

**SAVONIA**

ammattikorkeakoulu

OPINNÄYTETYÖ - YLEMPI AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIKAN JA LIIKENTEEN ALA

# ELEMENTTIRAKENTEISEN PARKKI- HALLIN KEHITYSPROJEKTI INSI- NÖÖRITOIMISTO SRT OY:LLE

TEKIJÄ Tommi Auvinen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Tutkinto-ohjelma Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma			
Työn tekijä Tommi Auvinen			
Työn nimi Elementtirakenteisen parkkihallin kehitysprojekti Insinööritoimisto SRT Oy:lle			
Päiväys	12.5.2023	Sivumäärä/Liitteet	58
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Insinööritoimisto SRT Oy			
Tiivistelmä			
<p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli kehittää parkkihallien rakennesuunnittelua ja nopeuttaa varsinkin tarjousvaiheen mitoitus siten, että parkkihallin rakenteiden dimensiot sekä raudoitusmäärät saadaan mitoitetuksi entistä nopeammalla aikataululla. Kehitysprojekti liittyi Insinööritoimisto SRT Oy:n ja sen yhteistyökumppaneiden käynnissä olevaan kehitysyhteistyöhön, jossa yhteisestä parkkihallikonseptista oli tarkoitus kehittää mahdollisimman kustannustehokas. Kyseinen kehitystyö koski pääasiassa kylmää, 2-laivaista parkkihallia, jonka rungon muodostaisi teräsbetonipilarit, jännebetonipalkit sekä kuorilaatasto. Rakennejärjestelmässä luodaan esijännitettyjen liittorakenteiden avulla pitkäaikaisessa kuormayhdistelmässä puristetuna pysyvä rakenne, jolloin rakenteesta saadaan vesitiivis ilman erillistä vedeneristyskerrosta.</p> <p>Rakenteita sekä raudoituksia vakioitiin siten, että valintataulukoiden avulla saadaan rakennusosille oikeat mitat ja raudoitus määritettyä ilman toistuvaa mitoitus. Opinnäytetyössä vertailtiin myös kolmea käytössä olevaa pilarikehän mitoitusohjelmaa, KEXE2:sta, FEM-Designia sekä Scia Engineeringiä, ja vertailtiin niiden antamia tuloksia. Kehä- ja 3D-Fem -mitoitusohjelmia vertailtaessa saatiin hyvä käsitys kunkin ohjelman toiminnasta sekä siitä, mitkä ovat kunkin ohjelman hyödyt ja mitä laskentaohjelmistoa kannattaa tulevaisuudessa toimistossamme käyttää.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena saatiin kehitetyksi parkkihallin rakenteiden mitoitusohjelma, joka annettujen lähtötietojen perusteella laskee parkkihallin rakenteille kustannustehokkaat profiilit ja laskee myös tarvittavan raudoitusmäärän rakennusosittain. Kehitetyn mitoitusohjelman etu on sen nopea käyttö, sillä vain muutamalla lähtötiedon syöttämisellä saadaan kattava tieto kaikista keskeisistä parkkihallin rakenteista. Näin ollen saadaan rakenteista jo tarjousmitoitusvaiheessa tarkka kustannustieto, joka edesauttaa yhteistyökumppaneita muodostamaan kilpailukykyisen urakkahinnan ja sitä myöten tarjoamaan rakenne- ja elementtisuunnittelua Insinööritoimisto SRT Oy:lle tarjouksen jäädessä yhteistyökumppaneillemme.</p>			
Avainsanat Rakennesuunnittelu, teräsbetonirakenteet, esijännitetyt betonirakenteet, liittorakenteet, FEM-Design 3D, Scia Engineer 22			

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Master's Degree Programme In Civil Engineering	
Author Tommi Auvinen	
Title of Thesis A development project for a prefabricated parking garage for Insinööritoimisto SRT Oy	
Date 12.5.2023	Pages/Appendices 58
Client Organisation /Partners Insinööritoimisto SRT Oy	
<p>Abstract</p> <p>The purpose of this thesis was to develop structural design of parking garages and expedite the dimensioning of the offering stage so that the dimensions of the parking garage structures and the amount of reinforcement can be dimensioned faster. The development project was related to the ongoing cooperation between Insinööritoimisto SRT Oy and its partners, where the idea was to develop the parking garage concept to be as cost-effective as possible. The development work would mainly concern a cold, multi gable parking garage whose frame would consist of concrete columns, prestressed concrete beams, and prestressed floor slabs. With the help of prestressed composite structures is created a structure that remains compressed in a long-term load combination. In this way, the structure becomes waterproof without a separate water membrane layer.</p> <p>Structures and reinforcement were standardized so that with the help of selection tables, the correct dimensions and reinforcement can be determined without calculations. Three different calculation programs, KEXE2, FEM-Design and Scia Engineering were also compared in this thesis. The comparison of calculation programs gave a good understanding of the benefits of each program.</p> <p>As a result of the thesis, a dimensioning program for parking garage structures was developed. The operation of the calculation program is based on pre-calculated data, and it calculates cost-effective profiles for the parking garage structures and also calculates the required amount of reinforcement. The advantage of the developed dimensioning program is its quick use, because with just a few inputs of initial data, one gets comprehensive information about all the structures of the parking garage. In this way, accurate cost information about structures is obtained already at the offering stage, and it helps our partners to form a competitive contract price. If the offer remains in our partner, it generates structural and element design also to Insinööritoimisto SRT Oy.</p>	
<p>Keywords</p> <p>Structural design, concrete structures, prestressed concrete structures, composite structures, FEM-Design 3D, Scia Engineer 22</p>	

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	6
2	PYSÄKÖINTILAITOKSET .....	7
2.1	Yleistä .....	7
2.2	Pysäköintihallin koko .....	7
3	RUNKOSUUNNITTELUUN VAIKUTTAVAT LÄHTÖTIEDOT .....	9
3.1	Arkkitehtisuunnittelu .....	9
3.2	Seuraamusluokka .....	10
3.3	Suunnittelukäyttöikä .....	11
3.4	Rasitusluokat .....	13
3.5	Palonkestoaikavaatimus .....	14
4	PARKKIHALLIN RAKENTEET .....	16
4.1	Anturat .....	16
4.2	Pilarit .....	16
4.3	Palkit .....	19
4.4	Kuorilaatasto .....	22
4.4.1	Kuorilaatan pintalaatan raudoituksesta .....	24
4.5	TT-laatasto .....	33
5	LIITTORAKENTEET .....	35
5.1	Yleistä liittorakenteista .....	35
5.2	Liittorakenteiden teoriaa .....	36
5.2.1	Esimerkki teorian soveltamisesta .....	41
5.2.2	Muunnettu poikkileikkaus .....	42
6	KEHITYSTYÖ .....	44
6.1	Mitoitusohjelma .....	44
6.2	Vakioinnit .....	49
6.2.1	Pilarikonsolit .....	49
6.2.2	Työsaumaverkko .....	49
6.2.3	TT-laatta -yläpohjan rakenteet .....	50
6.3	Kehälaskelmien vertailu .....	51
6.3.1	Esimerkkihalli .....	52

7 YHTEENVETO.....	57
LÄHTEET .....	58

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on kehittää elementtirakenteisen parkkihallin rakennesuunnitelua entistäkin tehokkaammaksi. Tämä tapahtuu hyväksi havaittujen ratkaisujen ja detaljien vakioimisella, rakenneosien esimitoittamisella sekä uusien rakenneratkaisujen kehittämällä.

Opinnäytetyö liittyy Insinööritoimisto SRT Oy:n ja sen yhteistyökumppaneiden käynnissä olevaan parkkihallin kehitysprojektiin, jossa Insinööritoimisto SRT Oy on mukana rakenne- ja elementtisuunnittelun osalta. Kehitysprojektissa on mukana muiden alojen suunnittelutoimistoja sekä elementtitoimittaja. Kunkin projektissa olevan osapuolen tarkoitus on omalta osaltaan kehittää toimintatapojaan siten, että parkkihallikonseptista tulisi mahdollisimman toimiva ja kustannustehokas.

Opinnäytetyön aiheen valinta oli helppo, sillä kehitysprojekti oli joka tapauksessa alkamassa ja työn aiheet liittyvät hyvin tiiviisti koulutusohjelman keskeisiin aihepiireihin, kuten jännitettyihin betonirakenteisiin sekä rakennuksen jäykistykseen. Oma toimenkuvani Insinööritoimisto SRT Oy:ssä on jännebetonituotteiden raudoitussuunnittelu, joten opinnäytetyön aihe liittyy vahvasti myös nykyiseen toimenkuvaani. Tämän lisäksi kehitysprojektissa mukana oleva elementtitoimittaja on Insinööritoimisto SRT Oy:n pitkäaikainen yhteistyökumppani, sillä olemme toimineet heidän jännebetonituotteidensa raudoitussuunnittelijoina jo vuodesta 2013 alkaen. Täten kehitys parkkihallin jännebetonituotteiden osalta helpottuu, kun osapuolet ovat ennestään tuttuja toisilleen.

Pääsääntöisesti kehitettävän parkkihallin lähtökohtana olisi avoin, kylmä, 2-laivainen, suorakaiteen muotoinen ja ympäriajettava parkkihalli. Runko koostuu teräsbetonipilareista, jännebetonipalkeista sekä kuorilaatastosta. Katetuissa halleissa yläpohja toteutettaisiin TT-laatastolla. Poikkisuuntaan halli olisi mastojäykisteinen ja pituussuunnassa jäykistetty jäykistesauvoilla. Kerrosmäärä voi vaihdella tarvittavan autopaikkamäärän mukaan 2...10 kerrokseen.

Tarkoituksena tässä opinnäytetyössä on käydä läpi kehitettävän parkkihallin mitoitus- ja rakenneratkaisuja. Parkkihallin rakenteiden valintaan sekä raudoitusten määrittelyyn on tarkoitus tehdä excel-pohjainen mitoitusohjelma, joka esivalintojen perusteella antaa tiedot parkkihallin rakenteista. Mitoitusohjelman tulisi antaa vähintään seuraavat tiedot:

- Pilareiden dimensiot, raudoitukset sekä pilarikenkäkoot
- Palkkien dimensiot ja raudoitukset
- Kuorilaataston dimensiot ja raudoitus
- Pintalaatan raudoitus

## 2 PYSÄKÖINTILAITOKSET

### 2.1 Yleistä

Pysäköintilaitoksia tarvitaan koko ajan tiivistyvän kaupunkirakentamisen tarpeisiin niin asumisen, toimistotalojen kuin kaupallisten toimijoidenkin käyttöön. Asemakaava määrää sen, kuinka paljon pysäköintipaikkoja alueelta täytyy löytyä. Asukas pysäköinnissä trendinä on, että taloyhtiöillä ei ole omaa pysäköintikapasiteettia, vaan tarvittava autopaikkamäärä osoitetaan lähialueella sijaitsevasta pysäköintilaitoksesta.

### AUTOPAIKKANORMIT

Käyttötarkoitus	Kaupallinen ydinvyöhyke	Keskustavyöhyke
<b>ASUMINEN</b>		
Kerrostalo	1 ap/2 asuntoa (1 ap / 150 k-m <sup>2</sup> )*	2 ap/3 asuntoa (1 ap / 120 k-m <sup>2</sup> )*
Rivitalo ja kytketty pientalo	1 ap / 110 k-m <sup>2</sup> tai väh. 1 ap / asunto	1 ap / 100 k-m <sup>2</sup> tai väh. 1 ap / asunto
Erillispientalo	1,5 ap / asunto	1,5 ap / asunto
Opiskelija-asuminen	1 ap / 250 k-m <sup>2</sup>	1 ap / 220 k-m <sup>2</sup>
Tehostettu palveluasuminen	1 ap / 450 k-m <sup>2</sup>	1 ap / 400 k-m <sup>2</sup>
Palveluasuminen/senioriasuminen	1 ap / 180 k-m <sup>2</sup>	1 ap / 140 k-m <sup>2</sup>
<b>TOIMISTOT</b>		
	1 ap / 120 k-m <sup>2</sup>	1 ap / 80 k-m <sup>2</sup>
<b>LIIKETILAT</b>		
	1 ap / 100 k-m <sup>2</sup>	1 ap / 80 k-m <sup>2</sup>
<b>ENIMMÄISKEVENNYS</b>		
	30 %	20 %

\* Suluisia olevia arvoja käytetään, mikäli asuntojen lukumäärä ei asemakaavaa laadittaessa ole selvillä

KUVA 1. Kuopion autopaikkanormit (Kuopion keskustapysäköinnin yleissuunnitelma 2017, s.4)

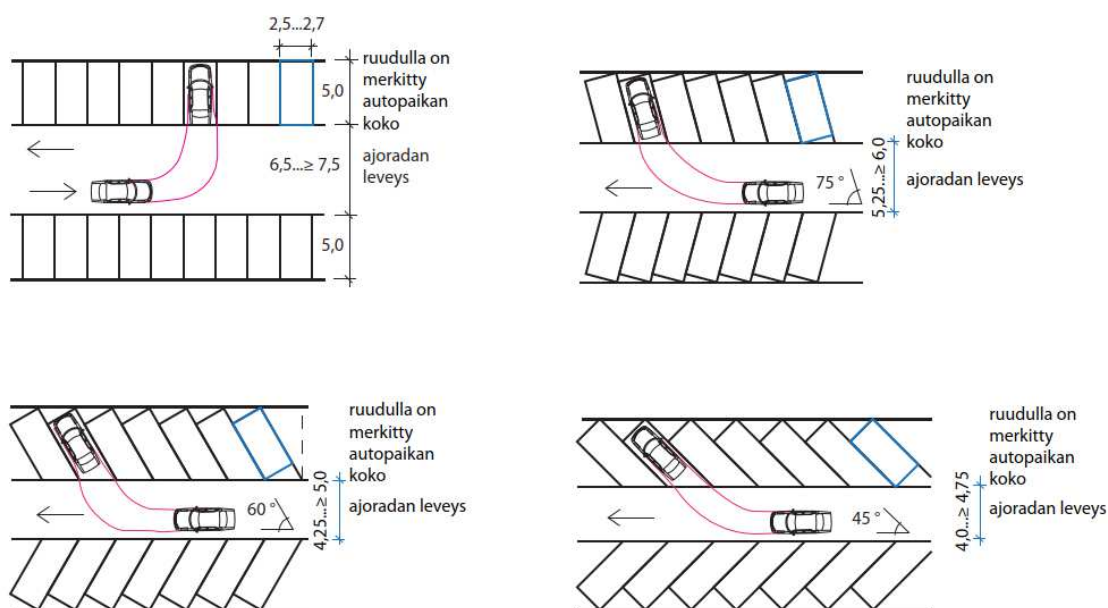
Esimerkkinä yläpuoleisessa kuvassa 1 on Kuopion kaupungin autopaikkanormit, josta näkee pysäköintipaikkojen tarpeen eri käyttötarkoitussyöhykkeillä. Pysäköintipaikan voi osoittaa enintään 300 metrin etäisyydellä olevasta pysäköintilaitoksesta. Kevennystä taulukon autopaikkamäärään voi saada esimerkiksi asiakkaiden käytössä olevasta yhteiskäyttöautosta tai vuorottaiskäytöstä, jossa samoja pysäköintipaikkoja käyttää niin lähialueen asukkaat, toimistotyöläiset kuin liiketilojen käyttäjät, jolloin pysäköintipaikat ovat käytössä ympäri vuorokauden.

### 2.2 Pysäköintihallin koko

Edullisin pohjamuoto pysäköintitalolle niin pysäköinnin kuin rakenteidenkin kannalta on suorakaide, mutta rakennus voidaan toteuttaa tarvittaessa vaikka pyöreänä. Runkoleveyden ja pilarivälin määrää RT-kortin RT 98-11237 vaatimukset pysäköintipaikan koolle ja ajoväylän leveydelle.

autopaikan leveys (vapaan tilan leveys)	2,5 m
ns. perhepaikat	2,8 m
lyhytaikaisten pysäköintipaikkojen leveys (kuten ostoskeskukset)	≥ 2,6 m
seinän vierellä olevan autopaikan leveys	≥ 2,8 m
liikkumisesteisille tarkoitettujen autopaikan leveys	3,6 m
autopaikan pituus	5,0 m
pinta-ala autopaikkaa kohti pysäköintilaitoksissa	25...30 m <sup>2</sup>
jalankulkureitin leveys	≥ 1,8 m

TAULUKKO 1. Pysäköintitilojen mitoitusohjeita (RT 98-11237, s.4)



KUVA 2. Kääntymistilan tilatarve (RT 98-11237, s.4)

RT-kortin mukaisilla autopaikan leveyksillä taloudellisin pilariväli hallin pituus suunnassa on 3 autopaikkaa, joten pilariväliksi muodostuu yleensä 7,5...8,4 metriä autopaikan leveydestä riippuen. Autopaikkojen sekä ajoväylän leveys huomioiden pilariväli hallin poikkisuunnassa on noin 17 metriä, jolloin 2-laivaisen hallin leveys on noin 34 metriä.

Pysäköintihallin minimipituus muodostuu siten, että tasojen kallistuksella päästään yhdellä kierroksella yksi kerros ylöspäin. Esimerkiksi 4 % maksimikallistuksella ja kerroskorkeudella 3300 mm, nousuun tarvittava vaakamatka olisi 82,5 metriä. Kun tämä matka jaetaan kahdelle sivulle ja päätyjen viimeiset pilarivälit (à 7,5 metriä) ovat vaakasuorat, muodostuu hallin pituudeksi 57,5 metriä (täysleveysiin autopaikkoihin pyöristettynä, 2500 mm / autopaikka). Lyhyemmällä hallipituudella myös hallin päätyjen ajoväylät täytyy kallistaa, tämä on kuitenkin haasteellista rakenteiden kannalta.



Pituuskaltevuus (varsinainen rampin osa, johon eivät kuulu taiteloivennukset)		
suorat kokokerrosrampit		
• ulkona	1:10	10 %
• sisällä	1:8	12,5 %
Puolikerrosrampit sisätiloissa	1:7	14 %
Kierrerampin pituuskaltevuus ajoradan keskellä	1:12	8,3 %
Kaltevat pysäköintitasot	≤ 1:25	4 % (5,0 % perustelluista syistä)

KUVA 3. Tasojen/ramppien kaltevuus (RT 98-11237, s.7)

Hallin vaakarakenteille (kuorilaatasto + jännebetonipalkki) käytettävissä olevan korkeuden määrää kerroskorkeuden ja ajoväylän vapaan korkeuden erotus. Vapaassa korkeudessa on huomioitava myös kuorilaataston vastakallistukset (esimerkiksi liikuntasauaman kohdalla) sekä toleranssi (jännebetonipalkkien esikäyryys- sekä taipumaerot).

Vapaa korkeus	Luokitus
2,2...2,3	tiukka
2,4...2,5	normaali
≥ 2,5	väljä

TAULUKKO 2. Ajoväylien korkeus (m) (RT 98-11237, s.7)

### 3 RUNKOSUUNNITTELUUN VAIKUTTAVAT LÄHTÖTIEDOT

#### 3.1 Arkkitehtisuunnittelu

Parkkihallin runkosuunnittelua lähdetään tekemään arkkitehdin suunnitelmien pohjalta. Arkkitehti määrittää parkkihallin tilan käytön kappaleessa 2 esitettyjen vaatimusten mukaan. Esimerkiksi pilarijako on lyöty lukkoon jo siinä vaiheessa, kun parkkiruudun leveys on valittu. Vaadittu vapaa korkeus puolestaan asettaa rajaehdot käytettävissä olevalle rakennekorkeudelle. Normaalia kapeammat pilarivälit (kahden parkkiruudun leveys) pyritään kuitenkin rakennesuunnittelussa siirtämään hallin keskivaiheille liikuntasauaman viereen, jotta liikuntasaumapalkin puristuslaipan kapeampi tehollinen leveys tulee pienemmillä kuormituksilla kompensoiduksi. Myös parkkihallille osoitettu tontti asettaa rakennukselle omat reunaehdonsa.

## 3.2 Seuraamusluokka

Rakennuksen seuraamusluokka määräytyy sen mukaan, millaisen seuraamuksen rakenteen mahdollinen vaurio aiheuttaisi. Seuraamukset ovat vakavia, kun vauriosta voi aiheutua suuria henkilövahinkoja tai hyvin suuria yhteiskunnallisia vaikutuksia. Vähäisiä seuraamuksia puolestaan ovat tavanomaisen rakennuksen vauriot, jossa henkilövahingot ovat vähäisiä ja yhteiskunnalliset merkitykset pieniä tai merkityksettömiä. Kun seuraamukset eivät ole vakavia tai vähäisiä, kuuluvat ne keskisuurten seuraamusten joukkoon. Keskisuurten seuraamusten rakenteiden suunnittelu ja mitoitus edellyttää kuitenkin teoreettisten perusteiden hyvää hallintaa. (Asetus 477/2014/YM: Ympäristöministeriön asetus kantavista rakenteista)

Seuraamusluokka	Kuvaus	Rakennuksia sekä rakenteita koskevia esimerkkejä
CC3	<b>Suuret</b> seuraamukset ihmishenkien menetysten <i>tai hyvin suurten</i> taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	Rakennuksen kantava runko <sup>1)</sup> jäykistävine rakennusosineen sellaisissa rakennuksissa, joissa usein on suuri joukko ihmisiä kuten - yli 8-kerroksiset <sup>2)</sup> asuin-, konttori- ja liikerakennukset - konserttisalit, teatterit, urheilu- ja näyttelyhallit, katsomot - raskaasti kuormitetut tai suuria jännevälejä sisältävät rakennukset. Erikoisrakenteet, kuten esimerkiksi korkeat tornit. Luiskat sekä penkereet ja muut rakenteet, jotka sijaitsevat siirtymien haittavaikutuksille herkissä ympäristöissä erityisesti hienorakeisten maalajien alueilla.
CC2	<b>Keskisuuret</b> seuraamukset ihmishenkien menetysten <i>tai merkittävien</i> taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	Rakennukset ja rakenteet, jotka eivät kuulu luokkiin CC3 tai CC1.
CC1	<b>Vähäiset</b> seuraamukset ihmishenkien menetysten <i>tai pienten tai merkityksettömien</i> taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	1- ja 2-kerroksiset <sup>2)</sup> rakennukset, joissa vain tilapäisesti oleskelee ihmisiä <sup>3)</sup> kuten esim. pienehköt varastot ja maatalouden tuotantorakennukset, joiden pinta-ala on enintään 300 m <sup>2</sup> tai suurin jänneväli enintään 6 metriä. Rakenteet, joiden vaurioitumisesta ei aiheudu merkittävää vaaraa kuten - matalalla olevat terassit ja alapohjat, ilman kellaritiloja - ryömintätilaiset vesikatot, kun yläpohja on varsinainen kantava rakenne - sellaiset ulko- ja väliseinät, ikkunat, ovet ja vastaavat, joihin pääasiassa kohdistuu ilman paine-eroista aiheutuva sivuttaiskuormitus ja jotka eivät toimi kantavan tai jäykistävän rungon osana.

<sup>1)</sup> pienehköt rakennusrungosta erilliset välipohjat kuuluvat kuitenkin luokkaan CC2 elleivät ne toimi koko rakennusta jäykistävänä rakenteena.

