

LAB-ammattikorkeakoulu  
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka Lappeenranta  
Rakennustekniikka  
Talonstrakennustekniikka

Eetu-Ville Venäläinen

## **Rakennesuunnittelijan muistivihkot**

Opinnäytetyö 2020

## Tiivistelmä

Eetu-Ville Venäläinen  
Rakennesuunnittelijan muistivihkot, 36 sivua, 4 liitettä  
LAB-ammattikorkeakoulu  
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka Lappeenranta  
Rakennustekniikka  
Talonrakennustekniikka  
Opinnäytetyö 2020  
Ohjaajat: Lehtori Petri Himmi, LAB-ammattikorkeakoulu

Tämän opinnäytetyö tarkoituksena oli tuottaa rakennesuunnittelijoiksi aikoville opiskelijoille muistivihkot eri rakennusmateriaaleille ja niiden mitoitukselle Eurokoodin mukaisesti. Mitoitusvihkoja on yhteensä neljä kappaletta, joista ensimmäinen on kuormien määrittämiseen, ja kolme muuta vihkoa ovat rakennusmateriaali kohtaiset betoni-, teräs- ja puurakenteille.

Vihkojen esimerkkinä ja pohjana käytettiin Saksassa jo käytössä olevia vastaavia vihkoja. Näissä vihkoissa olevat kaavat ja laskentataulukot muutettiin vastaamaan Suomen kansallisten liitteiden mukaisia ohjeita.

Valmiit vihkot tulostetaan ja jaetaan tuleville opiskelijoille opiskelun tueksi. Vihkojen ei ole siis tarkoitus olla itsenäisiä opiskelumateriaaleja, vaan muistivihkoja, joista opiskelija voi tarkastaa tärkeimpiä kaavoja ja eri rakennuselementtien ja -materiaalien suunnitteluarvoja ja dimensioita.

Asiasanat: Eurokoodi, mitoitusvihko, rakennesuunnittelija, rakennesuunnittelu, kuormitusmitoitus, betonirakenteet, teräsrakenteet, puurakenteet

## **Abstract**

Eetu-Ville Venäläinen

Notebooks for Structural Engineers, 36 Pages, 4 Appendices

LAB University of Applied Sciences

Civil and Construction Engineering Lappeenranta

Degree Programme in Construction Engineering

Specialisation of Construction Engineering

Bachelor's Thesis 2020

Instructor: Mr. Petri Himmi, Senior Lecturer, LAB University of Applied Sciences

The purpose of this thesis was to produce notebooks for structural engineer students. These notebooks follow the guidelines of Eurocode. There are total of four notebooks; the first one is for defining loads and how to use them correctly. The next three notebooks are for different building materials; the first for concrete structures, the second for steel structures and the third one for wooden structures.

These notebooks were based on similar notebooks which are used in Germany for the same purpose. The notebooks in this thesis are remodeled to correspond to the Finnish national guidelines by Eurocode.

As a result of this thesis, these notebooks are to be printed out and given to new students who are focusing on structural design. These notebooks are meant to be a quick source of information for calculating formulas and different design values of various elements and building materials.

Keywords: Eurocode, notebook, structural designer, load defining, concrete structures, steel structures, wooden structures

## Sisällys

1	Johdanto.....	5
2	Rakenteiden suunnitteluperusteet ja kuormitusten mitoitussivikko.....	5
2.1	Perusteet .....	6
2.2	Kuormitusyhdistelmät.....	7
2.3	Kuormat .....	8
3	Teräsbetonirakenteiden suunnitteluvihko .....	9
3.1	Materiaaliparametrit .....	10
3.2	Rasitusluokat .....	10
3.3	Taivutusmitoitus .....	11
3.4	Leikkausmitoitus .....	12
3.5	Halkeamamitoitus .....	14
3.6	Ankkurointi .....	15
3.7	Raudoituksen valinta.....	16
3.8	Palonkestävyys.....	17
4	Teräsrakenteiden suunnitteluvihko .....	18
4.1	Materiaaliparametrit .....	18
4.2	Poikkileikkausluokka (PL) .....	20
4.3	Leikkausmitoitus .....	21
4.4	Epäkeskeisyydestä aiheutuvan lisämomentin mitoitus .....	21
4.5	Nurjahduskestävyys.....	22
4.6	Vakiopoikkileikkauksisten sauvojen kiepahduskestävyys eri poikkileikkausluokissa .....	22
4.7	Vetokestävyys.....	24
4.8	Ruuviliitokset.....	24
4.9	Hitsiliitos.....	26
4.10	Poikkileikkausarvot.....	26
5	Puurakenteiden mitoitussivikko .....	27
5.1	Materiaaliparametrit .....	27
5.2	Rakenneosien mitoitus.....	28
5.3	Kiepahdus- ja nurjahduskestävyys .....	30
5.4	Taipuma.....	32
5.5	Värähtelymitoitus .....	32
5.6	Puristuskestävyys .....	32
5.7	Mekaaniset liitokset .....	33
6	Yhteenveto.....	35
	Lähteet.....	36

### Liitteet

Liite 1 Eurokoodin mukaiset rakenteiden suunnitteluperusteet ja kuormitusten mitoitus

Liite 2 Eurokoodi 2:n mukainen teräsbetonirakenteiden suunnittelu

Liite 3 Eurokoodi 3:n mukainen teräsrakenteiden suunnittelu

Liite 4 Eurokoodi 5:n mukainen puurakenteiden suunnittelu

# 1 Johdanto

Opinnäytetyönäni teen rakennesuunnittelijoille muistivihkot, joiden on tarkoitus auttaa ja tukea suunnittelijoiden työtä tarjoamalla tietoja yleisimmistä rakennusmateriaaleista ja -elementeistä sekä niiden mitoituksesta Eurokoodin ohjeiden mukaisesti. Vihkoihin on koottu tärkeimmät laskentakaavat ja mitoitus ehdot, joita suunnittelutyössä tarvitaan. Muistivihkoja on yhteensä neljä kappaletta, joista ensimmäinen on kuormitusten määrittämiseen tarkoitettu. Seuraavat kolme vihkoa ovat rakenteiden suunnitteluun eri rakennusmateriaalien mukaisesti; yksi vihko käsittelee betonirakenteita, toinen teräsrakenteita ja kolmas puurakenteita.

Eurokoodit otettiin käyttöön helpottamaan kansainvälistä kauppaa Euroopan sisällä. Ennen eurokoodien käyttöönottoa kaikki rakennusmateriaalit ja -elementit jotka tuotiin toisista Euroopan maista, jouduttiin testaamaan erilaisin testein, jotta tuotteen vastasivat maakohtaisia vaatimuksia. Eurokoodien tehtävänä on siis yhdistää käytössä olevat mitoitusmenetelmät, jolloin tuotteiden ominaisuuksien vertailu helpottuu maiden välillä. Suomessa ensimmäiset eurokoodin kansalliset liitteet otettiin käyttöön vuonna 2007 ja vanha käytössä ollut rakentamismääräyskokoelma kumottiin vuonna 2014. Täydelliset kansalliset liitteet tulivat käyttöön vuonna 2017. (1.)

Tähän opinnäytetyöhön on suunnitteluvihkokohtaisesti kerätty vihkojen otsikoiden mukaisesti teoriaa ja selvennyksiä, mitä kussakin kohdassa on tarkasteltu kyseisen vihkon kohdalla. Pohjana betoni-, teräs- ja puumateriaalien suunnitteluvihkoissa on käytetty Saksassa jo käytössä olevia vastaavaan tarkoitukseen tehtyjä vihkoja.

## 2 Rakenteiden suunnitteluperusteet ja kuormitusten mitoitusvihko

Tässä luvussa käydään läpi rakenteiden suunnitteluperusteet ja kuormitusten mitoitusvihko. Vihkon lähtöaineistona on käytetty teosta RIL 201-1-2017 (2).

## 2.1 Perusteet

Rakenteiden suunnitteluperusteet ja kuormitusten mitoitusvihkon luvussa 1 Perusteet on esitettyä kuormien seuraamusluokkakertoimen määrittäminen, rajatilojen määrittäminen ja eri yhdistelykertoimet kuormille. Näiden tietojen avulla rakenteille voidaan määrittää rakennuksen käyttötarkoituksen mukainen luotettavuus-taso tarkasteltavassa rajatilassa.

Rakenteiden suunnitteluperusteet ja kuormitusten mitoitusvihkon alaluvussa 1.1 Seuraamusluokkakertoimen määrittäminen on kuvattu eri seuraamusluokat ja näiden vaikutus mitoituksessa. Seuraamusluokkakertoimella otetaan huomioon mahdollisten vaurioiden vaikutus tilanteessa, jossa rakenteen vaurioituminen voi aiheuttaa vahinkoa ihmisille tai ympäristölle tai vaurioitumisen seurauksena voi olla merkittäviä taloudellisia menetyksiä. Kertoimella korotetaan tai vähennetään epäedullisten kuormien vaikutusta seuraamusten vakavuuden mukaan kolmessa eri luokassa, jossa CC3-luokka on vakavimmille seuraamuksille ja CC1-luokka vähäisimmille seuraamuksille.

Seuraavana Rakenteiden suunnitteluperusteet ja kuormitusten mitoitusvihkon alaluvussa 1.2 Rajatilat on käsitelty käyttörajatilan ja murtorajatilan erot ja käyttö eri tilanteissa. Käyttörajatilassa mitoitetaan rakenteet ja rakennusosat jotka liittyvät toimintaan normaalikäytössä, ihmisten mukavuuteen tai rakennuskohteen ulkonäköön. Murtorajatilassa mitoitetaan rakenteet ja rakennusosat joiden vaurioituminen tai murtuminen vaikuttaa suoraan ihmisten turvallisuuteen ja rakenteen varmuuteen.

Viimeisenä Rakenteiden suunnitteluperusteet ja kuormitusten mitoitusvihkon luvussa 1 Perusteet alaluvussa 1.3 Yhdistelykertoimet on taulukkomuodossa esitetty eri yhdistelykertoimet. Yhdistelykertoimen avulla otetaan huomioon eri kuormien yhtäaikainen vaikutus rakenteen tai rakennusosan kestävyys-tään. Yhdistelykertoimet ja varmuuskertoimet valitaan sen mukaan, että saadaan mitoitettavalle rakenteelle tai rakennusosalle suurimmat mahdolliset vaikutukset.

## 2.2 Kuormitusyhdistelmät

Rakenteiden suunnitteluperusteet ja kuormitusten mitoitusvihkon luvussa 2 Kuormitusyhdistelmissä esitellään aluksi käytettävät merkinnät kuormille. Näissä merkinnöissä kirjaimella G viitataan pysyviin kuormiin ja kirjaimella Q muuttuviin kuormiin. Seuraavana vihkossa on esiteltynä kuormien laskeminen ker-toimineen tilanteissa, joissa rakennetta tarkastellaan jäykkänä kappaleena (EQU) (kaava 1), rakenteen tai rakenneosien kestävyyttä / geoteknistä kanta-vuutta (STR) (kaavat 2 ja 3), puhdasta geoteknistä kantavuutta (GEO) (kaava 4) tai onnettomuustilanteessa huomioitavaa kuorman vaikutusta (kaavat 5 ja 6). Kaavojen alussa olevista kahdesta luvusta ylempää (ja suurempaa) lukua käytetään, mikäli kuorman vaikutus rakenteen kestävyydelle on epäedullinen ja alemmaa lukua mikäli vaikutus on edullinen rakenteen kestävyuden kannalta.

$$EQU: \frac{1,1K_{FI}}{0,9} \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \gamma_P P + 1,5K_{FI} * Q_{k,1} + 1,5K_{FI} \sum_{i > 1} \Psi_{0,i} * Q_{k,i} \quad (1)$$

$$STR: \frac{1,15K_{FI}}{0,9} \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \gamma_P P + 1,5K_{FI} * Q_{k,1} + 1,5K_{FI} \sum_{i > 1} \Psi_{0,i} * Q_{k,i} \quad (2)$$

$$Kuitenkin vähintään: \frac{1,35K_{FI}}{0,9} \sum_{j \geq 1} G_{k,j} \quad (3)$$

$$GEO: \frac{1,0K_{FI}}{1,0} \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \gamma_P P + 1,3K_{FI} * Q_{k,1} + 1,3K_{FI} \sum_{i > 1} \Psi_{0,i} * Q_{k,i} \quad (4)$$

Onnettomuustilanne, kun pääasiallinen kuorma ( $Q_{k,1}$ ) on lumi-, jää- tai tuuli-kuorma;

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_d + \Psi_{11} * Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \Psi_{2,i} * Q_{k,i} \quad (5)$$

Onnettomuustilanne, kun pääasiallinen kuorma ( $Q_{k,1}$ ) on jokin muu kuin lumi-, jää- tai tuulikuorma;

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_d + \Psi_{21} * Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \Psi_{2,i} * Q_{k,i} \quad (6)$$

## 2.3 Kuormat

Seuraavana Rakenteiden suunnitteluperusteet ja kuormitusten mitoitusvihkossa on esitelty eri kuormien määräytyminen ja laskeminen tilojen käytön mukaan sekä rakennuspaikan sijainnin mukaan. Rakennuspaikan sijainnilla otetaan huomioon lumikuorman määrä ja maaston muodon vaikutus rakennukseen kohdistuvaan tuulikuormaan.

Rakenteiden suunnitteluperusteet ja kuormitusten mitoitusvihkon luvussa 3.1 Rakennuksen tilojen luokat ja kuormien ominaisarvot taulukossa on eriteltyä rakennuksen tilat käyttötarkoituksen mukaan jaoteltuna ominaiskuormineen. Rakennuksen tilojen käyttötarkoitukset ovat avattuna vihkon taulukossa esimerkein jokaisen tilan kohdalla.

Tämä jälkeen Rakenteiden suunnitteluperusteet ja kuormitusten mitoitusvihkossa on käsitelty luvussa 3.2 Lumikuorma ja sen mitoitus. Lumikuorman mitoitus alkaa rakennuspaikan sijainnin perusteella valittavasta lumen ominaiskuormasta maassa  $s_k$ . Tätä varten vihkoon on liitetty Suomen kartta, jolla on esitettyä lumikuorma maassa eri paikkakunnilla. Seuraavana vihkossa on opastettu kuinka lasketaan lumikuorman vaikutus rakennuksen katolla  $s$  (kaava 7), johon vaikuttaa katon muoto ja pinta-ala sekä tuulen aiheuttama kinostus. Kaavan muuttajat ovat selitettyinä vihkossa.

$$s = \mu_i * C_e * C_t * s_k \quad (7)$$

Rakenteiden suunnitteluperusteet ja kuormitusten mitoitusvihkon luvussa 3.3 Maastoluokat ja maaston rosoisuus on esitettyä kuinka maaston muoto vaikuttaa tuulen nopeuspaineeseen. Maastonmuoto on jaettu viiteen eri luokkaan 0 – IV, jossa 0 on sileintä ja IV rosoisinta maastoa. Maaston rosoisuuden perusteella valitaan tuulen puuskanopeuspaine  $q_{p0}(z)$  jota vihkon seuraavissa osioissa saatavilla kertoimilla modifioimalla saadaan laskettu tuulen vaikutus rakennukseen. Vihkon taulukossa on esitetty kaava, jolla saadaan laskettua kussakin maastoluokassa vaikuttava nopeuspaine korkeudella  $z$  (kaava 8). Kertoimen  $\gamma_D$  määrittämiseen vaikuttaa rakennuksen sijainti suhteessa maastonkohoumiin. Kertoimen  $\gamma_D$  määrittäminen on opastettu vihkossa tarkemmin.



$$q_p(z) = \gamma_D * q_{p0}(z) \quad (8)$$

Tämän jälkeen Rakenteiden suunnitteluperusteet ja kuormitusten mitoitusvihkon luvussa 3.4 Tuulikuorma on esitetty tuulikuorman määrittäminen. Tuulikuorman laskennassa hyödynnetään vihkon edellisessä vaiheessa määritettyä puuska-nopeuden perusarvoa, joka kerrotaan kertoimella  $\gamma_D$ .  $\gamma_D$  -kerroin on riippuvainen maaston muodosta ja rakennuksen sijainnista suhteessa maaston kohoumiin. Seuraavana vihkossa opastetaan tuulikuorman määrittäminen erikorkuisille rakennuksille. Tätä varten vihkossa on kaaviot erikorkuisille rakennuksille ja kuinka tuulenpaineen vaikutus lasketaan kullekin korkeusvyöhykkeelle (kaava 9). Tästä saatu pinnanmuodon modifioima nopeuspaine tietyllä korkeudella  $q_p(z)$  (kaava 8) kerrotaan rakennekertoimella  $c_s c_d$  ja voimakertoimella  $C_f$ . Rakennekerroin  $c_s c_d$  huomioi käytetyn rakennusmateriaalin ja voimakerroin  $C_f$  rakennuksen muodon ja hoikkuuden.

$$q_w(z) = c_s c_d * C_f * q_p(z) \quad (9)$$

Tästä saadaan tuloksena tuulikuorman kokonaisvaikutus rakennuksen seinää vasten neliökuormana, joka Rakenteiden suunnitteluperusteet ja kuormitusten mitoitusvihkon seuraavan osion ohjeilla voidaan jakaa edelleen osakuormiksi rakennuksen osapinnoille. Vihkon kaavioissa on esitetty, kuinka rakennus tulee jakaa osapintoihin riippuen tuulen suunnasta sekä kuinka tuulikuorma jakaantuu rakennuksen eri osa-alueille. Tätä varten tarvitaan ulkoisen paineen kerroin  $c_{pe}$ , jossa alaindeksin numerolla 10 tarkoitetaan kymmenen neliön tai suurempaa rakennuksen tarkasteltavaa aluetta ja alaindeksin numerolla 1 alle kymmenen neliön kokoisia alueita.

### 3 Teräsbetonirakenteiden suunnitteluvihko

Tässä luvussa käydään läpi teräsbetonielementtien suunnitteluvihkon sisältö. Vihkon pohjana ja esimerkkinä on käytetty saksalaista Bemessungs- und Konstruktionshilfen für Stahlbetonbauteile nach Eurocode 2 -julkaisua (3).

### 3.1 Materiaaliparametrit

Teräsbetonirakenteiden suunnitteluvihkon luvussa 1 Materiaaliparametrit on käyty läpi Suomessa käytössä olevat betonin ja raudoituksen materiaaliosavarmuuskertoimet, yleisimmät betoniluokat ja raudoitusteräokset sekä niiden ominais- ja suunnitteluarvot.

Vihkon alaluvussa 1.1 Betonin ja teräksen materiaaliosavarmuuskerroin on esiteltynä Suomessa käytetyt osavarmuuskertoimet betonille ja betoniteräksille. Osavarmuuskertoimessa on huomioitu mitoitustilanne, eli onko kyseessä normaali- vai onnettomuustilanne, sekä rakenneluokka. Yleisimpänä tilanteena pidetään rakenneluokka 2:ta, missä toleranssiluokka on 1 ja toteutusluokka on 2. Tällöin betonin osavarmuuskerroin  $\gamma_c$  on 1,5 ja raudoituksen  $\gamma_s$  on 1,15. Vihkossa käytetyt laskuesimerkit ovat laskettu näiden arvojen mukaan.

Tämä jälkeen Teräsbetonirakenteiden suunnitteluvihkon luvussa 1.2 Betonin materiaaliparametrit on koottu lujuusluokkiin C12/15 – C90/105 kuuluvat betonit ja näiden ominais- sekä suunnitteluarvot. Suunnitteluarvot on laskettu edellisessä kappaleessa mainitun osavarmuuskertoimen mukaisesti. Kansallisena parametrina  $\alpha_{cc}$ :nä on käytetty kaikissa tulevissa laskuesimerkeissä ja taulukoissa arvoa 0,85.

Raudoitukseen käytettävien teräksien materiaaliparametrit ovat koottuna vihkon luvun 1.3 Raudoituksen materiaaliparametrit taulukkoon. Taulukossa on kerrottu teräksen merkintä ja valmistusmenetelmä sekä ominais- ja suunnitteluarvot raudoitusteräksen osavarmuuskertoimen  $\gamma_M$  ollessa 1,15.

### 3.2 Rasitusluokat

Teräsbetonirakenteiden suunnitteluvihkon luvussa 2 Rasitusluokat on esitetty ympäristön asettamat vaatimuksen betonin valintaan ja annettu vähimmäislujuusluokka ja betonipeitepaksuus kussakin rasitusluokassa. Rasitusluokalla on suuri merkitys betonin valinnassa, sillä varsinkin teiden varsilla ja meren rannikkoalueilla roiskuva vesi ja ilmassa kulkeutuvan suola syövyttävät betonia.

Vihkon luvussa 2.1 Rasitusluokat ympäristöolosuhteiden mukaisesti olevaan taulukkoon on listattu rasitusluokista käytetyt luokkatunnukset ja kuvattu, millai-

sen ympäristön mikäkin luokka luo betonille. Tämän lisäksi jokaisesta rasitusluokasta on kerrottu esimerkein, millaisessa kohteessa rasitusluokka on yleinen. Samassa taulukossa on myös esitetty betonin vähimmäislujuusluokka betonin suunnittelukäyttöään ollessa 50 vuotta.

Tämä jälkeen Teräsbetonirakenteiden suunnitteluvihkon luvussa 2.2 Betonipeitteen vähimmäispaksuus eri rasitusluokissa olevassa taulukossa on esitettyä betoniteräksen ja jänneteräksen betonipeitteen vähimmäispaksuus rasitusluokittain. Sadan vuoden käyttöäälle mitoitettaessa vihkon taulukkoon on merkitty paljonko paksuutta on kasvatettava, jotta sadan vuoden käyttöikä toteutuu. Viimeisenä taulukossa on suositukset minimi-lujuusluokalle kyseisillä rasitusluokilla.

### 3.3 Taivutusmitoitus

Teräsbetonirakenteiden suunnitteluvihkon luvussa 3 Taivutusmitoitus on opastettu taivutuksen vaatiman vetoteräsmäärän laskenta, ja esitetty kuinka rasitukset jakautuvat taivutetun palkin sisällä. Taivutuksen määrittämiseen tarvittavan tehollisen leveyden määrittäminen on esitetty vihkon luvussa 3.2 Tehollinen leveys.

Vihkossa taivutusmitoitus alkaa luvussa 3.1 Laskentataulukko mittakertoimilla esitetyillä betonipalkkiin vaikuttavan momentin mitoituksella ja palkin dimensioista käytetyillä merkinnöillä. Vihkon seuraavassa osiossa on esitetty suhteellisen momentin laskenta kahdessa eri poikkileikkauksessa: suorakulmaiselle palkille ja T -poikkileikkaukselle. Tämän suhteellisen momentin avulla saadaan vihkossa olevasta alemmasta taulukosta muita viitearvoja taivutuksen mitoitukseen, kuten tehollisen puristuspinnan suhteellinen korkeus  $\beta$  (kaava 10), kerroin  $\xi$ , jonka avulla voidaan määrittää voimien nollalinjan suhteellinen etäisyys palkin yläreunasta ja kerroin  $\zeta$  (kaava 12), jonka avulla voidaan määrittää sisäinen momenttiversi  $z$  (kaava 11). Tehollisen puristuspinnan suhteellinen korkeus on laskettu kaavalla:

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2\mu_{Eds}} \quad (10)$$

Sisäinen momenttiversi  $z$ , lasketaan kaavalla:

$$z = d \left(1 - \frac{\beta}{2}\right) \quad (11)$$

Tästä on johdettu kerroin  $\zeta$ , joka saa arvonsa siis kaavasta:

$$\zeta = 1 - \frac{\beta}{2} \quad (12)$$

Näiden kaavojen ja vihkossa olevan taulukon arvojen avulla voidaan määrittää vaadittava vetoterästen pinta-ala. Vihkon taulukkoon on merkitty nykyinen eurokoodin ja entinen Suomen rakentamismääräyskokoelman suositus suhteellisen momentin ylärajaksi.

Teräsbetonirakenteiden suunnitteluvihkon luvussa 3.2 Tehollinen leveys on opastetaan kuinka tehollinen leveys  $b_{eff}$  määritetään T -poikkileikkauksessa. Etäisyyden määrittäminen momentin vaikutuspisteestä  $l_0$  on kuvattu vihkoon tämän luvun alemmassa kuvassa.

Viimeisenä taivutusmitoituksessa on käsitelty vihkoon luvussa 3.3 Momentin uudelleen jakautuminen tapauksia joissa momentin uudelleen jakautumista voidaan hyödyntää. Momentin uudelleen jakautumista voidaan hyödyntää jatkuvilla laatoilla ja palkeilla kun peräkkäisten jännemittojen suhde on välillä 0,5 - 2,0. Vihkon taulukkoon on kuvattu, kuinka uudelleen jakautuminen vaikuttaa suhteelliseen momenttiin  $\mu_d$ .

### 3.4 Leikkausmitoitus

Teräsbetonirakenteiden suunnitteluvihkon luku 4 Leikkausmitoitus alkaa havainnollistavalla kuvalla, jossa esitetään leikkaushakojen tiheyden määräytyminen kulman  $\theta$  perusteella. Vihkon seuraavissa osioissa käydään läpi mitoitusehto leikkaukselle ja leikkausraudoituksen määrittäminen.

Vihkossa leikkausmitoituksen ensimmäisessä luvussa 4.1 Mitoitusehto käydään läpi leikkauskestävyyden mitoitusehto ja kuinka lasketaan betonipoikkileikkauksen leikkauskestävyys  $V_{Rd,c}$ . Leikkauskestävyyttä mitoitettaessa on otettava huomioon leikkauskestävyyden vähimmäisarvo, joka lasketaan seuraavalla kaavalla 13:

$$V_{Rd,c} \geq (v_{min} + k_1 \sigma_{cp}) b_w d \quad (13)$$

Kaikki muuttujat ovat selitettyinä suunnitteluvihkossa arvoineen.

Seuraavana Teräsbetonirakenteiden suunnitteluvihkossa on käyty läpi leikkausraudoituksen mitoitus luvussa 4.2 Leikkausraudoituksen mitoitus. Leikkausraudoituksen mitoitus alkaa jännityksen  $v_{Ed}$  laskennalla kaavalla 14:

$$v_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{b_w Z} \quad (14)$$

Tämän jälkeen voidaan laskea leikkausjännityksen vaatima raudoitus. Suunnitteluvihkossa on esitetty kaksi kaavaa, joista ensimmäinen on tapaukselle, jossa haat ovat suorassa kulmassa vetoraudoitukseen nähden (kaava 15), ja toinen tapaus tilanteelle, jossa haat eivät ole suorassa kulmassa vetoraudoitukseen nähden (kaava 16). Kulma  $\alpha$  on esitetty vihkossa luvun 4 Leikkausmitoitus ensimmäisessä kuvassa.

$$\alpha = 90^\circ ; A_{s,w} = \frac{s * v_{Ed} * b_w}{f_{yd} * \cot\theta} \quad (15)$$

$$\alpha \neq 90^\circ ; A_{s,w} = \frac{s * v_{Ed} * b_w}{f_{yd} * (\cot\theta + \cot\alpha) * \sin\alpha} \quad (16)$$

Minimiraudoituksen tarkastaminen tapahtuu kaavalla:

$$A_{s,w,min} = s * b_w * 0,08 * \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} \quad (17)$$

Leikkausvoima  $V_{Ed}$  aiheuttaa myös lisävetovoimaa, joka täytyy ottaa huomioon pääraudoituksen mitoituksessa. Lisävetovoiman vaikutus lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$\Delta F_{t,d} = 0,5 V_{Ed} * (\cot\theta - \cot\alpha) \quad (18)$$

Teräsbetonirakenteiden suunnitteluvihkossa luvussa 4.3 Maksimileikkausvoiman kestävyys leikkausraudoitetuilla elementeille osiossa esitetyillä kaavoilla lasketaan maksimileikkausvoiman kestävyys tapauksissa, joissa haat ovat joko kohtisuoraan tai vinossa kulmassa pääraudoitusta kohden. Suunnitteluvihkossa

esitetyt maksimileikkausvoiman kestävyden laskentaan käytetyt kaavat ovat voimassa, kun betonin lujuusluokka on enintään C50/60. Tätä suuremman lujuusluokan betonit, joiden lieriölujuuden ominaisarvo  $f_{c,k}$  on yli 50 N/mm<sup>2</sup>, kuuluvat korkealujuusbetoneihin.

Vihkon luvussa 4.4 Vähimmäisleikkausraudoitus on taulukko, jossa on esitettyinä kertoimen  $\rho_{w,min}$  avulla poikkileikkaukseen vaadittavan raudoituksen promilleisuus. Taulukossa on myös eriteltyinä palkille ja laatalle vaadittu vähimmäisleikkausraudoitus betonin lujuuden mukaan. Vähimmäisleikkausraudoitus  $A_{s,w,min}$  lasketaan kaavalla:

$$A_{s,w,min} = s * \rho_{w,min} * b_w * \sin\alpha \quad (19)$$

### 3.5 Halkeamamitoitus

Teräsbetonirakenteiden suunnitteluvihkon luvussa 5 Halkeamamitoitus on määriteltä halkeaman suurin sallittu leveys, vähimmäisraudoitus halkeaman välttämiseksi. Tämän lisäksi halkeamamitoitus luvussa on määritetty raudoitustangon suurin sallittu halkaisija ja tankoväli. Suunnitteluvihkon luvussa 5.1 Suurin sallittu halkeaman leveys on taulukossa esitetty ympäristön rasitusluokan asettama raja-arvo halkeaman leveydelle  $w_k$ . Luvussa 5.2 Vähimmäisraudoitus on esitettyinä halkeamamitoituksen asettama raudoituksen vähimmäisarvo, joka lasketaan kaavalla 20:

$$A_{s,min} = k_c * k * f_{ct,eff} * \frac{A_{ct}}{\sigma_s} \quad (20)$$

Kaavan arvot ja muuttujat ovat selitettyinä tarkemmin vihkossa.

Seuraavana vihkoon luvussa 5.3 Tangon enimmäishalkaisija ja tankoväli taulukoon on koottu raudoitusjännityksen arvoja välillä 160 N/mm<sup>2</sup> ... 450 N/mm<sup>2</sup>, ja halkeaman leveydet 0,4 mm, 0,3 mm ja 0,2 mm. Näiden arvojen perusteella vihkossa on laskettu kullekin halkeamaleveydelle tangon enimmäishalkaisija  $\phi_s^*$  ja tankojen enimmäisväli  $s$ , jotta sallittua suuremmilta halkeamilta vältytään. Vihkon taulukosta saatua tangon enimmäishalkaisija modifioidaan kuormitustapauksen mukaan vihkossa seuraavien kolmen kaavan mukaisesti, jotta saadaan kuormituksen mukainen muunneltu tangon enimmäishalkaisija  $\phi_s$ . Eri mi-

toitustapaukset ovat taivutukselle (kaava 21), vetorasituksella (kaava 22) ja kuormituksesta johtuvalle jännitykselle (kaava 23).

$$\phi_s = \phi_s^* * \frac{f_{ct,eff}}{2,9} * \frac{k_c * h_{cr}}{2 * (h - d)} \quad (21)$$

$$\phi_s = \phi_s^* * \frac{f_{ct,eff}}{2,9} * \frac{h_{cr}}{8 * (h - d)} \quad (22)$$

$$\phi_s = \phi_s^* * \frac{\sigma_s * A_s}{4 * (h - d) * b * 2,9} \quad (23)$$

### 3.6 Ankkurointi

Teräsbetonirakenteiden suunnitteluvihkon luvussa 6 Ankkurointi on esitettyä, minkä mukaan määräytyy tartuntatilan ominaisuudet valusuunnan perusteella, ankkurointipituuden perusarvot tietyissä tilanteissa sekä ankkuroinnin mitoitus ja teräksien jatkospituudet. Raudoituksen tulee olla ankkuroitu vihkossa olevien ohjeiden mukaisesti, jotta se voidaan ottaa huomioon mitoitettaessa kestävyyttä. Vihkon luvussa 6.1 Tartuntatila on käsitelty tartuntaolosuhteisiin vaikuttavat tekijät: betonin valusuunta, raudoituksen sijainti poikkileikkauksessa sekä poikkileikkauksen korkeus. Vihkoon on havainnollistavien kuvien esitetty milloin kyseessä on hyvät ja milloin huonot tartuntaolosuhteet.

Suunnitteluvihkon luvussa 6.2 Ankkurointipituuden perusarvo olevaan taulukkoon on laskettu valmiiksi ankkurointipituuden perusarvon  $l_{bd,rqd}$  mittoja millimetreinä. Arvoon vaikuttaa betonin lujuusluokka, tangon halkaisija ja tartuntaolosuhteet. Arvot ovat laskettu käyttäen kaavaa 24 ja pyöristetty ylöspäin yhden millimetrin tarkkuuteen.

$$l_{bd,rqd} = \frac{\phi}{4} * \frac{\sigma_s}{f_{bd}} \quad (24)$$

Edellisessä osiossa saatua ankkurointipituuden perusarvoa modifioimalla vihkoon luvussa 6.3 Ankkurointipituuden mitoitusarvo esitetyillä pienennystekijöillä  $\alpha_1 - \alpha_5$  saadaan laskettua ankkurointipituuden mitoitusarvo. Pienennystekijöitä varten vihkossa on taulukko, missä on kerrottu tekijöiden arvot ja laskentaperuste joko vedettynä tai puristettuna. Tämän jälkeen vihkossa on esitetty ankkurointi

rointipituuden vähimmäisarvo  $l_{b,min}$  vedetyissä ja puristetuissa tangoissa sekä ankkuroinnin määrittäminen tietylle voimalle  $F$ . Viimeisenä asiana vihkön ankkurointia käsittelevässä luvussa on käyty läpi raudoituksen jatkospituuksien  $l_0$  (kaava 25) ja  $l_{0,min}$  (kaava 26) määrittäminen luvussa 6.4 Raudoituksen jatkospituudet.

$$l_0 = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_5 \alpha_6 * l_{bd,rqd} * \frac{A_{s,req}}{A_{s,prov}} \quad (25)$$

$$l_{0,min} > \min \begin{cases} 0,3\alpha_6 * l_{b,rqd} \\ 15\phi \\ 200 \text{ mm} \end{cases} \quad (26)$$

### 3.7 Raudoituksen valinta

Teräsbetonirakenteiden suunnitteluvihkon luvussa 7 Raudoituksen valinta on esitetty raudoituksen valintaa helpottavia taulukoita. Vihkon taulukoista saa helposti katsottua raudoitusmäärän aiemmin määritetyille kuorman vaatimalle raudoitukselle eri tangon halkaisijan mukaan. Vihkon ensimmäisessä taulukossa on vierekkäistä kokoluokkaa olevien harjatankojen poikkipinta-alan vertailu kappalemäärän mukaan. Valkoisella pohjalla on saman halkaisijan omaavien tankojen kappalemäärän mukainen poikkipinta-ala ja harmaalla pohjalla yhdistetty poikkipinta-ala vierekkäistä kokoluokkaa olevilta tangoilta eri kappalemäärän mukaisesti. Sinisellä pohjalla oleva numero kuvaa tankojen kappalemäärää, ja tämän ruudun päällä oleva luku on yhden kyseistä kokoluokkaa olevan tangon poikkipinta-ala.

Vihkon luvussa 7.1 Laatan raudoitus taulukkoon on laskettu valmiiksi raudoituksen poikkileikkauspinta-aloja  $a_s$  tankovälin ja tangon halkaisijan mukaan. Taulukon arvot kertovat siis paljonko raudoitusta kyseisillä parametreilla on metrin levyisellä alueella. Taulukon viimeisessä sarakkeessa on lisäksi laskettuna montako tankoa metrille tulee eri tankovälityksellä. Seuraavana vihkön luvussa 7.2 Palkin raudoitus on taulukkomuodossa esitetty tangon halkaisijan ja kappalemäärän mukaan poikkileikkauksen raudoituksen pinta-ala  $A_s$ . Taulukossa on myös esitetty tankojen metripainot.



Teräsbetonirakenteiden suunnitteluvihkon luvussa 7.3 Samassa tasossa olevien tankojen enimmäismäärä palkissa olevassa taulukossa on esitetty montako tankoa voi sijoittaa samaan tasoon palkin sisällä. Muuttujia taulukossa ovat palkin leveys  $b$  ja tangon halkaisija  $\phi$ . Suluissa olevat arvot jäävät hieman vaadituista etäisyyksistä. Taulukon alimmalla rivillä oleva haan halkaisija kertoo suurimman haan halkaisijan, joka täyttää tämän taulukon sallitun tankomäärän. Suurempia hakoja voi siis käyttää, mutta silloin tämän taulukon mukaiset tankomäärät eivät enää päde, sillä silloin joko terästen väliin ei jää tarvittavaa tilaa tärysauvalle, tai betonipeite paksuus jää alle 25 millimetriin.

Vihkon luvussa 7.4 Hakojen mitoitus on taulukossa esitettynä hakojen poikkileikkauspinta-ala  $a_s$  metrin pituisella alueella, kun muuttujina ovat hakaväli ja hakatangon halkaisija. Taulukkoon on laskettu tilanteet, joissa haat ovat joko 2- tai 4-leikkeisinä. Taulukon viimeisessä sarakkeessa on laskettuna kuinka monta hakaa metrin matkalle menee milläkin hakavälillä. Tämän jälkeen vihkon luvussa 7.5 Hakojen maksimiväli on esitetty leikkausvoiman vaikutus hakojen maksimiväliin. Taulukossa on esitettynä pitkittäisen ja poikittaisen hakavälin enimmäisarvot leikkausvoiman  $V_{Ed}$  ollessa 30 %, 60 % tai yli 60 % maksimileikkausvoiman kestävyydestä  $V_{Rd,max}$ .

### 3.8 Palonkestävyys

Teräsbetonirakenteiden suunnitteluvihkon viimeisessä luvussa 8 Palonkestävyys on esitetty kuinka betonirakenteissa saavutetaan vaaditut palonkestävyysluokat pilareilla, laatoilla ja palkeilla.

Vihkon luvussa 8.1 Poikkileikkaukseltaan pyöreät tai suorakulmaiset pilarit on taulukkoon merkitty kriteerit millä pilari saavuttaa R 60, R 90 tai R 120 standardipalonkestävyysluokan. Pilarin vähimmäismitat, jotka vaikuttavat palonkestävyyteen, ovat pilarin leveys  $b_{min}$  ja tankojen keskiöetäisyydet  $a$ . Taulukkoon on eriteltynä eri palotilanteet, joissa pilari on altistettuna palolle joko yhdeltä puolelta tai useammalta kuin yhdeltä puolelta.

Teräsbetonilaatan palonkestävyys on käsitelty vihkon luvussa 8.2 Teräsbetonilaatta. Vihkon taulukkoon on huomioitu yhteen suuntaan kantava laatta, ristiin kantava laatta, pilarilaatta ja ristiin kantavan ripalaatan rivat. Standardipa-

lonkestävyysluokkia taulukossa ovat REI 60, REI 90 ja REI 120, joiden saavuttamiseen vaikuttavat laatan parametrit ovat laatan paksuus  $h_s$ , raudoituksen keskiöetäisyys  $a$  ja ripalaatalla rivin leveys  $b_{min}$ .

Teräsbetonipalkkien palonkestävyys on käsitelty vihkon luvussa 8.3 Teräsbetonipalkki. Vihkossa oleva taulukko antaa palkeille vaatimukset, joilla saavutetaan standardipalonkestävyysluokat R 60, R 90, R 120 ja R 240. Taulukossa on kriteerit vapaasti tuetuille ja jatkuville palkeille eri palkin paksuuden ja raudoituksen keskiövälin yhdistelmillä.

## 4 Teräsrakenteiden suunnitteluvihko

Tässä luvussa käydään läpi teräsrakenteiden suunnitteluvihko. Vihkon pohjana ja esimerkkinä on käytetty saksalaista Bemessungs- und Konstruktionshilfen für Stahlbauwerke nach Eurocode 3 -julkaisua (4).

### 4.1 Materiaaliparametrit

Teräsrakenteiden suunnitteluvihkon ensimmäisessä luvussa 1 Materiaaliparametrit on käyty läpi eri teräsrakenteiden osavarmuuskertoimet, leikkauskestävyyden suunnitteluarvot, kuumavalssattujen rakenneterästen sekä rakenneputkien myötörajan ja vetomurtolujuuden nimellisarvot eri standardeilla ja teräslajeilla. Tämän lisäksi vihkon tässä luvussa on esitetty taipumien käyttörajatilat.

Vihkon luvussa 1.1 Teräsrakenteiden osavarmuuskertoimet on esitetty eri teräsrakennneosien ja poikkileikkausten sekä liittimien osavarmuuskertoimet. Vihkon taulukossa olevan liitosten kestävyys kohdan alla olevassa liukumiskestävyys osiossa mainitulla kiinnitysluokalla tarkoitetaan liitoksen kiristysasteen ja rasitustavan mukaista kiinnitysluokkaa. Kiinnitysluokat ovat jaoteltu seuraavat:

Leikkausvoiman rasittamat ruuviliitokset

- Kiinnitysluokka A: reunapuristustyypinen kiinnitys
- Kiinnitysluokka B: käyttörajatilassa liukumisen kestävä kiinnitys
- Kiinnitysluokka C: murtorajatilassa liukumisen kestävä kiinnitys

Vetovoiman rasittamat ruuviliitokset:

- Kiinnitysluokka D: kiinnitykset esijännittämättömin ruuvein
- Kiinnitysluokka E: kiinnitykset esijännitetyin ruuvein

Seuraavana Teräsrakenteiden suunnitteluvihkossa on luvussa 1.2 Leikkauskestävyyden suunnitteluarvot taulukkoon kerätty teräslajien S 235, S 275, S 355 ja S 450 puristuskestävyyden mitoitusarvo  $\sigma_{Rd}$  sekä leikkauskestävyyden mitoitusarvo  $\tau_{Rd}$ . Nämä arvot ovat valmiiksi laskettuna osavarmuuskertoimen  $\gamma_M$  ollessa joko 1,0 tai 1,1, jotka ovat yleisimmät teräsrakenteilla käytettävät osavarmuuskertoimet.

Vihkon luvussa 1.4 Kuumavalssattujen rakenneterästen myötörajan ja vetomurtolujuuden nimellisarvot on kerättyinä eri valmistusstandardien mukaisten kuumavalssattujen teräslajien myötörajan  $f_y$  ja vetomurtolujuuden  $f_u$  nimellisarvot. Nämä arvot ovat laskettu valmiiksi vihkon taulukkoon levypaksuuden  $t$  ollessa 40 millimetriä tai alle, sekä levypaksuuden ollessa yli 40 millimetriä mutta maksimissaan 80 millimetriä. Vihkon luvussa 1.5 Rakenneputkien myötörajan ja vetomurtolujuuden nimellisarvot on taulukko teräksisille rakenneputkille eri valmistusstandardien mukaan. Arvot ovat laskettu valmiiksi putkille, joiden seinämän paksuudet ovat 40 millimetriä tai alle sekä seinämän paksuuden ollessa yli 40 millimetriä mutta maksimissaan 65 millimetriä.

Tämän jälkeen Teräsrakenteiden suunnitteluvihkon luvussa 1.5 Taipumien käyttörajatilat on esitetty sallitut taipumat eri rakenteille taulukossa. Eri rakenteita taulukossa ovat:

- pääkannattajat, joita ovat katto-, välipohja- ja ulokerakenteet
- katto-orret
- seinäorret
- muotolevyt, joita ovat katto-, välipohja-, seinä- ja ulokelevyt

Sallittu taipuma on vihkossa esitettynä jokaiselle rakenteelle erikseen muodossa  $L/n$ , jossa  $L$  on rakenteen jänneväli ja  $n$  on kullekin rakenteelle erikseen määrätty taipuman suurin sallittu arvo.

## 4.2 Poikkileikkausluokka (PL)

Teräsrakenteiden suunnitteluvihkon luvussa 2 Poikkileikkausluokka (PL) on esitetty taulukko muodossa IPE, HEA ja HEB –profiilien poikkileikkausluokat profiilin korkeuden ollessa välillä 80 – 1000 millimetriä. Toisena osana tässä luvussa on käsitelty profiilin osan hoikkuutta laipan ja uuman levypaksuuden osalta.

Vihkon luvussa 2.1 I- ja H-profiilit taulukkoon on kerätty teräslajien S 235 ja S 355 profiilien IPE, HEA ja HEB poikkileikkausluokat profiilin korkeuden mukaan. Jokaisen profiilin alla on eriteltynä neljään eri sarakkeeseen poikkileikkausarvot, näistä neljästä kaksi ensimmäistä saraketta kertovat kuuluuko profiili poikkileikkausluokkaan 1 vai 2, ja mikä on maksiminormaalivoima poikkileikkausluokalle 2. Kolmanteen ja neljäänteen sarakkeeseen on merkittynä profiilin poikkileikkausluokka puristukselle, mikäli profiilin poikkileikkausluokka on 4, on sarakkeeseen lisäksi merkitty valmiiksi laskettu tehollisen pinta-alan  $A_{eff}$  arvo.

Seuraavana vihkossa on luvussa 2.2 Max  $c/t$  elastisella ja plastisella poikkileikkauksella taulukossa esitetty tarkistuskaavat, joilla voi määrittää profiilin osan poikkileikkausluokan uuma ja laipan osalta. Vihkon taulukossa ensimmäisessä sarakkeessa olevan arvon täyttäessään profiilin osa kuuluu vähintäänkin poikkileikkausluokkaan 2. Tätä varten tarvitaan tieto profiilin uuman korkeudesta  $c_w$  ja paksuudesta  $t_w$ , sekä laipan osalta pituus  $c_f$  ja paksuus  $t_f$ . Vihkon tämän osion kaavassa ja kuvassa esitetty kerroin  $\alpha$  on sisäisen rasituksen nollalinjan sijainnin määrittämisen tarkasteltavassa osassa. Teräslajin osalta täytyy laskea arvo suhteellisen muodonmuutoksen kertoimelle  $\varepsilon$ , joka saadaan kaavalla 27.

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y} \quad (27)$$

Vihkon taulukon toisessa sarakkeessa on esitetty poikkileikkausluokan 3 kriteerit profiilin uumalle ja laipalle. Kertoimella  $\psi$  kuvataan rasituksen  $\sigma_1$  sisäistä jakaumaa tarkasteltavassa osassa.

