

# RUNGON ASENNUSAIKAINEN TOIMINTA

## Sisällysluettelo

1	Toteuttamisen aikaiset kuormat .....	2
1.1	Mitoitustilanteet ja rajatilat .....	2
1.2	Kuormat.....	3
2	Asennusliitokset.....	7
2.1	Elementtirakennuksen vaakasaumat .....	7
2.2	Reunapalkkien liitokset .....	20
3	Asennusaikainen jäykistystarkastelu.....	23
4	Työturvallisuus .....	24
4.1	Rakennushankkeen osapuolten työturvallisuusvelvoitteet.....	25
4.2	Rakenne-, valmisosa- ja asennussuunnitelmissa esitettävät asiat.....	27
4.3	Rakennesuunnittelijan suorittama työturvallisuuden toteutumisen valvonta ja katselmointi .....	30
4.4	Toteutuksen vaaratekijöiden arviointi ja poistaminen rakennesuunnittelussa .....	30
4.5	Asennustilanteiden simulointi ja tietomallinnus työturvallisuussuunnittelun työkaluna .....	31

# 1 Toteuttamisen aikaiset kuormat

## 1.1 Mitoitustilanteet ja rajatilat

Rakenteet mitoitetaan asennusaikana tavanomaiseen tapaan sekä murto- että käyttörajatilassa. Tarkasteltavia tilanteita ovat tilapäiset mitoitustilanteet ja onnettomuusmitoitustilanteet sekä maanjäristysalueilla maanjäristysmitoitustilanteet. Mitoitustilanteet valitaan tarkoituksenmukaisesti rakennekokonaisuuden, rakenneosien ja osittain valmiin rakennuksen sekä myös apurakenteiden ja -laitteiden kannalta. Valittavissa mitoitustilanteissa tulee ottaa huomioon olosuhteet, jotka vallitsevat eri toteuttamisvaiheiden aikana.

Jokaiseen valittavaan tilapäiseen mitoitustilanteeseen liitetään nimellinen kesto, joka on vähintään tarkasteltavan toteuttamisvaiheen ennakoitavissa oleva kesto. Mitoitustilanteessa otetaan huomioon muuttuvien kuormien toistumisväli. Ideana on, että luonnonkuorman suuruus riippuu asennusajan kestosta.

**Taulukko 1.** Suositeltavia toistumisvälejä luonnonkuormien ominaisarvojen määrittämiseen.

Kesto	Toistumisväli (vuosina)
≤ 3 vuorokautta	- <sup>a</sup>
≤ 3 kuukautta (mutta > 3 vuorokautta)	5 <sup>b</sup>
≤ 1 vuosi (mutta > 3 kuukautta)	10
> 1 vuosi	50

<sup>a</sup> Keskimääräisen toistumisvälin käsite ei yleensä sovellu tilanteisiin, joissa toteuttamisvaihe jää lyhyeksi. Kolmen vuorokauden mittainen nimelliskesto, joka valitaan nopeisiin toteuttamisvaiheisiin, vastaa työmaata koskevien luotettavien sääennustejaksojen pituutta. Kuorman suuruus voidaan määrittää tällöin sääennusteen mukaan. Sääennusteen mukaista tietoa voidaan käyttää, vaikka toteuttaminen kestää vähän kauemminkin, jos muuttuviin tilanteisiin varaudutaan riittävän järjestelyin.

<sup>b</sup> Kuormien nimelliskeston ollessa enintään kolme kuukautta kuormat voidaan määrittää ottamalla huomioon säätilassa vuodenajan mukaan ja sitä lyhyemmällä aikavälillä tapahtuvat vaihtelut.

Rakenteen ja rakenneosien epätarkkuuksina käytetään toteuttamisen aikaisissa mitoitustilanteissa yleensä valmiin rakenteen normaalisti vallitsevan mitoitustilanteen epätarkkuuksia. Käytettävät epätarkkuudet on määritettävä kuitenkin hankekohtaisesti, jos toteuttamisessa on työvaiheita missä rakennetta tai rakenneosaa kuormitetaan eri asennossa tai sijainnissa kuin lopputilanteessa. Asennustyöstä aiheutuvat pakkovoimat ja niistä aiheutuvat vinoudet tulee ottaa tarvittaessa huomioon. Apurakenteiden vinoudesta aiheutuvat epätarkkuudet on otettava tarvittaessa huomioon, jos ne poikkeavat valmiin rakenteen epätarkkuudesta.

Rakenteen vaatimustenmukaisuus murtorajatilassa tulee osoittaa kaikissa vallitsevissa toteuttamisen aikaisissa tilapäisissä mitoitustilanteissa ja onnettomuustilanteissa sekä maanjäristysalueilla maanjäristystilanteissa. Onnettomuustilanteissa vaikuttavien kuormien yhdistelmät voivat joko käsittää nimelliseen onnettomuuskuorman tai ne voivat liittyä onnettomuustapauksen jälkeiseen tilanteeseen. Rakennetta tarkistettaessa otetaan huomioon asianomainen geometria ja valittavia mitoitustilanteita vastaavan keskeneräisen rakenteen kestävyys.

Vastaavasti tulee osoittaa, että rakenteen käyttörajatiloille asetettavia ehtoja ei ylitetä valittavissa toteuttamisen aikaisissa mitoitustilanteissa. Yleensä vallitsevat kuormayhdistelmät ovat ominaisyhdistelmä ja pitkäaikaisyhdistelmä. Toteuttamisen aikainen muodonmuutos voi olla suurempi kuin valmiilla rakenteella, mikäli muodonmuutos palautuu rakennusaikaisen kuorman poistuttua eikä aiheuta vaurioita pintamateriaaleille tai liittyville rakenteille. Toteuttamisen aikainen kuormitustilanne ei saa aiheuttaa rakenteeseen suurempia halkeamaleveyksiä ja rakenteen jäykkyys ei saa pienen-

tyä halkeilun johdosta normaalitilanteeseen verrattuna. Rakentamisen aikana tulee välttää toimenpiteitä, joista saattaa aiheutua liiallista halkeilua tai ennenaikaisia taipumia. Halkeamat ja taipumat eivät saa haitallisesti vaikuttaa valmiin rakenteen säilyvyyteen, käyttökelpoisuuteen tai ulkonäköön. Apurakenteet tulee suunnitella siten, että valmiin rakenteen toleranssit eivät ylitä.

Rakentamisesta johtuvien muuttuvien kuormien yhdistelykertoimelle  $\Psi_0$  käytetään arvoa 1,0 ja muuttuvan kuorman pitkäaikaisarvon yhdistelykertoimelle  $\Psi_2$  käytetään arvoa 0,3.

## 1.2 Kuormat

Toteuttamisen aikaisten, suunnittelussa huomioitavien kuormien luokitus (rakentamisesta johtuvia kuormia lukuun ottamatta) esitetään taulukossa 2.

**Taulukko 1.** *Kuormien luokitus toteuttamisvaiheiden aikana (rakentamisesta johtuvia kuormia lukuun ottamatta).*

Kuorma	Luokitus				Huomautuksia	Lähde
	Aikariipuvuus	Luokitus / alkuperä	Sijainnin mukainen vaihtelu	Luonne		
Oma paino	Pysyvä	Välitön	Toleranssin puiteissa kiinteä / liikkuva	Staattinen	Liikkuva kuljetuksen / varastoinnin aikana. Dynaaminen putoamistapa-uksessa.	EN 1991-1-1
Maan liike	Pysyvä	Välillinen	Liikkuva	Staattinen		EN 1997
Maanpaine	Pysyvä / muuttuva	Välitön	Liikkuva	Staattinen		EN 1997
Esijännitys	Pysyvä / muuttuva	Välitön	Kiinteä	Staattinen	Muuttuva mitoittaessa paikallisesti (ankkurointi).	EN 1990, EN1992... EN 1999
Esisiirtymätila	Pysyvä / muuttuva	Välillinen	Liikkuva	Staattinen		EN 1990
Lämpötila	Muuttuva	Välillinen	Liikkuva	Staattinen		EN 1991-1-5
Kutistumisen / hydrataation vaikutukset	Pysyvä / muuttuva	Välillinen	Liikkuva	Staattinen		EN 1992, EN 1993, EN 1994
Tuulikuormat	Muuttuva / onnettomuus	Välitön	Kiinteä / liikkuva	Staattinen / dynaaminen	(*)	EN 1991-1-4
Lumikuormat	Muuttuva / onnettomuus	Välitön	Kiinteä / liikkuva	Staattinen / dynaaminen	(*)	EN 1991-1-3
Vedestä johtuvat kuormat	Pysyvä / muuttuva / onnettomuus	Välitön	Kiinteä / liikkuva	Staattinen / dynaaminen	Pysyvä / muuttuva hanke-eritelmien (projektieritelmien) mukaisesti Dynaaminen mahdollisille veden virtausilmiöille.	EN 1990
Jäätävällä säällä sateesta syntyvät kuormat	Muuttuva	Välitön	Liikkuva	Staattinen / dynaaminen	(*)	ISO 12494
Onnettomuus	Onnettomuus	Välitön / välillinen	Liikkuva	Staattinen / dynaaminen	(*)	EN 1990, EN 1991-1-7
Maanjäristys	Muuttuva / onnettomuus	Välitön	Liikkuva	Dynaaminen	(*)	EN 1990 (kohta 4.1), EN 1998

(\*) Lähdeasiakirjoja on syytä tarkastella yhdessä kansallisen liitteen kanssa, jossa voi olla lisätietoja.

Standardista EN 1991-1-6 löytyy lisätietoja rakennusaikaisten kuormien määrittämisestä.

Toteuttamisen aikaisen lumikuorman suuruus voidaan harkita rakennusajankohdan rakennustyön keston ja lumenpoiston perusteella. Lumikuorman ollessa mahdollinen sen arvo  $s$  ei tule valita pienemmäksi kuin  $0,5 \text{ kN/m}^2$ . Arvo  $s$  on katon tai rakenteiden lumikuorma. Kuorman vaikuttaessa työntöaikaisesti muilla tasoilla kuin katolla voidaan lumikuormaa pitää tasan jakautuneena kuormana ja lumen kintostumista esimerkiksi tasolla olevien esteiden takia ei tarvitse tarkastella.

Toteuttamisen aikaisena tuulinopeuden modifioimattoman perusarvona  $v_{b,0}$  keston ollessa enintään 3 kuukautta voidaan käyttää meri- ja manneralueella koko maassa sekä alamaastossa tuntureiden juurella arvoa  $18 \text{ m/s}$  ja tuntureiden lakialueilla arvoa  $24 \text{ m/s}$ . Rakennustyön keston ollessa alle kolme päivää voidaan tuulenopeuden modifioimattomana perusarvona käyttää sääennusteeseen perustuvaa arvoa. Vähimmäisarvo käytettävälle tuulenopeudelle on  $10 \text{ m/s}$ .

Tuuli- ja lumikuormiin ei voi tehdä yhdistettäessä vähennyksiä mikäli käytettävä tuuli- tai lumikuorma on pienempi kuin normaalisti vallitsevassa mitoitustilanteessa.

