

Niko Pietilä

BETONISEN PARVEKELAATTAELE- MENTIN PUTKITUENNAN MITOITUS

Kandidaatintyö
Rakennetun ympäristön tiedekunta
Toukokuu 2021

TIIVISTELMÄ

Niko Pietilä: Betonisen parvekelaattaelementin putkituennan mitoitus
(Designing of supporting steel tubes for precast concrete balcony slabs)
Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Rakennustekniikan kandidaatin tutkinto-ohjelma
Toukokuu 2021

Betonisen parvekelaattaelementin tuentamenetelmien valinnalla ja mitoituksella on merkittävä vaikutus laatan rasiustasoon sekä muodonmuutoksiin. Tässä tutkimuksessa tarkastellaan teräksistä putkikannaketta, parvekeputkikannaketta, parvekelaatan runkoon sidonnan ja parvekkeen tuennan menetelmänä sekä perehdytään putkikannakkeen murtorajatilamitoittamiseen pielin ja pilarein tuetuilla parvekelaatoilla. Työn tavoitteena on luoda selkokieline ohje parvekeputkituennan mitoittamiseen sekä havainnollistaa tuennan mitoittamisessa huomioitavia merkittävimpiä näkökulmia.

Työssä käsitellään kirjallisuustutkimuksen menetelmin parvekelaattaa sekä tämän mahdollisia tuentatyyppjejä. Tutkimuksessa käytiin läpi parvekelaatan tuennan menetelmiä sekä pyrittiin keskittymään erityisesti parvekelaatan runkoon sidontaan. Parvekeputkikannatinta tutkittiin sekä geometrian ja lujuuden kannalta että suunnittelun ja asentamisen näkökulmasta.

Parvekeputkikannakkeen mitoittamista käsitellään työssä kolmen tutkimuskohteen avulla, mistä jokainen on rakenteeltaan toisistaan poikkeava osittain itsekantava parvekelaatta. Tapauksilla havainnollistetaan mitoittamisen kulkua sekä putken rasiustasoon vaikuttavia tekijöitä. Parvekeputkien mitoituksessa keskeisinä työvälineinä toimivat Dlubalin RFEM-ohjelmisto sekä teräsrakenteiden mitoittamisohjeet. Mitoittamisen käsittely voidaan jakaa rakennemallin muodostamiseen, parvekeputken rasiustusten määritykseen ja parvekeputken kestävyuden tarkasteluun. Rakennemallin muodostuksen huomattiin olevan haastava sekä osittain monimutkainen osa mitoitusta. Etenkin rakenteelliset valinnat tukien tyyppiin suhteen voivat aiheuttaa suuren vaikutuksen mitoituksen tuloksiin.

Tutkimustapaukset osoittavat lämpörasituksista johtuvien pakkovoimien merkityksen rakenteen rasiuksissa sekä kaavapohjaisen käsinlaskennan ja laskentaohjelman välisten laskentatulosten eroavaisuuden. Tutkimuksen perusteella pakkovoimat ovat pielillä kannatetun parvekelaatan parvekeputkia mitoittaessa olennaisessa asemassa ja voivat lisätä rakenteen käyttöastetta merkittävästi. Käsinlaskennan ja laskentaohjelmien välisten tulosten erot ovat tutkimuksen perusteella matalat, kun tutkittavana on yksinkertainen mitoitustilanne. Koska käsinlaskennassa käytettävät kaavat ovat osin yksinkertaistettuja varman puolen kaavoja, voidaan kuitenkin monimutkaisemmissa mitoitustilanteissa saada laskentaohjelmistoilla usein parempia tuloksia.

Avainsanat: parvekeputki, parvekelaatta, murtorajatilamitoitus

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. PARVEKELAATAN TOIMINTA	3
2.1 Stabiliteetti	3
2.2 Rasitukset	3
3. PARVEKKEIDEN TUENTA	5
3.1 Parveketyypit	5
3.2 Tuentatyytit	7
3.2.1 Rakennemallikohtaiset tuennat	7
3.2.2 Runkoon sidonta	8
4. PARVEKEPUTKI	9
4.1 Perustietoja	9
4.1.1 Liitoksen perusidea	9
4.1.2 Ominaisuudet ja geometria	9
4.1.3 Erot muihin sidontakeinoihin	10
4.2 Suunnittelussa erityistä huomioitavaa	11
4.3 Käyttötavat ja asennus	11
5. PUTKITUENNAN MITOITUS	13
5.1 Lähtökohdat mitoitukseen	13
5.2 Tutkittavat tapaukset	14
5.3 Rakennemalli	15
5.4 Laatan ja putken rasitukset	16
5.5 Parvekeputken murtorajatilamitoitus	17
5.5.1 Yleistä lujuuden laskennasta	17
5.5.2 Putken poikkileikkaustiedot	19
5.5.3 Leikkauskestävyys	21
5.5.4 Taivutusmomentin ja leikkausvoiman yhteisvaikutuksen kestävyys	22
5.5.5 Pistevoima kestävyys	23
5.5.6 Normaalivoiman, leikkausvoiman ja taivutusmomentin yhteisvaikutusten kestävyys	25
5.6 Laatan taipumat	26
6. TULOSTEN KÄSITTELY	28
6.1 Mitoituksen kulku	28
6.2 Tapauskohtaisten tulosten analysointi	30
7. YHTEENVETO	31
LÄHTEET	33
LIITE A: LASKELMA TAPAUKSESTA 4	34

LYHENTEET JA MERKINNÄT

Eurokoodi	suunnittelustandardit SFS-EN 1990 – SFS-EN 1999
Kapasiteetti	kappaleen suurin mahdollinen kyky kestää rasiusta
Parvekeputki	parvekkeen kannattimena käytettävä teräksinen putki, ei tule sekoittaa vedenpoistoputkeen
RFEM	Dlubalin julkaisema elementtimenetelmään perustuva rakenneanalyysiohjelma
A	poikkileikkauksen pinta-ala
A_v	poikkileikkauksen leikkauspinta-ala
E	kimmomoduuli
F_{Ed}	pistevoiman mitoitusarvo
$F_{lw,Rd}$	uuman pistekuormakestävyyden mitoitusarvo
$M_{c,Rd}$	poikkileikkauksen taivutuskestävyyden mitoitusarvo
M_{Ed}	taivutusmomentin mitoitusarvo
$M_{N,y,Rd}$	normaalivoiman pienentämän taivutuskestävyyden mitoitusarvo y-akselin suhteen
$M_{N,z,Rd}$	normaalivoiman pienentämän taivutuskestävyyden mitoitusarvo z-akselin suhteen
$M_{pl,Rd}$	plastisen taivutuskestävyyden mitoitusarvo
N_{Ed}	normaalivoiman mitoitusarvo
$N_{pl,Rd}$	plastisen normaalivoimakestävyyden mitoitusarvo
V_{Ed}	leikkausvoiman mitoitusarvo
$V_{pl,Rd}$	poikkileikkauksen plastinen leikkauskestävyys
W_{el}	elastinen taivutusvastus
W_{pl}	plastinen taivutusvastus
b	parvekeputken leveys
c	putken seinämätön leveys
f_y	myötölujuus
h	parvekeputken korkeus
n	normaalivoimakestävyyden käyttöaste
s_s	kuorman jakaantumispituus
t	seinämän paksuus
t_w	uuman paksuus
γ_{M0}	poikkileikkauksen kestävyden varmuuskerroin
γ_{M1}	sauvan nurjahduksen varmuuskerroin

1. JOHDANTO

Rakennesuunnittelun tärkeimpiä tavoitteita ovat rakenteiden riittävän kantavuuden ja säilyvyyden ohella taloudellinen tehokkuus. Rakennesuunnittelussa tätä tehokkuutta pyritään parantamaan hakemalla kustannusten kannalta optimaalisia rakenneratkaisuja muita tavoitteita sivuttamatta. Rakenteiden ylimitoituksella voi olla merkittävä vaikutus kustannusten kasvuun, minkä vuoksi rakenteet tulisi mitoittaa vallitsevia olosuhteita varten optimaalisiksi. Tässä tutkimuksessa pyritään muodostamaan selkeää ohjetta betonisissa parvekelaatoissa käytettyjen putkikannakkeiden mitoitukseen sekä tuomaan ilmi mitoituksen haasteita. Ohjeen tulisi mahdollistaa parvekeputkien tarkka mitoitus, mikä puolestaan mahdollistaa aiempaa taloudellisemman käytön putkilla.

Tämä tutkimus käsittelee betonisen parvekelaattaelementtien mitoitusta, keskittyen erityisesti betonisia parvekelaattoja tukevien parvekeputkiliitosten mitoitukseen osittain itsekantavilla parvekelaatoilla. Vaikkakin myös ulokkeellisilla laatoilla voidaan käyttää parvekeputkea tuennan menetelmänä, ei tähän paneuduta työssä. Työssä parvekeputkilla viitataan parvekelaattaelementin ja rakennuksen välipohjan välisiin teräspanputkiin, joilla pyritään luomaan tuentaa laatalle vähentäen laatan rasiustasoa sekä taipumia. Työn aiheen on antanut A-Insinöörit Oy ja tutkimuksen taustalla on aikaisemmin A-Insinööreillä tuotettu Siilasvuon (2020) opinnäytetyö, Betonisen parvekelaattaelementin suunnitteluperusteet. Siilasvuon työstä poiketen tämän työn tarkoituksena on perehtyä yksityiskohtaisesti parvekelaattojen parvekeputkikannatinten mitoitukseen, tuoden putkiliitosten mitoitukseen ja optimointiin helpotusta.

Työn tavoitteena on luoda ohjeistus betonisen parvekelaattaelementin parvekeputkiliitosten mitoitukseen: työstä ilmenee putkiliitoksen yleiset tiedot, parvekeputkikannakkeen mitoitukseen vaikuttavat seikat sekä muutaman perustapauksen mitoitusperusteet. Ohjeen käytön tulisi mahdollistaa jokapäiväisen suunnittelutyön nopeutus sekä antaa materiaalien käytöstä suuntaa antava tieto parvekeputkien tarpeista perustapauksilla. Työssä siis pyritään hakemaan vastauksia siihen, kuinka betonisten parvekelaattaelementtien parvekeputkiliitokset mitoitetaan. Koska betonisia parvekelaattaelementtejä sekä näiden tuentatapauksia löytyy erittäin laaja määrä, joudutaan ajan puitteissa putkien kokoja, laattojen malleja sekä tuentatapauksia rajaamaan työn suoritukseen.

Työssä tarkastellaan mitoitusta seuraavilla asuinkerrostalojen perusratkaisuilla betonisille parvekelaatoille:

- molemmin puolin pielituettu laatta
- toispuoleisesti pielituettu sekä pilarituettu laatta
- toispuoleisesti pielituettu sekä pilarituettu erityisleveä laatta.

Tutkimus aloitetaan perehtymällä yleisellä tasolla kirjallisuustutkimuksen menetelmin betoniin parvekelaattoihin, josta päästään parvekelaattojen ja rakennuksen välipohjan väliin liitostyyppeihin. Liitostyypeistä tarkennetaan tutkimus käsittelemään parvekeputki-tuentaa. Parvekeputkien mitoitusta käsitellään kolmen erillisen tutkimuskohteen avulla. Parvekeputkisisidonnän suunnittelua tutkiessa käytetään Dlubalin RFEM-ohjelmaa (versio 5.24) laatan rasitusten laskentaan sekä eurokoodia mukailevia suunnitteluohjeita putkien kestävyyksien tutkimukseen. Työn lopulla analysoidaan mitoituksen kulkua ja sen haasteita sekä pyritään tuomaan ilmi merkittävimpiä parvekeputkien mitoituksen tekijöitä.

2. PARVEKELAATAN TOIMINTA

2.1 Stabiliateetti

Asuinkerrostaloissa parvekelaattojen ideana on toimia lämpimään tilaan liitetyn kylmän käyttötilan, parvekkeen, alustana. Rakenteiden, kuten parvekelaatan, mitoitus perustuu aina rajatilamitoitukseen. Mitoituksella tulisi varmistaa rakenteen stabiliateetti sekä normaalin toiminnan häiriintymättömyys. Murtorajatilamitoituksessa laatalta huomioidaan ainakin taiputus, leikkaus sekä lävistys ja vastaavasti käyttörajatilassa taipuma sekä halkeamaleveys (BY 211 2014, s. 4). Laatan taipumalle ei eurokoodissa anneta suoraa ehdotonta ylärajaa, mutta suositeltavana rajana pitkäaikaiskuormilla voidaan pitää arvoa $L/250$, missä L on laatan jännemitta. Tyypillisenä asuinkerrostalon parvekelaatan halkeamaleveyden raja-arvona voidaan pitää 0,3 mm olettaen laatan kuuluvan rasitusluokkaan XC4. (BY 211 2013, s. 211, 225)

Betoniparvekelaatan stabiliateettia ja lujuutta pyritään yleisesti parantamaan laatan geometrialla, riittävällä tuennalla ja oikealla raudoituksella sekä betonilaadulla. Laatta on geometrialtaan tyypillisesti suorakaiteen muotoinen sekä vedenpoiston vuoksi pinnan muodoltaan hiukan ulospäin kallellaan. Yksinkertaisena raudoituksena voidaan usein käyttää vakioverkkoraudoitteita ylä- ja alapinnan raudoituksena sekä reunahakoja. Tuenta laatalle voidaan luoda pielten, pilarien, vetotankojen tai laatan runkoon sidonnan avulla. (Betoniteollisuus ry 2010, s. 9, 23, 16–19)

2.2 Rasitukset

Parvekkeen kuormituksissa tulisi huomioida rakenteen omapaino, vinous sekä sille kohdistuva hyötykuorma. Myös ulkoilman aiheuttamat kuormat, kuten tuulikuorma ja lumi-kuorma, tulee huomioida mitoituksessa. Etenkin kosteuteen ja lämpötilaerojen aiheuttamiin liikkeisiin tulee kiinnittää huomiota rakennemallin valinnassa. (Betoniteollisuus ry 2010, s. 13, 14)

