

Teräsrunkorakenteiden ja metallijulkisivujen mittatoleranssit

Sisältö

Teräsrunkorakenteiden ja metallijulkisivujen mittatoleranssit.....	1
Sisältö.....	1
Johdanto.....	2
Toleranssivaatimusten taustaa	4
Metallijulkisivujen toleranssit.....	5
Julkisivuelementin mittapisteet	5
Peruselementin (ilman ulkoverhoususta) valmistustoleranssit.....	5
Peruselementin (ilman ulkoverhoususta) rakentamistoleranssit	6
Ulkoverhoiltu elementti	8
Sandwich-elementit.....	8
Teräsrunkorakenteiden toleranssit.....	8
Olennaiset toleranssit.....	9
Toiminnalliset toleranssit.....	9
Projektikohtainen toleranssien määrittely	11
Suunnittelijan muistilistat	15
Mittajärjestelmän suunnittelu	17

Teräsrakentamisen eurooppalaiset pelisäännöt – suunnittelu ja toteutus (TEP)**Johdanto**

Teräsrunkorakenteiden ja metallijulkisivujen toleranssit-ohje on laadittu alun perin Rakennusteollisuus RT ry:n kehitys- ja tutkimusprojektissa Valmisosarakentamisen turvalliset suunnittelu- ja asennusratkaisut (Tassu) vuosien 2005-2006 aikana. Tämän osan on kirjoittanut alun perin prof. Markku Heinisuo ja TEP-hankkeessa Tassu-projektin suositus on päivitetty Jouko Kouhi/TRY, Pekka Yrjölä/TRY ja Tapio Leino/Finnmap Consulting Oy toimesta.

Metallijulkisivujen osalta ohje kattaa metallirunkoisen molemmilta puolilta levytetyn julkisivuelementin (peruselementti) valmistus- ja rakennustoleranssit. Ulkoverhoilun osalta ohje kattaa kasetilla ja poimulevyllä verhoilun. Pintavirheiden osalta annetaan ohjeita, jotka koskevat edellisten lisäksi sandwich- elementtejä ja erilaisia julkisivulamelleja (yhdessä suunnassa taivutetut verhoilutuotteet).

Annettujen ohjeiden lisäksi on otettava huomioon olemassa olevat tuotestandardit sekä rakennuksen toiminnasta seuraavat toleranssivaatimukset. Monilla tuotteilla on valmistajakohtaisia toleransseja (esimerkiksi sandwich- elementit), joita on käytettävä tässä annettujen sijasta.

Tässä ohjeessa annettuja ohjeita voi soveltaa muihinkin tapauksiin, jos vastaavia muita virallisia ohjeita ei ole saatavilla.

Runkorakenteiden osalta noudatetaan standardissa SFS-EN 1090-2 esitettyjä toleransseja ottaen huomioon standardin SFS-EN 1993 kansallisessa liitteissä mahdollisesti annettavat lisäohjeet. Standardissa SFS-EN 1090-2 esittää geometristen poikkeaminen tyypit ja geometristen poikkeamien sallitut arvot **olennaisille** toleransseille ja **toiminnallisille** toleransseille. Olennaiset toleranssit ovat rakenteen kestävyteen ja stabiiliuteen olennaisesti vaikuttavia poikkeamia. Olennaisten toleranssien arvot perustuvat mitoitusmenetelmien taustalla oleviin geometristen poikkeamien arvoihin. Toiminnalliset toleranssit sisältävät muiden vaatimusten kuten rakenneosien yhteensopivuuteen ja ulkonäköön vaikuttavat poikkeamat. Toiminnalliset toleranssit jaetaan luokkaan 1 ja luokkaan 2, joista luokan 2 geometrisen toleranssin raja-arvot ovat vaativammat. Olennaisille toleransseille sekä toiminnallisille toleransseille on annettu sekä (konepaja)valmistusta että työmaalla tapahtuvaa asennusta koskevat poikkeamien arvot (valmistustoleranssit, asennustoleranssit).

Nämä molemmat toleranssityypit ovat velvoittavia teräsrakennekohteen toteutuksessa.

Teräskokoonpanon CE-merkinnällä ilmoitetaan ominaisuudella ”geometriset toleranssit” valmistuksen olennaisten toleranssien noudattavan standardin SFS-EN 1090-2 vaatimuksia. Toteutuseritelmässä suunnittelija esittää käytettävän toleranssiluokan toiminnallisille toleransseille. Toteutuseritelmän kautta valmistukselle asetetut toiminnallisten toleranssien vaatimukset päätyvät kokoonpanoeritelämään tai valmistuspiirustuksiin.

Asennustilanteen poikkeamien toleranssiluokka toiminnallisille asennustoleransseille annetaan suunnittelijan toteutuseritelmässä ja edelleen toteuttajan asennussuunnitelmissa.

Olennaiset ja toiminnalliset toleranssit sisältävät useita samoja geometrisia poikkeamatyyppejä. Näissä tapauksissa on erityisesti tarkistettava, että toiminnallisen

Osa WP9 : Teräsrunkorakenteiden ja metallijulkisivujen mittatoleranssit

Teräsrakentamisen eurooppalaiset pelisäännöt – suunnittelu ja toteutus (TEP)

toleranssin kumpikaan luokka ei salli ”löysempiä” poikkeaman arvoja kuin saman tapauksen olennainen toleranssi.

Huom. Em. asiaan liittyvät standardin SFS-EN 1090-2 epäjohdonmukaisuudet on pyritty korjaamaan korjauksessa EN 1090-2:2008+A1:2012.

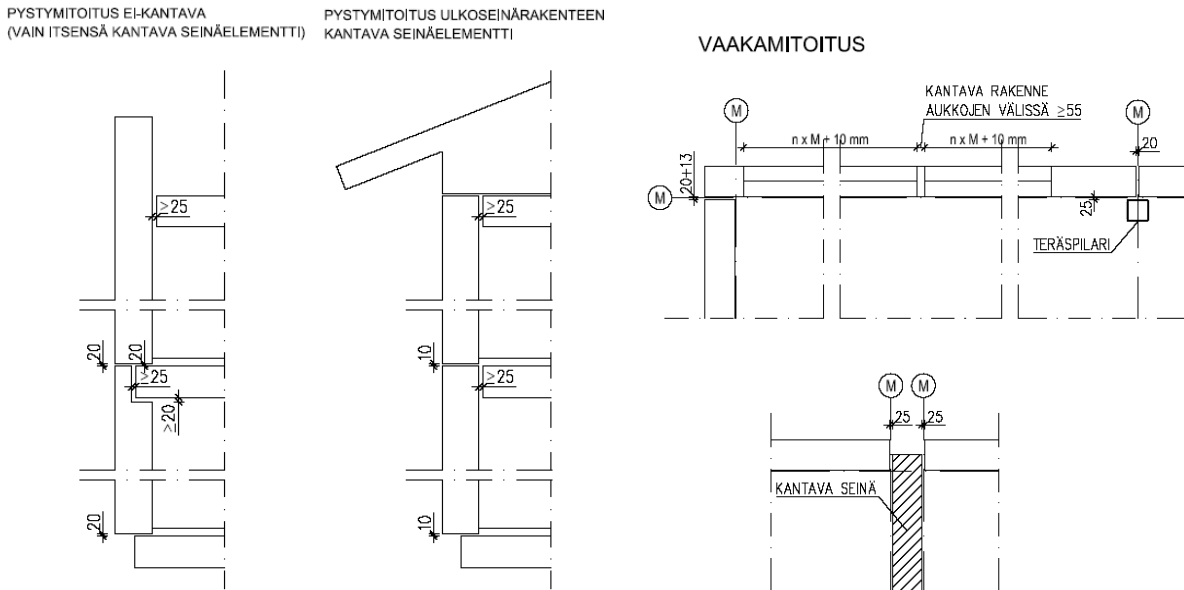
Näiden standardissa SFS-EN 1090-2 esitettyjen toleranssityyppien lisäksi **suunnittelija** voi määrittää erityistoleransseja. Erityistoleranssit on tarkoitettu tilanteisiin, joihin standardi SFS-EN 1090-2 ei ole esittänyt toleranssitapausta tai esitetyn toleranssin poikkeamien raja-arvot eivät ole riittävän tarkkoja.