Rakenneosia ei yleensä mitoiteta onnettomuuskuormille, jotka aiheutuvat esim. työmaa-ajoneuvojen, nostureiden, rakennuslaitteiden tai siirrettävien materiaalien iskuista tai tukien paikallisesta pettämisestä. Rakenneosilla ja niiden liitoksia tulee olla sellainen vaurionsietokyky, että vähäinen törmäys tai isku ei johda rakenteen kantokyvyn menetykseen. Rakenneosia ei myöskään yleensä mitoiteta laitteiden kaatumisesta tai putoamisesta aiheutuville kuormille, ellei kaatuminen tai putoaminen aiheuttaa kohtuuttoman suuria vahinkoja.

Ihmisen törmäyksestä aiheutuvan onnettomuuskuorman mitoitusarvona käytetään:

$2,5 \text{ kN}$  vaikutuspinta-alan ollessa  $200 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$ , minkä avulla otetaan huomioon kompastumisen vaikutukset

$6,0 \text{ kN}$  vaikutuspinta-alan ollessa  $300 \text{ mm} \times 300 \text{ mm}$ , minkä avulla otetaan huomioon putoamisen vaikutukset.

Kohtaa a) voidaan soveltaa sellaisten rakenteiden suunnittelussa, jossa rakenteen pettäminen kompastumisen seurauksena johtaa putoamiseen ja kohtaa b) putoamisen pysäyttävien suojarakenteiden mitoituksessa.

Suomessa maanjäristyskuormia ei tarvitse ottaa mitoituksessa huomioon.

Rakentamisesta johtuvien kuormien luokitus ja ryhmittely on esitetty taulukoissa 2-2 ja 2-3. Betonivalun yhteydessä syntyvät, huomioon otettavat kuormat esitetään taulukossa 2-4.

Rakennusaikaisia kuormia voidaan käsitellä joko yksittäisinä muuttuvina kuormina tai erityyppisiä kuormia voidaan ryhmittää ja käsitellä yhtenä muuttuvana kuormana.

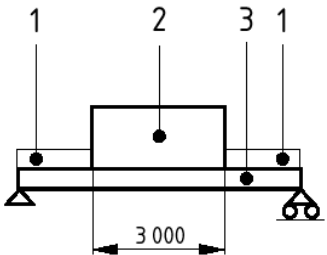
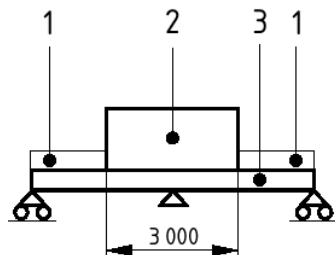
**Taulukko 2.** Rakentamisesta johtuvien kuormien luokitus.

Kuorma	Luokitus				Huomautuksia	Lähde
	Aikariip- puvuus	Luokitus / alkuperä	Sijainnin mukainen vaihtelu	Luonne		
Henkilöt ja käsityökalut	Muuttuva	Välitön	Liikkuva	Staattinen		
Tavaran väliaikainen varastointi	Muuttuva	Välitön	Liikkuva	Staattinen/ dynaaminen	Dynaaminen kuormien pudotessa	EN 1991-1-1
Väliaikaiset laitteet	Muuttuva	Välitön	Kiinteä/ liikkuva	Staattinen/ dynaaminen		EN 1991-3
Liikkuvat raskaat koneet ja laitteet	Muuttuva	Välitön	Liikkuva	Staattinen/ dynaaminen		EN 1991-2, EN 1991-3
Jättemateriaalien kasaantuminen	Muuttuva	Välitön	Liikkuva	Staattinen/ dynaaminen	Voi aiheuttaa kuormia myös esim. pystypinoille	EN 1991-1-1
Rakenteen osista eri tilapäisvaiheissa aiheutuvat kuormat	Muuttuva	Välitön	Liikkuva	Staattinen	Dynaamiset vaikutukset jäävät tarkastelun ulkopuolelle	EN 1991-1-1

**Taulukko 3. Rakentamisesta johtuvat kuormat**

Tyyppi (Merkintä)	Kuvaus	Mallinnus	Huomautuksia
Henkilöt ja käsityökalut $Q_{ca}$	Työntekijät, työnjohto ja vierailijat, mukaan lukien mahdolliset käsityökalut tai muut työmaan pienet laitteet	Mallinnetaan tasaisesti jakautuneena kuormana $q_{ca}$ , joka sijoitetaan siten, että saavutetaan epäedullisimmat vaikutukset.	Kuorman $q_{ca,k}$ ominaisarvo on $1,0 \text{ kN/m}^2$ . Saumaamattomalle elementtitasolle kuorman $q_{ca,k}$ ominaisarvo on $0,5 \text{ kN/m}^2$ .  Ks. myös betonivalun yhteydessä syntyvät kuormat.
Tavaran väliaikainen varastointi $Q_{cb}$	Varastoitaessa väliaikaisesti liikuteltavaa tavaraa, kuten: – rakennusmateriaaleja, elementtejä ja – laitteita	Mallinnetaan liikkuvina kuormina, joita edustavat tilanteen mukaan: – tasaisesti jakautunut kuorma $q_{cb}$ – pistekuorma $F_{cb}$	Kuormien ominaisarvot $q_{cb,k}$ ja $F_{cb,k}$ määritetään hankekohtaisesti.  Rakennusmateriaalien tilavuuspainoja esitetään standardissa EN1991-1-1.
Väliaikaiset laitteet $Q_{cc}$	Käyttöpaikallaan olevat väliaikaiset laitteet. Kuorma on joko: – staattista (esim. muottelineetit, työtelineet, koneet, kontit) tai – liikkuvaa (esim. siirrettävät muotit, siltakannen asennuspalkisto ja apupalkki, vastapainot)	Mallinnetaan liikkuvina kuormina, joita edustaa tilanteen mukainen: – tasaisesti jakautunut kuorma $q_{cc}$	Nämä kuormat voidaan määrittellä hankekohtaisesti käyttämällä toimittajalta saatavaa tietoa. Ellei tarkempaa tietoa ole käytettävissä, kuormat voidaan mallintaa käyttämällä tasaisesti jakautunutta kuormaa, jonka suositeltava ominaisarvo $q_{cc,k}$ on vähintään $0,5 \text{ kN/m}^2$ .  Käytettävissä on joukko mitoitusta käsitteleviä CEN-standardia, esimerkiksi EN 12811 muottien mitoitusta ja EN 12812 muottelineiden mitoitusta varten.
Liikkuvat raskaat koneet ja laitteet $Q_{cd}$	Liikkuvat raskaat koneet ja laitteet, jotka kulkevat tavallisesti pyörillä tai kiskoilla, (esim. nosturit, hissit, ajoneuvot, nostotrukit, kompressorit, tunkit, raskaat nostolaitteet)	Ellei tarkempaa tietoa ole käytettävissä, mallinnetaan standardin EN 1991 asianomaisten osien sisältämän tiedon perusteella.	Ajoneuvoista aiheutuvien kuormien määrittämiseen tarvittavaa tietoa, mikäli sitä ei esitetä hanke-eritelmässä (projektiertelmässä), esitetään standardissa EN 1991-2.  Nostureista aiheutuvien kuormien määrittämiseen tarvittavaa tietoa esitetään standardissa EN 1991-3.
Rakentamisessa syntyvien jättemateriaalien kasaantuminen $Q_{ce}$	Jättemateriaalien kasaantuminen (esim. ylimääräiset rakennusmateriaalit, irrotettu maaines tai puretut materiaalit)	Otetaan huomioon tarkastelemalla mahdollisia massan vaikutuksia vaakasuuntaisiin, kalteviin ja pystysuuntaisiin rakenneseinisiin (kuten seiniin).	Nämä kuormat voivat vaihdella merkittävästi ja lyhyin aikavälein, riippuen esimerkiksi materiaalien tyypistä, ilmasto-olosuhteista, rakentamisen etenemisvauhdista ja jättemateriaalin tyhjentämisväleistä.
Eri tilapäisvaiheissa olevista rakenteen osista johtuvat kuormat $Q_{cf}$	Toteuttamisen eri tilapäisvaiheissa olevista rakenteen osista aiheutuvat kuormat ennen kuin lopulliset mitoituskorvat tulevat vaikuttamaan (esim. nostoista aiheutuvat kuormat)	Otetaan huomioon ja mallinnetaan suunniteltujen toteuttamisvaiheiden mukaisesti, jolloin otetaan huomioon vaiheiden seuraukset (esim. tietyistä työvaiheista, kuten asennuksista aiheutuva kuormittuminen ja kuormituksen poistuminen)	Ks. myös betonivalun yhteydessä syntyvät lisäkuormat.

**Taulukko 4.** Betonivalun yhteydessä syntyvien kuormien suositeltavat ominaisarvot.

Kuorma	Kuormitusalue	Kuorma [kN/m <sup>2</sup> ]
(1)	Työskentelyalueen ulkopuolella	0,75, johon sisältyy kuorma $Q_{ca}$
(2)	Neliön muotoisella työskentelyalueella, jonka sivumitta on 3 m (tai jännemitta, jos se on pienempi)	10 % betonin omasta painosta, mutta vähintään 0,75 ja enintään 1,5 Sisältää kuormat $Q_{ca}$ ja $Q_{cf}$
(3)	Tarkasteltava alue	Muotin ja kuormaa kantavan rakenneosan oma paino ( $Q_{cc}$ ) sekä mitoituspaksuuden mukainen tuoreen betonin paino ( $Q_{cf}$ )
		

Suunnittelussa on huomioitava lisäksi toteuttamisen aikaiset vaakasuuntaiset kuormat. Näihin kuuluvat muun muassa rakentamisesta johtuvien kuormien vaakakomponentit, tuulikuormat sekä sivutie-siirtymäepätarkkuuksien ja sivuttaistaipumien vaikutukset. Ekvivalenttisten vaakasuuntaisten kuormien ominaisarvona käytetään 3 % pystysuuntaisista kuormista, jotka aiheuttavat epäedullisimman yhdistelmän. Tällöin vaakavoimat asetetaan vaikuttamaan kohtiin, jotka aiheuttavat epäedullisimman yhdistelmän. Tätä pienempää arvoa voidaan käyttää, jos pystysuuntaisen kuorman vinous toteuttamisen aikana voidaan arvioida. Betonia valettaessa oletetaan, että valun yläpinnan tasossa vaikuttaa mielivaltaisessa suunnassa muuttuva vaakasuuntainen piste kuorma, jonka ominaisarvo on 1,5 kN.

## 2 Asennusliitokset

### 2.1 Elementtirakennuksen vaakasaumat

#### Seinäelementtien vaakasaumojen kestävyden likimääräinen arviointi rakennusaikana

Rungon pystyrakenteiden vaakasaumojen kuormitus aiheutuu rungon pystykuormista sekä rakennuksen vaakakuormien aiheuttamasta taivutusmomentista ja leikkausvoimasta. Seuraavassa esitetään likimääräinen menetelmä arvioida vaakasaumojen puristuskestävyyttä tavanomaisessa elementtirakennuksessa. Vaativissa rakenteissa on saumojen rasitukset laskettava tarkemmin.

