



MUURATTUJEN RAKENTEIDEN MITOITUSOHJE EUROKOODIN MUKAAN

Muurattu palkki, seinämäinen palkki ja holvattu
palkki

Joni Tervo

Opinnäytetyö
Toukokuu 2013
Rakennustekniikka
Talonrakennustekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Talonrakennustekniikka

JONI TERVO:

Muurattujen rakenteiden mitoitusohje eurokoodin mukaan
Muurattu palkki, seinämäinen palkki ja holvattu palkki

Opinnäytetyö 27 sivua, joista liitteitä 2 sivua
Toukokuu 2013

Euroopan talousalueella otetaan heinäkuussa 2013 käyttöön yhteiset rakennemitoitusnormit. Eurokoodien mukaan rakenteista saadaan oletettavasti tarkempia mitoituslaskelmia ja näin ollen säästetään materiaalimenekissä ja kustannuksissa.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä Finnmap Consulting Oy:lle ohje muuratun palkin, seinämäisen palkin sekä holvatun palkin mitoittamiseen eurokoodin mukaan. Työ tulee myös opetuskäyttöön Tampereen ammattikorkeakoulun muurattujen rakenteiden kurssille.

Tavoitteena tässä tutkimuksessa oli tehdä mahdollisimman yksinkertainen ohje yksinkertaisen muuratun palkin, seinämäisen palkin ja holvatun palkin mitoittamiseen. Holvatun palkin osalta eurokoodi ei sisällä ohjetta, koska sitä harvoin käytetään nykypäivän rakenteissa. Holvatun palkin ohje muodostuu siis pääosin vanhan mallin mukaan.

Eurokoodi 6 (Muuratut rakenteet) on ja tulee olemaan todennäköisesti vähällä käytöllä, koska muuratut kantavat rakenteet ovat nykyään melko harvinaisia. Julkisivuissa muurit tekevät uutta tulemistaan, joten on tärkeää pitää myös mitoitusohjeet ajan tasalla.

ABSTRACT

Tampere University of Applied Sciences
Civil Engineer
Structural engineering

JONI TERVO:

Design of masonry structures according to eurocodes
Masonry beam, wall-type masonry beam and masonry arch

Bachelor's thesis 27 pages, appendices 2 pages
May 2013

The regulations regarding structural designing will become mandatory in July 2013 and thereon the regulations will be common within the European economic zone. Structural calculations are more accurate when using eurocodes and it will lead in financial savings concerning material costs.

The purpose of this thesis was to produce for Finnmap Consulting Oy the instructions on how to design masonry beam, wall-type masonry beam and masonry arch according to eurocodes. Tampere University of Applied Sciences will also utilize the instructions at teaching material in their masonry structures course.

The aim of this thesis was to make the instructions on designing masonry beams as simple and comprehensive as possible. There are no instructions on how to design masonry arches in eurocodes because masonry arches are rare in architecture nowadays. Therefore the instructions of designing masonry arches follow pretty much the old Finnish code.

Eurocode 6 (Masonry structures) is not used much today's architecture and the situation will probably stay as it is because masonry supporting structures are not the most common solution anymore. However, in elevation architecture masonry is coming more and more general.

Key words: masonry structures, eurocode 6, EC 6, brick, masonry beam

ALKUSANAT

Haluan kiittää Tampereen ammattikorkeakoulun puolelta Olli Saarista avusta opinnäytetyön tekemisessä sekä Finnmap Consulting Oy:ltä Tapio Raunamaa ja Kari Lemettistä opinnäytetyön aiheesta. Lisäksi kiitokset koulukavereille, opettajille sekä perheenjäsenille avusta opintovuosien aikana.

Tampereella toukokuussa 2013

Joni Tervo

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	MITOITUSOHJEET	8
2.1	Palkki	8
2.1.1	Jännemittojen raja-arvot.....	8
2.1.2	Puristuslujuus	10
2.1.3	Leikkausmitoitus	11
2.1.4	Taivutusmitoitus.....	11
2.1.5	Raudoituksen ankkurointi	12
2.2	Seinämäinen palkki	13
2.2.1	Tehollinen pituus, sisäinen momenttivarsi ja tehollinen korkeus	13
2.2.2	Taivutusmitoitus.....	14
2.2.3	Leikkausmitoitus ja raudoituksen ankkurointi	14
2.3	Holvattu palkki	15
2.3.1	Kaaren muodon määrittäminen	15
2.3.2	Kaaren mitoitus	16
2.3.3	Esimerkki holvatun palkin mitoittamisesta.....	19
3	CE-MERKINTÄ	23
4	POHDINTA.....	25
	LÄHTEET.....	26
	LIITTEET	27
	Liite 1. Muuraukappaleiden aukkoryhmittelyn mittavaatimukset.....	27
	Liite 2. Materiaalien osavarmuuskertoimet.....	28

LYHENTEET JA TERMIT

EC 6	Eurocodes 6, eurokoodi 6
CE-merkintä	Eurooppalaisen standardisointijärjestön CENin laatima harmonisoitu tuotestandardi
SKOL	Suunnittelu- ja konsulttitoimistojen liitto

1 JOHDANTO

Eurokoodien käyttöön siirtyminen tapahtuu Suomessa 1.7.2013. Rakentamismääräyskokoelman B-sarja uudistetaan eurokoodiyhteensopivaksi ja ohjeet korvataan pääosin eurooppalaisilla toteutusstandardeilla. Tässä tutkimuksessa syvennyttiin muurattuun palkkiin, seinämäiseen palkkiin ja holvattuun palkkiin.

SKOL:n mitoitushjelmat ovat hyviä apuvälineitä muurattujen rakenteiden mitoituksessa ja tässä opinnäytetyössä tehtiin erillinen powerpoint diaesitys ohjelmalla mitoitamisen selventämiseksi.

Useimpien rakennustuotteiden CE-merkintä tulee pakolliseksi 1.7.2013 ja se koskee myös muuraustuotteita. Tässä opinnäytetyössä selostetaan CE-merkinnän sisältöä ja tarkoitusta.

