

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Talonrakennustekniikka
Risto Passoja

Opinnäytetyö

Kvatro-elementin tuotekehitys

Työn ohjaaja
Työn teettäjä
Tampere 5/2009

DI Risto Lilja
Teräselementti Oy, valvojana DI Jari Hietala

Risto Passoja
Kvatro-elementin tuotekehitys
23 sivua
5/2009

Työn ohjaaja
Työn teettäjä

DI Risto Lilja
Teräselementti Oy, valvojana DI Jari Hietala

TIIVISTELMÄ

Tämä työ käsittelee teräsohutlevyrakenteisen julkisivuelementin tuotekehitystä. Tavoitteena oli kehittää elementin jäykkyyttä. Jäykempi elementti mahdollistaa elementin käytön pidemmille jänneväleille. Elementin poikkileikkausarvot on laskettu uuden Eurokoodi 3 EN 1993-1-3:n mukaan. Elementeille tehtiin lisäksi kuormituskokeita. Kuormituskoetulokset toimivat vertailuarvoina lasketuille poikkileikkausarvoille.

EN 1993-1-3:n mukainen laskentatapa antoi hieman huonommat poikkileikkausarvot, kuin Suomen vanhan normin mukaan lasketut poikkileikkausarvot. Työssä ei päästy täysin toivottuihin tuloksiin, joten Kvatro-elementtiin jäi edelleen kehitystarpeita.

Kvatro-elementin tuotekehitystyö sisältää luottamuksellista tietoa, joten tässä julkisessa versiossa on käsitelty työn aiheita ainoastaan yleisellä tasolla.

Risto Passoja

Product Development of the Kvatro Element

23 pages

May 2009

Thesis supervisor

Risto Lilja (Msc)

Co-operating Company

Teräselementti Oy, Supervisor Jari Hietala (MSc)

ABSTRACT

This thesis deals with a product development of a external cold formed steel wall element. The aim of this study was to develop stiffness of the wall element. The stiffer element makes possible to use element for longer span of columns. The cross-section values are calculated according to new Eurocode 3 EN 1993-1-3. Loading tests for element were also done. The results of the loading tests formed reference values for calculated cross-section values.

Eurocode 3 EN 1993-1-3 values give weaker results than cross-section values that were calculated according to the old Finnish standard. This thesis did not completely meet the expected results for and therefore, the development process is still in progress.

Sisällysluettelo

1 Johdanto	5
2 Kvatro-elementtien esittely	6
2.1 Kvatro-elementtijärjestelmä	6
2.2 Materiaalitiedot	6
3 Ohutlevyrakenteisiin liittyvä teoria	8
3.1 Ohutlevyrakenteiden lommahtaminen	8
3.2 Reunajäykisteiset taso-osat.....	10
3.3 Kylmämuovaaminen	11
4 Kvatro-elementin poikkileikkausarvot ja lujuudet.....	12
4.1 Laskentaperusteet	12
4.2 Verteilu vanhoihin arvoihin.....	18
5 Koko elementin toiminta.....	19
5.1 Kasetti ja tehorangat.....	19
5.2 Kasetti, tehorangat ja pintalevy	19
5.3 Kasetti, tehorangat, pintalevy ja jäykisteet.....	20
6 Kokeellinen tutkimus	21
7 Yhteenveto	22
Lähteet.....	23

1 Johdanto

Teräselementti Oy on vuonna 1964 perustettu suomalainen perheyritys. Yritys on erikoistunut hallirakentamiseen, rakennusten teräsrunkoihin sekä liike- ja toimistorakennusten julkisivuihin.

Tässä työssä käydään läpi Teräselementti Oy:n valmistaman Kvatro-elementin tuotekehitystä. Aluksi työssä on esitelty kyseinen elementtijärjestelmä. Tämän jälkeen on teoriatietoa teräsohutlevyrakenteiden mitoitukseen liittyen. Varsinainen työn lujjuustutkimus jakautuu kahteen osaan: laskennalliseen ja kokeelliseen tutkimukseen.

Opinnäytetyön tarkoituksena on kehittää Kvatro-elementin jäykkyyttä, jotta elementtiä pystyttäisiin käyttämään mahdollisimman pitkille jänneväleille.