Rakenteiden suunnittelua varten tässä ohjeessa on suunnittelijan muistilista erityisesti rungon ja julkisivujen yhteensovittamista varten sekä ohjeita mittajärjestelmän suunnitteluun. Rungon ja julkisivun toleranssien yhteensovittamiseen esitetään kolme vaihtoehtoista menettelytapaa: standardoituihin toleranssivaatimukseen, riittäviin pelivaroihin ja projektikohtaisiin vaatimuksiin perustuvat menettelyt. Tässä ohjeessa esitetään suositus teräsrungon standardin SFS-EN 1090-2 mukaisesta toleranssiluokasta, kun runkoon kiinnitetään julkisivurakenteita. Toteutukseen esitetään myös erityinen projektikohtainen menetelmä, jos halutaan varmistaa, että esimerkiksi julkisivurakenteet sopivat runkoon työmaalla. Projektikohtaisessa menettelyssä rungolta vaadittavat toleranssit määritetään julkisivun ominaisuuksien perusteella. Menettely edellyttää runkoon kiinnitettyjä mittapisteitä, joiden avulla runko asennetaan paikalleen. Teräs- ja betonirakenteiden yhteensovittamiseen liittyviä asioita ei tässä käsitellä.

Teräsrakentamisen eurooppalaiset pelisäännöt – suunnittelu ja toteutus (TEP)

Toleranssivaatimusten taustaa

Tavoitetila julkisivuelementtien asennuksessa työmaalla voi olla esimerkiksi seuraavan kuvan 1 mukainen. Kuvassa 1 on esitetty erään toimittajan tavoittelemat julkisivuelementtien saumavarat eri tilanteissa.



Kuva 1. Erään toimittajan tavoittelema saumavara.

Mittajärjestelmän suunnittelulla voidaan osaltaan varmistaa, että erilaisiin tavoitetilanteisiin päästään. Toleranssien määrittäminen on yksi toiminto mittajärjestelmän suunnittelussa.

Yleisesti toleranssit ovat seurausta erilaisista vaatimuksista rakenteille tai koko rakennukselle. Näitä vaatimuksia tarkastellaan jatkossa tarkemmin.

Yhteenveto

Tehtyjen selvitysten (mm. ns. Tassu projekti) perusteella voidaan tehdä seuraava suositus rungon toleransseille, kun niihin kiinnitetään julkisivuelementtejä:

- suositellaan käytettäväksi esitettyä projektikohtaista menettelyä,
- mikäli se ei ole mahdollista, niin betonirakenteille käytetään erityistoleransseja ja metallirakenteille käytetään standardin SFS-EN 1090-2 luokan 2 mukaisia toleransseja.

Molemmissa tapauksissa mittajärjestelmän suunnitteluun on kiinnitettävä huomiota, ks. jäljempänä.

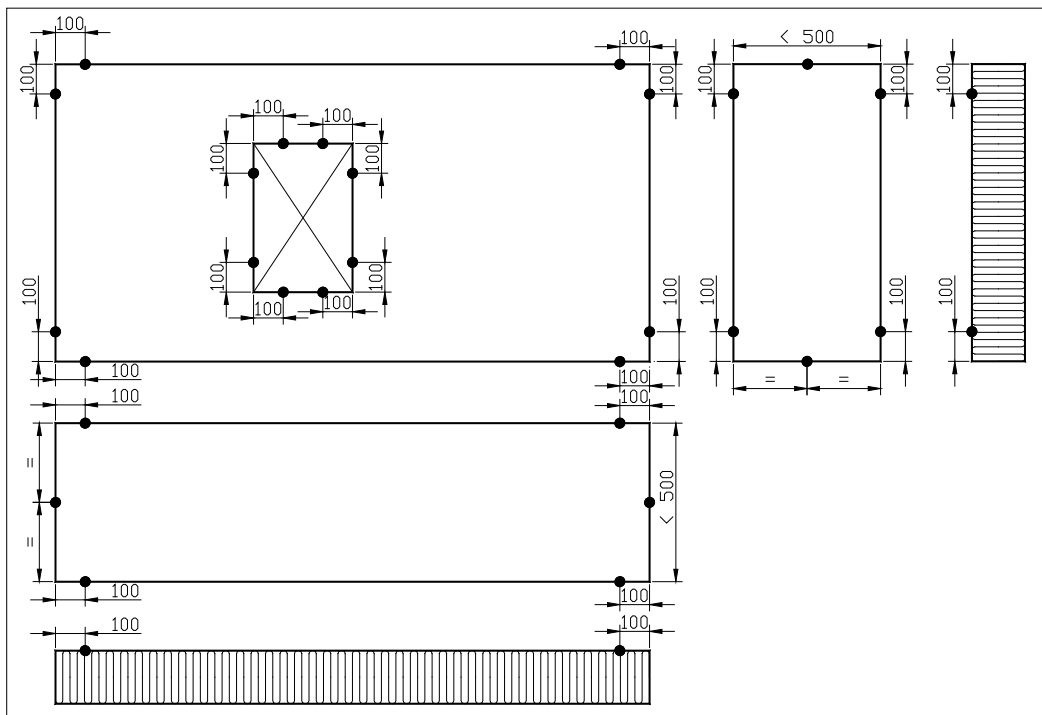
Teräsrakentamisen eurooppalaiset pelisäännöt – suunnittelu ja toteutus (TEP)

Metallijulkisivujen toleranssit

Julkisivuelementin mittapisteet

Julkisivuelementin mittapisteiksi valitaan kiinnityspisteet runkoon ja tarvittava määrä lisäpisteitä. Kuvassa 2 on esitetty tyypillisen metallirunkoisen peruselementin (elementti ilman ulkoverhousta) mittapisteet, kun elementin kiinnitys runkoon tehdään lähes jatkuvasti elementin reunoilta.

On huomattava, että annetut toleranssit koskevat aina koko tutkittavaa kokonaisuutta, esimerkiksi elementtien saumaa koko mitaltaan, mutta normaalitapauksissa annettujen mittapisteiden käyttö riittää sekä mittaamiseen että tarkastukseen. Lisäpisteitä käytetään tarpeiden mukaan. Lisäpisteitä voidaan tarvita esimerkiksi elementtien suoruuden tai saumavälien toteamiseksi. Erityisten toleranssikarttojen käyttö on silloin suositeltavaa.



Kuva 2. Peruselementin mittapisteet

Peruselementin (ilman ulkoverhousta) valmistustoleranssit

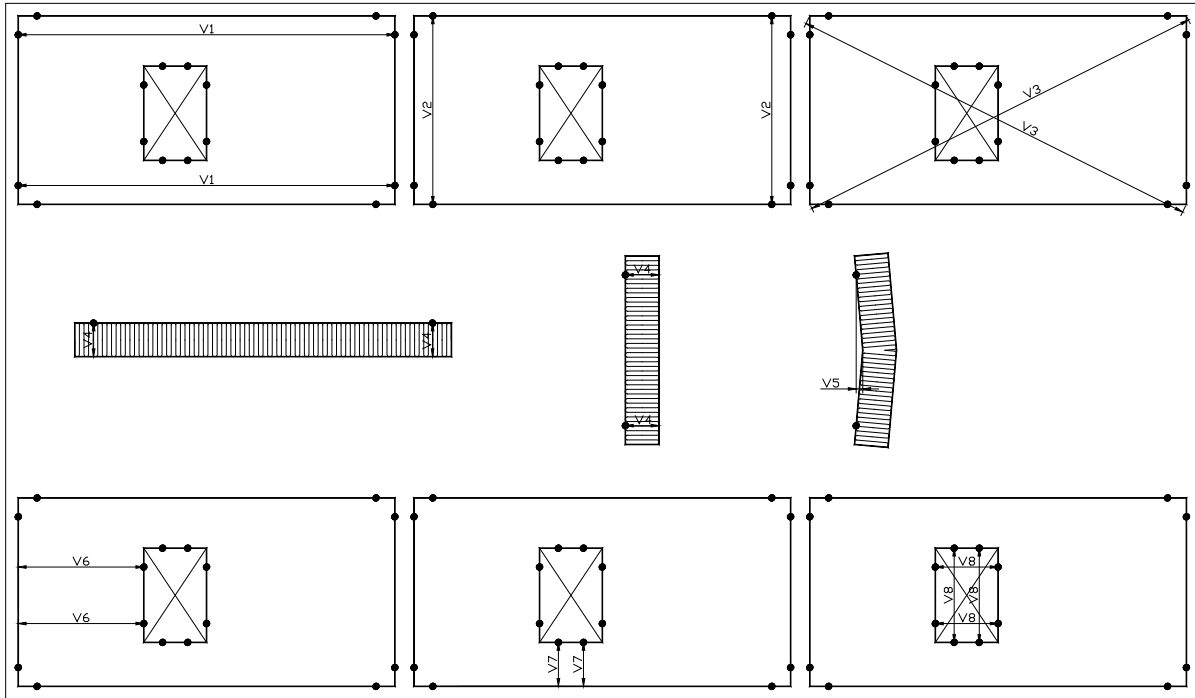
Valmistustoleranssit ovat valmistajakohtaisia. Seuraavia arvoja ei suositella ylitettäväksi. Merkinnät ovat kuvan 3 mukaiset.