2 MITOITUSOHJEET

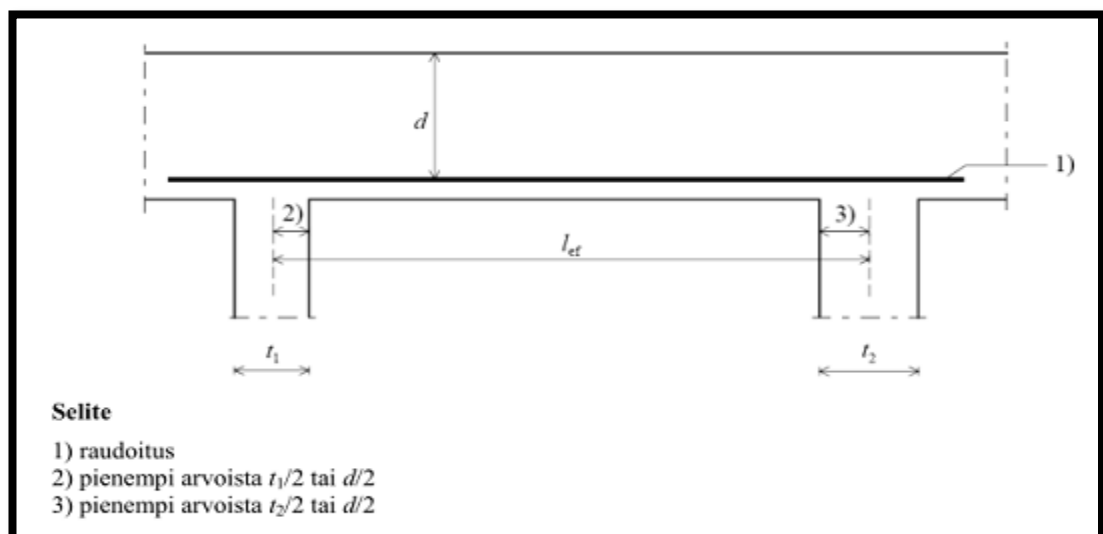
Muuratut rakenteet mitoitetaan murtorajatilassa. Mitoitusta ei tehdä käyttörajatilassa, vaan erilaisten taulukoiden tai mittasuhteiden perusteella tarkistetaan että käyttörajatila ei tule määrääväksi. Suunnittelun lähtötiedot tulee etsiä tuotteiden CE-merkinnästä, koska suuri osa lujuuksista on tuotekohtaisia. Muurauskappaleet jaotellaan neljään aukkoryhmään mitoitettaessa (liite 1). Materiaalien osavarmuuskertoimet löytyvät SFS-EN 1996 kansallisesta liitteestä, taulukko 3.1 (liite 2). Palkkien raudoitteissa tulee siirtyä käyttämään nykyaikaisia ruostumattomia tikasraudoitteita tai ylityspalkkeja. Ne ovat kestäviä, laajasti testattuja ja helppoja asentaa muurauksiin sekä niistä on tarjolla hyviä mitoitus- ja lujuustaulukoita. Tikasraudoitteiden tekniset tiedot on nähtävillä Amutek Oy:n nettisivuilla, jonka osoite on tämän työn lähdeluettelossa (Amutek oy).

2.1 Palkki

2.1.1 Jännemittojen raja-arvot

Vapaasti tuettujen tai jatkuvien tavallisten muurattujen palkkien tehollinen jännemitta l_{ef} voidaan olettaa pienimmäksi seuraavista (kuva 1):

- tukien keskikohtien välinen etäisyys
- tukien vapaa väli lisättynä tehollisella korkeudella d



KUVA 1. Vapaasti tuetun palkin tehollinen jännemitta (SFS-EN 1996-1-1, Kuva 5.3)

Raudoitetun muuratun rakenneosan jännemitta rajoitetaan eurokoodissa taulukon 5.2 (taulukko 1) mukaisiin raja-arvoihin. Jos taulukossa esitetyt ehdot täyttyvät, ei käyttörajaatilatarkastelua tarvitse tehdä. SKOL:n mitoitusohjelman mukaan vapaasti tuetulle palkille tulisi käyttää alla olevan taulukon suhdelukuna mieluummin 8 kuin 20.

TAULUKKO 1. Jännemitan ja tehollisen korkeuden suhteen raja-arvot (SFS-EN 1996-1-1, Taulukko 5.2)

tuentatapa	tehollisen jännemitan suhde teholliseen korkeuteen (l_{ef}/d) tai teholliseen paksuuteen (l_{ef}/t_{ef})	
	taivutetut seinät ¹⁾	palkki ²⁾
vapaasti tuettu	35	20 8
jatkua	45	26
ristiinkantava	45	-
uloke	18	7

HUOM. Kun kyseessä ovat ulokeseinät, jotka eivät muodosta rakennuksen osaa ja joihin pääasiassa kohdistuu tuulikuormaa, raja-arvoja voidaan kasvattaa 30 % edellyttäen, että seiniä ei ole pinnoitettu aineella, joka voi vaurioitua taipumien johdosta.

Sivusuuntainen tuenta on riittävä seuraavien ehtojen täytyessä. Sivusuuntaisten tukien vapaa väli l_r ei saa ylittää pienempää seuraavista arvoista:

$$l_r \leq 60 b_c \quad (1)$$

$$l_r \leq \frac{250}{d} b_c^2 \quad (2)$$

missä:

d on tehollinen korkeus

b_c on puristuspinnan leveys sivutukien puolivälissä

Tarkistetaan, ettei kyseessä ole seinämäinen palkki:

$$1,15 \cdot \frac{l_{cl}}{2} \geq h \quad (3)$$

missä:

l_{cl} on tukien vapaa väli

h on palkin korkeus

2.1.2 Puristuslujuus

Muurin puristuslujuus f_k saadaan kaavasta:

$$f_k = K \cdot f_b^\alpha \cdot f_m^\beta \quad (4)$$

missä:

f_b on muurauskappaleen normalisoitu puristuslujuus (ilmoitettu CE-merkinnässä)

f_m on laastin puristuslujuus (ilmoitettu CE-merkinnässä)

Kertoimet K , α ja β riippuvat muurauskappaleen tyypistä ja aukkoryhmästä (SFS-EN 1996-1-1 kansallinen liite, taulukko 3.3 ja kohta 3.6.1.2)

Laskentalujuus f_d :

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_M} \quad (5)$$

γ_M on muurin osavarmuuskerroin

SFS-EN 1996-1-1 kansallisessa liitteessä esitetään myös toinen tapa laskea puristuslujuus (Kuva 2).