2 Kvatro-elementtien esittely

2.1 Kvatro-elementtijärjestelmä

Kvatro-elementtijärjestelmä on kuorirakennejärjestelmä, jolla voidaan toteuttaa hyvin monenlaisia rakennuskohteita. Sitä on erityisesti käytetty erilaisissa teollisuuden, kaupan ja vapaa-ajan rakennuskohteissa. Järjestelmä sisältää seinäelementit, joihin voidaan yhdistellä helposti erilaisia ikkunaelementtejä. Järjestelmää voidaan käyttää myös kattorakenteena. (*Teräselementti Oy 2009.*)

Kvatro-elementin hyötyleveys on 900 mm. Kantavana rakenteena toimii 125 mm korkea teräksestä rullamuovaamalla valmistettu kasettipoikkileikkaus. Elementin minimieristevahvuus on kasetin sisällä oleva 125 mm:n mineraalivillalevy. Eristeen paksuutta voidaan lisätä kasetin päälle tulevien tehorankojen korkeuksien mukaan. Elementin pintamateriaalina käytetään useimmiten tehorankoihin kiinnitettävää profiilipeltilevyä, jota on saatavana eriprofiilisinä ja erivärisinä. Pintalevyksi voidaan elementtitehtaalla kiinnittää myös tuulensuojalevy, jolloin julkisivu voidaan pinnoittaa halutulla materiaalilla työmaalla. (*Teräselementti Oy 2009.*)

2.2 Materiaalitiedot

Materiaalien valintaan vaikuttavat tuotteen toimintaympäristö, rasitukset ja ulkonäkövaatimukset. Teräsohutlevyrakenteissa yksi tärkeä tekijä on korroosionsuojaus ohuen ainevahvuuden takia. Elementissä käytettävät ohutlevyt ovatkin pääasiassa kuumasinkittyjä ja lisäksi maalattuja.

Teräsohutlevyt jaetaan mekaanisten ominaisuuksien mukaan muovattaviin- ja rakenneteräslaatuihin. Kohteissa, joissa vaaditaan teräkseltä lujuutta, tulee laatuvalinta suorittaa rakenneteräksistä. Jos rakenteen valmistuksessa tarvitaan vaativaa

kylmämuovausta, suositellaan käytettäväksi muovattaviin laatuihin lukeutuvia teräksiä, sillä teräksen lujuuden noustessa sen muovattavuus heikkenee. (*Ackman 1983, 7-8.*)

Ohutlevyteräksien merkinnästä selviää teräksen lujuus, valmistustapa ja pinnoitus. Esimerkiksi merkinnässä S280GD+Z, S tarkoittaa terästä, 280 vähimmäisvyötörajaa, GD kylmävalssattua ja Z kuumasinkittyä. Ohutlevyteräksien todellinen lujuus on useimmiten hyvin paljon suurempi, kuin mitä merkintä osoittaa. Merkintä kuitenkin edellyttää ainoastaan, että merkitty vähimmäislujuus ylittyy. (*ESDEP-koulutuspaketti, 2009.*)

Kvatro-elementti koostuu kokonaisuudessaan pääasiassa teräksestä ja mineraalivillasta, joten rakenne ei ole palonarka. Rakennerekaisut tulee kuitenkin suunnitella palotilanteet huomioon ottaen.

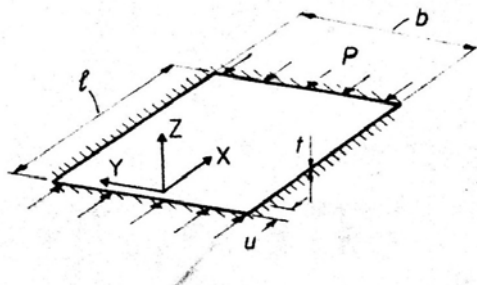
3 Ohutlevyrakenteisiin liittyvä teoria

3.1 Ohutlevyrakenteiden lommahtaminen

Ohutlevyrakenteita suunniteltaessa on otettava huomioon, että puristusjännityksen alaisiksi joutuvat levykentät saattavat lommahtaa ja heikentää rakenteen kestävyyttä. Ohutlevyrakenteille tunnusomainen piirre on se, että poikkipinnan osien leveyden suhde levyn paksuuteen on suuri. Tämän takia jo huomattavasti myötörajaa pienemmät jännitykset saattavat aiheuttaa paikallisia lommahduksia. (Niemi 2003.)

Ideaalisen levyn lommahdus

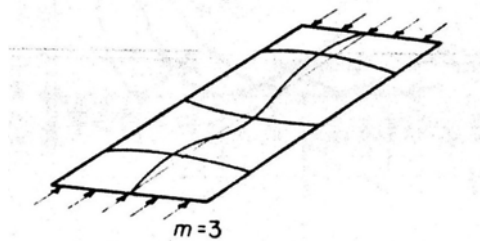
Ideaalisella levyllä tarkoitetaan ideaalisen suoraa levyä, joka on tehty täysin kimmoisesta aineesta ja jossa ei ole lainkaan jäännösjännityksiä. Tarkastellaan neljältä sivulta nivelisesti tuettua suorakaiteen muotoista levyä (kuvio 1), johon kohdistuu kahdelta vastakkaiselta sivulta puristava kalvojäännitys. (Niemi 2003.)



