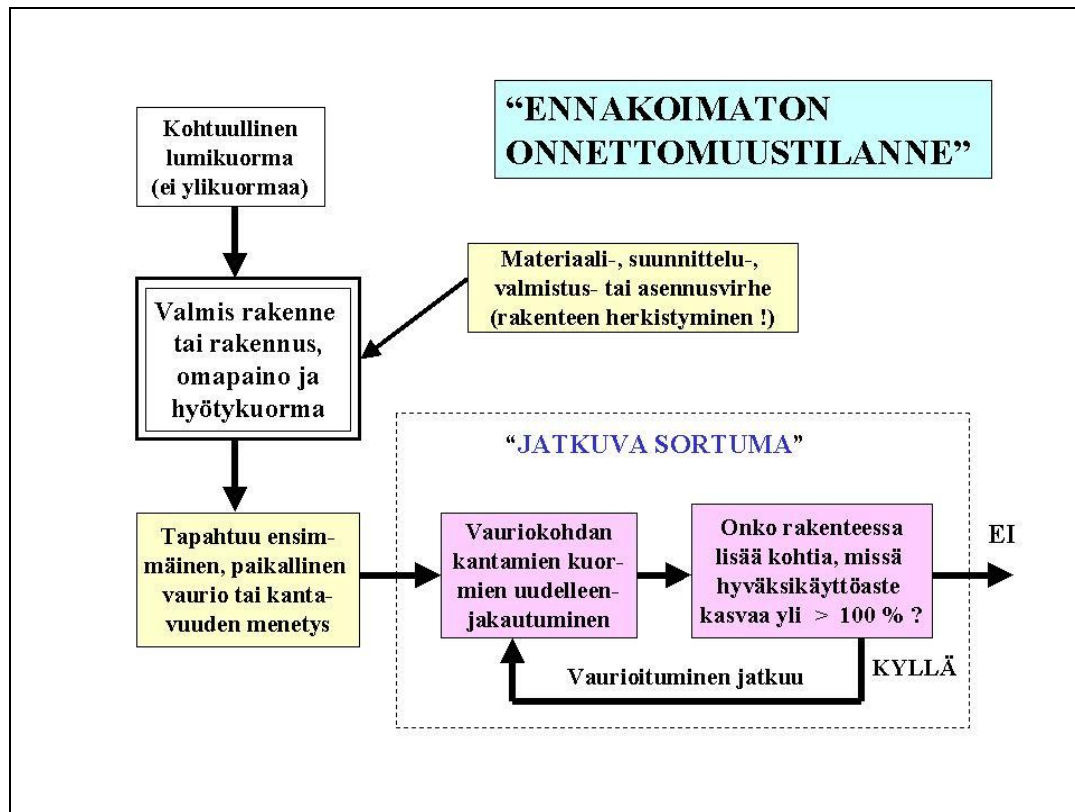


LAAJARUNKOISTEN LIKUNTAHALLIEN RAKENTEELLINEN  
TURVALLISUUS

PROJEKTIRAPORTTI

LAAJARUNKOISTEN TERÄS- TAI PUURAKENTEISTEN  
LIKUNTAHALLIEN  
RAKENTEELLINEN TURVALLISUUS JA  
KUNNON TARKASTUS



OPETUSMINISTERIÖ  
YMPÄRISTÖMINISTERIÖ  
TERÄSRAKENNEYHDISTYS RY  
WOOD FOCUS

VERSIO 20.3.2006

Tapio Leino, Markku Kortesmaa  
VTT



# SISÄLLYSLUETTELO

	Sivu
<b>TIIVISTELMÄ</b>	5
<b>ALKUSANAT</b>	6
<b>1 JOHDANTO</b>	7
<b>2 VUODEN 2003 JA MUIDEN VAURIOTAPAUSTEN SYITÄ</b>	10
2.1 Selvitys vuoden 2003 vaurioista	10
2.1.1 Selvityskohteissa tehdyt havainnot	10
2.1.2 Havaintojen yhteenveto	12
2.1.3 Esisuunnitteluosapuolten yhteydenpito ja yhteistoiminta	12
2.1.4 Kantavien rakennustuotteiden tuotekehitys	13
2.1.5 Lopputuotteen laatuun kohdistuvien riskien hallinta	14
2.2 Puu- ja teräshallien sortumat vuosina 1980 - 2005	16
2.3 Tyypilliset turvallisuusriskit	17
2.3.1 Yhteenveto vuoden 2003 onnettomuus selvityksestä	17
2.3.2 Aiemmissä vaurioselvityksissä havaittuja teknisiä riskitekijöitä	17
<b>3 RAKENNEVAURIODEN SYISTÄ</b>	18
3.1 Suunnittelukuormat ja kuormitusohjeet	20
3.1.1 Rakenteen omapaino ja lumikuorma	21
3.1.2 Lumikuorma	24
3.1.3 Lisävaakavoimat	26
3.1.4 Tuulikuormat	27
3.1.5 Muita kuormitustapauksia	30
3.2 Onnettomuuskuormien huomioon ottaminen	32
3.2.1 Toiminnallinen suunnittelu (Performance based design)	33
3.2.2 Ennakoimattomien tapahtumien mahdollisuus	35
3.3 Onnettomuuksien estäminen määräyksissä ja ohjeissa	41
<b>4 JÄYKISTYS JA STABILITEETTI</b>	43
4.1 Rakenteiden jäykistäminen	43
4.2 Rakenteiden stabilointi	47
4.2.1 Stabiliateetin menetys	48
4.3 Hallien kokoonpanoliitokset	49
4.3.1 Rakenteiden asentaminen	49
4.3.2 Pulttiliitokset	50
4.4 Jatkuvan sortuman estäminen	51

<b>5</b>	<b>TERÄSRAKENTEIDEN HITS AUSLIITOKSET</b>	<b>53</b>
5.1	Hitsausliitosten suunnittelu ja valmistaminen	53
5.2	Hitsausliitosten mitoittaminen	54
5.3	Hitsausliitosten ainetta rikkomattomat tarkastusmenetelmät	57
<b>6</b>	<b>ENNAKOIMATTOMAN RISKIN ANALYSOINTI</b>	<b>58</b>
6.1	Vaativat rakennuskohteet	58
6.2	Ennakoimattomat tapahtumat ja onnettomuudet	59
6.3	PORA -riskienhallintamenetelmä	61
<b>7</b>	<b>RAKENTAMISPROSESSIIN LIITTYVÄT RISKITEKIJÄT</b>	<b>64</b>
<b>8</b>	<b>RAKENNUSTEN KUNNON TARKASTUS</b>	<b>67</b>

## **KIRJALLISUUS**

## TIIVISTELMÄ

Tutkimuksessa on käsitelty vuoden 1980 jälkeisiä teräs- ja puurakenteiden vaurio- ja sortumatapauksia ja niiden syitä ja riskitekijöitä. Useimmissa tapauksissa on ollut kyse monista samaan aikaan vaikuttaneista syistä, joiden yhteisvaikutuksesta on lopulta tapahtunut jokin onnettomuus tai rakennevaurio ja sortuma.

Rakennesuunnitteluohjeet sisältävät riskianalyysiin perustuvat varmuuskertoimet, joiden mukaan suunniteltaessa kaikkien rakenteiden ja rakennusten pitää kestää kaikki normaalit materiaalipoikkeamat sekä rasitus- ja kuormitustilanteet. On kuitenkin voitu todeta, että eri syistä johtuen rakenteet ovat voineet herkistyä vaurioille, esimerkiksi materiaalin huononemisen tai suunnittelu-, valmistus- tai asennusvirheiden johdosta, tai siksi, että rakentamisprosessissa ei tieto ole kulkenut, ja jotain on jäänyt tekemättä tai jokin osatehtävistä on määritely huonosti. Rakentaminen on työmaalla voitu esimerkiksi tehdä poiketen alkuperäisistä suunnitelmista ja suunnittelijaa kuulematta, tai käyttäen halvempia ja erilailla spesifioituja osia tai materiaaleja kuin oli suunniteltu, tai jättämällä pois tuntuja, tms.

Tutkimusraportissa on käsitelty lähes kaikkia sellaisia suunnitteluun, valmistukseen, asentamiseen ja muuhun rakentamisprosessiin liittyviä tekijöitä, joissa on voitu havaita, että tehdään virheitä tai missä on säästetty väärällä tavalla, tms. Edellä mainittuja aiheita on käsitelty riskienhallinnan näkökulmasta. Riskialttiit ratkaisut voidaan löytää riskianalyysin avulla. Koska Maankäyttö- ja rakennuslaissa kaikilta rakennuksilta vaaditaan tietyt olennaiset tekniset ominaisuudet, riskikohdat pitää käsitellä heti rakentamisen aikana siten, että lopputulos vastaa lain ja määräysten vaatimuksia. Raportin eri osat käsittelevät sitä kuinka erilaiset havaitut riskit voidaan käsitellä tai hoitaa, ja se on siksi sekä suunnitteluohje että ohje rakennushankkeeseen ryhtyvälle taholle, jonka viime kädessä tulee itse todeta lopputuloksen vaatimuksenmukaisuus.

Parempien teknisten ratkaisujen ja suositusten esittelemiseksi raportissa on hyödynnetty valokuvia ja tietoja Onnettomuustutkinnassa olleista tunnetuista vauriotapauksista.

## ALKUSANAT

Tutkimus on tehty tavoitteena selvittää ja ymmärtää seikkoja, jotka vaikuttivat useiden rakennuskohteiden vaurioitumiseen ja sortumiseen Suomessa vuonna 2003, sekä esittää havaituille ongelmille sopivia uusia ratkaisutapoja. Tutkimusta ovat rahoittaneet opetusministeriö, ympäristöministeriö, VTT, Teräsrakenneyhdistys ja Wood Focus.

Tutkimuksen tavoitteena oli käsitellä ja tuoda paremmin tunnetuksi sellaisia suunnitteluun ja rakentamiseen liittyviä seikkoja ja suosituksia, joihin todistettavasti liittyy riskejä tai mahdollisuus epäonnistua. Raportissa esitellään sellaisia ohjeita ja suosituksia, jotka joko tunnetaan huonosti, tai missä on tehty virheratkaisuja, jotka ovat johtaneet vaurioon. Tavoitteena on myös tuoda uudempia eri raporteissa ja uusissa eurooppalaisissa ohjeissa julkaistuja tietoja suomalaisten suunnittelijoiden ja muiden asianomaisten tietoon, ja hyödynnettäväksi suunnittelijakunnan kouluttamisessa ja ammatillisessa pätevöittämisessä. Lisäksi, eräät havainnot tukevat sitä käsitystä, että rakenteiden jatkuvan sortuman uhkaa torjumaan pitää kehittää parempia suoria käytännön ohjeita, koska myös pätevät suunnittelijat tekevät ko. asiassa virheratkaisuja.

Raportti on laadittu rahoittajien muodostaman johtoryhmän ohjauksessa ja varsinaisen tekstin ovat laatineet erikoistutkijat Tapio Leino (projektipäällikkö) ja Markku Korttesmaa.

Projektin johtoryhmään kuuluivat seuraavat henkilöt:

- Risto Järvelä, opetusministeriö, [Risto.Jarvela@minedu.fi](mailto:Risto.Jarvela@minedu.fi)
- Teppo Lehtinen, ympäristöministeriö, [Teppo.Lehtinen@ymparisto.fi](mailto:Teppo.Lehtinen@ymparisto.fi)
- Unto Kalamies, Teräsrakenneyhdistys ry, [Unto.Kalamies@rakennusteollisuus.fi](mailto:Unto.Kalamies@rakennusteollisuus.fi)
- Jaakko Huuhtanen, ympäristöministeriö, [Jaakko.Huuhtanen@ymparisto.fi](mailto:Jaakko.Huuhtanen@ymparisto.fi)
- Pekka Nurro, Woodfocus, [Pekka.Nurro@woodfocus.fi](mailto:Pekka.Nurro@woodfocus.fi)
- Tapani Tuominen, SPU Systems Oy, [Tapani.Tuominen@spu.fi](mailto:Tapani.Tuominen@spu.fi)

Lisäksi johtoryhmän kokouksiin osallistuivat:

- Tapio Leino, VTT, [Tapio.Leino@vtt.fi](mailto:Tapio.Leino@vtt.fi) (johtoryhmän sihteeri)
- Mauri Peltovuori, [Mauri.Peltovuori@minedu.fi](mailto:Mauri.Peltovuori@minedu.fi)
- Markku Korttesmaa, VTT, [Markku.Korttesmaa@vtt.fi](mailto:Markku.Korttesmaa@vtt.fi)

# LAAJARUNKOISTEN TERÄS- TAI PUURAKENTEISTEN LIIKUNTAHALLIEN RAKENTEELLINEN TURVALLI- SUUS JA KUNNON TARKASTUS

## 1 JOHDANTO

Laajarunkoisten liikuntahallien rakenteellinen turvallisuus on noussut tärkeäksi selvitysten aiheeksi sen jälkeen kun vuonna 2003 tapahtui useita laajarunkoisten rakennusten vaurioita ja sortumisia. Ympäristöministeriö selvitytti yhdessä rakennusalan järjestöjen kanssa kyseisten tapausten teknisiä ja muita yhtäläisyyksiä /1/, ja järjestöt omissa jäsenkunnissaan selvittivät erilaisia vastaavien A- tai AA-luokkaan kuuluvien rakennusten riskejä, ongelmia ja korjaustarpeita, jonka jälkeen ympäristöministeriön asettama selvitysmies Tapani Mäkikyrö laati alustavan ehdotuksen /2/ siitä miten pitää toimia, ettei vastaavia onnettomuuksia ja tapauksia enää satu.

Onnettomuuksien selvitysten perusteella voitiin havaita puutteita suunnitteluohjeissa ja rakennustuotteiden käyttöohjeissa ja -suosituksissa, minkä johdosta opetusministeriön ja ympäristöministeriön yhteisenä ponnistuksena alettiin selvittää ja parantamaan teknisiä ja muita menetelmiä ja työkaluja laajarunkoisten rakennusten suunnittelun ja valmistuksen varmistamiseksi siten, että Maankäyttö- ja rakennuslain (MRL) ja vastaavan asetuksen (MRA) mukainen rakentamisen oleellinen vaatimustaso saavutetaan, ja rakennushankkeeseen ryhtyvää osaa jatkossa vaatia toimittajilta, alihankkijoilta ja yhteistyökumppaneilta riittävän laadukasta toimintaa.

Suurin osa onnettomuuksista johtui monista eri syistä, jotka vaikuttivat samanaikaisesti, vaikka itse onnettomuustapahtuma käynnistyikin viime kädessä ulkoisista syistä, esimerkiksi lumikuormasta. Lumikuorman suuruus ei selvitysten mukaan kuitenkaan yhdessäkään tapauksessa ollut yksinään riittävä syy tapahtuneeseen, eli kyse ei ollut onnettomuus-kuormista siinä merkityksessä, kun kyseistä termiä käytetään rakennesuunnittelun ohjeissa.

Vuoden 2003 vauriotapauksista saatujen tietojen täydentämiseksi laadittiin yhteenveto kaikista tunnetuista noin vuosina 1980 - 2005 Suomessa tapahtuneista rakennusvaurioista ja sortumista, missä kohteen runkomateriaali oli joko terästä tai puuta. Vaurioista löytyy yhteenveto osana tätä selvitystä (Liite 1) ja sen tulokset on otettu huomioon muissa osatehtävissä.

Vaurioselvityksissä /1/ on myös havaittu piirteitä, jotka viittaavat siihen, että ko. tapauksissa valittu toimintaympäristö tai rakentamistapa ei tukenut laadukkaan lopputuloksen saavuttamista. Syitä kyseisiin valintoihin ei ole selvitetty, mutta epäilemättä monesti on ollut kyse "vääränlaisesta säästämisestä". Esimerkiksi urakoiden osittaminen ja ketjuttaminen eivät tue yhteistyötä, ja hyvin tiukasta urakkarajojen noudattamisesta saattaa aiheutua pahoja ongelmia, jos urakat eivät yhdessä muodosta toimivaa kokonaisuutta. Mikäli ketään ei nimitä koordinoimaan ja valvomaan eri toimijoiden yhteistyötä, niin sitä ei todennäköisesti tapahdu itsestään. Epäilemättä, jos kaikilla tasoilla pyritään oman urakan kustannusten minimoimiseen, eikä kanneta vastuuta lopputuloksesta, jotkin tarpeelliset toimet jäävät urakkarajojen välimaastoon ei-kenenkään maalle.

Rakennuttajien tulee tiedostaa, että ketjun heikoin lenkki käytännössä määrittää lopputuloksen laadun, ja jokin "puuttuva lenkki" saattaa aiheuttaa rakennuksen käyttöiän /10, 11, 15/ olennaisen lyhenemisen. Toimitusketjun yksittäisillä osilla (urakoitsijat, aliurakoitsijat yms.) ei yleensä ole mahdollisuuksia tai halua vaikuttaa projektin muiden toimijoiden laatuun esimerkiksi asettamalla niille vaatimuksia, vaikka muiden toimituksilla olisikin merkitystä omaan laaduntuottokykyyn.

Suunnittelijoiden, urakoitsijoiden, rakennuttajan ja viranomaisen laajempi yhteistyö voisi poistaa urakkarajojen ja niiden huonojen määritysten aiheuttamat riskitekijät. Rakennuttajat eivät yleensä ymmärrä vaatia yhteistyötä tai -toimintaa, eikä viranomainen erityisemmin valvo ketjutusta tai ketjun yhteistoimintaa tai yhteistoiminnan puutteiden seurauksia. Verrattuna käytäntöihin muissa maissa, missä eri toimijoiden yhteistoiminta on tehokkaampaa esimerkiksi sen takia, että toimitaan samassa yrityksessä, Suomessa luotetaan liikaa urakasopimuksien laatuun ja sisältöön sekä niissä mainittuihin laatuksiteereihin, kuten esimerkiksi Suomen rakentamismääräyskokoelman suunnitteluohjeisiin.

Suunnitteluohjeet eivät Suomessa ole velvoittavia. Ne kohdistuvat pääasiallisesti rakenteiden rakenneosien ja niiden yksityiskohtien mitoittamiseen. Yksittäisten rakenneosien kestävyys ei kuitenkaan käytännössä takaa rakennekokonaisuuden toimivuutta tai aina edes sitä, että rakennekokonaisuuden kestävyys tai turvallisuus olisivat riittäviä, tai että ne vastaisivat Maankäyttö- ja rakennusasetuksen 50§:n oleellisia teknisiä vaatimuksia.

Suomessa on hyvin vähän rakennustuotteiden toimittajia, joiden tuotekansioista löytyy riittävä määrä yhteensopivia testattuja tuotteita, joista voi koota kokonaisia rakennuksia. Lähimpänä tällaista laatuvaroitetta ovat eräät pientalotoimittajat, jotka itse valmistavat osia, sekä toimittavat ja kokoavat taloja lähinnä omista osistaan yhdistäen niihin rajallisesti muiden alojen toimittajien tuotteita.

Kaikki muut rakennuskohteet suunnitellaan yleensä käyttäen usean eri toimittajan tuotteita, joiden yhteistoimintaa ei yleensä ole testattu missään, ja joiden tuotteiden laadunvarmistus vaihtelee suuresti. Tällöin kokonaisuuden hallinta joutuu kovalle koetukselle. Käytännössä kokonaisuudesta vastaa rakennesuunnittelija, mutta vain suunnittelupalkkionsa suuruudella summalla. Suunnittelijan pitää siis tuntea kaikkien mahdollisten tuotteiden ja puolivalmisteluiden ja niiden yhdistelmien ominaisuudet ja laatu tai laatuvaikutukset, jotta hän voi piirustuspöydällä suunnitella kaikin puolin toimivia rakennekokonaisuuksia.

Suomessa luotetaan liikaa siihen, em. testaamattomat tuotekombinaatiot ovat hyvää laatua, tai että aliurakoitsijoiden tuottama laatu on hyvää, vaikka ihan hyvin tiedetään, että kilpailu käydään pääasiassa hinnalla ja urakoitsijoiden oma kehitystyö kohdistuu pääosin rakennuksen toimittamiseen, eli urakan pysymiseen aikataulussa ja kustannusraameissa. Monesti näissä kriteereissä onnistutaan vain lopputuloksen laadun kustannuksella, ja seurauksena on jälkikäteen tehtäviä toimituksia ja tuotteen korjaamista. Eri urakoitsijoiden välisiä keskinäisiä laadun tuottamiseen liittyviä tarkastusmenettelyitä ei käytetä edes siinä määrin kuin niistä löytyy opastusta laista, määräyksistä ja ohjeista.

Ympäristöministeriön selvitysmies on esittänyt AA-kohteissa pakollista riskianalyysyä /2/, missä workshop-muotoisena prosessina ja eri tahojen yhteistyönä tunnistetaan ja hoidetaan sekä tekniset että rakentamisprosessiin liittyvät riskit, jotka eivät ole hyväksyttävissä.



Hyväksyttävä riskitasohan sisältyy rakennesuunnitteluohjeisiin. Jos kaikissa rakennesuunnitelmissa ja kohteissa noudatettaisiin suunnitteluohjeita täysimääräisesti, onnettomuuksia voisi aiheutua vain materiaali- tai asennusvirheistä. Ongelmia on kuitenkin esiintynyt erityisesti suunnittelussa ja suunnitelmien käytännön toteutuksessa ja rakenteiden asennuksessa ja pystyttämisessä. Suunnittelun laatuun on sisältynyt ongelmia, ja osa valmistusvirheistäkin voidaan johtaa suunnitteluun, koska puuttuvien työselitysten ja -ohjeiden laatiminen on suunnittelijan tehtävä.

## 2 VUODEN 2003 JA MUIDEN VAURIOTAPAUSTEN SYITÄ

### 2.1 Selvitys vuoden 2003 vauriotapauksista

Vuonna 2003 tapahtuneiden rakennusten vaurioiden ja sortumien johdosta rakennusalan järjestöt ja Ympäristöministeriö tekevät erilaisia kehittämistoimia. Niiden kohdistamiseksi tehtiin mm. VTT:n taustaselvitys /1/ koskien vaurioiden ja sortumien syitä ja seurauksia sekä tapahtumiin johtaneita muita mahdollisia riskitekijöitä. Selvityksessä ei käsitelty syyllisyyskysymyksiä.

#### 2.1.1 Selvityskohteissa tehdyt havainnot

Selvityksessä on noussut esiin sekä teknisiä että rakentamisen prosessiin liittyviä puutteita ja ongelmia, joilla on selkeästi ollut vaikutuksia tapahtuneisiin. Tekniset ongelmat on luokiteltu puhtaasti a) suunnitteluteknisiin, b) valmistus- ja asennusteknisiin ja c) muihin teknisluonteisiin ongelmiin, jotka liittyvät rakennusten käyttöikään. Näitä rakenteisiin, rakennustuotteisiin ja rakennusjärjestelmiin liittyviä selvityskohteista havaittuja teknisiä ongelmia ja riskejä on lueteltu taulukoissa 1 - 3.

**Taulukko 1.** Suunnittelutekniset ongelmat ja riskitekijät.

Nr.	Kuvaus/selitys
1	Puurakenteiden (ristikkoelementeissä myös sauvojen väliset) rakenneliitokset
2	Teräsrakenteissa rakenne-elementtien kokoonpano- ja (piena)hitsausliitokset
3	Puu- ja teräsrunkoisissa rakennuksissa kehärakenteiden jäykistys ja stabiliteetti
4	Teräs- ja puurakenteiden suunnitteluohjeet B7 ja B10 eivät anna ohjeita jatkuvan sortuman suhteen kuten B4 (ja EC3) antaa
5	Betonirakenteen tyypillisimmät virheet koskevat rakenteen rauditusdetaljeja
6	Kuormitukset; määräävän rasituksen aiheuttava kuormitus on jäänyt löytymättä
7	Mitotuslaskelmien puuttuminen ja/tai virheelliset laskelmat
8	Suunnittelun tai tuoteosan toimituksen sisäinen tarkastus (laatu järjestelmien puute)

**Taulukko 2.** Valmistus- ja asennustekniset ongelmat ja tekijät.

Nr.	Kuvaus/selitys
9	Rakentaminen tai valmistus tapahtuu piirustusten mukaan, mutta käytetyt toleranssit ja muut valmistuksen ohjeet ovat työselityksessä
10	Työselityksen tai detaljipiirustusten puuttuminen, erityisesti teräsrakentamisessa
11	Kuljetusten ja nostojen lujuuslaskelmien puuttuminen
12	Suunnittelijat eivät ole osallistuneet runkokatselmukseen
13	Tavaran tarkastuksen, ja laatuvaajauksen vaatimat toimet ovat olleet puutteellista
14	Muutostöitä ja suunnitelmista poikkeavia hankintoja ei hyväksytetä suunnittelijalla
15	Teräsrakenteiden suunnittelu ja valmistus ovat ilmeisesti liian kaukana toisistaan

### Taulukko 3. Muut tekniset ongelmat ja tekijät.

Nr.	Kuvaus/selitys
16	Kaikenlainen muuttosuunnittelu ja toistuva suunnittelu on ollut riskialtista.
17	Puu- ja alapohjarakenteissa on ollut homeongelmia.
18	Teräsrakenteissa on käytetty uusia liitosrakenteita, joita esim. ei voi laskea käsin, eikä niitä ole testattu.
19	Vanhoja rakenteita on asennettu uuteen paikkaan ilman riittäviä selvityksiä.
20	Rakennustuotteiden kehittäminen on jäänyt puolitiehen, tai tekemättä, mistä aiheutuu tuotteiden virheellistä käyttöä.
21	Seuraavaa erilaista kohdetta myyty samoilla piirustuksilla kuin edellistä, vaikka kohteiden erot ovat merkittävät.

Rakentamisen prosesseihin liittyvistä mahdollisista ongelmista ja riskeistä on selvityskoh-teissa tullut esille mm. seuraavissa taulukoissa 4 - 5 esitetyt aiheet:

### Taulukko 4. Rakennusvalvontaan liittyviä mahdollisia tekijöitä.

Nr.	Kuvaus/selitys
1	Vaikuttavien kuormitusten määrittelyssä on puutteita, tai on tehty virheitä, ja nykyisin kuormitus-ten määrittely on kokonaan suunnittelijan vastuulla.
2	Rakennusten tai rakenteiden vaatimuksenmukaisuuden toteamisessa on puutteita. Viranomaiset eivät ole velvollisia tarkastamaan suunnitelmia.
3	Useissa kohteissa kukaan ei ollut tarkastanut suunnitelmia, rakenteita, tai rakennustuotteita.
4	Rakennuksen olennaisten vaatimusten mukaisuutta ei ole selvitetty.
5	Kohteissa ei ole ollut nimettynä ketään vastaavaa rakennesuunnittelijaa (MRL 120§).
6	On ollut suuria eroja miten viranomaisvalvonta sovitetaan kohteen vaativuuteen.
7	Valvonnasta tai tarkastuksia suorittamaan valituista henkilöistä ei ole kaikissa tapauksissa ollut dokumentteja, joista selviää pätevyys ja aiempi vastaava kokemus.

### Taulukko 5. Rakentamiseen ja sopimustekniikkaan liittyviä mahdollisia riskitekijöitä.

Nr.	Kuvaus/selitys
7	Kohteissa on käytetty alistettuja sivu-urakoita, jolloin rahaliikenne aliurakoijan ja rakennuttajan välillä on kuitenkin tapahtunut suoraan,
8	Selvityskohteissa on sellaisia, missä työnohtaja ei ole huolehtinut kokonaisuudesta, joka täyttää hyvälle toteutukselle asetetut vaatimukset(?)
9	Pääsuunnittelija- tai erikoissuunnittelusta vastaava pääsuunnittelija -konsepti on epäselvä, eikä ole vielä tehokkaasti käytössä, eikä yhdessäkään kohteessa oltu nimetty erityisalan kokonaisuudesta vastaava suunnittelijaa
10	Suunnittelutarjouksia on voitu tehdä hyvin erilaisilla toimitussisällöillä, kun esimerkiksi detaljien ja hitsien mitoituslaskelmat on voitu jättää toimittamatta,
11	Muuttuvat projektiorganisaatiot toistuvissa rakennuskohteissa, jolloin aiempaa kokemusta ei ole voitu käyttää täysimääräisenä,
12	KVR-tyyppinen urakoitsijavetoinen tai tuoteosatoimittajavetoinen suunnittelu on altistanut "sääs-töihin",
13	Selvityskohteista on syntynyt epäily, että toimitusketjujen toimijoiden välisissä sopimuksissa ei ole lopputuloksen laatuun ja sen varmistamiseen liittyviä asioita määritelty riittävästi (sopimuksia ei ole tarkastettu!),
14	Selvityskohteissa ei ole dokumenttien mukaan suoritettu kolmansille osapuolille kohdistuvien ris-kien kartoitusta.

### 2.1.2 Havaintojen yhteenveto

Rakennesuunnittelu on ainoa lähes kaikkia selvityskohteita yhdistävä riskitekijä, joka on ollut vaikuttamassa vaurioiden ja sortumien syntyyn. Niihin on kaikissa tapauksissa vaikuttanut myös muita oleellisia tekijöitä, joiden takia tapahtumia ei ole voitu selittää pelkästään suunnitteluvirheinä. Siksi ohjeiden parantaminen tai suunnittelijoiden kouluttaminen ei voi olla ainoa keino vastaavien tapahtumien välttämiseksi tulevaisuudessa.

Suurinta osaa selvityksessä tarkastelluista kohteista voidaan pitää Maankäyttö- ja rakennuslain (MRL) 123 §:n mukaisesti ”tavanomaisesta poikkeavina” rakennuksina, joiden pääsuunnittelijan ja asennustyönjohdon pätevyysvaatimukset ovat tavanomaista korkeammat. Yksikään kohteista ei ollut tavanomainen asuin- tai toimistorakennus, joita rakennetaan paljon.

Vaikka jonkin kohteen suunnittelijat olivat päteviä, ja rakennesuunnittelijan voidaan olettaa ottaneen huomioon olemassa olleen tiedon, on silti osoittautunut mahdolliseksi, että suunnitelma ei täytä vaadittua varmuustasoa. Selvitys osoitti, että rakennuttajan huolehtimisvelvollisuus on monissa tapauksissa jäänyt osin hoitamatta.

Seuraaviin kolmeen alakohtaan (2.1.3-2.1.5) pyritty kokoamaan havaittuja rakentamisprosessin eri osiin liittyviä riskitekijöitä. Riskien toteutuminen näyttää selvitysten perusteella johtuvan pääasiassa rakennushankkeeseen ryhtyvän ja palkkaamansa pätevän henkilöstön yhteistoiminnan puutteista, vastuurajoilla esiintyneistä epäselvyyksistä, ja rakentamiseen liittyvien riskien puutteellisesta hallinnasta.

### 2.1.3 Esisuunnitteluosapuolten yhteydenpito ja yhteistoiminta

Merkittävä yksittäinen rakentamista koskeva ongelma, jonka on voitu identifioida vaikuttaneen lähes kaikissa vaurio- ja onnettomuustapauksissa, koskee tiedonkulkua ja yhteistoimintaa rakennushankkeeseen ryhtyvän tahon, rakennus- ja muun valvonnan, suunnittelijoiden ja rakentamiseen osallistuvien muiden tahojen välillä hankkeen alkuvaiheessa.

Selvityksessä on voitu todeta, että useimmissa vauriotapauksissa perussyöt löytyvät rakentamisprosessin alkuvaiheesta, missä on tehty rakenne- ja materiaalimuutoksia tai suunnitteluvirheitä ja päätöksiä, jotka ovat johtaneet vaurioon tai sortumaan.

