



Samuli Äijälä

# **TERÄSRAKENTEISEN TEOLLISUUSHALLIN KORKEUDEN MUUTOKSEN VAIKUTUS RAKENTAMISKUSTANNUKSIIN**

# **TERÄSRAKENTEISEN TEOLLISUUSHALLIN KORKEUDEN MUUTOKSEN VAIKUTUS RAKENTAMISKUSTANNUKSIIN**

Samuli Äijälä  
Opinnäytetyö  
Kevät 2013  
Rakennustekniikan koulutusohjelma  
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

## TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu  
Rakennustekniikan koulutusohjelma, rakennesuunnittelu

---

Tekijä(t): Samuli Äijälä

Opinnäytetyön nimi: Teräsrakenteisen teollisuushallin korkeuden muutoksen vaikutus rakentamiskustannuksiin

Työn ohjaaja(t): Kai Kuula, Sirkka Lehto, Risto Jyrkkä

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: 4/2013 Sivumäärä: 37 + 9 liitettä

---

Rakennusalalla on kiinnostuttu rakentamiskustannuksista sekä siitä, miten paljon jonkin rakennuksen osa-alueen parantaminen tuo lisäkustannuksia. Kun laatua lisätään, on rakennuttajalla mahdollisuudet saada parempi voitto myytävästä tai vuokrattavasta tuotteesta.

Tavoitteena opinnäytetyössä oli selvittää, kuinka paljon hallirakennuksen rakentamiskustannukset kasvavat, kun teräsrakenteisen rakennuksen korkeutta lisätään. Teräshallit suunniteltiin Raaheen. Pohjapinta-alan mitat olivat 25x48 m, kattorakenteena teräspuistikiristikot, pilareina mastopilarit ja halliin tuli 20 t:n siltanosturi.

Rakennukset mitoitettiin Autodesk Robot Structural -mitoitushelmalla ja niiden korkeudet olivat 12, 13, 14, 15 ja 16 m. Tämän jälkeen halleille laskettiin rakentamiskustannukset. Kun rakentamiskustannukset saatiin selvitettyä rakennuksille, voitiin luoda taulukot rakentamiskustannusten kasvulle, kun tilavuutta lisätään.

Tulokseksi saatiin, että rakentamiskustannusten kasvu rakennuksen tilavuutta muuttaessa käyttäytyy pienillä hallitilan korkeuden muutoksilla kohtuullisen lineaarisesti. Kun hallitilan korkeutta lisättiin metri, niin rakentamiskustannukset kasvoivat 5,0 % keskihajonnan ollessa 0,4 %.

---

Asiasanat:

Mitoittaa, teräsrakenne, rakentamiskustannus, Autodesk Robot Structural, halli, rakennus, kustannus.

## **ALKULAUSE**

Tämä Insinööri työ tehtiin Pöyry Finland Oy:n Oulun toimistolle.

Haluan esittää kiitokset Pöyry Finland Oy:n puolesta toimineelle asiantuntijalle Risto Jyrkälle. Lisäksi haluan kiittää koulun puolesta toimineita sisällönohjaajia Kai Kuulaa sekä Sirkka Lehtoa osaavasta opastuksesta.

Oulussa 7.5.2013

Samuli Äijälä

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ALKULAUSE	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	7
2 RAKENTEET	8
2.1 Lähtötiedot	8
2.2 Rakenteiden valinta	8
2.2.1 Rakenneosien valinta	8
2.2.2 Jäykistysjärjestelmän valinta	10
2.3 Rakenteiden mitoitus	11
2.3.1 Rajatilamitoitus	11
2.3.2 Kuormitukset	12
2.3.3 Ristikot	14
2.3.4 Pilarit	18
2.3.5 Palkit	20
2.3.6 Perustukset	21
2.3.7 Jäykistävät rakenteet	22
2.4 Rakennuksen korkeuden muutoksen vaikutus	24
2.4.1 Ristikko	25
2.4.2 Pilari	25
2.4.3 Palkki	25
2.4.4 Perustus	26
2.4.5 Jäykistävä rakenne	26
3 RAKENTAMISKUSTANNUSTEN MÄÄRITTÄMINEN	27
3.1 Laskentamallien luonti	27
3.2 Rakentamiskustannusten laskenta	27
3.3 Ohjelman esittely	29
4 TULOKSET	30
4.1 Rakentamiskustannusten muodostuminen	30
4.2 Rakentamiskustannusten vertailu	31
4.3 Lämmitystilavuuden tuomat kustannukset	34

5 POHDINTA	36
LÄHTEET	37

## LIITTEET

Liite 1 Lähtötietomuistio

Liite 2 Esimerkkilaskelma rakennuksen kuormista

Liite 3 Esimerkkilaskelma tuulikuormista

Liite 4 Motivan taulukko, lämpöenergian vuotuinen kulutus

# 1 JOHDANTO

Tavaran tuottamisen perustana on mahdollisimman suuren rahallisen hyödyn tavoittelu. Tämä aiheuttaa sen, että tavaran tuottaja joutuu optimoimaan tavaran laadun ja siitä saatavan hyödyn väliltä kulloinkin järkevimmän tason.

Tässä opinnäytetyössä tavara on teräsrakenteinen hallirakennus. Työssä selvitetään, miten paljon teräsrakenteisen hallin tilavuuden muutos tuo lisää rakentamiskustannuksia ja tällöin tuottoa optimoiva rakennuttaja voi helposti laskea, mitä maksaisi, jos hallia korotetaan 2 metriä. Tämän perusteella rakennuttaja voi arvioida, onko hänen mahdollista saada lisäkustannus peitettyä hallin käyttömahdollisuuksien parantuessa saadulla korkeammalla myyntihinnalla.

Opinnäytetyössä selvitetään aluksi suunnittelun lähtötiedot. Kun tiedetään hallin mitat ja kuormitukset, on mahdollista ryhtyä suunnittelemaan halleja. Sitten lasketaan rakennusmateriaalien määrät sekä rakennuksien pinta-alat ja tilavuudet, joista saadaankin sitten rakentamiskustannukset yksikköhintojen perusteella. Tämän jälkeen rakentamiskustannuksista luodaan kuvaajat. Näissä kuvaajissa vertaillaan ja eritellään rakentamis- sekä lämmityskustannuksia.

Työssä huomioidaan rakennuksen runko-, vaippa-, perustus- sekä sähkötyökustannukset. Työstä on jätetty pois kaivu-, pohja-, täyttö ja pintakäsittelytyöt.

Opinnäytetyön tilaajana oli Pöyry Finland Oy:n Oulun toimisto.

## **2 RAKENTEET**

Luvuissa 2.1 - 2.4 kerrotaan lähtötiedot, yleisesti rakenteiden valinnasta ja mitoituksista sekä korkeuden muutoksen vaikutuksesta rakenneosiin ja niille tuleviin kuormiin.

### **2.1 Lähtötiedot**

Tehtävänä oli mitoittaa viisi teräsrakenteista hallirakennusta Raahen maasto-olosuhteisiin siten, että rakennuksen korkeutta muunneltiin. Rakennusten korkeudet olivat 12 m, 13 m, 14 m, 15 m, 16 m. Rakennukset suunniteltiin puolilämpimiksi tiloiksi ja kehäväli oli 6 m.

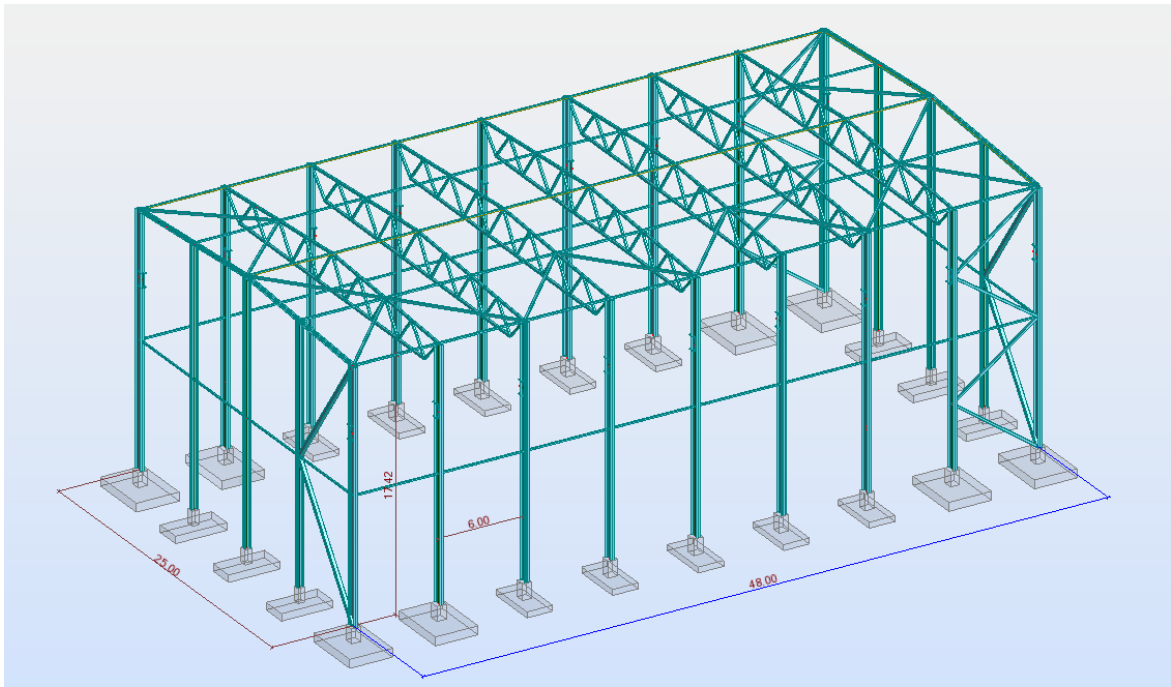
Kantavana runkona rakennuksessa on nivelnurkkainen kehärakenne, jossa jokainen pilari on mastona toimiva jäykistävä rakenne. Kattokannattajiksi suunniteltiin teräsputkiristikot. Rakennuksen rakenteet suunniteltiin 20 t:n siltanosturin tuomille rasituksille. Lähtötietoina annettiin hallin runkorakenteiden poikkileikkaukset.

### **2.2 Rakenteiden valinta**

#### **2.2.1 Rakenneosien valinta**

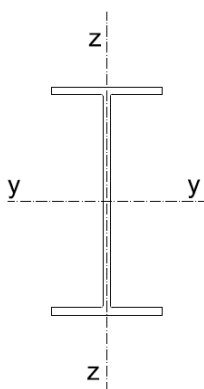
Hallin kantavaan runkoon pilariksi valittiin I-profiili, kattokannattajina toimivat teräsputkiristikot ja päädyissä päätypilareihin tukeutuvat I-palkit. Jäykistävissä ristikkorakenteissa valittiin käytettäväksi teräsputkiprofiileja. (Kuva 1.) Hallien rakenteet suunniteltiin kestämään kunkin hallin kuormitukset, rakenteen käyttöasteen vaatimuksen ollessa 90 %.





*KUVA 1. Hallin runkorakenteet ja perusmitat*

Pilareiksi suunniteltiin aluksi kuumavalsattuja HEA-profiileja. Näissä profiileissa oli kuitenkin tarpeettoman paljon y-y -suunnan jäykkyyttä, joka alensi pilarin käyttöastetta. (Kuva 2.) Työssä päädyttiin käyttämään hoikempia hitsattuja profiileja ja hallien sivuille suunniteltiin tuuliteet nurjahduspituuden pienentämiseksi y-y -suunnassa.



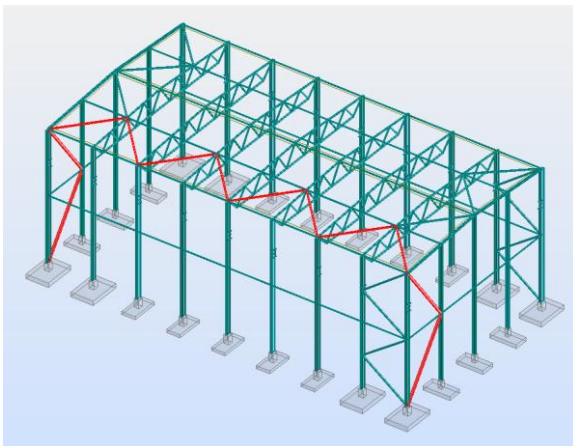
*KUVA 2. Poikkileikkauksen akselien suunnat*

Perustukset suunniteltiin maanvaraiseksi anturaperustukseksi. Työssä tarkasteltiin ainoastaan maanvaraista perustusta. Perustuksia tehtiin kolme jokaista

rakennusta kohden, koska anturoille tulevat kuormat olivat erilaiset. Hallin päädyissä jäykistysristikot aiheuttivat suuria vaakavoimia ja sen vuoksi sinne tuli erilainen antura kuin välikehille. Päätyjen tuulipilareille suunniteltiin myös erikoinen antura.

