



Erään teräsrunkoisen teoll.hallin tarina, jännev. > 40-50 m



HALLIN ROMAHDUS OLI IHAN TIPALLA

- lunta katolla yli puoli metriä, mutta paino olennaisesti alle 180 kg neliölle



KEHÄT HIEMAN TOISESTA NÄKÖKULMASTA

- hallin kaikki kehät olivat "samanlaisia" – MIKSI nämä vaurioituivat?



HALLIN ULKOSEINÄ - KEHÄT SAMANLAISIA - MIKSI vain tietyt kehät vaurioituivat?



Suunnittelun virheet:

Kehien 2D-suunnittelu, ristikkoanalogia, oviaukon vaikutukset selvittämättä (kun ei oltu tehty 3D-analyysiä), ovipalkin tuennat epäselvät ja puutteelliset → aukon keski- ja reuna-kohtien 2-nivelkehien tuennat ja rasitukset todellisuudessa täysin erilaiset !!



Miten on mahdollista, ettei halli ehtinyt sortua?



TARINAAN LIITTYVIÄ YKSITYISKOHTIA:

Paarteen pinnan
irtileikkautuminen
ja uuman lommahdus



HUOM!

Paarteen ko. osan
ainepaksuus oli
vain 3 mm!

Tarinan halli: katon puuorsien jatkuvuus pelasti!



EUROKOODIEN SUUNNITTELUPERIAATTEET – EN 1990 kohta 2.1

(4)P Rakenne tulee suunnitella ja toteuttaa siten, että esimerkiksi

- räjähdys
- törmäys tai
- inhimillinen erehdys

Rakenteen tulee käyttäytyä onnettomuustilanteessa siten, että seurauksia tai niiden määrää voidaan rajata!

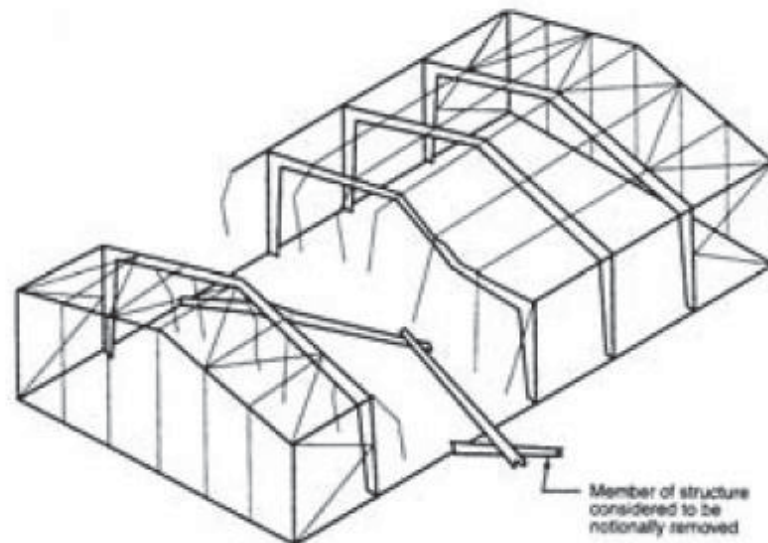
ei vaurioita sitä alkuperäiseen syyhyn nähden suhteettoman paljon.

(5)P Mahdollinen vaurio tulee välttää tai rajoittaa käyttämällä tarkoituksenmukaisesti yhtä tai useampaa seuraavista tavoista:

- välttämällä, poistamalla tai vähentämällä rakenteeseen kohdistuvia mahdollisia vaaratilanteita
- valitsemalla rakennetyyppi, jonka herkkyys tarkasteltaville vaaratilanteille on vähäinen
- valitsemalla rakennetyyppi ja rakenneratkaisu, jotka pystyvät riittävästi sietämään yksittäisen rakenneosan tai rakenteen rajallisen osan vahingossa tapahtuvan poistamisen tai hyväksyttävän paikallisen vaurioitumisen
- välttämällä mahdollisimman paljon rakennejärjestelmiä, jotka voivat sortua varoittamatta
- sitomalla rakenneosat toisiinsa.

Rakenteen laatu pitää valita siten, että se käyttäytyy kontrolloidusti!

EUROKOODIEN SORTUMARAJATILA – EN 1990 kohta 2.1



SEURAAMUSLUOKAT JA TOIMENPITEET – EN 1990 kohta 2.1

B3 Luotettavuuden tasoluokitus

B3.1 Seuraamusluokat

(1) Luotettavuuden tasoluokitusta varten voidaan määrittellä taulukon B1 mukaiset seuraamusluokat (CC) tarkastelemalla rakenteen vaurion tai vian seuraamuksia.

