

BES 2010

Pilari – palkkirungon jäykistys ja liitosratkaisut

DI Juha Valjus

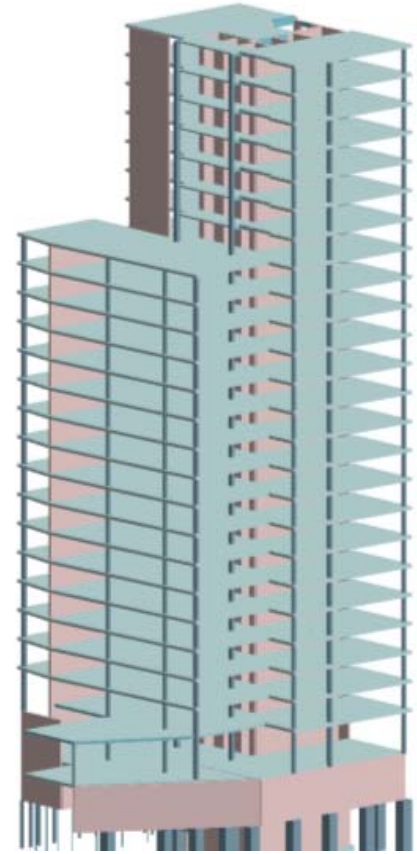
Pilari-palkkirungon jäykistys

Jäykistysjärjestelmät

- Jäykistysjärjestelmän tehtävänä on siirtää rakennukseen kohdistuvien vaakakuormitusten aiheuttamat rasitukset perustuksiin ja maapohjaan.

Jäykistysjärjestelmää suunniteltaessa on huomioitava:

- Jäykistysjärjestelmien osien kapasiteetti ei ylitä missään kuormitustapauksessa
- Rakennuksen ja sen osien muodonmuutokset ja siirtymät pysyvät riittävän pieninä
- Rakenteen staattinen tasapaino on riittävä, toisin sanoen rakenne ei kaadu
- Jatkuva sortuma pyritään estämään ja rajoittamaan määräysten mukaisesti rakenteellisin keinoin onnettomuustilanteissa
- Asennustilanteen jäykistys



Pilari-palkkirungon jäykistys



Elementtirakennuksen jäykistys on yleensä aina vaativa suunnittelutehtävä, koska jäykistysjärjestelmä on yleensä toimiva ja kykenee ottamaan vastaan jäykistyksestä tulevia rasituksia vasta kun eri osien väliset liitokset ovat valmiita.

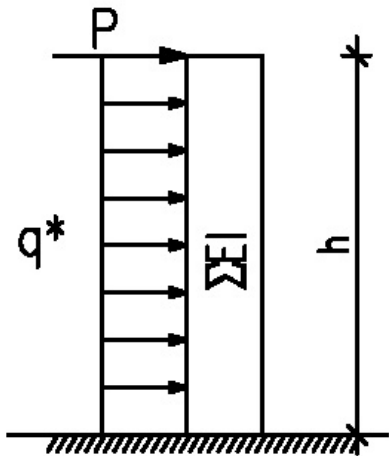


Esimerkki ulkoisista jäykisteistä Hollanti /CORSMIT/

Pilari-palkkirungon jäykistys

Alustava jäykistys suunnittelu riittävän aikaisessa vaiheessa:

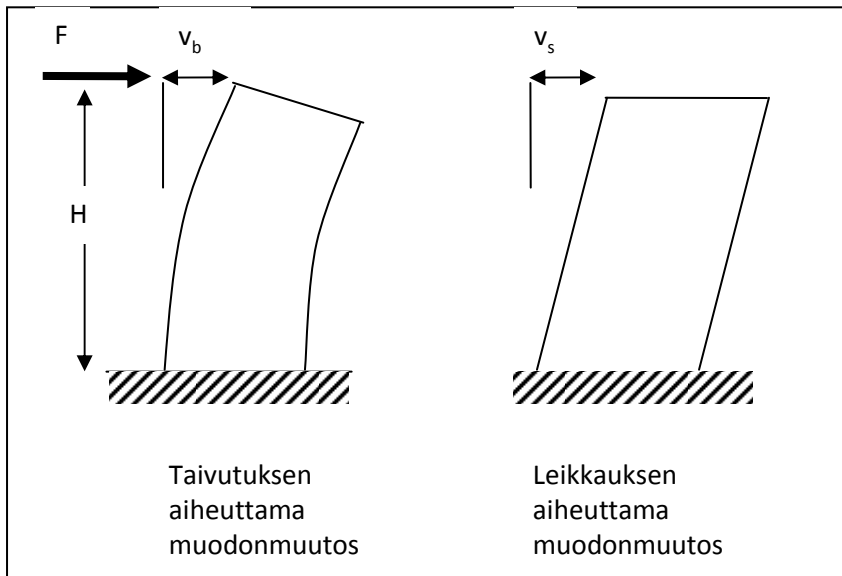
- Arvioidaan, onko rakennus riittävän jäykkä
- Onko jäykistysjärjestelmä symmetrinen
- Pääseekö rakennus kiertymään, jolloin syntyy kiertymästä lisärasituksia jäykisteisiin
- Liikuntasauvojen tarve ja niiden vaikutus rakennuksen jäykistysjärjestelmään
- Onko jäykistäville pystyrakenteille tuleva pystykuorma riittävän suuri, että rakenteeseen ei muodostu vetoa ja / tai halkeilua
- Normaaleissa rakennuskohteissa tulee ankkurointia välttää



$$\sum EI \geq \frac{q^* h^3}{8} + \frac{Ph^2}{3}$$

Kuormien jakaminen jäykistysseinille, periaate

Rakennuksen vaakakuormat jaetaan jäykistävälle rakenteille niiden jäykkyyksien suhteessa. Yleensä oletetaan, että tasot toimivat jäykkinä levyinä ja jakavat vaakakuormat jäykistävälle rakenteille.



$$v_s = F \kappa \frac{H}{GA} \quad v_b = F \frac{H^3}{3EI}$$

$$1/k = \frac{H^3}{3EI} + \kappa \frac{H}{GA}$$

Jäykistyksen laskeminen, mahdollisuuksia

Jäykistyssysteemi voidaan laskea esimerkiksi käyttäen jotain FEM-ohjelmaa tai taulukkolaskentaohjelmia.

Käytettävää laskentamenetelmää mietittäessä on harkittava kohteen vaativuus ja eri laskentamenetelmillä olevat rajoitteet:

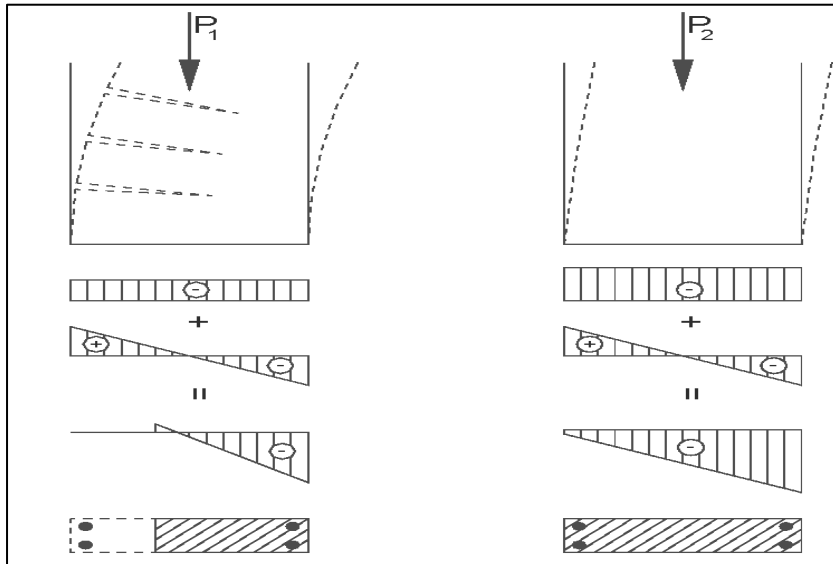
- Laskenta olettaen seinät levyiksi voi joissain tapauksissa johtaa jonkinverran virheelliseen voimien jakaumaan
- Vastaavasti FEM-malli voidaan rakentaa väärin, jolloin sen antamat tulokset ovat myös virheellisiä

FEM-mallit jäykistyksen laskennassa

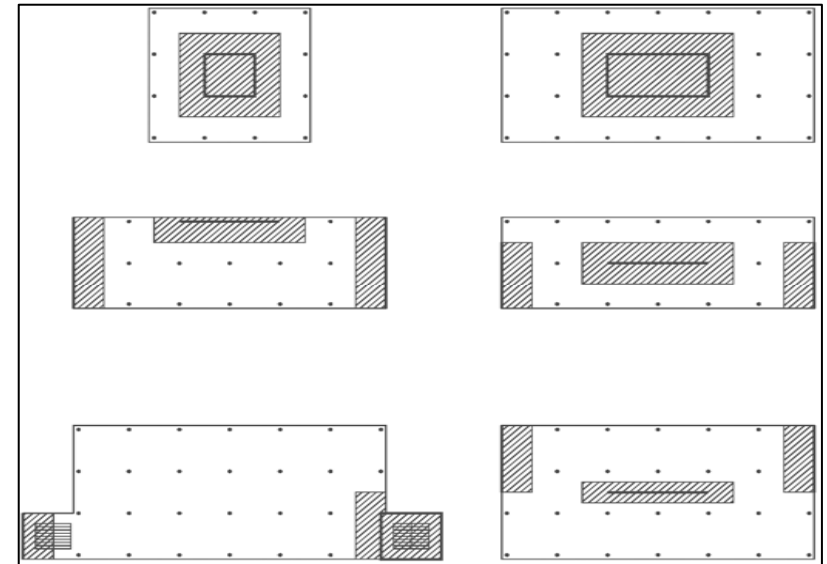
Mallissa on otettava huomioon, että:

- Sauvarakenteiden liittymät on mallinnettu oikein, ortotrooppisuus laatoissa ym.
- Levyrakenteiden liittymät on mallinnettu oikein.
- Laskentamallista on tarkistettava, ettei eri rakennusosien lasketa välittävän sellaisia voimia, joita ne eivät todellisuudessa välitä tai pysty vaurioitumatta välittämään.
- Korkeissa rakennuksissa on mietittävä, kuinka mallinnetaan kantavien seinien väliin tulevan laatan liitos seinään. Seinä ottaa tietyn määrän momenttia ja laatan yläpintaan saattaa syntyä vetoa liitoksen kohdalla, vaikka liitos on periaatteessa nivel.
- Kuilujen nurkkiin liittyvien laattojen rasitukset nurkan läheisyydessä on tarkastettava, ohjelmat voivat olettaa laattojen välittävän sellaisia voimia, joita ne eivät todellisuudessa välitä
- Pienille pilarikannaksille ulkoseinissä saattaa laskentamallissa kertyä sellaisia rasituksia, joita ne eivät kestä
- On tarkistettava, että liitokset todella kykenevät välittämään voimat, jotka ohjelma kuvittelee niiden välittävän (esim. seinien leikkausvoimat pystyliitoksissa)
- Materiaaliominaisuudet ovat oikein (viruma, lujuus ym.)