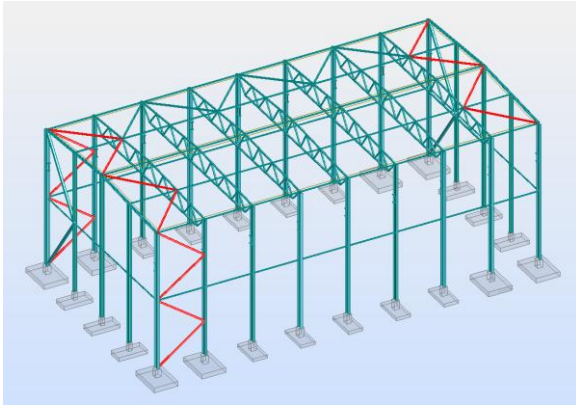
### 2.2.2 Jäykistysjärjestelmän valinta

Lähtötietojen mukaan hallin pilariksi suunniteltiin mastona toimiva pilari. Ensimmäisen rakennuksen mitoituksessa havaittiin, että mastona toimivan rakennuksen pääpilarin poikkileikkauksen koon tulee määräämään käyttörajatilan siirtymä pilarin yläpäässä pilarin käyttöasteen ollessa vain noin 50 %. Kun hallin pituus on 50 - 80 m, paras keino korottaa pilarien käyttöastetta on rakentaa kattotasoa jäykistävä ristikko hallin toiselle sivulle ja viedä kattotason vaakakuormat perustuksille päätyjen ristikoilla. (Kuva 3.)



*KUVA 3. Mastopilareiden yläpään jäykistävä ristikko*

Rakennuksen toiseen päädyn suunniteltiin kattokannattajien ja pilareiden väliin ristikko, jolla siirretään perustuksille nosturin jarrukuormat rakennuksen pituussuunnassa sekä päädyn tuulikuorma. Rakennuksen toisessa päädyssä on ristikko, joka jäykistää päädyn pilareiden yläpään. (Kuva 4.)



*KUVA 4. Nosturin jarruristikko sekä hallin päädyn jäykistävä ristikko*

Rakennuksien jäykistämijärjestelmä on samanlainen korkeudesta riippumatta. Jäykkänurkkainen kehä olisi voinut olla järkevämpi ratkaisu ja lisäksi sivuilla olisi voinut olla kaksi tuulisidettä yhden sijaan korkeissa halleissa. Tässä työssä haluttiin kuitenkin selvittää, miten samanlainen runkoratkaisu tuo lisäkustannuksia hallin korkeutta muutettaessa.

## **2.3 Rakenteiden mitoitus**

### **2.3.1 Rajatilamitoitus**

Rakenne tulee suunnitella siten, että se kestää rakenteelle tulevat todennäköiset kuormitukset käyttökänsä ajan luotettavuutensa ja taloudelliset näkökohdat täyttäen sekä pysyy suunniteltuun käyttötarkoitukseen soveltuvana elinkaarensa ajan. Lisäksi rakenteen tulee kestää tulipaloa suunnitellun ajan sekä rakenne pitää mitoittaa onnettomuuskuormille ja mahdollisille vaurioille. (3, s. 43; 2, s. 33 - 34.)

Rakenteiden mitoituksessa yleisimmät huomioitavat rajatilat ovat murto- ja käyttörajatila. Murtorajatila merkitsee rakenteen kestävyyttä ja tämän rajatilan ylittyessä on mahdollista, että rakenne menettää kantokykynsä. Käyttörajatila on sellainen tila, jonka ylittyessä rakenne ei välttämättä enää täytä rakenteelle annettuja käyttökelpoisuusvaatimuksia. Suunnittelijan tulee osoittaa, että annetuilla kuormilla ja kuormitustapauksilla kestävyys kyseisessä rajatilassa ei saa ylittyä. (2, s. 33 - 34.)

### 2.3.2 Kuormitukset

Rakennusten rakenteiden oman painon ominaisarvot lasketaan nimellismittojen ja tilavuuspainojen perusteella. Rakennuksen oman painon laskentaan kuuluvat kantavat- ja ei -kantavat rakenneosat, kiinteät laitteet sekä maakerrosten ja täytöjen paino. (6, s. 63.)

Hyötykuormien ominaisarvot aiheutuvat rakennuksen käytöstä. Hyötykuormia on erilaisia, kuten henkilökäyttö, huonekalut, siirrettävät kohteet, väliseinät, ajoneuvot, harvinaiset tapahtumat ja tavaroiden säilytys. Raskaista laitteista aiheutuvista kuormista sovitaan tilaajan tai asianomaisten viranomaisten kanssa. (6, s. 64.)

Lumikuorman ominaisarvo lasketaan siten, että lumen ominaisarvoa maanpinnalla kerrotaan katon muotokertoimella tuulensuojaisuuden ja lämpökertoimien yleensä ollessa 1. (Taulukko 1.)

TAULUKKO 1. Lumikuorman muotokerroin (6, s. 95)

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

Katon lumikuorman määrittäminen kaavan 1 mukaisesti (6, s. 94).

$$s = \mu_i C_e C_t S_k$$

KAAVA 1

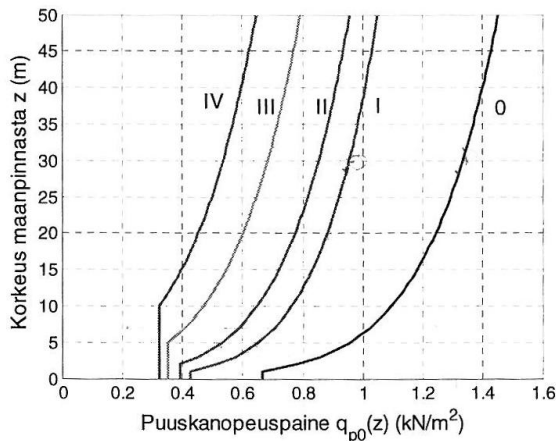
$\mu_i$  = lumikuorman muotokerroin

$S_k$  = maassa olevan lumikuorman ominaisarvo

$C_e$  = tuulensuojaisuuskerroin (0,8 tai 1,0)

$C_t$  = lämpökerroin (1,0)

Tuulikuorman ominaisarvo lasketaan siten, että puuskanopeuspaineella kerrotaan ulkoisen tai sisäisen paineen kertoimella. Puuskanopeuspaineen arvo määräytyy maastoluokasta ja rakennuksen korkeudesta. (Kuva 5.) (6, s. 132, 143.)



KUVA 5. Nopeuspaineen ominaisarvot eri maastoluokissa (6, s. 132)

Rakenteelle tai rakenteen osalle tulevat ulkoisen paineen kertoimet riippuvat tarkasteltavan alueen koosta (Taulukko 2) (6, s. 132, 143).

TAULUKKO 2. Ulkopuolisen paineen kertoimet tasakatoille (7, s. 66)

Kattotyyppi		Vyöhyke							
		F		G		H		I	
		$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
Teräväreunaiset räystäät		-1,8	-2,5	-1,2	-2,0	-0,7	-1,2	+0,2	-0,2
Kattolla varustetut räystäät	$h_p/h = 0,025$	-1,6	-2,2	-1,1	-1,8	-0,7	-1,2	+0,2	-0,2
	$h_p/h = 0,05$	-1,4	-2,0	-0,9	-1,6	-0,7	-1,2	+0,2	-0,2
	$h_p/h = 0,10$	-1,2	-1,8	-0,8	-1,4	-0,7	-1,2	+0,2	-0,2
Pyörnstetyt räystäät	$r/h = 0,05$	-1,0	-1,5	-1,2	-1,8	-0,4		+0,2	-0,2
	$r/h = 0,10$	-0,7	-1,2	-0,8	-1,4	-0,3		+0,2	-0,2
	$r/h = 0,20$	-0,5	-0,8	-0,5	-0,8	-0,3		+0,2	-0,2
Taitteiset räystäät	$\alpha = 30^\circ$	-1,0	-1,5	-1,0	-1,5	-0,3		+0,2	-0,2
	$\alpha = 45^\circ$	-1,2	-1,8	-1,3	-1,9	-0,4		+0,2	-0,2
	$\alpha = 60^\circ$	-1,3	-1,9	-1,3	-1,9	-0,5		+0,2	-0,2

HUOM. 1 Katoille, joilla on kaiteet tai joiden räystäät on pyörnstetty, voidaan käyttää lineaarista interpolaatiota suhteiden  $h_p/h$  ja  $r/h$  väliarvoille.

HUOM. 2 Katoille, joilla on taitteiset räystäät, voidaan käyttää lineaarista interpolaatiota arvojen  $\alpha = 30^\circ$ ,  $45^\circ$  ja  $\alpha = 60^\circ$  välillä. Kun  $\alpha > 60^\circ$ , voidaan käyttää lineaarista interpolaatiota kulmaa  $\alpha = 60^\circ$  vastaavien arvojen ja teräväreunaisilla räystäillä varustettujen tasakattojen arvojen välillä.

HUOM. 3 Vyöhykkeellä I, jolle on annettu positiiviset ja negatiiviset arvot, tulee molemmat arvot ottaa huomioon.

HUOM. 4 Itse räystäätteen osalta ulkopuolisen paineen kertoimet esitetään taulukon 7.4a "Ulkopuolisen paineen kertoimet harjakatoille ja kuvetaiteisille katoille: tuulen suunta  $\theta = 0^\circ$ " vyöhykkeitä F ja G vastaavissa sarakkeissa taitteisen räystään kaltevuuskulmasta riippuen.

HUOM. 5 Itse räystääpyörnstyksen osalta ulkopuolisen paineen kertoimet saadaan lineaarisesti interpoloimalla pitkin kaarta seinää ja kattoa koskevien arvojen välillä.

Ulkopintoihin vaikuttavan tuulen paine lasketaan kaavalla 2 (6, s. 134).

$$W_e = q_p(Z_e)C_{pe}$$

KAAVA 2

$W_e$  = yksittäiseen pintaan vaikuttava tuulen paine korkeudella  $Z_e$

$q_p(Z_e)$  = puuskanopeuspaine

$C_{pe}$  = ulkoisen paineen painekerroin

$Z_e$  = ulkoisen paineen nopeuspainekorkeus

### 2.3.3 Ristikot

Ristikoiden tehtävänä on siirtää katolta tulevat kuormat kantaville pilareille sekä jäykistyskuormat perustuksille. Ristikot ovat kolmion muotoon liitetystä sauvoista koostuva nivelnurkkainen kantava rakenne. Sauvojen päät ovat ideaaliristikoissa nivelellisesti kiinnitetty toisiinsa, ja ristikkoa kuormitetaan vain nurkkapisteistä ja solmuista. Todellisuudessa sauvojen liitokset eivät ole täysin nivelellisiä, koska ylä- ja alapäärre ovat jatkuvia sauvoja sekä sauvojen liitokset ovat osittain jäykkiä esimerkiksi hitsiliitoksia. Lisäksi yläpaarteissa esiintyy usein taivutusrasituksia paarteen jännevälillä vaikuttavista poikittaisista kuormista johtuen. Tämän vuoksi yläpaarre tulee mitoittaa puristettuna ja taivutettuna sauvana, alapäärre vedettynä sauvana ja uumasauvat aksiaalisille voimille. (3, s. 159; 2, s. 76, 78.)

Ristikossa on järkevää käyttää suorakaiteen muotoisia profiileja valmistamisen helppouden ja siksi edullisuuden vuoksi. Puristuskestävyyden kannalta ohutseinämäinen ja mahdollisimman suuret ulkomitat omaava putki on edullisin, mutta liitoksen kestävyys ei ole niin hyvä tällaisessa putkessa. Ristikossa paino eri osien välillä jakautuu seuraavasti: puristettu yläpaarre 50 %, vedetty alapäärre 30 % ja loput 20 % uumasauvoille. (3, s. 159; 2, s. 76, 78.)

Ristikkotyyppejä on useita ja erilaisten ristikoiden käyttö määräytyy jännevälien, kuormituksen sijainnin ja määrän mukaan. Ristikkotyyppejä on muun muassa K-, KT-, N-ristikko. K-ristikossa sauvamäärä on pienin, joten sen kustannus on edullinen. KT-ristikon yläpaarre on tiheämmin tuettu, joten sen kestävyys on parempi. Sauvojen lukumäärä kasvaa ja tämän vuoksi liitoksetkin ovat työlääm-

piä valmistaa. N-ristikossa sauvojen lukumäärä kasvaa edelleen. Tällöin uumasauvojen puristettujen sauvojen nurjahduspituus jää pienemmäksi, mikä jälleen lisää kestävyttä. Sauvojen lukumäärän edelleen kasvaessa liitosten valmistaminen on vaikeampaa. (3, s. 423.)

