

Betonisiltojen Käyttörajatilamitoitus



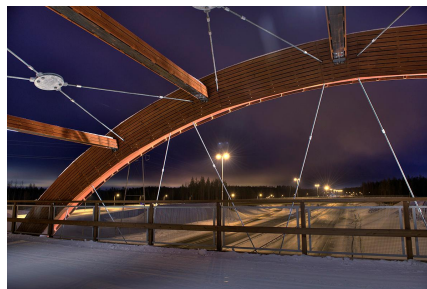
Anssi Laaksonen

© A-insinööri Suunnittelu Oy 25.11.2009

www.a-insinoorit.fi

Esityksen sisältö

- 1) Rasitusluokkien määrittämien
- 2) Halkeilun muodostuminen
- 3) Halkeamien laskenta
- 4) Halkeamaleveysrajat
- 5) Jännitysrajat
- 6) Taipumat
- 7) Jatkotutkimustarpeet



© A-insinööri Suunnittelu Oy 25.11.2009

www.a-insinoorit.fi

Rasitusluokkien määrittäminen

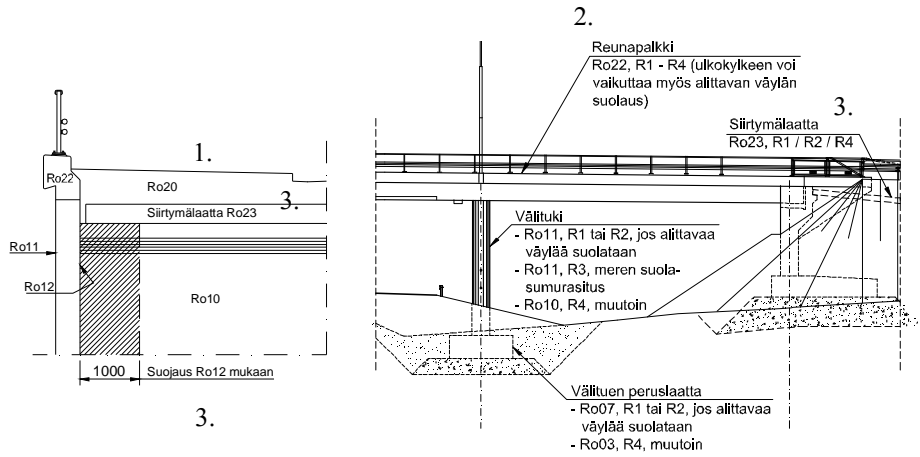
- Eurokoodissa on ohuesti esitetty nykyisen kaltainen säilyvyysmenettely (käyttöikämenettely)
- Nykyisessä ohjeistuksessa kullekin rakenneosalle (Ro) on annettu rasitusluokkaryhmä (R), vaatimukset betonirakenteelle ja suunnittelukäyttöikä
- Menettely tullaan esittämään betonisillojen sovellusohjeessa:
 - Lisäksi ohjeessa tullaan esittämään tavanomaisimmat sillan osat kuvina, joissa rakenneosille on määritelty Ro -ryhmä
 - Ohjeistukseen tehdään myös joitain tarkennuksia mm. maatuukien osalta. Lisätarkennuksia tehdään myös suolan vaikutusalueesta
 - Menettely on vastaava kuin Betonirakenneohjeessa ja Sillan suunnittelun täydentävässä ohjeessa tällä hetkellä.

Betonirakenteiden vähimmäisvaatimukset

Sillan osa	Sillan osan tunnus	Rasitusluokkaryhmä	Rasitusluokat	Vaatimukset					
				Lujuusluokka	P-lukuvaatimus	Betonipitteen nimellisarvo [N/mm ²]		Raudonustyyppi 1)	Suunnittelukäyttöikä
1. Päälysrakenteen palkkien ja kansilaattojen vedeneristeen alla olevat pinnat sekä muut ei suolasumurasitettut pinnat 2)	Ro20	R1	XC3,XC4,XF2	K35	P30	40	tr	100	
		R2	XC3,XC4,XF2	K35	P20	40	tr	100	
		R4	XC3,XC4,XF2	K35	P20	40	tr	100	
2. Päälysrakenteen palkkien ja kansilaattojen suolasumurasitettut pinnat 2)	Ro21	R1	XC3,XC4,XF2,XD1	K35	P30	45	tr	100	3)
		R2	XC3,XC4,XF2,XD1	K35	P20	40	tr	100	3)
		R3	XC3,XC4,XS1,XD1, XF2	K40	P30	40	tr	100	3)
3. Päälysrakenteen ja maatuukien reunapalkit	Ro22	R1	XC4,XD3,XF4	K45	P50	45	tr	50	4)
		R2	XC4,XD2,XF4	K40	P50	40	tr	50	4)
		R3	XC4,XS1,XD3,XF2	K45	P30	45	tr	50	4)
		R4	XC4,XF2	K35	P30	40	tr	70	
3. Siirtymälaatat	Ro23	R1	XC2,XD1,XF4	K35	P50	40	tr	50	
		R2	XC2,XD1,XF4	K35	P30	40	tr	50	
		R3	XC2, XD1,XF2	K35	P30	40	tr	50	
		R4	XC2,XF2	K35	P30	40	tr	70	