SFS-EN 1992-1-1 kohdan 10.9.4.3 mukaan puristusliitoksessa vaikuttavaa leikkausvoimaa ei tarvitse ottaa huomioon, jos leikkausvoima  $V_{sd}$  on alle 10% liitoksen puristusvoimasta  $N_{sd}$ . Jos leikkausvoima ylittää tuon arvo, on se otettava huomioon sauman mitoituksessa. Tämä tulee esille lähinnä korkeissa rakennuksissa paljon vaakavoimia siirtävien jäykistysseinien yhteydessä.

#### Rasituksena vain pystykuormia

Tarkastellaan ensin valmiin rakennuksen vaakasaumojen puristuskestävyyttä kerroksittain. Oletetaan, että kaikkien kerrosten vaakasaumat toteutetaan kuten alin sauma, joka on rasitetuin. Oletetaan alimman sauman käyttöasteeksi 100 %.

Todellisuudessa käyttöaste on yleensä selvästi alhaisempi, eli oletus on varmallalla puolella. Alimman kerroksen yläpuoliset saumat ovat kevyemmin rasitettuja, jolloin myös niiden käyttöaste on pienempi.

Tarkastellaan tilannetta, jossa seinää ei kuormita vaakakuorma, jolloin rasitukset saadaan lineaarisesti kuormittavien kerrosten mukaan:

$$N_d = n_i * (G_d + Q_d) \quad n_i \text{ on tarkasteltavan sauman yläpuolella olevien kerrosten lukumäärä}$$

$$G_d + Q_d \quad \text{on yhden kerroksen kuormista aiheutuva kuorma}$$

Vaakasauaman kapasiteetti riippuu vain betonin lujuudesta, kun kyseessä on raudoittamaton sauma:

$$N_u = f_{cd}bh \quad \text{missä } f_{cd} \text{ on saumabetonin puristuslujuus ko. ajanhetkellä}$$

$$b, h \text{ on sauman toimiva pituus ja toimiva leveys}$$

Nyt voidaan laskea saumojen käyttöasteet valmiissa rakennuksessa. Tarkastellaan rakennusta, jossa on 7 kerrosta ja kuorman arvona  $G_d + Q_{d_d} = 2.028$ , jotta saadaan käyttöasteeksi alimassa saumassa 100%.

Valitaan betonin lujuudeksi  $f_{cd} = 14.2$  MPa (C25/30 betoni) ja saumojen mitat ykkösen suuruisiksi, jolloin myös sauman lujuus on 14.2. Tulokset saumojen käyttöasteesta on esitetty taulukossa 6.

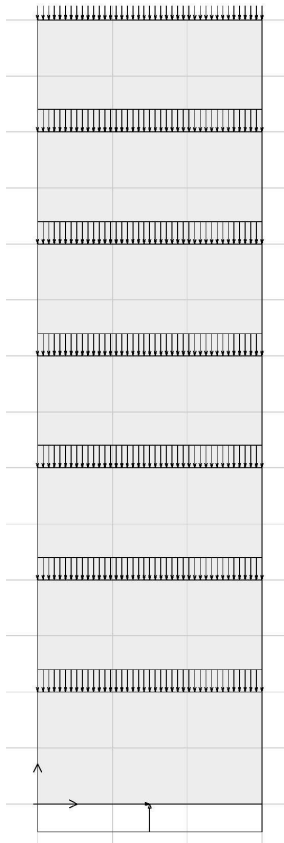
**Taulukko 6.** Saumojen käyttöasteet 7 kerroksisessa rakennuksessa kun kuormana on vain pystykuormaa ja alimman sauman käyttöaste on 100% ja kaikkien saumojen lujuus on sama.

Sauma	Yläpuoliset kerrokset	$N_d$	$N_u$	Käyttöaste
1 (alin sauma)	7	14.2	14.2	1.00
2	6	12.12	14.2	0.85
3	5	10.09	14.2	0.71
4	4	8.06	14.2	0.56
5	3	6.03	14.2	0.42
6	2	4.00	14.2	0.28
7	1	1.98	14.2	0.13

### Huomaa!

Saumojen käyttöasteet kerroksissa muuttuvat kun rakennuksen kerrosmäärä muuttuu (kuva 2).





**Kuva 1** Pystykuormat taulukon 6 rakennuksessa, valmis rakennus



**Kuva 2** Vaakasaumojen käyttöasteet eri korkuisissa rakennuksissa kun alimman sauman käyttöaste on 100% ja muut tekijät ovat vakioita, valmis rakennus. Vaaka-akselilla on sauman numero alhaalta lukien.

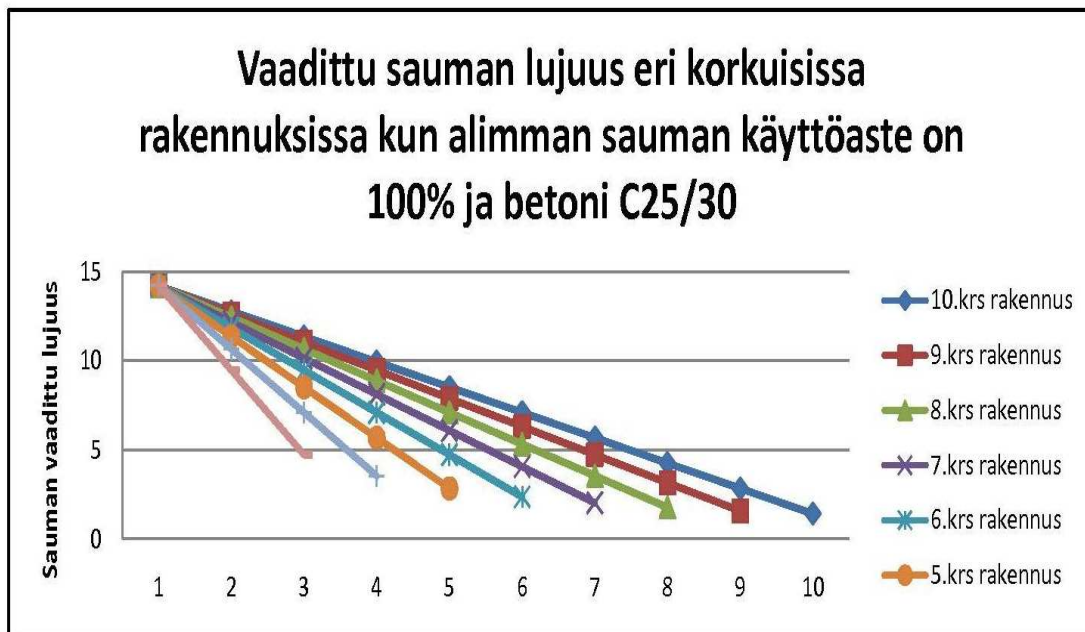
Asennusaikaisessa tilanteessa sauman rasitukset riippuvat sauman yläpuolella olevien kerrosten määrästä. Tarkastellaan alinta saumaa, joka on rasitetuin. Rasitukset kasvavat kerrosmäärän kasvaessa ja samoin sauman lujuusvaatimukset. Tarvittavan saumabetonin lujuus asennettujen kerrosten mukaan on esitetty taulukossa 7.

**Taulukko 7.** Saumojen vaadittu lujuus 7 kerroksisessa rakennuksessa kun alimman sauman käyttöaste on 100% ja lujuus 14.2MPa (C25/30).

Kerroksia päällä	$N_d$	$N_d / N_{u,tot}$	Vaadittu lujuus
7	14.2	1	14.2
6	12.12	0.85	12.12
5	10.09	0.71	10.09
4	8.06	0.56	8.06
3	6.03	0.42	6.03
2	4.00	0.28	4.00
1	1.98	0.13	1.98

Suhde  $N_d / N_{u,tot}$  kuvaa sauman käyttöastetta loppulujuuteen verrattuna, josta voidaan sitten laskea tarvittava asennusaikainen betonin lujuus. Käyttöaste, ja näin ollen myös tarvittava saumabetonin lujuus, saadaan siis suoraan asennettujen kerrosten ja kokonaiskerrosmäärän suhteesta.

Ylläesitetty pätee, jos lopputilanteen kuormitukset ovat suuremmat kuin asennusaikaiset kuormat. Jos asennusaikaiset kuormat ovat suuremmat, täytyy tämä ottaa huomioon.



**Kuva 3** Vaakasaumojen vaadittu lujuus esimerkkitapauksessa erikorkuisissa rakennuksissa kun alimman sauman käyttöaste on 100 % ja muut tekijät ovat vakioita.

#### Rasituksena vaaka- ja pystykuormia

Vaakasauhan mitoitus ei ole yleensä kuitenkaan ainoastaan pystykuorman funktio, vaan myös rakennuksen runkoon kohdistuvat vaakakuormat vaikuttavat sauman mitoitukseen, koska ne aiheuttavat momentin seinän alareunan yli ja täten kasvattavat rasituksia seinän toisella reunalla.

Seuraavassa on tarkastelu, jossa vaakasauman mitoituksessa otetaan huomioon myös vaakakuormat. Tällöin sauma mitoittetaan vaakakuorman aiheuttaman momentin ja pystykuorman yhteisvaikutuksen alaisena. Vaakakuormien aiheuttaman kokonaismomentin ja pystykuormien suhde (epäkeskisyyss) merkitään kirjaimella  $e$ . Raudoittamattomissa liitoksissa pystykuorman epäkeskisyyss on tyypillisesti korkeintaan  $h/6$ , jolloin seinälle ei synny vielä vetorasituksia.

Mikäli sauman kohdalle syntyy vetorasituksia jostain kuormitustapauksesta ja nämä vetovoimat kumotaan esimerkiksi jännittämällä seinä pystysuunnassa, on saumojen kuormitus laskettava aina tarkemmin todellisia kuormia käyttäen!

Epäkeskeisesti puristetun sauman kestävyys lasketaan kaavasta:

$$N_u = f_{cd}bh(1 - 2e/h) \geq N_d \qquad e = M_d/N_d$$

Kaavan mukaisesti vain osa seinän pituudesta kantaa koko kuorman.

Merkitään julkisivuun kohdistuvaa vaakavoimaa kirjaimella  $q$ , jonka oletetaan olevan saman joka kerroksessa. Valmiin rakennuksen saumoissa vaikuttaa kuormitukset

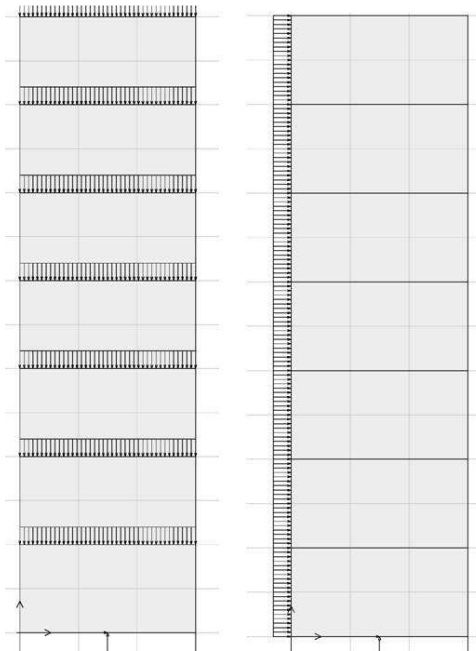
$$N_d = n_i * (G_d + Q_d)$$

$$M_d = \frac{1}{2}q(n_i H)^2$$

$H$  on kerroksen korkeus

$n_i$  on sauman yläpuolisten kerrosten määrä

Tarkastellaan tapausta, että alimmassa saumassa  $e = h/6$ , jolloin saadaan seuraava taulukko valmiin rakennuksen käyttöasteista eri saumoissa.



