

TEP/ WP8: JATKUVAN SORTUMAN ESTÄMINEN TERÄSRAKENTEISSA SEKÄ ROBUSTNESS- VAURIONSIIETOKYKY

avainasemassa oleva rakenneosa kantava rakenneosa, josta koko muun rakenteen stabiiliteetti tai kestävyys riippuu

ekvivalentti staattinen kuorma dynaamisen kuorman vaihtoehtoinen esitystapa, johon staattisen vasteen lisäksi sisältyy rakenteen dynaaminen vaste

paikallinen vaurio rakenteen yksittäinen osa tai liitoskomponentti, jonka oletetaan onnettomuustapauksessa vaurioituneen ja menettäneen kantavuutensa, paikallisen vaurion hyväksyttävät raja- arvot esitetty standardin SFS-EN 1991-1-7 NA kohdassa 9

jatkuva sortuma paikallisen vaurion seurauksena tapahtuva ketjureaktio, jonka seurauksena merkittävä osa rakennusta tai koko rakennus sortuu

paineenpurkausluukku vaipan (seinän, välipohjan, katon) ei-kantava osa, jolla on vain rajallinen kestävyys ja jonka on tarkoitus purkaa räjähtävästä palamisesta kehittyvä paine rakennuksen kantaviin rakenneosiin vaikuttavan paineen vähentämiseksi

riski määriteltävissä olevan vaaratilanteen esiintymisen todennäköisyyden tai taajuuden ja esiintymisen seuraamusten suuruuden yhdistelmän mitta (tavallisesti tulo)

plastisoituvuus rakenneosan ominaisuus sietää (plastisia) muodonmuutoksia ilman että siihen ennen plastisoitumisen alkua kertynyt rasitus (= murtokestävyys) voi plastisoituessa säilyä (vrt. nurjahdussauva, joka nurjahtaessaan menettää kestävyytensä)

kestävyyssitoitus rakenneosan tai liitoksen mitoittaminen siten, että sen kestävyudeksi valitaan eri murtotapoja kuvaavista kestävyysarvoista pienin, olipa tätä arvoa vastaava murtotapa millainen tahansa

sitkeysmitoitus rakenneosan tai liitoksen mitoittaminen siten, että kestävyudeksi tulee eri komponentteja tai niiden mittoja tai paksuuksia varioimalla sellainen murtotapa, josta voidaan luotettavasti todeta, että rakenne tai liitos kykenee plastisoitumaan ja siis käyttäytymään sitkeästi (esimerkiksi poikkileikkausluokan 1 palkki kykenee muodostamaan plastisen nivelen)

Sisältö	Sivu
1. YLEISTÄ	4
2. MITOITUSTILANTEET	6
2.1 YLEISTÄ	6
2.2 ENNALTA TUNNISTETTAVAT ONNETTOMUUSTAPAUKSET	6
2.3 JATKUVAN SORTUMAN RAJOITTAMINEN (ENNALTA EI TUNNISTETTAVAT TAPAUKSET)	7
2.3.1 <i>Seuraamusluokkien määrittely ja suositeltavat toimenpiteet</i>	7
2.3.2 <i>Hyväksytyt sortuma-alueen ja avainaseman periaate</i>	8
2.3.3 <i>Sidontaperiaate</i>	9
2.4 KORVAAVA RAKENNEJÄRJESTELMÄ	12
2.4.1 <i>Plastinen kiertymiskyky korvaavassa rakennejärjestelmässä</i>	13
2.5 EDELLYTYKSET JATKUVAN SORTUMAN RAJOITTAMISELLE	15
3. KUORMITUKSET	18
3.1 TÖRMÄYS	18
3.2 RÄJÄHDYSKUORMAT, SISÄPUOLISET RÄJÄHDYKSET	18
4. LIITOKSET	20
4.1 LIITOSTEN LUOKITUS	20
4.1.1 <i>Liitosmallit</i>	20
4.1.2 <i>Liitoksen jäykkyys</i>	20
4.1.3 <i>Liitoksen lujuus</i>	20
4.1.4 <i>Liitoksen muodonmuutoskyky</i>	20
4.2 LIITOKSEN VAURIONSIIETOKYKY	21
4.3 LIITOSTEN MALLILASKELMIA	21
4.3.1 <i>Leikkausliitokset</i>	22
4.3.2 <i>Päätylevyliitokset</i>	26
KIRJALLISUUTTA	30
VIITESTANDARDEJA	31

1. Yleistä

Sanalla ”robustisuus” (eng. ”robustness”) on useita merkityksiä tieteenalasta riippuen. Perinteiseen rakentamiseen liittyvissä yhteyksissä robustisuus tarkoittaa rakenteen stabiiliutta, sitkeyttä ja kestävyyttä. Standardin SFS-EN 1991-1-7 kohdan 1.5.14 suomenkielisessä käännöksessä puhutaan vaurionsietokyvystä, rakenteen kyvystä vastustaa sellaisia tapauksia, kuten tulipaloa, räjähdysä, törmäystä tai inhimillisen virheen seurauksia vahingoittumatta syyhyn nähden suhteettoman laajasti. Standardissa SFS-EN 1991-1-7 esitetyt onnettomuusmitoitustilanteiden toimintaperiaatteet perustuvat standardin SFS-EN 1990 seuraamusluokkiin.

Todennäköisyyslaskentaan perustuen rakenteen jatkuvan sortuman todennäköisyyttä $p(F)$ voidaan kuvata seuraavasti:

$$p(F) = p(F/D \cap H) \cdot p(D/H) \cdot p(H)$$

missä:

$p(H)$ = tapahtuman (onnettomuus) H todennäköisyys

$p(D/H)$ = paikallisen vaurion D todennäköisyys tapahtuman H johdosta

$p(F/D \cap H)$ = vahingon todennäköisyys, joka syntyy paikallisen vaurion D seurauksena tapahtuman H johdosta

Yhtälöstä on pääteltävissä, että pienentämällä kaavan oikealla puolella olevien tulon yksittäisten tekijöiden esiintymistodennäköisyyttä pienennetään myös jatkuvan sortuman todennäköisyyttä. Tämän päätelmän perusteella rakenteen jatkuvan sortuman riskin pienentämiseksi tehtävät toimenpiteet voidaan jakaa kolmeen eri pääperiaatteeseen seuraavasti:

- pyritään estämään tapahtuman, onnettomuuden, kohdistuminen rakenteeseen tai pienentämään tapahtuman vaikuttavuutta (event control method)
- pyritään pienentämään paikallisen vaurion esiintymisen todennäköisyyttä (specific local resistance method)
- pyritään estämään paikallisen vaurion laajenemista rakenteessa (alternate path method)

Tapahtumakeskeisessä lähestymistavassa (event control method) voidaan rakenteellisen vaurion syntymisen ehkäisemiseksi käyttää esimerkiksi uhrautuvia tai muutoin varsinaista rakennetta suojaavia rakennusosia, jolloin näiden rakennusosien vahingoittumisesta aiheutuvat seuraamukset jäävät pieniksi. Myös kantavien rakenteiden sijoittamisella siten, että esimerkiksi ajoneuvoliikenteestä johtuvat todennäköiset ”törmäysreitit” eivät risteä kantavien rakenteiden kanssa ohjataan vaurion kohdistumista vähemmän kriittisiin rakenneseisiin. Rakenteet voidaan myös suunnitella kestävämmän onnettomuudesta aiheutuva kuormitus. Perusedellytyksenä tämän lähestymistavan soveltamiselle on, että onnettomuus mahdollisena tapahtumana on tunnistettu ja sen vaikuttavuus rakenteisiin on tiedossa.

Pääperiaatteista kaksi viimeainittua ovat lähestymistapoja, joihin voidaan vaikuttaa suoraviivaisesti rakennesuunnittelun yhteydessä tehdyin toimenpitein. Näiden lähestymistapojen yhteydessä määritellään lisävaatimukset, jotka rakenteen tulee täyttää ns. lujuteen perustuvan rakennesuunnittelun (kestävyysuunnittelu) lisäksi.

Edellä esitetty laskennalliseen todennäköisyysteoriaan perustuva matemaattinen menettely ei ole sellaisenaan riittävä lähestymistapa rakenteen jatkuvan sortuman estämisen hallintaan. Tämä johtuu siitä, että onnettomuustilanteiden ennalta tunnistettavuus on rajallista eikä vaurioiden todennäköisyyksistä ole olemassa kattavaa tilastotietoa. Lisäksi rakennuksen kantavat rakenneseosat suunnitellaan yleensä siten, että niiden hyväksikäyttöaste on mahdollisimman korkea, jolloin minkä tahansa rakenneseosan paikallinen vaurio on yhtä todennäköinen ja voi toimia alkukohtana isommalle sortumalle.

Kun hyväksytään se tosiasia, että kaikkia rakenteeseen kohdistuvia epäsuotuisia tapahtumia ei voi ennalta tunnistaa eikä kontrolloida, voidaan kaava kirjoittaa yksinkertaistettuun muotoon hyväksymällä tietty (matala) riskitaso sekä käyttämällä suunnittelukeskeisiä lähestymistapoja pienentämään todennäköisyyttä paikallisen vaurion syntymiselle:

$$p(F) = p(F/D) \cdot p(D).$$

Kyseinen kaava kuvaa paikallisen vaurion aiheuttaman jatkuvan sortuman todennäköisyyttä tilanteessa, missä onnettomuustapahtumaa ei ole ennalta määritetty tai tunnistettu. Standardin SFS-EN 1991-1-7 Suomen kansallisessa liitteessä (NA) esitetään rakennusten suunnittelun toimintaperiaatteet onnettomuusmitoitustilanteissa. Toimintaperiaatteita noudattamalla pyritään siihen, että rakennukset kestäisivät määrittelemättömästä syystä aiheutuvan paikallisen vaurion ilman että sortuminen etenee suhteettomasti ja että rakennuksella olisi riittävä seuraamusluokkaan perustuva (ks. standardin kohta 3.4) vaurionsietokyky.

Vähimmäiskesto, jonka rakennuksen tarvitsee olla toimintakykyinen onnettomuuden jälkeen, on se aika, joka tarvitaan ihmisten poistumiseen ja pelastamiseen rakennuksesta ja sen välittömästä läheisyydestä. Pitempikestoista toimivuutta voidaan edellyttää rakennuksilta, joissa käsitellään vaarallisia aineita, turvataan oleellisen tärkeitä palveluja tai joita käytetään kansallisen turvallisuuden ylläpitämiseen.

Jotta riittävä toimivuuden kesto aika voitaisiin saavuttaa, tulisi rakenteen vaurioituessa ehjäksi jääneiden rakenteiden muodostaa ns. korvaava rakennesysteemi, jolloin vaurioituneen rakenteen kuormat siirtyvät vaurioitumattomien rakenteiden kannettavaksi. Edellytyksenä korvaavan rakennesysteemin syntymiselle on, että rakenteeseen voi syntyä plastisia niveliä ja rakenneosat voivat plastisoitua menettämättä sille kertynyttä kuormaa. Riittävää toimivuuden kesto-aikaa ei välttämättä saavuteta tai sitä ei ole lainkaan, mikäli rakenne tai sen yksityiskohdat käyttäytyvät hauraasti siinä tilanteessa kun rakenteessa vaikuttava kuormitus saavuttaa rakenteen kestävyuden.

2. Mitoitustilanteet

2.1 Yleistä

Eurokoodin mukaisessa onnettomuusmitoituksessa on kaksi mitoitustilannetta: määriteltävissä oleviin onnettomuuskuormiin perustuvat onnettomuustilanteet ja paikallisen vaurion laajuuden rajoittamiseen perustuvat toimintaperiaatteet. Määriteltävissä oleviin onnettomuuskuormiin perustuvat mitoitustilanteet ovat luonteeltaan suoraviivaisia, koska onnettomuuskuormat voidaan tunnistaa ennakolta.

Paikallisen vaurion laajuuden rajoittamiseen perustuvan toimintaperiaatteen tarkoitus on rajoittaa vaurion kasvua suhteettoman suureksi alkuperäiseen syyhyn nähden tai arvioida skenaarioita ja ottaa huomioon niissä mahdollisia määrittelemättömiä onnettomuuskuormia tai niiden suuntia. Käytettävät toimintaperiaatteet ja säännöt sovitaan hankekohtaisesti tilaajan ja asianomaisen viranomaisen kanssa.

Rakennesuunnittelun yhteydessä on huomioitava molemmat onnettomuusmitoitustilanteet sekä mitoitustilanteisiin liittyvät toimintaperiaatteet. Havainnollinen periaatekaavio onnettomuusmitoitustilanteista on esitetty standardin SFS-EN 1991-1-7 kuvassa 3.1.