### 4.3 Leikkausmitoitus

Teräsrakenteiden suunnitteluvihkon luvussa 3 Leikkausmitoitus luvussa käydään läpi teräsrakenteiden leikkauskestävyyden määrittäminen eri poikkileikkausluokkien rakenteille kimmo- ja plastisuusteorian mukaisesti. Plastisuusteorian mukaista mitoitusta voidaan käyttää poikkileikkausluokkaan 1 ja osaan poikkileikkausluokkaan 2 kuuluvista rakenteista, joilla kiertymiskyky mahdollistaa plastisen mekanismin muodostumisen. Mikäli rakenteella ei ole riittävää kiertymiskykyä plastisen mekanismin aikaansaamiseksi, mitoitetaan se kimmo-teorian mukaan.

Vihkon luvussa 3.1 Mitoitusehto kaikille poikkileikkausluokille on aluksi esitetty mitoitusehto kaikille eri poikkileikkausluokille, pois lukien poikkileikkausluokan 4 mitoitusehto, joka on vain I- ja H-profiileille. Leikkauskestävyyden mitoitusta varten vihkon tämän osion loppuun on kerätty ohjeet kuinka määrittää leikkauspinta-ala  $A_v$  eri teräsrakenteille.

Seuraavassa vihkon luvussa 3.2 Kimmoteorian mukainen mitoitus poikkileikkausluokan 3 rakenteille on opastettu kuinka määritetään poikkileikkausluokkaan 3 kuuluvien I- ja H-profiileiden vaikuttava leikkausjännitys  $\tau$  poikkileikkauksen eri osissa. Profiilin eri osat ovat jaettu yhdeksään eri osaan: laipan päihin ( $S_1$ ,  $S_3$ ,  $S_7$  ja  $S_9$ ), laippojen väliseen keskialueeseen ( $S_2$  ja  $S_8$ ), uuman päihin ( $S_4$  ja  $S_6$ ) ja uuman keskiosaan ( $S_5$ ).

Tämän jälkeen vihkossa luvussa 3.3 Kimmo- ja plastisuusteorian mukainen mitoitus poikkileikkausluokan 2 rakenteille tarkastellaan yksi akselisen ja kaksi akselisen taivutuksen ja normaalivoiman mitoitusta. Ohjeet on koottu poikkileikkausluokan 2 rakenteille kimmo- ja plastisuusteorian mukaisesti.

### 4.4 Epäkeskeisyydestä aiheutuvan lisämomentin mitoitus

Teräsrakenteiden suunnitteluvihkon luvussa 4 Epäkeskeisyydestä aiheutuvan lisämomentin mitoitus on käsitelty kappaleeseen kohdistuvan lisämomentin määrittäminen epäkeskeisyydestä johtuen. Vihkon taulukkoon on listattu alku-kaarevuutta vastaavat nurjahduskäyrät  $a_0 - d$  ja näiden mukainen epätarkkuus-

tekijä  $\alpha$ , jota tarvitaan vihkoon kohdassa 5.2 Nurjahduskäyrän valinta poikkileikkauksesta riippuen.

#### 4.5 Nurjahduskestävyys

Seuraavaksi Teräsrakenteiden suunnitteluvihkon luvussa 5 Nurjahduskestävyys on käsitelty aluksi mitoitusehto (kaava 28) nurjahtamista vastaan. Nurjahduskestävyys  $N_{b,Rd}$  lasketaan kaavan 29 mukaisesti, johon tarvitaan vihkoon seuraavan osion pienennystekijän  $\chi$  -arvo.

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0 \quad (28)$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi * A * f_y}{\gamma_{M1}} \quad (29)$$

Vihkon luvussa 5.1 Pienennystekijän  $\chi$  -arvoja olevaan taulukkoon on valmiiksi laskettu rakenteen hoikkeuden  $\bar{\lambda}$  ja nurjahduskäyrän mukaisia arvoja apusuu-reelle  $\phi$  ja pienennyskertoimelle  $\chi$ . Arvot ovat laskettu rakenteen hoikkeuden ollessa välillä 0,20 – 2,50.

Seuraavaksi vihkossa lukuun 5.2 Nurjahduskäyrän valinta poikkileikkauksesta riippuen on taulukkomuotoon koottu eri profiilien poikkileikkaukset ja ohjeet nurjahduskäyrän valintaan profiilin dimensioiden perusteella. Käyrän valintaan vaikuttavat seinämän paksuus ja akseli, jonka suhteen nurjahtamista tarkastellaan. Valintaan vaikuttaa myös profiilin teräslaatu.

#### 4.6 Vakiopoikkileikkauksisten sauvojen kiepahduskestävyys eri poikkileikkausluokissa

Teräsrakenteiden suunnitteluvihkon luvun 6 Vakiopoikkileikkauksisten sauvojen kiepahduskestävyys eri poikki-leikkausluokissa alkuun on esitetty mitoitusehto kiepahduskestävyydelle  $M_{b,Rd}$ , joka lasketaan kaavalla 30.

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT,mod} * W_y * \frac{f_y}{\gamma_{M1}} \quad (30)$$

Edellisessä kaavassa olevan  $\chi_{LT,mod}$  -kertoimen määrittäminen on hieman hankalaa, joten tässä selvennys kuinka kyseisen arvon määrittäminen menee:

1. Ensimmäisenä lasketaan kriittinen nurjahduskuorma heikomman akselin suhteen  $N_{cr,z}$  kaavalla 31. Tämän laskemiseen saa apua vihkön lopussa olevista, luvun 10 Poikkileikkausarvot taulukoista joihin on kerätty eri profiilien staattisia arvoja. Taulukoista saa muun muassa arvot profiileiden jäyhyysmomentille  $I$  ja taivutusvastukselle  $W$ .

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 * EI_z}{l^2} \quad (31)$$

2. Seuraavana lasketaan kriittinen momentti kiepahduksessa  $M_{cr}$ , joka saadaan 1-aukkoisen palkin tapauksessa kaavalla 32, muussa tapauksessa tämän laskenta on syytä suorittaa laskentaohjelmalla.

$$M_{cr} = C_1 * N_{cr,z} * \left( \sqrt{c^2 + 0,25 * z_p^2} + 0,5 * z_p \right) \quad (32)$$

3. Edelliseen kaavaan saadaan kertoimelle  $C_1$  arvo vihkosta sivulta 10 taulukosta "Momenttikuvio  $C_1$ , korjauskerroin  $k_c$  ja taipumakerroin  $a$  1-aukkoiselle palkille". Nämä arvot ovat siis riippuvaisia momenttikuvion muodosta. Arvo kertoimelle  $c^2$  saadaan kaavasta 33. Tästä saadun kriittisen momentin avulla voidaan siirtyä määrittämään muunnettua hoikkuutta  $\bar{\lambda}_{LT}$ .

$$c^2 = \frac{I_w + 0,039 * l^2 * I_t}{I_z} \quad (33)$$

4. Muunnettu hoikkuus  $\bar{\lambda}_{LT}$  saada laskettua kaavalla 34, jonka jälkeen tästä saadun arvon perusteella valintaan vihkön sivulla 9 olevasta taulukosta arvo pienennystekijälle  $\chi_{LT}$ , jonka valintaan vaikuttaa profiilin korkeuden suhde leveyteen.

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y * f_y}{M_{cr}}} \quad (34)$$

5. Seuraavaksi lasketaan arvo kertoimelle  $f$  kaavalla 35. Kaavassa käytettävän korjauskertoimen  $k_c$  arvo on kertoimen  $C_1$  tavoin riippuvainen momenttipinnan kuviosta, ja sen määrittäminen on esitetty myös vihkossa sivulla 10 samassa taulukossa kertoimen  $C_1$  kanssa.

$$f = 1 - 0,5 * (1 - k_c) * [1 - 2,0 * (\bar{\lambda}_{LT} * 0,8)^2] \leq 1,0 \quad (35)$$

6. Kiepahduskestävyyden pienennystekijä  $\chi_{LT,mod}$  lasketaan tämän jälkeen kaavalla 36.

$$\chi_{LT,mod} = \frac{\chi_{LT}}{f} \leq 1,0 \quad (36)$$

Lopuksi vihkossa on tässä luvussa taulukkomuodossa esitettyinä I- ja H-profiileiden poikkileikkausarvot  $I_t$  ja  $I_w$  sekä momenttikuvion mukaiset arvot kertoimelle  $C_1$ , korjauskertoimelle  $k_c$  ja taipumakertoimelle  $a$ .

#### 4.7 Vetokestävyys

Teräsrakenteiden suunnitteluvihkon luvussa 7 Vetokestävyys on alussa esitetty mitoitusehto vetokestävyydelle  $N_{t,Rd}$ . Seuraavana on opastettu kuinka vetokestävyden mitoitusarvo lasketaan bruttopoikkileikkaukselle, reiälliselle nettopoikkileikkaukselle ja kulmalevyille.

#### 4.8 Ruuviliitokset

Seuraavana Teräsrakenteiden suunnitteluvihkon luvussa 8 Ruuviliitokset on ensimmäisenä taulukkoon kerättyinä standardoitujen ruuvien myötörajan  $f_{yb}$  ja vetomurtolujuuden  $f_{ub}$  nimellisarvot. Vihkon taulukkoon on huomioitu ruuvien lujuusluokka on välillä 4.6 – 10.9.

Vihkon luvussa 8.1 Leikkaus- ja reunapuristusmitoitus on esitetty mitoitusehto ruuviliitoksen leikkauskestävyydelle  $F_{v,Rd}$  ja reunapuristuskestävyydelle  $F_{b,Rd}$ . Leikkauskestävyyden arvot ruuvikohtaisesti ovat esitettyinä vihkossa sivulla 11 ja reunapuristuskestävyyden määrittäminen vihkossa sivulla 12. Seuraavana vihkossa on luvussa 8.2 Vetokestävyysmitoitus esitetty mitoitusehto ruuviliitoksen vetokestävyydelle  $F_{t,Rd}$  ja läpikäytökautumiskestävyydelle  $B_{p,Rd}$ . Molempien ruu-



vikohtaiset mitoitusarvot ovat esitetty vihkon sivulla 12. Tämän jälkeen vihkossa on esitelty luvussa 8.3 Yhdistetty veto- ja leikkausmitoitus mitoitusehto yhdistetylle veto- ja leikkausrasitukselle (kaava 37).

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 * F_{t,Rd}} \leq 1,0 \quad (37)$$

Teräsrakenteiden suunnitteluvihkon luvussa 8.4 Nimellisvälykset on kerätty sallitut välykset normaaleille pyöreille rei'ille ja ruuveille tai niveltapeille näiden nimellishalkaisijan perusteella. Ruuveilla ja niveltapeilla joiden halkaisija on 12 – 14 millimetriä (M12 – M14) sallitaan 1 millimetrin nimellisvälys, 16 – 24 millimetrin halkaisijaltaan olevilla ruuveilla (M16 – M24) sallitaan 2 millimetrin nimellisvälys ja tätä paksummilla (M27 ->) 3 millimetriä.

Vihkon luvussa 8.5 Reuna- ja keskiöetäisyydet on taulukkomuodossa esitetty teräsrakenteisiin porattavien reikien pienimmät ja suurimmat sallitut reuna- ja keskiöetäisyydet. Reuna- ja keskiöetäisyyden määrittämiseen vaikuttaa porattavan reiän halkaisija  $d_0$ , levyn paksuus  $t$  ja käytetty teräksen valmistusstandardi.

Seuraavana vihkossa on luvussa 8.6 Leikkauskestävyys taulukkoon laskettu leikkauskestävyyden  $F_{v,Rd}$  mitoitusarvot yhtä ruuvia kohden ruuvien koon ja lujuusluokan mukaan. Taulukkoon on eritelty leikkauskestävyys ruuvien kierteiselle ja kierteettömälle osalle. Tämän jälkeen vihkon luvussa 8.7 Reunapuristuskestävyys on esitetty reunapuristuskestävyyden  $F_{b,Rd}$  laskentakaava (kaava 38). Reunapuristuskestävyyteen vaikuttaa voiman vaikutussuunta sekä ruuvien reiän sijainti.

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 * \alpha_b * f_u * d * t}{\gamma_{M2}} \quad (38)$$

Vihkon luvussa 8.8 Vetokestävyys on taulukkoon laskettu vetokestäväyden  $F_{t,Rd}$  mitoitusarvot yhtä ruuvia kohden ruuvien koon ja lujuusluokan mukaan. Taulukkoon on eritelty vetokestävyys erikseen uppokantaisille ruuveille ja muille ruuveille. Lopuksi vihkossa on luvussa 8.9 Lämpileikkautumiskestävyys taulukkoon laskettu lämpileikkautumiskestäväyden  $B_{p,Rd}$  mitoitusarvot yhtä ruuvia kohden tarkasteltavan levyn paksuuden ollessa 10 millimetriä. Lämpileikkautumiskes-

tävytyteen vaikuttavat ruuvien koko, teräslaji ja käytetty ruuvityyppi. Vihkon taulukon alle on lisätty kaava (kaava 39), jonka avulla läpileikkautumiskestävyyden voi laskea levyn paksuuden  $t_p$  ollessa muu kuin 10 millimetriä.

$$B_{p,Rd} = 0,6 * \pi * d_m * t_p * \frac{f_u}{\gamma_{M2}} \quad (39)$$

#### 4.9 Hitsiliitos

Teräsrakenteiden suunnitteluvihkon luvussa 9 Hitsiliitos on kerätty yksinkertaistetut ohjeet pienahitsiliitoksen mitoittamiseen rinnastettavien teräksien heikoimman lujuusluokan mukaisesti. Mitoitusehtona on kaava 40, jonka perusteella hitsiliitos on tarkoitettu mitoittamaan liitettävistä teräslajeista heikoimman lujuuden mukaan. Tällöin hitsin leikkauslujuuden mitoitusarvo saadaan kaavalla 41.

$$\sigma_{w,Ed} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2} \leq f_{vw,d} \quad (40)$$

$$f_{vw,d} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w * \gamma_{M2}} \quad (41)$$

Vihkossa on tarkemmin selitettynä merkkien tarkoitukset.

#### 4.10 Poikkileikkausarvot

Vihkon viimeiseen lukuun 10 Poikkileikkausarvot on kerätty yleisimpien I- ja H-profiileiden sekä putkiprofiileiden poikkileikkausarvoja. Luvun alkuun on vihkossa esitetty I- ja H-profiileiden poikkileikkausmerkinnät. Seuraavana vihkossa alaluvulla 10.1 IPE-profiilin poikkileikkausarvot on taulukkoon kerätty IPE-profiilin poikkileikkausarvoja, jotka ovat Rakentajain kalenterin 2015 mukaisia arvoja (4, s. 530). Tämän jälkeen vihkon alaluvussa 10.2 HEA-profiilin poikkileikkausarvot on koottu taulukkoon HEA-profiilin poikkileikkausarvoja, jotka ovat Rakentajain kalenterin 2015 mukaisia arvoja (4, s. 526). HEB-profiilin poikkileikkausarvot löytyvät taulukosta vihkon luvusta 10.3 HEB-profiilin poikkileikkausarvot. Arvot ovat Rakentajain kalenterin 2015 mukaisia arvoja (4, s. 527).

Viimeisenä vihkossa on luvun 10.4 RHS-putkipalkkien poikkileikkausarvot taulukkoon kerätty neliömäisten ja pyöreiden putkipalkkien poikkileikkausarvoja.

Näiden poikkileikkaussuureiden merkitykset ovat selitettynä kunkin taulukon alussa. Arvot ovat Rakentajain kalenterin 2015 mukaisia arvoja (4, s. 516-517, 521-522).

## 5 Puurakenteiden mitoitusvihko

Tässä luvussa käydään läpi puurakenteiden suunnitteluvihko. Vihkon pohjana ja esimerkkinä on käytetty saksalaista Bemessungs- und Konstruktionshilfen für Holzbauwerke nach Eurocode 5 -julkaisua (6) sekä Puuinfon tarjoamaa lyhennettyä suunnitteluohjetta puurakenteille (7).

### 5.1 Materiaaliparametrit

Puurakenteiden suunnitteluvihkon ensimmäisessä luvussa 1 Materiaaliparametrit on käsitelty eri puurakenteiden osavarmuuskertoimet, muunnoskertoimen  $k_{mod}$  -arvot, virumaluvun  $k_{def}$  -arvot, yleisimpien puutuotteiden ominaisarvot. Lisäksi vihkossa tässä luvussa on esitetty puurakenteissa käytettävien liittimien korroosionsuoja vaatimukset.

Vihkon luvussa 1.1 Puurakenteiden osavarmuuskertoimet taulukkoon on koottu puurakentamisessa käytettyjen rakennusmateriaalien ja näiden välisten liitosten osavarmuuskertoimet. Liitettäessä yhteen kahta tai useampaa eri puutavaraa, käytetään osavarmuuslukuna suurinta arvoa liitettävistä puutuotteista, jolloin saadaan varmallalla puolella oleva mitoitusarvo. Seuraavassa vihkoon luvussa 1.2 Muunnoskertoimen  $k_{mod}$  arvot taulukkoon on kerätty muunnoskertoimen  $k_{mod}$  arvot käytettävän rakennusmateriaalin, käyttöluokan ja kuorman aikaluokan mukaan. Kuorman aikaluokka on jaettuna yhteensä viiteen osioon, jotka ovat; hetkellinen, lyhyt aikainen, keskipitkä, pitkäaikainen ja pysyvä.

Seuraavana vihkoon luvussa 1.3 Virumaluvun  $k_{def}$  arvot on koottu taulukkoon virumaluvun  $k_{def}$  arvoja. Vihkossa olevaan taulukkoon on merkittynä materiaali ja sen valmistusstandardi. Käyttöluokka -sarakeessa osasta kohdista puuttuu arvo, sillä näitä materiaaleja ei ole hyväksytty käytettäväksi kyseessä olevassa käyttöluokassa.

Vihkon luvussa 1.4 Sahatavaran ominaisuudet on taulukossa esitettynä lujuusluokiteltu sahatavara C14 – C40. Näiden ominaisuudet ovat jaettuna vihkossa olevassa taulukossa kolmeen osioon; ominaislujuuksiin, jäykkyysominaisuuksiin ja tiheysarvoihin. Kaikki arvot ovat ominaisarvoja, joten saadakse suunnitteluarvon vihkoon on lisätty muistutuksena kaava 42, jonka avulla tämä määritetään.

$$f_d = k_{mod} * \frac{f_k}{\gamma_M} \quad (42)$$

Seuraavana vihkossa on luvussa 1.5 Liimapuun ominaisuudet taulukoihin kerätty erikseen yhdistetyn liimapuun (GLXXc) ja homogeenisen liimapuun (GLXXh) ominaisarvot lujuusluokista GL20c/h – GL32c/h. Vihkossa esitellyn liimapuun valmistusstandardi on EN 14080. Samaan tapaa kuin sahatavaralla, nämä ominaisarvot ovat jaettuna kolmeen osioon ja arvot ovat ominaisarvoja, joista kaavan 42 avulla voidaan laskea suunnitteluarvo. Tämä jälkeen vihkossa luvussa 1.6 Kerto-S, Kerto-T ja Kerto-Q LVL:n ominaisuudet taulukkoon on koottu Kerto-S, Kerto-T ja Kerto-Q LVL:n ominaisarvot. Nämä arvot ovat edellisten vihkossa olevien taulukoiden mukaan jaettuna kolmeen osioon.

Lopuksi vihkossa tässä osiossa luvussa 1.7 Liittimien korroosionsuoja vaatimukset taulukkoon on kerätty puurakentamisessa käytettävät liittimet ja niiden korroosionsuoja vaatimukset. Korroosionsuoja vaatimukseen vaikuttaa rakenteen käyttöluokka.

## 5.2 Rakenneosien mitoitus

Puurakenteiden suunnitteluvihkon lukuun 2 Rakenneosien mitoitus on koottu eri rasiuskestävyyksien mitoitus puurakenteille. Vihkossa tämän luvun alkuun on esitetty kertoimen  $k_m$  arvo puutuotekohtaisesti, sekä huomautettu kiepahdusalttiilla sauvoilla  $k_{crit}$  kertoimen käytöstä. Seuraavassa vihkossa luvussa 2.1 Yhdistetty taivutus- ja vetorasitus on esitetty yhdistetyn taivutus- ja vetorasituksen mitoitusehto. Vihkossa on mitoitusehto mitoitettaessa y- ja z-akselin suhteen (kaavat 43 ja 43), riippuen siitä kumpi akseli on määräävä.

$$\text{kun } y - \text{ akseli on korkeampi: } \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1,0 \quad (43)$$

$$\text{kun } z - \text{ akseli on korkeampi: } \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1,0 \quad (44)$$

Tämä jälkeen vihkon luvussa 2.2 Yhdistetty taivutus- ja puristusrasitus on esitetty yhdistetyn taivutus- ja puristusrasituksen mitoitus ehdot mitoitettaessa y- ja z- akselin suhteen (kaavat 45 ja 46).

$$\text{kun } y - \text{ akseli on korkeampi: } \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} * f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1,0 \quad (45)$$

$$\text{kun } z - \text{ akseli on korkeampi: } \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1,0 \quad (46)$$

Näiden lisäksi rasituskestävyyden tulee täyttää myös seuraava mitoitus ehto (kaava 47):

$$\left( \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} * f_{m,y,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} \leq 1,0 \quad (47)$$

Puurakenteiden suunnitteluvihkon luvussa 2.3 Yhdistetty leikkaus- ja vääntö- rasitus on esitetty yhdistetyn leikkaus- ja vääntörasituksen mitoitus ehdot 1- akseliselle taivutukselle (kaava 48), suorakaidepoikkileikkaukselle (kaava 49) ja 2- akseliselle taivutukselle (kaava 50). Lisäksi vihkon tässä osiossa on myös erityisohjeet leikkausta mitoitettaessa lovetuille palkeille.

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1,0 \quad (48)$$

$$\tau_d = 1,5 * \frac{V_d}{h * b * k_{cr}} \quad (49)$$

$$\left( \frac{\tau_{y,d}}{f_{v,d}} \right)^2 + \left( \frac{\tau_{z,d}}{f_{v,d}} \right)^2 \leq 1,0 \quad (50)$$

Vihkon luvussa 2.4 Vääntörasitus on esitetty vääntörasituksen mitoitus ehto (kaava 51) ja kertoimen  $k_{shape}$  arvot ympyrä- ja suorakaidepoikkileikkauksille. Tämän lisäksi vihkossa on kaavat vääntörasituksen laskemiseen suorakaide- (kaava 52) ja ympyräpoikkileikkauksille (kaava 53).

$$\frac{\tau_{tor,d}}{k_{shape} * f_{v,d}} \leq 1,0 \quad (51)$$

$$\tau_{tor,d} = \frac{3 * M_{tor,d}}{h * b^2} * \left(1 + 0,6 * \frac{b}{h}\right) \quad (52)$$

$$\tau_{tor,d} = \frac{2 * M_{tor,d}}{\pi * r^3} \quad (53)$$

Rakennesien mitoituksen viimeisessä vihkossa 2.5 Sivuttaisvoimasta ja väännöstä johtuva rasitus on esitetty sivuttaisvoimasta ja väännöstä johtuvan rasituksen mitoitusehto (kaava 54).

$$\left(\frac{\tau_{tor,d}}{k_{shape} * f_{v,d}}\right) + \left(\frac{\tau_{y,d}}{f_{v,d}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{z,d}}{f_{v,d}}\right)^2 \leq 1,0 \quad (54)$$

### 5.3 Kiepahdus- ja nurjahduskestävyys

Puurakenteiden suunnitteluvihkon luvussa 3 Kiepahdus- ja nurjahduskestävyys on määritetty kiepahduskestävyys taivutetulle sauvalle ja nurjahduskestävyys puristetulle sauvalle. Lisäksi vihkossa tämän luvun loppuun on taulukkomuotoon kerätty eri puutavaroiden nurjahduskertoimen  $k_c$  arvoja. Vihkon luvussa 3.1 Taivutetun sauvan kiepahduskestävyys on määritetty mitoitusehto taivutetun sauvan kiepahduskestävyydelle. Nurjahduskerrointa  $k_{c,y}$  käytetään kun nurjahduskestävyyttä tarkastellaan poikkileikkauksen vahvempaan suuntaan z-akselin suhteen (kaava 55), ja kerrointa  $k_{c,z}$  tarkasteltaessa nurjahduskestävyyttä heikompaan suuntaan y-akselin suhteen (kaava 56).

$$z - akselin suhteen: \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} * f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} * f_{m,y,d}} + \left(\frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}}\right)^2 \leq 1,0 \quad (55)$$

$$y - akselin suhteen: \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} + \left(\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} * f_{m,y,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1,0 \quad (56)$$

Vihkossa tämän osion lopussa on esitetty kiepahduskertoimen  $k_{crit}$  arvot hoikkuusluvun  $\lambda_{rel,m}$  suhteen, sekä kaava 57, jonka avulla tämän hoikkuusluvun voi laskea.

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k} * h * l_{ef}}{0,78 * b^2 * E_{0,05}}} \quad (57)$$

Seuraavana vihkon luvussa 3.2 Puristetun sauvan nurjahduskestävyys on esitetty puristetun sauvan nurjahduskestävyyden mitoitusehto y- ja z-akselin suhteen (kaavat 58 ja 59). Vihkossa tämän osion loppuun on lisätty havainnollistava kuva sauvan x-, y- ja z-akseleista.

$$z - akselin suhteen: \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} * f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1,0 \quad (58)$$

$$y - akselin suhteen: \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1,0 \quad (59)$$

Vihkon luvussa 3.3 Nurjahduskertoimen  $k_c$  arvoja taulukkoon on laskettu valmiiksi nurjahduskertoimen  $k_c$  arvoja eri puutavaroille. Nurjahduskertoimen arvon valintaan vaikuttaa rakenteen hoikkuus  $\lambda$ , joka saadaan kaavalla 60 tarkasteltavan akselin mukaan. Kaavassa olevan jäyhyysäteen  $i_z$  arvon saa lasketua kaavalla 61, missä kertoimella  $H$  tarkoitetaan tarkasteltavan palkin korkeutta. Nurjahduspituuden  $L_c$  arvon määrittämistä varten vihkon nurjahduskerrointaulukon alle on lisätty ohjetaulukko.

$$\lambda_y = \frac{L_{c,z}}{i_z} \quad \text{tai} \quad \lambda_z = \frac{L_{c,y}}{i_z} \quad (60)$$

$$i_z = \frac{H}{\sqrt{12}} \quad (61)$$

Itse nurjahduskertoimen  $k_c$  arvo on laskettu seuraavilla kaavoilla (kaavat 62 - 64), missä alaindeksin kirjaimella  $i$  kuvataan tarkasteltavaa akselia:

$$\lambda_{rel,i} = \frac{\lambda_i}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad (62)$$

$$k_i = 0,5 * [1 + \beta_c * (\lambda_{rel,i} - 0,3) + \lambda_{rel,i}^2] \quad (63)$$

$$k_{c,i} = \frac{1}{k_i + \sqrt{k_i^2 - \lambda_{rel,i}^2}} \quad (64)$$

#### 5.4 Taipuma

Puurakenteiden suunnitteluvihkon luvussa 4 Taipumat on aluksi esitelty taipumien ja rakennuksen vaakasiirtymien enimmäisarvot Puuinfon ohjeiden mukaan (6, s. 21). Vihkossa on tämän luvun alussa esitetty eri taipumien lyhenteet ja merkitykset. Tämän jälkeen vihkossa on esiteltynä laskentakaavat hetkelliselle taipumalle  $w_{inst}$ , kokonaistaipumalle  $w_{fin}$  ja lopputaipumalle  $w_{net,fin}$ .

#### 5.5 Värähtelymitoitus

Puurakenteiden suunnitteluvihkon luvussa 5 Värähtelymitoitus on käyty läpi lattiarakenteen alimman ominaistajuuden laskenta. Mikäli ominaistajuus on alle 9 hertsiä, vaaditaan lattiarakenteelle eritystarkastelua. Lattiarakenteen alimmaistajuuden laskenta tapahtuu kaavalla 65. Vihkossa on tarkemmin eriteltynä kaavassa käytettyjen suureiden selitykset.

$$f_1 = \frac{\pi}{2 * L^2} * \sqrt{\frac{(EI)_L}{s * m}} \quad (65)$$

#### 5.6 Puristuskestävyys

Vihkon luvussa 6 Puristuskestävyys on esitelty puristuskestävyyden määrittäminen, kun puristus tapahtuu joko kohtisuoraan tai vinossa kulmassa puun syitä vastaan. Vihkon alaluvussa 6.1 Puristus kohtisuoraan syitä vastaan on mitoitusehto kohtisuoraan puun syitä vastaan tapahtuvalle puristukselle. Aluksi tässä osiossa on esitelty mitoitusehto puristuskestävyydelle (kaava 66) ja laskentakaava tukipainekertoimelle  $k_{c,\perp}$  (kaava 67) puristuksen vaikuttaessa kohtisuoraan puun syitä vastaan. Tukipainekerrointa laskettaessa tarvittavan  $k_{c,90}$  kertoimen määrittäminen on esitelty vihkossa seuraavana havainnollistavin kuvin erilaisissa tilanteissa puutavarakohtaisesti.



$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,\perp} * f_{c,90,d} \quad (66)$$

$$k_{c,\perp} = \frac{l_{c,90,ef}}{l} * k_{c,90} \quad (67)$$

Vihkon alaluvussa 6.2 Puristus vinossa kulmassa syiden suuntaan nähden on mitoitusehto puristukselle, joka vaikuttaa vinosti puiden syysuuntaan nähden. Tällöin mitoituksen tulee täyttää seuraava ehto (kaava 68):

$$\sigma_{c,\alpha,d} \leq \frac{f_{c,0,d}}{\frac{f_{c,0,d}}{k_{c,90} * f_{c,90,d}} * \sin^2(\alpha) + \cos^2(\alpha)} \quad (68)$$

## 5.7 Mekaaniset liitokset

Puurakenteiden suunnitteluvihkon luvussa 7 Mekaaniset liitokset liitosten mitoitus alkaa liittimen suunnittelukestävyyden  $R_d$  määrittämisellä, joka lasketaan seuraavalla kaavalla 69. Liitettäessä kahta erilaista puumateriaalia yhteen käytetään mitoituksessa sen materiaalin  $k_{mod}$  kerrointa, jolla se on pienempi.

$$R_d = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} * R_k \quad (69)$$

Seuraavana tässä vihkon luvussa on tuotu esiin veto- ja puristusrasituksen vaihtelun huomioiminen liitoksissa, jotka mitoitetaan keskipitkäaikaisen tai pitkäaikaisen aikaluokan mukaan. Näissä tilanteissa mitoitus tapahtuu vedolle kaavalla 70 ja puristukselle kaavalla 71.

$$\text{Vedolle: } F_{Ed} = F_{t,d} + 0,5F_{c,d} \quad (70)$$

$$\text{Puristukselle: } F_{Ed} = F_{c,d} + 0,5F_{t,d} \quad (71)$$

Tämä jälkeen vihkossa on opastettu kuinka tarkistetaan puun kestävyys liitoksissa, joissa liitosvoima vaikuttaa vinossa kulmassa puun syiden suuntaan nähden. Tätä varten vihkoon on kerätty tarpeelliset kaavat ja havainnollistavat kuvat tilanteesta, jolloin kyseinen tarkastus tulee tehdä.

Vihkon luvun 7.1 Naulaliitokset alkuun on esitetty kuvin mitä tarkoitetaan yksileikkeisellä ja kaksileikkeisellä liitoksella ja naulojen limityksellä. Vihkon kuvissa

on esitettyä tunkeumasyvyyden  $t$  määrittäminen. Tämän jälkeen vihkossa on käyty läpi erikseen naulaliitoksen leikkauskestävyyden määrittäminen, naulattujen puulevyliitosten mitoitus, naulatut puun ja teräksen liitokset, pituussuunnassa kuormitettujen nauhojen mitoitus sekä liitokset, joita rasittaa yhdistetty leikkausrasitus ja pituussuuntainen kuormitus. Luvun loppuun vihkossa on kerätty taulukoihin sileiden ja profiloitujen nauhojen ulosvetokestävyyden  $R_d$  mitoitusarvoja tietyissä tilanteissa.

Seuraavassa Puurakenteiden suunnitteluvihkon luvussa 7.2 Ruuviliitokset on vihkoon kerätyt ruuviliitoksien mitoitusohjeet. Nämä vihkoon koskevat vain standardin EN 14592 mukaisia ruuveja. Luvun alussa vihkossa on ohje ruuvien mitoitukselle ruuvien tehollisen halkaisijan  $d_{ef}$  perusteelle; mikäli ruuvien tehollinen halkaisija on 6 millimetriä tai alle, mitoitus tapahtuu samalla tavalla kuin profiloituilla pyöreillä nauhoilla, tehollisen halkaisijan ollessa yli 6 millimetriä mitoitus tapahtuu seuraavan luvun pulttiliitoksien mukaisesti.

Ruuviliitoksia käsittelevään vihkoon on lopuksi lisätty ohjeet pituussuunnassa kuormitetuille ruuviliitoksille. Näihin kuuluvat läpivetokestävyyden ja veto-  
lujuuskestävyyden määrittäminen.

Vihkon luvussa 7.3 Pulttiliitokset alkuun on määritetty pultit, joita nämä ohjeet koskevat. Näitä ohjeita voi myös käyttää siis ruuviliitoksille, joissa ruuvien tehollinen halkaisija on yli 6 millimetriä. Vihkossa olevat mitoitusohjeet ovat pulttiliitoksen leikkauskestävyydelle, pultatuille puulevyn ja puun liitoksille sekä teräksen ja puun välisille liitoksille. Näiden lisäksi vihkossa on kirjalliset ohjeet pituussuunnassa kuormitetuille pulttiliitoksille.

Mekaanisten liitosten viimeiseen lukuun 7.4 Liitintäisyydet on koottu aluksi esiporauksen tarpeellisuuden kriteerit, jonka jälkeen on havainnollistavien kuvien esitetty ensin nauhojen ja tämän jälkeen ruuvien ja pulttien pienimmät keskiö- ja reunaetäisyydet. Naulaliitoksia havainnollistavissa vihkoon kuvissa numerot ovat naulan halkaisijan kerrannaisia, esimerkiksi mitalla 5 tarkoitetaan siis arvoa  $5d$ , jolloin 4 mm paksulla naulalla tämä tarkoittaisi minimietäisyyttä  $5 * 4 \text{ mm} = 20 \text{ mm}$ . Kuviin on lisäksi merkitty nuolin vaikuttavan voiman suunta.

## 6 Yhteenveto

Pyrin pitämään vihkot sisällöllisesti ja ulkonäöllisesti mahdollisimman yksinkertaisina ja helppolukuisina jo heti alusta alkaen. Yhtenä ongelmana alussa muodostui omat saksankielen taidot tai tarkemmin sanottuna sen puute käytettyjen saksalaisten esimerkkivihkojen kanssa. Onneksi mitoitukset ja käytetyt merkinnät ovat suurin piirtein samat kuin Suomessa käytetyt niin käännöspalveluiden vajeavaisuuksista pääsi yli yleensä puhtaalla maalaisjärjellä ja päättämällä asiayhteyden osalta mitä kussakin osiossa haettiin takaa.

Puurakenteiden suunnitteluvihkon osalta jouduin tekemään eniten muutoksia verrattuna saksalaiseen esimerkkiini, sillä Suomessa ja Saksassa käytettävät puutuotteen eroavat jonkin verran toisistaan. Tämän puurakenteiden suunnitteluvihkon osalta käytinkin pääasiassa esimerkkinä ja pohjana Puuinfon tarjoamaa lyhennettyä suunnitteluohjetta puurakenteille (6).

Tämän opinnäytetyön tuloksena tehtyihin vihkoihin on koottu niin sanotut perusasiat jokaiselta käsitellyltä osa-alueelta, mutta vielä jäi paljon asioita vihkoista pois, joten vihkoja on tästä hyvä lähteä kehittämään eteenpäin. Esimerkiksi betonirakenteiden osalta pilarin mitoitukset ja rakenteiden jäykistäminen jäivät vihkoista pois kokonaan.

## Lähteet

1. Rakennusteollisuus, SFS 2019/11. Eurokoodit: Eurooppalaiset kantavien rakenteiden suunnittelustandardit.  
[https://www.sfs.fi/files/309/Eurokoodi\\_2019\\_web.pdf](https://www.sfs.fi/files/309/Eurokoodi_2019_web.pdf). Luettu 1.6.2020.
2. RIL 201-1-2017, Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Eurokoodit EN 1990, EN 1991-1-1, EN 1991-1-3 ja EN 1991-1-4.
3. Minnert, J. Bemessungs- und Konstruktionshilfen für Stahlbetonbauteile nach Eurocode 2, mb-news, mb AEC Software GmbH
4. Wagenknecht, G., Bemessungs- und Konstruktionshilfen für Stahlbauwerke nach Eurocode 3, mb-news, mb AEC Software GmbH
5. Rakennusmestarit ja –insinöörit AMK RKL ry, Rakennustietosäätiö RTS ja Rakennustieto Oy, 2014. Rakentajain kalenteri 2015. Helsinki. Rakennustieto Oy.
6. Minnert, J., Schmidt, K.D., M.Eng. & Licht, P., Bemessungs- und Konstruktionshilfen für Holzbauwerke nach Eurocode 5, mb-news, mb AEC Software GmbH
7. Puuinfo. Puurakenteiden lyhennetty suunnitteluohje. Neljäs painos. 2018.  
<https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/Eurokoodi%205%20Lyhennetty%20suunnitteluohje%2031.8.%20web.pdf>. Luettu 9.5.2020.

# Eurokoodin mukaiset rakenteiden suunnitteluperusteet ja kuormitusten mitoitus

## Sisältö

### 1 Perusteet

- 1.1 Seuraamusluokkakertoimen määrittäminen
- 1.2 Rajatilat
- 1.3 Yhdistelykertoimet

### 2 Kuormitusyhdistelmät

- 2.1 Käytetyt merkinnät kuormille

### 3 Kuormat

- 3.1 Rakennuksen tilojen luokat ja kuormien ominaisarvot
- 3.2 Lumikuorma
  - 3.2.1 Ominaislumikuormat maassa
  - 3.2.2 Kattojen lumikuormat
- 3.3 Maastoluokat ja maaston rosoisuus
  - 3.3.1 Maastoluokat sileimmästä rosoisimpaan
  - 3.3.2 Maaston pinnanmuodon vaikutus nopeuspaineeseen
- 3.4 Tuulikuorma
  - 3.4.1 Pinnanmuodon vaikutuksesta modifioidun nopeuspaineen määrittäminen
  - 3.4.2 Nopeuspaineen ominaisarvo eri maastoluokissa
  - 3.4.3 Nopeuspaineen mitoitus erikorkuisille rakennuksille
  - 3.4.4 Tuulikuorman laskeminen
  - 3.4.5 Seinän osapintojen tuulikuormien määrittäminen
  - 3.4.6 Harja- ja pulpettikaton osapintojen tuulikuormien määrittäminen

# 1 Perusteet

## 1.1 Seuraamusluokkakertoimen määrittäminen

Seuraamusluokan kuvaus	Rakennuksia sekä rakenteita koskevia esimerkkejä	Luotettavuusluokka/ kuormitusluokka $K_{FI}$
CC3 Suuret seuraamukset ihmishenkien menetysten tai hyvin suurten taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	Rakennuksen kantava runko <sup>1)</sup> jäykistävine rakennusosineen seillaisissa rakennuksissa, joissa usein on suuri joukko ihmisiä, kuten; - Yli 8-kerroksiset rakennukset <sup>2)</sup> asuin-, konttori- ja liikeyrakennukset - Konserttitalit, teatterit, urheilu- ja näyttelyhallit, katsomot - Raskaasti kuormitetut tai suuria jännevälejä sisältävät rakennukset - Erikoisrakenteet kuten esimerkiksi suuret mastot ja tornit - Luiskat sekä penkereet ja muut rakenteet hienorakenteisten maalajien alueella siirtymien haittavaikutuksille herkissä ympäristöissä	RC3 $K_{FI} = 1,1$
CC2 Keskisuuret seuraamukset ihmishenkien menetysten tai merkittävien taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	Rakennukset ja rakenteet, jotka eivät kuulu luokkiin CC3 tai CC1	RC2 $K_{FI} = 1,0$
CC1 Vähäiset seuraamukset ihmishenkien menetysten tai pienten tai merkityksettömien taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia.	- 1- ja 2-kerroksiset rakennukset, joissa vain tilapäisesti oleskelee ihmisiä kuten esimerkiksi varastot - Rakenteet, joiden vaurioitumisesta ei aiheudu merkittävää vaaraa kuten; - matalalla olevat alapohjat ilman kellaritiloja - ryömintätilaiset vesikatot, kun yläpohja on varsinainen kantava rakenne - sellaiset ulko- ja väliseinät, ikkunat, ovet ja vastaavat, joihin pääasiassa kohdistuu ilman paine-eroista aiheutuva sivuttaiskuormitus ja jotka eivät toimi kantavan tai jäykistävän rungon osana	RC1 $K_{FI} = 0,9$

<sup>1)</sup> Ylä- ja välipohjat kuuluvat luokkaan CC2, elleivät ne toimi koko rakennusta jäykistävänä rakenteena. Rakennuksen koostuessa erilaisista toisistaan riippumattomista rakennusosista määritellään kunkin osan seuraamusluokka erikseen.

<sup>2)</sup> Kellarikerrokset mukaan luettuina.

**Seuraamusluokkakerronta ei käytetä väsytyks- eikä käyttörajatilatarkasteluissa!**

## 1.2 Rajatilat

**Käyttörajatiloiksi** luokitellaan rajatilat, jotka liittyvät rakenteen tai rakenneosien toimintaan normaalikäytössä, ihmisten mukavuuteen tai rakennuskohteen ulkonäköön.

- Käyttörajatilassa tarkastellaan siirtymät, värähtelyt ja mahdolliset vauriot, jotka mm. vaikuttavat ulkonäköön, käyttäjien mukavuuteen, rakenteen ja teknisten järjestelmien toimivuuteen sekä säilyvyyteen.

**Murtorajatiloiksi** luokitellaan rakenteen tasapainon menetys, vaurioituminen tai murtuminen tai väsymisen aiheuttama vaurioituminen. Ne liittyvät ihmisten turvallisuuteen tai rakenteiden varmuuteen. Joissakin olosuhteissa ne liittyvät myös aineen tai tavaran suojaamiseen.

