



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Olli-Pekka Pelkonen

BETONIRAKENTEISTEN HALLIEN RAKENTEET JA VAURIOT

Tekniikka
2018

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennustekniikka

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Olli-Pekka Pelkonen
Opinnäytetyön nimi	Betonirakenteisten hallien rakenteet ja tyypilliset vauriot
Vuosi	2018
Kieli	suomi
Sivumäärä	52
Ohjaaja	Mika Korpi

Tässä opinnäytetyössä käydään läpi betonirakenteisten hallien tyypillisimpiä rakenteita ja niissä esiintyviä vaurioita sekä vaurioiden syitä. Opinnäytetyössä keskitytään laajarunkoisten rakennusten tarkastuksien kannalta oleellisiin asioihin ja kantavien runkorakenteiden vaurioihin. Hallien tyypillinen runko on pilari-palkkirunko ja yläpohjassa käytetään tyypillisesti jännitettyjä TT-laattoja.

Lähteinä on käytetty alan kirjallisuutta, suunnitteluohjeita ja internetistä löytyneitä julkaisuja. Kantavat rakenteet ovat tyypillisesti betonielementtirakenteisia ja elementtisuunnittelun verkkosivuilta löytyi hyvin tietoa aiheeseen liittyen. Sen sijaan betonisten runkorakenteiden vauriotyypeistä on melko vähän kirjallisuustietoa olemassa.

Usein betonirakenteiden vauriot tulevat esiin jo rakennusaikana, suunnittelu- tai valmistusvirheen tai elementin virheellisen käsittelyn seurauksena. Usein näillä vaurioilla ei ole vaikutusta rakenteiden kestävyYTEEN. Sen sijaan leikkaus- ja taivutusshalkeamat sekä jännepunosten puutteelliseen ankkurointiin liittyvät halkeamat vaativat tarkempaa analyysiä ja yleensä myös korjaustoimenpiteitä.

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
Rakennustekniikka

ABSTRACT

Author	Olli-Pekka Pelkonen
Title	Typical Structures and Damages of Concrete Hall
Year	2018
Language	Finnish
Pages	52
Name of Supervisor	Mika Korpi

Typical structures and damages of concrete hall are presented in this thesis. The focus is on loadbearing structures and issues that have come up during the investigations. Typical loadbearing structures are pillars, beams and TT-slabs.

The sources for this thesis were books, design guidelines and other releases of concrete business. Materials of concrete halls are often precast concrete and the websites of Finnish precast concrete industry was a main source for this thesis. In general, there is very little literature about damages of loadbearing concrete structures.

Errors in production and incorrect handling often cause damages to concrete structures. Generally these damages are not severe. At the same time, bending and shearing cracks require careful analysis and often reparation.

Keywords concrete hall, damages

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	5
2	YLEISTÄ	6
	2.1 Betonirakenteiden vauriot.....	6
	2.2 Betonirakenteiden korjaus ja vahvistaminen	7
	2.3 Betonirakenteisen hallin runkojärjestelmä ja jäykistys.....	8
	2.4 Perustukset ja alapohjat.....	8
	2.5 Julkisivut.....	9
	2.6 Käyttöraja-tila, mittapoikkeamat ja toleranssit	9
	2.7 Betonielementtien tukipinnat.....	18
	2.8 Onnettomuuskuormien huomioiminen	20
3	PILARIT.....	23
	3.1 Yleistä	23
	3.2 Pilarien tyypilliset vauriot.....	24
4	PALKIT	30
	4.1 Yleistä	30
	4.2 Palkkien vauriot	32
5	LAATTARAKENTEET.....	41
	5.1 Yleistä	41
	5.2 TT-laattojen tyypilliset vauriot	43
	5.3 Neoprenilaakerit.....	49
6	YHTEENVETO JA POHDINTA.....	51
	LÄHTEET.....	52

1 JOHDANTO

1.4.2015 tuli voimaan laki laajarunkoisten rakennusten rakenteellisen turvallisuuden arvioinnista. Laki koskee myymälä- ja urheiluhalleja tai vastaavan käyttötarkoituksen omaavia rakennuksia, joissa on laajarunkoinen osa, jonka kerrosala on vähintään 1000 neliometriä. Laajarunkoisella osalla kattokannattajat ovat joko paikalla tehdyt ja niiden jänneväli on vähintään 15 metriä tai tehdasvalmisteiset ja jänneväli on vähintään 18 metriä.

Opinnäytetyön tilaajaorganisaatio Inspecta Oy on osaltaan suorittanut laajarunkoisten hallien tarkastuksia. Useat tarkastettavat kohteet, erityisesti isot myymälähallit, ovat olleet betonirakenteisia. Teräs- ja puurakenteisten hallien kuntotarkastukseen on olemassa ohje *RIL 246-2008* Puu- ja teräsrakenteisten hallien kunto- tarkastus. Betonirakenteisille halleille ei ole vastaavaa ohjetta löydy. Muutenkin kirjallisuustietoa aiheesta löytyy vähän Suomesta. Tästä syntyi ajatus tämän opinnäytetyön aiheeseen. Tarkoituksena on, että Inspecta Oy voisi käyttää opinnäytetyötä perehdytysaineistona betonirakenteisten hallien tarkastuksissa.

Opinnäytetyössä käsitellään ensin yleisesti betonirakenteisten hallien rakenteita ja runkojärjestelmää ja sen jälkeen keskitytään tyypillisimpiin kantaviin rakenteisiin, joita ovat pilarit, palkit ja laatat. Rakenteiden vaurioista käsitellään lähdemateriaaleista löytyneet vauriot sekä joitakin tarkastuksissa havaittuja vaurioita. Opinnäytetyössä käsitellään lisäksi laajarunkoisten rakennusten tarkastuksien kannalta olennaisia asioita kuten elementtien toleransseja ja onnettomuuskuormien huomi- oimista. Vaurioille esitetään niiden mahdolliset syyt ja korjaus ehdotukset. Korja- usehdotukset ovat alustavia ja jokainen vaurio tulee käsitellä tapauskohtaisesti. Korjaussuunnittelu tulee aina teettää riittävän kokeneella ja pätevällä rakenne- suunnittelijalla.

2 YLEISTÄ

2.1 Betonirakenteiden vauriot

Betonirakenteiden omapaino on esimerkiksi teräs- ja puurakenteisiin verrattuna suhteellisen suuri. Tästä syystä suuri osa rakenteellisista vaurioista tulee esille jo rakennusvaiheessa ja pienet mitoituskuormien ylitykset eivät yleensä aiheuta betonirakenteille vaurioita. Myös suunnittelussa käytetyt osavarmuuskertoimet takaavat rakenteille varmuutta ylikuormituksia vastaan. Yleinen betonirakenteen vaurioitumisen syy on valmistusvirhe. Elementtirakenteilla vauriot johtuvat usein elementin virheellisestä käsittelystä. Näiden lisäksi betonirakenteiden vaurioituminen voi johtua suunnitteluvirheestä, raudotteiden korroosiosta, pakkasvaurioista, kulumisesta, ylikuormituksista tai onnettomuudesta. Betonirakenteisen hallin runkorakenteiden tyypillisiä vaurioita on käsitelty rakenneosittain tämän opinnäytetyön loppupuolella. /1,2/

Betonin alhaisesta vetolujuudesta johtuen halkeilu on varsin yleistä betonirakenteille. Halkeilu voi johtua betonin tilavuuden muutoksista, raudotteiden korroosiosta, betonin rapautumisesta tai rakenteellisista syistä, joita ovat puutteellinen kantavuus, ylikuormitus ja pakkovoimat. Betonielementeillä halkeilu voi lisäksi aiheutua mekaanisista rasituksista elementin käsittelyn aikana ja jännitetyillä rakenteilla esijännityksestä aiheutuvista voimista. /1,3/

Halkeilun haitallisuus ja korjaustarve riippuu niiden koosta ja sijainnista sekä betonirakenteen ympäristörasituksista. Jos betonirakenne on kosteassa ympäristössä, voi halkeamien kautta rakenteeseen tunkeutua veden mukana mm. klorideja, jotka aiheuttavat terästen korroosiota. Eurokoodin mukaan betonirakenteiden halkeilu ei saa ylittää 0,3 mm, jos rakenteelle ei ole erityisvaatimuksia säilyvyyden suhteen. Rasitusluokissa X0 ja X1 halkeamaleveydellä ei ole merkitystä säilyvyyden kannalta ja raja-arvona voidaan käyttää arvoa 0,4 mm. Vaikka halkeamat ovat usein vain esteettinen haitta, suuret halkeamat voivat heikentää rakenteen leikkaus- ja taivutuskestävyyttä. Erityisesti tulee kiinnittää huomiota tukialueiden halkeamiin sekä palkin tai laatan keskellä alapinnassa sijaitseviin halkeamiin. Mekaaniset kolhut voivat aiheuttaa myös suurempia lohkeamia betonirakenteeseen. Lohkeilul-

la voi olla vaikutusta rakenteen palokestävyys, jos raudotteita on näkyvillä. Raudotteet johtavat tulipalotilanteessa kuumuutta palkin sisään ja voivat aiheuttaa rakenteen halkeilua ja lohkeilua. /1,3/

2.2 Betonirakenteiden korjaus ja vahvistaminen

Halkeamien tyypillisiä korjausmenetelmiä ovat imeyttäminen, injektointi, pinnoittaminen ja laastipaikkaus. Liikkuvat halkeamat voidaan muuttaa liikuntasaumaksi esimerkiksi elastisella kittisaumalla. Mikäli halkeama halutaan korjata voimia välittäväksi, tehdään korjaus yleensä injektoimalla. Injektointiin käytetään tyypillisesti kovettuvia muoveja (epoksi, polyuretaani). Erityisesti suurissa halkeamissa voidaan injektointiin käyttää myös hienoa sementtilaastia. Injektointia käytetään yli 0,2 mm leveiden halkeamien korjaukseen. Sitä pienemmät halkeamat korjataan tyypillisesti imeyttämällä tai pinnoittamalla.

Rakenteen vahvistamisella tarkoitetaan sen kantavuuden lisäämistä lähtötasoa korkeammaksi. Betonirakenteiden vahvistaminen on vaativa tehtävä ja edellyttää rakenteen toiminnan tarkkaa analysointia. Yleisesti voidaan vahvistaa pystyrakenteiden puristuskestävyyttä ja vaakarakenteiden taivutus- tai leikkauskestävyyttä sekä vähentää rakenteiden taipumaa ja halkeilua.

Pilarien vahvistaminen voidaan tehdä mantteloinnilla eli valamalla tai ruiskuttamalla betonia rakenteen pintaan. Raudoituksena käytetään tavallisia harjatankoja tai raudoitusverkkoja. Palkkeja ja laattoja voidaan vahvistaa lisäämällä betonia ja/tai raudoitusta puristus- tai vetopuolelle. Valukorjauksissa on erityisen tärkeää varmistaa vanhan rakenteen ja vahvistuksen yhteistoiminta riittävillä tartunnoilla. Lisäksi betonirakenteita voidaan vahvistaa liimaamalla hiilikuituosia tai teräslevyjä leikkausrasitettuihin tai vedettyihin pintoihin. Liimana käytetään tyypillisesti epoksiliimaa. /1/

2.3 Betonirakenteisen hallin runkojärjestelmä ja jäykistys

Betonirakenteiset hallit ovat usein yksikerroksisia elementtirakenteisia halleja, joihin saattaa liittyä useampikerroksia toimistotiloja. Hallit voivat olla käyttötarkoituksesta riippuen lämpimiä, puolilämpimiä tai kylmiä rakennuksia. Hallin kantava runko on tyypillisesti pilari-palkkirunko. Kattokannattajien jännevälit ja pilarilinjojen määrä vaihtelevat käyttötarkoituksen mukaan. Esijännitetyillä palkeilla ja TT-laatoilla päästään pitkiin vaakarakenteiden jänneväleihin, jolloin pystyrakenteita on vähän. Betonielementtien väliset liitokset ovat hyvin pitkälle vakioituja. Liitokset tehdään tyypillisesti työmaalla vakioliitososia käyttäen.

Betonirakenteisen hallin runko jäykistetään tyypillisesti mastopilareilla. Teräsbetoniset pilarit kiinnitetään jäykästi perustuksiin ja muut runkorakenteiden liitokset voidaan tehdä nivelellisinä. Hallin julkisivurakenteet välittävät tuulikuorman reunapilareille, jotka siirtävät osan kuormista perustuksille ja osan yläpohjan palkeille ja laatoille. Yläpohjan laatastot mitoitetaan toimimaan tasossaan levynä ja siirtämään rasitukset edelleen rakennuksen muille pilareille ja sitä kautta perustuksille. Jotta laatastot toimisivat levynä, laatat kiinnitetään toisiinsa hitsausliitoksilla. Tyypillinen hitsausliitos on esitetty sivun 21 kuvassa 10.

Muita mahdollisia hallien jäykistystapoja ovat ristikkojäykistys ja seinämastojäykistys, jota käytetään erityisesti korkeammissa halleissa. Ristikkojäykistyksessä halli jäykistetään kehien väliin sijoitettavilla veto- ja/tai puristussauvoilla. Vaihtoehtoisesti käytetään eri jäykistystapojen yhdistelmää, erityisesti silloin kun valittu jäykistystapa ei takaa riittävää jäykkyyttä. /4,5/

2.4 Perustukset ja alapohjat

Betonirakenteisen hallin perustusten koko ja tyyppi määräytyvät kuormituksen ja maaperän mukaan. Tyypillisesti kantavat pilarit perustetaan anturoilla kantavan maaperän tai paalujen varaan. Perustukset voivat olla paikalla valettuja tai elementtirakenteisia. Vaativissa pohjaolosuhteissa käytetään paaluja, joista yleisin paalutyyppi on teräsbetoninen lyöntipaalu. Paalut ovat yleensä tukipaaluja eli paalut upotetaan kallioon tai kantavaan maakerrokseen asti. Kitka- ja koheesiopaaluja

käytetään harvoin. Hallien alapohjat ovat maaperän kantavuudesta ja käyttötarkoituksesta riippuen joko maanvaraisia tai kantavia laattoja. Alapohjille määritetyt hyötykuormat ovat yleensä suuria ja erityisesti korkeavarastoiksi tarkoitetuissa halleissa on tiukat vaatimukset lattian tasaisuudelle. /4/

2.5 Julkisivut

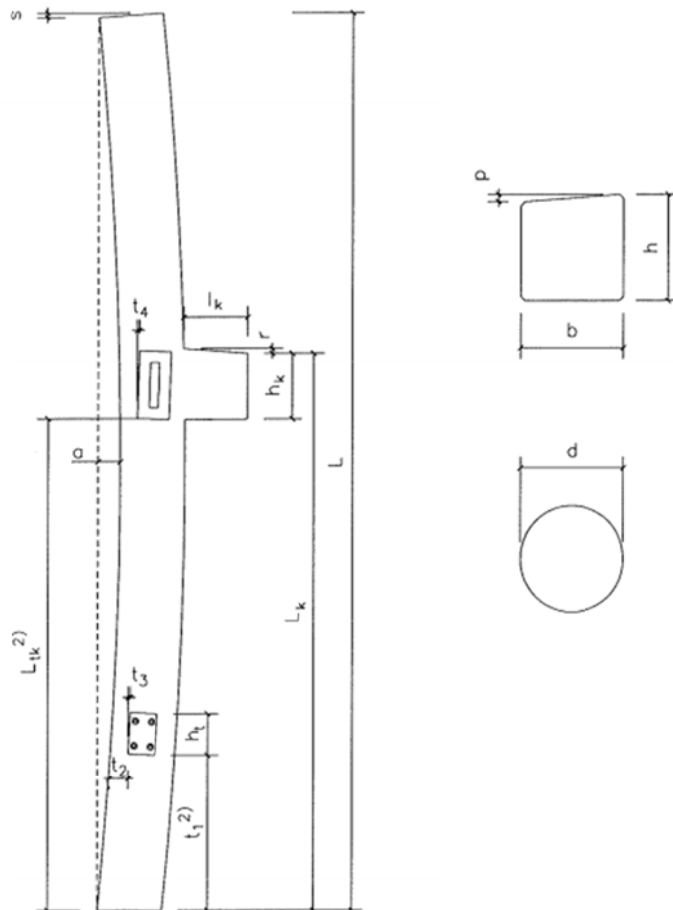
Hallien julkisivut ovat tyypillisesti lämpöeristettyjä teräsbetonisia sandwichelementtejä tai teräsohutlevyelementtejä. Kylmissä halleissa käytetään myös eristämättömiä kuorielementtejä. Julkisivurakenteet ovat yleensä ei-kantavia, jolloin niille ei tehdä perustuksia vaan ne tuetaan pilareihin ja pilarianturoihin. Teräsohutlevyelementtien kanssa käytetään yleisesti betonirakenteisia sokkelielementtejä. /4/

2.6 Käyttörajatila, mittapoikkeamat ja toleranssit

Eurokoodissa ei ole selkeää ohjetta rakenteiden sallitulle taipumalle. Eurokoodissa on todettu seuraavasti: ”Rakenteen ulkonäköä ja yleistä kelpoisuutta voi huonontaa, kun palkin, laatan tai ulokkeen laskettu taipuma pitkäaikaiskuormien valitessa ylittää arvon $L/250$ ”. Taipumaraja pysyvistä kuormista on $L/500$. RakMK B4:ssä taipumarajaksi on määritetty sama $L/250$, mutta esikorotetuille rakenteille voidaan käyttää arvoa $L/200$. RakMK B4:n mukaan pilarin sallittu kaltevuus on $L/150$, kuitenkin pienempi kuin 50 mm.