- peruselementin pituus V1: $-4 - +0$ mm,
- peruselementin korkeus V2: $-4 - +0$ mm,
- peruselementin ristimita V3: ± 6 mm,
- peruselementin paksuus V4: ± 4 mm,
- peruselementin käyryys pystysuunnassa V5: $\pm h/400$ mm, missä h on peruselementin korkeus [mm],
- aukon sivusijainti V6: ± 5 mm,

Osa WP9 : Teräsrunkorakenteiden ja metallijulkisivujen mittatoleranssit

Teräsrakentamisen eurooppalaiset pelisäännöt – suunnittelu ja toteutus (TEP)

- aukon pystysijainti V7: ± 5 mm,
- aukon koko V8: ± 5 mm
- sisäpuolen pellin aaltoilu pystyprofiilivälillä V9: ± 3 mm. (sisäverhouslevytys tehdään työmaalla)



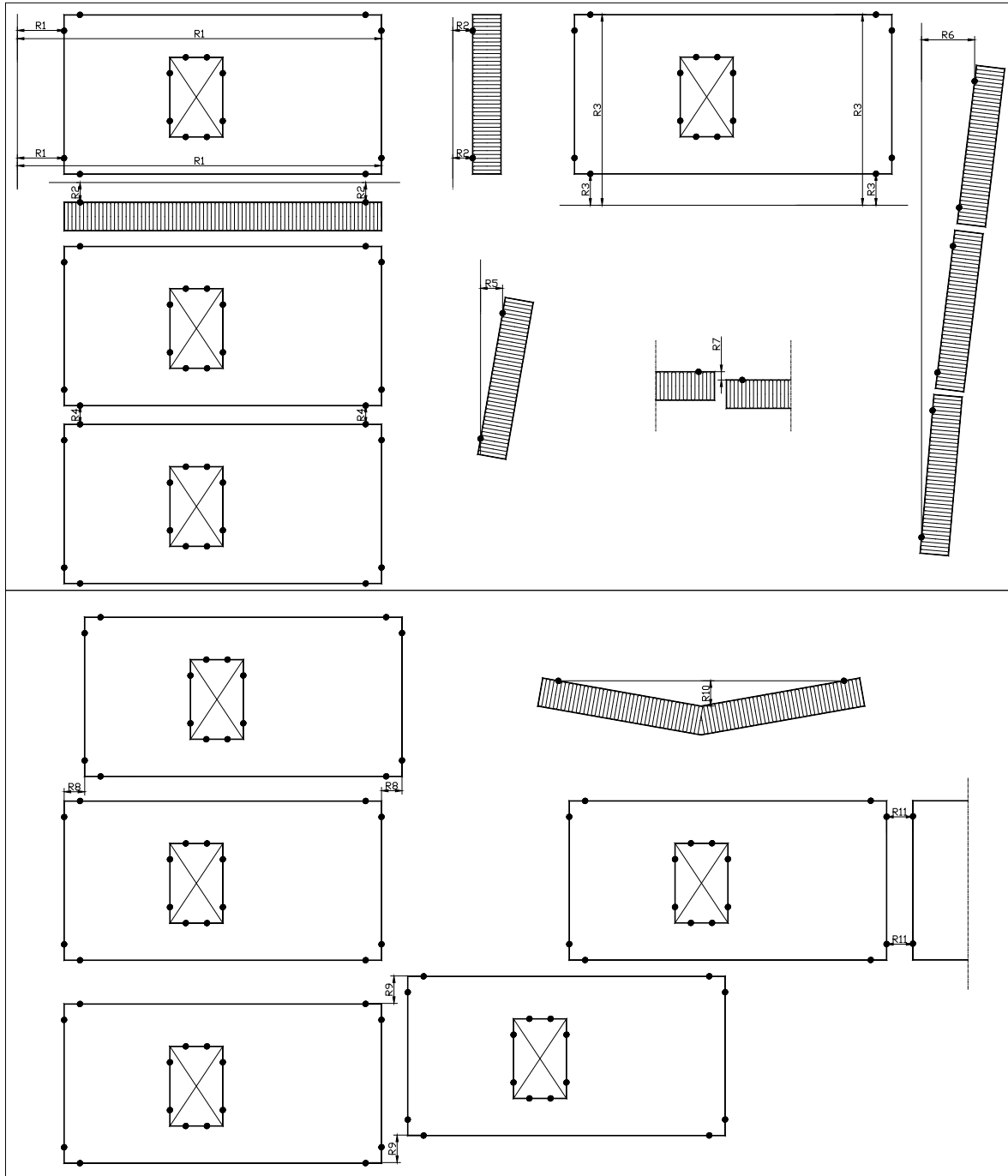
Kuva 3. Peruselementin valmistustoleranssien merkinnät

Peruselementin (ilman ulkoverhousta) rakentamistoleranssit

Rakentamistoleranssit peruselementille ovat (merkinnät ovat kuvan 4 mukaiset)

- peruselementin sivusuuntainen sijainti R1: ± 10 mm,
- peruselementin syvyysuuntainen sijainti R2: ± 10 mm,
- peruselementin korkeussijainti R3: ± 10 mm,
- vaakasauman leveys R4: ± 10 mm, jos sauma > 20 mm, ± 5 mm, jos sauma 10-20 mm,
- yhden peruselementin kallistuma R5: $\pm h/400$ enintään 8 mm, kun h on peruselementin korkeus [mm],
- koko julkisivun poikkeama pystysuorasta R6: $\pm H/750$, vähintään ± 10 mm, kun H on julkisivun korkeus,
- syvyysuuntainen hammastus viereisten peruselementtien välillä R7: ± 4 mm,
- vaakasuuntainen hammastus päällekkäisten peruselementtien välillä R8: ± 6 mm,
- pystysuuntainen hammastus viereisten peruselementtien välillä R9: ± 6 mm,
- elementin käyryys vaakasuunnassa R10: $\pm L/600$ enintään 15 mm ja kahdessa viereisessä peruselementissä enintään 25 mm, missä L on elementin pituus [mm],
- pystysauman sauman leveys R11: ± 5 mm.

Teräsrakentamisen eurooppalaiset pelisäännöt – suunnittelu ja toteutus (TEP)



Kuva 4. Peruselementin rakentamistoleranssien merkinnät

Teräsrakentamisen eurooppalaiset pelisäännöt – suunnittelu ja toteutus (TEP)**Ulkoverhoiltu elementti**

- ulkoverhouksen alusruoteiden tasomaisuus ± 1 mm,

Metallikasettiverhous:

- tasomaisuus eri tarkastelumatkoilla: ± 2 mm/ 1 m, ± 3 mm/ 1-2 m, ± 4 mm/ yli 2 m,
- vaaka- ja pystylinjojen suoruus suunnitellusta mittaverkosta (nurkka) ± 3 mm,
- syvyysuuntainen hammastus puskusaumoissa ± 2 mm,
- syvyysuuntainen hammastus avosaumoissa ± 3 mm,
- pysty- ja vaakalinjojen hammastus puskusaumoissa ± 2 mm,
- pysty- ja vaakalinjojen hammastus avosaumoissa ± 3 mm,
- yksittäisten kasettien tasomaisuus $\pm b/600$ mm (b = kasetin lyhyt sivu [mm]),
- paikallisten lommojen syvyys $\pm r/40$ mm (r = lommon säde [mm], max säde 40mm),

Pitkillä muotolevyillä tehty verhous:

- tasomaisuus eri tarkastelumatkoilla: ± 4 mm/ 1 m, ± 6 mm/ 1-2 m, ± 8 mm/ yli 2 m,
- vaaka- ja pystylinjojen suoruus ± 5 mm/ 1 m, max 50 mm / verhoilupituus.

Mittapoikkeamien lisäksi metallikaseteille ja muille metallisille ulkoverhouslevyille sallitaan vähäisessä määrin erilaisia pinnan ja pinnoitteen poikkeamia teoreettisesta tavoitteesta. Tällaisia poikkeamia ovat mm. loivat lommot, aaltoilu, naarmut, nirhautumat, nirhautumaryhmit, maali- tai muut pinnoitepoikkeamat.

Näillä poikkeamilla ei saa olla vaikutusta ko ulkoverhouksen lujuuteen eikä korroosion kestävyuteen. Ne ovat siten vain esteettisiä poikkeamia.

Paikallisen sallittavan pinta- tai pinnoitepoikkeaman on rajoitettava enintään 1 dm² alalle (ei koske aaltoilua), ja niitä saa esiintyä korkeintaan 2 %:ssa metallikaseteista (1 kpl / kasetti), tai muotolevyverhouksessa 1 kpl 50 m² seinäpinta-alaa kohti.