**Kuva 4.** Rakennukseen kohdistuu vaaka- ja pystykuormituksia

**Taulukko 8.** Saumojen käyttöasteet 7 kerroksisessa rakennuksessa kun kuormana on vaaka- ja pysty-kuormaa ja alimman sauman käyttöaste on 100%.

Kerros	Yläpuoliset kerrokset	$N_{dmax}$	e	$N_u$	Käyttöaste
1	7	9.37	0,17	9,37	1,00
2	6	8.03	0,15	9.94	0.81
3	5	6.69	0,12	10.79	0.62
4	4	5.35	0,10	11.36	0.47
5	3	4.01	0,07	12.21	0.33
6	2	2.67	0,05	12.78	0.20
7	1	1.34	0,02	13.63	0.01

Valmiissa rakennuksessa kerrosten saumojen käyttöaste pienenee siis nopeammin, kun epäkeskisyydet otetaan huomioon. Asennusaikana tilanne on samansuuntainen, eli saumojen käyttöaste pienenee nopeammin kuin pelkän pystykuorman tapauksessa. On kuitenkin muistettava, että vaaka- ja pystykuormien vaikuttaessa yhtä aikaa, on pystykuormakapasiteetti pienempi kuin pelkän pystykuorman tapauksessa.

**Taulukko 9.** Saumojen vaadittu lujuus 7 kerroksisessa rakennuksessa kun alimman sauman käyttöaste on 100% ja lujuus 14.2 (C25/30).

Kerroksia päällä	$N_d$	e	$N_d / N_{u,tot}$	Vaadittu lujuus
7	9.37	0,17	1,00	14.20
6	8.03	0,15	0.81	11.47
5	6.69	0,12	0.62	8.80
4	5.35	0,10	0.47	6.69
3	4.01	0,07	0.33	4.66
2	2.67	0,05	0.20	2.97
1	1.34	0,02	0.01	1.40

Yhteenvedon voidaan todeta että pelkän pystykuorman huomioiminen saumojen lujuustarkastelussa antaa varmalla puolella olevan arvion tarvittavasta asennusaikaisesta sauman lujuudesta **kun alimman sauman mitoituksessa on huomioitu vaakakuormien aiheuttama lisärasitus.**

Eli vaadittu betonin lujuus saadaan lausekkeesta

$$C_{vaad} = (l_a/l_{tot}) C \quad \text{missä } C \text{ on sauman suunnittelulujuus}$$

$$l_a \text{ on asennettujen kerrosten määrä}$$

$$l_{tot} \text{ on sauman yläpuolisten kerrosten kokonaismäärä}$$

Yllä olevan kaavan mukaista periaatetta voidaan soveltaa myös pilareiden juotossaumoihin, kun kyseessä on pilarit, jotka kantavat kuormia useammasta kerroksesta ja on liitokset on oletettu niveliksi. Hallimaisten rakennusten mastopilarit on syytä tarkastella aina erikseen, koska asennusaikaisten kuormien suuruus voi vaihdella suuresti hallin rakenteista ja asennusjärjestyksestä riippuen.

### Laskentaesimerkki todellisilla kuormituksilla

Lasketaan esimerkkinä 7 kerroksisen asuinkerrostalon jäykistävän seinän vaakasaumojen kuormitus ja vaadittu saumausmassan lujuus kunakin ajankohtana. Rakennuksen asennusnopeus on 1 kerros/viikko. Rakennus kuuluu seuraamusluokkaan CC2.

Rakenne:

- Seinän paksuus  $t=200\text{mm}$ , kerroskorkeus 3m
- Betoni C30/37
- Saumausmassan lujuudeltaan C25/30
- Seinän kuormitusalueen leveys vaakarakenteilta on  $b=10\text{m}$
- Vaakarakenteet ontelolaatta  $h=370$  + pintabetoni 40mm

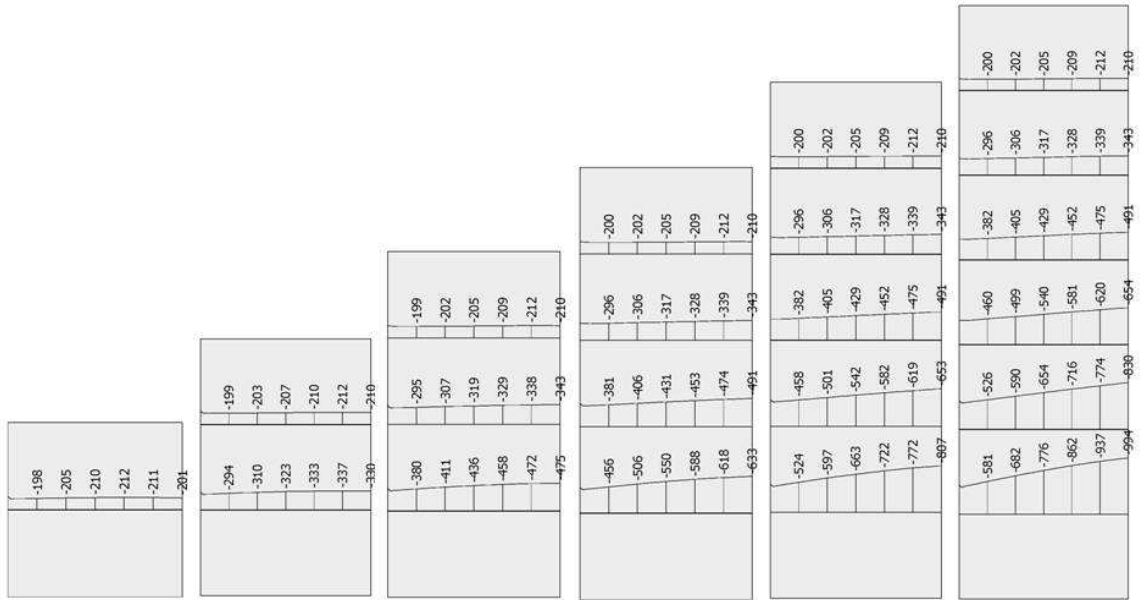
Kuormitukset:

- Tuulikuorma  $q_{kw}=1.21 \text{ kN/m}^2 \cdot 0.75 \cdot 10\text{m}=9.08 \text{ kN/m}$
- Hyötykuorma asennusaikana  $q_c=q_{ca}+q_{cb}+q_{cc}=(1.0+0.2+0.5) \cdot 10=17.0 \text{ kN/m}$
- Pysyvät kuormat vaakarakenteilta/kerros  $g=10 \cdot (5+1)=60 \text{ kN/m}$
- Rakenteiden vinoudesta aiheutuvat kuormat  $H_q=0.75 \text{ kN/kerros}$  ja  $H_g=2.7 \text{ kN/kerros}$ . Kuormat on laskettu käyttäen arvoa  $N/200$ . Vaakakuormia on laskettu keräytyvän n.  $90\text{m}^2$  alueelta.

### Kuormitusyhdistelmänä on laskennassa käytetty:

$1.15 \cdot G_k + 1.5 \cdot Q_c + 1.5 \cdot 0.6 \cdot Q_{kw}$ , joka antaa tässä tapauksessa määrävän kuormituksen. Kuormituksen aiheuttamat rasitukset eri asennusvaiheissa on esitetty kuvassa 5.

Voimasuureet on tässä tapauksessa laskettu Strusoft FEM-Design 9.0 ohjelmalla. Rasitukset on yksittäiselle seinälle helppo laskea myös käsin, mutta on muistettava ottaa huomioon kunkin seinän rakennukseen vaakakuormista saama rasitus. Kuvassa 5 näkyy selvästi vaakakuormien aiheuttaman rasituksen osuuden kasvu asennettujen kerrosten lisääntyessä. Vaakakuormat onkin ehdottomasti muistettava ottaa huomioon korkeissa rakennuksissa, joissa asennusnopeus on suuri.



**Kuva 5** Laskentaesimerkin vaakasauman rasitukset asennusaikana (laskentakuormia)

**Sauman mitat**

Lasketaan sauman kestävyys 1 metrin mittaiselle seinän pätkälle.

Saumavalusta ei saumassa aina toimi koko leveys, joten sauman pinta-alasta on syytä vähentää osa leveydestä esim. By 50 kohdan 2.6.1.4 mukaan sauman korkeuden verran.

Seinän paksuus on 200mm, sauman korkeus on 25mm, jolloin teholliseksi sauman leveydeksi voidaan laskea  $b_{eff}=200-2*0.5*25=175mm$ .

Sauman pinta-ala 1m matkalla on siis  $A=0.175*1=0.175m^2$ .

**Sauman lujuudenkehitys**

Sauman lujuudenkehitysnopeus riippuu voimakkaasti käytetystä materiaalista ja on aina varmistettava kohdekohtaisesti. SFS-EN 1992-1-1 on esitetty betonin puristuslujuuden kehitykselle 20C lämpötilassa kaava:

$$f_{ck}(t) = f_{cm}(t)-8(\text{Mpa}) \quad \text{välille } 3 < t < 28 \quad \text{vuorokautta}$$

$$f_{ck}(t) = f_{ck} \quad \text{välille } t > 28 \quad \text{vuorokautta}$$

$$f_{cm}(t) = \beta_{cc}(t) f_{cm}$$

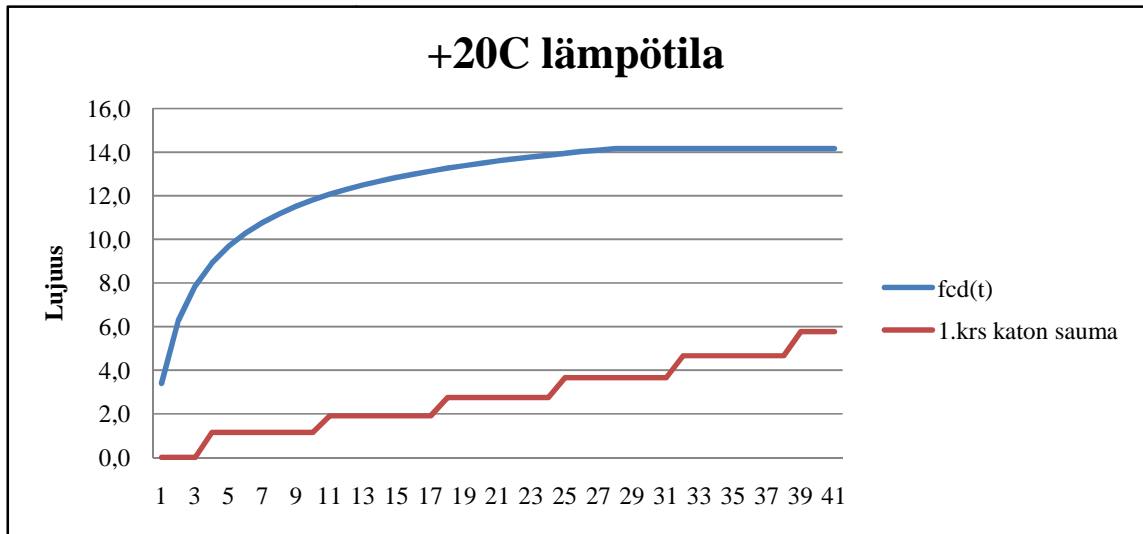
$$\beta_{cc}(t) = \exp(s(1-(28/t)^{1/2}))$$