- Murtorajatilassa tarkastellaan; jäykän kappaleen tai sen osan tasapainon menetys, liian suuri siirtymätila, rakenteen tai sen osan muuttuminen mekanismiksi, katkeaminen, rakenteen tai sen osa stabiiliuden menetys sekä ajasta riippuva vaurioituminen esim. väsyminen

### 1.3 Yhdistelykertoimet

Kuorma	$\Psi_0$	$\Psi_1$	$\Psi_2$
Hyötykuormat rakennuksissa			
Luokka A: asuintilat	0,7	0,5	0,3
Luokka B: toimistotilat	0,7	0,5	0,3
Luokka C: kokoontumistilat	0,7	0,7	0,3
Luokka D: myymälätilat	0,7	0,7	0,6
Luokka E: varastotilat	1,0	0,9	0,8
Luokka F: liikennöitävät tilat, ajoneuvon paino $\leq 30$ kN	0,7	0,7	0,6
Luokka G: liikennöitävät tilat, $30$ kN < ajoneuvon paino $\leq 160$ kN	0,7	0,5	0,3
Luokka H: vesikatot	0	0	0
Lumikuorma <sup>1)</sup> kun $s_k < 2,75$ kN/m <sup>2</sup>	0,7	0,4	0,2
Lumikuorma <sup>1)</sup> kun $s_k \geq 2,75$ kN/m <sup>2</sup>	0,7	0,5	0,2
Jääkuorma (jään painosta johtuva)	0,7	0,3	0
Rakennusten tuulikuormat	0,6	0,2	0
Rakennusten sisäinen lämpötila (ei tulipalossa)	0,6	0,5	0

<sup>1)</sup> Ulkotasoilla ja parvekkeilla  $\psi_0 = 0$  luokkien A, B, F ja G yhteydessä

Huom: Mikäli rakennuksessa on eri kuormaluokkia, joita ei voi erotella omiin selviin ryhmiinsä, käytetään  $\psi$ -arvoja, jotka antavat epäedullisimman vaikutuksen

## 2 Kuormitusyhdistelmät

### 2.1 Käytetyt merkinnät kuormille

- $G_{k,j}$  Pysyvät kuormat (epäedullisen tai edullisen vaikutuksen aiheuttava)
- $Q_{k,1}$  Määrävä muuttuva kuorma
- $Q_{k,i}$  Muut muuttuvat kuormat
- $\Psi$  Yhdistelykerroin
- $P$  Esijännitysvoima
- $A_d$  Onnettomuuskuorma

### 2.2 a) Rakennuksen tai rakenteen (jäykkä kappale) staattinen tasapaino (EQU)

$$\left. \begin{matrix} 1,1K_{FI} \\ 0,9 \end{matrix} \right\} \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \gamma_P P + 1,5K_{FI} * Q_{k,1} + 1,5K_{FI} \sum_{i > 1} \Psi_{0,i} * Q_{k,i}$$

Selostus: seuraamusluokka (ja kuormakerroin) huomioiden yhdistetään

- tasapainoa heikentävät epäedulliset pysyvät kuormat ( $G_k$ ) kerrottuna kertoimella 1,1  $K_{FI}$
- tasapainoa parantavat edulliset pysyvät kuormat ( $G_k$ ) kerrottuna kertoimella 0,9 (huom. ei kerrointa  $K_{FI}$ )
- esijännitysvoimat  $P$  kerrottuna osavarmuuskertoimella  $\gamma_P$
- määrävä muuttuva kuorma  $Q_{k,1}$  kerrottuna kertoimella 1,5  $K_{FI}$
- muiden samanaikaisten muuttuvien kuormien  $Q_{k,i}$  yhdistelyarvot ( $\psi_0 Q_i$ ) kerrottuna kertoimella 1,5  $K_{FI}$

### 2.3 b) Rakenteen tai rakenneosien kestävyys/geotekninen kantavuus (STR)

$$\left. \begin{matrix} 1,15K_{FI} \\ 0,9 \end{matrix} \right\} \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \gamma_P P + 1,5K_{FI} * Q_{k,1} + 1,5K_{FI} \sum_{i > 1} \psi_{0,i} * Q_{k,i}$$

kuitenkin vähintään

$$\left. \begin{matrix} 1,35K_{FI} \\ 0,9 \end{matrix} \right\} \sum_{j \geq 1} G_{k,j}$$

Selostus: seuraamusluokka (ja kuormakerroin) huomioiden yhdistetään

- epäedullisen vaikutuksen aiheuttavat pysyvät kuormat ( $G_k$ ) kerrottuna kertoimella 1,15  $K_{FI}$
- edullisen vaikutuksen aiheuttavat pysyvät kuormat ( $G_k$ ) kerrottuna kertoimella 0,9 (huom. ei kerrointa  $K_{FI}$ )
- esijännitysvoimat  $P$  kerrottuna osavarmuuskertoimella  $\gamma_P$
- määräävä muuttuva kuorma  $Q_{k,1}$  kerrottuna kertoimella 1,5  $K_{FI}$
- muiden samanaikaisten muuttuvien kuormien  $Q_{k,i}$  yhdistelyarvot ( $\psi_{0,i}, Q_{k,i}$ ) kerrottuna kertoimella 1,5  $K_{FI}$
- käytetään rakenteiden mitoituksessa
- yhdistelmää käytetään myös mitoittaessa rakenneosien kestävyyttä, kun mitoitukseseen vaikuttavat geotekniset kuormat ja maapohjan kantavuus

### 2.4 c) Geotekninen kantavuus (GEO)

$$\left. \begin{matrix} 1,0K_{FI} \\ 1,0 \end{matrix} \right\} \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \gamma_P P + 1,3K_{FI} * Q_{k,1} + 1,3K_{FI} \sum_{i > 1} \psi_{0,i} * Q_{k,i}$$

Selostus: seuraamusluokka (ja kuormakerroin) huomioiden yhdistetään

- epäedullisen vaikutuksen aiheuttavat pysyvät kuormat ( $G_k$ ) kerrottuna kertoimella 1,0  $K_{FI}$
- edullisen vaikutuksen aiheuttavat pysyvät kuormat ( $G_k$ ) kerrottuna kertoimella 1,0 (huom. ei kerrointa  $K_{FI}$ )
- esijännitysvoimat  $P$  kerrottuna osavarmuuskertoimella  $\gamma_P$
- määräävä muuttuva kuorma  $Q_{k,1}$  kerrottuna kertoimella 1,3  $K_{FI}$
- muiden samanaikaisten muuttuvien kuormien  $Q_{k,i}$  yhdistelyarvot ( $\psi_{0,i}, Q_{k,i}$ ) kerrottuna kertoimella 1,3  $K_{FI}$
- käytetään luiskien ja kokonaisvakavuuden mitoituksessa

### 2.5 d) Onnettomuustilanne

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_d + \psi_{11} * Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} * Q_{k,i} \quad \text{Kun pääasiallinen kuorma ( $Q_{k,1}$ ) on lumi, jää- tai tuulikuorma}$$

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_d + \psi_{21} * Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} * Q_{k,i} \quad \text{Jos pääasiallinen kuorma ( $Q_{k,1}$ ) on muu kuin lumi, jää- tai tuulikuorma}$$

Selostus: yhdistetään

- epäedullisen vaikutuksen aiheuttavat pysyvät kuormat
- edullisen vaikutuksen aiheuttavat pysyvät kuormat
- esijännitysvoiman kyseeseen tuleva edustava arvo
- onnettomuuskuorma
- määräävän muuttuvan kuorman yhdistelyarvo ( $\psi_{11} * Q_{k,1}$  tai  $\psi_{21} * Q_{k,1}$ )
- muiden samanaikaisten muuttuvien kuormien yhdistelyarvot ( $\psi_{2,i} * Q_{k,i}$ )



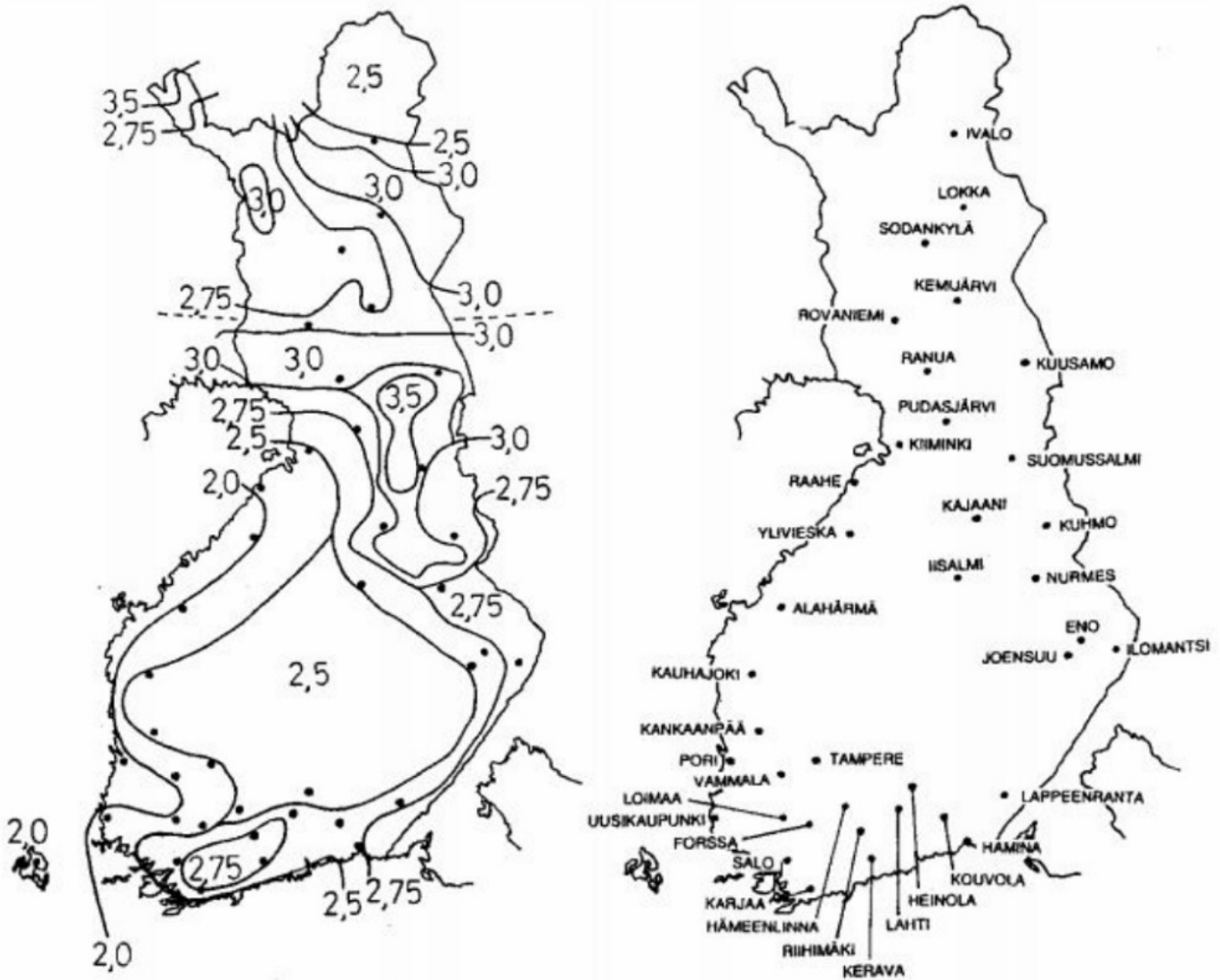
## 3 Kuormat

### 3.1 Rakennuksen tilojen luokat ja kuormien ominaisarvot

Luokka	Käyttötarkoitus	Hyötykuorma $q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	Pistekuorma $Q_k$ [kN]	Vaakakuormat [kN/m]
<b>A</b>	<b>Asuin- ja majoitustilat</b> -esim. asuinrakennusten huoneet, sairaaloiden potilas- ja toimenpidehuoneet, hotellien majoitushuoneet	välipohjat 2,0 portaat 2,0 parvekkeet 2,0	2,0 2,0 2,0	0,5 0,5 0,5
<b>B</b>	<b>Toimistotilat</b>	2,5	2,0	0,5
<b>C</b>	<b>Kokoontumistilat</b> C1: Tilat, joissa on pöytiä yms. esim. koulut, kahvilat, ravintolat, ruokasalit, lukusalit ja vastaanottotilat C2: Tilat, joissa on kiinteät istuimet, esim. kirkot, teatterit, elokuvateatterit, konferenssi-, luento-, kokous-, odotussalit ja asemien odotustilat C3: Tilat, joissa ei ole liikkumista rajoittavia esteitä, esim. museo- ja näyttelytilat, julkisten rakennusten ja toimistorakennusten, hotellien ja sairaaloiden eteistilat, asemahallit C4: Liikuntatilat, esim. tanssisalit, voimistelusalit ja näyttämöt C5: Tilat, joihin voi syntyä tungosta esim. yleisötapahtumien rakennuksissa; konserttitalit, urheiluhallit, katsomot, terassit ja eteistilat sekä rautatielaiturit	2,5 3,0 4,0 5,0 6,0	3,0 3,0 4,0 4,0 4,0	0,5 1,0 1,0 1,0 3,0
<b>D</b>	<b>Myymlätilat</b> D1: Tavallisten vähittäiskauppojen tilat D2: Tavaratalojen tilat	4,0 5,0	4,0 7,0	1,0 1,0
<b>E</b>	<b>Varasto- ja tuotantotilat</b> E1: Varastotilat, joissa tavaraa säilytetään, mukaan luettuna tavarantoimitus E2: Teollisuuskäyttö	7,5	7	1
<b>F</b>	<b>Kevyiden ajoneuvojen liikennöinti- ja pysäköintialue.</b> Ajoneuvokuorma $\leq 30$ kN, maks.henkilömäärä: 8 + kuljettaja	2,5	20	Mitoitus EN 1991-1-1 liite B:n mukaisesti
<b>G</b>	<b>Keskiraskaiden ajoneuvojen liikennöinti- ja paikoitusalueet.</b> Ajoneuvokuorma $\leq 160$ kN, 2-akselilla	5,0	90	Mitoitus EN 1991-1-1 liite B:n mukaisesti
<b>H</b>	<b>Vesikatot, joille on pääsy vain normaalia kunnossapitoa ja korjaamista varten</b>	0,4	1	
<b>I</b>	<b>Vesikatot, joille on pääsy luokkien A...D mukaisesti</b>	Kuormat luokkien A...D mukaisesti		
<b>K</b>	<b>Erityistoimintoja varten olevat vesikatot, kuten helikoptereiden laskeutumisaluet</b>	Mitoitus tapauskohtaisesti		

## 3.2 Lumikuorma

### 3.2.1 Ominaislumikuormat maassa $s_k$ [kN/m<sup>2</sup>]



### 3.2.2 Kattojen lumikuormat

Katon lumikuorma  $s$  määritetään seuraavasti:  $s = \mu_i * C_e * C_t * s_k$

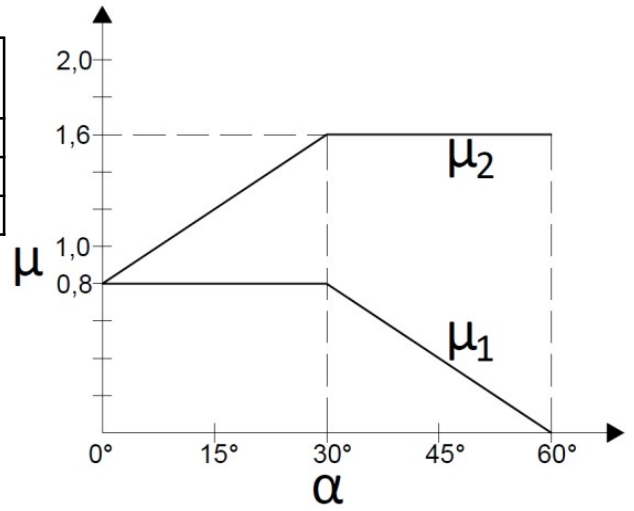
- missä:
- $\mu_i$  lumikuorman muotokerroin
  - $s_k$  maassa olevan lumikuorman ominaisarvo [kN/m<sup>2</sup>]
  - $C_e$  tuulensuojaisuskerroin, tavallisesti 1,0 tai 0,8 (mikäli maastotyyppi on tuulinen, käytetään 0,8<sup>1)</sup>)
  - $C_t$  lämpökerroin, arvo tavallisesti on 1,0 (voidaan pienentää tarkemman selvityksen perusteella)

<sup>1)</sup>Katoilla, joiden lyhyempi sivumitta on yli 50 metriä, kerroin  $C_e$  on kuitenkin 1,0

### Lumikuorman muotokerroin $\mu_i$

Katon kaltevuuskulma $\alpha$	$\mu_1$	$\mu_2$
$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	0,8	$0,8 + 0,8\alpha / 30$
$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$0,8 * (60 - \alpha) / 30$	1,6
$\alpha \geq 60^\circ$	0,0	1,6

Mikäli katolla on lumiaste tai muu liukumiseste tai jos katon alaräystäällä on kaide, käytetään lumikuorman muotokertoimelle vähintään arvoa 0,8



### Korkeampaa rakennuskohdetta vasten oleva katto

$\mu_1 = 0,8$  (mikäli alempi katto on tasakatto)

$$\mu_2 = \mu_s + \mu_w$$

### Liukumisesta johtuva muotokerroin, $\mu_s$

Kun  $\alpha \leq 15^\circ$ ,  $\mu_s = 0$

Kun  $\alpha > 15^\circ$ ,  $\mu_s$  määritetään lisäkuormasta, joka on 50 % ylemmän katon viereisen lappeen lasketusta maksimilumikuormasta, jos katolla ei ole liukuesteit

### Tuulesta johtuva muotokerroin, $\mu_w$

$$\mu_w = (b_1 + b_2) / 2h < \gamma h / s_k$$

missä

- $b_1$  ja  $b_2$  rakennuksien osien pituus
- $h$  kattojen tasoero
- $\gamma$  lumen tilavuuspaino ( $\approx 2,0 \text{ kN/m}^3$ )
- $s_k$  ominaislumikuorma maassa

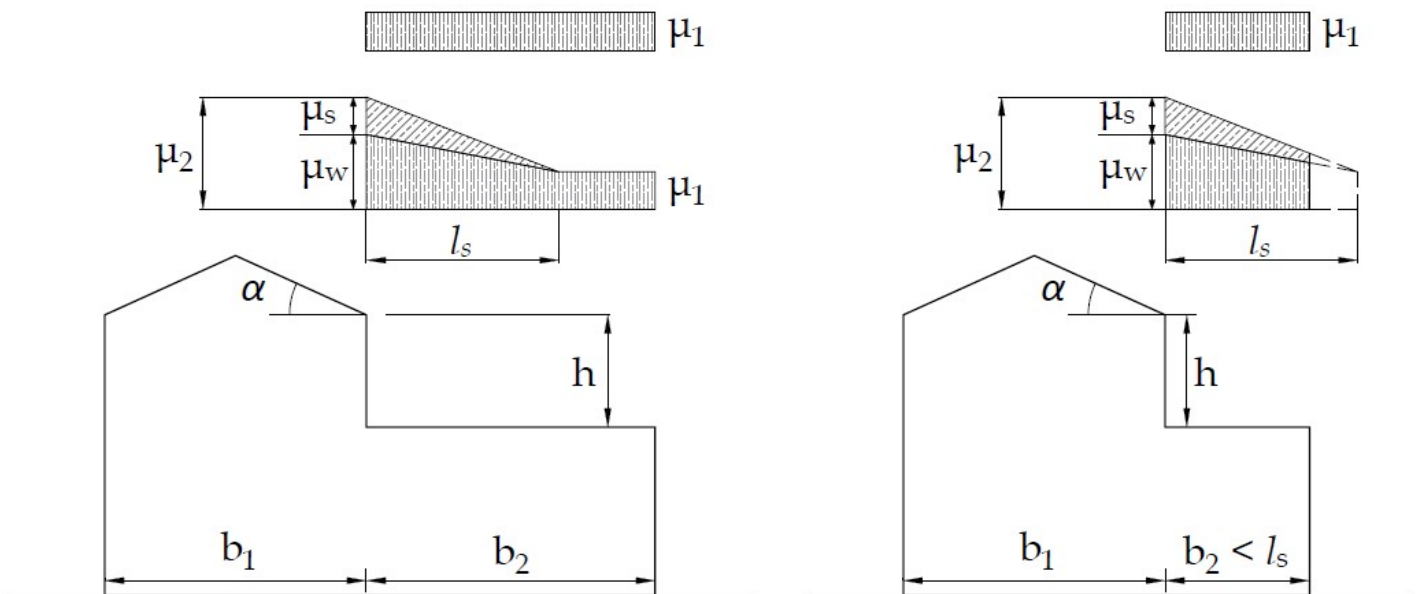
Kertoimen  $\mu_w$  vaihteluväli on:

$0,8 \leq \mu_w \leq 2,5$ , jos alemman katon pinta-ala on  $\geq 6 \text{ m}^2$

$0,8 \leq \mu_w \leq 1,5$ , jos alemman katon pinta-ala on  $= 2 \text{ m}^2$

$\mu_w = 0,8$ , jos alemman katon pinta-ala on  $\leq 1 \text{ m}^2$

Kertoimen  $\mu_w$  ylärajan väliarvot interpoloidaan lineaarisesti alemman katon pinta-alan ollessa  $< 6 \text{ m}^2$



### 3.3 Maastoluokat ja maaston rosoisuus

#### 3.3.1 Maastoluokat sileimmästä rosoimpaan

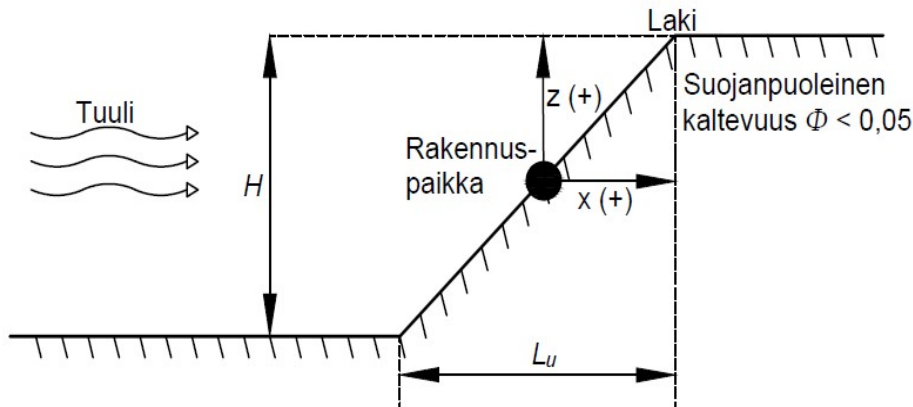
Maastoluokka		$z_{\min}$ [m]	Nopeuspaine [ $\text{kN/m}^2$ ]
<b>0</b>	Meri, avoimen meren äärellä oleva rannikkoalue	1	$q = 0,87 (z / 10)^{0,18}$
<b>I</b>	Järvi tai alue, jolla on vähäistä kasvillisuutta eikä esteitä	2	$q = 0,77 (z / 10)^{0,20}$
<b>II</b>	Alue, jolla on matalaa kasvillisuutta, kuten heinää tai ruohoa ja erillisiä esteitä (puita, rakennuksia), jotka ovat vähintään esteen 20-kertaisen korkeuden etäisyydellä toisistaan	4	$q = 0,65 (z / 10)^{0,24}$
<b>III</b>	Alue, jolla on säännöllinen kasvipeite tai rakennuksia tai erillisiä esteitä, jotka ovat esteen 20-kertaista korkeutta lähempänä toisiaan (kylät, esikaupunkialueet, pysyvät metsät)	8	$q = 0,49 (z / 10)^{0,32}$
<b>IV</b>	Alue, jolla vähintään 15 % alasta on rakennusten peitossa ja joiden keskimääräinen korkeus ylittää 15 m.	16	$q = 0,34 (z / 10)^{0,44}$

HUOM! Mikäli rakennus sijaitsee lähellä maaston rosoisuuden muutoskohtaa, käytetään sileämmän maastoluokan tuuliparametreja;

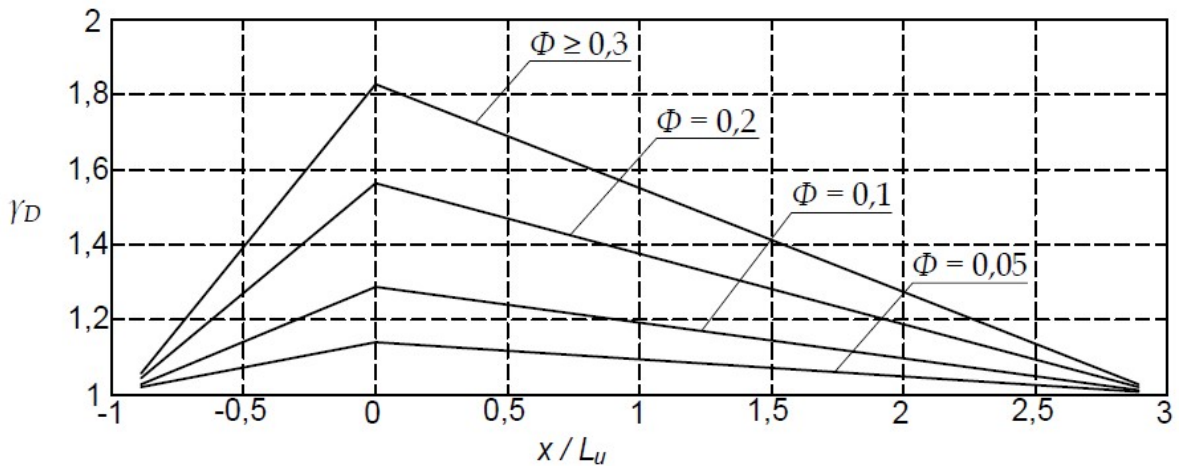
- alle 2 km:n etäisyydellä maastoluokkaan 0 kuuluvasta maastosta
- alle 1 km:n etäisyydellä maastoluokkaan I, II tai III kuuluvasta maastosta
- $z$  on korkeus maaston pinnasta metreinä (kaavat ovat voimassa kun korkeus  $z \leq 200$  m)

#### 3.3.2 Maaston pinnanmuodon vaikutus nopeuspaineeseen

Nopeuspaineen suurennuskerroin  $\gamma_D$  toispuoleisille maastonkohoumille



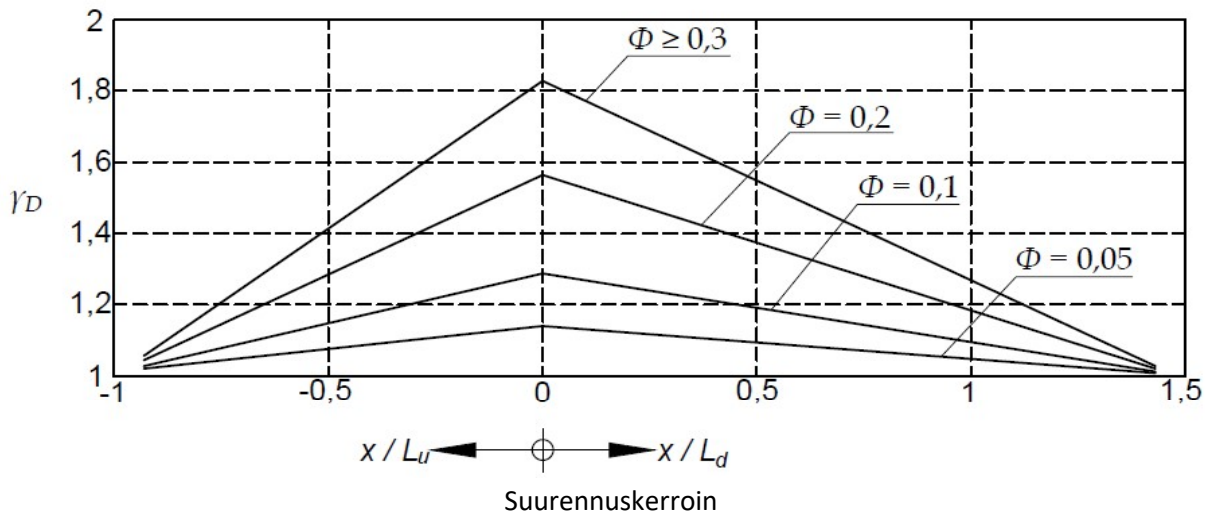
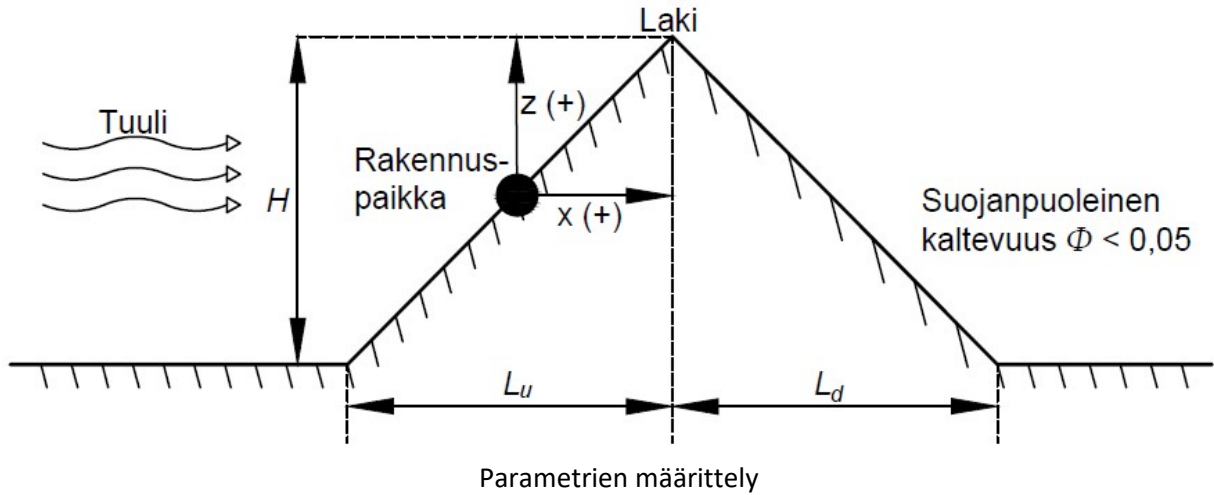
Parametrien määrittely



Suurennuskerroin

Jos  $\Phi > 0,3$  korvataan vaaka-akselin muuttuja  $x/L_u$  parametrilla  $x/(H/0,3)$ , kun  $x > 0$

## Nopeuspaineen suurennuskerroin $\gamma_D$ kaksipuoleisille maastonkohoumille



### Käytetyt parametrit

- $\Phi$  rinteen kaltevuus  $H/L_u$  tuulenpuolella, tuulen suunnassa (rad)
- $L_u$  tuulenpuoleisen rinteen pituus tuulen suunnassa (mitataan alueelle, jossa  $\Phi$  ylittää arvon 0,05)
- $L_d$  suojanpuoleisen rinteen pituus tuulen suunnassa
- $H$  maastomuodon tehollinen korkeus
- $x$  rakennuspaikan vaakasuoja etäisyys harjasta (positiivinen tuulen suunnassa, negatiivinen vastatuuleen)
- $z$  korkeusasema laskettuna maanpinnasta rakennuksen paikalla

## 3.4 Tuulikuorma

### 3.4.1 Pinnanmuodon vaikutuksesta modifioidun nopeuspaineen $q_p(z)$ määrittely

$$q_p(z) = \gamma_D * q_{p0}(z)$$

missä  $q_{p0}(z)$  on modifioimaton puuskanopeuspaine ja  $\gamma_D = 1,0$  kun maaston kaltevuus on pieni,  $\Phi < 0,05$

$\gamma_D$ :n määrittely **toispuoleisille** maastonkohoumille, kun  $\Phi \geq 0,05$

$$\gamma_D = 1 + 2,8 * \Phi * (1 + x / L_u) \quad \text{kun } x < 0$$

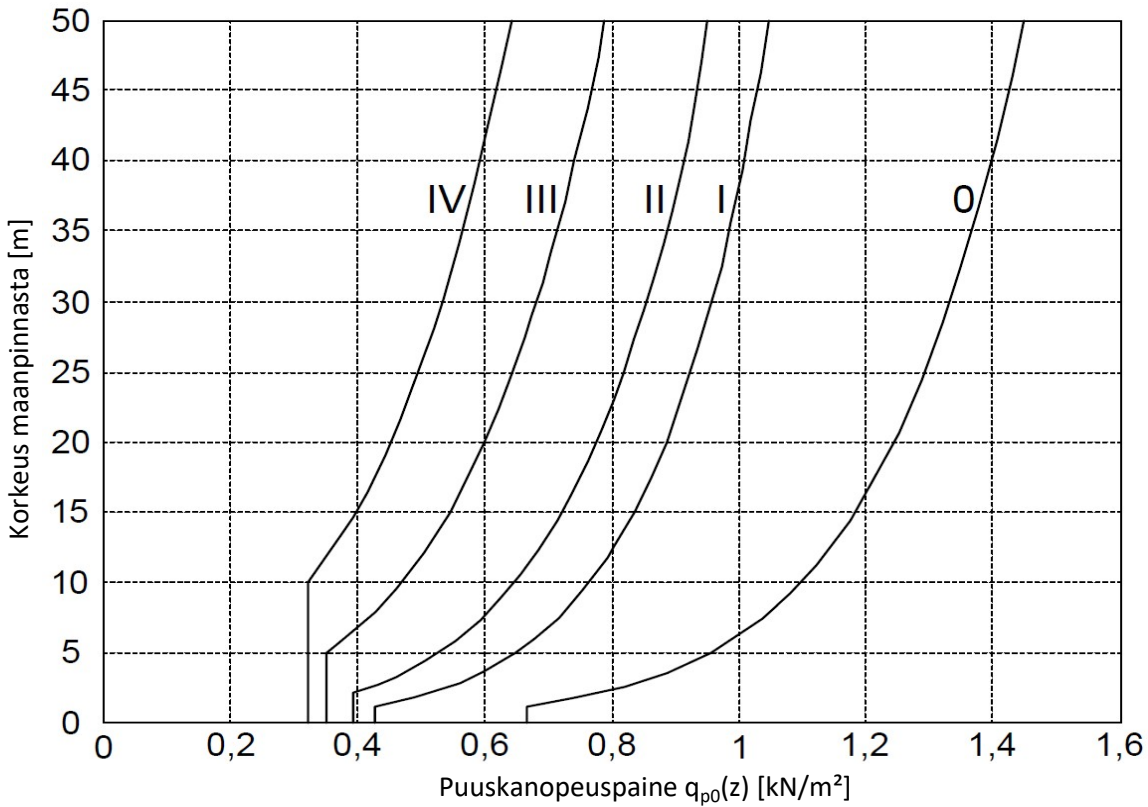
$$\gamma_D = 1 + 2,8 * \Phi * (1 - 0,33 * x / L_u) \quad \text{kun } x \geq 0$$

$\gamma_D$ :n määrittely **kaksipuoleisille** maastonkohoumille, kun  $\Phi \geq 0,05$

$$\gamma_D = 1 + 2,8 * \Phi * (1 + x / L_u) \quad \text{kun } x < 0$$

$$\gamma_D = 1 + 2,8 * \Phi * (1 - 0,47 * x / L_u) \quad \text{kun } x \geq 0$$

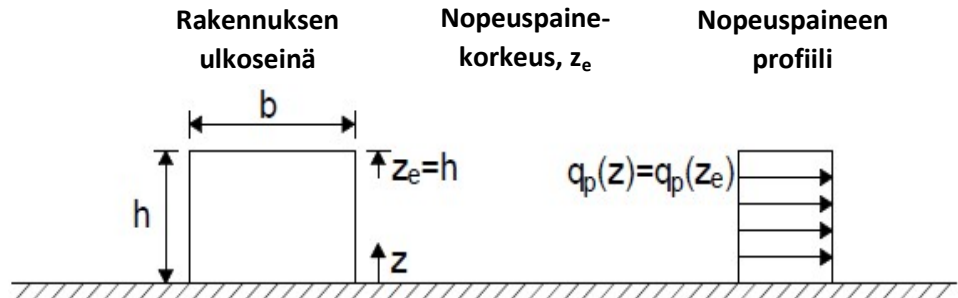
### 3.4.2 Nopeuspaineen ominaisarvo $q_{p0}(z)$ eri maastoluokissa (= $q_p(z)$ tasaisessa maastossa)



### 3.4.3 Nopeuspaineen mitoitus erikorkuisille rakennuksille

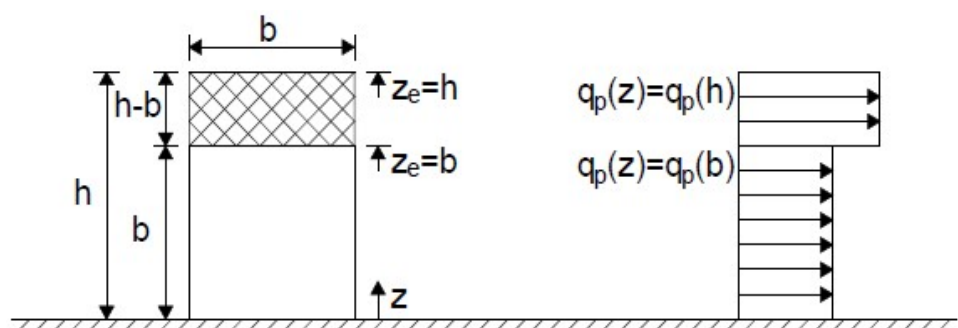
Rakennukset, joiden korkeus  $h$  on pienempi kuin  $b$ , tarkastellaan yhtenä osana

$$h \leq b$$



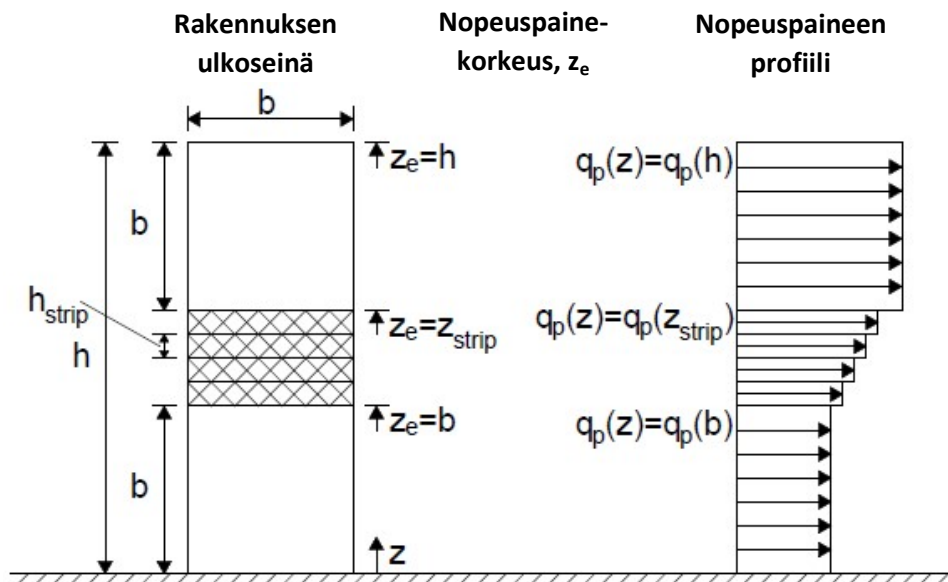
Rakennukset, joiden korkeus  $h$  on suurempi kuin  $b$ , mutta pienempi kuin  $2b$ , tarkastellaan kahtena osana käsittäen alaosan, joka ulottuu maasta korkeuteen  $b$ , ja yläosan

$$b < h \leq 2b$$



Rakennukset, joiden korkeus  $h$  on suurempi kuin  $2b$ , tarkastellaan useana osana käsittäen alaosan, joka ulottuu maasta korkeuteen  $b$ , yläosan, joka ulottuu huipulta alaspäin matkan  $b$ , ja keskivyöhykkeen ylä- ja alaosien välissä

$$h > 2b$$



### 3.4.4 Tuulikuorman laskeminen

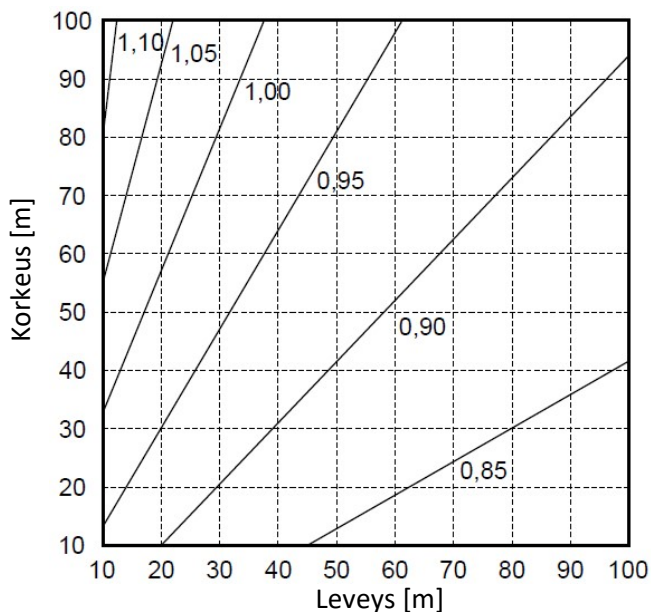
Tuulikuorman jakautuminen korkeuden  $z$  mukaan neliökuormana

$$q_w(z) = c_s c_d * C_f * q_p(z)$$

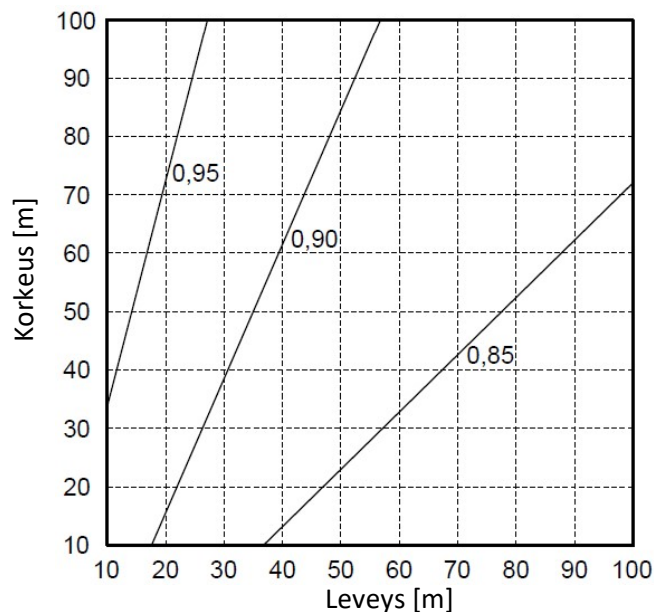
missä

- $q_w(z)$  kokonaistuulikuorma seinää vasten [ $\text{kN/m}^2$ ]
- $c_s c_d$  rakennekertoimen (=1,0 varmalla puolella oleva arvo)
- $C_f$  voimakertoimen
- $q_p(z)$  pinnanmuodon modifioima nopeuspaine

Rakennekertoimen  $c_s c_d$  määrittäminen



Teräsrunkoiset rakennukset



Betoni- tai puurunkoiset rakennukset

Tehollinen hoikkuus  $\lambda$  suorakulmaisille rakennuksille

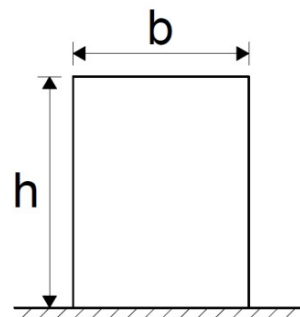
Tehollinen hoikkuus  $\lambda$

kun  $h < 15 \text{ m}$       $\lambda = 2 * h/b$

kun  $h \geq 50 \text{ m}$       $\lambda = 1,4 * h/b$

Välialueella  $15 \text{ m} < h < 50 \text{ m}$  sovelletaan interpolointia

Huom! Tämä ohje ei koske hyvin hoikkia rakennuksia ( $\lambda > 10$ )



## Voimakerroin $C_f$

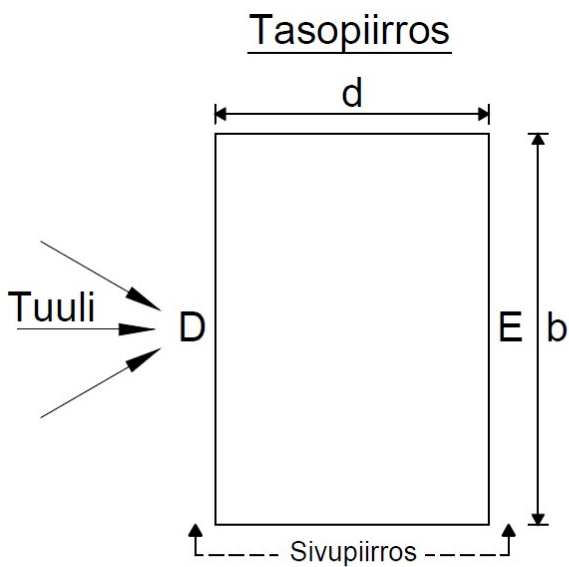
$\lambda$	Sivusuhte $d / b$								
	0,1	0,2	0,5	0,7	1	2	5	10	50
$\leq 1$	1,20	1,20	1,37	1,44	1,28	0,99	0,60	0,54	0,54
3	1,29	1,29	1,48	1,55	1,38	1,07	0,65	0,58	0,58
10	1,40	1,40	1,60	1,68	1,49	1,15	0,70	0,63	0,63

### 3.4.5 Seinän osapintojen tuulikuormien määrittäminen

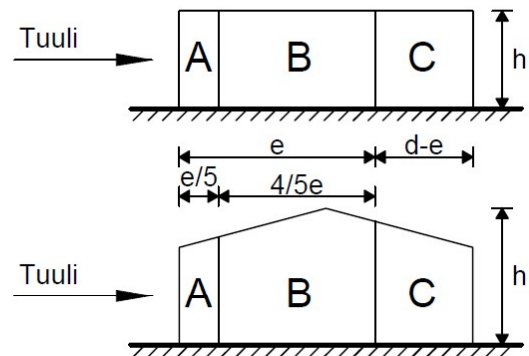
Osapintojen vyöhykkeiden määrittämiseen tarvitaan tekijä  $e$ , joka määritetään seuraavasti:

$$e = b \text{ TAI } e = 2h \text{ (pienempi arvo valitaan)}$$

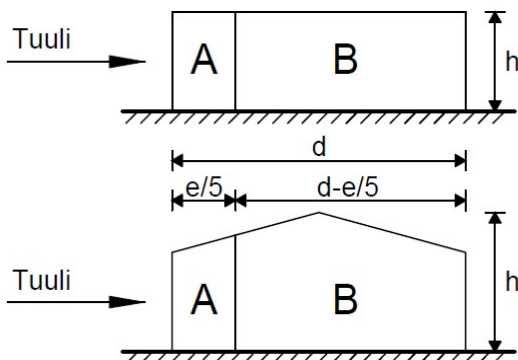
#### Pystyseiniä koskeva vyöhykekaavio



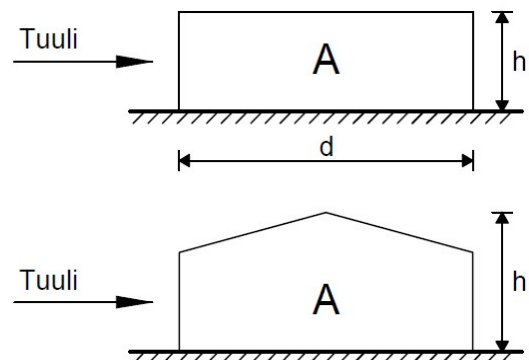
#### Sivupiirros, kun $e < d$



#### Sivupiirros, kun $e > d$

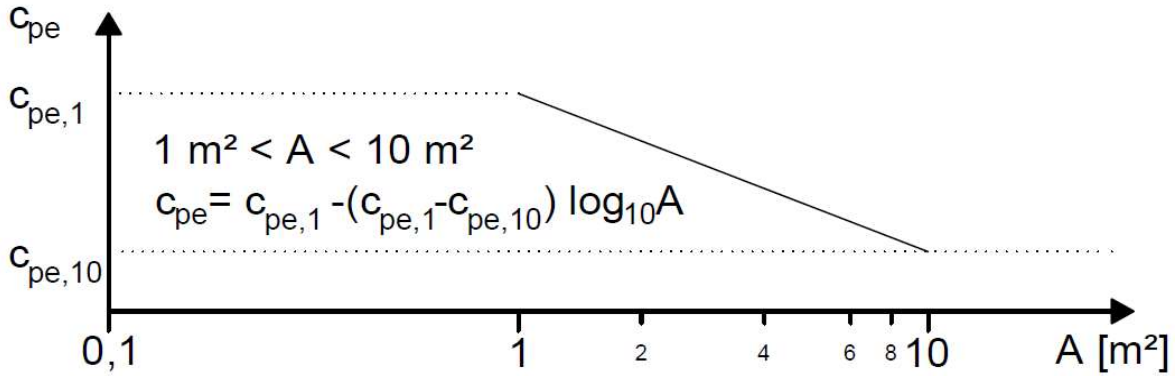


#### Sivupiirros, kun $e > 5d$





### Ulkosen paineen kertoimen riippuvuus kuormitusalan A koosta



- Arvoa  $c_{pe,10}$  käytetään, kun tarkasteltavan rakenteen tuulen kuormittama pinta-ala on  $10 \text{ m}^2$  tai suurempi
- Arvoa  $c_{pe,1}$  käytetään pinta-alan ollessa  $1 \text{ m}^2$
- Mikäli tuulen kuormittaman pinta-alan koko on näiden arvojen välissä, voidaan  $c_{pe}$  arvoja interpoloida logaritmisesti yllä olevan kaavan mukaisesti

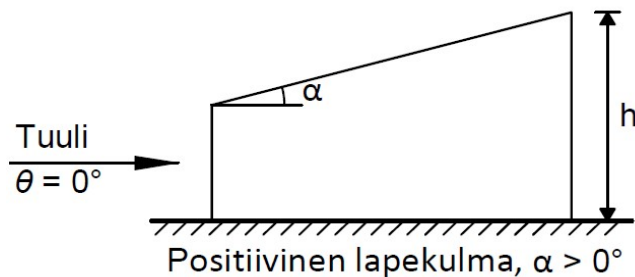
### Ulkopuolisen paineen kertoimet pohjaltaan suorakulmaisten rakennusten pystysuurille seinille

Vyöhyke	A		B		C		D		E	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
5	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,7	
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,5	
$\leq 0,25$	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,7	+1,0	-0,3	

### 3.4.6 Harja- ja pulpettikaton osapintojen tuulikuormien määrittäminen

#### Pulpettikatto

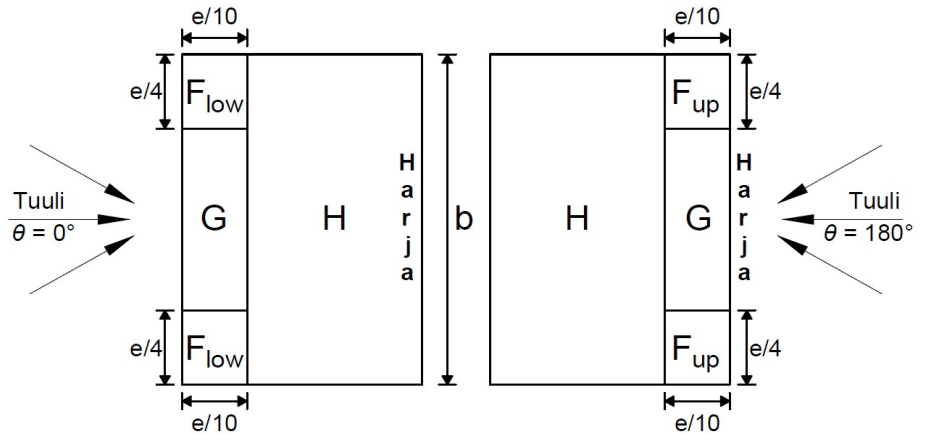
#### Sivupiiirros



**Huom. 1** Arvolla  $\theta = 0^\circ$  paine muuttuu nopeasti positiivisten ja negatiivisten arvojen välillä, kun kaltevuuskulma on välillä  $\alpha = +5^\circ \dots +45^\circ$ , joten sekä positiiviset että negatiiviset arvot ovat esitetty. Tällaiset katot tarkasteltava kahdella tavalla; kaikki arvot joko positiivisia tai negatiivisia. Samalla lappeella ei saa käyttää sekaisin positiivisia ja negatiivisia arvoja.