Taulukko B1 Seuraamusluokkien määrittely

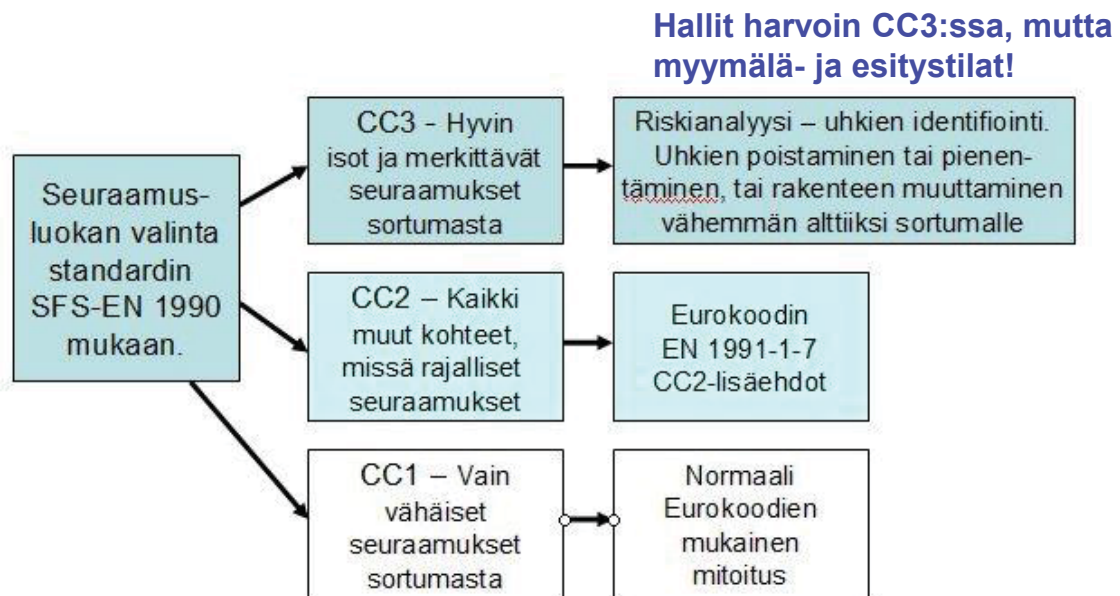
Seuraamusluokka	Kuvaus	Rakennuksia sekä maa- ja vesirakennuskohteita koskevia esimerkkejä
CC3	Suuret seuraamukset hengenmenetysten <i>tai</i> hyvin suurten taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	Pääkatsomot; julkiset rakennukset, joissa vaurion seuraamukset ovat suuret (esim. konserttitalo)
CC2	Keskisuuret seuraamukset hengenmenetysten <i>tai</i> merkittävien taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	Asuin- ja liikerakennukset; julkiset rakennukset, joissa vaurion seuraamukset ovat keskisuuret (esim. toimistorakennus)
CC1	Vähäiset seuraamukset hengenmenetysten <i>tai</i> pienien tai merkityksettömien taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	Maa- ja metsätalousrakennukset, joissa ei yleensä oleskele ihmisiä (esim. varastorakennukset), kasvihuoneet

Huomaa sivulauseet koskien **seuraamuksia!**

Jos varastossa on jonkun vakio työpiste => CC2

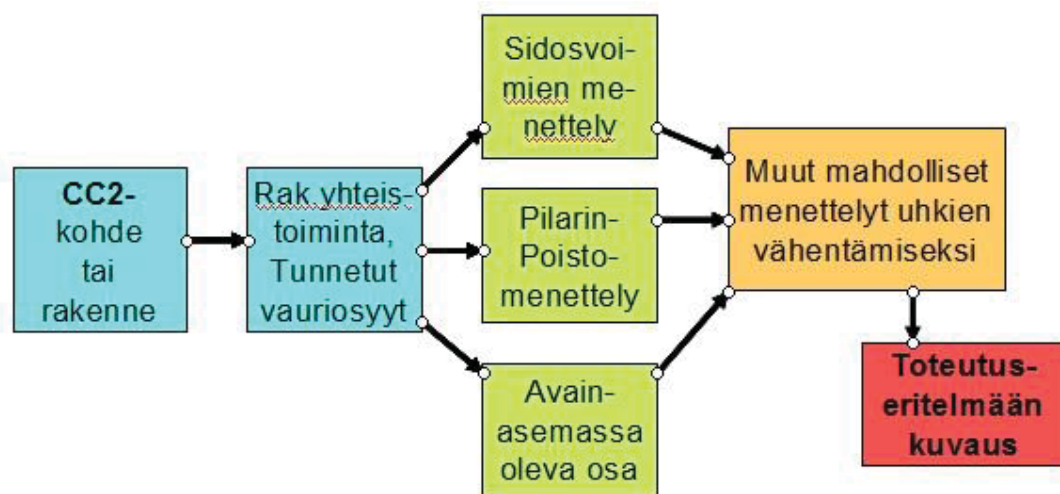
Olellisen tärkeät julkiset rakennukset => CC3 (?)