Kuvio 1: Neljältä sivulta nivelisesti tuettu levy. (Ackman 1983, 20)

Levy puristuu kimmoisesti kokoon tiettyyn kriittiseen jännitykseen σ_{cr} asti pysyen edelleen suorana. Kun jännitys on noussut kriittisen suuruiseksi, on levyn tasapainotila indifferentti, eli pienikin häiriö saa sen taipumaan sinipuoliaallon muotoisesti jompaankumpaan suuntaan. Lommahtaneen levyn kuormitettu reuna säilyy yleensä suorana. Jos ajatellaan levy pituussuunnassa kaistoina, ovat lommahtaneen levyn keskellä olevat kaistat pidempiä kuin reunalla olevat kaistat, jotka pysyvät suorina. Näistä kokoonpuristumaeroista johtuen puristusjännitys jakaantuu epätasaisesti lommahtaneessa tilassa, eli reunat kuormittuvat enemmän. (Niemi 2003.)

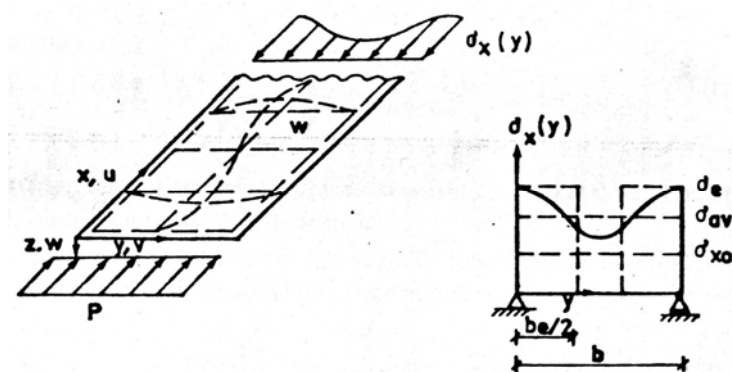
Pitkissä levykentissä, joissa pituus on paljon suurempi kuin leveys (kuvio 2), syntyy yhden pitkittäisen puoliaallon sijasta m kappaletta puoliaaltoja riippuen pituuden suhteesta leveyteen. (Niemi 2003.)



Kuvio 2: Pitkässä levykentässä syntyy m kappaletta puoliaaltoja. (Ackman 1983, 21)

Todellisen rakenteen levykentän lommahdus

Todellisessa rakenteessa levykentät ovat ei-ideaalisia. Niissä on esimerkiksi muovaamisesta johtuvia jännityksiä ja muodonmuutoksia ja lisäksi aineen ominaisuudet poikkeavat ideaalikimmoisesta. Kun tällaisille levyille on tehty lommahduskokeita, todellinen puristuslujuus on poikennut ideaalisen levyn teoreettisesta lommahdusjännityksestä. Toisin kuin ideaalisessa levyssä, todellisessa levyssä on alkumuotovirhe, jonka takia lommahdusta rupeaa tapahtumaan heti kuormaa lisättäessä ja jännitys jakaantuu heti epälineaaraisesti. Standardeissa tämä huomioidaan olettamalla levyille tehollinen leveys, jossa jännitys nousee rajatilassa laskentalujuuden f_{yd} suuruiseksi. Muu osa oletetaan kuvion 3 mukaan tehottomaksi, eli jännityksettömäksi. (Niemi 2003.)



Kuvio 3: Levyn lommahduksen jälkeinen tila, tehollinen leveys = b_e . (Ackman 1983, 21)

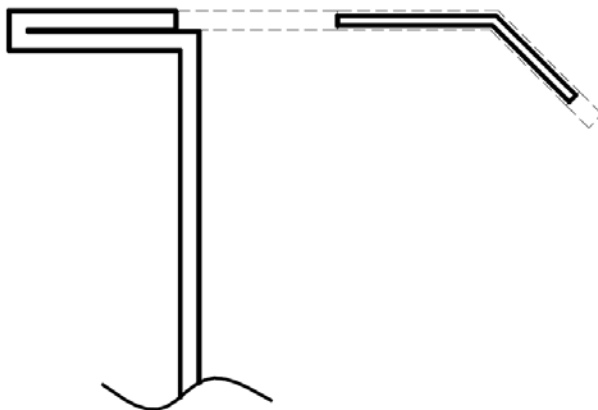
Levykenttien lommahduskestävyyttä voidaan parantaa pitkittäisjäykisteillä, jotka jakavat levyt kapeisiin osakenttiin. Poikittaisjäykisteillä taas ei ole suurta vaikutusta levyjen jäykistämiseen, sillä lommot syntyisivät kuitenkin jäykisteiden välille.