Yläpaarre mitoitetaan koko matkalle suurimmalle esiintyvälle normaalivoimalle sekä ottaen huomioon suurimman mitoituskuorman aiheuttaman momentin. Tällöin mitoituksessa tulee tarkistaa kestävyys käyttäen yhteisvaikutusyhtälöitä. (2, s. 77.)

Yhteisvaikutusyhtälö 3.30a on kaavan 3 mukainen (2, s. 77).

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rd}} + k_{yy} \frac{M_{Ed,f}}{M_{y,Rd}} \leq 1$$

KAAVA 3

$N_{Ed}$  = puristusvoiman mitoitusarvo

$M_{Ed,f}$  = taivutusmomentin mitoitusarvo

$\chi_y$  = taivutusnurjahduksen pienennystekijä y-y- akselin suhteen

$N_{Rd}$  = normaalivoimakestävyden mitoitusarvo

$k_{yy}$  = yhteisvaikutustekijä

$M_{y,Rd}$  = taivutusmomenttikestävyden mitoitusarvo y-y- akselin suhteen

Uumasauvat mitoitetaan normaalivoimille. Vedetyt sauvat mitoitetaan vedetyn sauvan mitoitus ehdon mukaan, kun taas puristetut sauvat mitoitetaan nurjahdukselle. Sauvojen liitosten jäykkyyden ansiosta voidaan puristettujen sauvojen nurjahduspituuksina käyttää lyhennettyjä nurjahduspituuksia. Puristetussa yläpaarteessa nurjahduspituus on 90 % ja uumasauvoissa 75 % sauvojen systeempituuksista. (3, s. 160; 2, s. 77.)

Nurjahduskestävyyden mitoitusarvo lasketaan kaavan 4 mukaisesti (1, s. 61).

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}}$$

KAAVA 4

$N_{b,Rd}$  = puristetun sauvan nurjahduskestävyyden mitoitusarvo

$\chi$  = nurjahduskestävyyden pienennystekijä

$A$  = poikkileikkauksen pinta-ala

$f_y$  = rakenneteräksen myötöraja

$\gamma_{M1}$  = osavarmuusluku

Vetokestävyyden mitoitusarvo lasketaan kaavan 5 mukaisesti (2, s. 77).

$$N_{Ed} = A \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

KAAVA 5

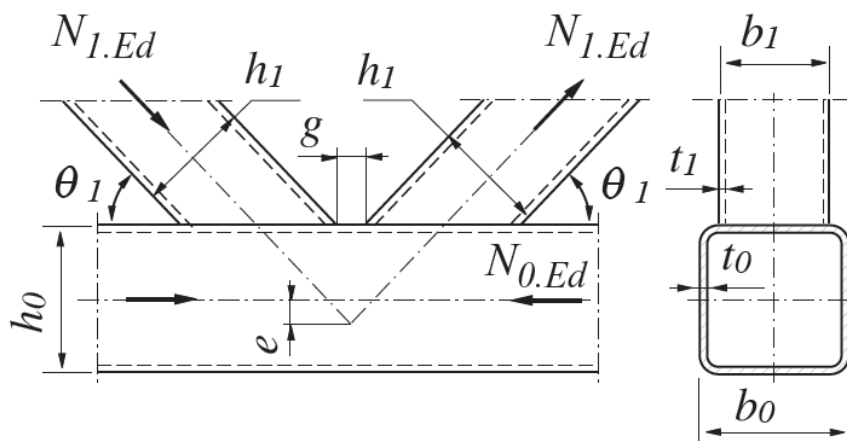
$N_{Ed}$  = vedetyn sauvan kestävyysmitoitussarvo

$A$  = poikkileikkauksen pinta-ala

$f_y$  = rakenneteräksen myötöraja

$\gamma_{M0}$  = osavarmuusluku

Vertikaali- ja diagonaalisauvat saatetaan liitosteknisistä syistä sijoittaa siten, että sauvojen akselit eivät kohtaa paarteen akselilla. Tällöin liitos on epäkeskinen ja seurauksena on paikallinen taivutus- sekä leikkausrasitus paarteeseen. Epäkeskisyydestä aiheutuva leikkausrasitus pienentää paarteen puristuskestävyyttä. Tämän vuoksi puristettua yläpaartetta mitoittaessa tulee aina huomioida epäkeskisyydestä aiheutuvat momentit. Epäkeskisyydestä aiheutuvaa momenttia ei tarvitse ottaa huomioon uumasauvojen, vedetyn alapaarteen ja liitoksien kestävyksien laskennassa, jos liitoksen epäkeskeisyys toteuttaa seuraavat ehdot. (Kuva 6.) (3, s. 166; 2, s. 77, 78.)



KUVA 6. Liitoksen epäkeskisyyden sekä liitososien selitykset (3, s. 306)



Epäkeskisyyttä ei tarvitse huomioida, jos kaavojen 6 ja 7 ehdot toteutuu (3, s. 166).

$$L \geq 6h$$

*KAAVA 6*

L = paarteen systeempituus

h = tarkasteltavan sauvan poikkileikkauksen korkeus

$$-0,55h_0 \leq e \leq 0,25 h_0$$

*KAAVA 7*

$h_0$  = paarteen poikkileikkauksen korkeus ristikon tasossa

Käytettäessä ristikkoliitosten kestävyyskaavoja ristikkoliitoksien kestävyyskäyttöä laskettaessa on varmistuttava, että liitos täyttää laskentataulukoiden voimassaoloehdot. Nämä ehdot kohdistuvat liitoksen geometriaan sekä liitoksen putkien poikkileikkausluokkiin ja profiilien mittoihin. (Taulukko 3.) (4, s. 118, 127; 3, s. 167.)

TAULUKKO 3. *Rakenneputkien ristikkoliitosten yleiset vaatimukset* (3, s. 167)

<b>Liitettävät sauvat:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• kylmämuovautetut rakenneputket ovat standardin EN 10219 mukaisia pyöreitä tai neliön tai suorakaiteen muotoisia rakenneputkia</li> <li>• liitokset voivat muodostua myös em. rakenneputkien ja avoimien profiilien liitoksista</li> <li>• putken seinämnpaksuus on vähintään <math>t \geq 2,5</math> mm (Huom: Ruukki suosittelee <math>t \geq 3</math> mm ristikon osien yhteensovittamisen ja hitsattavuuden varmistamiseksi)</li> <li>• sauvojen puristettujen taso-osien tulee täyttää poikkileikkausluokkien 1 tai 2 vaatimukset (määritettynä tasaisen puristuksen mukaan), ellei kyseeseen tulevan liitoksen kestävyystaulukoissa ole tapauskohtaisesti toisin sanottu</li> </ul>
<b>Liitoksen geometria:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• paarteiden ja uumasauvojen, sekä vierekkäisten uumasauvojen välisten kulmien tulee olla vähintään <math>\theta_i \geq 30^\circ</math></li> <li>• liitoksessa kohtaavien sauvojen päät valmistetaan siten, että putkien poikkileikkausten muoto ei muutu (ohjeet eivät siis koske päistään liitettävien putkien liitoksia)</li> </ul>
<b>Vapaaväliset liitokset</b> (ks. kuva 3.3):
<ul style="list-style-type: none"> <li>• vapaavälisissä liitoksissa riittävän tilan varmistamiseksi riittävien hitsien aikaansaamiseksi uumasauvojen välisen vapaavälän tulee olla vähintään <math>g \geq (t_1 + t_2)</math></li> </ul>
<b>Limitetyt liitokset</b> (ks. kuva 3.3):
<ul style="list-style-type: none"> <li>• kun limitettävien sauvojen seinämnpaksuudet ja / tai teräslajit ovat erilaisia, pienimmän <math>t_i \cdot f_{yi}</math> arvon omaava sauva asetetaan päällimmäiseksi</li> <li>• kun limitettävien uumasauvojen leveys on erilainen, kapeampi sauva asetetaan leveämmän sauvan päälle</li> <li>• osittain limitetyissä liitoksissa Ruukki suosittelee, että myös limitetyn uumasauvan piiloon jäävä sivu hitsataan aina paarteeseen (Eurocoden osan EN 1993-1-8 mukaan näin ei tarvitse tehdä edellyttäen, että uumasauvojen aksiaalisten voimien paarasauvoja vastaan kohtisuorat komponentit poikkeavat toisistaan enintään 20 %)</li> <li>• limitetyissä liitoksissa limityksen tulee olla riittävän suuri leikkausvoiman siirtämiseksi yhdestä uumasauvasta toiseen. Limityksen tulee olla vähintään <math>\lambda_{ov} \geq 25</math> %</li> <li>• Jos <math>\lambda_{ov} &gt; \lambda_{ov.lim}</math> tai jos suorakaiteen muotoisilla uumasauvoilla <math>h_1 &lt; b_1</math> ja/tai <math>h_2 &lt; b_2</math>, tulee tarkastaa myös uumasauvojen leikkautuminen paarteen suunnassa irti paarteesta:  <math>\lambda_{ov.lim} = 60</math> % jos limitetyn uumasauvan piiloon jäävä sivu ei ole hitsattu paarteeseen  <math>\lambda_{ov.lim} = 80</math> % jos limitetyn uumasauvan piiloon jäävä sivu on hitsattu paarteeseen</li> </ul>

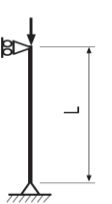
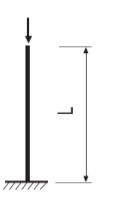
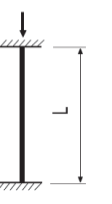
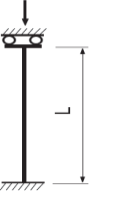
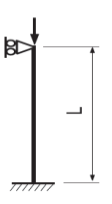
### 2.3.4 Pilarit

Pilarit ovat pystysuoria rakenteita, jotka siirtävät normaali-, leikkaus- ja taivutusrasituksia perustuksille. Pilareina käytetään usein pienissä halleissa kuuma-valssattuja IPE- ja HE-profiileja, mutta suurissa halleissa käytetään levyistä hitsattuja I-profiileja. Muita harvemmin käytettyjä pilarityyppejä ovat hitsatut kotelopoikkileikkaukset, kylmämuovautetut profiilit ja ristikkopilarit. (2, s. 72.)

Kuumavalssatuilla profiileilla momenttikestävyys on hyvä z-z -suunnassa, ne sopivat hyvin pilareiksi toisen suunnan rasituksien ollessa vähäisiä. (Kuva 2, s. 9.) Kotelopoikkileikkauksia käytetään, kun rakenteessa on suuret normaalivoima-, taivutusmomentti- ja vääntörasitukset. Erikoistapauksissa teollisuusrakentamisessa käytetään ristikkopilareita, jotka kestävät erittäin suuria normaalivoi-

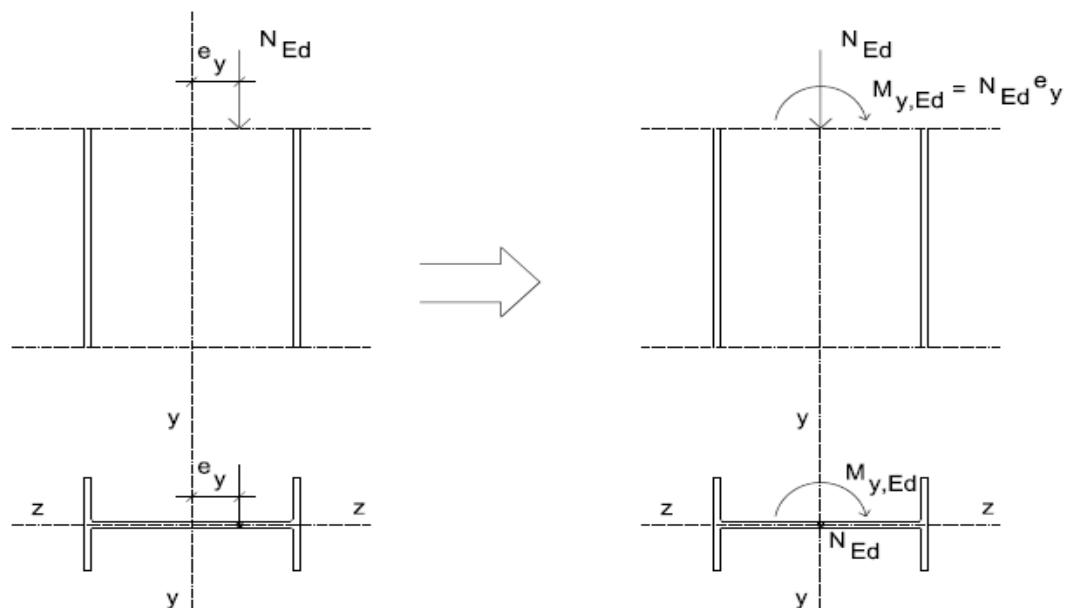
ma- ja taivutusrasituksia ja antavat mahdollisuuden kulkutaso- ja putkiläpivien-  
neille pilarin lävitse. (2, s. 72.)