t = betonin ikä vuorokausina

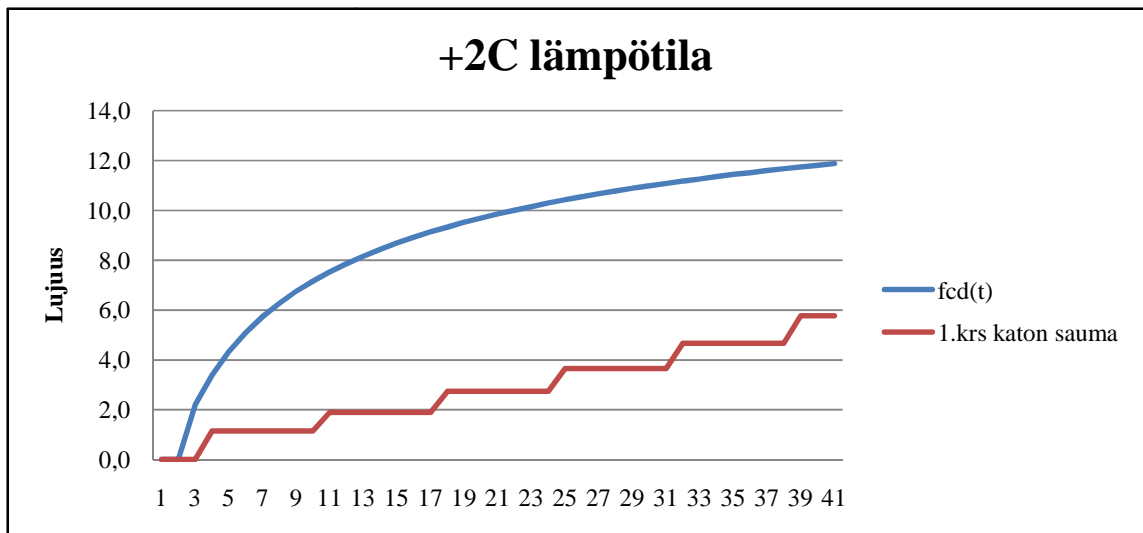
s = sementin tyypistä riippuva kerroin SFS-EN 1991-1-1 kohta 3.1.2

Eri sementtilaaduille on esitetty kirjallisuudessa aika- lujuus käyriä.

Kuvassa 6 on esimerkki SFS-EN 1991-1-1 kohdan 3.1.2 mukaan lasketusta lujuudenkehityksestä betonille C25/30 20C lämpötilassa.



**Kuva 6** Esimerkki sauman lujuudenkehityksestä ja laskentaesimerkin 1.krs katon sauman rasituksista + 20C lämpötilassa



**Kuva 7** Esimerkki sauman lujuudenkehityksestä ja laskentaesimerkin 1.krs katon sauman rasituksista + 2C lämpötilassa

## Seinien vaakasaumojen leikkauskestävyys

Vaakasaumojen leikkausvoimat välitetään yleensä sauman kitkavoimien avulla. Tällöin vaakavoimista aiheutuvat leikkausrasitukset siirretään alempiin rakenteisiin sauman kitkan avulla, eli

$$F_{\mu} = \mu N \quad \text{missä} \quad \mu \text{ on kitkakerroin}$$

$N$  on saumassa vaikuttava normaalivoima.

Siten kitkavoiman suuruus riippuu yläpuolisten rakenteiden painosta eli kerrosmäärästä. Jos lopputilanteen sauman kitkan mukainen kapasiteetti on riittävä, niin silloin asennustilanteessakin kapasiteetti on riittävä, koska kerrosten vaaka- ja pystykuormat muuttuvat yhtäläisesti kerrosmäärän mukaisesti ja kitkakerroin pysyy vakiona. Asennusaikana pystykuormat ovat hieman pienemmät, mutta vastaavasti tuulikuormasta saadaan tehdä vähennys, joka kompensoi pienemmät pystykuormat. Lisäksi saumoihin laitetaan onnettomuusrajatilan mukaisesti tapit tai muut liitoselimet, jotka antavat lisävarmuutta vaakasauman leikkauskestävyyteen. Näin ollen seinien vaakasaumojen kapasiteetit eivät yleensä tule mitoittavaksi asennusaikaisessa tilanteessa.

## Elementtivalipohjien- ja yläpohjien leikkausta välittävät saumat

Jäykistävinä levyrakenteina toimivien laatasteojen toiminta perustuu sideraudoitukseen, hitsauskiinnikkeisiin, laattojen välisiin leikkausvoimaa siirtäviin juotosliitoksiin ym.

Kun levyjäykistys saadaan aikaan laatasteojen välisten betoni- tai laastisaumojen välityksellä, on eurokoodin SFS-EN 1992-1-1 kohdassa 10.9.3 pituussuuntainen keskimääräinen leikkausrasitus  $v_{Rdi}$  rajoitettu arvoon:

0.15MPa pinnat sileitä tai karheita

0.10MPa pintojen ollessa hyvin sileitä.

Pintojen määrittely löytyy SFS-EN 1991-1-1 kohdasta 6.2.5.

Ontelolaattojen saumat kuuluvat luokkaa sileä.

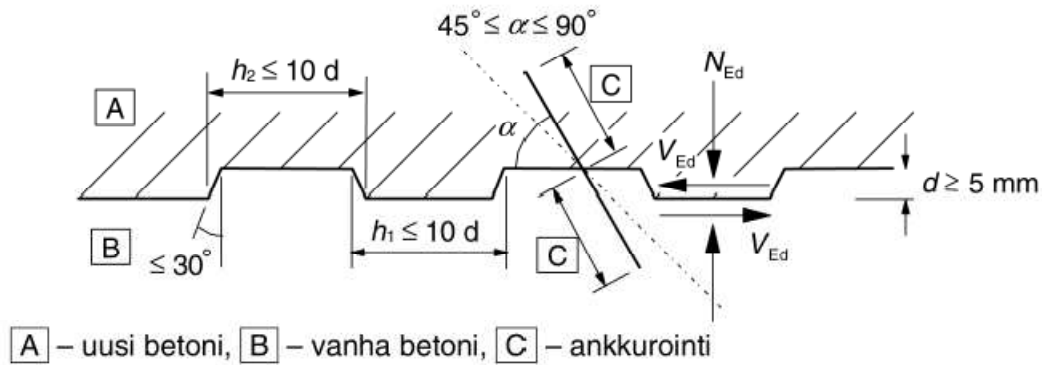
Tarkasteltaessa asennusaikaista tilannetta on otettava huomioon saumabetonin tai -laastin todellinen lujuus ajanhetkellä  $t$ .

## Elementtien väliset pystysaumot (jäykistävät seinät)

Elementtien väliset pystysaumojen rasitukset syntyvät vaakakuormista, jotka aiheuttavat leikkausrasituksia elementtien pystysaumoihin. Pystysaumojen rasituksia vastaan riittävä kapasiteetti voidaan toteuttaa usealla eri tavalla, käyttäen saumassa teräslenkkejä, betonivaarvoja tai näiden yhdistelmää.

Suomessa nykyään yleisin käytetty seinäliitos on vaijerilenkkiliitos. Taipuisa lenkki helpottaa elementtien paikoilleen asentamista ja nopeuttaa saumaterästen asennusta. Vaijerilenkit voidaan joustavuuksensa vuoksi sijoittaa samaan korkeuteen molemmiin puolin. Vaijerilenkkejä voidaan käyttää kaikissa saumatyypeissä niiden kapasiteettien sallimissa rajoissa. Raskaasti leikkauskuormitetuissa pystysaumoissa joudutaan käyttämään pyöröteräslenkki-betonivaarnaliitosta. Tällöin tulee välttää kahden jäykän lenkin kohtaamista samassa saumassa. Asennusaikana kapasiteettia laskettaessa on muistettava käyttää betonin lujuutta tarkasteluajanhetkenä.





**Kuva 8** Vaarnasauman merkinnät SFS-EN 1991-1-1 kohta 6.2.5

**Sauman mitoitusehto:**

$$V_{Edi} \leq V_{Rdi}$$

Eurokoodin mukaan laskettava leikkausjännitys seuraavassa esitetystä kaavasta ei aina ole suoraan sovellettavissa jäykistävillä seinillä, vaan jännitys on laskettava ylä- ja alareunaan vaikuttavien pys-  
tysuuntaisten voimien erotuksena. Katso kuva 9.

$v_{Edi}$  on rajapinnassa vaikuttavan leikkausjännityksen mitoitusarvo, joka lasketaan kaavasta

$$v_{Edi} = \beta V_{Ed} / (z b_i)$$

$\beta$  on uutta betonia olevan poikkileikkauksen jännitysresultantin ja koko poikkileikkauksen jännitys-  
resultantin suhde joko puristus- tai vetoalueella, molemmat laskettuina samassa kohdassa

$V_{Ed}$  on rakenneosan leikkausvoima

$z$  on koko poikkileikkauksen sisäinen momenttivarsi

$b_i$  on rajapinnan leveys

$v_{Rdi}$  on rajapinnan leikkauskestävyyden mitoitusarvo.

$$v_{Rdi} = c f_{ctd} + \mu \sigma_n + \rho f_{yd} (\mu \sin \alpha + \cos \alpha) \leq 0.5 v f_{cd}$$

$c$  ja  $\mu$  ovat kertoimia, jotka riippuvat rajapinnan karheudesta

$\sigma_n$  on rajapintaan kohdistuva, sen leikkausvoiman kanssa samanaikaisesta ulkoisesta normaalivoimas-  
ta aiheutuva pienin mahdollinen normaalijännitys, puristus positiivisena ja  $\sigma_n < 0,6 f_{cd}$  sekä veto nega-  
tiivisena. Kun  $\sigma_n$  on vetoa, tulolle  $c f_{ctd}$  käytetään arvoa 0.

$$P = A_s / A_i$$

$A_s$  on rajapinnan läpi kulkevan raudituksen poikkileikkausala, johon kuuluu mahdollinen tavallinen  
leikkausraudoitus, joka on ankkuroitu riittävästi rajapinnan kummallekin puolelle