<sup>2)</sup> kellarikerrokset mukaan luettuina.

<sup>3)</sup> tilapäisenä oleskeluna pidetään päivittäistä käymistä rakennuksessa, mutta ei siellä pidempään viipymistä.

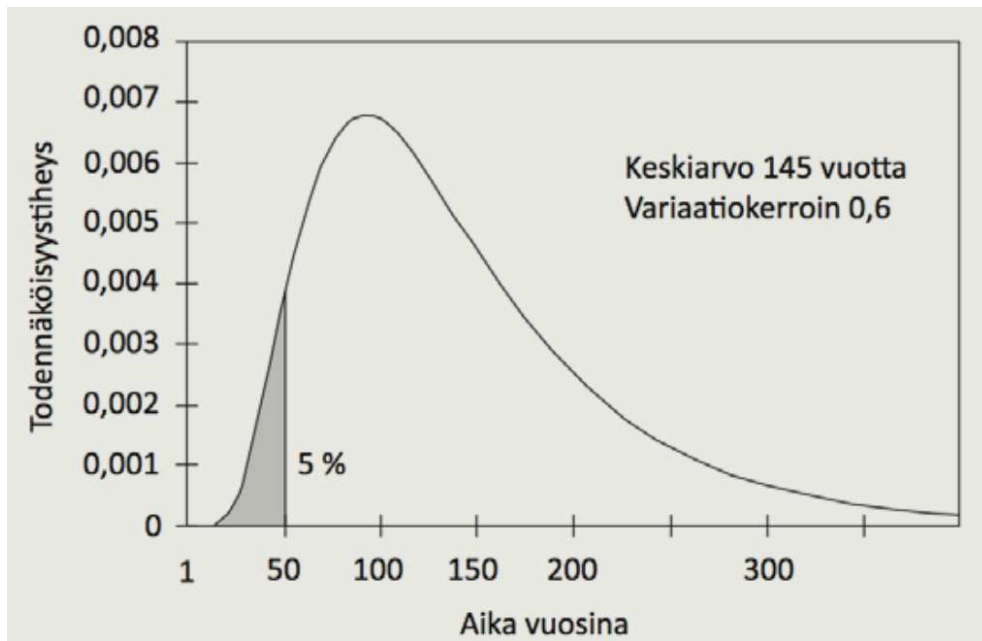
TAULUKKO 3. Seuraamusluokkien määrittely (Suomen rakentamismääräyskokoelma, Rakenteiden lujuus ja vakaus 2016, s.23)

Rakennuksen seuraamusluokka määrittelee luotettavuusluokan (RC1...RC3), josta puolestaan määräytyy kuormitusyhdistelyissä käytettävä  $K_{fi}$ -kerroin.  $K_{fi}$ -kertoimen suuruus määräytyy seuraavasti:

- Seuraamusluokka CC1 → Luotettavuusluokka RC1 →  $K_{fi}=0,9$
- Seuraamusluokka CC2 → Luotettavuusluokka RC2 →  $K_{fi}=1,0$
- Seuraamusluokka CC3 → Luotettavuusluokka RC3 →  $K_{fi}=1,1$

### 3.3 Suunnittelukäyttöikä

Suunnittelukäyttöikä on rakennukselle määritelty käyttöiän vaatimus, jonka ajan rakenteen ominaisuudet säilyvät rakenteelta vaaditulla tasolla edellyttäen, että rakennetta pidetään asianmukaisessa kunnossa. Suunnittelukäyttöikä määritellään yleensä 95 % varmuustasolla käyttäen log-normaalista jakaumaa.



KUVA 4. Käyttöiän jakaumakäyrä, suunnittelukäyttöikä 50 vuotta (by 68. Betonin valinta ja käyttöikäsuunnittelu – opas suunnittelijoille 2016, s.8)

Kuvassa 4 on käyttöiän jakaumakäyrä suunnittelukäyttöiällä 50 vuotta. Tilastollisesti 5 % rakenteista voi vaurioitua ennen 50 vuoden käyttöiän täyttymistä. Huomioitavaa kuitenkin on, että puolet rakenteista kestää lähes 150 vuotta ja pitkäikäisimmät rakenteet yli 300 vuotta. Täten suunnittelukäyttöiän nostamista yli 50 vuoden kannattaa välttää ilman hyviä perusteita, sillä käyttöiän nostamisella on vaikutuksia mm. betonirakenteiden suojabetonipeitteisiin, ja suuremmalla suojabetonipeitteellä betonirakenteen halkeamakestävyys on huonompi, jolloin käyttöikää nostamalla saatetaan käytännössä jopa lyhentää odotettavissa olevaa käyttöikää. Tämä konkretisoituu esimerkiksi betonikonsoleissa, joiden nurkat lohkeavat sitä herkemmin, mitä suurempi suojabetoni on. Suuria suojabetonipeitteitä voidaan pienentää käyttämällä käyttöikälaskentaa suojabetonipeitteen vähimmäisarvon määrittelyssä taulukkoarvojen sijaan.

Laskennallinen käyttöiän laskenta karbonatisoitumisen suhteen lasketaan betoninormit by 65-2021 mukaan kaavalla 1:

$$t_L = t_{Lr} * A * B * C * D * E * F * G \quad (1)$$

missä:  $t_L$  on käyttöikä

$t_{Lr}$  on vertailukäyttöikä (50 vuotta)

A...G on eri tekijöitä huomioon ottavia käyttöiän kertoimia

Kerroin	Tekijä	Suunnitteluparametrit
A	Materiaalit, huokoisuus	Betonin lujuus, sementtityyppi, ilmahuokoisuus
B	Suunnittelu, rakenneyksityiskohdat	Betonipeitepaksuus, pinnoite
C	Työnsuoritus	Jälkihoitoaika
D	Sisäilmasto	–
E	Ulkoinen säärasitus	Rasitusluokka, ilmansuunta, rakennuksen maantieteellinen sijainti, pakkasvaurioitumisen vaikutus
F	Käyttörasitus	–
G	Huoltotoimenpiteet	Tarkastus- ja hoitoväli

TAULUKKO 4. Karbonatisoitumiskertoimiin vaikuttavat tekijät ja suunnitteluparametrit (by 65. Betoninormit 2021, s.144)

Taulukossa 4 on esitetty kaikki ne tekijät, joiden kautta voi vaikuttaa laskennalliseen käyttöikään. Yleisin tapa on nostaa käytettävän betonin lujuusluokkaa, jonka seurauksena kerroin  $A_1$  suurenee (Taulukko 5) ja tällöin betonipeitteen vähimmäisarvoa voi pienentää siten, että kertoimien  $A_1 B_1$  tulo pysyy vähintään alkuperäisen suuruisena. Lähtötilanteessa betonin lujuusluokka määräytyy rasitusluokan vähimmäislujuusluokan mukaan.

Lujuusluokka	Kerroin $A_1$
C20/25	0,72
C25/30	0,95
C30/37	1,41
C35/45	2,22
C40/50	2,95
C45/55	3,90
≥ C50/60	5,15

TAULUKKO 5. Käyttöiän kerroin  $A_1$  karbonatisoitumisen suhteen (by 65. Betoninormit 2021, s.145)

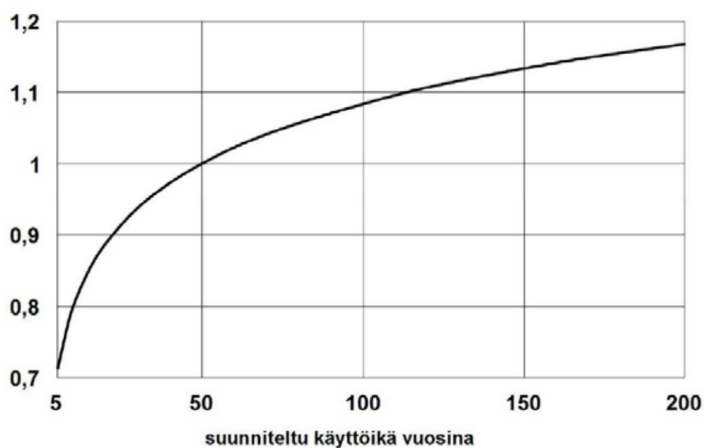
Betonipeitteen vähimmäisarvo	Kerroin $B_1$	
	Betoniraudoitus	Jänneraudoitus
5	0,04	0,03
10	0,16	0,11
15	0,36	0,25
20	0,64	0,44
25	1,00	0,69
30	1,44	1,00
35	1,96	1,36
40	2,56	1,78
45	3,24	2,25
50	4,00	2,78
55	4,84	3,36
60	5,76	4,00

TAULUKKO 6. Käyttöiän kerroin  $B_1$  karbonatisoitumisen suhteen (by 65. Betoninormit 2021, s.146)

Rakenteen suunnittelukäyttöikä vaikuttaa betonirakenteilla raudoitteiden suojabetonipeitteen paksuuteen, kuten edellä on mainittu. Taulukossa 7 on betonipeitteen vähimmäisarvot eri rasisluokkien ja käyttöikävaatimusten yhdistelmille.

Suojabetonipeitteen lisäksi käyttöikävaatimus vaikuttaa mitoituksessa käytettävien luonnonkuormien (lumi- ja tuulikuormat) suuruuteen  $c_{\text{prob}}^2$ -kertoimen kautta.  $c_{\text{prob}}^2$ -kerroin käyttöiän mukaan:

- käyttöikävaatimus 50 vuotta  $\rightarrow c_{\text{prob}}^2 = 1.0$
- käyttöikävaatimus 100 vuotta  $\rightarrow c_{\text{prob}}^2 = 1.1$



KUVA 5. Suunnittelun käyttöiän vaikutus luonnonkuormien  $c_{\text{prob}}^2$ -kertoimeen (Elementtisuunnittelu.fi, suunnittelukuormat)

### 3.4 Rasisluokat

Betonirakenteille määritelty rasisluokka kuvaa sitä, millaisiin ympäristöolosuhteisiin rakenne käyttökänsä aikana joutuu. Rasisluokka yhdessä käyttöikävaatimuksen kanssa määrittää raudituksen suojabetonipeitevaatimuksen.

Rasisluokka	Betonipeitteen vähimmäisarvo 50 vuoden käyttöiälle [mm]		Betonipeitteen vähimmäisarvo 100 vuoden käyttöiälle [mm]	
	Betoniteräs	Jänneteräs	Betoniteräs	Jänneteräs
X0	10	10	10	10
XC1	10	20	10	20
XC2	20	30	25	35
XC3, XC4	25	35	30	40
XS1, XD1	30	40	35	45
XS2, XD2	35	45	40	50
XS3, XD3	40	50	45	55

TAULUKKO 7. Betonipeitteen vähimmäisarvo säilyvyyden suhteen eri rasisluokissa (Auvinen, Tommi 2023)

Rasitusluokat eri vauriomekanismeittain eroteltuna:

- X0 → Ei korroosion tai syöpymisrasituksen riskiä
- XC → Karbonatisoitumisen aiheuttama teräskorroosio
- XD → Muun kuin meriveden kloridien aiheuttama teräskorroosio
- XS → Meriveden kloridien aiheuttama teräskorroosio
- XF → Jäätymis-sulamisrasitus
- XA → Kemiallinen rasitus

Rasitusluokka-yhdistelmä	Selite
X0	Raudoittamattomat rakenteen kuivissa sisätiloissa
XC1	Raudoitetut rakenteet kuivissa sisätiloissa
XC2	Maanalaiset rakenteet, rakenne pysyy erittäin kosteana
XC3	Sateelta suojattu ulkorakenne, ei pakkasrasitusta (kosteuspitoisuus alhainen)
XC3; XF1	Sateelta suojattu pystyrakenne, pakkasrasitus
XC3,4; XF1	Osittain sateelta suojattu pystyrakenne, pakkasrasitus
XC3,4, XF3	Sateelta osittain tai kokonaan suojaamaton vaakarakenne, pakkasrasitus
XC4, XF3	Sateelle altis suojaamaton vaakarakenne, pakkasrasitus
XC3; XD1	Kloridirasitetut rakenteet sisätiloissa
XC3; XF2; XD1	Sateelta suojattu, sateelta suojaamaton tai osittain sateelta suojattu rakenne, kloridirasitus ja lievä pakkas-suolarasitus. XD-luokka on vaativampi kuin XC-luokka ja siten XC-luokalla ei ole merkitystä
XC4; XF2; XD1	
XC3,4; XF2; XD1	Sateelta suojattu, sateelta suojaamaton tai osittain sateelta suojattu rakenne, kloridirasitus ja ankara pakkas-suolarasitus. XD-luokka on vaativampi kuin XC-luokka ja siten XC-luokalla ei ole käytännössä merkitystä
XC3; XF4; XD2	
XC4; XF4; XD2	
XC3,4; XF4; XD2	
XC2; XS2	Merivedenalainen rakenne
XC3,4; XF4; XS3	Merenrannalla, roiskevyöhykkeessä oleva rakenne

TAULUKKO 8. Tyypillisimmät rasitusluokkayhdistelyt (by 68. Betonin valinta ja käyttöikäsuunnittelu – opas suunnittelijoille 2016, s.31)

### 3.5 Palonkestoaikavaatimus

Palonkestoaikavaatimus määrittää rakenteiden vähimmäisdimensiot sekä raudoitteiden betonipeitteen vähimmäisarvot. Palonkestoaikavaatimus määräytyy rakennuksen paloluokan (P0...P3) mukaan, joka puolestaan määräytyy rakennuksen koon, käyttötarkoituksen sekä kantavien rakenteiden materiaalin perusteella.

Taulukossa 9 on esimerkkinä vapaasti tuetun jännebetonipalkin vähimmäismitat sekä raudoitteiden keskiöetäisyyksien vähimmäisarvot. Huomioitavaa on, että jännebetonirakenteissa taulukosta saatua keskiöetäisyyden vähimmäisarvoa on suurennettava standardin SFS-EN 1992-1-2 + AC kohdan 5.2(5) mukaisesti.

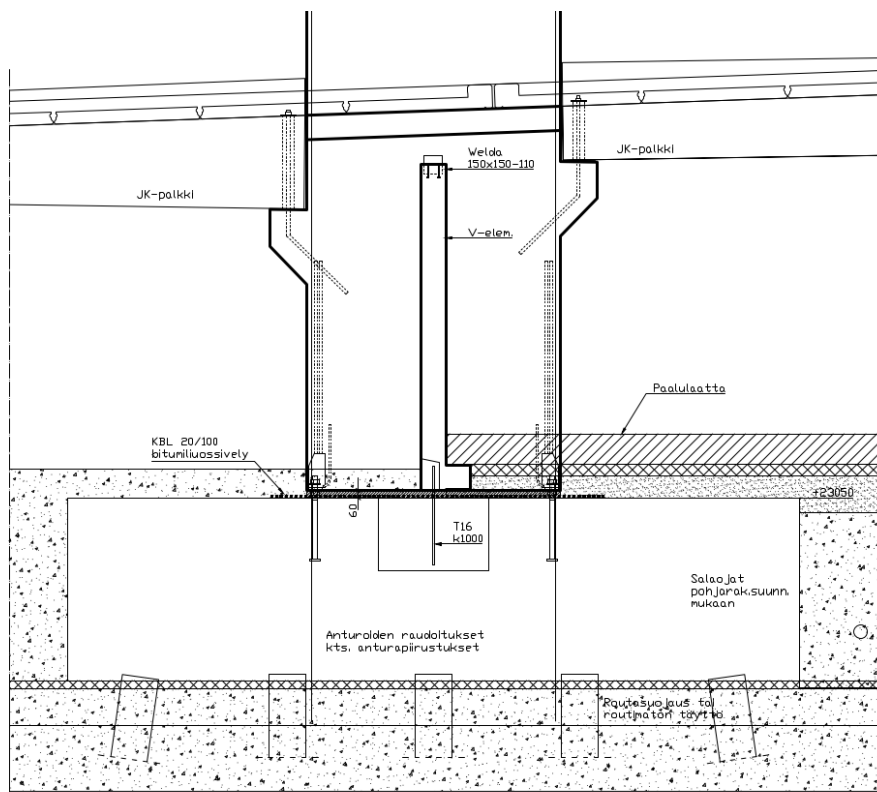
Standardipalon-kestävyys	Vähimmäismitat (mm)						
	Keskimääräisen keskiöetäisyyden $a$ ja palkin leveyden $b_{min}$ mahdolliset yhdistelmät				Uuman paksuus $b_w$		
					Luokka WA	Luokka WB	Luokka WC
1	2	3	4	5	6	7	8
R 30	$b_{min} = 80$ $a = 25$	120 20	160 15*	200 15*	80	80	80
R 60	$b_{min} = 120$ $a = 40$	160 35	200 30	300 25	100	80	100
R 90	$b_{min} = 150$ $a = 55$	200 45	300 40	400 35	110	100	100
R 120	$b_{min} = 200$ $a = 65$	240 60	300 55	500 50	130	120	120
R 180	$b_{min} = 240$ $a = 80$	300 70	400 65	600 60	150	150	140
R 240	$b_{min} = 280$ $a = 90$	350 80	500 75	700 70	170	170	160
$a_{sd} = a + 10 \text{ mm}$ (ks. alla olevaa huomautusta)							
<p>Jännebetonipalkeissa otetaan huomioon keskiöetäisyyden suurentaminen kohdan 5.2. (5) mukaisesti.</p> <p><math>a_{sd}</math> on nurkkatankojen (tai -jänteen tai -langan) keskiöetäisyys palkin sivuilta, kun rauditus on yhdessä kerroksessa. Palkin leveyden <math>b_{min}</math> ollessa sarakkeen 4 mukaista arvoa suurempi ei keskiöetäisyyttä <math>a_{sd}</math> tarvitse suurentaa.</p> <p>* Tavallisesti standardin EN 1992-1-1 edellyttämä raudituksen betonipeite on määräävä.</p>							

TAULUKKO 9. Vapaasti tuettujen teräsbetoni- tai jännebetonipalkkien vähimmäismitat ja keskiöetäisyyden vähimmäisarvot (SFS-EN 1992-1-2 + AC. s.270)

## 4 PARKKIHALLIN RAKENTEET

### 4.1 Anturat

Parkkihalli perustetaan yleensä maanvaraisten anturoiden tai paaluanturoiden varaan. Perustusten koko ja rauditus riippuu kuormituksen lisäksi myös pohjarakennesuunnittelijan pohjatutkimuslausesta, josta selviää suositeltava perustamistapa sekä perustusten laskennassa käytettävät mitoitusparametrit. Näin ollen perustusten kokoa ja rauditusta on hyvin vaikea taulukoida pelkän kuormitustiedon varassa. Työn rajaamiseksi anturoiden mitoitus jätetään pois tästä opinnäytetyöstä.

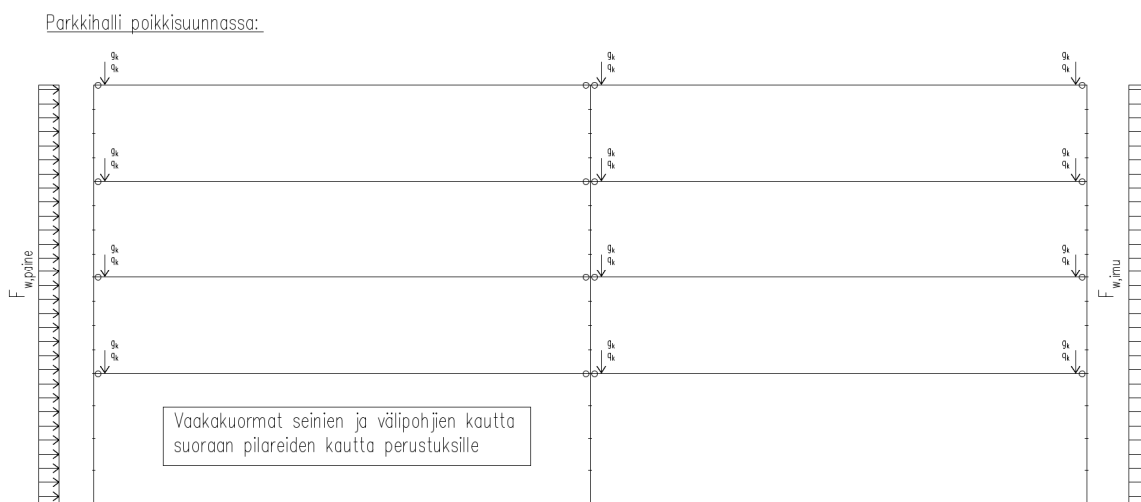


KUVA 6. Esimerkkileikkaus paaluperusteisesta anturasta (Auvinen, Tommi 2023)

### 4.2 Pilarit

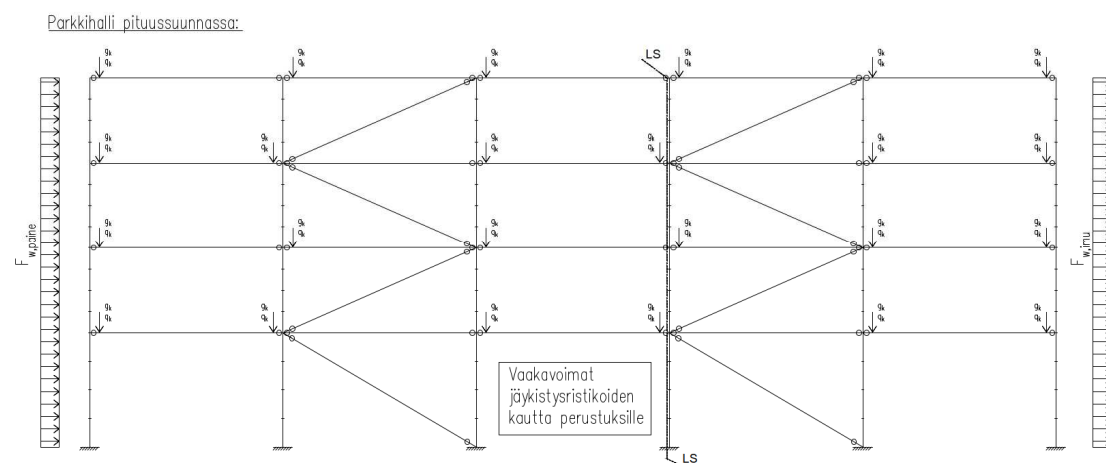
Pilarit mitoitetaan jäykistämään parkkihalli poikkisuunnassa, eli pilarit ovat ns. mastopilareita. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että pilarit kiinnitetään perustuksiin jäykästi ja ne välittävät pystykuormien lisäksi myös vaakakuormat ulkoseinä- sekä tasorakenteiden välityksellä suoraan perustuksille. Pilarit suunnitellaan jakamaan jäykistysvoimat niiden jäykkyyksien suhteessa, joten 2-laivaisessa hallissa leveä keskipilari, eli "levypilari" ottaa valtaosan jäykistävästä voimista. Palkit kiinnittyvät pilareihin nivelellisesti, mutta liitoksen on siirrettävä kuitenkin vaakavoimia pilareiden välillä. Korkeammissa parkkihalleissa pilareissa käytetään pulttijatkoksia. Jatkokset ovat yleensä asennuksessa käytettävän nosturin nostokapasiteetin mukaan jaoteltuja. Alimman kerroksen pilareiden mitoituksessa on huomioitava myös perustusten myötäämisen vaikutus, jota voidaan ilman tarkempaa analyysiä arvioida by 16 liite S12 mukaisesti. Käytännössä liitteen mukaisesti laskemalla alimman pilarin nurjahduspiututta tulee kasvattaa 5 %:lla, jotta maapohjan vaikutus tulee huomioiduksi.