Pilarin kestävyteen vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa hoikkuus, poikkileikkauksen muoto, kuormat, poikkileikkausluokka. Stabiiliuden menettämiseen liittyviä muotoja on taivutusnurjahdus, vääntönurjahdus ja taivutusvääntönurjahdus. Pileri nurjahtaa sillä nurjahdusmuodolla, joka vaatii vähiten muodonmuutosenergiaa. Pilarin stabiiliuden menettämiseen vaikuttavat kuormituksen epäkeskeisyys, poikkileikkauksen muoto ja pilarin tuenta. (Kuva 7.) (2, s. 72 - 73.)

Molemmista päistä nivelöity pileri	Toisesta päästä jäykästi kiinnitetty pileri	Molemmista päistä jäykästi kiinnitetty pileri	Molemmista päistä jäykästi kiinnitetty pileri, toinen kiinnityskohta sivusiirtävä	Toisesta päästä jäykästi kiinnitetty ja toisesta päästä nivelöity pileri
				
$L_{cr} = 1,0 L$	$L_{cr} = 2,0 L$	$L_{cr} = 0,5 L$	$L_{cr} = 1,0 L$	$L_{cr} = 0,7 L$

KUVA 7. Teoreettisia nurjahduspituuksia (3, s. 396)

Pilareissa on usein mahdotonta sijoittaa pituussuuntainen kuormitus poikkileikkauksen painopisteeseen. Jos kuormitus ei sijoitu pilarin painopisteeseen, kuormitus on epäkeskeinen ja tällöin kuormitus aiheuttaa taivutusmomentin piliiriin. Näiden yhteisvaikutusta voidaan arvioida keskenä normaalivoimana ja epäkeskisyyshmomenttina. Tällöin tulee sauvarakenteen kestävyuden toteamisessa käyttää yhteisvaikutusyhtälöitä, koska pilareissa esiintyy sekä taivutusta että normaalivoimaa. (Kuva 8.) (2, s. 73.)



KUVA 8. Epäkeskisen normaalivoiman esittäminen normaalivoiman ja epäkeskisyyshetimitin avulla (2, s. 73)

Heikommassa suunnassa taipumaton pilari mitoitetaan kaavan 8 mukaisesti (2, s. 74).

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rd}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} \leq 1$$

KAAVA 8

$N_{Ed}$  = puristusvoiman mitoitusarvo

$M_{y,Ed}$  = taivutusmomentin mitoitusarvo

$\chi_y$  = taivutusnurjahduksen pienennystekijä y-y- akselin suhteen

$N_{Rd}$  = normaalivoimakestävyyden mitoitusarvo

$k_{yy}$  = yhteisvaikutustekijä

$M_{y,Rd}$  = taivutusmomenttikestävyyden mitoitusarvo y-y- akselin suhteen

### 2.3.5 Palkit

Palkeilla siirretään tasoilta tulevat kuormat pilareiden kautta perustuksille. Palkkien liitokset pilareihin suunnitellaan yleensä nivelellisiksi, koska momenttiliitoksen valmistaminen on erittäin kallista siitä saatavaan hyötyyn nähden. Erilaisissa palkeissa käytetään erilaisia profiileja, riippuen rakenneosassa kulloinkin tar-

vittavista ominaisuuksista ja kestävyyksistä. Palkkien poikkileikkauksen dimensiot riippuvat kuormituksista sekä jänneväleistä. (2, s. 61.)

Palkit ovat rakenteita, joissa esiintyy aksiaalisia-, leikkaus- ja taivutusrasituksia. Taivutusrasituksesta syntyy epästabiliusilmiö, joka on kiepahdus. Normaali-voima-, leikkaus- sekä taivutusrasitukset ja epästabiliusilmiöt huomioidaan murtorajatilassa. Palkin taipumille on annettu maksimi-arvot ja ne mitoitetaan käyttörajatilassa. Palkeissa voi myös esiintyä aksiaalisia voimia, joten nurjahduskin on joissain tapauksissa mahdollinen. (2, s. 61.)

Tuettu palkki mitoitetaan kaavan 9 mukaisesti (2, s. 64).

$$M_{g,Ed} + M_{q,Ed} = \gamma_g M_{g,Ek} + \gamma_q (M_{q1,Ek} + \Psi_0 M_{q2,Ek}) \leq M_{y,Rd} \quad \text{KAAVA 9}$$

$M_{g,Ek}$  = pysyvistä kuormista aiheutuvat momentit

$M_{q1,Ek}$  = päävaikutuksesta aiheutuva momentti

$M_{q2,Ek}$  = muista vaikutuksista aiheutuvat momentit

$M_{y,Rd}$  = momenttikestävyuden mitoitusarvo

$\gamma_g$  = pysyvien kuormien osavarmuusluku

$\gamma_q$  = muuttuvien kuormien osavarmuusluku

$\Psi_0$  = yhdistelykerroin

Kun palkeilla on useampi tuki esimerkiksi nosturiradoissa ja katto-orsissa, tulee käyttää jatkuvia palkkeja kenttämomentin pienentämiseksi. Pitkissä palkeissa nosturiradoissa kiepahduskestävyys tulee usein määrääväksi, koska kiepahdus-tuenta on mahdollista järjestää vain pilareiden kohdalla. (2, s. 62.)

### 2.3.6 Perustukset

Perustuksen tehtävänä on siirtää rakennukselta tulevat kuormat maapohjaan. Anturan mitoituksessa katsotaan, että kuorman mitoitusarvot eivät ylitä rajatiloja. (5, s. 99.)

Anturan mitoitus murtorajatilassa kaavan 10 mukaisesti (5, s. 52).

$$E_d \leq R_d \quad \text{KAAVA 10}$$

$E_d$  = kuormien vaikutuksen mitoitusarvo

$R_d$  = kestävyuden mitoitusarvo

Eurokoodissa esitetään kolme mitoitusastetta perustusten geotekniselle mitoitukselle. Tässä työssä perustuksena on maanvarainen anturaperustus, jolloin käytetään mitoitusastetta 2.

Mitoitusastavassa 2 osavarmuuslukuja käytetään kuormille ja kuormien vaikutuksille (A) sekä maankestävyydelle (R). Tällöin käytettävä osavarmuuslukujen yhdistelmä on kaavan 11 mukainen (5, s. 53):

$A1 + M1 + R2$

KAAVA 11

A1 = kuormien tai kuorman vaikutusten osavarmuuslukujen sarja

M1 = maaparametrien osavarmuuslukujen sarja

R2 = antura ja laattaperustusten osavarmuuslukujen sarja

Kantokestävyystarkastelussa kuorman tai kuormitusten osavarmuusluvut valitaan eurokoodin EN 1997-1 kansallisen liitteen taulukosta A.3 sarjasta A1, kestävyydelle taulukosta A.5 sarjasta R2. Maaparametreille osavarmuusluvut mitoitusastavassa 2 ovat taulukossa A.4 sarjassa M1. (5, s. 49 - 52.)

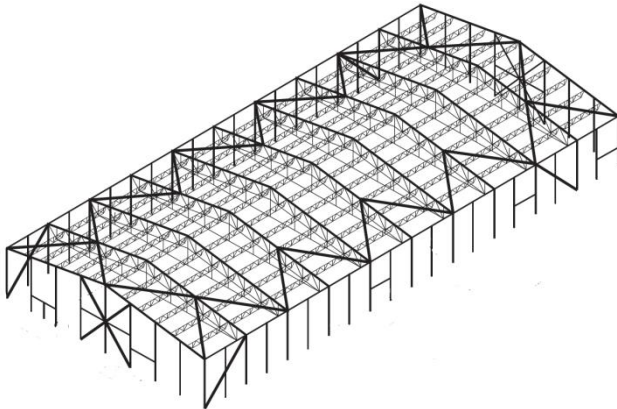
Mitoitusastavalla 2 mitoittaessa voidaan toimia kahdella eri tavalla. Näistä mitoitusastavoista käytetään merkintöjä DA2 ja DA2\*. DA2\*:ssa laskelmat suoritetaan kuormien ominaisarvoilla ja osavarmuuslukuja käytetään laskelman lopussa murtorajatilaehto tarkistettaessa. Ensimmäisenä mainitussa tavassa osavarmuusluvut otetaan käyttöön heti laskelman aluksi. (5, s. 53.)

### 2.3.7 Jäykistävät rakenteet

Jäykistävien rakenteiden tehtävänä on siirtää erilaiset vaakakuormat perustuksille ja pitää yllä rakenteiden välistä sekä rakenneosien vakautta. Jäykistävät rakenteet estävät rakennuksen rungon siirtymät sekä rakennuksen kiertymisen jäykkänä kappaleena. Lisäksi yksittäinen rakenneosa ei saa nurjahtaa, lommahdtaa tai kiepahtaa. (2, s. 117.)

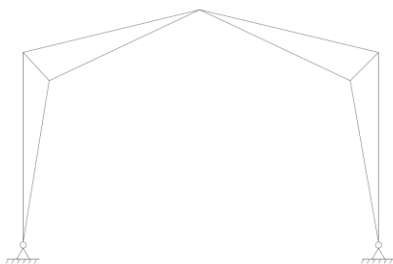
Teräsrunгон jäykistämistavat koostuvat peruskomponenteista, jotka ovat leikkausvoimia vastaanottava levy, vaaka- ja pystyrakenteiden välinen jäykkä nurkka ja sauvoista koostuva ristikkorakenne. Jäykistämistapoja on useita erilaisia, kuten ristikko-, kehä-, masto-, levy-, sydän- ja putkijäykistys. (2, s. 117.)

Jäykistysristikot on järkevää suunnitella mahdollisimman korkeiksi, sillä ristikon jäykkyys on suurempi korkeammalla ristikolla. Lisäksi ristikon muille rakennesille aiheuttamat rasitukset ovat pienempiä, kun ristikon korkeutta kasvatetaan. (Kuva 9.) (2, s. 120; 3, s. 454.)



*KUVA 9. Periaatekuva ristikkojäykistämisestä (3, s. 377)*

Kehäjäykistyksessä palkkien ja pilareiden liitos on jäykkä tai osittain jäykkä. Vaakakuormat siirretään perustuksille kehän jäykkien nurkkien avulla. Kehäjäykistyksen hyvä puoli on, että rakennuksen käyttötarkoitusta voi helposti muuttaa, koska jäykistäviä rakenteita ei ole huonetilassa. Tämä jäykistysjärjestelmä on yleisesti käytössä yksikerroksisissa rakennuksissa. (Kuva 10.) (2, s. 119; 3, s. 454.)



*KUVA 10. Periaatekuva kehäjäykistämisestä*

Mastojäykistyksessä kuorma siirretään perustuksille pilarin jäykän kiinnityksen avulla. Pilarit toimivat perustuksien jäykkänä ulokkeena ja pilarin ja palkin liitos voi olla nivelellinen. Mastona toimivaa jäykistystä voidaan käyttää matalissa rakennuksissa, sillä korkeissa rakennuksissa rajoittavaksi tekijäksi tulee pilarin yläpäähän vaakasiirtymä ja pilarin alapään taivutusmomenttikestävyys. (Kuva 11.) (2, s. 121; 3, s. 454.)



*KUVA 11. Periaatekuva mastojäykistämisestä*

Levyjäykistys voidaan toteuttaa esimerkiksi erilaisilla jäykistävillä seinillä. Jäykistävät seinät ulottuvat rakennuksen perustuksilta rakennuksen huipulle. Jäykistävät seinät ovat levymäisiä rakenteita, jotka kiinnitetään jäykästi teräsrunkoon. (3, s. 454.)

Sydänmasto- ja putkijäykistyksessä hissi-, porraskuilut ja rakennuksen vaippa toimivat jäykistävinä rakenteina. Sydänmasto- ja putkijäykistys toimivat samalla periaatteella, eli ne ottavat vastaan vaakakuormat putkimaisen rakenteen avulla ja siirtävät ne perustuksille. Nämä jäykistämistavat eivät ole yleisesti käytössä hallirakentamisessa. (2, s. 117 - 118; 3, s. 454.)

## **2.4 Rakennuksen korkeuden muutoksen vaikutus**

Luvussa 2.4 kerrotaan, miten korkeuden muuttaminen vaikuttaa rakenneosiin. Korkeuden muuttaminen aiheuttaa eri rakenneosille erilaisia kuormitusten ja rasitusten muutoksia, mitkä vaikuttavat rakenneosan kestävyuteen.



### **2.4.1 Ristikko**

Korkeuden muutos ei aiheuta muutoksia ristikon sauvoihin. Katon määräävin ominaiskuorma on lumikuorma ja lumikuorman arvo ei muutu korkeutta muutettaessa.