Lievä pinnan aaltoilu, joka näkyy vain tietyissä valaistusolosuhteissa ja tietyistä kulmasta katsottuna, sallitaan. (Tällainen poikkeama johtuu lähtömateriaalin sallitusta epätasomaisuudesta sitä muokattaessa).

Sandwich-elementit

Sandwich-elementtien toleranssit määritellään standardin SFS-EN 14509 mukaan.

Teräsrunkorakenteiden toleranssit

Runkorakenteiden mittapoikkeamat ja niitä koskevat toleranssit jaetaan standardin SFS-EN 1090-2:2008 mukaisesti:

Teräsrakentamisen eurooppalaiset pelisäännöt – suunnittelu ja toteutus (TEP)

- olennaiset toleranssit (essential tolerances),
- toiminnalliset toleranssit (functional tolerances),
- erikoistoleranssit (special tolerances).

Olennaiset toleranssit määritetään rakenteiden kestävyysvaatimusten ja stabiilius vaatimusten mukaan (esim. pilarin käyryys, tuen vinous, rakennuksen vinous).

Toiminnalliset toleranssit määritetään tekemisen yhteensopivuusvaatimusten (esim. julkisivuelementit sopivat runkoon, pilarit sopivat perustusruuveihin, palkit sopivat pilareihin, tiivisteet sopivat rakenteiden saumoihin, jne. ja ulkonäkövaatimusten (esim. pintojen tasaisuus, elementtien hammastus) mukaan.

Erikoistoleranssit määritetään rakennuksen ja/tai rakenteen toiminnan (esim. nosturin, hissien ja hyllystöhissin toiminta) vaatimusten perusteella ja niitä ei käsitellä tässä.

Kaikki toteutuseritelmässä esitetyt toleranssityypit ja poikkeamien raja-arvot ovat toteutusta velvoittavia.

Olennaiset toleranssit

Olennaiset toleranssit esitetään standardin SFS-EN 1090-2 liitteessä D ja ne koskevat seuraavia valmistus- ja asennustoleransseja. Liitteen D taulukoissa D.1.1...D.1.15 on esitetty olennaisten toleranssien tyypit ja näiden poikkeaminen raja-arvot.

- D.1.1: Olennaiset valmistustoleranssit – Hitsatut profiilit
- D.1.2: Olennaiset valmistustoleranssit – Särmätyt kylmämuovatut profiilit
- D.1.3: Olennaiset valmistustoleranssit – Hitsattujen profiilien laipat
- D.1.4: Olennaiset valmistustoleranssit – Koteloprofiilien laipat
- D.1.5: Olennaiset valmistustoleranssit – Profiilien tai koteloprofiilien uumajäykisteet
- D.1.6: Olennaiset valmistustoleranssit – Jäykistetyt levykentät
- D.1.7: Olennaiset valmistustoleranssit – Kylmämuovatut muotolevyt
- D.1.8: Olennaiset valmistustoleranssit – Kiinnittimien reiät, kolot ja leikatut reunat
- D.1.9: Olennaiset valmistustoleranssit – Sylinterinmuotoiset ja kartiomaiset kuoret
- D.1.10: Olennaiset valmistustoleranssit - Ristikkokokoonpanot
- D.1.11: Olennaiset asennustoleranssit – Yksikerroksiset rakennukset
- D.1.12: Olennaiset asennustoleranssit – Monikerroksisten rakennusten pilarit
- D.1.13: Olennaiset asennustoleranssit: Tukipinnat kosketuspainetta hyväksikäytettäessä
- D.1.14: Olennaiset asennustoleranssit – Tornit ja mastot
- D.1.15: Olennaiset asennustoleranssit – Taivutetut palkit ja puristetut kokoonpanot

Toiminnalliset toleranssit

Toiminnalliset toleranssit määritetään käyttäen standardin SFS-EN 1090-2 liitettä D.2. Taulukoissa D.2.1...D.2.19 on esitetty toiminnallisten toleranssien tyypit ja poikkeaminen raja-arvot. Toiminnallisia toleransseja käytetään, mikäli runkoon liittyy metallirakenteisia julkisivuelementtejä. Eryistoleransseja voidaan määrittää tapauskohtaisesti, mikäli standardin SFS-EN 1090-2 toiminnallisten toleranssien poikkeamien raja-arvot eivät ole riittävän vaativat osan valmistukselle tai asennukselle sekä jos jonkin poikkeaman raja-arvot puuttuvat

Osa WP9 : Teräsrunkorakenteiden ja metallijulkisivujen mittatoleranssit

Teräsrakentamisen eurooppalaiset pelisäännöt – suunnittelu ja toteutus (TEP)

kokonaan. Esimerkiksi yksikerroksisen pilarin tapauksessa toiminnallisen toleranssin poikkeaman raja-arvoja pilarin suorudelle ei ole annettu, josta syystä ne ovat erikseen toteutuseritelmässä määritettävä erityistoleranssina.

Tarjouskyselyissä voidaan käyttää viitteenä standardin SFS-EN 1090-2 taulukkoa D.2 ja luokkaa 2, mikäli toteutuseritelmässä toleransseja ei ole vielä tarkemmin määritelty.

Huom. Standardissa SFS-EN 1090-2 oletetaan, että toleranssiluokka on 1 ellei toleranssiluokkaa ole määritetty.

Erityistoleransseja on syytä käyttää erityisesti silloin, kun halutaan varmistaa, että julkisivu saadaan asennettua paikoilleen työmaalla tai jostain muusta erityisestä syystä johtuen.

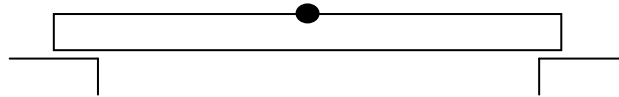
Toiminnalliset toleranssit esitetään standardin SFS-EN 1090-2 taulukossa D.2 seuraavasti:

- D.2.1: Toiminnalliset valmistustoleranssit – Hitsatut profiilit
- D.2.2: Toiminnalliset valmistustoleranssit – Särmätyt kylmämuovatus profiilit
- D.2.3: Toiminnalliset valmistustoleranssit – Hitsattujen profiilien laipat
- D.2.4: Toiminnalliset valmistustoleranssit – Hitsatut koteloprofiilit
- D.2.5: Toiminnalliset valmistustoleranssit – Hitsattujen profiilien tai koteloprofiilien uumat
- D.2.6: Toiminnalliset valmistustoleranssit – Hitsattujen profiilien tai koteloprofiilien uumajäykisteet
- D.2.7: Toiminnalliset valmistustoleranssit – Kokoonpanot
- D.2.8: Toiminnalliset valmistustoleranssit – Kiinnikkeiden reiät, kolot ja leikatut reunat
- D.2.9: Toiminnalliset valmistustoleranssit – Pilareiden jatkokset ja pohjalevyt
- D.2.10: Toiminnalliset valmistustoleranssit – Ristikkokokoonpanot
- D.2.11: Toiminnalliset valmistustoleranssit – Jäykistetyt levykentät
- D.2.12: Toiminnalliset valmistustoleranssit – Tornit ja mastot
- D.2.13: Toiminnalliset valmistustoleranssit – Kylmämuovatus poimulevyt
- D.2.14: Toiminnalliset valmistustoleranssit – Sillan kannet
- D.2.15: Toiminnalliset asennustoleranssit – Sillat
- D.2.16: Toiminnalliset asennustoleranssit – Sillan kannet (osa 1/3)
- D.2.17: Toiminnalliset asennustoleranssit – Sillan kannet (osa 2/3)
- D.2.18: Toiminnalliset asennustoleranssit – Sillan kannet (osa 3/3)
- D.2.19: Toiminnalliset valmistus- ja asennustoleranssit – Nosturiratapalkki ja kiskot
- D.2.20: Toiminnalliset toleranssit – Betoniperustukset ja tuet
- D.2.21: Toiminnalliset asennustoleranssit – Nosturikiskot
- D.2.22: Toiminnalliset asennustoleranssit – Pilareiden asema
- D.2.23: Toiminnalliset asennustoleranssit – Yksikerroksisten rakennusten pilarit
- D.2.24: Toiminnalliset asennustoleranssit – Monikerroksisten rakennusten pilarit
- D.2.25: Toiminnalliset asennustoleranssit – Rakennukset
- D.2.26: Toiminnalliset asennustoleranssit – Rakennusten palkit
- D.2.27: Toiminnalliset asennustoleranssit – Levyvaikutukselle suunniteltu muotolevykatto
- D.2.28: Toiminnalliset asennustoleranssit – Muotolevykenttä.