Betonielementtien mittatarkkuusvaatimukset esitetään Betonikeskus ry:n julkaisussa *Betonielementtien toleranssit 2011*. Julkaisu on tehty eurooppalaisten suunnittelu- ja tuotestandardit huomioon ottaen. Runkorakenteet kuuluvat normaaliin toleranssiluokkaan N. Yksittäiset toleranssien ylitykset voidaan sallia, jos rakenne muuten täyttää sille asetetut vaatimukset esim. tukimittojen suhteen. Elementtien toleranssien osalta on erityisen tärkeää huomioida, että elementtien mittavirheet eivät kasaudu, vaan ne tasataan asennusvaiheessa. Lisäksi on muistettava, että poikkileikkauksen pieneneminen mittaepätarkkuuksista johtuen heikentää rakenteen kantokykyä. Betonielementtien toleranssit on määritetty *Betonielementtien toleranssit 2011* julkaisussa. Kuvissa 1 ja 2 on elementtipilarien toleranssit, kuvis-

sa 3 ja 4 on teräsbetonipalkkien ja lyhyiden jännebetonipalkkien toleranssit. HI- ja I-palkkien toleranssit on esitetty kuvissa 5 ja 6 ja TT-laattojen toleranssit kuvissa 7 ja 8. /6/

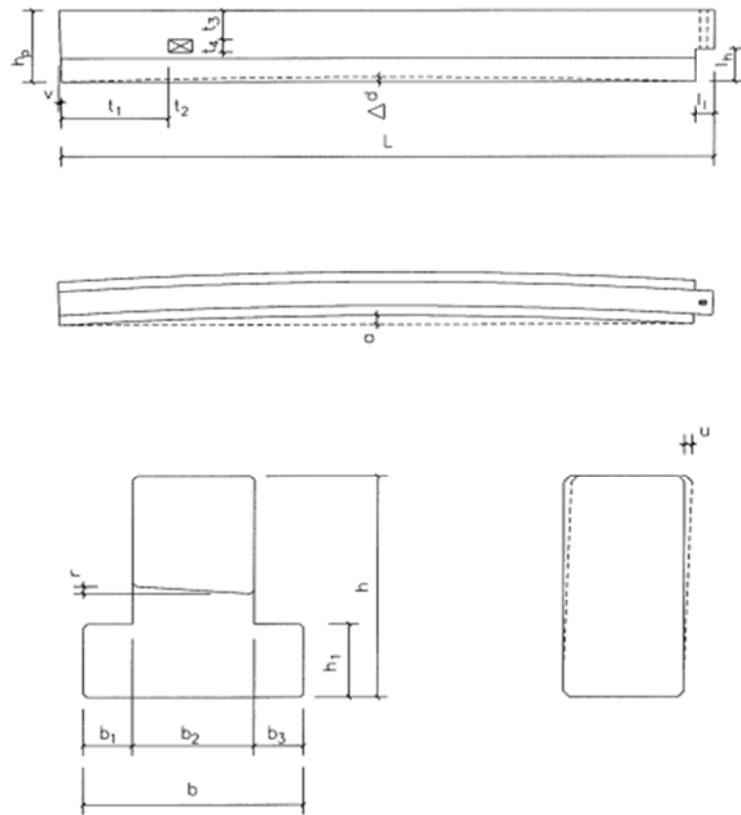


Kuva 1. Elementtipilarien toleranssit.

Normaaliluokkaa käytetään kun ulkonäölliset vaatimukset ovat tavanomaiset ja yleensä kun elementit ovat poikkileikkaukseltaan suuria

Valmistustoleranssit [mm]	
Mittauksen kohde	
Pituus (L)	± 10 tai $L/1000$ ¹⁾
Poikkileikkaus (b, h, d)	
-mitta <400mm	± 5
-mitta ≥ 400 mm	± 10
Käyryys (a)	± 5 tai $L/700$ ¹⁾
Poikkileikkauksen kulma- poikkeama (p)	± 5
Pään kulmapoikkeama (s)	± 5
Betonikonsolin korkeusasema (L_k)	± 8
Teräspiilokonsolin korkeusasema (L_{tk})	± 5
Betonikonsolin mitat (l_k, b_k, h_k)	± 8
Betonikonsolin kulmapoikkeama (r)	± 5
Teräspiilokonsolin kiertymä	$L/80$
Teräsosat (t_i)	
- pituussuunta	± 15
- poikkisuunta	± 10
- syvyysuunta	± 5
- kiertymä	$L/50$
Reiät (t)	± 15
Teräspiilokonsolit (muilta osin)	Valmistajan ohjeiden mukaan
Rakentamistoleranssit [mm]	
Mittauksen kohde	
Sivusijainti, vapaa väli	± 15
Korkeusasema	± 15
Poikkeama pystysuorasta	± 10 tai $L/400$ ¹⁾

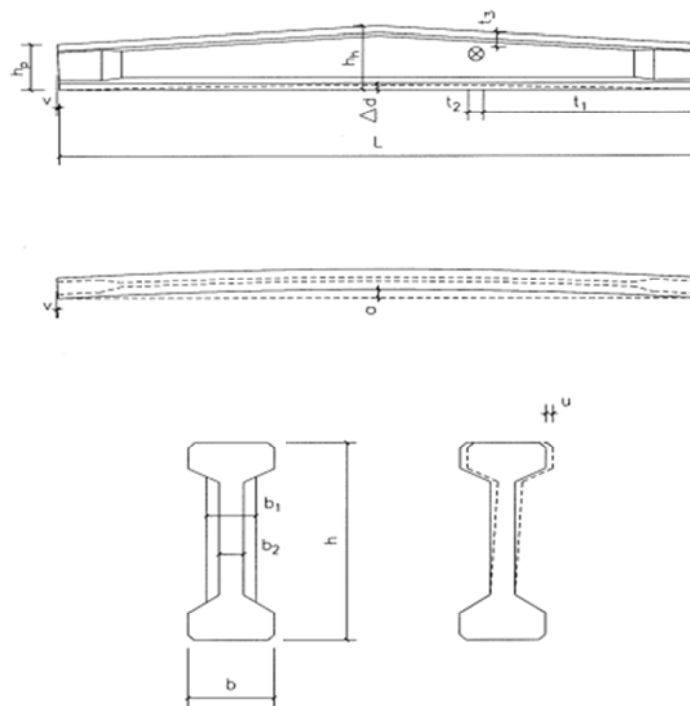
Kuva 2. Elementtipilarien toleranssit



Kuva 3. Teräsbetonipalkkien ja pienten ($L \leq 10\text{m}$) jännebetonipalkkien toleranssit.

Mittauksen kohde	Valmistustoleranssit [mm]
Pituus (L)	±15
Poikkileikkaus (b, h, d)	
-mitta <400mm	±5
-mitta ≥400mm	±10
Sivukäyryys (a)	L/700 (TB) 1,5xL/700 (JB)
Kierous (u)	L/700
Pään vinous (v)	±5 tai h/100 ¹⁾
Päätyloven mitat (l _b , l _i)	±5
Päätyloven vinoudet (r)	±5 tai h/100 ¹⁾
Teräspiilokonsolin korkeusasema	±5
Teräspiilokonsolin kiertymä	L/80
Taipuma (Δd) ²⁾	L/700 (TB) 1,5xL/700 (JB)
Teräsosat (t)	
- pituussuunta	±15
- poikkisuunta	±10
- syvyysuunta	±5
- kiertymä	L/50
Reiät (t), koko ja sijainti	±15
Teräspiilokonsolit (muilta osin)	Valmistajan ohjeiden mukaan
	Rakentamistoleranssit [mm]
Mittauksen kohde	
Sivusijainti, vapaa väli, sauman leveys tuella	±20
Korkeusasema tuella	±15

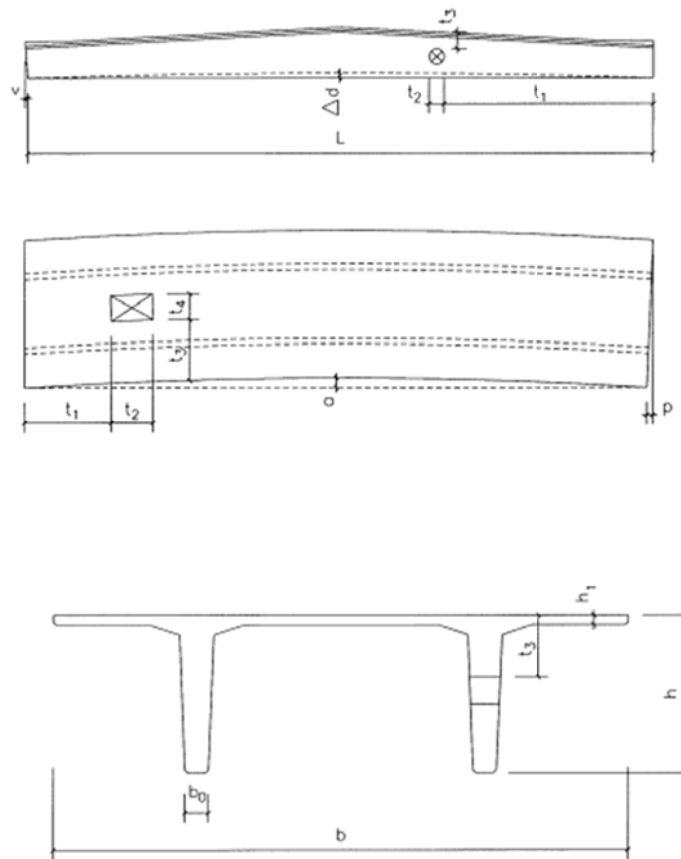
Kuva 4. Teräsbetonipalkkien ja pienten ($L \leq 10\text{m}$) jännebetonipalkkien toleranssit.



Kuva 5. HI- ja I-palkkien toleranssit.

Valmistustoleranssit [mm]	
Mittauksen kohde	
Pituus (L)	$\pm(10+L/1000), \leq \pm 40$ ¹⁾
Poikkileikkaus (h,b)	
mitta <400mm	± 5
mitta ≥ 400 mm	± 10 tai $h/100$ ²⁾
Sivukäyryys (a)	$L/500$
Kierous (u)	± 15 tai $L/1000$ ²⁾
Pään vinous, pystysuunta (v)	$\pm 0,015h$, enintään ± 15
Pään vinous, vaakasuunta (v)	$\pm 0,02b$, enintään ± 15
Pään pystysuoruus (g)	$\pm 0,015h$, enintään ± 15
Taipuma (Δd) ³⁾	$L/500$, enintään ± 40 mm
Teräsosat (t)	
– pituussuunta	± 20
– poikkisuunta	± 20
– syvyysuunta	± 10
Reiät (t)	± 20
Teräspiilokonsolit	Valmistajan ohjeiden mukaan
Rakentamistoleranssit [mm]	
Mittauksen kohde	
Sivusijainti, vapaa väli, sauman leveys tuella	± 30
Korkeusasema tuella	± 20
Poikkeama pystysuorasta	± 15
Sivukäyryys	± 20 tai $L/1000$ ¹⁾ , kun kuormitetun reunan poikittaista siirtymistä ei ole estetty ja $L/500$, kun kuormitetun reunan poikittainen siirtymä on estetty luotettavasti (EN13670).
¹⁾ Lukuarvoista käytetään aina suurempaa. ²⁾ Mittaus suoritetaan palkin alapinnasta. ³⁾ Poikkeama laskennallisesta taipumasta (kuormat, ikä ja olosuhteet huomioon- otettuina).	

Kuva 6. HI- ja I-palkkien toleranssit.



Kuva 7. TT- ja HTT-laattojen toleranssit.

Mittauksen kohde	Valmistustoleranssit [mm]
Pituus (L)	$\pm(10+L/1000)$, enintään $\pm 40\text{mm}$ ¹⁾
Rivan korkeus (h), $h \geq 400\text{mm}$	± 10 tai $h/100$ ¹⁾
Rivan leveys (b_0), laatan paksuus (h_1)	± 5
Kokonaisleveys (b)	-10; +5
Sivukäyryys (a)	± 10 tai $L/1000$ ²⁾
Pään kulmapoikkeama (p)	± 15
Pään vinous (v)	± 15
Taipuma (Δd) ³⁾	$L/1000$, enintään ± 30 mm
Teräsosat ja reiät (t)	
– kansilaatta, pituus- ja poikkisuunta	± 20
– rivat, pituus- ja korkeussuunta	± 30
– teräsosien syvyys	± 10

Mittauksen kohde	Rakentamistoleranssit [mm]
Sivusijainti	± 25
Sauman leveys	± 15
Sauman hammastus	10 tai $L/1000$ ²⁾
Korkeusasema tuella	± 15
Yläpinnan poikkeama vaakasuorasta tai nimelliskaltevuudesta 2 m mittauspituudella	± 20

¹⁾ Mittaus suoritetaan rivan alapinnasta.

²⁾ Lukuarvoista käytetään aina suurempaa.

³⁾ Poikkeama laskennallisesta taipumasta (kuormat, ikä ja olosuhteet huomioitettuna).

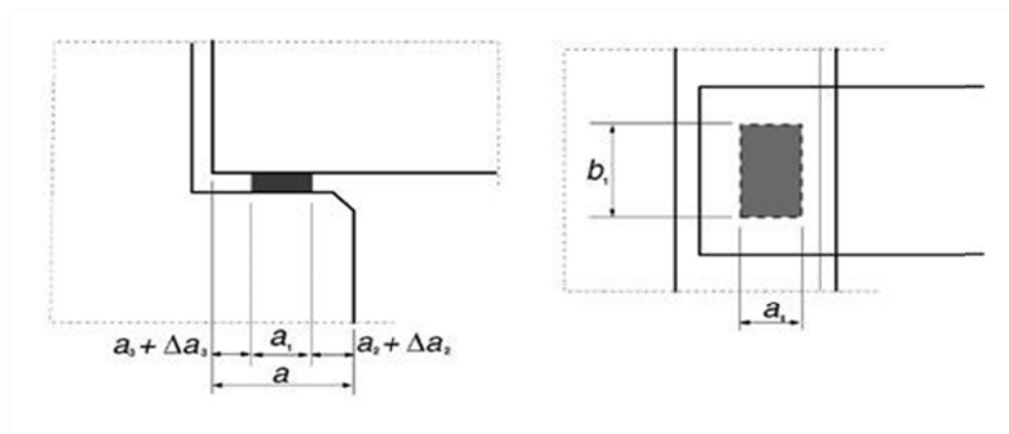
Kuva 8. TT- ja HTT-laattojen toleranssit.

