

SUOMEN RAKENTAMISMÄÄRÄYSKOKOELMA

Rakenteiden lujuus ja vakaus

Betoni-teräs -liittorakenteet



Ympäristöministeriö
Miljöministeriet
Ministry of the Environment

2016

Esipuhe

Ympäristöministeriö julkaisee Suomen rakentamismääräyskokoelmassa rakenteiden lujutta ja vakautta koskien betoni-teräs -liittorakenteiden suunnittelua koskevat suositukset. Ohje sisältää yhteen koottuna kaikki betoni-teräs -liittorakenteiden suunnittelua koskevat kansalliset liitteet.

Kunkin kansallisen liitteen alussa on esitetty standardin kohdat, joissa kansallinen valinta on standardin mukaan mahdollista tehdä sekä milloin valinta on tehty.

Helsingissä 20. joulukuuta 2016

Rakennukset ja rakentaminen yksikön päällikkö
Rakennusneuvos



Teppo Lehtinen

Sisältö

1. Soveltamisala	4
2. Rakenteiden suunnittelu	
2.1 Toteutusasiakirjat	4
2.2 Rakennesuunnitelmien sisältö	4
2.3 Toteutusluokat	5
2.4 Säilyvyys ja suunniteltu käyttöikä	5
3. Toteutus	
3.1 Toteutuksen suunnittelu	6
3.2 Käytettävät rakennustuotteet	6
4. Toteutuksen valvonta ja rakenteiden kelpoisuus	
4.1 Toteutuksen valvonta	6
4.2 Rakenteiden kelpoisuus	7
5. Viittaukset	7
6. Eurokoodien SFS-EN 1994 kansalliset liitteet	
Kansallinen liite standardiin SFS-EN 1994-1-1 osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt	8
Kansallinen liite standardiin SFS-EN 1994-1-2 osa 1-2: Yleiset säännöt. Rakenteiden palomitoitus	11
NCCI 1 standardiin SFS-EN 1994-1-2: Betonilla täytettyjen putkiliittopilareiden mitoitus palotilanteessa	13

1. Soveltamisala

Nämä ohjeet antavat lisätietoja sovellettaessa ympäristöministeriön asetusta kantavista rakenteista betoni-teräsluottorakenteiden suunnitteluun ja toteutukseen. Näiden ohjeiden mukaisen ratkaisun katsotaan täyttävän kantaville rakenteille asetetut vaatimukset.

Näitä ohjeita sovelletaan kun betoni-teräsluottorakenteet suunnitellaan standardien SFS-EN 1994 ja niitä koskevien Suomen kansallisten liitteiden mukaan sekä toteutetaan standardien SFS-EN 13670 ja SFS 5975 sekä SFS-EN 1090-2 mukaan.

Harmonisoitujen eurooppalaisten tuotestandardien mukaan valmistettujen betonivalmisteiden osalta noudatetaan tuotestandardeissa esitettyjä suunnittelua ja valmistusta koskevia täydentäviä sääntöjä ja vaatimuksia.

2. Rakenteiden suunnittelu

2.1 Toteutusasiakirjat

Betoni-teräsluottorakenteiden toteutusasiakirjojen ja toteutuseritelmän laadinnasta annetaan ohjeita standardeissa SFS-EN 13670 ja SFS 5975 sekä SFS-EN 1090-2.

Toteutusasiakirjat sisältävät yleensä vähintään seuraavat asiat:

- rakennepiirustukset
- standardien SFS-EN 13670 ja SFS 5975 sekä SFS-EN 1090-2 mukaiset vaatimukset kuten esimerkiksi käytettävät toteutusluokat ja toleranssiluokat
- tarvittaessa teräsrakennetyöt, joita SFS-EN 1090-2 ei kata (esimerkiksi teräsrakenteen palo-suojaustyöt)
- muut noudatettavat asiakirjat tai viittaukset muihin asiakirjoihin.

2.2 Rakennesuunnitelmien sisältö

Betoni-teräsluottorakenteiden rakennesuunnitelmissa suunnittelutehtävään soveltuvassa laajuudessa esitetään yleensä vähintään:

- a) seuraamusluokka
- b) rasitusluokat ja rakenteen suunniteltu käyttöikä
- c) rakenneosien R/E/I/M-palonestävyysluokka
- d) käytetyt ominaiskuormat ja kuormaluokka
- e) täydelliset tiedot rakenteiden mitoista ja sijainnista
- f) toteutusluokka
- g) toleranssit/toleranssiluokka
- h) betonin ja raudoituksen osalta Suomen rakentamismääräyskokoelman betonirakenteet osassa esitetyt asiat
- i) teräsosien osalta Suomen rakentamismääräyskokoelman teräsrakenteet osassa esitetyt asiat
- j) tarvittavat valaukukset, veden-, höyryn- ja ilmanpoistoreiät
- k) teräsosien sisällä käytettävien raudoitteiden tuenta
- l) työnaikaiset tuennat ja niiden poistaminen ottaen huomioon liittovaikutuksen syntyminen edellytykset.

Tehdasvalmisteisten (valmistus- tai asennuspiirustuksissa) rakenneosien osalta esitetään myös:

- m) kelpoisuuden ja suunnittelun arviointia varten tarvittavat tiedot
- n) valmisosien ja teräskokoonpanojen osalta käytetty CE -merkintämenetelmä (M1, M2, M3a tai M3b)
- o) rakenneosan paino ja painopisteen paikka
- p) vähimmäistukipinnat
- q) nostolenkit ja niiden sijoitus
- r) käsittely-, tuenta- ja nosto-ohjeet tarvittaessa.

Käytettävät toleranssit määritetään hankekohtaisesti. Betoni-teräслиittorakenteissa on mahdollista käyttää betonirakenteiden osalta standardin SFS-EN 13670 mukaista toleranssiluokkaa 2 ja standardissa SFS-EN 1992 esitetyllä tavalla pienennettyjä osavarmuuslukuja. Tällöin huolehditaan siitä, että kaikki niiden käyttöön liittyvät edellytykset täyttyvät.

Rungon sijaintipoikkeamiin sekä liittorakenteisten palkkien ja pilarien poikkileikkauksiin sovelletaan tavanomaisissa liittorakenteissa yleensä standardissa SFS-EN 1090-2 esitetyjä toleransseja. Liittorakenteisiin betoni-osiin sovelletaan yleensä standardissa SFS-EN 13670 sen kansallisessa soveltamisstandardissa SFS 5975 esitetyjä toleransseja.