Poikittaisjäykisteet kuitenkin pienentävät lommahduskenttiä ja lyhentävät mahdollisten pitkittäisjäykisteiden nurjahduspituuksia ollen näin hyödyksi levyn kestävyyttä ajatellen. (Niemi 2003)

3.2 Reunajäykisteiset taso-osat

Erilaisten profiilien laipat on hyödyllistä jäykistää reunakäänteellä. Tällöin laipan lommahdus voidaan tarkastella molemmilta reunoilta tuettuna levynä. Reunajäykisteen tehtävä on jäykistää laippaa ja laipan tehtävä on taas jäykistää uumaa. Näin ollen reunajäykisteisessä profiilissa voidaan käyttää ohuempaa levyä, leveämpää laippaa ja korkeampaa uumaa kuin saman taivutuskestävyyden omaavassa reunakäänteettömässä profiilissa. (ESDEP-koulutuspaketti, 2009.)

Reunakäänteen kyky jäykistää laippaa ja laipan kyky jäykistää uumaa aloitetaan määrittämällä teholliset leveydet taso-osille levyrakenteet-normin lommahdusteorian mukaan. Reunajäykisteen toinen sivu on vapaa, joten tämän reunimmaisena taso-osana paksuutta tulee pienentää. Tällä huomioidaan tukemattoman taso-osan lommahdus (kuvio 4). (ESDEP-koulutuspaketti, 2009.)

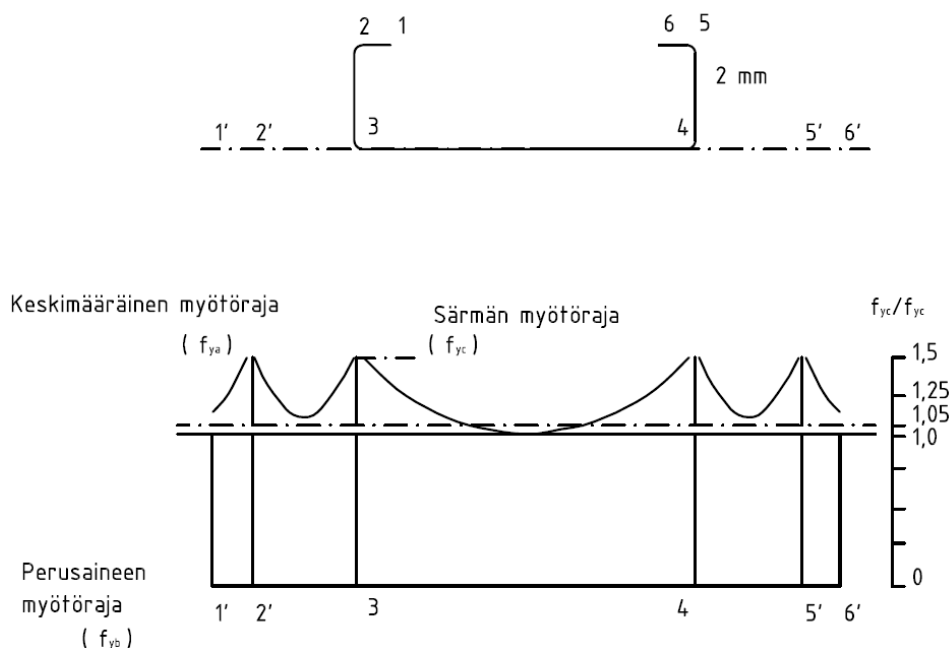


Kuvio 4: Reunajäykisteiset taso-osat

3.3 Kylmämuovaaminen

Kylmämuovattuja profiileja voidaan valmistaa rullamuovaamalla, levytaivutuskoneella tai särmäyspuristimella. Kylmämuovaamalla ohutlevyistä muovataan erilaisia profiileita. Rakenteen kestävyyttä ja toimintatapaa voidaan säädellä erilaisilla jäykistepoimuilla. Näillä toimenpiteillä pyritään välttämään suorien levyosien leveyden ja paksuuden suhdetta. (*ESDEP-koulutuspaketti, 2009.*)

Kylmämuovaamiseen liittyy aina muokkauslujittumista. Myötöraja, vetolujuus ja sitkeys muuttuvat paikallisesti taivutussäteestä, levynpaksuudesta, teräslaadusta ja muovaamisen menetelmästä riippuen (kuvio 5). Muokatussa levyn osassa lujittumisen yhteydessä tapahtuu kuitenkin levyn ohenemista, mikä taas vaikuttaa negatiivisesti rakenteen lujuuteen. Tämän vuoksi muokkauslujittumista ei juurikaan voida käyttää hyväksi rakenteiden mitoituksessa. (*ESDEP-koulutuspaketti, 2009.*)