Vaihtoehtoisesti vaakasaumojen suuntaisen normalisoidun puristuslujuuden voi määrittää vaakasaumaa vasten kohtisuoran suunnan normalisoidusta puristuslujuudesta laskennollisesti seuraavalla kaavalla aukkoryhmien 1,2 ja 3 muurauskappaleille, joissa aukot kulkevat muurauskappaleen läpi:

$$f_{b1} = f_b \cdot ct / (1 - V_h),$$

jossa

- f_{b1} on normalisoitu puristuslujuus vaakasauman suunnassa
- f_b on normalisoitu puristuslujuus vaakasaumaa vasten kohtisuorassa suunnassa
- ct on muurauskappaleen kannasten ja seinämien yhteenlasketun paksuuden suhde kokonaisleveyteen. Arvo on valmistajan ilmoittama tai se valitaan aukkoryhmän minimiarvon mukaan standardin EN 1996-1-1 taulukosta 3.1.
- V_h on kaikkien aukkojen tilavuuden suhde bruttotilavuuteen. Arvo on valmistajan ilmoittama tai se valitaan aukkoryhmän minimiarvon mukaan standardin EN1996-1-1 taulukosta 3.1.

Raudoitettulla muuratulla rakenteella, jonka jännitys jakauma on standardin EN 1996-1-1 kuvan 6.4 mukainen, normalisoituna puristuslujuutena vaakasauman suunnassa voidaan käyttää puristetun osan normalisoitua puristuslujuutta koko muurauskappaleen vaakasauman suuntaisen normalisoidun puristuslujuuden sijasta. Tällöin pystysaumoissa on oltava laastia koko puristetulla osalla. Valmistaja voi tarvittaessa ilmoittaa edellä mainitun puristetun osan normalisoidun puristuslujuuden (=massan puristuslujuuden keskiarvo).

KUVA 2. Normalisoidun puristuslujuuden määrittäminen (SFS-EN 1996-1-1 kansallinen liite)

2.1.3 Leikkausmitoitus

Leikkauskestävyys lasketaan etäisyydellä $d/2$ tuen reunasta. Ominaisleikkauslujuuden arvo f_{vko} saadaan CE-merkinnästä. Leikkauslujuus f_{vd} saadaan kaavasta:

$$f_{vd} = \frac{f_{vko}}{\gamma_M} \quad (6)$$

Leikkausvoimakapasiteetti V_{Rd} :

$$V_{Rd} = f_{vd} \cdot b \cdot d \quad (7)$$

missä:

b = palkin poikkileikkauksen leveys

d = palkin tehollinen korkeus

2.1.4 Taivutusmitoitus

Teräsmäärä muuratussa palkissa voidaan laskea samalla tavalla kuten teräsbetonirakenteissa suhteellisen momentin kautta ja tarkistetaan ettei suhteellisen momentin yläraja-arvo ylity (taulukko 2). Suhteellinen momentti μ lasketaan kaavasta:

$$\mu = \frac{M_d}{b \cdot d^2 \cdot f_d} \quad (8)$$

missä M_d on mitoittava taivutusmomentti.

Seuraavaksi lasketaan puristuspuunnan suhteellinen korkeus β .

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2\mu} \quad (9)$$

Sisäinen momenttivarsi z lasketaan kaavasta:

$$z = d \cdot \left(1 - \frac{\beta}{2}\right) \quad (10)$$

Lopuksi saadaan selville tarvittava teräspinta-ala A_s

$$A_s = \frac{M_d}{z \cdot f_{yd}} \quad (11)$$

Teräksen vetolujuus f_{yd} saadaan selville tikasraudoitteiden teknisistä tiedoista. Kun tarvittava teräsmäärä on laskettu, täytyy vielä tarkistaa minimiteräsmäärä:

$$A_{s,min} = 0,05\% \cdot b \cdot d \quad (12)$$

Raudoituksen tartuntalujuus ja ankkurointilujuuden mitoitusarvot saadaan selville tikasraudoitteiden teknisistä tiedoista (Amutek Oy).

TAULUKKO 2. Suhteellisen momentin yläraja-arvot (Timo Tikanoja)

Taulukko 6.1.1S Suhteellisen momentin yläraja-arvot μ_{max}

Suhteellisen momentin yläraja-arvot μ_{max}		
	$f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$	$f_{yk} = 600 \text{ N/mm}^2$
aukkoryhmä 1, muut kuin kevytrunkoaineiset muurauskappaleet	$\mu_{max}=0,358$	$\mu_{max}=0,338$
aukkoryhmä 1, kevytrunkoaineiset muurauskappaleet	$\mu_{max}=0,300$	$\mu_{max}=0,300$
aukkoryhmät 2, 3 ja 4	$\mu_{max}=0,292$	$\mu_{max}=0,269$

2.1.5 Raudoituksen ankkurointi

Eurokoodissa ei ole ohjetta terästen vetovoiman laskemiseen, mutta siihen voidaan soveltaa vanhan normin kaavoja. Terästen vetovoima F_d voidaan laskea kaavalla:

$$F_d(x) = \frac{M_{Ed}(x)}{z} + V_{Ed}(x) \quad (13)$$

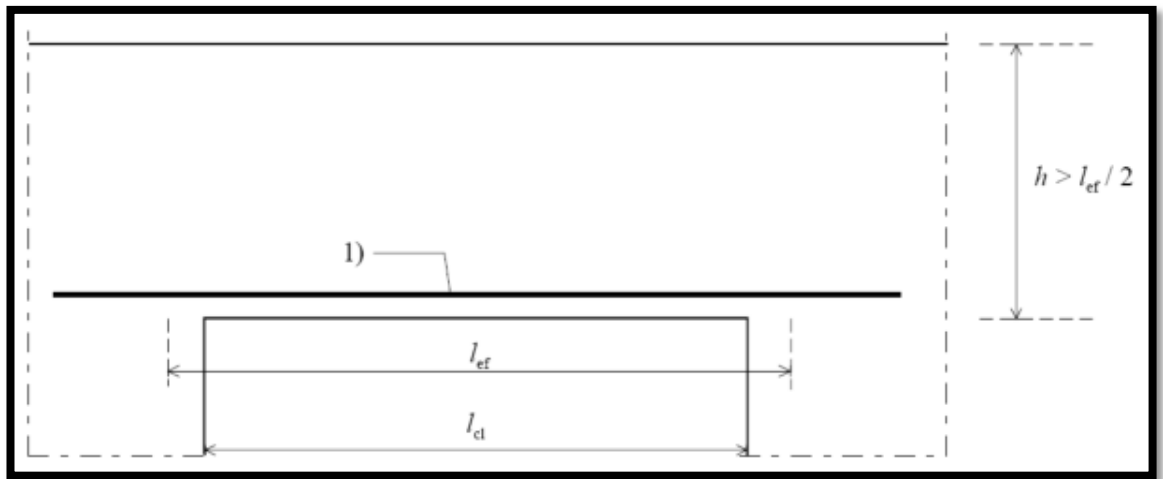
Vetovoimaa ei kuitenkaan tarvitse olettaa suuremmaksi kuin maksimimomentin aiheuttama vetovoima. Seinämäisen palkin raudoitus ankkuroidaan maksimimomentin aiheuttamalle vetovoimalle.

