

Jere Mäkiranta

Alumiinirakenteiden suunnittelu eurokoodien mukaan

Opinnäytetyö

Kevät 2012

Tekniikan yksikkö

Rakennustekniikan koulutusohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Koulutusohjelma: Rakennustekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Talonrakennustekniikka

Tekijä: Jere Mäkiranta

Työn nimi: Alumiinirakenteiden suunnittelu eurokoodien mukaan

Ohjaaja: Martti Perälä

Vuosi: 2012 Sivumäärä: 41 Liitteiden lukumäärä: 3

Eurokoodien asteittainen käyttöönotto Suomessa tuo muutoksia alumiinirakenteiden suunnitteluun. Alumiinirakenteiden suunnittelu ei eroa suuresti teräsrakenteista. Jos tuntee eurokoodimitoituksen perusteet ja osaa suunnitella teräsrakenteita, ei alumiinirakenteiden suunnittelu vaadi paljoa lisäopiskelua. Työssä perehdytään alumiinirakenteille tarkoitettuun eurokoodi 9:ään sekä mitoituksessa tarvittavaan lujuusoppiin. Työn on tarkoitus helpottaa eurokoodien käyttöönottoa alumiinituoteteollisuudessa ja tuoda ne todelliseksi vaihtoehdoksi nykyisille suunnittelukäytännöille.

Työn liitteeksi on laadittu Excel-pohjainen mitoitusyökalu, jolla voidaan mitoittaa alumiinirunkoisia lasiseiniä eurokoodin mukaan. Ohjelma laskee lähtötietojen perusteella vallitsevan tuuli- ja pysyvän kuoman sekä tekee tarvittavat kuormitusyhdistelyt.

Avainsanat: eurokoodi, alumiini, mitoitus

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Construction Engineering

Specialisation: Building Construction

Author: Jere Mäkiranta

Title of thesis: Design of aluminium structures according to Eurocode

Supervisor: Martti Perälä

Year: 2012 Number of pages: 41 Number of appendices: 3

The gradual introduction of Eurocodes in Finland will bring changes to the design of aluminium structures. Aluminium structural design does not greatly differ from steel structures. Being familiar with designing steel structures according to Eurocode, much additional study is not needed. The thesis studies Eurocode 9 and materials strength. The aim of the thesis is to facilitate using Eurocodes, and make them real alternatives to the current practices of design.

As an appendix to the thesis, an Excel design software has been planned with which to design glass walls with aluminium frame. With initial data, the software calculates wind and permanent action and makes necessary combinations.

Keywords: eurocode, aluminium, designing

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
SISÄLTÖ.....	4
Kuvio- ja taulukkoluetelo.....	5
Käytetyt termit ja lyhenteet	6
1 JOHDANTO	10
2 MITOITUKSEN TAUSTALLA OLEVA MEKANIikka.....	11
2.1 Lujusopin perusteet.....	11
2.1.1 Jännitys.....	11
2.1.2 Taivutus	11
2.1.3 Stabiiliusilmiöt	13
2.1.4 Siirtymät.....	14
2.2 Voimasuureiden laskenta.....	16
2.2.1 Staattisesti määrätyt rakenteet.....	17
2.2.2 Staattisesti määräämättömät rakenteet	17
3 KESTÄVYYKSIEN LASKENTA.....	18
3.1 Poikkileikkausluokitus	21
3.2 Tehollinen poikkileikkaus	24
3.3 Veto- ja puristuskestävyys	25
3.4 Taivutus- ja leikkauskestävyys.....	27
3.5 Kestävyys yhdistetyissä rasitustapauksissa.....	29
3.6 Nurjahdus.....	31
3.7 Kiepahdus.....	34
3.8 Taivutettu ja puristettu sauva	36
4 KÄYTTÖRAJATILAMITOITUS.....	38
5 JOHTOPÄÄTÖKSET	39
LÄHTEET.....	40
LIITTEET.....	41

Kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuvio 1. Poikkipinnan plastisoituminen kun taivutusmomentti kasvaa elastisesta rajamomentista plastiseen rajamomenttiin (Perälä 2010.)	12
Kuvio 2. Poikkileikkauksen osien tyypit. (SFS EN 1999-1-1 2007,54.)	22
Kuvio 3. Jännitysjakaumatekijä (SFS EN 1999-1-1 2007,55).	23
Kuvio 4. Nettopinta-alan laskenta (SFS EN 1999-1-1 2007,63.).....	26
Kuvio 5. Reikienvälinen etäisyys p (SFS EN 1999-1-1 2007,63).	26
Kuvio 6. Eurokoodi 9:n mukaiset nurjahduspituudet	32
Kuvio 7. Nurjahduksen pienennystekijä (SFS EN 1999-1-1 2007,71-73).....	33
Kuvio 8. Kiepahduksen pienennystekijä (SFS EN 1999-1-1 2007,75-76).	35
Taulukko 1. Pursotettujen profiilien lujuusominaisuudet. (Eurokoodi 9, [viitattu 2.3.2011].).....	19
Taulukko 2. Hoikkuusparametrin vertailuarvot (SFS EN 1999-1-1 2007,58).....	23
Taulukko 3. Vakiot C1 ja C2 (SFS EN 1999-1-1 2007,58).	24
Taulukko 4. Sallitut taipumat (Kansallinen liite EN 1999-1-1 2007,4).....	38

Käytetyt termit ja lyhenteet

σ_r	Taivutuksesta aiheutuva reunajännitys
M	Taivutusmomentti
b	Poikkileikkauksen leveys
h	Poikkileikkauksen korkeus
W_{el}	Kimmainen taivutusvastus
W_{pl}	Plastinen taivutusvastus
M_{pl}	Plastinen momentti
f_o	Materiaalin myötölujuus
f_u	Materiaalin murtolujuus
v	Taipuma
$M(x)$	Taivutusmomentti
E	Kimmo kerroin
I	Poikkileikkauksen jäyhyysmomentti
φ	Kiertymä
$q(x)$	Kuorma
$\bar{M}(x)$	Yksikkövoiman aiheuttama momentti
E_d	Mitoituskuormasta aiheutuva rasitus
R_d	Kestävyyden mitoitusarvo
γ_{M1}	Materiaalin osavarmuuskerroin. Käytetään laskettaessa rakenneosan kestävyttä. Arvo 1,1

γ_{M2}	Materiaalin osavarmuuskerroin. Käytetään laskettaessa liitoksen kestävyyttä sekä poikkileikkauksen vetokestävyyttä. Arvo 1,25
G	Leikkausmoduuli
η	Poissonin luku
α	Lämpölaajenemiskerroin
ρ	Tiheys
β	Hoikkuusparametri
η	Jännitysjakaumatekijä
b	Puristetun taso-osan leveys
t	Puristetun taso-osan paksuus
ψ	Jännityssuhde
ε	$\sqrt{250/f_o}$
β_1	Vertailuarvo poikkileikkausluokkaan 1
β_2	Vertailuarvo poikkileikkausluokkaan 2
β_3	Vertailuarvo poikkileikkausluokkaan 3
ρ_c	Pienennystekijä
C_1	Taulukosta löytyvä vakio
C_2	Taulukosta löytyvä vakio
N_{Ed}	Mitoittava normaalivoima
$N_{t,Rd}$	Vetokestävyys
$N_{o,Rd}$	Vetokestävyys myödon suhteen

$N_{u,Rd}$	Nettopoikkileikkauksen normaalivoimakestävyys
A_g	Poikkileikkauksen pinta-ala
A_{net}	Poikkileikkauksen nettopinta-ala
A_{eff}	Poikkileikkauksen tehollinen pinta-ala
$N_{c,Rd}$	Poikkileikkauksen puristuskestävyys
M_{Ed}	Mitoittava taivutusmomentti
M_{Rd}	Taivutuskestävyys
W_{eff}	Tehollinen taivutusvastus
h_w	Uuman korkeus
t_w	Uuman paksuus
V_{Ed}	Mitoittava leikkausvoima
V_{Rd}	Leikkauskestävyys
A_v	Leikkauspinta-ala
$\sigma_{x,Ed}$	Mitoittava pituussuuntainen jännitys
$\sigma_{z,Ed}$	Mitoittava poikittaissuuntainen jännitys
τ_{Ed}	Mitoittava leikkausjännitys
C	Vertailuarvo
ψ	Potenssi
$N_{b,Rd}$	Nurjahduskestävyys
χ	Nurjahduksen huomioiva pienennyskerroin
N_{cr}	Nurjahduskuorma

L_{cr}	Nurjahduspituus
Φ	Apusuure
$\bar{\lambda}$	Suhteellinen hoikkuus
$\bar{\lambda}_0$	Nurjahduskäyrästä riippuva tekijä
α	Epätarkkuustekijä
$M_{b,Rd}$	Kiepahduskestävyys
χ_{LT}	Kiepahduksen huomioiva pienennyskerroin
M_{cr}	Kiepahdusmomentti
$\bar{\lambda}_{LT}$	Suhteellinen hoikkuus
Φ_{LT}	Apusuure
$\bar{\lambda}_{0,LT}$	Kiepahduskäyrästä riippuva tekijä
α_{LT}	Epätarkkuustekijä
χ_{min}	Pienempi nurjahduksen huomioiva pienennyskerroin
ψ_c	Potenssi
η_c	Potenssi
γ_c	Potenssi
ξ_{zc}	Potenssi
E_d	Käyttörajatilän mitoituskuormasta aiheutuva vaikutus
C_d	Käyttörajatilassa sallittu kuormasta aiheutuva vaikutus

1 JOHDANTO

Eurokoodien käyttö mitoitusmenettelynä antaa toimijalle uskottavuutta. Se kertoo toiminnan kehittymisestä ja halusta palvella asiakkaita nyt ja tulevaisuudessa.

Työn teoriaosuuden alkupuolella käsitellään rakennesuunnittelun kannalta keskeisintä lujuusoppia. Työn toisella puolella käsitellään rakennesuunnittelunkannalta eurokoodi 9:n tärkeimmät kohdat. Liitteenä on yksinkertaistettu mitoitusohje, jolla voidaan mitoittaa seinärakenteita, jotka on tuettu kerroskorkuisina ja lasien omasta painosta tuleva puristava rasitus ei ole merkittävä.

Työn tavoitteena on laatia excel-pohjainen mitoitusohjelma, joka annettujen lähtötietojen pohjalta määrittää seinälle tulevan kuormituksen. Käyttäjä valitsee profiililuettelosta profiilin ja ohjelma kertoo heti, täyttääkö profiili mitoitusehdot. Ohjelma määrittää poikkileikkausluokan, laskee tehollisen poikkileikkauksen ja tutkii tarvittavat kuormitusyhdistelmät. Ohjelmasta voidaan tulostaa rakennelaskelmat. Ohjelmaan on syötetty Purso Oy:n julkisivuprofiilit. Profiilien lisääminen tai muuttaminen on helppoa.

2 MITOITUKSEN TAUSTALLA OLEVA MEKANIikka

2.1 Lujuusopin perusteet

Tässä luvussa käsitellään alumiinirakenteiden mitoituksen kannalta merkityksellisimpiä lujuusopin asioita. Alumiinin erityisominaisuutena on materiaalin keveys. Tämä aiheuttaa suhteellisen alhaisen kimmomoduulin.

2.1.1 Jännitys

Jännitys on yksi tärkeimmistä lujuusopin käsitteistä. (Karhula ym. 2006, 148.) Jännityksen yksikkö on voima jaettuna poikkipinta-ala. Rakennesuunnittelussa tulee vastaan kahta erityyppistä jännitystä, normaali- ja leikkausjännitystä. Laskennassa saatuja jännityksiä verrataan materiaalin lujuuteen.

2.1.2 Taivutus

Taivutusmomentti aiheuttaa palkkiin taivutusjännitystä. Poikkileikkauksen muodolla on iso merkitys jännityksen suuruuteen. Kun jännitykset pysyvät myötölujuuden alapuolella, palkki käyttäytyy kimmoisesti. Suurin jännitys syntyy poikkileikkauksen ylä- ja alareunaan. Niitä kutsutaan reunajännitykseksi. Reunajännitys voidaan laskea kaavalla

$$\sigma_r = \frac{M}{W_{el}} \quad (1)$$

missä

M on taivutusmomentti

W_{el} on taivutusvastus

Taivutusvastus voidaan laskea suorakaiteenmuotoiselle poikkileikkaukselle kaavalla

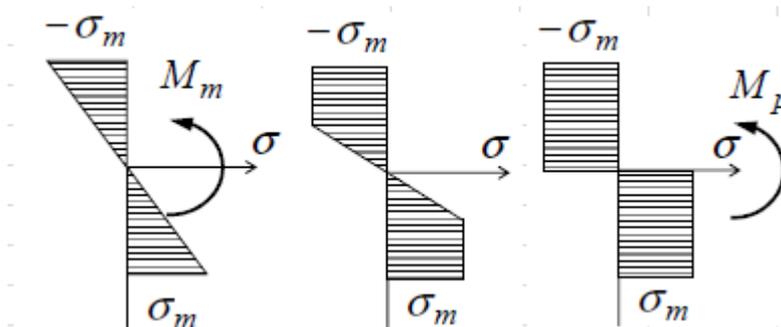
$$W_{el} = \frac{bh^2}{6} \quad (2)$$

missä

b on poikkileikkauksen leveys

h on poikkileikkauksen korkeus

Teräksestä ja alumiinista valmistetut palkit käyttäytyvät kimmoisesti, kun jännitykset ovat myötörajan alapuolella. Momenttia, jolla palkin reunajännitys saavuttaa myötöjännityksen, sanotaan elastiseksi rajamomentiksi. Poikkileikkauksella on kuitenkin tämän jälkeenkin kantokykyä. Kun kuormaa vielä kasvatetaan, jännitysjakautuma muuttuu kuvion 1 mukaisesti. (Karhula ym. 2006, 148.)