KUVA 7. Pilareiden mitoitusperiaate hallin poikkisuunnassa (Auvinen, Tommi 2023)

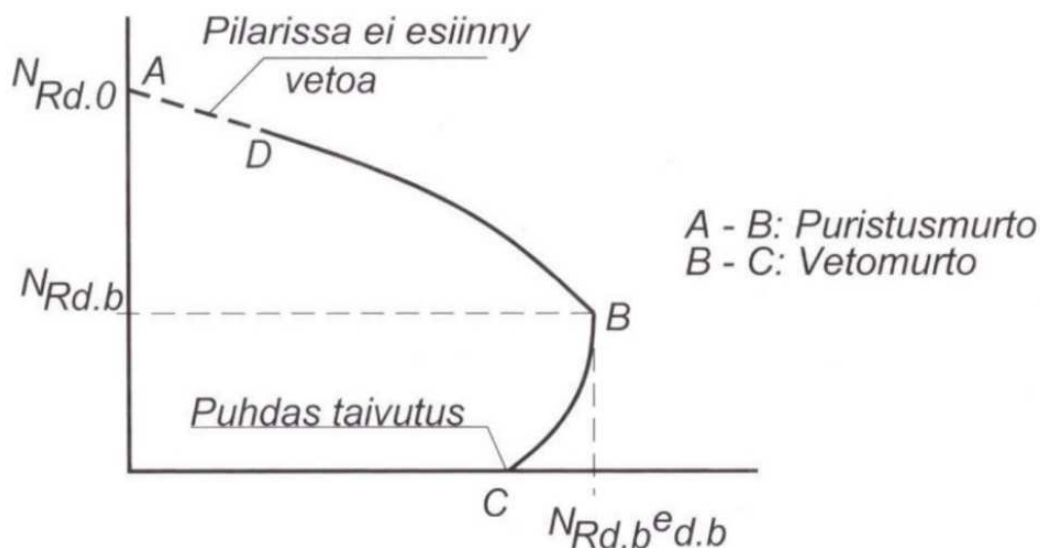
Hallin pituussuunnassa vaikuttavat vaakakuormat ohjataan pilariväleissä olevien jäykistysristikoiden kautta perustuksille. Näin ollen pilarien leveys pysyy maltillisena hankaloittamatta parkkiruutujen suunnittelua.



KUVA 8. Pilareiden mitoitusperiaate hallin pituussuunnassa (Auvinen, Tommi 2023)

Pilareissa vaikuttavat voimasuuret saadaan ratkaistuksi erinäisillä kehä- tai FEM-laskentaohjelmilla. Tässä työssä pilarit mitoitetaan sekä KEXE2-kehämitoitushjelmalla sekä vertailun vuoksi kahdella eri FEM 3D-laskentaohjelmalla, FEM-Designilla sekä Scia Engineer-ohjelmalla. FEM-laskentaohjelmilla voidaan normaalien mitoitustilanteiden lisäksi huomioida myös kutistuminen ja viruminen sekä lämpöliikkeistä aiheutuvat rasitukset rakennuksen rungolle.

Pilarien "käsinlaskennassa" voidaan käyttää hyväksi valmiiksi laskettuja kuvan 10 mukaisia yhteisvaikutusdiagrammeja. Diagrammit esittävät pilarin murtumiseen johtavat normaalivoiman ja momentin eri suhteet.

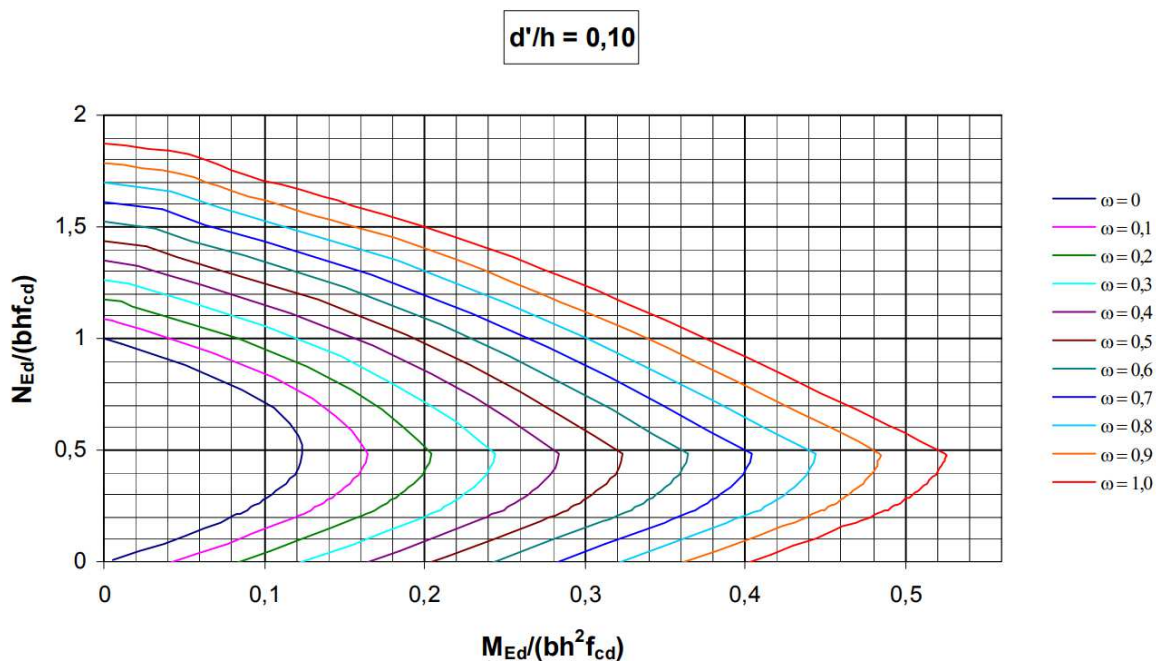


KUVA 9. Normaalivoiman ja momentin yhteisvaikutusdiagrammi (by210. Betonirakenteiden suunnittelu ja mitoitus 2015. s.216)

Diagrammit on laadittu laskemalla kapasiteetit pisteisiin A, B ja C, jonka jälkeen pisteet yhdistämällä on saatu yhtenäinen käyrä, jonka sisällä poikkileikkauksen kapasiteetti eri normaalivoiman ja momentin suhteilla on helposti luettavissa.

Pisteessä A vaikuttaa poikkileikkaukseen pelkästään keskeinen normaalivoima. Tällöin momentti on nolla ja puristuskestävyys maksimissaan. Tässä pisteessä pilarin normaalivoimakestävyys koostuu betonin ja raudituksen yhteenlasketusta puristuskestävyydestä. Tasapainomurto tapahtuu pisteessä B, eli rauditus saavuttaa myötövenymän samalla kun betoni saavuttaa murtopuristuman arvon puristetulla reunalla. Pisteessä C puolestaan normaalivoima on nolla, joten kyseessä on puhdas taivutusmurto. Pisteiden A ja B väliin sijoittuu neljäs piste D, jossa poikkileikkaukseen kohdistuu normaalivoiman lisäksi momenttia, mutta momentti on A:n ja D:n välillä niin pieni, että koko poikkileikkaus pysyy edelleen puristettuna. Näin ollen lasketun normaalivoiman ja momentin yhteisvaikutuspisteen ylittäessä kapasiteettiviivan pisteiden A ja B välillä, pilarin murtotapa on puristusmurto. Jos taas yhteisvaikutuspiste ylittää kapasiteettiviivan pisteiden B ja C välillä, murtotapa on vetomurto.

Kuvassa 10 on esimerkki yhteisvaikutusdiagrammista eri rauditussuhteilla, kun  $d'/h=0,10$ . Termi  $d'/h$  tarkoittaa raudituksen keskiöetäisyyden suhdetta tarkastelusuunnan sivumittaan. Määritettäessä vaadittua mekaanista rauditussuhdetta, valitaan aina diagrammi, joka on  $d'/h$  -suhteeltaan yhtä suuri tai suurempi kuin laskettavan pilarin  $d'/h$ .

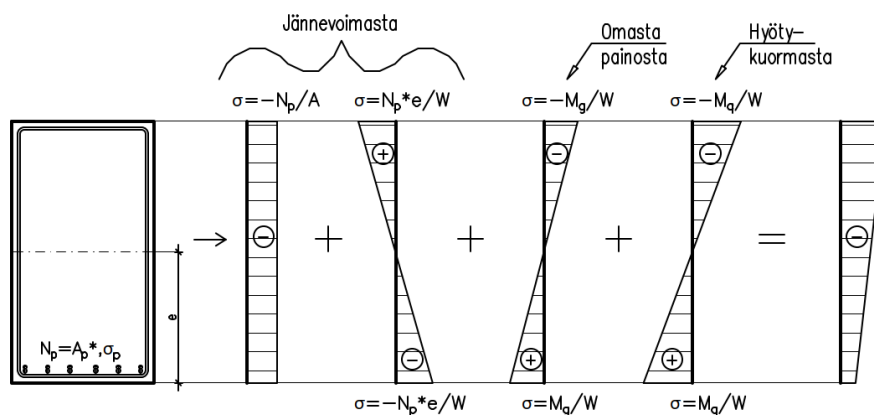


KUVA 10. Suorakaidepilareiden yhteisvaikutusdiagrammi, kun  $d'/h=0,10$  (Betoniteollisuus ry. Betonirakenteiden suunnittelu eurokoodien mukaan, Osa 5. Pilarit)

Pilarien tarkempaa mitoitusta ei tässä työssä aiheen rajauksen vuoksi käsitellä tätä tarkemmin. Käsinlaskenta perustuu joko nimellisjäykkyyteen perustuvaan menetelmään (SFS-EN 1992-1-1 +A1 + AC kohta 5.8.7) tai nimelliseen kaarevuuteen perustuvaan menetelmään (SFS-EN 1992-1-1 +A1 + AC kohta 5.8.8). FEM 3D-ohjelmilla tehdyt laskelmat perustuvat puolestaan yleiseen menetelmään (SFS-EN 1992-1-1 +A1 + AC kohta 5.8.6), joka perustuu epälineaariseen analyysiin, joka betonin materiaalisen epälinearisuuden lisäksi sisältää myös geometrisen epälinearisuuden.

### 4.3 Palkit

Kuorilaatastoa kannattelevat palkit ovat esijännitetyjä teräsbetonipalkkeja (myöhemmin JK-palkit). JK-palkit valmistetaan elementtitehtaan pitkällä valupedillä, johon jännepunokset jännitetään tiettyyn jännitykseen. Betonin kuivuttua laukaisulujuuteen, punosten jännitys vapautetaan, jolloin punosten esijännitysvoima aiheuttaa palkkiin pitkittäissuuntaisen normaalivoiman. Tämä puristava normaalivoima vaikuttaa positiivisesti rakenteen reunajännityksiin, jonka myötä halkeilukapasiteetti kasvaa ja taipuma pienenee. Puristava normaalivoima parantaa myös rakenteen leikkausvoimakapasiteettia. Kuvassa 11 on kuvattu reunajännitysten muodostuminen esijännitettyssä teräsbetonipalkissa. Kuvasta huomataan, että esijännityksen ansiosta on mahdollista toteuttaa rakenteita, jotka pysyvät alapinnastaan puristettuina myös kuormitettuna. Alapinnan reunajännityksillä on merkitystä rakenteen käyttöikänsä, sillä tietyillä rasisuusluokan ja kuormayhdistelmien yhdistelmillä vaaditaan vetojännityksetöntä tilaa.



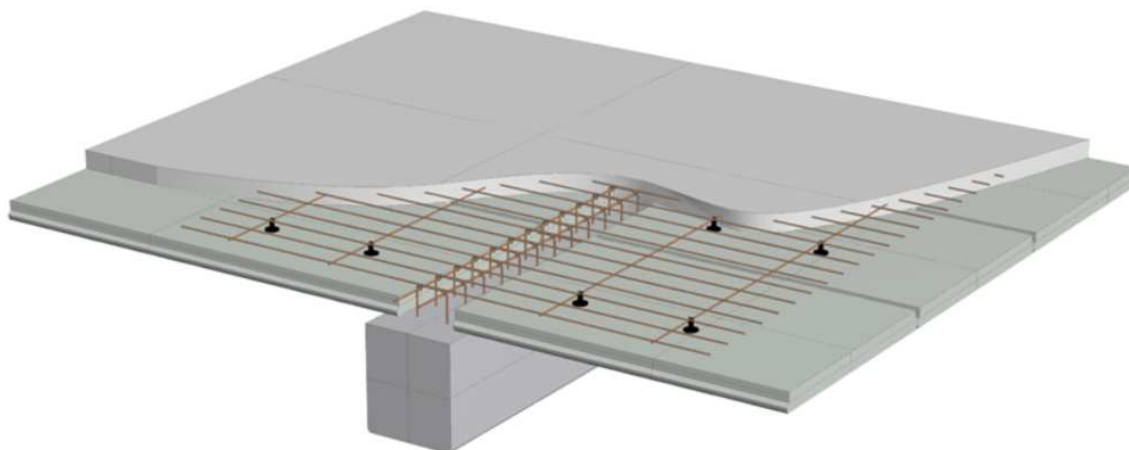
KUVA 11. Reunajännityksen muodostuminen esijännitetyllä teräsbetonipalkilla (Auvinen, Tommi 2023)

Esijännitysvoimalla on myös negatiivisia vaikutuksia rakenteen toimintaan, jotka täytyy JK-palkkien raudoituksessa ottaa huomioon. Tällaisia ovat mm. punosten aiheuttama halkaisuvoima rakenteen päissä, mahdollinen kaareutuminen ylöspäin sekä rakenteen kokoonpuristuma viruman vaikutuksesta. Negatiivisten vaikutusten haittoja voidaan kuitenkin lieventää, kun poikkileikkaus valitaan kuormille ja jänneväliille sopivaksi.



KUVA 12. JK-palkit valulinjastolla ja varastoinnissa (Korhonen, Ari 2022)

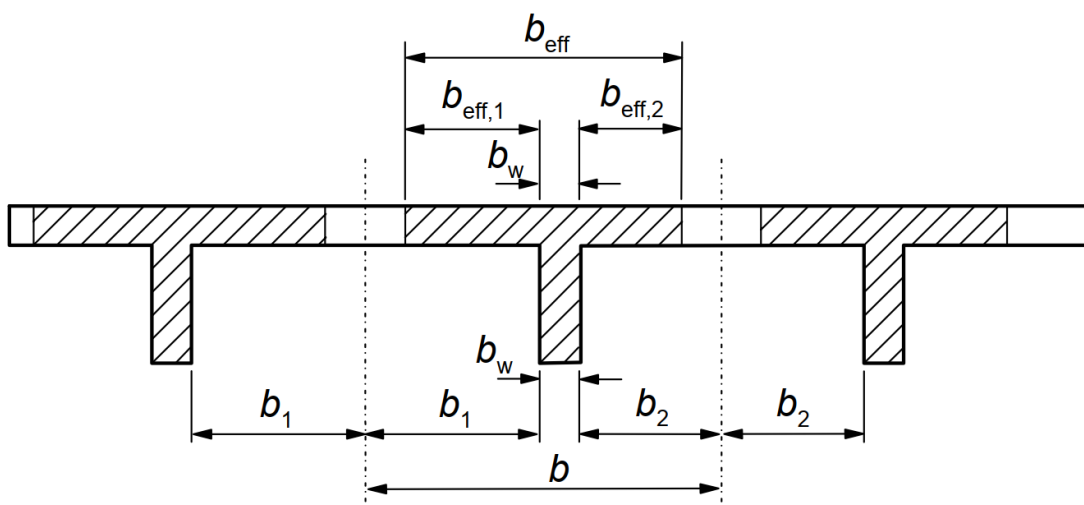
Tämän opinnäytetyön mukaisessa parkkihallissa JK-palkit toimivat liittorakenteena yhdessä kuorilaa-  
taston kanssa. Liittorakenteen ansiosta välipohjan rakennepaksuus pienenee ja kerroksen vapaa kor-  
keus kasvaa. Liittorakenteiden toimintaa on selostettu tarkemmin luvussa 5 Liittorakenteet.



KUVA 13. JK-palkin ja kuorilaataston muodostama liittorakenne (Elementtisuunnittelu.fi)

Eurokoodin SFS-EN 1992-1-1 kohdan 5.3.2.1 (3) mukaan palkin toimiva puristuslaipan leveys  $b_{eff}$  saadaan kaavasta 2:

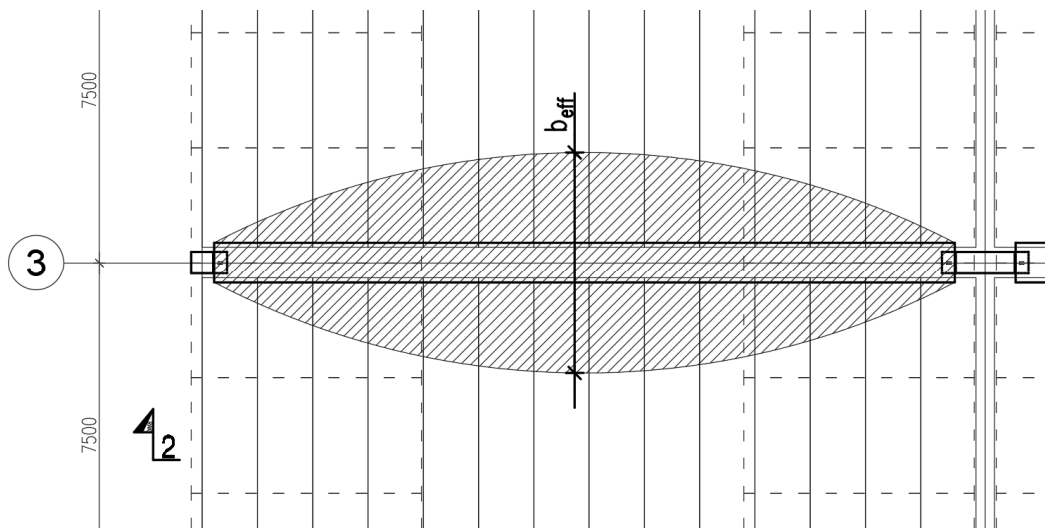
$$b_{eff} = \sum b_{eff,i} + b_w \leq b \quad (2)$$



KUVA 14. Laipan toimivan leveyden parametrit (SFS-EN 1992-1-1, s.58)

Eurokoodin mukainen liittovalun tehollinen leveys  $b_{eff}$  on aina teoreettista puristuslaipan maksimileveyttä  $b$  kapeampi, sillä se huomioi niin sanotun "shear lag" -ilmiön. Ilmiöllä ei ole varsinaista suomennotusta, mutta jossain julkaisussa samaisesta asiasta puhutaan termillä "leikkausviiveilmiö". Ilmiöllä tarkoitetaan sitä, kun laatan tasossa esiintyvien palkin suuntaisten leikkausmuodonmuutoksien vaikutuksesta kaikki palkin suuntaiset laatan kaistat eivät deformoidu samaan tahtiin, vaan palkista kauimpana olevat osat "jäävät jälkeen" palkin kohdalle syntyvistä muodonmuutostiloista (by 58. Liittorakenteiden suunnittelu ja mitoitus. s.36). Tämän seurauksena edettäessä palkin uumasta reunoja kohden, puristusjännitysresultantti pienenee.

Todellisuudessa tehollinen leveys ei ole vakio, vaan sen suuruus riippuu tarkastelupaikasta sekä kuormituksen jakautuneisuudesta. Tasaisesti kuormitetulla palkilla tehollisen leveyden maksimiarvo on momentin maksimin kohdalla, jännevälin keskellä kuvan 15 mukaisesti.



KUVA 15. Liittovalun todellisen tehollisen leveyden periaate palkin pituussuunnassa (Auvinen, Tommi 2023)

JK-palkkien mitoituksen periaate on, että kuorilaatat voidaan asentaa tukemattomien JK-palkkien päälle, mutta ennen pintalaatan valamista palkit kuitenkin tuetaan kolmasosapisteistä. Tuenta edesauttaa saavuttamaan säilyvyyden kannalta alapinnan reunajännitykset sallituissa rajoissa. Tuennan poiston jälkeen lisääntyy myös yläpinnan puristusjännitys JK-palkkien suunnassa, kun rakenne painuu oman painon vaikutuksesta alaspäin. Kuorilaattojen jännevoima puolestaan aiheuttaa laatan päähän ylöspäin suuntautuvan kiertymän, joka aiheuttaa puristusjännitystä tukialueelle myös palkkiin nähden poikkisuunnassa. Tämän molempiin suuntiin puristetun rakenteen ansiosta saavutetaan välipohjalta vaadittu vesitiiveys.

JK-palkkien mitoitus "käsin" on hyvin työlästä, varsinkin kun kyseessä on liittorakenteena toimiva rakenne. Työn rajaamiseksi käsinlaskenta jätetään tästä työstä kokonaan ulkopuolelle. Jännitettyjen rakenteiden laskentaan löytyy tiedonhaluisille hyviä ohjeita, kuten Jussi Pylkkösen opinnäytetyö "Jännebetonirakenteiden suunnitteluohje". Omaan opinnäytetyöhöni liittyvät laskelmat olen tehnyt JbPalkkiEC2-ohjelmalla.

#### 4.4 Kuorilaatasto

Kuorilaatat ovat jännepunoksilla esijännitettyjä umpilaattaelementtejä, jotka yhdessä työmaalla valettavan pintalaatan, eli liittovalun kanssa muodostavat yhteen suuntaan kantavan liittorakenteen. Kuorilaattojen paksuus vaihtelee yleensä 100...150 mm:iin ja vakioleveys on 1200 mm. Kuorilaatan päälle valettavan liittovalun paksuus  $h_c \geq 80$  mm. Kuorilaatan rauditus mitoitetaan siten, että se



riittää valmiin rakenteen kentässä esiintyvälle mitoitusmomentille. Liittovaluun tarvitsee asentaa työmaalla vain sauma-, rengas-, jako- sekä tukirauditus.



KUVA 16. Kuorilaattoja varastoituna tehtaan pihalla (Auvinen, Tommi 2013)

Liittovaikutuksen aikaansaamiseksi kuorilaatan yläpintaan asennetaan kuvan 17 mukaiset ansasraudoitteet, jotka yhdessä kuorilaatan pinnan karheuden kanssa varmistavat työsauman riittävän tartunnan. Ansaat toimivat yleensä myös kuorilaattojen nostolenkkeinä.



KUVA 17. Kuorilaatan ansas (Auvinen, Tommi 2013)

Elementin paksuudesta ja jännevälistä riippuen, kuorilaatat saattavat tarvita asennusaikaista tuentaa jännevälän keskelle tai kolmasosapisteisiin. Parkkihalleissa kuorilaatan paksuus sekä rauditus pyritään kuitenkin valitsemaan siten, että asennusaikaista tuentaa ei liittovalun aikana tarvittaisi.