Pilari-palkkirungon jäykistys



Pystykuorman suuruuden vaikutus jäykistävän seinä halkeiluun



Jäykistysrakenteiden saamia pystykuormia erilaisilla jäykistysrakenteiden sijoituksilla

Jäykistys murtorajatilassa

Jäykistysjärjestelmä mitoitetaan SFS-EN 1990 ja SFS-EN 1992 mukaisesti murtorajatiloissa:

- Jäykän kappaleen tai sen osan tasapainon menetys
- Liian suuri siirtymätila
- Rakenteen tai sen osan muuttuminen mekanismiksi
- Rakenteen tai sen osan stabiiliuden menetys
- Ajasta riippuva vaurioituminen kuten väsyminen tms.
- Tarkistetaan rakennuksen staattinen tasapaino, joka saadaan rakennukseen kohdistuvien pystyssä pitävien ja sitä kaatavien momenttien osamääränä valitun pisteen (piste, jonka ympäri rakennuksen tai jäykistysrakenteen oletetaan kaatuvan) suhteen laskettuna.

Muista asennustilanteen jäykistys!

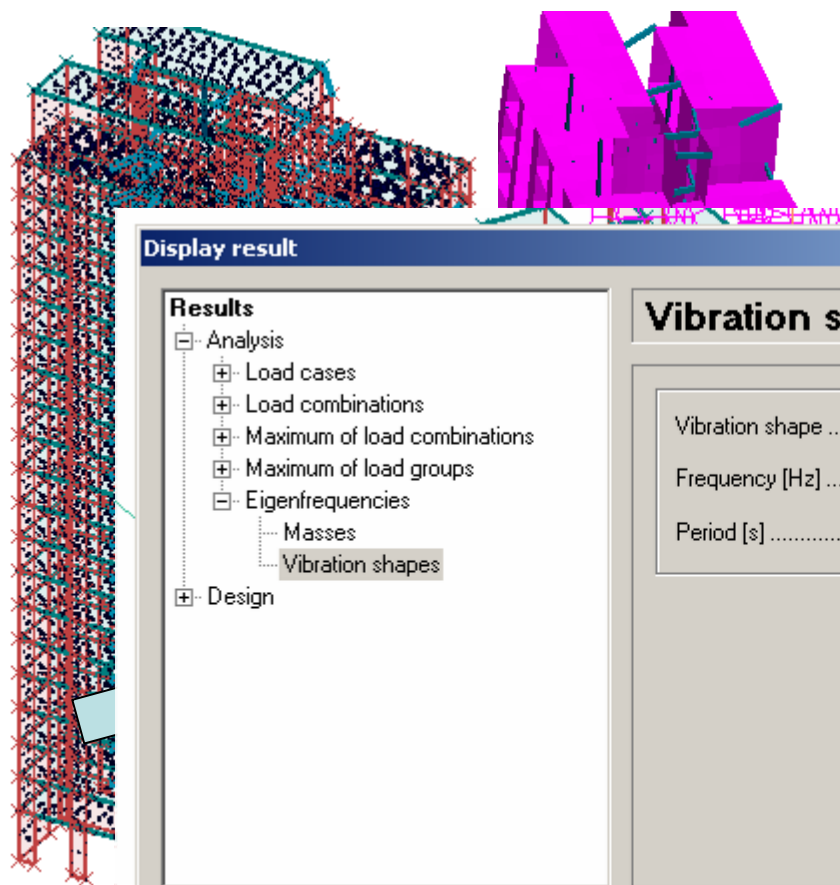
Jäykistys käyttörajatilassa

SFS-EN 1992-1-1 kohdan 7 mukaisesti tarkastetaan käyttörajatilat:

- Jännitysten rajoittaminen
- Halkeamaleveyden rajoittaminen
- Taipuman rajoittaminen

Korkeissa rakennuksissa (ja tietyissä jäykistystyypeissä) saattaa värähtely ja rakenteen taipuma muodostua mitoittavaksi tekijäksi

Kiihtyvyyksien laskenta, FEM-mallia hyödyntäen



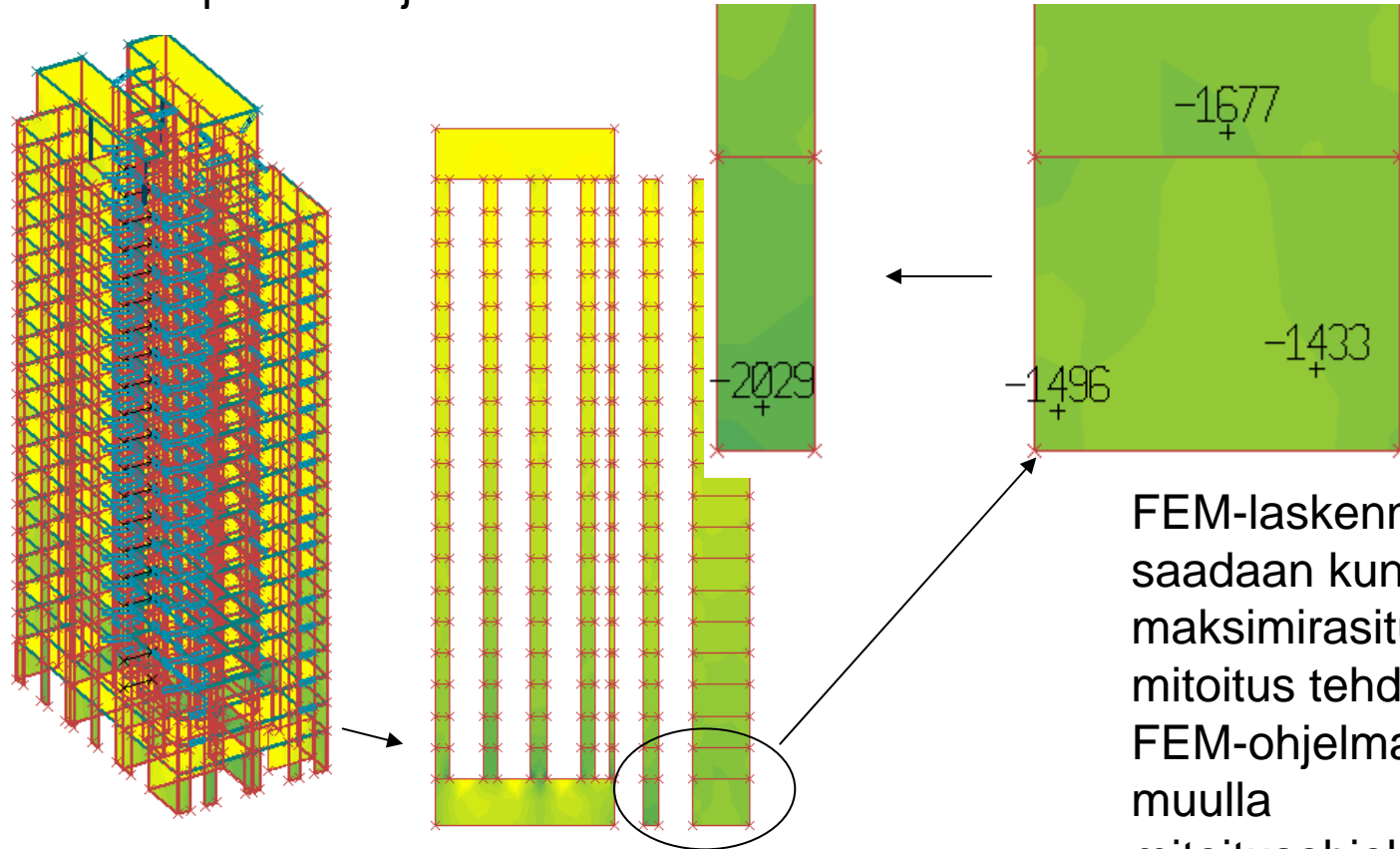
FEM-laskennalla saadaan määritettyä massajakauma. Laskenta joka solmupisteessä (mustat pisteet)

