

BETONISILTOJEN RAUDOITEVAATIMUKSET

Siltaeurokoodien koulutus, 2.-3.12.2009

DI Markus Rynnänen

Esityksen sisältö

- Raudoitteen taivutus
- Ankkurointi ja limijatkos
- Puristetun raudoituksen sidonta
- Sillan päädyn raudoituksia
- Jänneankkurin halkaisuraudoitus
- Raudoitteiden vähimmäisvaatimuksia



Raudoituksen taivutus

- Raudoitettangon taivutustelan halkaisija on vähintään 2 kertaa kyseisen teräsluokan taivutuskokeen mukainen arvo
 - esim. A500HW T20 taivutuskokeessa $\Phi=2,5d$
- Betonin vahingoittumisriski kasvaa taivutustelan halkaisijoita
 - eurokoodissa on annettu laskentakaava tälle
 - tai käytä sovellusohjeen taivutustelojen taulukkoa, jolloin betonin vahingoittumista ei tarvitse erikseen tarkastella



Tankojen taivutustelan suositeltavat vähimmäishalkaisijat

Tangon halkaisija	Haat, koukut ja lenkit	Pääraudoitus
$\Phi \leq 10 \text{ mm}$	4 Φ	24 Φ
$10 < \Phi \leq 20 \text{ mm}$	5 Φ	24 Φ
$\Phi > 20 \text{ mm}$	7 Φ	24 Φ

Raudoituksen ankkurointipituus

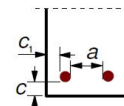
- Ankkurointipituus L_{bd}

$$l_{bd} = \frac{\sigma_{sd} \phi_n}{9 \eta_1 \eta_2 f_{ctd}}$$

$$\eta_2 = \frac{132 - \phi_n}{100} \leq 1$$

- $\eta_1 = 1$ hyvässä tartuntaolosuhteissa

- Tangon ja valusuunnan välinen kulma on vähintään 45°. TAI
- Tanko on enintään 250 mm etäisyydellä rakenteen alapinnasta TAI
- Tanko ei sijaitse 300 mm etäisyydellä rakenteen yläpinnasta kun rakenteen paksuus on vähintään 600 mm.
- Muuten $\eta_1=0,7$



a) Suorat tangot
 $c_3 = \min(a/2, c_1, c_2)$

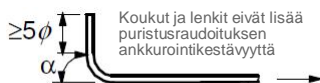
$$\alpha_2 = 1 - 0,15 (c_3 - \phi) / \phi$$

$$\geq 0,7$$

$$\leq 1,0$$

-Lisäksi eurokoodissa muuttujia, jotka on α -kertoimien muodossa, voivat lyhentää ankkurointi pituutta

- betonipeite ja tankojen välinen etäisyys
- koukut ja lenkit
- poikittainen puristus
- poikittainen rauditus



Koukut ja lenkit eivät lisää puristusraudituksen ankkurointikestävyttä

Harjatankojen ankkurointipituudet
Hyvät tartuntaolosuhteet. Rakenneluokka 1. $f_{yk}=500 \text{ MPa}$.

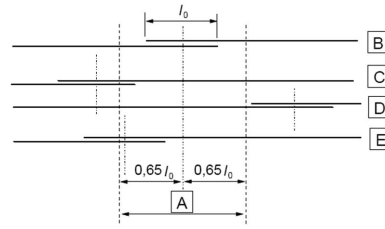
Φ	f_{ck}					
	25	30	35	40	45	50
10	380	336	303	278	257	239
12	456	404	364	333	308	287
16	608	538	486	444	411	383
20	759	673	607	555	513	478
25	949	841	759	694	642	598
32	1215	1076	971	888	821	766
35.35	1389	1230	1110	1015	939	875
43.3	1854	1642	1481	1355	1253	1168
45.25	1981	1754	1583	1448	1339	1248

Limijatkos

- Ankkurointipituus L_{bd}

$$l_0 = \frac{\alpha_6 \sigma_{sd} \phi_n}{9 \eta_1 \eta_2 f_{ctd}} \quad \alpha_6 = \sqrt{\frac{\rho_1}{25}} \geq 1$$