2.2 Ennalta tunnistettavat onnettomuustapaukset

Määriteltävissä oleville onnettomuustapauksille on hyvin ominaista, että onnettomuudet ovat rakennuksen käyttötarkoituksesta tai sijainnista johtuen ilmeisiä ja ennustettavissa vaikkakin harvinaisia. Onnettomuuskuorman eksakti suuruus ei tosin aina ole ennustettavissa. Määriteltäviä onnettomuustapauksia ovat esimerkiksi törmäykset, räjähdykset, tulipalot, virheet suunnittelussa ja/ tai toteutuksessa sekä inhimilliset erehdykset. Suunnittelussa ennalta tunnistettavien onnettomuustapausten toteutumisen riskiä voidaan pienentää joko pienentämällä riskin seurauksia (vaikutuksia) ja/ tai riskin todennäköisyyttä. Riski on määriteltävissä olevan vaaratilanteen esiintymisen todennäköisyyden tai taajuuden, ja esiintymisen seuraamusten suuruuden yhdistelmän mitta, tavallisesti tulo:

$$\text{riski} = \text{todennäköisyys} * \text{seuraukset}$$

Riskin arvioimiseen tarkoitettujen toimenpiteiden valintaan vaikuttaa hyvin paljon, mikä on hyväksyttävän vaurion suuruus ja riskin todennäköisyys. Käytännössä mitään onnettomuustilannetta ei voida täysin poistaa ja aina joudutaan valitsemaan tietty riskitaso. Esimerkiksi luonnonkuormien lukuarvot perustuvat niiden esiintymiseen kerran 50 vuoden aikana, joten ylikuormitustilanteet ovat mahdollisia. Jos riskitasoa ei pidetä hyväksyttävänä, toimenpiteet onnettomuustilanteen estämiseksi ovat välttämättömiä.

Sen mukaan, mikä lähestymistapa riskin pienentämiseksi valitaan;

Hyväksytyt riskin seurausten suuruus riippuu materiaalin, ihmisten ja ympäristön suojelusta, tilaajan tarpeista ja halukkuudesta suojella tuotantoa tai omaisuuttaan. Ensisijaisesti on aina turvattava ihmisten turvallisuus vähintään rakennuksesta poistumiseen onnettomuustilanteessa. Eurokoodin puolesta onnettomuuskuormien aiheuttamaa paikallista vauriota voidaan pitää hyväksyttävänä määriteltävissä oleville onnettomuustapauksille, mikäli se ei vaaranna koko rakennuksen stabiiliutta, ja jos rakenteen kestävyys säilyy ja sallii välttämättömien pelastustoimenpiteiden suorittamisen.

Ennakoitavissa olevia riskejä voidaan käytännössä suunnitteluteknisin keinoin pienentää suunnittelemalla suojarakenteita, joiden tarkoitus on ottaa vastaan onnettomuuskuorma. Tällöin

tapahtuman todennäköisyys ei laske, mutta seurausten kohteen vaihtuessa tärkeämmästä kohteesta merkitsemättömämpään, riski muuttuu hyväksyttäväksi, kun onnettomuustilanteen seuraukset ovat merkitykseltään vähäisempiä, esimerkkinä kaiteet ja tolpat, jotka suojelevat tärkeitä laitteita törmäyksiltä.

Seurauksia voidaan ennaltaehkäistä rajoittamalla käyttöä määräyksin ja pienentämällä tai rajaamalla sallittuja kuormia käyttötilanteissa. Tällöin onnettomuustilanteessa on todennäköisempää, että onnettomuustilanteessa vaikuttavat kuormat ovat pienempiä ja lähempänä ”todellisia” kuormatasoja. Tosin ongelmana käyttöön liittyvissä rajoituksissa on, että rajoitusten kiertäminen, ohittaminen ja noudattamatta jättäminen voivat olla käyttäjän vastuulla. Riskin todennäköisyyttä on myös mahdollista pienentää suunnittelemalla rakenteet ja tärkeät toiminnot rakennettavaksi kauemmaksi riittävien varoetäisyyksien päähän, jolloin onnettomuustaajuus tai sen intensiteetti on pienempi.

Aina edellä mainittuja onnettomuustilanteen suojaamis- ja siirtokeinoja ei voida käyttää riskin pienentämiseksi, jolloin rakenne on suunniteltava kestävä onnettomuuskuormat. Tällöin vaihtoehtona on suunnitella rakenne kestävä onnettomuuskuormat, etteivät toiminnot keskeydy tai häiriinny pitkäksi aikaa, vaikka onnettomuus tapahtuu, kuten tehtaan tuotanto tai sairaalan toiminta. Toinen vaihtoehto on suunnitella rakenne absorboimaan merkittävä määrä muodonmuutosenergiaa ja toimimaan sitkeästi. Rakenteen käyttäytyessä sitkeästi on hyväksyttävää, että rakenne vaurioituu onnettomuustilanteessa, jolloin jokin rakenneosia mahdollisesti joudutaan myöhemmin korjaamaan tai vaihtamaan, mutta välttämättömät pelastustoimet pystytään suorittamaan. Kolmas vaihtoehto on suunnitella rakenteet (riittävän) moninkertaisesti staattisesti määräämättömiksi. Staattisella määräämättömyydellä mahdollistetaan rakenneosan vaurioituessa kuormien siirtyminen rakenteessa muita vaihtoehtoisia reittejä pitkin. Onnettomuustilanteessa osa rakenteesta rikkoutuu ja onnettomuudesta aiheutuvat rakenteen korjaukset tai muut rakenteeseen kohdistuvat toimenpiteet, esimerkiksi rakenteen purkaminen, välttämättömiä, mutta rakennuksen käyttöturvallisuus täyttyy.

2.3 Jatkuvan sortuman rajoittaminen (ennalta ei tunnistettavat tapaukset)

Onnettomuustilanteita mitoittaessa ei kaikkia skenaarioita osata tai ehkä voida arvioida. Ennalta tunnistamattomia onnettomuustilanteita varten on onnettomuuskuormastandardin SFS-EN 1991-1-7 liitteessä A esittely toimintaperiaatteet paikallisen vaurion laajuuden rajoittamisesta. Normin käytössä on huomattava, että Suomessa on ko. liite korvattu kokonaisuudessaan kansallisen liitteen yhteyteen kirjoitetulla asiakirjalla ”Rakennusten suunnittelu määrittelemättömästä syystä aiheutuvan paikallisen vaurion seuraamusten varalta”. Asiakirjan toimintaperiaatteita noudattamalla pyritään pienentämään riskiä jatkuvan sortuman syntymiselle syystä, että eri rakenneosien välinen liitos irtoaa.

Jatkuvalla sortumalla tarkoitetaan tilannetta, jossa suhteellisesti pieni paikallinen vaurio laajenee vaarantaen koko rakennuksen tai rakenteen kestävyuden tai stabiiliuden. Jatkuvan sortuman estämiseksi valittavat toimintaperiaatteet määräytyvät rakennusten seuraamusluokkien mukaan.

2.3.1 Seuraamusluokkien määrittäminen ja suositeltavat toimenpiteet

Rakennuksen seuraamusluokka onnettomuusmitoitustilanteessa määritetään standardin NA SFS-EN 1991-1-7 asiakirjan ”Rakennusten suunnittelu määrittelemättömästä syystä aiheutuvan paikallisen vaurion seuraamusten varalta” mukaan. Tämän asiakirjan mukaisia seuraamusluokkia sovelletaan vain jatkuvan sortuman toimintaperiaatteiden määrittämiseen. Rakennukset jaetaan seuraamusluokkiin käyttötarkoituksen ja kerroslukumäärän perusteella. Kansallisessa liitteessä rakennukset on jaoteltu viiteen luokkaan (1, 2a, 2b, 3a ja 3b). Kansallisen liitteen NA SFS-EN

1991-1-7 mukainen rakennusten jaottelu seuraamusluokkiin onnettomuusrajatilassa poikkeaa alkuperäisestä standardista SFS-EN 1991-1-7 sisällöltään sekä luokituksestaan.

Myös standardissa SFS-EN 1990 sekä sen kansallisessa liitteessä NA SFS-EN 1990 on esitetty rakenteiden seuraamusluokkiin jako. Näitä seuraamusluokkia (CC1, CC2 ja CC3) käytetään rakennusten luotettavuuden hallinnassa murtorajatilassa normaalisti vallitsevien ja tilapäisten mitoitustilanteiden kuormitusyhdistelmien kuormakertoimien määrittämiseen. Näidenkin seuraamusluokkien osalta on huomattava, että kansallisen liite ja alkuperäinen standardi poikkeavat toisistaan.

Huom. Standardin SFS-EN 1990 mukaisen seuraamusluokituksen jaon perusteena on rakenneosan merkitys vaurioitumisen seuraamusten kannalta. Samassa rakennuksessa/rakenteessa voi olla eri seuraamusluokan rakenneosia. Esimerkiksi yli 8-kerroksisen rakennuksen kantava päärunko kuuluu seuraamusluokkaan CC3; välipohjarakenteet, jos eivät toimi koko rakennusta jäykistävänä rakenneosana CC2; väliseinät, jos eivät toimi kantavana ja/tai rungon jäykistävänä rakenneosana CC1.

Suomessa rakennusten jaottelu seuraamusluokkiin onnettomuusrajatilassa tapahtuu onnettomuuskuormastandardin NA SFS-EN 1991-1-7 taulukon 1 mukaisesti. Onnettomuuskuormastandardin mukaan määriteltävän seuraamusluokan perusteella valitaan strategia paikallisesta vauriosta aiheutuvien seuraamusten rajoittamiseksi. Strategioita ovat sidontaperiaate ja hyväksytyin sortuma-alueen sekä avainaseman toimintaperiaate.

2.3.2 Hyväksytyin sortuma-alueen ja avainaseman periaate

Hyväksytyin sortuma-alueen ja avainaseman periaatteessa tarkistetaan, ettei rakennus menetä stabiiliteettiaan tai että paikallinen sortuma ei ylitä hyväksyttävää rajaa, kun rakenteesta poistetaan mikä tahansa tukipilari, pilaria tukeva palkki tai kantavan seinän lohko. Mikäli rakenneosan poistamisesta seuraa hyväksyttävän rajan ylittävä vaurio, rakenneosat mitoitetaan ”avainasemassa olevina rakenneosina”. Tässä olennaista on sellaisen tapahtumaskenaarion olemassaolo, joka voi johtaa edellä mainittuun tapahtumaan (esim. pilarin poistuminen).

Paikallisen sortuman raja riippuu rakennetyypistä. Monikerroksiselle rakennukselle hyväksyty raja on yhdessä kerroksessa enintään 15 % kyseisen kerroksen lattiapinta-alasta ja enintään 100 m²/krs. Sortuma saa tapahtua enintään kahdessa päällekkäisessä kerroksessa. Monikerroksisissa rakennuksissa hyväksyttävän vaurioalueen suositusrajat on esitetty standardin NA SFS-EN 1991-1-7 kuvassa 4. Kansallinen liite noudattaa alkuperäisen standardin mukaista suoritusravaa.

Hallimaisessa rakennuksessa pilarin vaurioitumisesta aiheutuvan vaurion laajuus saa olla pilariin tukeutuvien pääkannattajien pituus kertaa pääkannattajien väli kerrottuna luvulla kaksi. Mikäli vaurioituneeksi ajateltava pilari sijaitsee ulkoseinälinjalla, on hyväksyttävä vaurioalueen laajuus puolet edellä mainitusta pinta-alasta. Alkuperäisessä standardissa esitetty suositusrajan mukainen vaurioalueen raja-arvo 100 m² on hallimaisille rakennuksille liian pieni. Tällöin vaurion hyväksyttävän raja-arvon ylittyessä on pilari mitoitettava aina avainasemassa olevana rakenneosana, mikä taas johtaisi kohtuuttomaan ylivarmuuteen rakennesuunnittelussa. Kansallisessa liitteessä on tästä syystä hyväksyttävän vaurioalueen raja-arvoa kasvatettu. Vaurio saa kuitenkin tapahtua vain yhdessä kerroksessa. Kansallisen liitteen NA SFS-EN 1991-1-7 kuvassa 5 on esitetty hyväksyttävän vaurioitumisen laajuus hallimaisissa rakennuksissa.

Hyväksyttävän rajan ylittävän vaurion seurauksena rakenneosa suunnitellaan avainasemassa olevana rakenneosana kestävänsä määrittelemättömässä onnettomuustilanteessa onnettomuusmitoituskorma A_d . Onnettomuuskuorman A_d mitoitusravona käytetään 50 kN.

Onnettomuusmitoituskorma A_d vaikuttaa avainasemassa olevaan rakenneosaan vaakasuunnassa vapaan kerroskorkeuden puolella välissä. Pilareissa käytetään pistekuormaa ja seinissä A_d jaetaan viivakuormaksi 3 metrin leveydelle.