SEURAAMUSLUOKAT JA TOIMENPITEET



=> CC2 ja CC3: Suunnittelijalta edellytetään rakennesuunnitelmien laadun varmistusta.

SEURAAMUSLUOKKA CC2 JA TOIMENPITEET – EN 1991-1-7



Vaihtoehdot menettelyt 

SIDOSVOIMAMENETTELY / CC2



Sidosvoimamenettely:

Liitetään pilarit ja palkit toisiinsa siten, että ne kestävät tietyn taso- ja/tai pystysuunnassa annetun vähimmäiskuorman, jolloin rakenteen kokonaisuus toimii.

Kuvat:

Oriveden huoltoaseman rakennustyömaa - välipohjasortuma 1 kuollut, 1 työkyvytön.



PILARINPOISTOMENETTELY / CC2

Varmistetaan, että kun rakennuksesta [ajatellaan](#) poistetuksi mikä tahansa tukipilari, pilaria tukeva palkki tai EN 1991-1-7 kohdan A.7 määrittelyn mukainen kantavan seinän lohko (yksi kerrallaan kussakin rakennuksen kerroksessa), rakennus pysyy vakaana eikä mikään paikallinen vaurioituminen ylitä tiettyä rajaa.



Kun tällaisesta ajattelusta pilareiden tai seinälohkojen poistamisesta seuraisi hyväksyttävän tai muulla tavoin määritellyn rajan ylittävä vaurio, niin tällaiset rakenneosat suunnitellaan "[avainasemassa olevina rakenneosina](#)".

Kun kantavat seinät muodostavat rakennuksen rungon, niin yhden seinälohkon ajateltu poistaminen kerrallaan on todennäköisesti käyttökelpoisin soveltuva toimintaperiaate.

Pilarilaatta-rakennuksissa tilanteen tarkistus poistamalla yksittäinen pilarin osa voi epä-säännöllisissä rungoissa olla mahdotonta.

AVAINASEMASSA OLEVA RAKENNEOSA

Rakenteiden suunnittelussa on pohdittava, miksi jokin rakenneosa voidaan/pitää luokitella ”avainasemassa olevaksi rakenneosaksi”. Siksikö, että:

- a) se ainoana kantaa jonkin tunnetun onnettomuus- tai ylikuorman, vai siksi että
- b) osa yksinään vastaa jonkin rakenteen stabiiliteetista, tai
- c) kyseistä osaa uhkaa jokin epämääräinen ennakoimaton rasitus, tms (mikä?).

Huom! Vaikka osaa vahvistettaisiin miten kestäväksi tahansa, se **rooli** kaikissa em. tapauksissa säilyy ”avainasemassa olevana rakenneosana”, koska osan rasitusta, rasituksen laatua tai rasitustilannetta ei voi ennakoida!
(- Millä määrällä osaa pitäisi vahvistaa jos rasitusta ei tunneta?)

⇔ Täten, rakenteen luotettavuuden lisääminen ”avainasemassa olevan rakeneosan” **kestävyyttä** (lujuutta) lisäämällä ei välttämättä kelpaa menettelytavaksi, kuin tunnetuilla kuormilla, jos halutaan välttää / estää jatkuva sortuminen.

AVAINASEMASSA ...

Kestävyuden lisäämisen sijasta voi harkita seuraavia **teknisiä ratkaisuja**:

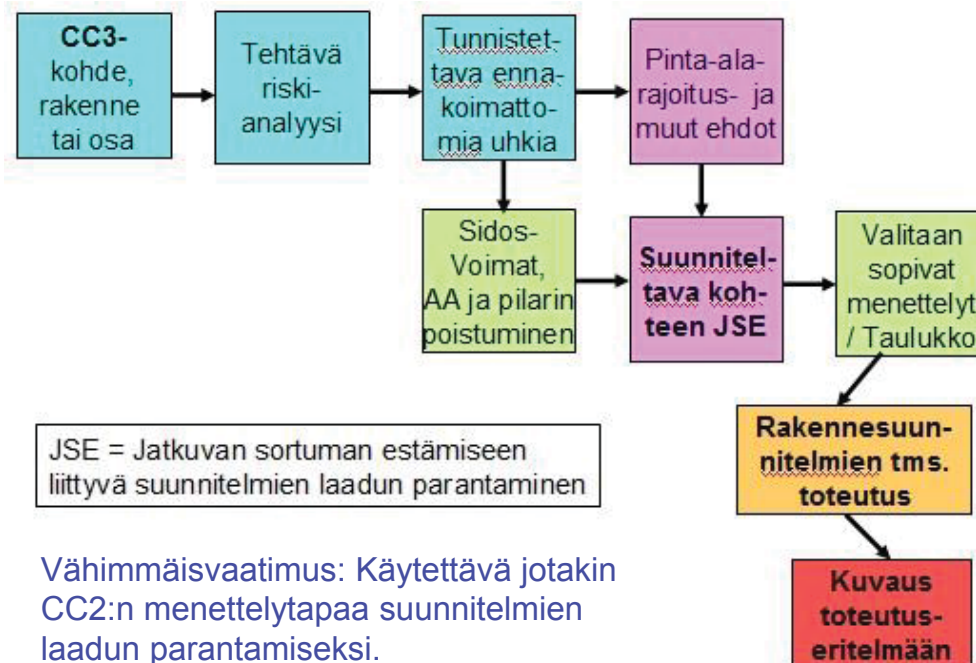
- rakenneosa tulee esimerkiksi kahdentaa (esimerkiksi hallien jäykistyspukit), tai
- rakenneosan staattista toimintaa tulee muuttaa (esimerkiksi 1-aukkoinen palkki → 2-aukkoinen palkki, tai käytetään vähintään 2-kerroksisia pilarin jatko-osia),
- muutetaan staattista rakenneratkaisua muulla tavalla siten, että kuormitus voi jakautua useammalle eri osalle, jolloin herkkyyys äkillisille sortumille pienenee.

Vaihtoehtoisesti, kuormaa voidaan tavalla tai toisella pienentää tai vaimentaa (erityisesti liittyen uhkaan a) siten kuin standardissa EN 1990 kohdassa 2.1 periaatesäännössä (5)P esitetään. Tällöin osaa ei enää tarvitse luokitella avainasemassa olevaksi rakenneosaksi.

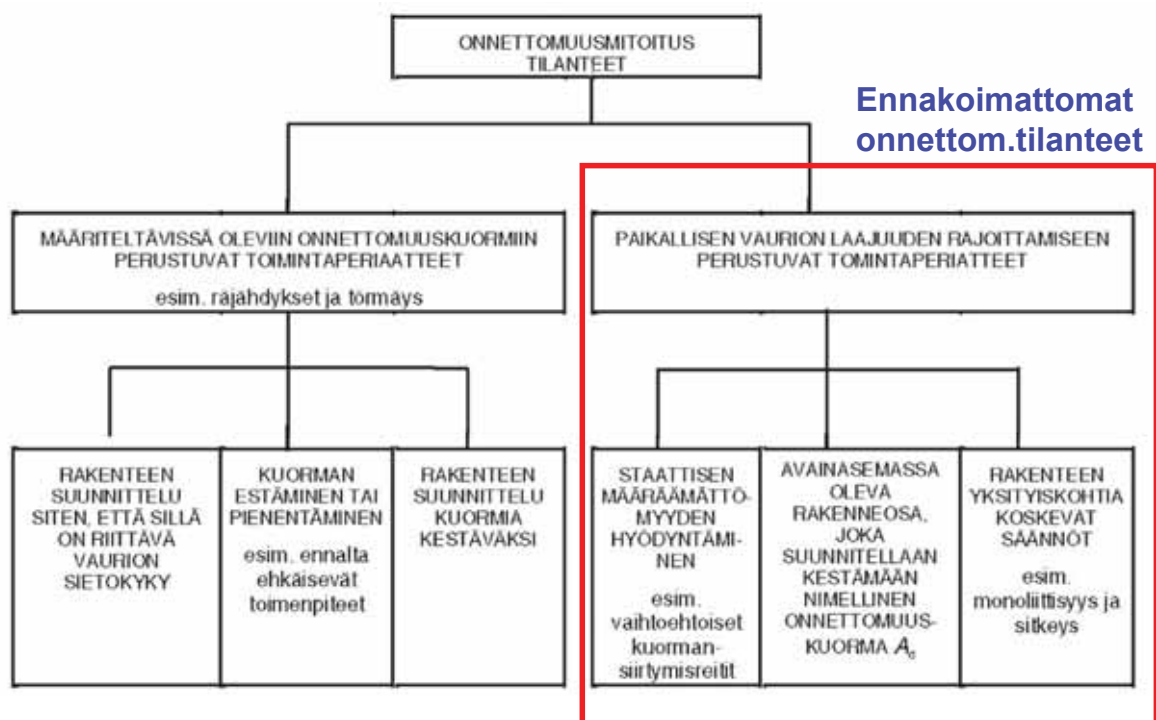
⇔ Muutetaan avainasemassa olevan rakenteen roolia siten, ettei se enää yksin ota vastaan koko ennakoimatonta rasitusta. Tällöin vältetään tai pienennetään vauriosta mahdollisesti aiheutuvan sortumisen todennäköisyyttä.