Raudoitteiden betonipeitteen paksuus määritetään betonipoikkileikkauksen ulkopinnasta. Teräsoosan paksuutta ei oteta huomioon.

Teräsosien, esimerkiksi liittopilareiden sisällä käytettävien raudoitteiden tuenta tehdään kiinnityshitsauksin tai riittävän tukevalla välikkeillä tai muulla vastaavalla tavalla siten, että suunnitelmissa esitetyt raudoitteiden betonipeitteen arvot toteutuvat valmiissa rakenteissa. Tämä koskee sekä tehdas- että työmaavalmistusta.

2.3 Toteutusluokat

Toteutusluokka valitaan standardin SFS-EN 1990 ja seuraamusluokkien (CC1, CC2 ja CC3) sekä rakenteen käyttöön ja toteutukseen liittyvien riskitekijöiden perusteella. Betoni-teräслиittorakenteiden teräsosien toteutusluokat määritetään Suomen rakentamismääräyskokoelman osan teräsrakenteet mukaan ja betoniosien toteutusluokat osan betonirakenteet mukaan.

Liittorakenteilla ei ole yhtä tiettyä toteutusluokkaa, vaan betoni-teräслиittorakenteen toteutusluokka määräytyy erikseen sekä betonin että teräksen osalta. Teräsrakenteiden toteutusluokan vaatimukset esitetään standardissa SFS-EN 1090-2. Betonirakenteiden toteutusluokan vaatimukset esitetään standardeissa SFS-EN 13670 ja SFS 5975.

2.4 Säilyvyys ja suunniteltu käyttöikä

Betoni-teräслиittorakenteiden suunnitellun käyttöiän saavuttamiseksi betoniosiin ja betoniraudoitukseen sovelletaan Suomen rakentamismääräyskokoelman osaa betonirakenteet ja teräsosiin osaa teräsrakenteet.

Betoniosien rasitusluokat valitaan standardin SFS-EN 206 mukaan ja teräsosien ympäristön rasitusluokat standardin SFS-EN ISO 12944-2 mukaan.

3. Toteutus

3.1 Toteutuksen suunnittelu

Betoni-teräслиittorakenteiden toteutuksen työsuunnitelmat laaditaan toteutusasiakirjojen pohjalta soveltaen standardeja SFS-EN 13670 ja SFS 5975 sekä SFS-EN 1090-2.

Betoni-teräслиittorakenteiden toteutuksen työsuunnitelmissa suunnittelutehtävään soveltuvassa laajuudessa esitetään yleensä vähintään:

- tarvittavat toteutuspiirustukset
- toteutusasiakirjojen edellyttämät standardien SFS-EN 13670 ja SFS 5975 sekä SFS-EN 1090-2 mukaiset työvaihesuunnitelmat
- standardien SFS-EN 1090-2 ja SFS-EN 13670 ja sitä täydentävän standardin SFS 5975 mukaiset laatuasiakirjat.

Betonirakenteiden osalta toteutusluokkien 2 ja 3 rakenteiden toteutusta varten laaditaan erillinen betonointisuunnitelma.

Elementteinä valmistettujen rakenneosien asentamisesta laaditaan asennussuunnitelma.

3.2 Käytettävät rakennustuotteet

Betoni-teräслиittorakenteissa käytettävien rakennustuotteiden, aineiden ja tarvikkeiden ominaisuudet osoitetaan CE -merkinnällä, jos ne kuuluvat harmonisoidun tuotestandardin soveltamisalaan tai jos valmistaja on hankkinut tuotteelleen eurooppalaisen teknisen hyväksynnän/arvioinnin. Muutoin ne osoitetaan eräiden rakennustuotteiden tuotehyväksynnästä annetun lain 954/2012 mukaisesti.

Suomen rakentamismääräyskokoelman osissa betonirakenteet ja teräsrakenteet kohdissa 3.2 esitettyjen aineiden ja tarvikkeiden ominaisuudet ovat keskeisiä betoni-teräслиittorakenteiden luotettavuuden kannalta. Näiden lisäksi muita keskeisiä tuotteita luotettavuuden kannalta ovat:

- liittolaatat
- liittopalkit
- liittimet, jolla liittovaikutus saadaan aikaan.

4. Toteutuksen valvonta ja rakenteiden kelppoisuus

4.1 Toteutuksen valvonta

Betonirakenteiden toteutuksen valvontaan liittyvät tarkastukset tehdään toteutusasiakirjojen edellyttämässä laajuudessa soveltaen standardeja SFS-EN 13670 ja SFS 5975 sekä SFS-EN 1090-2.

Vastaava työnjohtaja tai erikseen nimetty erityisalan työnjohtaja valvoo rakenteiden toteuttamisen aikana, että betoni-teräслиittorakenteiden valmistusta ja betoni/teräselementtien asennustyötä koskevia suunnitelmia ja ohjeita noudatetaan ja että töistä laaditaan asiaankuuluvat dokumentit.

Mikäli toteutuksen aikana havaitaan, että rakenne tai yksityiskohta ei täytä suunnitelmissa ja toteutusasiakirjoissa esitettyjä vaatimuksia, selvitetään poikkeamien esiintymiskohdat ja syyt. Tällöin selvitetään, onko poikkeama hyväksyttävissä ilman korjaamista. Tarvittaessa laskelmin osoitetaan, että saavutetaan standardeissa SFS-EN 1994 ja niiden kansallisissa liitteissä edellytetty varmuustaso. Mikäli ei voida osoittaa, että poikkeama voidaan hyväksyä ilman korjaamista, tehdään korjaaminen tarvittavassa laajuudessa. Poikkeama ja korjaava toimenpide kirjataan laadunvalvonta-aineistoon.

Laadunvalvonta-aineisto dokumentoidaan ja kootaan yhdeksi kokonaisuudeksi.

4.2 Rakenteiden kelpoisuus

Näitä ohjeita sovellettaessa rakenteiden kelpoisuuden arviointi perustuu siihen, että betoniteräslittorakenteiden mitoitus on tehty asianmukaisesti standardien SFS-EN 1994 ja niiden kansallisten liitteiden mukaan sekä että betoni-teräslittorakenteet on toteutettu ja tarkastettu toteutusasiakirjojen mukaisesti.