Huom. Standardin NA SFS-EN 1991-1-7 mukaan avainasemassa oleva rakenneosia on pystyrakenne (pilari tai kantava seinä). **Alkuperäisessä standardissa avainasemassa olevan rakenneosan toimintatapaa ja roolia rakenteessa ei ole rajattu. Näin esimerkiksi palkit, pilarien nurjahdustuet tai rakenteen jäykistysdiagonaalit sekä näiden liitokset voivat olla avainasemassa olevia rakenneosia.** Vientihankkeissa suunnittelijan tulee kunkin kohdemaan osalta selvittää miten kyseisen standardin kansallinen liite määrittelee avainasemassa olevan rakenneosan.

2.3.3 Sidontaperiaate

Olenainen piirre rakenteiden vaurionsietokyvyssä ja sen lisäämisessä liittyy siihen, että pääasiassa pystykuormien rasittamien välipohjapalkkien ja –tasojen kiinnityksissä pilareihin ei riitä pelkkä leikkausvoimakestävyyden tarkastelu, ja mitoittaminen palkin päissä. Sidontaperiaateella tarkoitetaan, että rakenneosat normaaleista toimintatavoistaan poiketen onnettomuustilanteessa toimivat aksiaalisia vetovoimia välittävinä rakenteina, joiden on tarkoitus sitoa rakenne onnettomuustilanteessa yhdeksi rakenteeksi ja estää rakenneosien irtoaminen toisistaan. Onnettomuustilanteessa rakenneosalle ja rakenteelle sallitaan suuriakin muodonmuutoksia, kunhan rakenteen sortuminen estetään.

→ **Rakenteiden kiinnityksiltä vaaditaan olennaisesti myös vetovoimakestävyyttä.**

Jokaiselta jatkuvalta siteeltä ja sen pääteankkuroinnilta edellytetään, että ne seuraamusluokkiin 2 ja 3 kuuluvissa rakennuksissa pystyvät siirtämään vetovoimia onnettomuusrajatilassa. Ohjeet vaak- ja pystysidevoimien määrittämiseksi eri seuraamusluokissa on esitetty standardin NA SFS-EN 1991-1-7 luvuissa 5 ja 6.

2.3.3.1 Vaakasiteet

Seuraamusluokissa 2 ja 3a rakenteen vaakasidoksina käytettävät rengas- ja sisäpuoliset siteet tehdään jatkuviksi ja ne sijoitetaan mahdollisimman lähelle välipohjien reunoja, pilari- ja seinälinjoja. Siteistä vähintään 30 % sijoitetaan pilarien ja seinien ruudukolinjojen välittömään läheisyyteen.

Vaakasiteet voivat olla puuta tai teräs- tai alumiiniprofileja, betonirakenteissa olevia betoniteräksiä tai betoni-teräs-liittolaatoissa olevia verkkoraudoitteita ja teräsohutlevyistä valmistettuja liittolevyraudoituksia (jos leikkausliittimet yhdistävät ne suoraan teräspalkkeihin). Siteinä voidaan käyttää myös edellä mainittujen tyyppien yhdistelmää.

Seuraamusluokassa 2 jokaiselta jatkuvalta siteeltä ja sen pääteankkurilta edellytetään, että ne pystyvät siirtämään onnettomuustilanteessa seuraavat voimat:

$$T_i = s * 20 \frac{kN}{m} \geq 70 kN, \text{ kun } g_k \geq 2,0 \text{ kN/m}^2 \quad (a)$$

$$T_i = s * 3 \frac{kN}{m} \geq 10 \text{ kN}, \text{ kun } g_k \leq 1,0 \text{ kN/m}^2 \quad (b)$$

Seuraamusluokassa 3a vaakasiteiden vaakasidonnalta vaadittava voima on:

$$T_i = \frac{F_t + 0,8 * (g_k + \sum \psi_i q_k) \frac{s}{5m}}{6 \frac{kN}{m^2}} * s \geq F_t * s \quad (c)$$

Reunapilarit ja -seinät on sidottava seuraamusluokissa 2 ja 3a kaikkiin väli- ja yläpohjatasoihin.

Seuraamusluokassa 2 sidevoima on:

$$F_{ti\theta} = s * 20 \frac{kN}{m} \leq 150 kN, \text{ kun } g_k \geq 2,0 \text{ kN/m}^2 \quad (d)$$

$$F_{ti\theta} = s * 3 \frac{kN}{m} \leq 150 kN, \text{ kun } g_k \leq 1,0 \text{ kN/m}^2 \quad (e)$$

Seuraamusluokassa 3a reunapilarien ja -seinien sidevoima lasketaan kaavalla:

$$F_{tie} = \frac{h}{2,5m} * F_t * s \leq 2 * F_t * s \quad (f)$$

Sidonta tulee suunnitella niin, että nurkkapilarit sidotaan kummassakin suunnassa. Rengassiteitä ja sisäpuoleisia siteitä voidaan käyttää pilareiden sidontaan, jos raudoitus on ankkuroitu pilariin.

Edellä esitetyissä sidevoimien laskentakaavoissa (a)... (f) käytetyt parametrit ovat seuraavat:

s	on sidevoimien kertymisleveys
F_t	on 48 kN/m tai $(16+2,1*n_s)$ kN/m sen mukaan, kumpi on pienempi,
g_k	on vaakarakenteen pysyvän kuorman ominaisarvo,
ψ_i	on muuttuvan kuorman yhdistelykerroin onnettomuustilanteessa,
q_k	on vaakarakenteen muuttuvan kuorman ominaisarvo,
n_s	on kerroslukumäärä (9-15 seuraamusluokassa 3a) ja
z	on pilareiden ja seinien keskiviivojen välinen etäisyys siteen suunnassa ja
h	on kerroskorkeus.

Kaavoissa (a)...(f) esiintyvillä parametreille on esitetty perusteet asiakirjassa "Perustelut ehdotukselle standardin SFS-EN 1991-1-7:2006 "EUROKOODI 1: RAKENTEIDEN KUORMAT. Osa 1-7: Yleiset kuormat- Onnettomuuskuormat" KANSALLISEKSI LIITTEEKSI.

Esimerkki 1. Seuraamusluokka 2, pysyvän kuorman ominaisarvo $g_k \geq 2,0 \text{ kN/m}^2$, sidevoiman määrittäminen tasoelementtien saumassa.

Kuori- ja ontelolaattojen omat painot saumavaluineen ovat yleensä suuruusluokkaa 2,5 – 6,0 kN/m² ja laattojen leveys s on 1,2 m. Vaakasuoraan vaikuttavaksi sidevoimaksi T_i saumaraudoitusten suunnassa tulee:

$$T_i = s * 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \geq 70 \text{ kN}, \text{ kun } g_k \geq 2,0 \text{ kN/m}^2 \rightarrow T_i = 70 \text{ kN per sauma.}$$

Huom. Mikäli pysyvän kuorman ominaisarvo on pieni, $g_k \leq 1,0 \text{ kN/m}^2$, kuten esimerkiksi teräsrakenteisten ritilätasojen osalta usein on, määritetään sidosvoima seuraavasti:

$$T_i = s * 3 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \geq 10 \text{ kN}, \text{ kun } g_k \leq 1,0 \text{ kN/m}^2.$$

Esimerkki 2. Seuraamusluokka 2, pysyvän kuorman ominaisarvo $g_k \geq 2,0 \text{ kN/m}^2$, sidevoiman määrittäminen tasoa kannattelevan palkin liitoksessa.

Rakennusten reunasiteiden ja välipohjaa kannattelevien palkkien väliset etäisyydet ovat yleensä vähintään 6 m, jolloin mitaksi s saadaan:

$$s = 6\text{m}/2 + \text{etäisyys rakenteen reunaan} \geq 3 \text{ m,}$$

ja sidevoimaksi T_i saadaan:

$$T_i \geq 70 \text{ kN per palkki.}$$

Palkkien vaakasuuntainen ankkurointi pilareihin tai muihin pystyrakenteisiin tulee mitoittaa voimalla T_i riippumatta siitä, kuinka rakennukseen vaikuttavat vaakakuormat käytännössä siirtyvät pilari-laattavälipohjissa: joko välipohjissa ja/tai palkkien kautta.

Betonelementeistä ja palkeista kombinoitujen tasojen osalta rakenteet tulee mitoittaa siten, että kaikki välipohjassa mahdollisesti vaikuttavat vaakavoimat siirtyvät primäärästi palkkien kautta.

Huom. Seuraamusluokan 2 rakennuksien sidosvoiman laskennassa ei standardin SFS-EN 1991-1-7 mukaan oteta huomioon rakennuksen välipohjien hyötykuormia tai kerrosten lukumäärää, vaikka Suomen kansallisen liitteen (NA) mukaan rakennuksen kerrosten lukumäärä voi näissä seuraamusluokissa olla jopa 8. Menettely perustuu ilmeisesti oletukseen, että kukin taso kantaa oman kuormansa eli kuormia ei keskity yksittäiselle tasolle onnettomuustilanteessa.

Mikäli rakennuksessa on raskaasti kuormitettuja välipohjia, on suositeltavaa tarkistaa rakenteiden kestävyys sidosvoimille, jotka voivat aiheutua minkä tahansa välipilarin tai palkin poistamisesta.

Esimerkki 3. Seuraamusluokka 3a, sidevoimien määrittäminen ontelolaataston ja pääpalkkien suunnassa.

$g_k = 7,45 \text{ kN/m}^2$ (ontelolaataston pysyvän kuorman ominaisarvo)

$q_k = 5 \text{ kN/m}^2$ (tason hyötykuorman ominaisarvo)

$\psi_{2,1} = 0,3$

$n_s = 10$ (kerrosten lukumäärä)

$z_1 = 7,2 \text{ m}$ (palkkien väli = ontelolaataston pituus),

$z_2 = 8,4 \text{ m}$ (palkin jänneväli)

$s = 1,2 \text{ m}$ (ontelolaataston leveys)

Sidevoiman perusarvoksi saadaan:

$F_t = 16 + 2,1 \cdot 10 = 37 \text{ kN/m} \rightarrow [F_t \cdot 0,8 \cdot (7,45 + 0,3 \cdot 5)] / 6 = 44,15 \text{ kN/m}$

Palkin suunnassa: $T_i = 44,15 \cdot (z/5) \cdot s = 44,15 \cdot (8,4 / 5) \cdot 7,2 = 534,0 \text{ kN}$.

Onteloiden suunta: $T_i = 44,15 \cdot (z/5) \cdot s = 44,15 \cdot (7,2 / 5) \cdot 1,2 = 76,3 \text{ kN}$.

Molemmissa ed. laskelmissa $F_t \cdot s < T_i$, koska $(z/5) > 1,0!$

→ Seuraamusluokassa 3 ontelolaattojen saumaraudoitus tulee ankkuroida välipohjan reunapalkkeihin tai muualle välipohjan tasossa. Ankkuroitavan sidosvoiman suuruus on tässä esimerkissä 76,3 kN per sauma. Raudoitusteräsmääränä (esim. A500HW) sitä vastaa yksi $\phi 16$ harjateräs.

Välipohjan ontelolaattoja kannattelevat palkit tulee ankkuroida pilareihin. Ankkuroitavan sidosvoiman suuruus per palkki on 534,0 kN. Riittävän sidosvoiman vetokestävyys lisäksi ruuviliitos tulee suunnitella niin, että plastisuusteorian mukainen rasiusten jakautuminen on mahdollinen.

Huom. Suomen kansallisen liitteen mukaan ensisijaisen hyötykuorman yhdistelykerroin riippuu siitä mikä on pääasiallinen muuttuva kuorma. Mikäli se on lumi tai tuuli, kertoimena tulee käyttää niille varattua arvoa $\psi_i = \psi_{1,1} = 0,5$ tai $0,2$. Muiden hyötykuormien (tasokuormat) kertoimena tulee käyttää arvoa $\psi_{2,1} = 0,3, 0,6$ tai $0,8$ riippuen hyötykuorman luokasta. Arvot ψ_i löytyvät standardin NA SFS-EN 1990 taulukosta A1.2.2.

Seuraamusluokassa 3 monikerroksisissa rakennuksissa kerrosten lukumäärä on Suomen kansallisessa liitteessä NA SFS-EN 1991-1-7 määritelty: $n_s \geq 9$, jolloin voima F_t saa aina arvon: $F_t = \min(48, 16 + 2,1 \cdot 9) = 34,9 \dots 48 \text{ kN}$.

Sidevoimat tulee laskea välipohjan kahdessa pääsuunnassa (sekä välipohjapalkkien että sekundääripalkkien tai raudoitteiden suunnassa). Siteen pituus sidevoiman suunnassa on $= z$ (m), ja siteiden välinen etäisyys on $= s$ (m).