⇔ Se on EN 1990 kohdan 2.1 (5)P periaatesäännön vaatimus.

SEURAAMUSLUOKKA CC3 JA TOIMENPITEET

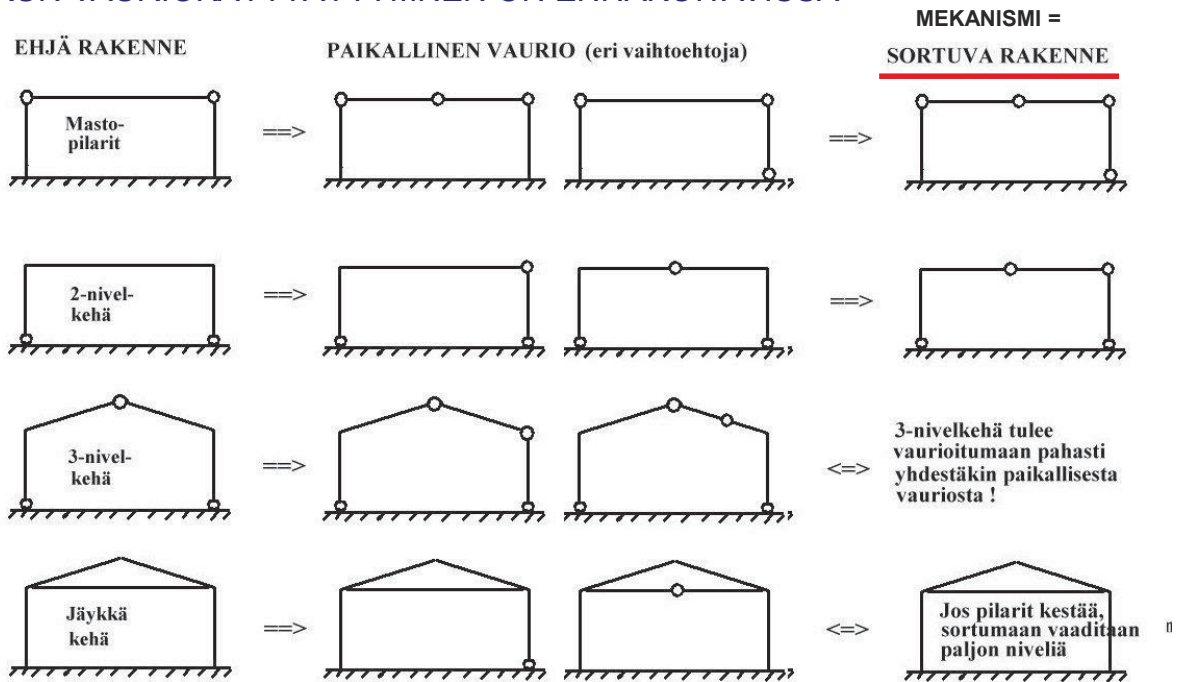


ONNETTOMUUSTILANTEET EUROKOODEISSA – EN 1991-1-7



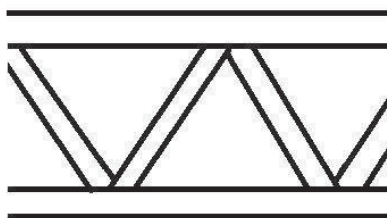
RAKENTEEN SITKEÄ TOIMINTA

KUN VAURIOKÄYTTÄYTYMINEN ON ENNAKOITAVISSA

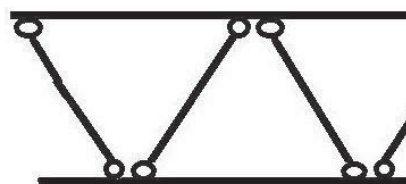


PÄÄSÄÄNTÖ: Rakenteiden mallinnus tulee EC3:n mukaan tehdä siten, että se vastaa rakenteiden todellista käyttäytymistä.