2.7 Betonielementtien tukipinnat

Betonielementtien tukipintoja mitoittaessa tulee huomioida elementtien ja raudoitusten toleranssit sekä rakenteiden liikkeitä viruman tai lämpötilan vaihteluiden seurauksena. Tukipinnan nettotukipituus a_1 määritetään eurokoodin mukaisesti nettotukileveyden mitoitusarvon b_1 , tukireaktion mitoitusarvon F_{Ed} ja tukipinnan puristuslujuuden mitoitusarvon f_{Rd} mukaan kaavasta $a_1 = F_{Ed}/(b_1 * f_{Rd})$. Neoprenilaakeria käytettäessä nettotukileveyden mitoitusarvona voidaan käyttää tukipinnan todellista leveyttä. Puristuslujuuden määrittää yleensä neoprenin mitoituslujuus, joka vaihtelee valmistajan mukaan ja on tyypillisesti noin 56 MPa. Kuivissa liitoksissa $f_{Rd}=0,4*f_{cd}$ (f_{cd} on betonin puristuslujuus). Mitoituksessa on tarkastettava, että tukipinnan nettotukipituus a_1 on vähintään nettotukipinnan vähimmäismitan suuruinen taulukon 3 mukaisesti. σ_{Ed}/f_{cd} on suhteellinen tukipaine, jossa σ_{Ed} on neoprenin mitoituslujuus ja f_{cd} on pienempi tuettavan ja tukevan rakenteen puristuslujuuksista.

Taulukko 1. Nettotukipituuden vähimmäisarvot.

Suhteellinen tukipaine, σ_{Ed}/f_{cd}	$\leq 0,15$	0,15...0,4	$> 0,4$
Viivamaiset tuet (väli- ja yläpohjat)	25	30	40
Ripaväli-pohjat ja katto-orret	55	70	80
Pistemäiset tuet (palkit)	90	110	140



Kuva 9. Tuen nimellispituus.

Tukipinnan mitoituksessa ei oteta huomioon teholliseksi tukipinnaksi tuettavan rakenteen päästä etäisyyttä a_3 ja tukevan rakenteen päästä etäisyyttä a_2 . Lisäksi Δa_3 ja

Δa_2 ottavat huomioon tukena olevien ja tuettavien rakenteiden mittapoikkeamat. Δa_3 voidaan laskea kaavasta $l/2500$, missä l on tuettavan rakenteen pituus. a_2 , a_3 ja Δa_2 saadaan alla olevista taulukoista. Tuen nimellispituus lasketaan kaavasta $a = a_1 + a_2 + a_3 + \sqrt{(\Delta a_3)^2 + (\Delta a_2)^2}$. Tukipituudet tulee ilmoittaa betonielementtien rakennepiirustuksissa. /4,7/

Taulukko 2. Etäisyys a_2 .

Tukimateriaali ja -tyyppi	σ_{Ed}/f_{cd}	$\leq 0,15$	0,15...0,4	$> 0,4$
Teräs	viivamainen	0	0	10
	pistemäinen	5	10	15
Teräs- betoni $\geq C30$	viivamainen	5	10	15
	pistemäinen	10	15	25
Raudoittamaton betoni ja teräsbetoni $< C30$	viivamainen	10	15	25
	pistemäinen	20	25	35
Muurattu rakenne	viivamainen	10	15	(-)
	pistemäinen	20	25	(-)

Taulukko 3. Etäisyys a_3 .

Raudoituksen yksityiskohdat	Tuki	
	Viivamainen	Pistemäinen
Tuelle jatkuvat tangot (liikerajoitus tai vapaa liike)	0	0
Suorat tangot, vaakatason lenkit, rakenneosan pään lähellä	5	15, mutta vähintään betonipeite
Jänneteräkset tai suorat tangot, jotka ulottuvat rakenneosan päähän	5	15
Pystytason lenkkirauditus	15	betonipeite + taivutuksen sisäsäde

Taulukko 4. Mittapoikkeama Δa_2 .

Tukimateriaali	Δa_2 [mm]
Teräs tai betonielementti	$10 \leq l/1200 \leq 30$
Muurattu rakenne tai paikalla valettu betoni	$15 \leq l/1200 + 5 \leq 40$

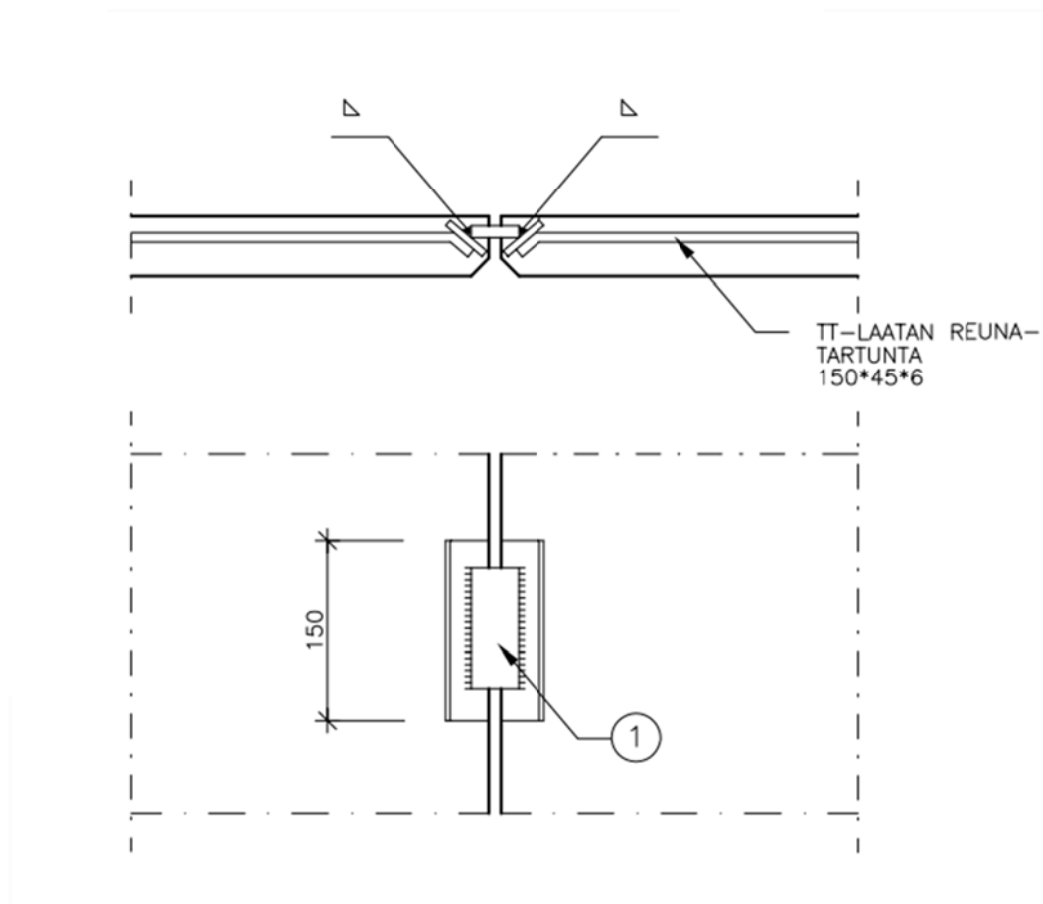
2.8 Onnettomuuskuormien huomioiminen

Onnettomuuskuormat tulee huomioida betonielementtirakenteisen hallin suunnittelussa. Onnettomuuskuorman voi aiheuttaa esimerkiksi elementin putoaminen lämpö- ja kosteusliikkeiden tai paikallisen vaurion seurauksena, ajoneuvon törmäys, ylikuorma, perustusten painumat, räjähdys tai poikkeuksellisen ankara tulipalo. Poikkeuksellisen ankara tulipalo voidaan olettaa syntyvän rakennuksissa, joissa säilytetään palovaarallisia aineita.

Eurokoodin mukaan rakennus tulee suunnitella niin, että sen jatkuva sortuma on esitetty. Jatkuvalla sortumalla tarkoitetaan koko rakennuksen tai sen merkittävän osan sortumista paikallisen vaurion seurauksena. Yksikerroksisessa betonirakenteisessa hallissa sortuma rajataan yhden pilarin tai kahden palkin alueelle.

Onnettomuuskuormat huomioidaan mastopilareilla jäykistetyissä betonihalleissa yleensä suunnittelemalla liitokset niin, että ne takaavat rakenteelle tyydyttävän vaurionsietokyvyn onnettomuustilanteessa. Vaihtoehtoisesti voidaan mitoittaa jäykistävät pilarit kestävämmän normeissa määritellyt rakennuksen vakavuuteen vaikuttavat onnettomuuskuormat tai voidaan osoittaa, että minkä tahansa rakenneosan kantokyvyn menetyksen jälkeen muut osat kantavat siihen kohdistuneet kuormat. Tyypillisesti käytetään ensimmäistä tapaa.

Jatkuva sortuma rajoitetaan betonirakenteisten hallien yläpohjissa kiinnittämällä TT-laatat päistään ja sivuiltaan toisiinsa hitsausliitoksilla. Onnettomuustilanteessa liitokset välittävät kuormat vauriokohdan yli seuraaville laatoille. Liitokset toteutetaan tyypillisesti lattateräksiä käyttämällä ja ne mitoitetetaan veto- ja puristusvoimalle. Kuvassa 10 on tyypillinen vierekkäisten TT-laattojen sivujen liitos. Laattojen sivuilla kiinnikkeiden väli on yleensä luokkaa 4 metriä.



Kuva 10. TT-laattojen sivujen välinen liitos. /4/

Elementtien liitosten mitoituksessa tulee myös estää elementin putoaminen tuelta. Elementtipalkin putoaminen estetään pilari-palkkiliitoksen tapeilla eli pulteilla. TT-laattojen putoaminen estetään vaativissa kohteissa rakenteellisesti sitomalla reunapilarien viereiset laatat palkkiin vähintään laatan toisesta rivasta. Vaativina kohteina tässä yhteydessä tarkoitetaan suurten yleisömäärien halleja (urheiluhallit, konsertti- ja näyttelyhallit, suuret kauppahallit) ja muita halleja, joiden jännevälit ovat yli 25 metriä. Kuvassa 11 on esimerkki TT-laatan ripakiinnityksestä palkkiin, jolla estetään laatan putoaminen rakenteellisesti.



Kuva 11. TT-laatan ripakiinnitys palkkiin. Liitoksella estetään laatan putoaminen tuelta.

Ei-vaativissa kohteissa TT-laattojen putoaminen voidaan estää tukemalla TT-laatta neoprenilevyn päälle. Menetelmä perustuu neoprenin ja laatan väliseen kitkavoimaan. Kun tuentaan käytetään pelkästään neoprenikumia, tulee laatan pysyminen tuella selvittää laskennallisesti.

Laatoissa voi tapahtua siirtymiä neoprenilevyn päällä tuulen ja rakenteiden vinouden aiheuttamista vaakavoimista sekä pituudenmuutoksista johtuen. Pituudenmuutokset voivat johtua betonin kutistumisesta, virumisesta tai lämpötilan muutoksista. Mikäli hallissa on nosturikuormia, tulee TT-laatat aina kiinnittää palkkiin rakenteellisesti. Kylmissä halleissa lämpötilan vaihteluiden aiheuttamat siirtymät ovat niin suuria, että tarvitaan yleensä rakenteellinen kiinnitys. /8,9/

3 PILARIT

3.1 Yleistä

Pilarit toimivat yleensä betonirakenteisen hallin kantavina pystyrakenteina. Normaalisti pilarit sijoitetaan keskeisesti rungon moduuliverkkoon nähden, jolloin mahdollinen hallin laajentaminen ei vaikuta moduuliruudukon kokoon. Vaakarakenteiden pitkän jännevälän takia pilariverkko on tyypillisesti harva ja ulkoseinälinjoilla saatetaan tarvita lisäpilareita julkisivuelementtien tuentaan.

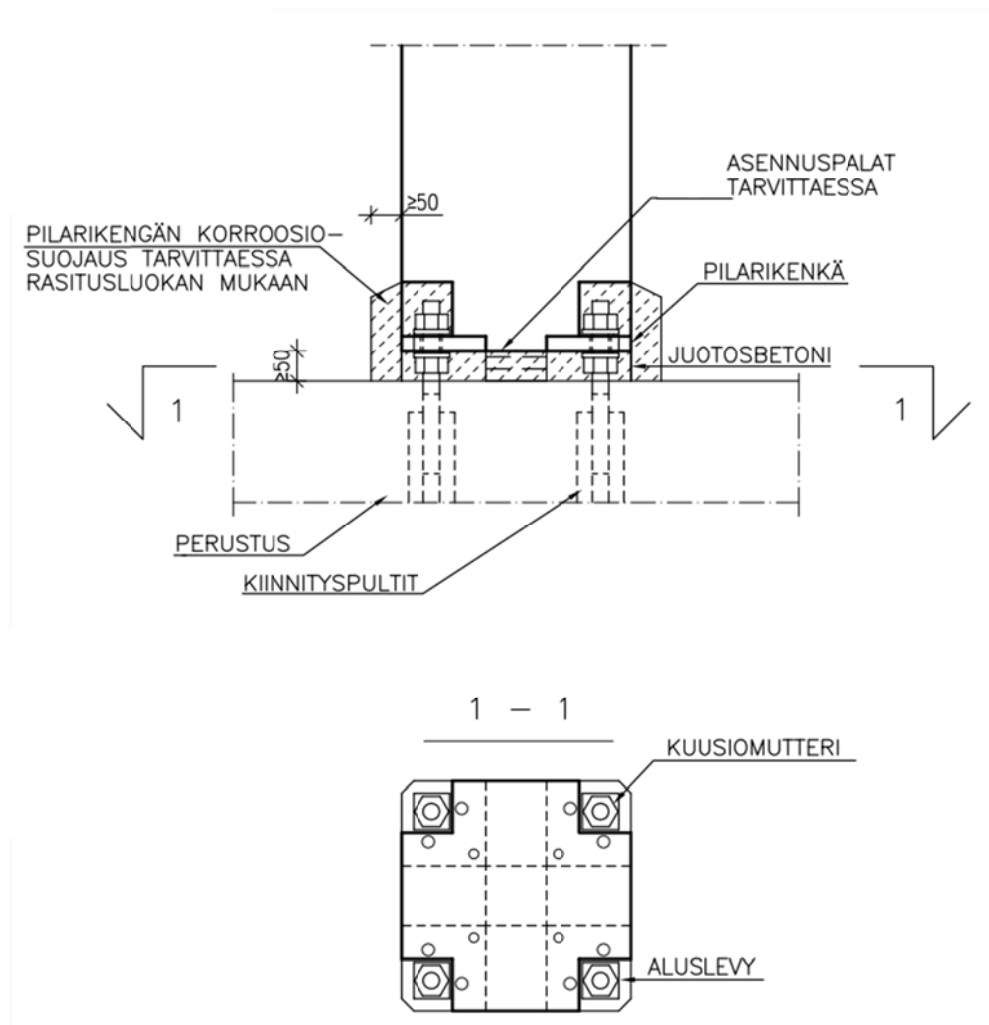
Pilarit ovat tyypillisesti elementtirakenteisia ja poikkileikkaukseltaan neliön tai suorakaiteen muotoisia. Yleensä pilarikoko valitaan eniten kuormitettujen pilarien mukaan ja pilarien mitat pyritään pitämään samana koko hallin osalta. Suositeltava minimipaksuus pilareille on 280 mm.