Kuvio 1. Poikkipinnan plastisoituminen kun taivutusmomentti kasvaa elastisesta rajamomentista plastiseen rajamomenttiin (Perälä 2010.)

Suurinta momenttia minkä poikkileikkaus voi ottaa vastaan muuttumatta niveleksi, kutsutaan täysplastiseksi momentiksi. Täysplastinen voidaan laskea kaavalla

$$M_{pl} = W_{pl}f_o \quad (3)$$

missä

W_{pl} on plastinen taivutusvastus

f_o on materiaalin myötölujuus

Plastinen taivutusvastus voidaan laskea suorakaiteenmuotoiselle poikkileikkaukselle kaavalla

$$W_{pl} = \frac{bh^2}{4} \quad (4)$$

missä

b on poikkileikkauksen leveys

h on poikkileikkauksen korkeus

2.1.3 Stabiiliusilmiöt

Rakenteiden yleisimmät stabiiliusilmiöt ovat nurjahdus, kiepahdus ja lommahdus. Ne rajoittavat rakenteen kestävyyttä pienemmäksi, mitä ne muuten olisivat. Stabiiliusilmiöt ovat niin sanottuja toisen kertaluvun vaikutuksia. Stabiilius on puristettujen rakenneosien ongelmia, vedetyillä rakenteilla niitä ei ole.

Nurjahduksessa puristettu pilari taipuu äkisti sivulle ja menettää kantokykynsä (Perälä 2010). Tuennalla on iso merkitys nurjahduskuorman määrittäminen perustuu nurjahduksen differentiaaliyhtälön ratkaisuun. Perustapauksiin on johdettu valmiiksi ratkaisukaava, jota voidaan käyttää. Eurokoodi 9:ssä on esitetty nämä perustapaukset. Niihin palataan työn myöhemmässä vaiheessa.

Kiepahduksessa taivutettu palkki kiertyy pituusakselinsa ympäri ja kallistuu äkisti sivulle. Sitä voisi kuvata palkin puristetun osan nurjahtamiseksi. Korkeat ja kapeat palkit ovat kiepahdusalttiita. Kiepahdus voidaan estää, jos palkki on tuettu sivusuunnassa riittävästi. Ympyrän- ja neliönmuotoiset poikkileikkaukset eivät ole kiepahdusalttiita.

Lommahduksessa puristettu levymainen rakenneosa pullahtaa äkisti sivulle. Normaalissa rakennesuunnittelussa tämä otetaan huomioon poikkileikkausluokituksessa. Poikkileikkausluokassa neljä käytetään tehollisia

poikkileikkaussuureita, mikä huomioi paikallisen lommahduksen aiheuttaman kestävyuden pienenemisen.

2.1.4 Siirtymät

Palkkirakenteiden siirtymäsuureita ovat taipuma ja kiertymä. Mitoituksen kannalta oleellisin on taipuma. Taipuman määrittämiseen on olemassa useita menetelmiä. Menetelmät pohjautuvat taipumaviivan differentiaaliyhtälön ratkaisemiseen tai muodonmuutosenergian ja kuorman tekemän työn väliseen yhteyteen. Rakentajan kalenterista ja taulukkokirjoista löytyy moniin eri tilanteisiin käyviä taipuman laskentakaavoja.

Taipumaviivan differentiaaliyhtälö. Lähtökohtana menetelmälle voidaan pitää palkin tapauksessa leikkausvoiman, taivutusmomentin, kiertymän ja taipuman differentiaaliesitystä. Tapausten välille voidaan johtaa seuraavat yhteydet

$$\varphi = v' \quad (5)$$

$$M = -EI\varphi' \quad (6)$$

$$Q = M' \quad (7)$$

$$q = -Q' \quad (8)$$

missä

v on taipuma

φ on kiertymä

M on taivutusmomentti

Q on leikkausvoima

q on kuorma

Muista menetelmistä poiketen taipuman differentiaaliyhtälön ratkaisuna saadaan palkin taipumaviiva funktiona. Tästä on erityisesti hyötyä, silloin kun ei ennalta tiedetä, missä kohtaa palkkia taipuma on suurin. Tällainen tilanne tulee vastaan esimerkiksi jatkuvalla palkilla. Suurin taipuma on kiertymän nollakohdassa.

Staattisesti määrätyn palkin taipuma voidaan ratkaista yhtälöstä

$$v'' = \frac{-M(x)}{EI} \quad (9)$$

missä

v on taipuma

M on taivutusmomentti x :n funktiona

EI on taivutusjäykkyys

Yhtälöä voidaan käyttää myös staattisesti määräämättömälle palkille, jos tunnetaan valmiiksi taivutusmomenttikuvio.

Staattisesti määräämättömän palkin taipuma voidaan ratkaista yhtälöstä

$$V'''' = \frac{q(x)}{EI} \quad (10)$$

missä

q on kuorma

Yhtälöllä voidaan ratkaista minkä tahansa palkin taipuma, kun tunnetaan kuormitus.

Ratkaistaessa taipumaviivan differentiaaliyhtälöjä yhtälöt joudutaan integroimaan. Jokaisesta integroinnista tulee yhtälöön integroimisvakio. Ne voidaan ratkaista palkin tuennasta riippuvien reunaehtojen avulla. Tyypillisiä reunaehtoja ovat:

vapaa tuki

Taivutusmomentti on nolla. $V'' = 0$

Taipuma tuella on nolla. $V = 0$

jäykkä tuki

Kiertymä on nolla $V' = 0$

Taipuma tuella on nolla. $V = 0$

Yksikkövoimamenetelmä. Yksikkövoimamenetelmä on kätevä tapa määrittää mitä erilaisempien rakenteiden siirtymiä yhdessä yksittäisessä pisteessä. Yksikkövoimamenetelmässä määritetään rakenteen ulkoisesta kuormasta aiheutuva taivutusmomenttikuvio sekä yksikkövoiman aiheuttama taivutusmomenttikuvio. Yksikkövoimamenetelmällä on helppo määrittää siirtymiä vaikka rakenteessa olisi eri taivutusjäykkyyksisiä osia. Yksikkövoimamenetelmän kaava on

$$v = \int_0^L \frac{M(x)\bar{M}(x)}{EI(x)} dx \quad (11)$$

missä

v on taipuma yksikkövoiman kohdalla

$M(x)$ on todellisen kuorman aiheuttama taivutusmomentti x :n funktiona

$\bar{M}(x)$ on yksikkövoiman aiheuttama taivutusmomentti x :n funktiona

$EI(x)$ on taivutusjäykkyys x :n funktiona

2.2 Voimasuureiden laskenta

Voimasuureita ovat taivutusmomentti, leikkausvoima, normaalivoima ja erikoistapauksissa vääntömomentti. Voimasuureet ovat rakenteen sisäisiä rasitustiloja, jotka aiheutuvat ulkopuolisesta kuormituksesta. Voimasuureiden määrittämisessä lähtökohtana on kappaleen tasapainotila. Jotta kappale olisi tasapainossa, siihen ulkoisesti vaikuttavien voimien summan täytyy olla nolla. Ulkoisia voimia ovat omapaino, hyötykuormat, lumikuormat, tuulikuormat sekä niistä aiheutuvat tukireaktiot. Myös kappaleen sisäisten voimien täytyy olla tasapainossa.

2.2.1 Staattisesti määrätyt rakenteet

Staattisesti määrättyjen rakenteiden voimasuureiden määrittäminen on helpompaa kuin määräämättömien. Rakenne on staattisesti määrätty, jos tuntemattomia tukireaktioita on yhä monta kuin käytössä olevia tasapainoyhtälöitä. Staattisesti määrätyssä rakenteessa tukireaktiot voidaan määrittää suoraan tasapainoyhtälöistä, joita on kolme: vaakavoimien tasapainoyhtälö, pystyvoimien tasapainoyhtälö ja momenttitasapainoyhtälö.

2.2.2 Staattisesti määräämättömät rakenteet

Staattisesti määräämättömien rakenteiden tapauksessa tuntemattomia tukireaktioita on enemmän kuin käytössä olevia tasapainoyhtälöitä. Silloin tukireaktioiden määrittäminen ei onnistu pelkästään tasapainoyhtälöitä käyttämällä. Määräämättömän rakenteen tukireaktion laskemiseksi on kehitetty monia eri menetelmiä. Ne perustuvat rakenteen siirtymäsuureiden hyväksikäyttöön. Tutkitaan kaksiaukkoista palkkia. Jos keskituki poistetaan, palkki taipuu tuen kohdalta. Koska rakenne todellisuudessa ei ole taipunut tuen kohdalta tukivoiman täytyy kompensoida syntynyt taipuma.

Voimasuureiden laskentaan kehitettyjä menetelmiä ovat yleinen voimamenetelmä, momenttimenetelmä, kulmanmuutosmenetelmä ja elementtimenetelmä. Monet käytössä olevat mitoitusohjelmat käyttävät elementtimenetelmää laskiessaan rakenteen voimasuureita.

3 KESTÄVYYKSIEN LASKENTA

Kestävyysien laskeminen on rakenteen mitoitusta murtorajatilassa. Kuormat tulee määrittää eurokoodin mukaan (SFS EN 1991-1-1 2003). Rakenteessa vaikuttava voimasuure ei saa ylittää vastaavaa kestävyysuuretta missään poikkileikkauksessa. Mitoitusehto on

$$E_d \leq R_d \quad (12)$$

missä

E_d on mitoituskuormasta aiheutuva rasitus

R_d on vastaava kestävyysmitoitusarvo

(SFS EN 1990 2003,72).

Materiaalin osavarmuusluvut ovat seuraavat

γ_{M1} on 1,1. Käytetään laskettaessa rakenneosan kestävyyttä

γ_{M2} on 1,25. Käytetään laskettaessa liitosten kestävyyttä sekä vetokestävyyttä

Materiaaliominaisuuksien ominaisarvot on annettu eurokoodissa. Alumiinin lujuusominaisuuksiin vaikuttaa seos sekä toimitustila. Taulukossa 1 on esitetty seosten ominaisuudet.

Taulukko 1. Pursotettujen profiilien lujuusominaisuudet. (Eurokoodi 9, [viitattu 2.3.2011].)

Seos EN- AW	Tuotteen muoto	Tila	Paksuus t mm 1) 3)	$f_o^{1)}$	$f_u^{1)}$	$A^{2)2)}$	$f_{o,haz}^{4)}$	$f_{u,haz}^{4)}$	Muutosvyöhykkeen tekijä ⁴⁾		BC 6)	n_p 7)		
				N/mm ²	%	N/mm ²	$\rho_{o,haz}$	$\rho_{u,haz}$						
5083	ET, EP, ER/B	O / H111, F. H112	$t \leq 200$	110	270	12	110	270	1	1	B	5		
	DT	H12/22/32	$t \leq 10$	200	280	6	135	270	0,68	0,96	B	14		
		H14/24/34	$t \leq 5$	235	300	4			0,57	0,90	A	18		
6060	EP, ET, ER/B	T5	$t \leq 5$	120	160	8	50	80	0,42	0,50	B	17		
	EP		$5 < t \leq 25$	100	140	8			0,50	0,57	B	14		
	ET, EP, ER/B	T6	$t \leq 15$	140	170	8	60	100	0,43	0,59	A	24		
	DT		$t \leq 20$	160	215	12			0,38	0,47	A	16		
	EP, ET, ER/B	T64	$t \leq 15$	120	180	12	60	100	0,50	0,56	A	12		
	EP, ET, ER/B	T66	$t \leq 3$	160	215	8	65	110	0,41	0,51	A	16		
	EP		$3 < t \leq 25$	150	195	8			0,43	0,56	A	18		
6061	EP, ET, ER/B, DT	T4	$t < 25$	110	180	50	95	150	0,86	0,83	B	8		
	EP, ET, ER/B, DT	T6	$t \leq 20$	240	260	8	115	175	0,48	0,67	A	55		
6063	EP, ET, ER/B	T5	$t \leq 3$	130	175	8	60	100	0,46	0,57	B	16		
	EP		$3 < t \leq 25$	110	160	7			0,55	0,63	B	13		
	EP, ET, ER/B	T6	$t \leq 25$	160	195	8	65	110	0,41	0,56	A	24		
	DT		$t \leq 20$	190	220	10			0,34	0,50	A	31		
	EP, ET, ER/B	T66	$t \leq 10$	200	245	8	75	130	0,38	0,53	A	22		
	EP		$10 < t \leq 25$	180	225	8			0,42	0,58	A	21		
	DT		$t \leq 20$	195	230	10			0,38	0,57	A	28		
6005A	EP/O, ER/B	T6	$t \leq 5$	225	270	8	115	165	0,51	0,61	A	25		
			$5 < t \leq 10$	215	260	8			0,53	0,63	A	24		
			$10 < t \leq 25$	200	250	8			0,58	0,66	A	20		
	EP/H, ET	T6	$t \leq 5$	215	255	8	115	165	0,53	0,65	A	26		
	$5 < t \leq 10$		200	250	8	0,58			0,66	A	20			
6106	EP	T6	$t \leq 10$	200	250	8	95	160	0,48	0,64	A	20		
6082	EP, ET, ER/B	T4	$t \leq 25$	110	205	14	125	185	0,91	0,78	B	8		
	EP/O, EP/H	T5	$t \leq 5$	230	270	8			125	185	0,54	0,69	B	28
	EP/O, EP/H ET	T6	$t \leq 5$	250	290	8			125	185	0,50	0,64	A	32
			$5 < t \leq 15$	260	310	10					0,48	0,60	A	25
	ER/B	T6	$t \leq 20$	250	295	8			125	185	0,50	0,63	A	27
			$20 < t \leq 150$	260	310	8					0,48	0,60	A	25
	DT	T6	$t \leq 5$	255	310	8			125	185	0,49	0,60	A	22
$5 < t \leq 20$			240	310	10	0,52	0,60	A			17			
7020	EP, ET, ER/B	T6	$t \leq 15$	290	350	10	205	280	0,71	0,80	A	23		
	EP, ET, ER/B	T6	$15 < t < 40$	275	350	10			0,75	0,80	A	19		
	DT	T6	$t \leq 20$	280	350	10			0,73	0,80	A	18		

Taulukko 1 jatkuu.