5. Viittaukset

Viittausten kohdalla sovelletaan viimeisintä painosta (muutokset mukaan lukien), jollei viittauksen versiota ole yksilöity.

SFS-EN 206	Betoni. Määrittely, ominaisuudet, valmistus ja vaatimustenmukaisuus
SFS-EN 1090-2	Teräs- ja alumiinirakenteiden toteuttaminen – Osa 2: Teräsrakenteita koskevat tekniset vaatimukset
SFS-EN 1990	Eurokoodi. Rakenteiden suunnitteluperusteet
SFS-EN 1994-1-1	Eurokoodi 4: Betoni-teräs-liittorakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt
SFS-EN 1994-1-2	Eurokoodi 4: Betoni-teräs-liittorakenteiden suunnittelu. Osa 1-2: Yleiset säännöt. Rakenteiden palomitoitus
SFS-EN ISO 12944-2	Maalit ja lakat. Teräsrakenteiden korroosionesto suojamaaliyhdistelmillä. Osa 2: Ympäristöolosuhteiden luokittelu
SFS-EN 13670	Betonirakenteiden toteuttaminen
SFS 5975	Betonirakenteiden toteutus. Standardin SFS-EN 13670 käyttö Suomessa

6. Eurokoodien SFS-EN 1994 kansalliset liitteet

Kansallinen liite standardiin SFS-EN 1994-1-1 Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt

Standardin SFS-EN 1994-1-1 osalta noudatetaan standardissa SFS-EN 1994-1-1 esitettyjä suositusarvoja ja kaikkia standardin SFS-EN 1994-1-1 liitteitä ellei tässä kansallisessa liitteessä toisin esitetä.

Standardia ristiriidattomasti täydentävä lisäohje (NCCI) esitetään kursivoidulla tekstillä.

Kansallinen valinta sallitaan standardin SFS-EN 1994-1-1 seuraavissa kohdissa:

- 2.4.1.1(1)
- 2.4.1.2(5)P
- 2.4.1.2(6)P
- 2.4.1.2(7)P
- 3.1(4)
- 3.5(2)
- 6.4.3(1)h
- 6.6.3.1(1)
- 6.6.3.1(3)
- 6.6.4.1(3)
- 6.8.2(1)
- 6.8.2(2)
- 9.1.1(2)P
- 9.6(2)
- 9.7.3(4) Huomautus 1
- 9.7.3(8) Huomautus 1
- 9.7.3(9)
- B.2.5(1)
- B.3.6(5).

Kansallinen valinta on tehty symbolilla ● merkityissä kohdissa.

Epäsuora kiepahduskestävyyden osoittaminen rakennusten palkeissa

6.4.3(1)(h)

IPE ja HE-profiileja koskevaa taulukkoa 6.1 voidaan käyttää myös vastaaville hitsatuille profiileille. Valssattujen profiilien kanssa vastaaviksi katsotaan sellaiset, joissa $I_{f,z,w}/I_{f,z,hr} \geq 0,9$ ja $0,95 \leq h_w/h_{hr} \leq 1,05$. $I_{f,z,w}$ = laipan poikittainen jäyhyysmomentti hitsatussa profiilissa ja $I_{f,z,hr}$ = laipan poikittainen jäyhyysmomentti valssatussa IPE tai HE-profiilissa. Vastaavasti h_w on hitsatun profiilin korkeus ja h_{hr} on valssatun IPE tai HE-profiilin korkeus. $I_{f,z} = b^3 t_f / 12$, kun käytetään SFS-EN 1993-1-1 kuvan 1.1 merkintöjä.

Kestävyden mitoitusarvo

6.6.3.1(3)

Kun tappiliittimet sijoitetaan niin, että ne aiheuttavat halkaisuvaikutuksen laatan paksuuden suunnassa, mitoituskestävyys määritetään SFS-EN 1994-1-1 liitteen B kohdan B.2 mukaisten leikkauskokeiden perusteella.

Taipumat

7.3.1

Taipumat lasketaan SFS-EN 1994-1-1 kohdan 7.3.1 mukaisesti ja niiden tulee olla taulukon 1 osoittamien rajojen alapuolella. Taulukossa esitetään ominaiskuormayhdistelmistä aiheutuvien lopputaipumien ja -siirtymien suositeltavat enimmäisarvot staattisesti kuormitetuissa liittorakenteissa, elleivät rakenteen tyypistä, käyttötarkoituksesta tai toiminnan luonteesta johtuen muut rajat ole paremmin sopivia.

Taulukko 1. Liittorakenteiden taipumien ja siirtymien enimmäisarvot käyttörajatilassa

$W_{max} = W_i + W_{lt} + W_{st} - W_c$		
Taipumat lasketaan SFS-EN 1990 lausekkeen (6.14) mukaisesta kuormien ominaisyhdistelmästä kaavojen (1.1) ja (1.2) mukaisesti		
Suosittelavat taipumarajat	W_{max}	$W_{lt} + W_{st}$
Yläpohjien palkit ja laatat	$L/200$	$L/250$
Välipohjien palkit ja laatat yleensä	$L/250$	$L/300$
Välipohjien, jotka kannattavat pilareita, palkit ja laatat	$L/400$	$L/500$
Helposti halkeilevia seiniä kantavien rakenteiden taipuma seinien asennuksen jälkeen	$L/400$	$L/500$
Rakenteen vaakasuora siirtymä		
- Enintään kaksikerroksiset rakennukset	$H/150$	
- Muut rakennukset	$H/400$	

missä:

L on rakenteen jänneväli

H on rakennuksen tarkasteltavan kohdan korkeus

w_c on esikorotus

w_i on pitkäaikaistaipuma rakenteen omasta painosta

w_{lt} on pitkäaikaistaipuma muuttuvien kuormien pitkäaikaisosuudesta

w_{st} on välitön ja palautuva taipuma muuttuvien kuormien lyhytaikaisosuudesta

Taipuma w_{lt} lasketaan kuormista

$$Q_{lt} = Q_{k,lt,1} + \sum_{i>1} \psi_{0,i} Q_{k,lt,i} \quad (1.1)$$

missä:

$Q_{k,lt,1}$ on pitkäaikainen osa määräävästä muuttuvasta kuormasta

$Q_{k,lt,i}$ on pitkäaikainen osa samanaikaisista muista muuttuvista kuormista.