**Huom. 2** Samanmerkkisten kaltevuuskulman arvojen välillä voidaan käyttää lineaarista interpolaatiota. Arvot 0,0 on merkitty interpolaatiota varten.

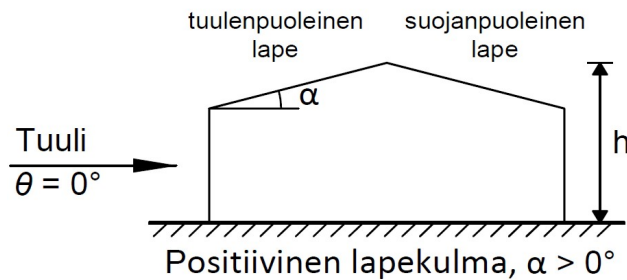
Suositusarvot pulpettikattojen ulkoisen paineen kertoimille tuulensuunnan ollessa kohtisuoraan harjaa nähden



Lape- kulma $\alpha$	Vyöhyke kun tuulen suunta $\theta = 0^\circ$						Vyöhyke kun tuulen suunta $\theta = 180^\circ$					
	F		G		H		F		G		H	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-2,3	-2,5	-1,3	-2,0	-0,8	-1,2
	+0,0		+0,0		+0,0							
15°	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3		-2,5	-2,8	-1,3	-2,0	-0,9	-1,2
	+0,2		+0,2		+0,2							
30°	-0,5	-1,5	+0,7	-0,2		-1,1	-2,3	-0,8	-1,5	-0,8		
	+0,7		+0,7		+0,4							
45°	-0,0		-0,0		-0,0		-0,6	-1,3	-0,5		-0,5	
	+0,7		+0,7		+0,6							
60°	+0,7		+0,7		+0,7		-0,5	-1,0	-0,5		-0,5	
75°	+0,8		+0,8		+0,8		-0,5	-1,0	-0,5		-0,5	

## Harjakatto

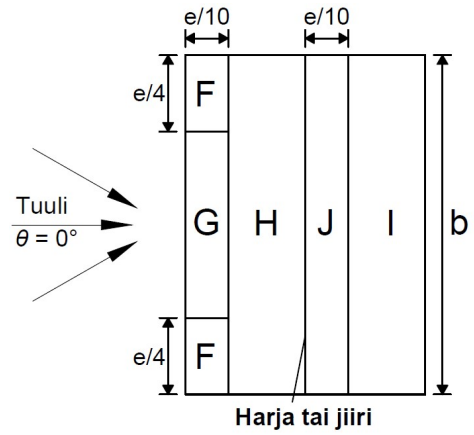
### Sivupiiirros



**Huom. 1** Arvolla  $\theta = 0^\circ$  paine muuttuu nopeasti positiivisten ja negatiivisten arvojen välillä, kun kaltevuuskulma on välillä  $\alpha = +5^\circ \dots +45^\circ$ , joten sekä positiiviset että negatiiviset arvot ovat esitetty. Tällaisten kattojen osalta tarkastellaan neljää tapaus, joissa kaikkien alueiden F, G ja H suurimmat tai pienimmät arvot yhdistellään alueiden I ja J suurimpien tai pienempien arvojen kanssa. Samalla lappeella ei saa käyttää sekaisin positiivisia ja negatiivisia arvoja.

**Huom. 2** Samanmerkkisten kaltevuuskulman arvojen välillä voidaan käyttää lineaarista interpolaatiota samanmerkkisten kertoimen arvojen välillä. Arvot 0,0 on merkitty interpolaatiota varten.

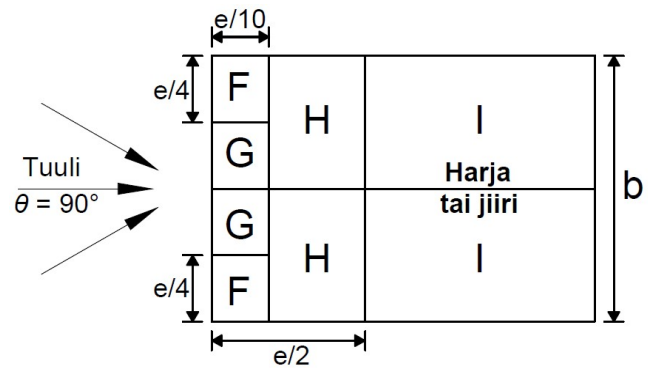
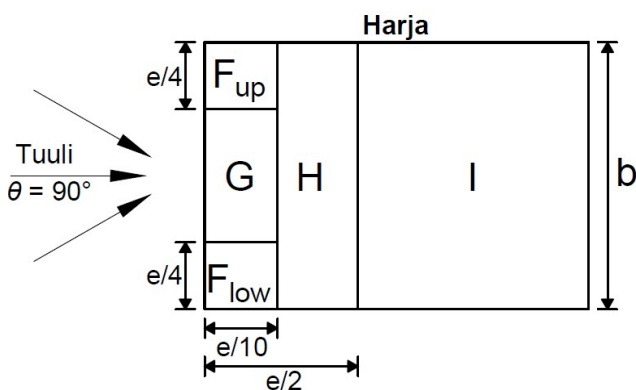
Suositusarvot harjakattojen ulkoisen paineen kertoimille tuulensuunnan ollessa kohtisuoraan harjaa nähden



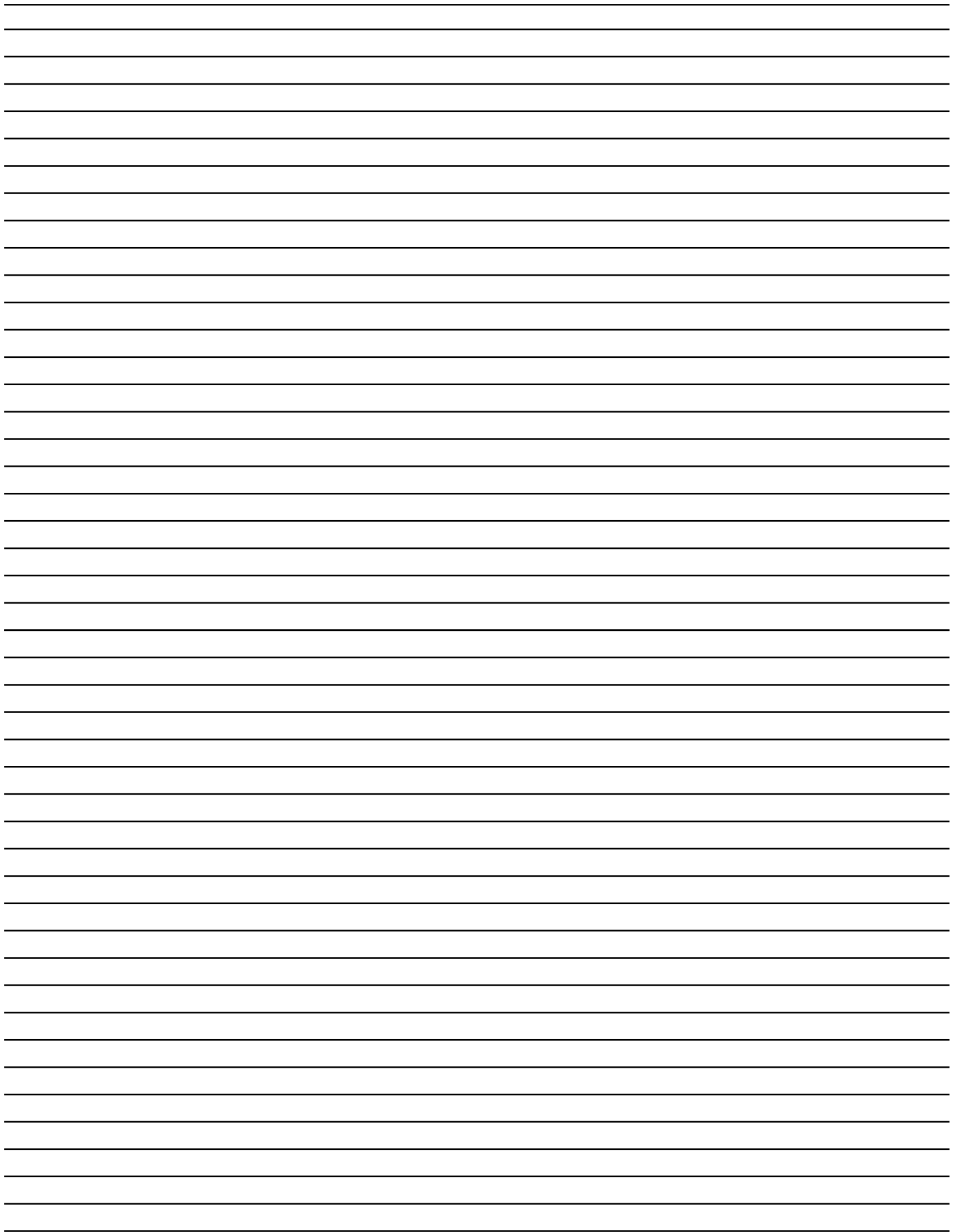
Harja tai jiiri

Lape- kulma $\alpha$	Vyöhyke kun tuulen suunta $\theta = 0^\circ$									
	F		G		H		I		J	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
-45°	-0,6		-0,6		-0,8		-0,7		-1,0	-1,5
-30°	-1,1	-2,0	-0,8	-1,5	-0,8		-0,6		-0,8	-1,4
-15°	-2,5	-2,8	-1,3	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5		-0,7	-1,2
-5°	-2,3	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	+0,2		+0,2	
							-0,6		-0,6	
5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-0,6		+0,2	
	+0,0		+0,0		+0,0				-0,6	
15°	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3		-0,4		-1,0	-1,5
	+0,2		+0,2		+0,2		+0,0		+0,0	+0,0
30°	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2		-0,4		-0,5	
	+0,7		+0,7		+0,4		+0,0		+0,0	
45°	-0,0		-0,0		-0,0		-0,2		-0,3	
	+0,7		+0,7		+0,6		+0,0		+0,0	
60°	+0,7		+0,7		+0,7		-0,2		-0,3	
75°	+0,8		+0,8		+0,8		-0,2		-0,3	

Suositusarvot pulpetti- ja harjakattojen ulkoisen paineen kertoimille tuulensuunnan ollessa harjan suuntainen



Lape- kulma $\alpha$	Vyöhyke kun tuulen suunta $\theta = 90^\circ$									
	$F_{up}$		$F_{low}$		G		H		I	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
5°	-2,1	-2,6	-2,1	-2,4	-1,8	-2,0	-0,6	-1,2	-0,5	
15°	-2,4	-2,9	-1,6	-2,4	-1,9	-2,5	-0,8	-1,2	-0,7	-1,2
30°	-2,1	-2,9	-1,3	-2,0	-1,5	-2,0	-1,0	-1,3	-0,8	-1,2
45°	-1,5	-2,4	-1,3	-2,0	-1,4	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
60°	-1,2	-2,0	-1,2	-2,0	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,7	-1,2
75°	-1,2	-2,0	-1,2	-2,0	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,5	



# Eurokoodi 2:n mukainen teräsbetonirakenteiden suunnittelu

## Sisältö

- 1 Materiaaliparametrit
  - 1.1 Betonin ja teräksen materiaaliosavarmuuskerroin
  - 1.2 Betonin materiaaliparametrit
  - 1.3 Raudoituksen materiaaliparametrit
- 2 Rasitusluokat
  - 2.1 Rasitusluokat ympäristöolosuhteiden mukaisesti
  - 2.2 Betonipeitteen vähimmäispaksuus eri rasitusluokissa
- 3 Taivutusmitoitus
  - 3.1 Laskentataulukko mittakertoimilla
  - 3.2 Tehollinen leveys
  - 3.3 Momentin uudelleen jakautuminen
- 4 Leikkausmitoitus
  - 4.1 Mitoitusehto
  - 4.2 Leikkausraudoituksen mitoitus
    - 4.2.1 Jännitys
    - 4.2.2 Vaadittu raudoitus
    - 4.2.3 Minimiraudoitus ja maksimihakaväli
    - 4.2.4 Lisävetovoima pääteräksiin
  - 4.3 Maksimileikkausvoiman kestävyys leikkausraudoitetuille elementeille
  - 4.4 Vähimmäisleikkausraudoitus
- 5 Halkeamamitoitus
  - 5.1 Suurin sallittu halkeaman leveys
  - 5.2 Vähimmäisraudoitus
  - 5.3 Tangon enimmäishalkaisija ja tankoväli
- 6 Ankkurointi
  - 6.1 Tartuntatila
  - 6.2 Ankkurointipituuden perusarvo
  - 6.3 Ankkurointipituuden mitoitusarvo
    - 6.3.1 Pienennystekijöiden  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\alpha_3$ ,  $\alpha_4$  ja  $\alpha_5$  arvot
    - 6.3.2 Vähimmäisankkurointipituus  $l_{b,min}$
    - 6.3.3 Ankkurointi tietylle voimalle F
  - 6.4 Raudoituksen jatkospituuudet
- 7 Raudoituksen valinta
  - 7.1 Laatan raudoitus
  - 7.2 Palkin raudoitus
  - 7.3 Samassa tasossa olevien tankojen enimmäismäärä palkissa
  - 7.4 Hakojen mitoitus
  - 7.5 Hakojen maksimiväli
- 8 Palonkestävyys
  - 8.1 Poikkileikkaukseltaan pyöreät tai suorakulmaiset pilarit
  - 8.2 Teräsbetoni-laatta
  - 8.3 Teräsbetonipalkki

# 1 Materiaaliparametrit

## 1.1 Betonin ja teräksen materiaaliosavarmuuskerroin

### Rakenneluokka 1 (toleranssiluokka 2, toteutusluokka 3)

Mitoitustilanne	Betonin $\gamma_c$	Raudoituksen $\gamma_s$
Normaali	1,35	1,1
Onnettomuus	1,2	1,0

### Rakenneluokka 2 (toleranssiluokka 1, toteutusluokka 2)

Mitoitustilanne	Betonin $\gamma_c$	Raudoituksen $\gamma_s$
Normaali	1,5 (yleisin)	1,15 (yleisin)
Onnettomuus	1,2	1,0

## 1.2 Betonin materiaaliparametrit

	$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{ck,cube}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{cd}^{1)}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{cm}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{ctm}^{2)}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{ctk,0,05}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{ctk,0,95}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$E_{cm}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{ctd}^{3)}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
C12/15	12	15	6,8	20	1,57	1,10	2,04	27100	0,73
C16/20	16	20	9,1	24	1,90	1,33	2,48	28600	0,89
C20/25	20	25	11,3	28	2,21	1,55	2,87	30000	1,03
C25/30	25	30	14,2	33	2,56	1,80	3,33	31500	1,20
C28/35	28	35	15,9	36	2,77	1,94	3,60	32300	1,29
C30/37	30	37	17,0	38	2,90	2,03	3,77	32800	1,35
C35/45	35	45	19,8	43	3,21	2,25	4,17	34100	1,50
C40/50	40	50	22,7	48	3,51	2,46	4,56	35200	1,64
C45/55	45	55	25,5	53	3,80	2,66	4,93	36300	1,77
C50/60	50	60	28,3	58	4,07	2,85	5,29	37300	1,90
C55/67	55	67	31,2	63	4,21	2,95	5,48	38200	1,97
C60/75	60	75	34,0	68	4,35	3,05	5,66	39100	2,03
C70/85	70	85	39,7	78	4,61	3,23	5,99	40700	2,15
C80/95	80	95	45,3	88	4,84	3,39	6,29	42200	2,26
C90/105	90	105	51,0	98	5,04	3,53	6,56	43600	2,35

<sup>1)</sup> Kansallinen parametri  $\alpha_{cc}=0,85$ , betonin osavarmuuskerroin  $\gamma_c=1,5$

<sup>2)</sup> Kun lujuus on C50/60 tai alle, niin  $f_{ctm}=0,3 f_{ck}^{2/3}$ , mikäli lujuus on suurempi kuin C50/60 niin  $f_{ctm}=2,12 * \ln(1 + f_{cm}/10)$

<sup>3)</sup>  $\gamma_c=1,5$

## 1.3 Raudoituksen materiaaliparametrit

Merkintä	Valmistusmenetelmä	$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{yd}^{1)}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{tk,char}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{td}^{1)}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$E_s$ [N/mm <sup>2</sup> ]
B500A	Kuumavalssattu	500	434,8	550	478,3	200 000
B500B	Kylmämuovattu					
B600XA <sup>2)</sup>	Kylmämuovattu	600	521,7	660	573,9	200 000

<sup>1)</sup> Teräksen osavarmuuskerroin  $\gamma_s=1,15$

<sup>2)</sup> Ruostumaton teräs

## 2 Rasitusluokat

### 2.1 Rasitusluokat ympäristöolosuhteiden mukaisesti

Luokka	Ympäristön kuvaus	Esimerkki rasitusluokan kohteesta	Vähimmäis-lujuusluokka <sup>1)</sup>
<b>Ei syöpmisen tai korroosion riskiä</b>			
X0	Raudoittamaton betoni	Kuivat lämmitetyt sisätilat	C12/15
<b>Karbonatisoitumisen aiheuttama korrosio</b>			
XC1	Kuiva tai jatkuvasti märkä	Sisätilat ja jatkuvasti vedenpinnan alla olevat rakenteet	C20/25
XC2	Kostea, harvoin kuiva	Vesisäiliöt, perustukset, siirtymälaatat	C25/30
XC3	Kohtalaisen kostea	Sisätilat jossa korkea ilman kosteus, sateelta suojatut ulkorakenteet	C25/30
XC4	Jaksollinen kastuminen ja kuivuminen	Sateelle alttiit XC2 luokkaan kuulumattomat rakenteet	C30/37
<b>Kloridien aiheuttama korrosio</b>			
XD1	Kohtalaisen kostea	Meluseinät, uimahallien sisäseinät	C30/37
XD2	Kostea, harvoin kuiva	Uima-altaat, klorideja sisältävät teollisuusvedet.	C30/37
XD3	Kostea ja kuiva vaihtelevat	Suolaukselle alttiit rakenteet; autotallit, pysäköintitasot, sillat	C35/45
<b>Meriveden kloridien aiheuttama korrosio</b>			
XS1	Tuulen mukana tulevat kloridit, ei suoraa vesikosketusta	Rakenteet avomeren rannalla	C35/45
XS2	Veden alaiset rakenteet	Siltojen ja merirakenteiden merivedenalaiset osat	C35/45
XS3	Vesirajassa tai roiskevyöhykkeellä	Meriveden vaihtelulle ja roiskeelle alttiit osat kuten välituet	C35/45
<b>Jäätymis-/sulamisrasitus</b>			
XF1	Kohtalainen vedellä kyllästyminen ilman jäänsulatusaineita	Sateelle alttiit pystypinnat; julkisivut, sokkelit. Suolaamattomien teiden siltojen vaakaosat	
XF2	Kohtalainen vedellä kyllästyminen ja jäänsulatusaineet	Jäätymiselle ja ilman kuljettamalle jäänsulatusaineelle alttiit pystypinnat; meluseinät, sokkelit. Suolattavien teiden siltojen vaakaosat	
XF3	Suuri vedellä kyllästyminen ilman jäänsulatusaineita	Sateelle alttiit vaakapinnat; parvekkeet. Sisävesien vesirajarakenteet; padot, altaat. Suolaamattomien teiden siltojen pystyosat	
XF4	Suuri vedellä kyllästyminen ja jäänsulatusaineet	Suoralle jäänsulatusaineriskeelle alttiit vaakapinnat ja siltojen kannet; pysäköintitasot, päällysteet, autotallit. Meressä olevan sillan suojaamattomat rakenteet tasolta NW-1 ylöspäin	
<b>Kemiallinen rasitus</b>			
XA1	Kemiallisesti heikosti aggressiivinen ympäristö	Jotkut maatalousrakenteet	C35/45
XA2	Kemiallisesti kohtalaisesti aggressiivinen ympäristö tai meriveden vaikutuksen alainen	Puukuivaamot, savupiippujen yläosat	C35/45
XA3	Kemiallisesti voimakkaasti aggressiivinen ympäristö	Maatalousrakenteet jotka ovat alttiina urealle, maidolle tai lannoitteille	C40/50

<sup>1)</sup> Kun suunnittelukäyttöikä on 50 vuotta

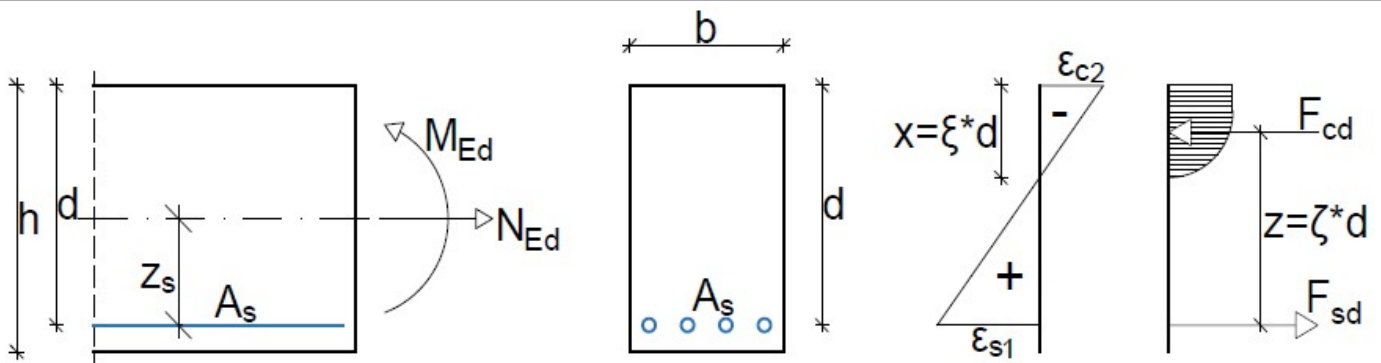
## 2.2 Betonipeitteen vähimmäispaksuus eri rasitusluokissa

Ympäristöolosuhteista johtuva betonipeitteen vähimmäisarvo vaatimus  $c_{min,dur}$  [mm]

Kriteeri	Rasitusluokka							
	X0	XC1	XC2, XC2	XC4	XD1	XS1	XD2	XD3, XS2, XS3
Betoniteräs	10	10	20	25	30	30	35	40
Jänneteräs	10	20	30	35	40	40	45	50
100 vuoden käyttöiälle	+0	+0	+5	+5	+5	+5	+5	+5
Minimi-lujuusluokka	C12/15	C20/25	C25/30	C30/37	C30/37	C35/45	C30/37	C35/45

## 3 Taivutusmitoitus

### 3.1 Laskentataulukko mittakertoimilla



$$M_{E_{ds}} = M_{Ed} - N_{Ed} * z$$

Tapaus	Nollalinja	Suhteellinen momentti	Huom.
	-	$\mu_{E_{ds}} = \frac{M_{E_{ds}}}{f_{cd} * b d^2}$	-
	$x \leq h_f$	$\mu_{E_{ds}} = \frac{M_{E_{ds}}}{f_{cd} * b_{eff} d^2}$	$b_{eff}$ :n määrittäminen katso kohta 3.2

Vaadittava vetoteräsmäärä:

$$A_s = M_{Ed} / (f_{yd} * z)$$

Kuitenkin vähintään:

$$A_{s,min} = 0,26 f_{ctm} * b d / f_{yk}$$



$\mu_{Eds}$	$\beta$	$\xi = x/d$	$\zeta = z/d$	$\epsilon_{c2}$ [‰]	$\epsilon_{s1}$ [‰]	$\sigma_{sd}^{1)}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{sd}^{2)}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\xi_{lim}$
0,01	0,0101	0,030	0,995	-0,77	25,00	435	457	$\xi \leq 0,25$
0,02	0,0202	0,044	0,990	-1,15	25,00	435	457	
0,03	0,0305	0,055	0,985	-1,46	25,00	435	457	
0,04	0,0408	0,066	0,980	-1,76	25,00	435	457	
0,05	0,0513	0,076	0,974	-2,06	25,00	435	457	
0,06	0,0619	0,086	0,969	-2,37	25,00	435	457	
0,07	0,0726	0,097	0,964	-2,68	25,00	435	457	
0,08	0,0835	0,107	0,958	-3,01	25,00	435	457	
0,09	0,0945	0,118	0,953	-3,35	25,00	435	457	
0,10	0,1056	0,131	0,947	-3,50	23,29	435	455	
0,11	0,1168	0,145	0,942	-3,50	20,71	435	452	
0,12	0,1282	0,159	0,936	-3,50	18,55	435	450	
0,13	0,1398	0,173	0,930	-3,50	16,73	435	449	
0,14	0,1515	0,188	0,924	-3,50	15,16	435	447	
0,15	0,1633	0,202	0,918	-3,50	13,80	435	446	
0,16	0,1754	0,217	0,912	-3,50	12,61	435	445	
0,17	0,1876	0,232	0,906	-3,50	11,56	435	444	
0,18	0,2000	0,248	0,900	-3,50	10,62	435	443	
0,19	0,2126	0,264	0,894	-3,50	9,78	435	442	
0,20	0,2254	0,280	0,887	-3,50	9,02	435	441	
0,21	0,2384	0,296	0,881	-3,50	8,33	435	441	
0,22	0,2517	0,312	0,874	-3,50	7,71	435	440	
0,23	0,2652	0,329	0,867	-3,50	7,13	435	440	
0,24	0,2789	0,346	0,861	-3,50	6,60	435	439	
0,25	0,2929	0,640	0,854	-3,50	6,12	435	439	
0,26	0,3072	0,382	0,846	-3,50	5,67	435	438	
0,27	0,3218	0,400	0,839	-3,50	5,25	435	438	
0,28	0,3367	0,419	0,832	-3,50	4,86	435	437	
0,29	0,3519	0,438	0,824	-3,50	4,49	435	437	
0,30	0,3675	0,458	0,816	-3,50	4,15	435	437	
0,31	0,3836	0,478	0,808	-3,50	3,82	435	436	
0,32	0,4000	0,499	0,800	-3,50	3,52	435	436	
0,324 <sup>3)</sup>	0,4067	0,507	0,797	-3,50	3,40	435	436	
0,33	0,4169	0,520	0,792	-3,50	3,23	435	436	
0,34	0,4343	0,542	0,783	-3,50	2,95	435	436	
0,35	0,4523	0,565	0,774	-3,50	2,69	435	435	
0,358 <sup>4)</sup>	0,4671	0,584	0,766	-3,50	2,49	435	435	
0,36	0,4708	0,589	0,765	-3,50	2,44	435	435	
0,37	0,4901	0,614	0,755	-3,50	2,20	435	435	
0,38	0,5101	0,640	0,745	-3,50	1,97	395	395	
0,39	0,5310	0,667	0,735	-3,50	1,75	350	350	
0,40	0,5528	0,695	0,724	-3,50	1,54	307	307	

1) Käytetään ideaali kimmoplastista materiaalia (bi-lineaarinen malli)

2) Sallitaan teräksen plastisoituminen

3) Eurocode:n mukainen suhteellisen momentin yläraja  $\mu_{max} = 0,324$

4) Suomen Rakennusmääräyskokoelman (RakMK) mukainen suhteellisen momentin yläraja  $\mu_{max} = 0,358$

Epä-  
talou-  
dellinen

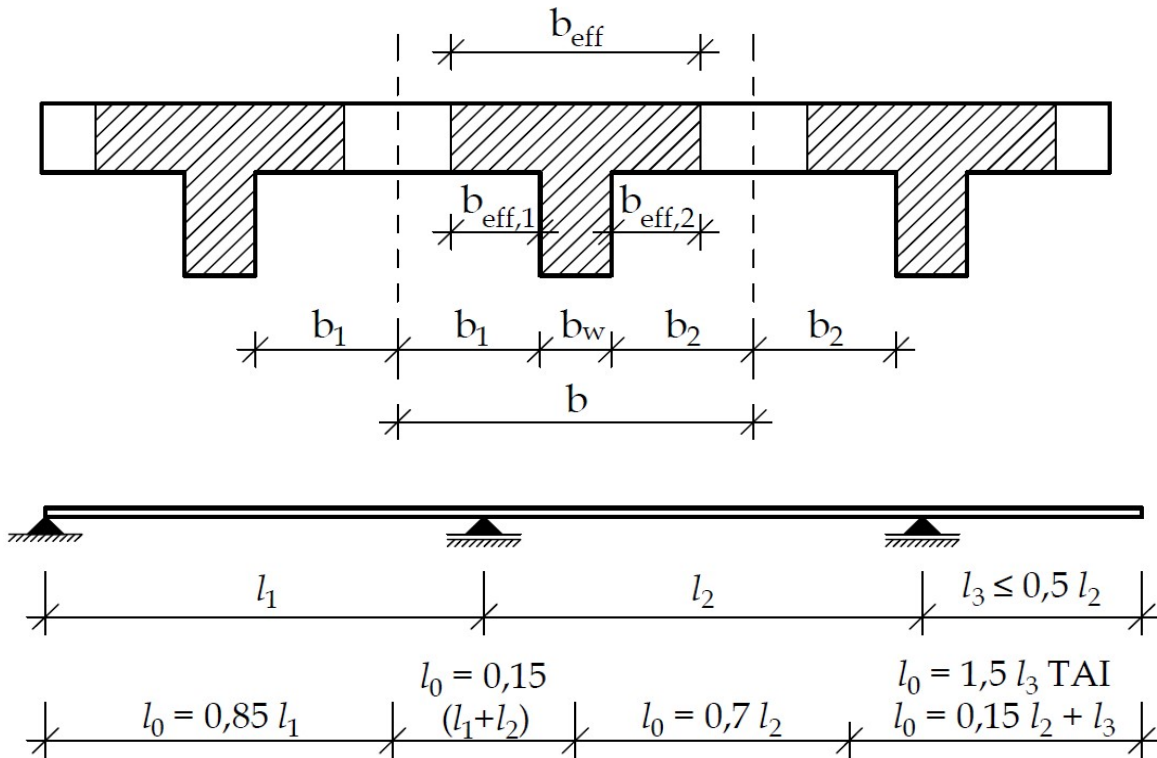
### 3.2 Tehollinen leveys

$$b_{\text{eff}} = \sum b_{\text{eff},i} + b_w \quad \text{jossa} \quad b_{\text{eff},i} = 0,2b_i + 0,1 l_0 \begin{cases} \leq 0,2 l_0 \\ \leq b_i \end{cases}$$

$b_w$  uuman leveys

$b_i$  laipan todellinen leveys

$l_0$  etäisyys momentin vaikutuspisteestä

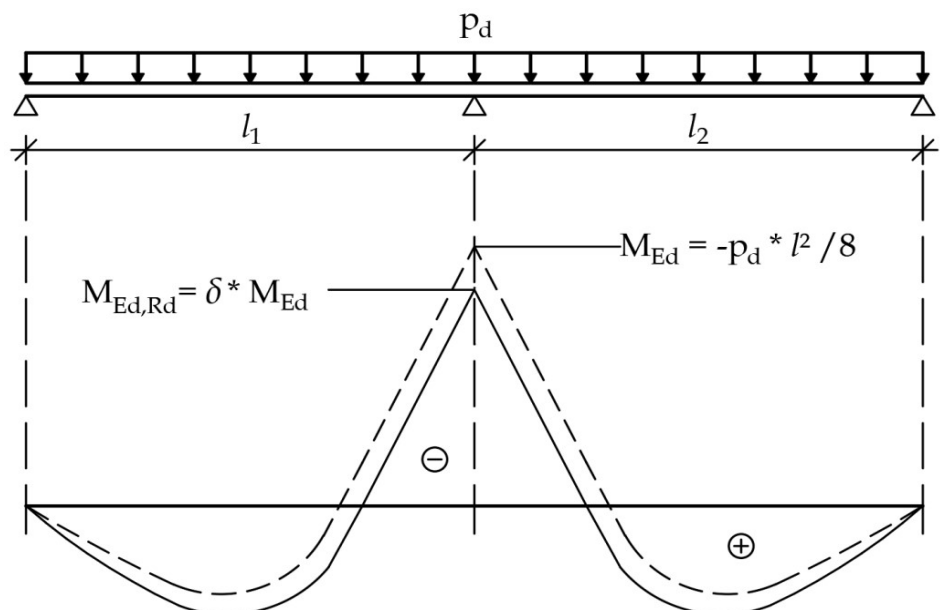


### 3.3 Momentin uudelleen jakautuminen

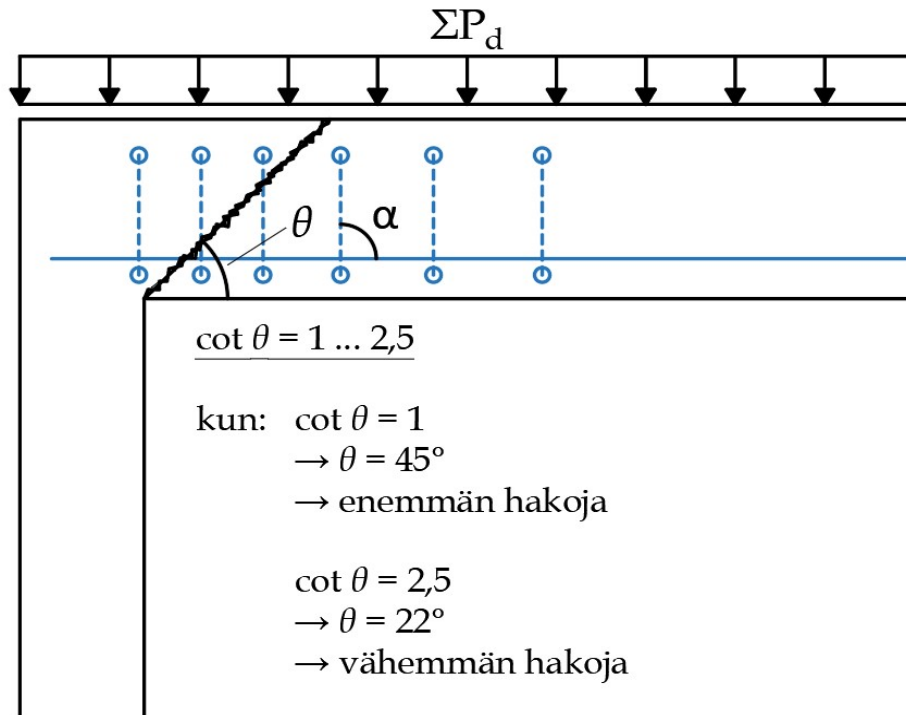
Momentin uudelleen jakautumista voidaan hyödyntää jatkuissa laatoissa ja palkeissa, joiden peräkkäisten jännemittojen suhde on  $0,5 \leq l_1 / l_2 \leq 2,0$  ja betonin lujuusluokka on enintään C50/60.

%	$\delta$	$\mu_d$
0	1,00	0,324
10	0,90	0,278
15	0,85	0,254
20	0,80	0,228
25	0,75	0,200
30	0,70	0,171

% = uudelleen jakautuminen  
 $\delta$  = uudelleen jakautumisen suhde  
 $\mu_d$  = suhteellinen momentti jakautumisen jälkeen



## 4 Leikkausmitoitus



### 4.1 Mitoitusehto

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,c}$$

Betonipoikkileikkauksen kestävyys  $V_{Rd,c}$

$$V_{Rd,c} = (C_{Rd,c} * k * \sqrt[3]{100\rho * f_{ck}} + k_1\sigma_{cp})b_wd$$

Kuitenkin vähintään:  $V_{Rd,c} \geq (v_{min} + k_1\sigma_{cp})b_wd$

missä:

$$C_{Rd,c} = 0,18/\gamma_c$$

$$k = 1 + \sqrt{200/d} \leq 2,0 \quad d \text{ [mm]}$$

$$\rho = A_{sl} / (b_wd) \leq 0,02$$

$A_{sl}$  = Vetoterästen poikkipinta-ala

$b_w$  = Uuman leveys

$d$  = Tehollinen korkeus

$$k_1 = 0,12$$

$\sigma_{cp}$  = Betonin pitkittäisjännityksen suunnitteluarvo poikkileikkauksen painopisteessä kun

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c \leq 0,2 * f_{cd} \text{ [N/mm}^2\text{]} \text{ (puristusjännityksen positiivinen vaikutus)}$$

$N_{Ed}$  = Normaalivoiman suunnitteluarvo

$$v_{min} \begin{cases} = \frac{0,0525}{\gamma_c} * k^{3/2} * \sqrt{f_{ck}} & \text{kun } d \leq 600 \text{ mm} \\ = \frac{0,0375}{\gamma_c} * k^{3/2} * \sqrt{f_{ck}} & \text{kun } d > 800 \text{ mm} \end{cases} \quad \text{Väliarvot voidaan interpoloida}$$

### 4.2 Leikkausraudoituksen mitoitus

#### 4.2.1 Jännitys

$$v_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{b_w * z}$$

#### 4.2.2 Vaadittu rauditus

$$A_{s,w} = \frac{s * \nu_{Ed} * b_w}{f_{yd} * \cot \theta} \quad \text{kun } \alpha \neq 90^\circ \quad A_{s,w} = \frac{s * \nu_{Ed} * b_w}{f_{yd} * (\cot \theta + \cot \alpha) * \sin \alpha}$$

missä:  $s$  = hakaväli [mm]

#### 4.2.3 Minimirauditus ja maksimihakaväli

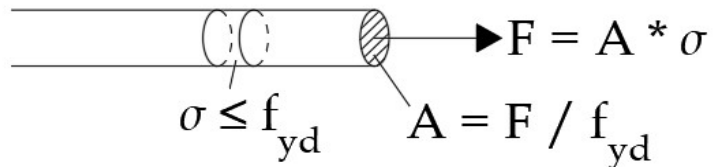
$$A_{s,w,\min} = s * b_w * 0,08 * \sqrt{f_{ck}} / f_{yk}$$

Maksimihakaväli  $s_{\max} \leq 0,75d$

#### 4.2.4 Lisävetovoima pääteräksiin

$$\Delta F_{t,d} = 0,5 * V_{Ed} * (\cot \theta - \cot \alpha)$$

$$A_{\Delta s} = \frac{\Delta F_{t,d}}{f_{yd}}$$



#### 4.3 Maksimileikkausvoiman kestävyys leikkausraudoitetuille elementeille

$$\text{kun } \alpha = 90^\circ \quad V_{Rd,\max} = \frac{b_w * z * 0,75 * f_{cd}}{\cot \theta + \tan \theta}$$

$$\text{kun } \alpha \neq 90^\circ \quad V_{Rd,\max} = b_w * z * 0,75 * f_{cd} * \frac{\cot \theta + \cot \alpha}{1 + \cot^2 \theta}$$

Huom!  $f_{ck} \leq 50 \text{ N/mm}^2$

#### 4.4 Vähimmäisleikkausraudoitus

$$A_{s,w,\min} \geq s * \rho_{w,\min} * b_w * \sin \alpha$$

$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	12	16	20	25	30	35	40	45	50
$\rho_{w,\min}$ [%]	0,50	0,61	0,71	0,82	0,93	1,03	1,12	1,21	1,30
			<b>Laatta</b>				<b>Palkki</b>		
			$b/h > 5$	$5 \geq b/h \geq 4$			$b/h < 4$		
Leikkausvahvistettu			$0,6 * \rho_{w,\min}$	$0,6 * \rho_{w,\min} \dots 1,0 * \rho_{w,\min}$ (väliarvot interpoloidaan)			$1,0 * \rho_{w,\min}$		
Ilman leikkausvahvistusta			-	$0,0 * \rho_{w,\min} \dots 1,0 * \rho_{w,\min}$ (väliarvot interpoloidaan)			$1,0 * \rho_{w,\min}$		

### 5 Halkeamamitoitus

#### 5.1 Suurin sallittu halkeaman leveys

Rasitusluokka	Kuormitusyhdistelmä	Sallittu halkeaman leveys, $w_k$
XD2, XD3, XS2, XS3	Pitkäaikaisyhdistelmä	0,2 mm
XC2, XC3, XC4, XS1, XD1	Pitkäaikaisyhdistelmä	0,3 mm
X0, XC1	Pitkäaikaisyhdistelmä	0,4 mm

## 5.2 Vähimmäisraudoitus

$$A_{s,min} = k_c * k * f_{ct,eff} * \frac{A_{ct}}{\sigma_s}$$

$A_{s,min}$  Vähimmäisraudoituksen pinta-ala vetoalueella

$A_{ct}$  Vedetyn betonin poikkileikkausala juuri ennen halkeamista

$f_{ct,eff}$  Betonin keskimääräinen vetolujuus halkeilun alkaessa, voidaan käyttää arvoa  $f_{ctm}$

$\sigma_s$  Raudoituksen suurin sallittu jännitys (taulukko 5.3)

$k_c$  Kerroin, joka huomioi jännitysten jakauman poikkileikkauksessa välittömästi ennen halkeilua

$k_c = 1,0$  vedetyssä rakenteessa

$k_c = 0,4$  puhtaasti taivutetussa rakenteessa

$k$  Kerroin, joka huomioi eri suuruisten toistensa tasapainossa pitävien jännitysten vaikutusta, minkä johdosta pakkovoimat pienenevät

$k = 1,0$  uumissa, joiden  $h \leq 300$  mm tai laipoissa, joiden leveys on alle 300 mm

$k = 0,65$  uumissa, joiden  $h \geq 800$  mm tai laipoissa, joiden leveys on yli 800 mm

(väliarvot voidaan interpoloida)

## 5.3 Tangon enimmäishalkaisija $\phi_s^*$ ja tankoväli $s$

Raudoituksen jännitys $\sigma_s$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Tangon enimmäishalkaisija $\phi_s^*$ [mm] ( $f_{ct,eff} = 2,9$ N/mm <sup>2</sup> )			Tankojen enimmäisväli $s$ [mm] ( $f_{ct,eff} = 2,9$ N/mm <sup>2</sup> )				
	$w_k =$	0,4 mm	0,3 mm	0,2 mm	$w_k =$	0,4 mm	0,3 mm	0,2 mm
160		54	41	27		300	300	200
200		35	26	17		300	250	150
240		24	18	12		250	200	100
280		18	13	9		200	150	50
320		14	10	7		150	100	-
360		11	8	5		100	50	-
400		9	7	4		-	-	-
450		7	5	3		-	-	-

Tangon enimmäishalkaisijan muutos tapauksen mukaan:

Taivutus 
$$\phi_s = \phi_s^* * \frac{f_{ct,eff}}{2,9} * \frac{k_c * h_{cr}}{2 * (h - d)}$$

$\phi_s$  Muunnettu tangon enimmäishalkaisija

$h_{cr}$  Vetoalueen korkeus välittömästi ennen halkeilua

Vetorasitus 
$$\phi_s = \phi_s^* * \frac{f_{ct,eff}}{2,9} * \frac{h_{cr}}{8 * (h - d)}$$