Jotta kuorilaatat säilyvät halkeilematta asennusaikaisten kuormien (omapaino + liittovalu) vaikutuksesta, suurin momentti kuormituksesta  $g_{as}$  voi olla enintään kaavan 3 mukainen (Suomen Betoniyhdistys ry & Teräsrakenneyhdistys ry 2012, 262.)

$$M_{g,as,max} = r_t W_{cp} f_{ctm}(t_{as}) + P_{m0} \left( \frac{2}{3} h_p - e_p \right), W_{cp} = \frac{b h_p^2}{6} \quad (3)$$

missä:

$r_t < 1$	on betonin vetojännitysuhde = $\sigma_{ct,max}/f_{ctm}(t_{as})$
$f_{ctm}(t_{as})$	on betonin keskivetolujuus asennusaikana
$P_{m0}$	on jännevoiman suuruus = $A_p \sigma_{pm0}$
$A_p$	on jänneterästen poikkileikkausala leveydellä $b$
$\sigma_{pm0}$	on jänneterästen jännitys asennusaikana
$e_p$	on jännevoiman vaikutuskohdan etäisyys laatan alapinnasta
$h_p$	on laattaelementin paksuus

Väliaikaisten tukien määrä ja sijoitukset määritellään momentin  $M_{g,as,max}$  perusteella.

Kuorilaatat voidaan mitoittaa yksiaukkoisuuden lisäksi myös jatkuvana laatastona, jolloin välituet raudoitetaan lasketulle tukimomentille. Parkkiahalleissa kuorilaatat mitoitetetaan yksiaukkoisina, mutta pintalaatan raudoituksessa on huomioitava kuitenkin mm. jännevoiman ja kutistumaeron vaikutukset tukimomenttiin. Osiossa 4.4.1 "Kuorilaatan pintalaatan raudoitus" lisää aiheeseen liittyen. Parkkihallin kuorilaattojen mitoituksessa määrääväksi tekijäksi tulee yleensä liittovalun aikainen taipuma, koska kuorilaataston tuentaa liittovalun aikana halutaan välttää. Kuorilaatat suunnitellaan standardin SFS-EN 13747 + A2 mukaan. Standardi antaa määräyksiä mm. jännepunosten sekä ansaiden sijoitteluun liittyen.

Kuten JK-palkkienkin osalta tehtiin, rajataan kuorilaattojen varsinainen mitoitus pois tästä opinnäytetyöstä aiheen laajuuden tähden. Kuorilaattojen mitoitus tähän opinnäytetyöhön liittyen on tehty JbPalkkiEC2-mitoitusohjelmalla.

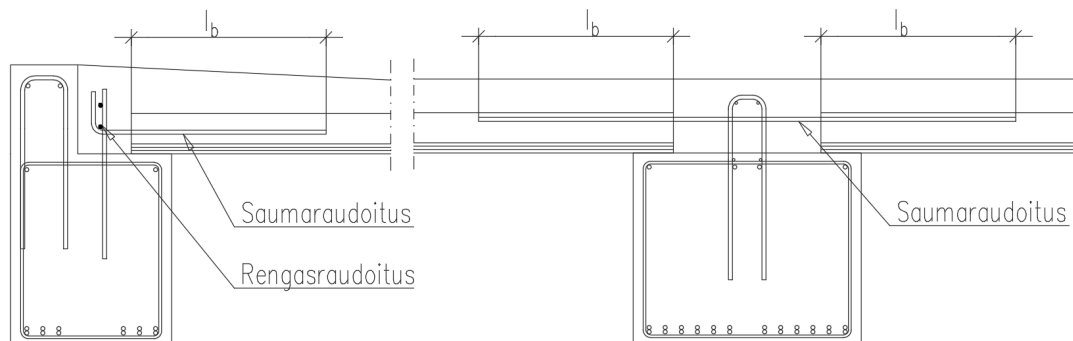
#### 4.4.1 Kuorilaatan pintalaatan raudoituksesta

Kuorilaataston pintalaatan raudoituksessa tulee huomioida useita eri asioita, joita tässä kappaleessa käydään pintapuolisesti läpi. Pintalaatan raudoitus kuuluu rakennesuunnittelijan toimenkuvaan, mutta ilman ymmärrystä jännitettyjen betonirakenteiden toiminnasta, on rakennesuunnittelijan vaikea osata huomioida kaikkia huomioon otettavia tekijäitä.



## 4.4.1.1 Rengas- ja saumaraudoitus

Ensimmäisenä pintalaattaan tulee sijoittaa rengas- ja saumateräkset. Laataston reunoille sijoitettava rengasraudoitus toimii vetoraudoituksena, kun laatasto toimii runkoa jäykistävänä levyrakenteena siirtäen vaakavoimat jäykistäville rakenteille niiden jäykkyyksien suhteessa.



KUVA 18. Rengas- ja saumaraudoituksen sijoitusperiaate kuorilaatastossa (Auvinen, Tommi 2023)

Rengasraudoitus on myös osa rakennuksen sideraudoitusta, jonka tarkoitus on estää paikallisen vaurion aiheuttama jatkuva sortuma. Murtorajatilatarkastelun lisäksi rengasraudoitus mitoitetaan onnettomuusrajatilassa Betoninormikortti 23 mukaan. Rengasraudoituksen tulee kestää vähintään seuraavat voimat:

$$T_1 = \begin{cases} \geq k V_k \\ \geq 20 \frac{kN}{m} \frac{L_1 L_2}{2} \\ \geq 70kN, mutta \leq 150kN \end{cases} \quad \text{Seuraamusluokat CC1 ja CC2} \quad (4)$$

$$T_1 = \begin{cases} \geq k V_k \\ \geq f_t \frac{L_1 L_2}{2} \frac{(g_k \sum \varphi_1 q_k) \max(L_4, L_5)}{37,5 \frac{kN}{m}} \\ \geq F_t \frac{L_1 L_2}{2} \quad TAI \geq 70kN \end{cases} \quad \text{Seuraamusluokka CC3a} \quad (5)$$

missä:

$$F_t \leq \begin{cases} 48 \frac{kN}{m} & \text{yli 15 kerroksisissa rakennuksissa} \\ (16 + 2,1 n_s) \frac{kN}{m} \end{cases} \quad (6)$$

$V_k$  on suurempi pilarin molemmilla puolilla olevien palkkien tukireaktion ominaisarvosta

$k$  on liitospintojen kitkavoimien erotus

$L_1$ ja $L_2$	ovat palkkivälejä (välipohjalaattojen jännevälejä) palkin molemmin puolin
$g_k$	on laataston pysyvän kuorman ominaisarvo
$q_k$	on laataston muuttuvan kuorman ominaisarvo
$\Psi_1$	on muuttuvan kuorman yhdistelykerroin onnettomuusmitoitustilanteessa
$n_s$	on kerrosten lukumäärä

Sideraudoituksen osana toimivan saumaraudoituksen tarkoitus on aikaansaada laatasta vaurioalueen yli kantava kalvorakenne, joka estää laattaelementin putoamisen tilanteessa, jossa laatan toisessa päässä oleva tuki on menettänyt kantokykynsä.



KUVA 19. Kalvorakenteen toimintaperiaate (Betoninormikortti 23, s23)

Laataston pituussuuntaisen saumaraudoituksen tulee kestää vähintään seuraavat voimat:

$$T_3 = \begin{cases} \geq 20 \frac{kN}{m} s_3 \\ \geq 70 kN \\ \leq 150 kN \end{cases} \quad \text{Seuraamusluokat CC1 ja CC2} \quad (7)$$

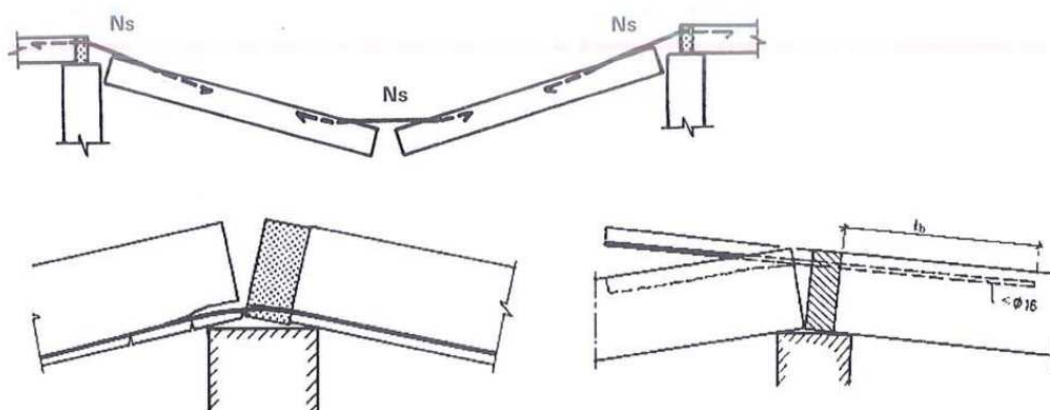
$$T_3 = \begin{cases} \geq F_t s_3 \frac{(g_k \sum \varphi_i q_k) z_3}{37,5 \frac{kN}{m}} \\ \geq F_t s_3 \\ \geq 70 kN \end{cases} \quad \text{Seuraamusluokka CC3a} \quad (8)$$

missä:

$$F_t \geq \begin{cases} 48 \frac{kN}{m} \text{ yli 15 kerroksisissa rakennuksissa} \\ (16 + 2,1 n_s) \frac{kN}{m} \end{cases} \quad (9)$$

$s_3$	on saumaraudoituksen väli
$z_3$	on suurempi perättäisistä kantavien pystyrakenteiden (pilarien ja seinien) keskilinjojen etäisyyksistä siteen suunnassa
$g_k$	on laataston pysyvän kuorman ominaisarvo
$q_k$	on laataston muuttuvan kuorman ominaisarvo
$\Psi_i$	on muuttuvan kuorman yhdistelykerron onnettomuusmitoitustilanteessa
$n_s$	on kerrosten lukumäärä

Kuorilaatastossa saumateräs sijoitetaan kuorilaattojen sauman yläreunaan, jolloin teräksen korko-asema tulee liittorakenteen keskivaiheille. Liian ylös tai alas sijoitettu saumaraudoitus aiheuttaa betonipeitteen rikkoontumisen terästen oietessa onnettomuustilanteessa, kuten kuvan 20 alaosassa on demonstroitu.



KUVA 20. Saumaraudoituksen virheellisen koron aiheuttaman ongelmat (Betoninormikortti 23, s27)

#### 4.4.1.2 Halkeilua jakava raudoitus

Parkkihallin kansi mitoitetaan vesitiiviiksi, jolloin sallittu halkeamaleveys rajoitetaan 0,2 mm:iin. Täten pintalaatta on raudoitettava palkkien kaistoilla, jotta vaadittu tiiveys saavutetaan. Vaikka kuorilaatat mitoitetaan kestävämmän yksiaukkoisena kaikki niille tulevat kuormat, viruman seurauksena kuorilaatan ja elementin painosta välituelle kehittyy vähitellen negatiivista momenttia, joka on suuruusluokaltaan lähes normaalin jatkuvan laataston laskentatavan mukainen. Täysi hyötykuorma kuormittaa laatastoa vasta valmiina rakenteena, joten myös hyötykuorma aiheuttaa tuelle negatiivista momenttia. Nämä tukimomentit voidaan määrittää tavanomaisin menetelmin.

Aiemmin valetun kuorilaatan ja paikallavalun välinen kutistumaero käyristää rakennetta alaspäin, joten se aiheuttaa negatiivista momenttia tukialueelle. Toisaalta esijännitetyn kuorilaatan lyheneminen viruman seurauksena aiheuttaa puolestaan positiivista momenttia tukialueelle.

Kutistumaerosta syntyvä negatiivinen tukimomentti voidaan määrittää seuraavalla tavalla:

Lasketaan ensin kutistumaerosta aiheutuva normaalivoima  $N_f$ :

$$N_f = -EA_{lv}\epsilon_{cs} \quad (10)$$

missä:

$EA_{lv}$  = liittovalun aksiaalinen jäykkyys

$\epsilon_{cs}$  = liittovalun loppukutistuma  $\epsilon_{cs0}k_{sh}$  (kts. taulukko 10)

**TAULUKKO 2.3**

Loppukutistuman perusarvo  $\epsilon_{cs0}$

Rakenteen ympäristöolosuhteet	Suhteellinen kosteus %	$\epsilon_{cs0}$ ‰
Vesi	100	0
Hyvin kostea ilma	90	0,2
Ulkoilma	70	0,4
Kuiva ilma	40	0,6

**TAULUKKO 2.4** Kerroin  $k_{sh}$

$h_c$ (mm)	$k_{sh}$
$\leq 50$	1,20
100	1,00
200	0,80
300	0,65
$\geq 500$	0,50

TAULUKKO 10. Loppukutistuman perusarvo  $\epsilon_{cs0}$  sekä kerroin  $k_{sh}$  (by 50. Betoninormit 2004, s.23)

Lasketaan liittopoikkileikkaukseen syntyvä momentti voimasta  $N_f$ :

$$M_f = N_f e \quad (11)$$

missä:

$e$  = liittovalun painopisteen sekä liittorakenteen painopisteiden välinen etäisyys

Momentin aiheuttama taipuma laatan keskellä Mohrin analogian perusteella:

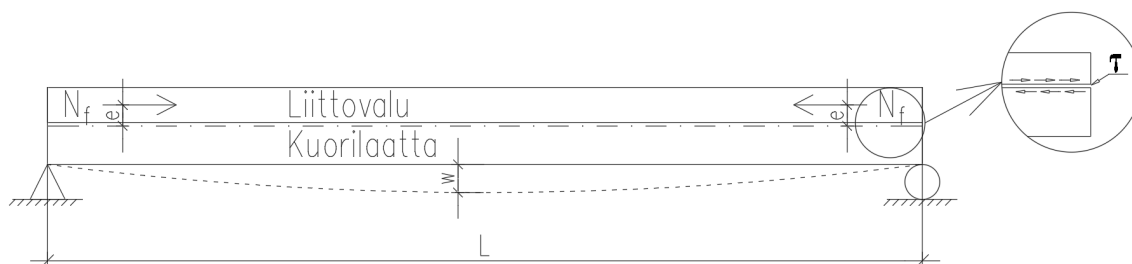
$$w = \frac{M_f L^2}{8EI_{lv}} \quad (12)$$

missä:

$L$  = laatan jänneväli

$EI_{lv}$  = liittovalun taivutusjäykkyys

Todettakoon, että laskettu taipuma on vapaasti tuettuun liittolaattaan syntyvä taipuma. Rakenteen ollessa jatkuva, tämä taipuma estyy, mutta estynyt taipuma kasvattaa tukimomenttia kaavan 14 tulon verran.



KUVA 21. Kutistumaerosta syntyvä normaalivoima  $N_f$ , taipuma  $w$  sekä rajapintaan kutistumaerosta muodostuva leikkausjännitys (Auvinen, Tommi 2023)

Taipuman kautta saadaan laskettua resultoiva voima, joka aiheuttaa kutistumaerosta johtuvaa taipumaa vastaavan taipuman:

$$q = \frac{w 384 EI_{lr}}{5 L^3} \quad (13)$$

missä:

$q$  = resultoiva voima, joka aiheuttaa kutistumaerosta johtuvaa taipumaa vastaavan taipuman

$EI_{lr}$  = liittorakenteen taivutusjäykkyys

$L$  = laatan jänneväli

Resultoivasta kuormasta saadaan laskettua välituelle aiheutuva tukimomentti esimerkiksi rakentajain kalenterin momenttikertoimien avulla:

$$M_T = k q L^2 \quad (14)$$

missä:

$k$  = kerroin, joka riippuu laatan aukkoisuudesta ja siitä, monennestako välituesta on kysymys

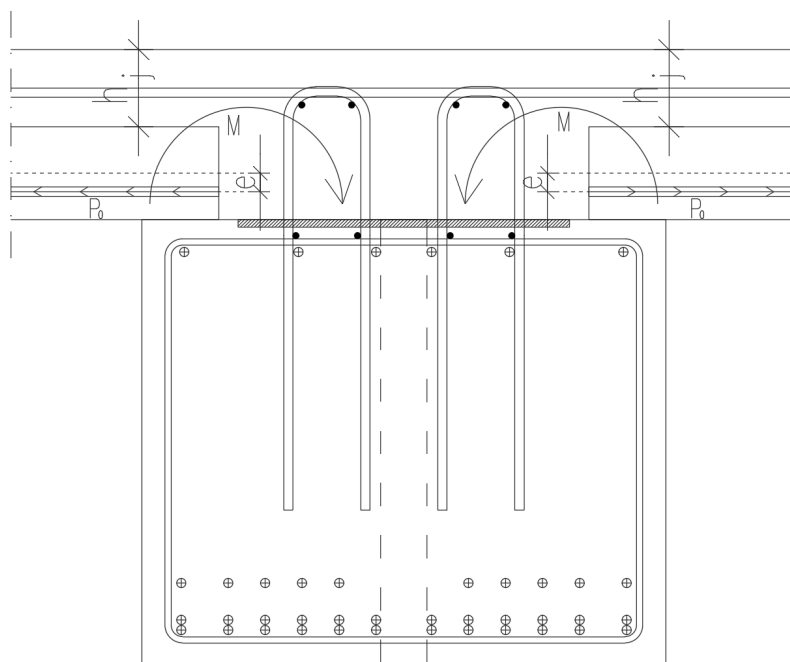
Parkkihallin kuorilaatan profiili ja raudoitus pyritään valitsemaan siten, että kuorilaattojen valunaikaiselta tuennalta vältytään. Mikäli kuorilaattoja kuitenkin joudutaan tukemaan pintalaatan valun aikana, aiheuttaa valutukien poisto välituelle negatiivista momenttia. Tuelle aiheutuvan tukimomentin suuruuden voi laskea siten, että tuen poistamisesta aiheutuu laatastoon tukivoiman suuruinen, vastakkaisauntainen kuorma, josta tukimomentti lasketaan.

Kuorilaatan jännevoima pyrkii taivuttamaan laattaa ylöspäin, josta aiheutuu positiivista tukimomenttia keskituelle. Muodostuvaa tukimomentti voidaan likimääräisesti arvioida kaavan 15 perusteella:

$$M = k_1 k_t [P_0 (1.6e + 0.6h_j)] \quad (15)$$

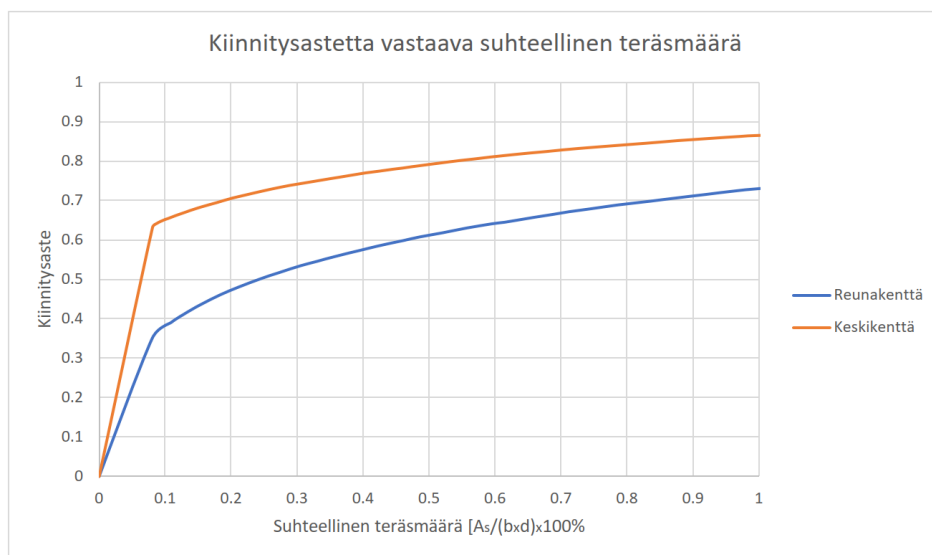
missä:

- $k_1$  on tarkasteltavan välituen sijainnista riippuva kerroin
- $k_t$  on liittovalun ajankohdasta riippuva kerroin
- $P_0$  on jännevoima alkutilassa (jännehäviöt sisältyvät kaavaan)
- $e$  on jännevoiman epäkeskisyys laattaelementin painopisteestä
- $h_j$  on paikallavalun paksuus



KUVA 22. Kuorilaatan jännevoiman aiheuttama positiivinen tukimomentti liittovalun yläpintaan (Auvinen, Tommi 2023)

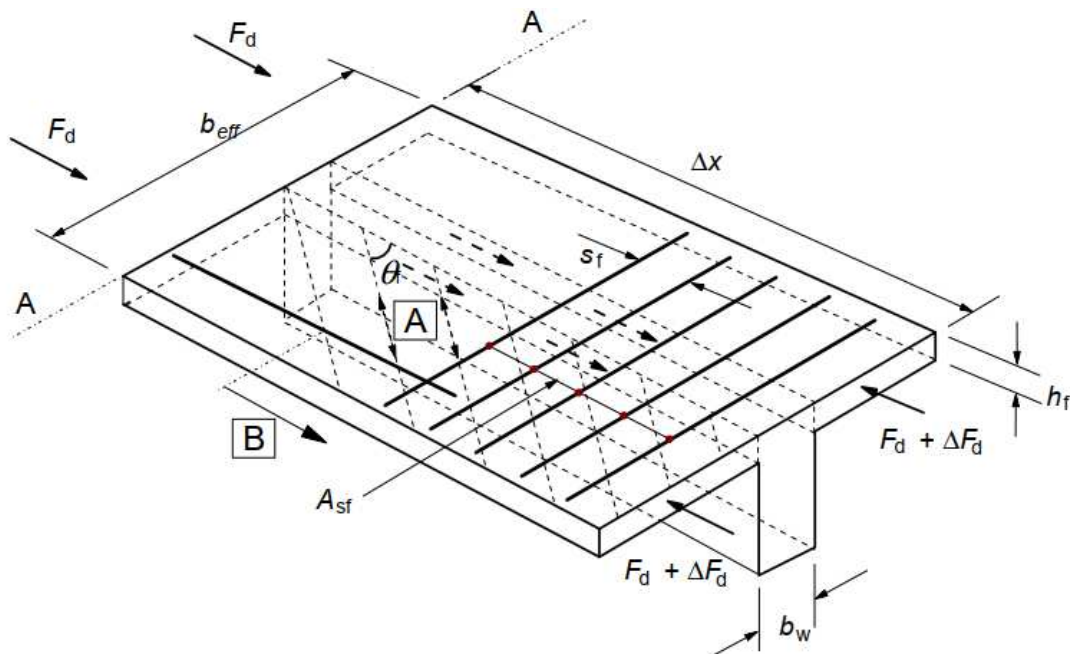
Edellä mainitut tukimomentit vastaavat tasajäykkään laattaan syntyviä tukimomentteja. Koska negatiivisen momentin alueella laattaelementin esijännitys ei vaikuta paikallavalun yläpinnan jännityksiin, toimii rakenne tukialueilla halkeilleen teräsbetonoikkileikkauksen tavoin. Koska haljenneen poikkileikkauksen jäykkyys on selvästi halkeilematonta poikkileikkausta pienempi, jäävät täten myös tukimomentit pienemmiksi kuin jatkuvissa rakenteissa yleensä. Tästä johtuen, voidaan tasajäykän laatan tukimomentteja pienentää kiinnitysastetta kuvaavalla kertoimella  $k$ .