Tuulesta aiheutuvat kuormat kasvavat hiukan korkeuden lisääntyttyä. Tuulikuorma ei kuitenkaan yleensä mitoitakaan kattokannattajia, koska tuulen vaikutus katolla on suurimmaksi osaksi nostetta. Tuulikuorman noste voi aiheuttaa puristusrasituksen alapaarteelle, joka voi tällöin nurjahtaa. Alapaarteen nurjahdus on kuitenkin erittäin harvinaista.

### **2.4.2 Pilari**

Mastopilarin mitoituksessa korkeuden muutoksella on suuri merkitys. Pilarin korkeutta muutettaessa poikkileikkauksen pysyessä samana, pilari hoikkenee. Lisäksi korkeuden muutos lisää myös nurjahduspituutta. Tällöin pilarin nurjahduskestävyys pienenee. (Kuva 7, s. 19.)

Hallin korkeuden kasvaessa myös kuormat kasvavat. Tuulikuorman ominaisarvo kasvaa, kun hallin korkeutta lisätään. (Kaava 2, s. 14.) Lisäksi rakenteen omapaino kasvaa, kun rakennusmateriaalien määrä kasvaa.

### **2.4.3 Palkki**

Päätypalkin mitoitukseen korkeuden lisäämisellä ei ole vaikutusta. Päätypalkin määräävin kuorma on lumikuorma ja lumikuorman arvo säilyy samana. (Kaava 1, s. 12.) Tuulikuorma ei myöskään lisää kuormitusta päätypalkille, koska tuulikuorman vaikutus katolla on noste.

Päätypalkin pituus säilyy muuttumattomana, jolloin nurjahdus- ja kiepahduspituuksiin ei tule muutoksia. Rasitukset päätypalkissa pysyvät samana jokaisessa hallirakennuksessa.

#### **2.4.4 Perustus**

Korkeuden muutos vaikuttaa myös perustuksiin. Rakenteiden omapaino kasvaa, kun hallin korkeutta lisätään. Tämä aiheuttaa suuremman pystykuorman pilareiden anturoille ja tällöin anturan pohjapaine kasvaa.

Kun pilarin pituutta kasvatetaan, tuulikuorman vaikutus tulee pidemmältä matkalta. Tällöin myös kuorman momenttivarsi on pidempi. Nämä yhdessä aiheuttavat suuremman momentin pilarin alapäähän ja tämän vuoksi anturan tehollinen pinta-ala pienenee. Tällöin anturan pinta-alaa joudutaan kasvattamaan.

Hallin jäykistävien ristikoiden perustuksille tuomat kuormat kasvavat, kun rakennuksen korkeutta lisätään. Tällöin jäykistäviin ristikoihin liittyvien pilareiden anturoiden kokoa joudutaan myös suurentamaan.

#### **2.4.5 Jäykistävä rakenne**

Korkeuden muutos vaikuttaa myös jäykistäviin rakenteisiin. Kun korkeutta lisätään, tuulikuorman ominaisarvo sekä tuulikuorman vaikutusmatka lisääntyy pila-reissa. Tämän vuoksi jäykistäville rakenteille tuleva kuorma on suurempi.

Kun rakennuksen korkeutta muutetaan, muuttuvat myös jäykistävien ristikoiden sauvojen pituudet. Tällöin sauvojen nurjahduspituus kasvaa ja sen vuoksi sauvan nurjahduskestävyys vähenee.

Korkeissa rakennuksissa voidaan lisätä vaakasiteitä pilarin nurjahduspituuden pienentämiseksi. Tässä työssä tuulisiteiden määrä sivuilla on kuitenkin yksi, koska haluttiin samanlaiset runkoratkaisut jokaiseen halliin.

## **3 RAKENTAMISKUSTANNUSTEN MÄÄRITTÄMINEN**

### **3.1 Laskentamallien luonti**

Aluksi luotiin laskentamalli ja mitoitettiin 12 m:n hallirakennus. Ensimmäisestä hallia mitoittaessa ohjelmaan luotiin erilaisia sauvoja. Näihin sauvoihin asetettiin sauvojen nurjahduskäyrät ja -pituudet sekä taipumaraja-arvot. Näistä sauvoista luotiin laskentamalli. Laskentamalliin lisättiin tarvittavat nivelet ja ristikoiden uumasauvoille laitettiin asetus, joka määrää sauvan ottamaan vain aksiaalisia kuormituksia.

Rakennuksen ominaiskuormien arvot syötettiin laskentamalliin. (liitteet 2 ja 3.) Kuormien ominaisarvoja yhdistelemällä erilaisten kertoimien ja osavarmuuslukujen kanssa luotiin kuormitustapaukset, joiden mukaan ohjelma mitoittaa rakenteen.

Kun ensimmäinen rakennus saatiin mitoitettua ja tarkistettua, muutettiin rakennuksen korkeutta ja mitoitettiin seuraavat rakennukset. Tämä työvaihe sisältää seuraavat vaiheet: hallin korkeuden muuttaminen, jäykistävien sauvojen korjaaminen oikeaan asemaan, kuormien korjaaminen ja mitoittaminen. Seuraavaksi suunniteltiin perustukset halleihin. Geotekninen kantavuus perustuksille oli  $300 \text{ kN/m}^2$ . Teräshallien rakenteet mitoitettiin noin 90 % käyttöasteelle.

### **3.2 Rakentamiskustannusten laskenta**

Kun hallit saatiin mitoitettua, seuraavaksi laskettiin rakennusmateriaalien määrät. Korkeuden muutos lisää seinien alaa sekä rungon, jäykisteiden sekä perustusten kokoa. Teräsmäärät olivat tulostettavissa ohjelmistosta ja betonimäärät laskettiin Excel -ohjelmistolla. (Taulukko 4.)

TAULUKKO 4. Rakennusmateriaalien ja kustannusten määrät

<b>Korkeus</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>
<b>Seinät</b>					
pinta-ala (m2)	2003	2149	2295	2441	2587
hinta (€/m2)	110	110	110	110	110
kustannus	<b>220323</b>	<b>236383</b>	<b>252443</b>	<b>268503</b>	<b>284563</b>
<b>Katto</b>					
pinta-ala (m2)	1202	1202	1202	1202	1202
hinta (€/m2)	130	130	130	130	130
kustannus	<b>156250</b>	<b>156250</b>	<b>156250</b>	<b>156250</b>	<b>156250</b>
<b>Runko</b>					
määrä (kg)	61264	67273	74710	81113	89120
hinta (€/kg)	3	3	3	3	3
kustannus	<b>183792</b>	<b>201819</b>	<b>224130</b>	<b>243339</b>	<b>267360</b>
<b>Lattia</b>					
mv-laatta (m3)	120	120	120	120	120
hinta (€/m3)	500	500	500	500	500
kustannus	<b>60000</b>	<b>60000</b>	<b>60000</b>	<b>60000</b>	<b>60000</b>
<b>Perustukset</b>					
tuulip 6 kpl (m3)	14,89	15,17	16,47	19,90	22,47
PP 10 kpl (m3)	28,36	30,52	30,52	30,52	32,68
JP 8 kpl (m3)	43,95	56,91	61,23	61,23	65,55
hinta (€/m3)	550	550	550	550	550
kustannus	<b>47962</b>	<b>56433</b>	<b>59522</b>	<b>61406</b>	<b>66386</b>
<b>Sähkötyöt</b>					
m2	1200	1200	1200	1200	1200
€/m2	90	90	90	90	90
kustannus	<b>108000</b>	<b>108000</b>	<b>108000</b>	<b>108000</b>	<b>108000</b>
<b>Yhteensä</b>	<b>776327</b>	<b>818885</b>	<b>860345</b>	<b>897498</b>	<b>942559</b>

Kun rakennusmateriaalien määrät saatiin laskettua, määritettiin rakentamiskustannukset Pöyryn yksikköhintatietojen avulla. Lopuksi suoritettiin rakentamiskustannusten vertailu Haahtelan Talonrakennuksen Kustannustieto 2013 -kirjan yksikköhintatietojen kanssa. (10, s. 195 - 241, 291.)

### 3.3 Ohjelman esittely

Autodesk Robot Structural on rakennesuunnitteluun käytettävä suunnitteluohjelmisto. Ohjelmassa luodaan laskentamalli, johon sauvoille asetetaan erilaisia raja-arvoja. Laskentamallissa sauvoiksi voidaan asettaa heti alussa oikeanlaiset profiilit, joita löytyy ohjelman kirjastoista. Ohjelmaan syötetään myös kuormat. Ohjelmalla voi luoda erilaiset kuormitusyhdistelmät ominaiskuormista, mutta tässä työssä luotiin kuormitusyhdistelmät käsin.

Ohjelma suorittaa laskennan elementtimenetelmällä. Kun rakenne on laskettu, sen jälkeen voidaan tarkastella tuloksia käyttörajatilan taipumista murtorajatilan käyttöasteisiin. Ohjelmasta voidaan tulostaa laskennan tuloksia, kuten tukireaktiot, normaalivoima-, leikkausvoima- ja momenttipinnat.

## 4 TULOKSET

### 4.1 Rakentamiskustannusten muodostuminen

Rakennusten rakentamiskustannuksiin on huomioitu rakennuksen perustukset, runko-, vaippa- ja sähkötyökustannukset. Kustannuksissa ei ole arvioitu maankaivu-, pohja-, täyttö- ja pintakäsittelyitä, koska näistä aiheutuva rakentamiskustannuksien kasvu ei ole merkittävä tilavuutta lisättäessä. Nosturin palkin ja siltanosturin tuomia kustannuksia ei ole myöskään arvioitu, koska nostonopeuden ollessa sama ei korkeuden muuttaminen lisää kustannuksia kuin köyden pituuden osalta. Työssä on lisäksi arvioitu lämmitystilavuuden lisäyksen aiheuttamaa lämmitysenergian tarpeen kustannusta. (Taulukko 4, s. 28.)

Autodesk Robot Structural -ohjelmalla luotiin rakennemalli oikeilla profiileilla, jolloin ohjelmasta voitiin tulostaa teräsmäärät. Vaipan, lattian ja katon rakentamiskustannukset laskettiin Excel -ohjelmistolla. Perustukset mitoitettiin Mathcad -ohjelmalla. Tällä laskentapohjalla laskettiin myös kunkin perustuksen betonimäärä.

Perustuksien ja teräsmäärien osalta rakennusmateriaalin määrä ei kasva suoriivaisesti. Hallin rakenteet tuli mitoittaa 90 % käyttöasteelle, mutta tämä ei ole täysin mahdollista. Esimerkiksi teräspilareiden käyttöasteet vaihtelevat 84 - 90 % välillä. Rakennuksien painosta suurin osa muodostuu runkopilareista ja runkopilareiden käyttöasteen vaihtelu aiheuttaa teräsmääriin pientä muutosta. (Taulukko 5.)

TAULUKKO 5. Pilareiden käyttöasteet

halli	tyyppi	pilari	PL- luokka	MRT (%)	KRT (%)	Runko (kg/m <sup>3</sup> )
12	pääpilari	I-500*210/10*20	3	90	32	3,51
	tuulipilari	HEA 300		87	13	
13	pääpilari	I-550*240/10*20	3	86	35	3,60
	tuulipilari	HEA 320		80	14	
14	pääpilari	I-550*250/12*20	3	84	38	3,75
	tuulipilari	HEA 340		83	19	
15	pääpilari	I-600*260/12*20	2	87	36	3,84
	tuulipilari	HEA 360		86	17	
16	pääpilari	i-600*290/12*20	3	85	37	3,99
	tuulipilari	HEA 400		86	19	

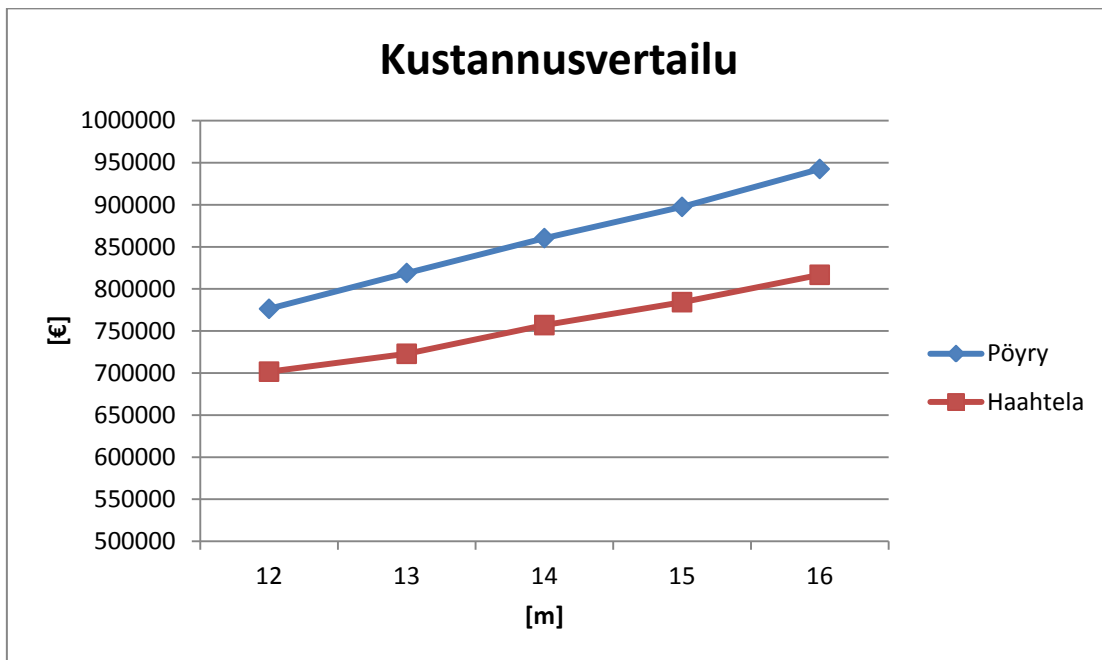
Perustukset mitoitettiin geotekniselle kantavuudelle 300 kN/m<sup>2</sup>. Perustukset mitoitettiin 90 % käyttöasteelle ja perustuksillakin pientä heilahtelua syntyi käytöasteista, koska perustuksien koko suunniteltiin 0,3 m:n moduulissa (esimerkiksi 2,4x3,0 m).