- ρ_1 on limijatketun raudituksen prosenttiosuus, jotka on jatkettu "samassa poikkileikkauksessa".
- Lisäksi eurokoodissa on muuttujia, joiden avulla limijatkos pituutta voidaan lyhentää
- Kaikkea vetoraidoistusta ei jatketa samassa poikkileikkauksessa
 - Korkeintaan 50%, kun raudoite on yhdessä kerroksessa
 - Korkeintaan 25 %, kun raudoite on useassa kerroksessa
- Kaikki puristus- ja jakoraidoitus voidaan jatkaa samassa poikkileikkauksessa

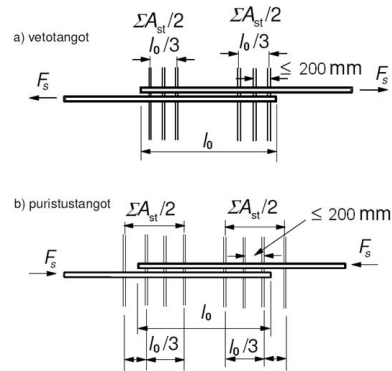
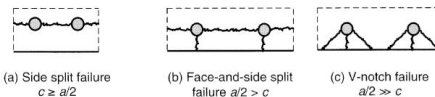


Kuva xx1. Raudoitettankojen B ja E jatkosten katsotaan olevan samassa poikkileikkauksessa A, joten prosenttiosuus on 50 % ja $\alpha_6 = 1,4$.

Limitettävien tankojen keskinäinen vapaa väli kasvattaa limijatkospituutta.

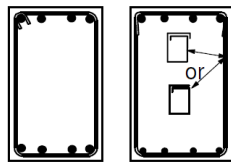
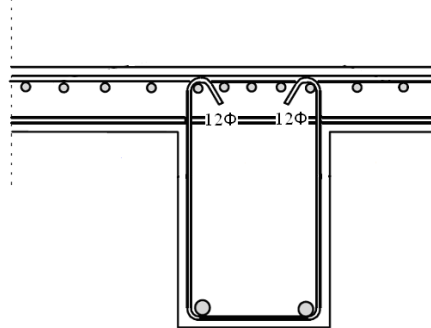
Limijatkos, poikittaisraudoitus

- Kun yli 25 % raudoituksesta jatketaan samassa poikkileikkauksessa käytetään poikittaisraudoitusta limijatoksessa
 - Betonipinnan ja limijatkettavan raudan väliin
- Kun yli 50 % limijatketaan ja limijatkosten välinen etäisyys on alle 10Φ , ei pelkkä poikittaisraudoite riitä
 - Ilmeisesti vaarana on laaja-alainen betonipinnan irtoaminen
 - On käytettävä hakoja tai U-lenkkejä.
 - Ratkaistava kuinka tähän eurokoodin kohtaan suhtaudutaan



Hakaraudoituksen ankkurointi

- 12Φ koukku riittää ankkurointiin
 - koukun sisänurkkaan tanko Φ
- Vääntöhaan on oltava umpihaka
 - Yläpinnan poikkiraudoitusta käytettäessä on väännön ja poikittaisen taivutuksen vaikutukset summattava.



Puristetun raudoituksen sidonta

- Mitoituksessa hyödynnettävä puristettu rauditus sidotaan haoilla
 - Haka k250
 - Haan halkaisija vähintään 10 mm tai 0,25Φ
 - Päärauta on sidottu, jos sen etäisyys haan nurkasta on korkeintaan 20 kertaa haan halkaisija.
- Merkittävät puristusraudoitukset kannattanee sitoa, vaikka niitä ei mitoituksessa hyödynnettäisi
 - esim. Harjapalkkien harjojen lohkeaminen
 - Suomalaiset yrittivät vaikuttaa puristusraudoituksen sidontaan liittyvään ohjeistukseen – tuloksetta.



Haurasmurtumisen välttäminen

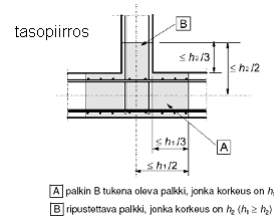
- Rakenteella on oltava riittävä kiertymiskyky
 - ongelmat voidaan havaita
 - "voimat kulkevat toista kautta"
- Teräsbetonirakenteilla raudoituksen on myödetävä ennen betonin murtopuristumaa

$$\frac{y}{\lambda d} \leq \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} + \varepsilon_{yk}}$$

- Jännitetyillä rakenteilla mitoitusehdon antaminen on hankalampaa
 - Tulee sovellosohjeeseen