Asuinkerrostalossa parvekelaatan tulisi olla rakenteeltaan sellainen, että se kestää rakenteiden omat painot sekä muuttuvat kuormat. Rakenteen omaan painoon sisältyvät laatan painon lisäksi parvekekaiteesta sekä muista parvekkeen tukemista rakenteista jakautuvat painot. Omia painoja laskettaessa raudoitettun betonin painona voidaan käyttää 25 kN/m^3 (Betoniteollisuus ry 2009, s. 2). Eurokoodin mukaisesti asuinrakennukset kuuluvat hyötykuormiltaan käyttöluokkaan A, mikä tarkoittaa, että parvekerakenteella

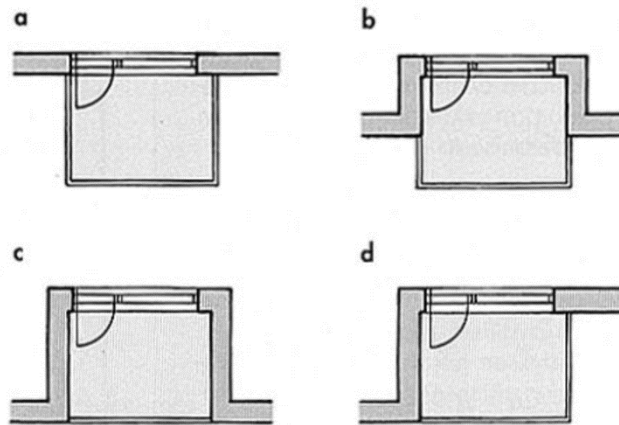
käytetään tasan jakautuneen hyötykuorman ominaisarvona $2,5 \text{ kN/m}^2$ ja pistekuorman ominaisarvona $2,0 \text{ kN}$. (RIL 201-1-2011, s. 67)

Oman painonsa sekä rakennuksen sisäisen hyötykuorman lisäksi on parvekkeen mitoituksessa huomioitava myös ulkoilman aiheuttamat rasiustekijät. Parvekkeiden mitoituksessa lumikuormat huomioidaan ylimmän parvekkeen katolla, jolloin muilla parvekelaatoilla voidaan jättää lumikuorma täysin huomiotta. Tuulikuormat sekä muut vaakakuormat siirretään parvekejärjestelmässä tyypillisesti parvekelaatan kautta rungolle. Myös ulkoilmasta aiheutuvilla lämpötila- ja kosteuskuormituksilla on usein merkittävä vaikutus laatan mitoitukseen näiden synnyttämien pakkovoimien vuoksi. Pakkovoimat ovat erityisesti osittain itsekantavien parvekejärjestelmien ongelmana ja tällaisissa järjestelmissä tulisikin kiinnittää erityistä huomiota rakennuksen lämpimän rungon sekä kylmien parvekeosien välisiin kiinnityksiin. (Betoniteollisuus ry 2010, s. 13)

3. PARVEKKEIDEN TUENTA

3.1 Parveketyypit

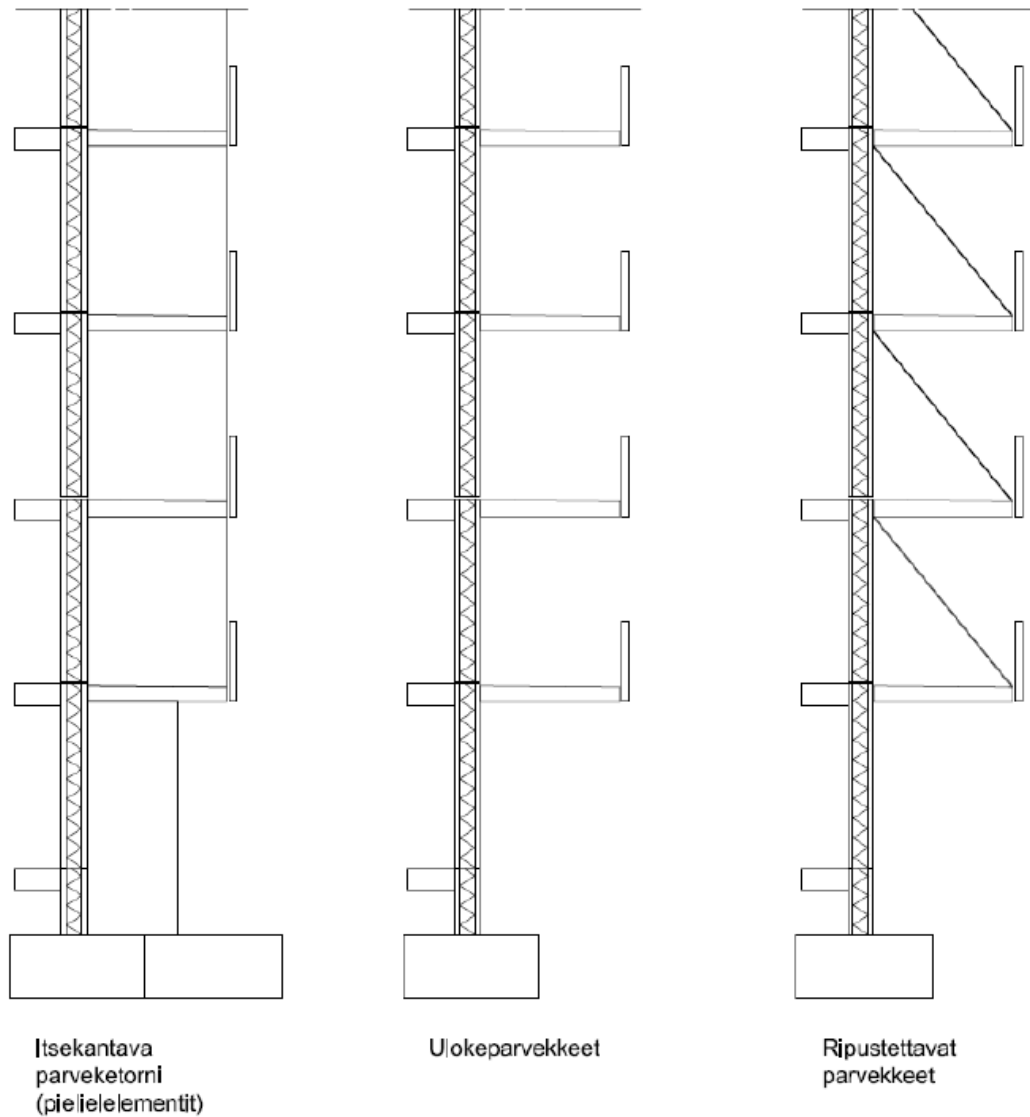
Parvekerakenteita voidaan ryhmitellä tyyppien mukaan kahdella tapaa, joko sijainnin tai rakennemallin mukaisesti (Betoniteollisuus ry 2010, s. 3). Ryhmiteltäessä parvekeratkaisuja sijainnin mukaan tutkitaan parvekkeen sijainnin suhdetta muuhun rakennukseen. Kuvassa 1 esitellään parvekkeen sijaintityyppejä.



Kuva 1. Parvekejärjestelmien sijaintityypin mukainen jaottelu (RT 86-10563 1995, s. 3)

Kuvan 1 järjestyksen mukaisesti lueteltuina parvekkeiden sijaintityypit ovat rungon ulkopuoleinen, osittain runkoon sisäänvedetty, runkoon sisäänvedetty sekä rungon sisäkulmaan sijoitettu (RT 86-10563 1995, s. 3). Lisäksi parvekkeita voidaan jakaa keskinäisen sijoittelun perusteella kytkettyihin, kaksois- ja erillisparvekkeisiin (Elementtisuunnittelu 2021).

Parvekkeen rakennemalleja ovat itsekantava parveketorni, ulokeparvekkeet sekä ripustettavat parvekkeet (Betoniteollisuus ry 2010, s. 3). Kuvassa 2 esitellään rakennemallien perusideoita.



Kuva 2. Parvekkeiden rakennemallit (Betoniteollisuus ry 2010, s. 3)

Itsekantava parveketorneja voidaan käyttää poikkeuksetta kaikissa runkojärjestelmissä, sillä näiden tuenta perustuu parveketta erikseen tukeviin pilareihin tai pieliseiniin. Sen sijaan ulokeparvekkeet vaativat aina kiinnityksen välipohjaan. Samantapaisesti, ripustettavat parvekkeet toimivat joko pieliseinien tai vetotankojen varassa eivätkä siis kannata itseään. Kuvassa 2 esitetyjen parvekemallien lisäksi parveke voi olla näiden mallien yhdistelmä, kuten osittain itsekantava ja osittain rungosta tuettu. (Betoniteollisuus ry 2010, s. 3)

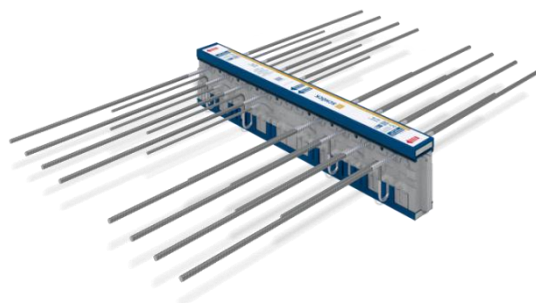
3.2 Tuentatyytit

3.2.1 Rakennemallikohtaiset tuennat

Itsekantavat parvekkeet voidaan tukea pilareilla tai pieliseinillä, mitkä ulottuvat omaan perustuksiinsa asti. Koska parvekkeet vaativat omista tuistaan huolimatta sidonnan rakennuksen runkoon, jäykistetään rakenne ankkuroimalla parveke sivusuunnassa. Itsekantavat parvekkeet ovat aina sijoitettava päällekkäin, ja pieliseinät mitoitetaan parvekkeiden koon ja lukumäärän mukaan. Parvekepilarit toimivat pääsääntöisesti yhden kerroksen korkuisina, jolloin parvekelaatta asennetaan pilarin päälle. (Betoniteollisuus ry 2010, s. 16). Itsekantavat parvekelaatat tuetaan siis useimmiten pilarin tai pielielementin päältä.

Ripustettavilla parvekkeilla viitataan vetotankojen tai kantavien pieliseinien avulla tuettavaan parveketyyppiin. Tuentatyyppin myötä lämpöliikkeiden aiheuttamilta rakenteellisilta pakkovoimilta vältytään ja parvekkeet voidaan asentaa yksittäisinä. Laattaa tukevat vetotangot kiinnitetään laatan sisäiseen teräsprofiiliin, jotka puolestaan tuetaan rakennuksen runkoon tai kantavaan ulkokuoreen. Vastaavalla tapaa sidontaa lisätään rakennuksen kantavalta osalta teräsprofiilien avulla laatan takareunukselle. (Betoniteollisuus ry 2010, s. 19)

Ulokeparvekkeet tuovat parveketyypeistä vapaimmat sijoittelumahdollisuudet, sillä ulokeparvekkeilla ei ole lainkaan tarvetta pystyrakenteille. Ulokeparvekkeiden tuenta muodostuu teräsprofiileilla tai erillisillä vakioituilla kannatusratkaisuilla. Suurien teräsosien käyttöä tulisi kuitenkin välttää näiden luomien kylmäsiltojen vuoksi. (Betoniteollisuus ry 2010, s. 19) Seuraavassa kuvassa esitellään Schöckin vakioitua Isokorb-betonielementtiparveketuenta.



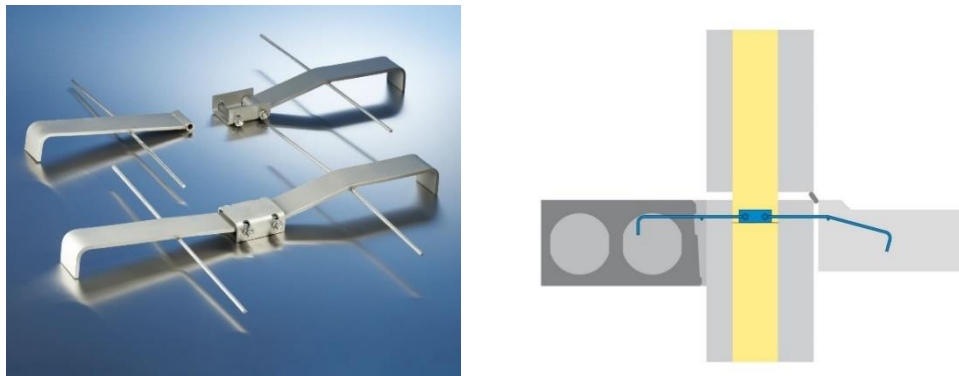
Kuva 3. Schöck Isokorb ulokeparveketuenta (Schöck 2021)

Ulokeparvekkeen kannatusteräkset mitoitetaan taivutukselle ja taipumalle. Etenkin suurien ulokeparvekkeiden taipuman mitoitus normaalia matalammaksi on suositeltavaa lasitettavilla parvekkeilla. (Betoniteollisuus ry 2010, s. 19)

Betoniteollisuus ry:n ohjeessa (2010, s. 16) mainitaan taloudellisesti onnistuneimman ratkaisun löytyvän usein kannatusvaihtoehtojen yhdistelmästä. Usein parvekkeet tuetaan juuri esimerkiksi toispuoleisesti pielellä ja pilarilla sekä kiinnitetään vahvasti runkoon parvekkeen takareunalta. Tällainen parvekemalli on osittain itsekantava ja osittain rungosta tuettu (Elementtisuunnittelu 2021).

3.2.2 Runkoon sidonta

Sitoessa parvekelaattaa runkoon kiinnitysosien valintaan vaikuttavat vaakavoimien suuruudet, pakkoliikkeet, elementti- ja sidekohtaiset asennustekniset piirteet sekä materiaalien kustannukset. Koska sidonta kulkee rakennuksen lämmöneristyksen läpi, kylmästä lämpimään, on kiinnitysosina käytettävä ruostumatonta terästä. Sivuttaisilta pakkovoimilta rakenteessa vältytään valitsemalla riittävä kiinnityskohtien väli. Etenkin kaksois- sekä kytketyillä parvekkeilla kiinnityskohtien paikkoihin on kiinnitettävä huomiota. Sidontaan käytettävänä osana voi toimia vakiotyyppinen osa tai erikoistapauksena suunniteltu kappale. Perinteisinä runkoon sidonnan keinoina toimivat parvekesaranat ja lattateräkset. (Betoniteollisuus ry 2010, s. 16) Edellisten lisäksi muitakin ratkaisuja sidonnalle kuitenkin löytyy, kuten parvekeputkiliitokset sekä muut vakioidut kannatinratkaisut. Seuraavassa kuvassa esitellään parvekesaranaratkaisua sidontakeinona.