Katto- ja lattiarakenteiden rakennusmateriaalien määrät ovat samat kaikissa halleissa. Rakennuksen seinien pinta-ala lisääntyy, kun rakennuksen tilavuutta lisätään rakennuksen korkeutta kasvattamalla.

#### 4.2 Rakentamiskustannusten vertailu

Rakentamiskustannusten kasvu eri hallien välillä nousee kohtalaisen suoraviivaisesti rakennuksen korkeutta muutettaessa. Rakentamiskustannuksien yksikköhintatietoina on käytetty Pöyryn tilastoja ja lisäksi on tehty kustannuslaskelma Haahtelan Talonrakennuksen Kustannustieto 2013 -kirjan yksikköhintatietojen kanssa. (Taulukko 6.) (10, s.195 - 241, 291.)

TAULUKKO 6. Rakentamiskustannukset eri halleille

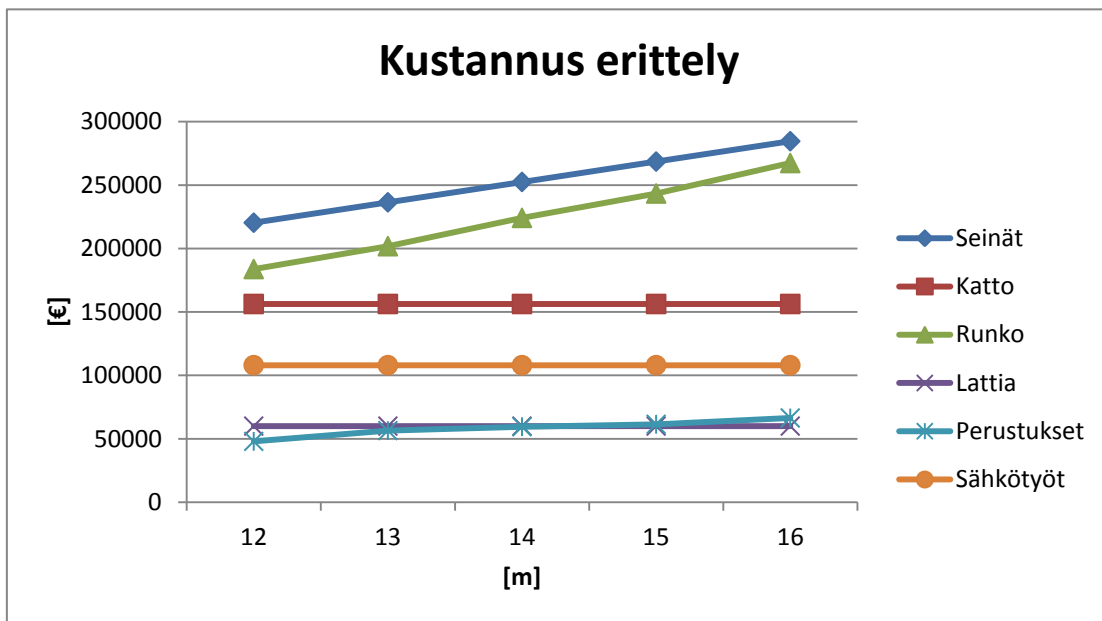


Rakentamiskustannusten vertailussa Pöyryn tilastojen perusteella olevat hinnat ovat kalliimpia. Molemmissa hinnoissa on huomioitu materiaalin ja asennuksen kustannukset arvonlisäverottomina. Talonrakennuksen Kustannustieto 2013 -kirjan kustannukset ovat keskiarvoja talonrakentamisesta, kun taas Pöyryn hinnat on tilastoitu teollisuusrakentamisen rakentamiskustannuksista. Rakennuskustannusten ero aiheutuu siitä, että teollisuusrakentaminen on kalliimpaa kuin talonrakentaminen. Kustannuserittelyt ja rakentamiskustannusten prosentuaalista nousua kuvaavat taulukot tehtiin Pöyryn laatimilla yksikköhintatiedoilla.

Rakentamiskustannuksissa suurin menoerä on rakennuksen seinät. Rakennuksen ulkoseinärakenne oli 150 mm:n sandwich-paneeli. Seinärakenteen rakentamiskustannuksen kasvu on lineaarista ja helposti laskettavissa yksikköhintojen avulla. Seinien rakentamiskustannukset laskettiin seinien pinta-alan perusteella ja niihin sisältyvät nurkkien pellitykset. (Taulukko 7.)



TAULUKKO 7. Materiaalikustannukset eri halleille



Rakennuksen rungon rakentamiskustannus oli toiseksi suurin menoerä neljässä korkeimmassa hallissa. Rungon rakentamiskustannuksen kasvaminen ei ole suoraviivaista. Rakennuksen korkeutta lisättäessä rungon rakentamiskustannuksien kasvu kiihtyy. Rungon rakentamiskustannus laskettiin teräsmäärien perusteella. Rakennuksen rungossa suurin menoerä olivat pilarit. (Taulukko 7.)

Katon rakentamiskustannus oli toiseksi suurin menoerä matalimmassa rakennuksessa, muissa rakennuksissa kolmanneksi suurin. Kattorakenteena oli eristetty poimulevykatto. Katon rakentamiskustannus laskettiin neliöhinnan perusteella. Katon rakentamiskustannukset säilyvät samana, sillä korkeuden muutos ei lisää rakentamiskustannuksia. (Taulukko 7.)

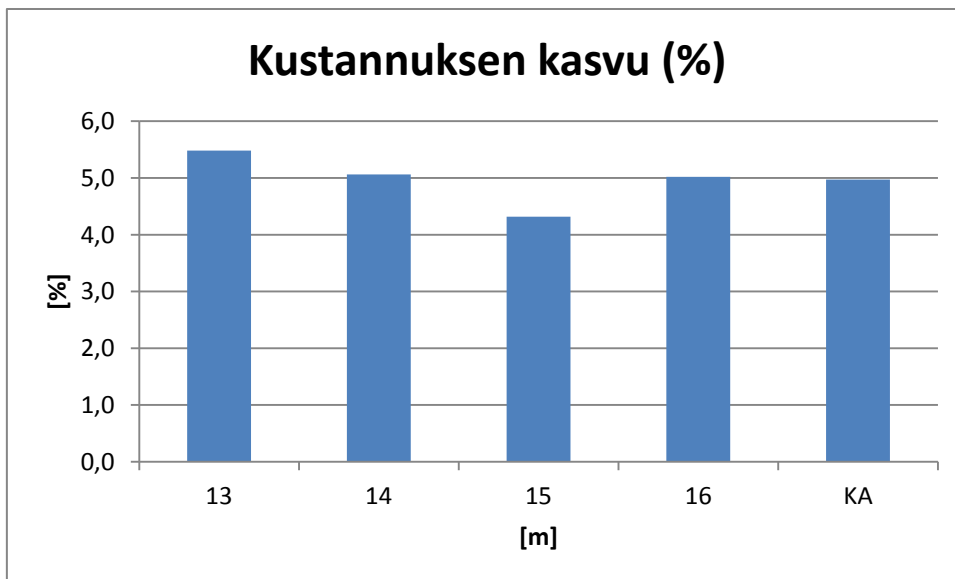
Sähkötyökustannukset olivat neljänneksi suurin menoerä ja kustannus laskettiin rakennuksen bruttoalan perusteella. Sähkötyökustannuksetkin pysyivät samana, vaikka todellisuudessa kustannukset lisääntyisivät hieman korkeutta lisättäessä. (Taulukko 7.)

Lattian ja perustuksien kustannukset tulevat viimeisinä menoerinä. Lattian ja perustuksien rakennusmateriaalina käytetään teräsbetonia. Lattian rakentamiskustannukset säilyvät samana kaikissa rakennuksissa pohjapinta-alan ollessa vakio. (Taulukko 7.)

Perustuksien rakentamiskustannuksien kasvu on maltillista, mutta hallin korkeuden kasvaessa rakenteiden kuormat kasvavat aiheuttaen lisäkustannuksia. Rakenteiden vaakakuormien kasvaminen vaikuttaa eniten jäykistävien rakenteiden alla olevien perustuksien kokoon. Perustuksien rakentamiskustannus on pienimmissä halleissa pienempi menoerä kuin lattia, mutta korkeuden muuttuessa rakentamiskustannus kasvaa lattian kustannusten ohitse. (Taulukko 7, s. 33.)

Rakentamiskustannuksen kasvu rakennuksen tilavuutta lisättäessä korkeutta muuttamalla oli yhden metrin muutoksella keskimäärin 5,0 % keskihajonnan ollessa 0,4 %. Pieni hajonta rakentamiskustannusten kasvuun tuli, koska rungon ja perustuksien mitoittamisessa käytetään tiettyjä levy- ja anturakokoja. (Taulukko 8.)

TAULUKKO 8. *Rakentamiskustannuksen muutos*



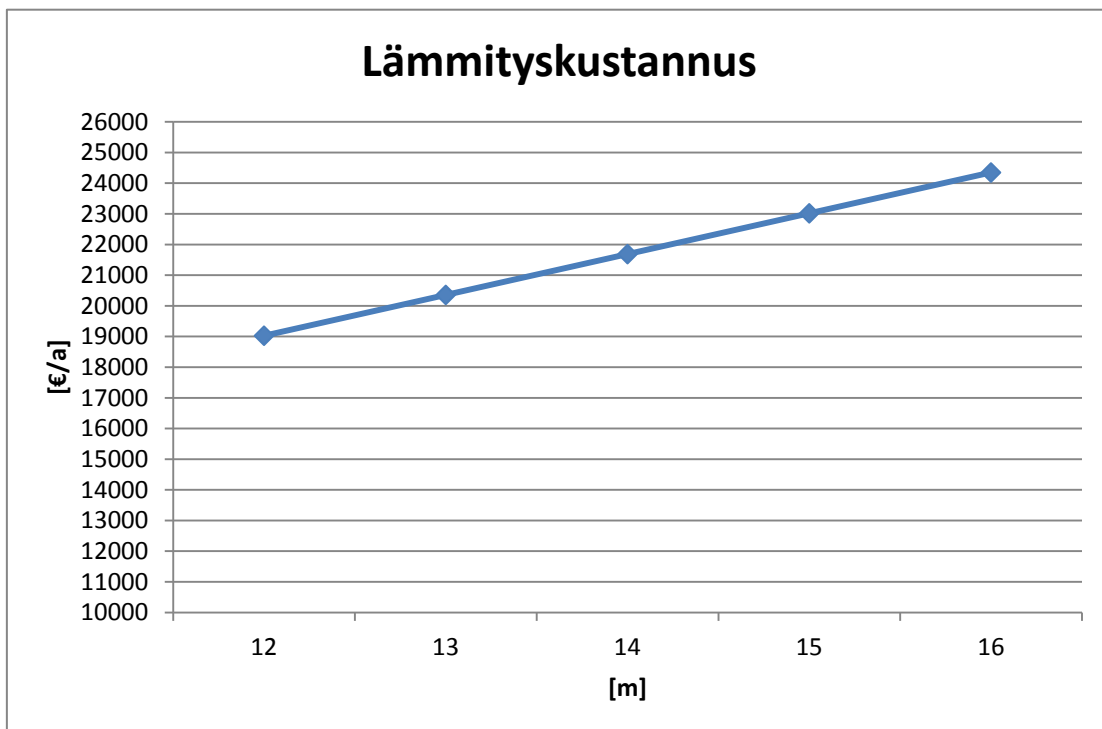
### 4.3 Lämmitystilavuuden tuomat kustannukset

Lämmityskustannus laskettiin lämmön ominaiskulutuksen perusteella. Lämmön ominaiskulutus saatiin Motivan taulukosta, ominaiskulutus on 24,0 kWh/r-m<sup>3</sup>. (Liite 4). Rakennuksessa on käytetty ilmanvaihdon vaihtuvuutena yhden kerran tunnissa ja ilmanvaihtokoneen LTO on 40 %.