$h$  Poikkileikkauksen kokonaiskorkeus

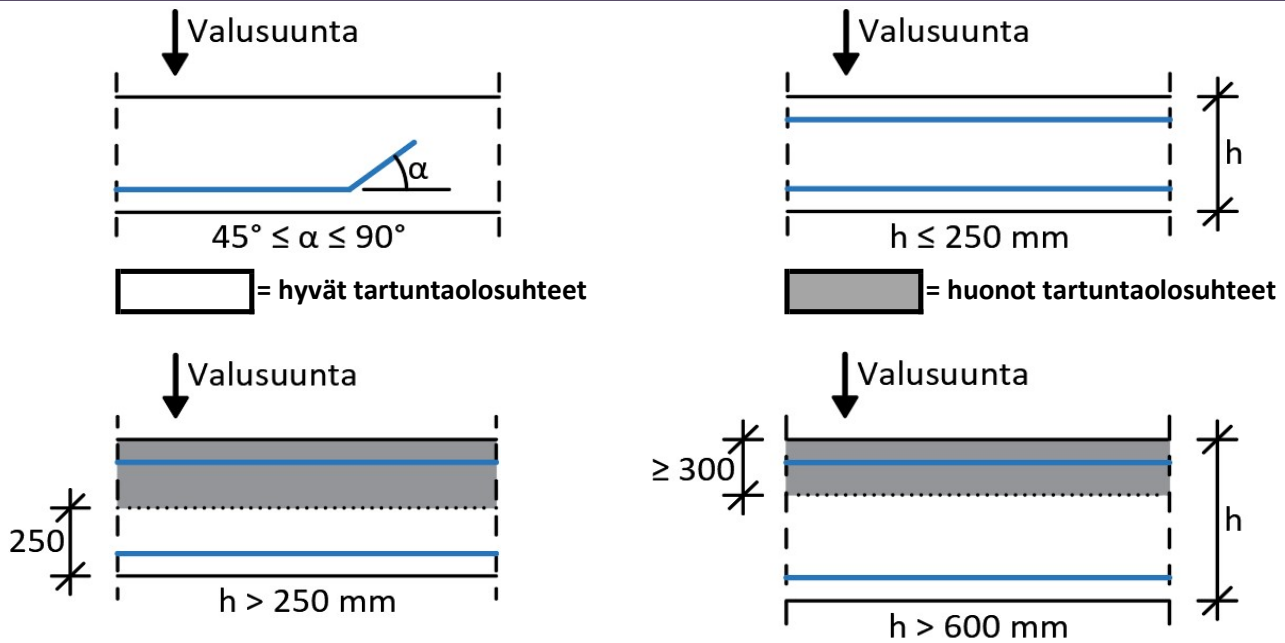
$d$  Tehollinen korkeus

$b$  Poikkileikkauksen leveys

Kuormitusjännitys 
$$\phi_s = \phi_s^* * \frac{\sigma_s * A_s}{4 * (h - d) * b * 2,9}$$

## 6 Ankkurointi

### 6.1 Tartuntatila



### 6.2 Ankkurointipituuden perusarvo $l_{bd,rqd}$ [mm]

Lujuusluokka	Tartuntaolosuht.	Tangon halkaisija $\phi$ [mm]								
		6	8	10	12	14	16	20	25	28
C12/15	Hyvät	398	530	662	795	927	1059	1324	1655	1854
	Huonot	568	757	946	1135	1324	1513	1891	2364	2648
C16/20	Hyvät	326	435	543	652	760	869	1086	1358	1520
	Huonot	466	621	776	931	1086	1241	1551	1939	2172
C20/25	Hyvät	282	376	470	563	657	751	939	1173	1314
	Huonot	403	537	671	805	939	1073	1341	1676	1877
C25/30	Hyvät	242	323	403	484	564	645	806	1007	1128
	Huonot	346	461	576	691	806	921	1151	1438	1611
C28/35	Hyvät	225	300	375	450	525	600	750	937	1049
	Huonot	322	429	536	643	750	857	1071	1338	1499
C30/37	Hyvät	215	287	358	430	502	573	716	895	1003
	Huonot	307	409	512	614	716	818	1023	1279	1432
C35/45	Hyvät	194	258	323	387	451	516	645	806	902
	Huonot	277	369	461	553	645	737	921	1151	1289
C40/50	Hyvät	177	236	295	354	413	472	590	737	825
	Huonot	253	337	421	505	590	674	842	1053	1179
C45/55	Hyvät	164	219	273	328	383	437	546	683	765
	Huonot	234	312	390	468	546	624	780	975	1092
C50/60	Hyvät	153	204	255	306	356	407	509	636	712
	Huonot	218	291	364	436	509	582	727	909	1018

Arvot laskettu kaavasta:  $l_{bd,rqd} = (\phi/4) * (\sigma_s/f_{bd})$

missä:  $\sigma_s = f_{yd} = 434,8 \text{ N/mm}^2$

$f_{bd} = 2,25 * \eta_1 * \eta_2 * f_{ctd}$  (kts. kohta 6.3.3)

### 6.3 Ankkurointipituuden mitoitusarvo

$$l_{bd} = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 * l_{bd,rqd} \geq l_{b,min} \quad 0,7 \leq \alpha_2 \alpha_3 \alpha_5 \leq 1$$

$\alpha_1$ = Tankojen muoto

$\alpha_2$ = Betonipeite ja väli

$\alpha_3$ = Poikittainen raudoitus

$\alpha_4$ = Hitsatut poikittaistangot

$\alpha_5$ = Poikittainen paine

#### 6.3.1 Pienennystekijöiden $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ ja $\alpha_5$ arvot

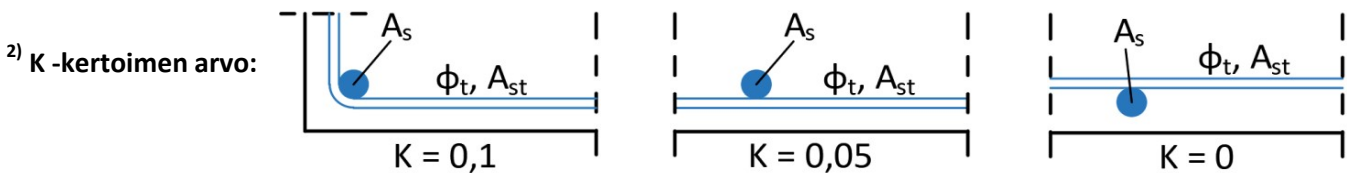
Ankkurointityyppi	Raudoitustanko	
	Vedettynä	Puristettuna
Suora tanko	$\alpha_1 = 1,0$	$\alpha_1 = 1,0$
Muut kuin suorat tangot (ylöstaivutus, koukku ja lenkki)	$\alpha_1 = 0,7$ kun $c_d > 3\phi$ muissa tapauksissa $\alpha_1 = 1,0$	$\alpha_1 = 1,0$
Suora tanko	$\alpha_2 = 1 - 0,15(c_d - \phi) / \phi$ $0,7 \leq \alpha_2 \leq 1,0$	$\alpha_2 = 1,0$
Muut kuin suorat tangot (ylöstaivutus, koukku ja lenkki)	$\alpha_2 = 1 - 0,15(c_d - 3\phi) / \phi$ $0,7 \leq \alpha_2 \leq 1,0$	$\alpha_2 = 1,0$
Kaikki tyypit	$\alpha_3 = 1 - K\lambda$ <sup>1) 2)</sup> $0,7 \leq \alpha_3 \leq 1,0$	$\alpha_3 = 1,0$
Kaikki tyypit (jos ei hitsattuja poikittaistankoja $\alpha_4 = 1,0$ )	$\alpha_4 = 0,7$	$\alpha_4 = 0,7$
Kaikki tyypit	$\alpha_5 = 1 - 0,04p$ <sup>3)</sup> $0,7 \leq \alpha_5 \leq 1,0$	$\alpha_5 = 1,0$

$$^1) \lambda = (\Sigma A_{st} - \Sigma A_{st,min}) / A_s$$

$\Sigma A_{st}$  on ankkurointipituudella  $l_{bd}$  olevan poikittaisen raudoituksen kokonaisala

$\Sigma A_{st,min}$  on poikittaisraudoituksen vähimmäisala =  $0,25A_s$  palkeissa ja 0 laatoilla

$A_s$  on suurimman yksittäisen ankkuroidun tangon poikkileikkauksen ala



<sup>3)</sup> p on poikittaispaine murtorajatilassa [MPa]

$c_d$  on Betonipeitteen mitoitusarvo:  $c_d = \min \{a/2, c_1, c\}$

jossa, a = ankkuritankojen välimitta

$c_1$  = betonipeitteen paksuus sivusuunnassa

#### 6.3.2 Vähimmäisankkurointipituus $l_{b,min}$

Vedetyissä tangoissa :

$$l_{b,min} > \max \begin{cases} 0,3l_{bd,rqd} \\ 10\phi \\ 100 \text{ mm} \end{cases}$$

Puristetuissa tangoissa:

$$l_{b,min} > \max \begin{cases} 0,6l_{bd,rqd} \\ 10\phi \\ 100 \text{ mm} \end{cases}$$

### 6.3.3 Ankkurointi tietylle voimalle F

$$l_{b,rqd} = \frac{\phi * \sigma_{sd}}{4 * f_{bd}} \quad \text{missä: } \sigma_{sd} = \frac{F}{\pi \phi^2 / 4}$$

$$l_{b,rqd} = \frac{F}{2,25\eta_1 * f_{ctd} * \pi \phi} \quad F = 2,25\eta_1 * f_{ctd} * \pi \phi * l_{b,rqd}$$

Harjatangon tartuntalujuus  $f_{bd}$

$$f_{bd} = 2,25\eta_1\eta_2 * f_{ctd}$$

missä:  $\eta_1$  on tartuntatilasta riippuva luku

$\eta_1 = 1,0$  kun tartuntaolosuhteet ovat hyvät

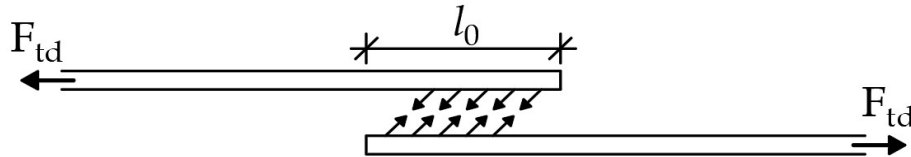
$\eta_1 = 0,7$  muissa kuin hyvissä tartuntaolosuhteissa

$\eta_2$  on harjatangon halkaisijasta riippuva luku

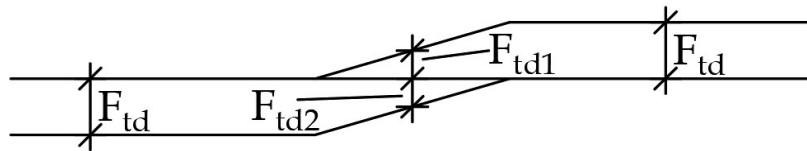
$\eta_2 = 1,0$  kun tangon halkaisija  $\phi \leq 32$  mm

$\eta_2 = (132 - \phi) / 100$  kun  $\phi > 32$  mm

### 6.4 Raudoituksen jatkospituudet



$$F_{td1} + F_{td2} = F_{td}$$



$$l_0 = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_5 \alpha_6 * l_{bd,rqd} * \frac{A_{s,req}}{A_{s,prov}} \geq l_{0,min} \quad l_{0,min} > \min \begin{cases} 0,3\alpha_6 * l_{b,rqd} \\ 15\phi \\ 200 \text{ mm} \end{cases}$$

$$\alpha_6 = \sqrt{\rho_1 / 25} \leq 1,5$$

$\rho_1$  on limijaketun raudoituksen prosenttiosuus koko tarkasteltavan poikkileikkauksen veto- tai puristusraudoituksesta, joka on enintään  $0,65l_0$  tarkasteltavan jatkoksen keskikohdalta

$\rho_1 < 25\%$  :  $\alpha_6 = 1,0$  : Enintään joka neljäs tanko jatkettu

$\rho_1 = 33\%$  :  $\alpha_6 = 1,15$  : Joka kolmas tanko jatkettu

$\rho_1 = 50\%$  :  $\alpha_6 = 1,4$  : Joka toinen tanko jatkettu

$\rho_1 > 50\%$  :  $\alpha_6 = 1,5$  : Enemmän kuin joka toinen tanko jatkettu



## 7 Raudoituksen valinta

Harjatankoyhdistelmien poikkipinta-alat [mm<sup>2</sup>]

50,3					<b>φ 8</b>																						
<b>1</b>	101																										
151	<b>2</b>	151																									
201	251	<b>3</b>	201																								
251	302	352	<b>4</b>	251																							
302	352	402	452	<b>5</b>	79					<b>φ 10</b>																	
129	179	229	280	330	<b>1</b>	157																					
207	258	308	358	408	236	<b>2</b>	236																				
286	336	386	437	487	314	393	<b>3</b>	314																			
364	415	465	515	565	393	471	550	<b>4</b>	393																		
443	493	543	594	644	471	550	628	707	<b>5</b>	113					<b>φ 12</b>												
					192	270	349	427	506	<b>1</b>	226																
					305	383	462	540	619	339	<b>2</b>	339															
					418	496	575	653	732	452	565	<b>3</b>	452														
					531	609	688	767	845	565	679	792	<b>4</b>	565													
					644	723	801	880	958	679	792	905	1018	<b>5</b>	201					<b>φ 16</b>							
										314	427	540	653	767	<b>1</b>	402											
										515	628	741	855	968	603	<b>2</b>	603										
										716	829	942	1056	1169	804	1005	<b>3</b>	804									
										917	1030	1144	1257	1370	1005	1206	1407	<b>4</b>	1005								
										1118	1232	1345	1458	1571	1206	1407	1608	1810	<b>5</b>								
201					<b>φ 16</b>																						
<b>1</b>	402																										
603	<b>2</b>	603																									
804	1005	<b>3</b>	804																								
1005	1206	1407	<b>4</b>	1005																							
1206	1407	1608	1810	<b>5</b>	314					<b>φ 20</b>																	
515	716	917	1118	1319	<b>1</b>	628																					
829	1030	1232	1433	1634	942	<b>2</b>	942																				
1144	1345	1546	1747	1948	1257	1571	<b>3</b>	1257																			
1458	1659	1860	2061	2262	1571	1885	2199	<b>4</b>	1571																		
1772	1973	2174	2375	2576	1885	2199	2513	2827	<b>5</b>	491					<b>φ 25</b>												
					805	1119	1433	1748	2062	<b>1</b>	982																
					1296	1610	1924	2238	2553	1473	<b>2</b>	1473															
					1787	2101	2415	2729	3043	1963	2454	<b>3</b>	1963														
					2278	2592	2906	3220	3534	2454	2945	3436	<b>4</b>	2454													
					2769	3083	3397	3711	4025	2945	3436	3927	4418	<b>5</b>	804					<b>φ 32</b>							
										1295	1786	2277	2768	3259	<b>1</b>	1608											
										2099	2590	3081	3572	4063	2413	<b>2</b>	2413										
										2904	3394	3885	4376	4867	3217	4021	<b>3</b>	3217									
										3708	4199	4690	5180	5671	4021	4825	5630	<b>4</b>	4021								
										4512	5003	5494	5985	6476	4825	5630	6434	7238	<b>5</b>								

 = tankojen määrä, ruudun yläpuolella tangon/tankojen poikkipinta-ala kyseisellä kappalemäärällä

 = yhdistetty poikkipinta-ala vierekkäisiin kokoluokkiin kuuluvilla tangoilla

### 7.1 Laatan raudoitus $a_s$ [ $\text{cm}^2/\text{m}$ ]

Tankoväli [cm]	Tangon halkaisija $\phi$ [mm]									Tankoa per metri
	6	8	10	12	14	16	20	25	28	
5,0	5,65	10,05	15,71	22,62	30,79	40,21	62,83	98,17	-	20,00
6,0	4,71	8,38	13,09	18,85	25,66	33,51	52,36	81,81	102,63	16,67
7,0	4,04	7,18	11,22	16,16	21,99	28,72	44,88	70,12	87,96	14,29
7,5	3,77	6,70	10,47	15,08	20,53	26,81	41,89	65,45	82,10	13,33
8,0	3,53	6,28	9,82	14,14	19,24	25,13	39,27	61,36	76,97	12,50
9,0	3,14	5,59	8,73	12,57	17,10	22,34	34,91	54,54	68,42	11,11
10,0	2,83	5,03	7,85	11,31	15,39	20,11	31,42	49,09	61,58	10,00
12,5	2,26	4,02	6,28	9,05	12,32	16,08	25,13	39,27	49,26	8,00
15,0	1,88	3,35	5,24	7,54	10,26	13,40	20,94	32,72	41,05	6,67
20,0	1,41	2,51	3,93	5,65	7,70	10,05	15,71	24,54	30,79	5,00
25,0	1,13	2,01	3,14	4,52	6,16	8,04	12,57	19,63	24,63	4,00

### 7.2 Palkin raudoitus $A_s$ [ $\text{cm}^2$ ]

Tangon halkaisija $\phi$	6	8	10	12	14	16	20	25	28	
Paino [kg/m]	0,22	0,39	0,62	0,89	1,21	1,58	2,47	3,85	4,83	
Tankojen määrä	1	0,28	0,50	0,79	1,13	1,54	2,01	3,14	4,91	6,16
	2	0,57	1,01	1,57	2,26	3,08	4,02	6,28	9,82	12,3
	3	0,85	1,51	2,36	3,39	4,62	6,03	9,42	14,7	18,5
	4	1,13	2,01	3,15	4,52	6,16	8,04	12,6	19,6	24,6
	5	1,41	2,51	3,93	5,65	7,70	10,1	15,7	24,5	30,8
	6	1,70	3,02	4,71	6,79	9,24	12,1	18,8	29,5	36,9
	7	1,98	3,52	5,50	7,92	10,8	14,1	22,0	34,4	43,1
	8	2,26	4,02	6,28	9,05	12,3	16,1	25,1	39,3	49,3
	9	2,54	4,52	7,07	10,2	13,9	18,1	28,3	44,2	55,4
	10	2,83	5,03	7,85	11,3	15,4	20,1	31,4	49,1	61,6

### 7.3 Samassa tasossa olevien tankojen enimmäismäärä palkissa

Palkin leveys, b [mm]	Tangon halkaisija $\phi$ [mm]							
	10	12	14	16	20	25	28	
200	5	4	4	4	3	3	2	
250	6	6	6	5	5	4	3	
300	8	(8)	7	7	6	5	4	
350	10	9	(9)	8	7	6	5	
400	11	11	10	9	8	7	6	
450	13	12	(12)	11	10	8	7	
500	15	14	13	12	11	9	(8)	
550	16	15	14	14	12	10	8	
600	18	17	16	15	13	11	9	
Haan halkaisija $\phi_{\text{haka}}$	$\leq 8$ mm				$\leq 10$ mm	$\leq 12$ mm	$\leq 16$ mm	

**Huom!** - Arvot määritetty betonipeitepaksuuden ollessa 25 mm haan kohdalla  
 - Sulussa () olevat taulukon arvot jäävät hieman vaadituista etäisyyksistä

## 7.4 Hakojen mitoitus $a_s$ [cm<sup>2</sup>/m]

Hakaväli [mm]	Tangon halkaisija $\phi$ [mm]										Tankoa per metri
	2-leikkeinen						4-leikkeinen				
	6	8	10	12	14	16	10	12	14	16	
50	11,30	20,11	31,42	45,24	61,58	80,42	62,83	90,48	123,20	160,85	20,00
60	9,43	16,76	26,19	37,71	51,32	67,03	52,37	75,41	102,70	134,07	16,67
70	8,08	14,37	22,45	32,32	44,00	57,46	44,89	64,65	87,99	114,93	14,29
75	7,54	13,40	20,94	30,15	41,04	53,60	41,88	60,30	82,08	107,21	13,33
80	7,07	12,57	19,63	28,27	38,48	50,27	39,27	56,55	76,97	100,53	12,50
90	6,28	11,17	17,45	25,13	34,21	44,68	34,90	50,26	68,41	89,35	11,11
100	5,65	10,05	15,71	22,62	30,79	40,21	31,42	45,24	61,58	80,42	10,00
125	4,52	8,04	12,57	18,10	24,63	32,17	25,13	36,19	49,26	64,34	8,00
150	3,77	6,71	10,48	15,09	20,54	26,82	20,95	30,17	41,07	53,64	6,67
200	2,83	5,03	7,85	11,31	15,39	20,11	15,71	22,62	30,79	40,21	5,00
250	2,26	4,02	6,28	9,05	12,32	16,08	12,57	18,10	24,63	32,17	4,00

## 7.5 Hakojen maksimiväli

Leikkausvoima <sup>a)</sup>	Pitkittäinen etäisyys $s_{l,max}$	Poikittainen etäisyys $s_{t,max}$
$V_{Ed} \leq 0,3 V_{Rd,max}$	$0,7 * h^b$ tai 300 mm	h tai 800 mm
$0,3 V_{Rd,max} \leq V_{Ed} \leq 0,6 V_{Rd,max}$	0,5 * h tai 300 mm	h tai 600 mm
$V_{Ed} > 0,6 V_{Rd,max}$	0,25 * h tai 200 mm	

**Selitys** <sup>a)</sup>  $V_{Rd,max}$  kun  $\cot \theta = 1,2$

<sup>b)</sup> Palkeilla joiden  $h < 200$  mm ja  $V_{Ed} \leq V_{Rd,c}$  hakavälin ei tarvitse olla pienempi kuin 150 mm

## 8 Palokestävyys

### 8.1 Poikkileikkaukseltaan pyöreät tai suorakulmaiset pilarit

Standardipalonkestävyys	Vähimmäismitat [mm]	
	Pilarin leveys, $b_{min}$ / päätankojen keskiöetäisyys, a	
	Useammalta kuin yhdeltä puolelta altistettu pilari, $\mu_{fi} = 0,7$	Yhdeltä puolelta altistettu pilari, $\mu_{fi} = 0,7$
R 60	250 / 46 tai 350 / 40	155 / 25
R 90	350 / 53 tai 450 / 40*	155 / 25
R 120	350 / 57* tai 450 / 51*	175 / 35

\* Vähintään 8 raudoitustankoa

#### Huomautukset:

- Mitoitusrajoitukset esitetty eurokoodissa SFS-EN 1992-1-2.
- $\mu_{fi}$  on normaalivoiman mitoitusarvo palotilanteessa jaettuna pilarin kestävyuden mitoitusarvolla normaalilämpötilassa
- Käyttämällä  $\mu_{fi}$  arvona lukua 0,7 ollaan varmallalla puolella

## 8.2 Teräsbetonilaatta

Standardipalonestävyys		Vähimmäismitat [mm]							
		a:n ja b <sub>min</sub> :n mahdolliset yhdistelmät (a = keskimääräinen keskiöetäisyys, b <sub>min</sub> = rivan leveys)							
		Yhteen suuntaan kantava laatta	Ristiin kantava laatta		Pilari-laatta	Ristiin kantavan ripalaatan rivat (vähintään yksi reuna jäykästi kiinnitetty)			
$l_y/l_x \leq 1,5$	$1,5 < l_y/l_x \leq 2$								
REI 60	h <sub>s</sub> =	80	80	80	180	b <sub>min</sub> =	100	120	≥ 200
	a =	20	10	15	15	a =	25	15	10
REI 90	h <sub>s</sub> =	120	120	120	200	b <sub>min</sub> =	160	190	≥ 300
	a =	40	20	25	35	a =	45	40	30
REI 120	h <sub>s</sub> =	175	175	175	200	b <sub>min</sub> =	450	700	-
	a =	65	40	50	50	a =	70	60	-

### Huomautukset

- Mitoitusrajoitukset esitetty eurokoodissa SFS-EN 1992-1-2.
- h<sub>s</sub> on laatan ja mahdollisen palamattoman lattianpäällysteen paksuuksien summa

## 8.3 Teräsbetonipalkki

Standardipalonestävyys		Vähimmäismitat [mm]							
		a:n ja b <sub>min</sub> :n mahdolliset yhdistelmät (b <sub>min</sub> = palkin leveys)							
		Vapaasti tuetut palkit				Jatkuvat palkit			
		A	B	C	D	E	F	G	H
R 60	b <sub>min</sub> =	120	160	200	300	120	200	-	-
	a =	40	35	30	25	25	12 <sup>1)</sup>	-	-
R 90	b <sub>min</sub> =	150	200	300	400	150	250	-	-
	a =	55	45	40	35	35	25	-	-
R 120	b <sub>min</sub> =	200	240	300	500	200	300	450	500
	a =	65	60	55	50	45	35	35	30
R 240	b <sub>min</sub> =	280	350	500	700	280	500	650	700
	a =	90	80	75	70	75	60	60	50

<sup>1)</sup> Tavallisesti standardin EN 1992-1-1 edellyttämä betonipeitteen paksuus on määräävä

### Huomautukset

- Tämä taulukko on sama kuin eurokoodin SFS-EN 1992-1-2 taulukot 5.5 ja 5.6
- Keskiöetäisyys a<sub>sd</sub> palkin sivupinnasta nurkkatankoon tulee olla a + 10 mm, paitsi kun b<sub>min</sub> on suurempi kuin sarakkeissa C ja F esitetyt arvot tai rauditus on useammassa kerroksessa
- Taulukko pätee vain, jos on noudatettu yksityiskohtien suunnitteluvaatimuksia (ks. Huomautus 4) ja kun tavanomaisessa lämpötilassa taivutusmomenttien uudelleen jakautuminen on korkeintaan 15 %
- Kun standardipalonestävyyttä koskeva vaatimus on vähintään R 90, edellytetään yläpinnan raudituksen poikkileikkausalan olevan jokaisen välituen kohdalla tuen keskiviivalta etäisyyteen 0,3l<sub>eff</sub> asti vähintään seuraavan kaavan mukainen:
 
$$A_{s,req}(x) = A_{s,req}(0) * [1 - 2,5(x / l_{eff})]$$
 missä:
  - x on poikkileikkauksen etäisyys tuen keskilinjasta
  - A<sub>s,req</sub>(0) on poikkileikkauksessa vaadittava teräspinta-ala normaalilämpötilamitoituksessa (MRT)
  - l<sub>eff</sub> on vierekkäisistä kentistä lyhyin tehollinen jännemitta
- Palonestävyysluokissa R 120 - R 240 palkin leveyden ensimmäisen välituen kohdalla tulee olla vähintään sarakkeessa F esitetyn suuruinen, jos kumpikin seuraavista ehdoista on voimassa:
  - reunatuilla ei ole kiinnitysmomenttia ja
  - tavanomaisessa lämpötilassa V<sub>Ed</sub> > 0,67 V<sub>Rd,max</sub>
- Palkeilla, joiden uuman leveys vaihtelee, b<sub>min</sub> tarkoittaa leveyttä vetoraudituksen painopisteessä

# Eurokoodi 3:n mukainen teräsrakenteiden suunnittelu

## Sisältö

### 1 Materiaaliparametrit

- 1.1 Teräsrakenteiden osavarmuuskertoimet
- 1.2 Leikkauskestävyyden suunnitteluarvot
- 1.3 Kuumavalsattujen rakenneterästen myötörajan ja vetomurtolujuuden nimellisarvot
- 1.4 Rakenneputkien myötörajan ja vetomurtolujuuden nimellisarvot
- 1.5 Taipumien käyttörajatilat

### 2 Poikkileikkausluokka (PL)

- 2.1 I- ja H-profiilit
- 2.2 Max c/t elastisella ja plastisella poikkileikkauksella

### 3 Leikkausmitoitus

- 3.1 Mitoitusehto kaikille poikkileikkausluokille
- 3.2 Kimmoteorian mukainen mitoitus poikkileikkausluokan 3 rakenteille
- 3.3 Kimmo- ja plastisuusteorian mukainen mitoitus poikkileikkausluokan 2 rakenteille
  - 3.3.1 1-akselinen taivutus ja normaalivoima
  - 3.3.2 2-akselinen taivutus ja normaalivoima

### 4 Epäkeskeisyydestä aiheutuvan lisämomentin mitoitus

### 5 Nurjahduskestävyys

- 5.1 Pienennystekijän  $\chi$  -arvoja
- 5.2 Nurjahduskäyrän valinta poikkileikkauksesta riippuen

### 6 Vakiopoikkileikkauksisten sauvojen kiepahduskestävyys eri poikkileikkausluokissa

### 7 Vetokestävyys

### 8 Ruuviliitokset

- 8.1 Leikkaus- ja reunapuristusmitoitus
- 8.2 Vetokestävyysmitoitus
- 8.3 Yhdistetty veto- ja leikkausmitoitus
- 8.4 Nimellisvälykset
- 8.5 Reuna- ja keskiöetäisyydet
- 8.6 Leikkauskestävyys
- 8.7 Reunapuristuskestävyys
- 8.8 Vetokestävyys
- 8.9 Läpileikkaustumiskestävyys

### 9 Hitsiliitos

### 10 Poikkileikkausarvot

- 10.1 IPE -profiilin poikkileikkausarvot
- 10.2 HEA -profiilin poikkileikkausarvot
- 10.3 HEB -profiilin poikkileikkausarvot
- 10.4 RHS-putkipalkkien poikkileikkausarvot
  - 10.4.1 Neliömäiset putkipalkit
  - 10.4.2 Pyöreät putkipalkit

# 1 Materiaaliparametrit

## 1.1 Teräsrakenteiden osavarmuuskertoimet

### Rakenneosien ja poikkileikkausten kestävyys

Poikkileikkausten kestävyys poikkileikkausluokasta riippumatta	$\gamma_{M0} = 1,0$
Sauvojen kestävyys stabiiliuden suhteen, kun laskelmat tehdään sauvan tarkastuksena	$\gamma_{M1} = 1,0$
Poikkileikkausten kestävyys vetomurtumisen suhteen	$\gamma_{M2} = 1,25$

### Liitosten kestävyys

Ruuvien, niittien, niveltappien ja hitsien kestävyys sekä reunapuristuskestävyys	$\gamma_{M2} = 1,25$
Liukumiskestävyys	
- murtorajatilassa (kiinnitysluokka C)	$\gamma_{M3} = 1,25$
- käyttörajatilassa (kiinnitysluokka B)	$\gamma_{M3,ser} = 1,1$

Injektioruuvien reunapuristuskestävyys	$\gamma_{M4} = 1,1$
Rakenneputkien liitosten kestävyys ristikossa	$\gamma_{M5} = 1,1$
Niveltappien kestävyys käyttörajatilassa	$\gamma_{M6,ser} = 1,0$
Korkealujuuksisten ruuvien esijännitys	$\gamma_{M7} = 1,1$

## 1.2 Leikkauskestävyyden suunnitteluarvot $\sigma_{Rd}$ ja $\tau_{Rd}$

$\gamma_M$ [N/mm <sup>2</sup> ]	S 235		S 275		S 355		S 450	
	$\sigma_{Rd}$	$\tau_{Rd}$	$\sigma_{Rd}$	$\tau_{Rd}$	$\sigma_{Rd}$	$\tau_{Rd}$	$\sigma_{Rd}$	$\tau_{Rd}$
1,0	235,0	135,7	275,0	158,8	355,0	205,0	440,0	254,0
1,1	213,6	123,3	250,0	144,3	322,7	186,3	400,0	230,9

## 1.3 Kuumavalssattujen rakenneterästen myötörajan $f_y$ ja vetomurtolujuuden $f_u$ nimellisarvot

Standardi ja teräslaji	Nimellispaksuus t [mm]			
	$t \leq 40$ mm		$40$ mm < $t \leq 80$ mm	
	$f_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_u$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_u$ [N/mm <sup>2</sup> ]
<b>EN 10025-2</b>				
S 235	235	360	215	360
S 275	275	430	255	410
S 355	355	510	335	470
S 450	440	550	410	550
<b>EN 10025-3</b>				
S 275 N / NL	275	390	255	370
S 355 N / NL	355	490	335	470
S 420 N / NL	420	520	390	520
S 460 N / NL	460	540	430	540
<b>EN 10025-4</b>				
S 275 M / ML	275	370	255	360
S 355 M / ML	355	470	335	450
S 420 M / ML	420	520	390	500
S 460 M / ML	460	540	430	530
<b>EN 10025-5</b>				
S 235 W	235	360	215	340
S 355 W	355	510	335	490
<b>EN 10025-6</b>				
S 460 Q / QL / QL1	460	570	440	550

## 1.4 Rakenneputkien myötörajan $f_y$ ja vetomurtolujuuden $f_u$ nimellisarvot

Standardi ja teräslaji	Nimellispaksuus $t$ [mm]			
	$t \leq 40$ mm		$40 \text{ mm} < t \leq 65$ mm	
	$f_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_u$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_u$ [N/mm <sup>2</sup> ]
<b>EN 10210-1</b>				
S 235 H	235	360	215	340
S 275 H	275	430	255	410
S 355 H	355	510	335	490
S 275 NH / NLH	275	390	255	370
S 355 NH / NLH	355	490	335	470
S 420 NH / NLH	420	540	390	520
S 460 NH / NLH	460	560	430	550
<b>EN 10219-1</b>				
S 235 H	235	360		
S 275 H	275	430		
S 355 H	355	510		
S 275 NH / NLH	275	370		
S 355 NH / NLH	355	470		
S 460 NH / NLH	460	550		
S 275 MH / MLH	275	360		
S 355 MH / MLH	355	470		
S 420 MH / MLH	420	500		
S 460 MH / MLH	460	530		

## 1.5 Taipumien käyttörajatilat

Rakenne	Pääkannattajat			Katto-orret	Seinä-orret	Muotolevyt				
	Katto	Välipohja	Uloke			Katot		Välipohja	Seinä	Uloke
						A*	B*			
<b>Sallittu taipuma</b>	L / 300	L / 400	L / 150	L / 200	L/150	L / 100	Kts. alta	L / 300	L / 100	L / 100

**L** on jänneväli

**A\*** Katot, joissa ei ole vesikeräytymien tai katteen vaurioitumisen vaaraa

**B\*** Katot, joissa on vesikeräytymisen tai katteen vaurioitumisen vaara, sallittu taipuma määräytyy seuraavasti:

kun,  $L \leq 4,5$  m  $\rightarrow$  L / 150  
 $4,5 \text{ m} < L \leq 6,0$  m  $\rightarrow$  30 mm  
 $L > 6,0$  m  $\rightarrow$  L / 200

## 2 Poikkileikkausluokka (PL)

### 2.1 I ja H-profiilit

Nimellis- korkeus	IPE				HEA				HEB			
	Max N <sub>Ed</sub> PL 2:lle [kN]		PL (purist.) / A <sub>eff</sub> [cm <sup>2</sup> ]		Max N <sub>Ed</sub> PL 2:lle [kN]		PL (purist.) / A <sub>eff</sub> [cm <sup>2</sup> ]		Max N <sub>Ed</sub> PL 2:lle [kN]		PL (purist.) / A <sub>eff</sub> [cm <sup>2</sup> ]	
	S 235	S 355	S 235	S 355	S 235	S 355	S 235	S 355	S 235	S 355	S 235	S 355
80	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-
100	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
120	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
140	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
160	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
180	1	2	1	2	1	2	1	2	1	1	1	1
200	1	2	1	2	1	2	1	2	1	1	1	1
220	1	2	1	2	1	2	1	2	1	1	1	1
240	1	2	1	2	1	2	1	2	1	1	1	1
260	-	-	-	-	1	3*	1	3*	1	1	1	1
270	2	407	2	3	-	-	-	-	-	-	-	-
280	-	-	-	-	1	3*	1	3*	1	1	1	1
300	2	447	2	4 / 52,7	1	3*	1	3*	1	1	1	1
320	-	-	-	-	1	2	1	2	1	1	1	1
330	2	481	2	4 / 61,0	-	-	-	-	-	-	-	-
340	-	-	-	-	1	1	1	1	1	1	1	1
360	2	527	2	4 / 70,4	1	1	1	1	1	1	1	1
400	594	585	3	4 / 81,2	1	2	1	2	1	1	1	1
450	681	655	3	4 / 93,8	1	2	1	2	1	1	1	1
500	774	730	3	4 / 108	1	1375	1	3	1	2	1	2
550	908	852	4 / 132	4 / 126	2	1383	2	4 / 208	1	2	1	2
600	1043	968	4 / 152	4 / 145	2	1388	2	4 / 220	1	2368	1	3
650	-	-	-	-	1428	1389	3	4 / 232	2	2383	2	3
700	-	-	-	-	1626	1568	3	4 / 249	2	2622	2	4 / 301
800	-	-	-	-	1544	1384	4 / 277	4 / 265	2458	2420	3	4 / 320
900	-	-	-	-	1610	1351	4 / 305	4 / 291	2554	2416	3	4 / 348
1000	-	-	-	-	1491	1104	4 / 322	4 / 305	2429	2146	4 / 384	4 / 365

#### Puristusrasitus:

- Puhtaalle taivutukselle poikkileikkausluokan 2 vaatimukset täyttävät profiilit teräslajeilla S 235 ja S 355 (huom. \*).
- Puhtaasti puristukselle mitoittaessa poikkileikkausluokassa 4 huomioidaan A<sub>eff</sub>.
- Puristuksen ja taivutuksen vaikuttaessa samaan aikaan poikkileikkausluokan 2 osalta seuraavan ehdon tulee täyttyä:

$$N_{Ed} \leq N_{Ed,max}$$

Muussa tapauksessa poikkileikkausluokka on 3 tai 4.

$$\alpha > 0,5$$

$$N_{Ed,max} \leq 2 * (\alpha - 1/2) * t_w * d * \sigma_{Rd} \quad \text{missä, } d = h - 2 * t_f - 2 * r$$

$$N_{Ed,max}, \text{ kun } \gamma_{M1} = 1,1$$

#### Leikkausrasitus:

$$h_w / t_w \leq 72\varepsilon$$

missä,

$$h_w = h - 2 * t_f$$

$$\varepsilon = \sqrt{235 / f_y}$$

Teräslajeilla S 235 ja S 355, IPE, HEA ja HEB profiileilla



## 2.2 Max c/t elastisella ja plastisella poikkileikkauksella

Profiilin osa	PL2	PL3						
Uuma	$\alpha > 0,5 ; c/t \leq \frac{456 * \epsilon}{13 * \alpha - 1}$	$\psi$	-1,0	-0,8	-0,6	-0,4	-0,2	0
		$c/t$	124 * $\epsilon$	103 * $\epsilon$	89,0 * $\epsilon$	78,1 * $\epsilon$	69,5 * $\epsilon$	62,7 * $\epsilon$
	$\alpha \leq 0,5 ; c/t \leq \frac{41,5 * \epsilon}{\alpha}$	$\psi$	0,2	0,4	0,6	0,8	0,9	1,0
		$c/t$	57,1 * $\epsilon$	52,4 * $\epsilon$	48,4 * $\epsilon$	45,0 * $\epsilon$	43,4 * $\epsilon$	42,0 * $\epsilon$
Laippa	$\alpha = 1,0 ; c/t \leq 10 * \epsilon$	$\psi = 1,0$ kun $c/t \leq 14 * \epsilon$						

## 3 Leikkausmitoitus

### 3.1 Mitoitusehto kaikille poikkileikkausluokille

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0$$

Kun vääntöä ei ole, plastisuusteorian mukainen leikkauskestävyys voidaan laskea kaavasta:

$$V_{pl,Rd} = A_v * \tau_{Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$$

PL2	$\frac{N_{Ed}}{A * \sigma_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{W_{pl,y} * \sigma_{Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} * \sigma_{Rd}} \leq 1,0$	
PL3	$\frac{N_{Ed}}{A * \sigma_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{W_y * \sigma_{Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{W_z * \sigma_{Rd}} \leq 1,0$	
PL4	$\frac{N_{Ed}}{A_{eff} * \sigma_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{W_y * \sigma_{Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{W_z * \sigma_{Rd}} \leq 1,0$	I- ja H-profiileille

#### Leikkauspinta-ala, $A_v$

##### Kuormitus on uuman suuntainen

- a) Valssaamalla valmistetut I- ja H-profiilit:  $A - 2bt_f + (t_w + 2r) * t_f$  kuitenkin vähintään:  $\eta h_w t_w$   
 $\eta = 1,0$  (EN 1993-1-5)
- b) Valssaamalla valmistetut U-profiilit:  $A - 2bt_f + (t_w + r) * t_f$
- c) Valssaamalla valmistetut T-profiilit:  $0,9 * (A - bt_f)$
- d) Hitsaamalla valmistetut I-, H- ja koteloprofiilit:  $\eta * \Sigma (h_w t_w)$

##### Kuormitus laippojen suuntainen

- e) Hitsaamalla valmistetut I-, H-, U- ja koteloprofiilit:  $A - \Sigma (h_w t_w)$

- f) Valssaamalla valmistetut suorakaiteen muotoiset rakenneputket, kun aineenpaksuus on vakio:

Kuormitus vaikuttaa korkeuden suunnassa:  $A * h / (b + h)$

Kuormitus vaikuttaa leveyden suunnassa:  $A * b / (b + h)$

- g) Pyöreät rakenneputket, joiden aineenpaksuus on vakio:  $2A / \pi$

$A$  = poikkileikkauksen pinta-ala

$b$  = kokonaisleveys

$h$  = kokonaiskorkeus

$h_w$  = uuman korkeus

$r$  = nurkan pyöristyssäde

$t_f$  = laipan paksuus

$t_w$  = uuman paksuus

### 3.2 Kimmoteorian mukainen mitoitus poikkileikkausluokan 3 rakenteille

Mitoitusehto:

$$\frac{\sigma_V}{\sigma_{Rd}} \leq 1,0$$

Viitejännitys:

$$\sigma_V = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$$

Kaikille poikkileikkauspisteille:

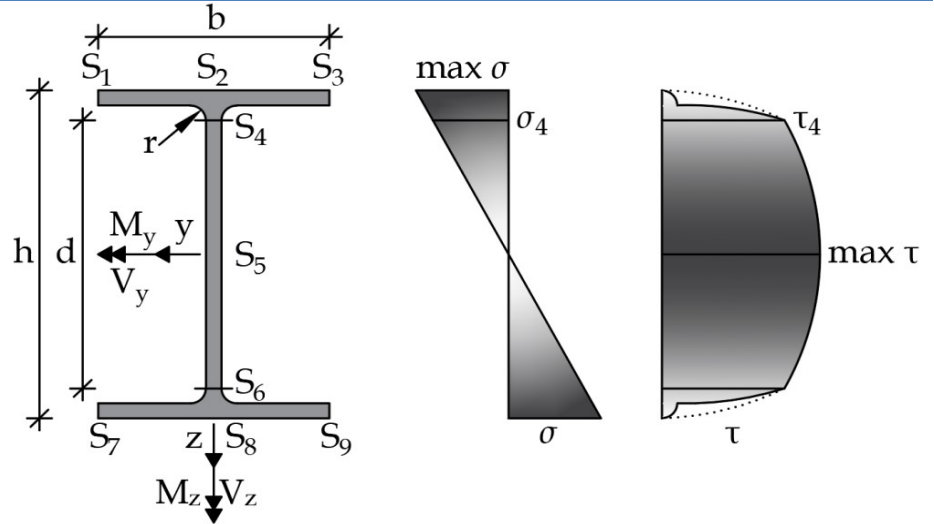
$$\sigma = \frac{N_{Ed}}{A} + \frac{M_{y,Ed}}{I_y} * z - \frac{M_{z,Ed}}{I_z} * y$$

Yksinkertaistettuna:

$$\sigma_{max} = \left| \frac{N_{Ed}}{A} + \frac{M_{y,Ed}}{W_y} + \frac{M_{z,Ed}}{W_z} \right|$$

Poikkileikkausluokan 4 I- ja H-profiileilla:

$$A = A_{eff}$$



$$S_2 = S_8 = \frac{b}{t_f} * t_f * (h/2 - t_f/2) \quad S_5 = S_y \quad S_4 = S_6 = S_y - t_w * \frac{d^2}{8}$$

Poikkileikkauspiste:

4, 5, 6

$$\tau = \frac{V_{z,Ed} * S_i}{I_y * t_w}$$

Poikkileikkauspiste:

2, 8

$$\tau = \frac{3}{2} * \frac{V_{y,Ed}}{2 * t_f * b} \pm \frac{V_{z,Ed} * S_i}{I_y * t_f}$$

Poikkileikkauspiste:

1, 3, 7, 9

$$\tau = 0$$

### 3.3 Kimmo- ja plastisuusteorian mukainen mitoitus poikkileikkausluokan 2 rakenteille

#### 3.3.1 1-akselinen taivutus ja normaalivoima

Ehto:  $\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \leq 1$        $\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \leq 1$

$$N_{pl,Rd} = A * \sigma_{Rd}$$

$$M_{pl,y,Rd} = W_{pl,y} * \sigma_{Rd}$$

$$M_{pl,z,Rd} = W_{pl,z} * \sigma_{Rd}$$

I- ja H-profiilit:

y-y akseli:  $M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd}$

kun  $N_{Ed} \leq 0,25 * N_{pl,Rd}$

ja  $N_{Ed} \leq \frac{0,5 * h_w * t_w * f_y}{\gamma_M}$

muussa tapauksessa:

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} * \frac{1 - n}{1 - 0,5 * a} \leq M_{pl,y,Rd}$$

$$a = (A - 2 * b * t_f) / A \leq 0,5$$

$$n = N_{Ed} / N_{pl,Rd}$$

z-z akseli:  $n \leq a$ ;  $M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd}$

kun  $n > a$ ;  $M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} * \left[1 - \left(\frac{n - a}{1 - a}\right)^2\right]$

Pyöreät rakenneputket:

$$M_{N,y,Rd} = M_{N,z,Rd} = M_{pl,Rd} * (1 - n^{1,7})$$

Suorakaiteen muotoiset rakenneputket:

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} * \frac{1 - n}{1 - 0,5 * a_w} \leq M_{pl,y,Rd}$$

$$a_w = (A - 2 * h * t) / A \leq 0,5$$

$$M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} * \frac{1 - n}{1 - 0,5 * a_f} \leq M_{pl,z,Rd}$$

kun

$$a_f = (A - 2 * h * t) / A \leq 0,5$$

#### 3.3.2 2-akselinen taivutus ja normaalivoima

Ehto:

$$\left[ \frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[ \frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta \leq 1$$

I- ja H-profiilit:

$$\alpha = 2; \beta = 5 * n$$

kuitenkin:  $\beta \geq 1$

Suorakaiteiset rakenneputket:

$$\alpha = \beta = \frac{1,66}{1 - 1,13 * n^2}$$

kuitenkin:  $\alpha = \beta \geq 6$

Pyöreät rakenneputket:

$$\alpha = \beta = 2$$

## 4 Epäkeskeisyydestä aiheutuvan lisämomentin mitoitus

Voidaan määrittää suunnilleen kaavalla:

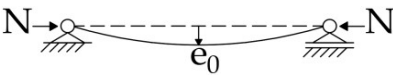
$$M_{II,Ed} = \frac{M_{I,Ed}}{1 - (N_{Ed} / N_{cr})}$$

Toimii vain kohdan 3.1 ja 3.2 mukaisille kiinteille rakenteille ja kohdan 3.1, 3.2 ja 3.3 siirtyville rakenteille

Alkukaarevuus Nurjahduskäyrä	Epätarkkuustekijä $\alpha$	Kimmeteorian mukainen analyysi	Plastisuusteorian mukainen analyysi
		$e_0 / L$	$e_0 / L$
$a_0$	0,13	1/350	1/300
a	0,21	1/300	1/250
b	0,34	1/250	1/200
c	0,49	1/200	1/150
d	0,76	1/150	1/100