Kuva 4. Parvekesaranaratkaisua sidontakeinona (Peikko 2021)

Kuvan 4 asennustyyppissä ilmenee saranan kiinnitys parvekelaatan ja välipohjan ontelo-laatan välillä. Saranan toinen puolisko asennetaan parvekelaatta-elementtiin elementtiä valmistaessa ja toinen juotetaan välipohjaan. Parvekelaatan asennuksen jälkeen osat liitetään yhteen. Saranasta muodostuu näin ollen nivelellinen liitos, joka voi siirtää vaakavoimia sallien kuitenkin pystysuunnan liikkeitä. (Betoniteollisuus ry 2010, s. 16, 17)

Lattateräkset muistuttavat toiminnaltaan hiukan parvekesaranaa, kuitenkin olennaisena erona on liitoksen luonne. Lattateräksen muodostama liitos on jäykkä ja tukee laattaa kaikissa suunnissa (Betoniteollisuus ry 2010, s. 17).

4. PARVEKEPUTKI

4.1 Perustietoja

4.1.1 Liitoksen perusidea

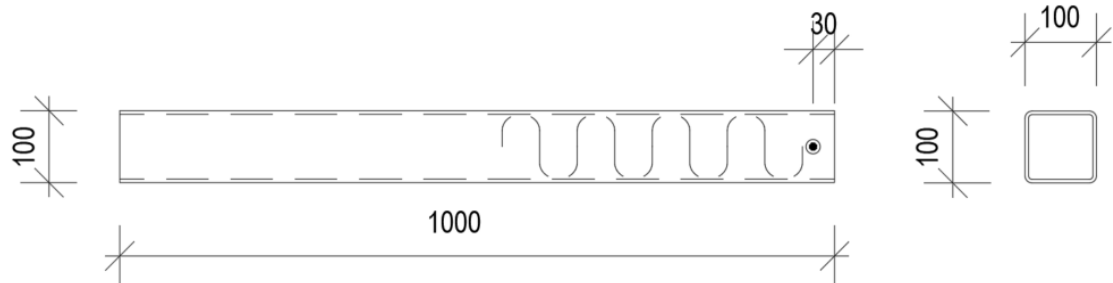
Parvekeputkiliitoksen perusideana on sitoa parvekelaatta rakennuksen runkoon ja samanaikaisesti kannatella laattaa kuten pilari- tai piellelementit. Sidontaa voidaan käyttää osittain itsekantavilla laatoilla, jolloin putkien ohella tukina toimivat joko pilarit tai pielet. Putkea voidaan käyttää esimerkiksi laatoilla, jotka eivät ole toiselta puoleltaan täysin tuettuja. Tapauksessa, jossa laattaa tukee toispuoleisesti pilari sekä parvekeputki voidaan tuentaa pitää rakennemalliltaan pieltä vastaavana. (Muukkonen 2020, s. 49) Myös ulokeparvekkeilla parvekeputkituennan käyttö on mahdollista, vaikkakin vähäisempää. Tässä työssä ei putkituennan vähäisen käytön vuoksi perehdytä ulokeparvekkeisiin.

Putki asennetaan tyypillisesti välipohjan ja parvekelaattaelementin välille, ulkoseinän lävitse (A-Insinöörit Suunnittelu Oy 2021). Putken muodostaman pystytuennan avulla pyritään näin ollen vähentämään laattaa sekä muihin tukiin kohdistuvia rasituksia. Laatan rasitusten laskulla on vaikutus sekä laatan murtorajatilaa että käyttörajatilan mitoituksiin, mahdollistaen suurempien parvekelaattojen mitoituksen vähäisemmällä tarpeella laatan lujuudelle ja muille ulkoisille tuille.

4.1.2 Ominaisuudet ja geometria

Jotta putkella on riittävä kapasiteetti toimia laatan tukena, tulee tämän olla riittävän kestävä. Kosken (2020, s. 18) mukaan parvekeputken kapasiteetti pyritään varmistamaan käyttämällä putkena korkealujuusterästä. Putken kapasiteetin kannalta myös putken geometrialla, eli putken koolla, pituudella sekä poikkileikkaustyypillä, on merkittävä vaikutus. Koska suurempi putki takaa suuremman kestävyuden kapasiteetin on liitokseen usein hyödyllistä valita käyttötärpeen mukaan mahdollisimman suuri putki. Putken kokoa kuitenkin rajoittavat laatan paksuus sekä laatan sisäisten raudoitusten ja suojarahkusten tarve. Betoniteollisuus ry:n (2010, s. 20) ohjeen mukaisesti parvekelaattojen paksuudet ovat yleisesti 200–300 mm, joten putken paksuuden on oltava tätä huomattavasti matalampi. Putken pituus parvekelaatan sisällä määräytyy suunnitteluvaiheessa putkelta vaadittavan tuennan perusteella. Kokonaispituudessa on kuitenkin huomioitava myös

putken riittävään tuentaan vaadittava pituus välipohjan sisällä. Tyypillisesti putken poikkileikkauksena käytetään neliöpoikkileikkauksellista putkea, jonka reunapaksuus voi vaihdella tarpeen mukaan (Koski 2020, s. 18). Kuvassa 5 on esiteltyä tyypillinen parvekeputkimalli.



Kuva 5. Tyypillinen 100x100mm neliöpoikkileikkauksellinen parvekeputkikannatin

Teräksisen putken käytössä lämpimän ja kylmän tilan välillä on huomioitava lämpöerosta aiheutuvat vaikutukset. Jotta korroosiolta voidaan rakenteessa välttyä, tulee lämmöneristeen läpäisevien kiinnitysosien olla ruostumatonta terästä (Betoniteollisuus ry 2010, s. 16). Tämä pätee myös parvekeputken kohdalla. Kylmäsillan vaikutuksia pyritään parvekeputkilla minimoimaan sijoittamalla onton putken sisälle lämmöneristettä, kuten kuvassa 5 havainnollistuu. Eriste asetetaan pääasiassa seinän läpäisevälle alueelle, joka erottaa lämpimän ja kylmän tilan.

4.1.3 Erot muihin sidontakeinoihin

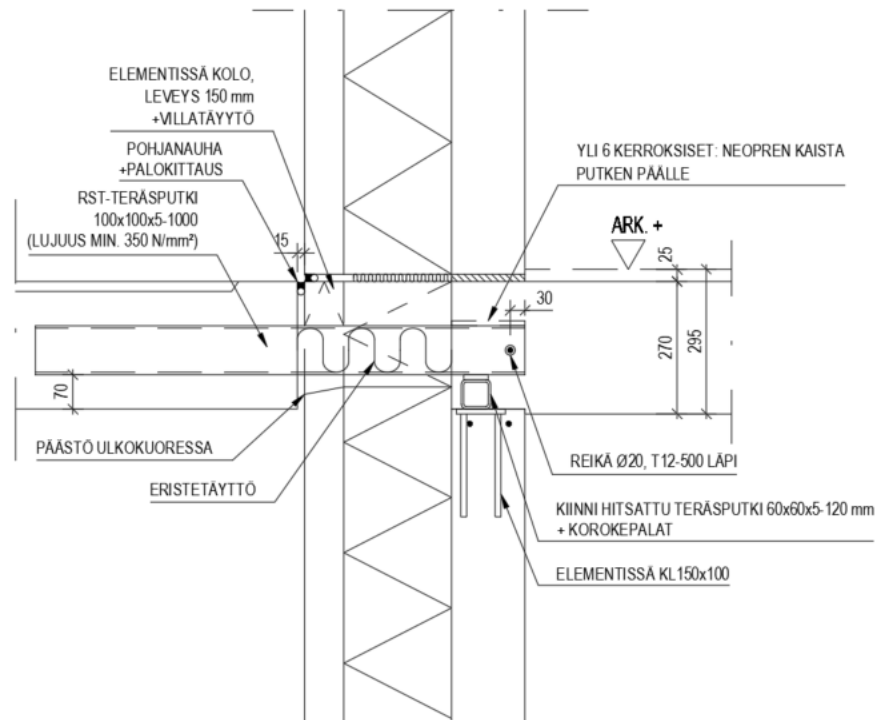
Olenlaisin ero parvekeputkimenetelmässä useisiin muihin vastaaviin sidonnan keinoihin verrattuna on parvekeputken jäykkyys. Jäykkyys mahdollistaa pystysuunnan tuennan parvekelaatalle, mutta tuo mukanaan pakkovoimien vaikutukset. Suuremman tuennan vuoksi parvekeputkea voidaan käyttää esimerkiksi pilarin tukemalla reunalla muodostaen pieltä vastaavan tuennan reunalle. Vastaava tuenta ei ole mahdollinen nivelellisillä tuilla, kuten parvekesaranalla, sillä sarana ei kuljeta pystysuuntaisia voimia (Betoniteollisuus ry 2010, s. 16). Toisaalta esimerkiksi lattateräs muodostaa jäykän liitoksen laatalle, johon eroavaisuutena parvekeputkella on kuitenkin kapasiteetin suuruus. Ulokeparvekkeiden kohdalla vertaillen parvekeputkea laajempaan tuentaan, kuten Shöckin Isokorb-malliin (Schöck 2021), on erona lähinnä tuennan julkisivun suuntainen leveys sekä laatan sisäisen tilan käyttö.

4.2 Suunnittelussa erityistä huomioitavaa

Parvekeputken mitoituksessa tulee erityistä huomiota kiinnittää putken ja laatan tuentatyyppeihin, tuentatyypeistä mahdollisesti seuraaviin pakkovoimiin sekä putken laadullisiin ominaisuuksiin. Putken liitos rakennuksen runkoon voidaan rakenneteknisesti kuvata lähes nivelellisenä liitoksena. Parveke-elementin puolella liitos on edellistä merkittävästi jäykempi. Liitostyyppien myötä putki toimii sekä vaaka- että pystysuunnan voimia siirtävänä kiinnikkeenä. Betonielementtioppaan mukaisesti liitostyyppin ja parvekkeen lämpötilan vaihtelun seurauksena on pakkovoimiin kiinnitettävä huomiota. Sivuttaissuunnalta pakkovoimilta voidaan välttyä käyttämällä kiinnitysosien välillä riittävää etäisyyttä, joka tavallisissa tapauksissa on vähemmän kuin 3 m. (Betoniteollisuus ry 2010, s. 16) Laadullisilta ominaisuuksiltaan parvekeputkessa erityistä on teräksen laatu. Koska tuentana on käytettävä ruostumatonta terästä, tulee muutokset putken poikkileikkausluokkaan sekä osavarmuuslukuun huomioida (Teräsrakenneyhdistys 2017, s. 47).

4.3 Käyttötavat ja asennus

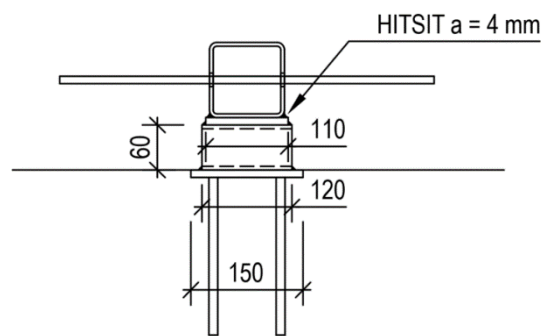
Parvekeputkiliitosta voidaan käyttää osittain itsekantavilla parvekelaatoilla pilarien tai piilien ohella rakenteen tukena. Putkia voidaan käyttää tarpeen mukaan useampia yksittäisen laatan tuennassa. Kuvassa 6 esitellään parvekeputken runkoon kiinnitystä betonisandwich rakenteella.



Kuva 6. Parvekeputken kiinnitys runkoon (A-Insinöörit Suunnittelu Oy 2021)

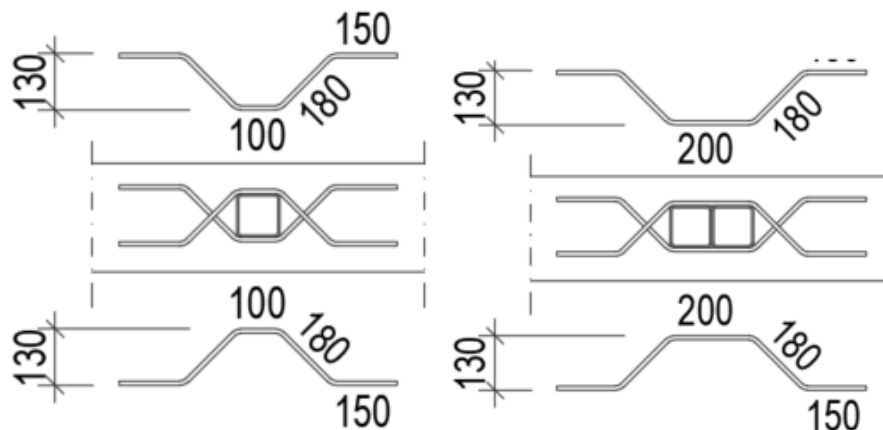
Putken asentaminen hoidetaan osin elementtitehtaalla ja osin työmaalla. Parvekeputki-tuennallista elementtiä valmistessa putki valetaan elementtiin kiinni. Työmaalle saapu-essaan putken vapaana oleva pääty sijoitetaan julkisivun varaukseen, jonka jälkeen put- kessa olevan reiän läpi kiinnitetään kierretanko ja mutterit. Kun putki on paikallaan ja elementti riittävästi tuettuna, voidaan putki valaa kiinni rakennuksen runkoon. (Koski 2020, s. 19)

Kuvan 6 tapauksessa voidaan huomata putken vaativan erillisen tuennan julkisivuele- mentiltä. Kyseisessä tapauksessa käytetty 350Mpa lujuusluokan ruostumaton 100x100x5 putki on tyypillinen parvekeputkityyppi. Kuvan 7 detaljissa havainnollistetaan julkisivuelementin tuentaa.