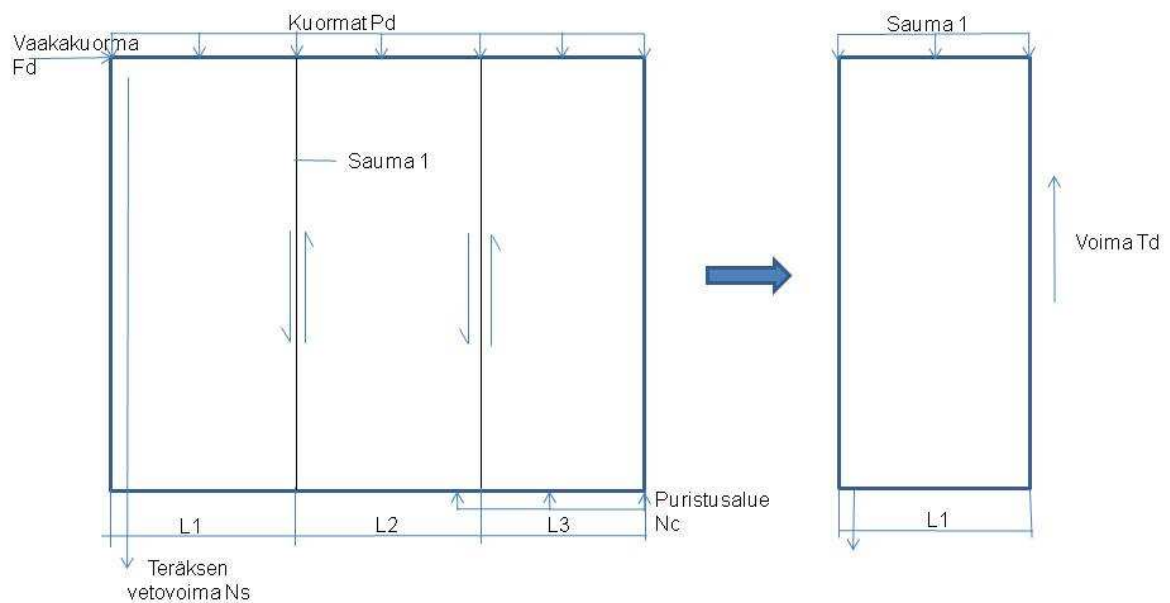
$A_i$  on rajapinnan pinta-ala

$\alpha$  määritellään kuvassa 8, ja se rajoitetaan välille  $45 \leq \alpha \leq 90$

$v = 0.6(1 - f_{ck}/250)$ , on lujuuden pienennyskerroin

Tarkemman tiedon puuttuessa pinnat voidaan luokitella hyvin sileisiin, sileisiin, karheisiin tai vaarnattuihin:

- Hyvin sileä: pinta, joka on valettu teräs-, muovi- tai erikoiskäsiteltyä puumuottia vasten:  $c = 0,10$  ja  $\mu = 0,5$ .
- Sileä: liukuvalettu pinta tai ekstruuderipinta tai tärytyksen jälkeen jälkikäsittelemättä jätetty vapaa pinta:  $c = 0,20$  ja  $\mu = 0,6$ .
- Karhea: pinta, jossa on vähintään 3 mm karheus noin 40 mm välein; se saavutetaan urakaapimalla, ruiskuttamalla pinta pesubetoniksi tai muilla menetelmillä, joilla saavutetaan vastaava ominaisuus:  $c = 0,40$  ja  $\mu = 0,7$ .
- Vaarnattu: pinta, jossa kuvan 8 mukainen hammastus:  $c = 0,50$  ja  $\mu = 0,9$ .



**Kuva 9** Saumassa vaikuttava voima jäykistävässä seinässä

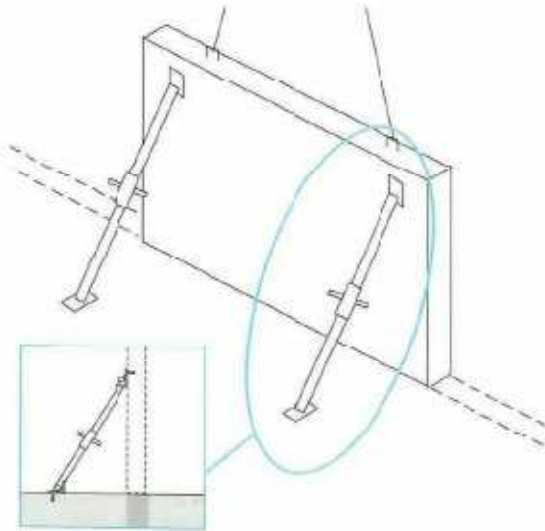
Saumassa vaikuttava voima voidaan laskea seuraavasti

$$T_d = N_s + P_d * L_1$$

## Elementtien asennusaikainen tuenta

Asennusvaiheessa elementit tuetaan vähintään kahdella säädettävällä elementtituella (kuva 6). Elementtitukien kiinnityspisteiden elementissä ja kiinnitettävässä pinnassa on oltava varmoja ja turvallisia. Nostoapuvälineet saadaan irrottaa elementistä vasta kun elementti on kiinnitetty tai tuettu valmistajan ja suunnittelijan ohjeiden mukaisesti. Elementit kiinnitetään mahdollisimman pian muuhun rakennuksen runkoon. Asennusaikainen tuenta voidaan poistaa kun elementti on kiinnitetty lopullisesti paikalleen.

Suurta kapasiteettia vaativissa seinäliitoksissa tiheästi lenkitetyt teräsvaarnat hidastavat asennustyötä ja aiheuttavat runsaasti jälkityötä lenkkien taivuttelussa. Näissä tapauksissa hitsiliitos on usein kilpailukykyinen ratkaisu. Hitsiliitoksen etuna on lisäksi nopea rakennusaikainen stabiliteetti ja elementtitukien poistamismahdollisuus heti hitsauksen jälkeen. Ratkaisu soveltuu erityisesti kohteisiin, missä elementtituet ovat vaikeasti asennettavia tai haittaavat kulkua. Talvella vaikutus korostuu, sillä pakkaskausilla saumojen lujittuminen riittävästi vinotukien poistamiseksi voi kestää useita viikkoja.

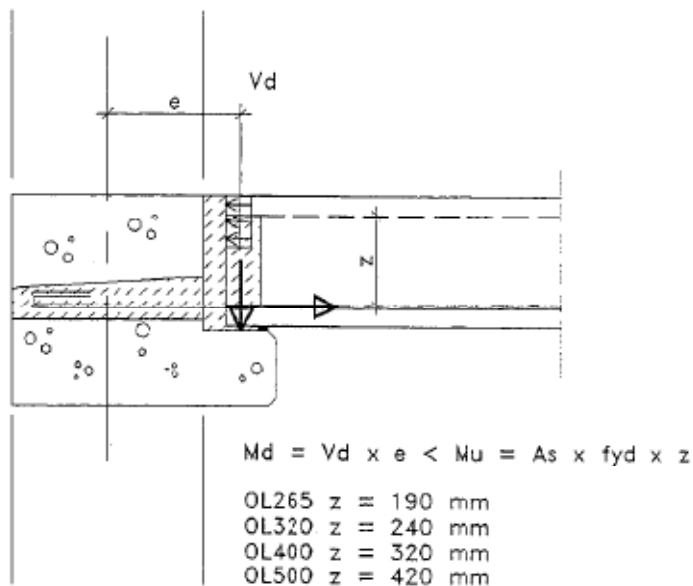


**Kuva 10.** Seinäelementin asennusaikainen tuenta.



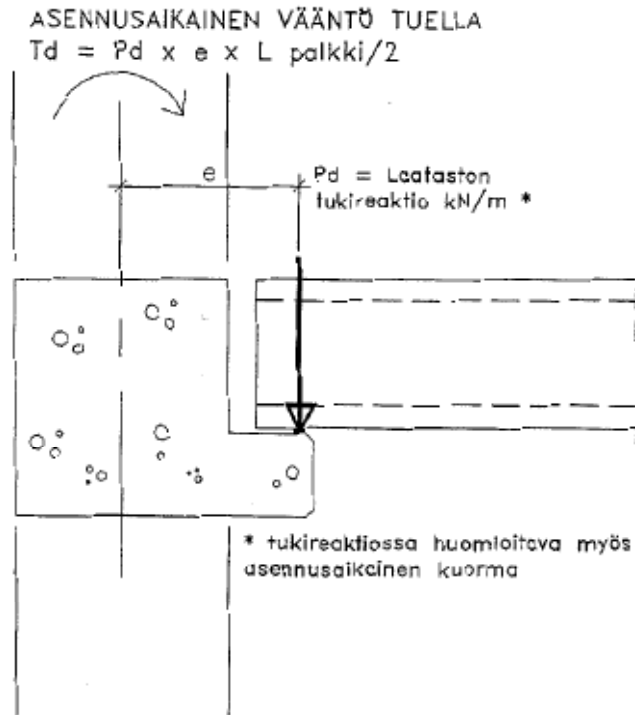
## 2.2 Reunapalkkien liitokset

Kun reunapalkkina käytetään leukapalkkia, laataston tukireaktio on epäkeskeinen palkin keskilinjaan nähden. Palkkiin kohdistuu tällöin vääntömomentti, ja palkki pyrkii kiertymään akselinsa ympäri. Tällöin palkki on kiinnitettävä päistään vääntöjäykästi ja mitoittettava väännölle. Vaihtoehtoisesti palkin kiertyminen on estettävä saumaraudoituksen avulla, jolloin vääntömomentti siirtyy laatan taivutusmomentiksi. Tällöin saumaraudoitus toimii vetoraudoituksena ja laatan yläreunaan syntyy puristusalue, joka saumavalun välityksellä siirtää voiman palkin kylkeen.



**Kuva 11.** Saumaterästen mitoitus väännössä.

Ontelolaatta asennetaan betonipalkkiin liimatun neopreeninauhan varaan. Nauha toimii asennusajaisena tukipintana. Kuvassa 12 on esitetty asennusajaiseen vääntöön liittyvät voimasuureet ja niiden sijainnit. Laataston tukireaktioon on laskettava laataston omapaino saumavaluineen sekä muut rakentamisesta johtuvat kuormat.



**Kuva 12.** Asennusajaiset voimasuureet reunapalkissa.

Ellei palkkia ja sen liitoksia suunnitella jo asennustilanteessa vääntöjäykiksi, palkki on tuettava asennusajaiselle väännölle. Asennustukia käytettäessä elementtisuunnittelijan on esitettävä suunnitelmassaan asennusajaiseen vääntöön liittyvän voiman suuruus ja sijainti sekä asennustukien tukipintojen koko ja paikka. Ontelolaattojen kestävyuden kannalta on edullista tukea palkki läheltä palkin päätä, jolloin palkin taipumat pääsevät vapaasti syntyämään ennen sauma- ja pintavalua. Jos palkin vääntöraudoitus on riittämätön, tarvitaan tuentaa myös kentässä.

