

Opinnäytetyö

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, insinööri AMK

Rakennesuunnittelu

2020

Toni Klemets

# KOULURAKENNUKSEN EHDOTUSSUUNNITELMA

Sirkkalan koulu, Turku

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan insinööri

Ohjaaja DI Olli Hautaniemi

2020 | 65 sivua, 7 liitesivua

Toni Klemets

# KOULURAKENNUKSEN EHDOTUSSUUNNITELMA

– Sirkkalan koulu, Turku

Opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä rakennesuunnittelun ehdotussuunnitelma Turussa sijaitsevan Sirkkalan koulun laajennukseen. Laajennuksen yhteydessä kunnostetaan myös rakennuksen vanha osa, mutta tässä työssä keskityttiin vain uudisosaan. Työn toimeksiantajana toimi rakentamisen konsultointi- ja suunnittelun toimisto Sitowise Oy, joka tekee myös kohteen varsinaisen toteutussuunnittelun. Kohteen rakennuttajana toimii Turun kaupunki.

Suunnittelun lähtökohtana on käytetty työn toimeksiantajan hyväksi havaitsemia menetelmiä ja rakenteita. Sen lisäksi on tutkittu lukuisia lähteitä, joiden pohjalta on valittu sopivin runkojärjestelmä sekä rakennetyypit. Työtä ohjasi rakennuttajalta saadut lähtötiedot sekä vaatimukset, joista oleellisimpina pidettiin muuntojoustavuutta, pitkää käyttöikää, palo- ja äänitekniisiä ominaisuuksia, sekä koko elinkaaren huomioivaa kustannustehokkuutta. Näiden lisäksi työssä on otettu huomioon rakentamiseen liittyvät lait, normit, yleiset käytännöt, sekä alustava mitoitus. Valinnoilla pyrittiin myös siihen, että myöhemmissä suunnitteluvaiheissa detaljien määrä pysyy pienenä ja rakenteet yksinkertaisina.

Rakennustavaksi valikoitui rungon ja julkisivun sisäkuoren osalta betonielementtirakentaminen. Runkorakenteeksi valittiin pilari-palkkijärjestelmä ja julkisivuksi eriytetty rakenne, jossa sisäkuorena toimii betonielementti. Tämä mahdollistaa tuuletusraollisen rakenteen ja lähes vapaasti valittavan julkisivurakenteen. Samalla se antaa myöhemmässä suunnitteluvaiheessa mahdollisuuden käyttää sisäkuorielementtejä rakennuksen jäykistämiseen, mikäli muut jäykistysjärjestelyt eivät ole riittäviä. Valitut menetelmät ja rakenteet täyttävät hyvin asetetut tavoitteet ja vaatimukset.

Opinnäytetyön tuloksena syntynyt ehdotus runkojärjestelmästä sekä yleisimmistä rakennetyypeistä toimii pohjana varsinaiselle toteutussuunnittelulle.

ASIASANAT:

ehdotussuunnittelu, koulurakennus, runkorakenne

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Civil Engineering

Instructor Olli Hautaniemi, M.Sc.Eng.

2020 | 65 pages, 7 pages in appendices

Toni Klemets

# PRELIMINARY STRUCTURAL DESIGN OF A SCHOOL BUILDING

– Sirkkala school, Turku

The purpose of this thesis was to make a structural design proposal plan for building an extension for the Sirkkala school of Turku. The old part of the building will also be renovated, but this work focused only on the new part of the building. The commissioner of this work was a consulting and construction design agency called Sitowise Oy. The company will conduct the actual implementation planning of the site. The developer of the site is the city of Turku.

The starting point of this work was based on the methods and structures proven practical by the commissioning company. In addition, numerous sources were studied, and the most suitable frame system and structure types were selected. The work was guided by the initial data and the requirements received from the developer. The most important of which were conversion flexibility, long lifetime, fire and sound properties and cost-effectiveness of the whole life cycle. Further points that were considered were construction laws, norms, general practices and preliminary dimensioning. The number of details were maintained low and the structures simple for the later design stages.