Raudoituksen ankkurointiohjeet on esitetty selkeästi tikasraudoitteiden teknisissä tiedoissa (Amutek Oy).

2.2 Seinämäinen palkki

Muuratun palkin mitoittaminen seinämäisenä palkkina tulee kyseeseen, kun kaavan 3 tulos on pienempi kuin palkin korkeus:

$$1,15 \cdot \frac{l_{cl}}{2} \leq h \quad (3)$$



KUVA 3. Seinämäinen palkki (SFS-EN 1996-1-1, Kuva 5.5)

Mitoitus alkaa kuten tavallisessa palkissa. Puristuslujuus, leikkauslujuus, terästen vetolujuus ja raudoituksen tartuntalujuus lasketaan samalla tavalla kuten tavallisen palkin mitoituksessa. Palkkien mitoitus eroaa hieman taivutusmitoituksessa.

2.2.1 Tehollinen pituus, sisäinen momenttivarsi ja tehollinen korkeus

Seinämäisen palkin tehollisena pituutena l_{ef} käytetään:

$$l_{ef} = 1,15 \cdot l_{cl} \quad (14)$$

Tehollisen pituuden avulla saadaan selville sisäinen momenttivarsi z :

$$z = \min(0,7 \cdot l_{ef}, 0,4 \cdot h + 0,2 \cdot l_{ef}) \quad (15)$$

Tehollinen korkeus d lasketaan eri tavalla kuin tavallisessa palkissa:

$$d = 1,3 \cdot z \quad (16)$$

2.2.2 Taivutusmitoitus

Taivutusmomentin vaatima teräspinta-ala lasketaan seinämäisessä palkissakin kuten teräsbetonirakenteissa. Myös seinämäisessä palkissa tarkastetaan minimiraudoitusehto. Maksimimomenttikapasiteetti ei myöskään saa ylittyä ja se tarkistetaan kaavalla:

$$M_{Rd,max} = 0,3 \cdot b \cdot d^2 \cdot f_d \quad (17)$$

Halkeamien rajoittamiseksi vaakasaumoissa käytetään raudoitusta pääraudoituksen yläpuolella palkin alareunasta etäisyydelle, joka on pienempi arvoista $0,5 l_{ef}$ tai $0,5 d$. Tikasraudoitteita voi asentaa muurattuihin palkkeihin voimien kasvaessa vaikka kaksi rinnakkain, jolloin lujuutta saadaan tuplasti lisää helpolla tavalla.

2.2.3 Leikkausmitoitus ja raudoituksen ankkurointi

Leikkausmitoitus suoritetaan samalla tavalla kuten tavallisessa palkissa. Raudoitus ankkuroidaan maksimimomentin aiheuttamalle vetovoimalle. Tikasraudoitteiden teknisissä tiedoissa on ankkurointiohjeet.

2.3 Holvattu palkki

Muurattujen seinien aukkojen yläpuoliset rakenteet kannatetaan tänä päivänä useimmiten raudoitetuilla muuratuilla palkeilla. Kaari- ja holvimuuraukset ovat nykypäivän rakentamisessa harvinaisia, mutta vanhojen rakennusten saneerauksissa tai muuten arkkitehtonisista syistä niitä voi olla tarkoituksenmukaista käyttää. Eurokoodi ei anna ohjeita muurattujen holvattujen palkkien mitoitukseen, joten tässä työssä on sovellettu Jukka Kinnusen Muuratut rakenteet 2 –kirjan ohjetta, muuttamalla joitakin kertoimia eurokoodia vastaaviksi.

Suuret muuratut kaaret täytyy mitoittaa kimmoteorian mukaan, jolloin laskeminen on vaikeaa ja tulee mm. kimmokertoimen epämääräisyyden takia epätarkaksi. Normaalit pienet kaaret ja holvit voidaan suunnitella nk. puristusviivamenetelmän avulla. Tiilikaarien puristusviiva voidaan usein määrätä pelkän pysyvän kuormituksen perusteella, koska se muodostaa valtaosan rakenteen kokonaiskuormituksesta.

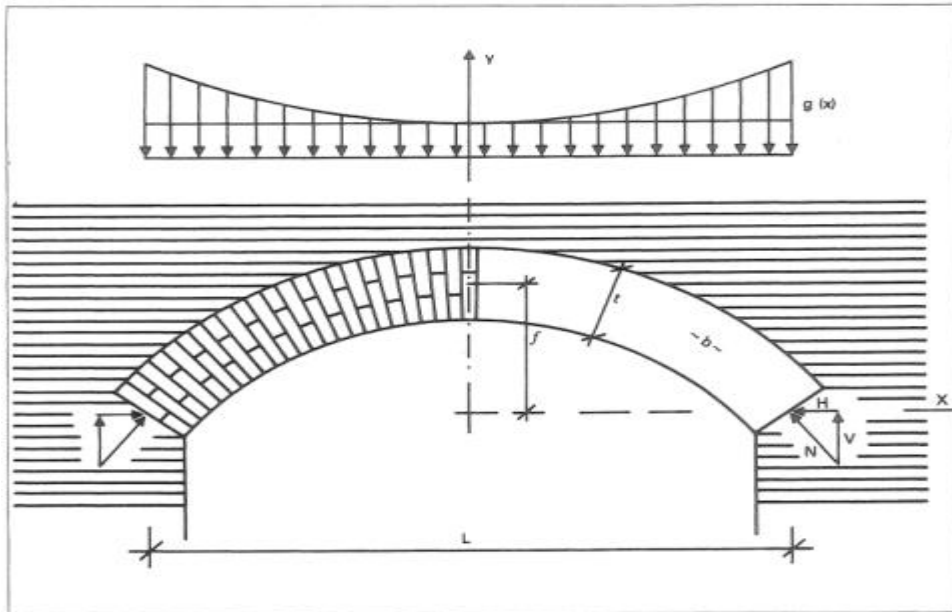


KUVA 4. Hämeenlinnan linnan portti (www.vastavalo.fi/hameen-linna-linnan-portti-linnan-portti-200016)