Merkinnät	EP	- pursotettu profiili	EP/O	pursotettu avoprofiili
:	EP/H	- pursotettu ontto profiili	ET	- pursotettu putki
	ER/B	- pursotettu tanko	DT	- vedetty putki

1) Jos arvot esitetään **lihavoituina**, joillekin muodoille saatetaan sallia suurempia paksuuksia tai korkeampia mekaanisia ominaisuuksia. Lisätietoja esitetään kohdassa 1.2.1.3 luetelluissa EN-standardeissa ja prEN-standardiehdotuksissa. Tällöin $R_{p0,2}$ - ja R_m -arvoja voidaan käyttää arvoina f_o ja f_u . Jos käytetään tällaisia korkeampia arvoja, vastaavat muutosvyöhykkeen tekijät p täytyy laskea lausekkeiden (6.13) ja (6.14) mukaisesti käyttäen samoja arvoja $f_{o,haz}$ ja $f_{u,haz}$.

2) Jos vähimmäisvenymäarvot esitetään **lihavoituina**, joillekin muodoille tai paksuuksille saatetaan antaa korkeampia vähimmäisarvoja.

3) Standardin EN 755-2 mukaan sovelletaan seuraavaa sääntöä: *"Jos profiilin poikkileikkauksen eri kohdissa on eri paksuuksia, joille taulukon mukaan määritellään erilaiset mekaanisten ominaisuuksien arvot, alinta määriteltyä arvoa tulee pitää koko profiilin poikkileikkausta koskevana."* Poikkeukset ovat mahdollisia ja korkeinta annettua arvoa voidaan käyttää, mikäli valmistaja pystyy perustelevaan arvon asianmukaisen laadunvarmistustodistuksen avulla.

4) Muutosvyöhykkeen arvot pätevät MIG-hitsaukseen ja enintään 15 mm:n paksuuteen. Karkenemattomien seosten (3xxx, 5xxx ja 8011A) TIG-hitsaukseen enintään 6 mm:n paksuuksilla pätevät samat arvot, mutta karkenevien seosten (6xxx ja 7xxx) TIG-hitsaukseen ja 6 mm:n paksuuteen täytyy soveltaa muutosvyöhykkeen arvoja, jotka on kerrottu kertoimella 0,8, ja p -tekijöitä. Ellei muita tietoja ole käytettävissä, suuremmilla paksuuksilla muutosvyöhykkeen arvoja ja p -tekijöitä täytyy edelleen pienentää kertoimella 0,8, jos kyseessä ovat karkenevat seokset (6xxx ja 7xxx), ja kertoimella 0,9, jos kyseessä ovat karkenemattomat seokset (3xxx, 5xxx ja 8011A). Nämä pienennykset eivät sovellu tilaan O.

5) $A = A_{5,65} \sqrt{A_0}$

6) BC = nurjahdusluokka, ks. 6.1.4.4, 6.1.5 ja 6.3.1.

7) Plastisen analyysin Ramberg-Osgood-mallissa käytettävä n -arvo. Arvo pätee vain yhdessä luetellun f_o -arvon kanssa (= standardoitu vähimmäisarvo).

8) Jos on tarkoitus käyttää seoksista EN AW-5454 tai EN AW-5754 pursotettuja tai pursotettuja ja vedettyjä valssausaihoita, joiden tila on standardin EN 755-2 tai EN 754-2 mukainen O/H111 tai F/H112 tai H14/H24/H34, mitoitukseen voidaan soveltaa vastaavia taulukon 3.2a arvoja seuraavin muutoksin:

- Jos kyseessä on EN AW-5454 tilassa O/H111 (sisältää tilan F/H111), korvataan arvot f_u ja $f_{u,haz}$ arvolla 200 N/mm².
- Jos kyseessä on EN AW-5754 tilassa O/H111 (sisältää tilan F/H111), korvataan arvot f_u ja $f_{u,haz}$ arvolla 180 N/mm² (tankojen paksuus < 150 mm).
- Jos kyseessä on EN AW-5754 tilassa H14/H24/H34, korvataan arvo f_o arvolla 180 N/mm² ja arvo $\rho_{o,haz}$ arvolla 0,56.

Muut materiaaliominaisuudet ovat seuraavat:

Kimmokerroin	$E = 70\,000 \text{ N/mm}^2$
Leikkausmoduuli	$G = 27\,000 \text{ N/mm}^2$
Poissonin luku	$\eta = 0,3$
Lämpölaajenemiskerroin	$\alpha = 23 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$
Tiheys	$\rho = 2700 \text{ kg/m}^3$

(SFS EN 1999-1-1 2007,37).

3.1 Poikkileikkausluokitus

Poikkileikkausluokan tarkoituksena on tunnistaa, minkä verran paikallinen lommahtaminen rajoittaa poikkileikkauksen kestävyyttä. Poikkileikkausluokkia on neljä. Luokka määräytyy puristettujen osien leveyden ja paksuuden suhteesta (TALAT Lecture 2301 Design of Members 2009.24).

Poikkileikkausluokassa 1 poikkileikkaukseen voi kehittyä plastisuusteorian mukainen plastinen nivel, jolla on riittävä kiertymiskyky voimien uudelleenjakautumista varten.

Poikkileikkausluokassa 2 poikkileikkaukseen voi tulla plastinen nivel, mutta poikkileikkauksella on rajoitettu kiertymiskyky, joka estää voimien uudelleenjakautumisen.

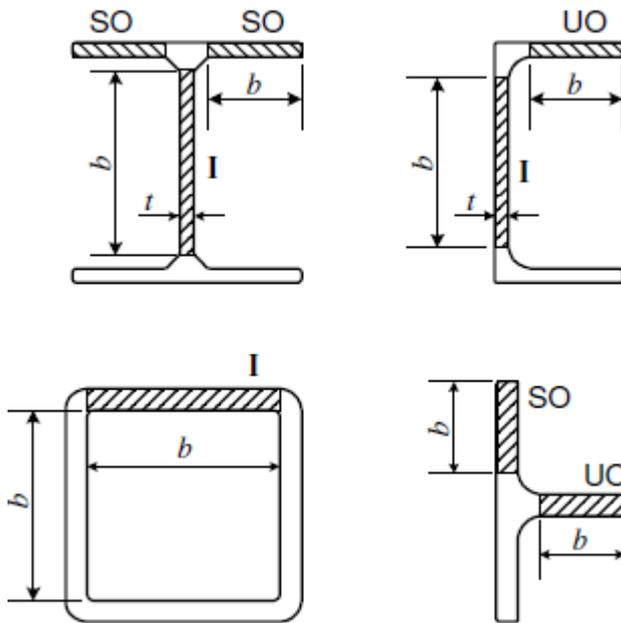
Poikkileikkausluokassa 3 poikkileikkaukseen ei voi kehittyä plastista niveltä. Kestävyys rajoittuu kimmoteorian mukaiseen kestävyYTEEN.

Poikkileikkausluokassa 4 paikallinen lommahtaminen estää kimmoteorian mukaisen kestävyYDEN saavuttamisen. Laskelmissa täytyy käyttää tehollisia poikkileikkaussuureita.

Poikkileikkauksen eri osat voivat kuulua eri poikkileikkausluokkiin, mutta koko poikkileikkaus luokitellaan vähiten suotuisaan luokkaan.

(SFS EN 1999-1-1 2007,53-54).

Poikkileikkausluokan määrittäminen. Poikkileikkauksen puristettuun osaan kuuluu jokainen osa, johon vallitsevassa kuormitusyhdistelyssä syntyy täysi tai osittainen puristus. (SFS EN 1999-1-1 2007,54.) Puristetun osan leveydestä voidaan vähentää nurkkapyöritykset.



Kuvio 2. Poikkileikkauksen osien tyypit. (SFS EN 1999-1-1 2007,54.)

Poikkileikkauksen lommahdusherkkyyttä kuvaava hoikkuusparametri β määritetään kaavalla

$$\beta = \frac{\eta b}{t} \quad (13)$$

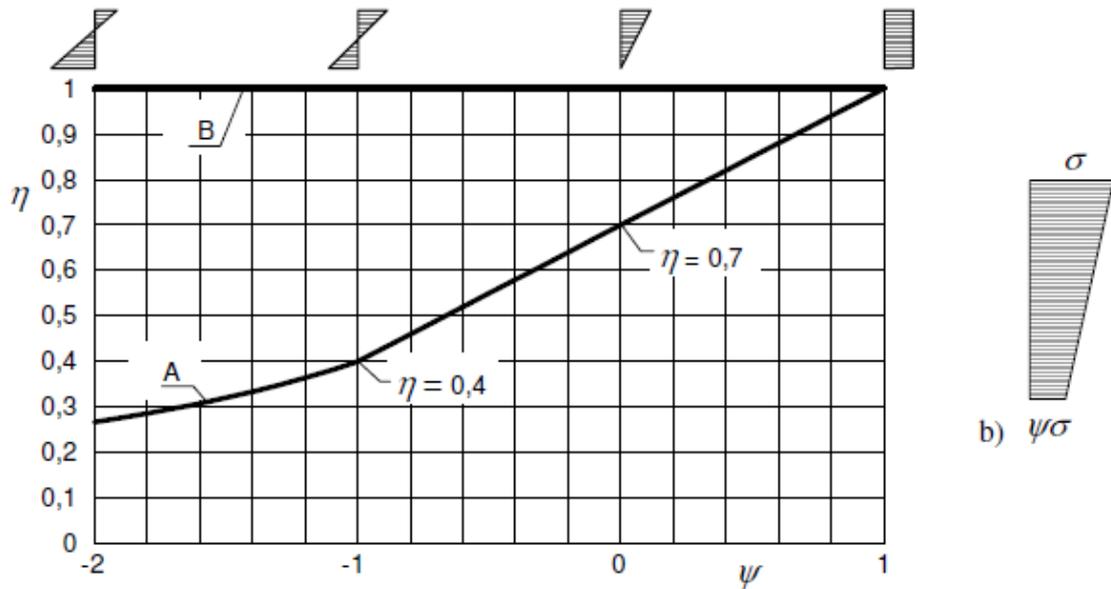
missä

b on taso-osan leveys

t on taso-osan paksuus

η on jännitysjakumatekijä

Jännitysjakumatekijä voidaan lukea kuviosta 3. Käyrää A käytetään kahdelta sivulta tuetuille taso-osille. Yhdeltä sivulta tuetulle taso-osalle käytetään käyrää B, jos jännitys on suurimmillaan ulokkeen päässä. Jos jännitys on suurin ulokkeen tyvässä, voidaan käyttää käyrää A. (SFS EN 1999-1-1 2007,54-55).



Kuvio 3. Jännitysjakumatekijä (SFS EN 1999-1-1 2007,55).

Jännitysjakumatekijä η käyrä A voidaan myös laskea kaavalla

$$\eta = 0,70 + 0,3\Psi \quad \text{kun} \quad 1 \geq \Psi \geq -1 \quad (14)$$

$$\eta = 0,8/(1-\Psi) \quad \text{kun} \quad < -1 \quad (15)$$

Kutakin poikkileikkausluokkaa vastaavat hoikkuusparametrin vertailuarvot on annettu taulukossa 2. Nurjahdusluokkaan A kuuluvat T6 toimitusseokset, B-luokkaan kuuluvat T5 ja T4 toimitusseokset.

Taulukko 2. Hoikkuusparametrin vertailuarvot (SFS EN 1999-1-1 2007,58).