KUVA 23. Kiinnitysastetta vastaava suhteellinen teräsmäärä (Auvinen, Tommi 2023, muokattu lähteestä Parel liittolaattojen suunnitteluohje 1999, s.37)

#### 4.4.1.3 Laipan leikkaantuminen

Kuorilaatasto toimii esijännitetyn betonipalkin puristuslaippoina, jolloin laipan ja uuman leikkaantuminen on myös tarkasteltava. Laskentamalli perustuu kuvan 24 pituusleikkauksen merkintöihin.



KUVA 24. Laipan ja uuman välinen pituusleikkaus (SFS-EN 1992-1-1, s.90)

Vaadittu poikittaisraudoitus pituusyksikköä kohden voidaan laskea:

$$A_{sf} = \frac{v_{Ed} h_f}{f_{yd} \cot(\theta_f)} \quad (16)$$

Pituussuuntainen leikkausjännitys yhdellä puolen uumaa:

$$v_{Ed} = \frac{\Delta F_{Ed}}{h_f \Delta x} \quad (17)$$

Normaalivoiman muutos laipassa pituudella  $\Delta x$ :

$$\Delta F_{Ed} = \frac{b_{eff.1}}{b_{eff}} \frac{\Delta M_{Ed}}{z} \quad (18)$$

Taivutusmomentin muutos tarkasteluvälillä:

$$\Delta M_{Ed} = M_{Ed}(\Delta x) - M_{Ed}(\Delta 0) \quad (19)$$

Edellä esitetyissä kaavoissa:

- $\Delta M_{Ed}(0)$  on momentti tarkasteluvälin alkupäässä
- $\Delta M_{Ed}(\Delta x)$  on momentti tarkasteluvälin loppupäässä
- $b_{eff}$  on laskennallisen puristuslaipan leveys
- $b_{eff.1}$  on puristuslaipan leveys yhdellä puolen palkkia
- $z$  on momenttivarsi
- $h_f$  on puristuslaipan paksuus
- $\Delta x$  on tarkasteluvälin pituus
- $\theta_f$  on oletettu leikkaushalkeaman kulma (puristuslaipoissa  $45^\circ \geq \theta_f \geq 26,5^\circ$ )

Laipan vinon puristumurron estämiseksi seuraavan ehdon edellytetään toteutuvan:

$$v_{Ed} \leq v f_{cd} \sin \theta_f \cos \theta_f \quad (20)$$

missä

$v$  on leikkauksesta halkeilleen betonin lujuuden pienennyskerroin

Tarkistetaan myös vinon puristumurron yläraja:

$$v_{Ed} \leq v_{Rd.max} \quad (21)$$



missä leikkauskestävyyden yläraja  $V_{Rd,max}$  on:

$$V_{Rd,max} = v f_{cd} \sin(\theta_f) \cos(\theta_f) \quad (22)$$

Laipan ja uuman välisen leikkaantumisen ja poikittaisen taivutuksen yhteisvaikutuksen tapauksessa teräksen pinta-alaksi valitaan kaavasta 16 saatava arvo tai puolet kaavan 16 mukaisesta arvosta liittäen poikittaisen taivutuksen edellyttämällä arvolla, sen mukaan, kumpi tuottaa suuremman arvon. Mikäli  $v_{Ed}$  on enintään  $0,4f_{ctd}$ , ei laipan leikkaantumisen vaatimaa teräsmäärää enää tarvita, vaan poikittaisen taivutuksen teräsmäärä on riittävä.

#### 4.5 TT-laatasto

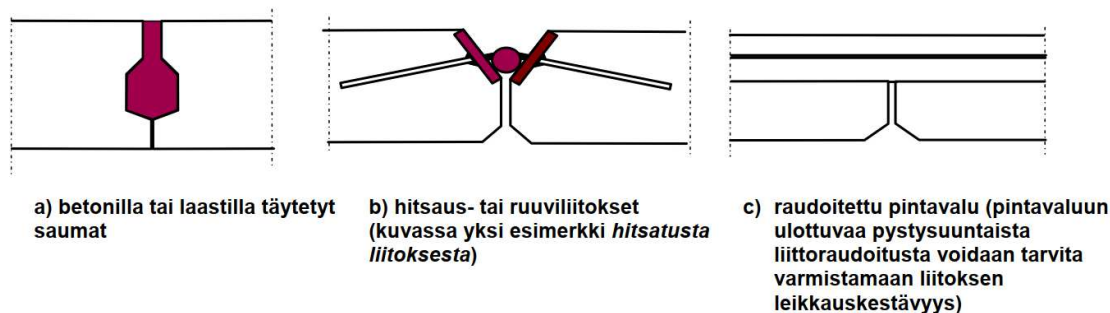
Katetuissa parkkihalleissa ensisijainen laattatyyppejä yläpohjassa on TT-laatta. TT-laatat ovat esijännitetyjä teräbetonielementtejä, jotka koostuvat kahdesta pystysuuntaisesta rivasta sekä niiden päällä olevasta laatasta. TT-laatan korkeus vaihtelee 300...1200 mm:n välillä ja rivin leveys vaihtelee 120 mm:stä 240 mm:iin riippuen laatan jännevälillä ja kuormituksesta. Kannen paksuus on yleensä 50 mm ja laatan vakioleveys 3 metriä. Ulkotilassa sijaitsevan TT-laatan (rasitusluokka XC3, XF1) kannen raudoituksessa joudutaan käyttämään laskennallista käyttöikämitoitusta, sillä suoja- ja betonin taulukkoarvot eivät toteudu. Laskennallisen käyttöikämitoituksen perusteita käyty läpi kappaleessa 3.3 Suunnittelukäyttöikä. TT-laatoilla päästään jopa yli 25 metrin jänneväleihin. Hoikkana ja leveänä elementtinä TT-laatta on kustannustehokas rakenne varsinkin yläpohjissa. Välipohjissa TT-laatta tulee kannattavaksi vaihtoehdoksi tilanteissa, joissa ontelolaattojen kapasiteetti ei enää riitä. Välipohjissa käytettynä TT-laatta vaatii aina rakenteellisen pintalaatan, jotta riittävä pistekuormakapasiteetti saavutetaan.



KUVA 25. TT-laatta asennuksessa (Betsset Oy:n nettisivut, julkaisuaika tuntematon)

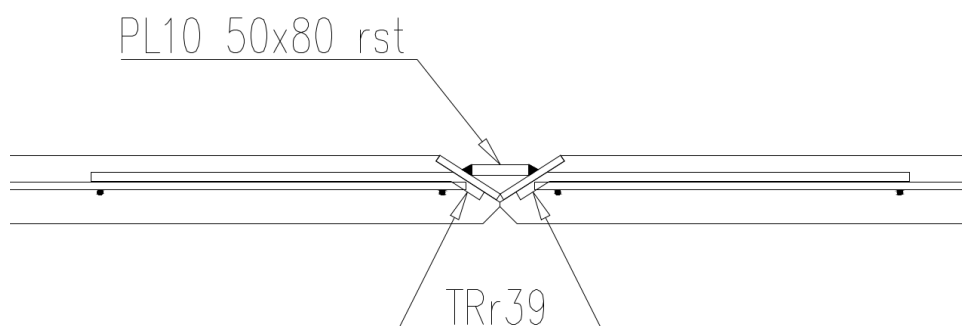
TT-laatta mitoitetaan T-poikkileikkauksellisena jännebetonipalkkina, mutta suunnittelussa huomioidaan kuitenkin ripalaattaelementtejä koskevan standardin SFS-EN 13224 vaatimukset mm. leikkauskestävyyteen ja palomitoitukseen liittyen.

Erityispiirteenä TT-laattojen suunnittelussa tulee huomata eurokoodin SFS-EN-1991-1-1 kohta 6.2.1 (4), joka mahdollistaa rivan vähimmäisleikkausraudoituksen pois jättämisen, mikäli leikkausvoiman mitoitussarvo ei sitä vaadi ja kuormien uudelleenjakautuminen on mahdollista. Kuormien uudelleenjakautumisen mahdollistaa leikkausvoimaa siirtävä sauma.



KUVA 26. Esimerkkejä leikkausvoimaa siirtävistä saumoista (SFS-EN 1992-1-1, s.172)

Parkkihallin yläpohjan tapauksessa, jossa rakenteellista pintalaattaa ei ole, voidaan leikkausvoimaa siirtävä liitos toteuttaa kuvan 26 kohdan b mukaan, jossa TT-laattojen reunoille asennetaan vakioiteräsosa-tartunnat, jotka työmaalla hitsataan teräslapun avulla kiinni toisiinsa.



KUVA 27. Leikkausliitos TT-laattojen välillä (Auvinen, Tommi 2023)

Tälle leikkausvoimalle pituusyksikköä kohden saadaan tasaisesti jakaantuneella kuormalla arvo SFS-EN 1992-1 kohdan 10.9.3 (5) mukaan:

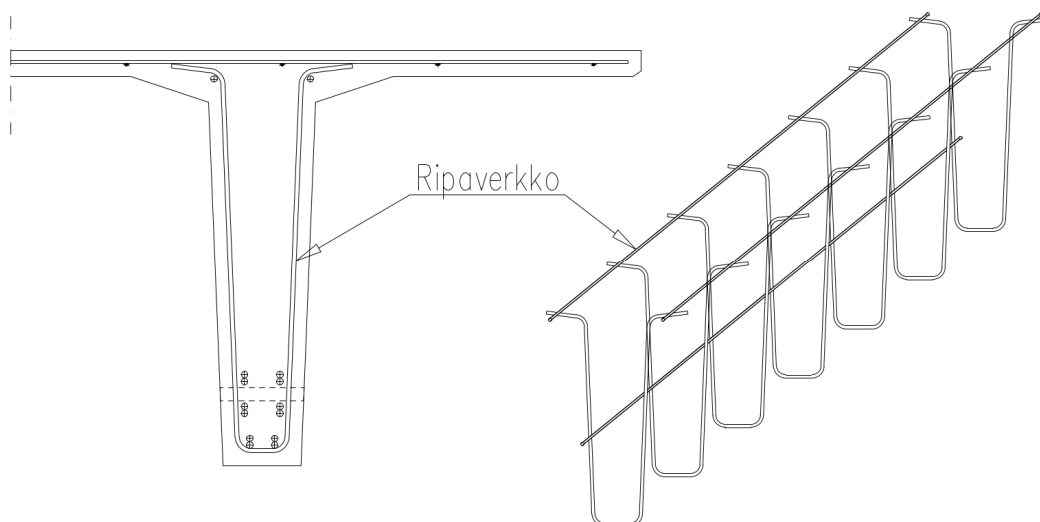
$$V_{Ed} = q_{Ed} B_e / 3 \quad (23)$$

missä:

$q_{Ed}$  on muuttuvan kuorman mitoitussarvo ( $\text{kN/m}^2$ )

$B_e$  on elementin leveys (m)

Eli kun reunatartunnat mitoittaa leikkausvoiman  $V_{Ed}$  suuruiselle kuormitukselle, voidaan TT-laatan ripaverkko (=leikkausraudoitus) jättää laatan keskialueelta kokonaan pois, mikäli betonipoikkileikkauksen leikkauskapasiteetti on riittävä. Laattavalmistajan näkökulmasta ripaverkkojen poisjättäminen laatan keskialueelta jouduttaa elementin valmistamista huomattavasti, vaikka reunatartuntojen määrä lisääntyykin.



KUVA 28. TT-laatan ripaverkko (Auvinen, Tommi 2023)

## 5 LIITTORAKENTEET

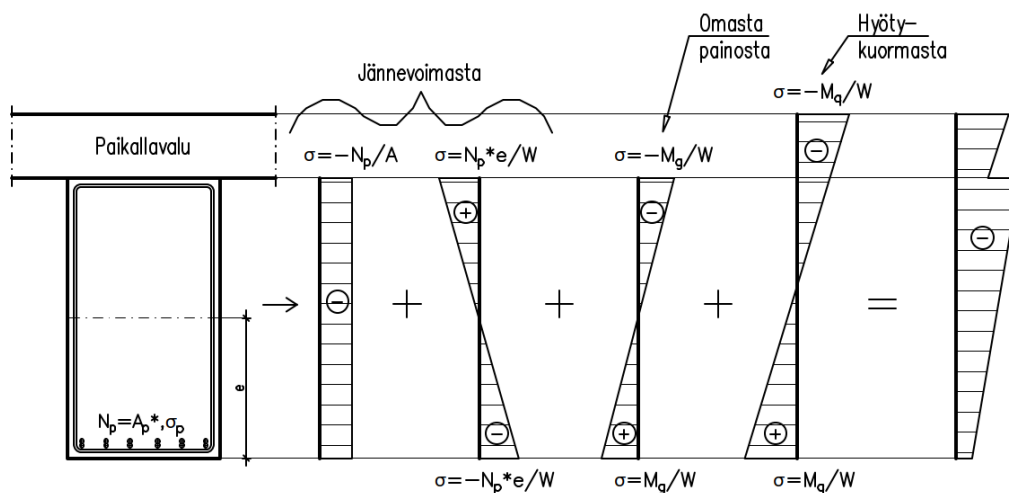
Parkkihallin keskeiset rakenneosat, kuorilaatasto sekä jännebetonipalkit toimivat yhdessä työmaalla valettavan pintalaatan kanssa liittorakenteena, joten esitellään tässä kappaleessa suppeasti liittorakenteita sekä niiden teoriaa.

### 5.1 Yleistä liittorakenteista

Liittorakenteella tässä työssä tarkoitetaan esijännitettyä betonielementtiä, joka yhdessä työmaalla valettavan paikallavalun kanssa muodostaa yhtenäisen rakenteen. Yksittäisten rakenteiden toimiessa yhdessä liittorakenteena, on niiden jäykkyys oleellisesti suurempi kuin yksittäisten osien jäykkyyksien summa.

Liittorakenteita voidaan käyttää esimerkiksi asuin-, toimisto- ja liikerakennusten välipohjissa sekä parkkitaloissa. Liittorakenteena yleisin on kuorilaatta, jolla jo suunnittelun lähtökohtana on toiminta yhdessä paikallavalun kanssa. Liittovalu voidaan suunnitella myös ontelo- tai TT-laatan päälle. Betonipalkkien kanssa liittorakenne suunnitellaan yleensä yhdessä yläpuolisen kuorilaataston kanssa. Tällöin on kyseessä niin kutsuttu kaksinkertainen liittorakenne, jossa liittopalkit toimivat yhdessä kuorilaataston kanssa palkkien suunnassa, ja kuorilaatat toimivat yhdessä liittovalun kanssa toisessa suunnassa.

Parhaimman hyödyn liittorakenteesta saa silloin, kun hyötykuorman osuus kokonaiskuormasta on mahdollisimman suuri. Tämä siksi, että vain hyötykuorma vaikuttaa valmiin liittorakenteen reunajännitysten muodostumiseen, sillä jännevoiman ja omapainon alkaessa vaikuttamaan, liittorakennetta ei ole vielä olemassa. Tämä käy ilmi kuvasta 29. Jotta liittorakenteella aikaansaatu hyöty voidaan maksimoida, tulee esivalmistaisen elementin laskentakuorman  $q_{d1}$  suhde kokonaiskuorman laskenta-arvoon  $q_d$  olla pienempi kuin esivalmistaisen osan korkeuden  $h_1$  suhde liittorakenteen kokonaiskorkeuteen  $h$ , eli  $q_{d1}/q_d < h_1/h$  (Elementtisuunnittelu.fi "liittorakenteet").



KUVA 29. Reunajännitysten muodostuminen liittorakenteelle. (Auvinen, Tommi 2023)

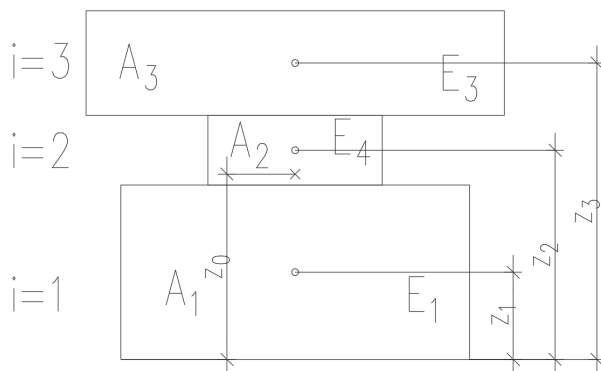
Liittorakenteita käyttämällä yhdistetään elementtirakentamisen nopeus paikallavalun joustavuuteen. Liittovalurakenteissa päästään matalampiin rakennekorkeuksiin ja pidempiin jänneväleihin, joten myös liittorakenteita kannatteleville pystyrakenteille tulee vähemmän kuormaa, jolloin myös niiden dimensiot pienenevät.

## 5.2 Liittorakenteiden teoriaa

Liittorakenteet mitoitetaan murtorajatilassa kuten yhtenäistä materiaalia oleva kappale, kunhan elementin ja paikallavalun välinen leikkausmurtokuorma mitoitetaan koko leikkausvoimalle. Myös liittorakenteen eri osien lujuudet on huomioitava, kuten myös elementin ja paikallavalun eriävät osavarmuuskertoimet.

Käyttörajan tarkasteluissa tulee huomioida liittorakenteen ominaispiirteet. Näitä ovat esimerkiksi kutistuma- ja virumaerot elementin ja paikallavalun välillä. Kun paikallavalu valetaan huomattavasti elementtirakennetta myöhemmin, kutistumat paikallavalulla ovat selvästi suurempia ja ne aiheuttavat rakenteen lisätaipumaa ja jatkuvassa rakenteessa tukimomentin kasvamista. Liittorakenteen taipumassa on huomioitava taipumat elementin omasta painosta, liittovalun vaikutuksesta sekä taipumat valmiissa rakenteessa.

Jotta liittorakenteen poikkileikkauksen jännitykset voidaan laskea, määritetään aksiaaliset jäykkyydet ja taivutusjäykkyydet kimmoteorian mukaisesti. Alapuoliset kaavat ovat RTT Rakennustuoteteollisuus ry:n julkaisemasta kirjasta Valmisosarakentaminen II osa 1, Liittorakenteet.



KUVA 30. Useasta osasta koostuva poikkileikkaus, joilla jokaisella on erilainen kimmokerroin (Auvinen, Tommi. 2023)

Yksittäisen osan kerroksen aksiaalinen jäykkyys puristusjännitystä vastaan:

$$K_i = E_i A_i \quad (24)$$

Aksiaalinen jäykkyys kappaleelle, jolla osia  $i$  kappaletta:

$$(EA)_0 = \sum_{i=1}^m E_i A_i \quad , \text{missä } m \text{ on poikkileikkauksen osien määrä} \quad (25)$$

Liittopoikkileikkauksen painopisteen sijainti alimman osan alareunasta:

$$z_0 = \frac{\sum_{i=1}^m z_i E_i A_i}{(E A)_0} \quad (26)$$

Yksittäisen osan  $i$  taivutusjäykkyys:

$$S_i = E_i I_i \quad (27)$$

Liittopoikkileikkauksen taivutusjäykkyys voidaan laskea yleistä Steinerin sääntöä noudattaen:

$$(E I)_0 = \sum_{i=1}^m E_i I_i + \sum_{i=1}^m (z_i z_0)^2 E_i A_i \quad (28)$$



Leikkausjännitys kahden eri osan välisessä rajapinnassa voidaan laskea seuraavasti:

$$\tau(y) = \frac{V}{b (E I)_0} \sum_y^{y_{max}} (z_i - z_0) E_i A_i \quad (34)$$

missä  $y$  on etäisyys osien väliseen rajapintaan liittojoikkileikkauksen painopisteestä laskettuna

Työsauman leikkausjännitys lasketaan eurokoodin SFS-EN 1992-1-1 kohdan 6.2.5 mukaan:

$$V_{Edi} \leq V_{Rdi} \quad (35)$$

missä:

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

$$V_{Edi} = \beta V_{Ed} / (z b_i) \quad (36)$$

missä:

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

$V_{Ed}$  on rakenneosan leikkausvoima

$z$  on koko poikkileikkauksen sisäinen momenttivarso

$b_i$  on rajapinnan leveys, kts kuva 32

$V_{Rdi}$  on rajapinnan leikkauskestävyyden mitoitusarvo, lasketaan kaavalla:

$$V_{Rdi} = c f_{ctd} + \mu \sigma_n + \rho f_{yd} (\mu \sin\alpha + \cos\alpha) \leq 0,5 v f_{cd} \quad (37)$$

missä:

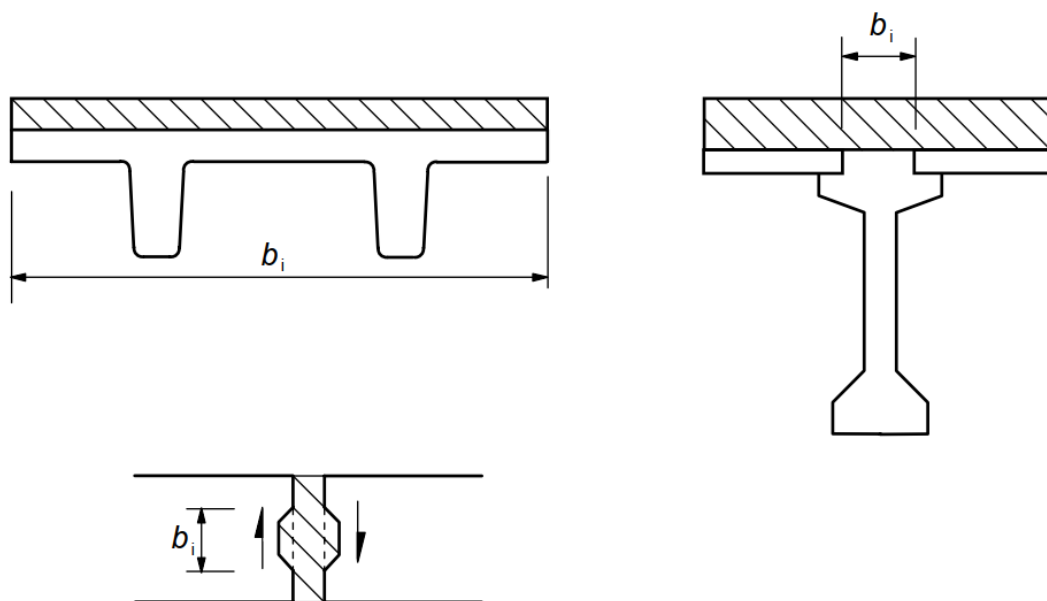
$c$  ja  $\mu$  ovat rajapinnan karheudesta riippuvia kertoimia, kts SFS-EN 1992-1-1 kohta 6.2.5 (2)

$f_{ctd}$  on betonin vetolujuuden mitoitusarvo

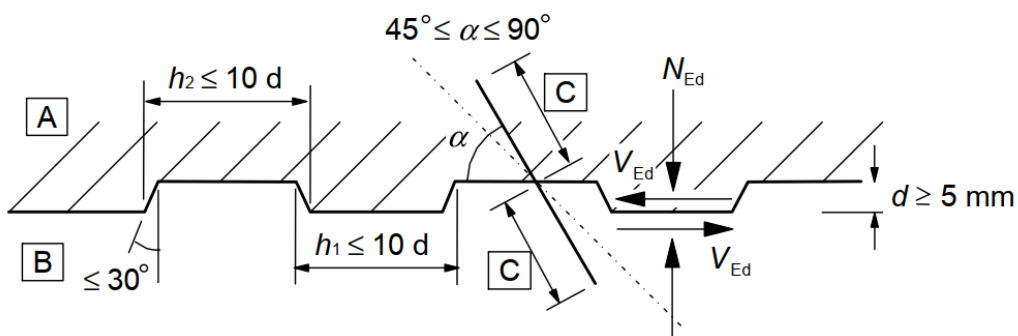
$\sigma_n$  on rajapintaan kohdistuva, sen leikkausvoiman kanssa samanaikaisesta ulkoisesta normaalivoimasta aiheutuva pienin mahdollinen normaalijännitys, puristus positiivisena ja  $\sigma_n < 0,6f_{cd}$  sekä veto negatiivisena. Kun  $\sigma_n$  on vetoa, tulolle  $c f_{ctd}$  käytetään arvoa 0.