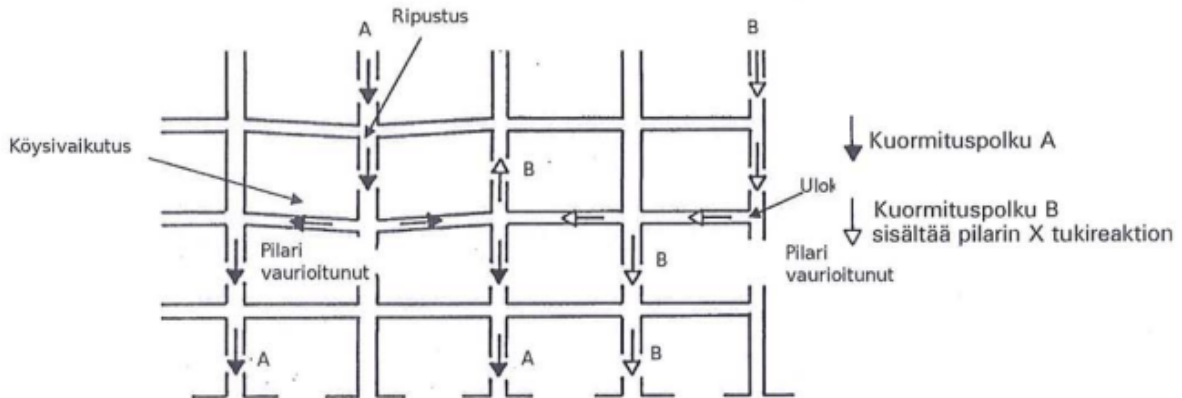
Sidevoima voidaan laskea erikseen kunkin välipohjan kohdalla, mutta sen suuruus-vaihtelu aiheutuu lähinnä vain välipohjakuormien arvoista. Rakennuksen kaikkien välipohjien sidevoimat lasketaan samalla kerrosmäärällä n_s .

2.3.3.2 Pystysiteet

Seuraamusluokassa 2b ja 3a jokaiseen pilari ja seinä varustetaan pystysiteillä, joilla pilarit ja seinät sidotaan kiinni toisiinsa niin, että pystysiteet jatkuvat perustuksista yläpohjan tasalle. Pystysiteiden on tarkoitus kannatella yhden kerroksen onnettomuustilanteen holvin pysyvän ja muuttuvien kuormien tukireaktio, joka kuormittaa kyseistä pilaria tai seinää. Kantaville seinille pystysiteet ryhmitetään enintään 6 metrin keskiöväleihin ja enintään 3 metrin etäisyydelle seinän vapaasta päästä.

2.4 Korvaava rakennejärjestelmä

Korvaavaa rakennejärjestelmää suunniteltaessa mitoitetaan teräsrakenteet onnettomuusmitoitustilanteen mukaan. Kun rakenteesta ajatellaan poistettavaksi mikä tahansa pilari, pilaria tukeva palkki tai kantavan seinän lohko, on rakennuksella oltava korvaava rakennejärjestelmä, jotta rakennus ei menetä stabiiliuttaan. Kuva 2.1 esitetään vaihtoehtoiset kuormituspolut, kun joko sisäkehän pilari tai reunapilari ajatellaan poistetuksi. Standardin SFS-EN 1991-1-7 kansallisen liitteen mukaan rakenneosat voidaan kuitenkin suunnitella ”avainasemassa olevina rakenneosina”, mikäli niiden poistamisesta aiheutuisi hyväksyttävän rajan ylittävä vaurio.



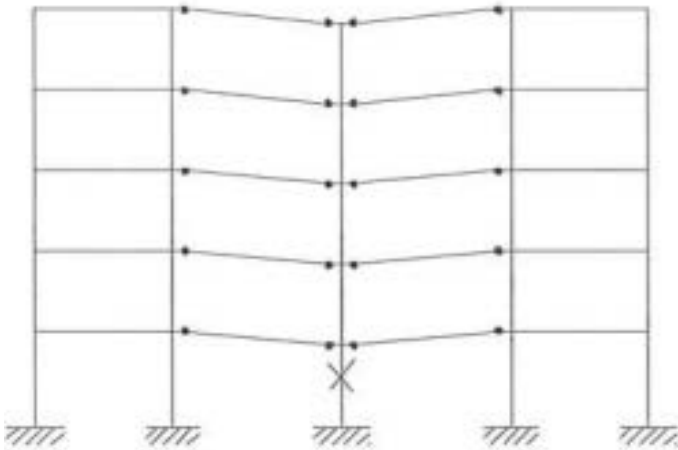
Kuva 2.1 Vaihtoehtoiset kuormitusreitit, kun sisäpilari tai reunapilari poistetaan. [Lähde: Betoninormikortti 23_EC]

Vaihtoehtoisia kuormituspolkuja suunniteltaessa ja plastista kapasiteettia hyödyntäen voi taivutetturakenne muuttua vedetyksi rakenteeksi, mikäli se saadaan toimimaan köysimäisenä rakenteena. Köysimallin toiminnan kannalta olennaista on rakenteen päiden ankkurointi vetovoimalle ja rakenteen riittävä sitkeys ja muodonmuutoskyky. Nurkkapilarin poistamisen yhteydessä ei köysimallia voida hyödyntää reunapalkkien osalta, sillä ne eivät sijaitse samassa pystytasossa. Tällöin vaihtoehtoista kuormitusreittiä suunniteltaessa voidaan hyödyntää tason rakenteiden ripustamista yläpuolisiin pystyrakenteisiin ja rakennuksen toimintaa kerroksittain ulokkeena tai yhtenäisenä rakenteena. Eräs vaihtoehtoinen ratkaisu on hyödyntää kulman läheisyydessä kahta pilaria.

Korvaavan rakennejärjestelmän muodostumisen yhteydessä syntyy rakennukseen usein vaakavoimia, jotka siirtyvät köysirakenteen ja välipohjalaataston välityksellä jäykistäville rakenteille. Nämä vaakakuormat on otettava huomioon jäykistäviä rakenteita suunniteltaessa siten, että ne eivät aiheuta rakennuksen muiden osien sortumista tai kaatumista.

Suora suunnittelustrategia, joka perustuu tukirakenteiden poistoon yksi kerrallaan, ei Eurokoodin mukaan määrää ottamaan huomioon siitä aiheutuvia dynaamisia vaikutuksia. Tukirakenteen äkillinen poistaminen aiheuttaa kuitenkin dynaamisen vaikutuksen kuormiin, eikä Eurokoodissa ja kansallisessa liitteessä anneta määräyksiä siitä, miten dynaaminen suurennuskerroin tulisi ottaa huomioon. Lisäksi Eurokoodin mukaan sallitaan tietyn suuruinen sortuma poistettaessa pystyrakenteita yksitellen, mutta määräykset eivät ota kantaa siihen, miten sortuva rakenne tulee ottaa huomioon. Putoavan rakenteen iskusta aiheutuu osuessaan alapuoliseen rakenteeseen kuorma, joka on huomattavasti staattista kuormaa suurempi. Alempien rakenteiden tulisi kyetä sitomaan ylemmän kappaleen putoamisesta aiheutuva liike-energia, jotta sortuman eteneminen pysähtyy. Kuormien dynaaminen suurennuskerroin ei ole vakio, sen suuruus riippuu rakenteesta ja liitosten jäykkyydestä.

Standardin SFS-EN 1991-1-7 kohdassa 3.4 annetaan ohjeita onnettomuusmitoitustilanteiden tarkastelua varten. Seuraamusluokan CC3 rakennuksilta voidaan edellyttää riskianalyysin tekemistä, kehittyneiden menetelmien, kuten dynaamisten analyysien, epälineaaristen mallien sekä kuorman ja rakenteen yhteisvaikutuksen käyttöä. Seuraamusluokan CC2 mukaisille rakenteille voidaan erityisolosuhteista riippuen käyttää staattisesti ekvivalentteihin kuormitusmalleihin perustuvaa yksinkertaistettua analyysia tai käyttää yksityiskohtien suunnittelun sääntöjä. Onnettomuusmitoitustilanteen mukaiset seuraamusluokat poikkeavat kuitenkin toisistaan kansallisen liitteen ja standardin välillä, niinpä varsinaiset määräykset dynaamisten menetelmien käyttöä koskien puuttuvat ja ovat ainoastaan ohjeellisia. Kansallisen liitteen mukaisista seuraamusluokkia koskevista määräyksistä ja ohjeista esitetään tarkemmin kappaleessa 2.3.1. Suunnittelemalla korvaava rakennejärjestelmä epälineaarista analyysia hyödyntäen, voidaan suunnittelussa päästä taloudellisempiin ratkaisuihin ääritilanteissa kuin lineaarisella analyysilla. Epälinearisissa analyysissa voidaan hyödyntää rakenneosien plastista käyttäytymistä. Plastisen kapasiteetin hyödyntämisessä olennaisessa osassa on kuitenkin rakenteiden staattinen määräämättömyys, rakenteen riittävä sitkeys ja muodonmuutoskyky. Kuvassa 2.2 havainnollistetaan plastisten nivelten systeemin muodostumista rakennukseen, kun alimman kerroksen keskipilari ajatellaan poistetuksi.



Kuva 2.2 Plastisten nivelten syntyminen kerrospilarirunkoon, kun pilari ajatellaan poistetuksi [Lähde: Albertsson et. al. 1982]

2.4.1 Plastinen kiertymiskyky korvaavassa rakennejärjestelmässä

Eurokoodin mukaiset teräsrakenteiden kiertymiskykyyn ja sitkeyteen liittyvät ohjeet ja määräykset sauvarakenteita ja liitoksia varten annetaan standardin osissa SFS-EN 1993-1-1 ja SFS-EN 1993-1-8. Osassa SFS-EN 1993-1-10 käsitellään lisäksi suunnitteluohjeita teräksen valinnasta hitsattujen rakenneosien murtumissitkeyden ja paksuussuuntaisten ominaisuuksien suhteen, kun on olemassa merkittävä riski valmistuksen aikaiselle lamellirepeilylle.

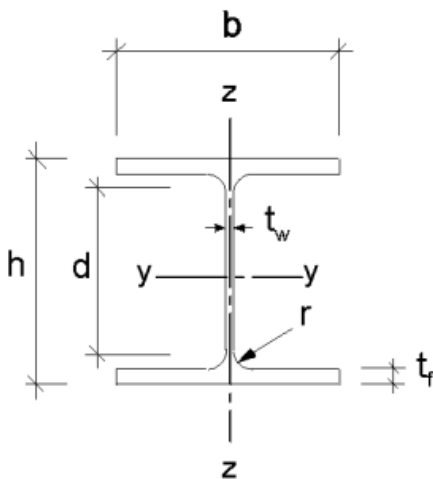
Standardin SFS-EN 1993-1-1 kohdassa 3.2.2 on terästen sitkeysvaatimuksille annettu seuraavat raja-arvot:

- $f_w/f_y \geq 1,10$
- murtovenymä vähintään 15 %
- $\varepsilon_w \geq 15\varepsilon_y$, missä ε_y on myötövenymä

Plastisten nivelien kohdissa tulee poikkileikkauksilla olla riittävä kiertymiskyky. Kiertymiskyvyn on oltava vähintään kyseisessä plastisessa nivelessä vaaditun kiertymän suuruinen. Vaadittu kiertymä

lasketaan korvaavasta rakennejärjestelmästä, kun ajatellaan yksittäinen pilari tai kantava seinälohko poistetuksi. Kiertymiskyvyn riittävyyttä koskevan vaatimuksen voidaan katsoa täyttyvän vakiopoikkileikkauksisella sauvalla, kun sauva kuuluu poikkileikkausluokkaan 1. Kun uuman suuntainen voima ylittää 10 % uuman leikkauskestävyyden mitoitusarvosta plastisen nivelen kohdalla, käytetään uumajäykisteitä, jotka sijaitsevat enintään etäisyydellä $h/2$ plastisesta nivelestä. Termi h on poikkileikkauksen korkeus plastisen nivelen kohdalla.

Plastisuusteorian mukaista kokonaisanalyysia voidaan soveltaa ainoastaan, kun rakenteen sauvoilla ja liitoksilla on riittävä kiertymiskyky plastisten nivelten kohdilla. Sauvojen sitkeys ja muodonmuutoskyky mahdollistavat rakenteen epälineaarisen toiminnan hyödyntämisen. Plastisen nivelen syntyessä sauvaan, tulee poikkileikkauksen olla kaksoissymmetrinen tai yhden akselin suhteen symmetrinen sen tason suhteen, jossa kiertyminen tapahtuu. Palkkien on oltava siten symmetrisiä poikkileikkauksen pystysuuntaisen akselin z - z suhteen, ks. kuva 2.3. Kiertymiskyvyn varmistamiseksi tulee liitoksella olla riittävä murtolujuus taivutukselle sen takaamiseksi, että plastinen nivel pysyy sauvassa. Vaihtoehtoisesti liitoksen kiertymiskyvyn on oltava riittävä plastisuusteorian mukaisen kestävyuden säilyttämiseksi.