Pilarikoon valinnassa tulee huomioida pilarien yläpäihin tuettavien palkkien tukipintojen riittävyys. Betonirakenteisissa halleissa palkkien jännevälit ovat yleensä pitkiä ja tukireaktiot palkin ja pilarin välillä suuria. Usein käytetään pilariulokkeita riittävän tukipinnan aikaansaamiseksi. Ulokkeet voivat olla betonirakenteisia ulokkeita tai betonivaluun sijoitettavia teräsrakenteisia piiloulokkeita eli piilokonsoleita. Teollisuushallien mahdolliset nosturiradat tuetaan betonikonsolien vaaraan.

Monikerroksisissa halleissa tarvitaan välipohjan kannatusta varten usein lisäpilareita, sillä välipohjan kuormat ovat yleensä suurempia kuin yläpohjan kuormat ja palkkikorkeus on rajoitettu. Välipohjapalkit tuetaan pilarien päihin tai kylkiin ulokkeiden avulla. Eri kerroksissa pilarien mitat pyritään pitämään samana ja kantokykyä säädellään betonin lujuuden ja raudoituksen avulla. Betonirakenteisissa halleissa pilarit toimivat myös jäykistävinä rakenteina, jolloin niihin kohdistuu tuulesta ja rakenteiden vinoudesta aiheutuvia vaakakuormia. Myös mahdollisten nosturien aiheuttamat kuormitukset on huomioitava pilarien mitoituksessa.

Betonirakenteisten hallien pilarien liitos perustuksiin on jäykkä liitos. Yleensä liitos toteutetaan käyttämällä pilarikenkää ja ankkurointipultteja, jotka siirtävät leik-

kaus-, veto- ja puristusrasitukset perustuksille. Liitoksen muttereiden avulla pystytään säätämään pilarin korkeusasemaa ja suoruutta. Pilarien ja niiden liitosten mitoituksessa tulee erityisesti huomioida asennusvaiheen kuormitukset. Kuvassa 12 on tyypillinen betonielementtipilarin perustusliitos. /4,10/

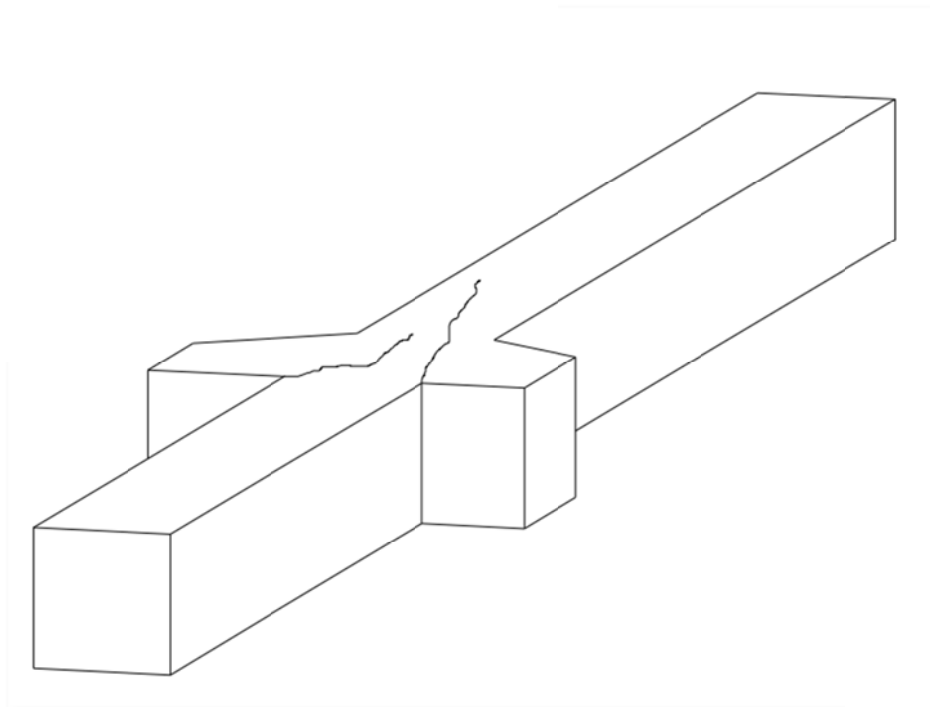


Kuva 12. Elementtipilarin perustusliitos.

3.2 Pilarien tyypilliset vauriot

Kuten muillakin betonielementtirakenteilla, pilarien vauriot syntyvät usein jo rakennusaikana tai sitä ennen valmistuksen, varastoinnin tai kuljetuksen aikana. Pilarien käytönaikaiset vauriot ovat harvinaisempia ja ne johtuvat usein pilariin liittyvien rakenteiden aiheuttamista kuormista. Tukialueilla vaikuttavia halkaisuvoi-

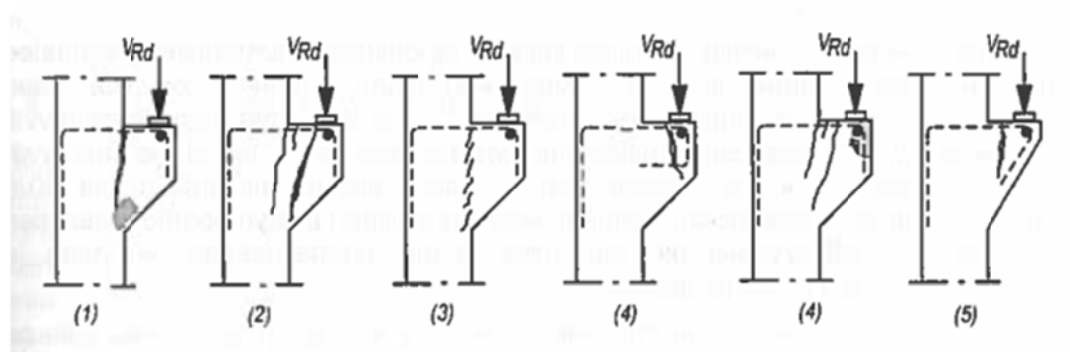
mia ei välttämättä ole osattu ottaa huomioon suunnittelussa. Jännebetonipalkin viruminen saattaa aiheuttaa pilarin pään halkeamisen tai pilariulokkeen halkeamisen kuvan 14 mukaisesti. Lisää palkin virumisesta aiheutuneita vaurioita on esitetty sivulla 33 kuvassa 22. Pilariulokkeen juuren halkeaminen voi johtua myös puutteellisesta raudoituksesta tai pilariin kohdistuneesta iskusta sen käsittelyn aikana. Raudoituksen riittävyttä voidaan arvioida vanhojen rakennesuunnitelmien perusteella, mikäli sellaiset on saatavilla. Jos raudoitukset todetaan riittäviksi, riittää halkeamien korjaaminen epoksi-injektioinnilla. Turvallisinta on kuitenkin vahvistaa uloketta esimerkiksi päällystämällä se hiilikuituvahvikkeella.



Kuva 14. Pilariulokkeen juuren halkeilua.

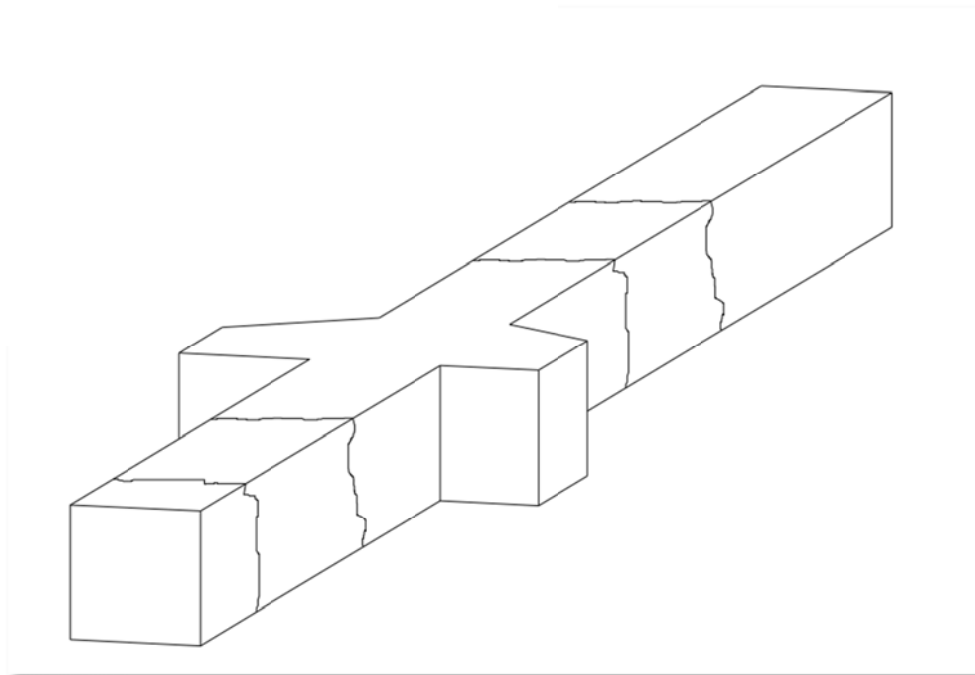
Pilarikonsolin murtumismekanismeja on esitetty kuvassa 15. Murtumistavat riippuvat konsolin mitoista ja raudoituksesta. Ensimmäisessä kohdassa on normaali taivutusmurtuminen terästen myötäämisen jälkeen. Toisessa kohdassa tapahtuu vino puristumurtuminen, kun rasitus kasvaa suureksi vinossa betonikaistassa. Murtuminen tapahtuu ensin alareunassa, missä tehollinen puristuspinna-ala on pienin. Kohdassa kolme on esitetty puhdas leikkausmurtuminen konsolin ja pilarin liittymäkohdassa. Kohdassa neljä on konsolin reunamurtuminen, mikä voi syn-

tyä jos kuorma on liian lähellä konsolin reunaa tai jos kuormituspinta-ala on liian pieni. Kohdassa viisi on vaakasuoran vetovoiman aiheuttama reunan vetomurtuminen.



Kuva 15. Pilarikonsolin murtumismekanismit. /10/

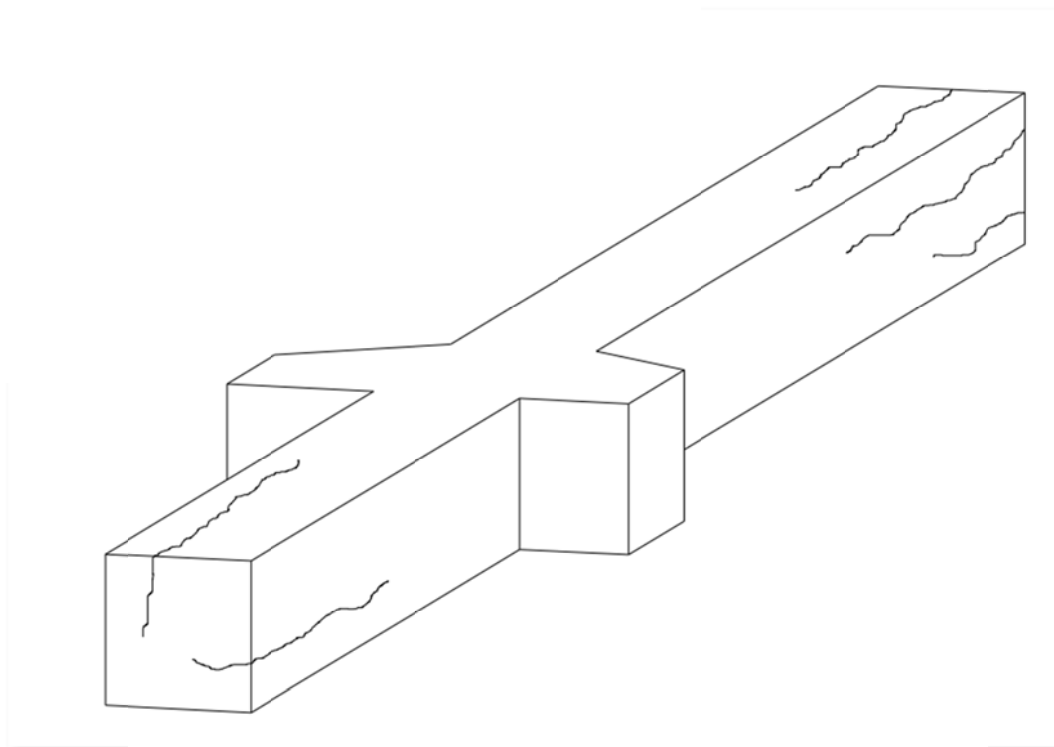
Betonipilareissa saattaa esiintyä poikittaista hakaraidoituksen suuntaista halkeilua betonin pinnassa (kuva 16). Nämä halkeamat johtuvat tyypillisesti valmistuksen aikaisista virheistä, esimerkiksi plastisesta painumisesta. Valmistusvaiheessa tuore betonimassa painuu alaspäin muotissa raudoitustangon molemmiin puolin, mutta raudoitustanko estää betonin painumisen ja sen kohdalle syntyy halkeama. Betonin ja raudoituksen yhteistoiminta voi jäädä vajaaksi, jos betonimassa painuu myös raudoituksen alapuolella. Plastisen painumisen aiheuttamat halkeamat voidaan estää hyvällä tiivistyksellä. Muita mahdollisia syitä on betonin tai mahdollisten pilariulokkeiden tarttuminen muottiin, betonin kutistuminen, elementtipilarin huono tuenta varastoinnin aikana, siihen kohdistunut isku käsittelyn aikana ja virheellinen lämpökäsittely. Lämpökäsittelyn lämpötila on saattanut olla liian korkea tai lämpöä on lisätty liian aikaisin.



Kuva 16. Poikittaisia halkeamia pilarissa.

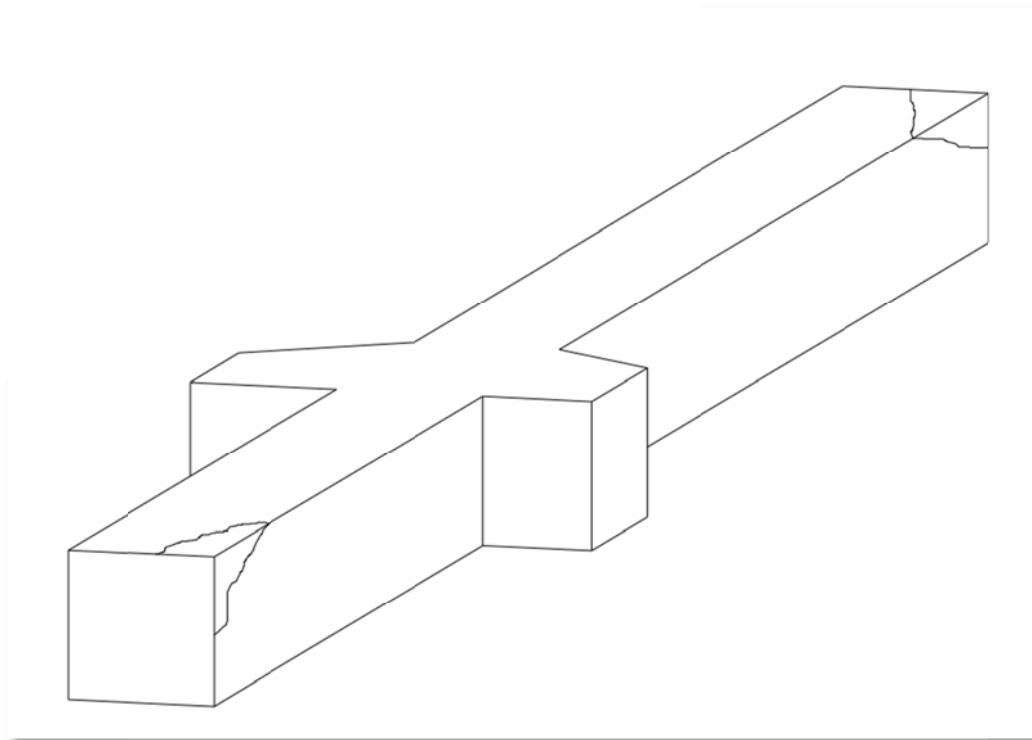
Pienet hakaraidoituksen suuntaiset halkeamat eivät aiheuta merkittävää haittaa rakenteelle, jos elementti ei joudu alttiiksi syövyttävälle ympäristötekijöille (rasi-
tusluokat XC0, XC1 eli kuivat sisätilat). Halkeamat voi korjata esim. korjauslaas-
tilla tai injektoimalla ne epoksilla.