Rakennushankkeeseen ryhtyvällä taholla ei kaikissa tapauksissa ole ollut riittävästi tietoa Suomen RakMK:n määräyksistä ja ohjeista. Hänellä ei ole ollut huolehtimisvelvollisuudestaan riittävän selvää kuvaa, eikä mahdolliset rakennusvalvonnan neuvot ja RakMK:n ohjeet ole riittäneet, tai ne on koettu rajoituksina. Selvityksessä on myös todettu, että valitsemalla muodollisesti pätevät kumppanit ei kuitenkaan ole voitu välttää ongelmia ja vaurioita, esimerkiksi siksi, että konsulttitoimiston ainoa muodollisesti pätevä suunnittelija ei ole tehnyt tai tarkastanut suunnitelmia. Laadun valvonta on toimitusketjussa laiminlyöty.

Eräissä selvityskohteissa on hankkeeseen ryhtyvälle ilmeisesti jäänyt epäselväksi miten, tai kuinka suurelta osin huolehtimisvastuuta on joko sopimusteknisillä tai muilla keinoin siirrettävissä muille. Samoin rakennuttajalle on jäänyt epäselväksi kuinka vastuu lopputuloksen laadusta on käytännössä siirtynyt rakennuksen suunnittelijoille, urakoijille, aliurakoijille, tuoteosatoimittajille, tai rakennustyön johdolle. Rakennusvalvonnalle ei sitä lain mukaan voi

siirtää, vaikka edelleen elää se käsitys, että rakennusvalvonta tarkastaisi suunnitelmat ja valvoisi käytännön toimia.

Selvityksessä ei ole tutkittu sopimusasiakirjoja tai niiden sanamuotoja, mutta käytännössä laatu vastuuta ei ole kannettu, koska vaurioita, sortumia ja henkilövahinkoja on tapahtunut.

Selvityksessä on myös voitu todeta, että pienemmissä kunnissa rakennusvalvonta kohdistuu rakennuksen ns. oleellisista teknisistä vaatimuksista vain muutamaaan, kuten esimerkiksi palonkestoon. Kestävyyksiin ja turvallisuuteen liittyvät vaatimuksenmukaisuudet tai niistä varmistuminen jää suurimpien kaupunkien ulkopuolella hankkeeseen ryhtyvän omaan valvontaan.

#### **2.1.4 Kantavien rakennustuotteiden tuotekehitys**

Suuri osa vaurioista on tapahtunut ns. tyyppirakennuksissa tai -rakenteissa, kuten esimerkiksi eräät liikerakennukset, sisäkatot ja erityisesti urheiluhallit. Tyyppirakennuksia ja niiden osia nimitetään rakennustuotteiksi, vaikka niiden osille tai materiaaleille voidaan saada vain osittainen tuotehyväksyntä. Näissä tapauksissa rakennekokonaisuutta koskevat vaatimuksenmukaisuudet tai lopullisen rakenteen toimivuus pitää osoittaa erikseen.

Tyyppirakennusten tai -rakenteiden kohdekohtaiset erot ovat selvityksen mukaan olleet luultua suuremmat. Selvityksessä on voitu todeta, että edellisessä samanlaisessa kohteessa tehty suunnittelutyö ei esimerkiksi pienehkön arkkitehtonisen muutoksen takia ole todellisuudessa ollut hyödynnettävissä. Kun tätä ei ole ymmärretty tai tarkistettu, on useassa kohteessa päädytty virhealttiisiin ratkaisuihin.

Selvityksessä esiintyneitä tyyppirakennuksia, joille eräissäkin tapauksessa oli laadittu kattavat viitesuunnitelmat ei ole tuotteistettu. Tyypillisen tuotekehitysprosessin vaiheita ei ole käyty läpi. Rakennustuotteen ominaisuuksia tai rajoituksia ei ole selvitetty. Ns. tuoteosaaminen on kohdistunut pääasiassa ensimmäisen rakennuksen tai rakenteen toimituksen osaamiseen, ja lopputuloksen laatu jää hankkeeseen ryhtyvän vastuulle.

On myös voitu todeta, että esimerkiksi alun perin teräksisenä toteutettavaksi suunniteltu riskikorakennesysteemi ei ole puurakenteisena optimaalinen, jos käytetään täysin samoja sauvajärjestelyitä, rakennekorkeuksia ja muita yleismittoja. Kun rakennetta ei ole materiaalin vaihdon yhteydessä muotoiltu uudelleen, on muutoksen seurauksena tullut ongelmia esimerkiksi rakenneliitoksissa.

Selvityksessä on ollut mukana joitakin tunnettuja kantavia rakennustuotteita (esim. WQ-palkki, jännebetonipalkki, naulalevyristikko), joilla ei kuitenkaan ole tuotehyväksyntää, eikä niillä ole esimerkiksi käyttöselostetta. Eräissä kohteissa tällaisia tuotteita oli käytetty ilman riittäviä kohdekohtaisia rakennelaskelmia, eli tuotteilla on oletettu olevan ominaisuuksia, joita niillä ei tosiasiallisesti ollut. Kyseisten tuotteiden spesifikaatiot ovat siis olleet täysin keskenäisiä.

Tyyppirakennuksiin ja niihin toimitettavaan rakenneseinään liittyvät käsittely-, nosto- ja huolto-ohjeet ovat olleet puutteellisia, tai niitä ei ole ollut lainkaan. Hankkeeseen ryhtyvän tahon olisi lain mukaan pitänyt palkata erillinen ns. rakennepääsuunnittelija, joka on vastuussa siitä, että eri tahojen laatimat rakennesuunnitelmat ja toimittamat osat muodostavat toimivan

kokonaisuuden. Tällaista vastuullista rakennesuunnittelijaa ei ole palkattu, eikä sellaisen tarvetta ole ilmeisesti ymmärretty.

### 2.1.5 Lopputuotteen laatuun kohdistuvien riskien hallinta

Tuoteosakauppa ja muut urakan osittamista varten luodut toimintaympäristöt ovat ilmeinen riski lopputuloksen laadun kannalta, jos osittaminen koskee rakennesuunnittelua. Selvitys osoitti, että hankkeeseen ryhtyvän tahon on kaikissa tapauksissa itsensä kontrolloitava syntyvää laatua, tai vaihtoehtoisesti hankittava siihen osaavaa apua. Laadunvalvonta oli eräissä selvityskohteissa pettänyt suunnittelussa, tai tuoteosatoimituksessa siitä yksinkertaisesta syystä, että suunnittelijalta ei ole vaadittu laskelmia.

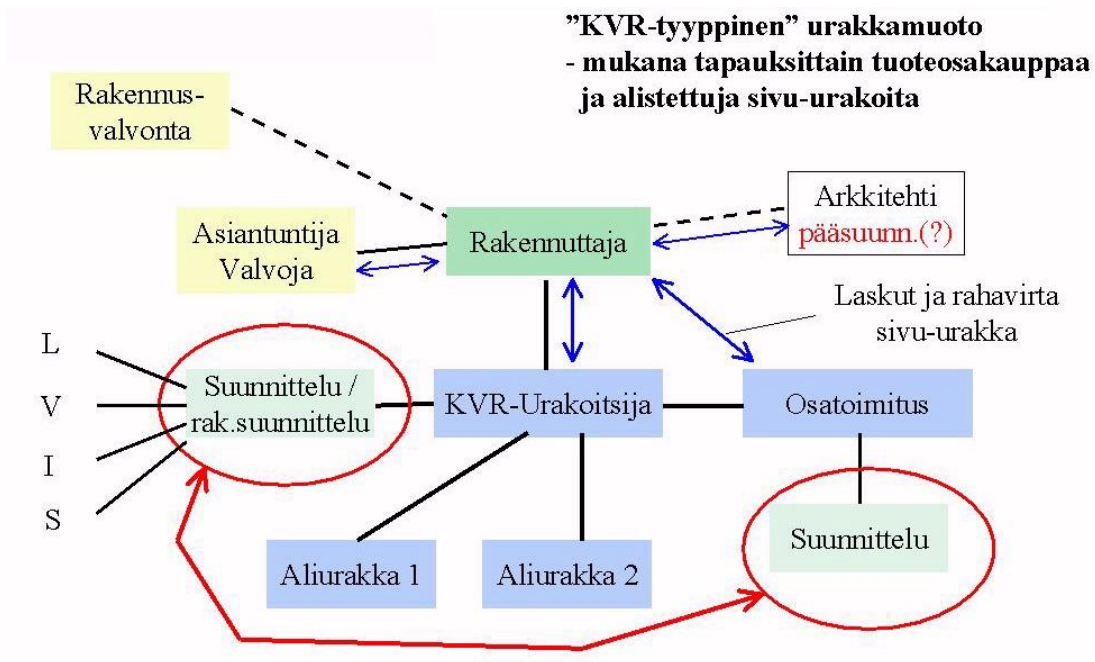
Selvityskohteista on voitu todeta, että jos kunkin toimittajan vastuulla on vain jokin tarkasti rajattu osasuoritus, jää rakentajalle itselleen ilmeisen suuri riski siitä, että ko. osuuksien välimaastoon osuva tarpeellinen pääsuunnittelijalle määrätty koordinaatio jää vaillinaiseksi. Selvityskohteissa on voitu havaita, että erityisesti rakennepääsuunnittelijan tehtävää oli laiminlyöty, tai siihen ei ole nimetty ketään, vaikka rakentajalle oli jopa tarjottu sitä.

Selvityksessä on voitu myös havaita, että erityisesti suunnittelu- mutta myös eräiden muiden tarjousten sisällöissä on ollut eroja verrattuna suositussisältöön. Erot ovat koskeneet sellaisia toimitussisältöön suositeltuja tai ohjeissa mainittuja osia, joiden vastaanotto ei esimerkiksi tuoteosan toimituksen kannalta ole näyttänyt kriittiseltä, kuten laskelmat, jotkut detailjiirustukset ja työselitykset. Erityisesti puu- ja terässuunnittelun toimitussisällöt ovat voineet erota ohjeissa kuvastusta sisällöstä ja kutistua lähes pelkkiin piirustuksiin, jos tuoteosatoimittaja ei ole vaatinut suunnittelijaltaan laskelmia.

Monissa selvityskohteissa on käytetty "KVR-tyyppistä" urakoitsija- tai tuoteosatoimittajavetoista suunnittelua (kuva 1), joka havaintojen perusteella altistaa riskialttiiseen säästämiseen. Esimerkiksi eräissä vauriotapauksissa oli kuntien omassa rakennuttamistoiminnassa sovellettu "KVR-urakka"-tyyppistä rakentamista, missä säästäminen tapahtui ehkä kunnan omien viranomaisten myötävaikutuksella siten, että rakennuskohteesta ei myöhemmin ollut löydettävissä rakennelaskelmia.

Selvityskohteissa esiintyi myös ns. alistettuja sivu-urakoita, missä maksuliikenne tapahtui suoraan hankkeeseen ryhtyvän tahon ja osatoimittajan välillä, jolloin aliurakoitsijalla tai tuoteosatoimittajalla on käytännössä kaksi esimiestä. Tehtävien valmistuminen ja niissä syntyvä laatu jää tällöin käytännössä rakennuttajan itsensä varaan.

Kuva 1 ei sellaisenaan esitä ainuttakaan selvityksessä olleista kohteista. Täysin vastaavaa toimintaympäristöä ei ole ollut yhdessäkään kohteessa, mutta kuvaan on pyritty keräämään tyypillisiä rakennusprosessin organisointiin liittyviä menettelytapoja, joita eri tavoin viritettynä esiintyi selvityskohteissa. Tuoteosatoimittajia saattoi olla useita, ne saattoivat olla jopa ketjutettuina, ja erilaisia alistuksia esiintyi myös runsaasti siten, että hankkeeseen ryhtyvän tahon eli rakennuttajan itsensä mahdollisuudet todeta kunkin toimituksen sisältö, laatu tai kelpoisuus, ovat olleet lähes olemattomat.



**Kuva 1.** Periaatekuva urakoiden ja suunnittelun osittamisesta eräissä selvityskohteissa.

Selvityksessä useimmissa kohteissa rakentajalla oli pääsuunnittelijana arkkitehti, joka ei kuitenkaan koskaan vastaa rakennesuunnittelusta. Joissakin kohteissa pääsuunnittelija-arkkitehti oli urakoitsijan palkkaama, mikä lisää rakennuttajan riskiä, koska pääsuunnittelija ei ole riippumaton. Rakennesuunnittelu oli monissa tapauksissa jakautunut vähintään kahteen eri paikkaan, ja rakennesuunnittelusta vastaavan suunnittelijan toiminta oli ollut puutteellista. Selvityksessä on todettu tapauksia, missä osasuunnitelmat yhdessä eivät muodostaneet nykyisessä Maankäyttö- ja rakennuslaissa mainittua toimivaa kokonaisuutta (tosin osa kohteista oli aloitettu ja rakennettu vanhan lain aikana).

Rakennesuunnittelijoiden yhteistyössä, ja suunnitelmien toteuttamisessa oli ollut ongelmia. Rakennesuunnitelmissa on ollut sellaisia puutteita, mistä johtuen valmistuksessa on työmaalla tehty virheitä tai tietoisesti ihan omia ratkaisuja. Feedback työmaalta takaisin suunnittelijalle ei näytä yleensä toimineen, koska erityissuunnitelmien koordinoinnista vastaavaa rakennesuunnittelijaa ei ollut nimetty.

Sekä teräs- että puurakenteissa on rakenne-elementtien sisäisissä liitoksissa ollut vaikeuksia suorittaa laadunvarmistusta. Teräsrakenteissa erityisesti pienahitsauksen, joka käsittää 70 - 80 % kaikista hitsausliitoksista, tekninen laatu ei ole tarkastettavissa luotettavasti ainetta rikkomatta, ja siksi vauriotapauksista suuri osa koskee hitsausliitoksia. Puurakenteissa on osin samanlaisia laaduntarkastusongelmia vaarnatappiliitoksissa. Jo pelkästään laadunvalvontateknisistä ongelmista johtuen kyseisten liitosten valmistaminen tulee olla erityisen huolen kohteena.

Muulla kuin talonrakennuksessa teräsrakenteissa käytetään voimaliitoksissa yleensä läpihitsausta, jonka laatu voidaan tarkastaa jollakin ainetta rikkomattomalla menetelmällä.

Teräsrakentamisessa tärkeitä voimaliitoksia tehdään työmaalla yleisesti pulttiliitoksilla. Kyseiset liitososat (pultit ja mutterit) ovat yleensä laadunvarmistuksen alaisia tuotteita. Pulttiliitoksien osana on kuitenkin erilaisia laippoja, korvakkeita ja kiinnikkeitä, joiden kautta siir-

tyy sama kuorma mikä kulkee pulttien kautta. Kyseiset "varusteluosat" kiinnitetään talonrakennuksessa yleensä konepajassakin pienahitsaamalla, mikä merkitsee käytännössä sitä, että kyseisten liitosten laadunvarmistus on hoidettu vain silmämääräisellä tarkastuksella. Siksi liitososien laatu voi keskenään poiketa huomattavastikin.

## 2.2 Puu- ja teräshallien sortumat aiemmin vuosina 1980 - 2005

Vuoden 2003 onnettomuustapausten tietojen täydentämiseksi laadittiin selvitys vuosina 1980 - 2005 tapahtuneista kaikista tunnetuista puu- ja teräshallien vaurioista ja sortumista. Tapahtumien listaus on tämän raportin liitteenä.

Laaditun vaurioita ja sortumia koskevan tapauskohtaisen listan yhteenvetona voidaan todeta seuraavassa taulukossa esiintyviä määriä erilaisia virheitä ja puutteita, jotka yleensä ovat yhdessä (tai joskus harvoin erikseen) johtaneet rakennusvaurioon ja sortumaan.

Taulukosta 6 on huomattavaa, että pelkkä ylikuorma selittää tapauksista vain 1 - 2 kappaletta. Niissäkin tapauksissa ylikuormitus on johtunut esimerkiksi siitä että teollisuuden prosessista aiheutuva jäte oli kertynyt väärään paikkaan ja aiheuttanut alun perin ennakoimattoman ylikuorman. Toisaalta, juuri tällaisten tilanteiden varalta teollisuuslaitoksilla on ylläpitohenkilöstöä, joten sellaisen tapahtuman syynä voidaan pitää myös ylläpidon puutteita.

Rakennuksen kantavat rakenteet ovat kuitenkin vain äärimmäisen harvoissa tapauksissa kuuluneet ylläpidon vastuualueeseen. Nykyisen Maankäyttö- ja rakennuslain mukaan suunnittelijan tulee eräiden kriteereiden täyttyessä laatia rakennukselle huolto- ja käyttöohje. Yksi kriteereistä on se jos kyseinen tila toimii jonkun työpaikkana. Huolto-ohjeeseen kuuluisi luonnostaan merkitä teollisuusprosessin aiheuttamasta mahdollisesta likaantumisesta johtuvat huoltotoimet.

**Taulukko 6.** Puu- ja teräsrakenteiden tunnettujen vauriotapausten syitä v. 1980 - 2005.

<b>Puurakenteet (44 kohdetta)</b>		<b>Teräsrakenteet (20 kohdetta)</b>	
Sivuttaistuennan puute	17	Hitsausvirhe	6
Asennusaikainen tuenta	3	Suunnitteluvirhe	14
Muu valmistus/asennusvirhe	7	Yks.kohtien mitoitusvirhe	5
Suunnitteluvirhe	10	Muu valmistusvirhe	3
Yks.kohtien mitoitusvirhe	5	Kuormituspuute	4
Liitosvirheet	11	Jatkuva sortuma	8
Ylikuorma	2	Muu virhe tai puute	4
Jatkuva sortuma	14		
Muu vaurioituminen	5		
Kuivumishalkeamat	4		
Lahovaurio	2		

Taulukosta voi havaita, että teräsrakenteissa korostuvat suunnittelu- ja hitsausvirheet, ja puurakenteissa ongelmia ovat tuottaneet suunnitteluasiat, mutta myös rakenteiden tuenta.



## 2.3 Tyypilliset turvallisuusriskit

### 2.3.1 Yhteenveto vuoden 2003 onnettomuus selvityksestä

Selvityksen kohteena olleiden vaurio- tai onnettomuustapauksien tarkastelun tulosten perusteella voidaan tunnistaa kaksi merkittävää kehittämistä vaativaa aihealuetta:

1) Rakennushankkeeseen ryhtyvän tahon kykyä ja menetelmiä valvoa hankkeen toteutusta ja toteutuksen laatua huolehtimisvastuutaan vastaavalla tavalla tulee parantaa. Erityisesti tarvitaan ohjeistusta, joka helpottaa:

- hankkeen alussa ja esisuunnittelussa osapuolten yhteistoiminnan varmistamista, kantavien rakennustuotteiden tuotekehityksen valmiusasteen toteamista, sekä
- koko rakentamisprosessin laadunvalvontaa lopputuotteen laadun varmistamiseksi, ja eri osapuolten omavalvonnan vastuiden määrittelyä sen mukaisesti.

2) Rakenteiden suunnitteluohjeisiin tarvitaan toimenpiteitä ja keinoja, joilla

- saatetaan suomalaiset eri materiaaleja koskevat suunnitteluohjeet jatkuvan sortuman osalta keskenään samalle tasolle ja yhteneviksi eurokoodien kanssa, ja
- voidaan tunnistaa suunnittelutekniset riskit ja avustaa suunnittelijaa käyttämään teknisesti riskittömiä uusiakin rakenneratkaisuja.

### 2.3.2 Aiemmissa vaurioselvityksissä havaittuja teknisiä riskitekijöitä

1980 - 90 -luvulla tehtyjen teräs- ja puurakenteiden jää- ja palloiluhallien yleisistä rakenteellisista riskitekijöistä ja kohdista voidaan mainita seuraavat:

- Hitsausliitosten suunnittelussa, muotoilussa ja valmistuksessa tehdään virheitä (esimerkiksi runsaasti alamittaisia hitsejä) ja käytetään riskialttiita ratkaisuja. Yksittäiset myötöjännitysten ylitykset saattavat olla kriittisiä koko rakenteen kestävyys suhteen,
- rakenneosien kokoonpanoa tai asennusta ei valvota riittävästi tai siihen liittyvät ohjeet eivät riitä, mitä osoittaa mm. se, että teräsrakenteiden kokoonpanossa käytettyjen ruuviliitosten muttereista suuri osa oli lukitsematta tai irti, ja liitososien välillä saattoi olla isoja rakoja,
- rakenteiden jäykistämässä tehdään huolimattomuusvirheitä. Lisäksi suomalaisissa suunnitteluohjeissa ei kiinnitetä riittävästi huomiota ns. jatkuvaan sortumaan ja sen estämiseen, tai rakenteiden ja yksityiskohtien sitkeyteen,
- kantavien puurakenteiden perustusliitoksien lahovauriot ovat yleisiä, koska rakenteelliseen lahontorjuntaan ei ole kiinnitetty suunnittelussa huomiota,
- useissa jäähalleissa ei ole järjestetty riittävästi ilmanvaihtoa / ilmankuivausjärjestelmää, mikä on aiheuttanut puuosien lahovaurioita ja teräsosien ruostumista.

### 3 RAKENNEVAURIOIDEN SYISTÄ

Rakenteita suunnitellaan rakennusosa- ja rakenneyksityiskohdittain siten, että kaikissa tuotteissa, osissa, rakenteissa ja yksityiskohdissa rakenteiden kestävyysarvon (merkitään kirjaimella R) tulee olla suurempi tai vähintään yhtä suuri kuin kyseiseen kohtaan vaikuttava suurin mahdollinen (ns. määräävä) kuormitusyhdistelmä tai rasitus, jota yleensä merkitään kirjaimella E. Saadaan alla oleva epäyhtälö, jonka tulee aina kaikissa tilanteissa olla voimassa:

$$R \geq E \quad (1)$$

Suunnittelijan tehtävään kuuluu rakenteen kussakin yksityiskohdassa ja leikkauksessa määrittää epäyhtälön (1) kumpikin puoli ja suorittaa kyseinen vertailu, ja korjata tilanne silloin kun epäyhtälö ei toteudu. Tällä tavoin tarkasteltavia kohtia saattaa per projekti olla satoja tai tuhansia, ja tehtävää vaikeuttaa se, että minkä tahansa kohdan vahvistaminen tai heikentäminen aiheuttaa rasitusten E uudelleenjakautumisen rakenneosien kesken, ja siksi suunnittelutehtävä on periaatteessa iteratiivinen prosessi.

Suunnitteluvirheet voivat syntyä joko yliarvioimalla rakenteen kestävyys R, tai aliarvioimalla kuormitus E!

Määräävät kuormat tai niiden määräävä yhdistelmä E, ja sen määrittäminen perustuvat Suomen rakentamismääräyskokoelman (Suomen RakMK) osan B1 /3/ määräyksiin. Ne velvoittavat suunnittelijaa käyttämään tiettyjä paikallisia kuormitusten perusarvoja ja hakemaan kunkin rakenteen mitoittamiseksi ns. määräävän kuormituksen. Alkuarvojen ja erityisesti kuormituskertoimien määrittämisessä hyödynnetään lisäksi RIL:n ohjetta RIL-144 /20/ tai eurokoodia EC1 /9/. Kuormitusten paikallisia arvoja ei yleensä määrätä viranomaisten toimesta, vaan ne valitsevat määräyskokoelman mukaisesti suunnittelija, tai hankkeeseen ryhtyvä taho itse. Tämä on jossakin määrin epäloogista sekä virhe- tai riskialtista, koska kussakin kunnassa on viranomainen (rakennustarkastaja), joka tuntee paikalliset olosuhteet kyseisen kunnan alueella. Suuremmissa kaupungeissa viranomainen saattaa tarkastaa käytetyt kuormitusten mitoitusarvot, tai sen miten niihin on päädytty.

Joissakin tapauksissa rakenteen osien tai yksityiskohtien määräävät kuormitukset on melko vaikeasti määritettävissä tai löydettävissä, koska ne saattavat tulla jokaiselle rakenteen osalle erilaisesta kuormien yhdistelmästä. Yhdistelyissä tehdäänkin paljon virheitä siten, että jätetään osa peruskuormista käsittelemättä, tai että kaikkia mahdollisia peruskuormien yhdistelmiä ei olekaan otettu huomioon, jolloin määräävää kuormitustapausta ei ole löydetty. Esimerkiksi, rakennusten päätyyn puhaltavan tuulen vaikutuksia ei ehkä ole otettu huomioon poikittaisten rakenteiden mitoituksessa.

Riskienhallinnan kannalta kuormia ja kuormitusyhdistelmiä koskevien lähtötietojen tarkastaminen ja niistä sopiminen olisi ensiarvoisen tärkeää. Määräävän mitoituskuormien hakemisessa on erityisen hyödyllistä varmistaa tilanne kokeneelta suunnittelijalta, tai pyytää neuvoja kunnan rakennustarkastajalta, joka tuntee paikalliset olosuhteet.

Rakennesuunnittelijan päätehtävänä on selvittää kohta kohdalta (kukin rakenneosa, sekä kaikki rakenteen yksityiskohdat ja osat) rakenteen kestävyysarvot R ja suorittaa niiden vertailu

ko. kohdan tai osan määräävään rasiinukseen E. Ohjeita kestävyyksien R laskemiseksi löytyy Suomen rakentamismääräyskokoelmasta suunnitteluohjeista /4, 7, 14, 19, 23, 25 ja 26/ tai Eurokoodeista /5, 8, 24/. Ohjeet eivät voi koskaan olla täydellisiä, koska jatkuvasti kehitetään uusia materiaaleja, puolivalmisteita ja tuotteita. Suunnittelijoiden tulee kussakin tapauksessa soveltaa parasta käytettävissä olevaa tietoa, ja arvioida rakenteiden kestävyys kaavalla, mistä voi olla varma, että se pysyy ns. "varmalla puolella".

Tarkempia (korkeampia) kestävyysarvoja voi soveltaa vain, jos lähes vastaavaa rakennetta tai yksityiskohtaa on testattu rakennekokeissa, ja testitulokset ovat lukumääränsä takia sovellettavissa (interpolointi, ja joskus harvoin on mahdollista extrapoloida) myös muihin vastaaviin tapauksiin.

Suurimpana ongelmana ja riskitekijänä kestävyyksien R arvioimisessa on se, että uusimpien rakenneratkaisujen ja rakennustuotteiden osalta suunnitteluohjeista ei löydy soveltuvia mitoitusohjeita. Erityisesti se koskee yksittäisiä rakennuskohteita, joiden rakenneratkaisut ovat ainutkertaisia tai missä esim. arkkitehtonisista tai muista syistä kokeillaan täysin uusia ratkaisuja.

### **Uudenlaisten kantavien rakenneosien käyttäminen on erittäin riskialtista!**

Ohjeen EN 1993-1-8:2005 (EC3: Design of joints /40/) kohdan 2.5 mukaan liitokset pitää suunnitella perustuen realistisiin oletuksiin kuormien jakautumisesta liitoksissa. Rasitustilojen määrittämisessä pitää käyttää laskentamallia, joka noudattaa koetulosten tulkintaa voimien jakautumisesta (kohta 2.5(1)).

Riskialttius koskee eri valmistajien tuotteiden yhdistelmiä. Rakennustuotteiden yhdistelmien toimivuuksia ei yleensä ole testattu kuin poikkeustapauksissa, eikä niistä siksi ole mitään ohjeita (erityisesti tämä puute koskee niiden rakennusfysikaalisia ominaisuuksia). Suunnittelijat joutuvat kehittämään ratkaisuja projektikohtaisesti! Varmennetut käyttöselosteet eivät aina kata tuotteen kaikkia mahdollisia käyttötapoja ja -tarkoituksia.

Suunnittelijalla on vain kaksi järkevää (varmaa) tapaa toimia:

- a) joko suorittaa rakennetestejä, ja käyttää niihin perustuvia mitoitusarvoja, tai
- b) vaihtaa tekninen ratkaisu toiseksi, mistä mahdollisesti tiedetään enemmän.

Monissa vauriotapauksissa on voitu todeta, että suunnittelijat ovat hakeneet uusia ratkaisuja ja soveltaneet niitä käytäntöön testaamatta. Ratkaisujen kaikkia ominaisuuksia tai vaurioitumistapoja ei ole tunnettu. On sovellettu puutteellisia tietoja ja koetettu "säätää väärin".

Suurin onnettomuusriski esiintyy tyypillisesti täysin tai osittain uusissa liitostekniikoissa. Vaurioitumistavat ja niiden herkkyys paljastuvat luotettavasti vain rakennekokeissa ja kokeiden suunnittelussa.

Käyttämällä vain testattuja liitostyyppisiä, muuttamatta mitään niiden rakenteellisissa yksityiskohdissa, voidaan välttyä ikäviltä yllätyksiltä.

Jos A- tai AA-kohteiden suunnitelmissa on käytetty jotain uusia rakenne- tai liitosratkaisuja, suunnitelmien tarkastajan pitää ehdottomasti selvittää löytyykö Suomesta tai muualta mitään vastaavia rakennekoetuloksia, joiden antamaa tietoa voi soveltaa rakenteiden kestävyksien ja vaurioitumismuotojen arvioinnissa.

Esimerkiksi, säästöä on haettu laskemalla eri materiaaleista ja puolivalmisteista koostettujen kokonaisuuksien (assembly) mitoituskestävyyksien arvoja rakenneanalyseillä (FEM). Rakennevaurioita on tullut mm. siksi, että rakenteen laskentamallin reunaehdot, lähtöolettamukset tai muut lähtötiedot ovat mahdollisesti olleet virheellisiä, tai rakenne on toiminut toisin. Ongelma on todellinen, koska rakenteiden analyysilaskelmia ei kenenkään tarvitse tarkastaa viran puolesta. Jää hankkeeseen ryhtyvän itsensä vastuulle valvoa, että projektissa käytetään terveitä suunnittelumenetelmiä, ja ratkaisuja, joiden testatut ominaisuudet tunnetaan hyvin, ja käyttäjät osaavat mallintaa rakenteet oikein.

Rakenteiden mitoitus pitää suorittaa vertaamalla (1) ulkopuolisia kuormituksia rakenteiden mahdollisimman absoluuttisesti oikeisiin kestävyysarvoihin. Tietokoneella voi analysoida rakenteita ja niiden liitoksia tavoitteena tuottaa tieto ko. kohdan rasituksista. Tietokoneella ei kuitenkaan voi yleensä tuottaa tietoa rakenteiden mitoituksessa sovellettavista kestävyyksistä R. Rakenneanalyseillä saa tietoa rakenteiden kestävyyksistä vain niissä tapauksissa, missä tarkasti tunnetaan tietokonemallin toimivuus ja vastaavuus koetuloksiin.

Tietokoneanalyysit kelpaavat, kun tavoitteena on vertailla eri ratkaisujen mahdollisia etuja ja haittoja. Väärää tai virheellistä tietokonemallia analysoimalla ei voi saavuttaa absoluuttisesti oikeita tuloksia, joiden perusteella voisi valita rakenteita tai rakennustuotteita, tai mitoitaa niitä luotettavasti. On myös tapauksia, missä oikein rakennettukin laskentamalli antaa vääriä tuloksia, esimerkiksi jos rakenteessa toisiinsa liittyy runsaasti jäykkyydeltään poikkeavia rakenteita, tai jos laskentamallissa tehdyt olettamukset eivät valmistustavan takia toteudukaan valmiissa rakenteessa (esim. nivelliitokset).