Prefabricated concrete structures was chosen as the construction method for the frame and the inner shell of the facade. A pillar-beam system was chosen as the frame structure and a differentiated structure for the facade, in which a concrete element acts as the inner shell. This makes a ventilated structure possible and allows numerous different facade structures. It also allows the use of inner shells to be used as a stiffening element of the building if other stiffening arrangements are not sufficient. All the chosen methods and structures meet the objectives.

The proposal for the frame system and the most common types of structures created, serves as a basis for the actual implementation planning.

KEYWORDS:

Preliminary structural design, school building, frame structure

# SISÄLTÖ

<b>1 JOHDANTO</b>	<b>7</b>
<b>2 KOHTEEN LÄHTÖTIEDOT</b>	<b>8</b>
<b>3 RAKENNESUUNNITTELUN TAVOITTEET JA VAATIMUKSET</b>	<b>12</b>
3.1 Muuntojoustavuus ja toimivuus	12
3.2 Paloturvallisuus	13
3.2.1 Rakennusten paloluokitus	13
3.2.2 Palokuorma	14
3.2.3 Rakenteiden kantavuus, eristävyys ja tiiviyys	14
3.2.4 Palo-osastot	14
3.2.5 Palon kehittymisen rajoittaminen	15
3.2.6 Rakennusten välinen etäisyys ja palomuuuri	16
3.3 Ääni	17
3.3.1 Äänieristys	18
3.3.2 Melun- ja värinätorjunta	19
3.3.3 Ääniolosuhteet	19
3.4 Energiatehokkuus ja lämpöhäviö	19
<b>4 SUUNNITTELUN PERUSTEET JA KUORMAT</b>	<b>21</b>
4.1 Rajatilamitoitus	21
4.2 Kuormat	22
4.3 Osavarmuuslukumenetelmä	22
4.4 Omat painot	23
4.5 Hyötykuormat	23
4.6 Lumikuormat	24
4.6.1 Katon muotokertoimet ja kuormituskaaviot	25
4.6.2 Korkeampaa kohdetta vasten oleva katto	27
4.7 Tuulikuormat	28
<b>5 RAKENNEVAIHTOEHDOT JA -TYYPIT</b>	<b>32</b>
5.1 Elementtirakentaminen vai paikallavalu	32
5.2 Runkojärjestelmät	33
5.2.1 Kantavat seinät-laattarunkojärjestelmä	34

5.2.2 Pilari-palkkirunkojärjestelmä	34
5.3 Rakenteet	36
5.3.1 Alapohja ja perustukset	36
5.3.2 Pilarit	36
5.3.3 Palkit	41
5.3.4 Laatat	47
5.3.5 Ulkoseinät	50
5.3.6 Lämmöneristys	51
5.4 Jäykistys	52
<b>6 CASE</b>	<b>55</b>
6.1 Runko ja rakenteet	56
6.2 Palotekniset ratkaisut	60
6.3 Kohteen jäykistys	60
<b>7 YHTEENVETO</b>	<b>61</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>62</b>

## LIITTEET

- Liite 1. Kuormat.  
Liite 2. Pilarin D5 kuormat ja mitoitus.

## KUVAT

Kuva 1. Asemakaava.	9
Kuva 2. Ensimmäinen kerros.	9
Kuva 3. Toinen kerros.	10
Kuva 4. Kolmas kerros.	10
Kuva 5. Neljäs kerros.	11
Kuva 6. Tontin rajan läheisyys suhteessa tulevaan rakennukseen.	17
Kuva 7. Lumen ominaiskuorman arvot maassa, yksikkö kN/m <sup>2</sup> .	24
Kuva 8. Pulpettikaton kuormituskaavio.	26
Kuva 9. Harjakaton kuormituskaaviot.	26
Kuva 10. Sahakaton kuormituskaaviot.	26
Kuva 11. Korkeampaa kohdetta vasten olevan katon muotokertoimet.	28
Kuva 12. Tuulikuorman voimakerroin.	29
Kuva 13. Maastoluokkien kuvaukset.	30