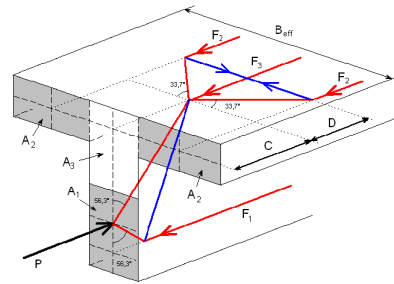
Sillan pääty

- Alapinnan pääraudoitus tuella
 - 50% kentän murtorajatilassa vaaditusta raudoitteesta
 - Vähintään voimalle V_d
 - Jännerauditus, joka ankkuroidaan palkin päässä korkeintaan palkin korkeuden neljäsosan päässä palkin alareunasta, voidaan ottaa huomioon.
- Ripustusraudoitus (päätypalkki)
 - Ripustusraudoituksen määrä on ripustettavan tukireaktion verran
 - Ripustusraudoitus lisätään muuhun (leikkaus)raudoitukseen
 - Ripustusraudoitus jaetaan kuvan harmaalle alueelle
 - ilmeisesti ripustettavan palkin alueelle ripustusraudoitusta ei kannata laittaa vaan päätypalkkiin



Laattapalkin pääty

- Ankkuroitava jännevoiman jakautuminen aiheuttaa laippaan poikittaista vetoa
 - Eurokoodissa jakaantumiskulman arvoksi voidaan olettaa $33,7^\circ$
 - Tarvittava poikittainen raudoitus kannattaa levittää/jatkaa myös laskennallisen alueen (D) ulkopuolelle.
 - Tämä poikittainen raudoitus lisätään muuhun laskennalliseen raudoitukseen
- Laipan reuna-alueen pitkittäinen raudoitus
 - Jännevoima aiheuttaa laipan reunoihin vetoa. (Laippa on revittävä mukaan)
 - Mitoituskaava ei ole, mutta ilmiö huomattava suunnittelussa



Halkaisuraudoite

- Menetelmiä
 - EN 1992-1-1 kohta 6.5.3
 - EN 1992-2 liite JJ
 - Aikaisemmin käytetyt menetelmät
- Halkaisuraudoitteet on analysoitava myös jänneryhmälle huomioiden jännittämisjärjestys



Vähimmäisvaatimusten perustelut 1/2

- Vähimmäisraudoitus
 - Haurasmurtuman estäminen välttämällä aliraidoitettut rakenteet
 - Vähentää pintahalkailua
 - Vastanoottaa ennalta arvaamattomia tai hankalasti määriteltäviä rasituksia
 - Vähentää rakenteiden muodonmuutoksia (viruma)
- Enimmäisjakoväli
 - Vähentää pintahalkailua
 - hyvä esimerkki vääntöraudoituksen tiheys
 - Takaa, että rakenne toimii mitoituksessa oletetulla toimintavalla
- Vähimmäisjakoväli
 - Valettavuus ja asentaminen
 - Liian lähekkäin olevat tangot kasvattavat pintahalkailua
 - Tartuntalujuuden laskentakaavojen päteminen

Vähimmäisvaatimusten perustelut 2/2

- Vähimmäistankoko
 - Parannetaan pitkäaikaiskestävyyttä
 - Käsiteltävyys ja asennettavuus
- Enimmäistankoko
 - Vähentää pintahalkailua
 - Asennettavuus
 - Varmistetaan, että mitoitusteorioiden, kuten tartuntalujuudet, pätevät

Eri rakenneosissa on varauduttava erilaisilla ennalta arvaamattomia tai hankalasti määritettäviä rasituksia vastaan.

Pintahalkailun osalta vaatimukset eroavat rakenneosittain ja ilmiöiden perusteella toisistaan.

Raudoitevaatimuksissa tulisi pyrkiä yksinkertaisuuteen ja selkeyteen. Annetuille vaatimuksille pitää olla selkeä peruste. Raudoitevaatimusten tarkoitus ei ole varustaa rakenteita niin suurilla raudoitemäärillä, että ne automaattisesti täyttävät mitoituksista saadut vaadittavat raudoitteet.