Materiaalin nurjahdus luokka	Kahdelta reunalta tuettu taso-osa			Yhdeltä reunalta Tuettu taso-osa		
	β_1	β_2	β_3	β_1	β_2	β_3
Luokka A, ei hitsattu	11 ϵ	16 ϵ	22 ϵ	3 ϵ	4,5 ϵ	6 ϵ
Luokka B, ei hitsattu	13 ϵ	16,5 ϵ	18 ϵ	3,5 ϵ	4,5 ϵ	5 ϵ

$$\text{Taulukossa 2 } \epsilon = \sqrt{250/f_0} \quad (16)$$

Poikkileikkaus kuuluu luokkaan yksi, jos $\beta \leq \beta_1$

Poikkileikkaus kuuluu luokkaan kaksi, jos $\beta_1 < \beta \leq \beta_2$

Poikkileikkaus kuuluu luokkaan kolme, jos $\beta_2 < \beta \leq \beta_3$

Poikkileikkaus kuuluu luokkaan neljä, jos $\beta_3 < \beta$

(SFS EN 1999-1-1 2007,57).

3.2 Tehollinen poikkileikkaus

Poikkileikkausluokassa neljä lasketaan tehollinen poikkileikkaus pienentämällä puristetun taso-osan paksuutta kertomalla se paikallisen lommahtamisen huomioivalla pienennyskertoimella. Teholliset poikkileikkaussuureet lasketaan tehollisia paksuuksia käyttäen.

Pienennystekijä lasketaan kaavasta

$$\rho_c = \frac{C_1}{(\beta/\varepsilon)} - \frac{C_2}{(\beta/\varepsilon)^2} \quad (17)$$

missä

C_1 luetaan taulukosta 3

C_2 luetaan taulukosta 3

β on hoikkuusparametri

Taulukko 3. Vakiot C_1 ja C_2 (SFS EN 1999-1-1 2007,58).

Materiaalin nurjahdus luokka	Kahdelta reunalta		Yhdeltä reunalta	
	tuettu taso-osa		tuettu taso-osa	
	C_1	C_2	C_1	C_2
Luokka A, ei hitsattu	32	220	10	24
Luokka B, ei hitsattu	29	198	9	20

3.3 Veto- ja puristuskestävyys

Jos poikkileikkauksessa on kiinnitysreikiä, joudutaan kestävyys tarkistamaan erikseen reikien kohdalla ja ehjässä poikkileikkauksessa.

Vetokestävyys. Vetokestävyys ei vaikuta poikkileikkausluokkaan, koska vedetty rakenne ei voi lommahtaa.

Mitoitusehto

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0 \quad (18)$$

missä

N_{Ed} on mitoittava normaalivoima

$N_{t,Rd}$ on vetokestävyys

Vetokestävyys on pienempi seuraavista arvoista

$$N_{o,Rd} = \frac{A_g f_o}{\gamma_{M1}} \quad (19)$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} \quad (20)$$

missä

A_{net} on poikkileikkauksen nettopinta-ala

A_g on poikkileikkauksen pinta-ala

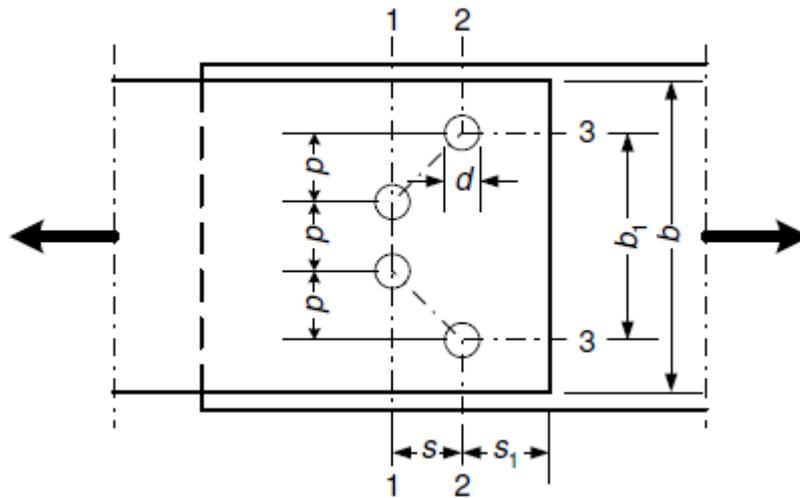
f_u on materiaalin murtolujuus

f_o on materiaalin myötölujuus

γ_{M1} on osavarmuuskerroin

γ_{M2} on osavarmuuskerroin

Nettopinta-ala A_{net} on pienin seuraavista arvoista



Kuvio 4. Nettopinta-alan laskenta (SFS EN 1999-1-1 2007,63.)

$$t(b-2d) \quad \text{linjalla 1} \quad (21)$$

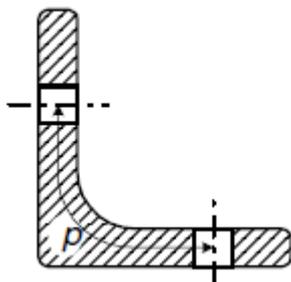
$$t(b-4d+2s^2/(4p)) \quad \text{linjalla 2} \quad (22)$$

$$t(b_1 + 2 \cdot 0,65s_1 - 4d + 2s^2/4p) \quad \text{linjalla 3} \quad (23)$$

missä

t on taso-osan paksuus

Jos kiinnikkeet on kulmalevyssä, lasketaan reikienvälinen etäisyys p kuvion 5 mukaisesti



Kuvio 5. Reikienvälinen etäisyys p (SFS EN 1999-1-1 2007,63).

Puristuskestävyys. Puristuskestävyyden laskennassa ei oteta huomioon taivutuksesta tai nurjahduksesta mahdollisesti tulevaa lisärasitusta, vaan lasketaan ainoastaan poikkileikkauksen kestävyys pelkälle puristukselle.

Mitoitusehto

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1,0 \quad (24)$$

missä

N_{Ed} on mitoittava normaalivoima

$N_{c,Rd}$ on puristuskestävyys

Puristuskestävyys on pienempi seuraavista arvoista

$$N_{u,Rd} = \frac{A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} \quad (25)$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A_{eff} f_o}{\gamma_{M1}} \quad (26)$$

missä

A_{net} on poikkileikkauksen nettopinta-ala

A_{eff} on poikkileikkauksen tehollinen pinta-ala

(SFS EN 1999-1-1 2007,64).

3.4 Taivutus- ja leikkauskestävyys

Taivutuskestävyyteen vaikuttaa poikkileikkausluokka. Poikkileikkausluokissa yksi ja kaksi voidaan käyttää plastista taivutusvastusta. Poikkileikkausluokassa kolme käytetään kimmoista taivutusvastusta ja poikkileikkausluokassa neljä tehollista taivutusvastusta, joka on laskettu tehollisia paksuuksia käyttäen. Taivutuskestävyyteen ei vaikuta mahdollinen normaali- tai leikkausvoima.

Mitoitusehto

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \leq 1,0 \quad (27)$$

missä

M_{Ed} on mitoittava taivutusmomentti

M_{Rd} on taivutuskestävyys

Taivutuskestävyys poikkileikkausluokasta riippuen

PL-luokat 1 ja 2

$$M_{Rd} = \frac{W_{pl}f_0}{\gamma_{M1}} \quad (28)$$

PL-luokka 3

$$M_{Rd} = \frac{W_{el}f_0}{\gamma_{M1}} \quad (29)$$

PL-luokka 4

$$M_{Rd} = \frac{W_{eff}f_0}{\gamma_{M1}} \quad (30)$$

missä

W_{pl} on plastinen taivutusvastus

W_{el} on kimmainen taivutusvastus

W_{eff} on tehollinen taivutusvastus

(SFS EN 1999-1-1 2007,64-65).

Leikkauskestävyys. Leikkauskestävyyteen ei vaikuta poikkileikkausluokka.

Poikkileikkauksen muodolla on suuri merkitys leikkauskestävyyteen. Uuma ei ole hoikka, jos seuraava ehto on voimassa.

$$\frac{h_w}{t_w} \leq 39\varepsilon \quad (31)$$

missä

h_w on uuman korkeus

t_w on uuman paksuus

Mitoitusehto jos uuma ei ole hoikka.

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} \leq 1,0 \quad (32)$$

missä

V_{Ed} on mitoittava leikkausvoima

V_{Rd} on leikkauskestävyys

Leikkauskestävyys on

$$V_{Rd} = A_v \frac{f_o}{\sqrt{3}\gamma_{M1}} \quad (33)$$

missä

A_v on leikkauspinta-ala

Leikkauspinta-alana voidaan käyttää uuman pinta-alaa.

(SFS EN 1999-1-1 2007,66-67).

3.5 Kestävyys yhdistetyissä rasiustapauksissa

Yhdistetyissä rasiustapauksissa tutkitaan poikkileikkauksen kestävyttä kun samanaikaisesti vaikuttaa useita rasiustasuuureita. Tarkastelussa ei kuitenkaan oteta huomioon mahdollisia nurjahdus- ja kiepahdusilmiöitä, vaan ne on tutkittava niille tarkoitetuilla yhteisvaikutusohjeilla.

Käyttöasteiden lineaarinen summaamien on yksinkertainen ja varmalla puolella oleva tapa mitoittaa poikkileikkaus useamman rasitusuureen vaikutukselle. Esimerkiksi jos poikkileikkauksen puristuskestävyydestä on käytössä 50 % ja taivutuskestävyydestä 25 % ja leikkauskestävyydestä 10 %, poikkileikkauksen käyttöaste yhdistelytapauksessa on 85 %. Tämä laskentatapa on monesti turhankin paljon varmalla puolella.

Eurokoodissa on esitetty erilaisia mitoitusvaihtoehtoja erilaisiin mitoitusilanteisiin. Joka tilanteeseen sopiva yhtälö perustuu Von Misesin myötöehtoon. Yhtälön käytössä on suurin työ on laskea vallitsevat jännitykset poikkileikkauksen kriittisissä pisteissä. Tästä syystä se soveltuukin parhaiten tietokoneavusteiseen laskentaan.

Mitoitusehto

$$\left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_o/\gamma_{M1}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_o/\gamma_{M1}}\right)^2 - \left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_o/\gamma_{M1}}\right)\left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_o/\gamma_{M1}}\right) + 3\left(\frac{\tau_{Ed}}{f_o/\gamma_{M1}}\right)^2 \leq C \quad (34)$$

Lisäehtona

$$\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_o/\gamma_{M1}} \leq 1, \quad \frac{\sigma_{z,Ed}}{f_o/\gamma_{M1}} \leq 1 \text{ ja } \frac{\sqrt{3}\tau_{Ed}}{f_o/\gamma_{M1}} \leq 1 \quad (35)$$

(EN 1999-1-1 2007,62).

missä

$\sigma_{x,Ed}$ on pituussuuntainen jännitys tarkasteltavassa pisteessä

$\sigma_{z,Ed}$ on poikittaissuuntainen jännitys tarkasteltavassa pisteessä

τ_{Ed} on leikkausjännitys tarkasteltavassa pisteessä

C on 1,2

Kotelo-poikkileikkauksille voidaan käyttää seuraavaa kaavaa

$$\left(\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}}\right)^\psi + \left[\left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}}\right)^{1,7} + \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}}\right)^{1,7}\right]^{0,6} \leq 1,00 \quad (36)$$

missä

N_{Ed} on mitoittava normaalivoima

N_{Rd} on puristuskestävyys

ψ on 1,3

$M_{y,Ed}$ on mitoittava taivutusmomentti y-akselin suhteen

$M_{y,Rd}$ on taivutuskestävyys y-akselin suhteen

$M_{z,Ed}$ on mitoittava taivutusmomentti z-akselin suhteen

$M_{z,Rd}$ on taivutuskestävyys z-akselin suhteen

(SFS EN 1999-1-1 2007,70).

3.6 Nurjahdus

Mitoituksessa voi tulla kysymykseen kolme erilaista nurjahdustapausta. Yleisin niistä on taivutusnurjahdus. Muita nurjahdustapauksia ovat vääntönurjahdus ja taivutusvääntönurjahdus. Kotelopoikkileikkauksilla määräävänä nurjahdusmuotona on taivutusnurjahdus niiden hyvän vääntöjäykkyyden takia. Tässä työssä esitetään ainoastaan taivutusnurjahdus. Eurokoodi 9:n liitteessä I on esitetty muiden nurjahdusmuotojen nurjahduskuorman määrittämien. (SFS EN 1999-1-1 (E) 2007,184.)

Mitoitusehto

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0 \quad (37)$$

missä

N_{Ed} on mitoittava normaalivoima

$N_{b,Rd}$ on nurjahduskestävyys

Nurjahduskestävyys lasketaan seuraavalla kaavalla

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A_{eff} f_o}{\gamma_{M1}} \quad (38)$$

missä

χ on nurjahduksen huomioiva pienennystekijä

A_{eff} on tehollinen pinta-ala

Nurjahduskuorma N_{cr} määritetään kaavalla

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L_{cr}^2} \quad (39)$$

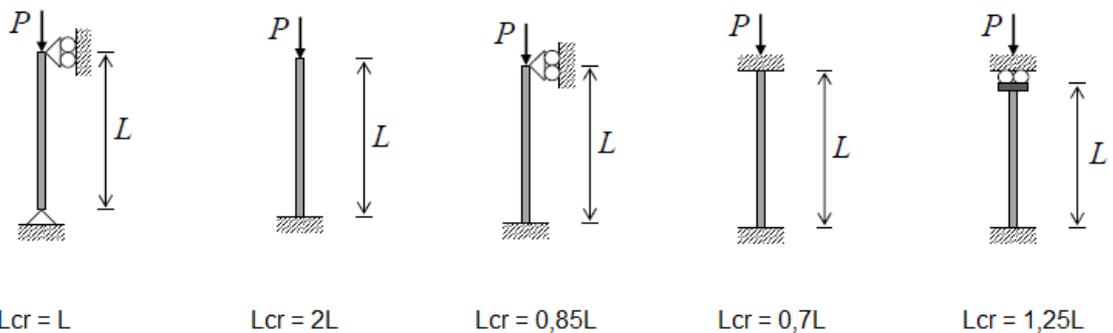
missä

E on materiaalin kimmokerroin

I on brutto poikkileikkauksen jäyhyysmomentti

L_{cr} on profiilin nurjahduspituus

Kuviossa 6 on eurokoodin mukaiset nurjahduspituudet.