Asennustukien käyttö on kuitenkin aikaa vievä työvaihe ja samoin asennustuet haittaavat muita työvaiheita alemmissa kerroksissa. Ensimmäisen kerroksen asennustukien perustaminen talviaikaan maanvaraisesti on todettu usein ongelmalliseksi. Normaalkerroksissa asennustuet tuetaan alemman laataston varaan, jolloin nämä kuormat on huomioitava laataston ja reunapalkin mitoituksessa. Asennustukien käytölle löytyy parhaat perustelut matalista, 1–2 kerroksisista rakennuksista, joissa jänneväli on pitkä.



**Kuva 13.** Reunapalkin tuenta.



**Kuva 14.** Reunapalkin tuenta.

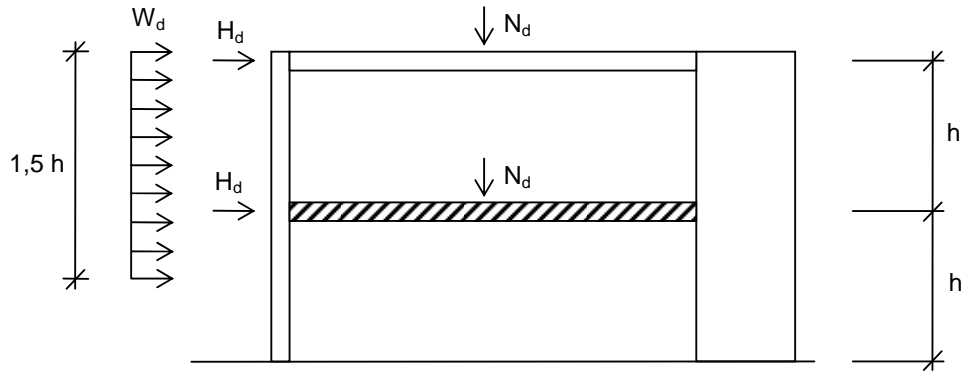
### 3 Asennusaikainen jäykistystarkastelu

Rakennusrungolla tulee olla kaikissa asennustyön vaiheissa riittävä kokonaisvakavuus. Rungon jäykistys vaakakuormia vastaan järjestetään siten, että rakennuksen vaakavoimat johdetaan kerroksittain rungon jäykistävälle pystyrakenteille. Väli- ja yläpohjarakenteen suunnitellaan siten, että ne toimivat tasonsa suunnassa jäykkinä levyinä, jolloin ne siirtävät rungon vaakasuuntaiset kuormat jäykistävälle rakenneosille. Jäykistävät pystyrakenteet siirtävät voimat edelleen perustuksille.

Betonelementtirungossa voimat siirtyvät elementiltä toiselle niiden välisten liitosten avulla. Liitokset ovat tyypillisesti jälkivalettuja betonisaumoja. Siten rungon pystytysvaiheessa vakavuus riippuu erityisesti saumabetonin lujuudesta rakennusaikana.

Asennusaikaiset kuormat poikkeavat lopputilanteen kuormista. Ennen kaikkien kerrosten ja rakenneosien asennusta kuormat ovat yleensä pienempiä kuin lopullisessa tilanteessa. Toisaalta rakenteet saattavat toimia eri tavalla, jolloin rasitukset voivat olla suurempiakin kuin lopullisessa tilanteessa.

Esimerkkinä tarkastellaan saumatun välipohjalaataston kuormituksia ennen seuraavan kerroksen laataston valua. Saumatun välipohjan päälle asennettava julkisivu toimii tällöin ulokkeena, ja saumatun laatta joutuu kantamaan suuremman vaakakuorman kuin lopputilanteessa.



**Kuva 15.** Välipohjalaataston asennusaikaiset kuormat.

Lopputilanteessa laatastolle tuleva vaakakuorma on

$$P_d = W_d + H_d,$$

missä  $W_d$  on lopputilanteen tuulikuorma

$H_d$  on lopputilanteen vinoudesta aiheutuva vaakakuorma.

Ennen yläpuolisen laatastoston saumausta tuulikuorma tulee 1,5-kertaiselta alalta, ja rungon vinoudesta aiheutuvat kuormat tulevat kahdelta kerrokselta, jolloin saumatun laatastoston vaakakuormaksi saadaan

$$P_{d0} = 1,5W_{d0} + 2H_d$$

missä  $W_{d0}$  on asennusaikainen tuulikuorma

$H_{d0}$  on asennusaikainen vinoudesta aiheutuva vaakakuorma.

Tässä yhteydessä on muistettavaa, että asennusaikaisille kuormille sallitaan tiettyjä vähennyksiä lopputilanteen kuormiin verrattuna.

## 4 Työturvallisuus

Työturvallisuuden huolehtimisveloitteet rakennushankkeen osapuolille määritetään työturvallisuuslaissa (738/2002) sekä valtioneuvoston asetuksessa VNa 205/2009 rakennustyön turvallisuudesta. Suunnittelijan vastualueet on selkeytetty SKOL ry:n julkaisussa Rakennesuunnittelijan työturvallisuustehtävät. Seuraavassa on esitetty lyhennelmänä edellä mainitun raportin sisältöä, pääpainona suunnittelijan vastualueet. Kursiivilla merkityt lauseet ovat suoraan laki- tai asetustekstistä. Teksti on luonteeltaan ohje, ja mikäli siinä esiintyy ristiriitaisuuksia asetusten ja muiden sitovien ohjeiden välillä, noudatetaan aina voimassa olevia lakeja, asetuksia ja määräyksiä.



## 4.1 Rakennushankkeen osapuolten työturvallisuusvelvoitteet

### Pääsuunnittelija

- Vastaa rakennuksen suunnittelun kokonaisuudesta ja huolehtii siitä, että eri osapuolten suunnitelmat muodostavat kokonaisuuden, joka täyttää rakentamisen toteuttamiselle asetetut vaatimukset
- Varmentaa suunnittelun kokonaisuuden toteutumisen allekirjoituksellaan tarkastusasiakirjaan ja elementtiasennussuunnitelmaan. Pääsuunnittelija valvoo, että kaikki tarvittavat suunnitelmat on hankkeeseen laadittu ja varmistaa suunnittelijoiden pätevyydet tehtävään.

### Vastaava rakennesuunnittelija

Vastaavan rakennesuunnittelijan tulee huolehtia osaltaan, että hankkeen muut osapuolet ovat huolehtineet omista tehtävistään työturvallisuuden suunnittelussa rakenteelliselta kannalta. Tämän lisäksi vastaava rakennesuunnittelija:

- Osallistuu asennussuunnitelman laadintaan ja kokoamiseen päätoteuttajan kanssa yhteistyössä
- Hyväksyy osaltaan asennussuunnitelman
- Muistuttaa, että muut kohteen suunnitteluun osallistuvat rakennesuunnittelijat antavat tiedot pätevydestään tehtäväänsä edelleen rakennusvalvontaviranomaiselle toimitettavaksi. Rakennuttajan on huolehdittava, että vastaavalla rakennesuunnittelijalla on tiedot kyseisistä suunnittelijoista
- Laatii kuvauksen rakennusrungon toiminnasta lopputilanteessa asennussuunnitelman liitteeksi
- Huolehtii, että rungon tuoteosasuunnittelija on antanut asennussuunnitelmaan tiedot rungon asennuksenaikaisesta stabiiliteetista
- Huolehtii, että hankkeeseen on laadittu rakennesuunnittelun vaaratekijöiden arviointi ja tarkastuslista vastuunjakotaulukkoineen ja että kyseinen asiakirja on liitetty sopimusasiakirjoihin
- *Huolehtii, että rakennesuunnitelmat ja erityissuunnitelmat ovat asennustyön turvallisuuden kannalta ristiriidattomat ja muodostavat kokonaisuuden, joka täyttää elementtirakentamisen toteutuksen sille asettamat työturvallisuusvaatimukset (VNa 205/2009, 7§)*

**Osakokonaisuuden rakennesuunnittelija**

Kuten vastaava rakennesuunnittelija oman osakokonaisuutensa osalta

**Rakennusrungon, julkisivun tai muun olennaisen rakennusosan tuoteosasuunnittelija**

Tuoteosasuunnittelijalla tarkoitetaan tässä yhteydessä runkotoimittajan rakennesuunnittelijaa tai rakennusrungon elementtisuunnittelijaa. Kyseisten tehtävien suorittajan tulee osaltaan huolehtia seuraavien tehtävien ja tietojen antamisesta. Tässä kuvattu tehtävien vastuujako on tavanomainen, mutta jos sopimussuhteista johtuen vastuujaot poikkeavat olennaisesti, on laadittava projektikohtainen vastuunjakotaulukko, jossa selvennetään kunkin osapuolen velvollisuudet:

- Antaa riittävät tiedot asennussuunnitelman laadintaan ja kokoamiseen päätoteuttajan kanssa yhteistyössä
  - Rungon stabiliteettikuvaus asennuksen aikana
  - Väli aikaisten tukien käyttö ja purkuajankohta
  - Saumausbetonien lujuusvaatimukset ja laadunvalvonta
  - Vaatimukset liitoksien lujuudenkehitykselle ja sen seurannalle
  - Vaatimukset talvibetonoinnille, lämmitystavat ja käytettävät materiaalit
  - Selvitys hitsausmenetelmistä
  - Vaatimukset hitsattaessa kylmissä tai kosteissa olosuhteissa
  - Hitsien tarkastuslaajuus ja menetelmä
  - Vinoon asennettavien rakenteiden tuenta asennuksen aikana
  - Ristikoiden ja korkeiden palkkien kiepahdustuenta asennuksen aikana
  - Betoni- ja teräsrakenteiden asennustoleranssit
  - Minitukipinnat laatoille ja palkeille, asennuspalojen koot ja sijainnit
  - Kiinnitysosat, kuten esimerkiksi sisäkierteet, tartuntalevyt, pilareiden tukipinnat ja kiinnitysosien koot, tyypit ja sijainnit
  - Tukitankojen kiinnitys esimerkiksi alapäässä maassa ja holveilla
  - Tukitangot leukapalkkien kiertymän estossa
  - Ruuvikiinnitykset, liitosluokat, esikiristytykset, lukitusvaatimukset ja tarkastus ja dokumentointi
  - Pintakäsittelyvaatimukset
  - Teräsrakenteiden palosuojaukset
  - Ripustettujen rakenteiden tuentojen poistamisajankohta
  - Antaa vaatimukset betonielementtien nosto ja käsittelylujuuksista
- Määrittelee valmisosien sallitut nosto- ja käsittelytavat suunnitelmissaan yksityiskohtaisesti
- Suunnittelee valmisosien tarvittavat asennus-, kaide-, putoamissuojaus yms. kiinnikkeet rakennuttajan tai päätoteuttajan antamien ohjeiden mukaan
- Hyväksyy osaltaan asennussuunnitelman

**Valmisosasuunnittelijat (betoni-, teräs-, puu-, tila- jne.)**

Tämä suunnittelija suunnittelee esim. jännebetonipalkkien tai puuristikoiden raudoitus- tai valmistuspiirustuksen.