Elementtirakenteisissa betonipilareissa voi esiintyä pilarin päissä kuvan 17 mukai-
sia pitkittäissuuntaisia halkeamia. Halkeamat sijaitsevat tyypillisesti esijännitys-
punosten kohdilla ja niiden pituudet voivat olla muutamasta millimetristä metriin
saakka. Nämä halkeamat voivat olla merkki suunnitteluvirheestä, jos reunan rau-
doitus tai jännepunosten suojabetonipeite on mitoitettu riittämättömäksi. Vaihto-
ehtoisesti vaurio voi olla valmistusaikainen ja syynä on betonin riittämätön jälki-
käsittely, betonin tarttuminen muottiin tai virhe muotista irrottamisessa. Halkeilu
saattaa johtua myös jännityspunoksien liukumasta, jos esim. betoni ei ole ollut
riittävän lujaa jännityksen laukaisuhetkellä. Esijännityksen laukaisu on myös saa-
tettu tehdä liian nopeasti. Pilarin päiden halkeamien vaikutus rakenteen kantavuu-
teen tulee tarkastaa rakennesuunnittelijalla tapauskohtaisesti. Yleensä halkeamat
voidaan korjata injektoimalla ne epoksilla tai päällystämällä ne kuituvahvikkeilla.



Kuva 17. Halkeamia pilarin päässä

Vinot halkeamat pilarin kulmissa voivat johtua mm. puutteellisesta hakaraidoituksen suunnittelusta. Hakaraidoitus on riittämätön tai se on liian kaukana pääraidoituksesta. Vaurio voi johtua myös betonin tartumisesta muottiin, muotin laajenemisesta lämpökäsittelyn aikana, liian nopeasta esijännityksen laukaisusta tai kolhusta pilarin käsittelyn aikana. Halkeamat voivat esiintyä pilarin ala- tai yläpäässä ja ne ulottuvat yleensä pilarin kahdelle sivulle. Mahdollisia korjaustoimenpiteitä ovat päällystäminen kuituvahvikkeella ja epoksi-injektointi.



Kuva 18. Pilarin nurkkien halkeamia.

Satunnaiset ohuet pintahalkeamat pilareissa ovat tyypillisesti kuivumisesta johtuvia halkeamia. Kuivumishalkeamat ovat yleensä seurausta puutteellisesta jälkihoidosta. Lämpökäsittelyn lämpötila on saattanut olla liian korkea tai lämpökäsittely on aloitettu liian aikaisin. Pintahalkeamien syynä saattaa olla myös betonimassan plastinen painuminen raudoituksien kohdalla tai ylimääräinen vesi betonimassassa. Ohuet pintahalkeamat eivät ole yleensä vakavia, jos pilari ei ole syövyttävissä olosuhteissa. Halkeamien korjaaminen tulee harkita tapauskohtaisesti. Mahdollisia korjaustapoja ovat ainakin laastipaikkaus ja epoksi-injektointi.
/3,10,11/

4 PALKIT

4.1 Yleistä

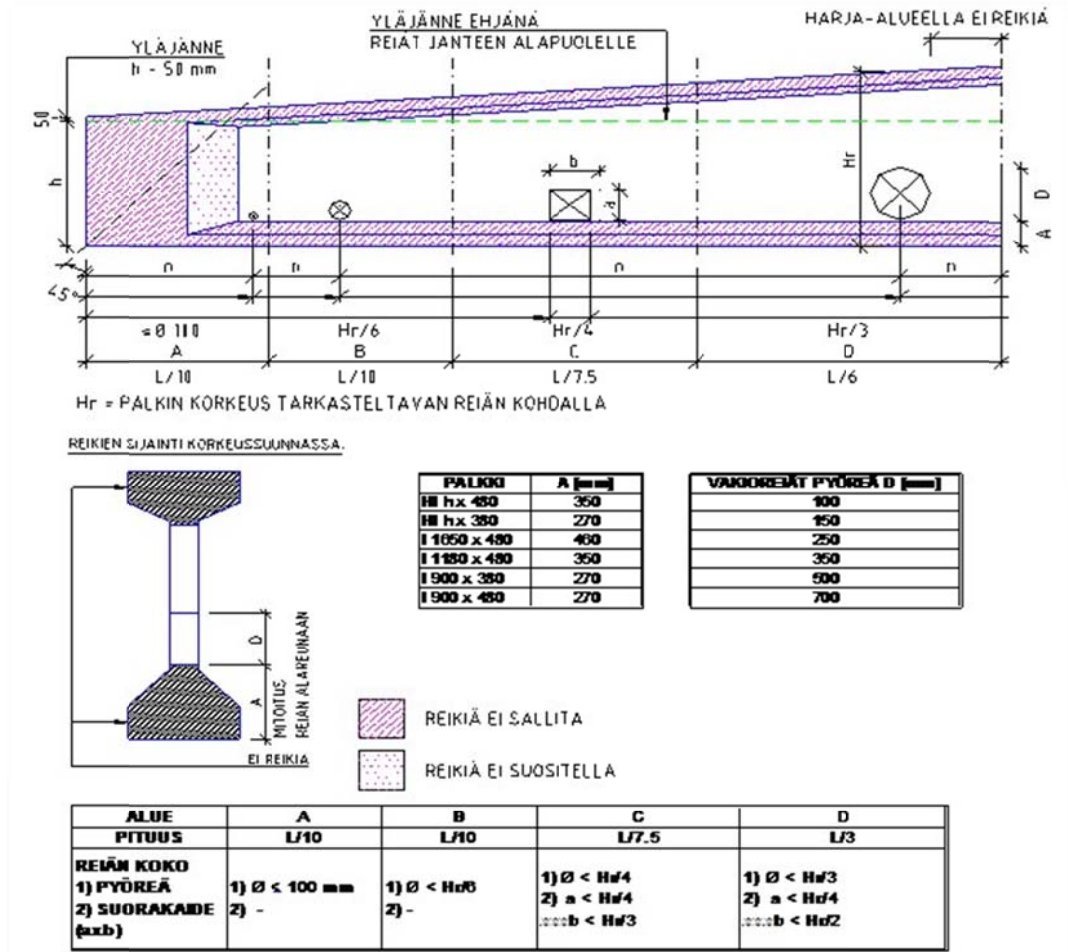
Betonirakenteisten hallien palkit ovat yleensä elementtirakenteisia. Jännevälillä ja kuormituksista riippuen palkit ovat joko jännitettyjä palkkeja tai teräsbetonipalkkeja. Hallien yläpohjien kattokannattajat ovat yleensä jännitettyjä HI- ja I- palkkeja, joilla päästään yli 30 metrin jänneväleihin. Suorakaide-, leuka- ja ristipalkkeja käytetään lähinnä väli- ja alapohjien kannattajina. Ne voivat olla jännitettyjä tai teräsbetonipalkkeja. Kuvassa 19 on esitetty palkkien poikkileikkauksia. HI- ja I-palkkien suositeltavat leveydet ovat 380 ja 480 mm. Profiilin muoto ja korkeudet vaihtelevat valmistajakohtaisesti.



Kuva 19. Elementtipalkkien poikkileikkauksia.

HI- ja I-palkkeja rei'itetään esimerkiksi talotekniikan läpivientejä varten. Yleensä suositetaan pyöreitä reikiä ja vakioleikkokokoa. Reikäsuositukset on esitetty kuvassa 20. Rei'itykset voidaan tehdä ainoastaan palkkien uumiin yläjanteiden alapuolelle. Reiän ei katsota vaikuttavan taivutuskestävyyteen, jos se ei sijaitse palkin tehollisen puristetun osan alueella. Reiät käsitellään pienenä, jos reiän etäisyys yläreunasta on suurempi kuin sen halkaisija. Tällöin leikkauskestävyys reiän kohdalla voidaan laskea kuten rei'ittämättömällä palkilla, huomioimalla poikkileikkauksen korkeuden pienennys. Puristusmurtumisen estämiseksi reikien väliin tulee jäädä riittävän suuri ehjä kannas. Jos reikiä keskipisteiden etäisyys toisistaan on vähintään yhtä suuri kuin reikiä halkaisijoiden summa, reikiä voidaan tarkastella yksittäisinä reikinä. Reikiä sijoittamista HI-palkin harjan kohdalle tulisi välttää. Har-

jan kohdalle sijoitettavien reikien yläpuoli tulee suunnitella aina erikseen sitkeän murtumisen varmistamiseksi. HI-palkkeihin ei saa tehdä ripustuksia isojen reikien kohdalle. Mahdolliset ripustukset tulee huomioida HI-palkin uuman reikien välisen hakarautoituksen mitoituksessa.



Kuva 20. HI-palkkien rei'itykset.

HI- ja I-palkkien liitokset pilareihin toteutetaan joko yhdellä pultilla palkin päältä tai kahdella pultilla alalaipasta kuvan 21 mukaisesti. Pulttikoko on tyypillisesti luokkaa M24. Liitoksen pultit mitoitetaan onnettomuuskuormat huomioiden. Pultteilla estetään palkin putoaminen tuelta. Kuvan pulttiliitoksessa on havaittavissa puutteellinen liitoksen kiristys.

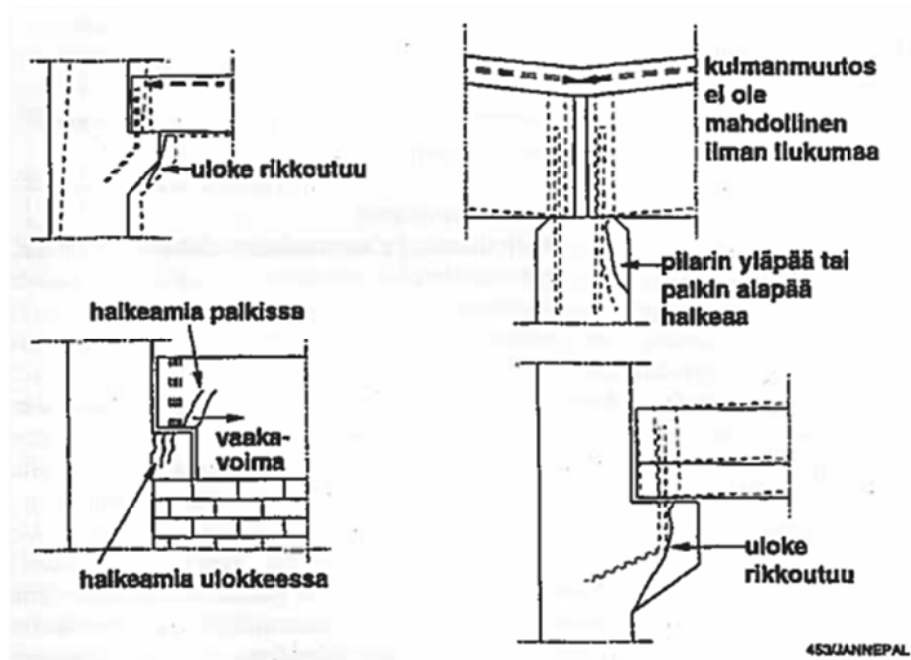


Kuva 21. HI-palkin liitos pilariin kahdella pultilla. Liitoksen mutterit ovat löysällä.

4.2 Palkkien vauriot

Betonipalkeilla voi esiintyä vaurioita monista eri syistä. Yleisiä vaurioita ovat elementtipalkkien käsittelyssä (varastointi, kuljetus, asennus) syntyneet vauriot. Tällaisia vaurioita ovat tyypillisesti lohkeamat ja halkeamat palkin nurkissa ja reunoissa. Yleensä nämä ovat vain ulkonäköön vaikuttavia vaurioita. Kuormitettujen alueiden halkeamat tulee korjata esimerkiksi injektoimalla tai korjauslaastilla.

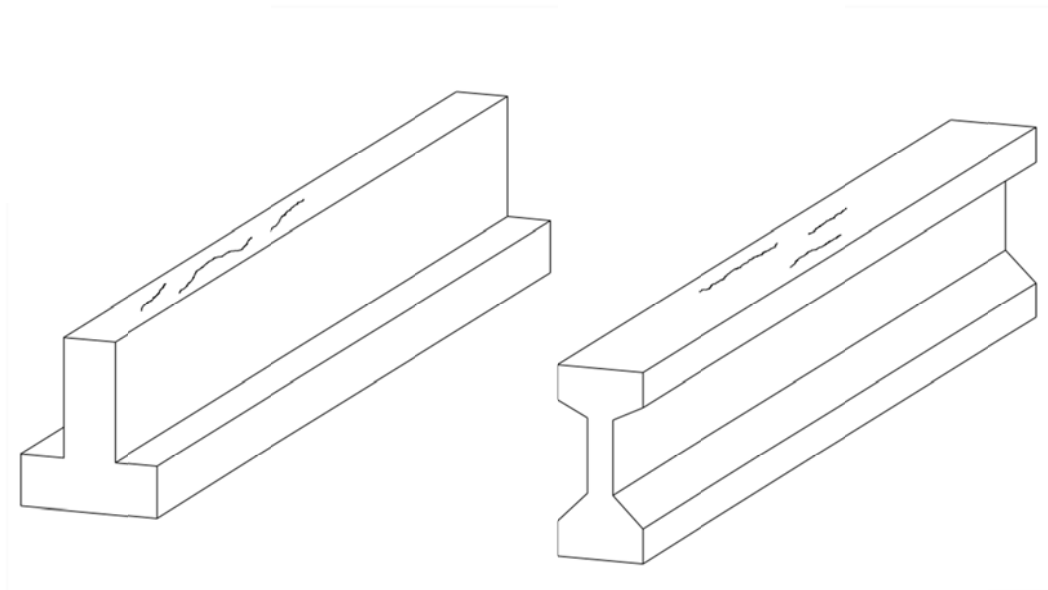
Jännebetonipalkkien viruminen saattaa aiheuttaa paitsi pilarin, myös palkin pään halkeamisen. Erityisesti lovetuilla palkeilla saattaa esiintyä kuvan 22 mukaisia halkeamia. Lovetun palkin pää halkeilu saattaa johtua myös virheellisestä raudoituksen sijoittelusta tai alimitoituksesta.



Kuva 22. Jännebetonipalkin virumisen aiheuttamia halkeamia. /2/

Pienten kuivumishalkeamien esiintyminen on betonipalkeissa melko yleistä. Syyinä kuivumishalkeilulle on yleensä palkin puutteellinen jälkihoito. Elementtipalkki on saatettu viedä työmaalle liian aikaisin, palkkia ei ole peitetty ja kostutettu kunnolla valun jälkeen ja lämpökäsittelyssä on saatettu käyttää liian korkeaa lämpötilaa. Kuivumishalkeamat syntyvät palkeissa sattumanvaraisesti kohtiin ja ne ovat yleensä hyvin pieniä, halkeamaleveydet ovat luokkaa 0,050,30 mm.