Kuvio 5: Esimerkki kylmämuovauksen vaikutuksesta myötöjännitykseen. (*ESDEP-koulutuspaketti 2009*)

4 Kvatro-elementin poikkileikkausarvot ja lujuudet

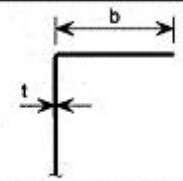
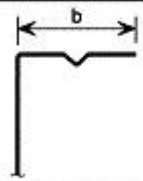
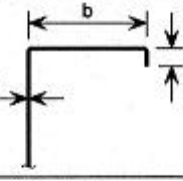
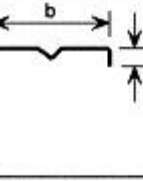
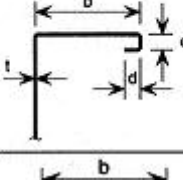
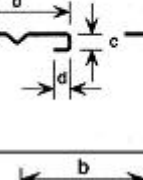
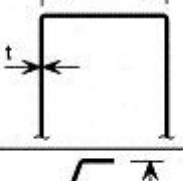

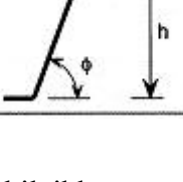
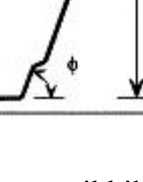
Kvatro-elementin poikkileikkausarvot laskettiin Eurokoodi 3:n mukaan. Elementin varsinainen kasettirunko laskettiin EN 1993-1-3 General rules – Supplementary rules for cold-formed members and sheeting -normin kasettipoikkileikkaukset-osion mukaan. Tässä luvussa on esitetty laskentaperusteet.

4.1 Laskentaperusteet

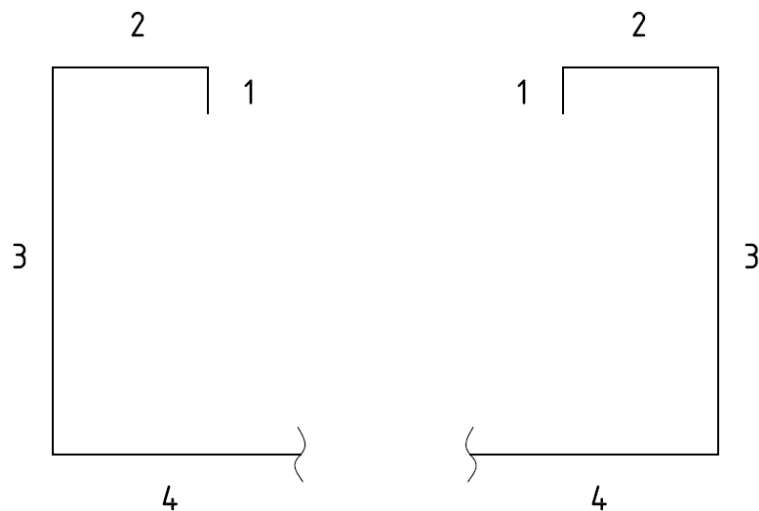
Rakenteelliset ehdot

Poikkileikkausosille on annettu suurimmat sallitut hoikkuudet, jotka on esitetty taulukossa 1. Hoikkuusehdoista poikkeaviakin arvoja voidaan käyttää, mutta niiden kestävyys ja käyttäytyminen tulee määrittää riittävin laskelmin tai kokein.

Taulukko 1: Taso-osien hoikkusehto (EN 1993-1-3, 2006)

Element of cross-section		Maximum value
		$b/t \leq 50$
		$b/t \leq 60$ $c/t \leq 50$
		$b/t \leq 90$ $c/t \leq 60$ $d/t \leq 50$
		$b/t \leq 500$
		$45^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$ $h/t \leq 500 \sin \phi$

Poikkileikkausarvoja laskettaessa poikkileikkaus jaetaan erillisiin taso-osiin kuvion 6 mukaisesti. Taso-osien mitat voidaan määrittää levyn keskiviivaa pitkin. Koko poikkileikkauksen poikkileikkausarvot saadaan laskemalla taso-osien arvot yhteen huomioiden niiden painopisteiden etäisyydet neutraaliakselista.



Kuvio 6: Kuvitteellisen kasettipoikkileikkauksen taso-osat

Lommahdus

Taso-osien paikallinen lommahdus otetaan huomioon käyttämällä puristetuissa taso-osissa tehollisia poikkileikkausarvoja.

Tehollinen leveys

Poikkileikkauksen taso-osan tehollinen leveys lasketaan teräsrakenteiden eurokoodin SFS-EN 1993-1-5 Levyrakenteet mukaan seuraavasti.