Holvin täytyy olla aina puristettu, koska siihen sen toiminta perustuu. Rakenne periaatteessa lujittuu mitä enemmän kuormaa on päällä mutta myös seinien, joihin holvi tukeutuu, täytyy kestää holvikaaren vaakavoimat. Mitoitusohjeiden jatkoksi holvatusta palkista on laskentaesimerkki ohjeiden selventämiseksi.

2.3.1 Kaaren muodon määrittäminen

Kaaren muoto voidaan määrittää kuvan 5 merkintöjä käyttäen seuraavasti:



KUVA 5. Tiilikaaren kuormitus ja merkintöjä (Kinnunen, 2006. Kuva 5.41)

Valitaan kaaren nuolikorkeus f ,

Lasketaan kuormitus $g = g(x)$

Lasketaan yksinkertaisen palkin jännevälin (L) momentti:

$$M = M(x) = \int \left[\int g(x) dx \right] dx \quad (18)$$

Lasketaan kaaren kannan vaakasuora voima H :

$$H = \frac{M(x=0)}{f} \quad (19)$$

Lasketaan kaaren kuormituksen puristusviivan yhtälö:

$$y = \frac{M(x)}{H} \quad (20)$$

2.3.2 Kaaren mitoitus

Mitointuvaiheet ovat seuraavat:

Lasketaan vertikaalisen leikkausvoiman suurin arvo V_{\max} ja lasketaan kaaren suurin normaalivoima kannassa.

$$N_{max} = \sqrt{V_{max}^2 + H^2} \quad (21)$$

Lasketaan puristusjännitys kannassa.

$$\sigma_c = \frac{N_{max}}{A} \leq f_d \quad (22)$$

Tarkistetaan ettei kaari nurjahda tasossaan,

$$\sigma_c \leq \frac{\sigma_{kr}}{\gamma} \quad (23)$$

jossa γ on varmuuskerroin, esimerkiksi 6

$$\sigma_{kr} = \frac{\eta}{1+k\left(\frac{2f}{L}\right)^2} \cdot \frac{E_{cc}}{3} \left(\frac{t}{L}\right)^2 \quad (24)$$

jossa:

t = kaaren paksuus

E_{cc} = muurin pitkäaikainen kimmokerroin, joka saadaan kun lyhytaikaiseen muodonmuutokseen lisätään viruma.

Lyhytaikaiselle kimmokertoimelle E_c voidaan käyttää arvoa:

$$E_c = 800 \cdot f_k \quad (25)$$

Kimmainen muodonmuutos ja viruman aiheuttama muodonmuutos saadaan laskettua kaavasta 26:

$$E_{cc} = \frac{E_c}{1+\emptyset} \quad (26)$$

jossa:

\emptyset = virumaluku, joka saadaan taulukosta 3.

TAULUKKO 3. Tiilimuurin virumalukuja. (SFS-EN 1996-1-1, kansallinen liite, kohta 3.7.4)

∅ Poltettu tiili	∅ Kalkkiahiekkatiili tai harkko
0,75	1,5

Kaksiniiveliselle paraabelikaarelle, jonka $t =$ vakio:

$\eta = 9,87$ ja $k = 2,9$ (antimetrisen nurjahdus = kaaren nurjahdus tasossa),

$\eta = 22,0$ ja $k = 2,6$ (symmetrisen nurjahdus = poikittainen nurjahdus).

Käytännössä kaaren nurjahdus tasossaan on lähes mahdoton.

Tarkistetaan ettei nurjahdusta tapahdu kohtisuoraan kaaren tasoa vastaan. Käsitellään kaarta puristussauvana (pilarina), jonka nurjahduspituus H_0 on:

$$H_0 = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{1+k\left(\frac{2f}{L}\right)^2}{\eta}} \cdot L = \beta L \quad (27)$$

Antimetrisen nurjahdus on symmetristä mitoittavampi, jolloin β saa seuraavia taulukon 4 arvoja:

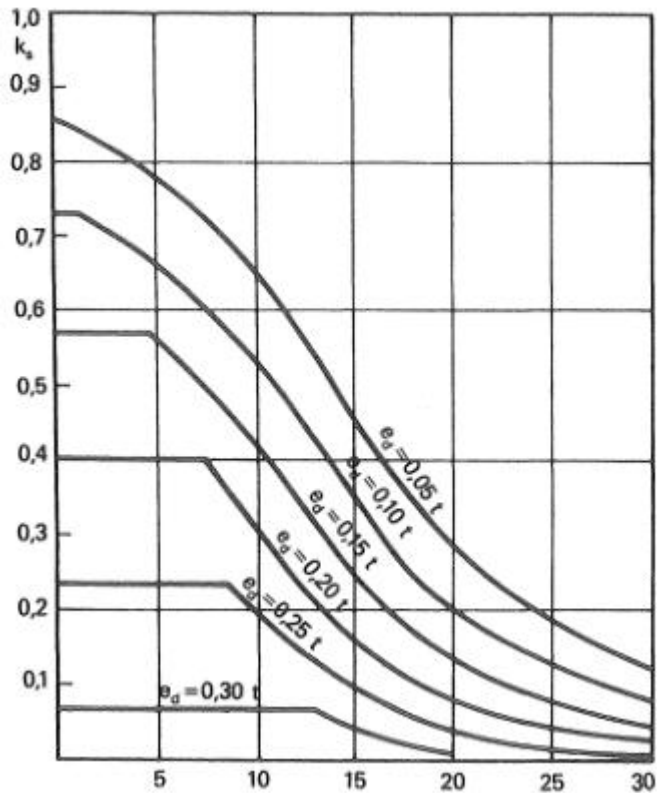
Taulukko 4. Nurjahduspituuskerroin β .