### Alkuepätarkkuus $e_0$

Alkukaarevuus:



Alkukallistuma:



Alkukallistuma:

$$\phi = \phi_0 * \alpha_h * \alpha_m$$

missä:  $\phi_0 = 1/200$

$$\alpha_h = 2 / \sqrt{h}$$

kuitenkin:  $\frac{2}{3} \leq \alpha_h \leq 1,0$

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 * \left(1 + \frac{1}{m}\right)}$$

$m$  = rivissä olevien pilarien lukumäärä, joiden kantama pystysuuntainen kuorma  $N_{Ed}$  on vähintään 50 % tarkasteltavassa pystysuuntaisessa tasossa olevien pilarien keskimääräisestä kuormasta

$h$  = rakenteen korkeus [m]

Epätarkkuudet voidaan tutkia kaikkiin suuntiin, mutta niitä on tarkasteltava vain yhteen suuntaan kerrallaan. Samanaikainen tarkastelu on mahdollista vain, jos seuraava ehto toteutuu:

$$\frac{N_{Ed}}{\pi^2 * EI / L^2} > 0,25$$

missä  $L$  = sauvan pituus

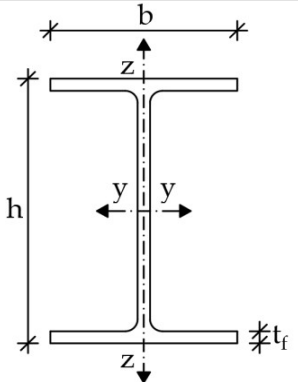
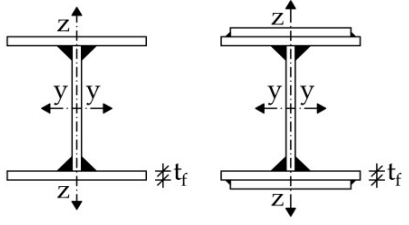
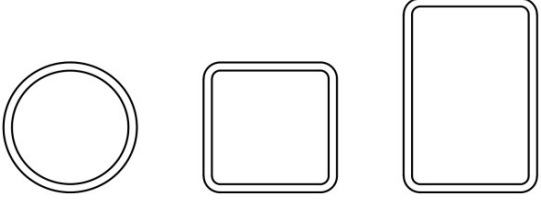
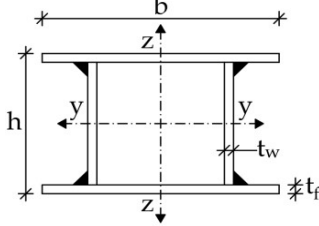
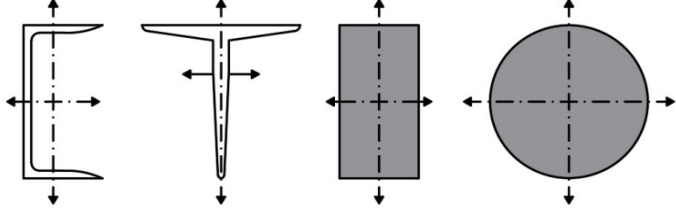
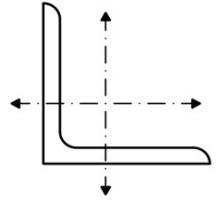
## 5 Nurjahduskestävyys

Mitoitusehto:  $\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$  ;  $N_{b,Rd} = \frac{\chi * A * f_y}{\gamma_{M1}}$  ;  $\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr}}}$  ;  $N_{cr} = \frac{\pi^2 * EI}{L_{cr}^2}$

### 5.1 Pienennystekijä $\chi$

$\bar{\lambda}$	0,20		0,30		0,40		0,50		0,60		0,70		0,80		0,90	
	$\phi$	$\chi$	$\phi$	$\chi$	$\phi$	$\chi$	$\phi$	$\chi$	$\phi$	$\chi$	$\phi$	$\chi$	$\phi$	$\chi$	$\phi$	$\chi$
$a_0$	0,52	1,0	0,552	0,986	0,593	0,970	0,645	0,951	0,706	0,928	0,778	0,896	0,859	0,853	0,951	0,796
a	0,52	1,0	0,556	0,977	0,601	0,953	0,657	0,924	0,722	0,890	0,798	0,848	0,883	0,796	0,979	0,734
b	0,52	1,0	0,562	0,964	0,614	0,926	0,676	0,884	0,748	0,837	0,830	0,784	0,922	0,724	1,024	0,661
c	0,52	1,0	0,570	0,949	0,629	0,897	0,699	0,843	0,778	0,785	0,868	0,725	0,967	0,662	1,077	0,600
d	0,52	1,0	0,583	0,923	0,656	0,850	0,739	0,779	0,832	0,710	0,935	0,643	1,048	0,580	1,171	0,521
$\bar{\lambda}$	1,00		1,10		1,20		1,30		1,40		1,50		1,60		1,70	
	$\phi$	$\chi$	$\phi$	$\chi$	$\phi$	$\chi$	$\phi$	$\chi$	$\phi$	$\chi$	$\phi$	$\chi$	$\phi$	$\chi$	$\phi$	$\chi$
$a_0$	1,052	0,725	1,164	0,648	1,285	0,573	1,417	0,505	1,558	0,446	1,710	0,395	1,871	0,352	2,043	0,315
a	1,084	0,666	1,200	0,596	1,325	0,530	1,461	0,470	1,606	0,418	1,762	0,372	1,927	0,333	2,103	0,299
b	1,136	0,597	1,258	0,535	1,390	0,478	1,532	0,427	1,684	0,382	1,846	0,342	2,018	0,308	2,200	0,278
c	1,196	0,540	1,326	0,484	1,465	0,434	1,615	0,389	1,774	0,349	1,944	0,315	2,123	0,284	2,313	0,258
d	1,304	0,467	1,447	0,419	1,600	0,376	1,763	0,339	1,936	0,306	2,119	0,277	2,312	0,251	2,515	0,229
$\bar{\lambda}$	1,80		1,90		2,00		2,10		2,20		2,30		2,40		2,50	
	$\phi$	$\chi$	$\phi$	$\chi$	$\phi$	$\chi$	$\phi$	$\chi$	$\phi$	$\chi$	$\phi$	$\chi$	$\phi$	$\chi$	$\phi$	$\chi$
$a_0$	2,224	0,283	2,416	0,256	2,617	0,232	2,829	0,212	3,050	0,194	3,282	0,178	3,523	0,164	3,775	0,151
a	2,288	0,270	2,484	0,245	2,689	0,223	2,905	0,204	3,130	0,187	3,366	0,172	3,611	0,159	3,867	0,147
b	2,392	0,252	2,594	0,229	2,806	0,209	3,028	0,192	3,260	0,176	3,502	0,163	3,754	0,151	4,016	0,140
c	2,512	0,235	2,722	0,214	2,941	0,196	3,171	0,180	3,410	0,166	3,660	0,154	3,919	0,143	4,189	0,132
d	2,728	0,209	2,951	0,192	3,184	0,177	3,427	0,163	3,680	0,151	3,943	0,140	4,216	0,130	4,499	0,121

## 5.2 Nurjahduskäyrän valinta poikkileikkauksesta riippuen

Poikkileikkaus	Rajat	Nurjahdus ko. akselin suhteen	Nurjahduskäyrä	
			S235 S275 S355 S420	S460
<b>Valssatut profiilit</b> 	<b><math>h / b &gt; 1,2</math></b>			
	$t_f \leq 40 \text{ mm}$	Y - Y	a	$a_0$
		Z - Z	b	$a_0$
	$40 \text{ mm} < t_f \leq 100 \text{ mm}$	Y - Y	b	a
		Z - Z	c	a
	<b><math>h / b \leq 1,2</math></b>			
$t_f \leq 100 \text{ mm}$	Y - Y	b	a	
	Z - Z	c	a	
$t_f > 100 \text{ mm}$	Y - Y	d	c	
	Z - Z	d	c	
<b>Hitsatut I-profiilit</b> 	$t_f \leq 40 \text{ mm}$	Y - Y	b	b
		Z - Z	c	c
	$t_f > 40 \text{ mm}$	Y - Y	c	c
		Z - Z	d	d
<b>Rakenne-putket</b> 	Kuumamuovattu	Kaikki	a	$a_0$
	Kylmämuovattu	Kaikki	c	c
<b>Hitsatut koteloprofiilit</b> 	Yleensä (poikkeus, kts. alla)	Kaikki	b	b
	Paksut hitsit: $a > 0,5t_f$ $b/t_f < 30$ $h/t_w < 30$	Kaikki	c	c
<b>U-, T- ja umpiprofiilit</b> 		Kaikki	c	c
<b>L-teräkset</b> 		Kaikki	b	c

## 6 Vakiopoikkileikkauksisten sauvojen kiepahduskestävyyseri poikkileikkausluokissa

Ehto:  $\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1,0$  ;  $M_{b,Rd} = \chi_{LT,mod} * W_y * \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$  ;  $\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y * f_y}{M_{cr}}}$

PL 1 ja 2:  $W_y = W_{pl,y}$   
 PL 3:  $W_y = W_{el,y}$   
 PL 4:  $W_y = W_{eff,y}$

$M_{cr}$ :n mitoitus laskentaohjelmalla

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 * EI_z}{l^2}$$

1-aukkoisille palkeille voidaan soveltaa seuraavaa laskentakaavaa:

$$c^2 = \frac{I_w + 0,039 * l^2 * I_t}{I_z}$$

$$M_{cr} = C_1 * N_{cr,z} * (\sqrt{c^2 + 0,25 * z_p^2} + 0,5 * z_p)$$

missä:

$z_p$  poikkittaisen kuorman etäisyys vääntökeskiöstä taivutuspuolella  
 $l$  sauvan pituus

$$\chi_{LT,mod} = \frac{\chi_{LT}}{f} \leq 1,0$$

$$\text{missä: } f = 1 - 0,5 * (1 - k_c) * [1 - 2,0 * (\bar{\lambda}_{LT} - 0,8)^2] \leq 1,0$$

Kiepahduskestävyys ja normaalivoima - konservatiivinen arvo:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,min,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{b,Rd}} + 1,5 * \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1,0$$

PL1 ja 2:  $M_{z,Rd} = W_{pl,z} * \sigma_{Rd}$

PL3:  $M_{z,Rd} = W_{el,z} * \sigma_{Rd}$

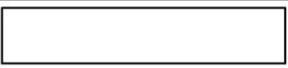


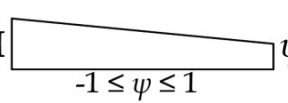

PL4:  $M_{z,Rd} = W_{eff,z} * \sigma_{Rd}$

Poikkileikkauksarvot  $I_t$  ja  $I_w$

Pienennystekijä  $\chi_{LT}$

Nimellis- korkeus	IPE		HEA		HEB		$\bar{\lambda}_{LT}$	Valssatut I- ja H-profiilit	
	$I_t$ cm <sup>4</sup>	$I_w/1000$ cm <sup>6</sup>	$I_t$ cm <sup>4</sup>	$I_w/1000$ cm <sup>6</sup>	$I_t$ cm <sup>4</sup>	$I_w/1000$ cm <sup>6</sup>		$h/b \leq 2$	$h/b > 2$
80	0,70	0,118	-	-	-	-	0,40	1,000	1,000
100	1,20	0,351	5,24	2,58	9,25	3,38	0,50	0,960	0,944
120	1,74	0,890	5,99	6,47	13,8	9,41	0,60	0,917	0,886
140	2,45	1,98	8,13	15,06	20,1	22,48	0,70	0,870	0,826
160	3,60	3,96	12,2	31,41	31,2	47,94	0,80	0,817	0,764
180	4,79	7,43	14,8	60,21	42,2	93,75	0,90	0,760	0,701
200	6,98	12,99	21,0	108,0	59,3	171,1	1,00	0,700	0,639
220	9,07	22,67	28,5	193,3	76,6	295,4	1,10	0,639	0,580
240	12,9	37,39	41,6	328,5	103	486,9	1,20	0,579	0,525
260	-	-	52,4	516,4	124	753,7	1,30	0,473	0,475
270	15,9	70,58	-	-	-	-	1,40	0,473	0,429
280	-	-	62,1	785,4	144	1130	1,50	0,427	0,389
300	20,1	125,9	85,2	1200	185	1688	1,60	0,387	0,353
320	-	-	108	1512	225	2069	1,70	0,346	0,322
330	28,1	199,1	-	-	-	-	1,80	0,309	0,294
340	-	-	127	1824	257	2454	1,90	0,277	0,269
360	37,3	313,6	149	2177	292	2883	2,00	0,250	0,247
400	51,1	490,0	189	2942	356	3817	2,10	0,227	0,227
450	66,9	791,0	244	4148	440	5258	2,20	0,207	0,207
500	89,3	1249	309	5643	538	7018	2,30	0,189	0,189
550	123	1884	352	7189	600	8856	2,40	0,174	0,174
600	165	2846	398	8978	667	10970	2,50	0,160	0,160
650	-	-	448	11030	739	13360			
700	-	-	514	13350	831	16060			
800	-	-	597	18290	946	21840			
900	-	-	737	24960	1137	29460			
1000	-	-	822	32070	1254	37640			

### Momenttikuvio $C_1$ , korjauskerroin $k_c$ ja taipumakerroin $\alpha$ 1-aukkoiselle palkille

Momenttikuvio	$C_1$	$k_c = 1/\sqrt{C_1}$	$\alpha$
 M	1,00	1,00	17,9
 M	1,12	0,94	14,9
 M	1,35	0,86	11,9
 M $\psi * M$ $-1 \leq \psi \leq 1$	$1,77 - 0,77 * \psi$	$1 / (1,33 - 0,33 * \psi)$	$f_{keski} = 8,93$
 M	1,35	0,86	-

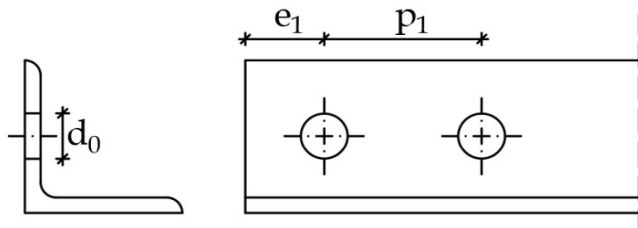
## 7 Vetokestävyys

Mitoitusehto:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0$$

Brutto poikkileikkaus:  $N_{t,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}}$       Kulmalevy:  $N_{t,Rd} = \frac{\beta * A_{net} * f_u}{\gamma_{M2}}$

Reiällinen netto poikkileikkaus:  $N_{t,Rd} = \frac{0,9 * A_{net} * f_u}{\gamma_{M2}}$       missä:  $\gamma_{M2} = 1,25$



Reikäväli	$p_1 \leq 2,5 d_0$	$p_1 \leq 5 d_0$
2 ruuvia: $\beta$	0,4	0,7
3 ruuvia: $\beta$	0,5	0,7

## 8 Ruuviliitokset

Ruuvien myötörajan ja vetomurtolujuuden nimellisarvot

Ruuvin lujuusluokka	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9
$f_{yb}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	240	320	300	400	480	640	900
$f_{ub}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	400	400	500	500	600	800	1000

### 8.1 Leikkaus- ja reunapuristusmitoitus

Lujuusluokan 4.6 - 10.9 ruuveille

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \leq 1 \quad \text{ja} \quad \frac{F_{v,Ed}}{F_{b,Rd}} \leq 1$$

$F_{v,Ed}$  Leikkausvoiman suunnitteluarvo  
 $F_{v,Rd}$  Leikkauskestävyyden mitoitusarvo  
 $F_{b,Rd}$  Reunapuristuskestävyyden mitoitusarvo

### 8.2 Vetokestävyysmitoitus

$$\frac{F_{t,Ed}}{F_{t,Rd}} \leq 1 \quad \text{ja} \quad \frac{F_{t,Ed}}{B_{p,Rd}} \leq 1$$

$F_{t,Ed}$  Vetovoiman suunnitteluarvo  
 $F_{t,Rd}$  Vetokestävyyden mitoitusarvo  
 $B_{p,Rd}$  Läpileikkautumiskestävyyden mitoitusarvo

### 8.3 Yhdistetty veto- ja leikkausmitoitus

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 * F_{t,Rd}} \leq 1$$

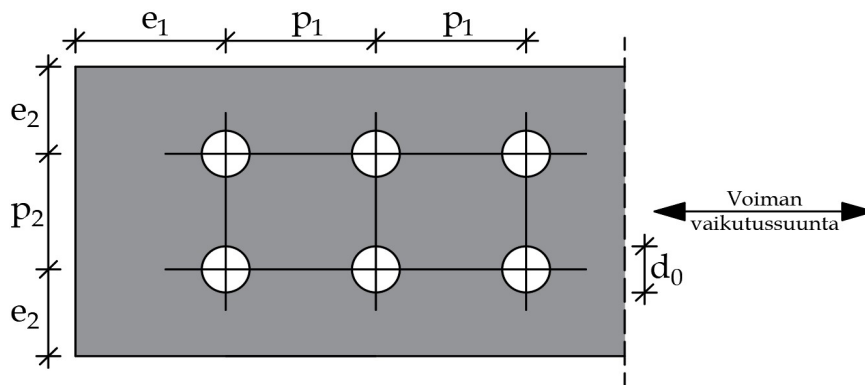
### 8.4 Nimellishalkaisijat

Ruuvien tai niveltapin nimellishalkaisija	M12 - M14	M16 - M24	M27 ->
Normaalit pyöreät reiät	1 mm	2 mm	3 mm

## 8.5 Reuna- ja keskiöetäisyydet

Etäisyydet ja sijoittelu	Minimi	Maksimi	
		Rakenteet valmistettu EN 10025 mukaisesta teräksestä lukuun ottamatta terästä EN 10025-5	Rakenteet valmistettu EN 10025-5 mukaisesta teräksestä
		Terästä ei suojattu	
Etäisyys liitettävän levyn päästä $e_1$	$1,2 * d_0$	$4 * t + 40 \text{ mm}$	max: $\begin{cases} 8 * t \\ 125 \text{ mm} \end{cases}$
Etäisyys liitettävän levyn reunasta $e_2$	$1,2 * d_0$	$4 * t + 40 \text{ mm}$	max: $\begin{cases} 8 * t \\ 125 \text{ mm} \end{cases}$
Keskiöetäisyys $p_1$	min: $\begin{cases} 14 * t \\ 200 \text{ mm} \end{cases}$	min: $\begin{cases} 14 * t \\ 200 \text{ mm} \end{cases}$	min: $\begin{cases} 14 * t \\ 175 \text{ mm} \end{cases}$
Keskiöetäisyys $p_2$	min: $\begin{cases} 14 * t \\ 200 \text{ mm} \end{cases}$	min: $\begin{cases} 14 * t \\ 200 \text{ mm} \end{cases}$	min: $\begin{cases} 14 * t \\ 175 \text{ mm} \end{cases}$

$t$  on ohuimman uloimman liitettävän levyn paksuus



## 8.6 Leikkauskestävyys

Leikkauskestävyys  $F_{v,Rd}$  yhtä ruuvia kohden [kN]

Leikkausliitoksen sijainti	Lujuusluokka	Ruuvin koko							
		M12	M16	M20	M22	M24	M27	M30	M36
Ruuvin kierteettömällä osalla	4.6	21,71	38,60	60,32	72,99	86,86	109,9	135,7	195,4
	4.8	18,10	32,17	50,27	60,82	72,38	91,61	113,1	162,9
	5.6	27,14	48,25	75,40	91,23	108,6	137,4	169,6	244,3
	5.8	22,62	40,21	62,83	76,03	90,48	114,5	141,4	203,6
	6.8	27,14	48,25	75,40	91,23	108,6	137,4	169,6	244,3
	8.8	43,43	77,21	120,6	146,0	173,7	219,9	271,4	390,9
	10.9	45,24	80,42	125,7	152,1	181,0	229,0	282,7	407,2
Ruuvin kierteisellä osalla	4.6	16,17	30,06	46,98	58,23	67,65	88,17	107,6	156,7
	4.8	13,47	25,05	39,15	48,52	56,37	73,47	89,7	130,6
	5.6	20,21	37,58	58,72	72,78	84,56	110,2	134,5	195,9
	5.8	16,84	31,32	48,93	60,65	70,46	91,84	112,1	163,3
	6.8	20,21	37,58	58,72	72,78	84,56	110,21	134,5	195,9
	8.8	32,34	60,13	93,95	116,45	135,29	176,3	215,2	313,5
	10.9	33,69	62,64	97,87	121,30	140,93	183,68	224,1	326,5

## 8.7 Reunapuristuskestävyys

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 * \alpha_b * f_u * d * t}{\gamma_{M2}}$$

missä:  $\alpha_b$  on pienin arvoista:  $\alpha_d$ ;  $f_{ub}/f_u$ ; 1,0

voiman suunnassa:

- päätyruuveille: 
$$\alpha_d = \frac{e_1}{3 * d_0}$$

- sisäruuveille: 
$$\alpha_d = \frac{p_1}{3 * d_0} - 0,25$$

kohtisuoraan voimaa vastaan:

- päätyruuveille:  $k_1 = \min [ 2,8 * e_2 / d_0 - 1,7 ; 2,5 ]$

- muille ruuveille:  $k_1 = \min [ 1,4 * p_2 / d_0 - 1,7 ; 2,5 ]$

## 8.8 Vetokestävyys

Vetokestävyys  $F_{t,Rd}$  yhtä ruuvia kohden [kN]

Ruuvityyppi	Lujuusluokka	Ruuvin koko							
		M12	M16	M20	M22	M24	M27	M30	M36
Uppokantaiset ruuvit	4.6	16,98	31,57	49,33	61,14	71,03	92,57	113,0	164,6
	4.8								
	5.6	21,22	39,46	61,66	76,42	88,79	115,7	141,2	205,7
	5.8								
	6.8	25,47	47,35	73,99	91,71	106,5	138,9	169,4	246,9
	8.8	33,96	63,14	98,65	122,3	142,1	185,1	225,9	329,2
	10.9	42,44	78,92	123,3	152,8	177,6	231,4	282,4	411,4
Muut ruuvit	4.6	24,25	45,10	70,46	87,34	101,5	132,2	161,4	235,1
	4.8								
	5.6	30,32	56,37	88,08	109,2	126,8	165,3	201,7	293,9
	5.8								
	6.8	36,38	67,65	105,7	131,0	152,2	198,4	242,1	352,7
	8.8	48,51	90,19	140,9	174,7	202,9	264,5	322,7	470,2
	10.9	60,63	112,7	176,2	218,3	253,7	330,6	403,4	587,8

## 8.9 Läpileikkaustumiskestävyys

Läpileikkautumiskestävyys  $B_{p,Rd}$  yhtä ruuvia kohden [kN] kun levyn paksuus  $t_p = 10$  mm

Ruuvityyppi	Teräslaji	Ruuvin koko							
		M12	M16	M20	M22	M24	M27	M30	M36
Kuusioruuvi DIN 7990 ja DIN 7968	S 235	103	136	171	194	205	234	263	314
	S 275	123	163	204	231	245	280	314	375
	S 355	140	185	233	263	279	319	358	428
Teräsrakeneruuvi DIN EN 14399-4 ja -8	S 235	125	154	182	205	234	263	286	343
	S 275	149	183	217	245	280	314	342	410
	S 355	170	209	248	279	319	358	389	467

Läpileikkautumiskestävyysmitoitus:  $B_{p,Rd} = 0,6 * \pi * d_m * t_p * f_u / \gamma_{M2}$

missä:  $d_m$  = pienin seuraavista arvoista: ruuvin kannan etäisimpien pisteiden ja avainvälin keskiarvo tai mutterin etäisimpien pisteiden ja avainvälin keskiarvo

$t_p$  = ruuvin tai mutterin alla olevan levyn paksuus



## 9 Hitsiliitos

### Pienahitsin kantokyky

Pienahitsin kantokyky on rinnastettava liitettävien teräksien heikomman lujuusluokan mukaisesti.

### Yksinkertaistettu menetelmä pienahitsin mitoitukseen

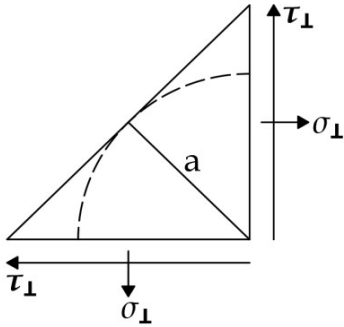
Teräslaji	$f_{vw,d}$ [kN/cm <sup>2</sup> ]
S 235	20,8
S 275	23,4
S 355	25,1

$$\text{Mitoitusehto: } \sigma_{w,Ed} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2} \leq f_{vw,d}$$

$$\text{Hitsin leikkauslujuuden mitoitusarvo: } f_{vw,d} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w * Y_{M2}}$$

joissa:

- $\sigma_{\perp}$  on laskentapintaa vastaan kohtisuora normaalijännitys
- $\tau_{\perp}$  on hitsin akselia vastaan kohtisuora leikkausjännitys
- $\tau_{\parallel}$  on hitsin akselin suuntainen leikkausjännitys
- $f_u$  on heikomman liitettävän osan vetomurtolujuuden nimellisarvo
- $\beta_w$  on alla olevan taulukon mukainen korrelaatiokerroin



Teräslaji	$\beta_w$
S235, S235 H, S235 W	0,8
S275, S275 H, S275 N/NL, S275 M/ML, S275 NH/NLH, S275 MH/MLH	0,85
S355, S355 H, S355 W, S355 N/NL, S355 M/ML, S355 NH/NLH, S355 MH/MLH	0,9
S420 N/NL, S420 M/ML, S420 MH/MLH	1,0
S460 N/NL, S460M/ML, S460 Q/QL/QL1, S460 NH/NLH, S460 MH/MLH	1,0

Hitsaussauman paksuuden raja-arvoja:

- $t \geq 4 \text{ mm}$  :  $a \geq 3 \text{ mm}$
- $t \geq 30 \text{ mm}$  :  $a \geq 5 \text{ mm}$

Efektiveisen a-mitan vähimmäisarvo:

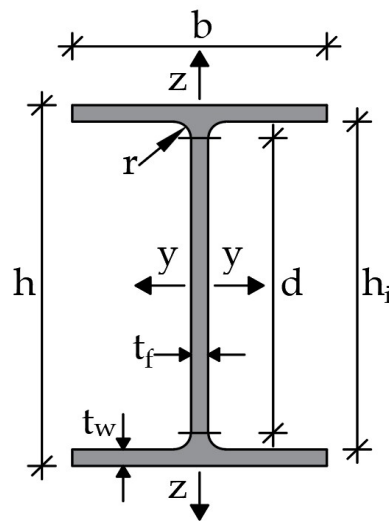
$$\min a \geq (\max t)^{0,5} - 0,5$$

Hitsin pituuden  $L_j$  ylittäessä mitan  $150a$  on hitsin kestävyuden mitoitusarvoa pienennettävä kertoimella  $\beta_{Lw}$

$$\beta_{Lw,1} = 1,2 - 0,2 * (L_j / 150a) \leq 1,0$$

## 10 Poikkileikkausarvot

- h** Profiilin korkeus
- $h_i$**  Laippojen välinen korkeus
- b** Profiilin leveys
- d** Uuman korkeus
- $t_w$**  Uuman paksuus
- $t_f$**  Laipan paksuus
- r** Pyöristys
- A** Poikkileikkauksen pinta-ala
- $A_v$**  Vaipan pinta-ala
- M** Massa per metri
- I** Jäyhyysmomentti
- i** Jäyhyyssäde
- W** Taivutusvastus



## 10.1 IPE -profiilin poikkileikkausarvot

Teräslaji: SFS-EN 10025 DIN 17100  
Toleranssi: SFS-EN 10034 DIN 1025/5

IPE	h	h <sub>i</sub>	d	b	t <sub>w</sub>	t <sub>f</sub>	r	A	M	A <sub>v</sub>	I <sub>y</sub>	W <sub>y</sub>	i <sub>y</sub>	I <sub>z</sub>	W <sub>z</sub>	i <sub>z</sub>
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[cm <sup>2</sup> ]	[kg/m]	[m <sup>2</sup> /m]	[cm <sup>4</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]	[cm]	[cm <sup>4</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]	[cm]
80	80	69,6	59,6	46	3,8	5,2	5	7,64	6	0,328	80,14	20,03	3,24	8,49	3,69	1,05
100	100	88,6	74,6	55	4,1	5,7	7	10,32	8,1	0,4	171	34,2	4,07	15,92	5,79	1,24
120	120	107,4	93,4	64	4,4	6,3	7	13,21	10,4	0,475	317,8	52,96	4,9	27,67	8,65	1,45
140	140	126,2	112,2	73	4,7	6,9	7	16,43	12,9	0,551	541,2	77,32	5,74	44,92	12,31	1,65
160	160	145,2	127,2	82	5	7,4	9	20,09	15,8	0,623	869,3	108,7	6,58	68,31	16,66	1,84
180	180	164	146	91	5,3	8	9	23,95	18,8	0,698	1317	146,3	7,42	100,9	22,16	2,05
200	200	183	159	100	5,6	8,5	12	28,48	22,4	0,768	1943	194,3	8,26	142,4	28,47	2,24
220	220	201,6	177,6	110	5,9	9,2	12	33,37	26,2	0,848	2772	252	9,11	204,9	37,25	2,48
240	240	220,4	190,4	120	6,2	9,8	15	39,12	30,7	0,922	3892	324,3	9,97	283,6	47,27	2,69
270	270	249,6	219,6	135	6,6	10,2	15	45,94	36,1	1,041	5790	428,9	11,23	419,9	62,2	3,02
300	300	278,6	248,6	150	7,1	10,7	15	53,81	42,2	1,16	8356	557,1	12,46	603,8	80,5	3,35
330	330	307	271	160	7,5	11,5	18	62,61	49,1	1,254	11770	713,1	13,71	788,1	98,52	3,55
360	360	334,6	298,6	170	8	12,7	18	72,73	57,1	1,353	16270	903,6	14,95	1043	122,8	3,79
400	400	373	331	180	8,6	13,5	21	84,46	66,3	1,467	23130	1156	16,55	1318	146,4	3,95
450	450	420,8	378,8	190	9,4	14,6	21	98,82	77,6	1,605	33740	1500	18,48	1676	176,4	4,12
500	500	468	426	200	10,2	16	21	115,5	90,7	1,744	48200	1928	20,43	2142	214,2	4,31
550	550	515,6	467,6	210	11,1	17,2	24	134,4	106	1,877	67120	2441	22,35	2668	254,1	4,45
600	600	562	514	220	12	19	24	156	122	2,015	92080	3069	24,3	3387	307,9	4,66

## 10.2 HEA -profiilin poikkileikkausarvot

Teräslaji: SFS-EN 10025 DIN 17100  
Toleranssi: SFS-EN 10034 DIN 1025/3

HEA	h	h <sub>i</sub>	d	b	t <sub>w</sub>	t <sub>f</sub>	r	A	M	A <sub>v</sub>	I <sub>y</sub>	W <sub>y</sub>	i <sub>y</sub>	I <sub>z</sub>	W <sub>z</sub>	i <sub>z</sub>
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[cm <sup>2</sup> ]	[kg/m]	[m <sup>2</sup> /m]	[cm <sup>4</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]	[cm]	[cm <sup>4</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]	[cm]
100	96	80	56	100	5	8	12	21,24	16,7	0,561	349,2	72,8	4,06	133,8	26,76	2,51
120	114	98	74	120	5	8	12	25,34	19,9	0,677	606,2	106,3	4,89	230,9	38,48	3,02
140	133	116	92	140	5,5	8,5	12	31,42	24,7	0,794	1033	155,4	5,73	389,3	55,62	3,52
160	152	134	104	160	6	9	15	38,77	30,4	0,906	1673	220,1	6,57	615,6	76,95	3,98
180	171	152	122	180	6	9,5	15	45,25	35,5	1,024	2510	293,6	7,45	924,6	102,7	4,52
200	190	170	134	200	6,5	10	18	53,83	42,3	1,136	3692	388,6	8,28	1336	133,6	4,98
220	210	188	152	220	7	11	18	64,34	50,5	1,255	5410	515,2	9,17	1955	177,7	5,51
240	230	206	164	240	7,5	12	21	76,84	60,3	1,369	7763	675,1	10,05	2769	230,7	6
260	250	225	177	260	7,5	12,5	24	86,82	68,2	1,484	10450	836,4	10,97	3668	282,1	6,5
280	270	244	196	280	8	13	24	97,26	76,4	1,603	13670	1013	11,86	4763	340,2	7
300	290	262	208	300	8,5	14	27	112,5	88,3	1,717	18260	1260	12,74	6310	420,6	7,49
320	310	279	225	300	9	15,5	27	124,4	97,6	1,756	22930	1479	13,58	6985	465,7	7,49
340	330	297	243	300	9,5	16,5	27	133,5	105	1,795	27690	1678	14,4	7436	495,7	7,49
360	350	314	261	300	10	17,5	27	142,8	112	1,834	33090	1891	15,22	7887	525,8	7,43
400	390	352	298	300	11	19	27	159	125	1,912	45070	2311	16,84	8564	570,9	7,34
450	440	398	344	300	11,5	21	27	178	140	2,011	63720	2896	18,92	9465	631	7,29
500	490	444	390	300	12	23	27	197,5	155	2,11	86970	3550	20,98	10370	691,1	7,24
550	540	492	438	300	12,5	24	27	211,8	166	2,209	111900	4146	22,99	10820	721,3	7,15
600	590	540	486	300	13	25	27	226,5	178	2,308	141200	4787	24,97	11270	751,4	7,05

### 10.3 HEB -profiilin poikkileikkausarvot

Teräslaji: SFS-EN 10025 DIN 17100  
 Toleranssi: SFS-EN 10034 DIN 1025/2

HEB	h	h <sub>i</sub>	d	b	t <sub>w</sub>	t <sub>f</sub>	r	A	M	A <sub>v</sub>	I <sub>y</sub>	W <sub>y</sub>	i <sub>y</sub>	I <sub>z</sub>	W <sub>z</sub>	i <sub>z</sub>
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[cm <sup>2</sup> ]	[kg/m]	[m <sup>2</sup> /m]	[cm <sup>4</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]	[cm]	[cm <sup>4</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]	[cm]
100	100	80	56	100	6	10	12	26,04	20,4	0,567	449,5	89,91	4,16	167,3	33,45	2,53
120	120	98	74	120	6,5	11	12	34,01	26,7	0,686	864,4	144,1	5,04	317,5	52,92	3,06
140	140	116	92	140	7	12	12	42,96	33,7	0,805	1509	215,6	5,93	549,7	78,52	3,58
160	160	134	104	160	8	13	15	54,25	42,6	0,918	2492	311,5	6,78	889,2	111,2	4,05
180	180	152	122	180	8,5	14	15	65,25	51,2	1,037	3831	425,7	7,66	1363	151,4	4,57
200	200	170	134	200	9	15	18	78,08	61,3	1,151	5696	569,6	8,54	2003	200,3	5,07
220	220	188	152	220	9,5	16	18	91,04	71,5	1,27	8091	735,5	9,43	2843	258,5	5,59
240	240	206	164	240	10	17	21	106	83,2	1,384	11260	938,3	10,31	3923	326,9	6,08
260	260	225	177	260	10	17,5	24	118,4	93	1,499	14920	1148	11,22	5135	395	6,58
280	280	244	196	280	10,5	18	24	131,4	103	1,618	19270	1376	12,11	6595	471	7,09
300	300	262	208	300	11	19	27	149,1	117	1,732	25170	1678	12,99	8563	570,9	7,58
320	320	279	225	300	11,5	20,5	27	161,3	127	1,771	30820	1926	13,82	9239	615,9	7,57
340	340	297	243	300	12	21,5	27	170,9	134	1,81	36660	2156	14,65	9690	646	7,53
360	360	314	261	300	12,5	22,5	27	180,6	142	1,849	43190	2400	15,46	10140	676,1	7,49
400	400	352	298	300	13,5	24	27	197,8	155	1,927	57680	2884	17,08	10820	721,3	7,4
450	450	398	344	300	14	26	27	218	171	2,026	79890	3551	19,14	11720	781,4	7,33
500	500	444	390	300	14,5	28	27	238,6	187	2,125	107200	4287	21,19	12620	841,6	7,27
550	550	492	438	300	15	29	27	254,1	199	2,224	136700	4971	23,2	13080	871,8	7,17
600	600	540	486	300	15,5	30	27	270	212	2,323	171000	5701	25,17	13530	902	7,08

### 10.4 RHS-putkipalkkien poikkileikkausarvot

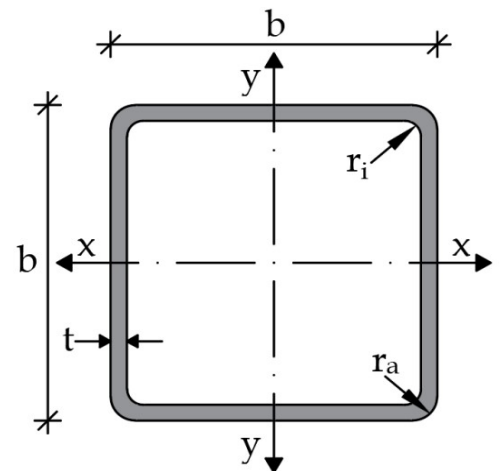
Teräslaatu: EN 10210: 355NH

#### 10.4.1 Neliömäiset putkipalkit

- t Seinämäpaksuus
- M Massa per metri
- A Poikkileikkauksen pinta-ala
- I Jäyhyysmomentti
- i Jäyhyyssäde
- W Taivutusvastus
- S Plastinen taivutusvastus
- I<sub>t</sub> Vääntöjäyhyysmomentti
- W<sub>t</sub> Vääntövastus
- A<sub>v</sub> Ulkopuolinen pinta-ala per metri
- L<sub>1t</sub> Pituus per tonni

- PL puristukselle:
- PL1:  $(b-3t) / t \leq 33\epsilon$
  - PL2:  $(b-3t) / t \leq 38\epsilon$
  - PL3:  $(b-3t) / t \leq 42\epsilon$

- Pyöristys:
- r<sub>i</sub> = 1,0 \* t
  - r<sub>a</sub> = 1,5 \* t



b x b	t	M	A	I	i	W	S	I <sub>t</sub>	W <sub>t</sub>	A <sub>v</sub>	L <sub>1t</sub>
[mm]	[mm]	[kg/m]	[mm <sup>2</sup> ]	[cm <sup>4</sup> ]	[cm]	[cm <sup>3</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]	[cm <sup>4</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m]
40x40	3,0	3,41	434	9,78	1,50	4,89	5,97	15,7	7,10	0,152	293
	3,2	3,61	460	10,2	1,49	5,11	6,28	16,5	7,42	0,152	277
	3,6	4,01	510	11,1	1,47	5,54	6,88	18,1	8,01	0,151	250
	4,0	4,39	559	11,8	1,45	5,91	7,44	19,5	8,54	0,150	228
	5,0	5,28	673	13,4	1,41	6,68	8,66	22,5	9,60	0,147	189

<b>b x b</b>	<b>t</b>	<b>M</b>	<b>A</b>	<b>I</b>	<b>i</b>	<b>W</b>	<b>S</b>	<b>I<sub>t</sub></b>	<b>W<sub>t</sub></b>	<b>A<sub>v</sub></b>	<b>L<sub>1t</sub></b>
[mm]	[mm]	[kg/m]	[mm <sup>2</sup> ]	[cm <sup>4</sup> ]	[cm]	[cm <sup>3</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]	[cm <sup>4</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m]
<b>50x50</b>	3,0	4,35	554	20,2	1,91	8,08	9,70	32,1	11,8	0,192	230
	3,2	4,62	588	21,2	1,90	8,49	10,2	33,8	12,4	0,192	217
	3,6	5,14	654	23,2	1,88	9,27	11,3	37,2	13,5	0,191	195
	4,0	5,64	719	25,0	1,86	9,99	12,3	40,4	14,5	0,190	177
	5,0	6,85	873	28,9	1,82	11,6	14,5	47,6	16,7	0,187	146
	6,3	8,31	1060	32,8	1,76	13,1	17,0	55,2	18,8	0,184	120
<b>60x60</b>	3,0	5,29	674	36,2	2,32	12,1	14,3	56,9	17,7	0,232	189
	3,2	5,62	716	38,2	2,31	12,7	15,2	60,2	18,6	0,232	178
	3,6	6,27	798	41,9	2,29	14,0	16,8	66,5	20,4	0,231	160
	4,0	6,90	879	45,4	2,27	15,1	18,3	72,5	22,0	0,230	145
	5,0	8,42	1070	53,3	2,23	17,8	21,9	86,4	25,7	0,227	119
	6,3	10,3	1310	61,6	2,17	20,5	26,0	102	29,6	0,224	97,2
	8,0	12,5	1600	69,7	2,09	23,2	30,4	118	33,4	0,219	79,9
<b>70x70</b>	3,0	6,24	794	59,0	2,73	16,9	19,9	92,2	24,8	0,272	160
	3,2	6,63	844	62,3	2,72	17,8	21,0	97,6	26,1	0,272	151
	3,6	7,40	942	68,6	2,70	19,6	23,3	108	28,7	0,271	135
	4,0	8,15	1040	74,7	2,68	21,3	25,5	118	31,2	0,270	123
	5,0	9,99	1270	88,5	2,64	25,3	30,8	142	36,8	0,267	100
	6,3	12,3	1560	104	2,58	29,7	36,9	169	42,9	0,264	81,5
	8,0	15,0	1920	120	2,50	34,2	43,8	200	49,2	0,259	66,5
<b>80x80</b>	3,0	7,18	914	89,8	3,13	22,5	26,3	140	33,0	0,312	139
	3,2	7,63	972	95	3,13	23,7	27,9	148	34,9	0,312	131
	3,6	8,53	1090	105	3,11	26,2	31,0	164	38,5	0,311	117
	4,0	9,41	1200	114	3,09	28,6	34,0	180	41,9	0,310	106
	5,0	11,6	1470	137	3,05	34,2	41,1	217	49,8	0,307	86,5
	6,3	14,2	1810	162	2,99	40,5	49,7	262	58,7	0,304	70,2
	8,0	17,5	2240	189	2,91	47,3	59,5	312	68,3	0,299	57,0
<b>90x90</b>	3,6	9,66	1230	152	3,52	33,8	39,7	237	49,7	0,351	104
	4,0	10,7	1360	166	3,50	37,0	43,6	260	54,2	0,350	93,7
	5,0	13,1	1670	200	3,45	44,4	53,0	316	64,8	0,347	76,1
	6,3	16,2	2070	238	3,40	53,0	64,3	382	77,0	0,344	61,6
	8,0	20,1	2560	281	3,32	62,6	77,6	459	90,5	0,339	49,9
<b>100x100</b>	3,6	10,8	1370	212	3,92	42,3	49,5	328	62,3	0,391	92,7
	4,0	11,9	1520	232	3,91	46,4	54,4	361	68,2	0,390	83,9
	5,0	14,7	1870	279	3,86	55,9	66,4	439	81,8	0,387	68,0
	6,3	18,2	2320	336	3,80	67,1	80,9	534	97,8	0,384	54,9
	8,0	22,6	2880	400	3,73	79,9	98,2	646	116	0,379	44,3
	10,0	27,4	3490	462	3,64	92,4	116	761	133	0,374	36,5
<b>120x120</b>	4,00	14,4	1840	410	4,72	68,4	79,7	635	101	0,470	69,3
	5,00	17,8	2270	498	4,68	83,0	97,6	777	122	0,467	56,0
	6,30	22,2	2820	603	4,62	100	120	950	147	0,464	45,1
	8,00	27,6	3520	726	4,55	121	146	1160	176	0,459	36,2
	10,00	33,7	4290	852	4,46	142	175	1382	206	0,454	29,7
	12,50	40,9	5210	982	4,34	164	207	1623	236	0,448	24,5
<b>140x140</b>	5,00	21,0	2670	807	5,50	115	135	1253	170	0,547	47,7
	6,30	26,1	3330	984	5,44	141	166	1540	206	0,544	38,3
	8,00	32,6	4160	1195	5,36	171	204	1892	249	0,539	30,7
	10,00	40,0	5090	1416	5,27	202	246	2272	294	0,534	25,0
	12,50	48,7	6210	1653	5,16	236	293	2696	342	0,528	20,5