Kahdelta reunalta tuetut taso-osat:

$$\rho = 1,0 \quad \text{kun } \bar{\lambda}_p \leq 0,673 \quad (1a)$$

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055(3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^2} \quad \text{kun } \bar{\lambda}_p > 0,673, \\ \text{missä } (3 + \psi) \geq 0 \quad (1b)$$

Yhdeltä reunalta tuetut taso-osat:

$$\rho = 1,0 \quad \text{kun } \bar{\lambda}_p \leq 0,748 \quad (2a)$$

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,188}{\bar{\lambda}_p^2} \leq 1,0 \quad \text{kun } \bar{\lambda}_p > 0,748 \quad (2b)$$

$$\text{missä } \bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr}}} = \frac{\bar{b}/t}{28,4\varepsilon\sqrt{k_\sigma}}$$

ρ	lommahduksen huomioon ottava pienennystekijä
ψ	jännityssuhde, joka määritetään EN 1993-1-5 kohtien 4.4(3) ja 4.4(4) mukaan
b	tarkoituksenmukainen leveys
k_σ	jännityssuhdetta ψ ja reunaehtoja vastaava lommahduskerroin
t	paksuus

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y [N/mm^2]}}$$

Taso-osan reunajäkisteiden tehollinen leveys lasketaan teräsohutlevynormien EN 1993-1-3 mukaan.

$$c_{\text{eff}} = \rho b_{p,c} \quad (3a)$$

ρ määritetään SFS-EN 1993-1-5 mukaan käyttäen seuraavassa määritettävää k_{σ} -arvoa

$$k_{\sigma} = 0,5 \quad \text{kun } b_{p,c} / b_p \leq 0,35 \quad (3b)$$

$$k_{\sigma} = 0,5 + 0,83 \sqrt[3]{(b_{p,c} / b_p - 0,35)^2} \quad \text{kun } b_{p,c} / b_p \leq 0,6 \quad (3c)$$

Reunakäänteelliset poikkileikkausosat

Reunakäänteellisissä poikkileikkausosissa redusoidaan reunakäänteen ja siihen liittyvän tehollisen poikkileikkausosan laskentapaksuutta teräsohutlevynormin EN 1993-1-3 mukaan seuraavasti.

$$K = \frac{Et^3}{4(1-\nu^2)} * \frac{1}{b_1^2 h_w + b_1^3 + 0,5 b_1 b_2 h_w k_f} \quad (4)$$

jossa	K	jousivakio pituusyksikköä kohti
	b_1, b_2	etäisyys reunajäkisteiden tehollisen alan painokeskipisteestä uumaan
	h_w	uuman korkeus
	$k_f = 0$	jos laippa 2 vedetty (esim. taivutettu palkki y-y- akselin suhteen)

$$\sigma_{cr,s} = \frac{2\sqrt{KEI_s}}{A_s} \quad (5)$$

jossa	I_s	reunajäkisteosan jäyhyysmomentti painopisteensä kautta kulkevan x-akselin suhteen
	A_s	reunajäkisteosan pinta-ala

$$L_{cr,D} = \frac{\pi}{\sqrt[4]{\frac{K}{EI_s}}} \quad (6)$$

$$\chi_d = 1,0 \quad \text{kun } \bar{\lambda}_d \leq 0,65 \quad (7a)$$

$$\chi_d = 1,47 - 0,723\bar{\lambda}_d \quad \text{kun } 0,65 < \bar{\lambda}_d \leq 1,38 \quad (7b)$$

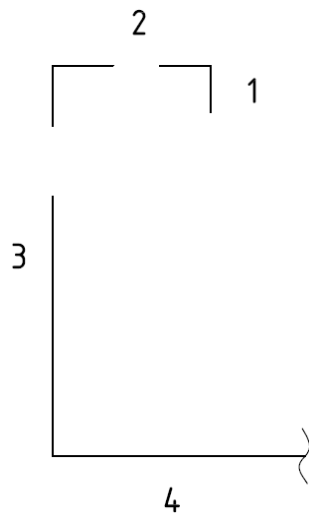
$$\chi_d = \frac{0,66}{\bar{\lambda}_d} \quad \text{kun } \bar{\lambda}_d \geq 1,38 \quad (7c)$$

missä:
$$\bar{\lambda}_d = \sqrt{f_{yb} / \sigma_{cr,s}}$$

Näiden toimenpiteiden jälkeen saadaan tehollinen pinta-ala A_{eff} . Teholliselle poikkileikkaukselle määritetään taivutusvastus W_{eff} ja jäykkyys I_{eff} .