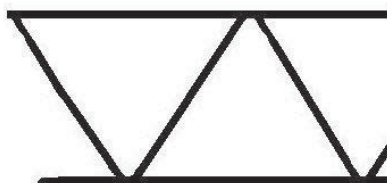
a) Structure in reality



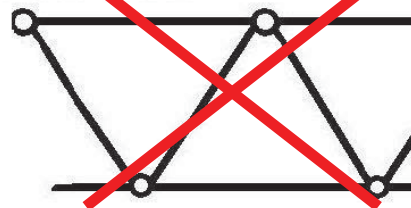
c) Optimal modelling



b) Frame analogy



d) Truss analogy



Yksikin vaurio d)-kohdan rakenteessa => SORTUMA!

TERMINOLOGIAA: Kestävyyssmitoitus / Sitkeysmitoitus

KESTÄVYYSSMITOITUS:

- Rakenteen tai liitoksen muoto valitaan joko sattumanvaraisesti tai perustuen aiempaan kokemukseen tai muihin hyväksi koettuihin tai ennalta valittuihin rakenteisiin, tuotteisiin tai ratkaisuihin perustuen, ja
- Suunnittelija laskee rakenteen kullekin murtotavalle ominaisen murtorajatilakestävyyden arvon. Rakenteen muoto hyväksytään jos pienin lasketuista kestävyyksistä on suurempi kuin rakenteeseen kohdistuva määräävä rasitus, tai riittävän suuri.

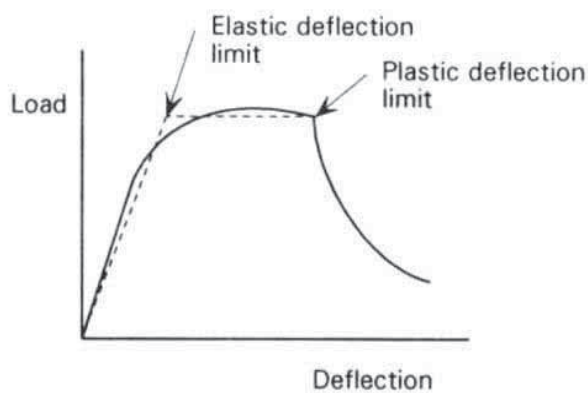
SITKEYSSMITOITUS (yleisesti käytetty seismisillä alueilla):

Rakenteen tai liitoksen mitoitus tapahtuu **kuten edellä, mutta lisäksi:**

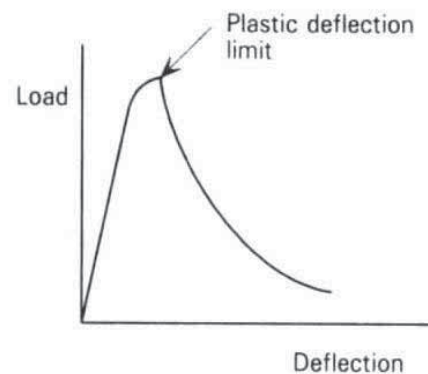
- Suunnittelijan tulee tarkastaa, että **rakenteen alinta murtorajatila-arvoa vastaava murtotapa on sitkeä**, eli liitos käyttäytyy plastisesti. Tällöin sen yhteen tai useampaan osaan voi muodostua plastinen nivel, mikä vaatii paljon energiaa, ja liitos ei heti menetä koko kestävyytään tai siihen asti kertynyttä kuormaansa.

POIKKILEIKKAUKSIEN OMINAISUUDET - SITKEYS

- luokissa 1 ja 2 poikkileikkaukseen voi muodostua plastinen nivel
- luokissa 3 ja 4 poikkileikkaus saattaa lommahtaa tms.