Esimerkkejä rasiusluokkien määrittelyistä I

- Ohessa on määritelty betonirakenteiden vähimmäisvaatimuksia sillan välitukirakenteille, siirtymälaatalle, siipi- ja etumuurille

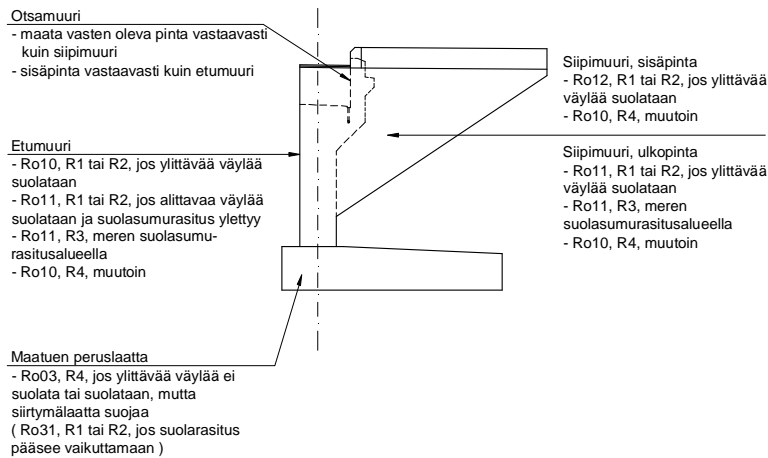


© A-insinööri Oy 25.11.2009

www.a-insinorit.fi

Esimerkkejä rasiusluokkien määrittelyistä II

- Ohessa on määritelty betonirakenteiden vähimmäisvaatimuksia maatumurirakenteille



© A-insinööri Oy 25.11.2009

www.a-insinorit.fi

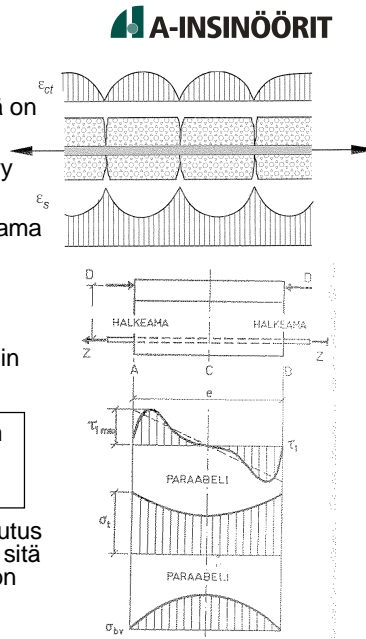
Halkeilun muodostuminen

- Esimerkkinä vedetty betonisauva, jossa keskellä on betoniteräs
- Kun terästä vedetään molemmista päistä kehittyä betoniin ja teräksen vetojännityksiä
- Kun betonin vetolujuus ylittyy, muodostuu halkeama ja siinä poikkileikkauksessa kaikki vetovoima on teräksellä
- Seuraava halkeama muodostuu sellaiselle etäisyydelle, että raudituksen tartunta pystyy kehittämään betonisauvalle vetojännitystä betonin vetolujuutta vastaavan määrän

Halkeamaleveys = Keskimääräinen raudituksen venymä x halkeamaväli

$$W = \varepsilon_s \times S_r$$

- Raudituksen tartunnalla on siis merkittävä vaikutus halkeilun kehittymiseen. Mitä huonompi tartunta sitä suurempi halkeamaleveys koska halkeamaväli on suurempi



© A-Insinöörit Oy 25.11.2009

www.a-insinoorit.fi

Halkeamien laskenta

- 1) Halkeamavälin kaava on useimmissa TB-palkkien tapauksissa:

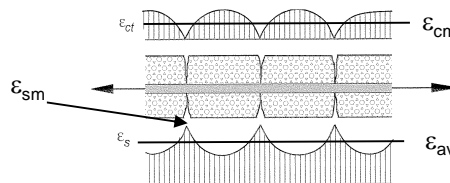
$$S_{r,max} = 3.4 \cdot c + 0.8 \cdot 0.5 \cdot 0.425 \cdot \Phi_{eq} / \rho_{p,eff} = 3.4 \cdot c + 0.17 \cdot \Phi_{eq} / \rho_{p,eff}$$
 - 3.4*c on empiirinen osa ja jälkimmäinen osa johdettavissa edellä esitetyillä mekanismeilla. Vastaavasti 3.4*c termi viittaa siihen, että halkeaman laskenta siirretään rakenteen pintaan => vedetty betonipoikkileikkaus ei säily tasana?
- 2) Teräsvenymän kaava on useimmissa TB-palkkien tapauksissa :

$$E_s \cdot \varepsilon_{av} = \sigma_s - 0.4 \cdot ((f_{ctm} / \rho_{p,eff}) - (f_{ctm} \cdot E_s / E_{cm})), \geq 0.6 \cdot \sigma_s$$

jossa

$$\varepsilon_{av} = \varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \text{keskimääräinen teräksen ja betonin välinen venymäero halkeamien välillä}$$
- 3) Halkeamaleveys saadaan kertomalla kaksi edellistä keskenään
- 4) Ekvivalentti tankohalkaisija lasketaan:

$$\Phi_{eq} = \frac{(n_1 \Phi_1^2 + n_2 \Phi_2^2)}{(n_1 \Phi_1 + n_2 \Phi_2)}$$



© A-Insinöörit Oy 25.11.2009

www.a-insinoorit.fi

Halkeamaleveysrajat 100 vuoden käyttöiälle

	Raudoitettuja ja tartunnattomilla jänteillä jännitetyt rakenneosat	Tartunnallisilla jänteillä ^b jännitetyt rakenneosat
Rasitusluokka ^a	Pitkäaikaisyhdistelmä	Tavallinen kuormayhdistelmä
X0, XC1	0,3 ^c	0,2
XD1 ^d , XC2, XC3, XC4, XS1 ^d	0,15 (varmistuu vertailulaskelmissa)	0,1 ^{e,f}
XD2, XD3, XS2, XS3 ^d	0,1	Vetojännityksetön tila ^{f,g}

a. Rasitusluokat rakenneosittain ovat määritetty Liikenneviraston Betonisiltöjen sovellusohjeesta

b. Jälkijännittämällä suojausputkeen injektoiduilla jänteillä varustetut rakenteet kuuluvat tähän luokkaan.

Tällöin kaavan (7.10) $\xi_1 = 0$ halkeamaleveydestä tarkasteluja tehtäessä.

c. Rasitusluokissa X0 ja XC1 halkeamaleveydellä ei ole vaikutusta säilyvyyteen ja tämä raja on asetettu hyväksyttävän ulkonäön takaamiseksi. Kun ulkonäköehtoja ei aseteta, tästä rajasta voidaan poiketa.

d. Kloridirasitukset eivät aseta vaatimuksia rakenteen halkeilun suhteen, mikäli kloridirasitetut pinnat on suojattu Liikenneviraston betonisiltöjen sovellusohjeen mukaisesti.

e. Näissä rasitusluokissa tarkistetaan lisäksi vetojännityksetön tila kuormien vaikuttaessa pitkäaikaisyhdistelmänä.

f. Raudoitukselle jossa jänneteräksiä ei ole vetovyöhykkeessä käytetään vasemmassa sarakkeessa olevan tavanomaisen raudoituksen halkeamaleveysvaatimuksia. Rakenne oletetaan haljenneeksi vetovyöhykkeessä, vaikka sen laskennallinen halkeilukestävyys ei ylittysikään

g. Vetojännityksetön tila edellyttää, että tartunnallisten jänteiden ja niiden suojausputkien ympärillä tietyllä rajaetaisyysdellä oleva betoni pysyy puristettuna määritellyn kuormituksen vaikuttaessa. Rajaetaisyysdellä käytetään mitta 100 mm.