<b>b x b</b>	<b>t</b>	<b>M</b>	<b>A</b>	<b>I</b>	<b>i</b>	<b>W</b>	<b>S</b>	<b>I<sub>t</sub></b>	<b>W<sub>t</sub></b>	<b>A<sub>v</sub></b>	<b>L<sub>1t</sub></b>
[mm]	[mm]	[kg/m]	[mm <sup>2</sup> ]	[cm <sup>4</sup> ]	[cm]	[cm <sup>3</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]	[cm <sup>4</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m]
<b>150x150</b>	5,00	22,6	2870	1002	5,90	134	156	1550	197	0,587	44,3
	6,30	28,1	3580	1223	5,85	163	192	1909	240	0,584	35,6
	8,00	35,1	4480	1491	5,77	199	237	2351	291	0,579	28,5
	10,00	43,1	5490	1773	5,68	236	286	2832	344	0,574	23,2
	12,50	52,7	6710	2080	5,57	277	342	3375	402	0,568	19,0
<b>160x160</b>	5,0	24,1	3070	1225	6,31	153	178	1892	226	0,627	41,5
	6,3	30,1	3830	1499	6,26	187	220	2333	275	0,624	33,3
	8,0	37,6	4800	1831	6,18	229	272	2880	335	0,619	26,6
	10,0	46,3	5890	2186	6,09	273	329	3478	398	0,614	21,6
	12,5	56,6	7210	2576	5,98	322	395	4158	467	0,608	17,7
	16,0	70,2	8940	3028	5,82	379	476	4988	546	0,599	14,2
<b>180x180</b>	5,0	27,3	3470	1765	7,13	196	227	2718	290	0,707	36,7
	6,3	34,0	4330	2168	7,07	241	281	3361	355	0,704	29,4
	8,0	42,7	5440	2661	7,00	296	349	4162	434	0,699	23,4
	10,0	52,5	6690	3193	6,91	355	424	5048	518	0,694	19,0
	12,5	64,4	8210	3790	6,80	421	511	6070	613	0,688	15,5
	16,0	80,2	10200	4504	6,64	500	621	7343	724	0,679	12,5
<b>200x200</b>	5,0	30,4	3870	2445	7,95	245	283	3756	362	0,787	32,9
	6,3	38,0	4840	3011	7,89	301	350	4653	444	0,784	26,3
	8,0	47,7	6080	3709	7,81	371	436	5778	545	0,779	21,0
	10,0	58,8	7490	4471	7,72	447	531	7031	655	0,774	17,0
	12,5	72,3	9210	5336	7,61	534	643	8491	778	0,768	13,8
	16,0	90,3	11500	6394	7,46	639	785	10340	927	0,759	11,1
<b>250x250</b>	5,0	38,3	4870	4861	9,99	389	447	7430	577	0,987	26,1
	6,3	47,9	6100	6014	9,93	481	556	9238	712	0,984	20,9
	8,0	60,3	7680	7455	9,86	596	694	11525	880	0,979	16,6
	10,0	74,5	9490	9055	9,77	724	851	14106	1065	0,974	13,4
	12,5	91,9	11700	10915	9,66	873	1037	17164	1279	0,968	10,9
	16,0	115,0	14700	13267	9,50	1061	1280	21138	1546	0,959	8,67
<b>300x300</b>	6,3	57,8	7360	10547	12,0	703	809	16136	1043	1,18	17,3
	8,0	72,8	9280	13128	11,9	875	1013	20194	1294	1,18	13,7
	10,0	90,2	11500	16026	11,8	1068	1246	24807	1575	1,17	11,1
	12,5	112,0	14200	19442	11,7	1296	1525	30333	1904	1,17	8,97
	16,0	141,0	17900	23850	11,5	1590	1895	37622	2325	1,16	7,12
<b>350x350</b>	8,0	85,4	10900	21129	13,9	1207	1392	32384	1789	1,38	11,7
	10,0	106,0	13500	25884	13,9	1479	1715	39886	2185	1,37	9,44
	12,5	131,0	16700	31541	13,7	1802	2107	48934	2654	1,37	7,62
	16,0	166,0	21100	38942	13,6	2225	2630	60990	3264	1,36	6,04
<b>400x400</b>	8,0	97,9	12500	31857	16,0	1593	1830	48695	2363	1,58	10,2
	10,0	122,0	15500	39128	15,9	1956	2260	60092	2895	1,57	8,22
	12,5	151,0	19200	47839	15,8	2392	2782	73906	3530	1,57	6,63
	16,0	191,0	24300	59344	15,6	2967	3484	92442	4362	1,56	5,24

## 10.4.2 Pyöreät putkipalkit

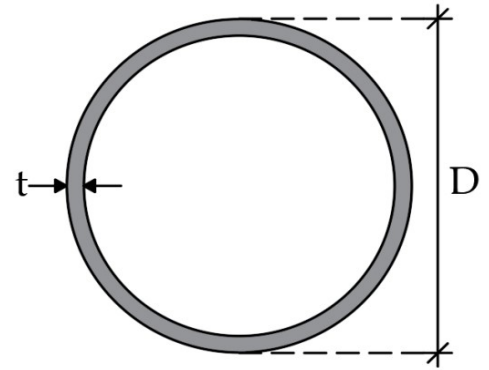
<b>t</b>	Seinämäpaksuus
<b>M</b>	Massa per metri
<b>A</b>	Poikkileikkauksen pinta-ala
<b>I</b>	Jäyhyysmomentti
<b>i</b>	Jäyhyyssäde
<b>W</b>	Taivutusvastus
<b>S</b>	Plastinen taivutusvastus
<b>I<sub>t</sub></b>	Vääntöjäyhyysmomentti
<b>W<sub>t</sub></b>	Vääntövastus
<b>A<sub>v</sub></b>	Ulkopuolinen pinta-ala per metri
<b>L<sub>1t</sub></b>	Pituus per tonni

PL puristukselle ja/taivutukselle:

PL1:  $D/t \leq 50\epsilon^2$

PL2:  $D/t \leq 70\epsilon^2$

PL3:  $D/t \leq 90\epsilon^2$



D	t	M	A	I	i	W	S	I <sub>t</sub>	W <sub>t</sub>	A <sub>v</sub>	L <sub>1t</sub>
[mm]	[mm]	[kg/m]	[mm <sup>2</sup> ]	[cm <sup>4</sup> ]	[cm]	[cm <sup>3</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]	[cm <sup>4</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m]
21,3	2,6	1,20	153	0,681	0,668	0,639	0,915	1,36	1,28	0,067	834
	2,9	1,32	168	0,727	0,659	0,683	0,990	1,45	1,37	0,067	760
	3,2	1,43	182	0,768	0,650	0,722	1,06	1,54	1,44	0,067	700
26,9	2,6	1,56	198	1,48	0,864	1,10	1,54	2,96	2,20	0,085	642
	2,9	1,72	219	1,60	0,855	1,19	1,68	3,19	2,38	0,085	583
	3,2	1,87	238	1,70	0,850	1,27	1,81	3,41	2,53	0,085	535
33,7	2,6	1,99	254	3,09	1,103	1,84	2,52	6,19	3,67	0,106	415
	2,9	2,20	281	3,36	1,090	1,99	2,76	6,71	3,98	0,106	454
	3,2	2,41	307	3,60	1,084	2,14	2,99	7,21	4,28	0,106	341
	3,6	2,67	340	3,91	1,070	2,32	3,28	7,82	4,64	0,106	374
	4,0	2,93	373	4,19	1,060	2,49	3,55	8,38	4,97	0,106	341
42,4	2,6	2,55	325	6,46	1,41	3,05	4,12	12,9	6,10	0,133	392
	2,9	2,82	360	7,06	1,40	3,33	4,53	14,1	6,66	0,133	354
	3,2	3,09	394	7,62	1,39	3,59	4,93	15,2	7,19	0,133	323
	3,6	3,44	439	8,33	1,38	3,93	5,44	16,7	7,86	0,133	290
	4,0	3,79	483	8,99	1,36	4,24	5,92	18,0	8,48	0,133	264
	5,0	4,61	587	10,5	1,33	4,93	7,04	20,9	9,86	0,133	217
48,3	2,9	3,25	414	10,7	1,61	4,43	5,99	21,4	8,86	0,152	308
	3,2	3,56	453	11,6	1,60	4,80	6,52	23,2	9,59	0,152	281
	3,6	3,97	506	12,7	1,59	5,26	7,21	25,4	10,5	0,152	252
	4,0	4,37	557	13,8	1,57	5,70	7,87	27,5	11,4	0,152	229
	5,0	5,34	680	16,2	1,54	6,69	9,42	32,3	13,4	0,152	187
60,3	2,9	4,11	523	21,6	2,03	7,16	9,56	43,2	14,3	0,189	244
	3,2	4,51	574	23,5	2,02	7,78	10,4	46,9	15,6	0,189	222
	3,6	5,03	641	25,9	2,01	8,58	11,6	51,7	17,2	0,189	199
	4,0	5,55	707	28,2	2,00	9,34	12,7	56,3	18,7	0,189	180
	5,0	6,82	869	33,5	1,96	11,1	15,3	67,0	22,2	0,189	147
76,1	2,9	5,24	667	44,7	2,59	11,8	15,5	89,5	23,5	0,239	191
	3,2	5,75	733	48,8	2,58	12,8	17,0	97,6	25,6	0,239	174
	3,6	6,44	820	54,0	2,57	14,2	18,9	108	28,4	0,239	155
	4,0	7,11	906	59,1	2,55	15,5	20,8	118	31,0	0,239	141
	5,0	8,77	1120	70,9	2,52	18,6	25,3	142	37,3	0,239	114
	6,3	10,8	1380	84,8	2,48	22,3	30,8	170	44,6	0,239	92,2

<b>D</b>	<b>t</b>	<b>M</b>	<b>A</b>	<b>I</b>	<b>i</b>	<b>W</b>	<b>S</b>	<b>I<sub>t</sub></b>	<b>W<sub>t</sub></b>	<b>A<sub>v</sub></b>	<b>L<sub>It</sub></b>
[mm]	[mm]	[kg/m]	[mm <sup>2</sup> ]	[cm <sup>4</sup> ]	[cm]	[cm <sup>3</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]	[cm <sup>4</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m]
<b>88,9</b>	2,9	6,15	784	72,5	3,04	16,3	21,5	145	32,6	0,279	163
	3,2	6,76	862	79,2	3,03	17,8	23,5	158	35,6	0,279	148
	3,6	7,57	965	87,9	3,02	19,8	26,2	176	39,5	0,279	132
	4,0	8,38	1070	96,3	3,00	21,7	28,9	193	43,3	0,279	119
	5,0	10,3	1320	116	2,97	26,2	35,2	233	52,4	0,279	96,7
	6,3	12,8	1630	140	2,93	31,5	43,1	280	63,1	0,279	77,9
<b>114,3</b>	3,2	8,77	1120	172	3,93	30,2	39,5	345	60,4	0,359	114
	3,6	9,83	1250	192	3,92	33,6	44,1	384	67,2	0,359	102
	4,0	10,09	1390	211	3,90	36,9	48,7	422	73,9	0,359	91,9
	5,0	13,5	1720	257	3,87	45,0	59,8	514	89,9	0,359	74,2
	6,3	16,8	2140	313	3,82	54,7	73,6	625	109	0,359	59,6
<b>139,7</b>	3,2	10,8	1370	320	4,83	45,8	59,6	640	91,6	0,439	92,8
	3,6	12,1	1540	357	4,81	51,1	66,7	713	102	0,439	82,8
	4,0	13,4	1710	393	4,80	56,2	73,7	786	112	0,439	74,7
	5,0	16,6	2120	481	4,77	68,8	90,8	961	138	0,439	60,2
	6,3	20,7	2640	589	4,72	84,3	112	1177	169	0,439	48,2
	8,0	26,0	3310	720	4,66	103	139	1441	206	0,439	38,5
	10,0	32,0	4070	862	4,60	123	169	1724	247	0,439	31,3
<b>168,3</b>	5,0	20,1	2570	856	5,78	102	133	1712	203	0,529	49,7
	6,3	25,2	3210	1053	5,73	125	165	2107	250	0,529	39,7
	8,0	31,6	4030	1297	5,67	154	206	2595	308	0,529	31,6
	10,0	39,0	4970	1564	5,61	186	251	3128	372	0,529	25,6
	12,5	48,0	6120	1868	5,53	222	304	3737	444	0,529	20,8
<b>193,7</b>	5,0	23,3	2960	1320	6,67	136	178	2640	273	0,609	43,0
	6,3	29,1	3710	1630	6,63	168	221	3260	337	0,609	34,3
	8,0	36,6	4670	2016	6,57	208	276	4031	416	0,609	27,3
	10,0	45,3	5770	2442	6,50	252	338	4883	504	0,609	22,1
	12,5	55,9	7120	2934	6,42	303	411	5869	606	0,609	17,9
	16,0	80,1	10200	5297	7,20	483	661	10593	967	0,688	12,5
<b>219,1</b>	5,0	26,4	3360	1928	7,57	176	229	3856	352	0,688	37,9
	6,3	33,1	4210	2386	7,53	218	285	4772	436	0,688	30,2
	8,0	41,6	5310	2960	7,47	270	357	5919	540	0,688	24,0
	10,0	51,6	6570	3598	7,40	328	438	7197	657	0,688	19,4
	12,5	63,7	8110	4345	7,32	397	534	8689	793	0,688	15,7
	16,0	80,1	10200	5297	7,20	483	661	10593	967	0,688	12,5
<b>244,5</b>	5,0	29,5	3760	2699	8,47	221	287	5397	441	0,768	33,9
	6,3	37,0	4710	3346	8,42	274	358	6692	547	0,768	27,0
	8,0	46,7	5940	4160	8,37	340	448	8321	681	0,768	21,4
	10,0	57,8	7370	5073	8,30	415	550	10146	830	0,768	17,3
	12,5	71,5	9110	6147	8,21	503	673	12295	1006	0,768	14,0
	16,0	90,2	11500	7533	8,10	616	837	15066	1232	0,768	11,1
<b>273,0</b>	5,0	33,0	4210	3781	9,48	277	359	7562	554	0,858	30,3
	6,3	41,4	5280	4696	9,43	344	448	9392	688	0,858	24,1
	8,0	52,3	6660	5852	9,37	429	562	11703	857	0,858	19,1
	10,0	64,9	8260	7154	9,31	524	692	14308	1048	0,858	15,4
	12,5	80,3	10200	8697	9,22	637	849	17395	1274	0,858	12,5
	16,0	101	12900	10707	9,10	784	1058	21414	1569	0,858	9,86

<b>D</b>	<b>t</b>	<b>M</b>	<b>A</b>	<b>I</b>	<b>i</b>	<b>W</b>	<b>S</b>	<b>I<sub>t</sub></b>	<b>W<sub>t</sub></b>	<b>A<sub>v</sub></b>	<b>L<sub>1t</sub></b>
[mm]	[mm]	[kg/m]	[mm <sup>2</sup> ]	[cm <sup>4</sup> ]	[cm]	[cm <sup>3</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]	[cm <sup>4</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m]
<b>323,9</b>	5,0	39,3	5010	6369	11,3	393	509	12739	787	1,02	25,4
	6,3	49,3	6290	7929	11,2	490	636	15858	979	1,02	20,3
	8,0	62,3	7940	9910	11,2	612	799	19820	1224	1,02	16,0
	10,0	77,4	9860	12158	11,1	751	986	24317	1501	1,02	12,9
	12,5	96,0	12200	14847	11,0	917	1213	29693	1833	1,02	10,2
	16,0	121	15500	18390	10,9	1136	1518	36780	2271	1,02	8,23
<b>355,6</b>	6,3	54,3	6910	10547	12,4	593	769	21094	1186	1,12	18,4
	8,0	68,6	8740	13201	12,3	742	967	26403	1485	1,12	14,6
	10,0	85,2	10900	16223	12,2	912	1195	32447	1825	1,12	11,7
	12,5	106	13500	19852	12,1	1117	1472	39704	2233	1,12	9,45
	16,0	134	17100	24663	12,0	1387	1847	49326	2774	1,12	7,46
<b>406,4</b>	6,3	62,2	7920	15849	14,1	780	1009	31699	1560	1,28	16,1
	8,0	78,6	10000	19874	14,1	978	1270	39748	1956	1,28	12,7
	10,0	97,8	12500	24476	14,0	1205	1572	48952	2409	1,28	10,2
	12,5	121	15500	30031	13,9	1478	1940	60061	2956	1,28	8,24
	16,0	154	19600	37449	13,8	1843	2440	74898	3686	1,28	6,49
<b>457,0</b>	6,3	70,0	8920	22654	15,9	991	1280	45308	1983	1,44	14,3
	8,0	88,6	11300	28446	15,9	1245	1613	56893	2490	1,44	11,3
	10,0	110	14000	35091	15,8	1536	1998	70183	3071	1,44	9,07
	12,5	137	17500	43145	15,7	1888	2470	86290	3776	1,44	7,30
	16,0	174	22200	53959	15,6	2361	3113	107919	4723	1,44	5,75
<b>508,0</b>	6,3	77,9	9930	31246	17,7	1230	1586	62493	2460	1,60	12,8
	8,0	98,6	12600	39280	17,7	1546	2000	78560	3093	1,60	10,1
	10,0	123	15600	48520	17,6	1910	2480	97040	3820	1,60	8,14
	12,5	153	19500	59755	17,5	2353	3070	119511	4705	1,60	6,55
	16,0	194	24700	74909	17,4	2949	3874	149818	5898	1,60	5,15



# Eurokoodi 5:n mukainen puurakenteiden suunnittelu

## Sisältö

### 1 Materiaaliparametrit

- 1.1 Puurakenteiden osavarmuuskertoimet
- 1.2 Muunnoskerroimen  $k_{mod}$  -arvot
- 1.3 Virumaluvun  $k_{def}$  -arvot
- 1.4 Sahatavaran ominaisuudet
- 1.5 Liimapuun ominaisuudet
- 1.6 Kerto-S, Kerto-T ja Kerto-Q LVL:n ominaisuudet
- 1.7 Liittimien korroosionsuoja vaatimukset

### 2 Rakenneosien mitoitus

- 2.1 Yhdistetty taivutus- ja vetorasitus
- 2.2 Yhdistetty taivutus- ja puristusrasitus
- 2.3 Yhdistetty leikkaus- ja vääntörasitus
- 2.4 Vääntörasitus
- 2.5 Sivuttaisvoimasta ja vääntöstä johtuva rasitus

### 3 Kiepahdus- ja nurjahduskestävyys

- 3.1 Taivutetun sauvan kiepahduskestävyys
- 3.2 Puristetun sauvan nurjahduskestävyys
- 3.3 Nurjahduskerroimen  $k_c$  arvoja

### 4 Taipuma

### 5 Värähtelymitoitus

### 6 Puristuskestävyys

- 6.1 Puristus kohtisuoraan syitä vastaan
- 6.2 Puristus vinossa kulmassa syiden suuntaan nähden

### 7 Mekaaniset liitokset

#### 7.1 Naulaliitokset

- 7.1.1 Naulaliitoksen leikkauskestävyyden mitoitusarvo
- 7.1.2 Naulatut puulevyn liitokset
- 7.1.3 Naulatut teräksen ja puun liitokset
- 7.1.4 Pituussuunnassa kuormitetut naulat
- 7.1.5 Yhdistetty leikkausrasitus ja pituussuuntainen kuormitus
- 7.1.6 Sileiden naulojen ulosvetokestävyyden mitoitusarvoja
- 7.1.7 Profiloitujen naulojen ulosvetokestävyyden mitoitusarvoja

#### 7.2 Ruuviliitokset

- 7.2.1 Pituussuunnassa kuormitetut ruuvit

#### 7.3 Pulttiliitokset

- 7.3.1 Pulttiliitoksen leikkauskestävyys
- 7.3.2 Pulttatut puulevyn ja puun liitokset
- 7.3.3 Teräksen ja puun väliset pulttiliitokset
- 7.3.4 Pituussuunnassa kuormitetut pultit

#### 7.4 Liitin etäisyydet

- 7.4.1 Naulojen pienimmät sallittavat etäisyydet
- 7.4.2 Ruuvien ja pulttien pienimmät sallittavat etäisyydet

# 1 Materiaaliparametrit

## 1.1 Puurakenteiden osavarmuuskertoimet

Perusyhdistelmät	$\gamma_M$
Sahatavara ja pyöreä puutavara yleensä	1,3
Liimapuu, CLT	1,25
LVL, vaneri, OSB-levy	1,2
Muu lastulevy, kuitulevyt	1,3
Liitokset	1,3
<b>Onnettomuusyhdistelmät</b>	<b>1,0</b>

\*) Liitoskestävyyden mitoitusarvon laskennassa käytetään suurinta osavarmuuskertoimen  $\gamma_M$  arvoa liitettävistä puutuotteista

## 1.2 Muunnoskerroimen $k_{mod}$ -arvot

Materiaali	Käyttöluokka	Kuorman aikaluokka				
		Pysyvä	Pitkä-aikainen	Keski-pitkä	Lyhyt-aikainen	Hetkel-linen
Sahatavara, Pyöreä puutavara, Liimapuu, LVL, Vaneri, CLT	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
	2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
	3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Lastulevy P4 <sup>1)</sup> , OSB/2 <sup>1)</sup> , kova kuitulevy	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
	2	0,20	0,30	0,45	0,60	0,80
Lastulevy P6 <sup>1)</sup> , OSB/3 ja OSB/4	1	0,40	0,50	0,70	0,90	1,10
	2	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90
Puolikovat kuitulevyt: MBH.LA <sup>1)</sup> , MBH.HLS, MDF.LA <sup>1)</sup> ja MDF.HLS	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
	2	-	-	-	0,45	0,80

<sup>1)</sup> Saa käyttää vain käyttöluokassa 1

## 1.3 Virumaluvun $k_{def}$ -arvot

Materiaali	Standardit	Käyttöluokka		
		1	2	3
Sahatavara, pyöreä puu	EN 14081-1	0,60	0,80	2,00
Liimapuu	EN 14080			
LVL, CLT syrjällään	EN 14374			
Vaneri, Kerto-Q lappeella, CLT lappeellaan	EN 636, VTT 184/03	0,80	1,00	2,50
OSB-levy	EN 300: OSB/2	2,25	-	-
	EN 300: OSB/3, OSB/4	1,50	2,25	-
Lastulevy	EN 312: P4	2,25	-	-
	EN 312: P6	1,50	-	-
Kova kuitulevy	EN 622-2: HB.LA, HB.HLA	2,25	3,00	-
Puolikova kuitulevy	EN 622-3: MBH.LA, MBH.HLS	3,00	4,00	-
MDF-levy	EN 622-5: MDF.LA, MDF.HLS	2,25	3,00	-

## 1.4 Sahatavaran ominaisuudet

Lujuusluokka		C14 (T0)	C18 (T1)	C24 (T2)	C30 (T3)	C35 <sup>1)</sup>	C40 <sup>1)</sup>
<b>Ominaislujuudet [N/mm<sup>2</sup>]</b>		$f_d = k_{mod} * f_k / \gamma_M$					
<b>Taivutus</b>	$f_{m,k}$	14	18	24	30	35	40
<b>Veto</b>	$f_{t,0,k}$	8	10	14,5	19	21	24
	$f_{t,90,k}$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6
<b>Puristus</b>	$f_{c,0,k}$	16	18	21	24	25	26
	$f_{c,90,k}$	2	2,2	2,5	2,7	2,8	2,9
<b>Leikkaus</b>	$f_{v,k}$	1,7	3,4	4,0	4,0	3,4	3,8
<b>Jäykkyysominaisuudet [N/mm<sup>2</sup>]</b>							
<b>Kimmomoduuli</b>	$E_{0,mean}$	7000	9000	11000	12000	13000	14000
	$E_{0,05}$	4700	6000	7400	8000	8700	9400
	$E_{90,mean}$	230	300	370	400	430	470
<b>Liukumoduuli</b>	$G_{mean}$	440	560	690	750	810	880
	$G_{0,05}$	300	380	460	500	540	590
<b>Tiheydet [kg/m<sup>3</sup>]</b>							
<b>Ominaistiheys</b>	$\rho_k$	290	320	350	380	400	420
<b>Tiheyden keskiarvo</b>	$\rho_{mean}$	350	380	420	460	480	500

<sup>1)</sup> C35 tai C40 lujuusluokan sahatavaraa ei ole yleensä saatavilla puutavaraliikkeistä

## 1.5 Liimapuun ominaisuudet

### Yhdistetty liimapuu (GLXXc) EN 14080

Lujuusluokka		GL20c	GL22c	GL24c	GL26c	GL28c	GL30c	GL32c
<b>Ominaislujuudet [N/mm<sup>2</sup>]</b>		$f_d = k_{mod} * f_k / \gamma_M$						
<b>Taivutus</b>	$f_{m,k}$	20	22	24	26	28	30	32
<b>Veto</b>	$f_{t,0,k}$	15	16	17	19	19,5	19,5	19,5
	$f_{t,90,k}$	0,5						
<b>Puristus</b>	$f_{c,0,k}$	18,5	20	21,5	23,5	24	24,5	24,5
	$f_{c,90,k}$	2,5						
<b>Leikkaus</b>	$f_{v,k}$	3,5						
	$f_{r,k}$	1,2						
<b>Jäykkyysominaisuudet [N/mm<sup>2</sup>]</b>								
<b>Kimmomoduuli</b>	$E_{0,mean}$	10400	10400	11000	12000	12500	13000	13500
	$E_{0,05}$	8600	8600	9100	10000	10400	10800	11200
	$E_{90,mean}$	300						
	$E_{90,05}$	250						
<b>Liukumoduuli</b>	$G_{0,mean}$	650						
	$G_{0,05}$	542						
	$G_{90,mean}$	65						
	$G_{90,05}$	54						
<b>Tiheydet [kg/m<sup>3</sup>]</b>								
<b>Ominaistiheys</b>	$\rho_k$	355	355	365	385	390	390	400
<b>Tiheyden keskiarvo</b>	$\rho_{mean}$	390	390	400	420	420	430	440

**Homogeeninen liimapuu (GLXXh) EN 14080**

Lujuusluokka		GL20h	GL22h	GL24h	GL26h	GL28h	GL30h	GL32h
<b>Ominaislujuudet [N/mm<sup>2</sup>]</b>		$f_d = k_{mod} * f_k / \gamma_M$						
<b>Taivutus</b>	$f_{m,k}$	20	22	24	26	28	30	32
<b>Veto</b>	$f_{t,0,k}$	16	17,6	19,2	20,8	22,3	24	25,6
	$f_{t,90,k}$	0,5						
<b>Puristus</b>	$f_{c,0,k}$	20	22	24	26	28	30	32
	$f_{c,90,k}$	2,5						
<b>Leikkaus</b>	$f_{v,k}$	3,5						
	$f_{r,k}$	1,2						

**Jäykkyysominaisuudet [N/mm<sup>2</sup>]**

<b>Kimmomoduuli</b>	$E_{0,mean}$	8400	10500	11500	12100	12600	13600	14200
	$E_{0,05}$	7000	8800	9600	10100	10500	11300	11800
	$E_{90,mean}$	300						
	$E_{90,05}$	250						
<b>Liukumoduuli</b>	$G_{0,mean}$	650						
	$G_{0,05}$	540						
	$G_{90,mean}$	65						
	$G_{90,05}$	54						

**Tiheydet [kg/m<sup>3</sup>]**

<b>Ominaisstiheys</b>	$\rho_k$	340	370	385	405	425	430	440
<b>Tiheyden keskiarvo</b>	$\rho_{mean}$	370	410	420	445	460	480	490

**1.6 Kerto-S, Kerto-T ja Kerto-Q LVL:n ominaisuudet**

Tyyppi		Kerto-S	Kerto-T	Kerto-Q	
Paksuus [mm]		21 - 90	27 - 75	21 - 24	27 - 69

**Ominaislujuudet [N/mm<sup>2</sup>]**  $f_d = k_{mod} * f_k / \gamma_M$ 

<b>Kokonaisvaikutuseksponentti</b>		s	0,12	0,15	0,12	
<b>Taivutus</b>	<b>Syrjällään</b>	$f_{m,k}$	44	27	28	32
	<b>Lappeellaan</b>	$f_{m,0,flat,k}$	50	32	32	36
<b>Veto</b>	<b>Syysuuntaan</b>	$f_{t,0,k}$	35	24	19	26
	<b>Poikittain syrjällään</b>	$f_{t,90,edge,k}$	0,8	0,5	6,0	
<b>Puristus</b>	<b>Syysuuntaan</b>	$f_{c,0,k}$	35	26	19	26
	<b>Poikittain syrjällään</b>	$f_{c,90,edge,k}$	6	4	9	
	<b>Poikittain lappeellaan</b>	$f_{c,90,flat,k}$	1,8	1,0	2,2	
<b>Leikkaus syrjällään</b>		$f_{v,k}$	4,1	2,4	4,5	
<b>Lappeellaan pintaviilun suuntaan</b>		$f_{r,0,k}$	2,3	1,3	1,3	

**Jäykkyysominaisuudet [N/mm<sup>2</sup>]**

<b>Kimmomoduuli</b>	$E_{mean}$	13800	10000	10000	10500
	$E_{0,05}$	11600	8800	8300	8800
<b>Liukumoduuli</b>	$G_{edge,mean}$	600	400	600	
	$G_{edge,0,05}$	400	300	400	

**Tiheydet [kg/m<sup>3</sup>]**

<b>Ominaisstiheys</b>	$\rho_k$	480	410	480
<b>Tiheyden keskiarvo</b>	$\rho_{mean}$	510	440	510

**Huom.**

Kun syrjällään taivutetun LVL-palkin korkeus on yli 300 mm;  $f_{m,k} = k_h * f_{m,k}$ ;  $k_h = (300/h)^s \leq 1,2$

Kun vedetyn LVL-sauvan pituus on yli 3000 mm;  $f_{t,0,k} = k_l * f_{t,0,k}$ ;  $k_l = (3000/l)^{s/2} \leq 1,1$

## 1.7 Liittimien korroosionsuoja vaatimukset

Liitin	Käyttöluokka <sup>1)</sup>		
	1	2	3
Naulat ja ruuvit, joiden $d \leq 4$ mm	Ei mitään	Fe/Zn 12c, 39 $\mu$ m	Fe/Zn 12c, 49 $\mu$ m
Pultit, naulat ja ruuvit, joiden $d > 4$ mm	Ei mitään	Ei mitään	Fe/Zn 12c, 49 $\mu$ m
Naula- ja teräslevyt, joiden paksuus $\leq 3$ mm, hakaset	Fe/Zn 12c, Z275	Fe/Zn 12c, Z275	Ruostumaton teräs
Teräslevyt, joiden paksuus on 3 ... 5 mm	Ei mitään	Fe/Zn 12c, Z275	Fe/Zn 25c, Z350
Teräslevyt, joiden paksuus $> 5$ mm	Ei mitään	Ei mitään	Fe/Zn 25c, Z350

<sup>1)</sup> Erityisen syövyttäviin olosuhteisiin on syytä harkita paksumpaa kuumasinkitystä tai ruostumatonta terästä

## 2 Rakenneosien mitoitus

$$k_m \begin{cases} = 0,7 \text{ sahatavaran, liimapuun ja LVL:n suorakaidepoikkileikkauksella} \\ = 1,0 \text{ muussa tapauksessa} \end{cases}$$

**Huom.** Kiepahdusalttiilla sauvoilla taivutuslujuudet  $f_{m,y,d}$  ja  $f_{m,z,d}$  kerrotaan kertoimella  $k_{crit}$ , kts. kohdat 3.1 ja 3.2

### 2.1 Yhdistetty taivutus- ja vetorasitus

kun y-akseli on korkeampi

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1,0$$

kun z-akseli on korkeampi

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1,0$$

### 2.2 Yhdistetty taivutus- ja puristusrasitus

kun y-akseli on korkeampi

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} * f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1,0$$

kun z-akseli on korkeampi

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1,0$$

Molemmissa tapauksissa rakenteen tulee myös täyttää seuraava ehto:

$$\left( \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} * f_{m,y,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} \leq 1,0$$

$k_c$  = nurjahduskerroin (kts. kohta 3.3)

### 2.3 Yhdistetty leikkaus- ja vääntörasitus

1-akselinen taivutus

Suorakaidepoikkileikkauksille

2-akselinen taivutus

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1,0$$

$$\tau_d = 1,5 * \frac{V_d}{h * b * k_{cr}}$$

$$\left( \frac{\tau_{y,d}}{f_{v,d}} \right)^2 + \left( \frac{\tau_{z,d}}{f_{v,d}} \right)^2 \leq 1,0$$

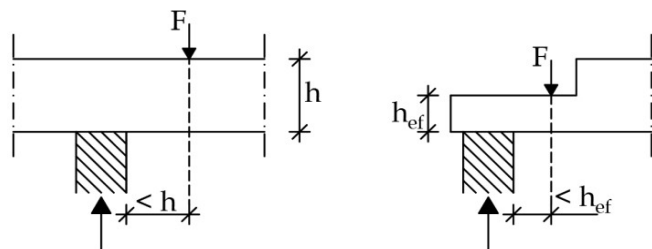
**Käyttöluokassa 1** taivutettujen sauvojen halkeilu

huomioidaan kertoimella  $k_{cr}$ ; ( $b_{ef} = k_{cr} * b$ )

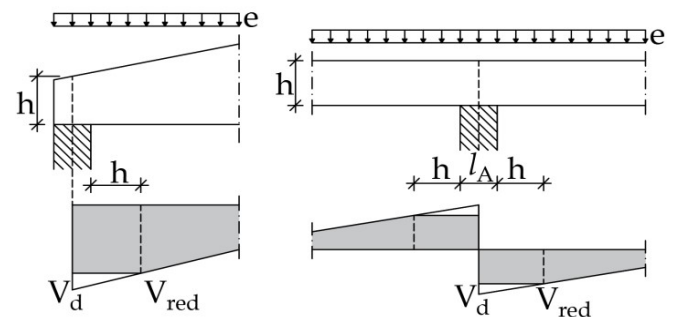
$k_{cr} = 0,67$  Sahatavara ja liimapuu

$k_{cr} = 1,0$  Kaikelle muulle

Pistekuorma voidaan jättää huomiotta, mikäli se vaikuttaa lähempänä tukea kuin palkin korkeus  $h$  (tai  $h_{ef}$  yläpinnastaan lovetuilla palkeilla)



Mitoitusleikkausvoimaa laskettaessa saa tuen lähellä olevien (palkin yläpintaan vaikuttavien) kuormien vaikutusta pienentää



$$\text{missä: } V_{red} = V_d * [1 - (2h + l_A) / L]$$

### 2.3.1 Tuen kohdalta lovetun palkin leikkausrasitus

Päästä lovetuille palkeille leikkauslujuutta  $f_{v,d}$  vähennetään kertoimella  $k_v$

$$\text{missä: } k_v = \frac{k_n * \left(1 + \frac{1,1 * i^{1,5}}{\sqrt{h}}\right)}{\sqrt{h} * \left(\sqrt{\alpha * (1 - \alpha)} + 0,8 * \frac{x}{h} * \sqrt{1 / \alpha - \alpha^2}\right)} \leq 1,0$$

Mitoitusehto:

$$\tau_d = \frac{1,5 * V_d}{h_{ef} * b_{ef}} \leq k_v * f_{v,d}$$

Huom.  $b_{ef} = k_{cr} * b$

$k_{cr} = 0,67$  Sahatavara ja liimapuu

$k_{cr} = 1,0$  Kaikelle muulle

$$\alpha = h_{ef} / h$$

$$k_n = \begin{cases} 5 & \text{sahatavara} \\ 6,5 & \text{liimapuu} \\ 4,5 & \text{LVL yleensä} \\ 6 & \text{Kerto-S} \\ 16 & \text{Kerto-Q} \end{cases}$$

$i$  on loven kaltevuus

$h$  on palkin korkeus [mm]

$x$  on tukireaktion etäisyys loven nurkasta [mm]

## 2.4 Vääntörasitus

Mitoitusehto:

$$\frac{\tau_{tor,d}}{k_{shape} * f_{v,d}} \leq 1,0$$

$$\text{missä: } k_{shape} = \begin{cases} 1,2 & \text{ympyräpoikkileikkaukselle} \\ \min \left\{ \begin{array}{l} 1 + 0,15 * \frac{h}{b} \\ 2,0 \end{array} \right\} & \text{suorakaidepoikkil.} \end{cases}$$

Suorakaidepoikkileikkaukselle

$$\tau_{tor,d} = \frac{3 * M_{tor,d}}{h * b^2} * (1 + 0,6 * \frac{b}{h})$$

Ympyräpoikkileikkaukselle

$$\tau_{tor,d} = \frac{2 * M_{tor,d}}{\pi * r^3}$$

## 2.5 Sivuttaisvoimasta ja vääntöstä johtuva rasitus

$$\left(\frac{\tau_{tor,d}}{k_{shape} * f_{v,d}}\right) + \left(\frac{\tau_{y,d}}{f_{v,d}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{z,d}}{f_{v,d}}\right)^2 \leq 1,0$$

Huom.  $k_{cr}$ -kerrointa on käytettävä mitoitettaessa

kohtisuoraan mahdolliseen halkeilutasoon nähden

## 3 Kiepahdus- ja nurjahduskestävyys

### 3.1 Taivutetun sauvan kiepahduskestävyys

nurjahdus vahvemman (z-) akselin suuntaan

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} * f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} * f_{m,y,d}} + \left(\frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}}\right)^2 \leq 1,0$$

nurjahdus heikomman (y-) akselin suuntaan

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} + \left(\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} * f_{m,y,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1,0$$

$$k_{crit} = \begin{cases} 1 & \text{kun } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75\lambda_{rel,m} & \text{kun } 0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4 \\ 1 / \lambda_{rel,m}^2 & \text{kun } 1,4 < \lambda_{rel,m} \end{cases}$$

Suorakaidepoikkileikkauksille

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k} * h * l_{ef}}{0,78 * b^2 * E_{0,05}}} \quad l_{ef} \text{ kts. kohta 3.2}$$

### 3.2 Puristetun sauvan nurjahduskestävyys

nurjahdus vahvemman (z-) akselin suuntaan

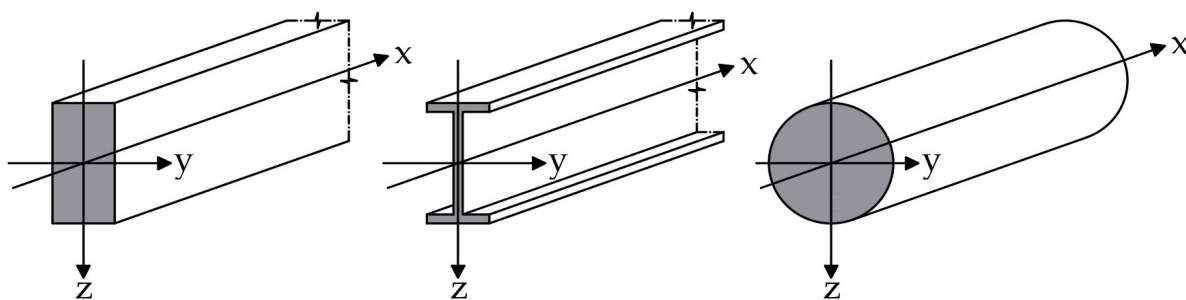
$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} * f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1,0$$

nurjahdus heikomman (y-) akselin suuntaan

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1,0$$

$k_m$  -kerroin, katso kohta 2

Sauvojen akselit:



### 3.3 Nurjahduskertoimen $k_c$ arvoja

$\lambda$	Sahatavara						Kerto-S	Kerto-T	Kerto-Q	
	C14 (T0)	C18 (T1)	C24 (T2)	C30 (T3)	C35	C40	21 - 90	27 - 75	21 - 24	27 - 69
15	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
20	0,984	0,989	0,991	0,991	0,991	0,992	0,994	0,995	0,999	0,995
25	0,960	0,968	0,971	0,970	0,970	0,972	0,983	0,984	0,991	0,984
30	0,932	0,943	0,948	0,947	0,947	0,950	0,970	0,971	0,981	0,971
35	0,899	0,914	0,920	0,919	0,919	0,923	0,954	0,955	0,969	0,955
40	0,856	0,878	0,887	0,885	0,885	0,890	0,932	0,934	0,954	0,934
45	0,804	0,834	0,846	0,843	0,843	0,851	0,901	0,904	0,936	0,904
50	0,741	0,781	0,796	0,793	0,793	0,803	0,857	0,863	0,911	0,863
55	0,673	0,720	0,739	0,734	0,734	0,747	0,798	0,806	0,877	0,806
60	0,605	0,655	0,676	0,671	0,672	0,686	0,727	0,736	0,832	0,736
65	0,540	0,591	0,614	0,608	0,608	0,624	0,653	0,663	0,776	0,663
70	0,482	0,531	0,554	0,548	0,549	0,564	0,582	0,592	0,713	0,592
75	0,430	0,477	0,499	0,494	0,494	0,509	0,518	0,528	0,648	0,528
80	0,386	0,429	0,450	0,445	0,445	0,459	0,463	0,471	0,586	0,471
85	0,347	0,387	0,406	0,402	0,402	0,415	0,415	0,423	0,530	0,423
90	0,313	0,351	0,368	0,364	0,364	0,376	0,373	0,381	0,480	0,381
95	0,284	0,318	0,335	0,331	0,331	0,342	0,337	0,344	0,435	0,344
100	0,258	0,290	0,305	0,302	0,302	0,312	0,306	0,312	0,397	0,312
105	0,236	0,265	0,279	0,276	0,276	0,286	0,279	0,285	0,362	0,285
110	0,217	0,244	0,256	0,253	0,253	0,263	0,255	0,260	0,332	0,260
115	0,199	0,224	0,236	0,233	0,233	0,242	0,234	0,239	0,305	0,239
120	0,184	0,207	0,218	0,216	0,216	0,223	0,216	0,220	0,281	0,220
125	0,170	0,192	0,202	0,200	0,200	0,207	0,200	0,204	0,260	0,204
130	0,158	0,178	0,188	0,185	0,185	0,192	0,185	0,189	0,241	0,189
135	0,147	0,166	0,175	0,173	0,173	0,179	0,172	0,175	0,225	0,175
140	0,137	0,155	0,163	0,161	0,161	0,167	0,160	0,163	0,209	0,163
145	0,128	0,145	0,153	0,151	0,151	0,156	0,149	0,153	0,196	0,153
150	0,120	0,136	0,143	0,141	0,141	0,147	0,140	0,143	0,183	0,143
160	0,106	0,120	0,126	0,125	0,125	0,130	0,123	0,126	0,161	0,126
170	0,094	0,107	0,112	0,111	0,111	0,115	0,109	0,112	0,143	0,112
180	0,084	0,095	0,101	0,099	0,100	0,103	0,098	0,100	0,128	0,100
190	0,076	0,086	0,091	0,090	0,090	0,093	0,088	0,090	0,115	0,090
200	0,069	0,078	0,082	0,081	0,081	0,084	0,080	0,081	0,104	0,081
210	0,063	0,071	0,075	0,074	0,074	0,077	0,072	0,074	0,095	0,074
220	0,057	0,065	0,068	0,067	0,067	0,070	0,066	0,067	0,087	0,067
230	0,052	0,059	0,063	0,062	0,062	0,064	0,060	0,062	0,079	0,062
240	0,048	0,055	0,058	0,057	0,057	0,059	0,055	0,057	0,073	0,057
250	0,045	0,050	0,053	0,053	0,053	0,055	0,051	0,052	0,067	0,052

$\lambda$	Yhdistetty liimapuu							Homogeeninen liimapuu						
	GL20c	GL22c	GL24c	GL26c	GL28c	GL30c	GL32c	GL20h	GL22h	GL24h	GL26h	GL28h	GL30h	GL32h
15	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
20	1,001	0,999	0,999	0,999	0,999	1,000	1,000	0,995	0,998	0,998	0,997	0,997	0,997	0,996
25	0,992	0,990	0,990	0,990	0,990	0,991	0,992	0,985	0,989	0,989	0,988	0,987	0,987	0,986
30	0,983	0,980	0,980	0,980	0,980	0,981	0,982	0,973	0,978	0,978	0,977	0,975	0,975	0,975
35	0,972	0,968	0,967	0,968	0,968	0,969	0,971	0,957	0,965	0,965	0,963	0,961	0,961	0,960
40	0,958	0,953	0,952	0,953	0,954	0,955	0,957	0,937	0,948	0,948	0,946	0,943	0,943	0,942
45	0,941	0,934	0,933	0,933	0,935	0,937	0,940	0,909	0,927	0,927	0,923	0,919	0,919	0,917
50	0,919	0,909	0,906	0,907	0,910	0,912	0,917	0,870	0,897	0,897	0,892	0,885	0,886	0,882
55	0,890	0,874	0,870	0,872	0,876	0,879	0,887	0,817	0,857	0,857	0,849	0,839	0,840	0,834
60	0,850	0,828	0,823	0,824	0,830	0,835	0,846	0,751	0,803	0,803	0,793	0,779	0,781	0,773
65	0,800	0,770	0,763	0,766	0,773	0,780	0,794	0,679	0,740	0,740	0,727	0,711	0,713	0,703
70	0,740	0,705	0,698	0,701	0,709	0,717	0,733	0,608	0,672	0,672	0,658	0,641	0,643	0,633
75	0,677	0,640	0,633	0,635	0,644	0,652	0,669	0,543	0,606	0,606	0,592	0,575	0,577	0,567
80	0,616	0,579	0,571	0,574	0,582	0,590	0,608	0,486	0,545	0,545	0,532	0,516	0,518	0,508
85	0,558	0,523	0,516	0,518	0,526	0,534	0,551	0,436	0,491	0,491	0,478	0,464	0,466	0,457
90	0,507	0,473	0,466	0,469	0,476	0,484	0,499	0,393	0,443	0,443	0,432	0,418	0,420	0,412
95	0,461	0,429	0,423	0,425	0,432	0,439	0,454	0,355	0,402	0,402	0,391	0,379	0,380	0,373
100	0,420	0,391	0,385	0,387	0,394	0,400	0,413	0,322	0,365	0,365	0,356	0,344	0,345	0,339
105	0,384	0,357	0,352	0,353	0,359	0,365	0,378	0,294	0,334	0,334	0,324	0,314	0,315	0,309
110	0,352	0,327	0,322	0,324	0,329	0,335	0,346	0,269	0,305	0,305	0,297	0,287	0,288	0,283
115	0,324	0,301	0,296	0,298	0,303	0,308	0,319	0,247	0,281	0,281	0,273	0,264	0,265	0,260
120	0,299	0,277	0,273	0,275	0,279	0,284	0,294	0,228	0,259	0,259	0,252	0,243	0,244	0,239
125	0,276	0,256	0,253	0,254	0,258	0,263	0,272	0,210	0,239	0,239	0,233	0,225	0,226	0,221
130	0,256	0,238	0,234	0,235	0,240	0,244	0,252	0,195	0,222	0,222	0,216	0,208	0,209	0,205
135	0,238	0,221	0,218	0,219	0,223	0,227	0,235	0,181	0,206	0,206	0,200	0,194	0,195	0,191
140	0,222	0,206	0,203	0,204	0,208	0,211	0,219	0,169	0,192	0,192	0,187	0,181	0,181	0,178
145	0,208	0,193	0,190	0,191	0,194	0,197	0,204	0,158	0,180	0,180	0,174	0,169	0,169	0,166
150	0,194	0,180	0,178	0,178	0,182	0,185	0,191	0,148	0,168	0,168	0,163	0,158	0,159	0,155
160	0,172	0,159	0,157	0,157	0,160	0,163	0,169	0,130	0,148	0,148	0,144	0,139	0,140	0,137
170	0,152	0,141	0,139	0,140	0,142	0,145	0,150	0,115	0,132	0,132	0,128	0,124	0,124	0,122
180	0,136	0,126	0,124	0,125	0,127	0,129	0,134	0,103	0,118	0,118	0,114	0,110	0,111	0,109
190	0,123	0,114	0,112	0,112	0,114	0,116	0,121	0,093	0,106	0,106	0,103	0,099	0,100	0,098
200	0,111	0,103	0,101	0,102	0,104	0,105	0,109	0,084	0,096	0,096	0,093	0,090	0,090	0,088
210	0,101	0,093	0,092	0,092	0,094	0,096	0,099	0,076	0,087	0,087	0,084	0,082	0,082	0,080
220	0,092	0,085	0,084	0,084	0,086	0,087	0,090	0,070	0,079	0,079	0,077	0,074	0,075	0,073
230	0,084	0,078	0,077	0,077	0,079	0,080	0,083	0,064	0,073	0,073	0,071	0,068	0,068	0,067
240	0,077	0,072	0,071	0,071	0,072	0,074	0,076	0,059	0,067	0,067	0,065	0,063	0,063	0,062
250	0,071	0,066	0,065	0,066	0,067	0,068	0,070	0,054	0,062	0,062	0,060	0,058	0,058	0,057

Hoikkuusluku $\lambda$	Nurjahduspituus $L_c$	Tuentatapa
$\lambda = L_c / i_z$	$0,85 * L$	Sauva on jäykästi kiinnitetty toisesta ja nivelellisesti toisesta päästään (esim. tuulipilari)
missä: $i_z = H / 12^{0,5}$ H = palkin korkeus	$1,0 * L$	Sauva on nivelöity molemmistapäistään (normaali tapaus)
	$1,0 * a$	Sauva on poikittaistuettu nurjahduksen suunnassa välein a
	$2,5 * L$	Sauva on jäykästi kiinnitetty toisesta päästään ja vapaa toisesta päästään ("mastopilari")



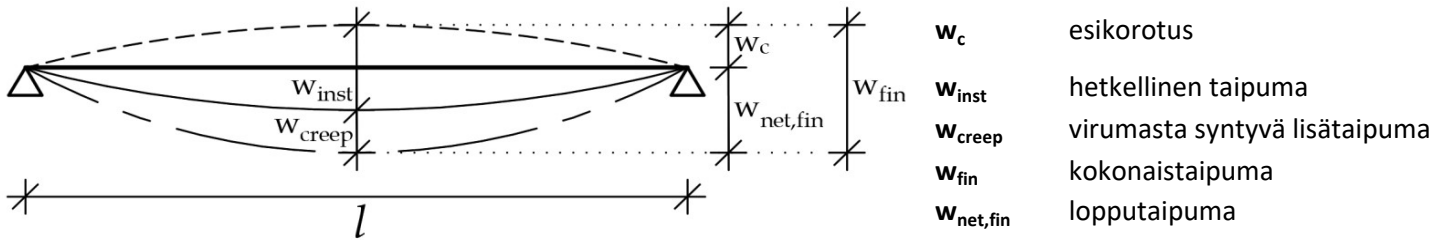
## 4 Taipuma

### Taipumien ja rakennuksen vaakasiirtymien enimmäisarvot

Rakenne	$w_{inst}^{1)}$	$w_{net,fin}^{2)}$	$w_{fin}^{3)}$	$l$ on jänneväli $H$ on rakennuksen tarkasteltavan kohdan korkeus
Pääkannattimet	$l/400$	$l/300$	$l/200$	
Orret ja muut toisiokannattimet	-	$l/200^{5)}$	$l/150$	1) Koskee pelkästään lattioita 2) Koskee suoria ja esikorotettuja rakenteita, mutta ei tukipisteiden välillä kaarevia tai taitteellisia kannattimia
Rakennuksen vaakasiirtymä <sup>4)</sup>	-	$H/300$	-	3) Koskee esikorotettuja sekä tukipisteiden välillä kaarevia tai taitteellisia rakenteita, esim: kaaret, mahapalkit, yms.