Lämpöenergian hinta otettiin Raahen Energian kotisivuilta internetistä. Lämpötuottomuotona käytettiin kaukolämpöä. Lämpöenergian hinta oli 45,37 €/MWh. Kaukolämmön hinta sisältää alv:n (24 %). (9, s. 1.)

Kun kyseisen rakennuksen korkeutta lisätään metrillä, lämmityskustannus kasvaa 1331 € vuodessa (6,5 %). Lämmityskustannukset vuodessa ovat 19 000 ja 24 400 € välissä kyseessä olevilla lämmitystilavuuksilla. (Taulukko 9.)

TAULUKKO 9. Lämmityskustannus vuodessa



## 5 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli laskea rakentamiskustannuksen kasvulle kertoimet, kun rakennuksen tilavuutta muutetaan korkeutta lisäämällä. Työssä mitoitettiin viisi rakennusta, joista laskettiin rakennusmateriaalin määrät. Rakennusmateriaalien määristä laskettiin rakentamiskustannukset käyttäen Pöyryn ja Haahtelan Talonrakennuksen Kustannustieto 2013 -kirjan yksikköhintatietoja. Lisäksi työssä arvioitiin lämmitystilavuuden muutoksen tuomia kustannuksia. Opinnäytetyön tilaajana oli Pöyry Finland Oy.

Kun rakennuksen tilavuutta lisättiin metrin korkeuden muutoksella, rakentamiskustannukset kasvoivat 5 %, keskihajonta oli 0,4 %. Lämmitystilavuuden lisäyksestä aiheutuva lämmityskustannus kasvoi 6,5 %.

Opinnäytetyössä päästiin aloituspöytäkirjassa mainittuihin tavoitteisiin. (Liite 1.) Rakennukset mitoitettiin, kustannukset laskettiin ja hintoja vertailtiin. Tulokseksi saatiin rakentamiskustannuksen lisäys, mikä aiheutuu rakennuksen tilavuuden muutoksesta.

## LÄHTEET

1. EN1993-1-1. Eurokoodi 3. Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-1. Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt.
2. Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus. 2010. Eurocode 3 oppikirja. Helsinki: Teräsrakenneyhdistys ry.
3. Rakenneputket. 2012. EN 1993 -käsikirja 2012. Hämeenlinna: Rautaruukki Oyj.
4. EN1993-1-8. Eurokoodi 3. Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-8. Liitosten mitoitus.
5. RIL 207-2009. 2009. Geotekninen suunnittelu. Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL oy.
6. RIL 201-1-2008. 2008. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL Oy.
7. EN1991-1-4. Eurokoodi 1. Rakenteiden kuormat. Yleiset kuormat. Osa 1-4. Tuulikuormat.
8. Uudet lämmönmyyntitariffit 1.5.2012 lukien. Saatavissa:  
[http://www.raahenenergia.fi/download/992/lammonmyyntitariffi\\_1113pdf/pdf](http://www.raahenenergia.fi/download/992/lammonmyyntitariffi_1113pdf/pdf).  
Hakupäivä 12.4.2012.
9. Lämpöenergian vuosittaisia rakennustyyppikohtaisia ominaiskulutuksia. Saatavissa:  
<http://www.motiva.fi/files/6961/Lampo.pdf>.  
Hakupäivä 12.4.2012.
10. Talonrakennuksen kustannustieto 2013. Tampere: Haahtela-kehitys Oy.



## LÄHTÖTIETOMUISTIO

Työn tiedot	Tekijä <sup>1</sup>	Tilaaaja <sup>2</sup>
	Samuli Äijälä	Pöyry Finland Oy
	Tilaaajan yhdyshenkilö ja yhteystiedot <sup>3</sup>	
	Risto Jyrkkä, p. 010 33 28640	
	Työn nimi <sup>4</sup>	
	<b>Teräsrakenteisen teollisuushallin korkeuden muutoksen vaikutus rakennuskustannuksiin</b>	
	Työn kuvaus <sup>5</sup>	
	Suunnitellaan Autodesk Robot Structural -suunnitteluohjelmalla teräsrakenteinen, puolilämmin teollisuushalli Raahan maasto-olosuhteisiin, jonka korkeutta varioidaan 3-5 erikorkeuksista hallia. Hallin pohjapinta-ala on 25x48 m (vakio) ja korkeudet 12-16 m, kehäväli 6 m. Kattokannattajina toimii putkiristikot, pilarit ovat mastojäykisteisiä. Halliin tulee 20 t siltanosturi ja nosturin jarrukuormat otetaan vastaan toiseen päähän kattoristikoiden väliin tulevalla ristikolla. Perustuksien sallittu pohjapaine on 300 kN/m <sup>2</sup> . Hallit mitoitetaan noin 90 % käyttöasteelle Eurokoodien mukaisesti.	
Työn tavoitteet <sup>6</sup>		
Työn tavoitteena on saada laskettua kustannuskertoimet, kun hallin korkeus muuttuu. Lasketaan materiaalien (betoni, teräs, kuorineliöt, katonneliöt, lattianeliöt) määrät, josta lasketaan kustannukset käyttäen Pöyryn tilastoja ja verraten talonrakennuksen yleisiin kustannustietoihin. Lisäksi työssä arvioidaan lämmityskustannuksen kasvu tilavuusmuutosten vuoksi (Pöyryn tilastot).		
Tavoiteaikataulu <sup>7</sup>		
Työn valmistuminen 15.4.2013 mennessä.		
Päiväys ja allekirjoitukset <sup>8</sup>		
01/02/2013 Tekijän allekirjoitus Samuli Äijälä	01/02/2013 Tilaaajan allekirjoitus Risto Jyrkkä	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tekijän nimi, puhelinnumero ja sähköpostiosoite.</li> <li>2. Työn teettävän yrityksen virallinen nimi.</li> <li>3. Sen henkilön nimi ja yhteystiedot, joka yrityksessä valvoo työn suoritusta.</li> <li>4. Työn nimi voi olla tässä vaiheessa työnimi, jota myöhemmin tarkennetaan.</li> <li>5. Työ kuvataan lyhyesti. Siinä esitetään muun muassa työn tausta, lähtötilanne ja työssä ratkaistavat ongelmat.</li> <li>6. Esitetään lyhyesti ja selvästi työn tavoitteet</li> <li>7. Esitetään projektin tavoiteaikataulu. Silloin, kun työllä on välitavoitteita, myös ne merkitään aikatauluun. Tavoiteaikataulun ja oppilaitoksen yleisaikataulun perusteella tekijä laatii oman aikataulunsa.</li> <li>8. Lähtötietomuistio päivätään ja sen allekirjoittavat tekijä ja tilaaajan yhdyshenkilö</li> </ol>		

## Rakennejärjestelmän esittely (halli\_12)

kohteen nimi	teräshalli
kohde	Raaha
seuraamuluokka	CC2
paloluokka	P2
pääasiallinen rakennusmateriaali	teräs
pääasiallinen rakennustapa	konepajalla valmistus . asennus työmaalla
kerrosluku	1
jänneväli	$b := 25 \text{ m}$
korkeus	$H := 12 \text{ m}$
pituus	$d := 48 \text{ m}$
kehäjako	$s := 6 \text{ m}$
orsiväli	$r := 3.1 \text{ m}$

$$\text{kokonaiskorkeus} \quad h := H + \left(\frac{b}{10}\right) = 14.5 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{pilarinkorkeus} \\ \text{todellisuudessa } 300 \text{ mm} \\ \text{lyhyempi} \end{aligned} \quad h_p := H + \left(\frac{b}{10}\right) - \left(\frac{b}{2}\right) = 13.719 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{pinta-ala} \\ \text{kohteen kuvaus} \end{aligned} \quad d \cdot b = (1.2 \cdot 10^3) \text{ m}^2 \\ \text{teräsrunkoinen puolilämmin}$$

## Kuormat

## pystykuormat

Hallin pystykuormat koostuvat yläpohjan ja pääkannattimien omasta painosta ja lumikuormasta. Rakennus sijaitsee Raahessa, joten maanpinnan lumikuorman ominaisarvo on,

$$s_k := 2.1 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

## kattorakenteiden paino

$$g_{k1} := 0.4 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\text{ripustuskuormat} \quad 23 \cdot \frac{9.81}{1000} = 0.226$$

$$g_{k2} := 0.24 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\text{ristikon omapaino ohjelmasta}$$

$$g_{k3} := 1 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad (\text{oletus})$$

lumikuorman ominaisarvot maanpinnan lk ominaisarvo	$s_k := 2.1 \cdot \frac{kN}{m^2}$
harjakaton muotokerroin (RIL_s.95)	$\mu_1 := 0.8$
katolla olevan lumikuorman ominaisarvo	$q_k := s_k \cdot \mu_1 = 1.68 \frac{kN}{m^2}$
nivelpisteeseen tuleva (ominais-□)	
lumikuorma	$F_{sd} := q_k \cdot r \cdot s = 31.248 \text{ kN}$
omapaino	$F_{gd} := g_{k1} \cdot r \cdot s = 7.44 \text{ kN}$
päätypalkille tuleva lumikuorma	
omapaino	$q_{sd} := q_k \cdot \frac{s}{2} = 5.04 \frac{kN}{m}$
	$g_d := g_{k1} \cdot \frac{s}{2} = 1.2 \frac{kN}{m}$
vaakakuormat	
tuulikuormat määritetään Pöyryn laskentapohjalla	
puuskanopeuspaine	$q_{pz} := 0.816 \frac{kN}{m^2}$
Tuuli päätyyn	
D sisäänpäin muut ulospäin	
alue D	$W_{max,D} := 0.822 \frac{kN}{m^2}$
alue A	$W_{max,A} := 1.142 \frac{kN}{m^2}$
alue B	$W_{max,B} := 0.816 \frac{kN}{m^2}$
alue C	$W_{max,C} := 0.571 \frac{kN}{m^2}$
alue E	$W_{max,E} := 0.419 \frac{kN}{m^2}$



$$q_{wd,tuulip}_i := W_{max,D} \cdot \frac{b}{4} = 5.138 \frac{kN}{m}$$

$$q_{wd,nurkkap}_i := W_{max,D} \cdot \frac{b}{8} = 2.569 \frac{kN}{m}$$

$$q_{wd,tuulip}_e := W_{max,E} \cdot \frac{b}{4} = 2.619 \frac{kN}{m}$$

$$q_{wd,nurkkap}_e := W_{max,E} \cdot \frac{b}{8} = 1.309 \frac{kN}{m}$$

Alueen A leveys 5.8 m

$$q_{wd,seinä}_A := W_{max,A} \cdot \frac{s}{2} = 3.426 \frac{kN}{m}$$

$$q_{wd,seinä}_B := W_{max,B} \cdot \frac{s}{2} = 2.448 \frac{kN}{m}$$

$$q_{wd,seinä}_B := W_{max,B} \cdot s = 4.896 \frac{kN}{m}$$

$$q_{wd,seinä}_C := W_{max,C} \cdot s = 3.426 \frac{kN}{m}$$

$$q_{wd,seinä}_C := W_{max,C} \cdot \frac{s}{2} = 1.713 \frac{kN}{m}$$

Tuuli sivulle

D sisäänpäin muut ulospäin

$$W_{max,Ds} := 0.852 \frac{kN}{m^2}$$

$$W_{max,As} := 1.142 \frac{kN}{m^2}$$

$$W_{max,Bs} := 0.816 \frac{kN}{m^2}$$



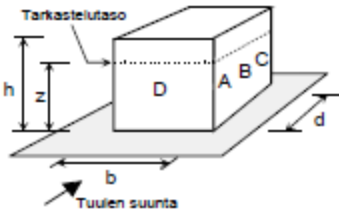
alue C		$W_{max.Cs} := 0.571 \frac{kN}{m^2}$	
alue E		$W_{max.Es} := 0.480 \frac{kN}{m^2}$	
alue D			
kehät	1	9	$q_{wd.seinä.D1} := W_{max.Ds} \cdot \frac{s}{2} = 2.556 \frac{kN}{m}$
välikehät		$q_{wd.seinä.D} := W_{max.Ds} \cdot s = 5.112 \frac{kN}{m}$	
tuulipilari_1mu	1	$q_{wd.tuulip.AB} := W_{max.Bs} \cdot \frac{b}{8} + W_{max.As} \cdot \frac{b}{8} = 6.119 \frac{kN}{m}$	
tuulipilari_1mu	2	3	$q_{wd.tuulip.B} := W_{max.Bs} \cdot \frac{b}{4} = 5.1 \frac{kN}{m}$
nurkkapilari_1mu	1	$q_{wd.nurkkap.A} := W_{max.As} \cdot \frac{b}{8} = 3.569 \frac{kN}{m}$	
nurkkapilari_1mu	2	$q_{wd.nurkkap.A} := W_{max.Bs} \cdot \frac{b}{8} = 2.55 \frac{kN}{m}$	
alue E			
kehät	1	9	$q_{wd.seinä.E1} := W_{max.Es} \cdot \frac{s}{2} = 1.44 \frac{kN}{m}$
välikehät		$q_{wd.seinä.E} := W_{max.Es} \cdot s = 2.88 \frac{kN}{m}$	
Tuuli katolle			
$b := d$			
$e := \min(b, 2 \cdot h) = 29 \text{ m}$	$\frac{e}{4} = 7.25 \text{ m}$	$\frac{e}{10} = 2.9 \text{ m}$	$\frac{e}{2} = 14.5 \text{ m}$
positiiviset nostetta			
$F_k := 1.65 \frac{kN}{m^2}$			