### 3.1 Suunnittelukuormat ja kuormitusohjeet

Pääasialliset teräs- ja puurakenteisiin halleihin vaikuttavat kuormitukset ovat: omapaino (ja oman painon aiheuttamat lisävaakavoimat), lumikuorma ja tuulikuorma. Rakenteisiin voi erikoistilanteissa kohdistua myös tungos-, isku- tai törmäyskuormia (esim. jääkone tai autot), mutta niiden mahdollisuus ja vaikutukset on kussakin tapauksessa arvioitava erikseen. Esimerkiksi jäähalleissa voi vähentää törmäysriskejä varustamalla jääkoneen normaalin kulureitin varrella sijaitsevat rakenteet suojatakaiteilla tms.

Rakenteiden kuormitusohjeessa RIL 144-2002 /20/ kuormat on luokiteltu niiden ominaisuuksien mukaan pysyviksi ja muuttuviksi. Kuorma voi olla muuttuva joko vaikutus-aikansa tai vaikutuspaikkansa perusteella. Kuormat jaetaan vaikutusaikansa perusteella pitkä- ja lyhytaikaisiin kuormiin. Mikäli kuorma ei selvästi ole pitkä- tai lyhytaikainen, se jaetaan pitkä- ja lyhytaikaisiin osiin.

Peruskuormien käsittelyssä ei ole itsestään selvää. Siinä onkin tehty paljon erilaisia virheitä, ja on tapahtunut unohduksia, joiden takia on tapahtunut vaurioita tai sortumia. Seuraavissa kohdissa on käsitelty eri peruskuormitusten sellaisia tapauksia, jotka usein jätetään ottamatta huomioon, tai missä on tyyppillisesti erehdytty. Tällaisia ovat mm.:

- rakenteiden omapaino, sen käsittely ja rakenteiden kestävyys rakentamisen eri vaiheissa, väliaikainen tukeminen, rakenteiden nostot,
- rakennukseen vaikuttavat lumikuormat ja niiden epästandardit piirteet ja jakautumat, joita kuormitusohjeet eivät ota huomioon tai käsittele,
- lisävaakavoimat, jotka aiheutuvat siitä, että rakenneosilla on joko epäkeskeisyyksiä tai alkukäyryyttä, joka tulee ottaa mitoituksessa huomioon,
- tuulikuorman vaikutukset rakennuksen eri suunnista, rakennusten jäykistäminen tuulen vaikutuksille, tulen dynaamiset vaikutukset,
- muut kuormitustapaukset ja mahdolliset onnettomuustilanteet, joita voi esiintyä hallirakennuksissa ja liikuntapaikkarakentamisessa,
- lisäksi käsitellään varsinaisten onnettomuuskuormien tai -tilanteiden huomioon ottamista rakenteiden suunnittelussa ja mitoituksessa sekä mahdollisia ennakoimattomia tilanteita ja tapahtumia ja niihin varautumista.

### 3.1.1 Rakenteen omapaino

Sekä omapaino että lumikuorma ovat gravitaatiokuormia. Ne aiheuttavat rakenteisiin pääasiassa pystysuuntaisia rasituksia. Esimerkiksi pilareihin niistä aiheutuu puristusta eli ns. aksiaalisiä kuormia. Kattopalkkeihin ja -rakenteisiin niistä aiheutuu taivutusrasitusta.

Rakenneosien omapaino oletetaan yleensä kiinteäksi kuormaksi. Poikkeuksen muodostaa todennäköisesti poistettavien tai siirrettävien rakenneosien paino, joka oletetaan liikkuvaksi kuormaksi. Omapaino voi sellaisenaan aiheuttaa sortumisvaaran rakenteiden asennusvaiheessa, mikäli aiemmin asennettuja rakenteita ei ole tuettu riittävästi. Esimerkiksi ilman saumaraudoituksia ja pintavaluja olevia ontelolaattoja ei pidä käyttää rakennustuotteiden varastointipaikkoina.

Omapaino on teräs- tai puurakenteilla vähäinen, ja se on harvoin määräävä kuormitus. Se on kuitenkin ainoa kuormitus rakenteiden kuljetus- ja asennustilanteissa. Kumpaankin tilanteeseen liittyvät kuormitustilanteet ja rakenteiden kestävyys, pitää suunnitteluohjeiden mukaisesti tarkastaa erillisenä kuormitustilanteena. Normaalilla murtorajatilan osavarmuuskertoimella kerrotusta omasta painosta aiheutuvan rasituksen tulee rakenteen joka kohdassa ja tilanteessa olla pienempi kuin sen vastaava kestävyys.

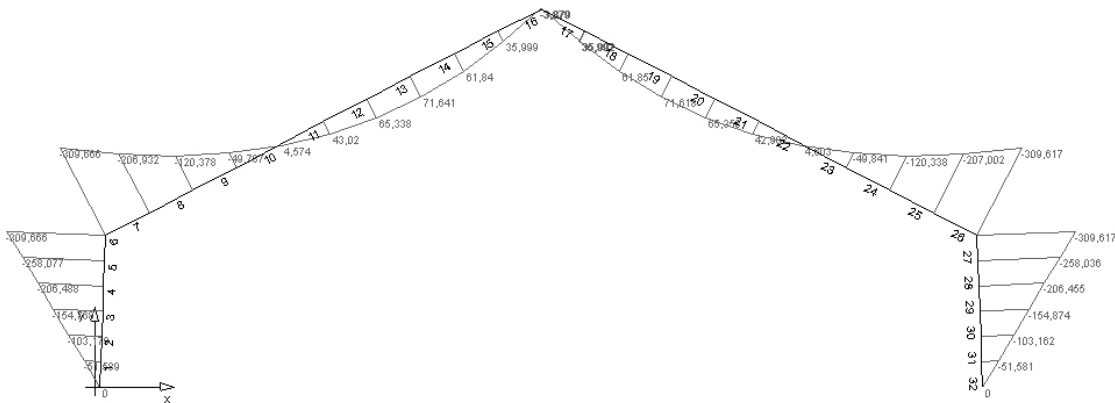
Murtorajatilakertoimia tulee käyttää, koska rakenteilla oleva talo on rakentajien työpaikka, ja siihen kohdistuu sen takia täysin samat kestävyysvaatimukset kuin valmiisiin rakenteisiin. Tämä koskee erityisesti rakennusaikaisia tuentoja, jotka tulee myös mitoittaa murto-rajatilaa vastaavilla osavarmuuskertoimilla kerrotuilla kuormilla.

Erityisesti teräs- ja puurakenteiden nostoihin liittyy runsaasti ongelmia siksi, että rakenteiden eri osien kestävyksiä ei ole välttämättä tarkastettu nostotilanteen rasituksille. Myös rakenneosien tuenta voi nostotilanteissa yms. olla vajavaista, koska suunnittelijat helposti keskittyvät käsittelemään vain valmiin rakenteen rasitustiloja. Tällaiset tarkastelut voivat puuttua myös siksi, että rakenteiden asennuksesta on mahdollisesti vastuussa joku muu taho

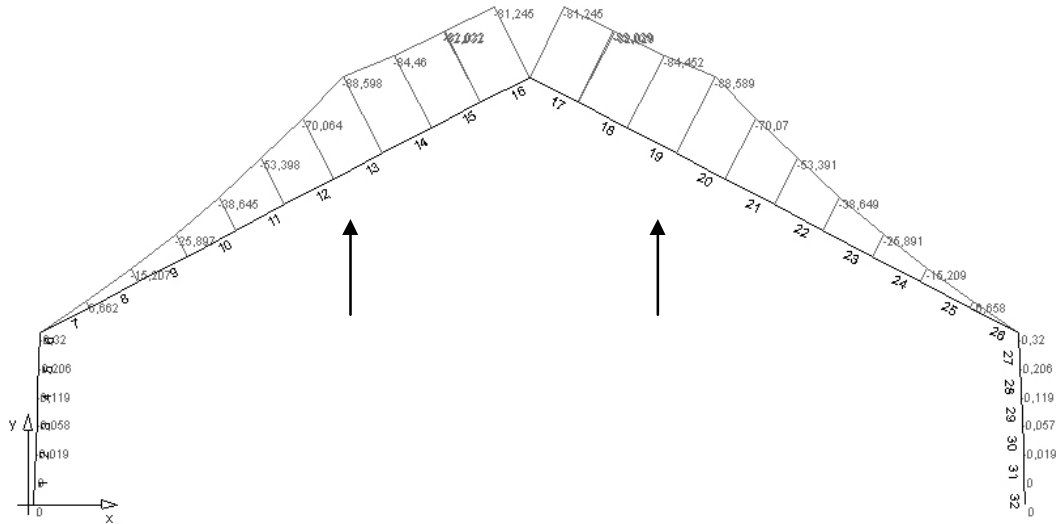
kuin niiden valmistaja, tai nostojen suunnittelu ei ehkä kuulunut rakenteiden suunnittelusopimukseen. Monissa tapauksissa on voitu havaita, että asennusten suunnittelu on rajoittunut pelkästään riittävän tehokkaan nostokaluston valintaan. Nostotilannetta vastaavat suurimmat rasitukset riippuvat oleellisesti siitä kuinka suuria kokonaisuuksia pyritään nostamaan, mistä kohdista ja miten niitä nostetaan, ja kuinka ne tuetaan noston aikana.

Teräsrakentamisessa on joissakin tapauksissa pyritty kokoamaan maassa kokonaisia kehiä ja nostamaan ne pystyyn ja paikoilleen ilman asianmukaisia suunnitelmia ja lujuuslaskelmia. Tällaisessa toiminnassa on suuri riski aiheuttaa rakenteisiin vakavia vaurioita siksi, että nostokohtia voi olla liian vähän, tai ettei ole selvitetty mistä kohdista rakenteita kannattaa nostaa, jotta noston aikaiset erityiset rasitukset minimoituisivat.

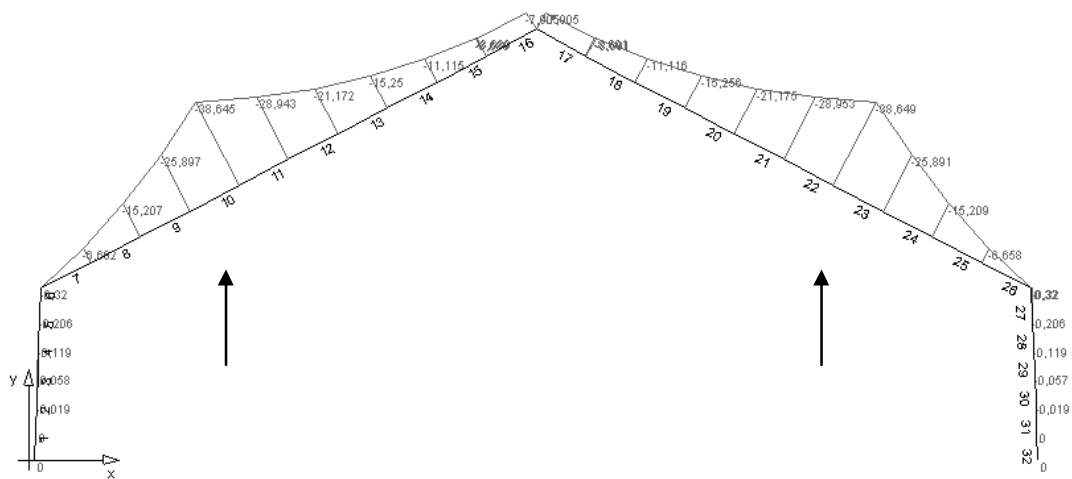
Esimerkiksi 2-nivelkehän kokoaminen maassa ja nostaminen läheltä harjaa, saattaa vaurioittaa harjaliitosta tai sen liitososia, joiden mitoitus on tehty sellaista normaalia tilannetta varten, että kehä on paikallaan ja siihen vaikuttaa omapaino ja luonnonkuormat (kts. kuvat 2a, 2b ja 2c). Kuvasta 2a voi havaita, että normaalissa kuormitusolanteessa harjaliitokseen vaikuttaa vain hyvin vähäisiä rasituksia. Rakenteen pitää kuitenkin kestää myös noston rasitukset (kuva 2b). Jos nostokohdat on valittu väärin (esim. kuvassa 2b noin 1/3-pisteistä) tai jos nosto tapahtuu huolimattomasti, saattavat väärät paikat rasittua. Huolellisella nostopisteiden valinnalla (2c) vältetään ikäviltä yllätyksiltä, ja pilarit saa asennettua peruspulteille paikoilleen ihmeemmin pakottamatta.



**Kuva 2a.** Normaalista staattisesta kuormituksesta. Omasta painosta ja lumikuormasta räystäälle tulee yhteensä noin -380 kNm taivutusmomenttia, ja harjalle vain noin -5 kNm.



**Kuva 2b.** Vääristä nostokohdista (tässä valittu n. 1/3-pisteet) voi pelkästä omasta painosta aiheutua harjaliitokseen jopa **yli 80 kNm** taivutusmomentti.



**Kuva 2c.** Kehän nostaminen suunnilleen sen puolikkaiden painopisteistä (tai hieman niiden sisäpuolelta) suoraan ylöspäin aiheuttaa harjalle pienemmän taivutusmomentin, tässä vain **-7,5 kNm**.

Usein kokonaisia kehiä nostettaessa ja asennettaessa kannattaa käyttää nostopuomia, jonka avulla voidaan käyttää vähintään kahta nostokohtaa ja nosto voi tapahtua suoraan ylöspäin. Jos nostokohdat valitaan kehan puolikkaiden painopisteiden kohdilta, myös kehan omat muodonmuutokset minimoituvat noston aikana, eikä tule stabiiliteettiongelmia nostokohtien välisellä osuudella. Kehä on tällöin helpompi saada paikoilleen perustuksille.

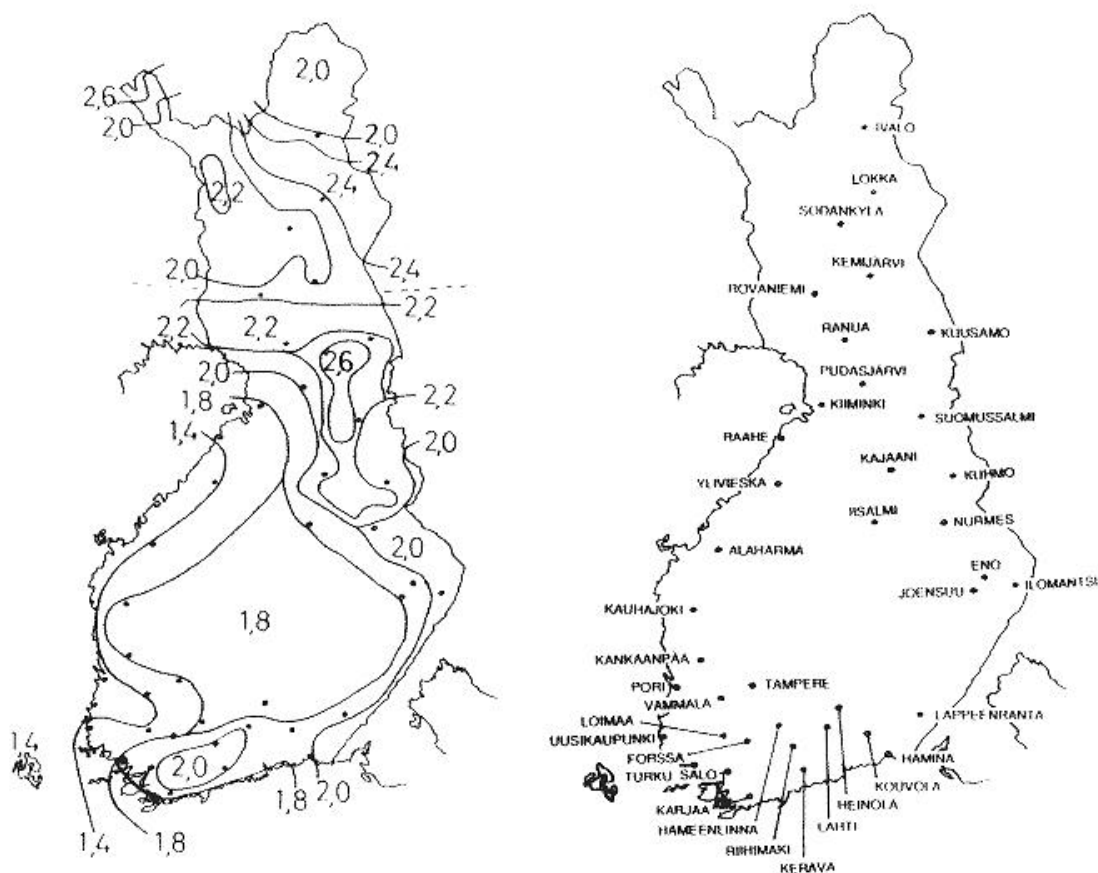
Monimutkaisemmissa esim. ristikkokehissä, missä profiilit ja niiden metripainot voivat vaihdella, kehan puolikkaan painopisteen laskeminen, ja nostokohtien valinta voivat olla kriittisiä koko rakenteen pystytyksen onnistumiselle.

### 3.1.2 Lumikuorma

Lumikuorman suuruus riippuu hallin rakennuspaikkakunnasta. Sen perusarvo valitaan kuormitusohjeessa RIL 144-2002 /20/ esitetyn kartan (kuva 3) sekä rakenteen muodon ja lumen kinostumisen ja katolla sijainnin perusteella.

Lumikuorman suuruus lasketaan katon muodon ja peruslumikuorman perusteella em. kuormitusohjeen mukaan. Mikäli paikallisten erityisolosuhteiden on todettu aiheuttavan ohjeen /20/ arvoja suurempia lumikuormia, on suunnittelussa käytettävä olosuhteisiin nähden riittäväksi katsottavaa peruslumikuorma-arvoa. Katolle valittavaa peruslumikuormaa ei saa pienentää sillä perusteella, että lumi oletetaan poistettavaksi katolta. Peruslumikuorman arvo saadaan kuormitusmääräyksestä /3/.

Katolla mahdollisesti olevat seinämät tai katveet suurentavat lumikuormaa. Kaarevalla katolla on täysin omat muotokertoimensa, joiden suuruus riippuu kaaren korkeuden ja hallin leveyden suhteesta. Kattolumen liukuesteet eivät yleensä lisää lumikuorman laskenta-arvoa niiden pienen korkeuden takia, ne vain estävät lunta valumasta alas. Jos katolla on seinämiä tai hallissa on matalampia siipirakennuksia, niiden katveisiin aiheutuu lisää lumikuormaa.



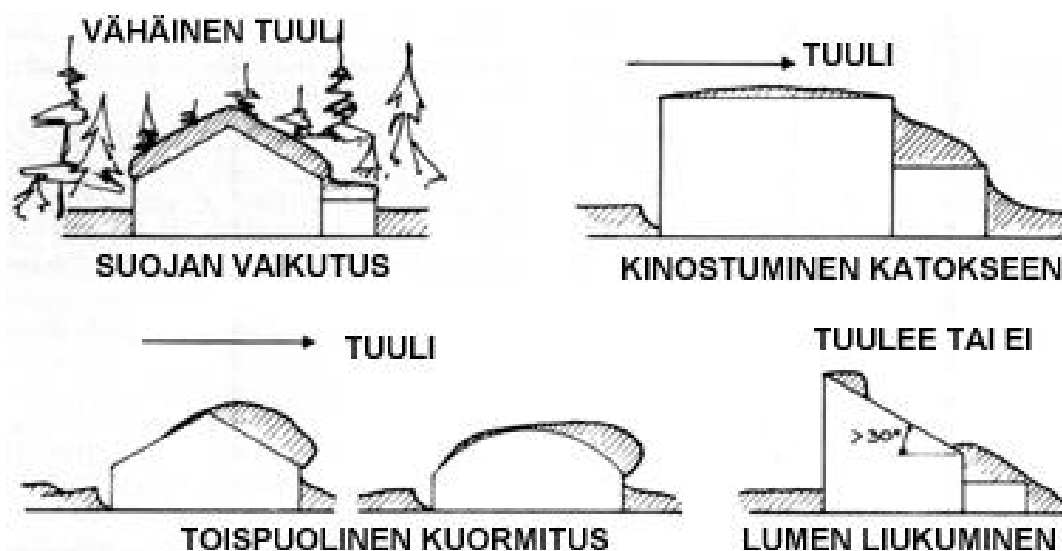
**Kuva 3.** Lumikuorman aiheuttamia rasituksia eri paikkakunnilla Suomessa /20/.

Ohjeen RIL 144 /20/ mukaan, mikäli kattorakenne on lämpöeristetty (esim. kangaskatot) ja katon pinta pysyy jatkuvasti lämpimänä, voidaan lumikuormaan tehdä vähennys kuitenkin



siten, että lumikuormaksi tulee vähintään  $0,4 \text{ kN/m}^2$ . Vähennystä ei voi kuitenkaan käyttää hyväksi, jos hallia ei lämmitetä.

Lumikuorman käsittelyssä tarvitaan erityisosaamista niissä tapauksissa, missä lumi pääsee liikkumaan joko liukumalla pintaa pitkin tai putoamalla alapuolisten rakenteiden päälle. Tällöin suunnittelijan on mahdollisesti otettava huomioon lumen dynaamiset vaikutukset rakenteisiin. Esimerkiksi liukuva lumi voi törmätä alempiin rakenteisiin, jolloin suunnittelijan tehtäväksi jää arvioida sen sysäyskerroin.



**Kuva 4.** Lumikuorman kinostuminen tuulikuorman vaikutuksesta.

Laajoilla suorilla, kaarevilla tai kaltevilla kattopinnoilla saattaa lumikuorman paksuus vaihdella huomattavasti verrattuna suunnitteluohjeisiin, missä ei suinkaan aina löydy muotokertoimia mille tahansa kattomuodolle. Jos Suomalaisista ohjeista tai Eurokoodeista ei löydy sopivia muotokertoimia kyseiselle tapaukselle, suunnittelijoiden kannattaa käyttää minkä tahansa muun maan kuormitusnormeja, jos sieltä löytyy sopivampia painekertoimien jakautumia (kuva 4). Tuulikuorman perusarvo valitaan kuitenkin määräyksestä tai projektissa sovitusta suunnitteluohjeesta.

Joissakin kaarihalli- ja harjakattotapauksissa on voitu havaita, että jos ei ole käytetty liukuesteitä, lumi voi poistua katolta liukumalla. Se saattaa tapahtua jopa kehävälittäin (vrt. kuvan 4 tapaukset) ja tällöin joissakin kehävälissä voi olla täysi lumikuorma muiden kehävälien ollessa lumettomia. Suunnittelijan tulee tunnistaa tällaiset kuormitustilanteet ja ottaa ne huomioon hakiessaan määräävää kuormitusyhdistelmää rakentamismääräyskokoelman osan B1 /3/ mukaisesti.

Mikäli kattorakenteessa on em. tilanteessa jatkuvia rakenteita hallin pituussuunnassa (esimerkiksi pituussuuntaisia orsiristikoita), ristikkopalkkien ja niiden liitosten kestävyys tulee tarkistaa omanpainon ja lumen erilaisille kuormitusyhdistelmille, eli mahdollisille ns. "shakkilauta-tapauksille". Jatkuviin palkkeihin voi tällöin tulla niiden alapaarteisiin myös puuristusta.

Lumikuorman kinostumista erikoisille kattomuodoille voidaan tutkia tuulitunnelikokeilla.

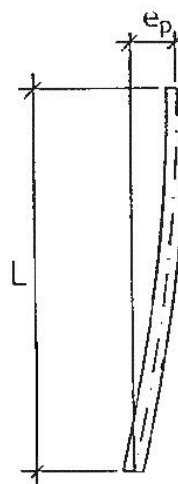
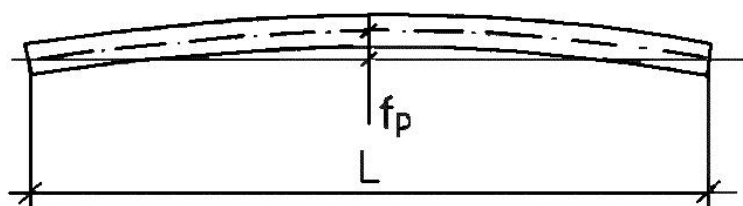
### 3.1.3 Lisävaakavoimat

Omasta painosta ja muista pystykuormista aiheutuu myös vaakakuormia. Kuormitusohjeen RIL 144 /20/ mukaan yleiset materiaalikohtaiset toleranssivaatimukset täyttävät rakenteet mitoitetaan erillisille rungon lisävaakavoimille, jotka johtuvat rungon pystyrakenteiden mahdollisesta vinoudesta tai kuormien oletettua epäedullisemmasta vaikutussuunnasta tai paikasta.

Lisävaakavoimien laskenta-arvot kerroksittain rakennuksen eri suunnissa lasketaan kuormitusohjeen mukaan. Rakennetta ei jäykistetä erikseen lisävaakavoimien suhteen, vaan ne otetaan huomioon jäykistettäessä rakennusta tuulikuormien suhteen. Vaakasunnassa rakenne tulee jäykistää siten, että sen suurin vaakasiirtymä harjalla on enintään  $H/150$ , missä  $H$  on rakennuksen korkeus.

- palkit:  $f_p < L / 1000$

- pilarit:  $e_p < L / 280$  ( $H / 280$ )



**Kuva 5.** Suunnitteluohjeessa B7 /7/ määritettyjä eri osien suurimpia valmistustoleransseja, joiden ollessa voimassa ei tarvita ko. suunnitteluohjetta tarkempia mitoituslaskelmia.

Lisävaakavoimia määritettäessä on oletettu, että rakennus kyetään pystyttämään suunnitteluohjeiden mukaisia valmistus- ja asennustoleransseja noudattaen. Teräsrakenteet pitää mitoitaa suunnitteluohjeita tarkemmilla menetelmillä sellaisissa tapauksissa, missä aksiaali-kuormia kantavien rakenneseosien alkukäyryys  $f_p$  verrattuna ideaalisen suoraan rakenteeseen on enemmän kuin  $L/1000$ , tai rakenteen poikkeama tuella on enemmän kuin 5 mm, tai pystyrakenteen vinous  $e_p$  yhden kerroksen matkalla on enemmän kuin  $H/280$  (kuva 5).

Asennuksesta aiheutuvien mahdollisten riskien minimoimiseksi asennettavien rakenteiden paikat yleensä mitataan ja havaittaessa edellä mainittuja suurempia poikkeamia, pitää olla yhteydessä alkuperäiseen rakennesuunnittelijaan, joka pystyy selvittämään poikkeaman vaikutukset muualla rakenteissa.

Teräsrakenteiden tulipalojen yhteydessä tulee joskus esille kysymys, voisiko vain vähän palossa vaurioituneita rakenteita edelleen käyttää. On todettu, että kylmävalssattujen rakenneseosien materiaaliominaisuudet muuttuvat nopeasti tulipalossa, mutta kuumavalssattujen ominaisuudet pysyvät pitkään samoina. Kuumavalssattuja teräksiä voidaan käyttää jatkossa, jos ne eivät ole käyristyneet liiaksi (kuva 5), ja jos ne voidaan uudestaan suojata korroosiolta kohtuuhinnalla. Liitoksissa tapahtuneet muodonmuutokset ovat riskialttiita.

### 3.1.4 Tuulikuormat

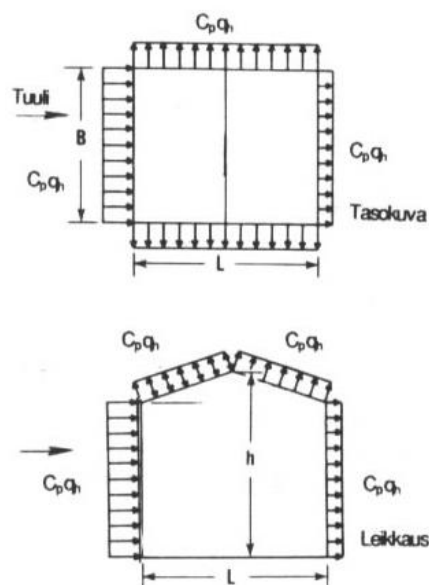
Ohjeen RIL 144-2002 /20/ mukaan tuulikuorma on lyhytaikainen, kiinteä kuorma, jonka nopeusarvot on määritelty havaintoasemilta kerättyjen tuulitilastojen avulla. Rakenteisiin kohdistuva tuulikuorma on tuulen nopeudesta lasketun tuulenpaineen ja rakennuksen muodosta sekä tuulen suunnasta riippuvan aerodynaamisen muotokertoimen (voima- tai painekertoimen) tulo. Tuulikuorma on kiinteä kuorma.

Mitoitettaessa rakenteita tuulikuormalle erotetaan mitoitus tapaukset: a, b ja c.

- Rakenne mitoitetaan staattiselle kokonaistuulikuormalle (ominaisarvo)
- Rakenteen osapinnat mitoitetaan paikalliselle staattiselle tuulikuormalle (omin.arvo)
- Rakenne mitoitetaan tuulikuorman dynaamisille vaikutuksille.

Suunnittelijan on kulloinkin erikseen harkittava mitkä em. mitoitus tapauksista tutkitaan. Yksinkertaisissa halleissa pitää muistaa, että hallin vaakakuormista kohdistuu jäykisteiden liitoksiin suunnaltaan muuttuva dynaaminen kuormitus, joka saattaa löystyttää ne.

Tapauksessa a) käytetään joko tuulitunnelikokeista eri seinille ja tahkoille saatuja pintapaineiden arvoja (kaikkia yhtä aikaa tuulen puhaltaessa jostakin suunnasta), tai kuormitusohjeessa RIL-144 /20/ löytyviä rakennuksen eri pinnoille vaikuttavia painekertoimia. Kokonaistuulikuorma muodostuu eri pintojen painekuormien resultanttina tuulen suuntaan.

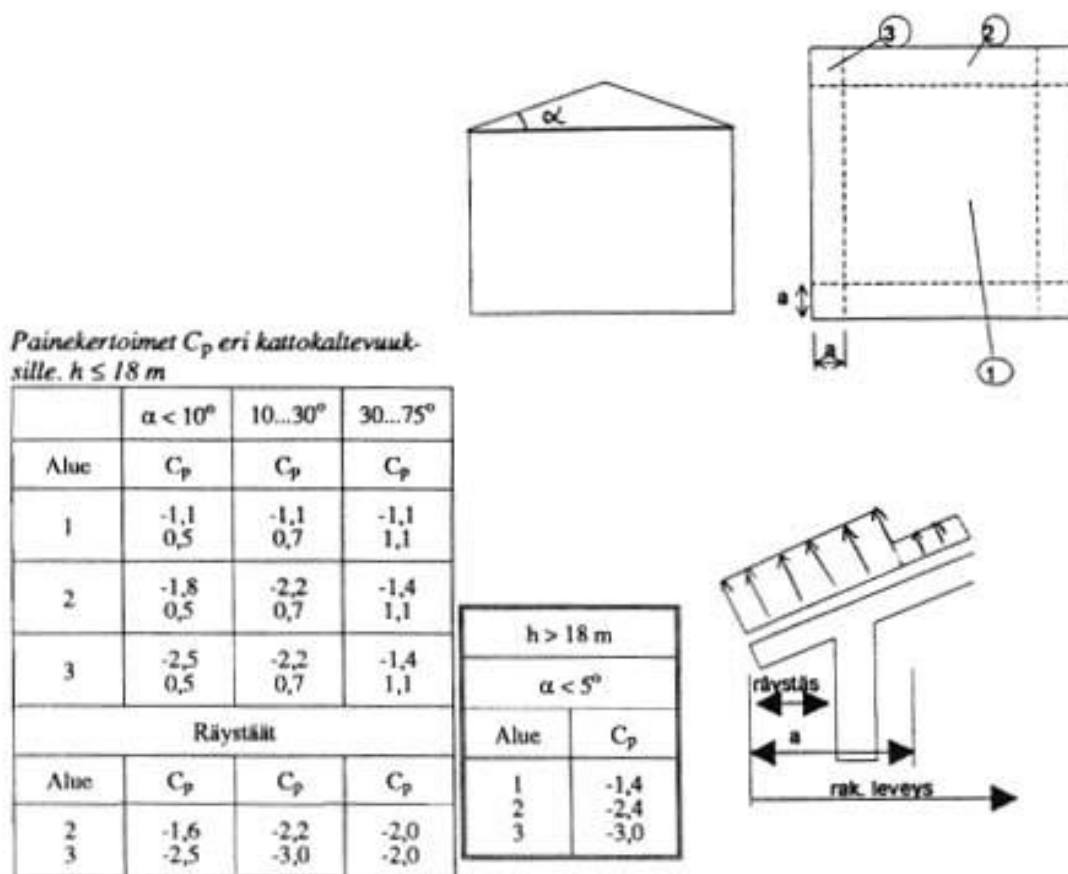


Seinän keskimääräiset ulkopuolisen paineen kertoimet  $C_p$ , nopeuspaineena  $q_h$  harjan korkeudella ( $q_z$  kun  $z = h$ ).