Teräsrakentamisen eurooppalaiset pelisäännöt – suunnittelu ja toteutus (TEP)

Projektikohtainen toleranssien määrittely

Johdantona projektikohtaiseen toleranssien määrittämiseen tarkastellaan seuraavaa esimerkkiä. Esimerkissä julkisivuelementti kiinnitetään palkin yläreunaan keskelle palkkia. Tarkastellaan yksiaukkoista palkkia ja sen pituus- ja poikkisuunnan keskikohdan paikan toleransseja palkin yläreunassa kuvan 5 mukaan. Kyseessä voi olla joko betoni- tai teräspalkki. Olkoon palkin jänneväli 7.2 metriä.



Kuva 5. Esimerkin palkki

Tarkastellaan kiinnityskohdan toleranssia normimenetelmän ja projektikohtaisen menetelmän mukaan.

Normimenetelmä

Betonipalkin toleranssit määritellään lähteen *Betonirakenteiden toleranssit, Suomen Betonitieto Oy, 2003* mukaan ja teräspalkin toleranssit määritetään standardin SFS-EN 1090-2 mukaan.

Tarkastellaan vain toleransseja. Tyypillinen taipuma palkille on L/500 eli 14.4 mm. Palkilla voi olla myös esikorotusta. Lasketaan kiinnityspisteen sijainnin toleranssi alaspäin. Toleranssit ovat taulukon 1 mukaiset.

Taulukko 1. Esimerkki

Toleranssin vaatimus	Toleranssin nimi	Betonipalkki	Betonipalkki	SFS-EN 1090-2 taulukko	Teräspalkki	Teräspalkki
		Normaaliluokka	Erikoisluokka		Luokka 1	Luokka 2
Valmistus	Keskikohdan käyryys	Max (10;L/500) = 14.4 mm	Max(10;L/700) = 10.3 mm	D.2.7.3	Max(5;L/750) =9.6 mm	Max(3;L/750) = 9,6 mm
Asennus	Korkeusasema tuella	15 mm	15 mm	D.2.25.3	Min(10;L/500)= 10 mm	Min(5;L/1000) =5 mm

Olettaen, että tuen korkeusaseman toleranssi ei toteudu yhtä aikaa molemmilla tuilla, saadaan betonipalkille seuraavat tulokset eri toleranssiluokissa olettaen toleranssien jakautuvan normaalijakautuman mukaan.

$$\text{Normaaliluokka : tol} = \sqrt{14.4^2 + 7.5^2 + 7.5^2} = 17.9 \text{ mm} \quad (1)$$

$$\text{Erikoisluokka : tol} = \sqrt{10.3^2 + 7.5^2 + 7.5^2} = 14.8 \text{ mm}$$

Olettaen, että korkeusaseman toleranssi toteutuu molemmilla tuilla yhtä aikaa, saadaan tulokset.

$$\text{Normaaliluokka : tol} = \sqrt{14.4^2 + 15^2} = 20.8 \text{ mm} \quad (2)$$

$$\text{Erikoisluokka : tol} = \sqrt{10.3^2 + 15^2} = 18.2 \text{ mm}$$

Osa WP9 : Teräsrunkorakenteiden ja metallijulkisivujen mittatoleranssit

Teräsrakentamisen eurooppalaiset pelisäännöt – suunnittelu ja toteutus (TEP)

Teräspalkille saadaan vastaavasti

$$\text{Luokka 1: } tol = \sqrt{9.6^2 + 5^2 + 5^2} = 11.9 \text{ mm} \quad (3)$$

$$\text{Luokka 2: } tol = \sqrt{9.6^2 + 2.5^2 + 2.5^2} = 10.2 \text{ mm}$$

ja

$$\text{Luokka 1: } tol = \sqrt{9.6^2 + 10^2} = 13.9 \text{ mm} \quad (4)$$

$$\text{Luokka 2: } tol = \sqrt{9.6^2 + 5^2} = 10.8 \text{ mm}$$

Kun tarkastellaan tuloksia julkisivuelementin kiinnittämisen kannalta, niin on selvää, että betonipalkille on käytettävä erityistoleranssia, tulos oli toleranssi alaspäin 14.8 mm. Kun otetaan huomioon palkin taipuma, niin on odotettavissa hankaluuksia työmaalla, mikäli toleranssit ja taipumat toteutuvat täysin arvoina. Teräspalkille on yhtä selvää, että on käytettävä luokan 2 toleransseja, tulos tälle oli toleranssi alaspäin 10.2 mm.

Projektikohtainen erityistoleranssien käyttö

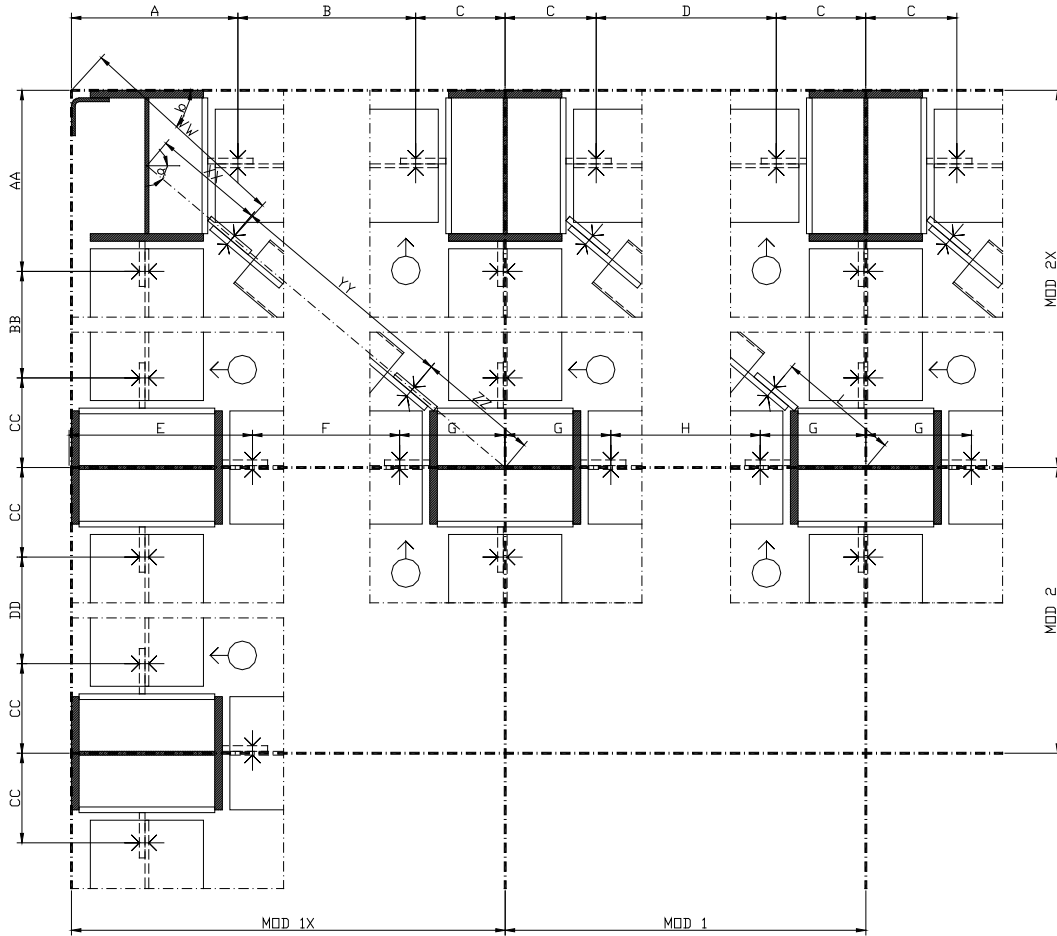
Eryistoleranssien määrittämiseksi julkisivun kiinnityskohtaan yläreunaan palkin keskelle on kiinnitetty tehtaalla mittapiste, jonka avulla palkki asennetaan paikoilleen työmaalla. Tällöin kiinnityskohdan toleranssi on ainoastaan mittaustoleranssi työmaalla, joka nykyisellään on noin +/- 2 mm. Palkkia asennettaessa mittapisteen asema säädetään esim. palkin tukipalojen avulla kohdalleen. Mikäli säätö ei ole mahdollista, niin on syytä käyttää mittajärjestelmän suunnittelua, jonka perusteella arvioidaan tarvittavat säädöt. Perinteisesti teräsrunkojen säätökohdat ovat pilareiden alapäissä ja jatkoksissa.

Jos julkisivuelementin kiinnityskohtia on myös pilareissa, niin niissä on kiinnityskohdissa omat mittapisteeet, joiden avulla pilarit asennetaan paikoilleen.