Taipuma w_{st} lasketaan lyhytaikaisista muuttuvista kuormista

$$Q_{st} = \sum_{i \geq 1} \psi_{1,i} Q_{k,st,i} \quad (1.2)$$

missä:

$Q_{k,st,1}$ on lyhytaikainen osa määräävästä muuttuvasta kuormasta

$Q_{k,st,i}$ on lyhytaikainen osa samanaikaisista muista muuttuvista kuormista.

Liittorakenteisiin tarvitaan esikorotus, joka eliminoi vähintään taipuman w_i .

Soveltamisala

9.1.1(2)P

Tiheästi jakaantuneet rivat määrittelevän suhteen b_r/b_s yläraja on 0,6. Standardin SFS-EN 1991-1-1 kuvassa 9.2 on selventäviä lisäohjeita.

Kun rivan pystysivut on muotoiltu, käytetään rivan leveytenä b_r suurinta rivan leveyttä.

Liitoksen leikkausvoimat laatoissa, joissa ei ole pääteankkurointia

9.7.3(9)

Standardin lausekkeessa (9.8) resultanttia N_c voidaan kasvattaa määrällä μR_{Ed} jos $\tau_{u,Rd}$ on määritetty ottaen huomioon tukireaktiosta aiheutuva kyseinen lisäkestävyys. Kerroin $\mu = 0,5$, jos käytettävän liittolevyn tuotetiedoista käy luotettavasti ilmi, että tukireaktiosta aiheutuva lisäkestävyys on otettu huomioon ja $\mu = 0$ muissa tapauksissa.

Kansallinen liite standardiin SFS-EN 1994-1-2 Osa 1-2: Yleiset säännöt. Rakenteiden palomitoitus

Standardin SFS-EN 1994-1-2 osalta noudatetaan standardissa SFS-EN 1994-1-2 esitettyjä suositusarvoja ja kaikkia standardin SFS-EN 1994-1-2 liitteitä ellei tässä kansallisessa liitteessä toisin esitetä.

Standardia ristiriidattomasti täydentävä lisäohje (NCCI) esitetään kursivoidulla tekstillä.

Kansallinen valinta on sallittua standardin SFS-EN 1994-1-2 seuraavissa kohdissa:

- 1.1(16)
- 2.1.3(2)
- 2.3(1)P Huomautus 1
- 2.3(2)P Huomautus 1
- 2.4.2(3) Huomautus 2
- 3.3.2(9) Huomautus 1
- 4.1(1)P
- 4.3.5.1(10) Huomautus 1.

Kansallinen valinta on tehty symbolilla ● merkityissä kohdissa.

Soveltamisala

1.1(16)

Standardin SFS-EN 1994-1-2 mukaan mitoitettaessa korkein betonin lujuusluokka on C50/60.

Parametrinen paloaltistus

2.1.3(2)

Palon jäähtymisvaiheen aikaiselle keskimääräiselle lämpötilan nousulle $\Delta\theta_1$ ja suurimmalle lämpötilan nousulle $\Delta\theta_2$ ei anneta arvoja.

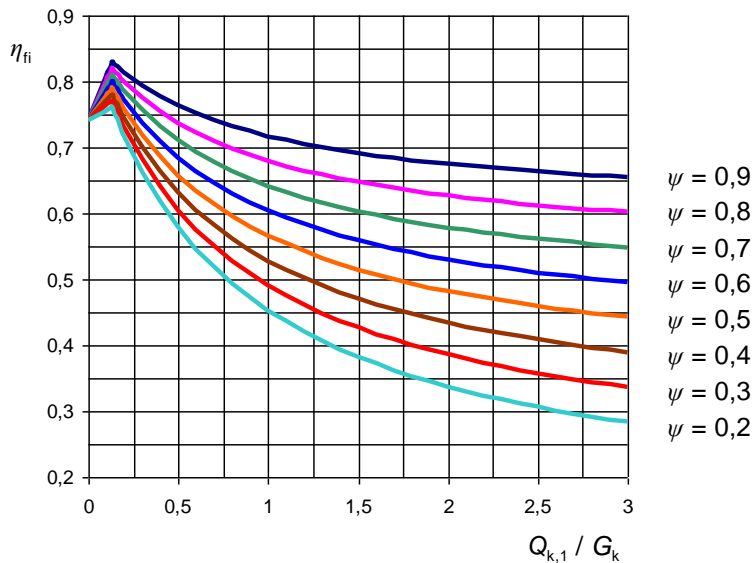
Osastoivuusvaatimus perustuu vain standardipaloon ja siinä asetettuihin lämpötilarajoihin.

Paloturvallisuusvaatimuksen katsotaan täyttyvän myös, mikäli rakennus suunnitellaan ja rakennetaan perustuen oletettuun palonkehitykseen, joka kattaa kyseisessä rakennuksessa todennäköisesti esiintyvät tilanteet. Vaatimuksen täyttyminen todennetaan tapauskohtaisesti ottaen huomioon rakennuksen ominaisuudet ja käyttö.

Rakenneosatarkastelu

2.4.2(3) Huomautus 1

Käytettäessä standardin SFS-EN 1990 ja sen soveltamista koskevan ympäristöministeriön asetuksen 3/16 mukaisia osavarmuuslukuja standardin SFS-EN 1992-1-2 kuva 2.1 muuttuu kuvassa 1 esitetyllä tavalla.



Kuva 1. Pienennystekijän, η_{fi} , vaihtelu määrävän muuttuvan kuorman ja pysyvän kuorman ominaisarvojen kuormasuhteen $Q_{k,1} / G_k$ funktiona standardin SFS-EN 1990 soveltamista koskevassa ympäristöministeriön asetuksessa 3/16 esitettyjen kuormien yhdistelysääntöjen mukaan.

2.4.2(3) Huomautus 2
Likiarvoja ei käytetä.

Normaalibetoni

3.3.2(9) Huomautus 1
Normaalibetonin lämmönjohtavuudelle λ_c käytetään SFS-EN 1994-1-2 lausekkeen (3.6a) mukaista yläraja-arvoa.

Johdanto

4.1(1)P
Suomessa voidaan käyttää kehittyneitä laskentamenetelmiä. Niiden oikeellisuus osoitetaan kohdan 4.4.4 mukaisesti.