- Osallistuu asennussuunnitelman laadintaan ja kokoamiseen päätoteuttajan kanssa yhteistyössä
- Määrittelee elementtien nostotavat suunnitelmissaan yksityiskohtaisesti
- Suunnittelee valmisosien työnaikaiset esim. painumatuet ja huomioi tuentojen vaikutukset valmisosien raudoituksissa ja liitosten mitoituksessa yhteistyössä rungon tuoteosatoimittajan kanssa. Tämän lisäksi valmisosasuunnittelija antaa valmisosien työnaikaisten tukien sijainnit ja tukien mitoitukseen tarvittavat kuormitustiedot suunnitelmissaan.
- Suunnittelee elementeissä tarvittavat asennus-, kaide-, putoamissuojaus- yms. kiinnikkeet päätoteuttajan antamien ohjeiden mukaisesti
- Hyväksyy osaltaan asennussuunnitelman

**Geotekninen suunnittelija**

Huolehtii, että rakennushankkeessa maan sortumanvaara sekä maan ja maamassojen kantavuus ja vakavuus on arvioitu luotettavasti. Huolehtii, että kaivannoista on laadittu asianmukaiset kaivu- ja tuentasuunnitelmat ennen työn aloittamista.

**Muut suunnittelijat**

Muut suunnittelijat osallistuvat työturvallisuuden suunnitteluun rakennuttajan turvallisuuskoordinaattorin ja päätoteuttajan ohjeiden mukaisesti.

**4.2 Rakenne-, valmisosa- ja asennussuunnitelmissa esitettävät asiat**

Tässä ohjeessa työturvallisuuslain (738/2002) ja valtioneuvoston asetuksen VNa 205/2009 vaatimuksia on rakennesuunnitelmien osalta selkiinnytetty seuraaviksi suunnitelmissa esitettäväksi käytännöiksi. Mikäli näitä ei ole sovittu tehtävälajajuuteen kuuluviksi, on näistä tehtävä kirjallinen lisätyöilmoitus tilaajalle.

Kaikkien osapuolten on myös huomattava, että *elementtirakentamiseen liittyvien suunnitelmien on oltava kirjallisina työmaalla* (VNa 205/2009, 36§).

**Päärakennesuunnitelmissa esitetään tai annetaan tiedot muille osapuolille**

- Vaatimukset valmisosasuunnitelmissa esitettävistä asioista työselitykseen
- Esitys asennussuunnittelun työnjaosta tämän ohjeen esimerkin mukaisesti
- Periaateratkaisut putoamissuojauskaiteiden kiinnityksistä tasoreunoihin ja räystääsleikkauksiin rakennuttajan hyväksymän järjestelmän mukaan (perustuu VNa 205/2009)
- Työtasojen kiinnitys- ja tuentaperiaatteet rakenteisiin rakennuttajan valitseman järjestelmän mukaan (perustuu VNa 205/2009). Päätoteuttajan tulee esittää työssä käytettävät työtasot ja niiden tuennat rakennesuunnittelijan hyväksyttäväksi
- Torninostureiden nostosäteet ja -kapasiteetit (RAK10 lisätyö)
- Torninostureiden työnaikaiset sijoitusaukot ja kiinnitykset rakenteisiin (RAK10 lisätyö)
- Torninosturiperustusten rakennesuunnitelmat (RAK10 lisätyö)

**Valmisosasuunnittelija merkitsee yksittäiseen elementtisuunnitelmaan**

- Valmisosan paino
- Valmisosan painopisteen sijainti
- Nostolenkit ja niiden sijainti mitoitettuna
- Muut nostoelimet, kuten nostoreikä, nostokorvat, tarrainten kiinnittymiskohdat mitoitettuna
- Ohje sallituista nostotavoista, nostokulmista, kääntötavasta ja muista rajoituksista nostossa
- Ohje irrotettavista nostoelimistä, esim. kierreankkurit
- Väli aikaisten tukien kiinnityskohdat ja tavat, esim. tönärit
- Ohje, mikäli valmisosa vaatii kuljetuksen tai asennusaikaista kiepahdustuenta
- Kaiteiden ja työtasojen kiinnityksiin tarvittavat kiinnityselimet
- Muottien purkulujuudet
- Elementin vaadittu lujuus nostotilanteessa
- Elementtien kääntöohjeet

**Valmisosan valmistaja laatii elementtien kuljetus ja varastointiohjeet**

- Kuorman lastaaminen ja sidonta
- Korkeiden ja pitkien kappaleiden tuenta kuljetuksessa
- Kuorman purkuohjeet
- Tarvittavat nostoapuvälineet
- Kuljetuksen ja varastoinninaikaiset suojausohjeet

**Asennussuunnitelmaan kirjataan**

Koko asennussuunnitelman sisältö on esitetty VNa 205/2009 liitteessä 3. Tässä on esitetty vain vastaavan rakennusuunnittelijan valvonnan kannalta keskeisimmät tarpeet asennussuunnitelmassa.

- Rungon stabiliteettiselvitys asennuksen aikana
- Kuvaus rungon lopullisen stabiliteetin toiminnasta
- Asennusjärjestys ja väliaikaisten tukien käyttö
- Väliaikaisten tukien purkuajankohta
- Saumausbetonien lujuusvaatimukset ja laadunvalvonta
- Vaatimukset liitoksien lujuudenkehitykselle
- Vaatimukset talvibetonoinnille
- Selvitys hitsausmenetelmistä ja hitsausohjeet
- Vaatimukset hitsattaessa kylmissä tai kosteissa olosuhteissa
- Hitsien tarkastuslaajuus ja menetelmä
- Vinoon asennettavien rakenteiden tuenta asennuksen aikana
- Minimitukipinnat laatoille ja palkeille
- Ristikoiden ja korkeiden palkkien kiepahdustuenta asennuksen aikana
- Elementtien nosto-ohjeet ja apuvälineiden käyttöohjeet
- Elementtien kuljetus ja varastointiohjeet
- Putoamissuojaussuunnitelma
- Luettelo hankkeen osapuolista ja asennussuunnitelman laatijoiden pätevyudet ja allekirjoitukset

**Asennuspiirustuksissa esitetään**

- Tasoppiirustuksiin merkitään asennusaikana tarvittavat palkkien kiepahdusta estävät tönärit ja niille tuleva kuormitus
- Kaikki toispuolisesti asennettavat leukapalkit on tuettava, mikäli valmisosasuunnittelija ei erikseen ole antanut lupaa tuennan poisjättämiseen
- Asennushitsien tarkastuslaajuus merkitään suunnitelmiin RakMk B7 tai SFS EN1090-2 mukaan
- Hitsausliitosten korroosiosuojaus
- Suunnittelijan on lisättävä työselitykseen maininta, ettei yksittäisen tönärin poisjääminen suunnitelmasta anna asentajalle oikeutta toteuttaa epäilyttävästi vaarallista rakennetta tukemattomana ilman asian selvittämistä suunnittelijalta. Näissä tilanteissa on noudatettava hyvää rakentamistapaa.

### 4.3 Rakennesuunnittelijan suorittama työturvallisuuden toteutumisen valvonta ja katselmointi

Rakennuttaja nimeää kohteeseen työturvallisuudesta vastaavan henkilön (työturvallisuuskoordinaattori), jonka tehtävänä on valvoa ja koordinoita rakennushankkeen työturvallisuuden toteutumista

Rakennesuunnittelijan tulee normaalin kohteeseen kuuluvan yleisvalvonnan ohessa suorittaa työturvallisuuden toteutumisen yleisvalvontaa, esim. havainnoimalla onko rakenteet asennettu ja tuettu annettujen suunnitelmien ja ohjeiden mukaisesti.

Rakennesuunnittelijan, geosuunnittelijan ja valmisosasuunnittelijan tulee esittää työmaakokouksissa työmaakerroksella havaitsemiensa työturvallisuusseikkojen esiintuomiseen, joita ovat esimerkiksi:

- Asennussuunnitelman vaatimusten mukainen toiminta, esim. nostotapa, tuennat, kiinnitykset
- Asennusjärjestyksen muutoksista aiheutuvat toimenpiteet
- Liitosten lujuudenkehityksen arviointi
- Purkutyön turvallinen suorittamistapa
- Maaperän vakavuuden arviointi esim. nostoissa ja varastoinnissa
- Kaivantojen tuennan toteuttaminen
- Holvien ja palkkien työnaikainen tuentatapa
- Palkkien työnaikaisten kiepahdustukien tarkastus
- Työnaikaisen putoamissuojauksen toteuttaminen rakenteelliselta kannalta

### 4.4 Toteutuksen vaaratekijöiden arviointi ja poistaminen rakennesuunnittelussa

Työturvallisuusriskejä sisältävissä kohteissa vastaavan rakennesuunnittelijan tulee huolehtia, että rakennesuunnittelun kannalta tehdään rakentamisen työturvallisuusriskien arviointi. Apuna voidaan käyttää esim. SKOL ry:n julkaisemaa tarkastuslistaa. Listan velvollisuudet on käytävä läpi työturvallisuuden aloituskokouksessa workshop-tyyppisenä yhteistoimintatilaisuutena.

Riskianalyyssissä tulee tarkastaa esimerkiksi:

- onko asennus-, purku- ja kaivusuunnitelmat laadittu asiantuntijan toimesta
- onko palkkien asennuksenaikainen kiepahdustuenta esitetty suunnitelmissa
- onko rakennusmateriaalin varastointi tasoilla suunniteltu ja onko niistä annettu kuormatiedot suunnittelijalle
- onko työnaikaisten putoamissuojakaiteiden ja verkkojen kiinnittämisestä rakennuttajan tai päätoteuttajan esitys kaide- tai laitetyypistä ja onko sen vaatimat kiinnikkeet viety rakenne- ja valmisosasuunnitelmiin
- onko liitosten lujuudenkehityksen seuranta järjestetty
- onko kaikille elementtityypeille olemassa suunniteltu nostotapa ja ohjeet

Vaaratekijöiden arvioinnista tulee laatia muistio toimenpide-ehdotuksineen jaettavaksi rakentamisen osapuolille.

On huomattava, että mikäli kohteessa on tehtävä rakenteellisen turvallisuuden riskianalyysi, sisältää kohde yleensä myös erityisiä työturvallisuusriskejä.

#### **4.5 Asennustilanteiden simulointi ja tietomallinnus työturvallisuus-suunnittelun työkaluna**

Tietomallinnus antaa runsaasti uusia mahdollisuuksia työturvallisuuden suunnitteluun jo nykyisillä työvälineillä. Rakennuttajan ja urakoitsijoiden kannattaa hyödyntää tietomallinnuksella saatavat lisähyödyt työturvallisuuden suunnittelussa mm seuraavissa lisäpalveluissa:

- Asennustilanteiden simulointi asennusjärjestyksen ja asennusaikaisen stabiiliteetin selvittämiseksi
- Asennustilanteiden havainnollistaminen animaatioilla työturvallisuuden suunnittelussa ja opastuksessa
- Kaiteiden ja putoamissuojausten kiinnitysten suunnittelu valmisosiin valmiilla olioilla
- Kaiteiden, turvalaitteiden yms. suunnittelu 3D-työkaluilla määräluetteloineen eri asennusvaiheissa
- Suunnittelutilanteen ja valmisosien valmistuksen ja asennuksen seuranta 4D-työkaluilla