Toteutuseritelmässä esitetään erityistoleranssin poikkeaman arvot sekä perusteet mittauseritelmälle sekä asennusmenetelmälle (esim. viittaus tähän ohjeeseen).

Toisena esimerkkinä erityistoleranssien käytöstä tarkastellaan tilannetta, jossa teräsrungon pintaan kiinnitetään suoraan esimerkiksi **ruuvaamalla** julkisivuelementit (sandwich-elementti tai vastaava). Lisäksi vaatimuksena on hyvin pieni saumavara. Kuvassa 6 on esitetty rungon mitoitus tasossa käyttäen erityistoleransseja. On huomattava, että reunapilareiden ja liittyvien osien mitoitus lähtee nyt pilareiden ulkopinnoista eikä pilareiden keskikohdista kuten on totuttu.

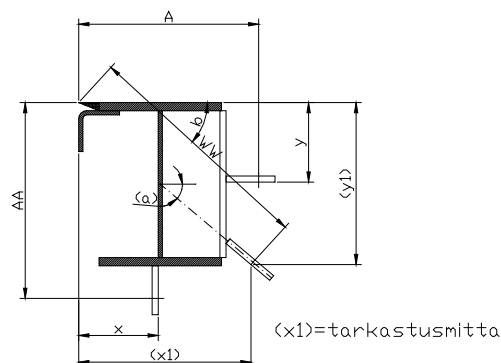
Teräsrakentamisen eurooppalaiset pelisäännöt – suunnittelu ja toteutus (TEP)



Kuva 6. Rungon mitoitusesimerkki

Mitoitus koko projektissa on nyt tehtävä saman periaatteen mukaan. Kuvassa 7 on nurkkapilarin valmistuspiirustukseen periytyvät toimintamitat (A, AA, WW). Käytännössä piirustuksissa esiintyviä mittoja ovat:

- toimintamitta,
- valmistusmitta,
- tarkastusmitta, esim. x1 kuvassa 7.



Kuva 7. Nurkkapilarin valmistuspiirustuksiin periytyvät mitat

Teräsrakentamisen eurooppalaiset pelisäännöt – suunnittelu ja toteutus (TEP)

Edellä mainittuja projektikohtaisia erityistoleransseja käytettäessä kaikissa rakennusosissa tulee olla kiinnitettyinä koko elinkaaren ajan erityiset mittapisteet. Näistä mittapisteistä lähtien toteutetaan mittaukset tehtaassa ja työmaalla. Esimerkiksi kahden kerroksen korkuisessa pilarissa on oltava mittapiste alapäässä, yläpäässä ja ainakin välikerroksen kohdalla.

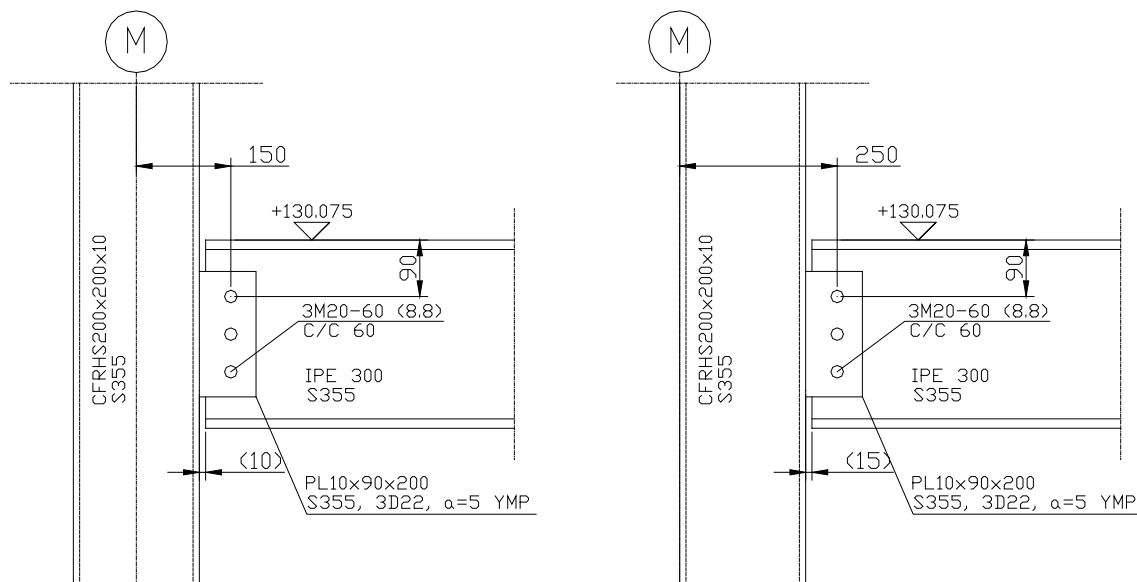
Rungon tarkemittaus on tehtävä ainakin jäykistävien tasojen kohdilla. Tarkemittauksessa mitataan pilareiden sijainnit ja äärimmäisten pilareiden ristimitat. Mittaus toteutetaan mittapisteistä.

Tiheämpää jakoa voi olla joskus syytä käyttää. Jos pilariin kiinnitetään julkisivuelementtejä, niin kiinnityskohdassa on aina mittapiste.

Mittapiste on pyrittävä sijoittamaan osan kuperalle puolelle, jotta sen havainnointi on mahdollista laajalla säteellä. Nurkkapilarilla on pyrittävä esimerkin tapauksessa siihen, että mittapiste on nurkassa, ja se näkyy molempiin suuntiin. Keskipilarilla voi samassa tasossa olla kaksi mittapistettä vastakkaisilla puolilla ja todellisen mittapisteen asema on kahden mittapisteen keskiarvo.

On varmistettava, että mittapiste säilyy kuljetuksessa ja asennuksessa paikoillaan. Reikä teräksessä on varma mittauspiste.

Kuvatut projektikohtaiset erityistoleranssit on otettava huomioon muiden liittyvien osien toleransseissa. Kuvassa 8 on esimerkki, jossa pilarin paksuuden toleranssi saattaa kasvattaa palkin ja pilarin välisen vapaan mitan vaatimusta.



Kuva 8. Normimenetelmän ja projektikohtaisen menetelmän mukaiset palkki-pilariliitokset

Toteutuseritelmässä esitetään erityistoleranssin poikkeaman arvot sekä perusteet mittauseritelmälle sekä asennuseritelmälle (esim. viittaus tähän ohjeeseen).

Osa WP9 : Teräsrunkorakenteiden ja metallijulkisivujen mittatoleranssit

Teräsrakentamisen eurooppalaiset pelisäännöt – suunnittelu ja toteutus (TEP)**Suunnittelijan muistilista**

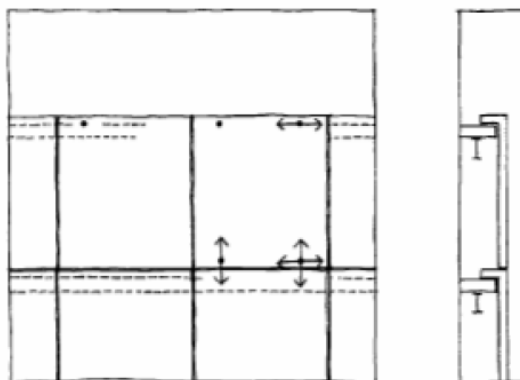
Rungon ja julkisivuelementtien suunnittelijan muistilista, jota käytetään jo esisuunnitteluvaiheessa:

- Määritetään rakennusosat, pilarit, palkit, laatat, riippuen elementtityypeistä, joihin elementit kiinnitetään ja tämä määrittely välitetään muille suunnittelijoille, ARK, LVISA ja toteuttajille. Tätä määrittelyä saa muuttaa vain äärimmäisessä tilanteessa informoiden kaikkia projektin osapuolia välittömästi ja varmistaen, että muutostieto on mennyt perille.
- Sovitetaan yhteen elementtien ja liittyvän rungon toleranssit ja suunnitellaan tarvittaessa sovitusalueiden toteutus mahdollisuuksien mukaan yhteistyössä toteuttajien (teräsrakennekonepaja ja työmaa) kanssa. Sovitusalueilla otetaan huomioon toleransseja ja työvirheitä. Sovitusalueilla pyritään varmistamaan se, että työt etenevät aikataulussa ja työmaalla tehtäviä muutoksia runkoon tai elementteihin voidaan välttää.
- Rakennesuunnittelijan on määritettävä rungon kiinnityskohtien muodonmuutokset jo esisuunnitteluvaiheessa. Joissain tapauksissa rungon jäykkyyden kasvattaminen on kokonaistaloudellinen ratkaisu.