Alue	L/B	$C_p$
Tuulenpuoleinen seinä	Kaikki arvot	0,7
Suoja- puoleinen seinä	0 - 1	- 0,5
	2	- 0,3
Sivuseinät	$\geq 4$	- 0,2
	Kaikki arvot	- 0,7

**Kuva 6.** Rakennuksen kaatavasta tuulikuormasta a) aiheutuvat samanaikaiset pintapaineet.

Tapauksessa b) tutkitaan kutakin pintaa erikseen, ja sen suurimpia mahdollisia paineita tuulen puhaltaessa rakennusta kohti jostakin suunnasta. Kyseisiä arvoja käytetään mitoitettaessa sekä katteiden kiinnityksiä, että selvitetessä niiden tukien kestävyyskäsiä.



**Kuva 7.** Rakennuksen katon suurimpia pintapaineita paikallisten rakenneosien (pellit, orret tms.) mitoittamiseksi.

Rakenteita jäykistävien osien kunnossa pysyvyyteen tuulikuormalla on selvästi vaikutusta, koska tuuli on dynaaminen kuormitus. Jäykistävien rakenneosien pulttiliitokset löystyvät dynaamisten rasitusten takia. Ne pitää tarkastaa määräajoin, esim. 5 tai 10 vuoden välein tai rakennuksen huolto-ohjelman mukaisesti /17, 18/. Myös teräsrakenteisten kattoristikoiden alapaarteiden laippaliitokset (jatkokset) on syytä tarkistaa ajoittain, koska ne ovat kriittisellä polulla ajatellen koko kattoristikon ja katon kantavuutta.

Hallirakennusten pääkannattajakehien rakenneanalyysi ja mitoitus on yleensä toteutettu periaatteessa oikein ja asianmukaisesti. Virheitä ja puutteita löytyi vaurioselvityksissä lähinnä vain sellaisten kehien suunnittelusta, joihin voi vaikuttaa hallin päätyyn puhaltava tuulikuorma (kts. taulukko 7). Niitä ovat päätykehä ja ensimmäinen pääkannatinkehä päätyjen vieressä.

Hallien päätyihin tai räystäälle puhaltavan tuulen vaikutuksia rakenteisiin ei yleensä ole otettu riittävästi huomioon. Räystääalueille aiheutuu sekä katon pitkällä sivuilla että päädyissä suuria painekuormituksia (imukuormitusta). Niitä ei useinkaan oteta erityisesti huomioon mitoittamalla kiinnitykset ko. paikkaan sopivalla tavalla, vaan kiinnitystarvikkeiden määrät valitaan yleensä valmistajien ohjeisiin perustuen, vaikka saatetaan hyvin tietää, että ko. ohjeet on laadittu muiden kuin kyseistä tapausta vastaavien koetulosten perusteella.

Painekuormien jääminen ottamatta huomioon aiheuttaa katteiden kiinnityksiin alimitoitusta ja suuren riskin katon vaurioitumiselle vähäisissäkin myrskyissä. Suomessa tapahtuukin syys- ja talvimyrskyissä joka vuosi suuri määrä kattovaurioita ja vesivahinkoja.

**Taulukko 7.** Päätykuormien rakenteille aiheuttamat tarpeelliset tarkastelut, joista on vaurioselvityksissä havaittu, että useinkaan niitä ei ole rakennesuunnittelussa tehty.

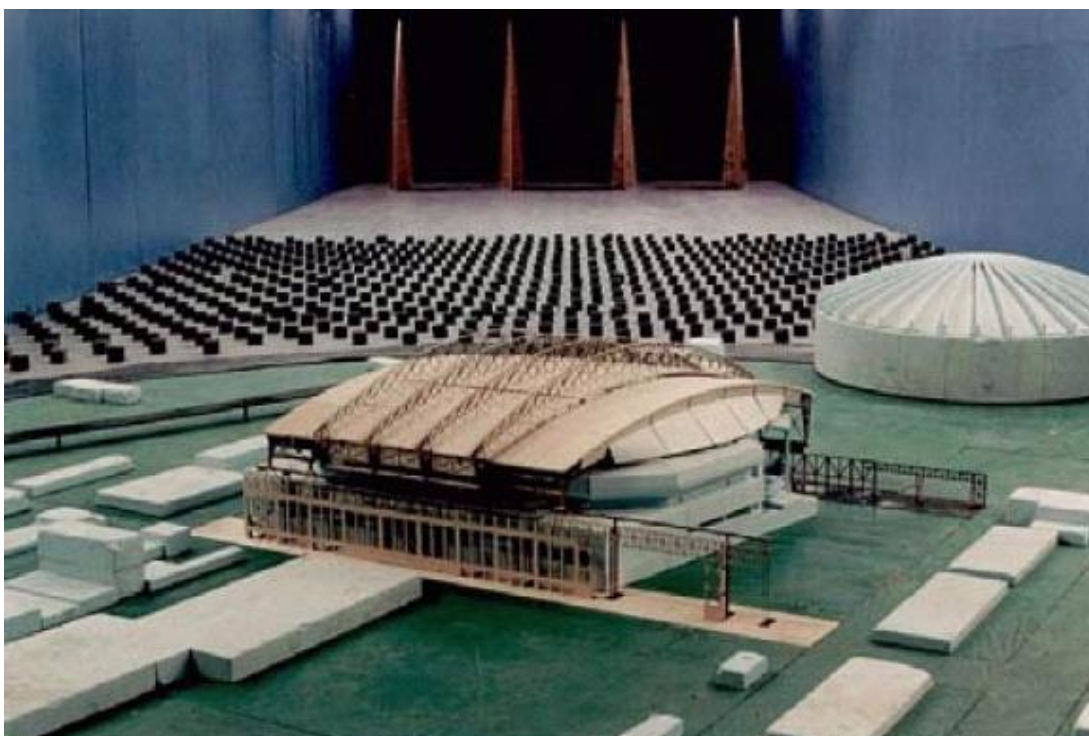
Nr.	Rakenne tai detalji	Tarkastelutapa
1	Päädyn kuorien kiinnitys	Kuorirakenteiden (ohutlevyt, kasetit, sandwich-elementit) tuenta (orsilla?) ja kiinnitykset pilariin
2	Päätypilari	Primääristi tarkistettava pilarinleikkausvoima- ja taivutusmomenttikestävyys
3	Pilarin kiinnitys Perustuksiin	Primääristi peruspulttien leikkausvoimakestävyys
4	Pilarin yläpään kiinnitys Kattoon	Leikkausvoimakestävyys, katon pystysuuntiset siirtymät ja niiden mahdollisuus tai vaihtoehtoisesti tarkastettava pilarin aksiaalivoimakestävyys.
5	Vaakaristikot 1. kehäväleissä	Ristikön vaakaristikoiden diagonaali/vertikaali- sauvojen vetovoima/puristuskestävyydet
6	Vaakaristikon paarsauvat	Ristiköiden paarteina toimivien sauvojen voimat yhdessä kyseisten pääkannattajakehien muiden kuormitusten kanssa, voi unohtua 2D-analyyseissä
7	Harjakatossa resultantti Alaspäin	Paarvoimien veto/puristusvoimien resultantti suuntautuu alas/ylöspäin, ja se voi unohtua 2D-analyyseissä
8	Pitkien sivujen Jäykistysristikot	Päätyvoimien siirtäminen perustuksille hallin seinillä tai muilla pituussuuntaisilla linjoilla. Ristiköiden optimaaliseen lukumäärään voi vaikuttaa hallin lämpöpitenemä!
9	Käyttörajatilatarkastelut	Päätyyn puhaltavan tuulikuorman aiheuttamat siirtymät hallin pituussuunnassa oltava suunnitteluohjeen rajoissa (enintään H/150 katon harjan, eli keskimmäisen pääty Pilarin yläpään kohdalla).
10	Hallin pituussuuntaisten rakenne-osien liitosten toleranssit	Hallin pituussuuntaisten rakenneosien liitokset tulee suunnitella sellaisilla toleransseilla, jotka varmistavat kuormien siirtymisen aiottujen rakenneosien kautta. Päätykuormat eivät esimerkiksi saa siirtyä perustuksille sekundäärirakenteina mitoitettavien kuorirakenteiden kautta.

Hallin päätyyn puhaltavasta tuulikuormasta vain 50 - 60 % kulkeutuu perustuksille pääty- ja kulmapilarien alapäiden kautta. Loppuosa kuormista vaikuttaa pilarien yläpäissä aiheuttaen hallin kattotasoon pituussuuntaisia rasituksia. Näiden tukivoimien jakautumisessa esim. useammille jäykistysristikoille, tai pääkannattajakehille, tai siirrossa perustuksille katon vaakaristikoiden ja hallin pitkien sivujen seinien jäykistysristikoiden avulla, on tehty runsaasti virheratkaisuja. Esimerkiksi, kyseisiä pituussuuntaisia kuormia ei yleensä ole otettu huomioon katon orsien puristusvoimana, eikä myöskään peltien puristuskuormana.

Kun on kyse erikoisemmista kattomuodoista, ei suomalaisista tai mistään muistakaan suunnitteluohjeista löydy sopivia muoto- tai painekertoimia tuulikuormien arvioimiseksi. Tällöin lähtötietojen saamiseksi on käytettävissä kaksi keinoa: CFD-analyytit tai tuulitunnelikokeet

/31/. Virtausmekaniikkaan perustuvat CFD-analyysit ovat vielä melko herkkiä lähtötietojen virheille ja epätarkkoja, ja siksi niistä on saatavissa parhaiten tietoa, jos esimerkiksi halutaan vertailla erilaisten arkkitehtonisten ratkaisujen vaikutuksia ympäristön viihtyvyyteen ja tuuliolosuhteisiin /31/. Saman voi tehdä myös tuulitunnelissa, mutta kokeet ovat melko kalliita. Kokeiden perusteella saadaan hieman tarkempia tietoja tuulen paineista rakennuksen eri pinnoilla.

Tuulitunnelikokeessa (kuva 8) saadaan tiedot kustakin suunnasta puhaltavan tuulen vaikutuksista kattopinnoille, ja sitä kautta selviää sekä kokonaistuulikuorman vaikutus rakenteisiin että kunkin pinnan suurimmat tuulenpaineet, joille tukirakenteet on mitoitettava. Eri tuulensuuntien vaikutusten selvittämiseksi tutkittava rakennus asetetaan käännettävälle alustalle.



**Kuva 8.** Laajarunkoisen katetun urheilutilan rakenteiden tuulitunnelikoejärjestelyt.

### 3.1.5 Muita kuormitustapauksia

Muita liikuntapaikkojen rakenteisiin mahdollisesti vaikuttavia kuormituksia tai tilanteita, joita kutakin on syytä harkita erikseen rakennetta tai sen osia mitoitettaessa, ovat:

- teräsrakenteilla lämpötilavaihtelujen aiheuttama kuormitus, liikuntasauvojen tarve,
- tukien siirtyminen (pehmeän maaperän tai tulvaveden ja valumien vaikutukset),
- rakenneosien kuljetus ja asennus (vastaanottotarkastus!),
- nostojen suunnitelmat ja lujuuslaskelmat (asennus joskus vaakatasossa maassa),
- onnettomuuskuormat (räjähdys, törmäys, tms. tapauskohtaisesti),
- palotilanteen kuormat (erityisesti, jos hallia käytetään myös yleisötilaisuuksiin).

Osa edellä mainituista kuormitustapauksista on selkeästi onnettomuuskuormia. Tunnettuja onnettomuuskuormia ovat mm. seuraavat: Pyörremyrskyt ja trombit, tulipalot, maanjäristykset, maanvyörymät, räjähdykset, tulvat, törmäykset, hyökyaallot ja tsunamit, eroosio ja mm. erilaiset ihmiset aiheuttamat terrori- ja muut teot, joilla vaikutetaan rakennettuun ympäristöön. Suomessa ei tarvitse ottaa huomioon pyörremyrskyjä eikä seismisiä kuormia tai niiden aiheuttamia tsunameita eikä myöskään tulivuorten purkauksia. Sen sijaan maanvyörymiä on tapahtunut paikallisesti myös Suomessa, kuten myös trombeja ja pienempiä tuulen aiheuttamia pölypyörteitä. Pahimmat trombit ovat kaataneet runsaasti metsää jopa kymmenien kilometrien pituisella uralla, jonka leveys voi olla satoja metrejä.

Edellä mainituista muista kuormituksista jää tyypillisesti vähimmälle huomiolle lämpötilavaihteluiden aiheuttamat vaikutukset. Esimerkiksi, jos hallin pituus on  $L = 100$  m, rakenteiden liitosten välykset saattavat hoitaa lämpöpiteneisestä aiheutuvat ongelmat. Mikäli liitosten mahdollisia välyksiä tai toleransseja ei oteta huomioon, voidaan hallin lämpöpitenevä  $\Delta L$  laskea. Esimerkiksi, jos lämpötilaero asennustilanteeseen nähden on  $\Delta T = 20$  °C (teräksen lämpöpiteneiskerroin on  $\alpha = 12 \cdot 10^{-6} / \text{K}$ ), saadaan lämpöpiteneväksi:

$$\varepsilon_T = \Delta L / L = \alpha \cdot \Delta T \quad \Rightarrow \quad \Delta L = L \cdot \alpha \cdot \Delta T = 100 \cdot 10^3 \cdot 12 \cdot 10^{-6} \cdot 20 = 24 \text{ mm.}$$

Lämpötilaerosta aiheutuvalla venymällä voi olla vaikutuksia esimerkiksi päätypilarien kuormitettavuuteen, jos ne on kiinnitetty jäykästi perustuksiin, ja jos oletetaan, että koko lämpöpitenevä (24 mm) kertyy hallin toiseen päähän.

Pilarin suurin sivusiirtymä saa käyttörajatilassa olla enintään  $H / 150 = d$ . Eri korkuisille (H) halleille voidaan tällöin laskea kuinka paljon niillä on jäljellä kapasiteettia, jota voi kuormittaa tuulella (imukuorma):

$$\text{Jos } H = 5\text{m, } d = 33,3 \text{ mm} \quad \Rightarrow \quad \text{jäljellä on kuormitettavuutta } (33,3-24)/33,3 = 28 \%,$$

$$\text{Jos } H = 10\text{m, } d = 66,6 \text{ mm} \quad \Rightarrow \quad \text{jäljellä on kuormitettavuutta } (66,6-24)/66,6 = 64 \%.$$

Pulttiliitosten toleranssit tai liikuntasaumot helpottavat tilannetta. Eo. esimerkki kertoo myös miksi päätypilareita ei kannata kiinnittää perustuksiin jäykästi. Toisaalta, välykset hallien pituussuuntaisten rakenneosien liitoksesta voivat aiheuttaa sen, että päätykuormat siirtyvät pituussuuntaisten jäykisteiden sijasta perustuksille ohutlevyjen kautta. Tuulikuorman dynaamisen luonteen takia ohutlevyjen kiinnitykset saattavat löystyä, ja ainakaan niiden alun perin arvioitu käyttöikätaavoite /10, 11, 15/ ei ehkä täyty!

Teollisuus- ja liikuntahallien tulipalo-onnettomuuden kuormia ja palonkehitystä on tutkittu /6/, ja hallien suuren ilmatilavuuden ja vähäisten palokuormien takia niiden palonkestävyyttä arvioitaessa tulee ensisijaiseksi toimintatavaksi arvioida erilaisia onnettomuustilanteita ja varautua erilaisin keinoin niiden varalta. Itse rakenteiden hoikkuuden takia niiden palonkestävyys on hyvin vähäinen, mutta on myös kyseenalaista voiko suuressa hallissa tapahtua ns. yleissyttyminen. Kokemuseräisesti on voitu todeta, että tulipalot ovat yleensä olleet paikallisia paloja, joiden varalta riittää suojata tai sprinklata rakenteet johonkin korkeuteen asti ja huolehtia erityisesti poistumisteiden käytettävyydestä.

Kaikkia tunnettuja onnettomuuskuormituksia on mahdollista tutkia riskienhallinnan menetelmin, ja koettaa siten varautua niihin ennalta kunkin kohteen lähtökohdista (kts. 3.2...).

### 3.2 Onnettomuuksien huomioon ottaminen

Eurokoodiehdotuksessa prEN 1991-1-7:2004 /5/ on käsitelty onnettomuuskuormituksia ja ennalta-arvaamattomia onnettomuustapauksia ja rakennesuunnittelua sellaisten varalta. Ohjeessa on esitetty talonrakennuskohteiden luokittelusysteemi (taulukko 8) perustuen rakennuksen vaurioitumisesta tai sortumisesta aiheutuviin mahdollisiin seuraamuksiin. Sen mukaan tiettyyn seuraamusluokkaan sijoittuvat rakenteet ja rakennukset pitää suunnitella toiminnallisten periaatteiden mukaisesti siten, että suunnittelun lähtöarvot perustuvat riskienhallintaan, ja suunnittelulla pyritään rajoittamaan riskejä. Siksi tiettyjen, esimerkiksi suuria määriä ihmisiä sisältävien rakennuskohteiden suunnittelu- ja rakentamisprosessiin pitää kuulua kohdekohtainen riskianalyysi.

Taulukkoa 8 vastaava ohje siitä, milloin tulee suorittaa kohdekohtainen riskianalyysi, on valmisteilla myös Suomessa (RIL).

**Taulukko 8.** Seuraamusluokkien kuvaukset tyypeittäin tai niiden haltijoiden perusteella.

Luokka	Rakennuksen tyyppi tai sen haltijat 1)
1	Alle 4-kerroksiset talot, joissa sisällä yksittäisiä asukkaita tai henkilöitä. Maatalousrakennukset. Rakennukset, joihin ihmiset menevät harvoin, edellyttäen, ettei rakennuksen mikään osa ole lähempänä toista rakennusta tai aluetta, minne ihmiset oleskelevat, kuin etäisyydellä 1,5 kertaa rakennuksen korkeus.
2 Alempi riskiryhmä	5-kerroksiset yksittäisten asukkaiden tai käyttäjien rakennukset. 2) Hotellit, jotka eivät ole korkeampia kuin 4 kerrosta. Asunnot, huoneistot ja muunlaiset asuinrakennukset ja konttorirakennukset, joissa on enintään 4 kerrosta. Teollisuusrakennukset, joissa on enintään 3 kerrosta. Vähittäismyymälät, joissa on enintään 3 kerrosta, ja enintään 1000 m <sup>2</sup> kerrosala. Yksikerroksiset koulu- tms. rakennukset.
2 Ylempi riskiryhmä	Hotellit, asunnot, huoneistot ja muut asuinrakennukset joissa on enemmän kuin 4 kerrosta, ja enintään 15 kerrosta. Koulurakennukset, joissa on enemmän kuin yksi, mutta enintään 15 kerrosta. Vähittäismyymälätilat, joissa >3 ja enintään 15 kerrosta. Sairaalat, joissa enintään 3 kerrosta. Konttorirakennukset, joissa > 4 mutta enintään 15 kerrosta. Kaikki sellaiset rakennukset, joihin yleisöllä on sisäänpääsy suurina joukkoina ja missä lattia-pinta-ala on enintään 1000 m <sup>2</sup> kussakin kerroksessa. Ei-automaattiset parkkitalot, joissa on enintään 6 kerrosta, tai automaattiset parkkitalot, joissa on enintään 15 kerrosta. Huvittelukeskukset, joiden pinta-ala on enintään 2000 m <sup>2</sup> .
3	Kaikki ne rakennukset, jotka pitää luokitella eo. seuraamusluokkien 2, Alempi tai Ylempi riskiryhmä yläpuolelle, jotka ylittävät niiden suurimmat pinta-alat tai kerrosten lukumäärät. Kaikki ne rakennukset, joihin yleisöllä on pääsy suurina joukkoina. Koulut ja luentotilat, joihin mahtuu enemmän kuin 5000 kuuntelijaa.

**Huom 1.** Rakennuksille, joilla on määrä tulevaisuudessa olla enemmän kuin vain yksi käyttötarkoitus, pitää "Seuraamusluokitus" valita suunnittelussa rankimman käytettävän perusteella.

**Huom 2.** Määriteltäessä kerrosten lukumääriä, pohjakerrokset voidaan jättää huomioon ottamatta edellyttäen, että pohjakerrokset täyttävät "Seuraamusluokka 2, ylempi riskitaso" vaatimukset.



### 3.2.1 Toiminnallinen suunnittelu (Performance based design)

Toiminnallisuuden käsitteellä (performance) korostetaan rakennuksen käyttäjien yhtä tai useampaa vaatimusta liittyen tilojen käyttöön ja sen teknisiin ratkaisuihin. Eri vaatimukset yhdistetään ja muunnetaan rakenneratkaisuiksi siten, että ne tukevat rakennuksen pääkäyttötarkoitusta mahdollisimman tehokkaasti.

Toiminnallisuuden käsite antaa rakennuksen loppukäyttäjälle mahdollisuuden määritellä mitä toimivuutta hän erilaisissa tilanteissa (myös onnettomuustilanteet) odottaa rakennukselta tai rakenteilta liittyen hänen omaan toimintaansa rakennuksen käyttäjänä. Vaihtoehtoina voivat onnettomuustilanteessa olla esimerkiksi, että a) rakenne ei saa vaurioitua, tai b) rakenteen jokin vaihdettava osa saa vaurioitua, mutta prosessi ei saa keskeytyä, tai c) prosessi saa keskeytyä joksikin aikaa, mutta rakennus ei saa sortua vaan se korjataan.

Vaatimusten käsittelyssä käytetään mielellään rakennuttajan omia termejä. Rakennusalan ammattilaisten (kiinteistön johto, suunnittelijat, urakoitsijat) tehtävä on sitten muuntaa toiminnalliset ja muut vaatimukset ominaisuuksiksi ja niiden kautta myös teknisiksi ratkaisuiksi. Vaihtoehtoista ratkaisutavoista paras on kustannuksiltaan pienin, joka myös toimittaa kyseiset vaatimukset.

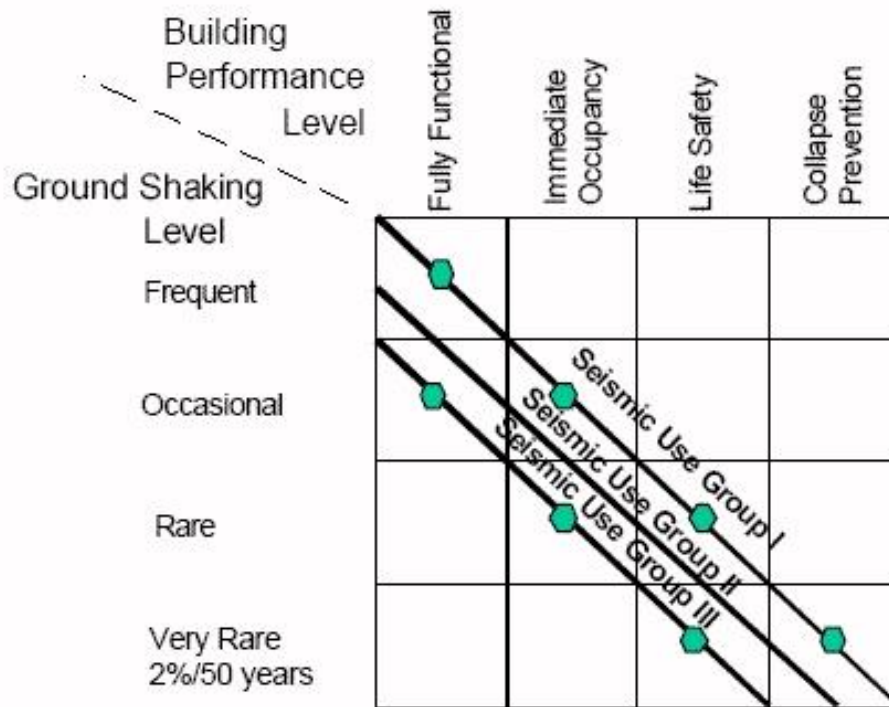
Suunnittelutavoitteena on siis rakennus, joka toimittaa tuotantovälineenä sen käytön aikana siltä vaaditut palvelut taloudellisimmalla tavalla. Tämän pitää olla asianomaisten rakentajatahojen lähtökohtana koko rakentamisprosessin ajan. Minkä tahansa valinnan, joka tehdään rakennusvaiheessa, tärkein kriteeri pitää olla sen vaikutus toimintaan ja palveluihin, joita tarvitaan rakennukseen sijoittuvassa tuotantoprosessissa tai toiminnassa. Tämä koskee yhtä hyvin sitä, että tiloihin sijoittuu esimerkiksi jokin ehdotonta puhtautta tai hygieenisyyttä vaativa valmistusprosessi, kuin sitä, että jotakin tarvetta varten tarvitaan kuiva, katettu tila, jonka ainoa vaatimus on normaalia parempi ääni- tai lämpöeristys tms.

Menetelmiä ja työkaluja toiminnalliseen suunnitteluun on kehitetty jo pitkään, vaikka päämääränä onkin ollut vain muutama rakentamisprosessin osa-alue, kuten vaatimusten määrittelyt ja teknisten ratkaisujen konkretisointi. Muutamissa maissa toiminnallista suunnittelua on käytetty rakentamismääräysten perusteena. Sen on toisaalta katsottu korostavan käyttäjän vaatimuksia, ja toisaalta se ehkä samanaikaisesti antaa suunnitteluryhmille enemmän vapausasteita.

Toiminnallisuus voi tarkoittaa suurta joukkoa ominaisuuksia ja vaatimuksia, tai sitten se voi tarkoittaa muulla tavalla tavanomaista rakennusta, jolta kuitenkin vaaditaan jotain erityistä ominaisuutta. Lujuuden ja kestävyuden suhteen tällainen tilanne esiintyy usein rakennuskohdeissa, joissa rakenteet mitoittaa primääristi jokin onnettomuuskuormitus, kuten maanjäristys, tms. Yleensä kuitenkin kestävyys on perusvaatimus, eikä riippuvainen rakennuksessa tapahtuvasta toiminnasta.

Suunnittelussa maanjäristysalueille ollaan yhä enenevässä määrin siirtymässä toiminnalliseen suunnitteluun, koska normaaleihin kuormitustilanteisiin liittyvä deterministinen mitoitus tapa on osoittautunut huonoksi, eikä se oikeastaan vastaa todellisuutta, koska rakenne saattaa vaurioitua jo pienessäkin maanjäristyksessä, jos pienen järistyksen aikaan saava maaperän liike tapahtuu epäedullisessa paikassa. Esimerkiksi, maapallolla tunnetaan paikkoja ja on rakennuksia, jotka on rakennettu ns. siirroslinjojen päälle. Kyseisissä kohdissa mahdollinen maaperän liike lähes varmasti vaurioittaa kyseistä rakennusta.

Seismisten kuormien suuruutta tai esiintymistiheyttä on lähes mahdotonta ennustaa, minkä takia suunnittelussa sovelletaan riskianalyysiin ja hyväksyttävän riskitason ja seurausten määrittämiseen perustuvia kuormituskertoimia. Esimerkiksi USA:n sovelletaan FEMA 303 -toimintamatriisia, joka määrittää minimitason sille toimivuudelle, jonka pitää toteutua kunkin luokitellun maanjäristyksen sattuessa (kuva 9).



**Kuva 9.** Toiminnallisten vaatimusten luokitus maanjäristysonnettomuuksissa USA:ssa ohjeen FEMA 303 mukaisesti.

Ohje sisältää suositukset erilaisille mahdollisille onnettomuustapauksille ja luokituksen minimaalista vähimmäistoimivuutta tai vaurioitumisen enimmäismäärää vastaa mikäkin kuormituskerroin, jolle rakennus voidaan suunnitella. Vaikka maanjäristyksen suuruutta (magnitudi) voidaan täten käyttää suunnittelukriteerinä, menettelyyn liittyy kuitenkin se epävarmuustekijä, että maanjäristyksestä aiheutuva rasitus riippuu myös rakennuksen etäisyydestä maanjäristyksen keskuksesta. Tätä etäisyyttä, tai siis maanjäristyksen paikkaa, ei kuitenkaan pystytä luotettavasti ennustamaan. FEMA 303 ohje otettiin ao. kuvan muodossa mukaan ohjeeseen *1997 NEHRP Recommended Provisions, FEMA-303*.

Kuvassa 9 mainittuun rakennuskohteiden luokkaan Seismic Use Group III sisältyy erilaisia hätätilaorganisaatioita ja laitoksia, kuten sairaaloita, paloasemia ja viestintäkeskuksia. Luokkaan Seismic User Group II kuuluvat rakennuskohteet, missä saattaa olla sisällä paljon ihmisiä, kuten kerrostalot ja kokoontumistilat, ja Seismic User Group I sisältää tavalliset asuinrakennukset ja vastaavat.

Taloudellisia hyötyjä saattaa toiminnallisuus-konseptin soveltamisessa löytyä mistä tahansa rakennusvaiheesta, ja on oletettu, että sen soveltaminen parantaa kommunikaatiota rakentamisprosessissa. Kun rakentamisen lopputuloksen toiminnalliset tavoitteet on selkeästi esi-

tetty jo alussa, on helpompaa arvioida eri toimijoiden tulosta näiden lopputulosten saavuttamisen suhteen.

Kaikkia toimittajia arvioidaan siitä miten hyvin heidän toimittamansa osuudet osallistuvat vaadittujen toiminnallisuuksien toimittamiseen. Tämä vaatii, että syntyy yhteinen kieli, joka vähentää huonosta kommunikaatiosta johtuvien virheiden lukumäärää. Se vähentää myös toistuvaa korjaustyötä ja rakennusvirheiden lukumäärää.

Se seikka, että lopulta vain toiminnallisuus merkitsee jotain, eikä se kuinka toiminnallisuus on saatu aikaan, voi parantaa tai kehittää uusia tehokkaita ratkaisuja. Mukana olevien osapuolien taitoja ja tietoja käytetään tehokkaasti. Innovaatiokapasiteetin suurin käyttö pienentää lopulta rakennuksen käyttökustannuksia. Voidaan myös odottaa, että toiminnallisesti suunniteltu rakennus johtaa avoimempaan kansainväliseen kauppaan siksi, että tuotteita voidaan välittää perustuen niiden toiminnallisuuteen sen sijaan, että kauppa perustuisi niiden rakenteeseen tai muotoon, tai pelkkään kestävytyteen.