Rakenteen toiminta

4.3.5.1(10) Huomautus 1
Nurjahduspituuksille L_{ei} ja L_{et} käytetään arvoja 0,5 ja 0,7 kertaa kerroskorkeus L .

Liite H

Yksinkertainen laskentamalli standardipalon lämpötila-aikakäyrän mukaisesti joka puolelta altistuneelle betonitäytteiselle putkiliittopilarille

Liitettä H ei käytetä.

Liitteen H sijasta voidaan käyttää tämän kansallisen liitteen jäljessä olevaa dokumenttia NCCI 1.

NCCI 1 standardiin SFS-EN 1994-1-2: Betonilla täytettyjen putkiliittopilareiden mitoitus palotilanteessa

Menetelmän soveltuvuusala

Betonilla täytettyjen putkipilareiden palomitoitukseen käytetään tässä dokumentissa esitettävää yksinkertaista mitoitusmenetelmää, jonka periaatteet ovat SFS-EN 1994-1-2 kohdan 4.3.5.1 mukaiset. Menetelmä koskee joka puolelta samalla tavoin standardipalorasitukselle altistettuja pilareita. Jäljempänä kuvattua yksinkertaista menetelmää käytetään vain sivusuunnassa tuettujen kehien pilareita mitoittaessa. Pilarin muunnettu hoikkuus $\bar{\lambda}$ (SFS-EN 1994-1-1, kohta 6.7.3.3(2)) saa olla enintään 2. Pilarin teräsputken seinämän paksuuden tulee täyttää SFS-EN 1994-1-1 taulukossa 6.3 osoitettu hoikkuusrajaehto.

Menetelmän kuvaus

Menetelmä perustuu pilarin materiaaliosien, teräsprofiilin, sen betonisisällön ja siihen kuuluvan raudoituksen mitoituslämpötilojen käyttöön, joiden perusteella määritetään pilaripoikkileikkauksen puristuskestävyys $N_{fi,pl,Rd}$ ja pilarin tehollinen taivutusjäykkyys $(EI)_{fi,eff}$.

Teräsprofiilin mitoituslämpötilat $\theta_{a,30}$, $\theta_{a,60}$, $\theta_{a,90}$ ja $\theta_{a,120}$ esitetään keski-määräisenä lämpötilana taulukoissa 1 ja 2 standardipaloa R30, R60, R90 ja R120 vastaavasti.

Betonitäytön mitoituslämpötilat esitetään ekvivalenttina lämpötilana $\theta_{c,eq,30}$, $\theta_{c,eq,60}$, $\theta_{c,eq,90}$ ja $\theta_{c,eq,120}$ lausekkeissa (1.1) ja (1.2) standardipaloa R30, R60, R90 ja R120 vastaavasti.

Betonitäytön sisältämän tankoraidoituksen lämpötilat θ_s esitetään taulukoissa 3a- 5b standardipaloa R30, R60, R90 ja R120 vastaavasti. Neliöpilarien tapauksessa esitetään erikseen lämpötilat θ_{sc} poikkileikkauksen nurkkatangoille (taulukot 4a ja 4b) ja θ_{sm} sivujen keskitangoille (taulukot 5a ja 5b). Pyöreissä pilareissa jokaisessa tangossa oletetaan olevan sama lämpötila (taulukot 3a ja 3b).

Palolle altistetun pilarin tehollisena taivutusjäykkyytenä $(EI)_{fi,eff}$ käytetään sovituskertoimien $\varphi_{a,\theta}$, $\varphi_{s,\theta}$ ja $\varphi_{c,\theta}$ avulla määritettyä taivutusjäykkyyttä. Tähän menetelmään liittyvät sovituskertoimet ja mitoituslämpötilat ovat menetelmäkohtaisia yhdessä käytettäviä arvoja, joiden avulla saadaan hyväksyttävä vastaavuus pilarien polttokokeiden tuloksien kanssa. Sovituskertoimien arvot esitetään taulukoissa 8a ja 8b.

Aksiaalikuormitetun pilarin palonaikainen puristuskestävyys $N_{fi,Rd}$ lasketaan aina käyttäen SFS-EN 1993-1-1 kohdan 6.3.1 mukaista nurjahduskäyrää c. Palolle altistetun pilarin tehollinen pituus voi poiketa normaalilämpötilassa olevan vastaavan pilarin tehollisesta pituudesta. Tätä koskevat säännöt esitetään taulukossa 9.

Epäkeskisesti kuormitetun pilarin palonaikainen puristuskestävyys $N_{fi,Rd,\delta}$ lasketaan epäkeskisyyden e_{fi} funktiona lausekkeista (1.9) ja (2.0) määrittämällä ensin pilarin taivutuskestävyys $M_{fi,pl,Rd}$ ja aksiaalipuristuskestävyys $N_{fi,Rd}$.

Mitoituslämpötilat

Pilaripoikkileikkauksen putkiprofiilin mitoituslämpötila lasketaan poikkileikkauksen ulkohalkaisijan D tai sivumitan b funktiona käyttäen taulukoita 1 ja 2.

Taulukko 1. Pyöreiden putkiprofiilien keskimääräinen lämpötila θ_a °C ulko-halkaisijan D funktiona

Stand.palo	R30	R60	R90	R120
$\theta_a(D)$	$620 + 95 \times \left(\frac{510-D}{370} \right)^{0,8}$	$820 + 4,18 \sqrt{510-D}$	$955 + 20 \times \left(\frac{510-D}{290} \right)^{1,5}$	1015
Rajaehdot	$135 \leq D \leq 510$	$165 \leq D \leq 510$	$200 \leq D \leq 510$	$270 \leq D \leq 510$

Taulukko 2. Neliöputkiprofiilien keskimääräinen lämpötila θ_a °C ulkopuolisen sivumitan b funktiona

Stand.palo	R30	R60	R90	R120
$\theta_a(b)$	$650 + 45 \times \sqrt{\frac{400-b}{280}}$	$860 + 30 \times \sqrt{\frac{400-b}{350}}$	$970 + 5 \times \left(\frac{400-b}{200} \right)^{1,5}$	1025
Rajaehdot	$120 \leq b \leq 400$	$150 \leq b \leq 400$	$200 \leq b \leq 400$	$250 \leq b \leq 400$
Kun $b > 400$, käytetään sivumittaa $b = 400$ vastaavia lämpötiloja				