Kasetin kapea laippa puristettu tuulen painekuormalla

Kasetin mitoituksessa tuulen paineelle on otettava erityisesti huomioon kiepahdusherkkä kapea laippa. Kapean laipan ollessa puristettuna reunakäänne jäykistää kapeaa laippaa ja laippa edelleen jäykistää uumaa. Kuviossa 7 on piirretty kuvitteellisen profiilin puristetun laipan ja uuman teholliset osat, eli laipasta ja uumasta poistetaan laskennallisesti taso-osan lommahtava osuus.



Kuvio 7: Tehollinen poikkileikkaus

Kapean laipan kiepahduskestävyys voidaan laskea seuraavasti teräsnormin SFS-EN 1993-1-1 osan 6.3.2.4 Kiepahduskestävyys sivusuunnassa tuetuille sauvoille -kohdan mukaan.

Puristetusta laipasta pistemäisesti sivusuunnassa tuettuja sauvoja ei tarvitse tarkistaa kiepahdukselle, jos sivuttaistukien väli L_c tai sen perusteella laskettu ekvivalentin puristetun laipan muunnettu hoikkuus λ_f täyttää seuraavan ehdon:

$$\bar{\lambda}_f = \frac{k_c L_c}{i_{f,z} \lambda_1} \leq \bar{\lambda}_{c0} \frac{M_{c,Rd}}{M_{y,Ed}} \quad (8)$$

jossa:

$M_{y,Ed}$ suurin taivutusmomentin mitoitusarvo sivuttaistukien välillä

$$M_{c,Rd} = W_y \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

k_c W_y poikkileikkauksen taivutusvastus puristetun laipan suhteen sivuttaistukien välisen momenttipinnan jakaantumana huomioon otettava hoikkuuden korjaustekijä, Taulukko 6.6
 $i_{f,z}$ ekvivalentin puristetun laipan, joka koostuu puristetusta laipasta ja 1/3-osasta uuman puristetusta alueesta, hitaussäde poikkileikkauksen heikomman akselin suhteen
 $\bar{\lambda}_{c0}$ edellä määritetyn ekvivalentin puristetun laipan muunnetun hoikkuuden raja-arvo

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\bar{\lambda}_{c0} = \lambda_{LT,0} + 0,1$$

$$i_{f,z} = \sqrt{\frac{I_{eff,f}}{A_{eff,f} + \frac{1}{3} A_{eff,w,c}}}$$

jossa $I_{eff,f}$ poikkileikkauksen heikomman akselin suhteen laskettu puristetun laipan tehollinen jäyhyysmomentti
 $A_{eff,f}$ puristetun laipan tehollinen pinta-ala
 $A_{eff,w,c}$ puristetun uuman tehollinen pinta-ala

Jos puristetun laipan muunnettu hoikkuus $\bar{\lambda}_f$ ylittää kaavan (6.59) mukaisen raja-arvon; kiepahduskestävyyden mitoitusarvo voidaan laskea kaavasta:

$$M_{b,Rd} = k_{fl} \chi M_{c,Rd} \quad \text{mutta} \quad M_{b,Rd} \leq M_{c,Rd} \quad (9)$$

missä:

χ ekvivalentin puristetun laipan perusteella laskettua muunnettua hoikkuutta $\bar{\lambda}_f$ vastaava kiepahduksen

k_{fl} pienennystekijä
muunnostekijä, joka ottaa huomioon sen, että ekvivalentin
puristetun laipan käyttöön perustuva menetelmä on
varmalla puolella

4.2 Verteilu vanhoihin arvoihin

Tässä tuotekehitystyössä laskettiin elementille lujuusarvot Eurokoodi 3:n mukaan. Laskentatuloksia verrattiin elementin vanhoihin lujuusarvoihin, jotka on laskettu Risto Ackmanin diplomityössä teräsohutlevyrakenteiden normiehdotukseen 14.10.1982 perustuen.

5 Koko elementin toiminta

5.1 Kasetti ja tehorangat

Kvatro-elementin kantavana runkona toimii ohutlevystä kylmämuovaamalla valmistettu kasettipoikkileikkaus. Ohutlevykasetin päälle asennetaan tehtaalla poikittaiset tehorangat. Kasettipoikkileikkauksen lujuusarvot on laskettu huomioiden poikittaisten tehorankojen tuentaväli. Elementissä olevat tehorangat tukevat elementin kapeaa laippaa ja estävät sitä kiepahtamasta sivulle.