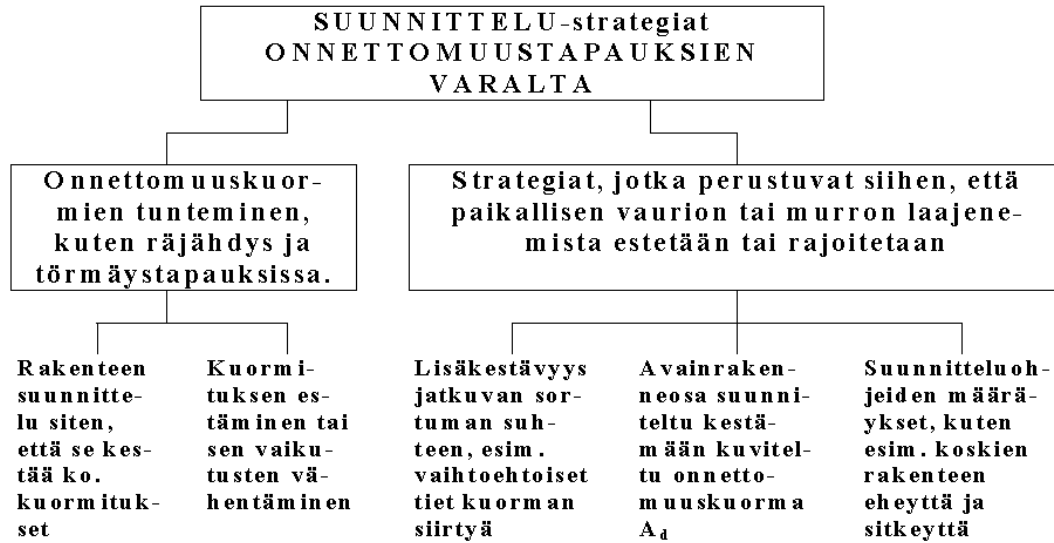
### **3.2.2 Ennakoimattomien tapahtumien mahdollisuus**

Tunnettujen onnettomuuskuormitusten ja -tilanteiden lisäksi rakenteet tai rakennukset voivat vaurioitua myös muista syistä, joita en vaikea tai mahdotonta ennakoida. Tällaisia onnettomuuksia tai tapahtumia aiheutuu lähinnä erilaisista laatuutteista tai virheistä, kuten esimerkiksi materiaali- ja väärät materiaalit, suunnittelu-, valmistus- ja asennusvirheet tai puutteet työohjeissa tms.

Uusi EUROCODE, draft PrEN 1991-1-7:2004, Eurocode 1 - Actions on structures, Part 1-7: General Actions - Accidental actions /5/, on tuomassa muutoksia rakennesuunnitteluun koskien sekä tunnettuja onnettomuuskuormia että muita ennakoimattomia tapahtumia.

Em. ohje koskee erityisesti vaativien rakenteiden suunnittelua. Siinä kohteet luokitellaan mahdollisen onnettomuuden seuraamusten mukaan (taulukko 8). Korkeimman seuraamusluokan nr. 3 rakenteille vaaditaan tehtäväksi riskianalyysi. Ohje esittää myös sovellettavat menetelmät rakennusvaurioiden torjumiseksi, jatkuvan sortuman estämiseksi ja onnettomuuden seurausten vähentämiseksi.

Eurokoodiehdotuksessa prEN 1991-1-7:2004 /5/ on käsitelty ennakoimattomia tapahtumia. Ne ovat yleensä ennakoimattomia onnettomuuksia, joiden syyt eroavat tunnetuista onnettomuuskuormista siten, että tapahtuman aikana ei vaikutta mitään tuntematonta kuormaa tai ylikuormaa, tai tekijää, jota EI olisi otettu huomioon rakennesuunnittelussa. Onnettomuus tapahtuu, vaikka kaikki tunnetut rasitukset onkin otettu huomioon, koska herkkyys onnettomuudelle sisältyy rakenteisiin. Tällaisissa tapauksissa jokin mitoituskuormaa vähäisempi kuormitustilanne riittää helposti aiheuttamaan vaurion.



**Kuva 10.** Strategiat tunnettujen tai ennakoimattomien onnettomuustapauksien varalta.

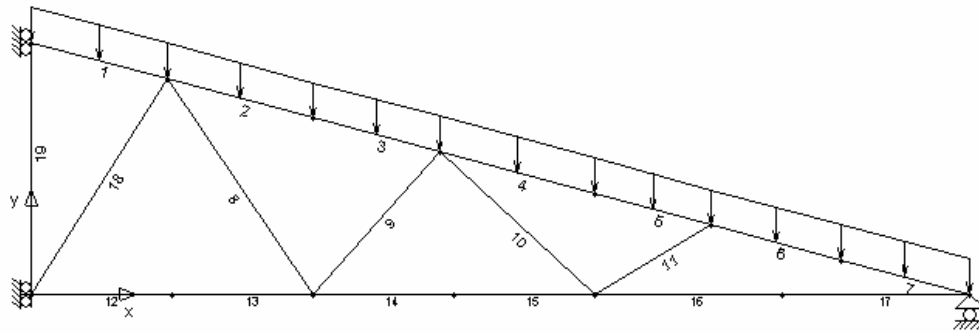
Ennakoimattomia onnettomuuksia vastaan on kehitetty kolme eri menettelytapaa, jotka on jo periaatteessa esitetty myös esimerkiksi teräsrakenteiden suunnittelua koskevassa Eurocode 3:ssa /8/ kohdassa 2.1. Tässä ohjeessa niitä on nyt tarkennettu siten, että kullekin on alustavasti suunniteltu toimintatapa, jonka avulla kyseinen menetelmä toimittaa rakenteille asetetun perusvaatimuksen, joka koskee jatkuvan sortuman estämistä. Toimintatavat ovat seuraavat:

**Menetelmä 1)** Vaihtoehtoiset tiet kuorman siirtymiseksi:

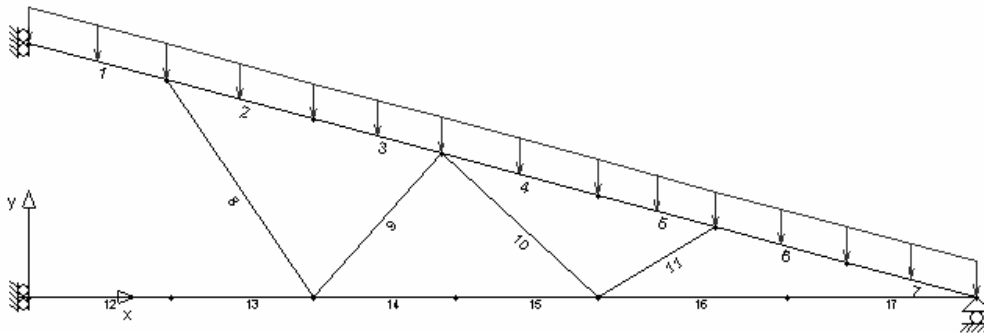
Rakenteiden analyysistä tiedetään, että rakenteiden ns. staattinen epämääräisyys lisää niiden kykyä kantaa ylikuormia. Esimerkiksi, kattoristikoissa pystysuuntaiset kuormat, omapaino ja lumi, aiheuttavat ristikon diagonaaleihin ja parresauvoihin sekä puristus- että vetovoimia, joiden suuruus on lähes kääntäen verrannollinen ristikon taipumaan. Voimien jakautuminen eri sauvojen kesken riippuu ristikon osien jäykkyyseroista, mutta se voi muuttua radikaalisti, jos ristikon jokin yksittäinen osa menettää kantavuutensa esimerkiksi materiaalivian takia. Jos osa menettää kantavuutensa tai poistuu käytöstä, sen aiemmin kantamat kuormat siirtyvät muiden osien kannettavaksi tavalla, jota on vaikea ennakoida.

Tällaista tilannetta havainnollistaa erään symmetrisen ristikkorakenteen kaksi samalla kuormalla laskettua analyysitulosta, joista kuvassa 11 a) on alkuperäinen tilanne, ja kuva 11 b) esittää tilannetta, missä ristikon keskimmäiset diagonaalit on jätetty pois tai vikaantuneet. Rakennetta b) vastaavat taivutusmomentit näkyvät kuvassa 11 c), missä yläpaarteen taivutusrasitus harjan lähellä on suurentunut oleellisesti verrattuna paarteen muihin kohtiin. Tällainen tilanne syntyy esimerkiksi jos keskimmäiset diagonaalit olisi jätetty hitsaamatta kiinni parresauvoihin tai jos niitä ei olisi alun perin ollutkaan. Rakenteen jäykkyyden pieneneminen kasvattaa siirtymiä. Rakenteen osan (tässä jopa kolmen) poistuminen aiheuttaa kuormien uudelleenjakautumisen, mikä voi johtaa jonkin muun osan vaurioitumiseen.

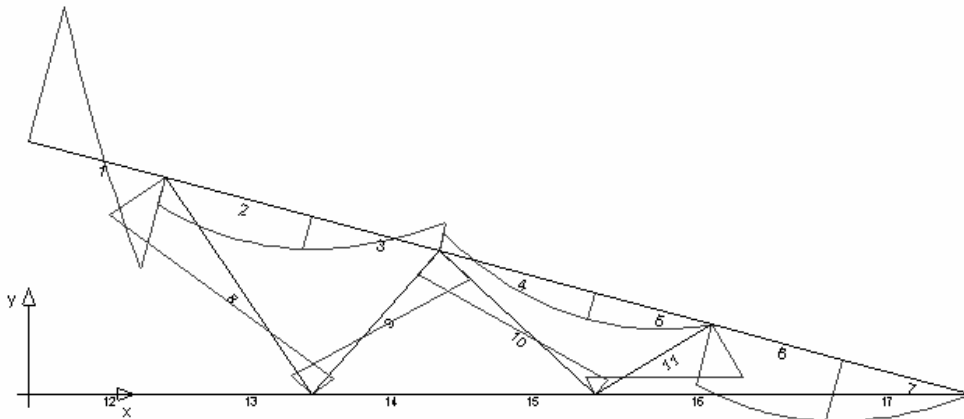
a) Kattoristikko. Normaalitilanne.



b) Kevennetty kattoristikko. Suurin taipuma kasvaa.



c) taivutusmomenttipinta kevennetyissä kattoristikossa (max. toivutusmomentti harjalla on  $-31,49$  kNm. Vastaava taivutusmomentti kuvan a) alkuperäisessä kehässä oli vain  $-2,89$  kNm).



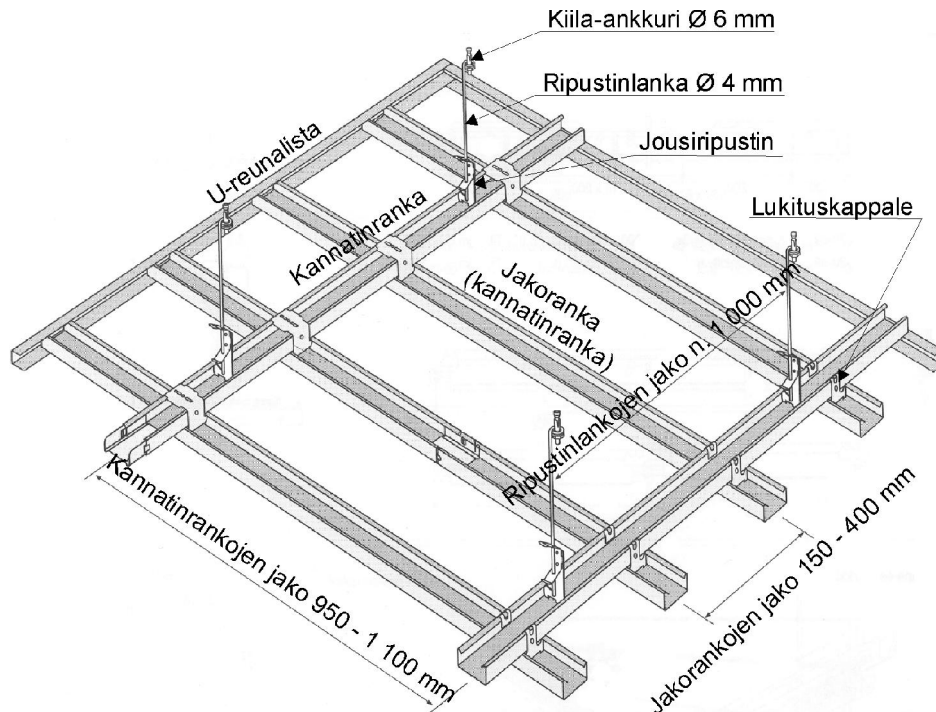
**Kuva 11.** Kattoristikon rasitukset pystykuormilla. a) normaali ristikkorakenne, b) kaksi keskimmäistä diagonaalisauvaa ja yksi vertikaali poissa (tai menettäneet kantavuutensa), c) taivutusmomenttipinta keskisauvojen puuttuessa.

**Menetelmä 2)** Avainrakenneosa suunniteltu kestävään kuvitelu onnettomuuskuorma  $A_d$ .

Kuvassa 12 on erään uimahallin kahteen suuntaan jatkuva alakattorakenne, jota kannattelee ruostumattomasta teräksestä tehdyt kannatinlangat. Rakenteen suunnittelussa on luonnollisesti kriittistä ottaa huomioon olosuhteet, missä rakenne joutuu toimimaan, ja valita käytetyt materiaalit sen mukaisesti.

Koska katto ei saa pudota uimareiden päälle, hyvässä rakennesuunnittelussa otetaan huomioon myös sellainen mahdollinen onnettomuustilanne, missä ainakin yksi kattoa kannattavista langoista katkeaa. Siitä aiheutuu kyseisen langan kantamien kuormien siirtyminen lähellä oleville muille langoille. Jos niiden suunnittelussa ei lisä-kuormaa ole otettu huomioon, niillä ei ole ylimääräistä kapasiteettia kuin ehkä osavarmuuskerroimensa 1.35 tai 1.4 (riippuu sovelletusta ohjeesta) verran. Tämä varmuusvara on voinut monistakin eri syistä olla jo käytössä, ja siksi on suuri vaara, että jokin muistakin langoista katkeaa. Täten ensimmäisestä pienehköstä vauriosta aiheutuu ketjureaktio, eli jatkuva sortuma, ja koko alakatto saattaa pudota.

Parempi suunnitteluratkaisu olisi joko a) pilkkoa katto pienempiin osiin, jolloin mahdollinen sortuma minimoituu, eikä ehkä aiheudu jatkuvaa sortumaa, tai b) varustaa esimerkiksi joka toinen kannatuslanka tuplasti suuremmalla pinta-alalla (Avainrakenneosa), jolloin sen kyky ottaa lisäkuormia ei heikkene yhtä nopeasti kuin ohuemmillä langoilla, ja katon laajempi vaurio estyy. Katon alkava vaurioituminen voitaisiin tällöin ehkä havaita ajoissa sen pinnan painumisesta.



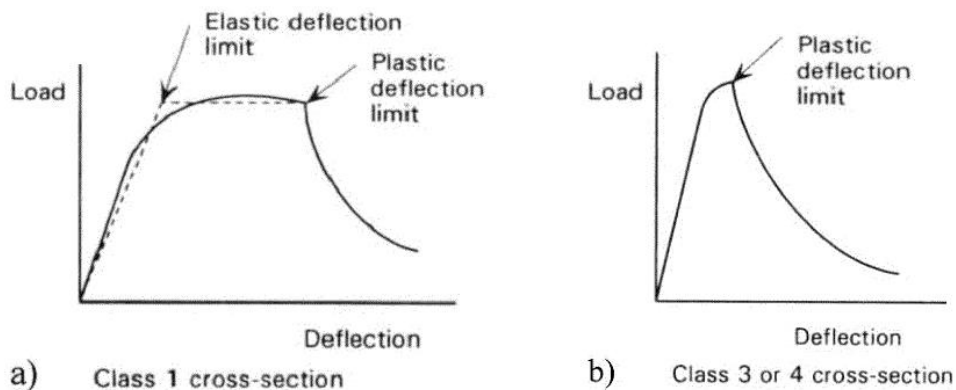
**Kuva 12.** Alakaton kannatusrakenteen ripustuslankoineen.

### Menetelmä 3) Suunnitteluohjeiden määräykset koskien rakenteen eheyttä ja sitkeyttä.

Rakenteen eheys ja sitkeys ovat ominaisuuksia, jotka liittyvät rakennemateriaalin käyttäytymiseen. Esimerkiksi kun teräs (tai myös ruostumaton teräs) saavuttaa myötörajan, se alkaa plastisoitua ja venyä, jos voimaa ei poisteta (kuva 13 a). Venyminen on hyödyllinen ilmiö siksi, että rakenteessa on epäilemättä aina muita kohtia, jotka alkavat ottaa kantaakseen niitä lisäkuormia, jotka venyvän osan olisi pitänyt kantaa. Kuormien jakautuessa uudelleen, venyvä rakenne kantaa kuitenkin edelleen sen verran kuormaa, joka sillä oli kun se saavutti myötörajansa, eikä kuormien uudelleenjakautuminen tapahdu yhtäkkisesti. Teräksen murtovenymä on 10 %, ja kuvan mukainen käyttäytyminen koskee sekä veto- että leikkausrasitusta.

Kuorman poistuttua, vaurioitunut ja venynyt rakenneosia voidaan mahdollisesti vaihtaa uuteen ja rakennuksen muut rakenneosat ovat säilyneet vaurioitumatta.

Rakenneosat ja nykyisin myös liitokset luokitellaan sitkeysominaisuutensa mukaan neljään luokkaan. Luokkiin 1 ja 2 kuuluvat osat, joissa voi muodostua ns. plastinen nivel. Plastinen nivel on kohta tai väli, missä rakennemateriaali myötää. Luokkiin 3 ja 4 sijoittuvat sellaiset rakenteet ja osat, jotka eivät pysty muodostamaan plastista niveltä esimerkiksi siksi, että ne nurjahtavat tms., ja jotka täten ovat erityisen herkkiä vauriolle ja sortumiselle, ja saattavat helposti edistää jatkuvaa sortumaa.



**Kuva 13.** a) rakenteen kuormitus-muodonmuutoskäyrä poikkileikkausluokassa 1, b) rakenteen käyttäytyminen poikkileikkausluokissa 3 ja 4 /33/.

Materiaalin kuvan 13a mukainen käyttäytyminen koskee esimerkiksi taivutettuja rakenteita. Todellisissa rakenneosissa voi veto- tai puristusvoiman lisäksi vaikuttaa taivutusmomentti ja leikkausvoima, ja joskus myös vääntömomentti. Siksi todelliset rakenteet saattavat jo melko pienilläkin kuormilla saavuttaa myötörajan jossakin profiilin äärikohdassa. Tällöin materiaali alkaa ko. kohdassa plastisoitua ja sen muodonmuutokset alkavat kasvaa (kuva 13a) ilman että käyrässä 13a havaitaan varsinaista myötörajaa. Rakenneosien kestävyys suhteen on tällöin kriittistä, että osa ei menetä äkkinäisesti kantavuuttaan esimerkiksi nurjahduksen tai katkaisutyypin leikkautumisen takia (kuva 13b).

Edellä kuvatun toimivuuden (sitkeyden) saavuttamiseksi on erityisesti maanjäristysalueille rakentamista silmällä pitäen tehty paljon tutkimusta koskien sopivia liitosratkaisuja, joilla olisi kyseinen kuvan 13a mukainen sitkeysominaisuus. Hyväksyttävissä rakenneratkaisuissa sallitaan muodonmuutoksia, mutta ei sallita sitä, että ne menettävät kantavuutensa tai sortuvat. Samaa perussääntöä sovelletaan nyt myös rakenteiden suunnittelemiseksi toiminnallisesti siten, että ne kestävät sekä onnettomuustilanteissa että muissa ennakoimattomissa rasisitustilanteissa.

Suomessa tapahtui vuonna 2003 yksi onnettomuus, missä valettaessa rakennuksen välipohjana toimivien ontelolaattojen pintavalua ontelolaattoja kannattavan teräspalkin toista päätä kannatellut teräskonsoli irtosi teräspalkkipilarin kyljestä. Irtoaminen johtui huonosta hitsauksesta (kuva 14). Konsolin, ja palkin pään pudotessa, palkin toisenkin pään konsoli irtosi, ja palkki sekä siihen tukeutuvat ontelolaatat putosivat. Sysäys tms. aiheutti välipohjassa myös viereisen teräspalkin yhden konsolituen irtoamisen pilarista, ja tällöin toinenkin teräspalkki putosi romahduttaen samalla kaikki sen molemminpuolin kannattelemat ontelolaatat. Yksi henkilö menetti laattojen pudotessa henkensä, vaikka hän oli laataston alapuolella kohdassa, joka oli mahdollisimman kaukana tapahtuman alkukohdasta eli ensimmäiseksi pettäneestä hitsausliitoksesta.

Suomen Rakentamismääräyskokoelman osassa B4 /14/ koskien betonirakenteiden suunnittelua on betonielementtien suunnittelua ja asentamista koskien ohje, jonka mukaan:

#### **2.6.1.2.2 Jatkuvan sortuman rajoittaminen**

Liitokset suunnitellaan niin, ettei kantavan rakenteen vaurioitumisesta tai elementin putoamisesta johtuva paikallinen sortuma-alue laajene. ...

#### **2.6.1.2.3 Elementin putoamisen estäminen**

Elementin tukipinnoissa vaikuttavan kitkan suuruuden vaihtelun seurauksena elementin kosteusliikkeestä virumasta ja lämpötilan muutoksista aiheutuvat liikkeet voivat tapahtua toispuolisesti. Liitos tulee suunnitella niin, että elementin putoaminen tuelta on estetty. ...

Ø Betonielementtien tuennat pitää suunnitella siten, että elementit eivät pääse putoamaan tuiltaan, ja jos ne kuitenkin putoavat, ne sortuma-alueen laajeneminen pitää estää. Käytännössä tästä syystä betonielementit tyypillisesti ankkuroidaan muihin niitä kannatteleviin rakenteisiin.

Eo. esimerkissä ontelolaatat ovat betonielementtejä, joiden suunnittelussa sovelletaan ohjetta B4. Teräspalkit ja pilarit ovat teräsrakente-elementtejä, joiden suunnittelussa sovelletaan ohjetta B7, mutta:

Ei voi ajatella, että vaihtamalla betonisia ontelolaattoja kannattelevat betonipalkit esimerkiksi teräspalkeiksi, ontelolaattojen tuentaa ja jatkuvan sortuman alueen laajenemista koskevat ohjeet B4: 2.6.1.2.2-3 voisi unohtaa!



Rakenteiden eheys ja sitkeys tekevät mahdolliseksi sen, että jostakin mahdollisesta tekoviasta tms. johtuvasta pienestä vauriosta ei tilanne laajene aiheuttaen jatkuvaa sortumaa, ja vaaratilannetta suurelle joukolla ihmisiä.



**Kuva 14.** Ontelolaattavälipohjan sortuma v. 2003.

### 3.3 Onnettomuuksien estäminen määräyksissä ja ohjeissa

AA-kohteisiin liittyvässä riskianalyysivaatimuksessa ei ole mitään uutta verrattuna siihen, mihin Maankäyttö- ja rakennuslaki (MRL), voimassa olevat määräykset ja ohjeet niiden kanssa sovellettavine standardeineen jo nyt suunnittelijaa velvoittavat. Riskianalyysiin halutaan kuitenkin sitouttaa lähes koko toimitusketju. Käytännössä se voi olla vaikeaa urakkarajoihin liittyvien epäselvyyksien takia, mutta tällaisen yhteistyön tavoitteena on hankkeeseen ryhtyvän tahon näkökulmasta tarkentaa urakkarajoja siten, että ne eri toimijoiden näkökulmasta katsottuna ovat riittävän yhtenevät, eikä väliin jäisi riskialtista ns. ei-kenenkään maata.

Aiemmin riskienhallintaa on ohjeissa sovellettu mm. seuraavissa seikoissa:

- suunnittelijalta on edellytetty ohjeita (työselitys, projektieritelmä) rakenteiden valmistusta ja asennusta varten syystä, että voidaan varmistua siitä, että suunnittelussa tehdyt oletukset ovat voimassa myös lopullisessa rakenteessa,
- hitsausstandardi SFS 2373 /4/ vaatii, että suunnittelija ja valmistaja toimivat hyvässä yhteisymmärryksessä. Käytännössä se merkitsee sitä, että tieto kriittisistä voimaliitoksista, joiden laatuun tulee kiinnittää erityistä huomiota tai soveltaa lisätyä laadunvalvontaa, kulkeutuu konepajalle asianomaisille ihmisille,

- teräsrakenteiden suunnitteluohjeen B7 /7/ mukaan sellaisista voimaa siirtävistä hitsausliitoksista, joiden hyväksikäyttöaste on yli 50 %, tulee laatia erillinen luettelo,
- MRL vaatii, että kohteelle nimetään pääsuunnittelija (arkkitehti tms.), joka vastaa, että eri erityisalojen suunnitelmat yhdessä muodostavat toimivan kokonaisuuden,
- MRL:n mukaan, jos erityissuunnittelu, kuten esimerkiksi rakennesuunnittelu, jakautuu useammalle tekijälle tai yritykselle, hankkeeseen ryhtyvä veloitetaan nimeämään yksi rakennesuunnittelijoista vastuulliseksi siitä, että suunnitelmat yhdessä muodostavat toimivan kokonaisuuden, ja käytännössä varaamaan riittävät varat ko. työn tekemiseksi,
- MRL:ssa esitetyt vaatimukset koskien suunnittelijoiden ja asennustyönjohtajien pätevyksiä liittyvät suunnittelu- ja asennustyösuorituksiin ja niiden vaativuuteen. Siksi ketjutetuissa urakoissa, jos esimerkiksi kunkin tuoteosan toimittaja vastaa tuoteosiensa suunnittelusta, pätevyysvaatimus kohdistuu samanlaisena kuhunkin toimittajaan,
- Suomen rakentamismääräyskokoelmassa on betonirakenteita koskevissa ohjeissa B4 /14/ osa, joka koskee betonielementtirakenteiden suunnittelua jatkuvan sortuman varalta. Kohdan 2.6.1.2.2 mukaan liitosten suunnittelu pitää tehdä siten, että betonielementti ei voi pudota tueltaan, ja kohdan 2.6.1.2.3. mukaan, jos elementti kuitenkin putoaa tueltaan, se pahtuma ei saa edistää jatkuvaa sortumaa,
- Edellistä kohtaa vastaavat ohjeet löytyvät myös ohjeesta Eurocode 3 /8/, Teräsrakenteiden suunnittelu, kohdasta 2.1. Puurakenteille vastaavia ohjeita ei ole.

## 4 JÄYKISTYS JA STABILITEETTI

Rakenteiden jäykistys ja stabiliteetti sotketaan usein keskenään. Kolmas sekaannusta aiheuttava termi on tukeminen. Kyseessä ovat kuitenkin eri asiat:

### Rakenteiden jäykistäminen

eli rakenteiden tekeminen jäykäksi, tarkoittaa, että rakenteiden tulee vaakasuuntaisten kuormien tai pakkosiirtymien tai muiden rasitusten suhteen olla riittävän jäykkä siten, että kyseisten vaakavoimien suuntaiset siirtymät pysyvät suunnitteluohjeissa määritellyissä tai muissa toiminnan määrittämässä rajoissa. Eräs toiminnallinen rajatila koskee kuorirakenteiden liitosten toimivuutta. Ruuviliitokset voivat vaurioitua jos siirtymät yhdessä toleranssien kertymän kanssa ovat liian suuria.

Käytännössä jäykistävät rakenteet (= jäykisteet) vastustavat aina jotakin osoitettavissa olevaa ulkoista esim. tuulikuormaa, ja sen aiheuttamia haitallisia siirtymiä.

### Rakenteiden stabilointi

tarkoittaa sitä, että hyvin hoikat rakenteet ja osat **tuetaan** toimimaan joko rakenteen omassa pituussuunnassa (esim. pilarit tai nurjaldussauvat), tai rakenteen omassa tasossa (kattoristikot, palkit). Käytännössä tuenta lähes poikkeuksetta tapahtuu sellaisessa suunnassa, missä ei vaikuta merkittäviä ulkoisia voimia tai kuormituksia.

Tuentojen ja tukien mitoittaminen tapahtuu laskennallisille voimille, joiden mitoitusarvot on saatu joko stabiliteetti- tai rakenneanalyseistä (tai rakenteiden koetuloksista).

### 4.1 Rakenteiden jäykistäminen

Rakennusten staattisen systeemin valintaan vaikuttaa runsaasti erilaisia syitä ja siksi rakennuksen runkosysteemin valinta on mahdollista tehdä monella eri tavalla. Valintaan vaikuttavia syitä ovat esimerkiksi /5, 9, 16, 27, 28/:

- perustamisolosuhteet, jotka rajoittavat pilarin kiinnitystapoja perustuksiin,
- mahdollisuus laajentaa rakennusta tai suorittaa muutostöitä tai mahdollinen käyttötarkoituksen muuttuminen,
- laitteiden asennusten tai kulkuneuvojen kulun vaatimat vapaat aukot halleissa ja teollisuusrakennuksissa
- suurimmat sallitut taipumat, johtuen esimerkiksi laitteiden tai rakenteiden toiminnallisista vaatimuksista,
- asennusaikainen varmuus ja asennusjärjestys sekä tarvittavat tuennat,
- rakennusaika ja rakennus/asennustapa joissakin tapauksissa,
- liikuntasaumot,
- valmistus-, kuljetus- ja asennustekniset mahdollisuudet.

Rakennuksen esisuunnitteluvaiheessa selvitetään eri vaihtoehtojen vaikutuksia kokonaiskustannuksiin, ja toimintoihin. Yleensä sekä teräs- että puurakenteinen runko voidaan tai ainakin se pyritään yksinkertaisuuden vuoksi palauttamaan tasorakenteiksi, eikä sitä siis analysoida avaruuskehänä. Viime aikoina 3D-CAD-ohjelmistot ovat kuitenkin vallanneet alaa avaruuskehien suunnittelussa. Niillä voidaan helpommin ottaa huomioon esimerkiksi päätyyn vaikuttavat tuulikuormat ja niiden vaikutus poikittaisiin kehärakenteisiin.

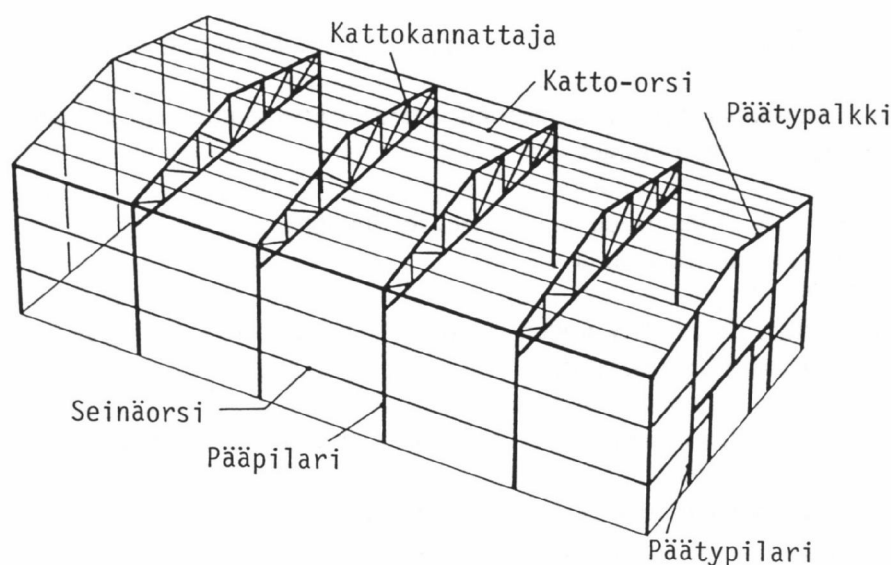
Eri rakenneosien väliset liitokset ovat yleensä joko niveliä tai jäykkiä liitoksia, mutta teräs-rakenteiden rakenneanalyseissä on joissakin maissa alettu käyttää hyväksi myös liitosten osittaista jäykkyyttä, ja sen mahdollistamia materiaalisäästöjä. Puurakenteiden osalta liitosten osittaista jäykkyyttä hyödynnetään vasta naulalevyrakenteiden suunnittelussa.