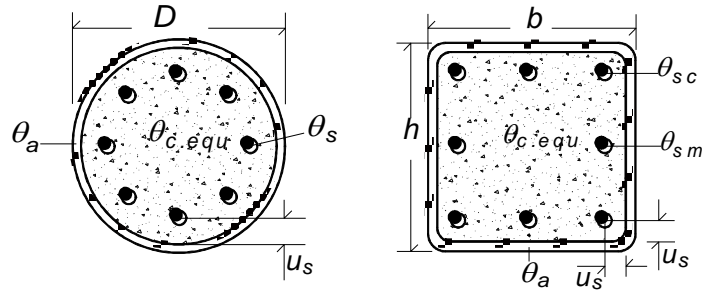
Pyöreissä pilareissa betonipoikkileikkauksen ekvivalentti lämpötila lasketaan putken ulkohalkaisijan D funktiona lausekkeista:

$$\begin{cases} \theta_{c.equ.30}(D) = 11000/D^{0,64} & \text{kun } 135 \leq D \leq 510 \\ \theta_{c.equ.60}(D) = 16300/D^{0,66} & \text{kun } 165 \leq D \leq 510 \\ \theta_{c.equ.90}(D) = 13100/D^{0,58} & \text{kun } 200 \leq D \leq 510 \\ \theta_{c.equ.120}(D) = 1180 - 2,96D + 0,0028D^2 & \text{kun } 220 \leq D \leq 510 \end{cases} \quad (1.1)$$

Neliöpilareissa betonipoikkileikkauksen ekvivalentti lämpötila lasketaan putken ulkopuolisen sivumitan b funktiona lausekkeista:

$$\begin{cases} \theta_{c.equ.30}(b) = 779 - 2,6754b + 0,0032b^2 & \text{kun } 120 \leq b \leq 400 \\ \theta_{c.equ.60}(b) = 21572/b^{0,69} & \text{kun } 150 \leq b \leq 400 \\ \theta_{c.equ.90}(b) = 1366 - 4,513b + 0,0054b^2 & \text{kun } 200 \leq b \leq 400 \\ \theta_{c.equ.120}(b) = 1496 - 4,643b + 0,0053b^2 & \text{kun } 250 \leq b \leq 400 \end{cases} \quad (1.2)$$

Betonipoikkileikkauksessa olevien raudoitustankojen lämpötilat määritetään pyöreiden poikkileikkauksien tapauksessa taulukkojen 3a ja 3b mukaisesti. Neliöpilareiden nurkatankojen lämpötilat määritetään taulukkojen 4a ja 4b mukaisesti ja sivujen keskellä olevien tankojen lämpötilat taulukkojen 5a ja 5b mukaisesti.



Kuva 1: Mitoituslämpötilat θ_a , $\theta_{c.equ}$ ja θ_s (pyöreät pilarit) ja θ_{sc} sekä θ_{sm} (neliöpilarit)

Taulukko 3a. Raudoituksen lämpötilat θ_s °C pyöreissä liittopilareissa R30 ja R60 standardipalojen tapauksissa

	R30 standardipalo					R60 standardipalo				
	Teräsprofiilin halkaisija, D [mm]					Teräsprofiilin halkaisija, D [mm]				
u_s [mm]	140	200	250	350	500	140	200	250	350	500
20	370	335	320	310	310	645	570	540	520	520
30	307	260	245	232	232	592	487	455	427	427
40	245	185	170	155	155	540	405	370	335	335
50	217	142	132	120	120	515	357	312	277	270
60	190	100	95	85	85	490	310	255	220	205
80	-	80	65	55	55	-	265	185	140	130
110	-	-	35	35	35	-	-	120	85	75

Taulukko 3b. Raudoituksen lämpötilat θ_s °C pyöreissä liittopilareissa, R90 ja R120 standardipalojen tapauksissa

	R90 standardipalo					R120 standardipalo				
	Teräsprofiilin halkaisija, D [mm]					Teräsprofiilin halkaisija, D [mm]				
u_s [mm]	140	200	250	350	500	140	200	250	350	500
20	815	715	680	650	635	920	820	780	745	715
30	772	645	597	560	537	890	760	705	655	622
40	730	575	515	470	440	860	700	630	565	530
50	710	537	457	407	372	845	660	580	497	462
60	690	500	400	345	305	830	620	530	430	395
80	-	100	330	250	210	-	575	460	335	295
110	-	-	250	150	115	-	-	385	235	190

Taulukko 4a. Raudoituksen lämpötilat θ_{sc} °C neliöliittopilareiden nurkka-tangoissa R30 ja R60 standardipalojen tapauksissa

	R30 standardipalo					R60 standardipalo				
	Teräsprofiilin sivumitta, b [mm]					Teräsprofiilin sivumitta, b [mm]				
u_s [mm]	140	180	220	300	500	140	180	220	300	500
20	395	390	385	385	385	660	640	630	625	625
30	302	290	287	287	287	575	537	522	517	517
40	210	190	190	190	190	490	435	415	410	410
50	167	142	142	142	142	465	372	345	332	332
60	125	95	95	95	95	440	310	275	255	255
80	-	75	65	55	55	-	270	180	150	150
110	-	-	30	30	30	-	-	100	75	75

Taulukko 4b. Raudoituksen lämpötilat θ_{sc} °C neliöliittopilareiden nurkka-tangoissa R90 ja R120 standardipalojen tapauksissa

u_s [mm]	R90 standardipalo					R120 standardipalo				
	Teräsprofiilin sivumitta, b [mm]					Teräsprofiilin sivumitta, b [mm]				
	140	180	220	300	500	140	180	220	300	500
20	820	780	765	765	765	915	875	855	855	855
30	755	690	667	662	662	872	802	767	760	760
40	690	600	570	560	560	830	730	680	665	665
50	672	547	497	472	472	810	685	610	577	577
60	655	495	425	385	385	790	640	540	490	490
80	-	445	335	270	270	-	575	475	365	365
110	-	-	230	155	145	-	-	415	250	215