Mallista voidaan määrittää rakennuksen värähtelymuodot

Mallista saadaan ominivärähtelytaajuuudet

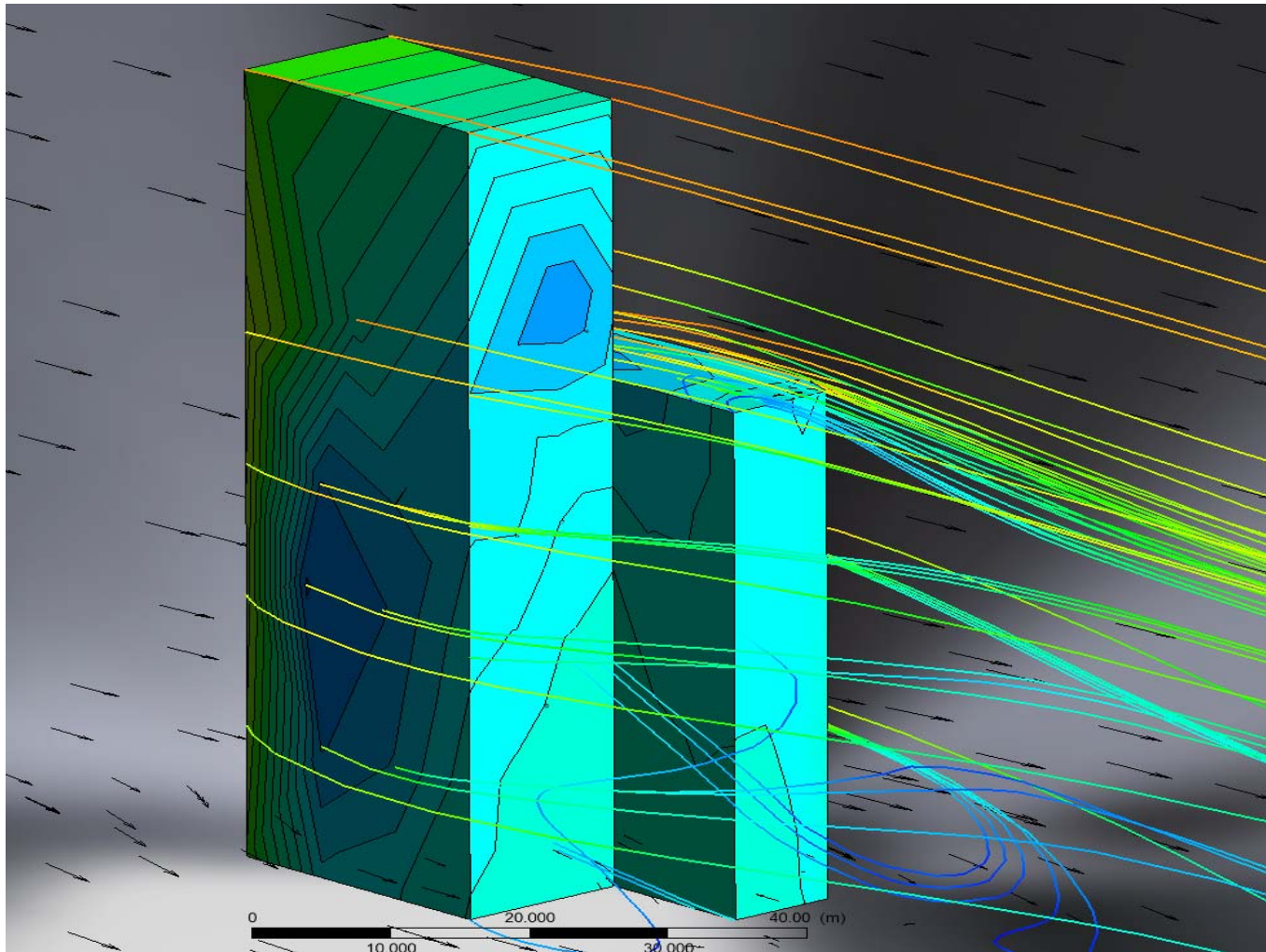
Jäykistysrakenteiden murtorajatilamitoitus

Jäykistysrakenteiden murtorajatilamitoitus ei poikkea muiden rakenteiden mitoituksesta. On muistettava huomioida tarvittaessa toisen kertaluvun rasitukset ja viruminen. Rakenteet mitoitetaan kaikille normien mukaisille kuormitustapauksille ja haetaan kunkin rakenteen maksimirasitus.

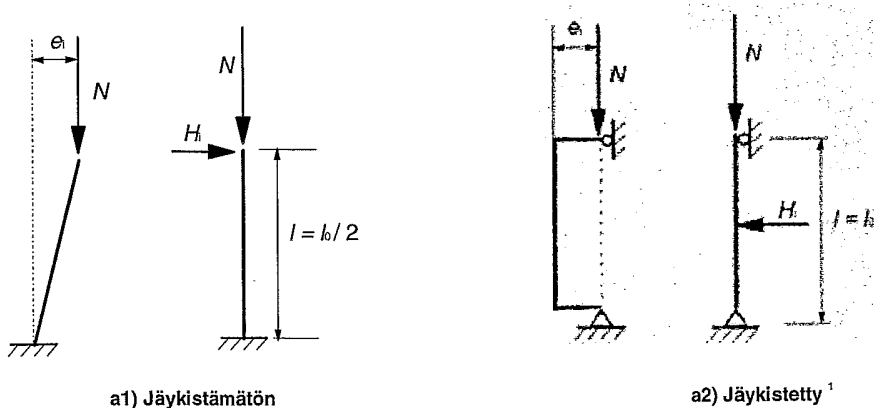


FEM-laskennasta saadaan kunkin seinän maksimirasitukset ja mitoitus tehdään joko FEM-ohjelmassa tai muulla mitoitusohjelmalla.

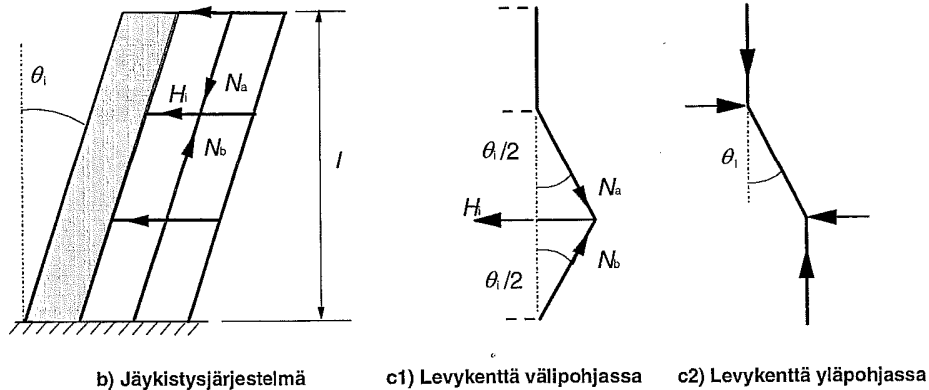
Vaakakuormia, tuulikuormat



Vaakakuormia, rakenteiden vinoudesta



a) Erilliset rakenneosat, joihin vaikuttaa epäkeskinen normaalivoima tai poikittaisvoima



Kuva 5.1 Esimerkkejä mittaepätarkkuuksien vaikutuksesta

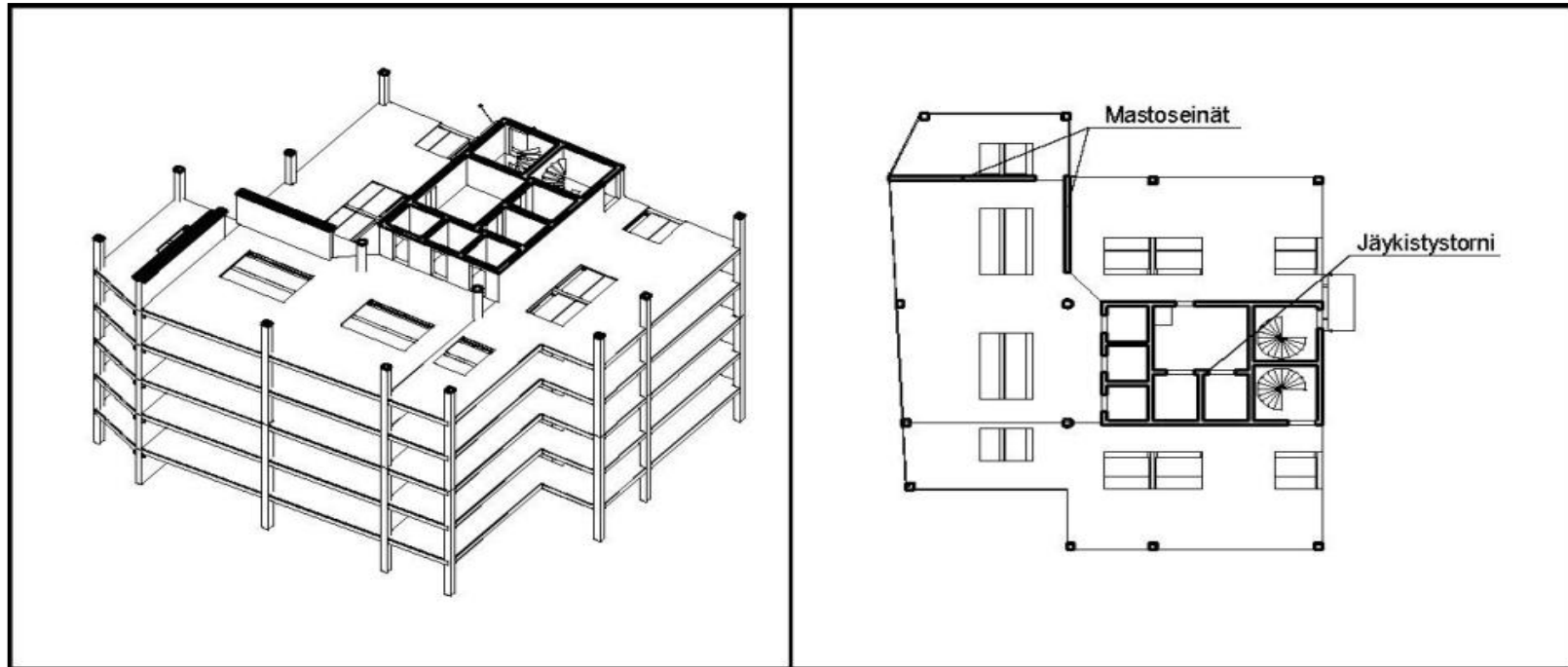
EN 1992-1-1 1/200 jos ei tarkemmin lasketa

Jäykistysmenetelmät

Mahdollisia rakennusrungon jäykistystapoja ovat esimerkiksi:

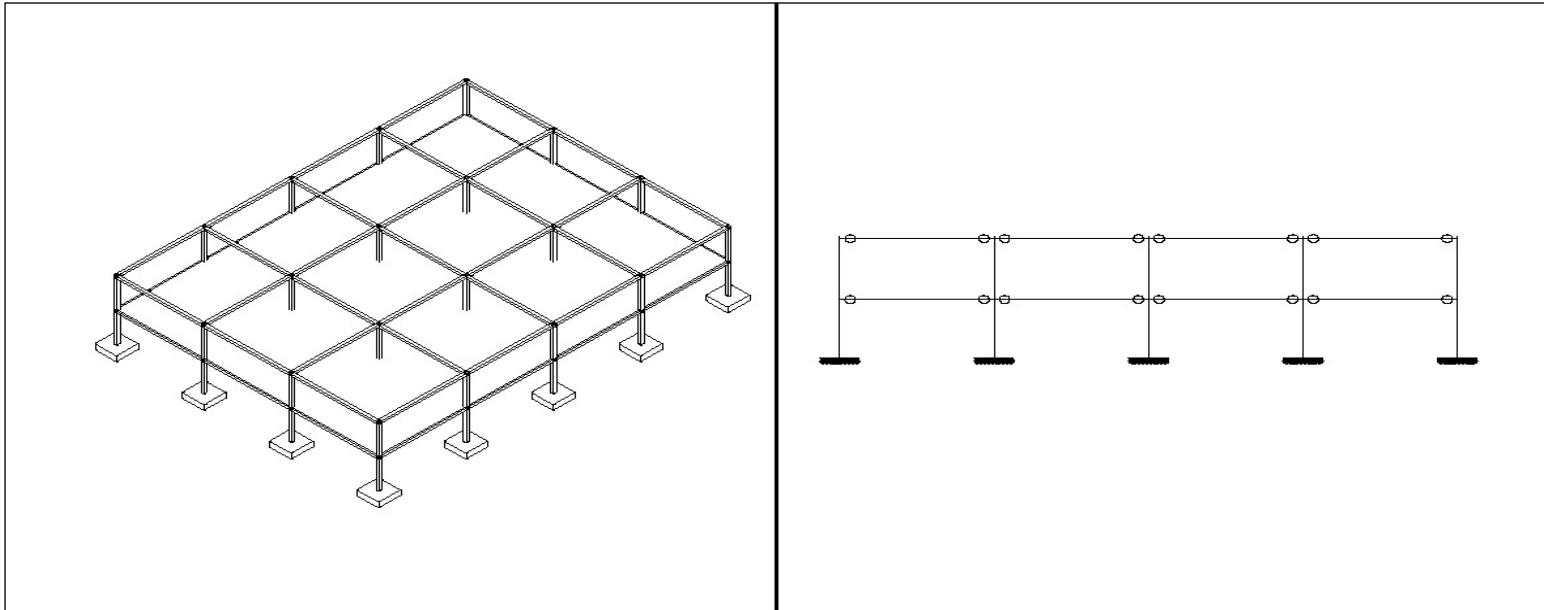
- Mastojäykistys
 - Mastopilarit
 - Mastoseinät
 - Jäykistystorni
- Kehäjäykistys
- Levyjäykistys
- Ristikkojäykistys
- Useiden jäykistystapojen yhdistelmä

Mastojäykistys



Mastojäykistyksessä jäykistävät rakenteet toimivat ulokepalkin tavoin alapäästään jäykästi kiinnitettynä ulokepalkkeina, jolle tasojen vaakarakenteet siirtävät vaakakuormista aiheutuvat rasitukset. Kuormat siirtyvät rakenteille niiden jäykkyyksien suhteessa.

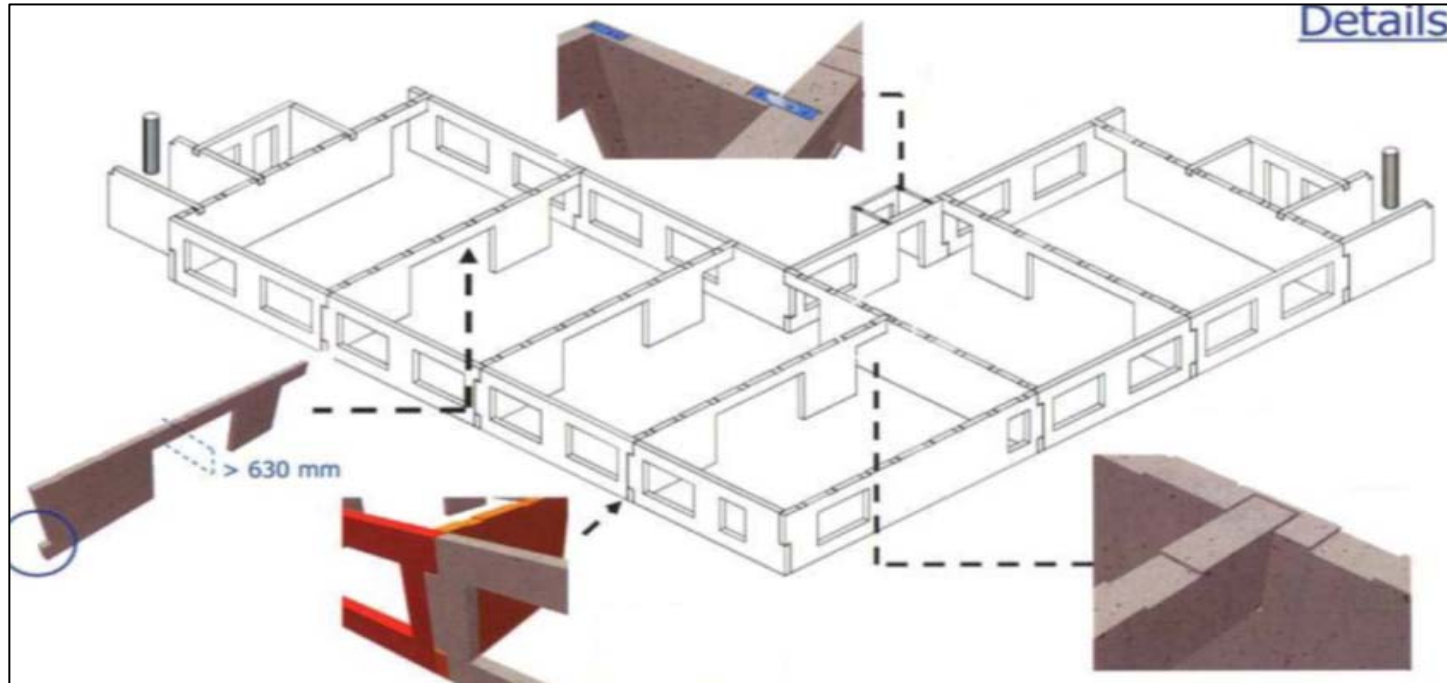
Mastopilarijäykistys



Mastopilarit toimivat jäykästi alapäästään perustuksiin kiinnitettyinä ulokkeina vaakakuormia vastaan.

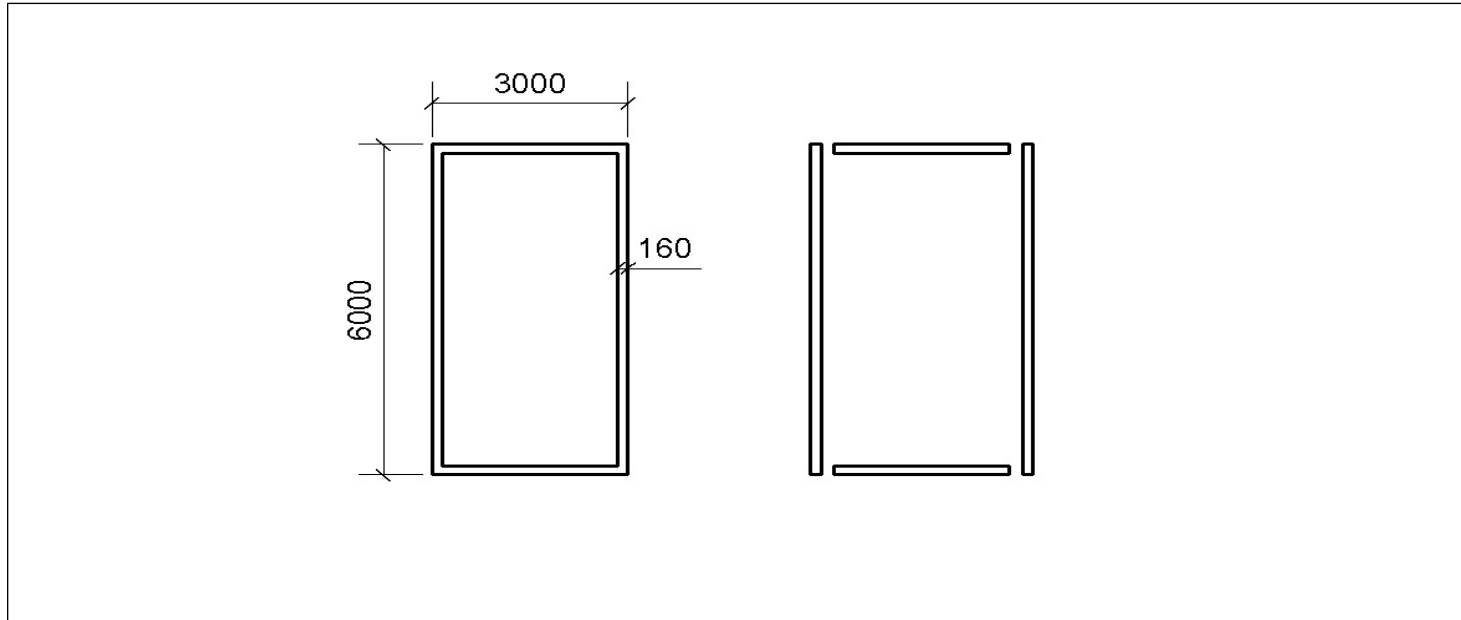
Mastopilarijäykistys soveltuu matalahkoihin 1-3 kerroksisiin rakennuksiin ja käyttökelpoisuuden rajana voidaan pitää n.12m:n korkeutta. Tämän korkeuden jälkeen pilarien vaadittavat poikkileikkausmitat kasvavat epätaloudellisiksi ja siirtymien hallinta vaikeutuu.