Kuva 7. Parvekeputken liitos rakennuksen runkoon (A-Insinöörit Suunnittelu Oy 2021)

Putken sidonta betoniseen parvekelaattaelementtiin tapahtuu betoniterästen avulla. Yksittäisen putken kapasiteetin ollessa riittämätön, on myös ns. tuplaputken käyttö mahdollista. Putket sijoitetaan tällöin vieretysten ja sidotaan laattaan vastaavasti kuin yhtä putkea sitoessa. Kuvssa 8 esitellään yksittäisen sekä vierekkäisten putkien sidontatapoja.



Kuva 8. Yksittäisen putken sidonta (vasemmalla) sekä tuplaputkien sidonta (oike- alla) (A-Insinöörit Suunnittelu Oy 2021)

5. PUTKITUENNAN MITOITUS

5.1 Lähtökohdat mitoitukseen

Seuraavissa kappaleissa käsitellään parvekeputkien mitoitusta asuinkerrostalossa neljän mitoittettavan tapauksen avulla. Mitoituksen ja tämän tulosten pohjalta pyritään tulosten käsittely kappaleessa määrittämään oleellisia näkökulmia putken mitoittamisesta. Tutkimustapauksina käytetään kolmea erilaista osittain itsekantavaa parveketyyppiä, joissa parvekelaatan tukina toimivat pielituet, pilarit sekä parvekeputket. Tapauksissa putkilla pyritään tukemaana laattaa, lievittämään laatan taipumaa sekä vähentämään muiden tukien kokema rasiitusta.

Mitoituksessa keskitytään parvekeputkiliitoksen laatalle muodostaman tuennan onnistumiseen. Pyrkimyksenä on tutkia, kestävätkö alustavasti valitut putket tuennasta syntyviä kuormia, ja tarpeen tullen valita vastaava tuenta, jossa liitos kestää. Tutkimus ei suoranaisesti ota kantaa laatan kestävyteen tai tälle syntyviin taipumiin, vaan pitäytyy parvekeputkien tarkasteluissa. Laattaa pyritään kuitenkin tarkastelemaan karkeasti taipumien kannalta, jolloin ilmenee tuennan vaikutus käyttörajatilamitoitukseen.

Jotta putkisidonnan merkitystä saataisiin helposti ja selkeästi korostettua, käytetään tutkimustapauksissa seuraavia oletuksia sekä yksinkertaistuksia:

- Parvekelaatan raudoitus korvataan rakennemallissa betonin kimmomoduulin muutoksilla.
- Pilarilla tuetuissa tapauksissa lämpötilamuutosten aiheuttamat pakkovoimat oletetaan mataliksi.
- Laatan paksuutena käytetään laatan keskimääräistä paksuutta laatan vinouden huomioinnin sijasta.

Tapauksissa käytetään parvekelaatalle sekä parvekeputkelle tyypillisiä ominaisuuksia sekä ominaisarvoja. Laattana toimii C35/45 luokan betonista valmistettu 260 mm tasa-paksu laatta. Parvekeputkina käytetään Stala 350- luokan ruostumatonta 1.4301- luokan austeniittistä putkiterästä (Stalatable 2021). Putkien profiileina ovat 100x100x5 mm ne-liöprofiilit ja putket ovat pituudeltaan 1 m. Rasituksina laatalle huomioidaan omapainot, kaidepainot sekä käyttäjältä syntyvä hyötykuorma. Tapauksessa neljä tutkitaan myös lämpötilakuormien vaikutusta.

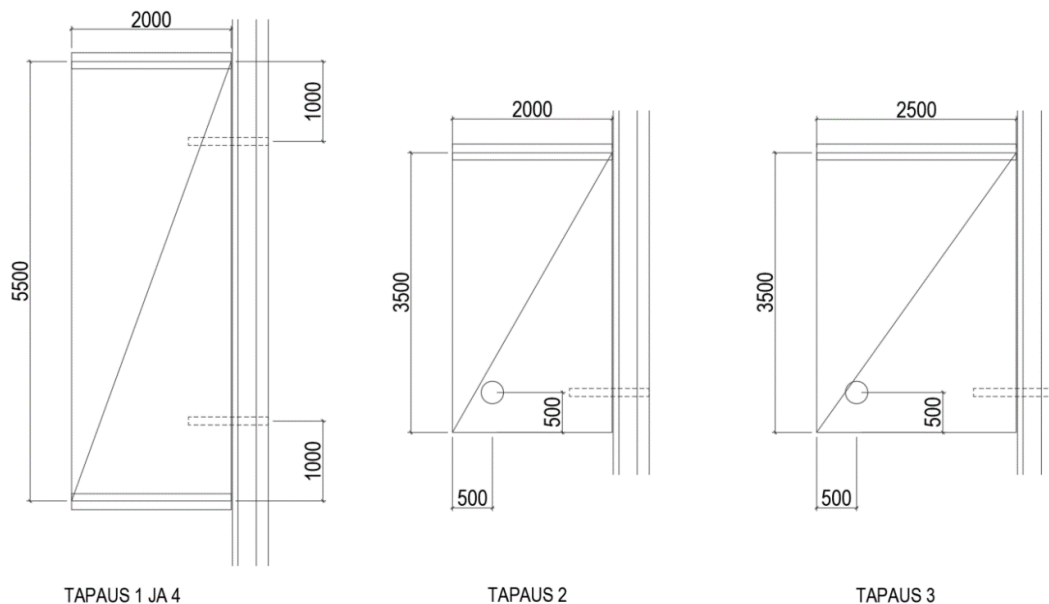
5.2 Tutkittavat tapaukset

Tutkimuksessa perehdytään neljään erilaiseen mitoitus tapaukseen. Kaksi tapausta käsittelee molemmin puoleisesti pielituetta laattaa, ja toiset kaksi pielellä sekä pilarilla tuettuja laattoja. Seuraavaksi esitellyissä tapauksissa vain tapauksessa neljä huomioidaan ulkoisen lämpötilarasituksen vaikutus.

Ensimmäisessä tutkimustapauksessa laattaa tukee kahdelta suunnalta pielituennat. Laatta on rakennuksen julkisivun suunnassa leveä, jonka vuoksi parvekeputkilla pyritään ensisijaisesti vähentämään laatalle syntyvää taipumaa. Laatan pituus on 5500 mm ja leveys 2000 mm.

Toisessa ja kolmannessa tapauksessa tuentana toimivat pieli sekä pilari. Tapauksessa kaksi laatan pituus on 3500 mm ja leveys 2000 mm. Kolmas tapaus eroaa toisesta tapauksesta vain laatan leveydessä. Laattana käytetään tässä tapauksessa erityisleveää 2500 mm laattaa. Parvekeputket pyritään tapauksissa asettamaan pilarin linjalle muodostamaan tuentalinja laatalle.

Viimeisessä, tapauksessa käytetään samaa laattatyyppiä kuin tapauksessa 1. Tapauksessa kuitenkin toimii mukana myös ulkoinen lämpötilarasitus. Tapaus neljä toimii erillisenä tapauksena havainnollistamaan pielituennan jäykkyydestä ja lämpötilarasituksista aiheutuvien pakkovoimien vaikutusta. Tapauksissa kaksi ja kolme pakkovoimien merkitys oletetaan pieneksi laatan pilarillisen tuennan vuoksi.



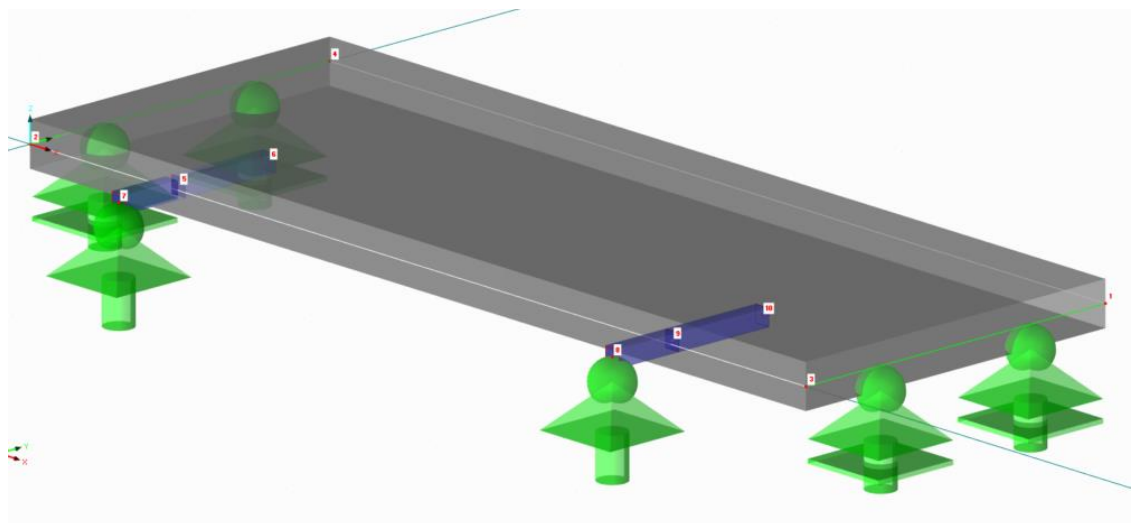
Kuva 9. Mitoitettavat parveketyypit

Kuvassa 9 esitellään edellä kuvailtuja parvekelaattatyyppiä. Kuvien parvekeputket ovat alustavasti sijoiteltuja ja näitä voidaan muokata mitoituksen edetessä. Putket ovat 1 m pituisia ja ne sijoitellaan siten, että parvekelaattaa tukevan osuuden pituus on 600 mm.

5.3 Rakennemalli

Rakennemallin ja parvekkeiden rasituksen määrittämisessä käytetään elementtimenetelmään pohjautuvaa Dlubalin kehittämää RFEM-ohjelmaa (versio 5.24). Ohjelmalla mallinnetaan edellä esitetyt rakenteet erillisinä tapauksina ja lasketaan näille normien mukaisesti määritellyillä ulkoisilla kuormilla rakenteiden sisäiset rasitukset sekä taipumat.

Rakennemallissa tuennat voidaan mallintaa jäykkänä, osittain jäykkänä tai täysin nivelellisinä. Pilarituennan tyyppiä valitaan pistemäinen niveltuki ja pieliuennalle viivamainen niveltuki. Parvekeputken kiinnitystä voidaan mallissa havainnollistaa parvekelaatan sisällä jäykkänä liitoksena ja välipohjassa kaikkiin suuntiin tukevana niveltuentana. Kuvan 10 mallista ilmenee rakenteen mallinnuksen tyyppi.



Kuva 10. Rakennemalli ensimmäisestä tapauksesta RFEM-ympäristössä

Mallin laskennallisen puolen toteuman vuoksi on laatalle sekä putkille asetettava lisäksi elementtimenetelmän mukainen elementtiverkko. Elementtiverkon silmuksena käytetään laatalle pääsääntöisesti 100 mm sivumittalista neliöverkkoa. Verkkoa muodostetaan tiheämmäksi putken lähelle sekä itse putkeen, jotta putken rasitusten laskuihin saadaan suurin mahdollinen laskentatarkkuus.

Koska laatan sisäisten raudoitusten mallintaminen on työläs prosessi, eikä varsinaisesti koske itse parvekeputkien mitoitus tässä yhteydessä, voidaan raudoitukset karkeasti huomioida laatan kimmokertoimen muutoksella. Kimmokertoimen muutoksella huomioidaan lisäksi laatan halkeilun sekä viruman vaikutuksia betonisen laatan käytöksessä. Kimmokertoimen laatan betonilla käytetään alennettua arvoa 15 000 MPa. Normaalissa tilanteessa kyseiselle betonille käytettävä arvo olisi 34 000 MPa (SFS-EN 1992-1-1 2015, s. 30). Rakennemalli ei kimmokertoimen muutosten myötä kuvaa täydellisesti todellista tilannetta, mutta laskelmia varten toimii käypänä.

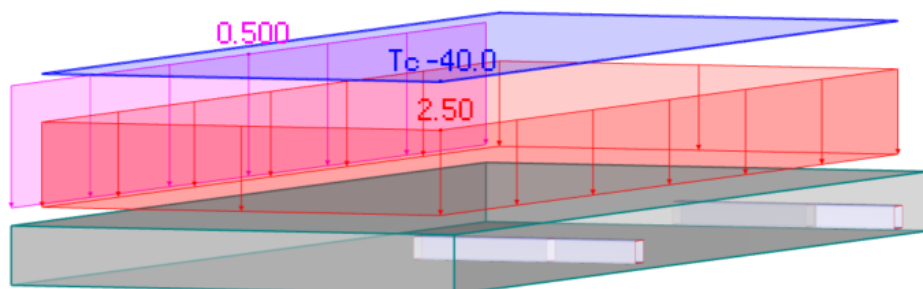
5.4 Laatan ja putken rasitukset

Laatan rasitusten tutkimista varten määritellään ensin laatan kuormat sekä eurokoodin mukaiset varmuudet kuormille. Kuormista muodostetaan kuormitusyhdistelmät, joista päästään lopullisiin rakenteen rasituksiin.

Parvekelaatalle kohdistuu pystysuuntaisia rasituksia laatan omasta painosta, kaiteen painosta sekä hyötykuormasta. Betonin painona voidaan käyttää raudoitettua betonin ohjeellista painoa 25kN/m^3 (Betoniteollisuus ry 2009, s. 2). Kaiteen painoksi voidaan tässä tapauksessa arvioida $0,5\text{kN/m}$, kun oletetaan kyseessä olevan lasitettu parveke. Kaidepaino kohdistuu laatalle vain vapaille reunoille. Käyttäjän hyötykuormana voidaan asuinrakennuksen parvekelaatalla pitää $2,5\text{kN/m}^2$ (RIL 201-1-2011, s. 67). Neljännessä tutkimustapauksessa huomiotava lämpörasitus mallinnetaan laatalle tasaisena -40 °C lämpötilan muutoksena.