**Rakenteiden jäykistämällä** tarkoitetaan ensisijaisesti sitä, että rakenteet tuetaan ja muotoillaan siten, että niiden suurimmat mahdolliset taipumat ja sivusiirtymät ovat suunnitteluohjeen käyttörajatilaa koskevien ohjeiden mukaisia. Jäykistävät rakenneosat toimivat siis ulkoisia kuormituksia vastaan ja ulkoiset kuormat aiheuttavat niissä yleensä suoraan kuorman suuruuteen verrannollisia voimia, tai siirtymiä ja taipumia.

Korkeat rakenteet eivät yleensä ole riittävän jäykkiä pelkästään suorakulmaisten pilari-palkkiliitosten jäykkyyden ansiosta (jäykistämättömät kehärakenteet). Ne on lähes poikkeuksetta jäykistettävä joko teräs- tai puurakenteisilla diagonaalisauvarakenteilla, tai esim. tukemalla kantava rakenne muihin rakenteisiin (esim. hissitorni tms.). Joissakin tapauksissa hyödynnetään jäykistäviä ja/tai osastoivia väliseiniä.

Poikkeuksen tekevät vain suoraan perustuksista lähtevät kaarirakenteet (vaativat jäykkistykseen vain poikittaissuunnassa) ja suhteellisen matalat 1-kerroksiset hallit, joissa on käytetty mastopilareita tai ns. kehäjäykistystä, joissa:

- pilarit kiinnitetään perustuksiin jäykästi ja kattorakenteisiin nivelliitoksella, tai
- pilarit kiinnitetään perustuksiin nivelellisesti ja kattoristikoon jäykästi, tai
- pilarin liitos sekä perustuksiin että kattokannattajaan on jäykkä.



**Kuva 15.** Hallirakennuksen rungon tyypilliset kantavat osat /27/.

Pohjaltaan suorakaiteen muotoisten teollisuus-, liikunta- tai muiden teräs- ja puurakenteisten hallien jäykistämiseksi käytettäviä jäykistysvaihtoehtoja on useita. Jäykistysjärjestelmän valitsemiseksi ei siten voida antaa mitään täysin yksikäsitteistä ohjetta. Hyvin tarkasti voidaan kuitenkin määrittellä hallin yleiset jäykistystarpeet sekä niihin sopivat erilaiset mahdolliset ratkaisutavat ja niiden mahdolliset järkevät kombinaatiot lähtien toiminnallisen suunnittelun periaatteista. Tavallisen hallirakennuksen kantavat ja sekundääriset runkorakenteen osat on esitetty kuvassa 15.

Kuvasta 15 puuttuvat hallin jäykistämiseen käytetyt osat sen pituussuunnassa (kattotason diagonaalit ja pitkien seinien diagonaalit tms.), sekä pääkannatinkehiä stabiloivat rakenteet (paarteiden kiepahdussiteet).

Teräsrakenteisten jäähallien rakenteissa on yleensä käytetty joko ns. 1- tai 2-nivelkehiä ja joskus niiden sekamuotoja sekä myös puhtaita ristikkokaaria, joissa nivelellisiä ovat vain niiden liitokset perustuksiin. Eräissä tapauksissa teräsrakenteinen kattorakenne on tehty kaarevan ristikkokannattajan ja vetotangon avulla.

Puurakenteisissa jäähalleissa yleisimpiä pääkannatintyyppisiä ovat kaksi- tai kolminivelelliset liimapuukaaret, teräksisillä vetotangoilla jäykistetyt liima- tai kertopuupalkit, eli ns. STT-tyyppiset kannattimet ja liimapuupalkkiratkaisut. Vetotangoilla jäykistetyt liimapuukaaripalkit ja tappivaarnaristikot ovat yleistyneet uusimpien hallien myötä. Jäähalleissa käytetyt puurakenteiset palkki- tai ristikkokannattajat on yleensä tuettu nivelellisesti alapäästään jäykästi perustuksiin kiinnitettyihin liimapuu- tai teräsbetonipilareihin (mastopilarikehä).

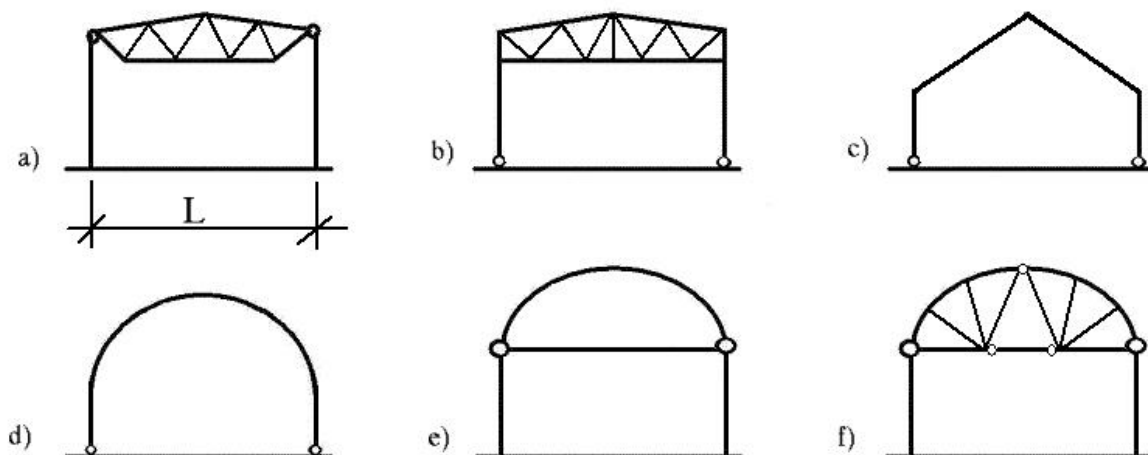
Omapaino ja lumikuormitus aiheuttavat suurimman rasituksen kattokannattajille yhdessä osin tuulikuorman kanssa. Kannattajien sauvat ja liitokset pitää yleensä mitoittaa sen mukaisesti ns. vertikaali (pysty) kuormille. Ns. 2-nivelkehällä toteutettujen hallien pilarit mitoittaa yleensä omapaino ja tuuli yhdessä osittaisen hyöty- ja lumikuorman kanssa. Sellaisissa tapauksissa, missä on käytetty 1-nivel -kehärakennetta tai ristikkokaarta, mitoittava kuormitusyhdistelmä saattaa vaihdella liitoskohtaisesti!

Hallirakenteiden perusratkaisuina käytetään pääsääntöisesti kuvassa 16 esitettyjä ratkaisuja. Niistä kukin vaatii hieman toisistaan poikkeavan jäykistystavan:

- **Mastopilarikehä** on eniten käytetty ratkaisu, koska sen suunnittelu on yksinkertaista ja rakenneosat toimivat normaalikuormitusten suhteen optimaalisella tavalla. Rakennuksen kokoonpano on helppoa, ja rakenneosat ovat selvästi erillisinä helpoja valmistaa. Rakennetta jäykistää sen poikkisuuntaan pääkannattajan muodostavat pääpilarit ja kattokannattajat (kts. kuva 20).
- **2- (tai 3-)nivelelliset** ovat plastisten nivelten sijoittumisen osalta staattisesti epämieluisempi ja sisältävät siksi ehkä enemmän varmuutta kuin mastopilarikehä. Ne ovat myös yleensä arkkitehtonisesti kiinnostavampia, ja runkomateriaalin menekki on pienempää kuin mastopilarikehässä.
- **Kaari** (ristikkokaari tai massiivinen teräs- tai liimapuukaari) on muotonsa puolesta ainakin jäähalleihin sopiva runkoratkaisu, mikäli ei rakenneta suuria katsomoita, jotka saattavat aiheuttaa katon korotustarpeen hallin seinien lähelle. Rakennetta jäykistää sen poikkisuuntaan pääkannattajan muodostavat pääpilarit ja kattokannattajat (kts. kuva 20).

nemateriaalin menekin ja rakenteiden varmuuden puolesta kaarihali on vähintään yhtä hyvä ratkaisu kuin 2-nivelkehä.

- **Vetotangollinen kehärakenne** tulee yleensä kyseeseen, kun halutaan rakentaa kaarikatto ja nostaa se korkeammalle kuin normaaleissa kaarihalleissa (esim. katsomon takia). Vetotanko stabiloi katon rakenteen siten, että kaarikaton paino ei taivuta seinillä olevia pilareita ulospäin. Vetotanko estää pilarien yläpäiden liian suuret sivusiirtymät tai pullistumat.



**Kuva 16.** Hallirakennuksien rakennetyyppejä: a) mastopilari-ristikkopalkkikehä, b) jäykänurkkainen 2-nivelkehä, c) 2- tai 3-nivelkehät, d) 2-nivelkaarikehä, e) vetotangollinen kaarikehärakenne ja f) toinen vetotangollinen kehärakenne /27/.

**Taulukko 9.** Kaksi- ja kolmedimensioisten rakennevaihtoehtojen hyödyntäminen.

	2-dimensioiset rakenteet	3-dimensioiset rakenteet
Puu	Kuvassa 16 esitetyt kehätyyppit käytetään puurakenteisina ns. yksinkertaisina 2-D -rakenteina, missä osasuavoissa on jokin triviaali rasiustila (joko pelkkä aksiaali-voima, tai yhdistelmä taivutusmomentti + leikkausvoima).	3-D rakennetta käytetään materiaalin ominaisuuksien takia puurakenteilla vain poikkeustapauksissa, koska siitä saattaa aiheutua syiden suhteen poikittaisia rasiuksia.
Teräs	Kuvan 16 kehätyyppit ovat normaalit aitoja 2-D -rakenteita, missä rakenneosissa voi olla aksiaali- ja leikkausvoimaa sekä taivutusta, mutta ne voivat toimia myös osana 3-D -rakennetta.	Kuvan 16 kehät ovat osa 3-D rakennetta silloin, jos kattotasossa on hallin pituus-suuntaisia ristikkorakenteita. Kyseiset ristikot tasaavat poikittaisten kehien esimerkiksi nosturista tai tuulesta aiheutuvia kuormituksia kehien kesken.

Kuvassa 16 kaarikehien d) ja e) sekä pilarit että kaaripalkit voivat olla ristikkorakenteita. Kaikissa tapauksissa rakennusmateriaalina voidaan käyttää terästä joko levyistä hitsattuina tai valssattuina profileina tai putkiristikoina, tai puuta (kertopuuta, liimapuuta, tai muuta sahatavaraa esim. naulalevyillä tai vaarnatapeilla kokoonpantuina).


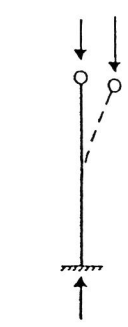
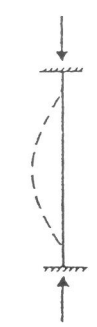
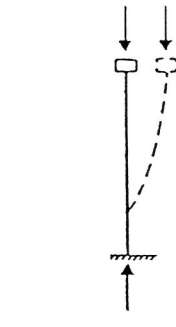

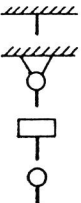
Kuvan 16 kehätyypeillä rakennetut hallit ovat yleensä 2-D -rakenteita, mutta ne voivat olla myös 3-D rakenteita riippuen siitä mitä tai minkälaisia rakenteita sijaitsee katossa ja seinillä hallin pituussuunnassa. 2-D tai 3-D -rakenteiden välillä on edellä olevan vertailun (taulukko 9) perusteella selkeät erot.

Yleensä hallin pituussuuntaisten palkkien ja orsien (katossa ja seinillä) ainoana tehtävänä on kuljettaa osalleen tulevat lumesta ja omasta painosta tulevat kuormat puoliksi molemmille lähimmille kehille. Jos pituussuuntaiset palkit ovat ristikkorakenteita, ja niiden paarteet kiinnitetään pääkannatinkehiin, palkit ovat käytännössä jatkuvia palkkirakenteita hallin pituussuunnassa, ja hallia tai ainakin ko. palkkeja pitää käsitellä 3-D -rakenteena!

## 4.2 Rakenteiden stabilointi

**Stabiliteetti-ilmiot** on määritelty hoikkien rakenneosien nurjahduksesta (kuva 17), lommahduksesta tai kiepahduksesta aiheutuvana äkillisenä kantokyvyn menetyksenä (kts. kuva 13b). Ideaalisissa stabiliteettitapauksissa rakenteeseen ei vaikuta mitään ulkoista voimaa tai puman suuntaan (kuva 17), vaan sivulle siirtyvä (nurjahtava) rakenteen osa on aina puristettu, myös niissä tapauksissa kun on kyseessä joko lommahdus tai kiepahdus, ja yksinkertaisuuden vuoksi niidenkin mitoituksessa voi käyttää nurjahduskaavoja.

Nurjahduspituudet  $L_c = \gamma \cdot L$ .

Molemmista päistä nivelöity sauva	Toisesta päästä jäykästi kiinnitetty sauva	Molemmista päistä jäykästi kiinnitetty sauva	Molemmista päistä jäykästi kiinnitetty sauva Toinen kiinnityskohta sivusiirtävä	Toisesta päästä jäykästi ja toisesta päästä nivelöidysti kiinnitetty sauva
				
$\gamma = 1,0$	$\gamma = 2,1$	$\gamma = 0,6$	$\gamma = 1,2$	$\gamma = 0,8$
Sauvan pään reunaehdot		Kiertymä estetty Kiertymä vapaa Kiertymä estetty Kiertymä vapaa	Kiertymä estetty Kiertymä vapaa Kiertymä estetty Kiertymä vapaa	Siirtymä estetty Siirtymä estetty Siirtymä vapaa Siirtymä vapaa

**Kuva 17.** Stabiliteetti-ilmio nurjahdus /7/. **Huom!** Kuormitettu sauva voi olla vaaka-asennossa, kuten ollessaan esimerkiksi kattoristikon paarteena.

Stabiliteetti-ilmiö johtuu siitä, että rakenne (tai sen merkittävä osa, kuten ylälaippa tms.) on puristettu itse rakenteen tai sen pinnan suunnassa. Puristavan voiman epäkeskeisyydestä tai rakenteen vinoudesta tai alkukäyryydestä johtuen rakenneosaan aiheutuu kasvavan puristusvoiman lisäksi taivutusmomentti ( $P - \Delta$ , missä  $\Delta$  on rakenneosan oma sivusiirtymä). Voiman  $P$  lisääntyessä ja siirtymän  $\Delta$  kasvaessa taivutusmomentti saattaa läheta omaa suurinta arvoaan nopeammin kuin puristusvoima. Lopulta taivutusmomentti yhdessä puristusvoiman kanssa ylittävät rakenteen kantokyvyn, ja johtavat sen kapasiteetin äkilliseen poistumiseen kuvan 13b tavalla.

Stabiliteetti-ilmiöiden takia hoikat puristetut rakenneosat pitää tukea riittävästi ja riittävän monesta kohdasta sivusuunnassa. Sivuttaistukien ja puristettujen rakenteen osien mitoituksessa pitää ottaa huomioon, että ohjeen B7 /7/ mukaan osan hoikkuus ei saa ylittää arvoa 250. Tukiin ei periaatteessa vaikuta normaalisti mitään kuormia, mutta suunnitteluohjeissa ne kehoitetaan mitoittamaan suurimmille laskennallisille mitoitusvoimille, jotka on saatu joko 2. asteen teorian mukaisista rakenneanalyysistä tai rakennekokeista. Sauvarakenteiden puristusvoimakestävyys riippuu olennaisesti sauvan nurjahduspituudesta sen heikoimmassa suunnassa.

#### 4.2.1 Stabiliteetin menetys

Vierekkäiset kattokannattimet tai pääkannatinkehät, joiden pitää toimia omassa tasossaan, on usein jäykistetty sivusuunnassa ns. sekundääriorsien tai joskus jopa katon levyrakenteiden avulla. Pääkannattimet siirtävät ulkoiset hallin sivuihin vaikuttavat painekuormat tuuliristikoille tai päätykehille ainoastaan sellaisessa tapauksessa, että kattotasossa on jokin hallin pituussuuntainen ristikko- tai levyrakenne, joka voi siirtää leikkausvoimia ja taivutusmomenteja. Muussa tapauksessa kehään vaikuttavat voimat siirtyvät aina kehän pilarien kautta suoraan perustuksille.

Kattokannattimien nurjahduksen estämiseksi tarvittavat tukisiteet ovat tärkeitä rakenteita, joiden ko. tehtävässä tarvittavat kestävyudet ovat kuitenkin pieniä. Jäykisteitä ei ole ollut tapana mitoittaa tuuli- tai muille vaakavoimille vaan pelkästään em. jäykistystehtävää varten. Siinä oleellista on vain ko. jäykisteiden keskinäinen etäisyys (joka määrää jäykistettävän rakenneosan nurjahduspituuden) ja se, ettei jäykiste itse menetä stabiiliuttaan. Sivuttaisjäykistystarve koskee sekä teräs- että puurakenteisia halleja ja niiden kattorakenteita.

Ohjeen B7 /7/ kohdan 4.3.2 mukaan taivutetun sauvan sivuttaistuet mitoitetaan kohtisuorassa taivutustasoa vastaan puristetun laipan tai paarteen kohdalla vaikuttavalle voimalle  $F_1$ . Voiman suuruudeksi otaksutaan 2 % tuettavan poikkileikkauksen toimivassa puristetussa osassa vaikuttavasta voimasta (esimerkiksi 2 % parrevoimasta!).

Rakeneosien liitoksiin käytetään vakioratkaisuja, jotka ovat yleensä riittävän kestäviä, edellyttäen että ne tehdään huolella. Kun jäykistys on yleensä oleellinen edellytys kattokannattimien tai kehien kantokyvylle, pitää jäykistävien rakenteiden kiinnityksien valmistamiseen ja asennustyön laatuun kohdistaa erityistä huomiota.

Jos hallien jäykistys on toteutettu vain rakenteen toisessa päässä, voi paikallinen vaurio eliminoida hallin sivutuennat pitkältä matkalta. Tämä koskee sekä hallin tuulijäykistystä, että ns. kiepahdussiteitä.



### **Pääkannatinkehää stabiloivat voimat $F_1$ tulee johtaa jonnekin!**

Jäykisteet pitää kiinnittää toisesta päästään, tai jostakin kohdasta sellaisella tavalla, että jäykisteeseen mahdollisesti syntyvä tukivoima  $F \leq F_1$ , voi siirtyä jonnekin. Ristikoiden yläpaarteet tuetaan yleensä katto-orsilla ja/tai katon ohutlevyllä. Ristikon alapaarteen kiepahdussiteet voidaan kiinnittää joko a) ankkuroimalla ne vetotangoilla yläpaarteen tasoon, tai b) kiinnittämällä kiepahdussiteet hallin päätypilareihin.

Kattoristikon kiepahdussiteen kiinnityskohdaksi ei sellaisenaan kelpaa seuraavan kattoristikon alapaarre. Se aiheuttaisi yhden kaatuessa useamman kattoristikon kaatumisen.

## **4.3 Hallien kokoonpanoliitokset**

Teräsrakenteisten liikuntapaikkojen ja myös muita tarkoituksia varten pystytettävien hallien kokoonpano tapahtuu nykyisin työmaalla lähes pelkästään pulttiliitoksien. Kantavien teräsrakenteiden työmaalla hitsaaminen on ainakin Suomessa vähentynyt oleellisesti sekä rakenneosien moduloimalla että tehdasvalmistuksen lisääntyessä. Nykyisin työmaalla hitsataan vain sekundäärirakenteiden liitoskappaleita ja betonielementtien vakioliitoksia.

Kantavat rakenneosat (pilarit ja palkit) varustellaan jo tehtaalla ja työmaalla ne pelkästään nostetaan paikalleen ja kiinnitetään toisiinsa pulteilla ja muttereilla. Työmaalla voidaan joskus joutua polttoteleikkaamaan rakenneosia esimerkiksi sovituseräselmien takia, mutta sekin tarve on vähenemässä sitä mukaa kun uudet tietotekniikkaan perustuvat suunnittelutyökalut (CAD, CAE) lisääntyvät.

### **4.3.1 Rakenteiden asentaminen**

Teräsrakenteet kootaan rakennuspaikalla erikokoisista elementeistä (rakenneosista), joiden esivalmistusaste saattaa vaihdella suuresti. Tyypillisiä teräsrakenneosia ovat teräs- tai liittopilarit tai niiden kokoonpantavat osat (max. pituus yleensä 12 m), palkit, jäykistävät rakenneosat, peruspulttiryhmät sekä ns. ei-kantavat tai kuorirakenteita tukevat kylmämuovattavat rakenneosat. Useissa tapauksissa esivalmistus on rajoittunut osien katkaisuun ja varusteluun (päätylevyt, jäykisteet, reiät tms.).

Hieman korkeampi esivalmistusaste on toteutettu mm. hallien katto- tai muissa ristikoiden osissa, jotka kootaan esim. suorakaide- ja neliöputkiprofiileista jo tehtaalla niin suuriksi kokonaisuuksiksi kuin kuljetuskoko sallii. Rakenneosien esivalmistus ja hitsaus tapahtuvat konepajoissa valvotuissa olosuhteissa. Nykyisin monilla konepajoilla on asianmukainen laatu-järjestelmä, jolla valvotaan rakenneosien valmistusta ja syntyvää laatua.

Esivalmistetut rakenneosat suojataan yleensä maalaamalla tehtaassa ennen kuljettamista rakennuspaikalle. Kuljetusta varten osat tulee pakata huolellisesti, etteivät ne tai niiden maali-pinta pääse vaurioitumaan kuljetuksen aikana.

Yksi teräsrakenteille tyypillinen piirre on niiden hoikkuus. Tämän takia rakenneosat pitää kuljetuksen ja siirtojen sekä työmaalla säilytyksen aikana tukea hyvin. Teräsrakenteiden suunnitteluohje B7 /7/ määrittelee, mitä tehdään rakennusosien laadun tarkistamiseksi työ-

maalla ennen asennusta (kohta 9, Rakenteiden valmistus ja asennus, ja kohta 11, Rakenteiden vaatimuksenmukaisuus). Sama koskee korjaavia toimenpiteitä tilanteissa, missä terästuotteen laadussa on havaittavissa puutteita (B7 /7/, kohta 11.4).

Rakenteiden ja rakenneosien asentaminen tehdään huolellisesti pätevän vastaavan teräsrakennetyönjohtajan (B7, kohta 1.2.3) johdolla siten, että rakenneosien liittäminen toisiinsa työmaalla tapahtuu lähes poikkeuksetta käyttäen ns. tavallisia pulttiliitoksia. Kitkaliitoksia käytetään lähinnä vain nosturiratapalkkien liitoksissa. Hitsausta pyritään työmaaolosuhteissa välttämään. Esimerkiksi suunnitteluvirheiden seurauksena hitsaukseen joudutaan joskus turvautumaan, kun työmaan töitä halutaan jatkaa nopeasti, esim. jostakin pienestä mittavirheestä riippumatta. Hitsauksen laatuvaatimukset ja laaduntarkastuksen suorittamisen ehdot ovat kuitenkin työmaalla täysin samat kuin tehtaassa. Teräsrakennettä joudutaan joskus mahdollisesti korjaamaan polttoleikkaamalla työmaaolosuhteissa.

Teräsrakenteiden suunnitteluohjeen B7 mukaan kantavien rakenteiden muutostyöt pitää aina hyväksyttää rakenteiden suunnittelijalla, tai menetellä projektin laatusuunnitelman mukaan. Sama koskee asennusaikaista suunnittelu- tai valmistusvirheiden korjaamista.

#### 4.3.2 Pulttiliitokset

Pulttiliitoksien valmistus tehdään yleensä koneellisesti. Suunnitteluohje B7 /7/ antaa taulukossa 9.1 ohjeet ja vaaditut arvot tavallisten pulttiliitosten kiristämiseksi, ja myös ohjeen pulttiliitosten lukitsemiseksi. Teräsrakenneyhdistyksen julkaisussa Teräsrakenteiden Suunnittelun uudet Pelisäännöt (TSP) /21/ on annettu lisää ohjeita ja myös työselostusmalli sekä pulttiliitoksen valmistamisesta että pulttien kiristämisestä ja lukitsemisesta. On huomattava, että tietyn kiristysmomentin vaatimus koskee myös ns. tavallisia pulttiliitoksia, eikä pelkästään kitkaliitoksia! On voitu havaita, että pulttien kiristäminen vaikeissa työolosuhteissa kuten keikkuvalla nostolavalla on melko hankalaa, ja tällöin pulttien kiinnipysyminen monesti unohdetaan varmistaa. Samoin on tutkimuksissa voitu todeta, että rakennustyöselityksissä ei useinkaan oteta kantaa kokoonpanoliitosten valmistamiseen ja lopulliseen kireyteen tai niiden käytön aikaiseen toimintaan.

Teräsrakenteiden moniruuviliitoksen suunnittelussa on tärkeitä määrittää kunkin yksittäisen pultin osakuorma liitoksen kokonaiskuormituksesta. Tämä tehtävä on vaikeampi kuin yleensä otaksutaan. Viimeaikaisissa tutkimuksissa on voitu todeta, että voiman jakautuminen eri pulteille riippuu hyvin monista liitettävien osien yksityiskohdista ja siksi liitokset ovat alttiita toimimaan hauraasti.

Puurakenteiden pultti- ja tappivaarnaliitoksissa kuormien jakautuminen liittimille on tasaisempaa, koska kuormitetun liitoksen muodonmuutokset ovat suurempia. Puurakenteilla liitinryhmien ongelmat johtuvat yleensä puun kosteuselämisestä tai rakenteellisesti virheellisesti muotoillusta liitoksesta aiheutuvista puun syitä vastaan kohtisuorista vetorasituksista, jotka voivat johtaa liitosalueen puun halkeamiseen ja liitoksen hauraaseen murtumiseen.

Pulttiliitos, johon vaikuttaa edestakaisin vaihteleva voima, vaurioituu helposti. Tällainen liike löystyttää liitoksen ja seurauksena saattaa olla pulttien murtuminen. Dynaamisesti kuormitetut liitokset pitää huolto-ohjeessa suunnitella tarkastettavaksi määrääjain.

Teräsrakenteiden pulttiliitoksen luotettavan toiminnan kannalta ratkaisevaa on riittävä, muttei liian suuri esikiristys. Riippumatta siitä, onko liitokseen kohdistuva kuormitus leikkausvoimaa, vetovoimaa, taivutus- tai vääntömomenttia tai joku niiden yhdistelmä, on esikiristys liitoksen mitoituksessa ja asennuksessa tärkeä. Esikiristys on tavallisen ruuviliitoksen ominaisuus! Mitä tarkemmin esikiristys voidaan suorittaa sitä kevyemmäksi ja halvemmaksi liitos voidaan tehdä. Toisaalta esikiristysmenetelmät ovat sitä kalliimpia mitä tarkempia ne ovat. Moniruuvisissa liitoksissa, varsinkin niissä, joissa on tiiviysvaatimus, on välttämätöntä, että pultit kiristetään tasaisesti. Tämä edellyttää, että ne kiristetään samanaikaisesti tai ainakin mahdollisimman symmetrisesti.

Kiristysmenetelmän valinnassa kannattaa ottaa huomioon se, että käsityökaluilla (lenkkiavain tms.) ruuveja kiristettäessä tulevat likimäärin oikein kiristetyiksi vain kokojen M10 ja M12 ruuvit. Tätä pienemmät pultit kiristetään tavanomaisessa konepajakäytännössä yleensä liian tiukalle, ja suuremmat ruuvit taas jäävät liian löysälle.

Jotta ruuviliitos kantaisi siihen kohdistuvat kuormitukset luotettavasti, liitoksen on säilytettävä riittävä kireys koko suunnitellun käyttöikänsä.

Esijännitetty ruuviliitos voi **kiertyä auki**. Auki kiertymistä vastustaa kitkamomentti. Niin kauan kuin se pysyy suurempana kuin auki kiertävä vääntömomentti, liitos pysyy kiinni. Riittävän kitkamomentin säilyttäminen kaikissa ruuvien käyttöolosuhteissa on siis liitoksen kiinnipysymisen edellytys. Ruuviliitoksen auki kiertymistä helpottavat kaikki ne tekijät, jotka pienentävät tehollista kitkamomenttia kierteessä tai mutterin ja kannan alla. Yleisin tehollisen kitkamomentin pienenemisen syy on liitoksen osien värähtely. Sen aiheuttaa liitoksen kohdistuva vaihtuva voima (esim. tuulisiteiden liitoksissa). Pahin on sellainen ruuveja vastaan kohtisuora poikittaisvoima (esim. tuulisiteiden liitokset), joka on edestakainen ja jonka suuruus ylittää liitoksen kitkavoiman. Tällöin liitoksen osat pääsevät liukumaan toistensa suhteen, ja toistuva liike löystyttää liitoksen.

Toisin kuin eräissä ohjeissa /35/ on mainittu, pultin kierteiden rikkominen ei estä mutterin löystymistä vaikka estääkin sen auki kiertymisen. Niissä tapauksissa, missä pulttien esikiristuksen säilyminen on tärkeää, kuten kattoristikoiden alapaarteiden jatkokset, kierteiden rikkominen ei ole riittävä ehto liitoksen toimivuuden säilymiselle.

#### 4.4 Jatkuvan sortuman estäminen

Kohdassa 3.2.2 mainitut suunnitteluperiaatteet koskien rakenteiden sitkeää käyttäytymistä voidaan ymmärtää koskevan paitsi yksittäistä rakenneosaa tai liitosta, myös koko rakennetta. Usein käytetään termiä **jatkuva sortuma** kuvaamaan tilannetta, missä rakenteen yhden osan myötääminen tai sortuma aiheuttaa jatkuvan vaurioitumis- ja sortumisilmiön (kuva 21, kohta 6.2). Tämä ilmiö pitää suunnitteluohjeiden mukaan estää. Se on yhteydessä ns. jatkuviin rakenteisiin. Jos rakenteista tehdään jatkuvia esimerkiksi rakenteiden paremman ljuusteknisen hyväksikäyttöasteen johdosta, on vaarana, että riski jatkuvalla sortumalla kasvaa. Jos rakenteissa ei ole jatkuvuutta, yksittäisten rakenneosien valmistus- ja materiaalliviat korostuvat, ja rakenteessa voi helpommin tapahtua paikallisia sortumia.

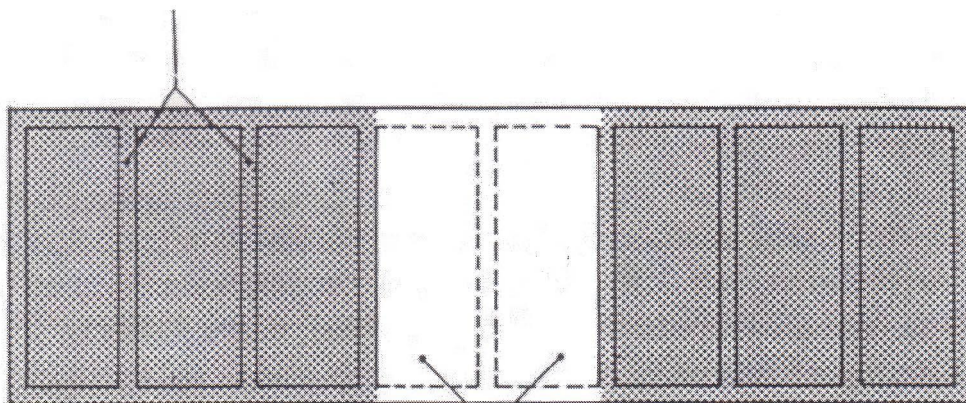
Suunnitteluohjeen B7 /7/ mukaan rakennesuunnittelussa pitää pyrkiä siihen, ettei jatkuvaa sortumaa aiheudu yhden rakenneosan paikallisesti vaurioituessa, vaan kuormat pystyvät jakautumaan uudelleen. Puurakenteiden suunnitteluohjeissa B10 /23/ ei ole esitetty vastaavaa

vaatimusta, mutta Eurocode 5:een (RIL 205-1997) /24/ se sisältyy. Teräsrakenteiden Eurocode 3:ssa /8/ siihen viitataan luvussa 2 rakenneteknisenä peruseriaatteena, jonka mukaan rakenneosan menettäessä kantavuutensa sen kantamien voimien tule voida jakautua rakenteessa uudelleen. Jatkovaa sortumaa ei suomalaisissa suunnitteluohjeissa käsitellä paitsi betonirakenteiden osalta ohjeessa B4 kohdissa 2.6.1.2.2-3 /14/, missä kehoitetaan ankkuroimaan elementit toisiinsa, että esimerkiksi palkki ei voi pudota tueltaan.