$\rho$  on  $A_s / A_i$

- $A_s$  on rajapinnan läpi kulkevan raudoituksen poikkileikkausala, johon kuuluu mahdollinen tavallinen leikkausraudoitus, joka on ankkuroitu rajapinnan kummallekin puolelle
- $A_i$  on rajapinnan pinta-ala
- $\alpha$  määritellään kuvasta 33, ja se rajoitetaan välille  $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$
- $v$  on leikkauksesta halkeilleen betonin lujuuden pienennyskerroin



KUVA 32. Esimerkkejä rajapinnoista (SFS-EN 1992-1-1, s.91)



**A** – uusi betoni, **B** – vanha betoni, **C** – ankkurointi

KUVA 33. Vaarnattu työsauma (SFS-EN 1992-1-1, s.92)

Vaikka liittorakenteen täydellinen yhteistoiminta teoriassa edellyttäisi täysin jäykkää liitosta elementin ja liittovalun välille, tapahtuu murtorajatilassa pientä liukumaa rajapinnassa. Kun leikkausliitoksen liukumata ja leikkauspintojen muodonmuutoserot ovat riittävän pieniä, ei niiden vaikutusta tarvitse ottaa huomioon.

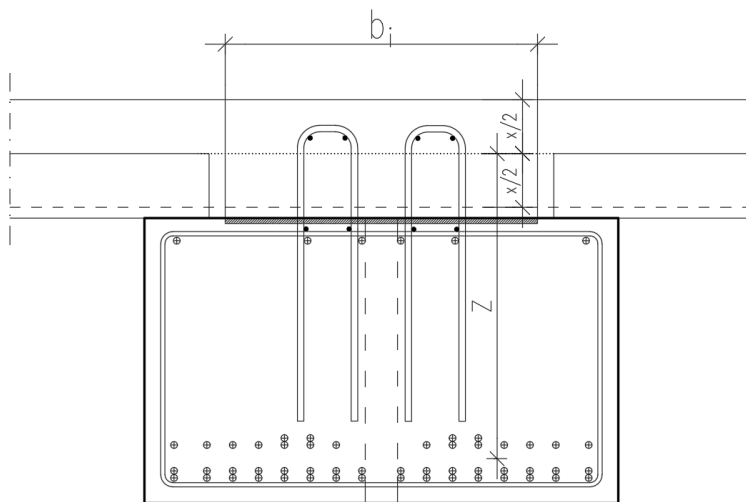


## 5.2.1 Esimerkki teorian soveltamisesta

Lasketaan yläpuolista teoriaa soveltaen myöhemmässä luvussa 6.3.1 olevan esimerkkihallin JK-palkin yläpinnan ja liittovalun välisen työsauman raudoitustarve palkin päässä esimerkin omaisesti. Ensimmäisenä lasketaan rajapinnassa vaikuttava leikkausjännityksen mitoitusarvo kaavan 36 mukaisesti:

$$V_{Edi} = \beta V_{Ed} / (z b_i) = 1 * 657700 \text{ N} / 550 \text{ mm} * 580 \text{ mm} = 2.06 \text{ N/mm}^2 \quad (36)$$

Alapuolisessa kuvassa on esitetty leikkausjännityksen kaavan merkinnät. Leikkausvoiman mitoitusarvo ( $V_{Ed}$ ) sekä poikkileikkauksen sisäisen momenttivarren ( $z$ ) pituus on otettu suoraan JbPalkki EC2-mitoitusohjelmasta. Työsauman pituus määräytyy palkin leveyden sekä kuorilaattojen tukipinnan mukaan. Termistä  $\beta$ , joka kuvaa liittovaletun poikkileikkauksen jännitysresultantin ja koko poikkileikkauksen jännitysresultantin suhdetta, tulee tässä tapauksessa 1, sillä vain liittovalun osuus on tässä tapauksessa puristettu.



KUVA 34. Leikkausjännityksen mitoitusarvon laskentaan vaikuttavat suureet. (Auvinen, Tommi 2023)

Seuraavaksi lasketaan saadun leikkausjännityksen vaatima teräsmäärä kaavaa 37 soveltaen:

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{A_i(V_{Rdi} - c f_{ctd} - \mu \sigma_n)}{f_{yd}(\mu \sin \alpha + \cos \alpha)} \\ &= \frac{580000 \text{ mm}^2 \left( 2,06 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} - 0,4 * 1,5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} - 0,7 * 0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right)}{455 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} (0,7 * \sin 90 + \cos 90)} \\ &= 2662 \frac{\text{mm}^2}{\text{m}} \end{aligned} \quad (38)$$

Täten valitaan taulukosta 14 saadun teräsmäärän täyttävä työsaumaverkko, joka tässä tapauksessa on malliltaan TSV-12-175 4-leikkeisenä. Laskennassa on käytetty liittovalun betonilujuutena C35/45 ja harjateräslaatu B500B. Karheuskertoimet on valittu taulukosta 11 karheen pinnan mukaan, sillä JK-palkin yläpinta karhennetaan tehtaalla.

Pinnan laatu	Karheuskertoimet		selite
	c	μ	
Hyvin sileä	0,025...0,1	0,5	Teräs, muovi- tai erikoiskäsittelyä muuttia vasten valettu pinta
Sileä	0,2	0,6	Liukuvalettu pinta, extruuderipinta tai täytyksen jälkeen jälkikäsittelemättä jätetty vapaa pinta
Karhea	0,4	0,7	Pinta, jossa on vähintään 3 mm:n karheus n. 40 mm:n välein (uritus, kiviaineksen paljastus tms.)
Vaarnattu	0,5	0,9	Vaarnattu pinta kuvan 30 mukaisesti

TAULUKKO 11. SFS-EN 1992-1-1 mukaiset työsauman karheuskertoimet (Auvinen, Tommi 2023)

Lasketaan vielä työsauman leikkauskestävyys valitulla raudoitteella:

$$\begin{aligned}
 V_{Rdi} &= c f_{cdt} + \mu \sigma_n + \rho f_{yd} (\mu \sin\alpha + \cos\alpha) \leq 0,5 v f_{cd} & (37) \\
 &= 0,4 * 1,66 \frac{N}{mm^2} + 0,7 * 0 \frac{N}{mm^2} + 4,45x10^3 * 455 \frac{N}{mm^2} (0,7 \sin 90 + \cos 90) \\
 &= 2,08 \frac{N}{mm^2}
 \end{aligned}$$

Tarkastetaan vielä, että leikkauskestävyyden raja-arvoa ei ylitetä:

$$V_{Rdi} \leq 0,5 v f_{cd} \rightarrow 2,08 \leq 0,5 * 0,516 * 19,83 \frac{N}{mm^2} = 5,12 \frac{N}{mm^2} \rightarrow OK! \quad (39)$$

## 5.2.2 Muunnettu poikkileikkaus

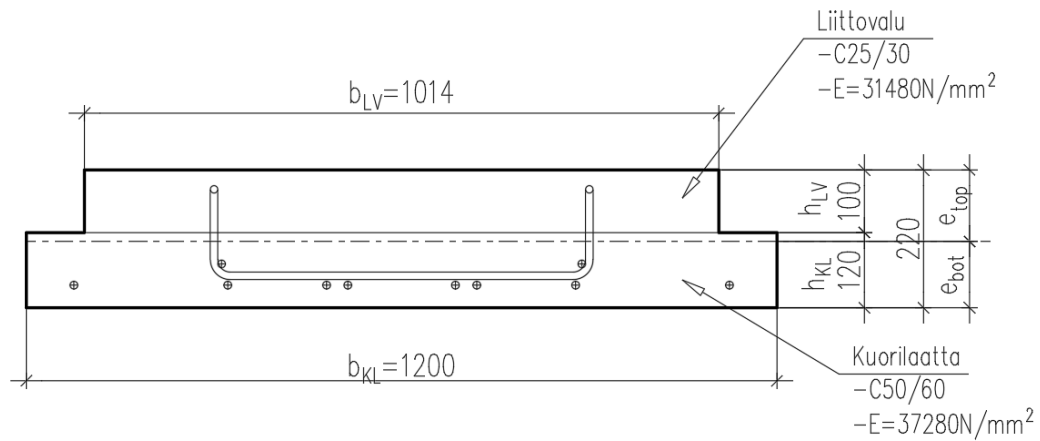
Liittorakenteiden laskennan yksinkertaistamiseksi liittopoikkileikkaus voidaan muuttaa samaa materiaalia olevaksi. Tämä onnistuu laskemalla eri materiaalien kimmokerroinsuhde  $n$ , joka muuntaa osien poikkileikkausalat ja jäyhyysmomentit siten, että poikkileikkausta voidaan käsitellä yhtä ainetta  $m$  olevana rakenteena.

Otetaan esimerkkinä 120 mm paksu kuorilaatta, jonka betoni on C50/60 ja kimmokerroin  $E_{KL}=37280 \text{ N/mm}^2$ . Päälle valettavan liittovalun korkeus on 100 mm ja betonilujuus C25/30, jonka kimmokerroin  $E_{LV}=31480 \text{ N/mm}^2$ . Lasketaan kimmokerroinsuhde  $n$ :

$$n = \frac{E_{LV}}{E_{KL}} = 1,184 \quad (40)$$

Muutetaan liittovalun leveyttä, jotta se saadaan vastaamaan kuorilaatan betonin kimmokerrointa:

$$b_{LV} = \frac{b}{n} = 1014 \text{ mm} \quad (41)$$



KUVA 35. Muunnetun poikkileikkauksen mukainen laskentapoikkileikkaus (Auvinen, Tommi 2023)

Nyt on saatu lasketuksi samaa materiaalia (C50/60) oleva poikkileikkaus, joka vastaa mitoituksellisesti täysin todellista tilannetta. Lasketaan lopuksi vielä poikkileikkaussuureet muunnetulle poikkileikkaukselle.

Muunnetun poikkileikkauksen pinta-ala:

$$A_{KL+LV} = b_{KL}h_{KL} + b_{LV}h_{LV} = 245400 \text{ mm}^2 \quad (42)$$

Painopisteen etäisyys yläpinnasta:

$$e_{top} = \frac{0,5h_{LV}^2b_{LV} + (h_{LV} + 0,5h_{KL})b_Lh_{KL}}{A_{KL+LV}} = 114,55 \text{ mm} \quad (43)$$

Painopisteen etäisyys alapinnasta:

$$e_{bot} = h_{LV} + h_{KL} - e_{top} = 105,45 \text{ mm} \quad (44)$$

Jäyhyysmomentti:

$$I = b_{LV} \frac{h_{LV}^3}{12} + b_{KL} \frac{h_{KL}^3}{12} + h_{LV}b_{LV} \left( e_{top} - \frac{h_{LV}}{2} \right)^2 + h_{KL}b_{KL} \left( e_{bot} - \frac{h_{KL}}{2} \right)^2 = 997264793 \text{ mm}^4 \quad (45)$$

Taivutusvastus alapinnan suhteen:

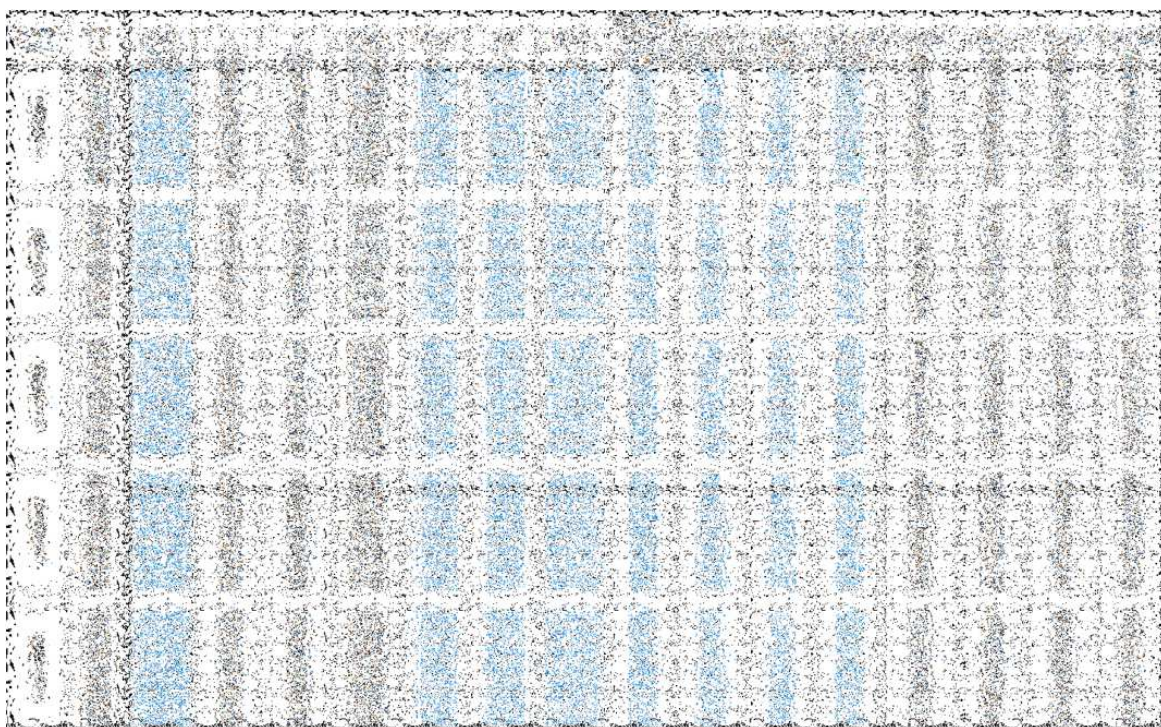
$$w_{bot} = \frac{I}{e_{bot}} = 9267566 \text{ mm}^3 \quad (46)$$

Näin varsin yksinkertaisella menetelmällä saadaan liittorakenteesta selville mitoitukseen tarvittavat poikkileikkaussuureet. Tarkemmassa menettelyssä myös kuorilaatat jännepunokset voitaisiin huomioida samaa muunnetun poikkileikkauksen menetelmää hyödyntäen, jolloin punoksen pinta-ala olisi kimmokertoimien suhteessa muunnettu vastaamaan betonin C50/60 pinta-alaa.

## 6 KEHITYSTYÖ

### 6.1 Mitoitusohjelma

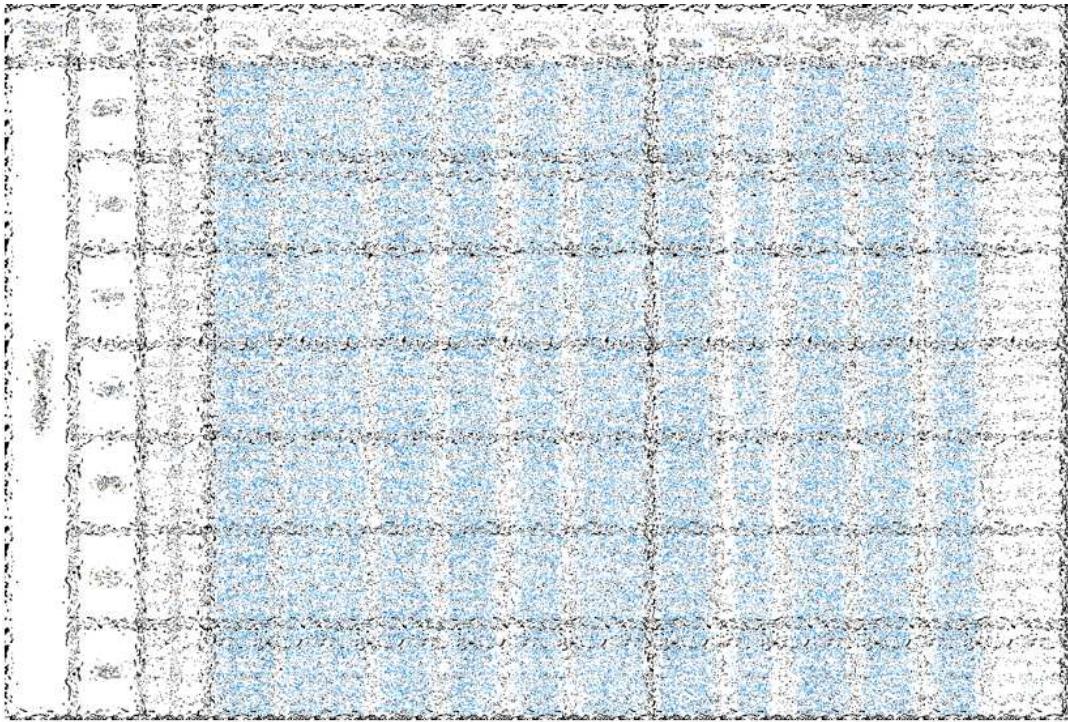
Opinnäytetyön osana tehtiin parkkihallin rakenteiden mitoitusohjelma, joka muutamalla lähtötietojen klikkauksella antaa parkkihallin rakenteiden dimensiot sekä raudoitusmäärät. Lähtötietoina syötetään maastoluokka, seuraamusluokka, käyttöikä, kerrosmäärä, pilariväli sekä JK-palkin jänneväli. Mitoitusohjelman toiminta perustuu osittain esilaskettuun dataan, esimerkiksi pilarien mitoitus-tiedot on laskettu jokaiselle tapaukselle erikseen FEM-Desing-ohjelmalla ja JK-palkkien raudoitustiedot puolestaan on laskettu Jb-palkki EC2-ohjelmalla. Pintalaatan raudoitus puolestaan lasketaan suoraan ohjelmassa valituksi tulleiden lähtötietojen ja JK-palkki- sekä kuorilaattatietojen perusteella.



KUVA 36. Kuvankaappaus mitoitusohjelman JK-palkkidatasta

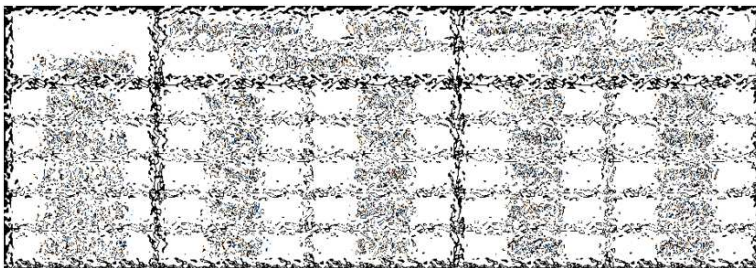
Yläpuolisessa kuvassa 36 on ote data-välilehdeltä, jossa on laskettuna eri pituisille JK-palkeille poikkileikkaus- ja raudoitustiedot valmiiksi, josta ohjelma käy poimimassa oikeat tiedot esivalintojen mukaan. Kuvan "Vaihtoehto 1" tarkoittaa matalinta mahdollista JK-palkkiprofiilia. Tämän lisäksi on laskettu myös "Vaihtoehto 2", jossa palkin mataluuden sijasta painotetaan mahdollisimman taloudellista profiilia. Se, kumpaa palkkikorkeutta voidaan käyttää, määräytyy kerroskorkeuden sekä määrätyn vapaan ajokorkeuden mukaan.





KUVA 37. Kuvankaappaus mitoitusohjelman pilaridatasta

Kuvassa 37 on ote mitoitusohjelmaan valmiiksi lasketusta pilaridatasta 4-kerroksiselle parkkihallille eri pilariväleittäin ja maastoluokittain. Tiedot on laskettu sekä reunapilareille että keskipilarille 2–10 kerroksisista parkkihalleista. Pilarien mitoitusdata laskentaohjelmaan on laskettu FEM-Design 3D-ohjelmalla, sillä sen käyttö todettiin toista verrokkiohjelmaa, Scia Engineeringiä huomattavasti nopeammaksi. Ohjelman jouhevalla käytöllä oli merkitystä, sillä eri kerrosmäärien, kuormitusleveyyksien sekä maastoluokkien yhdistelmiä tuli laskettavaksi lähes 250.



TAULUKKO 12. Kuorilaattojen valintataulukko

Kuorilaattojen laskentadata löytyy taulukosta 12. Taulukkoon on laskettu punosmäärittäin maksimipituudet kuorilaatoille tuettuina/tukemattomina. Mitoitettavaksi tekijäksi kuorilaatan maksimipituudelle tulee taipuma, joka rajoitetaan liittovalun aikaan tapahtuvana taipumana arvoon  $L/400$  sekä 0-tasosta tapahtuvana taipumana arvoon  $L/250$  sen mukaan, kumpi tulee määrääväksi. Laskentaohjelma käy hakemassa taulukosta profiili- ja raudoitustiedot valittujen lähtötietojen mukaan.

<b>Insinööritoimisto</b> <b>SRT OY</b> PL2000, (Viestikatu 3) 70601 KUOPIO Fax (017) 369 4401		<b>Parkkihallin rakenteiden esivalinta</b>	
		<b>Tekijä:</b> TA	<b>Sivu:</b> 1(1)
		<b>Päiväys:</b> 18.3.2023	
<b>Työ nro:</b>	<b>Rakennuskohde:</b>	<b>Sisältö:</b>	<b>Sijainti:</b>
5604	Opinnäytetyö	Esimerkkihallin rakenteet	

**Lähtötiedot:**

Maastoluokka	3	▼	info
Seuraamusluokka	CC2	▼	info
Käyttöikä	50v	▼	info
Kerros määrä	4	▼	
Pilariväli	7500	▼	
JK-palkin jänneväli	16000	▼	

KUVA 38. Mitoitusohjelmaan syötettävät lähtötiedot (Auvinen, Tommi 2023)

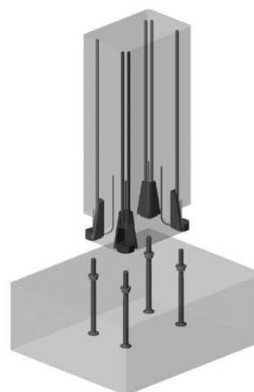
Kuvassa 38 on kaikki laskentaan tarvittavat lähtötiedot. Näiden tietojen lisäksi voi tehdä muutamia tarkentavia valintoja kunkin rakenneosan kohdalla, mm. JK-palkin korkeuden valintaan liittyen.