f/L	2	1	1/2	1/3	1/4	1/5
β	3,442	1,775	0,987	0,756	0,657	0,605

Kaaren puristusvoiman on täytettävä nurjahdusvaaran estämiseksi ehto:

$$N \leq N_u = k_s b t f_d \quad (28)$$

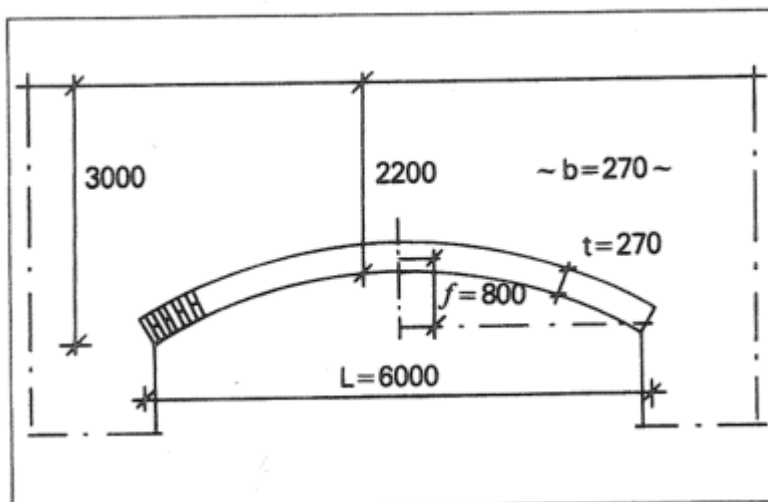
Puristuskestävyyden pienennyskerroin k_s saadaan kuvasta 6 mitoitusvoimakkuuden H_0/b (metreinä) avulla käyrältä $e_d = 0,05t$.



KUVA 6. Puristuskestävyyden pienennyskerroin k_s . (Kinnunen. 2006. kuva 4.1)

2.3.3 Esimerkki holvatus palkin mitoittamisesta

270 mm paksuista tiiliseinäjä suunnitellaan kannattamaan aukon yli tiilikaari 270 x 270 mm² kuvan 7 mukaisesti. Mitoitetaan kaaren muoto ja tiili-laasti -yhdistelmä. Kaari on tuettu sivusuunnassa vain kannoissa.



KUVA 7. Esimerkkiin liittyvä tiilikaari.

Kuormitus murtorajatilassa (vain pysyvää kuormaa). Laessa on muuria 2200 mm (tilavuuspaino 19kN/m^3).

$$g_0 = 1,15 \cdot 2,2\text{m} \cdot 0,27\text{m} \cdot 19\text{kN/m}^3 = 13\text{kN/m} \quad (29)$$

Kannassa:

$$g(x = L/2) = 1,15 \cdot 3\text{m} \cdot 0,27\text{m} \cdot 19\text{kN/m}^3 = 17,7\text{kN/m} \quad (30)$$

Kuormitusjakautuman approksimaatioksi voidaan ottaa (yleisesti):

$$g(x) = g_0 \left[1 + 6 \psi \left(2 \cdot \frac{x}{L} \right)^2 \right] \quad (31)$$

jossa:

ψ = muotoluku

Kun sijoitetaan kaavaan (31) g_0 ja $g(x = L/2)$ arvot, saadaan ratkaistua muotoluku:
 $17,7\text{kN/m} = 13\text{kN/m} \cdot (1 + 6 \psi)$, josta saadaan muotoluvuksi 0,060.

VOIMASUUREET (yksinkertaisena palkkina):

$$\text{Leikkausvoima } V(x) = \int_0^x g(x) dx$$

$$V(x) = g_0 x \left[1 + 2 \psi \left(2x/L \right)^2 \right] \quad (32)$$

$V_{max} = V(x = L/2) = \frac{g_0 L}{2} (1 + 2 \psi)$, johon sijoitetaan suureiden arvot:

$$V_{max} = V(x = L/2) = \frac{13\text{kN/m} \cdot 6\text{m}}{2} \cdot (1 + 2 \cdot 0,060) = 43,7\text{kN}$$

$$\text{Momentti } M(x) = \int_x^{\frac{L}{2}} V(x) dx$$

$$M(x) = \frac{g_0 L^2}{8} \left[1 + \psi - \left(2x/L \right)^2 - \left(2x/L \right)^4 \right] \quad (33)$$

$M_{max} = M(x = 0) = \frac{g_0 L^2}{8} \cdot (1 + \psi)$, johon sijoitetaan arvot:

$$M_{max} = M(x = 0) = \frac{13kN/m \cdot (6m)^2}{8} \cdot (1 + 0,060) = 62kNm$$

Kaaren kannan vaakasuora voima $H = \frac{M}{f}$

$$H = \frac{62kNm}{0,8m} = 77,5kN \quad (19)$$

Kaaren normaalivoima $N_{max} = \sqrt{V_{max}^2 + H^2}$

johon sijoitetaan arvot:

$$N_{max} = \sqrt{43,7kN^2 + 77,5kN^2} = 89kN \quad (21)$$

Puristusviivan (~ kaaren akseli) yhtälö muotoutuu:

$$y = \frac{M}{H} = f \left[1 - \frac{1}{1+\psi} (2x/L)^2 - \frac{\psi}{1+\psi} (2x/L)^4 \right] \quad (35)$$

MITOITUS

Yrite 1

Valitaan savitiili ($f_b = 20N/mm^2$) ja laasti ($f_m = 5N/mm^2$), joilla saadaan muurin puristuslujuudeksi $f_d = 1,07N/mm^2$.

Kaaren puristusjännitys kannassa:

$$\sigma_c = \frac{N_{max}}{A} = \frac{89000N}{(270 \cdot 270)mm^2} = 1,22N/mm^2 \quad (22)$$

$\sigma_c > f_d \rightarrow$ Ei kestä.

Huomataan, että puristusjännitys kannassa ylittää muurin puristuslujuuden.

Kaaren tasonurjahdus (antimetrisen):

$$\sigma_{kr} = \frac{9,87}{1 + 2,9(2 \cdot 0,8/6)^2} \cdot \frac{800 \cdot 1,07 \text{ kN/m}^2}{1,75 \cdot 3} \cdot \left(\frac{0,27 \text{ m}}{6 \text{ m}}\right)^2 = 24,3 \text{ N/mm}^2 \quad (24)$$

$$\sigma_{kr}/\gamma = \frac{24,3 \text{ N/mm}^2}{6} = 4,0 \text{ N/mm}^2 \quad (23)$$

$\sigma_c < \sigma_{kr} \rightarrow$ Kaari ei nurjahda tasossaan.