Kuva 2.3 Eurokoodin mukaiset poikkileikkauksen akselit ja mitat. [Lähde: SFS-EN 1993-1-1]

Mitoitettaessa jäykkä-plastiseen materiaalimalliin perustuvan plastisuusteorian mukaisen kokonaistarkastelun mukaan, tulee plastisessa nivelessä sijaitsevalla liitoksella olla riittävä kiertymiskyky. Standardissa SFS-EN 1993-1-8 annetaan menetelmät ruuvi- ja hitsausliitosten kiertymiskyvyn laskemiselle lujuusluokan S235, S275 ja S355 teräksille sekä liitoksille, joissa liitettävän sauvan aksiaalisen kuorman mitoitusarvo N_{Ed} on enintään 5 % liitettävän sauvan poikkileikkauksen plastisuusteorian mukaisesta kestävyuden mitoitusarvosta $N_{pl,Rd}$. Standardin SFS-EN 1993-1-8 kohdissa 6.4.2 ja 6.4.3 esitetään ehdot ruuvi- ja hitsausliitosten kiertymiskyvyn tarkistamiselle. Tutkittaessa tapauksia, joita em. kohdat eivät koske, voidaan kiertymiskyky määrittää kokeellisesti standardin SFS-EN 1990 liitteen D mukaan. Lisäksi voidaan käyttää tarkoituksen mukaisia laskentamalleja. Laskentamalleilta edellytetään, että ne perustuvat standardin SFS-EN 1990 mukaisesti tehtyjen kokeiden tuloksiin. Ruuvi- ja hitsausliitosten kiertymiskykyä ei kuitenkaan tarvitse tarkistaa, mikäli liitoksen taivutuskestävyyden mitoitusarvo $M_{j,Rd}$ on vähintään 1,2 kertaa liitettävän sauvan poikkileikkauksen plastisuusteorian mukaisen taivutuskestävyyden mitoitusarvon $M_{pl,Rd}$ suuruinen.

Hitsausliitosten suunnittelussa edellytetään, että niillä on riittävä muodonmuutoskyky. Niiden sitkeyteen ei kuitenkaan saa luottaa. Mikäli hitsausliitokseen voi syntyä plastinen nivel, se on

suunniteltava siten, että sillä on vähintään sama kestävyysmitoitussarvo kuin heikoimmalla liitettävällä osalla. Kun liitokselta vaaditaan mahdollisen venymisen takia muodonmuutoskykyä, vaaditaan hitseiltä riittävää lujuutta, jotta ne eivät murru ennen viereisen perusaineen myötäämistä.

2.5 Edellytykset jatkuvan sortuman rajoittamiselle

Standardissa SFS-EN 1991-1-7 sekä myös standardin suomen kansallisessa liitteessä esitetyt sidosvoimaan perustuvat menetelmät edustavat ns. kestävyysmitoitusta. Käytettävistä rakennusmateriaaleista riippumatta pelkästään luvussa 2.3 esitetyn sidosvoimaperiaatteen soveltaminen ei itsessään estä paikallisen vaurion etenemistä jatkuvaksi sortumaksi, mikäli rasitus on oleellisesti arvioitua suurempi. Jatkovaa sortuman riskiä voidaan varmuudella pienentää vain suunnittelemalla liitokset siten, että liitosten heikoimmat osat käyttäytyvät sitkeästi ja rakenteisiin pystyy muodostumaan plastisia niveliä ja/ tai sitkeästi käyttäytyviä köysirakenteita.

JATKUVAN SORTUMAN EDELLYTYKSIÄ VOIDAAN VÄHENTÄÄ:

- Jatkuvan sortuman riskiä voi alentaa rakenteessa tai sen osassa, jos rakenne voi paikallisen vaurion yhteydessä onnettomuustilanteessa säilyttää siihen mennessä kertyneen kuormituksen ja jos rakenteessa voi vaurion yhteydessä syntyä riittävästi plastisia dissipatiivisia niveliä.
- Taulukossa 2.1 on esitetty joukko perusedellytyksiä rakenteen dissipatiiviselle sitkeälle käyttäytymiselle. Taulukossa mainittuja rakenneosia tai yksityiskohtia ei välttämättä ole kaikissa kohteissa.
- Taulukossa 2.2 on esitetty muita edellytyksiä, joilla voidaan vahvistaa taulukon 2.1 sortumaa rajoittavien edellytysten vaikutusta. Yksinään, tai yhdessä taulukon 2.2 muiden edellytysten kanssa näillä taulukossa 2.2 mainituilla seikoilla ei ole merkitystä jatkuvan sortuman rajoittamisessa.
- Hyvin hoikat rakenneosat, joihin kohdistuu olennaisesti stabiliteettiin liittyviä rasituksia (puristus, lommahdus, kiepahdus) tai eräät leikkausvoiman rasittamat osat (esim. katkaisupinnat) tulee mitoittaa suunnitteluohjeiden kestävyysmitoituskäyttöarvoilla. Tällaisilla osilla ei ole merkitystä jatkuvan sortuman rajoittamisessa.

Taulukko 2.1 Perusedellytykset jatkuvan sortuman rajoittamiseksi.

Nro	Rakenneosan rooli tai toimintatapa	Selitys
1	Niissä rakenneosissa ja rakenteen kohdissa, joihin voidaan otaksua muodostuvan plastisia niveliä, vaaditaan rakenneosien välisiltä liitoksilta ja rakenteiden poikkileikkaukselta muodonmuutoskykyä	Taivutetut rakenneosat käyttäytyvät aina sitkeästi. Esimerkiksi teräsrakenteissa rakenteen tulee täyttää oletettavissa olevien plastisten nivelten kohdalla poikkileikkausluokan 1 vaatimukset (ks. SFS-EN1993-1-1, kohta 5.4.1 (3)).
2	Jäykistävät rakenneosat on kahdennettu, tai ne on mitoitettu avainasemassa olevina rakenneosina	Rakenneteknisen roolinsa takia ne ovat aina kriittisiä osia
3	Pilari-palkki-liitosten taivutuskestävyys suurempi kuin liittyvän palkin taivutuskestävyys	Plastinen nivel ei voi syntyä liitokseen – vain palkkiin
4	Pilari-palkki-liitosten muodonmuutoskyky on tarkistettu ja riittävä sitkeän käyttäytymisen osalta	Tarkistetaan kokeellisesti tai rakenteiden liitossuunnittelua ohjaavien standardien mukaan
5	Rakenneosat, joiden vaurioituminen johtaa vääjäämättä rakenteen sortumiseen	Ylimoittamalla kyseiset rakenneosat pyritään siihen, että ne eivät toimi missään tilanteessa herätteenä jatkuvan sortuman muodostumiselle

Taulukko 2.2 Muut edellytykset jatkuvan sortuman rajoittamiseksi.

Nro	Rakenneosan perusominaisuus	Selitys
1	Jatkuvien rakenteiden ja/ tai staattisesti määräämättömien rakenteiden hyödyntäminen rakenteessa	Esim. 1-aukkoisten palkkien tilalle jatkuvia palkkeja
2	Vertailevat rakenneanalyysit vähäisillä profiilien ja osien ominaisuuksien muutoksilla	Herkkyysanalyysit (geometria, materiaali)
3	Ominaisvärähtelyanalyysit, paikallisten värähtelytaajuuksien ja -muotojen (vain osa massoista osallistuu) tunnistamiseksi	Paikallisten värähtelyiden aiheuttamat, esim. tuulen tai koneiden, vauriot
4	Globaali stabiliteettianalyysi standardin mukaisten nurjahduspituuksien tarkistamiseksi	Esim. ristikkorakenteiden sauvojen nurjahduspituudet
5	Puristus- tai leikkausrasitettujen kohtien vähentäminen ja poistaminen tai niiden toiminnan muuttaminen	Esim. rakenteiden kaksinkertainen jäykistys
6	Rakenteiden analysointi ideaali- plastisilla analyysimenetelmillä, rakenteen plastinen kestävyys	Plastisen mekanismin synty, selvitetään plastisten nivelten syntymisjärjestys
7	Rakenteiden epäkeskeisyyksien olennainen vähentäminen	Mitoituskaavojen reuna-arvojen vaikutusten poistaminen
8	Tarkennettu riskianalyysi tai optimointi rakenneosien roolien selvittämiseksi	Herkkyysanalyysit

Huom. Standardin SFS-EN 1990 Liite B käsittelee sekä rakenteiden seuraamusluokkaa että niiden luotettavuusluokitusta. Suomessa voimaan tulevassa standardin kansallisessa liitteessä (SFS-EN 1990 NA) ei mahdollisesti hyväksytä seuraamusluokan alentamista tai luotettavuusluokan (ja K_{FI} - kertoimen) muutosta, kuten standardin SFS-EN 1990 kohdassa B3.2 (3) on esitetty, taulukoissa 2.3 ja 2.4 esitetyillä suunnitteluteknisillä menettelyillä. Suunnittelijan tulee kunkin kohdemaan osalta ottaa selvälle mitä suunnitteluteknisiä luokituksiin liittyviä mahdollisuuksia kansalliset asiakirjat hyväksyvät.

Standardin SFS-EN 1090-2 taulukon B.3 mukaan rakenteen seuraamusluokka (CC) voidaan kytkeä sekä rakenteen toteutusluokkaan (EXC), että myös rakenteen käyttöluokkaan ja tuotantoluokkaan. Standardin SFS-EN 1090-2 liite B on **opastava** ja luokitustaulukko on **suositus**. Taulukosta voidaan perustellusta syystä poiketa. Erityisesti teräsrakenteiden valmistuskustannusten muodostumisen kannalta toteutusluokan muutoksella EXC3 → EXC2 voidaan saavuttaa huomattavia kustannussäästöjä. Tämä on erityispiirre, jota ei muiden materiaalien osalta ole näin selvästi hyödynnettävissä. Tämän vuoksi suunnittelijan on syytä teräsrakenteiden osalta arvioida tarkemmin perusteet toteutusluokan valinnalle.

Suomessa on myös mahdollisuus soveltaa erityismenettelyohjetta, jonka perusteella tehdään tuoteosakohtaiset riskiarviot ja analyysit, joihin perustuen rakenne- tai tuoteosien luokituksista on mahdollista päättää erikseen. Rakennuksen eri osilla voi/saa olla eri toteutusluokat (EXC1, EXC2, EXC3, EXC4). Esimerkiksi yli 8- kerroksisen rakennuksen rakenneosien (ohjeelliset) toteutusluokat voisivat olla seuraavat: primääriset kantavat rakenteet → EXC3, sekundääriset kantavat rakenteet → EXC2, ovi- ja ikkuna-aukkojen pieliteräkset → EXC1.

3. Kuormitukset

Eurokoodissa onnettomuustilanteet on jaettu määriteltävissä oleviin onnettomuusmitoitustilanteisiin ja paikallisen vaurion laajenemisen estämiseen perustuva mitoitustilanne. Onnettomuustilanteen murtorajatilan kuorma on standardin NA SFS-EN 1990 mukaan:

$$\begin{cases} G_{k,j,sup} \\ G_{k,j,inf} \end{cases} + A_d + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} * Q_{k,i}, \text{ [NA SFS 1990, s.6]} \quad (g)$$

kun pääasiallinen kuorma on lumi- jää tai tuulikuormaa, tai

$$\begin{cases} G_{k,j,sup} \\ G_{k,j,inf} \end{cases} + A_d + \psi_{2,1} Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} * Q_{k,i}, \text{ [NA SFS 1990, s.6]} \quad (h)$$

kun pääasiallinen kuorma on muuta kuin lumi- jää tai tuulikuormaa, missä kaavojen

A_d on määräävä onnettomuuskuorma,

$G_{,sup}$ on rungon epäedullinen paino,

$G_{,inf}$ on rungon edullinen paino,

Q_1 on määräävä hyötykuorma

ψ_1 ja ψ_2 on hyötykuorman yhdistelykertoimia.

Seuraamusluokat CC1...CC3 eivät vaikuta onnettomuustilanteen kuormiin niin kuin yleisen mitoitustilanteen murtorajatilamitoituksessa, jossa seuraamusluokkien kuormakerroin K_{FI} vaikuttaa murtorajatilan kuormiin.

3.1 Törmäys

Törmäyksistä aiheutuvat kuormat rakenteille määritetään standardien SFS-EN 1991-1-7 ja NA SFS-EN 1991-1-7.