Alla olevassa kuvassa on ohjelman antamat tiedot keski- ja reunapilareista. Pilareista saadaan tiedot betonilujuudesta, raudoituksesta, pilarikengä- ja pulttitiedot sekä betonisen palkkikonsolin tyyppi.

Keskipilarin leveyden valinta on aina kompromissi pilarin kestävyys, rauditusmäärän sekä pilarikengäkoon suhteen. Joissain tapauksissa pärjättäisiin pykälää pienemmällä pilarikoolla, mutta taloudellisempaan lopputulokseen päästään kuitenkin isommalla pilarikoolla, jossa rauditusmäärä on vähäisempi ja pilarikengäkoko pienempi. Pilarikengän vaikutus kustannuksiin on merkittävä.

**Pilaritiedot:**

Reunapilarin tyyppi	<b>480x480</b>
Reunapilarin betoni	<b>C50/60</b>
Reunapilarin rauditus	<b>4xT25</b>
Reunapilarin kengät	<b>HPKM30</b>
Reunapilarin pultit	<b>HPM30L</b>
Palkkikonsolin tyyppi	<b>PK800</b>
Reunapilarin teräsmäärä	<b>108 kg/m³</b>
Keskipilarin tyyppi	<b>1280x480</b>
Keskipilarin betoni	<b>C50/60</b>
Keskipilarin rauditus	<b>8xT25+8xT16</b>
Keskipilarin kengät	<b>HPKM30</b>
Keskipilarin pultit	<b>HPM30L</b>
Palkkikonsolin tyyppi	<b>PK800</b>
Keskipilarin teräsmäärä	<b>110 kg/m³</b>



KUVA 39. Mitoitusohjelman tiedot reuna- ja keskipilareista (Auvinen, Tommi 2023)

Jännebetonipalkeista mitoitusohjelma antaa palkin profiilin, betoni- ja laukaisulujuuden, jännepunosmäärän sekä muiden raudoitteiden kilomäärän. Palkkityyppi on mahdollisuus optimoida sen mukaan, paljonko rakennekorkeutta on käytettävissä. Mitoitusdata laskentaohjelmaan laskettiin JbPalkki EC2-ohjelmalla.

#### JK-palkkitiedot:

Kumpaa palkkityyppiä haetaan?

JK-palkin profiili

JK-palkin korkeus

JK-palkin leveys

JK-palkin betonilujuus

JK-palkin laukaisulujuus

JK-palkin betonimäärä

JK-palkin punosmäärä

JK-palkin raudoitusmäärä

Palkkityyppi

Matalin rakenne -vaihtoehto

Normaali korkeus -vaihtoehto

**JK530x880**

$h_{JK}$  **530** mm

$b_{JK}$  **880** mm

**C70/85**

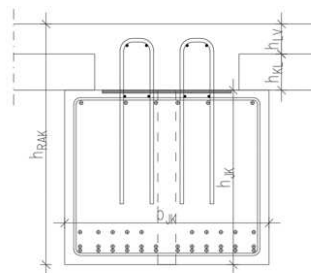
**C45/55**

**7.6** m<sup>3</sup>

**42+6J12,5**

**541** kg

→ **71.2** kg/m<sup>3</sup>



KUVA 40. Mitoitusohjelman tiedot jännebetonipalkeista (Auvinen, Tommi 2023)

Kuorilaatastosta mitoitusohjelma antaa rakenteiden paksuudet sekä jännepunosmäärät. Oletuksena kuorilaatasto mitoitetaan ilman liittovalun aikaista tuentaa, mutta ohjelmassa on mahdollisuus lisätä myös tuenta, jolloin on mahdollista päästä ohuempaan kuorilaattaprofiiliin sekä pienempään jännepunosmäärään.

#### Kuorilaattatiedot:

Kuorilaatan tuenta liittovalussa?

Kuorilaatan jänneväli

Kuorilaattarakenne

Kuorilaatan punosmäärä

KL tuenta

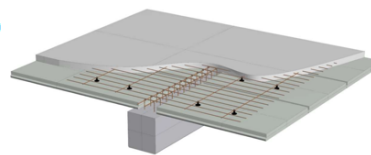
Ei tuentaa liittovalussa

Tuenta liittovalussa

**6720** mm

**KL120+LV100**

**10J12,5**



KUVA 41. Mitoitusohjelman tiedot kuorilaatoista (Auvinen, Tommi 2023)

Viimeisenä tietona ohjelma laskee vielä pintalaatan raudoituksen, kun aukkoisuustieto sekä tarkastettava tukilinja syötetään. Laskenta tapahtuu aiemmin valituksi tulleiden rakenneosien mitoitus-tietojen perusteella. Laskenta huomioi kappaleessa 4.1.1 läpikäytyt tarkastukset.



**Pintalaatan raudoitustiedot:**

Laataston aukkoisuus:

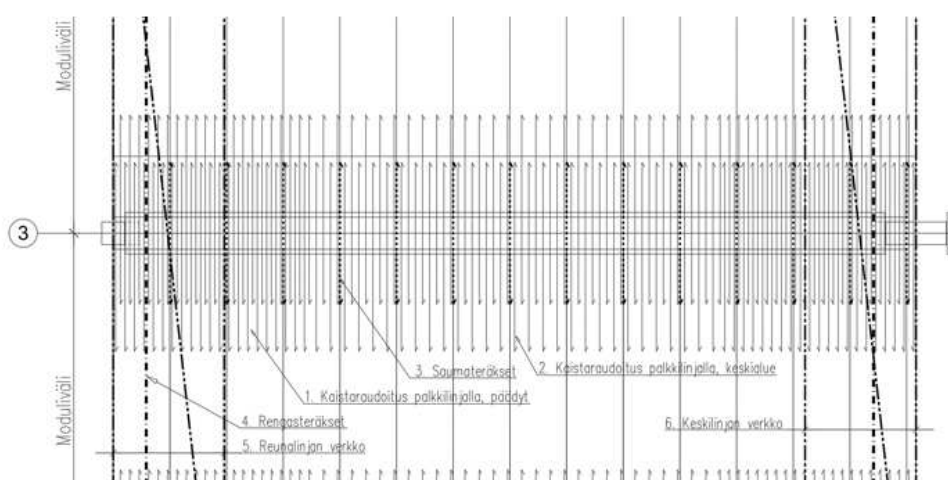
Tarkasteltava tukiliinja

HUOM! Paina "Laske teräsmäärä" yläpuolisten valintojen jälkeen!

Laske teräsmäärä

1. Kaistaraudoitus palkin päissä matkalla L/4	<b>T12k130</b>	} → 32.22 kg/m <sup>3</sup>
2. Kaistaraudoitus palkin keskimmaisella puolikkaalla	<b>T12k170</b>	
3. Saumateräksset	<b>T12k1200</b>	→ 2.97 kg/m <sup>3</sup>
4. Rengasteräksset	<b>2T12</b>	→ 2.09 kg/m <sup>3</sup>
5. Reunalinjan verkko	<b>6-200 b=2350</b>	→ 3.1 kg/m <sup>3</sup>
6. Keskilinjan verkko	<b>8-200 b=2350</b>	→ 5.52 kg/m <sup>3</sup>

Pintalaatan raudoitusmäärä yhteensä: **45.9 kg/m<sup>3</sup>**



KUVA 42. Mitoitustiedot pintalaatan raudoituksesta (Auvinen, Tommi 2023)

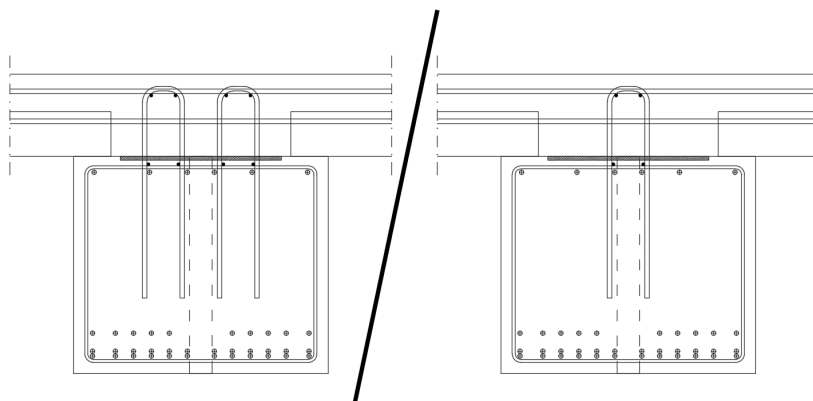
Mitoitusohjelmaa on tarkoitus hyödyntää varsinkin tarjousvaiheessa, jolloin rakenteiden dimensioidot ja rauditusmäärät rakennusosittain saadaan ohjelmasta ulos hetkessä. Aiemmin pelkästään pintalaatan raudoitustiedon laskennassa on tarvittu viittä erillistä ohjelmaa (statiikkaohjelma, jännebetonirakenteiden mitoitusohjelma, kaksi erillistä Excel-ohjelmaa sekä teräsbetonirakenteiden mitoitusohjelma), nyt nämä kaikki on yhdistetty saman ohjelman alle.

Jatkokehityksenä tarjousmitoituksen puolelle olisi tarkoitus kehittää vielä Tekla-structures-tietomalli, joka lukisi mitoitusohjelman dataa ja muodostaisi siitä tarjousmitoituksessa käytettävän tietomallin. Tietomallissa olisi rakenteiden profiilitiedot sekä rauditusmäärät [kg/m<sup>3</sup>], mutta raudotteita ei olisi mallinnettu. Tarjousvaiheessa näistä tiedoista tilaaja sekä betonielementtitoimittaja saavat kustannustiedon huomattavasti nykyistä nopeammin.

Mitoitusohjelmaan on tarkoitus lisätä jatkokehityksenä myös perustusten mitoitusosio. Perustuksille tulevat kuormat ovat ohjelmassa jo valmiiksi laskettuina, joten lähtötietoina ohjelmaan pitäisi syöttää maapohjan mitoitusparametrit, joiden perustella ohjelma laskisi taloudellisen anturakoon sekä raudituksen.







KUVA 44. Työsaumaverkkojen asennus yksittäin/rinnakkain riippuen raudoitustarpeesta (Auvinen, Tommi. 2023)

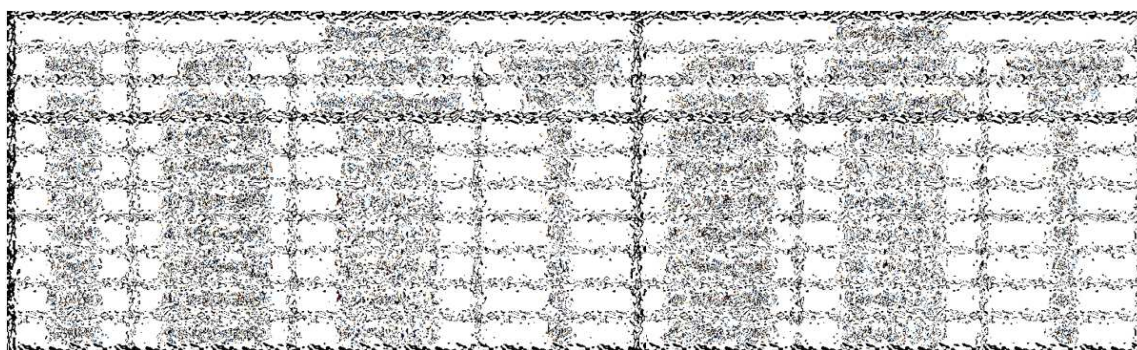


TAULUKKO 14. Työsaumaraudoituksen määrä [ $\text{mm}^2/\text{m}$ ] eri kokoonpanoilla (Auvinen, Tommi 2023)

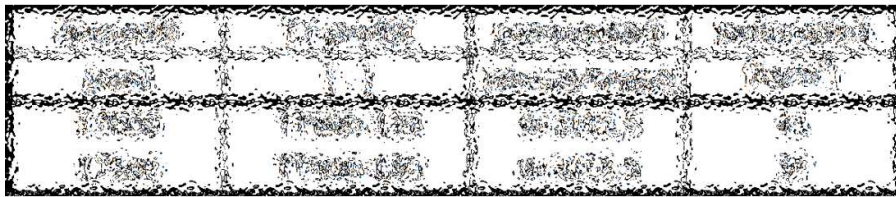
Työsaumaverkko on suunniteltu niin, että se voidaan asentaa tehtaalla suoraan leikkaushakojen päälle, jolloin verkko on automaattisesti oikeassa korossa. Yläpunosten ryhmitys on valittu sen mukaan, että jännepunokset pitävät verkot paikoillaan myös sivusuunnassa. Työsaumaverkon korkeus puolestaan on mitoitettu niin, että liittovalun kaistaraudotus asettuu oikeaan korkoon poikkiterästen päälle.

### 6.2.3 TT-laatta -yläpohjan rakenteet

Katetun parkkihallin yläpohja on kustannustehokkain toteuttaa TT-laatoilla. TT-laatat tulevat hallin poikkisuuntaan, joten niiden jänneväli pysyy lähes vakiona. TT-laatat tuetaan hallin pituussuuntaan asennettujen JK-palkkien varaan. Alla on taulukot JK-palkkien sekä TT-laattojen valintaan. Taulukoissa on mukana myös raudoitustiedot.

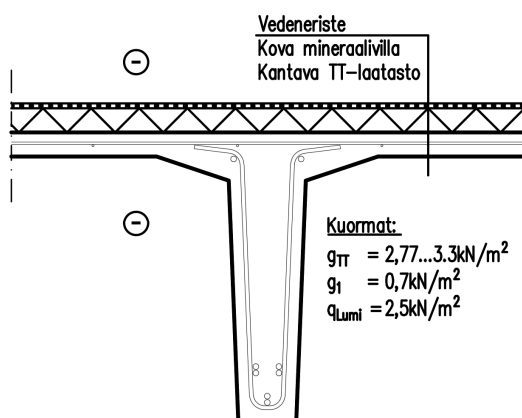


TAULUKKO 15. TT-laatasta tukevien JK-palkkien profiilit ja raudoitusmäärät modulivälien perusteella (Auvinen, Tommi 2023)



TAULUKKO 16. TT-laatan profiilin valinta jännevälin perusteella (Auvinen, Tommi 2023)

Laskelmissa vesikaton rakennetyyppi on oletettu alapuolisen mukaiseksi, jossa TT-laataston päällä on kova mineraalivilla ja sen päällä vedeneristyskermit. Kuormissa on huomioitu pintarakenteiden lisäksi varaus aurinkopaneeleille ( $0,5\text{kN/m}^2$ ) sekä aurinkopaneelien kerryttämä lisälumikuorma ( $0,5\text{kN/m}^2$ ).



KUVA 45. Vesikaton rakennetyyppi sekä laskelmissa käytetyt kuormat (Auvinen, Tommi 2023)

### 6.3 Kehälaskelmien vertailu

Pilarikehän jäykistyslaskelmat tehtiin vertailun vuoksi kolmella eri ohjelmalla. KEXE2-kehälaskentaohjelma on pitkään Insinööritoimisto SRT Oy:n käytössä ollut ohjelma, joka viime vuosina on ollut syrjäytymässä kehittyneempien FEM-laskentaohjelmien tieltä. KEXE2-laskelmien tuloksia verrattiin FEM-Design ja Scia Engineer laskentaohjelmien tuloksiin. Sekä FEM-Design että Scia Engineering ovat monipuolisia 3D-FEM-laskentaohjelmia, jotka laskevat sekä lineaarisesti että epälineaarisesti ja huomioivat betonin halkeilun sekä geometrisen epälineaarisuuden. Lineaarilla laskennalla tarkoitetaan analyysiä, jossa siirtymien ja kiertymien oletetaan olevan pieniä ja materiaalin elastinen ja lineaarinen. Epälineaarinen laskenta puolestaan huomioi siirtymien aiheuttaman toisen kertaluvun vaikutukset sekä materiaalin epälineaariset ominaisuudet esimerkiksi myötörajan ylittyessä. Geometrisella epälineaarisuudella tarkoitetaan sitä, kun rakenteen siirtymien kasvaessa myös taivutusmomentti kasvaa epälineaarisesti.

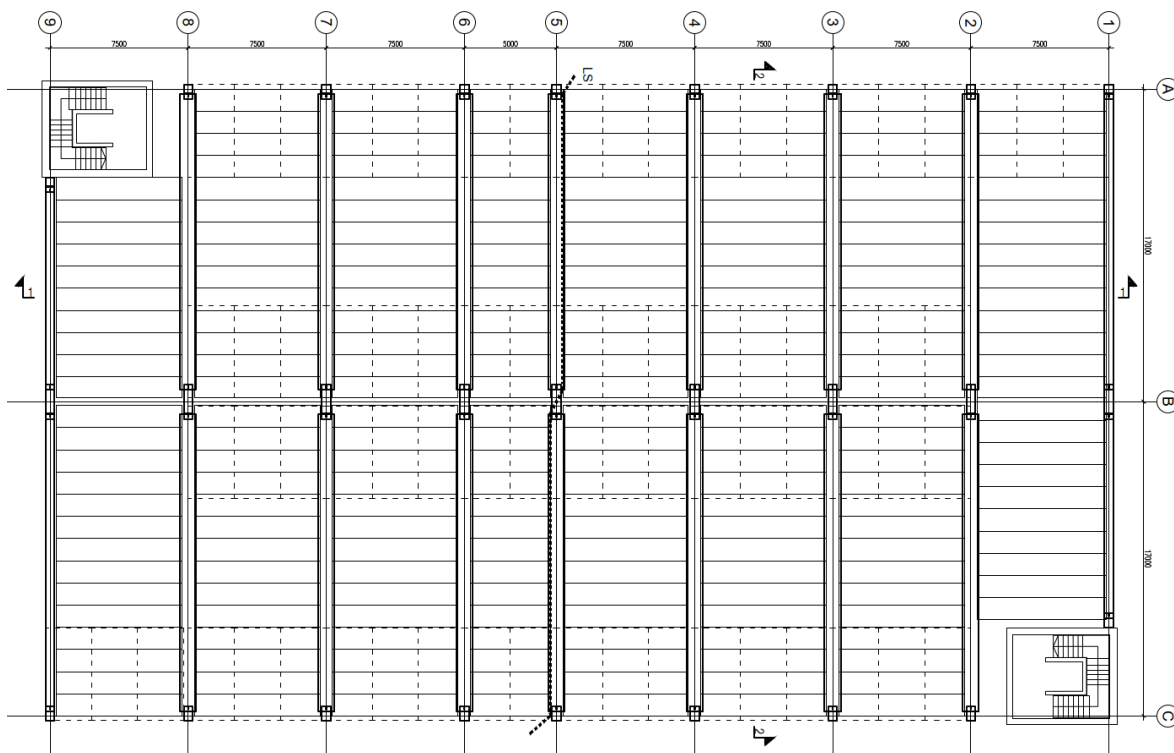
Laskennassa käytettävä epälineaarisen toisen kertaluvun analyysi tunnetaan eurokoodissa yleisenä menetelmänä, kun kaksi muuta yksinkertaistettua analyysimenetelmää ovat nimeltään nimellisjäyk-

kyteen perustuva menetelmä sekä nimelliseen kaarevuuteen perustuva menetelmä. Yksinkertaistetut menetelmät approksimoivat betonirakenteen epälineaarista käyttäytymistä, joten toisen kertaluvun momentit ovat selvästi suurempia kuin yleisellä menetelmällä laskettuna. Yleisen menetelmän haittapuolia ovat pitkä laskenta-aika ja käsinlaskennan mahdottomuus.

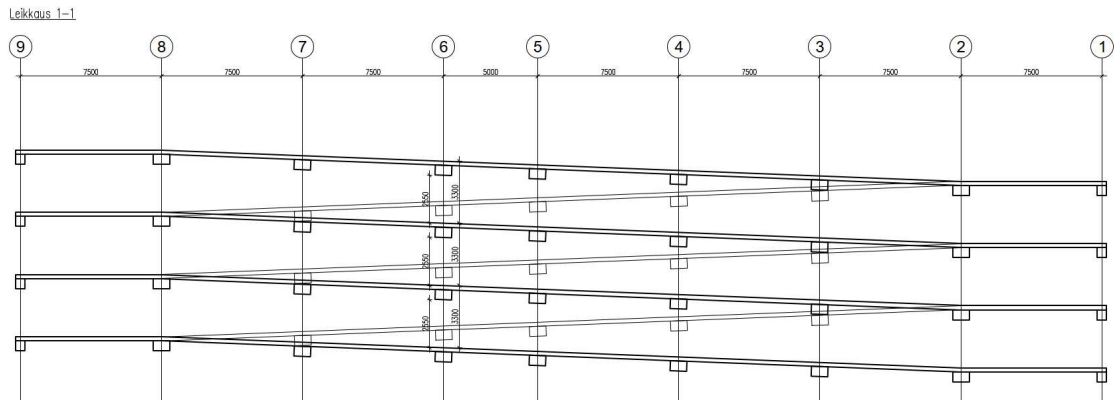
### 6.3.1 Esimerkkihalli

Vertailulaskelmiin valittiin esimerkkihallin pituudeksi 57,5 metriä. Se on lyhin pituus, jolla kerrosväli 3300 mm saadaan kierroksella nousuksi ilman, että päätyjen viimeisiä pilarivälejä kallistetaan. Valitaan hallin lähtötiedoiksi siis seuraavat tiedot:

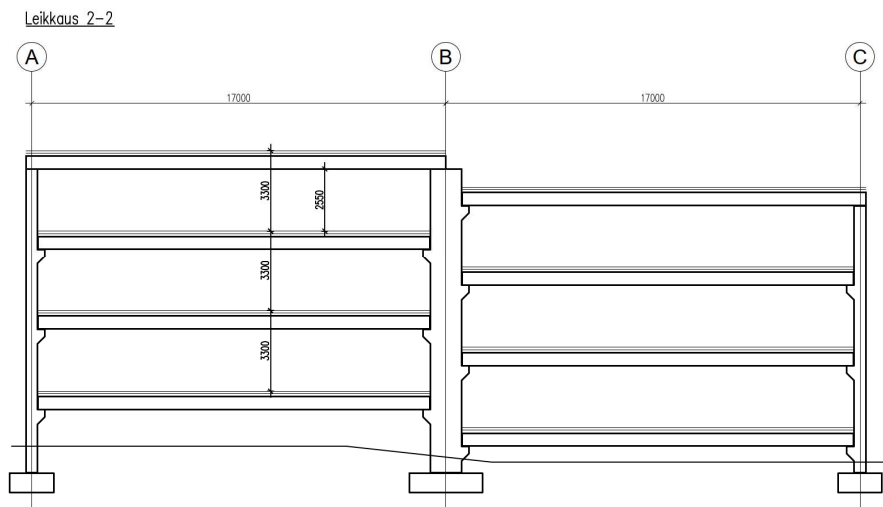
- rakennuksen käyttöikä 50 vuotta
- seuraamusluokka CC2
- maastoluokka 3
- rakennuksen mitat: leveys 34 metriä, pituus 57,5 metriä ja korkeus 15,9 metriä
- kerrosmäärä 4
- kerroskorkeus 3300 mm
- vapaa korkeus vähintään 2450 mm
- pilariväli 7 x 7500 mm + 1 x 5000 mm
- autopaikkamäärä 296 kpl



KUVA 46. Esimerkkihallin pohjapiirustus (Auvinen, Tommi 2023)

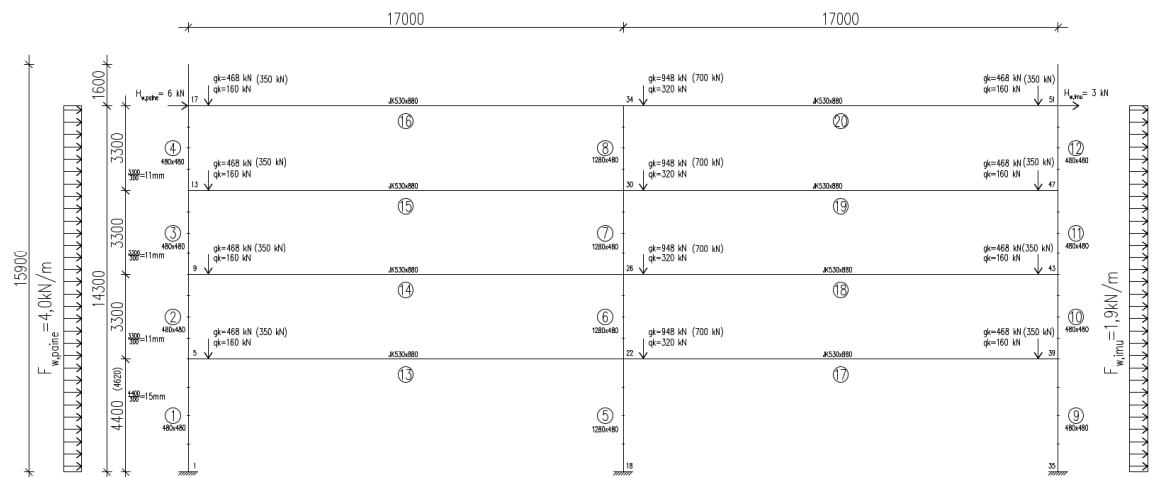


KUVA 47. Esimerkkihallin leikkaus 1-1 (Auvinen, Tommi 2023)



KUVA 48. Esimerkkihallin leikkaus 2-2 (Auvinen, Tommi 2023)

Alapuolisessa kuvassa on kehän laskentamalli, johon on lisätty kaikki kehälle tulevat kuormitukset. Suluisissa olevat kuorma-arvot ovat rakenteiden kuormituksia ilman pilarin ja palkin painoa. Suluttomiin pysyvään kuorman arvoihin pilarin ja palkin painot on lisätty.