Kuva 14. Puuskanopeuspaineen $q_{po}(z)$ ominaisarvo eri maastoluokissa.	31
Kuva 15. Kantavat seinät-laattarunkojärjestelmä.	34
Kuva 16. Pilari-palkkirunkojärjestelmä.	35
Kuva 17. Suorakaidepilarien suositeltavat poikkileikkaukset.	38
Kuva 18. Kantokykykäyrä teräsbetonipilari 380x380 C40.	39
Kuva 19. Betoniulokkeen vakioimitoitus.	39
Kuva 20. Betoniuloke kolotulla palkilla.	40
Kuva 21. Piilokonsoli.	40
Kuva 22. Teräksen ja betoni liittopilari.	41
Kuva 23. Betonisten elementtipalkkien poikkileikkauksia.	41
Kuva 24. Suorakaidepalkki.	42
Kuva 25. Leukapalkki.	42
Kuva 26. Deltapalkki.	43
Kuva 27. WQ-palkki.	43
Kuva 28. Alustava palkkilinja ja ontelolaattojen jako ensimmäisessä kerroksessa.	44
Kuva 29. Leukapalkki.	44
Kuva 30. Leukapalkin kantokykykäyrät.	45
Kuva 31. Betoninen matalaleukapalkki.	45
Kuva 32. Betonisen matalaleukapalkin kantokykykäyrä.	46
Kuva 33. Deltapalkki.	46
Kuva 34. Deltapalkin kantokykykäyrä.	47
Kuva 35. Leukapalkin ja ontelolaatan liitos.	48
Kuva 36. Ontelolaattojen käyttöalue.	49
Kuva 37. Suorakaidepalkin ja kuorilaatan liitos.	49
Kuva 38. Sandwich seinärakenne.	50
Kuva 39. Yhdistelmä rakenne, jossa betoninen sisäkuori ja muurattu julkisivu.	50
Kuva 40. Jäykistystornin ja mastoseinien yhdistelmä.	53
Kuva 41. Levyjäykistys.	53
Kuva 42. Rakennuksen alustava 3D-malli katsottuna etelästä.	55
Kuva 43. Rakennuksen alustava 3D-malli katsottuna pohjoisesta.	55
Kuva 44. Toisen kerroksen alustava pilarilinja.	56
Kuva 45. Alapohjan alustava rakennetyyppi.	57
Kuva 46. Välipohjan alustava rakennetyyppi.	58
Kuva 47. Muuratun ulkoseinän alustava rakennetyyppi.	59
Kuva 48. Puuverhoillun ulkoseinän alustava rakennetyyppi.	59

## TAULUKOT

Taulukko 1. Rakennuksen tilojen luokat ja hyötykuormat.	24
Taulukko 2. Lumikuorman muotokertoimet.	25
Taulukko 3. Tehollinen hoikkuus.	30

# 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheena on laatia Sirkkalan koulun laajennuksen rakennesuunnittelun ehdotussuunnitelma. Rakennuskohde sijaitsee Turussa ja rakennuttajana toimii Turun kaupunki. Hankkeessa kunnostetaan myös vanha rakennus, mutta tässä opinnäytetyössä keskitytään vain uudisrakennukseen.

Työn toimeksiantaja on rakennusalan suunnittelu- ja konsultointitoimisto Sitowise Oy. Toimeksiantajalla on tarkoitus käyttää ehdotussuunnitelmaa kohteen varsinaisen suunnittelun pohjana.

Opinnäytetyön tavoitteena on rakennesuunnittelun tehtäväluettelon RAK18 (RT 103087, 2019) mukaisesti tutkia eri rakenneteknisiä vaihtoehtoja koulurakennuksen toteuttamiselle ja arvioida niiden sopivuutta kohteeseen. Työssä arvioidaan myös alustavat rakenteiden kuormitukset sekä laaditaan ehdotukset sopivista rakennetyypeistä.

Suunnittelun lähtökohtana käytetään betonirakenteita. Puu- ja teräsrakenteet ovat myös mahdollisia toteutettaessa kohteen kaltaista koulurakennusta, mutta betonirakenteiden yleisyyden sekä niiden lukuisten hyötyjen takia se on sopivin materiaali tähän kohteeseen. Betonin ja muiden materiaalien liittorakenteita ei kuitenkaan ole suljettu pois.