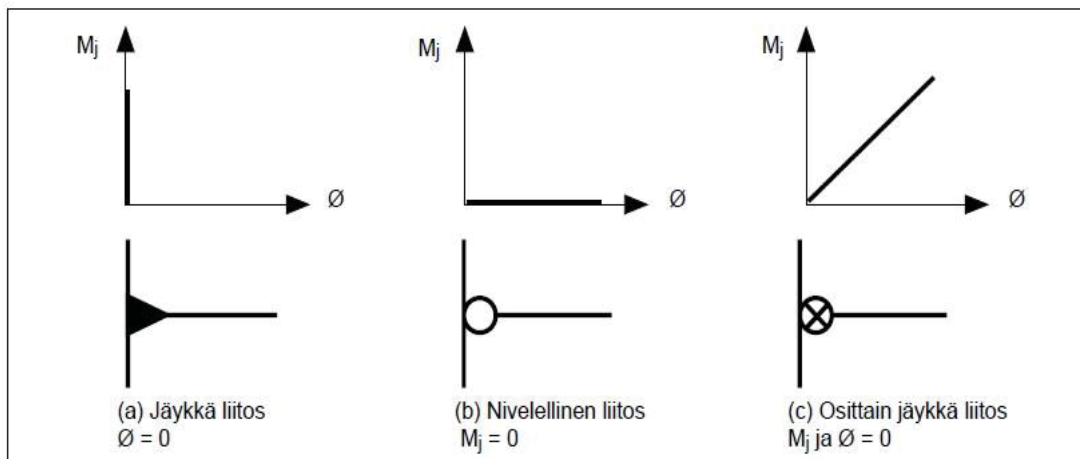
a) Class 1 cross-section



b) Class 3 or 4 cross-section

↔ **SAMAT KÄYTTÄYTYMISTYYPIT LÖYTYVÄT LIITOKSISTA !**

Suunnitelma – käytännön toteutus?



Kuva 3.1 Liitosten momentti-kiertymäyhteys kimmoteorian mukaan

⇔ LIITOSTEN TOIMINTA RAKENNEANALYYSISSÄ TULEE MALLINTAA MAHDOLLISIMMAN OIKEIN, ELI TULEE OLLA (LÄHES) JÄYKKÄ TAI LÄHES NIVEL, EI SAA OLLA JOTAIN EPÄMÄÄRÄISTÄ SILTÄ VÄLILTÄ.
=> VALMISTUKSEN VALVONTA!

TRY / TEP / WP8 - RAKENTEIDEN SITKEYDEN PARANTAMINEN



Teräsrakenneyhdistys

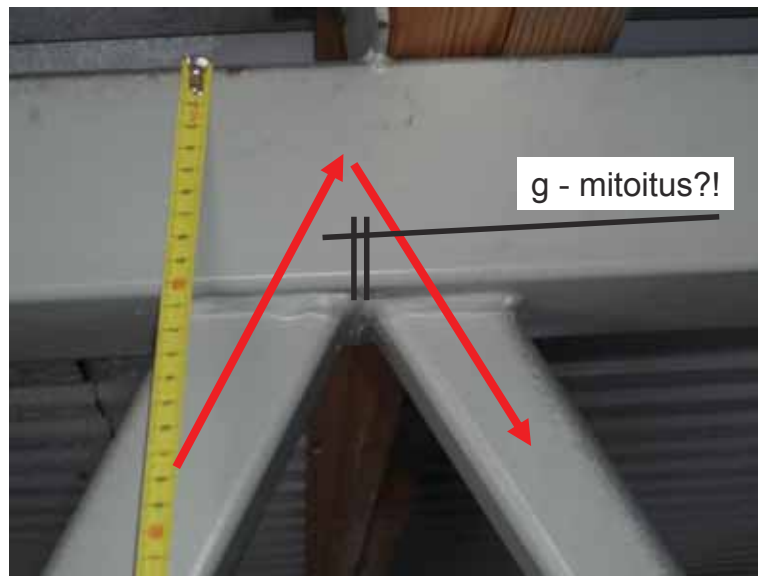
Teräsrakentamisen eurooppalaiset pelisäännöt – suunnittelu ja toteutus (TEP)

Taulukko 1a. Perusedellytykset rakenteiden sitkeälle käyttäytymiselle.

Nro	Rakenneosa tai osan rooli tai ominaisuus	Selitys
1	Palkkiprofiilien tulee olla poikkileikkausluokassa 1 (paikallista lommahdusta ei sallita)	Taivutetut rakenneosat käyttäytyvät aina sitkeästi
2	Jäykistävät rakenneosat on kahdennettu, tai ne on mitoitettu avainasemassa olevina rakenneosina	Rakenneteknisen roolinsa takia jäykistävät rakenneosat ovat aina kriittisiä osia
3	Pilari-palkki -liitosten taivutuskestävyys suurempi kuin liittyvän palkin taivutuskestävyys	Plastinen nivel ei voi/saa syntyä liitokseen – se saa syntyä vain palkkiin (ei pilariin!).
4	Pilari-palkki -liitosten muodonmuutoskyky on tarkistettu ja se on riittävä sitkeän käyttäytymisen osalta	Tarkistus tulee tehdä joko kokeellisesti tai laskemalla standardin EN1993-1-8 avulla
5	Kaikki riskianalyyssissä vaurion suhteen kriittiset rakenneosat on mitoitettu avainasemassa olevina osina.	Rakennusten yleisölle avoimissa (aulat, parkkihallit tms.) tiloissa voi olla kriittisiä osia.