Standardien törmäyskuormien soveltamisalana ovat:

- tieliikenteen törmäykset
- haarukkatrukkien törmäykset
- junien törmäykset
- laivojen törmäykset
- helikopterien kova laskeutuminen

3.2 Räjähdykskuormat, sisäpuoliset räjähdykset

Standardin SFS-EN 1991-1-7 luvussa 5 käsitellään rakennuskohteen sisäpuolisia räjähdyksiä. Niiden osalta on suunnittelussa otettava huomioon rakennuksen tai maa- ja vesirakennuskohteiden kaikki osat, joissa kaasua poltetaan tai joista sitä ohjataan tai joissa sitä varastoidaan tai kuljetetaan räjähtävää materiaalia, kuten räjähtäviä kaasuja tai räjähtävää höyryä tai kaasua muodostavia nesteitä. Esimerkkeinä tällaisista kohteista annetaan kemian tehtaat, säiliöt, polttoainevarastot, jäteveden käsittelylaitokset, kaasulaitteita sisältävät huoneistot, energiansiirtokanavat sekä tie- ja rautatietunnelit. Usean toisiinsa yhteydessä olevan huonetilan ketjuuntumisvaikutusta räjähdyskuorman voimaan ei käsitellä kyseisessä luvussa. Lisäksi varsinaisten räjähdysaineiden vaikutukset eivät kuulu Eurokoodin soveltamisalaan. Myöskään ulkopuoliset räjähdykset, sodankäynti ja terrorismi eivät kuulu Eurokoodin SFS-EN 1991-1-7 mukaan mitoitettaviin onnettomuuskuormiin.

Sisäpuolinen räjähdys ei saa vaurioittaa rakennetta suhteettoman paljon ja aiheuttaa jatkuvaa sortumaa. Rakenteille voidaan sallia rajallisen osan vaurioituminen, mikäli vaurioituneessa osassa ei ole rakenteen stabiiliuteen vaikuttavia avainasemassa olevia rakenneseosia.

Räjähdyksen seuraamusten rajoittamiseksi voidaan suunnittelussa hyödyntää seuraavia toimenpiteitä:

- rakenne suunnitellaan kestäväksi räjähdyksen huippupaine
- paineenpurkausluukkujen käyttö
- räjähtäviä aineita sisältävien rakenteiden vierekkäisten lohkojen erottaminen toisistaan
- räjähdykselle alttiiden rakenteiden pinta-alojen rajoittaminen
- erityiset suojarakenteet räjähdyksriskille alttiiden vierekkäisten rakenteiden välille estämään paineen etenemistä.

Paineenpurkausluukkuja suunniteltaessa, tulee ne sijoittaa lähelle mahdollisia syttymislähteitä tai paikkaan, jossa paineet ovat suuria. Paineen purkamiseen sopiva paikka ei vaaranna henkilöitä eikä sytytä muuta materiaalia. Mahdollisuuksia tulipalon aiheuttamasta vaurioista ympäristölle tai räjähdyksestä viereisessä tilassa voidaan suunnittelun avulla rajoittaa. Luukun kiinnityksessä tulee kiinnittää huomioita siihen, ettei siitä tule ammusta räjähdyksen yhteydessä. Paineenpurkausluukun kapasiteetin määrittelyssä on otettava huomioon luukun karmin mitat ja rakenne. Luukun on tarkoitus avautua pienellä paineella ja niiden on syytä olla mahdollisimman keveitä. Mikäli ikkunoita käytetään paineenpurkausluukkuina, sirpaleista tai muista rakenneosista ei saa aiheutua ihmisille vahingoittumisriskiä.

Tarkempia suunnitteluohjeita koskien kaasun- turvepöly- ja massaräjähdyksestä annetaan julkaisuissa RIL 144-2002 ja RIL 201-2-2011.

4. Liitokset

Liitokset luokitellaan niiden jäykkyyden, lujuuden ja muodonmuutoskyvyn mukaan. Tarkemmin liitosten luokitus ja luokitukseen liittyvät arviointikriteerit on esitetty tarkemmin luvussa WP3, suositeltavat runkorakennedetailit.

4.1 Liitosten luokitus

4.1.1 Liitosmallit

Rakenneanalyysissä sekä rakenteen kokonaistarkastelussa huomioidaan liitosten vaikutus rakenteen sisäisten voimasuureiden jakaantumiseen sekä kokonaismuodonmuutoksiin elleivät niiden vaikutukset ole niin pieniä, että niitä ei tarvitse ottaa huomioon. Huomointitarpeen tunnistamiseksi liitoksille voidaan esittää standardin SFS-EN 1993-1-8 mukaisesti kolme liitosmallia:

- Nivelellinen malli, jossa liitoksen ei oleteta siirtävän taivutusmomentteja
- Jäykkä malli, jossa liitoksen käyttäytymisen ei oleteta vaikuttavan rakenneanalyysiin
- Osittain jäykkä malli, jossa liitosten käyttäytyminen otetaan huomioon rakenneanalyysissä.

Liitoksen ja sen peruskomponenttien on toiminnallisesti vastattava rakenteen suunnittelussa tehtyjä oletuksia ilman, että liitoksen toiminta vaikuttaa epäsuotuisasti muihin rakenneosiin. Lisäksi liitoksella on oltava riittävä vaurionsietokyky, johon liittyvät vaatimukset määräytyvät rakenteen seuraamusluokan mukaan.

4.1.2 Liitoksen jäykkyys

Liitos luokitellaan nimellisesti niveleksi, jäykäksi tai osittain jäykäksi liitoksen kiertymisjäykkyyden perusteella. Tällöin liitoksen kiertymisjäykkyyden alkuarvoa $S_{j,i}$ verrataan luokitukselle standardin SFS-EN 1993-1-8 kohdassa 4.2.2.5 esitettyihin raja-arvoihin.

4.1.3 Liitoksen lujuus

Lujuuteen perustuvan luokituksen mukaan liitokset ovat nimellisesti niveliä, osittain lujia tai täysin lujia. Liitos voidaan luokitella vertaamalla liitoksen taivutuskestävyyden mitoitusarvoa $M_{j,Rd}$ liitokseen liittyvien sauvojen taivutuskestävyyden mitoitusarvoihin. Liitoksen taivutuskestävyyden mitoitusarvo määritetään sauvan liitoskohdan poikkileikkausmittojen mukaan.

4.1.4 Liitoksen muodonmuutoskyky

Muodonmuutoskyvyn perusteella liitokset voidaan luokitella sitkeisiin, muodonmuutoskykyisiin tai hauraisiin liitoksiin. Liitoksen sitkeällä käyttäytymisellä tarkoitetaan liitoksen kykyä plastisoitua, kun liitoksessa vaikuttava kuormitus ylittää liitoksen kestävyuden raja-arvon. Plastisoituminen tapahtuu liitoskomponentissa, joka saavuttaa ensimmäisenä myötörajan. Liitoksen peruskomponenttien plastisoitumisen seurauksena liitosvoimat jakaantuvat muille rakenneosille liitoksen menettämättä kuitenkaan kantokykyään ja rakenteen kuormankantokyky säilyy kunnes jokin liitokomponenteista murtuu tai kunnes rakenteen jossain kohdassa saavutetaan murtovenymä- tai kiertymä.

Liitoksen käyttäytyessä hauraasti, liitoksessa ei välttämättä näy silmämääräisesti havaittavia merkkejä liitoskomponenttien vaurioista eikä mikään indikoi rakenteen/ liitoksen sortumista tai stabiiliteetin menettämistä. Hauras liitos toimii ensin kimmoisasti mutta jonkin liitoskomponentin saavuttaessa myötörajan voi liitos menettää äkillisesti kantokykynsä ja siihen asti kertyneen kuorman.

Toimiakseen sitkeästi, on liitoksen kaikkien liitoskomponenttien oltava kestävyydeltään vähintään liitokseen kohdistuvien voimasuureiden suuruisia. Lisäksi liitoksen heikoimmilla komponenteilla on oltava muodonmuutoskykyä ja niiden murtumistapa on sitkeä. Ylikuormitettuna liitoksessa kuormien uudelleen jakautumisen mahdollistavat muodonmuutokset eivät saa ylittää liitoskomponenttien (hitsit, kiinnikkeet ja liitososat) muodonmuutoskykyä. Liitoksen vaurionsietokyky on oleellisesti riippuvainen liitoksen muodonmuutoskyvystä.

4.2 Liitoksen vaurionsietokyky

Liitoksen vaurionsietokyvyn kannalta sekä liitoksen sitkeän toiminnan arvioimisessa on erittäin keskeistä, että suunnittelija:

- tunnistaa liitoksen liitoskomponentit ja niiden vauriomuodot
- määrittelee liitoksen vauriomuotoja vastaavat kestävyudet
- valitsee liitoskomponentit siten, että liitoksen heikoin osa käyttäytyy sitkeästi
- varmistaa, että liitoksen otaksuttu rakennemalli vastaa todellista tilannetta, sisäisten voimien jakauma on todellinen/ todennettavissa esimerkiksi koetuloksin/ fysikaalisesti mahdollinen

Toimenpiteet, joilla lisätään liitosten vaurionsietokykyä:

- valitaan liitossuunnittelun yhteydessä liitoksen peruskomponentit siten, että liitoksella on muodonmuutoskykyä ja että liitoksen murtumismuoto on sitkeä
- suunnitellaan, mikäli mahdollista, eri liitoskomponentit toimimaan liitoksessa vaikuttaville voimasuureille erikseen (esim. pilari-palkki-liitoksessa liitoksessa vaikuttava leikkausvoima siirretään pilarille päätylevyn ja leikkauspalan tai konsolin välityksellä, liitoksessa vaikuttavat liitettävän sauvan aksiaalivoimat ja taivutusmomentit ruuvein)
- liitoksen hauraasti toimivien peruskomponenttien ylityttäminen (vrt. avainelementtien käyttö)
- lisätään kuormien siirtymiseen liittyviä vaihtoehtoisia reittejä

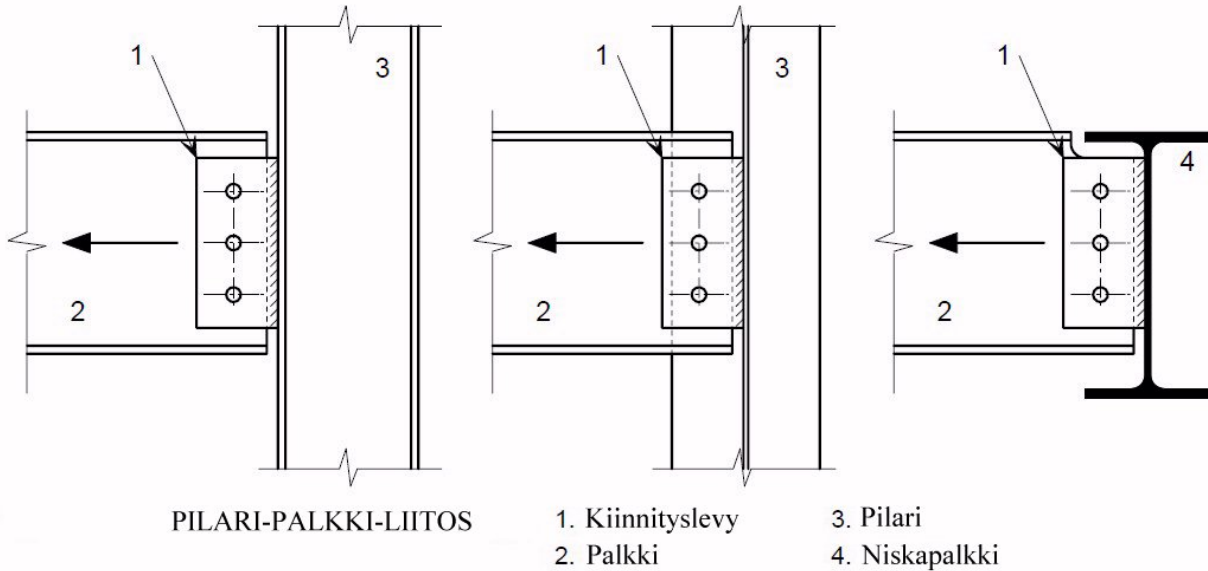
4.3 Liitosten mallilaskelmia

Liitosten peruskomponenttien tunnistamiseksi, niiden kestävyyksien ja sitkeän käyttäytymisen arvioimiseksi on seuraavissa luvuissa esimerkein käsitelty muutamia hyvin yleisesti käytettyjä liitostyyppisiä. Esimerkeissä tarkasteltavat liitokset on valittu siten, että niiden toimintatavat perinteisessä staattisessa lujuusmitoituksessa ovat yleensä primääristi leikkausvoimia välittäviä. Lisäksi liitokset ovat muodoltaan selkeitä ja niihin liittyvät kestävyyskaavat tunnetaan hyvin ja murtotavat ovat lähes poikkeuksetta sitkeitä. Liitoskomponenttien kestävyyksien lasketuista lukuarvoista on helposti tarkastettavissa, ettei ruuvien leikkauskestävyys tai lohkomurtumiskestävyys levyssä tai palkin päässä ole yksittäisistä kestävyysarvoista pienin. Näin tehtäessä palkki liitoksineen ei ehkä tarvitse kuulua ylimpään rakennukselle valittuun toteutusluokkaan. Alla olevien kestävyyksien mitoituskaavojen käytön yhteydessä on huomioitava, että ne soveltuvat vain esijännittämättömille ruuvi kiinnityksille.