4) Hallirakennuksissa vaakasiirtymistä ei ole yleensä haittaa, jolloin sitä ei tarvitse tarkistaa. Kerrostaloissa suositellaan vaakasiirtymien rajoittamista enintään arvoon  $H/500$  ylimmän kerroksen lattiatasolla

5) Lattialevyn taipumaa laskettaessa kuormituksena on lyhytaikainen pistekuorma  $Q_k = 2$  kN ja levyn omapaino



### Hetkellinen taipuma

$$w_{inst} = w_{inst,G} + w_{inst,Q,1} + \sum \psi_{0,i} * w_{inst,Q,i}$$

### Kokonaistaipuma

$$w_{fin} = \max \left\{ \begin{array}{l} (1 + k_{def})w_{inst,G} + (1 + 0,2k_{def})w_{inst,lumi} + (0,7 + 0,3k_{def})w_{inst,hyöty} \\ (1 + k_{def})w_{inst,G} + (1 + 0,3k_{def})w_{inst,hyöty} + (0,7 + 0,2k_{def})w_{inst,lumi} \end{array} \right.$$

### Lopputaipuma

$$w_{net,fin} = w_{inst} + w_{creep} - w_c = w_{fin} - w_c$$

## 5 Värähtelymitoitus

Kävelystä johtuvat värähtelyt otetaan, rakennuksen ja tilan käyttötapa huomioon ottaen, huomioon käyttörajatilamitoituksessa. Erityistarkastelu on tarpeen, jos asuin- tai toimistohuoneen lattiarakenteen alin ominaistajuus on alle 9 Hz ( $f_1 < 9$  Hz).

Lattiarakenteen alin ominaistajuus lasketaan kaavalla:  $f_1 = \frac{\pi}{2 * L^2} * \sqrt{\frac{(EI)_L}{s * m}}$

- missä:
- $L$  on lattiarakenteen jänneväli [m]
  - $(EI)_L$  on taivutusjäykkyys yhtä lattiapalkkia kohden [Nm<sup>2</sup>]
  - $s$  on lattiapalkkien välinen etäisyys [m]
  - $m$  on lattian oman painon ja hyötykuormasta osuuden 30 kg / m<sup>2</sup> yhteenlaskettu massa [kg / m<sup>2</sup>]

Mikäli lattialevy on liimattu rakenteellisesti lattiapalkkeihin, taivutusjäykkyys  $(EI)_L$  voidaan laskea ripalaatan T-poikkileikkaukselle. Jos levyn liimaus toteutetaan työmaalla, liittovaikutuksesta saa hyödyntää 50 %, jolloin:

$(EI)_L = 0,5 * [(EI)_P + (EI)_T]$ , kun  $(EI)_P$  on palkin ja  $(EI)_T$  on T-poikkileikkauksen taivutusjäykkyys.

## 6 Puristuskestävyys

### 6.1 Puristus kohtisuoraan syitä vastaan

Mitoitusehto:

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,\perp} * f_{c,90,d}$$

missä:

$\sigma_{c,90,d}$  on syitä vastaan kohtisuora puristusjännitys

$f_{c,90,d}$  on syitä vastaan kohtisuora puristuslujuuden mitoitusarvo

$k_{c,\perp}$  on tukipainekerroin

$l$  on kosketuspinnan pituus puun syiden suunnassa

$l_{c,90,ef}$  on tehollinen kosketuspinnan pituus, joka määritetään lisäämällä kosketuspinnan pituuteen  $l$  molemmin puolin 30 mm tai Kerto-LVL:n syrjäpinnoilla 15 mm, kuitenkin enintään  $a$ ,  $l$  tai  $l_1/2$

Tukipainekerroin:

$$k_{c,\perp} = \frac{l_{c,90,ef}}{l} * k_{c,90}$$

$k_{c,90}$  -kerroin

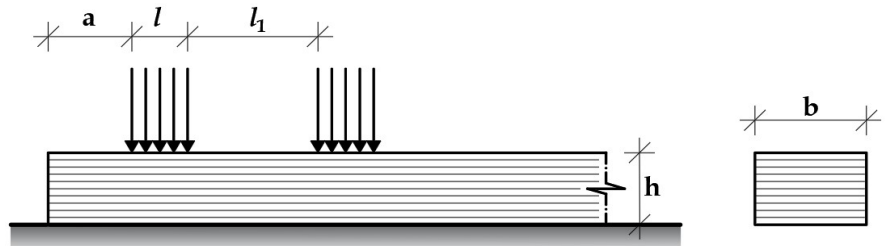
$k_{c,90}$  -kerroimelle käytetään arvoa 1,0, paitsi seuraavissa tapauksissa edellyttäen, että kuvan mukainen puristuspintojen välinen etäisyys  $l_1 \geq 2h$ :

= 1,25 havupuisella sahatavaralla ja CLT:n

lapepinnalla

= 1,5 havupuisella liimapuulla

= 1,4 Kerto-LVL:n lapepinnalla

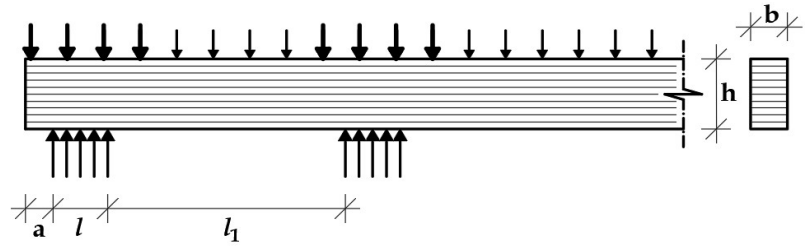


Alemman kuvan tapauksessa kertoimelle  $k_{c,90}$  voidaan käyttää seuraavia korotettuja arvoja edellyttäen, että palkilla on tasan jakautunut kuormitus tai pistekuormia, joiden etäisyys tuen reunasta  $\geq 2h$ :

= 1,5 havupuisella sahatavaralla

= 1,75 havupuisella liimapuulla edellyttäen, että tukipituus  $l \leq 400$  mm

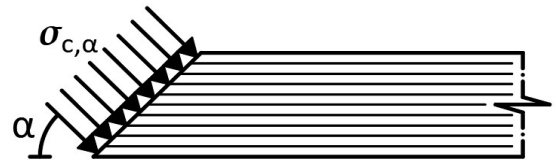
= 1,6 Kerto-LVL:n lapepinnalla



### 6.2 Puristus vinossa kulmassa syiden suuntaan nähden

Mitoitusehto:

$$\sigma_{c,\alpha,d} \leq \frac{f_{c,0,d}}{\frac{f_{c,0,d}}{k_{c,90} * f_{c,90,d}} * \sin^2(\alpha) + \cos^2(\alpha)}$$



## 7 Mekaaniset liitokset

$$R_d = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} * R_k$$

$R_k$  on liittimen kestävyuden ominaisarvo

$k_{mod}$  Liitettäessä yhteen kahta erilaista puumateriaalia, käytetään sen materiaalin  $k_{mod}$  -kerrointa, jolla  $k_{mod}$  on pienempi

$\gamma_M$  on materiaaliosavarmuusluku, kts. kohta 1.1

**Huom.** Jos keskipitkän tai pitkäaikaisen aikaluokan liitosvoima voi vaihdella vedon  $F_{t,d}$  ja puristuksen  $F_{c,d}$  välillä, liitos mitoitetaan sekä vetovoimalle että puristusvoimalle

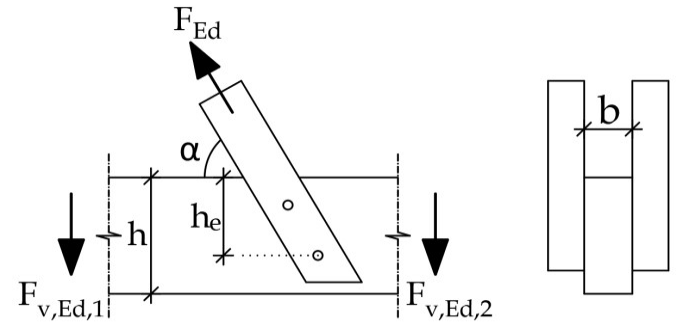
Vedolle:  $F_{Ed} = F_{t,d} + 0,5F_{c,d}$

Puristukselle:  $F_{Ed} = F_{c,d} + 0,5F_{t,d}$

Jos liitosvoima vaikuttaa vinossa kulmassa puun syysuuntaan nähden, poikittaiset vetojännitykset on otettava huomioon tarkastamalla, että seuraava ehto toteutuu:

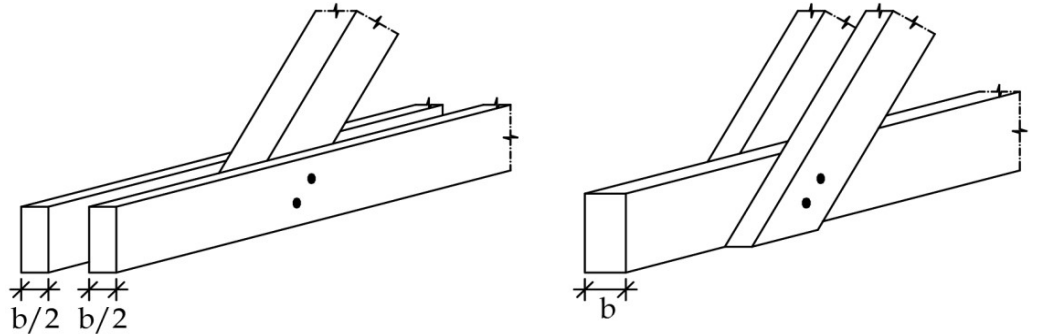
$$F_{v,Ed} \leq F_{90,d}$$

missä:  $F_{90,d}$  on halkeamiskestävyyden mitoitusarvo  
 $F_{v,Ed}$  on maksimi  $\{F_{v,Ed,1}; F_{v,Ed,2}\}$ , kun  $F_{v,Ed,1}$  ja  $F_{v,Ed,2}$  ovat puun syitä vastaan kohtisuoran liitosvoimakomponentin  $F_{Ed} \cdot \sin \alpha$  aiheuttamat leikkausvoimat



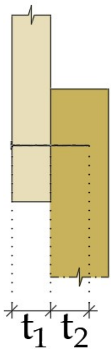
Havupuun halkeamiskestävyyden ominaisarvo:

$$F_{90,k} = 14b \cdot \sqrt{\frac{h_e}{\left(1 - \frac{h_e}{h}\right)}}$$

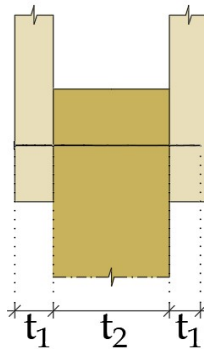


## 7.1 Naulaliitokset

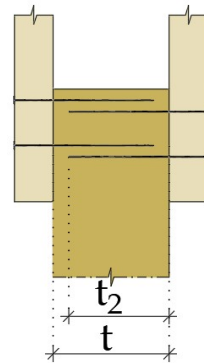
### Yksileikkeinen liitos



### Kaksileikkeinen liitos



### Naulojen limittyminen



### 7.1.1 Naulaliitoksen leikkauskestävyyden mitoitusarvo

$$F_{v,d} = m \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_m} \cdot k_\rho \cdot \left\{ \begin{matrix} k_t \\ k_e \end{matrix} \right\} \cdot 120 \cdot d^{1,7}$$

missä:  $m$  on leikkeiden lukumäärä ( 1 tai 2 )

$d$  on naulan nimellispaksuus [mm]

$$k_\rho = \sqrt{\frac{\rho_k}{350}}$$

Mikäli naulan tunkeumasyyvyys  $t_1 \geq 8d$  ja  $t_2 \geq 12d$ :

$$k_t = \max \left\{ \begin{matrix} 1 + 0,3 \cdot \frac{t_1 - 8d}{8d} \\ 1 + 0,3 \cdot \frac{t_2 - 12d}{6d} \end{matrix} \right.$$

**rajoituksena:**

- sileillä neliskulmaisilla nautoilla  $k_t \leq 1,3$  (saavutetaan kun  $t_1 \geq 16d$  tai  $t_2 \geq 18d$ )

- muilla nautoilla  $k_t \leq 1,1$  (saavutetaan kun  $t_1 \geq 11d$  tai  $t_2 \geq 14d$ )

Mikäli naulan tunkeumasyyvyys  $t_1 \leq 8d$  ja  $t_2 \leq 12d$ :

$$k_e = \min \left\{ \begin{matrix} \frac{t_1}{8d} \\ \frac{t_2}{12d} \end{matrix} \right.$$

**Huom.**

- Tunkeuman minimiarvo on yleensä  $8d$ . Sahatavaralla sallitaan kuitenkin kannan puolella  $t_{1,min} = 7d$  ja Kerto-Q:lla vastaavasti  $t_{1,min} = 4d$ . Esiporatuilla liitoksilla  $t_{1,min} = t_{2,min} = 4d$

### 7.1.2 Naulatut puulevyn liitokset

Kun yksileikkeisessä liitoksessa havuvaneri, lastulevy tai OSB-levy on läpinaulattu puutavaraan (levyn kannan puolelta), naulaliitoksen leikkauskestävyyden mitoitusarvo saadaan seuraavasta kaavasta:

$$R_d = \frac{k_{\text{mod}}}{\gamma_m} * k_l * 120 * d^{1,7} \quad \text{missä: } k_l = \left(0,5 + \frac{t}{12d}\right) * k_\rho \quad \text{edellyttäen, että } t \geq 2d \text{ ja } d \leq 5 \text{ mm}$$

#### rajoituksena:

- neliskulmaisella naulalla  $k_l \leq 1,5k_\rho$
- pyöreällä naulalla  $k_l \leq 1,2k_\rho$

t on levyn paksuus

$k_\rho$  on naulan kärkipuolen puun tiheyden mukaan laskettu kerroin:  $k_\rho = \sqrt{\frac{\rho_k}{350}}$

#### Huom.

- Jos naulan tartuntapituus puutavarassa  $t_2 < 12d$ , kaavan liitoksen leikkauskestävyyttä pienennetään kertoimella  $t_2/12d$ . Tunkeuman  $t_2$  tulee olla kuitenkin vähintään 8d.

### 7.1.3 Naulatut teräksen ja puun liitokset

Kun yksileikkeisessä liitoksessa esiporattu teräslevy naulataan puutavaraan siten, että sileän naulan tunkeuma puutavarassa on vähintään 12d tai profiloitun naulan tunkeuma on vähintään 8d, naulaliitoksen leikkauskestävyyden mitoitusarvo saadaan seuraavasta kaavasta:

$$R_d = \frac{k_{\text{mod}}}{\gamma_m} * k_s * 120 * d^{1,7}$$

Kun naulan tunkeuma puutavarassa on vähintään 12d:  $k_s = \begin{cases} 1,1 * k_\rho & \text{ohuella teräslevyllä } t_t \leq 0,5d \\ 1,5 * k_\rho & \text{paksulla teräslevyllä } t_t \geq d \end{cases}$

Kun kampa- tai kierrenaulan tunkeuma puutavarassa  $t_2 = 8d \dots 12d$ :  $k_s = \begin{cases} \left(0,2 + 0,9 * \frac{t_2}{12d}\right) * k_\rho & \text{ohuella teräslevyllä } t_t \leq 0,5d \\ \left(0,6 + 0,9 * \frac{t_2}{12d}\right) * k_\rho & \text{paksulla teräslevyllä } t_t \geq d \end{cases}$

#### Huom.

- Kun  $0,5d < t_t < d$ , korotuskerroin  $k_s$  lasketaan lineaarisesti interpoloiden

### 7.1.4 Pituussuunnassa kuormitetut naulat

#### Huom.

- Sileävirtaisia nauvoja ei saa käyttää pituussuuntaan kuormitettuina, kun kuormat ovat pysyviä tai pitkäaikaisia
- Jos poikittaisella kuvioinnilla varustetun naulan ulosvetolujuusparametrin ominaisarvo  $f_{ax,k} < 4,5 \text{ N/mm}^2$  määritettynä RH65:ssä  $\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$  puun tiheydellä, mitoituksessa noudatetaan sileävirtisten nauvojen ohjeita
- Päätypuuhun lyödyllä naulalla ei yleensä ole ulosvetokestävyyttä

Ulosvetolujuuden mitoitusarvo:  $R_k = \min \begin{cases} f_{ax,k} * d * t_{\text{pen}} & \text{kaikki naulat} \\ f_{ax,k} * d * t + f_{\text{head},k} * d_h^2 & \text{sileävirtiset naulat} \\ f_{\text{head},k} * d_h^2 & \text{kampa- ja kierrenaulat} \end{cases}$

- missä:
- $f_{ax,k}$  on naulan ulosvetolujuus
  - $f_{\text{head},k}$  naulan kannan läpivetolujuus
  - $t_{\text{pen}}$  tartuntapituus kärjen puolella (kampa- ja kierrenauloilla profiloitun osuuden pituus)
  - t puun paksuus kannan puolella
  - $d_h$  naulan kannan halkaisija (tavallisilla nauloilla  $d_h \geq 2d$ )

$$f_{ax,k} = (20 * 10^{-6}) \rho_k^2 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

Nauloille voidaan yleisesti käyttää seuraavia ominaisarvoja:

$$f_{head,k} = (70 * 10^{-6}) \rho_k^2 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

- Huom.**
- Nämä eivät päde viilutason suuntaisesti naulatuille LVL:n syrjäliitoksille, vaan näissä tapauksissa ulosvetolujuuden ominaisarvon voi laskea seuraavalla kaavalla:  $f_{ax,k} = 0,32d + 0,8 \text{ [N/mm}^2\text{]}$
  - Lämpimissä sisätiloissa LVL:n syrjäliitoksille saatua arvoa pienennetään sileillä nauloilla kertoimella 0,4 ja muilla nauloilla kertoimella 0,7
  - Mikäli pysyvän ja pitkäaikaisen mitoituskormien yhteenlaskettu osuus naulan ulosvetokuormituksen mitoitustarvosta on suurempi kuin 1/3 ;  $k_{mod} \leq 0,7$
  - Mikäli puutavara on naulattaessa kosteudeltaan puun kyllästymispisteessä tai sen lähellä, ja se todennäköisesti kuivuu kuormitettuna, arvoja  $f_{ax,k}$  ja  $f_{head,k}$  käytetään 2/3 -kertaisina

### 7.1.5 Yhdistetty leikkausrasitus ja pituussuuntainen kuormitus

Mitoitusehto:

Sileävirtiset naulat

$$\frac{F_{ax,d}}{R_{ax,d}} + \frac{F_{v,d}}{R_{v,d}} \leq 1,0$$

Profiloidut naulat

$$\left(\frac{F_{ax,d}}{R_{ax,d}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,d}}{R_{v,d}}\right)^2 \leq 1,0$$

### 7.1.6 Sileiden naulojen ulosvetokestävyyden mitoitustarvoja, $R_d$ [N]

Aikaluokka: Hetkellinen (tuulikuorma)

Käyttöluokka: 2

Tartuntapituus  $t_{pen}$ : 12d

d [mm]	Sahatavara				Liimapuu		Kerto-LVL lapeliitos		Kerto-LVL syrjäliitos
	C18	C24	C30	C35	GL24c	GL30c	Kerto-T	-S ja Q	Kerto-T, -S ja -Q
□ tai ø									
2,1	92	110	129	136	119	136	151	206	66
2,5	130	155	183	193	169	193	213	292	102
2,8	163	195	230	242	212	242	268	367	135
3,1	200	239	282	297	260	297	328	450	175
3,4	240	288	339	357	313	357	395	541	222
3,8	300	359	423	446	391	446	493	676	296
4,2	367	439	517	545	477	545	602	825	384
4,6	440	526	621	654	572	654	722	990	488
5,0	520	622	733	772	676	772	853	1170	609
5,1	541	647	763	803	704	803	888	1217	642
5,5	629	753	887	934	818	934	1033	1415	786
6,0	749	896	1056	1112	974	1112	1229	1684	994

### 7.1.7 Profiloitujen naulojen ulosvetokestävyyden mitoitusarvoja $R_d$ [N]

Ulosvetolujuus, $f_{ax,k}$ :	6 N/mm <sup>2</sup>
Puutavaran kosteus:	RH65
Tartuntapituus $t_{pen}$ :	8d

d [mm]	Sahatavara, Liimapuu, LVL			
	Käyttöluokka 1		Käyttöluokka 2	
□ tai ∅	Pysyvä	Hetkellinen	Pysyvä	Hetkellinen
2,1	68	125	98	179
2,5	97	178	138	254
2,8	122	223	174	318
3,1	149	273	213	390
3,4	179	329	256	470
3,8	224	411	320	586
4,0	248	455	354	650
4,2	274	502	391	716
4,6	328	602	469	859
5,0	388	711	554	1015
6,0	558	1024	798	1462

### 7.2 Ruuviiliitokset

Seuraavat ohjeet koskevat vain standardin EN 14592 mukaisia ruuveja, joiden nimellispaksuus  $d$  (kierteen ulkohalkaisija) on vähintään 3,8 mm ja enintään 24 mm.

Ruuvien kierteisen osan sisähalkaisija  $d_i$  tulee olla  $0,6d \leq d_i \leq 0,9d$ .

*Oheisia naulaliitosten yksinkertaistettuja mitoitusohjeita saadaan soveltaa ruuveille, joiden vetomurtolujuus*

*$f_{u,k} \geq 500 \text{ N/mm}^2$  tai myötömomentti  $M_{y,k} \geq 150d_{ef}^{2,6}$*

Kansiruuvien ja itseporautuvien puuruuvien mitoitus $d_{ef}$ -arvon perusteella:	$d_{ef} \leq 6 \text{ mm}$	Mitoitus pyöreiden profiloitujen naulojen mukaisesti
	$d_{ef} > 6 \text{ mm}$	Mitoitus pulttiliitosten mukaisesti

$d_{ef}$  on tehollinen halkaisija;

kansiruuveilla  $d_{ef} = 1,1d_i$ , mikäli sileän varren tunkeuma kärjen puoleisessa puussa on pienempi kuin  $4d$ . Muussa tapauksessa  $d_{ef} = d$

itseporautuvilla puuruuveilla  $d_{ef} = 1,1d_i$

Itseporautuvilla puuruuveilla leikkauskestävyyttä  $F_{v,d}$  saadaan korottaa kertoimella 1,15, mikäli ruuvien kierteisen osan pituus kärjen puoleisessa puussa on vähintään  $8d_{ef}$ , sekä vähintään yksi seuraavista ehdoista toteutuu:

- kierteisen osan pituus kannan puoleisessa puussa  $> 6d_{ef}$
- ruuvien kannan puolella on teräslevy
- ruuvien kannan alla käytetään aluslevyä pulttiliitosten ohjeiden mukaisesti tai
- ruuvien kannan puolella on vähintään  $2d_{ef}$  paksu vaneri-, lastu-, OSB- tai kovalevy ja ruuvien kannanhalkaisija on vähintään  $2d$

#### 7.2.1 Pituussuunnassa kuormitetut ruuvit

Mitoitus:

kun  $d = 6 \dots 12 \text{ mm}$  ja  $d_i \leq 0,75d$

$$F_{ax,\alpha,Rk} = \frac{n^{0,9} * f_{ax,k} * d * l_{ef} * k_d}{1,2 * \cos^2\alpha + \sin^2\alpha}$$

missä:  $f_{ax,k} = 0,52d^{-0,5} * l_{ef}^{-0,1} * \rho_k^{0,8}$

$$k_d = d/8 \leq 1,0$$

$d$  on ruuvien halkaisija

kun  $4 \text{ mm} \leq d < 6 \text{ mm}$  ja  $\alpha = 90^\circ$

$$F_{ax,90,Rk} = n^{0,9} * \frac{d^{1,2} * l_{ef}^{0,8} * \rho_k}{20}$$

$n$  on yhdessä toimivien ruuvien lukumäärä liitoksessa

$l_{ef}$  on ruuvien kierteistetyt osuuden tunkeumasyyvyys

$\alpha$  on ruuvien kulma syysuuntaan nähden, kun  $\alpha \geq 30^\circ$

### Ruuviliitoksen läpivetokestävyyden ominaisarvo:

$$F_{ax,\alpha,Rk} = n^{0,9} * f_{head,k} * d_h^2 * \left(\frac{\rho_k}{\rho_a}\right)^{0,8} \quad \text{missä: } F_{ax,\alpha,Rk} \text{ on läpivetokestävyyden ominaisarvo syysuuntaan nähden kulmassa } \alpha, \text{ kun } \alpha \geq 30^\circ$$

$$f_{head,k} \text{ on ruuville ilmoitettu EN 14592 mukainen kannan läpivetolujuuden ominaisarvo puun tiheydellä } \rho_a$$

$$d_h \text{ ruuvin kannan halkaisija}$$

### Ruuviliitoksen vetolujuuskestävyyden ominaisarvo:

$$F_{t,Rk} = n^{0,9} * f_{tens,k} \quad \text{missä: } f_{tens,k} \text{ on ruuville ilmoitettu EN 14592 mukainen vetomurtokestävyyden ominaisarvo}$$

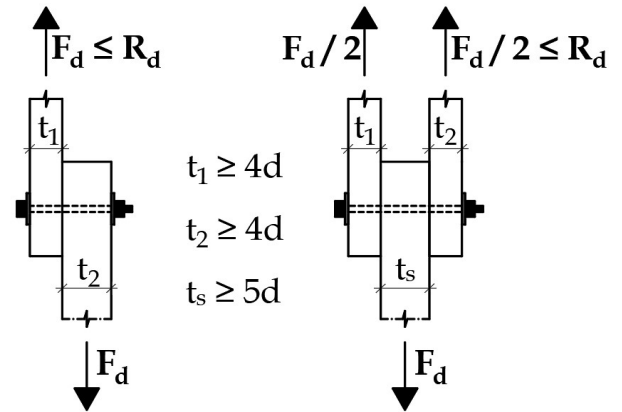
Kun itseporautuvan ruuvin halkaisija  $4,5 \text{ mm} \leq d \leq 8 \text{ mm}$  ja sisähalkaisija  $d_i \leq 0,7d$ , voidaan Kerto-S ja Kerto-Q syrjäliitoksissa ruuviliitoksen ulosvetokestävyys laskea seuraavalla kaavalla:

$$F_{ax,Rk} = n^{0,9} * f_{ax,k} * d * l_{ef} \quad \text{missä: } f_{ax,k} \text{ on } 10 \text{ N/mm}^2$$

## 7.3 Pulttiliitokset

Seuraavat ohjeet koskevat pulttiliitoksia, joissa pultin paksuus  $d \leq 24 \text{ mm}$ , pultin vetomurtolujuus  $f_{u,k} \leq 800 \text{ N/mm}^2$  (lujuusjuokka  $\leq 8.8$ ) ja joissa puutavaraa<sup>1)</sup> olevien reunaliitososien paksuudet  $t_1$  ja  $t_2$  ovat vähintään  $4d$  ja kaksileikkeisten liitosten puutavarallisten sisäosien paksuus  $t_s$  on vähintään  $5d$

<sup>1)</sup> Puutavaralla tarkoitetaan sahatavaraa, liimapuuta ja yhteen suuntaan viilutettua LVL:ää



### 7.3.1 Pulttiliitoksen leikkauskestävyys

Leikkauskestävyyden ominaisarvo yhtä leikettä kohden

$$R_k = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,4 * f_h * t_u * d * \sqrt{1 + \frac{3 * M_y}{f_h * d * t_u^2}} \\ 2 * \sqrt{M_y * f_h * d} \end{array} \right. \quad \text{missä: } t_u = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{t_1 * f_{h,1,k}}{f_h} \\ \frac{t_2 * f_{h,2,k}}{f_h} \end{array} \right.$$

$$f_h = \min [ f_{h,1,k}; f_{h,2,k}; f_{h,s,k} ]$$

Pultin myötömomentti:

$$M_y = 0,3f_{u,k} * d^{2,6}$$

$f_{h,1,k}$  ja  $f_{h,2,k}$  ovat liitoksen reunaosien reunapuristuslujuuksien ominaisarvoja  
 $f_{h,s,k}$  on kaksileikkeisen liitoksen keskiosan ominaisreunapuristuslujuus

Reunapuristuslujuus kulmassa  $\alpha$  syysuuntaan nähden:

$$f_{h,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} * \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

$$\text{missä: } k_{90} = \begin{cases} 1,35 + 0,015d & \text{havupuu} \\ 1,30 + 0,015d & \text{yhteen suuntaan viilutettu LVL} \end{cases}$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 * (1 - 0,01d) * \rho_k \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

### 7.3.2 Pultatut puulevyn ja puun liitokset

Puulevyliitoksille voidaan soveltaa edellä esitettyjä puutavaraliitosten ohjeita, kun liitoksen reunaosana käytettävän puulevyn paksuus täyttää seuraavan ehdon:

$$t_{\text{levy}} \geq \frac{80d}{f_{h,\text{levy},k}} \quad \text{missä levyn reunapuristuslujuuden } f_{h,\text{levy},k} \text{ yksikkö on N/mm}^2 \text{ ja } d\text{:n yksikkö on mm}$$

Vanerin reunapuristuslujuus pintaviilun syysuunnasta riippumatta:

$$f_{h,k} = 0,11 * (1 - 0,01d) * \rho_k \quad \rho_k \quad [\text{kg/m}^3]$$
$$d \quad [\text{mm}]$$

Lastulevyn reunapuristuslujuus:

$$f_{h,k} = 50d^{-0,6} * t^{0,2}$$

### 7.3.3 Teräksen ja puun väliset pulttiliitokset

#### Yksileikkeinen liitos

Leikkauskestävyyden ominaisarvo leikettä kohti kun teräslevyn paksuus  $t_t$  on;

$$t_t \leq 0,5d \quad R_k = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,4f_h * t * d \\ 2 * \sqrt{M_y * f_h * d} \end{array} \right. \quad \text{missä:}$$
$$t_t \geq d \quad R_k = \min \left\{ \begin{array}{l} f_h * t * d \\ 1,3f_h * t * d * \left[ \sqrt{2 + \frac{4M_y}{f_h * d * t^2}} - 1 \right] \\ 3 * \sqrt{M_y * f_h * d} \end{array} \right.$$

$f_h$  on puun reunapuristuslujuuden ominaisarvo (kts. 7.3.1)  
 $t$  puun paksuus  
 $d$  pultin paksuus  
 $M_y$  pultin myötömomentti (kts. 7.3.1)

Kun  $0,5 < t_t < d$ , kaavojen välillä voidaan interpoloida lineaarisesti

#### Kaksileikkeinen liitos

Mikäli kaksileikkeisen liitoksen keskimäinen osa on teräslevyllinen, leikkauskestävyys lasketaan edellä mainitulla kaavalla käyttäen puun paksuutena  $t$  ohuemman reunapuun paksuutta:

$$R_k = \min \left\{ \begin{array}{l} f_h * t * d \\ 1,3f_h * t * d * \left[ \sqrt{2 + \frac{4M_y}{f_h * d * t^2}} - 1 \right] \\ 3 * \sqrt{M_y * f_h * d} \end{array} \right. \quad \text{missä: } t = \min [ t_1 ; t_2 ]$$

Mikäli kaksileikkeisen liitoksen ulommat osat ovat teräslevyä, leikkauskestävyyden ominaisarvot leikettä kohti:

$$R_k = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,5f_h * t * d \\ 2 * \sqrt{M_y * f_h * d} \\ 3 * \sqrt{M_y * f_h * d} \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} \text{kun } t_t \leq 0,5d \\ \text{kun } t_t \geq d \end{array} \quad \text{kun } 0,5d < t_t < d, \text{ kaavojen välillä voidaan interpoloida suoraviivaisesti}$$

### 7.3.4 Pituussuunnassa kuormitetut pultit

Pituussuunnassa kuormitetuissa pulttiliitoksissa on tarkistettava myös pultin vetolujuuden ja aluslevyn paksuuden riittävyys.

Aluslevyn alla voidaan puun leimapainelujuudelle käyttää ominaisarvoa  $3,0f_{c,90,k}$ .

Ulkopuolisen teräslevyn yhteydessä puun leimapainekestävyys ja teräslevyn taivutuskestävyys tarkistetaan pulttikohtaisesti ympyräpinta-alalle, jonka halkaisija on enintään pienempi seuraavista;

- $12t_t$ , missä  $t_t$  on teräslevyn paksuus
- $4d$ , missä  $d$  on pultin paksuus



## 7.4 Liitin etäisyydet

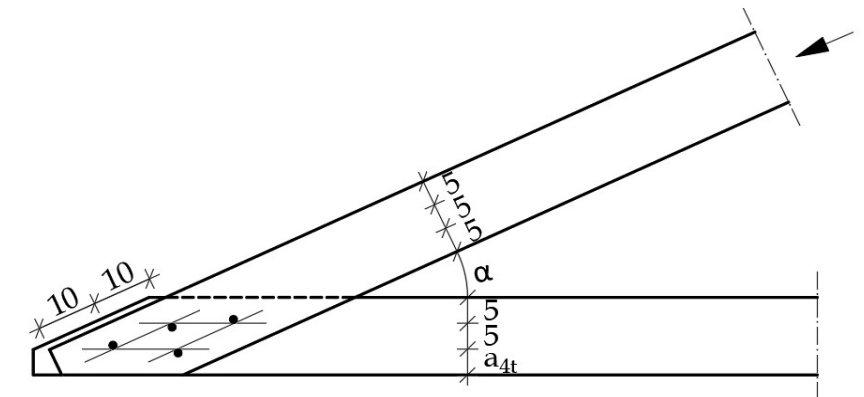
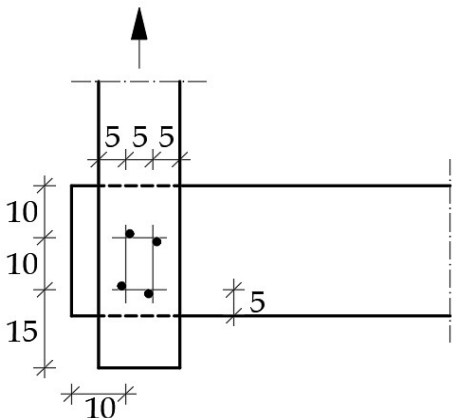
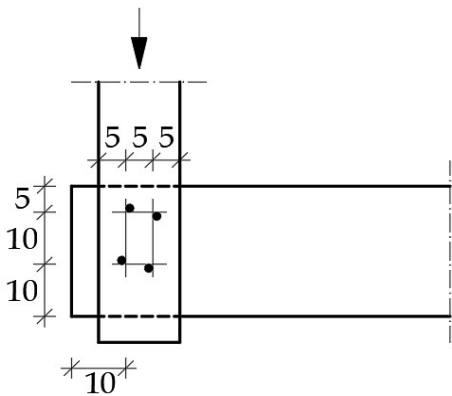
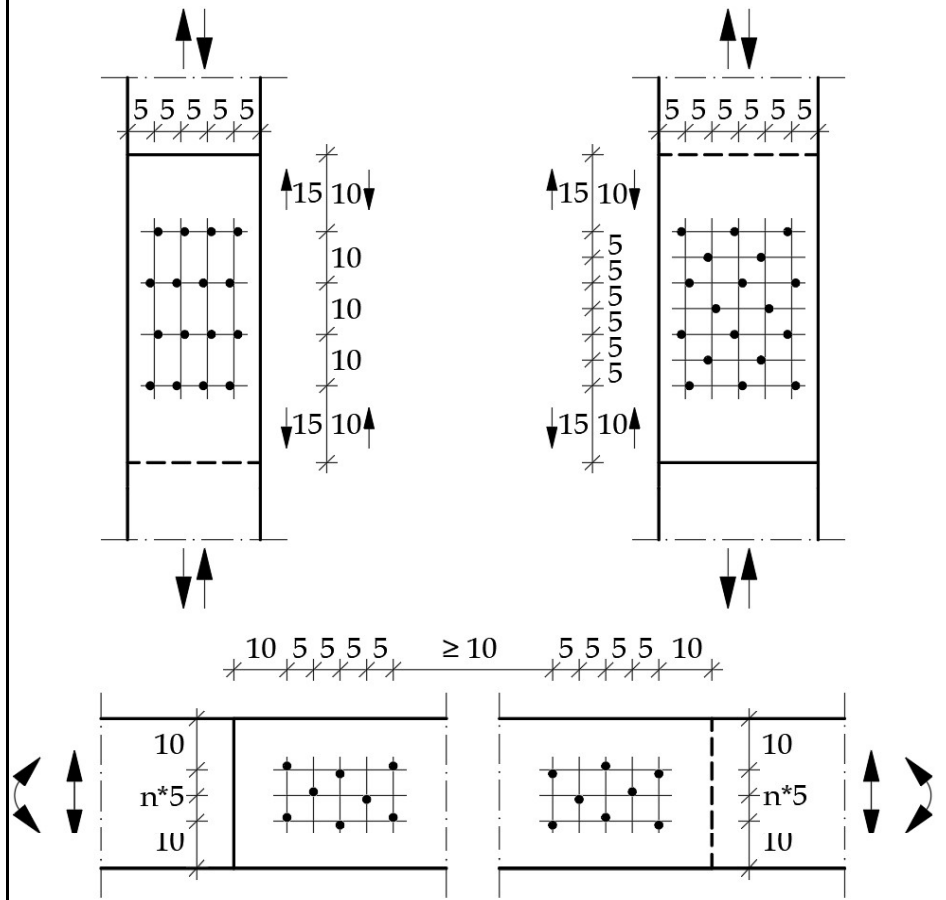
### 7.4.1 Naulojen pienimmät sallittavat etäisyydet

Yksikkönä naulan paksuus  $d$

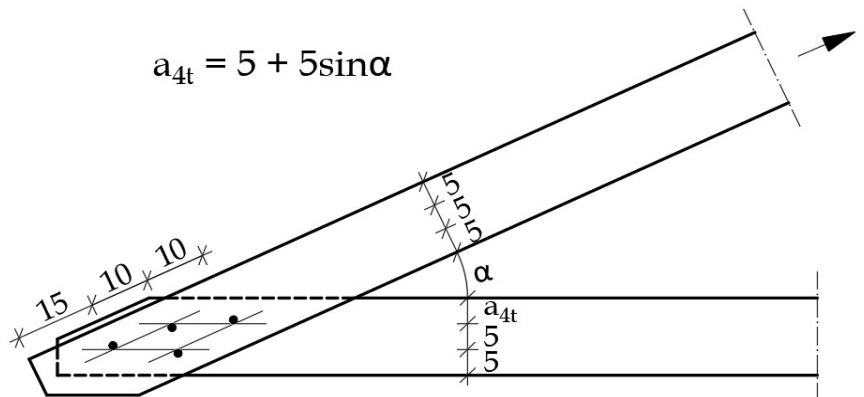
*Mikäli nauloille esiporataan reiät, etäisyyden voi kertoa 0,7:llä.*

Esiporaus tarvitaan mikäli;

- $\rho_k > 500 \text{ kg/m}^3$
- $d > 6 \text{ mm}$
- $t < 7d$

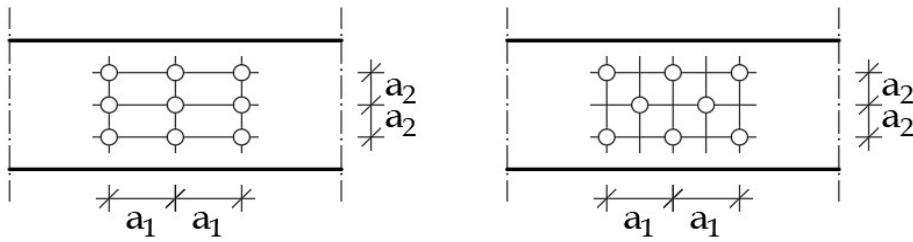


$$a_{4t} = 5 + 5\sin\alpha$$



## 7.4.2 Ruuvien ja pulttien pienimmät sallittavat etäisyydet

Liitinvälit syysuuntaan  $a_1$  ja syitä vastaan kohtisuoraan  $a_2$ :



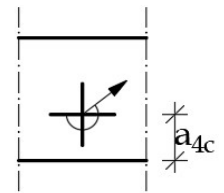
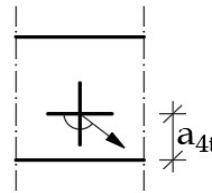
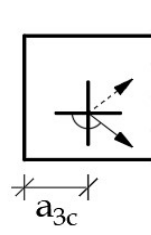
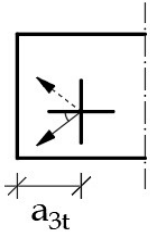
Reuna- ja päätyetäisyydet:

Kuormitettu pääty

Kuormittamaton pääty

Kuormitettu reuna

Kuormittamaton reuna



$$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$$

$$90^\circ < \alpha < 270^\circ$$

$$0^\circ < \alpha < 180^\circ$$

$$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$$

### Pituussuuntaan kuormitetut ruuvit

Kärjenpuoleisessa puussa kierreosan vähimmäistunkeuma on  $6d$ . Ruuvivälien ja reunaetäisyyksien vähimmäisarvot ovat seuraavat:

- $a_1 = 7d$
- $a_2 = 5d$
- $a_3 = 10d$
- $a_4 = 4d$

**Kerto-LVL**:n syrjäliitoksissa, joissa ruuvi on viilutason suunnassa ja kohtisuorasti pintaviilujen syysuuntaan nähden, voidaan pituussuunnassa kuormitettujen itseporautuvien ruuvien minimiväleinä ja -etäisyyksinä käyttää seuraavia arvoja:

- $a_1 = 10d$
- $a_3 = 12d$
- $a_4 = 4d$  (reunaetäisyys LVL:n lapepintaan)
- $a_4 = 3d$  (käytettäessä esiporausta)

### Pulttien minimivälit ja reunaetäisyydet

		Sahatavara, liimapuu	Kerto-S-LVL
$a_1$	Syysuuntaan	$(4 +  \cos\alpha )d$	$(4 + 3 \cos\alpha )d$
$a_2$	Syitä vastaan kohtisuoraan	$4d^{1)}$	$4d^{1)}$
$a_{3t}$	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$\max[7d; 80 \text{ mm}]$	$\max[7d; 105 \text{ mm}]$
$a_{3c}$	$90^\circ < \alpha < 150^\circ$	$(1 + 6 \sin\alpha)d$	$(1 + 6 \sin\alpha)d$
	$150^\circ \leq \alpha \leq 210^\circ$	$4d$	$4d$
	$210^\circ < \alpha < 270^\circ$	$(1 + 6  \sin\alpha )d$	$(1 + 6  \sin\alpha )d$
$a_{4t}$	$0^\circ < \alpha < 180^\circ$	$\max[(2+2\sin\alpha)d; 3d]$	$\max[(2+2\sin\alpha)d; 3d]$
$a_{4c}$	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$3d$	$3d$

<sup>1)</sup> Lohkeamismurto tulee tarkistaa myös puuosien välisissä liitoksissa, jos  $a_2 < 5d$