DI Markus Ryyänen

26.11.2009

RAUDOITEVAATIMUKSET KOSKIEN KAIKKI RAKENTEITA YLEISTÄ

Rakenteen sitkeyden takaamiseksi rakenteen molemmissa pinnoissa on oltava pääraudoitus, joka pystyy vastaanottamaan betonin halkeilukestävyyden mukaisen taivutusmomentin kyseisen pinnan suhteen. Jos tarkempia menetelmiä ei käytetä, on vähimmäisraudoitemäärä molemmissa pinnoissa

$$A_{s,\min} = 0,26 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} b_t d$$

,missä b_t on tarkasteltavan pinnan leveys.

Lisäksi vedetyillä ja puristetuilla rakenteilla on pääraudoituksen määrän oltava vähintään

$$A_{s,\min} = \max \left\{ \frac{0,10 N_d}{f_{yd}} ; 0,002 A_c \right\}$$

Seinien, seinämäisten palkkien molemmissa pinnoissa molempiin suuntiin on tasaisesti jaettua raudoitetta oltava vähintään 0,1 % A_c .

Jakoraudoitus on vähintään 20 % pääraudoituksesta.

Puristusraudoituksen enimmäismäärä on 0,06 A_c ja limijatkoskohdissa 0,12 A_c .

Pääraudoituksen vähimmäishalkaisija on 16 mm. Pinnoissa, jotka ovat puristettuna tavallisella kuormitusyhdistelmällä, on pääraudoitetankojen vähimmäishalkaisija 12 mm. Jakoraudoituksen ja muun pintaraudoituksen vähimmäishalkaisija on 12 mm. Hakojen ja muiden raudoitetankojen vähimmäishalkaisija on 10 mm.

Pilareilla pääraudoitetankojen vähimmäishalkaisija on 20 mm.

Pääraudoitetankojen enimmäisjakoväli on pienempi arvoista 200 mm ja 0,75h. Tavallisella kuormitusyhdistelyllä puristetuissa pinnoissa enimmäisjakoväli on pienempi arvoista 300 mm ja h. Jakoraudoituksen enimmäisjakoväli on 300 mm. Jakovälivaatimukset koskevat myös sivupintoja.

Alusrakenteiden pinnoissa, jotka eivät jää näkyviin ja niihin ei kohdistu suolarasituksia, on raudoitetankojen enimmäisjakoväli 300 mm. Rakennekorkeudesta riippuva enimmäisjakovälivaatimus on edelleen voimassa.

Pääraudoitusta ympäröivän hakaraudoituksen vähimmäismäärä on

$$A_{sv} = \frac{0,08 \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} b_w \cdot \sin \alpha \quad , [A_{sv}] = \frac{m^2}{m}$$

Hakojen vähimmäismäärän vaatimus koskee palkkeja, pilareita ja rakenteita joissa hyödynnetään leikkausraudoitusta. Vähintään puolet leikkausraudoituksesta koostuu haoista.

Pituussuunnassa leikkausraudoitetankojen enimmäisjakoväli on pienin arvoista 400 ja 0,75d. Poikkisuunnassa leikkausraudoitetankojen enimmäisjakoväli on pienin arvoista 600 ja 0,75d. Lisäksi vääntöraudoitetuissa palkeissa hakojen on oltava pystysuoria umpihakoja ja enimmäisjakoväli on pienin arvoista 300, u/8 ja b.

Mitoituksessa hyödynnettävä puristettu pääraudoitus sidotaan haoilla. Sidontaan käytettävien hakojen enimmäisjakoväli on 250 mm. Ne pääraudat, joiden etäisyys haan nurkasta on korkeintaan 20 kertaa haan halkaisija, katsotaan sidotuiksi. Sidontahaan vähimmäishalkaisija suurempi arvoista 10 mm ja 0,25 kertaa suurin sidottava pääraudoitustangon ekvivalenttihalkaisija.

DETSKUT, kuten pilarissa on vähintään 6 pääraudoitetankoa, laattapalkin laipan irtileikkaantumisraudoituksen vähimmäismäärä, TULEE RAKENNEOSIEN ALLE.

A-Insinöörit Suunnittelu Oy

ESPOO
Harakantie 18 A
02650 Espoo
Puh. 0207 911 777
Fax 0207 911 779

TAMPERE
Satakunnankatu 23 A
33210 Tampere
Puh. 0207 911 777
Fax 0207 911 778

E-mail:
etunimi.sukunimi@ains.fi
Internet:
www.a-insinoorit.fi

Y-tunnus 0211382-6
Kotipaikka Tampere