Esimerkeissä tarkasteltavat peruskomponentit ovat keskenään osittain samoja, mistä johtuen peruskomponenttien kestävyyksien laskentakaavat on esitetty vain leikkausliitokseen (esimerkki 4.3.1) liittyvässä esimerkissä. Päätylevy liitoksiin liittyvässä esimerkissä on esitetty liitoksen peruskomponentit sekä viittaus standardiin.

4.3.1 Leikkausliitokset

Leikkausliitosta (eng. fin plate connection) käsittelevä esimerkkilaskelma soveltuu kuvassa 4.1 esitettyihin liitostapauksiin. Kaikissa tapauksissa on kyseessä nimellisesti nivelellinen leikkausliitos (vrt. TEP-WP-303).



Kuva 4.1 Tyypillisiä leikkausvoimaliitoksia sidosvoimakestävyyden määrittämiseksi. [Lähde: Access Steel SN018a-EN_EU]

4.3.1.1 Liitosten sidosvoimakestävyyden laskenta

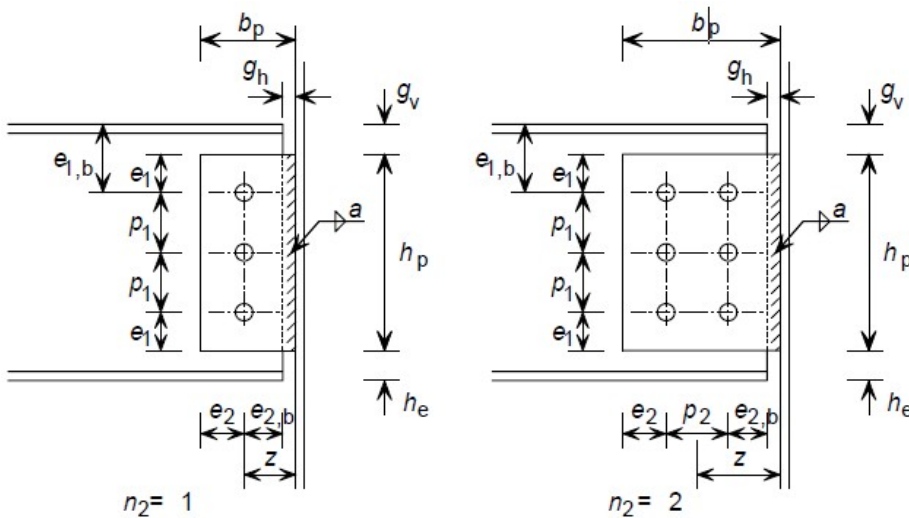
Sidosvoimien tarkoitus on vähentää tuntemattomasta syystä aiheutuvan vaurion laajeneminen. Seurausluokissa 2 ja 3 kaikki primääristi leikkausvoiman rasittamat liitoksetkin tulee tarkistaa sidosvoimille!

Standardi SFS-EN 1993-1-8 ei erikseen ohjeista liitosten mitoitusta sidosvoimien suhteen. Käytännössä kuitenkin, koska esimerkiksi ao. taulukossa mainituissa vauriomuodoissa on kyse suurista venymistä ja muodonmuutoksista, suositellaan, että sidosten kestävyysien laskennassa sovelletaan teräksen murtolujuutta (f_u) ja sidokselle käytetään normaalista poikkeavaa, suurempaa aineosavarmuusluvun arvoa: $\gamma_{M,u} = 1,1$

Taulukko 4.1 Liitoskomponenttien vauriomuodot.

Vauriomuoto	Kestävyyden merkintä	Vaurion tyyppi	Standardi soveltamissääntö
Ruuvien leikkauskestävyys	$N_{Rd,u,1}$	hauras	SFS-EN 1993-1-8 3.6.1, taulukko 3.4
Liitoslevyn leikkauskestävyys	$N_{Rd,u,2}$	sitkeä	SFS-EN 1993-1-8 3.6.1, taulukko 3.4
Liitoslevyn palamurtuminen	$N_{Rd,u,3}$	hauras	SFS-EN 1993-1-8 3.10.2(2)
Liitoslevyn vetovoimakestävyys	$N_{Rd,u,4}$	sitkeä	SFS-EN 1993-1-1 6.2.3(2)
Palkin uuman leikkauskestävyys	$N_{Rd,u,5}$	sitkeä	SFS-EN 1993-1-8 3.6.1, taulukko 3.4
Palkin uuman palamurtuminen	$N_{Rd,u,6}$	hauras	SFS-EN 1993-1-8 3.10.2(2)
Palkin uuman vetokestävyys	$N_{Rd,u,7}$	sitkeä	SFS-EN 1993-1-1 6.2.3(2)
Pilarin uuman poikittainen vetokestävyys	$N_{Rd,u,8}$	sitkeä	
Hitsausliitosten kestävyudet	-	sitkeä	

Yksittäisen leikkausliitoksen liitoskomponenttien mahdolliset vauriomuodot sekä niihin liittyvät soveltamissäännöt on esitetty taulukossa 4.1. Liitoksen sidosvoimakestävyys ja todennäköinen vauriomuoto on se, jolla on pienin kestävyysarvo kaikista mahdollisista yksittäisistä liitoskomponenttien kestävyyksistä.



Kuva 4.2 Kiinnityslevyyn ja rakenneosiin liittyvät mitoitusparametrit. [Lähde: Access Steel SN018a-EN_EU]

Kuvassa 4.2 on esitetty tarkasteltavan liitostyyppin peruskomponenttien laskentakaavoissa käytettyjä parametrisia mittoja.

Lisäksi laskentaesimerkin kestävyyskaavoissa on käytetty seuraavia parametreja kuvaamaan liitoskomponentteihin liittyviä muuttujia:

d_0	ruuvien reiän halkaisija;
A	ruuvien poikkipinta-ala;
f_{ub}	ruuvien murtolujuus;
$f_{u,b1}$	kiinnitettävän palkin murtolujuus;
$f_{y,b1}$	kiinnitettävän palkin myötölujuus;
$f_{u,b2}$	tukevan niskapalkin murtolujuus;
$f_{y,b2}$	tukevan niskapalkin myötölujuus;
$f_{u,c}$	pilarin murtolujuus;
$f_{y,c}$	pilarin myötölujuus;
$f_{u,p}$	liitoslevyn murtolujuus;
$f_{y,p}$	liitoslevyn myötölujuus;
I	Pulttiryhmän hitausmomentti;
n	liitoksen ruuvien kokonaislukumäärä ($= n_1 \cdot n_2$);
t_p	liitoslevyn paksuus;
$t_{w,b1}$	tuetun palkin uuman paksuus;
$t_{w,b2}$	tukevan palkin uuman paksuus;
$t_{w,c}$	pilarin uuman paksuus;
$\gamma_{M,u}$	sidoskestävyyden laskennassa sovellettava aineosavarmuusluku;
z	on vaakasuuntainen etäisyys ruuviryhmän painopisteeseen.

4.3.1.2 Ruuviliitoksen kestävyys leikkausvoimalle

Standardi SFS-EN 1993-1-8, kohta 3.6.1, taulukko 3.4:

Yksittäisen ruuvien leikkauskestävyyden mitoitusarvo leikettä kohti:

$$F_{v,Rd} = \alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A / \gamma_{M,u}$$

missä: $\alpha_v = 0,6$ luokan 8.8 ruuveille ja
 $\alpha_v = 0,5$ luokan 10.9 ruuveille.

Ruuviryhmän kestävyys:

$$N_{Rd,u,1} = n \cdot F_{v,Rd}$$

4.3.1.3 Kiinnityslevyn kestävyys leikkausvoimalle

Standardi SFS-EN 1993-1-8, kohta 3.6.1, taulukko 3.4:

Yksittäisen ruuvin reunapuristuskestävyyden mitoitusarvo:

$$F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_{up} \cdot d \cdot t_p) / \gamma_{M,u}$$

missä:

$$\alpha_b = \min(e_1 / (3d_o); f_{ub} / f_{u,p}; 1,0) \quad (\text{reunarivin ruuvit})$$

$$\alpha_b = \min(p_1 / (3d_o) - 1/4; f_{ub} / f_{u,p}; 1,0) \quad (\text{muut ruuvit})$$

α_b on siirrettävän voiman suunnassa.

$$k_1 = \min(2,8 \cdot e_2 / d_o - 1,7; 2,5) \quad (\text{reunarivin ruuvit})$$

$$k_1 = \min(1,4 \cdot p_2 / d_o - 1,7; 2,5) \quad (\text{muut ruuvit})$$

k_1 on kohtisuorassa suunnassa siirrettävään voimaan nähden.

Kiinnityslevyn leikkauskestävyys:

$$N_{Rd,u,2} = n \cdot F_{b,Rd}$$

4.3.1.4 Kiinnityslevyn kestävyys vedolle (palamurtuminen)

Standardi SFS-EN 1993-1-8, kohta 3.10.2(2):

Kiinnityslevyn palamurtumiskestävyyden mitoitusarvo:

$$V_{eff,1,Rd} = f_{u,p} \cdot A_{nt} / \gamma_{M,u} + 1/\sqrt{3} \cdot f_{y,p} \cdot A_{nv} / \gamma_{M0}$$

missä:

$$A_{nt} = t_p \cdot [n_1 \cdot p_1 - (n_1 - 1) \cdot d_o]$$

$$A_{nv} = 2 \cdot t_p \cdot (e_2 - d_o / 2) \quad \text{jos } n_2 = 1 \quad (1 \text{ ruuvirivi})$$

$$A_{nv} = 2 \cdot t_p \cdot (p_2 + e_2 - 3 \cdot d_o / 2) \quad \text{jos } n_2 = 2 \quad (2 \text{ ruuviriviä})$$

A_{nt} on vedolle altistuva nettopinta-ala ja A_{nv} on leikkaukselle altistuva nettopinta-ala.

Kiinnityslevyn palamurtumiskestävyys:

$$N_{Rd,u,3} = V_{eff,1,Rd}$$

4.3.1.5 Kiinnityslevyn kestävyys vedolle (nettopoikkileikkaus)

Standardi SFS-EN 1993-1-1, kohta 6.2.3(2):

Kiinnityslevyn nettopoikkileikkauksen vetokestävyyden mitoitusarvo kiinnittimien kohdalla:

$$N_{u,Rd} = 0,9 A_{net,p} \cdot f_{u,p} / \gamma_{M,u}$$

missä:

$$A_{net,p} = t_p \cdot (h_p - d_o \cdot n_1)$$

Liitoslevyn vetovoimakestävyys:

$$N_{Rd,u,4} = N_{u,Rd}$$

4.3.1.6 Palkin uuman kestävyys leikkaukselle

Standardi SFS-EN 1993-1-8, kohta 3.6.1, taulukko 3.4:

Yksittäisen ruuvin reunapuristuskestävyyden mitoitusarvo:

$$F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_{u,b1} \cdot d \cdot t_{w,b1}) / \gamma_{M,u}$$

Palkin uuman leikkauskestävyys:

$$N_{Rd,u,5} = n \cdot F_{b,Rd}$$

4.3.1.7 Palkin uuman kestävyys vedolle (palamurtuminen)

Standardi SFS-EN 1993-1-8, kohta 3.10.2(2):

Palkin uuman palamurtumiskestävyyden mitoitusarvo:

$$V_{eff,1,Rd} = f_{u,b1} \cdot A_{nt} / \gamma_{M,u} + 1/\sqrt{3} \cdot f_{y,b1} \cdot A_{nv} / \gamma_{M0}$$

missä:

$$A_{nt} = t_{w,b1} \cdot [n_1 \cdot p_1 - (n_1 - 1) \cdot d_o]$$

$$A_{nv} = 2 \cdot t_{w,b1} \cdot (e_{2,b} - d_o / 2) \quad \text{jos } n_2 = 1 \quad (1 \text{ ruuvirivi})$$

$$A_{nv} = 2 \cdot t_{w,b1} \cdot (p_2 + e_{2,b} - 3 \cdot d_o / 2) \quad \text{jos } n_2 = 2 \quad (2 \text{ ruuviriviä}).$$

A_{nt} on vedolle altistuva nettopinta-ala ja A_{nv} on leikkaukselle altistuva nettopinta-ala.