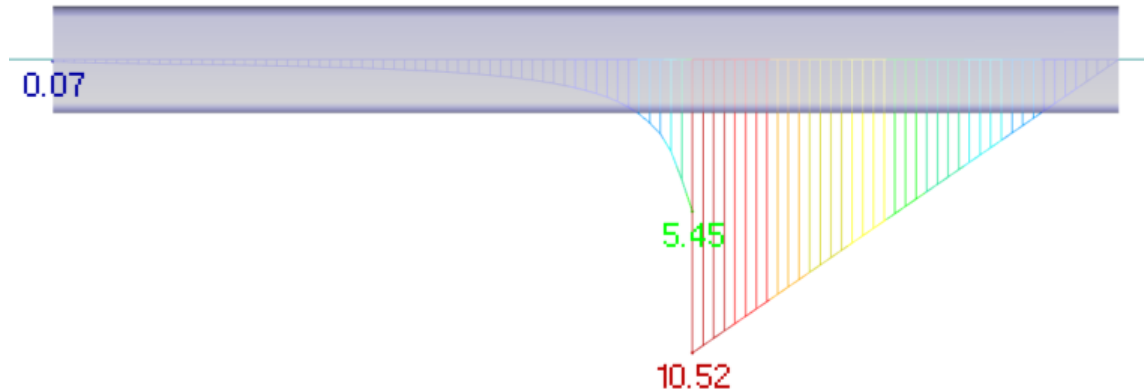
Kuormitusyhdistelmät muodostetaan eurokoodien mukaisesti, jolloin kullekin voimalle löytyy vaadittu varmuuskerroin. Tapauksissa 1, 2 ja 3 rasitukset muodostuvat ainoastaan rakenteiden omista painoista, sekä ulkoisesta hyötykuormasta. Tapauksissa on tällöin tarpeellista tutkia vain 2 kuormitusyhdistelmää. RIL:n ohjeen (RIL 201-1-2011, s. 38) mukaisesti ensimmäiseen yhdistelmään huomioidaan vain rakenteen omat painot, jolloin kuormien varmuuskertoimena käytetään arvoa 1,35. Toisessa kuormitusyhdistelmässä kuormituksena huomioidaan myös rakenteen hyötykuorma, jolloin omapainon varmuuskertoimeksi valitaan 1,15 ja hyötykuormalle 1,5. Tapauksissa rakenteen seuraamusluokan muodostamana kuormakertoimena käytetään arvoa 1,0.

Neljännessä tapauksessa kuormituksena on aiempien lisäksi lämpötilakuorma. Kuorman myötä kuormitusyhdistelmiä voidaan muodostaa useampia, joissa pyritään huomioimaan lämpökuorman vaikutuksia yhdistelykertoimien avulla. Yhdistelykertoimena lämpökuormalla toimii 0,6 ja vastaavasti asuintilan hyötykuormalla 0,7 (RIL 201-1-2011, s. 36, 38). Kuvassa 11 esitellään ulkoisia kuormia rakennemalliin asetettuna. Kuvassa lämpötilakuormitus T_c on celsiuksina ja hyötykuorma sekä kaiteen paino yksikössä kN.



Kuva 11. Tapauksen 4 kuormat ilman laatan omaa painoa ja osavarmuuksia.

Rakenteen sisäiset rasitukset voidaan mallintaa RFEM-ohjelmalla, jolloin edellä mainittujen kuormitusyhdistelmien avulla voidaan laskea parvekeputkelle kohdistuvat taivutusmomentit, leikkausvoimat ja normaalivoimat sekä välipohjan puolella tuen muodostama pistevoima. Putkien mitoituksessa käytetään suurimpien sisäisten voimien arvoja, jotta koko rakenne voidaan mitoittaa yhdellä kertaa. Kuvassa 12 esitellään rakenneputken sisäisen taivutusmomentin tulkintaa, kun parvekelaatta on kuvassa vasemmalla. Kuvan lukuarvot edustavat taivutusmomenttia yksikössä kNm.



Kuva 12. Parvekeputken sisäinen taivutusmomentti tapauksessa 1

Edellä esitellyn tapauksen tavoin rakenneanalyysin perusteella mitoittavat voimat löytyvät jokaisessa tapauksessa parvekelaatan ja putken yhdistymiskohdasta. Mitoitusosiossa tarkastellaan putkien kestävyyksissä vain kyseistä kohtaa sekä putken välipohjan puolen tuennan sijaintia, jossa vaikuttaa pistevoima.

5.5 Parvekeputken murtorajatilamitoitus

5.5.1 Yleistä lujuuden laskennasta

Parvekeputken kestävyys voidaan määritellä eurokoodin mukaisia ohjeita noudattaen laskentakaavojen tai laskentaohjelmien avulla. Erityistä huomioita laskennassa tulee kiinnittää ruostumattoman teräksen käytön aiheuttamiin laskennallisiin muutoksiin perinteiseen teräkseen verrattuna.

Seuraavaksi käydään läpi parvekeputken lujuuden määrittämistä kaavapohjaisesti laskien. Tapauksissa 1, 2 ja 3 putkelta tarkistellaan taivutuskestävyyttä, leikkauskestävyyttä sekä taivutuksen ja leikkauksen yhteisvaikutuksen kestävyyttä. Tapauksessa 4 huomioidaan

lisäksi normaalivoima sekä tämän ja edellä esitettyjen voimien yhteisvaikutukset. Olennaista tapauksessa 4 on myös kuormitusten kaksiaksisuus. Myös tukivoiman aiheuttamaa pistevoimakestävyyttä tulee tutkia jokaisen tapauksen kohdalla. Putken poikkileikkauksen muodon ja tuentatapojen vuoksi, on laskennassa olennaista tietää, ettei putken tapauksessa ole tarvetta huomioida nurjahdusta tai kiepahdusta (SSAB Europe Oy 2017, s. 90). Putkien tarkasteluissa keskitytään näiden rasitetuimpiin poikkileikkauksiin, jotka tapauksissa sijaitsevat parvekeputken ja parvekelaatan välisessä liitoskohdassa, lähes putken keskellä. Poikkeuksena edelliseen toimii pistemäiselle voimalle mitoitus, jota tarkastellessa keskitytään putken ja välipohjan välisen kiinnityksen sijaintiin. Mitoitus esitellään kaavoiltaan sekä perusidealtaan seuraavissa kappaleissa, ja lisäksi neljännen mitoitettavan tapauksen laskelmat ovat löydettävissä liitteestä A.

Seuraavaksi esiteltävä lujuuden määrittäminen perustuu osavarmuuslukujen ja poikkileikkausluokan kohdalla Ruostumattomien terästen käyttö kantavissa rakenteissa -käsikirjaan (Teräsrakenneyhdistys 2017). Putken varsinaisten lujuuksien määrittämisessä seurataan myös SSAB Domex Tube Rakenneputket (SSAB Europe Oy 2016) -käsikirjan ohjeita. Edellä mainitut ohjekirjat mukailevat eurokoodien mukaista mitoitustapaa.

Putken lujuuden laskentaa varten tulee käytettäviltä putkilta tietää tarkat poikkileikkausmitat sekä käytetyn materiaalin ominaisuudet. Tapauksissa käytetyn neliöpoikkileikkauksellisen teräksen poikkileikkauksen mitat ovat 100x100x5 mm, jossa kulmien ulkoinen kaarevuussäde r on 10 mm. Putken vetolujuus f_y on 350 MPa. Tapauksessa käytetyllä austeniittisellä ruostumattomalla teräksellä kimmomodulin E arvona voidaan pitää 200 000 MPa (Teräsrakenneyhdistys 2017, s.19).

Putken lujuutta määrittäessä tulee eurokoodien mukaisesti käyttää varmuuskertoimia lujuuksille. Ruostumattoman teräksen murtorajatilamitoituksen osavarmuusluvut esitellään taulukossa 1.

Taulukko 1. Ruostumattoman teräksen osavarmuusluvut (Teräsrakenneyhdistys 2017, s. 47)

Kestävyys:	Merkintä	Lukuarvo (EN 1993-1-4) ^{2) 3) 4)}
Poikkileikkaus (kaikille poikkileikkausluokille)	γ_{M0}	1,10
Sauvojen nurjahdus	γ_{M1}	1,10
Poikkileikkauksen murtuminen vetokuormalla	γ_{M2}	1,25
Ruuvikiinnitykset, hitsit, niveltapit ja levyt reunapuristuksella	γ_{M2}	1,25

5.5.2 Putken poikkileikkaustiedot

Putken kestävyuden laskentaa varten tulee tuntea käytetyn putken poikkileikkausluokka sekä poikkileikkauksen muodosta johdettavat taivutusvastukset. Poikkileikkausluokilla pyritään havaitsemaan, miten kappaleeseen vaikuttava paikallinen lommahdus heikentää kappaleen lujuusominaisuuksia. Yksittäinen kappale voi osiensa perusteella kuulua useampaan luokkaan, vaikkakin kappale kokonaisuudessaan kuuluu tällöin heikoimman osan luokituksen mukaiseen poikkileikkausluokkaan. (SSAB Europe Oy 2016, s. 53)

Kappaleen poikkileikkausluokka määritetään taso-osien kohdalla osan rasituksen, pituuden sekä paksuuden perusteella. Taso-osille on määriteltynä suurimmat leveys-paksuussuhteet sekä rajahoikkeudet. Neliöpoikkileikkauksellisen rakenneputken tapauksessa taso-osat ovat kukin molemmilta reunoilta uumiin tai laippoihin tuettuja, jolloin leveys-paksuussuhteen raja-arvona toimii

$$\frac{b}{t} \leq 400, \quad (1)$$

jossa b on tason pituus ja t tason paksuus. (Teräsrakenneyhdistys 2017, s. 49) Kyseeseen suhteeseen päästään selvästi käytetyllä putkella.

Rajahoikkeuden tarkistamista varten tulee varmistaa putken puristetun laipan, taivutetun uuman sekä erikoistapauksessa myös puristetun ja taivutetun uuman ja laipan hoikkeussuhteet. Kullekin poikkileikkausluokalle löytyvät omat ehtonsa poikkileikkausosien kohdalla (Teräsrakenneyhdistys 2017, s. 50). Tarkistellaan ensin vaativimpaan luokkaan, poikkileikkausluokkaan 1, sopivuus putkella. Jotta taso-osa kuuluisi poikkileikkausluokkaan 1, tulee tämän täyttää taulukossa 2 esitellyt ehdot.

Taulukko 2. Poikkileikkausluokitukset (Teräsrakenneyhdistys 2017, s. 50)

Kahdelta reunalta tuetut taso-osat			
<p>The diagram illustrates three types of cross-sections: an I-beam, a channel section, and a rectangular tube. For each, the width of the flange is denoted as 't' and the distance from the neutral axis to the outer edge as 'c'. The total height of the I-beam is 'h'. To the right, two stress distribution graphs are shown. The 'Elastic' graph shows a linear stress distribution from $-\psi f_y$ to $+f_y$ over a height of 'c'. The 'Plastic' graph shows a rectangular stress distribution with a maximum value of $+f_y$ over a height of αc and a minimum value of $-f_y$ over a height of 'c'. The 'Axis of bending' is indicated for the cross-sections.</p>			
Poikkileikkausluokka	Taivutuksen rasittamat osat	Puristetut osat	Taivutuksen ja puristuksen rasittamat osat
1	$c/t \leq 72,0\epsilon$	$c/t \leq 33,0\epsilon$	Kun $\alpha > 0,5$: $c/t \leq 396,0\epsilon/(13\alpha - 1)$ Kun $\alpha \leq 0,5$: $c/t \leq 36,0\epsilon/\alpha$
2	$c/t \leq 76,0\epsilon$	$c/t \leq 35,0\epsilon$	Kun $\alpha > 0,5$: $c/t \leq 420,0\epsilon/(13\alpha - 1)$ Kun $\alpha \leq 0,5$: $c/t \leq 38,0\epsilon/\alpha$
3	$c/t \leq 90,0\epsilon$	$c/t \leq 37,0\epsilon$	$c/t \leq 18,5\epsilon\sqrt{k_\sigma}$ k_σ katso 5.4.1

Taulukossa 2, c viittaa taso-osan sisäpuolen pituuteen, josta on poistettu kulmien pyöristyssäteet ja t taso-osan paksuuteen. Vertailuarvo ϵ saadaan kaavalla

$$\epsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y} \frac{E}{210\,000}}, \quad (2)$$

missä E on teräksen kimmomoduuli ja f_y käytetyn teräksen myötölujuus. Vastaavasti vertailuarvo α voidaan laskea rakenneputkelle seuraavasti:

$$\alpha = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{N_{Ed}}{f_y c \sum t_w} \right). \quad (3)$$

Kaavassa N_{Ed} on mitoittava normaalivoima ja t_w uuman paksuus. (Teräsrakenneyhdistys 2017, s. 50) Tutkimustapauksissa 1, 2 ja 3 putkea kuormittaa yksiakselialinen taivutus, joten putken laipalle syntyy puristusta ja uumalle taivutusta. Tapauksessa neljä kuormituksena putkella on normaalivoimaa sekä kaksiakselialista taivutusta, jolloin tulee varmistaa sekä laippojen että uumien luokitukset taivutukselle ja puristukselle.

Koska tutkittavalla rakenneputkella päästään poikkileikkausluokan 1 raja-arvoihin kullakin taso-osalla, voidaan putken todeta kuuluvan poikkileikkausluokkaan 1 jokaisessa tutkimustapauksessa. Kyseinen luokitus tarkoittaa, että koko poikkileikkausta voidaan pitää tehollisena, ja että poikkileikkaukseen voi syntyä plastisen taivutuskestävyyden omaava

plastinen nivel. (SSAB Europe Oy 2016, s. 53). Hieman pidemmälle tutkimalla kaavoja, voidaan todeta yleisesti käytettyjen neliöpoikkileikkauksellisten parvekeputkien kuuluvan pääsääntöisesti poikkileikkausluokkaan 1 suurien seinämäpaksuuksien ansiosta.