Taulukko 5a. Raudoituksen lämpötilat θ_{sm} °C neliöliittopilareiden sivujen keskellä olevissa tangoissa R30 ja R60 standardipalojen tapauksissa

u_s [mm]	R30 standardipalo					R60 standardipalo				
	Teräsprofiilin sivumitta, b [mm]					Teräsprofiilin sivumitta, b [mm]				
	140	180	220	300	500	140	180	220	300	500
20	285	250	240	235	235	560	480	445	415	410
30	230	192	180	175	175	517	412	355	337	332
40	175	135	120	115	115	475	345	265	260	255
50	155	115	97	92	90	410	320	240	210	207
60	135	95	75	70	65	450	295	215	160	160
80	-	65	50	40	40	-	215	165	105	100
110	-	-	30	30	30	-	-	130	80	60

Taulukko 5b. Raudoituksen lämpötilat θ_{sm} °C neliöliittopilareiden sivujen keskellä olevissa tangoissa R90 ja R120 standardipalojen tapauksissa

u_s [mm]	R90 standardipalo					R120 standardipalo				
	Teräsprofiilin sivumitta, b [mm]					Teräsprofiilin sivumitta, b [mm]				
	140	180	220	300	500	140	180	220	300	500
20	740	650	495	535	535	870	770	715	625	615
30	710	592	475	455	450	842	722	650	550	532
40	680	535	455	375	365	815	675	585	475	450
50	667	507	412	322	305	802	647	545	420	390
60	655	480	370	270	245	790	620	505	365	330
80	-	450	330	195	170	-	600	465	300	250
110	-	-	245	135	100	-	-	395	240	160

Poikkileikkauksen puristuskestävyyden ja tehollisen taivutusjäykkyyden laskeminen

SFS-EN 1994-1-2 kohdan 4.3.5.1(4) mukainen pilaripoikkileikkauksen palonaikainen puristuskestävyys lasketaan lausekkeista (1.3a) - (1.3d):

$$N_{fi.pl.Rd} = N_{fi.a.Rd} + N_{fi.s.Rd} + N_{fi.c.Rd} \quad (1.3a)$$

$$N_{fi.a.Rd} = k_{y,\theta}(\theta_a) f_y A_a / \gamma_{M,fi.a} \quad (1.3b)$$

$$N_{fi.s.Rd} = k_{s,\theta}(\theta_s) f_{sk} A_s / \gamma_{M,fi.s} \quad (1.3c)$$

$$N_{fi.c.Rd} = k_{c,\theta}(\theta_{c.equ}) f_{ck} A_c / \gamma_{M,fi.c} \quad (1.3d)$$

SFS-EN 1994-1-2 kohdan 4.3.5.1(5) mukainen pilaripoikkileikkauksen palonaikainen tehollinen taivutusjäykkyys lasketaan lausekkeista (1.4a) - (1.4d):

$$(EI)_{fi.eff} = \varphi_{a,\theta} (EI)_{a,\theta} + \varphi_{s,\theta} (EI)_{s,\theta} + \varphi_{c,\theta} (EI)_{c,\theta} \quad (1.4a)$$

$$(EI)_{a,\theta} = k_{Ea,\theta}(\theta_a) E_a I_a \quad (1.4b)$$

$$(EI)_{s,\theta} = k_{Es,\theta}(\theta_s) E_a I_s \quad (1.4c)$$

$$(EI)_{c,\theta} = E_{c.sec,\theta}(\theta_{c.equ}) I_c = \frac{f_{c,\theta}(\theta_{c.equ})}{\varepsilon_{c1,\theta}(\theta_{c.equ})} I_c = k_{Ec,\theta}(\theta_{c.equ}) \frac{f_{ck}}{\varepsilon_{c1}} I_c \quad (1.4d)$$

Lausekkeissa $(EI)_{a,\theta}$, $(EI)_{s,\theta}$ ja $(EI)_{c,\theta}$ ovat teräspoikkileikkauksen, raudoituksen ja betoni-poikkileikkauksen nimelliset taivutusjäykkyydet ja I_a , I_s sekä I_c ovat poikki-leikkausosien jäyhyysmomentit. Teräsmateriaalien mekaanisten ominaisuuksien pienennyskertoimet ovat taulukon 6 mukaiset ja betonin mekaanisten ominaisuuksien pienennyskertoimet taulukon 7 mukaiset.

Sovituskertoimien $\varphi_{a,\theta}$ arvot esitetään taulukossa 8 ja sovituskertoimien $\varphi_{s,\theta}$ arvot taulukossa 9. Kerroin $\varphi_{c,\theta} = 1,2$ kaikissa tapauksissa.

Taulukko 6. SFS-EN 1994-1-2 ja SFS-EN 1992-1-2 mukaisten teräs-materiaalien mekaanisten ominaisuuksien pienennyskertoimet

Lämpötila	Rakenneteräs ja kuumavalssatut raudoitustangot		Kylmämuokatut raudoitustangot	
θ_a, θ_s	$k_{Ea,\theta} k_{Es,\theta}$	$k_{y,\theta} k_{s,\theta}$	$k_{Es,\theta}$	$k_{s,\theta}$
20	1	1	1	1
100	1	1	1	1
200	0,9	1	0,87	1
300	0,8	1	0,72	1
400	0,7	1	0,56	0,94
500	0,6	0,78	0,4	0,67
600	0,31	0,47	0,24	0,4
700	0,13	0,23	0,08	0,12
800	0,09	0,11	0,06	0,11
900	0,0675	0,06	0,05	0,08
1000	0,045	0,04	0,03	0,05
1100	0,0225	0,02	0,02	0,03
1200	0	0	0	0
	$k_{Ea,\theta} = \frac{E_{a,\theta}}{E_a}, k_{Es,\theta} = \frac{E_{s,\theta}}{E_s}$ $k_{y,\theta} = \frac{f_{ay,\theta}}{f_y}, k_{s,\theta} = \frac{f_{sy,\theta}}{f_{sk}}$		$k_{Es,\theta} = \frac{E_{s,\theta}}{E_s}, k_{s,\theta} = \frac{f_{sy,\theta}}{f_{sk}}$	

Taulukko 7. SFS-EN 1992-1-2 mukaiset betonin materiaaliominaisuuksien pienennyskertoimet