Työssä tarkastellaan koulurakennuksille asetettuja tärkeimpiä tavoitteita ja vaatimuksia, joiden pohjalta esitetään niihin sopivia rakenneratkaisuja. Työn lopputuloksena tuotetaan ehdotus koulun rakennesuunnittelusta, joka pitää sisällään runkojärjestelmän, rakennusosat ja rakennetyypit.

## 2 KOHTEEN LÄHTÖTIEDOT

Rakennus sijaitsee Turussa osoitteessa Sirkkalankatu 20. Kiinteistön omistaa Turun kaupunki. Laajennusala on 3 200 m<sup>2</sup> neljässä tasossa. Rakennus on tarkoitus ottaa käyttöön vuoden 2022 loppuun mennessä. Tontilla on ennestään viisi koulu- tai päiväkotirakennusta, joista yksi puretaan laajennuksen tieltä. Tontilla on myös suojeltavia puita sekä muinaismuistoja, jotka asettavat rajoitteita rakentamiselle. Oman haasteensa suunnitteluun ja rakentamiseen tuo tontin ahtaus, rakennettavan rakennuksen sijoittuminen ihan rajan läheisyyteen ja muiden rakennusten keskelle sekä tontin suuret korkeuserot. Tontilla on korkeuseroa 6,5 metriä. Uuden rakennuksen tulee myös sopia yhteen ympärillä sijaitsevien kulttuurihistoriallisesti arvokkaiden rakennusten kanssa, mikä myös asettaa reunaehdoja suunnitteluun.

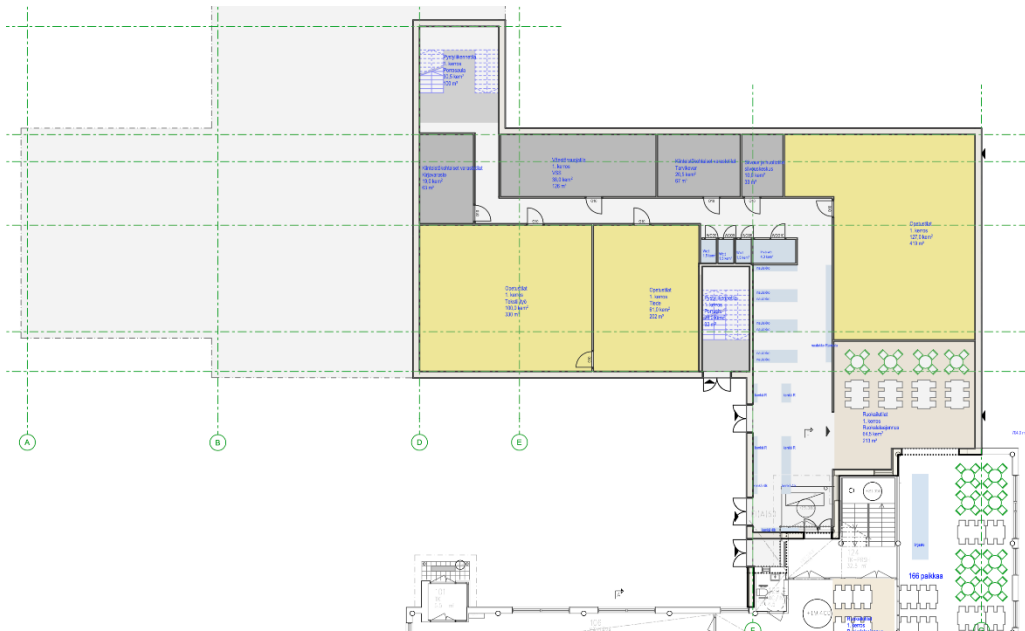
Uudisrakennukseen sijoittuu 9 luokkatilaa, 2 pienluokkatilaa sekä eriyttämistiloja, erityisluokkia, aamupäivä- ja iltapäivätoiminnan tiloja, henkilöstön tauko- ja työskentelytiloja, hallinto, toimintaterapia/liikuntatila ja esiopetuksen tilat. Oppilaiden enimmäismäärä on 400.