Poikkileikkauksen perusteella voidaan myös tutkia putken taivutusvastusta. Taivutusvastuksen arvo voidaan laskea laskentakaavoihin perustuen, tai hyödyntää teräsvalmistajien luomia valmiita profiilitietoja. Koska putkiprofiilit ovat alalla laajassa käytössä, löytyy näiden plastisista sekä elastisista taivutusvastuksista helposti tieto. Käytössä olevalle 10 mm nurkkasäteiselle 100x100x5 mm neliöprofiilille voidaan käyttää elastisen taivutusvastuksen W_{el} arvona 54,22 cm³ ja plastisen taivutusvastuksen W_{pl} arvona 64,59 cm³ (SSAB Europe 2016, s. 541). Kyseiset arvot pätevät taivutussuunnasta riippumatta putken symmetrisyyden nojalla.

Putken poikkileikkausominaisuuksia laskiessa, voidaan jättää nurkkapyöristysten vaikutus huomiotta kyseessä ollessa riittävän pienet pyöristyssäteet. Laskennassa voidaan käyttää nyt oletusta nurkkien teräväkulmaisuudesta. Jäykkyysominaisuuksissa kulmien pyöreys on yhä huomioitava (Teräsrakenneyhdistys 2017, s. 61)

5.5.3 Leikkauskestävyys

Leikkauslujuuden suuruuteen vaikuttaa olennaisesti mahdollisuus leikkauslommahdukseen (SSAB Europe Oy 2016, s. 102). Tutkitaan ensin, onko tutkittavalla putkella leikkauslommahdus huomioitava tekijä leikkauslujuuden määrittämisessä. Teräsputkimitoitus ohjeen (SSAB Europe Oy 2016, s. 102) mukaan neliöpoikkileikkauksellisen rakenneputken leikkauslujuus muodostuu plastisesta leikkauskestävyydestä kaavan

$$\frac{h}{t} \leq \frac{72\varepsilon}{\eta} + 3 \quad (4)$$

toteutuessa. Kaavassa h edustaa putken korkeutta leikkausvoiman suunnassa ja t seinämän paksuutta. Muokkauslujittumisen huomioiva tekijä, η , saa rakenneputkilla arvon 1,0 sillä muokkauslujittumista ei rakenneputkilla huomioida. Muissa tapauksissa leikkauslujuuden suuruus perustuu leikkauslommahduskestävyyteen. Koska käyttämälämme putkella edellä esitelty kaava pätee, voidaan putken leikkauskestävyys laskea suoraviivaisesti plastisen leikkauskestävyyden avulla. Plastisen leikkauskestävyyden arvon laskentaan vaaditaan putken leikkauspinta-alan A_v tunteminen. Leikkauspinta-ala voidaan määrittellä suorakaideputkelle kaavalla

$$A_v = A \cdot \frac{h}{b+h}, \quad (5)$$

missä A on poikkileikkauksen pinta-ala. Leikkauspinta-alan perusteella voidaan lopulta laskea putkelle leikkauskestävyys. Leikkauskestävyyden kaavana on tällöin

$$V_{pl,Rd} = A_v \cdot \frac{f_y / \sqrt{3}}{\gamma_{M0}}, \quad (6)$$

missä $V_{pl,Rd}$ kuvaa leikkauskestävyyttä. (SSAB Europe Oy 2016, s. 103) Käyttöaste putkelle voidaan laskea kaavalla

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 1,0, \quad (7)$$

missä V_{Ed} viittaa kuormittavan leikkausvoiman mitoitusarvoon (SSAB Europe Oy 2016, s. 47).

5.5.4 Taivutusmomentin ja leikkausvoiman yhteisvaikutuksen kestävyys

Poikkileikkausluokan 1 teräsrakenteelle voidaan laskea taivutuskestävyys SSAB:n teräsputkiin (SSAB Europe Oy 2016, s. 80) mukaisesti kaavalla

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}}, \quad (8)$$

missä $M_{c,Rd}$ viittaa taivutuskestävyyteen ja $M_{pl,Rd}$ plastiseen taivutuskestävyyteen. Taivutuskestävyyden hyötysuhde voidaan laskea kaavan (7) tapaan,

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1,0. \quad (9)$$

Tapauksissa, joissa putkea rasittaa samanaikaisesti leikkausvoima sekä taivutusmomentti, tulee leikkausvoiman vaikutusta tutkia momentinkestävyyteen. Tilanteessa putken kiepahdus sekä nurjahdus ovat estettyjä, eikä putken leikkauslujuuteen vaikuta leikkauslommahdus, joten leikkausvoiman vaikutus huomioidaan vain plastisen leikkauskestävyyden käyttöasteen ylittäessä 0,5. (SSAB Europe Oy 2016, s. 118) Muissa tapauksissa voidaan siis leikkauksen ja momentin yhteisvaikutus jättää huomiotta. Jos leikkauskestävyyden käyttöaste ylittäisi raja-arvon, jouduttaisiin teräsputkioppaan (SSAB Europe Oy 2016, s. 118) mukaisesti vähentämään taivutuslujuuden arvoa. Taivutuslujuuden arvoa pienennetään laskemalla tarkasteltavan suunnan myötölujuuden arvoa kertoimella $(1-\rho)$, missä

$$\rho = \left(\frac{2V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2. \quad (10)$$

Putkien tuenta tyypistä ja kuormituksista johtuen voidaan todeta parvekeputkilla pysyttävän pääsääntöisesti leikkausvoiman käyttöasteen ehdon matalammalla puolella, jolloin

leikkausvoiman ja taivutusmomentin yhteisvaikutus on harvoin oleellinen mitoitukselle. Yhteisvaikutuksen huomiotta jättö on ehdon mukaisesti mahdollista myös jokaisella tässä tutkimuksessa tutkitulla tapauksella.

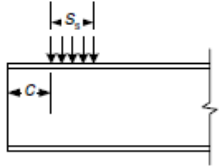
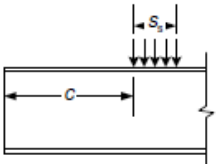
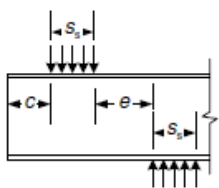
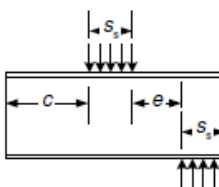
5.5.5 Pistevoima kestävyys

Parvekeputkeen syntyvä pistevoima tämän tukeutuessa rakennuksen puolella nivelellisenä tukena käyttäytyvään putkeen. Rakenneputki ohjeen (SSAB Europe Oy 2016, s. 152) mukaan pistevoima tarkastelussa tulee keskittyä rakenneputken uuman paikalliseen kestävyysmittaan. Pistevoiman mitoituksessa voidaan tällöin käyttää ehtoa:

$$\frac{F_{Ed}}{2F_{lW,Rd}} \leq 1,0. \quad (11)$$

Kaavassa $F_{lW,Rd}$ edustaa yhden uuman pistevoimakestävyyden mitoitusarvoa ja F_{Ed} pistevoiman mitoitusarvoa. Uuman pistevoimakestävyyden mitoitusarvon laskentaan on tarpeellista tietää pistevoiman sijainnista ja laadusta muodostuvien tekijöiden vaikutus. Tätä vaikutusta pyritään kuvaamaan arvolla C_F . Taulukossa 3 esitellään kyseisen arvon laskentaa eri kuormitustapauksissa.

Taulukko 3. Pistekuormakestävyys, tekijä C_F (SSAB Europe Oy 2016, s. 153)

Kuormitustyyppi		Pistekuormakestävyys
Tyyppi 1a	Yksi pistekuorma: $c \leq 1,5(h-t)$ 	kun $s_s/t \leq 60$: $C_F = k_1 k_2 k_3 \left[5,92 - \frac{(h-t)/t}{132} \right] \left[1 + 0,01 \frac{s_s}{t} \right]$ kun $s_s/t > 60$: $C_F = k_1 k_2 k_3 \left[5,92 - \frac{(h-t)/t}{132} \right] \left[0,71 + 0,015 \frac{s_s}{t} \right]$
Tyyppi 1b	Yksi pistekuorma: $c > 1,5(h-t)$ 	kun $s_s/t \leq 60$: $C_F = k_3 k_4 k_5 \left[14,7 - \frac{(h-t)/t}{49,5} \right] \left[1 + 0,007 \frac{s_s}{t} \right]$ kun $s_s/t > 60$: $C_F = k_3 k_4 k_5 \left[14,7 - \frac{(h-t)/t}{49,5} \right] \left[0,75 + 0,011 \frac{s_s}{t} \right]$
Tyyppi 2a	Kaksi vastakkaista pistekuormaa: $c \leq 1,5(h-t)$ 	kun $e \leq 1,5(h-t)$: $C_F = k_1 k_2 k_3 \left[6,66 - \frac{(h-t)/t}{64} \right] \left[1 + 0,01 \frac{s_s}{t} \right]$ Huom. a) ja b)
Tyyppi 2b	Kaksi vastakkaista pistekuormaa: $c > 1,5(h-t)$ 	kun $e \leq 1,5(h-t)$: $C_F = k_3 k_4 k_5 \left[21,0 - \frac{(h-t)/t}{16,3} \right] \left[1 + 0,013 \frac{s_s}{t} \right]$ Huom. a) ja b)
$k_1 = 1,33 - 0,33k$, $k_2 = 1,15 - 0,15(r_i/t)$ mutta $k_2 \geq 0,50$ ja $k_2 \leq 1,0$ $k_3 = 1,0$, $k_4 = 1,22 - 0,22k$, $k_5 = 1,06 - 0,06(r_i/t)$ mutta $k_5 \leq 1,0$ missä: $r_i = \text{nurkan sisäsäde}$, $k = f_y/228$ $[f_y] = \text{N/mm}^2$		
a) Kahden yhtäsuuren vastakkaissuuntaisen pistekuorman tapauksessa, jos jäykän tukipinnan s_s pituudet ovat erisuuria, käytetään pienempää arvoa s_s . b) Jos $e > 1,5(h-t)$, tilanne tarkastellaan Tyyppiin 1 mukaisesti kummallekin yksittäiselle kuormalle erikseen.		

Taulukon 3 perusteella voidaan laskea tekijä C_F . Käsiteltävissä mitoitus tapauksissa pistevon tapauksena toimii tapaus 1a. Kun rakenneputken ja tuen välillä rakenneputken kulmat ovat hitsatut, voidaan kuorman jakaantumispituus s_s laskea uumista sekä kulmien pyöristyksistä:

$$s_s = 2t + (2 - \sqrt{2})r. \quad (12)$$

Pistekuorma kestävyys voidaan lopulta laskea kaavalla

$$F_{lw,Rd} = C_F \cdot \frac{t^2 f_y}{\gamma_{M1}}. \quad (13)$$

Koska parvekeputkeen ei vaikuta tuen nivelellisyydestä johtuen samanaikaisesti pistevoimaa ja taivutusmomenttia, ei näiden yhteisvaikutusta ole tarve tutkia. Tällaisessa tapauksessa voidaan teräsputkiohjeen (SSAB Europe Oy 2016, s. 151) mukaisesti piste-kuormakestävyuden mitoitusehtona pitää seuraavaa:

$$\frac{F_{Ed}}{2F_{lw,Rd}} \leq 1,0 \quad . \quad (14)$$

5.5.6 Normaalivoiman, leikkausvoiman ja taivutusmomentin yhteisvaikutusten kestävyys

Edellä esitetyt ohjeet koskivat tapauksien 1, 2 ja 3 mukaisia rasiuksia, joissa putken kuormitus on yksiakselista eikä normaalivoimaa ole. Tapauksessa 4 putkeen kohdistuu pakkovoimien johdosta myös normaalivoimaa ja kaksiakselista taivutusta. Putkeen vaikuttaa tällöin samanaikaisesti normaalivoima, leikkausvoima ja taivutusmomentti. SSAB:n teräsputkiohjeen (SSAB Europe Oy 2016, s. 127) mukaisesti leikkausvoimaa ei tarvitse huomioida, kun leikkausvoiman mitoitusarvo V_{Ed} on alle puolet plastisesta leikkauskestävyydestä $V_{pl,Rd}$. Koska tämä pätee tutkitussa tapauksessa, voimme käsitellä tapausta taivutusmomentin ja normaalivoiman yhteisvaikutuksen mukaisena tapauksena.

SSAB:n teräsputkiohjeen (SSAB Europe Oy 2016, s. 67) mukaisesti poikkileikkausluokan ollessa 1 tai 2, voidaan mitoitus tehdä plastisuusteorian avulla. Tutkitaan ensin putken plastista normaalivoimakestävyyttä $N_{pl,Rd}$. Poikkileikkausluokilla 1, 2 ja 3 tämä voidaan laskea kaavasta

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} \quad . \quad (15)$$

Tutkitaan seuraavaksi y- ja z akselin suhteen tapahtuvat taivutukset erikseen. Tutkitaan ensin taivutusta y-akselin suhteen. Koska normaalivoiman pelkistetty käyttöaste ei ole tapauksessa riittävän matala:

$$N_{Ed} \geq 0,25 N_{pl,Rd} \quad \text{ja} \quad N_{Ed} \geq \frac{0,5(A-bt)f_y}{\gamma_{M0}} \quad , \quad (16)$$

käytetään normaalivoiman pienentämän taivutuskestävyyden $M_{N,y,Rd}$ arvona

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} \frac{1-n}{1-0,5a_w} \quad , \quad (17)$$

missä n on ulkoisen normaalivoiman mitoitusarvon ja plastisen normaalivoimakestävyuden suhde

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} \quad , \quad (18)$$

ja a_w on poikkileikkausmittojen suhde

$$a_w = \frac{A-2bt}{A} \leq 0.5 . \quad (19)$$

Pienennetty taivutuslujuus ei kuitenkaan voi olla alkuperäistä taivutuslujuutta suurempi. Vastaavalla tapaa, jos kaavan (16) mukaisesti normaalivoiman mitoitusarvo N_{Ed} olisi ollut vertailuarvoja matalampi, olisi normaalivoiman pienentämän taivutuskestävyyden, arvona $M_{N,y,Rd}$ toiminut alkuperäinen taivutuslujuus $M_{pl,y,Rd}$.