θ_c	$k_{c,\theta}$	$k_{\varepsilon,\theta}$	$k_{E_{c1},\theta}$	$k_{EC} = k_{c,\theta}/k_{\varepsilon,\theta}$
20	1	1	1	1
100	1	1,6	1,125	0,625
200	0,95	2,2	1,250	0,432
300	0,85	2,8	1,375	0,304
400	0,75	4	1,500	0,188
500	0,6	6	1,635	0,100
600	0,45	10	1,750	0,045
700	0,3	10	1,875	0,03
800	0,15	10	2,000	0,015
900	0,08	10	2,125	0,008
1000	0,04	10	2,250	0,004
1100	0,01	10	2,375	0,001
1200	0	-	-	0
	$k_{c,\theta} = \frac{f_{c,\theta}}{f_{ck}}; k_{\varepsilon,\theta} = \frac{\varepsilon_{c1,\theta}}{\varepsilon_{c1}}; E_{c,sec,\theta} = \frac{f_{c,\theta}}{\varepsilon_{c1,\theta}} = \frac{k_{c,\theta} f_{ck}}{k_{\varepsilon,\theta} \varepsilon_{c1}} = k_{EC,\theta} \frac{f_{ck}}{\varepsilon_{c1}}$ $\varepsilon_{c1} = 0,0025$			

Taulukko 8a. Sovituskertoimien $\varphi_{a,\theta}$ arvot putkiprofiilin koon mukaisesti

Stand. palo	Pyöreät putkiprofiilit, ulkohalkaisija D							Neliöputkiprofiilit, ulkopuolinen sivumitta b	
	135	165	200	220	250	273	≥ 323	≤ 150	≥ 180
R30	0,45	0,5	0,60	0,70	0,70	0,70	0,70	0,45	0,60
R60	-	0,4	0,50	0,60	0,60	0,65	0,70	0,45	0,60
R90	-	-	0,40	0,40	0,40	0,40	0,50	-	0,45
R120	-	-	0,30	0,30	0,30	0,35	0,40	-	0,35

Taulukko 8b. Sovituskertoimien $\varphi_{s,\theta}$ arvot tankojen sijainnin mukaisesti

u_s [mm]	30	40	50	≥ 60
$\varphi_{s,\theta}$	0,8	0,9	1,0	1,0

Aksiaalikuormitetun pilarin puristuskestävyys

Pilarin puristuskestävyys $N_{fi,Rd}$ lasketaan nurjahduskestävyytenä lausekkeesta

$$N_{fi,Rd} = \chi(\bar{\lambda}_\theta) N_{fi,pl,Rd} \quad (1.5)$$

missä $\chi(\bar{\lambda}_\theta)$ on pilarin palonaikaisesta muunnetusta hoikkeudesta $\bar{\lambda}_\theta$ riippuva pienennyskerroin, joka lasketaan aina eurooppalaisen nurjahduskäyrän c mukaisesti (SFS-EN 1993-1-1 kohta 6.3.1).

Muunnettu hoikkuus $\bar{\lambda}_\theta$ on

$$\bar{\lambda}_\theta = \sqrt{\frac{N_{fi,pl,Rd}}{N_{fi,cr}}} \quad (1.6)$$

missä $N_{fi,pl,Rd}$ on lausekkeiden (1.3a..d) mukainen poikkileikkauksen kestävyys, kun osavarmuusluvut $\gamma_{M,fi,a}$, $\gamma_{M,fi,s}$ ja $\gamma_{M,fi,c}$ ovat ykkösiä. $N_{fi,cr}$ lasketaan pilarin palonaikaisen tehollisen pituuden $L_{e,\theta}$ ja tehollisen taivutusjäykkyyden $(EI)_{fi,eff}$ funktiona

$$N_{fi,cr} = \frac{\pi^2 (EI)_{fi,eff}}{L_{e,\theta}^2} \quad (1.7)$$

Taulukko 9. Pilarin sijainnista ja kerroskorkeudesta L sekä päiden tuenta-oletuksista riippuvat teholliset pituudet $L_{e,\theta}$ kun sivusuunnassa tuetun kehän kukin kerros muodostaa erillisen palo-osaston

$L_{e,\theta} = \beta L$	β
Jatkuva pilarit, ylin kerros palolle altistettuna	0,7
Jatkuvat pilarit, välikerros palolle altistettuna	0,5
Jatkuvat pilarit, pohjakerros palolle altistettuna	0,6
Yksikerros pilarit, β riippuu pilarin päiden kiinnityksistä ja on sama kuin normaali-lämpötilassa	

Momentin ja normaalivoiman yhteisvaikutuksen huomioon ottaminen

Pilarin palonaikainen taivutus otetaan huomioon normaalivoiman $N_{fi.Ed}$ epäkeskisyytenä e_{fi} , joka on

$$e_{fi} = \frac{M_{fi.Ed}}{N_{fi.Ed}} \quad (1.8)$$

missä $M_{fi.Ed}$ on pilarin palolle altistetulla pituudella esiintyvä suurin taivutusmomentti ja $N_{fi.Ed}$ on momenttia $M_{fi.Ed}$ vastaavaan kuormitustapaukseen liittyvä normaalivoima. Epäkeskisesti kuormitetun pilarin puristuskestävyys $N_{fi.Rd,\delta}$ lasketaan osana aksiaali-kuormitetun pilarin kestävydestä $N_{fi.Rd}$:

$$N_{fi.Rd,\delta} = XN_{fi.Rd}, \quad X = 0,5 \left(B_{fi} - \sqrt{B_{fi}^2 - 4/\chi(\bar{\lambda}\theta)} \right) \quad (1.9)$$

$$B_{fi} = I + \frac{I}{\chi(\bar{\lambda}\theta)} + e_{fi} \frac{N_{fi.pl.Rd} - N_{fi.c.Rd}}{M_{fi.pl.Rd}} \quad (2.0)$$

missä $N_{fi.pl.Rd}$ on lausekkeen (1.3a) mukainen pilaripoikkileikkauksen puristus-kestävyys ja $N_{fi.c.Rd}$ on lausekkeen (1.3d) mukainen betonipoikkileikkauksen puristuskestävyys. Palolle altistetun pilarin taivutuskestävyys $M_{fi.pl.Rd}$ lasketaan samalla tavoin kuin puhdas taivutuskestävyys normaalilämpötilassa, mutta käyttäen materiaaliosien mitoituslukuja $k_{y,\theta}(\theta_a)f_y/\gamma_{M,fi,a}$ (terasprofiili), $k_{s,\theta}(\theta_s)f_{sk}/\gamma_{M,fi,s}$ (raudoitus) ja $k_{c,\theta}(\theta_{c,eq})f_{ck}/\gamma_{M,fi,c}$ (betoni).