Hankesuunnitteluvaiheessa toteutetun alustavan perustamisolosuhteraportin mukaan ylärinteen maapeite sorapinnan alla on moreenia ja alarinteen silttipitoista savea ennen pohjamoreenia. Kallio tulevalla rakennuspaikalla on alle viiden metrin syvyydellä. Maaperä on routivaa ja pohjavesi on moreenissa.

Kohteen arkkitehtinä toimii Schauman arkkitehdit. Arkkitehti on ehdotussuunnitteluvaiheessa toimittanut kohteesta alustavan asemakaavakuvan (kuva 1) sekä pohjakuvat jokaisesta kerroksesta (kuvat 2–5). Rakennus näkyyn asemakaavakuvassa harmaana. Vanha osa, johon uudisosa liittyy, on kuvissa alapuolella Itäisen Pitkänkadun varressa.

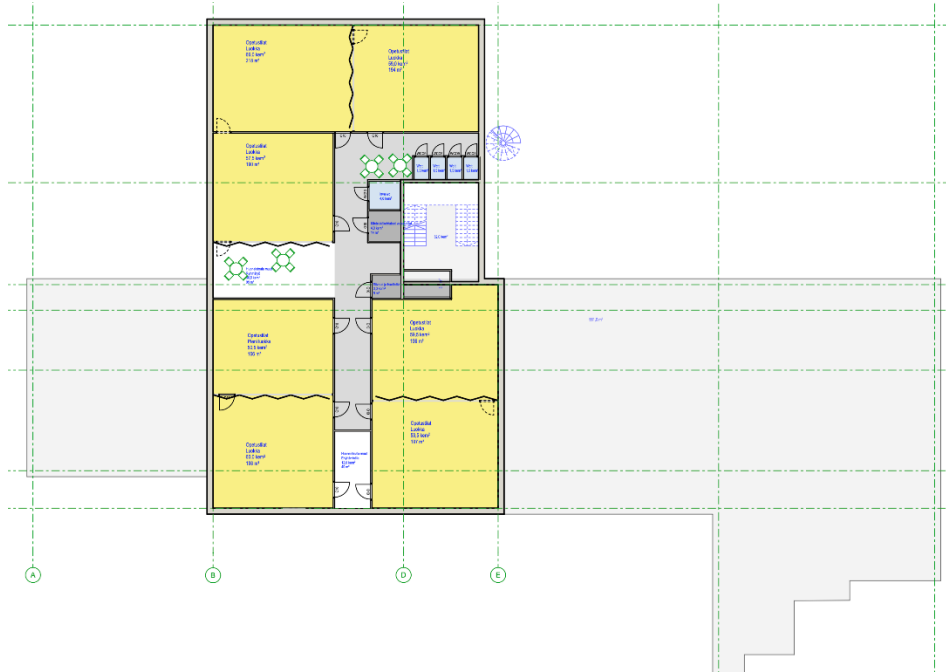


Kuva 1. Asemakaava (Schauman arkkitehdit).



Kuva 2. Ensimmäinen kerros (Schauman arkkitehdit).





Kuva 5. Neljäs kerros (Schauman arkkitehdit).

## 3 RAKENNESUUNNITTELUN TAVOITTEET JA VAATIMUKSET

Ehdotussuunnittelun tavoitteena on tuottaa vaihtoehtoja varsinaisen toteutussuunnittelun lähtökohdaksi. Ehdotuksista valitaan sopivin ja varmistetaan, että se täyttää hankkeelle asetetut tavoitteet. (RT 103087, 2019.)

Kohteen lähtötiedoissa hankkeen tilaajan edellytys on, että suunnittelussa on kiinnitettävä erityistä huomiota ergonomiaan, ekologisuuteen, esteettömyyteen, esteettisyyteen ja akustisiin olosuhteisiin. Lisäksi on kiinnitettävä huomiota tilojen muunneltavuuteen. Laajennus tulee suunnitella ottaen huomioon kestävä kehityksen periaatteet ja erityisesti ympäristö- ja elinkaarinäkökohdat.