Julkisivuelementtien suunnittelun perussääntö:

- On pyrittävä siihen, että julkisivuelementti on staattisesti määrätysti tuettu runkoon.
- Perustelu 1: Suunnittelija osaa määrittää LUOTETTAVASTI kiinnityspisteen kuormituksen ja edelleen rungon ja julkisivuelementin rasitukset.
- Perustelu 2: Rungon muodonmuutokset eivät vaikuta julkisivuelementin rasitukseen ja päinvastoin: julkisivuelementin muodonmuutokset eivät vaikuta rungon rasitukseen (siirtymiin ne vaikuttavat).

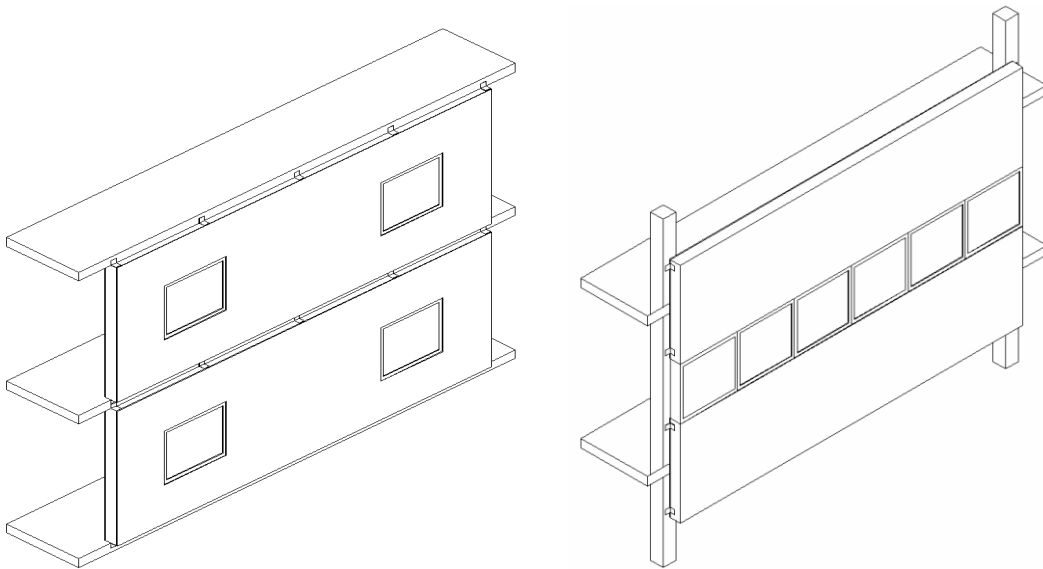
Kuvassa 9 on esimerkki edellä olevan perussäännön sovellutuksesta. Yksi piste on kiinni kahdessa suunnassa julkisivuelementin tasossa ja muilla kolmella kiinnityspisteellä on liikemahdollisuudet kuvan 9 mukaan. Näin saadaan aikaiseksi staattisesti määrätty systeemi kuvan 9 tasossa ja tilanne tulee olla sama voimasuureilla ja liikemahdollisuuksilla kuvan 9 tasosta pois (tuuli ja lämpötilan muutokset).



Kuva 9. Staattisesti määrätty tukisysteemi julkisivuelementille

Kuvassa 10 on kaksi tyypillistä Suomessa käytettyä julkisivuelementtien (ruutuelementti ja nauhaelementti) kiinnitystapaa runkoon.

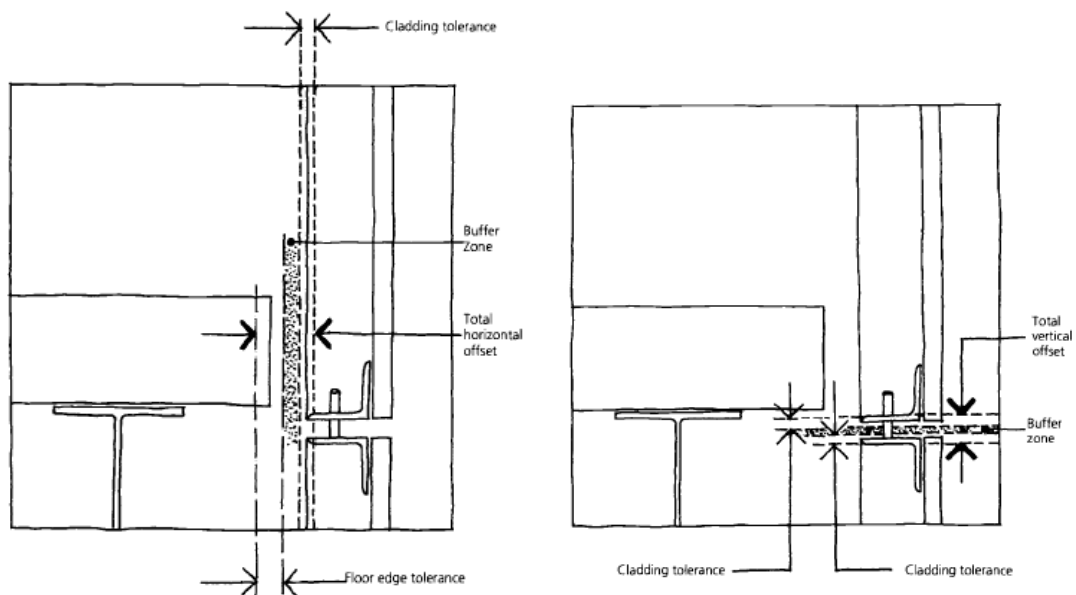
Osa WP9 : Teräsrunkorakenteiden ja metallijulkisivujen mittatoleranssit

Teräsrakentamisen eurooppalaiset pelisäännöt – suunnittelu ja toteutus (TEP)


Kuva 10. Tyypillisiä julkisivuelementtien tuentatapoja

Ruutuelementin tapauksessa julkisivuelementin tuenta on hankala toteuttaa staattisesti määrättyinä, joten tukien painumien määrittämiseen ja mahdollisiin painumien rajoituksiin on syytä paneutua suunnitteluvaiheessa.

Sovitusalue voi olla vaakasuunnassa tai pystysuunnassa kuvan 11 mukaan.



Kuva 11. Sovitusalueet (buffer zones)

Teräsrakentamisen eurooppalaiset pelisäännöt – suunnittelu ja toteutus (TEP)

Kiinnityskohtien muodonmuutokset arvioidaan ottaen huomioon elementin:

- omapaino,
- tuulikuormitus,
- hyötykuormitus,
- nostot,
- ja muut vaikuttavat kuormitukset yhdistelyineen.

Jos elementti on painava (esim. kivirakenteinen), niin kiinnikkeen ulokkeen mittaan on syytä kiinnittää huomiota (epäkeskisyydestä aiheutuva iso momentti). Tuulikuormituksessa on otettava huomioon rakennuksen nurkkien imukuorma sekä talvella hormivaikutuksesta seuraava sisäinen paine tuulen lisäksi. Kesällä ilmastoidussa rakennuksessa vaikuttaa vastaavasti negatiivinen sisäinen paine. Hyötykuormituksessa otetaan huomioon vaakakuormat, jotka johtuvat törmäyksistä seiiniin erityisesti lähellä maanpintaa ja tasojen yläpuolella. Joissakin tapauksissa turvallisuusmääräyksistä seuraa vaatimuksia ulkoseinille. Ulkoseinille suositellaan tehtäväksi päärakennesuunnittelijan toimesta erillinen seinien kuormituspiirustus, vastaava kuin välipohjille tehdään.

Rungon muodonmuutokset arvioidaan ottaen huomioon

- lämpötilan muutoksista aiheutuvat siirtymät,
- perustusten painuminen,
- pilareiden kokoonpuristuminen,
- reunapalkkien ja -laattojen taipuminen,
- koko rungon sivuun siirtyminen.

Mittajärjestelmän suunnittelu

Kiinnityskohtien säätövarojen suunnittelussa on otettava huomioon edellä mainitut rungon ja julkisivurakenteiden muodonmuutokset. Näiden lisäksi on otettava huomioon kaikki mahdolliset toleranssit, jotka saattavat realisoitua kiinnityskohdissa. Säätövarojen suunnittelussa voidaan ottaa huomioon asennuksen aikana mahdollisesti työmaalla tehtävä säätö, jota helpottaa mittapisteiden olemassaolo.

Tärkeä toiminto rakentamisessa on aina mittaustapahtuman jälkeen tapahtuva palautteen anto. Palautteen avulla voidaan tehdä korjauksia teräsrakennekonepajassa tai asennuksessa tilanteen mukaan. Myös positiivinen palaute on syytä antaa.