Kuvio 6. Eurokoodi 9:n mukaiset nurjahduspituudet

Määritetään suhteellinen hoikkuus $\bar{\lambda}$ kaavalla

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{N_{Rd} * \gamma_{M1}}{N_{cr}}} \quad (40)$$

missä

N_{Rd} on mitoittava normaalivoima

N_{cr} on nurjahduskuorma

Määritetään apusuure Φ kaavalla

$$\Phi = 0,5(1 + \alpha(\bar{\lambda} - \bar{\lambda}_0) + \bar{\lambda}^2) \quad (41)$$

missä

α on Luokan A materiaaleille 0,20 ja luokan B materiaaleille 0,32

$\bar{\lambda}_0$ on Luokan A materiaaleille 0,10 ja luokan B materiaaleille 0,00

Määritetään pienennystekijä kaavalla

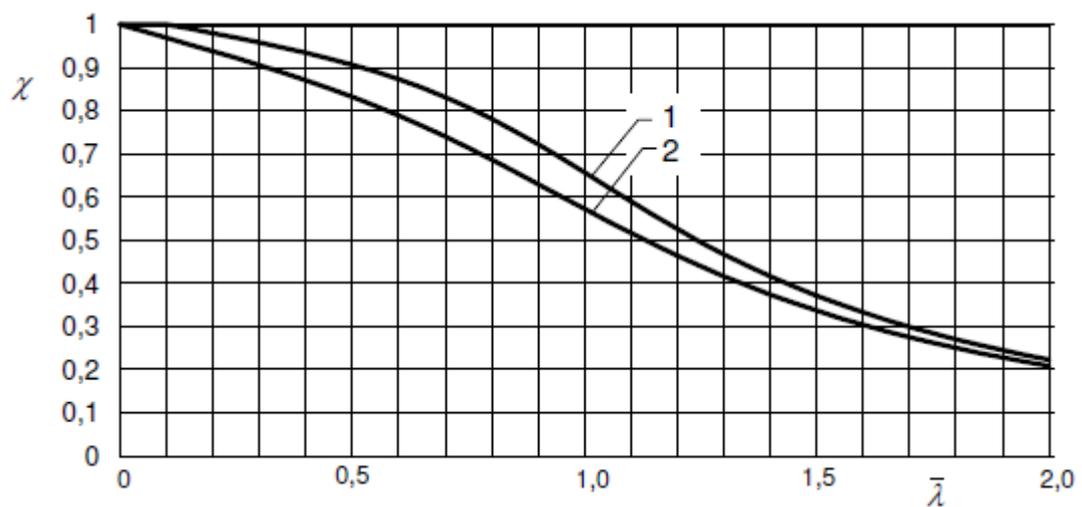
$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \quad (42)$$

missä

Φ on apusuure

$\bar{\lambda}$ on suhteellinen hoikkuus

Vaihtoehtoisesti pienennystekijä voidaan lukea kuvion 7 käyristä. Käyrä 1 on A luokan materiaaleille ja käyrä 2 B luokan materiaaleille



Kuvio 7. Nurjahduksen pienennystekijä (SFS EN 1999-1-1 2007,71-73).

3.7 Kiepahdus

Kiepahduskestävyyden määrittäminen periaatteeltaan samanlainen toimenpide kuin nurjahduskestävyyden määrittäminen. Eurokoodi 9:n liitteessä I on esitetty vaihtoehtoja kiepahdusmomentin määrittämiseen, sekä likimääräisohjeita suhteellisen hoikkuuden $\bar{\lambda}_{LT}$ laskemiseen (EN 1999-1-1 (E) 2007,174.)

Mitoitusehto

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1,0 \quad (43)$$

missä

M_{Ed} on mitoittava taivutusmomentti

$M_{b,Rd}$ on kiepahduskestävyys

Kiepahduskestävyys lasketaan seuraavalla kaavalla

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} * M_{Rd}}{\gamma_{M1}} \quad (44)$$

missä

χ_{LT} on kiepahduksen huomioiva pienennystekijä

M_{Rd} on taivutuskestävyys

Kiepahdusmomentti lasketaan eurokoodi 9:n liitteen I mukaan.

Määritetään suhteellinen hoikkuus seuraavalla kaavalla

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{M_{Rd} * \gamma_{M1}}{M_{cr}}} \quad (45)$$

missä

M_{Rd} on taivutuskestävyys

M_{cr} on kiepahdusmomentti

Määritetään apusuure Φ_{LT} kaavalla

$$\Phi_{LT} = 0,5(1 + \alpha_{LT}(\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{0,LT}) + \bar{\lambda}_{LT}^2) \quad (46)$$

missä

α_{LT} on 0,1 1 ja 2 poikkileikkausluokille, 3 ja 4 luokille 0,60

$\bar{\lambda}_{0,LT}$ on 0,2 1 ja 2 poikkileikkausluokille, 3 ja 4 luokille 0,40

Määritetään pienennystekijä kaavalla

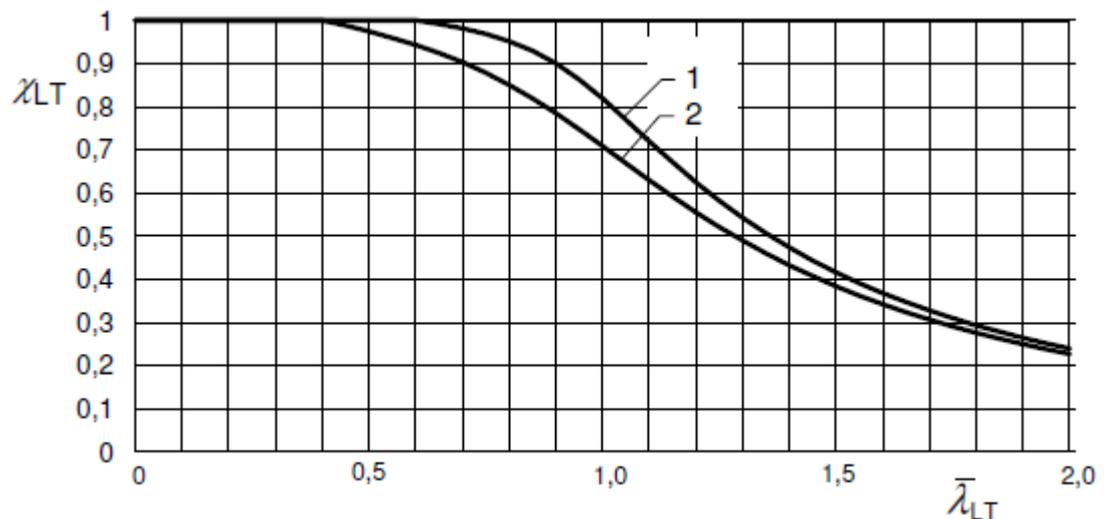
$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} \quad (47)$$

missä

Φ_{LT} on apusuure

$\bar{\lambda}_{LT}$ on suhteellinen hoikkuus

Vaihtoehtoisesti pienennystekijä voidaan lukea kuvion 8 käyrästä. Käyrä 1 on poikkileikkausluokille 1 ja 2, käyrä 2 on poikkileikkausluokille 3 ja 4.



Kuvio 8. Kiepahduksen pienennystekijä (SFS EN 1999-1-1 2007,75-76).

3.8 Taivutettu ja puristettu sauva

Aikaisemmin esiteltiin yhteisvaikutus kaavoja, joita käytettiin kun nurjahdus ja kiepahdus eivät tulleet kysymykseen. Seuraavassa esitellään yhteisvaikutus kaavat, silloin kun nurjahdus ja kiepahdus ovat mahdollisia.

Mitoitusehto kun kiepahdus on estetty, mutta nurjahdus on mahdollinen.

$$\left(\frac{N_{Ed}}{\chi_{min}N_{Rd}}\right)^{\psi_c} + \left[\left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}}\right)^{1,7} + \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}}\right)^{1,7}\right]^{0,6} \leq 1,00 \quad (48)$$

missä

N_{Ed} on mitoittava normaalivoima

N_{Rd} on puristuskestävyys

χ_{min} on pienempi nurjahduksen huomioiva pienennystekijä

ψ_c on 0,8

$M_{y,Ed}$ on mitoittava taivutusmomentti y-akselin suhteen

$M_{y,Rd}$ on taivutuskestävyys y-akselin suhteen

$M_{z,Ed}$ on mitoittava taivutusmomentti z-akselin suhteen

$M_{z,Rd}$ on taivutuskestävyys z-akselin suhteen

(EN 1999-1-1 2007,78).

Mitoitusehto kun sekä nurjahdus että kiepahdus ovat mahdollisia.

$$\left(\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rd}}\right)^{\eta_c} + \left(\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rd}}\right)^{\gamma_c} + \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}}\right)^{\xi_{zc}} \leq 1,00 \quad (49)$$

missä

N_{Ed} on mitoittava normaalivoima

N_{Rd} on puristuskestävyys

χ_z on nurjahduksen huomioiva pienennystekijä

η_c on 0,8

$M_{y,Ed}$ on mitoittava taivutusmomentti y-akselin suhteen

$M_{y,Rd}$ on taivutuskestävyys y-akselin suhteen

χ_{LT} on kiepahduksen huomioiva pienennystekijä

γ_c on 1,0

$M_{z,Ed}$ on mitoittava taivutusmomentti z-akselin suhteen

$M_{z,Rd}$ on taivutuskestävyys z-akselin suhteen

ξ_{zC} on 0,8

(SFS EN 1999-1-1 2007,78).

4 KÄYTTÖRAJATILAMITOITUS

Käyttörajatilamitoituksessa tarkastellaan rakenteen toimivuutta ulkonäön ja käyttömukavuuden kannalta. Käyttökelpoisuus kriteerinä voi olla esimerkiksi taipuman rajoittaminen tai välipohjan värähtelyn rajoittaminen. Mitoitusehtona on

$$E_d \leq C_d \quad (50)$$

missä

E_d on käyttörajatilan mitoituskormasta aiheutuva vaikutus

C_d on vastaava sallittu raja-arvo

(SFS EN 1990 2003,76).

Alumiinirakenteiden sallitut taipumat on annettu eurokoodi 9:n Suomen kansallisessa liitteessä.

Taulukko 4. Sallitut taipumat (Kansallinen liite EN 1999-1-1 2007,4).

Rakenne	Taipuman tai siirtymän raja-arvo
Pääkannattajat -vesikatoissa ja katoksissa -välipohjissa	L/300 L/400
Ulokkeet	L/150
Katto-orret	L/200
Seinäorret	L/150
Muotolevyt -katoissa, joissa ei ole vesikeräytymien tai katteen vaurioitumisen vaaraa -katoissa, joissa vesikeräytymien tai katteen vaurioitumisen vaara on olemassa -kun $L \leq 4,5$ m -kun $4,5 \text{ m} < L \leq 6,0$ m -kun $L > 6,0$ m -välipohjissa -seinissä -ulokkeissa	L/100 L/150 30 mm L/200 L/300 L/100 L/100
Rakenteen vaakasiirtymän rajatila -1 ja 2 kerroksiset rakennukset -muut rakennukset	H/150 H/400
L on jänneväli H on rakennuksen tarkasteltavan kohdan korkeus	
Rakennukset, jossa on nosturirata, ks. standardi SFS-EN 1993-6 ja sen kansallinen liite	

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Työssä esitellään varsin kattavasti eurokoodi 9:n antamat vaatimukset alumiinirakenteille. Tämä työ ei välttämättä ole paras itseopiskelumateriaali alumiinirakenteiden suunnitteluun, koska asiat esitetään määräystyyliin.

Työlle asetetut tavoitteet täytettiin mielestäni hyvin. Kirjallinen osuus käsittelee riittävän laajasti eurokoodi 9:ää ja mitoitusohjelma on helppokäyttöinen ja perusteellinen. Nähtäväksi jää, kuinka valmiita alumiini- ja lasirakentajat ovat siirtymään eurokoodien käyttöön. Mielestäni sille ei pitäisi enää olla suuria esteitä. Työn aihe oli minulle paras mahdollinen, se täydentää oppimaani eurokoodimitoitusta sekä antaa hyvät valmiudet työskennellä alumiinialalla. Jatkokehittäväksi jää mielestäni liitosten mitoittaminen, jos tulevaisuudessa lasipaksuudet kasvavat.

LÄHTEET

SFS-EN 1999-1-1:2007 Eurocode 9. Design of aluminium structures. Part 1-1: General structural rules. Helsinki: Suomen standardisointiliitto SFS.

SFS-EN 1990. Suomenkielinen käännös 18.8.2003. Eurocode: Rakenteiden suunnitteluperusteet. Helsinki: Suomen standardisoiimis-liitto SFS.