Kaaren poikittainen nurjahdus (β arvo laskettu kaavasta 27):

Nurjahduspituus:

$$H_0 = \beta L = 0,549 \cdot 6 \text{ m} = 3,294 \text{ m}$$

kerroin k_s :

$$\frac{H_0}{b} = \frac{3,294}{0,27} = 12,2, \text{ ja k\u00e4yr\u00e4lt\u00e4 } e_d = 0,05t \text{ luetaan arvo } k_s = 0,58 \text{ (kuva 6)}$$

$$N_u = 0,58 \cdot 270 \text{ mm} \cdot 270 \text{ mm} \cdot 1,07 \text{ N/mm}^2 = 45,2 \text{ kN}$$

$N > N_u \rightarrow$ Ei kest\u00e4.

Rakenne ei kest\u00e4, joten on yritett\u00e4v\u00e4 muuttaa kaaren korkeutta tai tiili-laasti – yhdistelm\u00e4\u00e4 ja sit\u00e4 my\u00f6t\u00e4 l\u00f6yt\u00e4\u00e4 kest\u00e4v\u00e4 ratkaisu suunnitteluun. Vanhan normin mukaan laskettuna kaari on saatu kest\u00e4m\u00e4\u00e4n Kinnusen esimerkiss\u00e4, mutta eurokoodissa muurin laskentalujuuksille saadaan huomattavasti pienemm\u00e4t arvot ja sill\u00e4 on suurempi vaikutus kuin kuormien varmuuskertoimilla t\u00e4ss\u00e4 ty\u00f6ss\u00e4 esitetys\u00e4 esimerkiss\u00e4.

3 CE-MERKINTÄ

Eurokoodien käyttöönoton seurauksena materiaalivalmistajien on hankittava tuotteilleen tyyppihyväksyntä. 1.7.2013 alkaen useimmissa rakennustuotteissa tulee olla CE-merkintä, myös muurausmateriaaleissa. CE-merkinnällä valmistaja osoittaa että tuotteen keskeiset ominaisuudet on selvitetty siihen sovellettavan harmonisoidun tuotestandardin mukaisesti. CE-merkinnästä käy ilmi tuotteen ominaisuudet yhdenmukaisella tavalla ja helpottaa niiden vertailua (kuva 7).

 01234	
AnyCo Ltd 07 01234-CPD-00234	
EN 771-1+A1:2005	
HD-tiili, Katgoria I NT-umpitiili (pituus 270 mm, leveys 130 mm, korkeus 75 mm)	
Sallitut mittapoikkeamat: mittapoikkemaluokka (pituus ± 7 mm, leveys ± 5 mm, korkeus ± 3 mm)	T1
hajontaluokka (pituus ± 10 mm, leveys ± 7 mm, korkeus ± 5 mm)	R1
lappeiden tasaisuus	NPD
lappeiden yhdensuuntaisuus	NPD
Kappaleen muoto:	Aukkoryhmä 1
Puristuslujuus: ¹⁾	
kappaleen puristuslujuuden keskiarvo $f_{tk} = 25 \text{ N/mm}^2/\text{NPD}$ (Liapelpää)	
normalisoitu puristuslujuus (keskiarvo) $f_t = 20 \text{ N/mm}^2/\text{NPD}$ (Liapelpää)	
Mittojen pysyvyys, kosteusmuodonmuutos:	NPD
Tartuntalujuus:	
laastilla M 100/600 testattu ominaisarvo	$f_{v,ka} = 0,16 \text{ N/mm}^2$
Liukoinen suolamäärä:	NPD
Palokäyttäytyminen:	Euroluokka A1
Vedenimukyky: ²⁾	Yläraja 17 %
Vesihöyryn läpäisevyyden diffuusiokerroin μ: raja-arvot taulukosta	5/10
Ilmääneneristävyys: bruttokuivatiheys (keskiarvo)	1360 kg/m ³
kappaleen muoto	umpinainen
Ekvivalentti lämmönjohtavuus:	
$\lambda_{10,av}$ keskiarvo taulukosta	0,3 W/mK
Jäädytys-sulatuskestävyys: SFS-käsikirjan osan III jäädytys-sulatus testi läpäisty	
Vaaralliset aineet:	ks. alla oleva huomautus

KUVA 7. Esimerkki CE-merkinnästä, poltetu tiili.

Rakennustuotteiden CE-merkintään johtavateurooppalaiset yhdenmukaistetut tuotestandardit esittävät harmonisoiduille ominaisuuksille eurooppalaisen testimenetelmän, laskentamenetelmän tai taulukkoarvot ja sen, miten ominaisuuksiin liittyvät arvot ja luokitukset ym. esitetään CE-merkinnässä. Kansalliset viranomaiset voivat asettaa vaatimuksia vain harmonisoiduille ominaisuuksille.

Suurella osalla tuotteista on jo CE-merkintä, mutta silti siirtymävaiheen arvellaan olevan kaikille osapuolille haasteellinen ja muutos on suuri, koska CE-merkinnän käyttöönotto tapahtuu valtaosin kertaheitolla.

4 POHDINTA

Muurattujen rakenteiden mitoitus on nykyään jäänyt selvästi vähemmälle kuin teräsbetoni-, teräs ja puurakenteiden mitoitus esimerkiksi. Holvatuista palkeista ei löydy yhtä selkeää mitoitusohjetta, vaan monissa kirjoissa on hajanaisesti toisistaan poikkeavia tapoja holvien mitoitukseen. Kouluissakin keskitytään opettamaan yleisimpien rakennusmateriaalien mitoitusta, mikä on tietenkin selvää, koska niiden parissa opiskelijat joutuvat työuransa aikana suurimman osan toimimaan. On kuitenkin hyvä, jos olemassa on selkeitä ohjeita myös vähemmän käytettyjen materiaalien mitoitukseen, koska niitäkin vielä käytetään ja tullaan käyttämään rakentamisessa. Tässä opinnäytetyössä holvatun palkin mitoituksessa joitakin varmuuskertoimien alkuperiä ei pystytty selvittämään, mutta tutkimus tulee jatkumaan tulevaisuudessa.