Käytännössä jatkuvan sortuman kestävyys vaatimus tarkoittaa sitä, että esimerkiksi monikerroksisen rakennuksen pitää edelleen pysyä pystyssä vaikka siitä esim. kolarin tai paikallisen tulipalon takia yksi kantava pilari menettäisi kantokykynsä kokonaan. Muodonmuutoksia ei tällaisissa tapauksissa pyritä rajaamaan, kunhan koko rakenne ei sorru. Mitoitusperiaate tunnetaan nimellä “fail-safe”. Se tarkoittaa rakenteen mitoitusta siten, että paikallinen vaurio ei voi edetä rakenteessa /32/. Kuormat, joista voi moitteettomaankin rakenteeseen aiheutua paikallinen vaurio, ovat tyypillisesti poikkeuksellisia (niin suuruutensa kuin kuormitusnopeudenkin osalta) tai katastrofiluonteisia, kuten esim. törmäys tai räjähdys. On myös ennakoimattomia tapauksia, joissa ei vaikuta ns. onnettomuuskuormaa.

Ruotsalaisessa suunnitteluohjeessa “Svensk Byggnorm” /13/, oli jatkovaa sortumaa koskevat ohjeet rajattu koskemaan vain tunnettuja onnettomuuskuormia sekä sellaisia rakennuksia, joissa saattaa samalla hetkellä olla runsaasti ihmisiä. Hallirakenteissa ns. primäärivahingon (pahasti vaurioitunut alue) vaikutusalaa on SBN:ssä rajoitettu siten, että se on enintään kahden kehävälän suuruinen (kuva 18, vaurioituneen kehän viereiset välit). Vastaava ohje löytyy nykyisin Eurocode:sta.

Kehät ja/tai kattoristikot



varsinainen sortumakohta  
ja siihen liittyvä alue

**Kuva 18.** Jatkuvan sortuman rajaus Ruotsin normien mukaan /13/.

Ajoneuvojen (esim. jääkone) törmäysten mahdollisuus lienee nykyisin vähenevä, koska ajoneuvojen törmäyksenestojärjestelmiä kehitetään jatkuvasti ja sellaisia on jo käytössä. Usein rakenteilla on suuri taipumus jatkuvaan sortumaan työn aikana, kun jäykistys ja stabilointi saattavat olla väliaikaisten ratkaisujen varassa. Oleellista on tällöin, ettei työnaikaisia tukia poisteta liian aikaisin, koska tukemattomalla rakenteella ei välttämättä ole vielä riittävää jäykkyyttä tai kestävyyttä edes oman painon kantamiseen.

## 5 TERÄSRAKENTEIDEN HITS AUSLIITOKSET

### 5.1 Hitsiliitosten suunnittelu ja valmistaminen

Suomessa teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoittaminen voidaan tehdä joko Suomen rakentamismääräyskokoelman (RakMK) määräysten ja ohjeiden mukaisesti tai soveltamalla EU:ssa voimassa olevia Eurocode-ohjeita. Käytännössä RakMK:n ohjeissa ei ole hitsausliitosten mitoitusohjeita vaan viittaukset sovellettaviin standardeihin, kuten SFS2373 /4/.

Suomen Rakentamismääräyskokoelman ohjeessa B7 (/7/ Teräsrakenteet, ohjeet 1996) on luvussa 9 käsitelty rakenteiden valmistusta ja luvussa 11 rakenteiden vaatimuksenmukaisuutta, ja esitetty, että teräsrakenteiden suunnitteluasiakirjojen tulee sisältää toteutusta varten rakenteen koko-, geometria- ja rakenneainetietojen lisäksi laatuvaatimukset valmistukselle ja asennustyön tulokselle siten, että toteuttajalla on tarvittavat perusteet laatusuunnitelman laatimiselle (kohta 1.3.2). Suunnittelijalla on valta ja vastuu siitä, että rakenteiden suunnittelu on tehty ohjeiden mukaan. Eri vauriotapauksista on kuitenkin voitu havaita, että suunnittelijan valta ja vastuu on ulottunut vain dokumenttien tekemiseen, ja valmistus on sen jälkeen tapahtunut lähes kokonaan suunnittelijasta riippumatta.

Ohjeiden mukaan suunnittelijan vallan ja vastuun pitää ulottua pitemmälle. Ohjeen B7 kohdan 1.3.2 mukaan teräsrakenteiden piirustuksissa tai suunnittelijan hyväksymässä projektieritelmässä esitetään hitsauksesta vähintään:

- hitsiluokka /30/,
- hitsien hyväksikäyttöaste niistä hitseistä, joissa se ylittää arvon 0.5,
- aineiden ja tarvikkeiden laatu,
- rakenteiden mitat, muoto ja sallitut mittapoikkeamat,
- muut tarpeelliset tiedot kuten esimerkiksi:
  - väsytkuormitetun rakenteen valmistusta koskevat erityisvaatimukset,
  - lamellirepeilyvaaralle alttiiksi joutuvien aineiden hankintaa koskevat erityisvaatimukset (esimerkiksi tilataan materiaalia, jolle taataan sitkeyttä sen paksuussuunnassa, ns. Z-laatuja),
- tarve erillisen laatusuunnitelman laatimisesta toteuttajalta, jonka sisäinen laadunvalvonta ei ole hyväksytyn tarkastuslaitoksen jatkuvassa valvonnassa.

Hitsausliitosten valmistus pitää standardin SFS 2373 /4/ mukaan tapahtua yhteisymmärryksessä suunnittelijan kanssa. Standardi ei kuitenkaan kerro kuinka sen käytännössä pitää tapahtua. Tätä standardin kohtaa on toteutettu esimerkiksi siten, että konepaja kertoo suunnittelijalle minkälaisille rakenneratkaisuille konepajan laitekanta soveltuu parhaiten.

Hitsauksen laadunhallinnasta on olemassa standardeja, joiden mukaan toimimalla hitsausliitoksista tulee kelvollisia ja varmuudeltaan riittäviä. Kyseisten standardien mukaiset toi-

mintatavat ovat laajassa käytössä muun muassa paineastioiden ja teollisuuden laitteistojen valmistuksessa. Niiden tavoin toimivat käytännöt tulee ottaa järjestelmälliseen käyttöön myös rakennusalalla. Hitsauksen kelpoisuuden selvittämismenettelyä on selvitetty ja tarkennettu uudessa Teräsrakenneyhdistyksen ja toimialan itsensä laatimassa Teräsnormikortissa N:o 18/2005 (/19/, Hitsausliitosten laadunvarmistus ohjeiden B7 mukaan).

Tarkemmin standardeissa esitetyt toimintatavat ja laadunhallintaan välttämättä tarvittavat asiakirjat ja niiden edellyttämät toimenpiteet tulee esittää siten, että hitsaustyön teettäjät ja tekijät osaavat toimia standardien vaatimalla tavalla.

Oleelliset vaatimukset hitsauksen osalta ovat:

1. Kyseistä hitsattavaa työtä varten pitää laatia hitsausohjeet (WPS), jotka on tehty esimerkiksi menetelmäkokeen perusteella. Menetelmäkokeessa hitsaustavan ja -arvojen soveltuvuus kokeillaan koehitsin avulla. Kun kokeellisesti on todettu tietyllä tavalla syntyvän onnistunut hitsi, parametrit merkitään hitsausohjeeseen ja lopulliset hitsit tehdään samalla tavalla. Hitsausohjeen hyväksyy siihen tarvittavan pätevyyden omaava henkilö.
2. Hitsaajalla pitää olla voimassa oleva pätevyys eli tuotantoa vastaavissa olosuhteissa suoritettu hitsauskoe sekä mielellään myös todistus tietuopolisen kokeen suorittamisesta. Pätevyyden pitää koskea juuri valmistettavan tuotteen hitsausohjeen mukaista suoritustapaa.
3. Hitsaustyöstä pidetään hitsaustyöpöytäkirjaa, josta on mahdollista todeta, että työ on todella tehty hitsausohjeiden mukaisesti. Pöytäkirjaa pidetään myös hitsien silmämääräisestä ja muusta ainetta rikkomattomasta testauksesta.

Turvallisuuden varmistamiseksi rakennuttajan pitää huolehtia, että vaatimusten täytyminen tulee tarkistettua rakentamisorganisaatiossa ennen rakenneosien asennusta. Jollei voida varmistaa, että hitsaustyö on tehty vaaditulla tavalla, hitsausliitoksiin sisältyy riskejä eikä niitä voida ennen lisätarkastuksia ottaa käyttöön.

## 5.2 Hitsausliitosten mitoittaminen

Hitsien mitoittamista varten tehdään kolme perusoletusta (ESDEP-koulutusmateriaali / Teräsrakenneyhdistyksen web-sivut):

1. Hitsit ovat homogeenisiä ja isotrooppisia.
2. Hitseillä liitettävät osat ovat jäykkiä ja muodonmuutoksia ei oteta huomioon.
3. Vain ulkoisista kuormista aiheutuvia nimellisjännityksiä tarkastellaan. Jännösjännityksien, jännityskeskittymien ja hitsien muototekijöiden vaikutusta ei oteta huomioon staattisessa mitoituksessa.

Edellä olevan mukaisesti hitsausliitoksessa vaikuttava voima jaetaan tarkasteluja varten komponentteihinsa hitsin pituusakselin suuntaan ( $\parallel$ ) ja sitä vastaan kohtisuoraan ( $\perp$ ) suuntaan sekä hitsin poikkileikkaustasossa ja sitä vastaan kohtisuoraan suuntaan (kuva 1). Vastaavat jännitykset ovat:

$\sigma_{\perp} = F_{\sigma_{\perp}} / (al) = F_{Sd} / (al\sqrt{2})$  on (vakio) normaalijännitys hitsin laskentapoikkipinnassa,

$\tau_{\perp} = F_{\tau_{\perp}} / (al) = F_{Sd} / (al\sqrt{2})$  on (vakio) leikkausjännitys hitsin laskentapoikkipinnassa kohtisuoraan hitsin pituussuuntaa vastaan,

$\tau_{\parallel} = F_{\tau_{\parallel}} / (al) = V_{Sd} / (al)$  on (vakio) leikkausjännitys hitsin laskentapoikkipinnassa hitsin pituussuuntaan.

Jännityskomponentti  $\sigma_{\parallel}$  on hitsin suuntainen normaalijännitys hitsin poikkileikkauksessa.

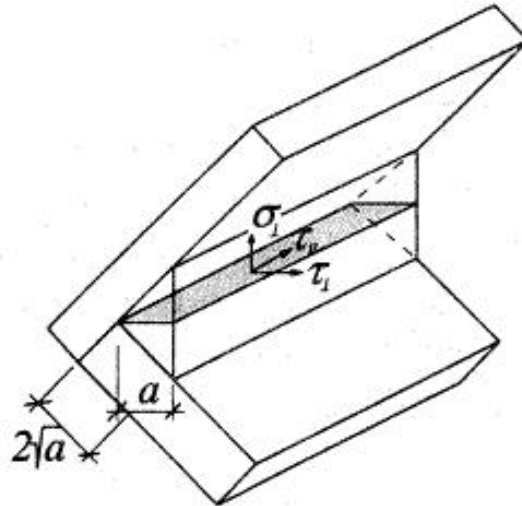
Normaalijännitystä  $\sigma_{\parallel}$  ei oteta huomioon, koska hitsin ko. kuormitusta vastaavan poikkileikkauskolmion pinta-ala on yleensä hyvin pieni, ja tällä komponentilla on siten häviävän pieni vaikutus muihin komponentteihin verrattuna.

Hitsin on täytettävä seuraavat ehdot:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2 + 3\tau_{\parallel}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} \quad (2)$$

$$\sigma_{\perp} \leq 0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} \quad (3)$$

Edellä olevat oletukset merkitsevät sitä, että hitseissä oletetaan **vaikuttavan tasainen (vakio) jännitys- ja muodonmuutostila koko hitsin pituudella** (kuva 19). Todellisuudessa jännityskeskittymät ja jäännösjännitykset voivat vaikuttaa siten että hitsissä paikallisesti saavutetaan myötöraja. Materiaalin sitkeydestä johtuen hitsissä tapahtuu kuitenkin jännityksien uudelleenjakautumista materiaalin plastisoitumisen myötä.



**Kuva 19.** Hitsausliitoksessa vaikuttavat jännityskomponentit.

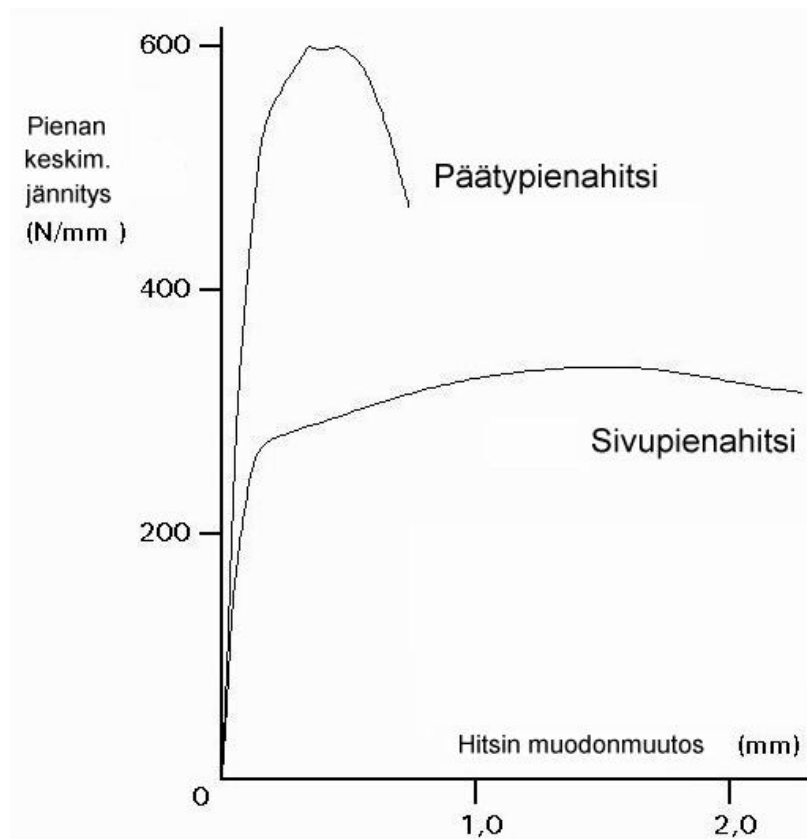
Uudelleenjakautumista voi tapahtua myös hitsin ulkoisen kuorman vuoksi. Plastisuusteorian mukaan lopullinen jännitysjakautuma on edullisin, kun myötöraja saavutetaan koko hitsin pituudella. Hitsivirheiden määrää ja laatua on rajoitettu standardissa SFS 2373 siten, että hitsien virheiden ollessa nykyisen standardin SFS-EN 25817 (Terästen kaarihitsaus. Hitsi-

luokat) määrittelemässä rajoissa, hitsi pystyy toimimaan (plastisoitumaan) koko pituudeltaan. Lähdeluettelossa on mainittu aiempi standardiversio SFS-EN ISO 5817 /34/.

Mikäli jokin edellä luetelluista jännitystermeistä muuttuu hitsin pituuden matkalla, eo. kaavoja (2-3) on kuitenkin mahdollista käyttää paikallisesti, mikäli liittyvien osien muodonmuutokset hitsin kohdalla ovat rajallisia, ja jos jännitystilaa hitsissä voidaan pitää lineaarisena, eikä muodonmuutoksista aiheudu hallitsemattomia jännityshuippuja.

Tyypillisiä sellaisia rakennekohtia, missä edellä oleva periaate saattaa rikkoontua, löytyy putkipalkkien liitoksista, missä esimerkiksi palkin sivuille hitsattavien varusteluosien hitsien laskentakaavoja löytyy vain keskeisesti kiinnitettäville osille!

Hitsausliitoksen eri jännityskomponenteilla on rakenteiden vaurioitumisen ja sortumisen suhteen oleellinen ero. Ei ole ollenkaan yhdentekevää kuinka liitosrakente suunnitellaan, koska voiman suuntaiset esim. sivupienahitsit toimivat huomattavasti sitkeämmin kuin kuormitusta vastaan kohtisuorat päätypienahitsit (kuva 20), missä plastisoituminen joutuu tapahtumaan hyvin lyhyellä matkalla.



**Kuva 20.** Pienahitsien kuormitus-muodonmuutoskäyttäytyminen.



### 5.3 Hitsausliitosten ainetta rikkomattomat tarkastusmenetelmät

Hitsausliitosten yleisimmät ainetta rikkomattomat tarkastusmenetelmät ovat radiograafinen kuvaus, ultraäänitarkastus, magneettijauh tarkastus, tunkeumanestetarkastus ja silmämääräinen tarkastus. Ne soveltuvat eri tarkoituksiin, ja siksi käytännössä tulee usein käyttää useampia tarkastusmenetelmiä, joista toisilla löydetään vain hitsausliitosten pinnassa olevia vikoja ja toisilla syvemmällä olevia näkymättömiä vikoja.

Teräsrakenteiden suunnittelussa lähes 80 % kaikista hitseistä on pienahitsejä, joiden erityisesti syvemmällä olevien mahdollisten vikojen tarkastaminen ainetta rikkomattomilla menetelmillä on vaikeaa tai mahdotonta. Siksi erityisesti kuormaa siirtävien primäärirakennelmenttien välisissä kokoonpanoliitoksissa esiintyvien pienahitsien valmistuksen laadunvarmistus (WPS ja menetelmäkoe) tulee suunnitella ja toteuttaa huolellisesti. Tarkastamiseen liittyvien puuttuvien mahdollisuuksien takia on sanottu, että pienahitsi on kaikin keinoin vaikein hitsi valmistaa.

Staattisesti kuormitettujen hitsausliitosten muotoilusta ja suunnittelusta on tässä projektissa laadittu ohje, jonka käsittelemät asiat perustuvat vuoden 2003 vaurioselvityksissä havaittuihin suunnittelun laatuutteisiin /39/.

## 6 ENNAKOIMATTOMAN RISKIN ANALYSOINTI

Riskianalyysiä on käytetty rakennusalalla perinteisesti erilaisten suunnitteluohjeiden laatimisessa. Esimerkiksi osavarmuuskertoimiin perustuvissa suunnitteluohjeissa materiaalien ja kuormien osavarmuuskertoimet on määritetty kyseisiin suureisiin liittyvien vaihtelujen perusteella, ja koko rakennesuunnittelu perustuu siihen, että materiaaliominaisuudet ylittävät tietyllä varmuudella nimelliset mitoituksessa käytettävät arvonsa.

### 6.1 Vaativat rakennuskohteet

Vaativissa kohteissa suunnittelun sisältö- tai laatuvaatimus kasvaa. Toisin kuin kuvitellaan, suunnitteluohjeet eivät käsittele asioita samalla vaatimustasolla, kuin asia on esitetty esimerkiksi Maankäyttö- ja rakennusasetuksen (MRA) 50 pykälässä koskien rakennuksen olennaisia teknisiä vaatimuksia. Suunnittelusopimuksissa mainitaan usein noudatettavat suunnitteluohjeet tiettyinä vaatimuksina koskien suunnitelmien laatutasoa tai kelpoisuutta. Ne ovat kuitenkin huonoja sopimusreferenssejä siksi, että

- a) Suomen RakMK:ssa olevat suunnitteluohjeet eivät ole velvoittavia, ja
- b) suunnitteluohjeet eivät automaattisesti kata kaikkia Maankäyttö- ja rakennusasetuksessa mainittuja olennaisia teknisiä vaatimuksia, ja
- c) suunnitteluohjeissa voi aina olla puutteita, koska aina tulee uusia tuotteita ja rakenteita,
- d) ohjeiden puutteet koskevat erityisesti rakenneosien yhdistelmiä!

On myös havaittu, että rakentajat eivät aina koe rakennesuunnitelmien sitovan heitä /1/, vaan työmaalla saatetaan poiketa suunnitelmista kertomatta siitä suunnittelijalle. Voidaan ostaa "lähes vastaavia" tuotteita, tai tehdä itse korvaavaa suunnittelua, jolloin kokonaisuuden hallinta pettää /12, 27, 28/. Esimerkiksi, monissa vaurioituneissa puurakennekohteissa oli työmaalla tehty päätös jättää pois jäykistäviä puurakenneseosia, kun ei oltu ymmärretty niiden tarkoitusta, "eikä niin oltu tehty ennenkään". Vaatimustenmukaisuuden toteaminen kuten lähes kaikki muukin laadun toteaminen jää käytännössä lopulta rakennuttajan itsensä huoleksi. Se voi onnistua vain, jos toimitusketju saadaan sitoutettua tuottamaan vaadittua laatua ja valvonta on tehokasta. Toistaiseksi kantavien rakenteiden laadunvarmistus on kuitenkin mahdollista vain koskien yksittäisiä tuotteita.

Vaativissa rakennuskohteissa on tapahtunut vaurioita ja sortumia, joihin on löytynyt myös merkittäviä teknisiä syitä /1/. Vaurioiden takana on ollut sekä suuria lumikuormia että myös selviä oleellisia suunnittelu- ja valmistusvirheitä, jotka liittyvät esimerkiksi pitkiin jänneväleihin tms. Pelkkä ylisuuri kuormitus ei selitä yhtäkään tapahtunutta sortumaa.

Uusi EUROCODE, draft PrEN 1991-1-7:2004, Eurocode 1 - Actions on structures, Part 1-7: General Actions - Accidental actions /5/, on nyt tuomassa muutoksia rakennesuunnitteluun koskien onnettomuuskuormia ja erityisesti koskien muita ennakoimattomia tapahtumia. Ohje koskee vaativien rakenteiden suunnittelua, ja kohteet luokitellaan mahdollisen onnettomuuden seuraamusten mukaan. Korkeimman seuraamusluokan rakenteille vaaditaan teh-

täväksi riskianalyysi. Ohje esittää myös sovellettavat menetelmät rakennusvaurioiden torjumiseksi, jatkuvan sortuman estämiseksi ja onnettomuuden seurausten vähentämiseksi.

## 6.2 Ennakoimattomat tapahtumat ja onnettomuudet

Kaikki tunnetut onnettomuustilanteet ja tapahtumat, joiden tapahtumaketjut tunnetaan kohdullisen hyvin (tulipalo-, törmäys-, räjähdys-, tulva-, maanvyörymä- tai seisminen kuormitus tms.), ovat rakenteiden suunnittelussa erikoiskuormitustapauksia. Onnettomuuskuormitusten arvioimista varten on laadittu ohjeita ja rakenteiden mitoittamiseksi on laadittu sopivia toiminnallisia ohjeita ja mitoituskriteereitä.

Suunnitteluohjeiden tekijän lähestymistapa on tunnettujen onnettomuuskuormien osalta sellainen, että kuormituskertoimet pyritään valitsemaan valittavan riskiensietotason mukaisesti. Riskin suuruus valitaan siis esimerkiksi eo. taulukon 8 tai maanjäristystapauksessa kuvan 9 mukaisesti. Onnettomuuskuormien suhteen normien lähtökohta on siis toisenlainen, kuin rakenteiden normaalien kuormitustapausten suhteen. Normaalikuormituksissa käytetään rakenteiden kestävyyksien ja rasituksen laskennassa yksikäsitteisiä osavarmuus-kertoimia, jotka jo sisältävät hyväksyttävä riskitason.

Tunnetunkaan onnettomuuskuormituksen suuruutta ei kuitenkaan tiedetä etukäteen. Tiedetään vain todennäköisyyksiä erikokoisille tapahtumille tai niiden esiintymistäajuuksille, koska sellaisia on sattunut ennenkin. Kuormitus on kuitenkin määräävä tekijä kantavien rakenteiden mitoittamisessa. Tällöin riskianalyysiä tarvitaan erityisesti suunnitteluvaatimusten laatimiseksi sen mukaiseksi, kuinka kestäväksi (mihin riskiluokkaan) talo pitää rakentaa verrattuna mahdollisesta onnettomuudesta aiheutuviin henkilövahinkoihin, tai rakennuksen ja laitteiden vaurioitumiseen tai prosessin keskeytymiseen. Tunnettujen onnettomuuskuormien osalta riskianalyysiä ei yleensä tehdä kohdekohtaisesti, koska niiden osalta rakennus voidaan luokitella, ja määritellä kuormituskertoimet sen mukaisesti.

Ennakoimattomia onnettomuuksia tapahtuu kuitenkin ilman ulkoista syytä, ja niistä saattaa aiheutua sortuma tai muu rakennevaurio. Niistä ei ole mitään tilastotietoa, joten niiden kokonaisriskiäkään ei voi etukäteen määritellä. Ennakoimattomilla tapahtumilla on myös yhteisenä piirteenä se, että tapahtuman intensiteetillä tai todennäköisyydellä, ja sen seurauksilla ei ole välttämättä mitään suoraa korrelaatiota. Niihin ei suoraan liity mitään erikoiskuormaakaan, ellei sellaiseksi lasketa mitoituskuormaa tai pientä ylikuormaa.

Pienestäkin kuormasta saattaa suunnitteluvirheen seurauksena aiheutua helposti koko rakennuksen sortuminen, jos rakenteiden varmuus ei ole riittävä, ja vaurio voi siis tapahtua vaikka mitoituskuormaa ei ylitetä. Vuoden 2003 rakenteiden sortumia ja vaurioita tutkittaessa voitiin todeta, että ne kaikki olivat ennakoimattomia yksittäisiä tapahtumia, ja vaurioihin oli samanaikaisesti vaikuttanut useita eri tekijöitä /1/.

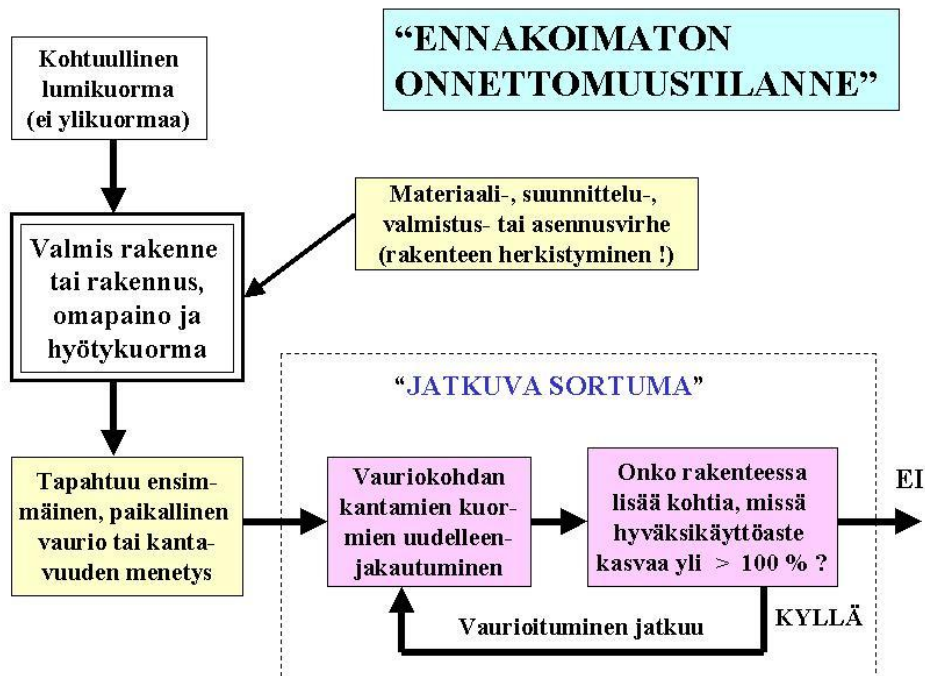
Suunnitteluohjeiden mukaisia ratkaisuja pitää arvioida kriittisesti, koska kuormat saattavat ylittää mitoitusarvonsa, rakenteisiin voi kohdistua ennakoimattomia onnettomuuskuormia, rakennuksen käyttötapa tai -tarkoitus voi muuttua, tai koska rakenteiden tai materiaalien ominaisuudet on voitu valita väärin ja materiaalien ominaisuudet muuttuvat ajan suhteen enemmän kuin on arvioitu. Kaikissa näissä ja muissa huonosti ennakoitavissa tapauksissa rakenteiden kestävyys ja/tai turvallisuus voi olla vaadittua huonompi, vaikka rakenteet on

suunniteltu määräysten ja ohjeiden mukaisesti ja jopa käyttäen parasta mahdollista muuta tietoutta.

Rakenteiden suojaamiseksi ennakoimattomilta onnettomuuksilta ei ole voitu tai haluttu ta-pauskohtaisesti kasvattaa kuormien osavarmuuskertoimia, koska yhtäkään aiemmista onnet-tomuuksista ei pystytty selittämään pelkällä ylikuormalla. Myöskään suunnitteluohjeiden puutteet tai virheet eivät selittäneet tapahtumia.

Kun kaikkien kantavien rakenteiden suunnittelussa käytetään samoja osavarmuuskertoimia, kaikki rakenteet ja niiden osat suunnitellaan käytännössä suhteellisesti yhtä vahvoiksi. Täl-löin vaurioituminen voi teoriassa tapahtua yhtä suurella todennäköisyydellä missä tahansa kohdassa. Tämän perusteella joitakin liitoksia tai rakenneosia ei voi luokitella helpommin vaurioituviksi kuin toisia osia.

Jonkin osan tai kohdan vaurioitumisvaara tai sen todennäköisyys voidaan kyllä luokitella sil-lä perusteella, mikä on rakenteen kestävyuden hyväksikäyttöaste (=  $100 * \text{kuormi-tus/kestävyys}$ ) eri kohdissa. Tällainen luokittelu ei kerro, mistä rakenne voi sortua. Kuiten-kin, mitä lähempänä jonkin kohdan hyväksikäyttöaste on 100 %:ia, sitä pienempi on kysei-sen kohdan oletettu varmuusvara, ja sitä todennäköisempää on, että kyseinen jopa täysin virheetön kohta vaurioituu onnettomuustilanteessa seurauksena jossakin muualla tapahtu-neesta ennakoimattomasta ensimmäisestä vauriosta (kuva 21), jonka syynä tai katalysaatto-rina voi olla materiaali-, suunnittelu- tai asennusvirhe tms.



**Kuva 21.** Jatkuvan sortuman mekanismi. Jatkuva sortuminen tapahtuu, jos rakenteessa ei ole käytännön kapasiteettia tai mahdollisuutta kuormitusten uudelleen jakautumiseen.

Kuvan 21 mukaisesti, jatkuvan sortuman voi aiheuttaa rajallinen ulkoinen kuormitus jos rakenteessa on jokin "herkkyys" tai vika, minkä takia siihen syntyy ensimmäinen vaurio.