Voimien siirtäminen jäykistysseinissä



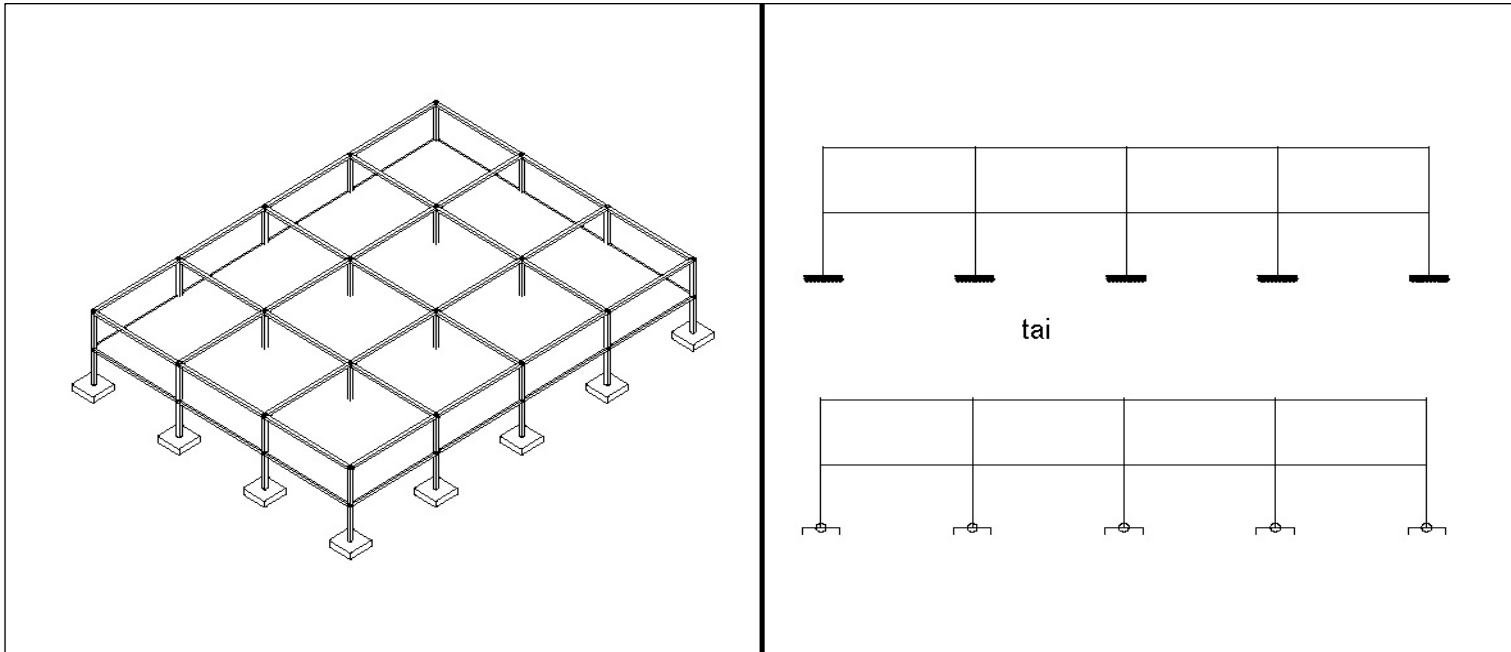
Voimat elementtien liitoksissa voidaan siirtää esimerkiksi Suomessa yleisimmällä tavalla vaijerilenkkiliitoksin tai esimerkiksi kuvan esittämällä tavalla (käytössä Hollannissa).

Jäykistystornit ja jäykistystornien ja – seinien yhdistelmät, jäykkyyksistä



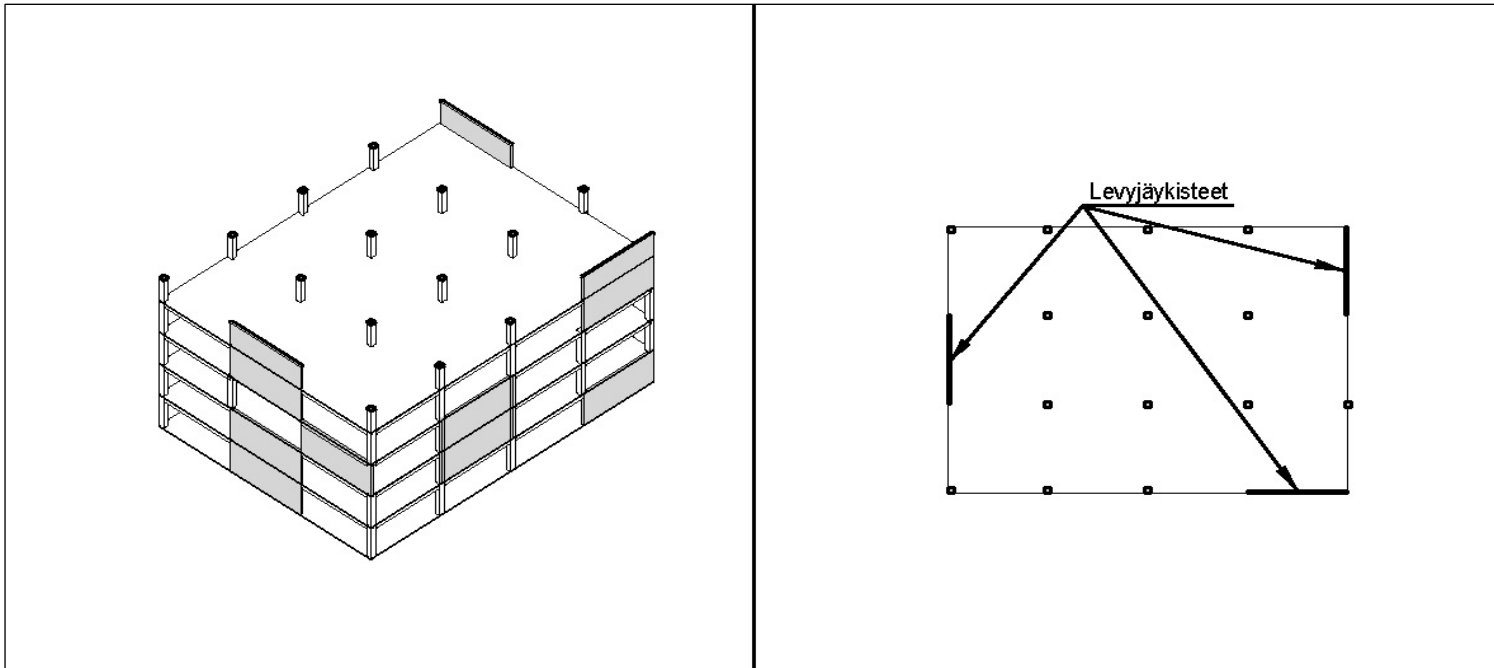
Käytettäessä jäykistystorneja on muistettava mitoittaa tornien eri seinien liittymät liitoksessa vaikuttavalle leikkausvoimalle, jotta rakenteet saadaan toimimaan monoliittisesti yhdessä, muuten voidaan tehdä suuria virheitä voimien jakaumassa. Kuvan mukaisen jäykistystornin jäyhyysmomentti on $I_{\text{xtorni}}=13.07\text{m}^4$ ja vastaavien irrallisten seinien yhteenlaskettu jäyhyysmomentti $I_{\text{xseinät}}=5.76\text{m}^4$ eli vain noin **44 %** tornin jäykkyydestä.

Kehäjäykistys



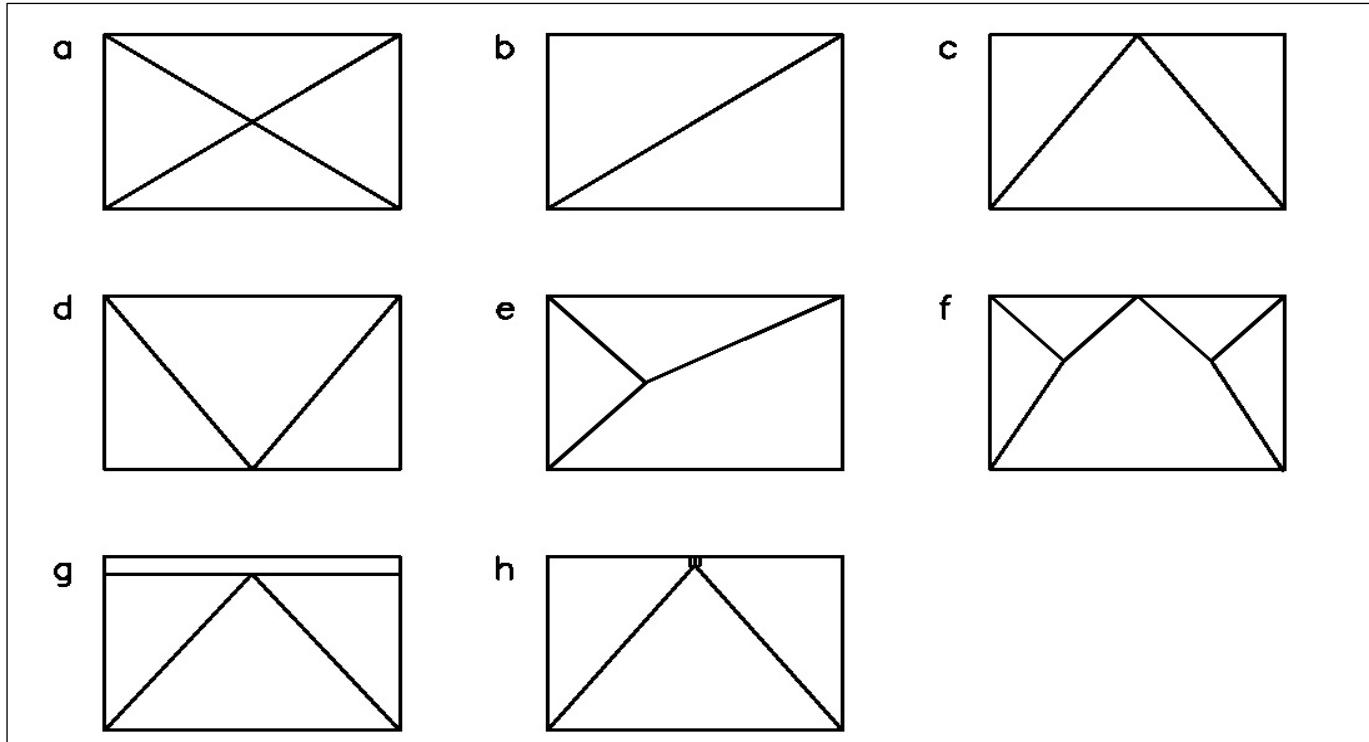
Kehäjäykistys soveltuu parhaiten matalahkoihin 1-3 kerroksisiin rakennuksiin. Rakennneosien mitat myös kasvavat erillisten jäykistävien rakennneosien käyttöön verrattuna. Osittain jäykkänurkkaisella jäykistyksellä rakenteiden vaakasiirtymien hallinta on lisäksi vaikeaa, jos nurkkien liitosten rasitukset lähestyvät niiden kantokykyä.