Kansallinen liite eurokoodiin SFS-EN-1999-1-3: Kansallinen liite annettu 15. lokakuuta 2007. Helsinki: Ympäristöministeriö.

SFS-EN 1991-1-1. Suomenkielinen käännös 18.8.2003. Eurocode 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-1: Yleiset kuormat. Tilavuuspainot, oma paino ja rakennusten hyötykuormat. Helsinki: Suomen standardisoiimisliitto SFS.

Talat. 2009. TALAT Lecture 2301 Design of Members. Stockholm. EAA – European Aluminium Association.

Karhunen, J., Lassila, V., Pyy, S., Ranta, A., Räsänen, S., Saikkonen, M. & Suosarala, E. 1992. Lujusoppi. 10. p. Helsinki: Otatieto Oy

Eurokoodi9. Ei päivitystä. Materiaaliominaisuudet. [Verkkosivu]. [Viitattu 14.4.2012]. Saatavana:
<http://www.eurokoodi9.fi/topic?b4e883b78aa38baaa280f71387e91f03>

Perälä M. 2010. Lujusoppi. Opetusmateriaali. Seinäjoen ammattikorkeakoulu. Julkaisematon.

LIITTEET

LIITE 1. Alumiinirungon mitoitusohje Eurokoodien mukaan

LIITE 2. Esimerkkikohteen mitoitus Excel ohjelmalla

LIITE 3. Esimerkkikohteen mitoitus Käsin

LIITE 1. Alumiinirungon mitoitusohje Eurokoodien mukaan

Tämän ohjeen avulla voidaan mitoittaa tavanomaisia julkisivu rakenteita. Rakenne mitoitetaan sekä murto, että käyttörajatilassa.

Tuulikuorman määrittäminen

Tuulikuorma määritetään **RIL 201-1-2008** Mukaisesti.

1. Määritetään maastoluokka taulukon 1 mukaisesti.
2. Katsotaan rakennuksen korkeutta ja maastoluokkaa vastaava nopeuspaineen ominaisarvo taulukosta 2
3. Määritetään mitoitettavaa rakenneosaa tuulikuorman kuormittava pinta-ala A.
A = kuormitus leveys kertaa jänneväli $b \cdot L$
4. Valitaan tarkoituksen mukainen $C_{p,net}$ kerroin taulukosta 3. Väliarvot voidaan katsoa taulukosta 3.1
5. Lasketaan tuulikuorman ominaisarvo $q_{w,k}$ kertomalla nopeuspaineen ominaisarvo $C_{p,net}$ kertoimella.

Taulukko 1 Maastoluokat **RIL 202-2011**

Luokka	Maaston kuvaus
0	Avomeri tai merelle avoin rannikko
1	Järvi tai alue, jolla on vähäistä kasvillisuutta eikä esteitä.
2	Alue, jolla on matalaa kasvillisuutta ja erillisiä puita tai rakennuksia, joiden etäisyys toisistaan on vähintään 20 kertaa esteen korkeus. Esim. maatalousmaa.
3	Esikaupunki- tai teollisuusalueet sekä metsät. Matalat pientaloalueet ja kylät.
4	Yhtenäiset laajat kaupunkialueet, joiden pinta-alasta vähintään 15 % on rakennettu ja rakennusten keskimääräinen korkeus on yli 15 m

Taulukko 2.

Nopeuspaineen ominaisarvot $q_k(h)$ [kN/m²] eri maastoluokissa**RIL****201-1-2008**

Z(m)	Maastoluokka				
	0	1	2	3	4
0	0.66	0.42	0.39	0.35	0.32
1	0.66	0.42	0.39	0.35	0.32
2	0.78	0.52	0.39	0.35	0.32
5	0.96	0.65	0.53	0.35	0.32
8	1.05	0.73	0.61	0.43	0.32
10	1.09	0.76	0.65	0.47	0.32
15	1.18	0.83	0.72	0.55	0.40
20	1.24	0.88	0.77	0.60	0.45
25	1.29	0.92	0.82	0.65	0.50
30	1.33	0.95	0.85	0.68	0.54
35	1.37	0.98	0.88	0.72	0.57
40	1.40	1.01	0.91	0.74	0.60

Z(m) on rakennuksen korkeus

Taulukko 3.

Ulkoseinien paikallisten tuulenpaineitten nettopaine kertoimia.

RIL 202-2011

Ulkoseinät	Suurin imu nurkka-alueella		Suurin imu keskialueilla		Suurin paine sisäänpäin	
	$A \geq 10 \text{ m}^2$	$A \leq 1 \text{ m}^2$	$A \geq 10 \text{ m}^2$	$A \leq 1 \text{ m}^2$	$A \geq 10 \text{ m}^2$	$A \leq 1 \text{ m}^2$
Tarkasteltava pinta- ala C _{p,net}	-1.5	-1.7	-1.1	-1.4	+1.1	+1.3

Nurkka-alue ulottuu rakennuksen ulkonurkasta molempiin suuntiin etäisyydelle $e/5$, missä e = pienempi seuraavista. 2xrakennuksen korkeus tai rakennuksen suurempi sivumitta. Muualla käytetään keskialueen nettopaine kertoimia.

Taulukko 3.1
Ulkoseinien paikallisten tuulenpaineitten
nettopainekertoimia. Väliarvot valmiiksi laskettu

Suurin imu nurkka-alueella		Suurin imu keskialueilla		Suurin paine sisäänpäin	
A	Cp,net	A	Cp,net	A	A ≤ 1 m ²
1	-1.700	1	-1.400	1	+1.300
2	-1.678	2	-1.367	2	+1.278
3	-1.656	3	-1.333	3	+1.256
4	-1.633	4	-1.300	4	+1.233
5	-1.611	5	-1.267	5	+1.211
6	-1.589	6	-1.233	6	+1.189
7	-1.567	7	-1.200	7	+1.167
8	-1.544	8	-1.167	8	+1.144
9	-1.522	9	-1.133	9	+1.122
10	-1.500	10	-1.100	10	+1.100

Mitoitus murtorajatilassa.

Vaadittava poikkileikkaus määritetään seuraavan laskentaketjun mukaisesti

1. Lasketaan pilaria rasittava suurin taivutusmomentti seuraavasti $M_{Ed} = \frac{1,5 * b * q_{w,k} * L^2}{8}$

Missä 1,5 on kuorman osavarmuuskerroin

b on pilarin kuormitusleveys

$q_{w,k}$ on tuulikuorman ominaisarvo

L on pilarin jänneväli

2. Lasketaan vaadittava taivutusvastus seuraavasti: $W_{min} = \frac{M_{Ed}}{f_o / 1,1}$

Missä M_{Ed} on pilaria rasittava taivutusmomentti

f_o on alumiinin myötölujuus esim. EN-AW 6063 T5 $f_o = 130 \text{ N/mm}^2$

1,1 on alumiinin osavarmuuskerroin

Jos M_{Ed} on laskettu metreillä ja kilonewtoneilla [kNm] muutetaan se newtonmillimetreiksi [Nmm] kertomalla se miljoonalla. [kNm] = 1 000 000 [Nmm]

3. Valitaan profiilitaulukosta vähintään yhtä suuren taivutusvastuksen omaava profiili

Mitoitus käyttörajatilassa

Vaadittava poikkileikkaus määritetään seuraavan laskentaketjun mukaisesti.

1. Määritetään suurin sallittu taipuma V seuraavien ehtojen mukaan.

Lasiala on jaettu osiin jännevälin suunnassa: $L/200$ kuitenkin enintään 15mm
 Lasialaa ei ole jaettu osiin jännevälin suunnassa: $L/300$ kuitenkin enintään 15mm

2. Ratkaistaan vaadittava jäyhyysmomentti yhtälöstä: $I_{\min} = \frac{5 \cdot b \cdot q_{w,k} \cdot L^4}{V \cdot 384 \cdot E}$

Missä b on pilarin kuormitusleveys

$q_{w,k}$ on tuulikuorman ominaisarvo

L on pilarin jänneväli

v on suurin sallittu taipuma [mm]

E on kimmokerroin 70 000 N/mm²

3. Valitaan profiilitaulukosta vähintään yhtä suuren jäyhyysmomentin omaava profiili.

Esimerkki

Lähtötiedot:

Rakennuksen ulkomitat 40m x 30m

Jänneväli 4m

Kuormitusleveys 2m

Lasiseinän kokonaisleveys on 4m

Lasiseinä sijaitsee lyhyemmän ulkomitan keskellä

Rakennus sijaitsee Tampereen keskustassa

Rakennuksen korkeus 13m

Tuulikuorman määrittäminen

1. Määritetään maastoluokaksi 3
2. Nopeuspaineen ominaisarvo: $q_k(h) = 0,47 + (0,55 - 0,47) \cdot 3/5 = \mathbf{0,518 \text{ kN/m}^2}$
3. Kuormitusala: $A = b \times L = 2\text{m} \times 4\text{m} = 8\text{m}^2$
4. Katsotaan onko seinä nurkka-alueella: Nurkka-alue ulottuu rakennuksen reunasta etäisyydelle $e/5$ missä e on pienempi seuraavista $2 \cdot 13\text{m} = 26\text{m}$ tai 40m

 Nukka alue ulottuu reunasta $26\text{m} / 5 = \mathbf{5.2\text{m}}$
 Lasiseinä sijaitsee keskialueella, joten $C_{p,\text{net}}$ kerroin on $\mathbf{-1.167}$
5. Tuulikuorman ominaisarvo $q_{w,k}$ on $-1,167 \times 0,518 \text{ kN/m}^2 = \mathbf{0,6 \text{ kN/m}^2}$

Mitoitus murtorajatilassa

$$1. M_{Ed} = \frac{1,5 * 2m * 0,6kN/m^2 * (4m)^2}{8} = 3,6kNm$$

$$2. W_{min} = \frac{3,6 * 1\ 000\ 000\ Nmm}{(130N/mm^2)/1,1} = 30462mm^3$$

3. Murtorajatilassa profiiliksi kävisi P 50 L-sarjan profiili **508505** 120 mm
 $W=37100mm^3$ Käyttöaste $30462/37100 = 82 \%$

Mitoitus käyttörajatilassa

1. $v = 4000mm/200 = 20mm$. Suurin sallittu taipuma on 15mm

$$2. I_{min} = \frac{5 * 2m * 0,6kN/m^2 * (4000mm)^4}{15mm * 384 * 70\ 000N/mm^2} = 3810000mm^4 = 381cm^4$$

3. Käyttörajatilassa profiiliksi kävisi kävisi P 50 L-sarjan profiili **506718** 160mm I =
 $459,6cm^4$

Käyttöaste $381/459,6 = 69 \%$

Käyttörajatila määräsi käytettävän profiilin.

Purso Oy
Alumiinitie 1
37200 Siuro
03 3404 111

Rakennelaskelmat

(1/7)

7.5.2012

Yritys
Etunimi sukunimi
Osoite
63300 Alavus

Viite

Alumiinirungon rakennelaskelmat

Tällä rakennelaskelmalla osoitetaan, että käytettävä alumiinirakenne täyttää eurokoodin ja Suomen kansallisen liitteen asettamat vaatimukset.

Mitoitusohjeet

SFS-EN 1999-1-1:2007 Eurocode 9. Desing of aluminum stuctures
RIL 201-1-2008 Suunnitteluperusteet ja rakenteidenkuormat

Yleistä

Laskelmissa on huomioitu tuulen imu- ja paine kuormitus, sekä lasielementin omasta painosta aiheutuva kuormitus. Lasin ei oleteta antavan nurjahdustukea seinän tasossa. Poikkileikkausluokassa 4 käytetään tehollisia paksuuksia.

Kohteen yhtetiedot

As Oy Mallikohde
Kuulantie 10
63300 Alavus

Purso Oy
Alumiinitie 1
37200 Siuro
03 3404 111

Rakennelaskelmat

(2/7)

7.5.2012

Lähtötiedot

Maastoluokka

Rakennuksen mitat:

Rakennuksen korkeus m

Pidemmän sivun pituus m

Lyhyemmän sivun pituus m

Lasiseinän reunan etäisyys
rakennuksen nurkasta m

Seinä sijaitee rakennuksen nurkka-alueella **RIL 201-1-2008**
Kuva 7.5

Rakennetiedot

Lasien paksuus yhteensä mm

Lasipaketin keskikohdan
etäisyys profiilin kärjestä mm

Lasiseinän mitat

Lasiseinän kokonaiskorkeus m

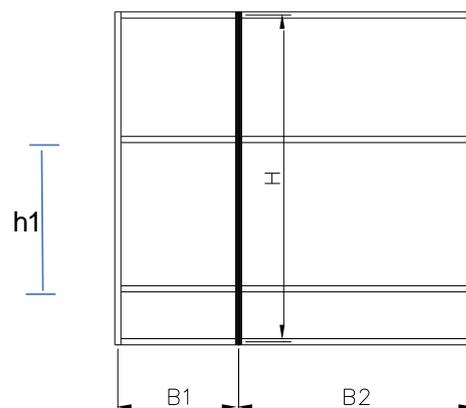
Kerroskorkeus H m

Leveys B1 m

Leveys B2 m

Jos vaakoja, Pisin vaakojen väli h1 m

Pystykuormat tuettu holville
kerroskorkuisina



Purso Oy
 Alumiinitie 1
 37200 Siuro
 03 3404 111

Rakennelaskelmat

(3/7)

7.5.2012

Tuuli Kuormat

Tuulikuorman ominaisarvojen määrittämisessä on käytetty seuraavia tekijöitä:

Sisäpuolinen painekerroin c_{pi} on +0,2 tai -0,3 pahimman vaikutuksen mukaan

RIL 201-1-2008
 sivu 159

Ulkopuolinen painekerroin c_{pe}

RIL 201-1-2008
 taulukko 7.1

Nopeuspaineen ominaisarvo $c_{po}(z)$

RIL 201-1-2008
 taulukko 4.2S.

