, sillä B4:n mukaan laskettaessa joudutaan usein yliarvioimaan rakenteelle tuleva kuormitus huomioitaessa mahdolliset muutokset rakennetta ympäröivien tilojen käyttötarkoituksessa. Taipumalaskelmien yhteydessä käydään läpi viruman oikeaoppista huomioonottamista.

1

Ero halkeamaleveyksien arvoissa EC2:ta (alempi) ja B4:ä (ylempi) käytettäessä 500 mm paksun laatan tapauksessa.

2

Ero halkeamaleveyksien arvoissa EC2:ta (alempi) ja B4:ä (ylempi) käytettäessä 200 mm paksun laatan tapauksessa.

### SERVICE LIMIT STATE ANALYSES OF CONCRETE STRUCTURES – COMPARISON AS PREPARATIONS ARE MADE FOR ADOPTION OF EUROCODES

The service limit state design of concrete structures is discussed in EN-1992, or Eurocode 2 (EC2). Until now, part B4 of the Finnish Building Code, approved by the Housing and Building Department of the Ministry of the Environment has been applied to the service limit state design of concrete structures. Builders have been satisfied with the design guidelines of B4 on the basis of practical design experience. For this reason, the adoption of new design standards has raised questions, which have been studied in a thesis titled "Comparison of service limit state analyses as preparations are made for adoption of Eurocodes". The study focused on issues related to the definition of crack widths in concrete structures.

The calculations presented in the thesis show that very different results are obtained when using equations specified in EC2 and B4, respectively. In practical design projects, it should be taken into account that the crack widths obtained with Eurocodes are often smaller than previously. This applies particularly to low structures and to cases where large-diameter reinforcing bars are used in the structure. In other words, from the Finnish point of view the crack width values obtained with EC2 create an excessively optimistic idea of structural cracking. The situation could be rectified by nationally defined coefficients for the EC2 equations. Efforts to determine suitable values for these coefficients continue in other contexts.