Levyjäykistys



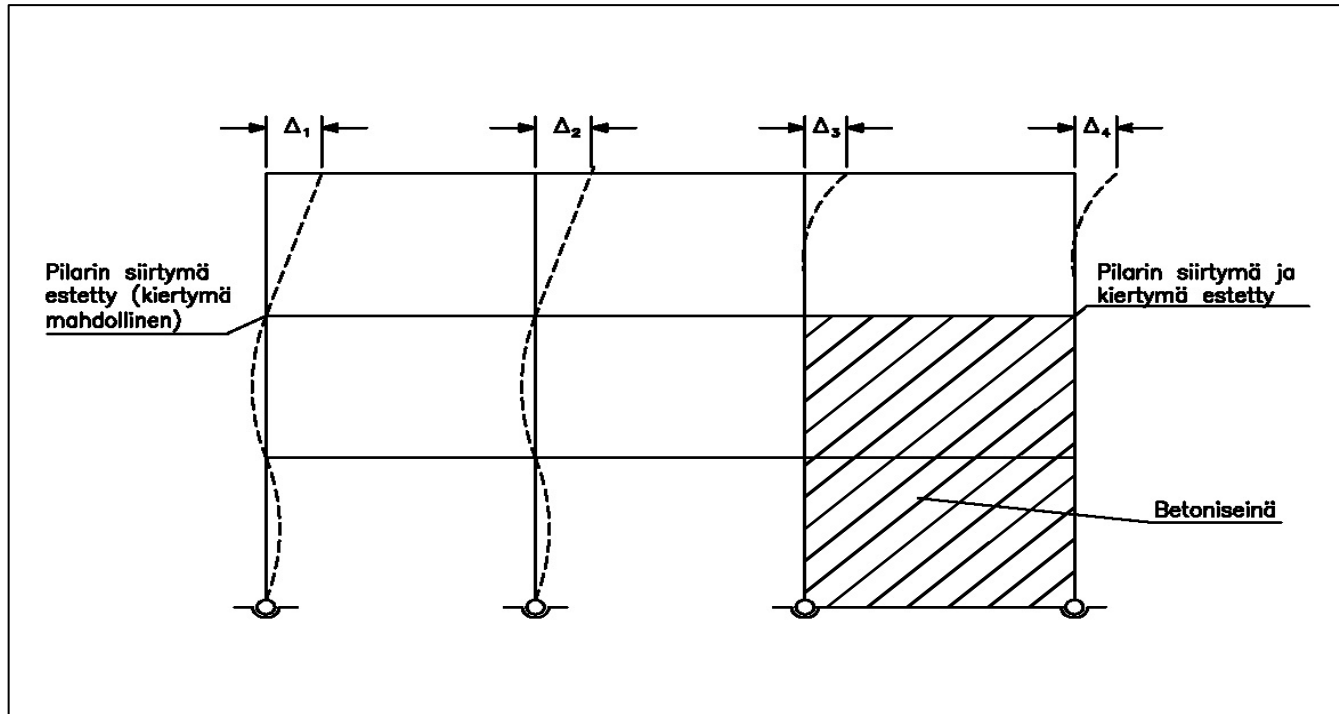
Levyjäykistyksessä rungon aukkoihin sijoitetut levyt jäykistävät rakenteen. Levymäiset rakenteet siirtävät vaakakuormien aiheuttamat rasitukset levyjen leikkausvoimina rakenteille ja perustuksiin. Muista siirtää levyjen aiheuttamat pystykuormat perustuksille.

Ristikkojäykistys



Ristikkojäykistys on toimintaperiaatteeltaan levyjäykistyksen kaltainen. Levyjäykisteet on korvattu veto- ja/tai puristussauvoilla. Kantavan pystyrakenteen osana toimivan jäykistysristikon mitoituksessa on otettava huomioon myös kantavista rakenteista ristikon sauvoille mahdollisesti tulevat lisäkuormitukset.

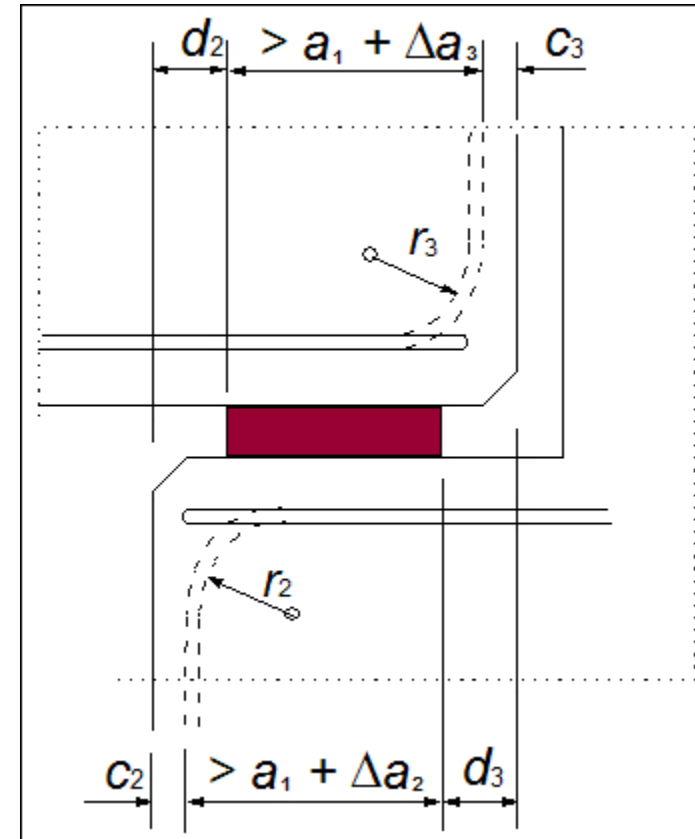
Yhdistelmäjäykistys, huomioitavaa



Rakennuksessa alimmat kerrokset on jäykistetty levyrakenteilla ja ylin kerros on jäykistetty mastopilareilla. Jäykistyksessä on tässä tapauksessa huomioitava, etteivät pilarien jäykkyydet ylimmässä kerroksessa ole samat, vaikka niiden poikkileikkaus olisikin kaikissa sama.

Kumilevylaakerit, laskentamenetelmiä

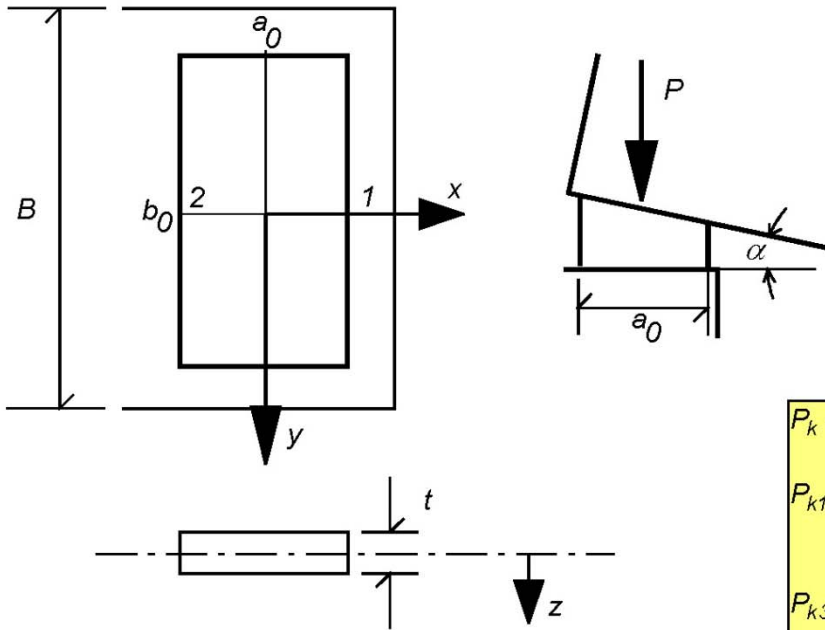
- Kumilevylaakereita voidaan mitoittaa Rakennelaakerit SFS-EN 1337 osat 1 ja 3 ja Kumilevylaakerien mitoittaminen Raportti RTL 0105 mukaisesti.
- RTL 10105 menetelmä löytyy www.elementtisuunnittelu.fi sivuilta ja EN 1337 mukainen mitoitus voidaan tehdä esim. SKOL laskentapohjaa käyttäen.
- EN 1337 on muutosten alla ja kaikista tulevista muutoksista ei ole tietoa.
- RTL 0105 antaa useammin talonrakennuksen laakereille pienemmät mitat.



Kumilevylaakerit, RTL 0105

KUMILAAKERIN MUODONMUUTOKSET JA KUORMITETTAVUUS

PERUSTUU KUMIMALLIIN, JOKA ESITETÄÄN RAPORTISSA RTL 0105



KUORMITETTAVUUSFUNKTIO $P_k(a_0, b_0, t, g)$

a_0 = sivumitta rakenteen suunnassa

b_0 = sivumitta kohtisuorassa suunnassa

t = levyn nimellispaksuus

g = kumin kovuus (Shore A)

KUORMITETTAVUUTTA RAJOITAVAT:

Kumin kokonaispuristuma enintään 3 mm = P_{k3} alla olevissa lausekkeissa

Muut ehdot P_{k1} ja P_{k2} rajoittavat

leikkausjännityksiä ja normaalijännityksiä
RTL 0105 ehtojen mukaisesti

$$P_k = \min\{P_{k1}, P_{k2}, P_{k3}\}$$

$$P_{k1} = \frac{2G(h)AS}{1 + 1,7\alpha \frac{a_0}{t}}; \quad P_{k2} = \frac{G(h)A a_0}{C_p t} \left[2,5 - 0,5\alpha C_\alpha \left(\frac{a_0}{t} \right)^2 \right]; \quad \alpha \leq 0,01$$

$$P_{k3} = \frac{8\Delta_{c,lim} G_r(h)AS}{(t - 2\Delta_{c,lim})k_{slip}}$$

Huomautuksia:

Tuettavan rakenteen kiertymän suuruudeksi oletetaan seuraavissa tarkasteluissa $\alpha = 0,01$. Ks. eri käyrät, kun $\alpha = 0,005$.