Palkin uuman palamurtumiskestävyys:

$$N_{Rd,u,6} = V_{eff,1,Rd}$$

4.3.1.8 Palkin uuman kestävyys vedolle (nettopoikkileikkaus)

Standardi SFS-EN 1993-1-1, kohta 6.2.3(2):

Palkin uuman nettopoikkileikkauksen vetokestävyysmitoitussarvo kiinnittimien kohdalla:

$$N_{u,Rd} = 0,9 A_{net,b1} \cdot f_{u,b1} / \gamma_{M,u}$$

$$\text{missä: } \begin{aligned} A_{net,b1} &= t_{w,b1} \cdot (h_{w,b1} - d_o \cdot n_1) \\ h_{w,b1} &= h_p \quad (\text{varmalla puolella oleva arvo}) \end{aligned}$$

Palkin uuman vetovoimakestävyys:

$$N_{Rd,u,7} = N_{u,Rd}$$

4.3.1.9 Pilarin uuman kestävyys taipumiselle (poikittainen vetokestävyys)

$$N_{Rd,u,8} = \frac{8 M_{pl,Rd,u}}{\gamma_{M,u}(1-\beta_1)} \cdot [\eta_1 + 1,5(1-\beta_1)^{0,5}]$$

$$\text{missä: } M_{pl,Rd,u} = \frac{1}{4} \cdot f_{u,c} \cdot t_{w,c}^2$$

$$\eta_1 = h_p / d_c$$

$$\beta_1 = (t_p + 2s) / d_c$$

d_c on pilarin uuman suoran osan korkeus.

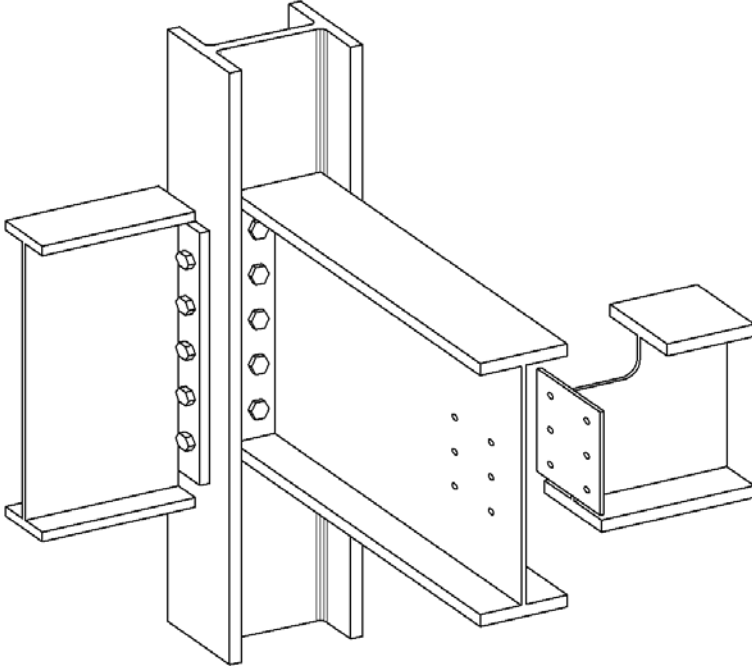
s on pienahitsin kateetin pituus ($= \sqrt{2} \cdot a$)

4.3.1.10 Muut mahdolliset kestävyysarvot

Kiinnityslevyn hitsausliitoksen kestävyys, joka alun perin on suunniteltu leikkausvoimalle, tulee tarkistaa hitsin akselia vastaan kohtisuoralle sidosvoimalle.

4.3.2 Päätylevyliitokset

Päätylevyliitos on kehäraketeissa yleisesti käytetty liitos- ja jatkostyyppi. Päätylevyliitoksissa momenttijäykkyys ja muodonmuutoskyky ovat riippuvaisia päätylevyn ainevahvuuksista, liittyvien rakenneosien mittasuhteista sekä ruuvien sijoittelusta.



Kuva 4.3 Päätylevyliitoksia. [Lähde: SCI PUBLICATION P358]

4.3.2.1 Matala päätylevyliitos

Matala päätylevyliitos (eng. partial depth plate) otaksutaan yleensä nimellisesti nivelelliseksi liitokseksi. Päätylevyn ainevahvuuden valinnalla on keskeinen merkitys päätylevyliitoksen mitoittavan murtumismallin määrittämisessä. Jotta liitos toimisi nivelellisenä, tulee päätylevyn myötää, kun liitokseen kohdistuu vetovoimia. Matalan päätylevyliitoksen sidevoimakestävyyden määrittäminen perustuu liitoksen yksinkertaistettuihin murtumismalleihin, joissa päätylevyyn muodostuvien mahdollisten myötöviivojen oletetaan olevan sekä suunnaltaan että sijainniltaan ruuvirivien ja päätylevyn kiinnityshitsien reunan kohdalla. Näiden pohjalta on erotettavissa kolme murtumismallia:

Murtumismalli 1: Täyden mekanismin syntyminen laipassa

Mustumismalli 2: Ruuvien murtuminen, kun laippa samalla myötää

Murtumismalli 3: Ruuvien murtuminen

Liitoksen päätylevyn vetokestävyyden mitoitusarvo on pienin standardin SFS-EN 1993-1-8 kohdassa 6.2.4 (vedetyn ekvivalentin T-osan laskenta) murtumismallien mukaisista kestävyiden mitoitusarvoista.

Päätylevyn vetokestävyyden lisäksi on myös liitoksen muiden liitoskomponenttien kestävyudet määritettävä. Taulukossa 4.2 on esitetty matalan päätylevyliitoksen liitoskomponentit ja vauriomuodon kestävyiden määrittämiseksi viittaus standardin soveltamissääntöön.

Taulukko 4.2 Liitoskomponentit, matala päätylevyliitos.

Liitoskomponentti/ Vauriomuoto	Vaurion tyyppi	Standardi soveltamissääntö
Palkin uuman hitsit, leikkauskestävyys	sitkeä	SFS-EN 1993-1-8, kohta 4.5.3
Palkin uuman leikkauskestävyys	sitkeä	SFS-EN 1993-1-1, kohta 6.2.6
Lovetun uuman kestävyys, taivutusmomentin ja leikkausvoiman yhteisvaikutus	sitkeä	SFS-EN 1993-1-1, kohta 6.2.8

Lovetun uuman paikallinen stabiliteetti	sitkeä	
Ruuvien leikkauskestävyys	hauras	SFS-EN 1993-1-8, kohta 3.6.1, taulukko 3.4
Liitoslevyn sekä siihen liittyvän rakenteen leikkauskestävyys	sitkeä	SFS-EN 1993-1-8, kohta 3.6.1, taulukko 3.4
Liitoslevyn palamurtumiskestävyys	hauras	SFS-EN 1993-1-8, kohta 3.10.2(2)
Päätylevyn ja ruuvien vetokestävyys	sitkeä/hauras	SFS-EN 1993-1-8, kohta 6.2.4
Palkin uuman vetokestävyys	sitkeä	SFS-EN 1993-1-1, kohta 6.2.3(2)
Palkin uuman hitsit, vetokestävyys	sitkeä	SFS-EN 1993-1-8, kohta 4.5.3
Pilarin uuman poikittainen vetokestävyys	sitkeä	

4.3.2.2 Päätylevylitios

Momenttijäykissä liitoksissa käytettävä päätylevy on korkeudeltaan joko liitettävän rakenneosan korkuinen (full depth end plate), ks. TEP-WP-301 tai ulokkeellinen, rakenneosaa oleellisesti korkeampi (extended end plate), ks. TEP-WP-302.

Päätylevyn ulottuminen palkin laipoille lisää liitoksen päätylevyn sidosvoimakestävyyttä. Päätylevyn hitsaaminen palkin laippoihin tarkoittaa samalla myös sitä, että matalan päätylevyn tapauksessa käytettyjä yksinkertaisia murtumismalleja ei voida suoraan soveltaa. Päätylevyn kiinnitys laippoihin aiheuttaa monimuotoisempien myötöviivamallien muodostumisen päätylevyyn. Sidosvoimakestävyyttä määritettäessä, päätylevyn ulokkeelliset osat sekä palkin laippojen välinen osa käsitellään erillisinä ekvivalentteina T-osina. Kestävyysmitoitussarvo ja murtumismuoto määritetään erikseen kullekin T-osalle.

Momenttijäykän liitoksen taivutuskestävyyden mitoitussarvon määrittäminen perustuu liitoksen sisäisten voimien jakauman tuntemiseen ja niitä vastaavien liitoksen peruskomponenttien kestävyysmitoitussarvoihin. Päätylevylitoksen peruskomponentit on esitetty taulukossa 4.3.

Taulukko 4.3 Liitoskomponentit, päätylevyliitos.

Liitoskomponentti/ Vauriomuoto	Vaurion tyyppi	Standardi soveltamissääntö
Palkin uuman hitsit, leikkauskestävyys	sitkeä	SFS-EN 1993-1-8, kohta 4.5.3
Palkin uuman leikkauskestävyys	sitkeä	SFS-EN 1993-1-1, kohta 6.2.6
Ruuvien leikkauskestävyys	hauras	SFS-EN 1993-1-8, kohta 3.6.1, taulukko 3.4
Liitoslevyn sekä siihen liittyvän rakenteen leikkauskestävyys	sitkeä	SFS-EN 1993-1-8, kohta 3.6.1, taulukko 3.4
Päätylevyn ja ruuvien vetokestävyys	sitkeä/hauras	SFS-EN 1993-1-8, kohdat 6.2.4 ja 6.2.6
Palkin uuman vetokestävyys	sitkeä	SFS-EN 1993-1-1, kohta 6.2.3(2)
Palkin uuman hitsit, vetokestävyys	sitkeä	SFS-EN 1993-1-8, kohta 4.5.3
Pilarin uuman poikittainen vetokestävyys	sitkeä	

Kirjallisuutta

Betoinormikortti 23:

LIITOSTEN MITOITUS ONNETTOMUUSKUORMILLE
STANDARDIN SFS-EN-1991-1-7 YLEISET KUORMAT,
ONNETTOMUUSKUORMAT MUKAANPERUSTELUT EHDOTUKSELLE STANDARDIN SFS-EN 1991-1-7:2006 "EUROKOODI 1:
RAKENTEIDEN KUORMAT. Osa 1-7: Yleiset kuormat – Onnettomuuskuormat" KANSALLISEKSI
LIITTEEKSIwww.ymparisto.fi/download.asp?contentid=86199

30.05.2006, Timo Tikanoja, Matti Pajari

Access Steel

NCCI: Tying resistance of a simple end plate connection

SN015a-EN-EU

Access Steel

NCCI: Tying resistance of a fin plate connection

SN018a-EN-EU

Access Steel

Calculation Sheet

Example: tying and the avoidance of disproportionate collapse

SX020a-EN-EU

Robust structures by joint ductility

Final report

EUROPEAN COMMISSION

EUR 23611

Guidance on meeting the Robustness Requirements in Approved Document A

The Steel Construction Institute

(2004 Edition)

SCI PUBLICATION P341

JOINTS IN STEEL CONSTRUCTION:

SIMPLE JOINTS TO EUROCODE 3

The Steel Construction Institute

SCI PUBLICATION P358

STRUCTURAL ROBUSTNESS OF STEEL FRAMED BUILDINGS

The Steel Construction Institute

SCI PUBLICATION P391

Viitestandardeja

SFS-EN 1090-2

Teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus. Osa 2: Teräsrakenteita koskevat tekniset vaatimukset.

SFS-EN 1990:2002

EUROCODE, RAKENTEIDEN SUUNNITTELUPERUSTEET

NA SFS-EN 1990

KANSALLINEN LIITE STANDARDIIN SFS-EN 1990 EUROKOODI. RAKENTEIDEN SUUNNITTELUPERUSTEET

SFS-EN 1991-1-7: AC2010 (SFS-EN 1991-1-7 +AC)

EUROKOODI 1. RAKENTEIDEN KUORMAT. OSA 1-7: YLEISET KUORMAT. ONNETTOMUUSKUORMAT

NA SFS-EN 1991-1-7

KANSALLINEN LIITE STANDARDIIN SFS-EN 1991-1-7 EUROKOODI 1: RAKENTEIDEN KUORMAT Osa 1-7: Yleiset kuormat – Onnettomuuskuormat

SFS-EN 1993-1-1

EUROCODE 3. TERÄSRAKENTEIDEN SUUNNITTELU

OSA 1-1: YLEISET SÄÄNNÖT JA RAKENNUKSIA KOSKEVAT SÄÄNNÖT

SFS-EN 1993-1-8

EUROCODE 3. TERÄSRAKENTEIDEN SUUNNITTELU

OSA 1-8: LIITOSTEN MITOITUS