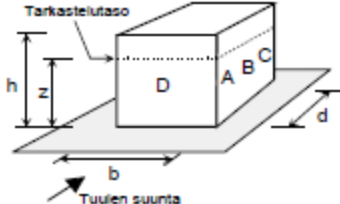
$$G_k := 1.16 \frac{kN}{m^2}$$

$$H_k := 0.74 \frac{kN}{m^2}$$

$$I_{k1} := 0.33 \frac{kN}{m^2}$$

$$I_{k2} := -0.41 \frac{kN}{m^2}$$

		Rakennelaskelma	
		Rakennuskohde:	
Työ no:		Päiväys: 2.2.2013	
		Sisältö: Halli 1	Sijainti: Raahе
M10 Tuulikuorma Eurocode EN1991-1-4:n mukaan			Versio 1.5
 Toteutettu SKOL Eurocode-laskentapohjahankkeessa 2008-2011			
Maastoluokka = 1 Tuulen nopeuden perusarvo = 21 Maaston kaltevuus $\Phi$ = 0 Sijaintikerroin S = 0,8 Ilman tiheys $\rho$ = 1,25 kg/m <sup>3</sup> Korkeus maanpinnasta z = 13,7 m		Rakennuksen mitat: h = 14,5 m d = 48,0 m b = 25,0 m  Sisäisen paineen kertoimet: Ylipaine C <sub>pi</sub> = 0,20 Alipaine C <sub>pi</sub> = -0,30 Pinta-ala A = 10 m <sup>2</sup>	
Puuskanopeuspaine: $q_p(z) = 815,9 \text{ N/m}^2$ $q_p(h) = 825,6 \text{ N/m}^2$			
Kuormat seinässä: Seinässä D suunta on sisäänpäin, muissa ulospäin.			
	Kuorma	Leveys	
A:	1142,3 N/m <sup>2</sup>	5 m	
B:	815,9 N/m <sup>2</sup>	20 m	
C:	571,1 N/m <sup>2</sup>	23 m	
D:	821,6 N/m <sup>2</sup>	25,0 m	
E:	419,3 N/m <sup>2</sup>	25,0 m	
Kuormat tasakatolla: Positiivinen suunta on ylöspäin.			
	Kuorma	Leveys	
F:	1651,2 N/m <sup>2</sup>	2,5 m	
G:	1155,8 N/m <sup>2</sup>	2,5 m	
H:	743,0 N/m <sup>2</sup>	10 m	
I:	330,2 N/m <sup>2</sup>	35,5 m	
I:	-412,8 N/m <sup>2</sup>	35,5 m	

		Rakennelaskelma																			
		Tekijä: Samuli Aijälä	Sivu: 1(1)	Päiväys: 2.2.2013																	
Rakennuskohde:	Työ no:	Sisältö: Halli 1	Sijainti: Raahe																		
M10 Tuulikuorma Eurocode EN1991-1-4:n mukaan			Versio 1.5																		
 Toteutettu SKOL Eurocode-laskentapohjahankkeessa 2008-2011																					
Maastoluokka = 1 Tuulen nopeuden perusarvo = 21 Maaston kaltevuus $\Phi$ = 0 Sijaintikerroin S = 0,8 Ilman tiheys $\rho$ = 1,25 kg/m <sup>3</sup> Korkeus maanpinnasta z = 13,7 m	Rakennuksen mitat: h = 14,5 m d = 25,0 m b = 48,0 m	Sisäisen paineen kertoimet: Ylipaine C <sub>pi</sub> = 0,20 Alipaine C <sub>pi</sub> = -0,30 Pinta-ala A = 10 m <sup>2</sup>																			
Puuskanopeuspaine: $q_p(z) = 815,9 \text{ N/m}^2$ $q_p(h) = 825,6 \text{ N/m}^2$																					
Kuormat seinässä: Seinässä D suunta on sisäänpäin, muissa ulospäin.	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Kuorma</th> <th>Leveys</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A:</td> <td>1142,3 N/m<sup>2</sup></td> <td>5,8 m</td> </tr> <tr> <td>B:</td> <td>815,9 N/m<sup>2</sup></td> <td>19,2 m</td> </tr> <tr> <td>C:</td> <td>571,1 N/m<sup>2</sup></td> <td>0 m</td> </tr> <tr> <td>D:</td> <td>851,8 N/m<sup>2</sup></td> <td>48,0 m</td> </tr> <tr> <td>E:</td> <td>479,8 N/m<sup>2</sup></td> <td>48,0 m</td> </tr> </tbody> </table>		Kuorma	Leveys	A:	1142,3 N/m <sup>2</sup>	5,8 m	B:	815,9 N/m <sup>2</sup>	19,2 m	C:	571,1 N/m <sup>2</sup>	0 m	D:	851,8 N/m <sup>2</sup>	48,0 m	E:	479,8 N/m <sup>2</sup>	48,0 m		
	Kuorma	Leveys																			
A:	1142,3 N/m <sup>2</sup>	5,8 m																			
B:	815,9 N/m <sup>2</sup>	19,2 m																			
C:	571,1 N/m <sup>2</sup>	0 m																			
D:	851,8 N/m <sup>2</sup>	48,0 m																			
E:	479,8 N/m <sup>2</sup>	48,0 m																			
Kuormat tasakatolla: Positiivinen suunta on ylöspäin.	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Kuorma</th> <th>Leveys</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>F:</td> <td>1651,2 N/m<sup>2</sup></td> <td>2,9 m</td> </tr> <tr> <td>G:</td> <td>1155,8 N/m<sup>2</sup></td> <td>2,9 m</td> </tr> <tr> <td>H:</td> <td>743,0 N/m<sup>2</sup></td> <td>11,6 m</td> </tr> <tr> <td>I:</td> <td>330,2 N/m<sup>2</sup></td> <td>10,5 m</td> </tr> <tr> <td>I:</td> <td>-412,8 N/m<sup>2</sup></td> <td>10,5 m</td> </tr> </tbody> </table>		Kuorma	Leveys	F:	1651,2 N/m <sup>2</sup>	2,9 m	G:	1155,8 N/m <sup>2</sup>	2,9 m	H:	743,0 N/m <sup>2</sup>	11,6 m	I:	330,2 N/m <sup>2</sup>	10,5 m	I:	-412,8 N/m <sup>2</sup>	10,5 m		
	Kuorma	Leveys																			
F:	1651,2 N/m <sup>2</sup>	2,9 m																			
G:	1155,8 N/m <sup>2</sup>	2,9 m																			
H:	743,0 N/m <sup>2</sup>	11,6 m																			
I:	330,2 N/m <sup>2</sup>	10,5 m																			
I:	-412,8 N/m <sup>2</sup>	10,5 m																			

## LÄMPÖ

Kohteet vuosilta 2005-2011, 910 kohdetta

Tyyppi	Kohteita	Tilavuus	Lämpö - ominaiskulutus (kWh/r-m <sup>3</sup> )								
			Ennen energiakatselmusta								
TK 1994	kpl	1000 r-m <sup>3</sup>	Min	5 %	10 %	Alakv	Med	Yläkv	90 %	95 %	Max
11 Myymälärakennukset (poislukien Liike- ja tavaratalot, kauppakeskukset)	58	3 101	3,8	6,9	9,3	12,8	<b>19,0</b>	32,3	43,8	49,6	248,6
112 Liike- ja tavaratalot, kauppakeskukset	42	5 402	9,8	11,4	12,0	15,6	<b>24,2</b>	38,7	44,7	55,0	76,0
12 Majoitusliikeyrakennukset	58	2 153	31,6	35,4	41,2	48,2	<b>57,6</b>	68,7	89,5	105,6	144,9
13 Asuntolarakennukset	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
14 Ravintolat yms.	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
15 Toimistorakennukset (kaikki)	136	6 141	6,4	13,4	15,7	23,4	<b>32,2</b>	43,3	55,0	63,7	92,3
15 Toimistorakennukset, julkinen palvelusektori	34	529	8,8	21,6	25,6	33,8	<b>45,6</b>	55,2	64,2	82,3	92,3
15 Toimistorakennukset, yksityinen palvelusektori	102	5 612	6,4	12,8	15,2	21,0	<b>30,5</b>	39,3	48,2	51,9	78,7
16 Liikenteen rakennukset	7	239	5,4	14,6	23,8	38,5	<b>50,3</b>	62,2	76,3	81,5	86,8
21 Terveystieteiden rakennukset (pois lukien Terveyskeskukset ja -asemat)	25	2 140	43,0	49,5	50,9	57,2	<b>72,0</b>	89,3	148,4	158,8	285,6
214 ja 219 Terveyskeskukset ja -asemat	21	258	27,4	31,8	36,8	39,5	<b>52,5</b>	63,0	69,1	72,5	74,2
22 Huoltolaitosrakennukset (pois lukien Vanhainkodit)	5	19	53,5	62,2	70,9	97,1	<b>98,7</b>	102,6	151,6	167,9	184,2
221 Vanhainkodit	22	351	31,0	38,0	38,3	45,5	<b>52,2</b>	69,1	74,8	84,6	110,3
23 Muut sosiaalitoimen rakennukset (pois lukien Päiväkodit)	16	86	42,3	46,4	49,5	56,6	<b>69,8</b>	80,2	98,9	115,3	125,8
231 Päiväkodit	94	342	23,4	35,4	36,9	45,9	<b>59,6</b>	73,5	89,1	96,5	152,1
31 Teatteri- ja konserttirakennukset	8	381	12,0	14,7	17,4	20,8	<b>25,9</b>	38,6	55,9	64,1	72,3
32 Kirjasto-, museo-, ja näyttelyhallirakennukset	15	345	23,8	23,9	25,1	28,7	<b>32,7</b>	38,1	41,2	41,8	43,1
33 Seura- ja kerhorakennukset	9	60	26,7	30,3	34,0	36,7	<b>47,9</b>	62,2	66,6	70,3	74,0
34 Uskonnollisten yhteisöjen rakennukset	10	116	9,5	15,7	21,9	29,0	<b>49,7</b>	64,8	67,4	68,1	68,9
35 Urheilu- ja kuntoilurakennukset (pois lukien Jää- ja uimahallit)	13	398	7,9	8,4	9,5	22,7	<b>45,7</b>	61,1	62,1	91,4	135,1
351 Jäähallit	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
352 Uimahallit	7	195	60,0	69,3	78,7	97,4	<b>104,5</b>	140,1	144,8	145,7	146,7
36 Muut kokoontumisrakennukset	6	180	28,5	32,8	37,0	47,5	<b>60,9</b>	84,8	93,2	94,8	96,3
51 Yleissivistävien oppilaitosten rakennukset	151	2 842	16,9	26,6	30,6	36,0	<b>43,9</b>	57,2	67,9	77,2	145,6
52 Ammatillisten oppilaitosten rakennukset	30	1 316	20,4	21,9	25,1	34,5	<b>37,4</b>	49,5	55,6	57,1	127,2
53 Korkeakoulu- ja tutkimuslaitosrakennukset	4	179	34,2	34,4	34,7	35,4	<b>38,5</b>	46,2	55,5	58,5	61,6
54 Muut opetusrakennukset	6	114	41,0	42,1	43,3	47,1	<b>53,2</b>	58,6	65,7	68,4	71,2
71 Varastorakennukset	19	2 216	5,4	6,2	6,8	12,6	<b>24,0</b>	42,9	51,8	60,1	61,3
72 Palo- ja pelastustoimen rakennukset	12	181	19,8	24,7	29,0	35,9	<b>48,9</b>	58,2	72,9	80,3	88,6
89 Muut maatalousrakennukset	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
93 Muut rakennukset	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd

nd = ei dataa, energiakatselmuskohteita tässä rakennustyyppissä tarkastelukaudella kolme tai alle