Rakenteellinen riskianalyysi kannattaa tehdä – jopa omana työnä, jos viranomainen ei sitä vaadi – Analyysissä mukana vähintään 2 silmäparia

RISTIKKOKANNATAJIEN LIITOSONGELMAT



Rakenneosien mitat tässä tapauksessa:

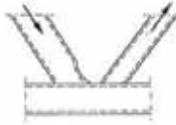
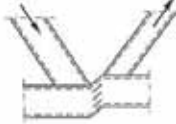
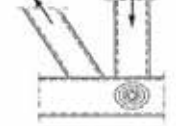
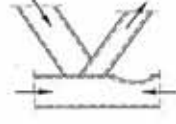
$b_0=100\text{mm}$, $b_1=60\text{mm}$, $b_2=50\text{mm}$ → $g_{\text{min}} = 22,5 \text{ mm}$
 $g_{\text{max}} = 65 \text{ mm}$

K-LIITOKSEN MURTUMISTAVAT 1

Taulukko 3.2 Ristikkorakenteiden liitosten vaurioitumismalleja

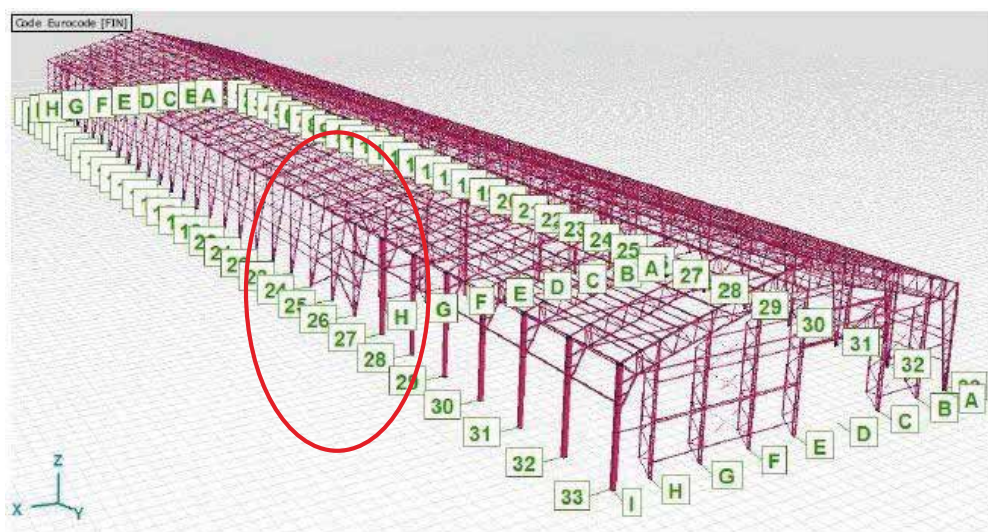
Murtotapa		Rakenne, jolla murtotapa on mahdollinen
Paarteen pinnan myötö		Ohutseinäinen paarre ja pieni uumasauvan leveys verrattuna paarteen leveyteen SITKEÄ taivutus!
Paarteen pinnan leikkauslävistyminen		Ohutseinäinen ja leveä paarre, uumasauva hieman parretta kapeampi HAURAS!
Uumasauvan tai hitsin murtuminen		Paksuseinäinen uumasauva ja ohutseinäinen paarre SITKEÄ – veto, Hitsin murto pahempi!

K-LIITOKSEN MURTUMISTAVAT 2

Puristussauvan paikallinen lommahdus		Ohutseinäinen ja suuren sivumitan omaava uumasauva SITKEÄ paikallinen!
Paarteen leikkausmyötö		Matala ja ohutseinäinen paarre SITKEÄ, jos riittävä väli g!
Paarteen uuman lommahdus		Korkea ja ohutseinäinen paarre sekä samanlevyiset paarre ja uumasauva SITKEÄ - paikallinen /vaikutukset!
Paarteen pinnan paikallinen lommahdus		Ohutseinäinen ja leveä paarre SITKEÄ - paikallinen /vaikutukset!

SKOL:n ohjelma laskee kaikki listan murtolujuudet, mutta ei itse suorita sitkeysanalyysiä – **Pitää itse tarkistaa!**

ERÄS SUOMEEN RAKENNETTU CC1-TERÄSRUNKOHALLI



Hallin 40x120m rakennesuunnitelmat laadittu Unkarissa!
 FMC rakennesuunnitelmien tarkastajana.
 Lähes kaikkien liitosten sitkeysmitoitus tehty tietokoneohjelmilla!