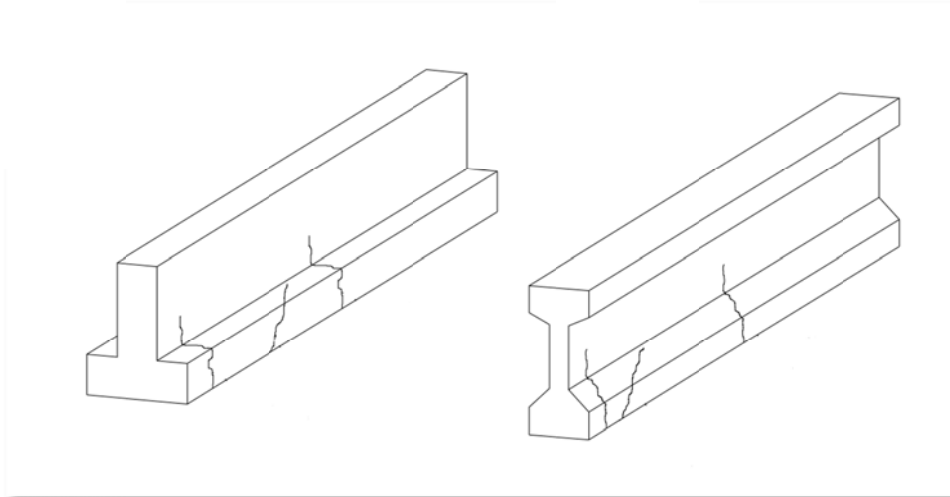
Betonimassan plastisesta painumisesta raudoituksen kohdalla voi syntyä halkeamia esimerkiksi palkin ylälaippaan kuvan 23 mukaisesti. Kuivumisesta ja plastisesta painumasta johtuvien pienten halkeamien vaikutus kantavuuteen on yleensä vähäinen. Tarvittaessa nämä pienet halkeamat voi korjata laastipaikkauksella tai injektoimalla.



Kuva 23. Betonipalkin yläpinnan halkeilua.

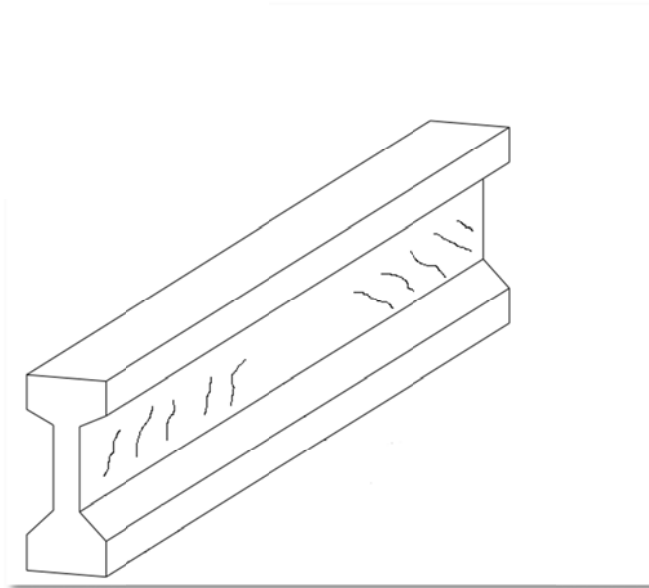
Betonipalkin taivutushalkeamat esiintyvät palkin vetopuolella eli yksiaukkoisella palkilla sen alapinnassa. Ensimmäisenä taivutushalkeamat syntyvät suurimman taivutusmomentin kohdalle, joka on yksiaukkoisilla tasaisesti kuormitetuilla palkkeilla palkin keskellä. Halkeamat etenevät palkin alareunasta ylöspäin kohti palkin neutraaliakselia kuvan 24 mukaisesti. Palkin päissä esiintyvät alapinnan halkeamat ovat elementtipalkeilla tyypillisesti valmistusaikaisia ja syynä voi olla mm. jännityspunoksen tartunnan peittäminen, raudoitteiden väärä sijoittaminen tai päätylevyn tarttumisen muuttaminen. Jos jännepunoksissa on tapahtunut luistamista, rakenteen kantokyky on alentunut.

Yleisesti ottaen palkin alapinnan halkeamat voivat olla vakavia ja vaativat yleensä toimenpiteitä. Palkin taivutuskapasiteettia voidaan kasvattaa lisäämällä betonia ja vetorauoituksia palkin alareunaan. Tämä kasvattaa tosin palkin omapainoa suhteellisen paljon verrattuna kapasiteetin lisäykseen. Vaihtoehtoisesti vahvistus voidaan tehdä liimaamalla palkkiin teräslevyjä tai hiilikuitunauhoja. Liimana käytetään yleensä epoksiliimaa.



Kuva 24. Betonipalkin alapinnan halkeamat.

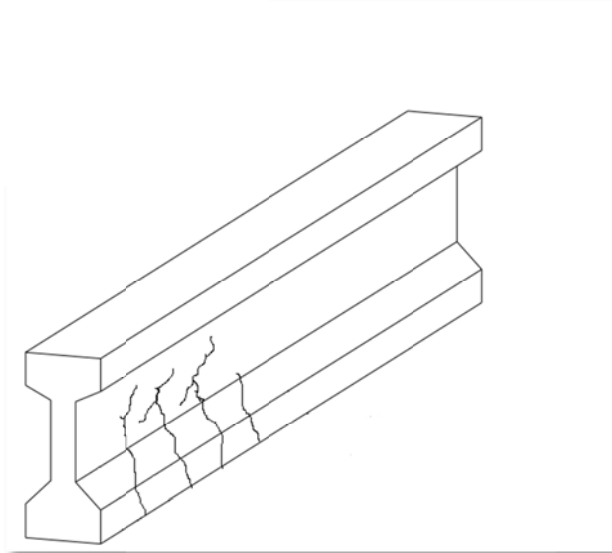
Leikkaushalkeamat ovat tyypillisesti kuvan 25 mukaisia vinoja halkeamia, jotka syntyvät esijännitetyillä I-palkeilla yleensä palkin uumaan. Halkeamia esiintyy ensimmäisinä tuen läheisyydessä, missä leikkausrasitukset ovat suurimmillaan.



Kuva 25. Palkin leikkaushalkeamia.

Joskus leikkaushalkeamat alkavat palkissa jo olevista pystysuorista taivutushalkeamista edeten vinosti kuvan 26 mukaisesti. Ylempänä palkin uumassa taivutusrasitus on pientä, mutta leikkausrasitus on suurimmillaan, minkä vuoksi halkeamat etenevät leikkaushalkeamina. Leikkaushalkeamat vaativat yleensä korjaustoimenpiteitä. Leikkauskapasiteettia voidaan kasvattaa esimerkiksi palkin ym-

pärille liimatuilla hiilikuitunauhoilla. Leikkausvoimia voidaan myös siirtää tuelle erilaisilla teräsosilla, kuten kuvan 27 mukaisilla ripustusraudoituksilla.



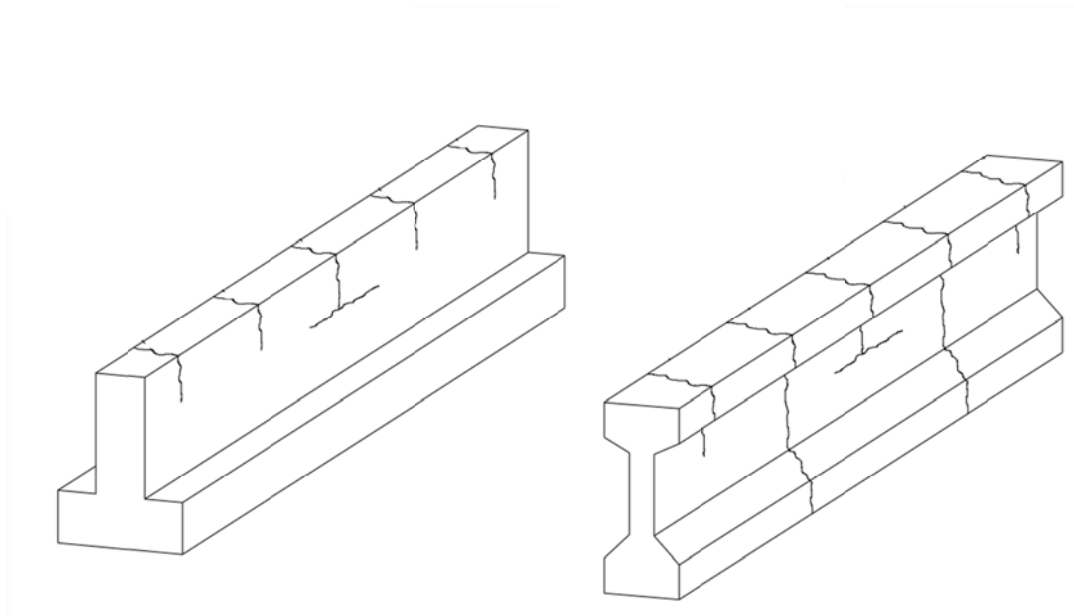
Kuva 26. Palkin taivutusleikkaushalkeamia.



Kuva 27. Leikkausvoimien siirtäminen tuelle teräsosalla. Kuvan palkissa on leikkaushalkeamia.

Elementtipalkin yläpinnan puutteellinen raudoitus tai terästen virheellinen sijoittaminen saattaa johtaa poikittaisiin halkeamiin palkin yläosassa. Halkeamat ovat tyypillisesti kohtisuorassa palkin pituussuuntaa vastaa ja kulkevat ylälaipan yli toiselle puolelle palkkia. Halkeamat voivat johtua myös virheellisestä elementin nostopisteistä, kuivumiskutistumisesta tai liian aikaisesta elementin lämpökäsittelystä. Keskellä palkkia olevien poikittaisten halkeamien syynä voi olla esijännityksen aiheuttama palkin yläreunan vetolujuuden ylittyminen.

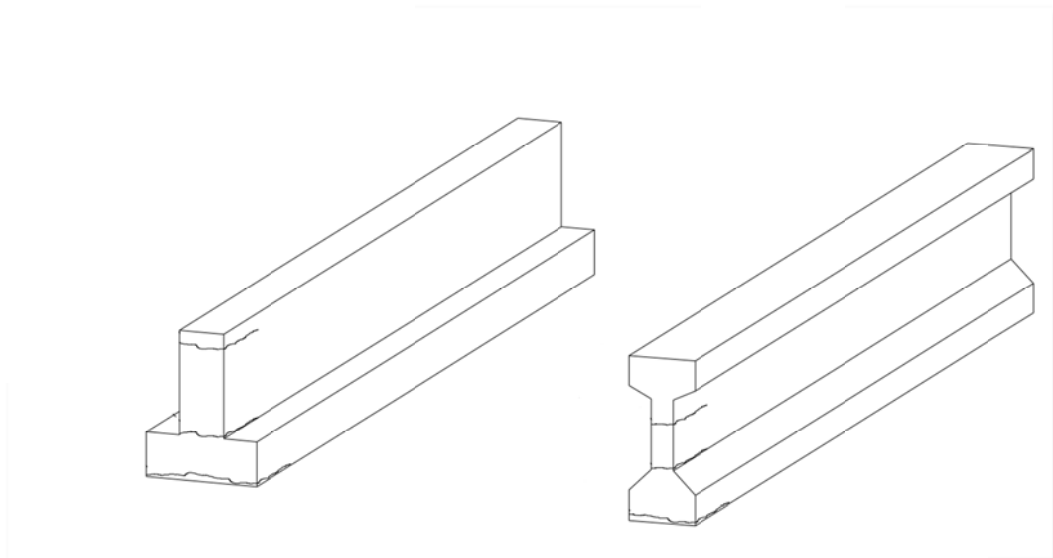
Erityisen vakavia ovat päissä lähellä tukea olevat yläpinnan poikittaiset halkeamat. Ne voivat aiheutua puuttuvasta tai virheellisestä palkin pään alapuolisten punostartuntojen irrottamisesta. Lähellä päätä olevat halkeamat voivat pienentää palkin leikkauslujuutta. Mahdollisena korjaustoimenpiteenä tulee kyseeseen esimerkiksi hiilikuituosien liimaaminen. Palkin keskiosissa olevat yläpinnan halkeamat eivät ole yleensä vakavia. Kuitenkin jos yläosassa keskellä oleva halkeama ulottuu rakenteen läpi, saattaa se vaikuttaa palkin kantokykyyn ja tilanne tulee arvioida tapauskohtaisesti. Mikäli halkeamien todetaan heikentävän rakennetta, tulee ryhtyä vahvistustoimenpiteisiin. Syövyttävissä olosuhteissa tulee pienemmätkin halkeamat korjata esim. epoksi-injektioinnilla.



Kuva 28. Betonipalkin yläpinnan halkeamia.

Halkeamat jännebetonipalkin päässä johtuvat tyypillisesti jännepunoksen liukumasta tai virheellisestä esijännityksen laukaisusta. Halkeamat ovat tyypillisesti vaakasuuntaisia ja ulottuvat palkin läpi kuvan 29 mukaisesti. Jos halkeama on esijännityspunoksen kohdalla ja punokset ovat päässeet luistamaan, voi siitä aiheutua palkin leikkaus- ja taivutuskapasiteetin pienenemistä. Huono jännepunoksen ankuroinnille ei ole olemassa korjauskeinoa ja palkin kantokyky tulee arvioida tapauskohtaisesti.

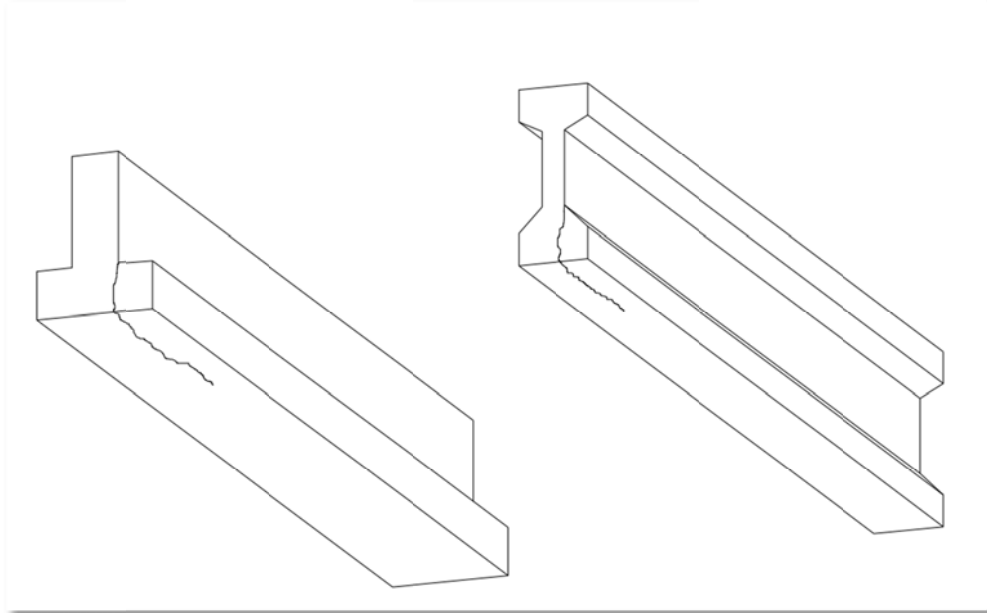
Jos halkeama ei ole jännityspunoksen kohdalla, voi se johtua myös liian voimakkaasta esijännityksestä, jännityseroista uuman ja laipan välillä tai palkin pään puutteellisesta hakaraidoituksesta. Halkeamat aivan palkin alareunassa johtuvat tyypillisesti riittämättömästä betonipeitteestä, betonin plastisesta painumisesta raudoituksen alapuolella tai betonin tarttumisesta muottiin muottia purettaessa. Näistä halkeamista ei yleensä aiheudu haittaa palkin kestävyydelle, jos palkki ei ole syövyttävässä ympäristössä. Mahdollisia korjaustapoja ovat halkeamien epoksi-injektointi ja palkin pinnoitus.