Jos käytetään edellä kuvattuja projektikohtaisia toleransseja, niin esimerkiksi valmistustoleranssia voidaan joissain tapauksissa kiristää, jotta säätövaroja ei tarvita. Tämä saattaa olla kokonaistalouden kannalta edullista.

Mittajärjestelmän suunnittelussa yleisesti on otettava kantaa mm. seuraaviin suureisiin

- tavoiteltu toleranssi T ,
- säätövara S (voidaan asettaa nolaksi),
- siirtymät ympäröivissä ja kiinnitettävässä rakenteessa D ,
- rakentamistoleranssi TS .

Näitä suureita yhdistää löyhästi ajatellen kaava

Osa WP9 : Teräsrunkorakenteiden ja metallijulkisivujen mittatoleranssit

Teräsrakentamisen eurooppalaiset pelisäännöt – suunnittelu ja toteutus (TEP)

$$S = TS - T - D \quad (5)$$

Kaavaa kirjoitettaessa tulee ajatella esiteltyjä suureita itseisarvoina. Kaavaa kirjoitettaessa on ajateltu, että kaikki kaavan suureet ovat symmetrisen toleranssin luonteisia eli kaikki suureet voivat esiintyä + tai – merkkisinä. Lisäksi on oletettu, että suureet eivät vaikuta toisiinsa (suora summa).

Esimerkiksi palkin painuma omasta painosta on aina alaspäin. Toisaalta palkeilla on usein esikorotus ja jos suure D ajatellaan itseisarvoltaan suurimmaksi palkin esikorotuksen ja lopullisen painuman joukosta, niin kaava on edelleen käyttökelpoinen.

Samoin säätövara voi olla joskus vain toiseen suuntaan, mutta periaatteessa kaavan (5) avulla voidaan tehdä päätöksiä mittamaailman suunnittelussa.

Mittojen esittämiseen ja mittaamiseen työmaalla sekä asennukseen liittyy aina aloituspisteen valinta. Tällä valinnalla voi olla ratkaiseva merkitys etenkin, kun asennettava alue on iso verrattuna asennettavien kappaleiden kokoon. Vasemmalta oikealle tai alhaalta ylös ei aina toimi. Sovituskaistat voivat olla vain toisessa reunassa tai joskus on syytä aloittaa asennus ja mittaus keskeltä, aukon reunasta jne.

Myös mittausten toteutus on syytä ohjeistaa tapauskohtaisesti. Ainakin jäykistävien tasojen kohdilla tapahtuva rungon tarkemmittaus on minimivaatimus. Mittapisteiden käyttö helpottaa mittaustyön toteutusta ja mittatulosten vertailua teoreettisiin arvoihin.

Mittajärjestelmän suunnittelussa on kyse edellä olevan kaavan (5) suureiden määrittämisestä etukäteen. Kaavassa (5) säätövara ja siirtymät ovat ”eksakteja” suureita ja tavoiteltu toleranssi ja rakentamistoleranssi ovat tilastollisia suureita. Mikäli säätövara ja muodonmuutokset ympäröivissä rakenteissa voidaan olettaa olevan nolliä, niin kaavasta saadaan

$$TS = T \quad (6)$$

eli tässä tapauksessa hyväksytään saavutettava rakentamistoleranssi.

Mittajärjestelmän suunnittelu lähtee aina edellä olevista kaavoista. Lähtökohtana on se, että määritellään tavoitteet ja otetaan huomioon tarpeet työmaalla eli tavoiteltu toleranssi T . Kun tämä on tehty, niin aletaan miettiä kuinka näihin tavoitteisiin päästään.

Tässä prosessissa määritetään siirtymät kiinnitysalustassa ja kiinnitettävässä rakenteessa ja näistä suureista määritetään laskennallisesti suure D . Laskelmat tehdään kaikissa kiinnityskohdissa kaikkiin suuntiin ja kiertymät on tarkastettava joissakin tapauksissa myös. Pahimmat paikat tulee etsiä, koska pahimman paikan mukaan tehdään päätökset toimenpiteistä.

Siirtymiin D vaikuttavat tyypillisesti samat kuormitukset kuin rakenteisiin lopullisessa tilanteessa ja näiden lisäksi asennusaikaiset kuormitukset. Ne voivat esimerkiksi tuulen osalta olla aivan erilaiset kuin valmiissa rakenteissa. Samoin lämpötilan muutoksista johtuvat siirtymät saattavat olla asennusaikaan suurempia kuin lopullisessa rakenteessa. Suureiden D laskentaa ei tarkastella tässä yhteydessä laajemmin.

Osa WP9 : Teräsrunkorakenteiden ja metallijulkisivujen mittatoleranssit

Teräsrakentamisen eurooppalaiset pelisäännöt – suunnittelu ja toteutus (TEP)

Seuraavaksi lasketaan rakentamistoleranssit TS . Kun nämä on määritetty, niin sen jälkeen lasketaan tarvittavat säätövarat S kiinnityskohdissa.

Kuten edellä on selvitetty, niin mittajärjestelmän suunnittelussa määritellään T , eli haluttu toleranssi. Yksi tähän vaikuttava suure on rakentamistoleranssi TS ja sitä voidaan eri toimenpiteillä säätää. Lopullinen laskenta vaatii iterointia tavoitteen asetannan (haluttu toleranssi), säätövaran ja rakentamistoleranssin välillä. Joissain tapauksissa myös siirtymiä on rajattava, jotta lopputuloksena saadaan järkevä kokonaisuus. Joissain tapauksissa esimerkiksi urakkarajoista riippuen rungon siirtymiin ei voida vaikuttaa julkisivua suunniteltaessa ja tämän kaltaiset rajoitukset on otettava huomioon mittajärjestelmää suunniteltaessa.

Yleisesti mittajärjestelmän suunnittelussa on kyse optimoinnista ja muuttujia ja rajoitteita on paljon. Optimoitava funktio on yleensä rakentamiskustannus.

Rakentamistoleranssin laskenta tehdään seuraavasti, kun oletetaan, että toleranssit ovat normaalijakautuneita suureita. Normaalijakautuneet toleranssit summataan kaavalla:

$$TS = \sqrt{(\sum T_v)^2 + (\sum T_m)^2 + (\sum T_a)^2} \quad (7)$$

missä

T_v	on sijaintiin vaikuttavat valmistustoleranssit,
T_m	on sijaintiin vaikuttavat mittaustoleranssit,
T_a	on sijaintiin vaikuttavat asennustoleranssit.

On huomattava, että esimerkiksi standardin SFS-EN 1090-2 mukaiset asennustoleranssit ymmärretään yleisesti rakennustoleransseiksi eli ne sisältävät mittaustoleranssit.

Toleranssianalyysiin liittyy oleellisesti herkkyysanalyysi. Herkkyysanalyysillä arvioidaan toleranssien välistä tilastollista riippuvuutta. Herkkyysanalyysija on monenlaisia (matemaattinen, kokeellinen) ja seuraava yksinkertaistettu menetelmä perustuu yksittäisten komponenttien toleranssien vaihteluvälien suuruuteen. Menetelmässä määritetään, kuinka paljon yksittäisten toleranssien osuudet ovat niistä riippuvan kokonaisuuden toleranssista ja nähdään, mitkä vaikuttavat kokonaisuuteen eniten. Kun tarkastellaan valmistus-, mittaus- tai asennustoleranssin vaikutusta kokonaistoleranssiin, niin päädytään kaavaan:

$$P_i = \frac{(\sum T_i)^2}{(\sum T_v)^2 + (\sum T_m)^2 + (\sum T_a)^2} \quad \text{kun } i = v, m \text{ tai } a \quad (8)$$

Vastaavasti voidaan tutkia yksittäisten toleranssien herkkyyttä.

Mittaustyössä on otettava huomioon ympäristöolosuhteet. Taulukossa 2 on annettu korjauskertoimet millimetreissä lämpötilan mukaan mittauspituuden funktiona. Lähtökohtana on se, että teoreettiset mitat annetaan +20 °C lämpötilassa. Taulukko 2 pätee betoni- ja teräsrakenteille.

Teräsrakentamisen eurooppalaiset pelisäännöt – suunnittelu ja toteutus (TEP)

Taulukko 2. Lämpötilakorjaukset millimetreissä mittaustuloksiin

Lämpötila °C	Mittauspituus			
	5 m	10 m	15 m	20 m
+30	-0.5	-1.0	-1.5	-2.0
+20	-	-	-	-
+10	+0.5	+1.0	+1.5	+2.0
0	+1.0	+2.0	+3.0	+4.0
-10	+1.5	+3.0	+4.5	+6.0
-20	+2.0	+4.0	+6.0	+8.0