5.2 Kasetti, tehorangat ja pintalevy

Kvatro-elementti koostuu pääosin kasettipoikkileikkauksesta, tehorangoista ja pintalevystä. Kasetti ja pintalevy toimivat osittain liittorakenteena. Kasetin ja pintalevyn kiinnitys toisiinsa tehorankojen välityksellä on kuitenkin hyvin löysä, joten oletetaan, että liitos ei välitä taivutuksessa syntyviä leikkausvoimia pintalevyn ja kasetin välillä. Hyvänä puolena liitoksen löysyydessä on se, että elementin sisäpuolinen kantava kasetti ja ulkopuolinen pintalevy elävät omaa elämäänsä, joten ulko- ja sisäpuolen lämpötilaerot eivät taivuta elementtiä. Elementin suorassa pysyminen on erittäin tärkeä ominaisuus etenkin sokkeliliitoksen höyrytiiviyden kannalta.

Elementin tehottoman leikkausliitoksen takia elementin jäykkyys määräytyy kasetin ja pintalevyn jäykkyyksien summasta.

$$I_{tot} = I_{kasetti} + I_{pintalevy} \quad (10)$$

5.3 Kasetti, tehorangat, pintalevy ja jäykisteet

Kvatro-elementin tuotekehitysprojektin yksi tärkeä päämäärä oli saada elementistä jäykempi, jotta sitä voitaisiin käyttää pidemmille jänneväleille. Elementille suunniteltiin erilaisia jäykistysmenetelmiä, jotka olisivat mahdollisimman yksinkertaisia ja helppoja toteuttaa. Elementin toimintaa määriteltiin teoreettisesti jäykistysmenetelmästä riippuen.

6 Kokeellinen tutkimus

Teoreettisen laskennan varmistamiseksi elementeille tehtiin kuormituskokeita Teräselementti Oy:n tehtaalla. Monimutkaisten ohutlevyrakenteiden laskeminen teoreettisesti on hyvin haastavaa, joten koekuormituksissa saadut lujuusarvot ovat erittäin tärkeitä. Eurokoodi 3 antaa myös ohjeet kokeelliseen kestävyuden määrittämiseen.

Elementtien kuormituskokeissa seurattiin ohutlevyrakenteen murtumistapoja. Kuormituskokeet havainnollistivat erittäin hyvin ohutlevyrakenteiden lommahtamis- ja murtumisilmiöt.

7 Yhteenveto

Opinnäytetyössä ohutlevytrakenteet ja niiden käyttäytyminen tulivat hyvin tutuiksi. Työssä tutustuttiin aluksi ohutlevyrakenteisiin liittyvään teoriaan, jonka pohjalta laskettiin Kvatro-elementille poikkileikkausarvot. Poikkileikkausarvot poikkesivat tietyiltä osin vanhan normin mukaan lasketuista arvoista, mutta pääosin arvojen suuruusluokka oli samanlainen.

Elementeille tehdyt murtokuormituskokeet havainnollistivat erittäin hyvin ohutlevyrakenteiden murtumisilmiöt. Kuormituskokeiden tulokset toimivat vertailuarvoina teoreettisesti lasketuille lujuusarvoille. Kuormituskokeiden tulokset olivat oikeaoppisesti laskennallisesti määritettyjä kestävyysarvoja varmemmalla puolella.

Elementille tutkittiin erilaisia jäykistysmenetelmiä, jotta sitä voitaisiin käyttää pidemmille jänneväleille. Kvatro-elementin valmistuslinjalla on juuri tehty uudistuksia, joka sisältää enemmän automatiikkaa, joten jäykistysmenetelmät tulisi olla helppo toteuttaa. Elementille saatiin pieniä hyödyllisiä uudistuksia aikaan, mutta tuotekehitysprojekti jäi edelleen kesken.

Lähteet

- Ackman, Risto 1983. Kvatro-elementin lujuustutkimus. Diplomityö. Tampereen teknillinen korkeakoulu. Rakennustekniikan osasto. Tampere.
- EUROCODE 3. Teräsrakenteiden suunnittelu
SFS-EN 1993-1-1 Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt, 2005.
EN 1993-1-3 General rules. Supplementary rules for coldformed members and sheeting, 2006.
SFS-EN 1993-1-5 Levyrakenteet, 2006.
- Heinisuo, Markku & Kukkonen, Juha. 2005. Design of Cold-Formed Members Following New EN 1993-1-3. Tampere: TTY-PAINO.
- Niemi, Erkki & Teknologiateollisuus. 2003. Levyrakenteiden suunnittelu. Savion kirjapaino.
- Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL R.Y. 1989. Teräsohutlevyrakenteet Ohjeet 1989. Vammala: Vammalan kirjapaino Oy.
- Teräselementti Oy. [www-sivu]. [viitattu 10.3.2009] Saatavissa: <http://www.teraselementti.fi/fi/index.html>
- Teräsrakenneyhdistys. [www-sivu]. ESDEP-koulutuspaketti. [viitattu 10.3.2009] Saatavissa: <http://www.terasrakenneyhdistys.fi/Esdep/index.html>