Tavoiteltu käyttöikä on rungon ja sokkelin osalta yli 50 vuotta, julkisivun osalta 40 vuotta, vesikaton 50 vuotta, sisäpintojen 25 vuotta sekä märkätilojen osalta 20 vuotta. Rakenteiden ja rakennusosien valinnassa on otettava huomioon koko elinkaaren aikaiset kustannukset. Tarvikkeet, materiaalit ja värit tulee valita valmistajien vakiotuotteista. Toteutuksessa on otettava mahdollisimman hyvin huomioon ekorakentamisen periaatteet. Uuden rakennuksen on myös sovittava muuhun ympäröivään miljööseen. Kohteen sijaitessa keskustan herkällä ja kulttuurihistoriallisesti merkittävällä paikalla, ei ole mahdollista toteuttaa elementtirakentamista julkisivun osalta. Kohde tulee myös suunnitella rakentamiseen liittyvät normit täyttäväksi, muuta ylilaatua ei tavoitella.

### 3.1 Muuntojoustavuus ja toimivuus

Tilaajan tavoitteena on saavuttaa Sirkkalan koulun tilatarpeisiin pitkäaikainen ja tarkoituksenmukainen ratkaisu, joka mahdollistaa muuntojoustavat tilat. Suunnittelussa otetaan huomioon koulutoiminnan lisäksi myös aamu- ja iltapäivätoiminta sekä esiopetus. Oppimisympäristön tulee myös tarjota mahdollisuus luoviin ratkaisuihin.

Muuntojoustavuuden asettaman vaatimuksen takia luonnollinen lähtökohta rungon suunnittelulle on pilari-palkkirunko. Oikein sijoitetulla pilarilinjalla päästään hyvään lopputulokseen luokkatilojen osalta, eikä kantavien sisäseinien käyttö aiheuta tilojen muunneltavuuteen myöhemmin rajoitteita.

## 3.2 Paloturvallisuus

Rakennuksen suunnittelussa on otettava huomioon paloturvallisuus. Maankäyttö- ja rakennuslaki (132/1999, 117 b §) ja sen muutettu versio (958/2012) asettavat tälle vaatimukset. Laki velvoittaa, että rakennus on suunniteltava ja rakennettava paloturvalliseksi sen käyttötarkoituksen huomioivalla tavalla. Rakennesuunnittelijan on varmistettava, että rakennus pysyy tulipalotilanteessa pystyssä sortumatta määritetyn vähimmäisajan verran. Suunnittelussa täytyy siten ottaa erityisesti huomioon kantavien rakenteiden palonkesto. Myös muut rakenteet on suunniteltava siten, että ne rajoittavat palon ja savun kehittymistä sekä leviämistä, eivätkä vaikeuta palon hallintaan saamista. Rakennesuunnittelijan on myös varmistettava, että palo ei pääse rajoittamattomasti leviämään lähistön muihin rakennuksiin. Kaikissa rakenneratkaisuissa on siis otettava huomioon paloturvallisuus, ja niissä tulee käyttää paloturvallisia rakennustuotteita ja teknisiä laitteistoja. Rakennesuunnittelija varmistaa myös yhdessä rakennussuunnittelijan kanssa, että mikäli palo syttyy, rakennuksesta on mahdollista poistua turvallisesti sekä järjestää pelastustoimia.

Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta (848/2017) tarkentaa lain asettamia vaatimuksia. Asetuksen mukaan pääsuunnittelija, rakennussuunnittelija ja erityissuunnittelija ovat vastuussa suunnitelmistaan ja siitä, että ne täyttävät paloturvallisuudelle asetetut tekniset vaatimukset. Asetuksessa myös esitetään suunnitteluarvot ja luokat, joiden pohjalta suunniteltu rakennus täyttää vaaditut tekniset vaatimukset.

### 3.2.1 Rakennusten paloluokitus

Rakennukselle tulee määrittää paloluokka. Paloluokkia on neljä, joista luokissa P1, P2 ja P3 rakennus suunnitellaan ympäristöministeriön asetuksessa (848/2017) esitettyjen luokkien ja lukuarvojen perusteella. Neljännessä paloluokassa P0 rakennuksen suunnittelussa ei käytetä taulukkomitoitusta, vaan mitoitus tehdään oletettuun palonkehitykseen perustuvan menetelmän mukaan, jonka on osoitettu olevan toimiva. Tässä mitoitus perustuu todennäköisesti esiintyvien tilanteiden huomioimiseen. Työn aiheena oleva koulurakennus on lähtötiedoissa määritelty kuuluvan paloluokkaan P1.