Taivutuskestävyys z- akselin suhteen voidaan tutkia samaan tapaan edellä esitettyjen kaavojen (16), (17), (18) ja (19) avulla. Tutkitaan lopulta akseleiden yhteisvaikutusehtoa:

$$\left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}}\right)^\alpha + \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}}\right)^\beta \leq 1.0 \quad (20)$$

kertoimille α ja β voidaan antaa varman puolen oletuksena arvo 1 tai laskea nämä kaavalla

$$\alpha = \beta = \frac{1.66}{1-1.13n^2} . \quad (21)$$

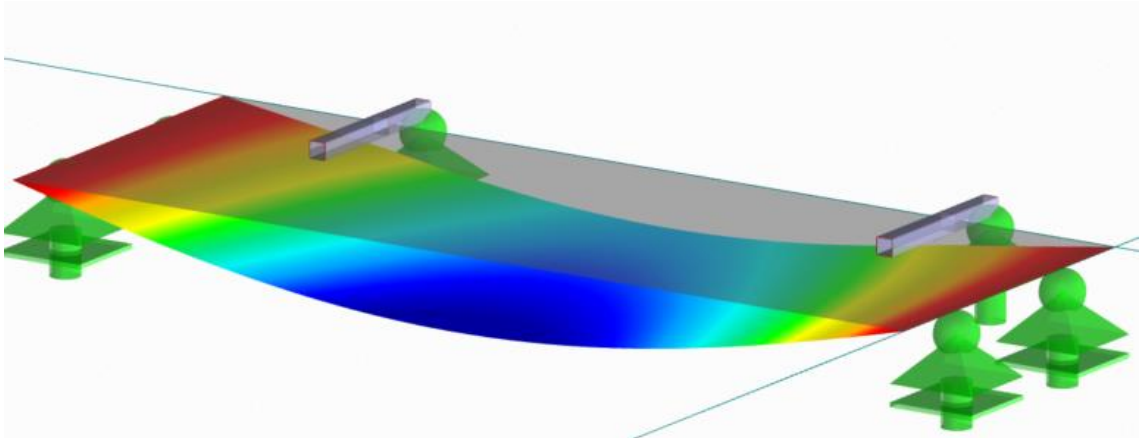
Lisäksi putken tulee normaalivoiman ja kahden suunnan taivutuksen tapauksessa täyttää varman puolen likimääräinen ehto käyttöasteista:

$$\frac{N_{Ed}}{A f_y / \gamma_{M0}} + \frac{M_{y,Ed}}{W_{pl,y} f_y / \gamma_{M0}} + \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} f_y / \gamma_{M0}} \leq 1.0 \quad (22)$$

Ehtojen täyttyessä voidaan todeta putken kestävän yhdistetty kuormitus. (SSAB Europe Oy 2016, s. 125).

5.6 Laatan taipumat

Laatan taipumia voidaan tutkia RFEM-laskentaohjelman avulla karkean arvion muodostamiseksi. Koska laatan toimintaa jouduttiin tutkimuksessa yksinkertaistamaan korvaamalla raudoitteet laatan kimmomoduulin muutoksilla, eivät laatalle syntyvät taipumat ole täysin todelliseen verrannollisia. Taipumia tutkimalla voidaan kuitenkin havainnoida eri tuentatapauksissa syntyviä laatan rasiuksia. Seuraavassa kuvassa esitellään tutkimustapauksen 1 taipumia. Kyseessä on molemmilta puolilta pielituettu laatta, jolloin suurimmat taipuman arvot syntyvät laatan ulkoreunan keskelle.



Kuva 13. Laatan taipumat tapauksessa 1

6. TULOSTEN KÄSITTELY

6.1 Mitoituksen kulku

Tutkittavissa tapauksissa pyrittiin varmistamaan, ovatko parvekelaatalle alustavasti sijoitetut parvekeputket riittävän kestäviä tukemaan laattaa menettämättä stabiliteettiaan sekä samalla hahmottamaan parvekeputkimitoituksen kulkua ja sen sudenkuoppia. Parvekeputkien kestävyys ja käyttöasteet laskettiin ensin laskentakaavamenetelmiä käyttäen, FEM-ohjelman mukaisilla rasituksilla ja laskennan lopulla vertailtiin näitä FEM-ohjelman mukaisiin tuloksiin. Itse laatan kestävyys tai riittävään lujuuteen ei tutkimuksessa otettu näin ollen kantaa, vaan tutkimus keskittyi tuennan muodostamisen onnistumiseen. Pohditaan nyt, miten mitoitus onnistui kokonaisuudessaan.

Putken rasitusten määrittäminen onnistui yksinkertaista rakennemallia käyttämällä pääsääntöisesti pienellä vaivalla. Mallin muodostamisessa suurimpina haasteina esiintyivät tukien jäykkyyden määrittäminen sekä sopivan elementtiverkon muodostaminen. Parvekeputken tuentatyyppin valinnan perusteena oli putkea ympäröivän betonin määrä. Parvekelaatassa putken ulottua syvälle laatan sisään, voitiin tämän ajatella muodostavan jäykkä liitos putkeen. Rakennuksen rungon puolella tuenta esitettiin nivelellisenä tuennan lyhyen välimatkan vuoksi. Elementtiverkolla voitiin mitoituksessa vastaavalla tapaa huomata olevan suuri merkitys tuloksiin. Verkon tiheyttä säätämällä ilmeni olevan merkittävä vaikutus putken rasitukseen. Lopullinen verkon tiheys valikoitui riittävän kokeilun perusteella, jolloin tulokset pysyivät verkon pienen muutoksen jälkeenkin riittävän lähellä käytetyn verkon tuloksia.

Tutkittavissa tapauksissa huomattiin putken kapasiteetin laskennan toimivan melko suoraviivaisesti. Koska parvekeputkella ei ole muotonsa ja tuentansa vuoksi vaaraa kiepahdukseen tai nurjahdukseen, toimii lujuuslaskenta huomattavan yksinkertaisena. Putkien seinämäpaksuudesta johtuen myös leikkauslommahdus voidaan usein jättää laskuista huomiotta. Olennaisena yksityiskohtana putkien mitoituksessa on kuitenkin lämpötilaeroista johtuvien pakkovoimien vaikutus, mikä voi selvästi mutkistaa myös laskentaa.

Tapauksissa 1, 2 ja 3 alustavasti valitut parvekeputkikannakkeet olivat putkien kapasiteettien kannalta riittävät. Seuraavassa taulukossa esitellään laskennan tuloksia. Taipuman vertailuarvona on pidetty pitkäaikaiskuormien suositeltavaa taipumarajaa L/250 (BY 211 2013, s. 225).

Taulukko 4. Tutkimustapausten 1, 2 ja 3 parvekeputkien rasiukset ja käyttöasteet sekä laattojen taipumien käyttöasteet

Tutkimus- tapaus	Laskenta- menetelmä	Taivutusmomentti		Leikkausvoima		Pistevoima		Taipuma %
		kNm	%	kN	%	kN	%	
1	Laskenta- kaavat	10,5	51,2	26,3	15,6	26,3	33,9	
1	RFEM	10,5	51,0	26,3	15,5			23,2
2	Laskenta- kaavat	3,6	17,4	9,0	5,3	9,0	11,6	
2	RFEM	3,6	17,1	9,0	5,3			5,7
3	Laskenta- kaavat	5,5	27,0	13,8	8,2	13,8	17,8	
3	RFEM	5,5	27,3	13,8	8,1			7,1

Tapauksessa 4 huomioon otavat lämpötilarasitukset aiheuttivat putkelle edellisiä tapauksia huomattavasti korkeammat rasiukset. Yhdistetyn rasiuksen käyttöasteen noustua alustavilla putkisijainneilla kaavapohjaisesti konservatiivisesti laskien juuri yli raja-arvon, siirrettiin putkia 250 mm lähemmäs laatan keskiötä ulkoseinän suuntaisesti. Taulukossa 5 esitellään riittäväksi koetun putkituennan rasiuksia ja käyttöasteita, kun rasiusten yhteisvaikutusta ei huomioida.

Taulukko 5. Tapauksen 4 vaaka- ja pystysuunnan eriteltyt rasiukset ja käyttöasteet

Laskenta- mene- telmä	Vaakasuunta				Pystysuunta			
	Taivutusmomentti ($M_{z,Ed}$)		Leikkausvoima ($V_{y,Ed}$)		Taivutusmomentti ($M_{y,Ed}$)		Leikkausvoima ($V_{z,Ed}$)	
	kNm	%	kN	%	kNm	%	kN	%
Laskenta- kaavat	4,5	21,8	30,9	18,3	9,3	45,3	23,3	13,8

Taulukosta 5 käy ilmi vaakasuuntaisten rasiusten suuruudet. Taulukon arvoista voidaan huomata vaakasuuntaisten rasiusten suuruuksien olevan selvästi pystysuunnan rasiuksia matalampia, mutta merkityksellisiä suuruudeltaan tästä huolimatta. Seuraavassa taulukossa esitellään rasiusten yhteenlaskettuja vaikutuksia sekä laatan taipumaa.

Taulukko 6. Tapauksen 4 yhdistetyn rasiuksen käyttöasteet sekä laatan taipuma

Laskentamenetelmä	Yhdistettyrasitus (%)	Pistevoima (%)	Taipuma (%)
Laskentakaavat	96,6	30,1	
RFEM	90,0		20,0

6.2 Tapauskohtaisten tulosten analysointi

Edellä esitetyissä mitoituksen tuloksia kuvaavista taulukoista 4, 5 ja 6 käy ilmi ulkoisen lämpötilarasituksen vaikutus parvekeputken mitoitukseen. Tapauksissa 1, 2 ja 3 parvekeputkien käyttöasteet ovat suhteellisen matalat, eivätkä putket ole lähellä murtoa. Tapauksessa 4 yhdistetyn rasituksen käyttöaste nousee kuitenkin lähelle 100 %: a. Ero käyttöasteissa syntyy pakkovoimien tuomista kaksiaksisiaalisesta taivutuksesta sekä suuresta normaalivoimasta. Mainituilta voimilta kuitenkin vältytään suurelta osin tuentana käytettäessä pilareita.

Tapaukset 1 ja 4 ovat identtiset tapaukset lukuun ottamatta lämpötilarasitusta. Tapauksessa 4 parvekeputkelle syntyy pakkovoimien seurauksena tapausta 1 vastaavan taivutumomentin ohella taivutusta laatan leveysuunnassa. Lisäksi putkeen kohdistuu suuri normaalivoima. Kyseinen kuormitusyhdistelmä syntyy betonisen parvekelaatan lämpöliikkeen vuoksi. Koska parvekeputki on jäykästi kiinnitettyä parvekelaattaan, syntyy putkelle kuormia laatan kutistumis- ja laajenemisliikkeen myötä. Kuten mitoituksen edessä huomattiin, laskevat kyseiset kuormat siirryttäessä kappaleen keskiötä kohti, jolloin putkeen vaikuttavat laatan muodonmuutokset ovat pienempiä. Vaakasuuntaisten pakkovoimien aiheuttamien voimien suuruus on lopulta joka tapauksessa merkittävän suuri, sillä vaikka taulukon 5 tulostenkin perusteella ovat pystysuunnan voimat vaakasuuntaisia suurempia näkyvät vaakavoimien vaikutukset etenkin yhdistetyssä rasituksessa.

Tapausten 1 ja 4 mukaisesti myös tapaukset 2 ja 3 muistuttavat pitkälti toisiaan. Erona tapauksilla on ainoastaan käytetyn parvekelaatan leveys. Tuloksia tarkastellessa on huomattavaa putken rasitusten kasvu suuremman laatan myötä. Sekä putken käyttöasteet että laatan taipuma ovat korkeammat leveämmän laatan tapauksessa, tapauksessa 3. Käyttöasteet eivät kuitenkaan tapauksissa yltä vielä järin korkealle, joten on mahdollista, että pidentämällä parvekeputkikannattimia voitaisiin mahdollistaa taipumien pienentäminen. Mitoituksia voitaisiin kuitenkin tarkentaa varmistamaan lämpötilarasitusten vaikutukset, sillä vaikka tuentatyyppi sallii laatalle suuret lämpöliikkeet, on pakkovoimien syntyminen välttämätöntä parvekeputkikiinnityksen vuoksi.

Vertailtaessa kaavapohjaisesti laskettuja sekä RFEM-ohjelman mukaisia tuloksia huomataan eroa lähinnä viimeisessä tapauksessa. Tapaukset 1, 2 ja 3 ovat yksinkertaisesti laskettavissa yhdistetyn rasituksen puuttuessa laskennasta, jolloin kaavapohjaisesti laskettujen sekä laskentaohjelmalla saatujen tulosten väliset erot ovat pieniä. Tapauksessa 4 kaavapohjaisesti laskiessa yhdistetyn rasituksen käyttöastetta on käytetty yksinkertaisesti varman puolen kaavaa, jolloin tulos on huomattavasti laskentaohjelman tuottamaa suurempi.

7. YHTEENVETO

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli perehtyä betonisilla parvekelaatoilla käytettävän parvekeputkikannakkeen toimintaan ja mitoitukseen. Parvekeputkikannakkeet ovat yksi useista parvekelaatan kantavaan runkoon sidonnan menetelmistä. Putkituenta eroaa monista muista liitostyypeistä etenkin tämän jäykkyyden, tuenta tavan sekä rakenteen yksinkertaisuuden osalla.

Parvekelaatat voidaan jaotella tuentamenetelmiensä perusteella neljään laattatyyppiin. Itsekantavat laatat perustuvat lähes täysin parveketornin luomaan tukeen ja niiden runkoon sidonta toimii lähinnä vaakasuunnan voimien kuljetuksessa. Sen sijaan ulokeparvekkeet, ripustettavat parvekkeet sekä osittain itsekantavat parvekkeet perustuvat suurelta osin, ellei täysin, parvekelaatan ja kantavan rakenteen väliseen sidontaan. Kyseisissä tapauksissa sidonnalla tuodaan sekä vaaka- että pystysuunnan tukea laatalle. Sidontamenetelmät vaihtelevat sekä tuentatyyppin että kestävyyksien mukaan. Olennaista sidonnoilla on tyypillisesti pyrkimys laatan tuentaan sekä taipumien minimointiin.