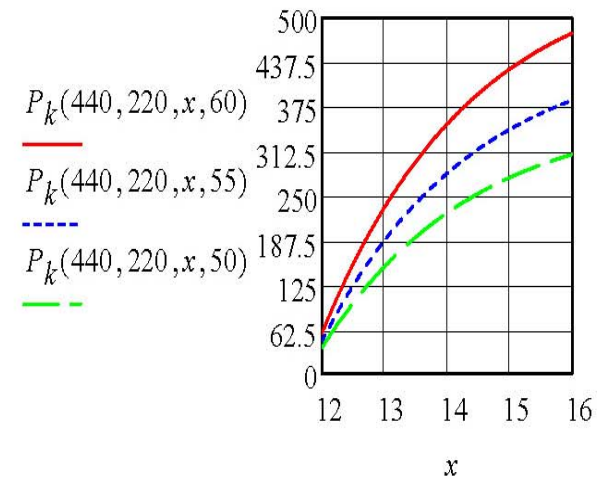
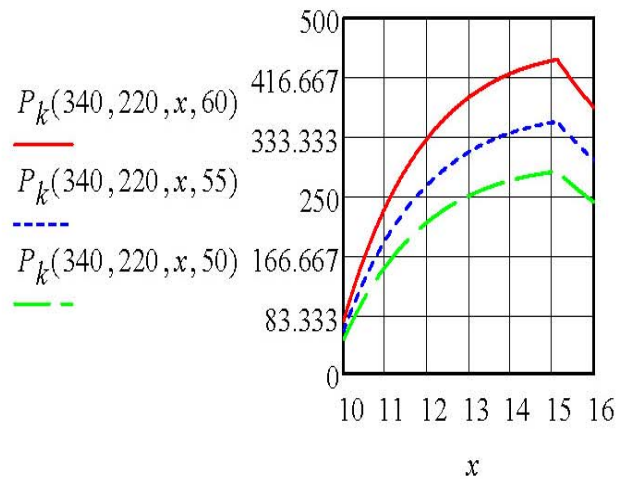
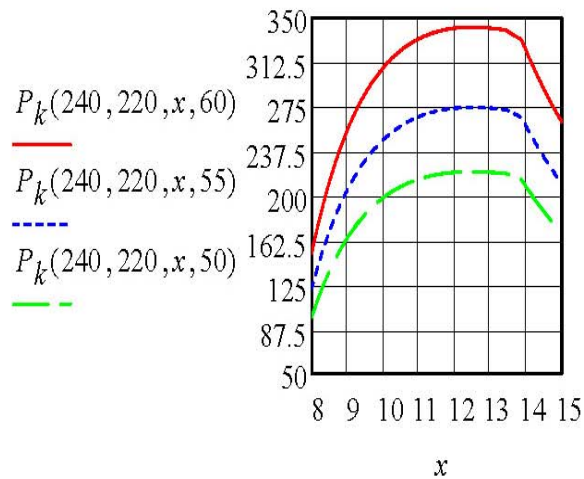
Kumilevyjen mitat suositellaan rajoitettavaksi siten, että a_0 enintään 25t. Sivumittojen kasvaessa vaadittu levyn paksuus kasvaa, jotta P_{k2} ei mene negatiiviseksi.

P_{k2} rajoittaa levyn leikkausjännityksiä, jotka riippuvat kiertymästä α . Levyn paksuuden kasvaessa levyn laajenevuus ja kovuuden hajonta kasvaa. Paksujen levyjen pintakovuus on suurempi kuin levyn tehollinen kovuus, jonka mukaisesti levy deformoituu. Valmistajien ilmoituksen mukaan tehollinen kovuus voi olla 5 yksikköä pienempi kuin ilmoitettu nimellinen arvo. Laaditut käyrät osoittavat, että tällä on merkittävä vaikutus kuormitettavuuteen.

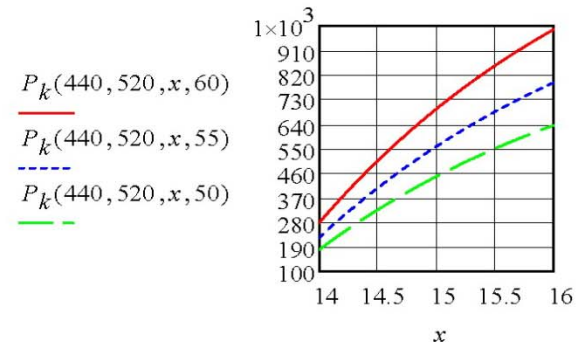
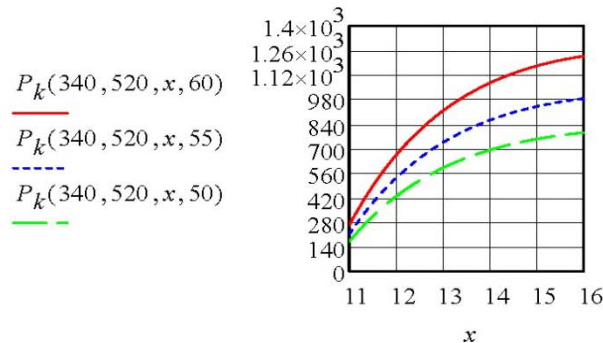
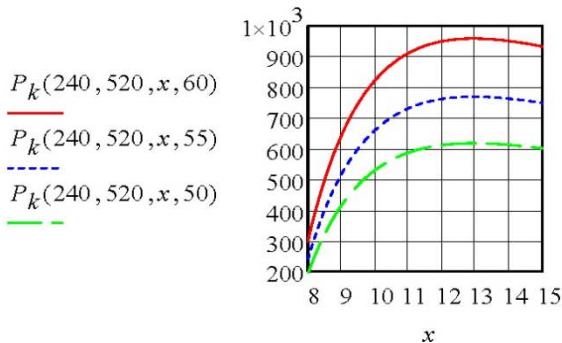
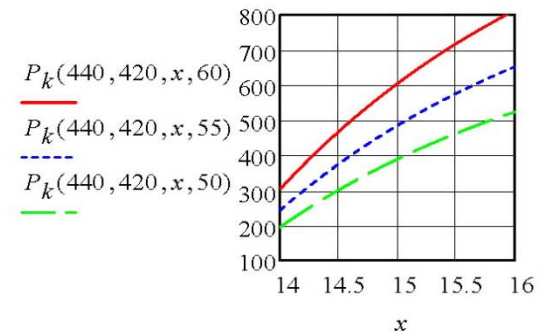
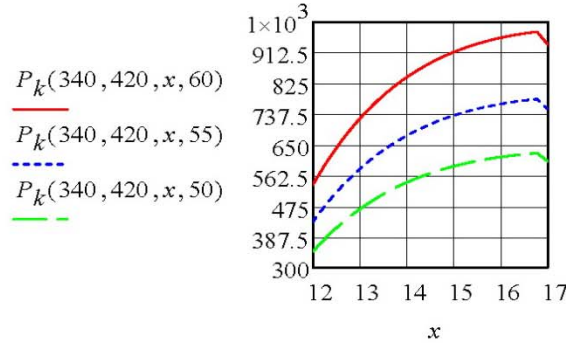
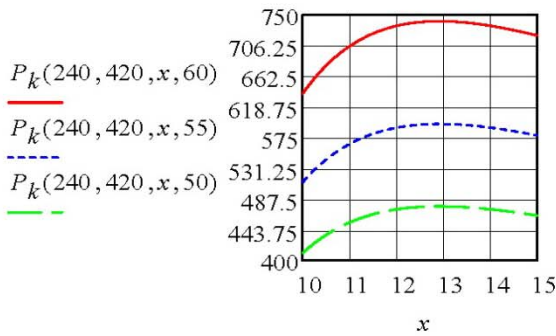
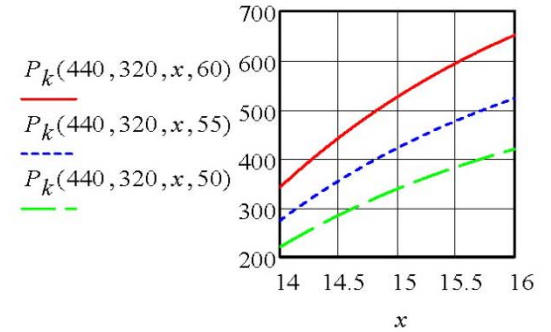
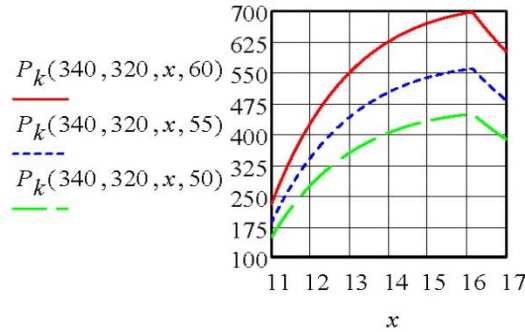
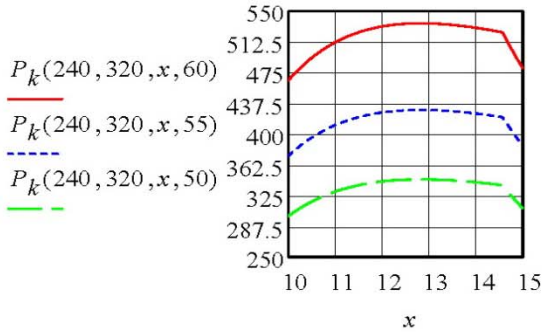
Levyjen paksuudet on rajoitettu enimmillään 16 mm. Suurien lähes neliön muotoiset levyt eivät ole soveltuvia, koska niiden paksuudet tulisivat yli 20 mm suuruisiksi.