Kuva 29. Halkeamat palkin päässä

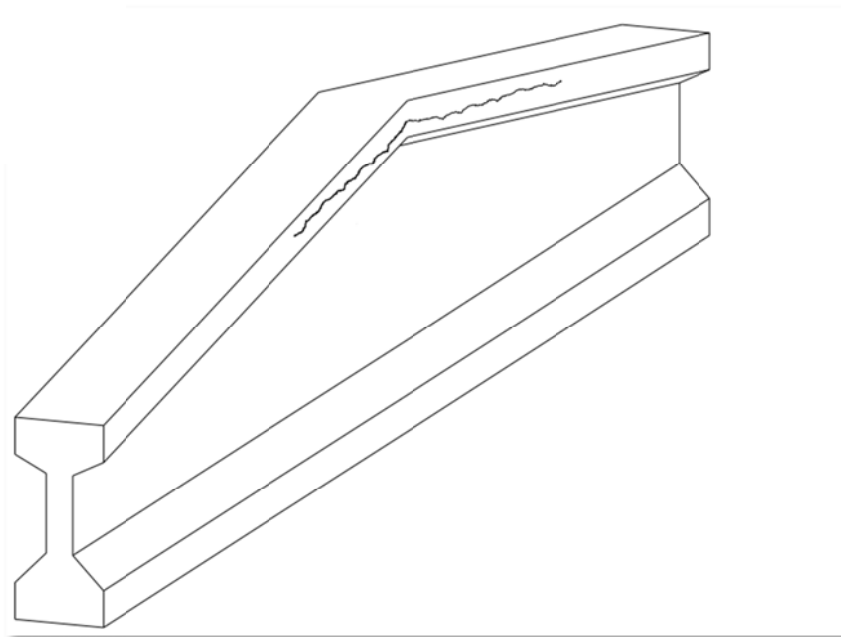
Halkeamat jännebetonipalkin uuman ja laipan leikkauskohdassa voivat johtua virheellisestä raudoituksesta tai esijännityksen virheellisestä laukaisujärjestyksestä. Yleensä halkeamat sijaitsevat palkin päässä kuvan 30 mukaisesti. Jos halkeaman kohdalla palkin laippaan kohdistuu vain vähäisiä kuormituksia, riittää halkeaman

korjaukseen epoksi-injektointi. Leukapalkeilla tilanne on vakava ja palkkia tulee vahvistaa. Vahvistus voidaan toteuttaa esimerkiksi ripustusraudoitteella tai liima-
tuilla hiilikuituosilla.



Kuva 30. Halkeamat palkin uuman ja laipan leikkauskohdassa.

Kuvan 31 mukainen HI-palkin ylälaipan halkeilu johtuu tyypillisesti ylälaipan riittämättömästä hakaraudoituksesta tai ylälaipan liiallisesta puristusraudoituksesta. HI-palkin harjan kohdalle muodostuu ylälaipan suunnan muutoksesta voima, joka otetaan vastaan uuman ja ylälaipan sitovalla hakaraudoituksella. Ylälaipan halkeamien korjaukseen riittää tarvittaessa epoksi-injektointi.



Kuva 31. HI-palkin ylälaipan halkeilua.

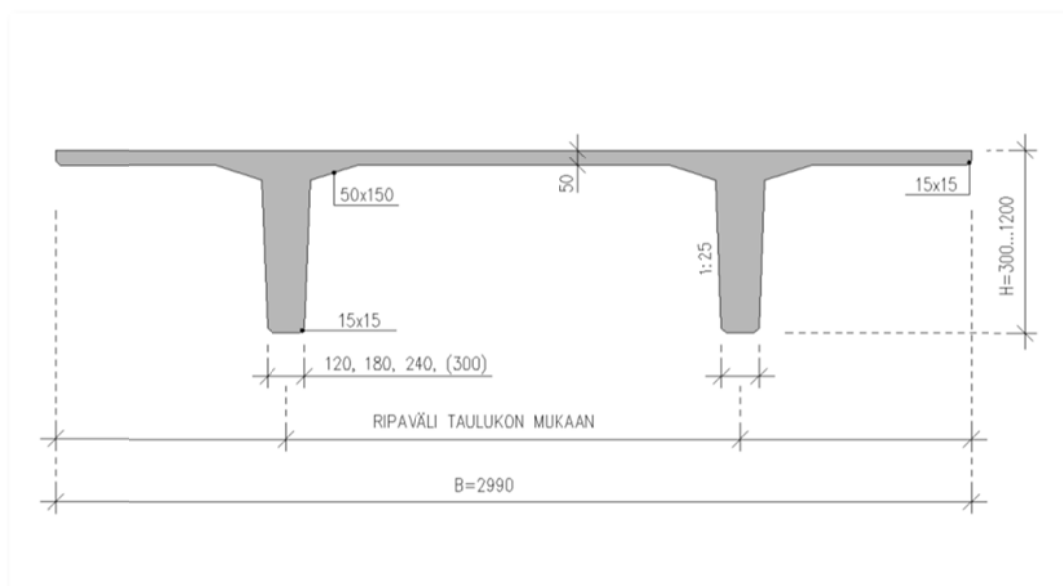
Jänneteräksien langat ja punokset ovat pieniä kooltaan, minkä vuoksi ne ovat herkkiä korroosioaurioille. Runsassementtinen juotoslaasti, hyvin tiivistetty betoni ja riittävät betonipeitteet suojaavat punoksia korroosiolta. Ulkotiloissa olevien jännebetonirakenteiden jänteiden päät tulee suojata korroosiolta. Jänteiden korrosio aiheuttaa jännityksiä, joista seuraa betonin halkeilua. /3,10,11/

5 LAATTARAKENTEET

5.1 Yleistä

Betonirakenteisten hallien ylä- ja välipohjalaatat ovat tyypillisesti jännitettyjä on-telo-, TT- tai kuorilaattoja. Yläpohjissa käytetään erityisesti pitkillä jänneväleillä TT-laattoja. TT-laatoista on olemassa erilaisia variaatioita, joista yleisimmät ovat HTT-, TEK- ja STT-laatat. Hallien vesikaton kallistukset saadaan aikaan käyttämällä tasakorkeita TT-laattoja HI-palkkien kanssa tai käyttämällä HTT- eli harja TT-laattoja I-palkkien kanssa. HTT-laattojen harjan kaltevuudet ovat 1:20 tai 1:40 ja HI-palkkien 1:16. Vaihtoehtoisesti kallistukset voidaan tehdä eri korkeusasemiin asennetuilla palkkilinjoilla ja TT-laatoilla.

TT-laattojen maksimijännevälit ovat yleensä noin 25 metriä. Joillakin valmistajilla on valikoimissaan jopa yli 30 metriä pitkiä TT-laattoja. TT-laattojen vakioleveys on 2990 mm. Nimellisleveys on 3000 mm ja saumaleveys laattojen välissä 10 mm. TT-laattojen korkeus vaihtelee välillä 300-1200 mm, 100 mm:n välein. TT-laattojen poikkileikkausmittoja on esitetty kuvassa 32.



Kuva 32. TT-laatan poikkileikkausmitat.

TT-laatoissa käytetään tyypillisesti C40 lujuusluokan betonia. TT-laattoja voidaan käyttää rasitusluokissa XC1 (kuiva sisätila) ja XC3 (ulkona sateelta suojassa). Laattojen palonkestoajat vaihtelevat käytettävän laattatyypin mukaan välillä R30-R180. Alustavassa mitoituksessa valitaan poikkileikkaus palonkestoajan ja kantokyvyn perusteella. Vaadittava palonkesto aika määrää TT-laatan rivan vähimmäisleveyden taulukon 5 mukaisesti. Vakiomitoituksesta poikkeavalla ripaleveydellä 300 mm päästään R180 palonkesto aikaan. Yläpohjissa, joissa kuormana on vain lumikuorma, palonkesto aikaan R120 riittää ripaleveys 180 mm.

Taulukko 5. TT-laattojen ripalevydet paloluokkien mukaan.

Laatta	Paloluokka	Ripaleveys
TT ja HTT	R60	120 mm
	R90	180 mm
	R120	240 mm
TEK	R30	125 mm
	R60	145 mm
STT	R30	135 mm
	R60	155 mm

TT-laattojen jänneet sijaitsevat uuman alaosassa. Jännevoimat aiheuttavat pitkien jänneväliden TT-laatoissa alkukäyritystä. Alkukäyritystä esiintyy erityisesti silloin kun laattoja kuormittaa vain jännevoima. Alkukäyrityksen suuruuteen vaikuttaa merkittävästi laatan ikä ja tämän vuoksi vierekkäin olevien TT-laattojen tulisi olla saman ikäisiä ja samasta valmistuserästä. Laattojen alkukäyritystä tulee huomioida rakenteiden liittymiä (tukipintoja) suunniteltaessa.

TEK- ja STT-laatat ovat tavallisiin TT-laattoihin verrattuna kevennettyjä ja niiden kantokyky on tehokkaampi. Poikkileikkaukseltaan ne eroavat hieman tavallisesta TT-laatasta. Maksimijänneväli TEK-laatoilla on noin 24 metriä ja STT-laatoilla 25 metriä. TEK-laatan vakioleveys on 3590 mm, korkeus 800 mm ja ripojen väli 1800 mm. STT-laattojen maksimileveys on 3790 mm ja korkeudet vaihtelevat välillä 400-800 mm. TEK- ja STT-laattoja voidaan käyttää paloluokissa R30 ja R60 ja niiden ripaleveys vaihtelee paloluokan mukaan.



Kuva 33. TEK-laatat, joissa on havaittavissa jännevoiman aiheuttamaa alkukäyritystä.

TT-laattojen ripojen rei'itystä tulisi välttää. Ripojen mahdollisten reikien tulee olla pyöreitä ja sijaita punosten yläpuolella. Reikiä ei saa sijoittaa metrin matkalle rivan päästä. Laattaosaa sen sijaan voi rei'ittää melko vapaasti, kunhan reiät sijaitsevat ripaviisteen ulkopuolella. Yleensä suositetaan suorakaiteen muotoisia reikiä. Reikien yhteenlaskettu pituus saa olla kolmasosan laatan pituudesta. Reiän maksimipituus ripojen välissä on 2400 mm. Reiän ja laatan pään väli tulee olla vähintään 600 mm, kun reiän pituus on 500 mm ja 2000 mm, kun reiän pituus on suurempi. Toleransseista johtuvien porrastuksien vuoksi, reikien tekemistä TT-laattojen reunoihin tulisi välttää.

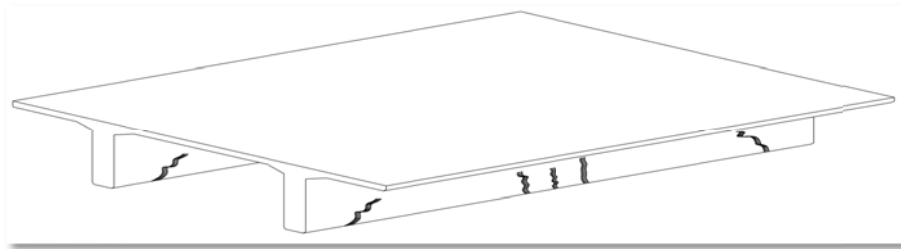
5.2 TT-laattojen tyypilliset vauriot

TT-laatat ovat jännitettyjä elementtirakenteita, joiden valmistusvaiheessa saattaa syntyä vaurioita. Betonin tiivistykseen liittyvät ongelmat ovat yleisiä. Huono tiivistys ilmenee betonin pinnan epätasaisuutena. Kuvassa 34 on esimerkki huonosta TT-laatan betonin tiivistyksestä. Myös TT-laattojen ja palkkien liitoksien neopretilaakereissa on käytännön tarkastuksissa havaittu paljon puutteita. Neoprenejä käsitellään erikseen kohdassa 5.3.



Kuva 34. Elementin pinnassa on ”koloja” huonosta tiivistyksestä johtuen.

TT-laatan taivutushalkeamat ovat kuvan 35 mukaisia pystysuuntaisia halkeamia TT-laattojen rivoissa, jännevälän keskellä. Halkeamat etenevät rivan alareunasta ylöspäin. Pystysuorat halkeamat rivan päässä voivat johtua jännityspunosten tartunnan pettämisestä ja jännepunoksien liukumasta. Punostartunnan pettäminen aiheuttaa yleensä TT-laatan taivutuskapasiteetin alenemisen. Puutteelliselle punostartunnalle ei ole olemassa korjauskeinoja ja laatan kantokyky on arvioitava tapauskohtaisesti. Kuvassa 36 on TT-laatta, jossa on punoksen liukumasta johtuva halkeama rivan päässä. Leikkaushalkeamat ovat tyypillisesti vinoja halkeamia TT-laatan rivassa tukien läheisyydessä.



Kuva 35. Leikkaus- ja taivutushalkeamia TT-laatan rivassa.

Mahdollisina korjaustoimenpiteinä leikkaus- ja taivutushalkeamille tulee kyseeseen ainakin teräslevyjen tai hiilikuitunauhojen liimaaminen TT-laatan pinnalle. Lisäksi TT-laattaa voidaan vahvistaa erilaisilla ripoihin kiinnitettävillä teräsprofiileilla. Kuvassa 37 on TT-laattaa vahvistettu ripaan kiinnitetyllä teräsrakenteisella U-profiililla, joka on ulotettu tuelle (palkille) asti. Mikäli TT-laatan kapasiteetin voidaan todeta olevan riittävä, riittää halkeaman korjaamiseen epoksi-injektointi.

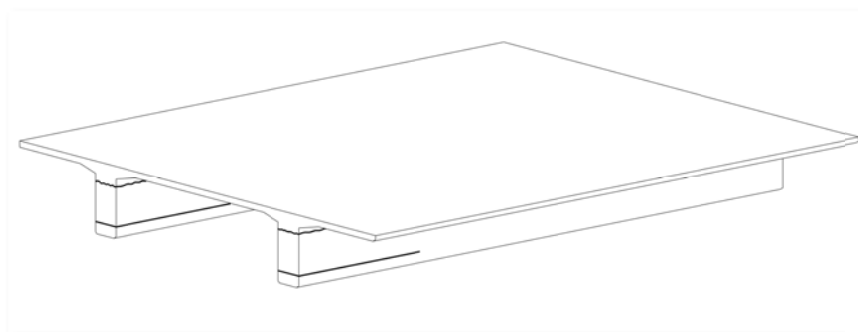


Kuva 36. Jännepunoksen liukuman aiheuttama halkeama TT-laatan rivan päässä.



Kuva 37. TT-laattaa on vahvistettu ripaan kiinnitetyllä U-teräksellä.

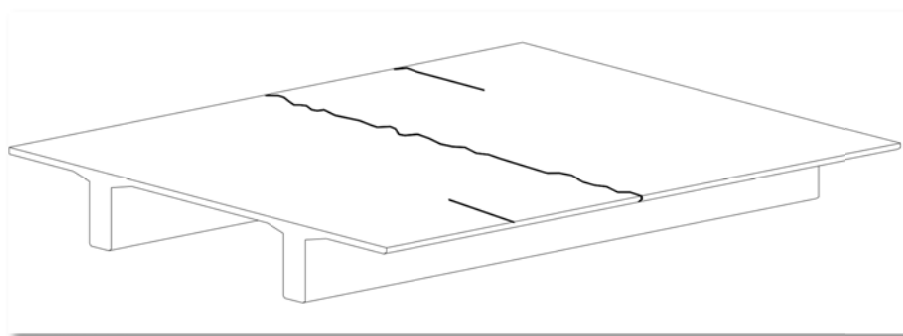
TT-laatan esijännityksen aiheuttamat voimat voivat aiheuttaa laatan rivan pään vaakasuuntaisen halkeamisen kuvan 38 mukaisesti erityisesti jos raudoitus rivan päässä ei ole riittävä. Halkeamat ovat tyypillisesti jännepunosten korkeudella tai ylempänä ja ulottuvat rivan läpi. Mikäli halkeamat ovat jännepunosten kohdalla, voivat ne aiheuttaa TT-laatan leikkaus- tai taivutuskapasiteetin heikentymistä ja tilanne tulee arvioida tapauskohtaisesti. Jos halkeamat eivät ole jännepunoksien kohdalla, voidaan ne tarvittaessa korjata esimerkiksi epoksi-injektoinnilla.