Parvekeputkikannatin on rakenteena melko yksinkertainen, vaikkakin suunnittelun näkökulmasta omaa selkeät haasteensa. Putken toiminnan perustavana ideana on valaa ja raudoittaa rakenneputki parvekelaattaan sekä rakennuksen kantavaan välipohjaan. Kannakkeena käytettävä neliöpoikkileikkauksellinen putki luo jäykän liitoksen parvekelaattaan sekä joustavamman liitoksen välipohjan puolelle liitosta ympäröivän betonin tukevana. Putkea ympäröivä betoni varmistaa, ettei putkelle synny suurta nurjahdusvaaraa. Toisaalta poikkileikkauksen muoto pitää huolen matalasta riskistä kiepahdukseen ja lommahdukseen. Putken jäykän kiinnitystavan myötä syntyy parvekelaatan mahdollisista liikkeistä suuri riskitekijä putkelle. Parvekelaatta voi saada putkea vaarantavaa liikehdintää esimerkiksi kutistuessaan lämpötilan tai kosteuspitoisuuden muutoksien vuoksi. Tällaisten muodonmuutosten aiheuttamat putkeen kohdistuvat pakkovoimat voivat olla merkittäviä mitoituksen kannalta.

Parvekeputken mitoittaminen on melko suoraviivainen toimenpide, joka onnistuu käsinlaskennan keinoilla tai käyttämällä laskentaohjelmia. Koska kuitenkin parvekeputken rasitusten määrittäminen saattaa käsinlaskennan keinoin olla vaikeaa, on suositeltavaa käyttää laskentaohjelmaa.

Tutkimuksessa estellyissä laskennallisissa tutkimustapauksissa pyrittiin havainnollistamaan mitoituksen kulkua käytännön tasolla ja tuomaan ilmi laatan tuennan tyyppin sekä ulkoisen lämpötilarasituksen vaikutuksia. Mitoittamisessa ilmeni varsinkin rakennemallin

muodostamisen haasteet, kuten tuentatyyppien sekä elementtimenetelmää käytettäessä riittävän elementtiverkon valinnat. Lisäksi erityisesti lämpötilatarkastelujen huomiointi mitoituksessa toi kiinnostavia tuloksia. Kahdella pielellä ja parvekeputkin tuetun laatan käyttöaste nousi tarkasteltavassa kohteessa noin 50 %:sta lähelle murtorajatilaa lämpötilarasituksen huomioinnin myötä. Vaikka tarkasteluissa betonilla käytettiin muunnettua kimmomoduulin arvoa, mikä vaikuttaa suoraa laatan muodonmuutoksiin, voidaan tulosta pitää silti selvästi suuntaa antavana.

Parvekeputkikannakkeen käytön kannalta voisi olla hyödyllistä jatkossa tarkastella tämän käytön hyödyn suhdetta käytettyyn materiaaliin etenkin pielin tuetuilla laatoilla. Parvekeputken mitoitus perustuu pielillä tuetussa laatasta lopulta suurelta osin jäykkyydestä aiheutuviin pakkovoimiin. Pakkovoimille mitoitus ei kuitenkaan ole parvekeputkella tarkoituksen mukaista, sillä putki tulisi mitoittaa ensisijaisesti tukemaan laattaa pystysuunnassa. Pohdittavaksi jää, voisiko pakkovoimilta välttyä muilla riittävän tuennan keinoilla samalla materiaalissa säästäen.

Tutkimuksen perusteella voidaan lopulta todeta parvekeputken soveltuvan parhaiten osittain itsekantaville laatoille, joilla pystysuunnan tuenta järjestetään pilarien avulla. Tällaisissa tapauksissa laatalle voidaan muodostaa selkeä tuentalinja sekä samalla välttää suurimmilta pakkovoimilta. Vaikkakin parvekeputkea voidaan käyttää myös pielillä tuetun laatan tapauksessa, tulee tällöin noudattaa erityistä huolellisuutta mitoittamisessa.

LÄHTEET

A-Insinöörit Suunnittelu Oy (2021), A-Insinöörit Suunnittelu Oy sisäinen materiaali

Betoniteollisuus ry (2009). Betonirakenteiden suunnittelu eurokoodien mukaan. Osa 2: Betonirakenteiden suunnitteluperusteet.

Betoniteollisuus ry (2010). Betonielementtiparvekkeet.

BY211 (2013). Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja osa 1. Suomen betoniyhdistys ry. Helsinki. 253 s.

BY211 (2014). Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja osa 2. Suomen betoniyhdistys ry. Helsinki. 215 s.

Elementtisuunnittelu (2021). Parvekkeet. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 11.2.2021): <https://www.elementtisuunnittelu.fi/julkisivut/parvekkeet>

Koski, T. (2020). Algoritmiavusteisen suunnittelun hyödyntäminen betonielementtirakenteisen parvekerungon suunnittelussa, Tampereen yliopisto.

Peikko (2021). PS-parvekesarana. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 12.2.2021): <https://www.peikko.fi/tuotteet/tuote/ps-parvekesaranat/photos-and-videos/>

RT 86-10563 (1995). Parvekerakenteet. Rakennustietosäätiö.

Schöck (2021). Schöck Isokorb Type Cm. Verkkosivu. Saatavissa (Viitattu 3.3.2021) <https://www.schoeck.com/en-us/isokorb-type-cm>

SFS-EN 1992-1-1 + A1 + AC (2015) – Eurokoodi 2: Betonirakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Suomen standardisoimisliittos SFS ry.

Siilasvuo, N. (2020). Betonisen parvekelaattaelementin suunnitteluperusteet. Tampereen ammattikorkeakoulu.

SSAB Europe Oy (2016). SSAB Domex Tube Rakenneputket – Käsikirja.

Stalotube (2021). Austenitic stainless steel tubes. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 21.3.2021) <https://www.stalotube.com/products/stainless-steel-tubes/austenitic-stainless-steel-tubes/>

Teräsrakenneyhdistys (2017). Käsikirja – Ruostumattomien terästen käyttö kantavissa rakenteissa

LIITE A: LASKELMA TAPAUKSESTA 4

Parvekeputki mitoitus, tapaus 4

Lähtötiedot

profiili: 100x100x5	$\gamma_{M0} := 1.1$	$h := 100 \text{ mm}$
$r_i := 5 \text{ mm}$ (sisemmän nurkan säde)	$\gamma_{M1} := 1.1$	$b := 100 \text{ mm}$
$f_y := 350 \text{ MPa}$	$\gamma_{M2} := 1.25$	$t := 5 \text{ mm}$
$E := 200000 \text{ MPa}$		$A := 1836 \text{ mm}^2$

$W(p)$, $W(e)$: voidaan hakea taulukosta

$$W_{el} := 54.2 \cdot \text{mm}^3 \cdot 10^3$$

$$W_{pl} := 64.6 \cdot \text{mm}^3 \cdot 10^3$$

Kuormat (RFEM- analyysin tuloksista)

$$M_{z.Ed} := 4.5 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad M_{y.Ed} := 9.3 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad N_{Ed} := 172.8 \text{ kN} \quad F_{Ed} := 23.3 \text{ kN}$$

$$V_{y.Ed} := 30.9 \text{ kN} \quad V_{z.Ed} := 23.3 \text{ kN} \quad (\text{tuen pistevoima})$$

Poikkileikkausluokan määrittäminen (Teräsrakenneyhdistyksen oppaan mukaan)

$$f_y := 350 \text{ MPa} \quad E := 200000 \quad c := h - 4 \cdot t = 80.0 \text{ mm}$$

$$\varepsilon := \left(\frac{235 \text{ MPa}}{f_y} \cdot \frac{E}{210000} \right)^{0.5} = 0.8 \quad \alpha := \frac{1}{2} \left(1 + \frac{N_{Ed}}{f_y \cdot c \cdot 2 \cdot t} \right) = 0.8$$

	taivutetut osat	Puristetut osat	Puristus ja taivutus ($\alpha > 0.5$)
PL1	$72 \cdot \varepsilon = 57.6$	$33 \cdot \varepsilon = 26.4$	$\frac{(396 \cdot \varepsilon)}{13 \cdot \alpha - 1} = 33.3$
PL2	$76 \cdot \varepsilon = 60.8$	$35 \cdot \varepsilon = 28.0$	$\frac{(420 \cdot \varepsilon)}{13 \cdot \alpha - 1} = 35.3$
PL3	$90 \cdot \varepsilon = 72.0$	$37 \cdot \varepsilon = 29.6$	

Vertailaan arvoa $\frac{c}{t} = 16.0$ edellä esitettyihin ehtoihin. c/t suhteen

alittaessa esitetty arvo, osa kuuluu kyseiseen luokkaan.

Poikkileikkausluokka = 1 - taivutetut ja puristetut uumat ja laipat kuuluvat luokkaan.

Leikkauskestävyys

leikkauslommahdusta ei tarvitse huomioida kun $\frac{h}{t} < 72 \frac{\varepsilon}{\eta} + 3$ $\eta := 1.0$

nyt $\frac{h}{t} = 20.0 < 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} + 3 = 60.6$ ok!

Leikkauskestävyys lasketaan plastisen leikkauskestävyyden avulla.

$$A_v := A \cdot \frac{h}{b+h} = 918.0 \text{ mm}^2 \quad \text{leikkauspinta-ala}$$

$$V_{pl.Rd} := A_v \cdot \frac{f_y \cdot \frac{1}{\sqrt{3}}}{\gamma_{M0}} = 168.6 \text{ kN} \quad \text{pätee x- ja y- suuntaan (symmetrisyys)}$$

$$V_{pl.y.Rd} := V_{pl.Rd} \quad V_{pl.z.Rd} := V_{pl.Rd}$$

hyötysuhteet leikkauksella:

$$\frac{V_{y.Ed}}{V_{pl.y.Rd}} = 0.18 \quad \frac{V_{z.Ed}}{V_{pl.z.Rd}} = 0.14$$

Taivutuskestävyys

leikkausvoimat riittävän matalat, jottei vaikutusta momenttikestävyyteen tarve huomioida.

$$M_{pl.Rd} := W_{pl} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 20.6 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{pl.y.Rd} := M_{pl.Rd} \quad M_{pl.z.Rd} := M_{pl.Rd} \quad \text{poikkileikkaus symmetrinen}$$

taivutusten käyttöasteet:

$$\frac{M_{z.Ed}}{M_{pl.z.Rd}} = 0.22 \quad \frac{M_{y.Ed}}{M_{pl.y.Rd}} = 0.45$$

Normaalivoiman kestävyys

$$N_{pl.Rd} := f_y \cdot \frac{A}{\gamma_{M0}} = 584.2 \text{ kN} \quad \frac{N_{Ed}}{N_{pl.Rd}} = 0.30$$

Taivutusvoiman, normaalivoiman ja leikkausvoiman yhteisvaikutus

leikkausvoimaa ei tarve huomioida tämän hyötysuhteen ollessa pieni.
Normaalivoiman pienentämä leikkauskestävyys:

$$0.25 \cdot N_{pl.Rd} = 146.0 \text{ kN} < N_{Ed} = 172.8 \text{ kN}$$

$$0.5 \cdot (A - 2 \cdot b \cdot t) \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 133.0 \text{ kN} < N_{Ed} = 172.8 \text{ kN}$$

koska edellä esitetyt pätevät, pienennetään momenttikestävyyttä.

$$n := \frac{N_{Ed}}{N_{pl.Rd}} \quad a_w := \frac{(A - 2 \cdot b \cdot t)}{A} \quad a_f := a_w \quad (\text{symmetrinen poikkileikkaus})$$

$$M_{N.y.Rd} := M_{pl.y.Rd} \cdot \frac{1-n}{1-0.5 a_w} = 18.7 \text{ kN} \cdot \text{m} < M_{pl.y.Rd} = 20.6 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{N.z.Rd} := M_{pl.z.Rd} \cdot \frac{1-n}{1-0.5 a_f} = 18.7 \text{ kN} \cdot \text{m} < M_{pl.z.Rd} = 20.6 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\alpha := 1 \quad \beta := 1 \quad \text{varman puolen oletus suorakaideputkilla.}$$

kaksiakselisessa taivutuksessa ehto:

$$\left(\frac{M_{y.Ed}}{M_{N.y.Rd}} \right)^\alpha + \left(\frac{M_{z.Ed}}{M_{N.z.Rd}} \right)^\beta = 0.74 < 1 \quad \text{ok!}$$

Normaalivoiman ja taivutusmomentin yhteisvaikutukselle varman puolen ehto:

$$\frac{N_{Ed}}{A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{y.Ed}}{W_{pl} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{z.Ed}}{W_{pl} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}}} = 0.97 \leq 1 \quad \text{ok!}$$

Pistevoimakestävyys tuella:

määritellään tilanteen pistevoiman tyyppi taulukon (SSAB Domextube 2016, s. 153) mukaisesti

$$1.5 \cdot (h - t) = 142.5 \text{ mm} > c := 0 \text{ mm}$$

Pistevoima, taulukon tyyppi 1a

$$s_s := 2 t + (2 - \sqrt{2}) \cdot r_i = 12.9 \text{ mm}$$

$$k := \frac{f_y}{228 \text{ MPa}} = 1.5$$

$$k_2 := 1.15 - 0.15 \left(\frac{r_i}{t} \right) = 1.0$$

$$k_1 := 1.33 - 0.33 k = 0.8$$

$$k_3 := 1.0$$

kun $\frac{s_s}{t} = 2.6 < 60$ voidaan käyttää kaavaa:

$$C_F := k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot \left(5.92 - \frac{(h-t)}{132} \right) \cdot \left(1 + 0.01 \frac{s_s}{t} \right) = 4.9$$

lopulta saadaan pistevoimakestävyys.

$$F_{lw.Rd} := C_F \cdot \frac{t^2 \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 38.8 \text{ kN}$$

käyttöaste, kun 2 uumainen putki:

$$\frac{F_{Ed}}{2 \cdot F_{lw.Rd}} = 0.30 < 1.0 \quad \text{OK!}$$

Tuen kohdalla putken taivutusmomentit ovat 0 (nivelellinen tuki), ei tarve tutkia momentin vaikutusta.