Kumilevylaakerit, RTL 0105

BETONIKONSOLIT , Pk [kN] LEVYN PAKSUUDEN x FUNKTIONA



Kumilevyläakerit, RTL 0105



Kumilevylaakerit, vertailuesimerkki

Kumilevylaakereita voidaan mitoittaa Rakennelaakerit SFS-EN 1337 osat 1 ja 3 ja Kumilevylaakerien mitoittaminen Raportti RTL 0105 mukaisesti

Tsto-rakennus: pintakuormat: $g=4,0 \text{ kN/m}^2$, $g_2=2,0 \text{ kN/m}^2$ ja $q=4,0 \text{ kN/m}^2$
palkki: $g=6,5 \text{ kN/m}$

Halli: pintakuormat: $g=2,9 \text{ kN/m}^2$, $g_2=0,6 \text{ kN/m}^2$ ja $q=2,2 \text{ kN/m}^2$
palkki: $g=6,5 \text{ kN/m}$ tai $11,2 \text{ kN/m}$

Nimi	Pilariväli	Laatan mitta	Ominais-kuorma, N_k
Tsto-reuna	7,2	9,6	200
Tsto-keski	7,2	2*9,6	370
Halli-reuna	9,0	20,0	290
Halli-keski	18,0	2*20,0	1130
Halli-TT	3,0 ⁽¹⁾	20,0	90

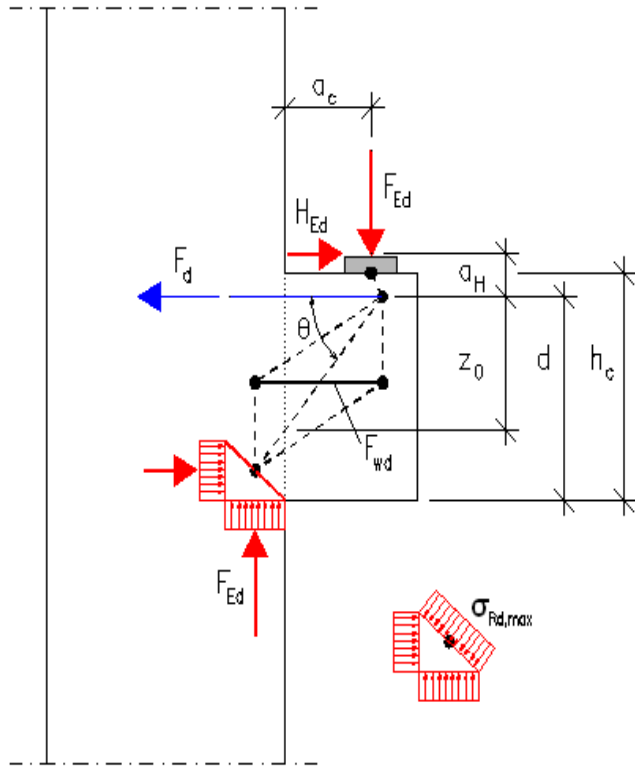
Kumilevylaakerit, laskentamenetelmien eroja

Nimi	Palkin leveys	Tuen pituus	EN1337-3 ($N_{d,EC}$) b * a * t	EN 1337-3 (N_k) b * a * t	RTL 0105 (N_k) b * a * t
Tsto-reuna	280	280	250 * 310 * 15	250 * 268 * 15	200 * 153 * 10
	380	280	350 * 225 * 15	350 * 195 * 15	300 * 108 * 10
	480	280	450 * 184 * 15	450 * 161 * 15	400 * 87 * 10
Tsto-keski	280	280	250 * (ei)	250 * (ei)	200 * 388 * 16
	380	280	350 * 380 * 18	350 * 288 * 15	300 * 171 * 10
	480	280	450 * 268 * 15	450 * 231 * 15	400 * 129 * 10
Halli-reuna	280	320	250 * (ei)	250 * 344 * 15	200 * 232 * 12
	380	320	350 * 283 * 15	350 * 246 * 15	300 * 150 * 12
	480	320	450 * 228 * 15	450 * 200 * 15	400 * 120 * 12
Halli-keski	480	420	450 * (ei)	450 * (ei)	400 * (ei)
	580	420	550 * 750 * 32	550 * 554 * 26	500 * 320 * 16
	680	420	650 * 577 * 28	650 * 449 * 24	600 * 245 * 12
Halli-TT	120	380	90 * (ei)	90 * (ei)	90 * 179 * 10
	150	380	120 * 490 * 18	120 * 358 * 15	120 * 135 * 10

Kumilevylaakerit, mistä erot?

1. Eri laskentamenetelmissä käytetään kuormana joko ominais- tai mitoituskuormaa, mutta vain EN1337-3:ssa huomioidaan erikseen pysyvät kuormat. Kuitenkin laakerin toiminnassa on sekä murto- että käyttörajatilan toiminta, ja lisäksi kuorman pitkäaikais- ja lyhytaikais-/muuttuvaosuus vaikuttavat erilailla.
2. Eri laskentamenetelmissä huomioidaan erilailla kuminlevyn laajeneminen kuormituksen alla. Täällä on vaikutusta tuettavan rakenteen ja tuen kestävyyteen, erityisesti laajenemisesta johtuvan poikittaissuuntaisen lisärasituksen vaikutus tuettavan rakenteen reunojen kestävyyteen.
3. Missään menetelmässä ei huomioida palkin kiinnitystapin tarvitsemaa kumilevyssä olevan reiän tai kolon vaikutusta. Pienillä kumilevyillä kolon osuus pinta-alasta voi olla merkittävä, erityisesti jos laskentamenetelmän keskeisenä kestävyyskriteerinä on kumilevyn puristuslujuus.
4. Laskentamenetelmissä, joissa palkin kiertymäkulma tuella otetaan huomioon, kiertymäkulman arvon vaikutus kumilevyn kestävyyteen on merkittävä ja hyvin herkkä. Täten on hyvin merkitsevää, mistä kuormasta kiertymäkulma lasketaan. Lasketaanko kiertymäkulman arvo murto- vain käyttörajatilan mitoituskuormasta, ja miten kuorman pitkäaikais- ja lyhytaikaisosuudet huomioidaan. (Huom. EN1990:ssa on kolme käyttörajatilan kuormayhdistelmää.)
5. Jännitetyillä palkeilla esi- tai jännityskorotuksen huomioimista ei missään ole ohjeistettu. Kun kumilevyn kestävyys on niinkin herkkä kiertymäkulmalle, jännitetyn palkin korotuksen vaikutus olisi huomioitava tavalla tai toisella.

Konsolimitoitus



Teräsbetonikonsolit on mitoitettu Eurocode 2:n liitteessä J kohdassa J.3 Konsolit esitetyn ristikkomallin mukaan.

Kuormituksen painopisteen tulee sijaita ulokkeen leveyssuunnassa likimain keskellä. Mikäli kuormituksen painopiste poikkeaa ulokkeen keskilinjasta enemmän kuin mitan $b/10$, lasketaan ulokkeen kapasiteetti kaavasta:

$$V_{de,max} = 1,25 \cdot V_{d,max} \left(1 - 2 \cdot \frac{e}{b}\right)$$

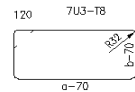
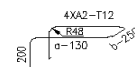
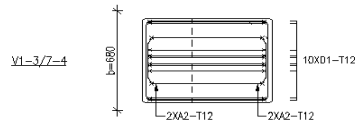
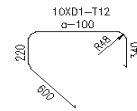
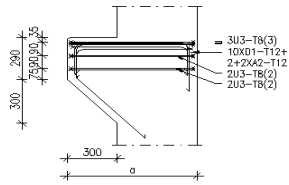
$V_{d,max}$ = kapasiteettitaulukoissa esitetty ulokkeen kapasiteetti
 e = kuormituksen painopisteen poikkeama ulokkeen keskilinjasta
 b = ulokkeen leveys

Konsolimitoitus

PILARIULOKKEET: V1-3/7-4 KÖRKEUS=290 LEVEYS=680 RAUD.TYYPPI=4

EUROKOODI

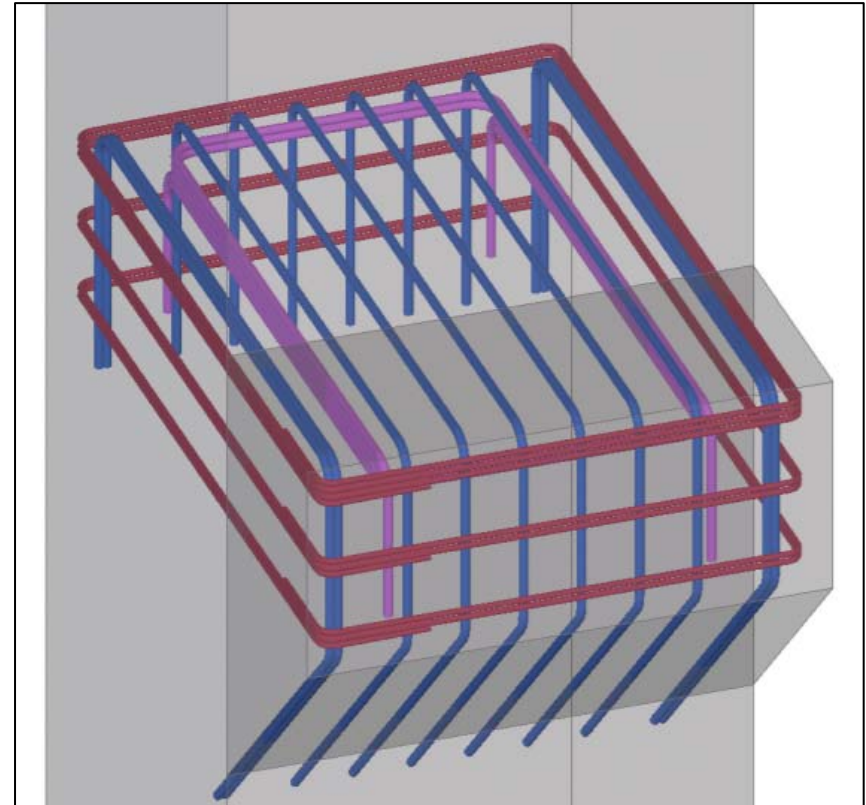
1:20



24.02.2010

V1374.dwg

RTT Rakenruutuotteollisuus



Tulokset on esitetty perinteisessä muodossa vasemmalla ja selvennyksenä 3D-kuvina