Kuva 38. Vaakasuuntaiset halkeamat TT-laatan rivan päässä.

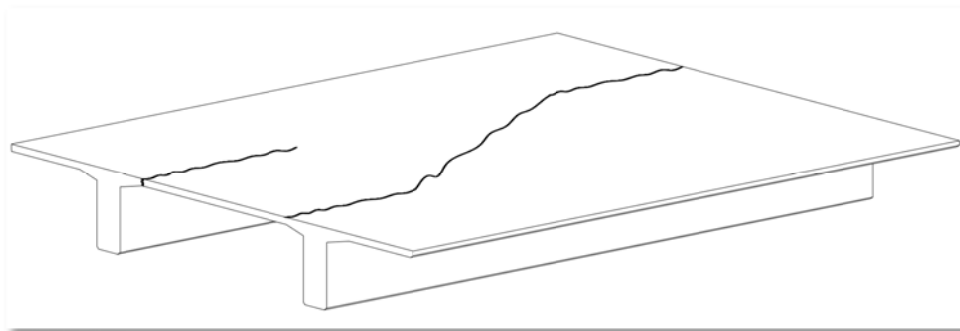
TT-laatan esijännityksen aiheuttama taivutus saattaa johtaa kuvan 38 mukaisiin poikittaisiin halkeamiin laatan yläpinnassa. Halkeamat esiintyvät laatan keski-

osassa ja saattavat kulkea pystysuunnassa laattaosan läpi ripaan asti. Nämä halkeamat saattavat johtua myös lämpökäsittelyn aiheuttamasta muotin laajenemisesta, betonin kuivumiskutistumisesta, elementin nostopisteiden väärästä sijoittamisesta tai kuljetuksen aikaisesta tärinästä. Yksiaukkoisissa laatoissa keskellä sijaitsevat yläpinnan halkeamat eivät ole vaarallisia, jos TT-laatta ei ole syövyttävissä olosuhteissa. Tarvittaessa halkeaminen korjaaminen voidaan tehdä injektoimalla. Iso halkeama laatan pään lähellä voi aiheuttaa TT-laatan leikkauslujuuden pienenemistä ja tilanne on arvioitava tapauskohtaisesti.



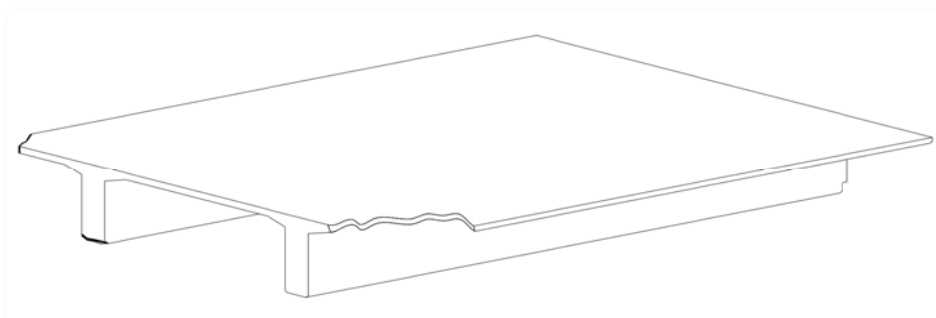
Kuva 39. TT-laatan yläpinnan poikittaista halkeilua.

TT-laatan kansilaatassa voi esiintyä kuvan 40 mukaisia pituussuuntaisia halkeamia, jotka voivat ulottua lähes laatan läpi sen pituussuunnassa. Yleensä halkeamat syntyvät TT-laatan päähän rivan ja laatan leikkauskohtaan. Halkeamat voivat johtua kansilaatan vähäisestä poikittaisraudoituksesta, laatan kaareutumisesta punosten laukaisuvaiheessa, elementin käsittelyssä syntyneistä vääntörasituksista, huonosta lämpökäsittelystä tai epäonnistuneesta betonin tiivistyksestä. Yleensä näillä halkeamilla ei ole vaikutusta TT-laatan kantokykyyn, mutta kansilaatan kantokyky voi olla paikallisesti heikentynyt. Mahdollinen korjaus voidaan tehdä epoksi-injektoinnilla. Korjaustoimenpiteitä ei tarvita, jos TT-laatan päällä on raudoitettu pintabetoni.



Kuva 40. TT-laatan pituussuuntaisia halkeamia

TT-laattojen nurkkien halkeamat ja lohkeamat johtuvat yleensä elementin käsittelyn aikaisesta kolhusta, kansilaatan poikittaisen raudoituksen riittämättömyydestä tai laatan tarttumisesta muottiin valmistusvaiheessa. Kuvassa 41 on esitetty tyypillisiä TT-laatan nurkkien vaurioita. Vaurioista aiheutuu yleensä vain esteettistä haittaa, jos vaurioituneelle kohdalle ei kohdistu kuormia. TT-laatan ripojen nurkkien lohkeamien ja halkeamien vaikutukset tukipinnan riittävyteen tulee arvioida. Yleisesti ottaen tämän tyyppiset lohkeamat ja vauriot tulee korjata, jos raudoitukset ovat näkyvillä. Mahdollisia korjaustapoja ovat esimerkiksi laastipaikkaus ja epoksi-injektointi. /3,11/



Kuva 41. TT-laatan nurkkien vaurioita.

5.3 Neoprenilaakerit

Neoprenilaakereita käytetään betonielementtirakenteisten palkkien ja pilarien sekä TT-laattojen ja palkkien välisissä liitoksissa. Neoprenilaakerit tasaavat kuormat tukipinnalle ja sallivat tuen kiertymisen nivelenä. Ne estävät haitallisia muodonmuutoksia ja halkeamien syntymistä betonirakenteisiin. Neoprenit kiinnitetään yleensä valmiiksi tehtaalla esim. pilarin yläpäähän tai TT-laatan rivan alapintaan. Neoprenilaakerien kovuus ilmoitetaan Shore-arvoilla. Suomessa käytetään yleisimmin Shore 60 ja Shore 50 kovuuksia.

Neoprenilaakerien toimivuudessa on esiintynyt yleisesti puutteita väärän suunnittelun ja kumien laadun vaihtelevuuden vuoksi. Vanhat suunnitteluohjeet saattavat johtaa liian paksuihin ja toimimattomiin kumilevy-laakereihin. Paksuilla kumilevyillä pullistumaa ja luistamista kontaktipinnoissa tapahtuu eniten.

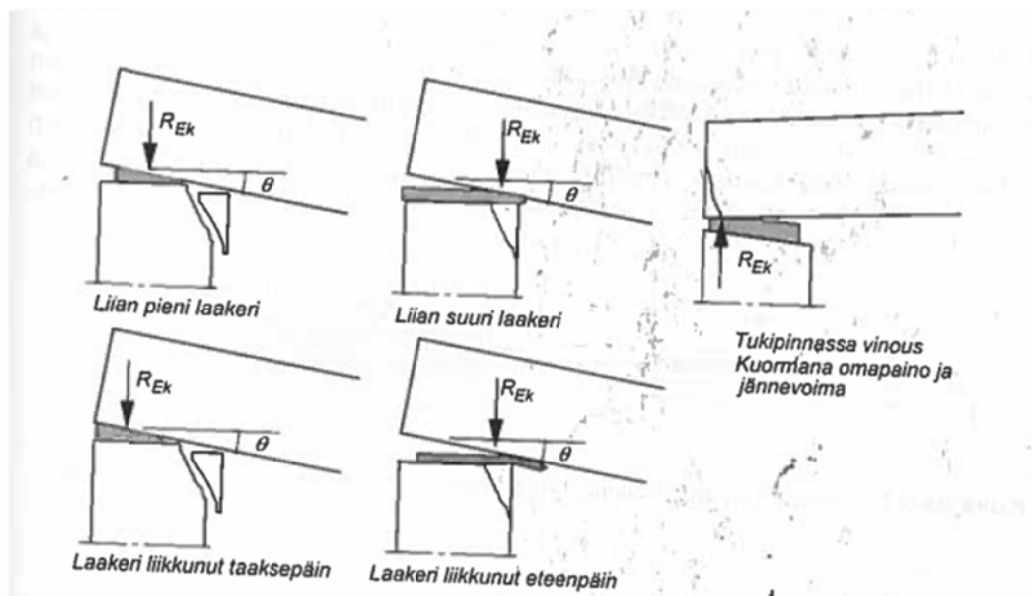
Neoprenikumien toimittajien mukaan kumin kovuus voi vaihdella 5 yksikköä, esimerkiksi Shore 60 ± 5 . Tämä tarkoittaa sitä, että Shore 60 neoprenilaakerien mitoituksessa tulisi käyttää kovuutta Shore 55 epäedullisia vaikutuksia tarkasteltaessa. Neoprenilaakerin kovuus vaikuttaa huomattavasti sen kuormitettavuuteen. Kovuuden lisäksi neoprenin kuormitettavuuteen vaikuttaa sen muotoluku S, joka määritetään kaavasta $S = a_0 \cdot b_0 / 2t(a_0 + b_0)$, missä a_0 on sivumitta jänteen suunnassa, b_0 kohtisuorassa suunnassa ja t on levyn paksuus. Levyn mitta jänteen suunnassa on yleensä pienempi kuin kohtisuorassa suunnassa. Yleisesti raudoitamattoman neoprenikumien paksuuden t tulisi olla välillä 616 mm ja lisäksi $5 \cdot t \leq a_0 \leq 20 \cdot t$.

Neoprenikumien kuormitettavuus $P_k = \min\{P_{k1}, P_{k2}, P_{k3}\}$, missä $P_{k1} = (2G(h)AS) / (1 + 1,7\alpha \cdot a_0/t)$, $P_{k2} = (G(h)A \cdot a_0) / (C_p \cdot t) \cdot [2,5 - 0,5 \cdot \alpha \cdot C_\alpha (a_0/t)^2]$, $P_{k3} = (8 \cdot \Delta_{c,lim} \cdot G_r(h)AS) / (t \cdot 2 \cdot \Delta_{c,lim}) \cdot k_{slip}$. P_{k1} rajoittaa neoprenin kuormitettavuutta painumaehdon, P_{k2} leikkausjännityksen ja P_{k3} maksimipainuman ($\Delta_{c,lim}$) mukaisesti. $\Delta_{c,lim}$ arvoksi on määritetty 3 mm eli neopreneissa tapahtuva painuma rajoitetaan 3 mm:iin. Liukukerroin $G(h) = 0,07 \cdot 1,045^h$, missä h on kumilevyn kovuus (ShoreA). A on levyn pinta-ala eli $a_0 \cdot b_0$. Kertoimet C_p ja C_α on määritetty taulukossa 6. Kerroin α on oletettu kiertymä radiaaneina, $\alpha \geq 0,01$ rad. $G_r = G \cdot (S/4,7)^{0,3}$.

Taulukko 6. Kertoimet C_p ja C_α .

b_0/a_0	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	10
C_p	4,73	4,28	4,02	3,84	3,70	3,60	3,51	3,45	3,40	3,35	3,32	3,15
b_0/a_0	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	2	3	> 3			
C_α	0,464	0,471	0,476	0,48	0,483	0,485	0,489	0,49	0,49			

Neoprenikumien muodonmuutokset tulee huomioida suunnittelussa. Mitoituksessa Neoprenit ovat lähes kokoonpuristumattomia, joten painumasta seuraa neoprenin laajenemista sivuilta. Laajeneminen tulee ottaa huomioon jättämällä neoprenin ja tukevan rakenteen reunan väliin riittävä reunaetäisyys. Tukevan rakenteen, esimerkiksi pilarin, päässä olevan neoprenin etäisyys tukevan rakenteen reunasta tulisi olla vähintään suojabetonipeitteen verran. Mikäli reunaetäisyys ei ole riittävä, voi seurauksena olla pilarin reunan lohkeama erityisesti ohuita neoprenilevyjä käytettäessä. Kuvassa 41 on esitetty virheellisen neoprenin aiheuttamia vaurioita. Lisäksi suunnittelussa tulee varmistaa kumilevyn paikallaan pysyminen eli kitkavoiman riittävyys. Neoprenin liukumaa voi tapahtua vähitellen ajan kuluessa. Liukumaa aiheuttava vaakavoima voi johtua tuettavan rakenneosan kutistumasta, virumasta, lämpöliikkeistä tai tuulikuormasta. /10,12/

**Kuva 42.** Virheellisten neoprenilaakerin aiheuttamia vaurioita. /10/

6 YHTEENVETO JA POHDINTA

Opinnäytetyön tarkoituksena oli määritellä betonirakenteisten hallien rakenteet ja niissä esiintyvät vauriot laajarunkoisten rakennusten tarkastusta silmälläpitäen. Hallien rakenteissa keskityttiin lopulta yleisimpiin runkorakenteisiin, joita ovat elementtipilarit, jännebetonipalkit ja TT-laatat. Esimerkiksi ontelolaattoja ei opinnäytetyössä lopulta käsitelty, sillä aihealue olisi muuten kasvanut liian laajaksi. Rakenteiden suunnittelua ei alkuperäisestä suunnitelmasta poiketen käsitelty muuten kuin ohimennen, muun muassa onnettomuuskuormien ja neoprenilaakerien osalta.

Betonirakenteisen hallin runkorakenteista löytyy yleisesti ottaen hyvin materiaalia elementtisuunnittelun verkkosivuilta. Haastavinta oli löytää materiaalia betonirakenteiden vaurioihin liittyen. Monet julkaisut keskittyvät betonijulkisivujen ja lattioiden vaurioihin ja runkorakenteiden vaurioista kirjallisuustietoa on vähän. Betonirakenteiden vauriot näkyvät tyypillisesti halkeiluna. Halkeilu on yleistä betonirakenteille ja halkeamia voi esiintyä missä päin rakennetta tahansa. Suuri osa runkorakenteiden halkeamista syntyy jo ennen rakennuksen käyttöönottoa. Jälkeenpäin valmistusaikaisten vaurioiden tarkkaa syytä on haastavaa analysoida. Sen sijaan palkkien ja laattojen leikkaus- ja taivutushalkeamat ovat helpommin tunnistettavia ja ne syntyvät kohtiin, missä kyseiset rasitukset ovat suurimmillaan.

LÄHTEET

- /1/ Suomen Betoniyhdistys ry. 2016. by41 Betonirakenteiden korjausohjeet.
- /2/ Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 1988. RIL174-4 Korjausrakentaminen IV Runkorakenteet
- /3/ Betonikeskus ry. 2006. Betonivalmisteiden laatuerojen käsittely.
- /4/ Elementtisuunnittelun verkkosivut. www.elementtisuunnittelu.fi
- /5/ Rakennustietosäätiö RTS sr ja Rakennustieto Oy. 2004. RT 82-10821 Betonielementtirunkorakenteet.
- /6/ Betonikeskus ry. 2011. Betonielementtien toleranssit.
- /7/ Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, Suomen Betoniyhdistys ry. 2011. RIL 202-2011/by61 Betonirakenteiden suunnitteluohje
- /8/ Betonteollisuus ry. 2012. Betoninormikortti 23: Liitosten mitoitus onnettomuuskuormille standardin SFS-EN-1991-1-7 Yleiset kuormat, onnettomuuskuormat mukaisesti.
- /9/ Betonikeskus ry. 2008. Suunnitteluohje: TT- ja HTT -laattojen liitosten mitoitus onnettomuuskuormille 1-kerroksisissa rakennuksissa.
- /10/ Suomen Betoniyhdistys ry. 2005. by210 Betonirakenteiden suunnittelu ja mitoitus.
- /11/ Tiehallinto. 2007. Betonirakenteiden liimausvahventamisohjeet
- /12/ Leskelä, Matti V. 2009. Kumilevy-laakerin mitoittaminen.