Luonnonkuormien suunnista ja yleensä vähäisistä määristä, verrattuna laskennallisiin mitoituskormiin johtuu, että rakenne saattaa selvitä pitkäänkin, vaikka siinä olisi jokin vika. Lopulta rakenteessa saavutetaan tilanne, että jokin kohta vaurioituu. Tällöin siinä kohdassa vaikuttaneet kuormitukset pyrkivät statiikan sääntöjen mukaan siirtymään ja jakautumaan rakenteessa muualle. Muiden kohtien rasitusten lisääntyessä ne rakenteen kohdat, joissa ei ole varakapasiteettia, voivat saavuttaa suurimman mahdollisen hyväksikäyttöasteensa, ja jos niissä ei ole sitkeyttä, ne saattavat edelleen laajentaa sortumaa.

Jatkuvan sortuman liikkeellelähtö ja laajeneminen ovat ilmiötä, jotka pitää erityisesti välttää. Siksi riskianalyyssissä fokus tulee kohdistaa niihin rakenteen riskialteimpiin kohtiin, joilla on huonot sitkeysominaisuudet. Jos jokin rakenteen osa menettää kokonaan aiemmankin kapasiteettinsa sen jälkeen kun siinä saavutetaan kohdan rakenteellinen kestävyys (kuvat 13b ja 20), suuri määrä muodonmuutosenergiaa joutuu jakautumaan rakenteessa uudelleen ja voi syntyä jatkuva sortuminen.

Rakenteiden kohdekohtaiseen riskianalyyssiin on käytettävissä kolme erilaista tietolähdettä:

- 1) mukanaolevien tahojen oma asiantuntemus ja kokemus, jolla voidaan kehittää erityisesti osapuolten tiedonvälitystä ja määrittellä tarkemmin urakkarajapinnan ylittäviä tietoja, jotta eri tehtävissä on käytettävissä tarvittavat tiedot rakenteesta,
- 2) tiedot aiemmista AA-kohteissa tapahtuneista vaurioista ja sortumista sekä niihin johtaneista syistä, jota listaa voidaan verrata kyseiseen rakennuskohteeseen ja päättää, onko ko. kohteessa samanlaisia yksityiskohtia,
- 3) suunnittelusta saatava lista rakenneosien, liitososien, detaljien ja liitoskohtien kestävyys- ja hyväksikäyttöasteista.

Kaikkiin erilaisiin ennakoimattomiin onnettomuuksiin ja suunnitteluvirheisiin sisältyy mitättömän pieni tapahtumistodennäköisyys, koska täysin samanlaisia tapahtumia ei ole juuri ollut. Rakennevaurion tai sortuman kokonaisriski (= tapahtuman todennäköisyys x seurausten kustannus) on niissä kuitenkin melko suuri sen takia, että pienestä virheestä aiheutuva ennakoimaton vaurio voi tapahtua yhtäkkisesti ja se saattaa muista syistä laajeta nopeasti, jolloin erityisesti AA-kohteissa tulee helposti henkilövahinkoja.

Rakennesortumien äkillisyydestä johtuen on katsottu, että niiden estämiseksi pitää tehdä kohdekohtainen riskianalyysi, jossa hyödynnetään konkreettisesti kaikki saatavilla oleva kokemus ja tieto, ja parannetaan suunnitelmien ja ko. rakenteiden toimivuutta sortumien estämiseksi. Kohdekohtaisen riskianalyyssin suorittamiseksi on tässä projektissa muokattu ns. PORA-menetelmä /36/.

### 6.3 PORA - Riskienhallintamenetelmä

Potentiaalisten rakennevaurioiden analyysissä (PORA /36/) on useita vaiheita. Analyysi laaditaan Workshop-tekniikalla vastuullisen vetäjän johdolla. Sen laajuus riippuu kohteen

koosta, rakentamisen osapuolien lukumääristä, kuten myös muusta toimintaympäristöstä. Merkittävissä kohteissa saatetaan joutua pitämään useampia analyysikokouksia, esimerkiksi tuoteosittain. Analyysin vaiheet A-D on esitetty taulukossa 10.

Riskianalyysiä ei pidä yrittää tehdä tavanomaisessa työmaa- tai muussa projektikokouksessa, missä puidaan muita päivän polttavia asioita.

**Riskianalyysin tuloksena saadaan** loppuraportti, sekä parannetut rakennesuunnitelmat, jotka parhaaseen käytettävissä olevaan kokemuseräiseen tietoon perustuen sisältävät vain hyväksyttävän riskitason (vrt. RakMK:n määräykset ja ohjeet) omaavia tarkastettuja rakennatarkastuksia, joiden valmistuksen laadun tarkastusta varten on tarpeen mukaan kehitetty kohdekohtaisia toimenpiteitä. Riskianalyysissä kehitetään samalla valvontatoimet kyseisten valmistuksen tai asennuksen suhteen kriittisiä työvaiheita varten sekä koskien rakennustuotteiden vaihtamista toisiin tai koskien toimenpiteitä kun tavataan tuotteita, joiden laatu on puutteellinen, tai joiden laatua epäillään.

**Taulukko 10.** *PORA:n, POTentiaalisten Rakennevaurioiden Analyysin vaiheet*

<b>A. Häiriöiden ja vaarojen tunnistaminen aivoriivissä</b>	<b>Osa 1, hiljainen aivoriivi</b> Ideointilomakkeen ja avainsanojen käyttö Kiinnitetään erityistä huomiota merkittäviin teknisiin ja/tai rakentamisprosessiin liittyviin virheen tai vaaran lähteisiin ja kohtiin, sekä seurauksiltaan vakaviin vaaroihin <b>Osa 2, keskustelumuotoinen aivoriivi</b> Järjestelmällinen eteneminen rakenteittain ja rasiuksittain (esimerkiksi tarkasteltavan rakennuskokonaisuuden mukaan) TULOSTE: Vaaraluettelo
<b>B. Häiriöiden ja vaarojen arviointi</b>	<b>Osa 1, jatkokäsittelyjen vaarojen valinta</b> Kohdekohtaiset rakennetekniset uutuudet ja erot aiempiin vastaaviin kohteisiin. Esille tulleiden rakenteellisten erojen ja vaaraluettelon vaarojen vertailu <b>tarkistuslistaan</b> . Suunnittelijan toimittaman hyväksikäyttöaste -analyysin tarkistus ja siinä esille tulevien vaaraa edistävien kohtien valinta jatkokäsittelyyn sen arvon perusteella. <b>Osa 2, käsiteltäviksi valittujen vaarojen mahdollisten syiden ja seurausten selvittäminen ja riskin suuruuden arviointi</b> hyödyntäen esim. hyväksikäyttöasteiden etukäteisanalyysiä. Järjestelmällinen käsittely analyysityöryhmässä. Analyysilomakkeen täyttäminen yhdessä. TULOSTE: Alustavat analyysilomakkeet (häiriöt ja vaarat syineen ja seurauksineen sekä riskien arviointi analyysilomakkeelle kirjattuina)
<b>C. Toimenpide-ehdotusten kehittäminen ja vastuullisten toteuttajien nimeäminen, seuranta</b>	Järjestelmällinen tarkastelu arvioinnin yhteydessä tai erillisessä kokouksessa perustuen vetäjän laatimiin toimenpide-ehdotuksiin TULOSTE: Lopulliset analyysilomakkeet
<b>D. Analyysin raportointi</b>	TULOSTE: Loppuraportti, jonka liitteinä ovat häiriö- ja vaaraluettelo ja analyysilomakkeet

**Huom!** Eo. taulukossa 10 on sanaa häiriö on käytetty sekä sallituista, että käyttörajan ylittävistä taipumista, muodonmuutoksista ja muista rakenteen ajan funktiona muuttuvista ominaisuuksista ja ilmiöistä, joiden perusteella on käytön aikana mahdollista havaita vaarat, mikäli rakennuksen huoltokirja antaa siihen ohjeita. Riskianalyysin tuloksia tuleekin soveltaa rakennuksen huoltokirjan valmistamisessa.

Kohdassa B mainittu tarkistuslista voidaan laatia kullekin runkomateriaalille erikseen, tai käyttää muuta mahdollista asiantuntijoiden laatimaa luetteloa rakenteiden kohdista, joissa aiemmin on helposti tehty suunnittelu- tai valmistusvirheitä tms.

Riskianalyysin tuloksia voi soveltaa myös suunnitelmien ns. ulkopuolisen tarkastajan työtä suunniteltaessa tai määritettäessä.

Riskianalyysin tuloksissa otetaan huomioon rakentamisprosessiin mahdollisesti liittyviä riskitekijöitä, kuten urakoiden osittaminen ja siitä aiheutuva rakennesuunnittelun tai jonkin muun erityisalan suunnittelun jakautuminen usealle eri tekijälle tai taholle. Siksi kullakin Workshopiin osallistuvalla eri taholla edustavalla jäsenellä on erityisen tärkeä tehtävä tuoda esille omaan toimintaansa mahdollisesti aiheutuvia haittoja ja ongelmia tai vaatimuksia, joita voidaan yhdessä käsitellä, ja hoitaa esim. urakoiden rajapintojen tarkemmalla määrittelyllä siten, että suunnittelussa muokattu kokonaisuus säilyttää vaatimuksenmukaisuutensa, vaikka siihen tehtäisiin muutoksia rakentamisvaiheessa.

Samoin eo. taulukon kohdassa B mainitun tarkistuslistan pitää käytännössä sisältää myös muita organisatorisia virhemahdollisuuksia, jotka on aiemmin todettu mahdollisiksi. Kyseiset virhemahdollisuudet aiheutuvat tyypillisesti puutteellisesta kommunikaatiosta rakentamisessa mukanaolevien tahojen välillä.

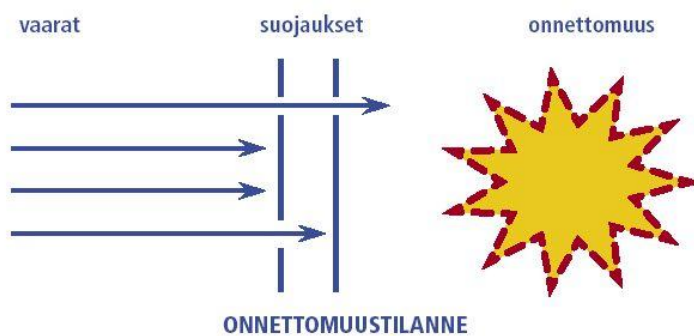
Riskianalyysi on osa riskienhallintaa. Riskienhallinnan tavoitteena on analysoida riskit ja toteuttaa kaikki tarvittavat toimenpiteet, jotka tarvitaan, että suunnitelmat ja lopullinen rakennus täyttää Maankäyttö- ja rakennusasetuksen määrittelemät rakennuksen olennaiset tekniset vaatimukset.

## 7 RAKENTAMISPROSESSIIN LIITTYVÄT RISKITEKIJÄT

Kun puhutaan rakennuttajan tai rakentamisorganisaation mahdollisuuksista torjua erilaisia vaaroja (kts. kuva 22. James Reason. Managing the Risks of Organisational Accidents. Ashgate publishing Ltd.), ei pidä unohtaa jo nyt rakennuttajien käytettävissä olevia keinoja. Ne koskevat huolellista projektisuunnittelua, valvontaa ja sopimustekniikkaa. Onnettomuuteen johtavia vaaroja voi pyrkiä kontrolloimaan käyttämällä puskureina eri suojausmenettelyjä, ja juuri niissä suhteissa on aiemmista vauriotapauksista ollut eniten opittavaa.

Ns. "hankkeeseen ryhtyvän" keinot valvoa kohteensa valmistusta riippuvat pelkästään hänestä itsestään, ja nykyinen Maankäyttö- ja rakennuslaki antaa rakentajalle siinä suhteessa kaiken vastuun ja täydet valmiudet hoitaa oma tehtävänsä siten, että rakentamisen lopputulos on tyydyttävä. Käytännössä hankkeeseen ryhtyvä ei voi millään sopimuksella siirtää 100 % vastuustaan muille hankkeessa mukana oleville tahoille. Yleensä jokainen tekijä pyrkii rajoittamaan vastuunsa johonkin määrään, jolloin eri tekijöiden yhteisistä virheistä vastaa vain rakennuttaja itse. Jos valtuuksiaan ei käytä, lopputuloksen laatu on sama tai jopa huonompi kuin rakentamisessa mukana olevan heikoimman lenkin laatu. Urakoiden ketjuttamisesta on myös johtunut, että usein tämän heikoimman lenkin toimeksiantajana on ollut joku muu kuin itse hankkeeseen ryhtyvä taho.

Rakennuttajan kannattaa suojautua erilaisten virheiden ja ongelmien suhteen. Yleensä suojauskeinona käytetään valvontaa, mutta erityisesti suunnittelun valvonnassa on aiemmin ollut selviä puutteita /29/. Valvontapalveluja myyvät ovat pitäytyneet projektien aikataulujen ja kustannusten valvontaan, eikä se suoranaisesti liity rakenteiden turvallisuuteen. Myöskään rakennustarkastus ei nykyään ole velvollinen tarkastamaan suunnitelmia, joten suunnitelmien vaatimuksenmukaisuuden tarkastus tulee teettää omana erillisenä työnään.



**Kuva 22.** Rakennusorganisaation toimijoiden yhteistoimintaan liittyvien vaarojen käsittely.

Suojauskerroksia pitää olla enemmän kuin yksi! Esim. suunnittelija ja hänen riittävä muodollinen pätevyytensä edustaa vain yhtä suojausta!

Reasonin mukaan yksittäiset suojaukset (pystyviivat kuvassa 22) ovat kuin A4-papereita, joissa on "reikiä". Kun useampien eri suojausmenetelmien (paperien) puutteet (reiät) sijaitsevat tyypillisesti (todennäköisesti) eri kohdissa, mikään vaara ei voi löytää tietään kaikkien suojausten lävitse, ja täten päällekkäin paperit näyttävät yhdeltä ehjältä sivulta.

Organisaatoriskit ovat hallittavissa riittävän monilla, tehokkaasti toimivilla suojauksilla. Suojauksen tehokkuus riippuu lähinnä hankkeeseen ryhtyvän omista toimista. Useimmissa aiemmissa vauriotapauksissa olisi jo yhdenkin riskitekijän löytäminen ja ajoissa tapahtunut poistaminen voinut säästää tapahtuneelta onnettomuudelta.



Vauriotapauksista on voitu todeta, että suunnittelu-, rakentamis- ja valvontaorganisaatioissa voi nimellisesti olla useitakin suojauksia, mutta niistä kunkin kohdalla "reiät" ovat ilmeisesti olleet kuviteltua suurempia, ja johonkin on ehkä jäänyt onnettomuuteen johtava vapaa väylä. Esimerkiksi suunnittelutoimistoista enin osa toimii ilman virallista hyväksyttyä laaduntarkastusjärjestelmää.

Myöskin urakointiyriytysten kohdalla laatujärjestelmien olemassaolo on poikkeus.

Yksi merkittävä entinen suojauskeino, joka ei kuitenkaan ole enää ollut erityisen tehokas, liittyy rakennusvalvontaan /22/. Toisin kuin ehkä yleisesti edelleen kuvitellaan, nykyinen Maankäyttö- ja rakennuslaki (MRL) ei velvoita rakennustarkastajaa tarkastamaan suunnitelmia siinäkään tapauksessa, että suunnitelmat tulee toimittaa viranomaiselle!

Rakennuttajan etua tai rakentamisen laatua suojaavia rakennusvaiheen menettelyjä onkin laissa ja määräyksissä runsaasti, mutta ne ovat tunnetusti melko yleisellä tasolla. Niihin liittyvissä kustannuksissa on helppo säästää "väärällä tavalla", esimerkiksi jos toimenpiteen tekijät nimetään, mutta toimenpiteelle varatut varat minimoidaan.

Seuraavassa kohdassa on käsitelty mahdollisia rakentamisprosessin eri osien vaikutuksia ja riskitekijöitä, sekä ko. vaurio- ja sortumisriskien hallintaan liittyviä menettelytapoja.

### **Toimintaympäristöt / tuoteosakauppa / pätevyysvaatimukset**

Maankäyttö- ja rakennuslaki sekä Suomen RakMK:n osa A2 (/29/, Rakennuksen suunnittelijat ja suunnitelmat) eivät käsittele urakoiden osittamista, missä esimerkiksi rakennussuunnittelu voi jakautua monelle eri taholle. On epäselvää, miten pätevyys- tms. rakentamisen olennaiset vaatimukset koskevat toimitusketjua.

Yleensä pätevyysvaatimuksia noudatetaan ammattimaisessa rakentamisessa hyvin, mutta siihenkin liittyy sudenkuoppia (reikiä suojauksessa), kuten:

- pätevyysvaatimus koskee tiettyyn työsuoritukseen palkattavaa henkilöä, se ei koske insinööritoimistoa tai asennusfirmaa tai urakoitsijaa tai näiden kokemusta. Vaatimus ei siis täyty, jos työhön palkatun yrityksen ko. pätevyyden omaavat henkilöt eivät käytännössä osallistu projektiin,
- Vaaditun pätevyyden omaavilla henkilöillä voi oma työhistoria olla sellainen, että he eivät ole aiemmin olleet mukana vastaavissa hankkeissa. Muodollinen pätevyys ei täten välttämättä todista etukäteen mitään työsuorituksen laadusta,
- Muodollisen pätevyyden omaava henkilö saattaa olla projektissa mukana vain nimellisesti. Hankkeeseen ryhtyvän tahon on itsensä todettava projektin tekijät, ja vaadittava, ettei henkilöstö vaihdu kesken kaiken,
- Pitkissä toimitusketjuissa saattaa tulla tilanne, että suunnittelu jakautuu moneen eri paikkaan, jolloin kussakin portaassa olevien pätevien suunnittelijoiden lisäksi hankkeeseen ryhtyvällä taholla tulee olla palkattu vastuullinen suunnittelija, joka toteaa, että eri suunnitelmat yhdessä muodostavat toimivan kokonaisuuden.

## Valmistus ja asennus

Rakentamisprosessista on runsaasti kohdekohtaisia ja rakennusurakoitsijakohtaisia eroja ja toimintatekniikoita, jotka ovat ko. yritysten/toimijoiden kilpailukeinoja. Kaikissa tapauksissa valmistuksen laatutekijöinä korostetaan erityisesti yritysten omaa sisäistä laadunhallintaa, jolloin aikataulussa ja kustannusraameissa pysyminen ovat tärkeämpiä seikkoja kuin varsinaisen lopputuotteen laatu. Kun hanke on ositettu ja ketjutettu, sen jokainen osapuoli on vastuusta vain omista sopimuksenmukaisista tehtävistään ja omasta tuloksestaan, ja lopputuotteen laadusta vastataan vain sopimussisällön osalta. Muiden tekemisistä ei kanneta vastuuta. Kokonaisuuden laadusta vastaa primääristi rakennuttaja itse tai sopimuksesta riippuen pääsuunnittelija tai vastaava erityisalan suunnittelija. Mikäli vastaavan suunnittelijan tehtävään ei ole varattu resursseja, pelkästään nimittämällä joku siihen tehtävään ei projektiin lisätä yhtäkään kunnollista suojakerrosta (kts. kuva 22) erilaisten rakenteellisten tai muiden onnettomuusriskien varalta.

A- ja AA-kohteiden riskienhallinta tulee suorittaa sellaisella menettelytavalla, missä eri toimijat yhdessä tunnistavat ja kirjaavat mahdolliset riskitekijät ja yhdessä hakevat niille ratkaisut, sekä yhdessä toteavat asiat tulleen hoidetuiksi. Riskienhallinta on monen osa-puolen projekteissa oleellisesti yhteistyön kehittämistä siten, että kukin avoimesti ilmaisee, mitkä ovat kriittisiä tietoja sen suhteen, että ko. toimija voi tehdä oman urakkansa riittävän valmiissa toimintaympäristössä tai että hänen työnsä laatu ja tulokset vastaavat seuraavan työvaiheen vähimmäisvaatimuksia.

Valmistuksen ja asennuksen liiallinen osittaminen tai ketjuttaminen altistaa rakennusvirheille ja lopputuotteen laatu on viimekädessä sama kuin huonoimman työsuorituksen laatu. Tyypillisiä sudenkuoppia valmistuksessa ja asennuksessa, joiden poistamiseksi pitää hankkeeseen ryhtyvän tahon tehdä erityistoimia, ovat mm.:

- asianomaiset suunnittelijat eivät ole suunnitelleet kuljetukseen, asennukseen tai nostoihin liittyviä tilanteita, jolloin erityisesti suurempien kokonaisuuksien asennustyössä voi olla jopa ennakoimattomia vaaratilanteita,
- valmistuksesta vastaavat eivät lue työselityksiä vaan tekevät "kuten ennenkin". Erityisesti hoikkien teräsrakenteiden nostotilanteiden rasitukset voivat helposti ylittää rakenteiden eri osien kestävyudet,
- vastaavien ja pääsuunnittelijan tehtäviin ei ole varattu resursseja, minkä takia eri toimiin liittyy yhteensovitusongelmia, joita ratkotaan epäpätevien toimesta työmaalla. Erityisesti uusien puurakenteiden käsittelyyn ja tuentaan liittyy seikkoja joista kellään ei ole aiempaa kokemusta, ja siksi kaikki uudet rakenteet tai rakenneosien käsittelytavat pitää selvittää laskemalla etukäteen,
- suunnitteluasiakirjoista tulee näkyä kaikki tarpeellinen. Suunnittelijoiden tekemiä viittauksia tuoteselosteisiin ei pidä hyväksyä, koska varmennetut tuoteselosteet eivät välttämättä käsittele tuotteiden kaikkia mahdollisia käyttötapoja.

## 8 RAKENNUSTEN KUNNON TARKASTUS

Teräs- tai puurunkoisten hallirakennusten rakenteiden turvallisuuden tai kunnan tarkastaminen on sen elinkaaren kaikissa vaiheissa syytä antaa ammattilaisten tehtäväksi. Suunnitteluvaiheessa on kaikkein korkeimpaan riskiluokkaan kuuluvien ajoittain yleisölle avoimina olevien julkisten tilojen suunnitelmat syytä tarkastaa erittäin huolellisesti. Kokenut rakennesuunnittelija voi nähdä rakenne- tai suunnitteluvirheet tai esimerkiksi mahdollisen ylikuorman aiheuttamat riskit tarkastamalla mitoitusperusteet, rakennepiirustukset ja rakennelaskelmat.

Rakennelaskelmat ovat suunnitelmien tarkastustyössä ensiarvoisen tärkeitä asiakirjoja, koska rakenteiden kestävyys EI voi todeta piirustuksista. Teräsrakenteiden suunnitelmien ulkopuoliseen tarkastukseen on FISE Oy:n ([www.fise.fi](http://www.fise.fi)) listoilta löydettävissä sopivia henkilöitä. Laajarunkoisen liikuntahallin teräsrakenteiden kunnan voi hyvin tarkastaa hallin oma käyttökunta /37, 38/. Löydökset on ehkä syytä käsitellä yhdessä asiantuntijan kanssa.

Puurakenteiden tutkimukseen ja tuotekehitykseen Suomessa on panostettu merkittävästi vasta 1990-luvulla. Nämä tutkimukset ovat tuoneet esiin aikaisemmin tuntemattomia tai merkitykseltään vähäteltyjä ilmiöitä, jotka luovat selvän turvallisuusriskin toteutetuille puurakenteisille halleille. Uusissa suunnitteluohjeissa (kuormitusnormi RIL 144-1996 tai RIL 201-1999 ja Eurocode 5:ttä vastaava puunormi RIL 205-1997) näitä uusimpia tutkimustuloksia on pyritty huomioimaan, mutta vaativien puurakenteiden suunnitteluun nämäkään ohjeet eivät yksin riitä. Em. syistä johtuen puurakenteiden kunnan valvonta on tärkeää.

Käytön aikana teräs- tai puurakenteet kuormittuvat lähelle mitoituskuormaansa vain harvoin, koska teollisuus- ja liikuntapaikkarakentamisessa rakenteiden oman painon osuus on yleensä vähäinen eikä luonnonkuormien lisäksi ole muita hyötykuormia. Rakenteiden käytön aikaista kuntotarkastusta sekä mahdollisia onnettomuustilanteita ja muutos- tai korjaustarpeita varten, tulee erityisesti yleiseen käyttöön tarkoitettujen liikunta- tai muiden hallien rakennesuunnitelmat laskelmineen säilyttää saatavilla hallin muiden dokumenttien kanssa. Suunnitelmadokumenttien säilyttäminen kuuluu hallin omistajan ns. huolehtimisvelvollisuuteen. Viranomaisten velvollisuus säilyttää rakennusdokumenteja rajoittuu vain lupa-asiakirjoihin, vaikka muutkin rakennedokumentit olisi alun perin vaadittu toimitettavaksi. Rakenteita tai niiden käyttötarkoitusta muutettaessa pitää käyttöön jäävien rakenteiden kestävyys tarkastaa huolellisesti, ja myös rakennuksen käytön aikana rakenteet kannattaa ajoittain tarkastaa. Kumpikin tehtävä aloitetaan tutustumalla suunnitelmiin.

Rakenteiden kunnan tarkastuksia tulee tehdä a) valmistuksen, vastaanoton ja asennuksen yhteydessä, b) merkittävien kuormitusjaksojen (esim. suuret luonnonkuormat) yhteydessä, ja c) kuntotarkastuksina ennalta määritellyllä jaksolla.

## KIRJALLISUUS

1. Tapio Leino. Taustaselvitys vuoden 2003 aikana tapahtuneista rakenneaurioista ja niiden syistä. VTT tutkimusraportti RTE608/04. 8 s.
2. Tapani Mäkikyrö. Ehdotusten laatiminen rakennusten rakenteellisen turvallisuuden varmistamiseksi. Ympäristöministeriö, 17.11.2004. 37 s. + Liitt. 7 s.
3. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Osa B1. Rakenteiden varmuus ja kuormitukset, määräykset. Ympäristöministeriö. Ohjeet 1998.
4. SFS 2373. Hitsaus. Staattisesti kuormitettujen teräsrakenteiden hitsausliitosten mitoitus ja lujuuslaskenta. 1980. 38 s.
5. EN 1991-1-7:2005. Eurocode 1 - Actions on structures. Part 1-7: General actions - Accidental actions.
6. Hietaniemi, Baroudi, Korhonen, Björkman, Kokkala ja Lappi. Yksikerroksisen teollisuushallin rakenteiden palonkestävyyden vaikutus paloturvallisuuteen. Riskianalyysi ajasta riippuvaa tapahtumapuumallia käyttäen. VTT Tiedotteita nro 2123. Espoo 2002. 95 s. + liitt. 51 s.
7. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Osa B7 Teräsrakenteet. Ohjeet 1988. Ympäristöministeriö.
8. ENV 1993-1-1. Eurocode 3: Design of steel structures. Part 1-1: General rules and rules for building.. 344 s.
9. ENV 1991-1:1993. Eurocode 1: Basis of Design and Actions on Structures. Part 1: Basis of Design.. CEN/TC250. 76 s.
10. Guide For Service Life Design Of Buildings. ISO TC59/SC3/WG9 Draft 2: November 1995.
11. Guide For Service Life Design Of Buildings. ISO/CD 15686-1. ISO TC59/SC14 Draft 3: 1997.
12. Leino, T. Liitoputkipilarien ja THQ-palkkien liitoskokeet. Raportit RTE30201/95, RTE70228/94 ja RTE70401/94. VTT Rakennustekniikka. Espoo, 1995, 38 s. + liitt. 83 s.
13. Svensk Byggnorm, SBN 1980, Statens planverks författningssamling, PFS 1980:1. Liber Tryck, Stockholm 1980.
14. Suomen rakennusmääräyskokoelma. Osa B4. Betonirakenteet. Ohjeet 2005. Ympäristöministeriö.
15. Leino, T., Häkkä-Rönholm, E., Nieminen, J., Koukkari, H., Hieta, J., Vesikari, E. ja Törnqvist, J. Teräsrakenteiden käyttöikäsuunnittelu. Espoo 1998, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT Tiedotteita 1937. 119 s. + liitt. 11 s.

16. Execution of steel structures - Part 1: General rules and rules for buildings
17. Kari Nissinen, Liikuntarakennusten elinkaariajattelu, Liikuntarakentamisen päivät. Helsinki, 10.9.1998, Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL. Helsinki. (1998), 7 s.
18. Timo Lounela, Sirpa Lehtimäki ja Heikki Rautio. Kiinteistön jaksottaisen huollon laatuokitus. VTT Tutkimuksia no. 467. 76 s. + liitt. 48 s.
19. TRY Teräsnormikortti N:o 18/2005. Hitsausliitosten laadunvarmistus ohjeiden B7 mukaan. Teräsrakenneyhdistys ry.
20. RIL 144-2002. Rakenteiden kuormitusohjeet. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto ry. Helsinki 2002, 182 s.
21. Teräsrakenneyhdistys ry. TSP - Teräsrakenteiden suunnittelun uudet pelisäännöt. Projektiraportti 1990.
22. A1. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Rakennustyön valvonta, määräykset ja ohjeet. Ympäristöministeriö. 2002.
23. B10. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Puurakenteet. Ohjeet 2001. Ympäristöministeriö.
24. ENV 1995-1-1, 1993, Eurocode 5 - Design of Timber Structures - Part 1-1: General Rules for Buildings. CEN Brussels. 110 s.
25. RIL 205-1997. Puurakenteiden suunnittelu - Euronormi. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y.
26. RIL 120-1991. Puurakenteiden suunnitteluohjeet. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y.
27. VTT Rakennustekniikka, Liikuntapaikkojen rakenteiden tehostettu tarkastustoiminta; rakenteellinen turvallisuus. Projektiraportti nro RTE30690/97.
28. VTT Rakennustekniikka, Puurakenteisten liikuntahallien rakenteellinen turvallisuus. Projektiraportti nro RTE2595/00.
29. A2. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Rakennuksen suunnittelijat ja suunnitelmat. Ympäristöministeriö, luonnos maaliskuu 2001.
30. SFS-EN ISO 5817. Hitsaus. Teräksen, nikkelin, titaanin ja niiden seosten sulahitsaus (paitsi sädehitsaus). Hitsiluokat.
31. Impact of Wind and Storm on City Life and Built Environment. Proceedings of the International Conference on Urban Wind Engineering and Building Aerodynamics. EU COST Action C14. Ed. by J.P.A.J. van Beeck. Von Karman Institute for Fluid Dynamics.
32. Wearne, P. Collapse. When Buildings Fall Down. TVBooks, New York. 253 s.

33. Design guide for stainless steel blast walls. FABIG Technical Note 5. Steel Construction Institute. June 1999. 50 s. + liitt. 68 s.
34. SFS-EN ISO 5817. Hitsaus. Teräksen, nikkelin, titaanin ja niiden seosten sulahitsaus (paitsi sädehitsaus). Hitsiluokat. Suomen Standardisointiliitto SFS.
35. TRY Teräsnormikortti N:o 9/1998. Pulttiliitosten tyypit ja käyttöalueet, ruuvien esijännittäminen. Teräsrakenneyhdistys ry.
36. Potentiaalisten rakennevaurioiden analyysityökalu - PORA.
37. Leino, T. Liikuntapaikkojen teräsrakenteiden kunnan tarkastus - Tarkastusohje.
38. Kevarinmäki, A. & Korttesmaa, M., Puurakenteisten jää- ja palloiluhallien kuntotarkastusohjeet. VTT Rakennustekniikka, 14.11.2000.
39. Leino, T. Staattisesti kuormitettujen hitsausliitosten suunnitteluohje.
40. EN 1993-1-8:2005. Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-8: Design of joints.