Negatiivisen tuulikuorman ominaisarvo $q_{w,k}$

-0.92 kN/m²

Positiivisen tuulikuorman ominaisarvo $q_{w,k}$

0.69 kN/m²

Positiivisen tuulikuorman ominaisarvo $q_{w,k H=5m}$

0.42 kN/m²

Muullatavoin määritelty

Tuulikuorman ominaisarvo $q_{w,k}$

kN/m²

Pysyvät kuormat

Pysyvänkuorman ominasarvo G_k **-16.20** kN

Muullatavoin määritelty

Pysyvänkuorman ominasarvo G_k kN

Purso Oy
Alumiinitie 1
37200 Siuro
03 3404 111

Rakennelaskelmat

(4/7)

7.5.2012

Kuormien osavarmuuskertoimet

Kuormakerroin KFI	1.00	RIL 201-1-2008 taulukko 6.1S.
Muutuvankuorman osavarmuuserroin	1.5	RIL 201-1-2008 kaava (6.10S)
Pysyvätkuorman osavarmuuserroin	1.15	RIL 201-1-2008
Pelkkä pysyväkuorma	1.35	kaava (6.10S)

kuormien yhdistelykertoimet

Tuulikuorman yhdistelykertoimet

ψ0	0.6	RIL 201-1-2008 taulukko A.1.1(FI)
ψ1	0.2	
ψ2	0	

MRT Kuormitus yhdistely:

MRT KY 1 (Tuuli ja pysyväkuorma) $KFI \cdot 1.5 \cdot q_{w,k} + KFI \cdot 1.15 \cdot G_k$

MRT KY 2 (Pelkkä pysyväkuorma) $KFI \cdot 1.35 \cdot G_k$

KRT Kuormitus yhdistely:

Ominais Yhdistelmä

KRT KY 3 (Tuuli ja pysyväkuorma)

$G_k + q_{w,k}$

Selostus:

-Tätä ominasisyhdistelmää käytetään tavallisesti palautumattomille rajatiloille. Palautumatonrajatila=rajatila, jossa kaikki käyttökelpoisuusvaatimuksen ylittävät kuormien vaikutukset eivät palaudu, kun kuormat poistetaan (esim. halkeillut poikkileikkaus)

RIL 201-1-2008
kaava (6.14S)

Purso Oy
Alumiinitie 1
37200 Siuro
03 3404 111

Rakennelaskelmat

(5/7)

7.5.2012

Profiilin valinta

Profiili järjestelmänä käytetään Purso P50 järjestelmää

Vakio seos on AW-6063

Profiilin toimitustila T 5

Myötölujuus f_y 130 N/mm²

Kimmo kerroin E 70000 N/mm²

SFS EN 1999-1.1 (3.2.2)

Materiaalin osavarmuusluku γ_{M1} 1.1

SFS EN 1999-1.1 (6.1.3)

Profiilinumero (PURSO Oy)

506718 (160) ▼

profiili täyttää mitoitus ehdot

Profiilin poikkileikkaussuureet

I_y	4589000	mm ⁴
I_z	475000	mm ⁴
W_y	46731	mm ³
W_z	19000	mm ³
Pinta-ala	1208	mm ²
Poikkileikkausluokka	4	

Purso Oy
Alumiinitie 1
37200 Siuro
03 3404 111

Rakennelaskelmat

(6/7)

7.5.2012

Kestävyydet:

KY 2 Alin kerros Pelkkä omapaino Käyttöaste

Puristuskestävyys

131.52 kN

16.6%

SFS EN 1999-1.1 (6.22)

KY 1 Alin kerros tuulikuorma ja omapaino

Taivutuskestävyys

5.40 kNm

59.9%

SFS EN 1999-1.1 (6.25)

KY 1 Alin kerros tuulikuorma ja omapaino

Taivutuksen ja puristuksen yhteivaikutus

66.8%

SFS EN 1999-1.1 (6.43)

KY 2 Alin kerros Pelkkä omapaino

Nurjahduskestävyys Y

101.19 kN

21.6%

SFS EN 1999-1.1 (6.49)

KY 2 Alin kerros Pelkkä omapaino

Nurjahduskestävyys z

75.55 kN

28.9%

SFS EN 1999-1.1 (6.49)

KY 1 Alin kerros tuulikuorma ja omapaino

Nurjahduksen ja taivutuksen yhteisvaikutus

91.4%

SFS EN 1999-1.1 (6.62)

KY 1 Ylin kerros Imukuorma

Leikkauskestävyys

46.61 kN

8.9%

SFS EN 1999-1.1 (6.28)

KäyttörajatilaMitoitus:

Taipumien raja-arvot SFS-EN 1999-1-1:2007 Suomen kansallisesta liitteestä.

Suurin taipuma aiheutuu kuormitusyhdistelmästä

KY 3 Ylin kerros Imukuorma

Taipuma **6.05** mm

Käyt aste

60.5%

Sallittutaipuma: jänneväli /

300

Sallittutaipuma Max 15mm

10.00 mm

Purso Oy
Alumiinitie 1
37200 Siuro
03 3404 111

Rakennelaskelmat

(7/7)

7.5.2012

Yhteenveto

Kestävyydet on laskettu seuraavissa kuormitus tapauksissa

KY 1 Ylin kerros: pelkkä Imukuorma

KY 1 Ylin kerros: omapaino ja positiivinen tuulikuorma

KY 1 Alin kerros: omapaino ja positiivinen tuulikuorma

KY 2 Alin kerros: pelkkä omapaino

KY 3 KRT: Ylin kerros: pelkkä Imukuorma

KY 3 KRT: Alin kerros: omapaino ja positiivinen tuulikuorma

Ystävällisin terveisin

Firma Oy

Jere Mäkiranta
Suunnittelija

Liite

Liitteenä kuormitustapauskohtaiset laskelmat

Jakelu

Luettelo tahoista tai henkilöistä, joille laskemat toimitetaan

Tiedoksi

Luettelo tahoista tai henkilöistä, joille laskemat saatetaan tiedoksi. Esim Myyntipäällikkö

Rakennuskohde: As Oy Mallikohde (1/9)
Osoite: Kuulantie 10
 63300 Alavus
Suunnittelija: Jere Mäkiranta

Mitoitus:

KY 1 Ylin kerros Imukuorma

Ned		kN
Med	-3.11	kNm
Ved	4.15	kN

Normaalivoiman
 aiheuttama
 momentti
 0.00 kNm

Poikkileikkaussuureet:

Brutto			Netto		
Pintakeskiö alareunasta	84.8	mm	Pintakeskiö	85.8	mm
yläreunasta	98.2				
ly	4,589,000	mm ⁴	ly	4519559	mm ⁴
W1	54,116	mm ³	W1	52,673	mm ³
W2	46,731	mm ³	W2	46,499	mm ³
Iz	475,000	mm ⁴	Iz		mm ⁴
A	1208	mm ²	A	1177.62	mm ²

Poikkileikkausluokka:

Taso-osan leveys	148.50	mm
Taso-osan paksuus	2.30	mm
ϵ	1.39	
Jännitys ylälaipassa	43.18	N/mm ²
Jännitys alalaipassa	-54.43	N/mm ²
Jännityssuhde Ψ	-0.79	
Jännitysjakaumatekijä η	0.46	
Hoikkuusparametri β	29.83	
Hoikkuusparametrin vertailuarvo β_3	24.96	
Poikkileikkausluokka	4	
Pienennyskerroin	0.92	
Puristetun osan korkeus	82.81	

Rakennuskohde: As Oy Mallikohde (2/9)
Osoite: Kuulantie 10
 63300 Alavus
Suunnittelija: Jere Mäkiranta

Kestävyydet: KY 1 Ylin kerros Imukuorma

		Käyttö aste
Puristuskestävyys	139.17 kNm	0.0%
Taivutuskestävyys	5.50 kNm	56.6%
Taiv pur yht	0.56	56.0%
Nurjahduskestävyys Y	105.83 kN	0.0%
Nurjahduskestävyys z	77.68 kN	0.0%
Nur taiv yht	0.56	56.0%
Leikkauskestävyys	46.61 kN	8.9%

α	0.32			
λ_0	0	λ	Φ	X
Nur kuorma	352.27	0.659	0.823	0.760
Nur z	145.85	1.025	1.189	0.558

Rakennuskohde: As Oy Mallikohde (3/9)
Osoite: Kuulantie 10
 63300 Alavus
Suunnittelija: Jere Mäkiranta

Mitoitus:**KY 1 Ylin kerros Positiivinen tuulikuorma**

		Normaalivoiman aiheuttama momentti
Ned	-3.11 kN	
Med	2.33 kNm	0.30 kNm

Poikkileikkaussuureet:

Brutto			Netto		
Pintakeskiö alareunasta	84.8	mm	Pintakeskiö	84.8	mm
yläreunasta	98.2				
ly	4,589,000	mm ⁴	ly	4589000	mm ⁴
W1	54,116	mm ³	W1	54,116	mm ³
W2	46,731	mm ³	W2	46,731	mm ³
Iz	475,000	mm ⁴	Iz		mm ⁴
A	1208	mm ²	A	1208	mm ²

Poikkileikkausluokka:

Taso-osan leveys	148.50	mm
Taso-osan paksuus	2.30	mm
ε	1.39	
Jännitys yläaipassa	-39.11	N/mm ²
Jännitys alaipassa	43.49	N/mm ²
Jännityssuhde Ψ	-1.11	
Jännitysjakaumatekijä η	0.38	
Hoikkuusparametri β	24.46	
Hoikkuusparametrin vertailuarvo β3	24.96	
Poikkileikkausluokka	3	
Pienennyskerroin	1.00	
Puristetun osan korkeus	70.31	

Rakennuskohde: As Oy Mallikohde (4/9)
Osoite: Kuulantie 10
 63300 Alavus
Suunnittelija: Jere Mäkiranta

Kestävyydet: KY 1 Ylin kerros Positiivinen tuulikuorma

		Käyttö aste			
Puristuskestävyys	142.76 kNm	2.2%			
Taivutuskestävyys	5.52 kNm	47.7%			
Taiv pur yht	0.48	47.7%			
Nurjahduskestävyys Y	107.96 kN	2.9%			
Nurjahduskestävyys z	78.62 kN	3.9%			
Nur taiv yht	0.55	54.5%			
α	0.32				
λ0	0		λ	Φ	X
Nur kuorma	352.27		0.668	0.830	0.756
Nur z	145.85		1.038	1.204	0.551

Rakennuskohde: As Oy Mallikohde (5/9)
Osoite: Kuulantie 10
 63300 Alavus
Suunnittelija: Jere Mäkiranta

Mitoitus:**KY 1 Alin kerros tuulikuorma ja omapaino**

		Normaalivoiman aiheuttama momentti
Ned	-18.63 kN	
Med	1.40 kNm	1.83 kNm

Poikkileikkaussuureet:

Brutto			Netto		
Pintakeskiö alareunasta	84.8	mm	Pintakeskiö	83.7	mm
yläreunasta	98.2				
ly	4,589,000	mm ⁴	ly	4533700	mm ⁴
W1	54,116	mm ³	W1	54,150	mm ³
W2	46,731	mm ³	W2	45,668	mm ³
Iz	475,000	mm ⁴	Iz		mm ⁴
A	1208	mm ²	A	1156.11	mm ²

Poikkileikkausluokka:

Taso-osan leveys	148.50	mm
Taso-osan paksuus	2.30	mm
ϵ	1.39	
Jännitys ylälaipassa	-63.48	N/mm ²
Jännitys alalaipassa	41.17	N/mm ²
Jännityssuhde Ψ	-0.65	
Jännitysjakaumatekijä η	0.51	
Hoikkuusparametri β	32.64	
Hoikkuusparametrin vertailuarvo β_3	24.96	
Poikkileikkausluokka	4	
Pienennyskerroin	0.87	
Puristetun osan korkeus	90.08	

Rakennuskohde: As Oy Mallikohde (6/9)
Osoite: Kuulantie 10
 63300 Alavus
Suunnittelija: Jere Mäkiranta

Kestävyydet: KY 1 Alin kerros tuulikuorma ja omapaino

			Käyttö aste		
Puristuskestävyys	136.63 kNm		13.6%		
Taivutuskestävyys	5.40 kNm		59.9%		
Taiv pur yht	0.67		66.8%		
Nurjahduskestävyys Y	104.30 kN		17.9%		
Nurjahduskestävyys z	76.99 kN		24.2%		
Nur taiv yht	0.91		91.4%		
α	0.32				
λ0	0	λ	Φ	X	
Nur kuorma	352.27	0.653	0.818	0.763	
Nur z	145.85	1.015	1.178	0.563	