© A-insinöörit Oy 25.11.2009

www.a-insinöörit.fi

Esimerkki sallitusta halkeamaleveydestä

- Betonipeitteet

- $c_{nom} = 40$ mm
(Nimellisarvo Betonisiltöjen sovellusohjeesta)
- $\Delta c_{dev} = 5$ mm
(Sijaintitoleranssi betonisiltöjen sovellusohjeesta)
- $c_{min,dur} = c_{nom} - \Delta c_{dev} = 40 - 5 = 35$ mm
(Ympäristöolosuhteiden vaatima määrä)
- $c_{true} = 52$ mm
(betonipeite suunnitelmassa esim.40+12)
- $c = \min(c_{true}, k_{c1} * c_{min,dur}) = \min(52, 1.4 * 35) = \min(52, 49) = 49$ mm, tämä on halkeamaleveyden laskennassa käytettävä betonipeite

- Halkeamarajan kasvatus

- Sallittu halkeamaleveys on:
 $((c / c_{min,dur}) \leq 1.4) * w_{k,qp} = 1.4 * 0.15 = 0.21$ mm,
- Vrt. nykyinen:
 $((c / c_{min}) \leq 1.5) * w_{k,100}$ esim. $1.5 * 0.14 = 0.21$ mm
- Punaiset arvot varmistuvat 1.4.10 mennessä

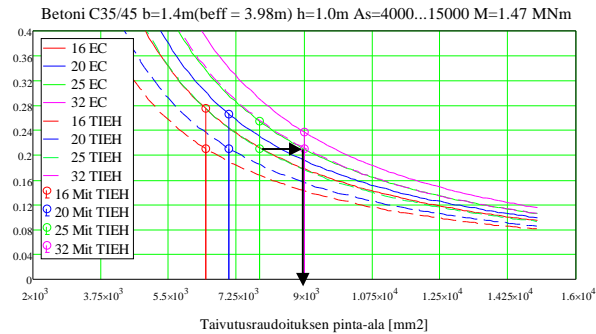


© A-insinöörit Oy 25.11.2009

www.a-insinöörit.fi

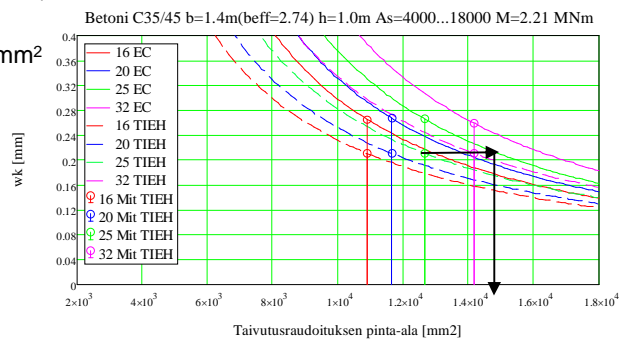
Halkeamaleveys esimerkkipoikkileikkauksella

- Oheisessa kuvassa on esitetty esimerkkinä olevan sillan poikkileikkauksen mitoitus nykyohjeistuksen mukaan **keskikentässä** ja Eurokoodin mukaan nykyohjeen mukaisella pitkäaikaisella raudoituksella momentin ollessa sama
- Esimerkkitapauksessa halkeamaleveydeksi muodostui miltei sama arvo
- Vaadittu rauditus on $\Phi_{eq} 25$ n. 9000 mm²
- ULS 11000/8500 mm²
- Isoimmat erot syntyvät mitoituskuormien muutoksesta



Halkeamaleveys esimerkkipoikkileikkauksella

- Oheisessa kuvassa on esitetty esimerkkinä olevan sillan poikkileikkauksen mitoitus nykyohjeistuksen mukaan **välituella** ja Eurokoodin mukaan nykyohjeen mukaisella pitkäaikaisella raudoituksella momentin ollessa sama
- Vaadittu rauditus $\Phi_{eq} 25$ on n. 14500 mm²
- ULS 14500/8200 mm²