KUVA 49. Kehän laskentamalli (Auvinen, Tommi 2023)

Vertailulaskelmien kuormayhdistelyssä käytettiin murtorajatilan yhdistelmää, jossa kuormaluokan F hyötykuorma otetaan huomioon osavarmuuskertoimella 1,5 ja tuulikuormat huomioidaan vain osittain osavarmuuskertoimella 0,9.

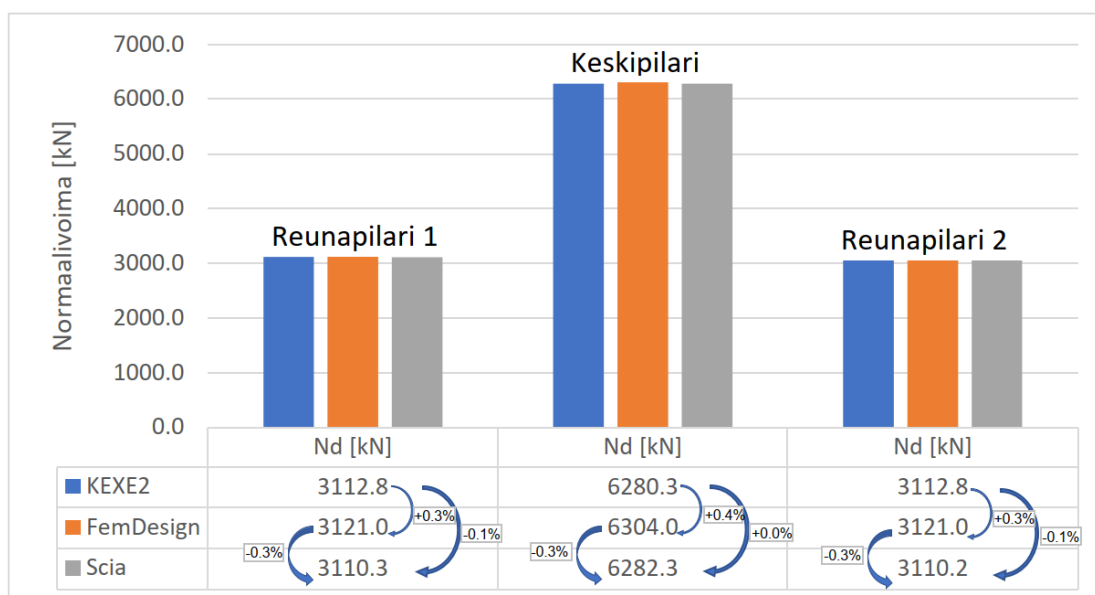
Load combinations

No.	Name	Type	Factor	Included load cases
1	KY1	U	1.15	Omapaino
			1.15	Pysyvät
			1.50	Hyöty F
			0.90	Hyöty W

KUVA 50. Vertailulaskelmissa käytetty kuormayhdistely (Auvinen, Tommi 2023)

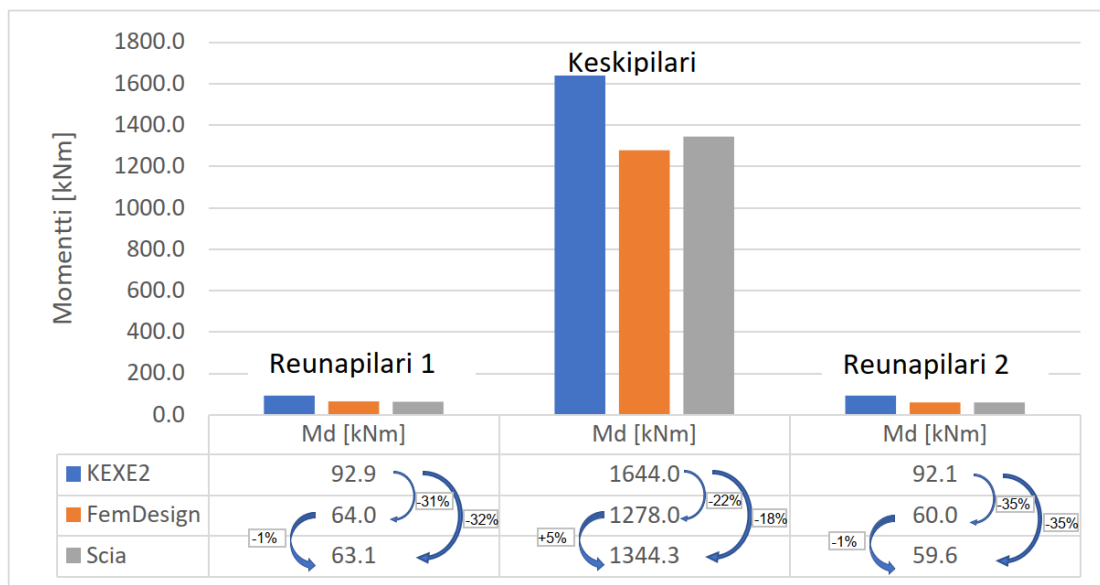
Vertailulaskelmissa vertailtiin kolmen mitoitusohjelman välillä yksittäisen kehän voimasuureita perustuksen liitoskohdassa sekä kehän kokonaissiirtymää. Normaalivoimien suhteen suurta hajontaa ei ohjelmien välille tullut, sillä laskennan epälineaarisuus ei pystykuormien suhteen juurikaan vaikuta kuormien jakaantumiseen. Sen sijaan taivutusmomenttien suhteen hajonta oli selvästi suurempaa. KEXE2-kehäohjelman momentit olivat kauttaaltaan 22–35 % verrokiohjelmia suurempia. Vaikka KEXE2-ohjelman laskenta perustuu elementtimenetelmään (FEM) ja ohjelma huomioi myös teräsbetonipoikkileikkauksen halkeilun, se ei pärjää laskentatarkkuudessa tämän päivän epälineaariseen analyysiin perustuville laskentamenetelmille, vaan tulos jää selvästi enemmän varman puolelle kuin verrokiohjelmissa. Yleiseen menetelmään perustuvassa analyysissä pilarin kuormitusta lisätään hiljalleen siihen saakka, kunnes pilari murtuu ja rajakuorma saavutetaan.

FEM-Designin ja Scia Engineeringin väliset erot taivutusmomenteissa sen sijaan olivat hyvinkin pieniä. Reunapilareissa erot näiden kahden ohjelman välillä olivat vain prosentin luokkaa ja keskipilarilakin ero oli vain 5 %. Näin ollen tuloksia voidaan pitää varsin luotettavina.



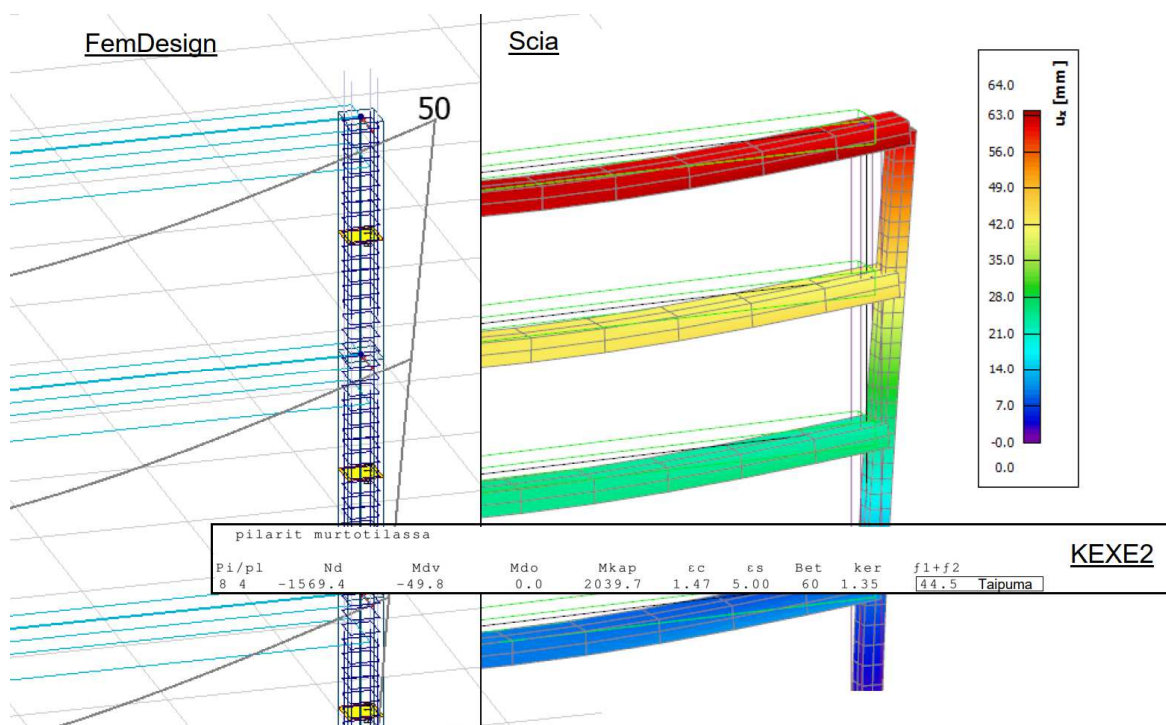
KUVA 51. Normaalivoimien erot pilarien alareunassa (Auvinen, Tommi 2023)





KUVA 52. Momenttien erot pilarien alareunassa (Auvinen, Tommi 2023)

Kehän laskennallinen siirtymä vaihteli ohjelmien välillä 45...63 mm:n välillä. KEXE2-ohjelman siirtymä oli pienin, 45 mm. Scia Engineeringillä puolestaan saatiin suurin siirtymä, 63 mm. Eroa siirtymässä Scia Engineeringin ja FEM-Designin välillä on noin 20 %.

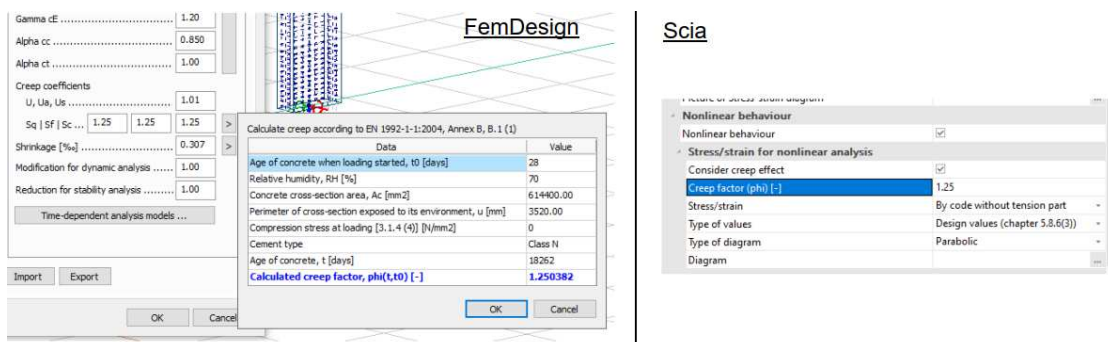


KUVA 53. Taipumat murtorajatilan yhdistelyllä eri laskentaohjelmilla (Auvinen, Tommi 2023)

Epälineaarisen analyysin tekemisessä niin Scia Engineeringillä kuin FEM-Designilla on monta sudenkuoppaa, johon kompastua. Ensinnäkin laskentamallin tulee olla oikein mallinnettuna ja tämän jälkeen kaikki laskentaan vaikuttavat asetukset tulee olla säädettyinä asianmukaisesti. Kollegoiden apu sekä useamman mitoitusohjelman päällekkäiskäyttö auttoivat suuresti oikeiden laskenta-asetusten

hakemisessa. Suunnittelijalla on oltava riittävä tietämys teoriasta sekä tuntemus käytettävästä mitoitusohjelmasta, jotta laskenta-asetukset tulevat oikein valituksi.

Erot KEXE2:n ja verrokkiohjelmien mitoitus tulosten välillä olivat odotetavissa, sillä yleisen menetelmän mukaisella mitoituksella tiedetään pääsevän edullisempiin mitoitus tuloksiin, varsinkin mitä hoikemmasta ja korkeammasta rakenteesta on kyse. Myös erot Scia Engineeringin ja FEM-Designin välillä olivat odotettavan pieniä. Eroa tuloksissa saattaa selittää esimerkiksi se, että FEM-Designissa jokaiselle elementille voidaan erikseen laskea virumaluku (joka on siis riippuvainen elementin poikkipinta-alasta), kun taas Scia Engineeringissä virumaluku syötetään lukuna materiaalille, jolloin poikkileikkauksella ei ole merkitystä virumaluvun suuruuteen.



KUVA 54. Erot virumaluvun syöttämisessä FEM-Design/Scia Engineering (Auvinen, Tommi 2023)



## 7 YHTEENVETO

Parkkihallin kehitysprojekti oli alkanut juuri ennen opintojeni alkua, joten opinnäytetyön aihe työnantajaltani tuli kuin tilauksesta. Lisäksi opinnäytetyön aihealueet tukivat vahvasti opintojen keskeisiä aihealueita, kuten rakennusten jäykistystä, esijännitettä betonirakenteita sekä FEM-laskentaa. Kaiken tämän lisäksi oma toimenkuvani Insinööritoimisto SRT Oy:n palveluksessa liittyy parkkihalleissa paljon käytettävien esijännitettujen rakenteiden mitoitukseen, joten aihe oli tämänkin osalta luonteva.

Työssä pääsin tutustumaan myös itselle hieman vieraampiin aihealueihin, kuten kehä rakenteiden stabiliteetin laskentaan sekä FEM-laskennan epälineaariin analyysiin. FEM-ohjelmia vertaillessa tuli hyvä käsitys molempien ohjelmien hyvistä ja huonoista puolista. Itselle helppokäyttöisemmäksi ohjelmaksi totesin FEM-Design 3D:n, koska sillä sain rakennettua laskentamallin ja määritettyä tarvittavat laskenta-asetukset huomattavasti Scia Engineeringiä nopeammin. Tosin tämä voi johtua siitä, että Scia Engineering -ohjelmalla joutuu toistaiseksi käyttämään vanhemman käyttöliittymän 32-bittistä versiota, sillä tietyt epälineaarisen analyysin tulosten tarkastelut eivät 64-bittisessä versiossa tällä hetkellä vielä toimi.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää Insinööritoimisto SRT Oy:n parkkihallien rakennesuunnittelua aiempaa nopeammaksi ja kustannustehokkaammaksi. Tätä varten kehitin parkkihallien rungon mitoittamista nopeuttavan mitoitusohjelman. Sen taustalle laskin suuren määrän dataa, josta ohjelma käy hakemassa jokaiselle rakenneosalle kustannustehokkaat dimensiot ja raudoitusmäärät. Tulokset saadaan vain muutamalla lähtötiedolla, joten mitoitukseen kuluva aika tulee olemaan todella paljon lyhyempi verrattuna aiempaan mitoitusprosessiin. Opinnäytetyössä myös vakioin sekä esimitoitin muutamia yleisiä rungon osia, jotta rakennesuunnitteluvaiheessa vältytään samojen osien toistuvasta mitoittamisesta. Näin säästetään rakennesuunnitteluun kuluva aikaa, kun voidaan käyttää taulukoituja arvoja sekä esimitoitettuja raudoituksia. Mitoitusprosessin nopeutuminen korostuu varsinkin tarjousmitoituksissa, sillä tarjousmitoitukseen tulevien parkkihallien määrä on vuositasolla merkittävä. Näin ollen kehitystyö palvelee aina tarjousmitoitusvaiheesta varsinaiseen rakennesuunnitteluprosessiin lyhentäen mitoitukseen käytettävää aikaa, joten opinnäytetyölle asetetut tavoitteet saavutettiin.

Kehittämäni mitoitusohjelmaa on tarkoitus laajentaa tulevaisuudessa koskemaan myös perustuksia sekä antamaan tiedot myös reunalinjan rakennedimensioihin. Laskentaohjelmien tulosten ja käyttökokemusten perusteella epälineaarisen FEM-laskennan käyttäminen mitoituksessa on rakenteiden hoikkuuden kannalta sitä tärkeämpää, mitä korkeammasta rakennuksesta on kyse. Myöskään lämpöliikkeen vaikutusta pilarien mitoitukseen ei ilman 3D-FEM-laskentaa voida suorittaa. Tarkemmalla analyysillä päästään pienempiin voimasuureisiin, joka tarkoittaa kapeampaa keskipilaria sekä pienempiä pilarikenkäksiä. Pienemmällä materiaalimenekillä on vaikutuksia tietenkin materiaalikustannuksiin, mutta myös rakennuksen CO<sup>2</sup>-päästöihin, joiden merkitys tulee tulevaisuudessa entisestäänkin kasvamaan.

## LÄHTEET

RT 98-11237 Pysäköintilaitokset. Ohjeet 2016. Helsinki: Rakennustieto Oy, Rakennustietosäätiö RTS.

Kuopion kaupunki 2017. Kuopion keskustapysäköinnin yleissuunnitelma 2017. Haettu 14.1.2023 osoitteesta <https://www.kuopio.fi/documents/7369547/7450882/Kuopion+keskustapys%C3%A4k%C3%B6innin+yleissuunnitelma.pdf/512f4093-01b0-4697-b808-400a200f277a>

Elementtisuunnittelu 2020. Jäykistysjärjestelmät. Verkkojulkaisu. Päivitetty 7.12.2020. <https://www.elementtisuunnittelu.fi/rakennejarjestelmat/rakennuksen-jaykistys/jaykistysjarjestelmat>. Viitattu 28.1.2023.

Asetus 2014/477/YM: Ympäristöministeriön asetus kantavista rakenteista. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2014/20140477>

Ympäristöministeriö 2016. Suomen rakentamismääräyskokoelma, Rakenteiden lujuus ja vakaus.

Suomen Betoniyhdistys ry 2016. BY 68 Betoni valinta ja käyttöikäsuunnittelu – opas suunnittelijoille 2016. Helsinki: BY-Koulutus Oy.

Suomen Betoniyhdistys ry 2021. BY 65 Betoninormit 2021. Helsinki: BY-Koulutus Oy.

Elementtisuunnittelu.fi verkkojulkaisu, Suunnittelukuormat. Päivitetty 19.10.2010. <https://www.elementtisuunnittelu.fi/rakennejarjestelmat/rakennuksen-jaykistys/suunnittelukuormat>

Leskelä, Matti 2005. Betonirakenteiden suunnitteli ja mitoitus 2005 by210. Helsinki: Suomen Betoniyhdistys ry.

Betoniteollisuus ry, Betonirakenteiden suunnittelu eurokoodien mukaan, Osa 5. Pilarit. Julkaisuaika tuntematon. [https://www.eurocodes.fi/wp-content/uploads/1992/sahkoinen1992/Leaflet\\_5\\_Pilarit.pdf](https://www.eurocodes.fi/wp-content/uploads/1992/sahkoinen1992/Leaflet_5_Pilarit.pdf)

SFS-EN 1992-1-1+A1+AC. Eurokoodi 2: Betonirakenteiden suunnittelu 2015. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.

Korhonen, Ari 2022. Opetusmateriaali

Suomen Betoniyhdistys ry & Teräsrakenneyhdistys ry 2012, Liittorakenteiden suunnittelu ja mitoitus. Helsinki: Suomen betoniyhdistys ry.

Suomen Betoniyhdistys ry 2012. Betoninormikortti 23. Liitosten suunnittelu ja mitoitus onnettomuuskuormille standardin SFS-EN 1991-1-7 yleiset kuormat, onnettomuuskuormat mukaan. Helsinki: Suomen betoniyhdistys ry. Saatavilla [https://www.betoniyhdistys.fi/media/normikortit/normikortti\\_23ec-1.pdf](https://www.betoniyhdistys.fi/media/normikortit/normikortti_23ec-1.pdf)

Suomen Betoniyhdistys ry 2004. BY 50 Betoninormit 2004. Helsinki: Suomen Betoniyhdistys ry.

Parma Betonila 1999. Parel liittolaattojen suunnitteluohje.

Betsset Oy julkaisuaika tuntematon. Valokuva. <https://betset.fi/tuotteet/betonielementit/laatat/>

RTT RAKENNUSTEOLLISUUS. Valmisarakentaminen II, Osa 1, Liittorakenteet. Helsinki: Suomen Betonitieto Oy.

Suomen Betoniyhdistys ry 1984. BY 16 Suunnittelun sovellusohjeet ja betoninormien RakMK B4 suunnitteluosa, RakMK B1 ja B2. Jyväskylä: Suomen Betoniyhdistys ry.