Rakennuskohde: As Oy Mallikohde (7/9)
Osoite: Kuulantie 10
 63300 Alavus
Suunnittelija: Jere Mäkiranta

Mitoitus:

KY 2 Alin kerros Pelkkä omapaino

		Normaalivoiman aiheuttama momentti
Ned	-21.87 kN	
Med		2.15 kNm

Poikkileikkaussuureet:

Brutto			Netto		
Pintakeskiö alareunasta	84.8	mm	Pintakeskiö	82.1	mm
yläreunasta	98.2				
ly	4,589,000	mm ⁴	ly	4483004	mm ⁴
W1	54,116	mm ³	W1	54,610	mm ³
W2	46,731	mm ³	W2	44,426	mm ³
Iz	475,000	mm ⁴	Iz		mm ⁴
A	1208	mm ²	A	1112.89	mm ²

Poikkileikkausluokka:

Taso-osan leveys	148.50	mm
Taso-osan paksuus	2.30	mm
ϵ	1.39	
Jännitys ylälaipassa	-47.92	N/mm ²
Jännitys alalaipassa	19.48	N/mm ²
Jännityssuhde Ψ	-0.41	
Jännitysjakaumatekijä η	0.58	
Hoikkuusparametri β	37.32	
Hoikkuusparametrin vertailuarvo β_3	24.96	
Poikkileikkausluokka	4	
Pienennyskerroin	0.80	
Puristetun osan korkeus	105.58	

Rakennuskohde: As Oy Mallikohde (8/9)
Osoite: Kuulantie 10
 63300 Alavus
Suunnittelija: Jere Mäkiranta

Kestävyydet: KY2 Alin kerros Pelkkä omapaino

			Käyt aste		
Puristuskestävyys	131.52 kNm		16.6%		
Taivutuskestävyys	5.25 kNm		40.9%		
Taiv pur yht	0.50		49.9%		
Nurjahduskestävyys Y	101.19 kN		21.6%		
Nurjahduskestävyys z	75.55 kN		28.9%		
Nur taiv yht	0.77		77.3%		
α	0.32				
λ0	0	λ	φ	X	
Nur kuorma	352.27	0.641	0.808	0.769	
Nur z	145.85	0.996	1.155	0.574	

Rakennuskohde: As Oy Mallikohde (9/9)
Osoite: Kuulantie 10
63300 Alavus
Suunnittelija: Jere Mäkiranta

Käyttöraja-tila Mitoitus:**KY 3 Ylin kerros Imukuorma**

Ned kN
Med kNm

Taipuma mm

Sallittu taipuma $L/300 < 15\text{mm}$ mm

Normaalivoiman
aiheuttama
momentti
 kNm

KY 3 Alin kerros

Ned kN
Med kNm

Taipuma mm

Sallittu taipuma $L/300 < 15\text{mm}$ mm

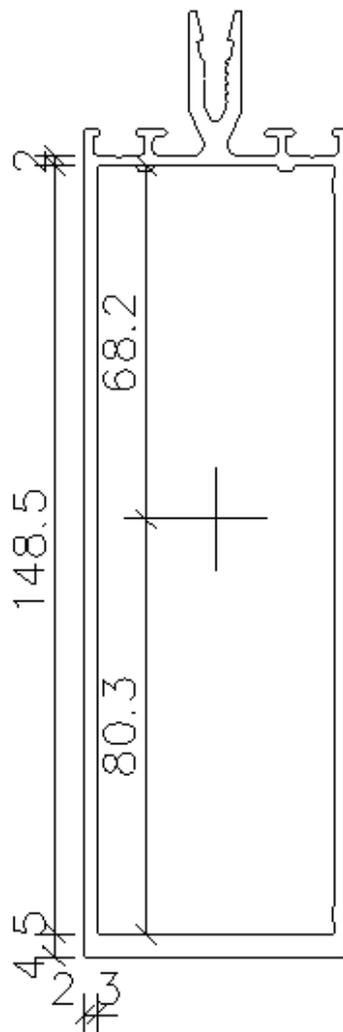
Normaalivoiman
aiheuttama
momentti
 kNm

LIITE 3. Esimerkkikohteen mitoitus käsin

Mitoitetaan esimerkki kohteen pystyprofiili käsin. Tutkitaan kuormitusyhdistely ykköstä, alakerta positiivinen tuulikuorma ja omapaino.

Mitoittavat voimasuureet: M_{Ed} on 3,23 kNm ja N_{Ed} on 18,63 kN

Profiilin brutto poikkileikkaussuureet:



$$\begin{aligned}
 \text{Ala} &: 1208.62 \text{ mm}^2 \\
 I(x) &: 4.59 \times 10^6 \text{ mm}^4 \\
 I(y) &: 4.75 \times 10^5 \text{ mm}^4 \\
 e1(x) &: 84.8 \text{ mm} \\
 e2(x) &: 98.2 \text{ mm} \\
 e1(y) &: 25 \text{ mm} \\
 W1(x) &: 5.42 \times 10^4 \text{ mm}^3 \\
 W2(x) &: 4.68 \times 10^4 \text{ mm}^3 \\
 W1(y) &: 1.9 \times 10^4 \text{ mm}^3
 \end{aligned}$$

Poikkileikkausluokka: Profiilin laipat kuuluvat vähintään poikkileikkausluokkaan 3, määritetään uuman poikkileikkausluokka

Jännitykset uuman ylä- ja alareunassa

$$\frac{M_{Ed}}{I_y} y_{c,ylä} + \frac{N_{Ed}}{A}$$

$$\frac{-3,23 * 10^6 Nmm}{4,59 * 10^6 mm^4} * 68,2mm - \frac{18630N}{1208mm^2} = -63,4N/mm^2$$

$$\frac{3,23 * 10^6 Nmm}{4,59 * 10^6 mm^4} * 80,3mm - \frac{18630N}{1208mm^2} = 41,1N/mm^2$$

Jännityssuhde Ψ

$$\frac{41,1N/mm^2}{-63,4N/mm^2} = 0,65$$

Jännitysjakumatekijä η

$$\eta = 0,70 + 0,3\Psi \quad \text{kun} \quad 1 \geq \Psi \geq -1$$

$$0,70 + 0,3 * (-0,65) = 0,51$$

Hoikkuusparametri β

$$\beta = \frac{\eta b}{t} = \frac{0,51 * 148,5mm}{2,3mm} = 33$$

Vertailuarvo $\beta_3 = 18\varepsilon = 18 * 1,38 = 25$

$$\varepsilon = \sqrt{250/f_o} = \sqrt{250/130} = 1,38$$

Poikkileikkaus kuuluu poikkileikkausluokkaan 4

Puristetun osan pienennystekijä

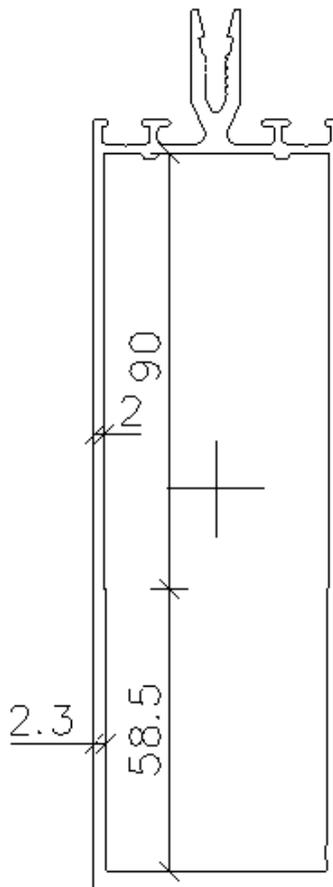
$$\rho_c = \frac{C_1}{(\beta/\epsilon)} - \frac{C_2}{(\beta/\epsilon)^2} = \frac{29}{\left(\frac{32,6}{1,38}\right)} - \frac{198}{\left(\frac{32,6}{1,38}\right)^2} = 0,873$$

Puristetun uuman toimiva paksuus on $0,873 * 2,3\text{mm} = 2\text{mm}$

Puristetun osan korkeus

$$\frac{148,5\text{mm}}{41,1\text{N/mm}^2 + 63,4\text{N/mm}^2} * 63,4\text{N/mm}^2 = 90\text{mm}$$

Netto poikkileikkauksen poikkileikkaussuureet:



$$\begin{aligned} \text{Ala} &: 1153.025 \text{ mm}^2 \\ I(x) &: 4.52 \times 10^6 \text{ mm}^4 \\ I(y) &: 4.46 \times 10^5 \text{ mm}^4 \\ e1(x) &: 83.66 \text{ mm} \\ e2(x) &: 99.34 \text{ mm} \\ e1(y) &: 25 \text{ mm} \\ W1(x) &: 5.4 \times 10^4 \text{ mm}^3 \\ W2(x) &: 4.55 \times 10^4 \text{ mm}^3 \\ W1(y) &: 1.79 \times 10^4 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

Puristuskestävyys

$$N_{c,Rd} = \frac{A_{eff} f_o}{\gamma_{M1}} = \frac{1153 \text{ mm}^2 * 130 \text{ N/mm}^2}{1,1} = 136,2 \text{ kN}$$

Käyttöaste

$$\frac{18,63 \text{ kN}}{136,2 \text{ kN}} = 13,6\%$$

Taivutuskestävyys

$$M_{Rd} = \frac{W_{eff} f_o}{\gamma_{M1}} = \frac{4,55 * 10^4 \text{ mm}^3 * 130 \text{ N/mm}^2}{1,1} = 5,3 \text{ kNm}$$

Käyttöaste

$$\frac{3,23 \text{ kNm}}{5,3 \text{ kNm}} = 60,9\%$$

Taivutuksen ja puristuksen yhteisvaikutus

$$\left(\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}}\right)^\psi + \left[\left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}}\right)^{1,7} + \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}}\right)^{1,7} \right]^{0,6} \leq 1,00$$

$$\left(\frac{18,63 \text{ kN}}{136,2 \text{ kN}}\right)^{1,3} + \left[\left(\frac{3,23 \text{ kNm}}{5,3 \text{ kNm}}\right)^{1,7} \right]^{0,6} = 0,678$$

Käyttöaste 67,8%

Nurjahduskestävyys z-akselin suhteen

Nurjahduskuorma

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 * 70000 N/mm^2 * 4,75 * 10^5 mm^4}{(1500 mm)^2} = 145,8 kN$$

Suhteellinen hoikkuus

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{N_{Rd} * \gamma_{M1}}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{136,2 kN * 1,1}{145,8 kN}} = 1,01$$

Apusuure

$$\Phi = 0,5(1 + \alpha(\bar{\lambda} - \bar{\lambda}_0) + \bar{\lambda}^2) = 0,5(1 + 0,32(1,01 - 0) + 1,01^2) = 1,17$$

Pienennystekijä

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{1,17 + \sqrt{1,17^2 - 1,01^2}} = 0,568$$

Nurjahduskestävyys

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A_{eff} f_o}{\gamma_{M1}} = \frac{0,568 * 1153 mm^2 * 130 N/mm^2}{1,1} = 77,4 kN$$

Käyttöaste

$$\frac{18,63 kN}{77,4 kN} = 24,1\%$$

Nurjahduskestävyys y-akselin suhteen

Nurjahduskuorma

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 * 70000 N/mm^2 * 4,59 * 10^6 mm^4}{(3000 mm)^2} = 352,3 kN$$

Suhteellinen hoikkuus

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{N_{Rd} * \gamma_{M1}}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{136,2 kN * 1,1}{352,3 kN}} = 0,65$$

Apusuure

$$\Phi = 0,5(1 + \alpha(\bar{\lambda} - \bar{\lambda}_0) + \bar{\lambda}^2) = 0,5(1 + 0,32(0,65 - 0) + 0,65^2) = 0,816$$

Pienennystekijä

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,816 + \sqrt{0,816^2 - 0,65^2}} = 0,765$$

Nurjahduskestävyys

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A_{eff} f_o}{\gamma_{M1}} = \frac{0,765 * 1153 mm^2 * 130 N/mm^2}{1,1} = 104,2 kN$$

Käyttöaste

$$\frac{18,63 kN}{104,2 kN} = 17,9\%$$

Taivutuksen ja nurjahduksen yhteisvaikutus

$$\left(\frac{N_{Ed}}{\chi_{min} N_{Rd}}\right)^{\psi_c} + \left[\left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}}\right)^{1,7} + \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}}\right)^{1,7}\right]^{0,6} \leq 1,00$$

$$\left(\frac{18,63kN}{0,568 * 136,2kN}\right)^{0,8} + \left[\left(\frac{3,23 kNm}{5,3 kNm}\right)^{1,7}\right]^{0,6} = 0,923$$

Käyttöaste 92,3%

Taipuma

$$\frac{5qL^4}{384EI} + \frac{ML^2}{9EI\sqrt{3}}$$

$$\frac{5 * 0,42N/mm * (3000mm)^4}{384 * 70000N/mm^2 * 4,59 * 10^6mm^4} +$$

$$\frac{2,07 * 10^6Nmm * (3000mm)^2}{9 * 70000N/mm^2 * 4,59 * 10^6mm^4 * \sqrt{3}} = 5,24mm$$

Sallittu taipuma

$$\frac{L}{300} = \frac{3000mm}{300} = 10mm$$

Käyttöaste

$$\frac{5,24mm}{10mm} = 52,4\%$$