Suurimpia eroja nykyohjeistukseen verrattuna

- Eurokoodissa halkeamalevydet tarkistellaan TB-rakenteella vain pitkäaikaisella kuormitusyhdistelmällä.
- Vedetyn betoniosan laskentakaava on erilainen, nykyisen kaltaista 7.5ϕ -sääntöä ei ole vaan vedetty betoniosa määritellään kolmen kaavan miniminä, joista palkin tapauksessa yleisin on $2.5 \cdot (h-d) \cdot b$. Ongelmana kaavan käytössä on laattapalkkipoikkileikkaus välituella, mikä on leveys b ? (toimivat leveydet)
- Varsinaisessa Eurokoodissa ei ole " $c/c_{\min} < 1.5$ -menettelyä", jolloin vaadittua minimiä suuremmalla betonipeitteellä sallitaan suurempi halkeamaleveys. Kuitenkin vastaava menettely tuodaan käyttöön sovellusohjeen kautta.
- Käsitettä "teräksen jännitys σ_{sr} halkeaman avautumishetkellä" ei Eurokoodissa ole
- Eurokoodissa TB-rakenteen pitkäaikaisella kuormitusyhdistelmällä halkeamaleveyden laskentakaavassa on lyhytaikainen kimmokerroin mutta momenttivartta laskiessa pitkäaikainen kimmokerroin



Betonin jännityksen rajoittaminen

- Betonin jännitys ei ominaisyhdistelmällä saa ylittää arvoa $0.6 \cdot f_{ck}$ esim. C35/45 : $0.6 \cdot 35 = 21$ MPa
vrt. nykyinen $0.7 \cdot f_{ck} = 0.7 \cdot 0.7 \cdot 45 = 22.1$ MPa
- Betonin jännitys ei pitkäaikaisella kuormitusyhdistelmällä saa ylittää arvoa $0.45 \cdot f_{ck} = 0.45 \cdot 35 = 15.8$ MPa tai muuten viruman epälineaarisuus on otettava huomioon
vrt. nykyinen $0.5 \cdot f_{ck} = 0.5 \cdot 0.7 \cdot 45 = 15.8$ MPa
- Huomattavaa on, että kuormitettaessa kolme kertaa jännityksettömästä tilasta betonikoekappaletta arvoon $0.6 \cdot f_{ck}$ se hajoaa, eli jännitystaso on varsin korkea.
- Jännittämistyön jälkeinen betonin puristusjännitys on korkeintaan $0.45 \cdot f_{ck}(t_0)$. EN 1992-1-1 3.1.4 (4)



Jänneterästen jännitysten rajoittaminen

Esim. $f_{p0.1k}/f_{pk}$ 1640/1860 ($f_{p0.1k}$ ja $f_{p0.2k}$ välinen ero on noin 10MPa)

Jännittämistyön aikainen hetkellinen jänneteräksen jännitys on korkeintaan pienempi arvoista:

Jännebetoni: $0,9 \cdot f_{p0.1k}$ ja $0,8 \cdot f_{pk}$ 1476 ja 1488 MPa

Ankkurijännebetoni: $0,85 \cdot f_{p0.1k}$ ja $0,75 \cdot f_{pk}$ **1394** ja 1395 MPa

Jännittämistyön jälkeinen

jänneteräksen jännitys on korkeintaan pienempi arvoista:

Jännebetoni: $0,85 \cdot f_{p0.1k}$ ja $0,75 \cdot f_{pk}$
1394 ja 1395 MPa

Ankkurijännebetoni: $0,8 \cdot f_{p0.1k}$ ja $0,7 \cdot f_{pk}$
1312 ja **1302** MPa



Taipuman rajoittaminen

- Standardissa EN 1992-1-1 kohdassa 7.4 on annettu taipumalle rajoituksia. Standardissa EN 1992-2 on määritetty että kaikki kohdat (3)-(6) eivät siltojen osalta päde
- Sovellusohjeissa tullaan antamaan taipumalla nykyisen kaltaiset rajoitukset:
- Päällysrakenteen taipuma liikennekuormasta LM1 tai LM2 ($\psi = 0.75$ ja 0.4) saa olla enintään $L/400$
- Ulokkeen taipuma saa olla kuormasta LM1 tai LM2 ($\psi = 0.75$ ja 0.4) $L/200$ mutta enintään 20 mm, L = Ulokkeen pituus



Jatkotutkimusehdotukset

- Tulee tarkasti harkita mitoitetaanko halkeamat TB-rakenteissa myös tavallisella kuormitusyhdistelmällä Eurokoodista poiketen?
- Tulisiko kuormien pitkäaikaisuudessa olla myös akselit mukana Eurokoodista poiketen?
- Miten lasketaan poikkileikkauksen vedetty betoniosa?
 - Nykyään "7.5*Φ" ja DIN 102 (Betonisiltojen sovellusohje Eurokoodiin) "5*c"?
- Muuta?

Kysymyksiä?