LÄHTEET

Eurokoodi 6, Muuratut rakenteet. SFS-EN 1996-1-1.

Kansallinen liite standardiin SFS-EN 1996-1-1.

Eurokoodi Help Desk. Luettu 19.11.2012. <http://www.eurocodes.fi/>

Eurokoodi 6, Muurattujen Rakenteiden suunnittelu: Rateko – AMK-opettajien koulutusmateriaali. Timo Tikanoja. 27.5.2012.

Kinnunen, Jukka, Muuratut Rakenteet 2: Rakennesuunnittelu. Helsinki. Rakennustieto Oy. 2006

Suomen standardisoimisliitto SFS ry. Luettu 15.3.2013.
http://www.sfs.fi/julkaisut_ja_palvelut/standardi_tutuksi/ce-merkinta

Hakulinen, Ulla, Muuratut rakenteet eurokoodin mukaan. Insinööryö. Metropolia ammattikorkeakoulu. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Helsinki. 2008.

Amutek Oy:n kotisivut: Bistål tikasraudoite, tekniset tiedot pdf. Luettu 13.2.2013.
http://www.amutek.fi/kayttoohjeet/AMUTEK_OY_BISTAL-tikasraudoite_TEKN_2009.1.pdf

LIITTEET

Liite 1. Muurauskappaleiden aukkoryhmittelyn mittavaatimukset (Eurokoodi 6, SFS-EN 1996-1-1, taulukko 3.1).

Taulukko 3.1 Muurauskappaleiden aukkoryhmittelyn mittavaatimukset

	materiaalit ja muurauskappaleiden mittarajat							
	aukkoryhmä 1 (kaikki materiaalit)	materiaali	aukkoryhmä 2		aukkoryhmä 3		aukkoryhmä 4	
			pystysuorat aukot				vaakasuurat aukot	
kaikkien aukkojen tilavuus (% brutto-tilavuudesta)	≤ 25	poltettu tiili	> 25; ≤ 55		≥ 25; ≤ 70		> 25; ≤ 70	
		kalkkihiekkatiili tai -harkko	> 25; ≤ 55		ei käytetä		ei käytetä	
		betoni ^b	> 25; ≤ 60		> 25; ≤ 70		> 25; ≤ 50	
minkä tahansa aukon tilavuus (% brutto-tilavuudesta)	≤ 12,5	poltettu tiili	yksittäinen reikä ≤ 2, nostosyvennykset yhteensä enintään 12,5		yksittäinen reikä ≤ 2, nostosyvennykset yhteensä enintään 12,5		yksittäinen reikä ≤ 30	
		kalkkihiekkatiili tai -harkko	yksittäinen reikä ≤ 15, nostosyvennykset yhteensä enintään 30		ei käytetä		ei käytetä	
		betoni ^b	yksittäinen reikä ≤ 30, nostosyvennykset yhteensä enintään 30		yksittäinen reikä ≤ 30, nostosyvennykset yhteensä enintään 30		yksittäinen reikä ≤ 25	
kannasten ja seinämien paksuus (mm)	ei vaatimuksia		kannas	seinämä	kannas	seinämä	kannas	seinämä
		poltettu tiili	≥ 5	≥ 8	≥ 3	≥ 6	≥ 5	≥ 6
		kalkkihiekkatiili tai -harkko	≥ 5	≥ 10	ei käytetä		ei käytetä	
	betoni ^b	≥ 15	≥ 18	≥ 15	≥ 15	≥ 20	≥ 20	
kannasten ja seinämien yhteenlaskettu paksuus ^a (% kokonaisleveydestä)	ei vaatimuksia	Poltettu tiili	≥ 16		≥ 12		≥ 12	
		kalkkihiekkatiili tai -harkko	≥ 20		ei käytetä		ei käytetä	
		betoni ^b	≥ 18		≥ 15		≥ 45	

^a Kannasten ja seinämien yhteenlaskettu paksuus, joka mitataan vaakatasossa tarkasteltavassa suunnassa. Mittausta pidetään alkutestinä, joka uusitaan vain mikäli kappaleen mittoihin tehdään olennaisia muutoksia.

^b Aukkojen ollessa kartiomaisia tai kennomaisia kannasten ja seinämien paksuutena voidaan käyttää keskiarvoa.

Liite 2. Materiaalien osavarmuuskertoimet (SFS-EN 1996-1-1, kansallinen liite, kohta 2.4.3)

γ_M (normaalisti vallitseva mitoitustilanne)	
muurattu rakenne, jossa käytetään:	
kategorian I muurauskappaleita ja ominaisuuslaastia ^a	1,8
kategorian I muurauskappaleita ja muuta kuin ominaisuuslaastia ^b	2,4
kategorian II muurauskappaleita ja mitä tahansa laastia ^{a,b,d}	2,5
raudoituksen ankkurointi	1,8
raudoitus ja jänneteräs	1,15
standardin EN 845-1 mukaiset muuraussiteet, vanteet, kannattimet ja konsolit sekä standardin EN 845-2 mukaiset ylityspalkit ^c , valmistaja ei ilmoita murtotapaa	3,2
Valmistaja voi ilmoittaa käytettävän varmuuskertoimen myös rakenteen murtumistavan mukaan seuraavasti. Murtuminen tapahtuu:	
- betonissa, puussa tai muurauksessa tai niiden rajapinnassa	1,35 γ_{MI}
- teräksessä, alumiinissa tai betoniteräksessä	1,10 γ_{MI}
γ_{MI} on kyseessä olevaa materiaalia koskevan eurokoodiosan (osat EN 1992, EN 1993, EN 1995, EN 1996, EN 1999) kansallisen liitteen mukainen varmuuskerroin	
^a Ominaisuuslaastien vaatimukset on esitetty standardeissa EN 998-2 ja EN 1996-2. Suomessa käytettävät laastit ovat ominaisuuslaasteja. Tällöin valmistaja ilmoittaa laastin ominaisuudet. ^b Reseptilaastin vaatimukset on esitetty standardeissa EN 998-2 ja EN 1996-2 ^c Ilmoitetut arvot ovat keskiarvoja. ^d Kun kategorian II muurauskappaleiden variaatiokerroin on enintään 25%.	