### 3.2.2 Palokuorma

Rakennuksen palo-osastoille tulee määrittää myös palokuorma. Palokuorma pitää sisälleen kaiken palo-osaston sisäisen palavan materiaalin, kuten kaikki rakennusosat ja irtaimiston. Ympäristöministeriön asetuksen rakennusten paloturvallisuudesta (848/2017) 7 §:n mukaan koulurakennukset kuuluvat palokuormaryhmään alle 600 MJ/m<sup>2</sup>. Palokuorma ilmoitetaan megajouleina neliometriä kohden (MJ/m<sup>2</sup>).

### 3.2.3 Rakenteiden kantavuus, eristävyys ja tiiviys

Ympäristöministeriön asetuksen (848/2017) 11 §:n mukaan, rakennus ei saisi sortua palon eikä jäähtymisen aikana. Tähän tulisi suunnittelussa pyrkiä tietyllä varmuudella, varsinkin kun on kyse henkilöturvallisuudesta tai suurista vahingoista.

Rakennusosat luokitellaan sen mukaan, miten niiden on kestävä paloa kantavuuden, tiiviyn ja eristävyyden osalta. Luokkia vastaavat merkinnät ovat R kantavuudelle, E tiiviydelle sekä EI tiiviydelle ja eristävyydelle. Merkinnän perässä ilmoitetaan vielä palo-aika minuutteina, joka rakenteen täytyy edellä mainittujen luokkien osalta kestää. Aika-luokkia ovat 15, 30, 45, 60, 90, 120, 180 ja 240. (Ympäristöministeriön asetuksen rakennusten paloturvallisuudesta perustelumustio, 28.11.2017.)

Kohteen rakenteiden luokkavaatimus kantavuudelle on R 60, A2. Se määräytyy ympäristöministeriön asetuksesta laaditun perustelumustion (28.11.2017) taulukon 1 mukaan. Rakenteiden on siis kestävä vähintään 60 minuuttia sortumatta. Lisämerkinnällä A2 tarkoitetaan, että kantavien rakenteiden tulee olla vähintään A2-s1, d0 -luokan materiaalista. Betoni kuuluu parhaaseen A1-luokkaan, joten se ei vaadi erillistä palonsuojasta ja on siksi luonnollinen valinta kohteen runkomateriaaliksi (Betonteollisuus ry 2020a).

### 3.2.4 Palo-osastot

Ympäristöministeriön asetuksen (848/2017) mukaan rakennus tulee jakaa palo-osastoihin, mikäli rakennuksen koko, kerrosten lukumäärä tai käyttötarkoitus niin edellyttävät. Palo-osastoinnilla rajoitetaan palon ja savun leviämistä, jotta rakennuksesta on palotilanteessa mahdollista poistua sekä järjestää sinne pelastus- ja sammutustoimia. P1-

paloluokan rakennuksissa, joiden korkeus on alle 28 metriä (848/2017 14 §) lähtökohta on, että rakennus on jaettu palo-osastoihin kerrosten välillä. Ympäristöministeriön asetuksen (848/2017) taulukon 2 mukaan kohteen kaltaisen P1-luokan rakennuksen, joka on yli 2-kerroksinen ja jonka käyttötarkoitus on kokoontumistilat, suurin sallittu palo-osaston koko on 2 400 m<sup>2</sup> ilman automaattista sammutuslaitteistoa ja 4 800 m<sup>2</sup> laitteistolla. Kohteen kerrosala on suurimmillaan noin 1 000 m<sup>2</sup>, joten osastointia kerroksessa ei tarvita.

Myös ullakot sekä muut vastaavat ontelomaiset rakenteet on jaettava pienempiin osiin, jotta palo ei pääse leviämään rajoittamattomasti. Tämän lisäksi seinien onteloissa, kuten esimerkiksi tuuletusraoissa, palon etenemistä on rajoitettava kerrosten välillä, ettei palo leviäisi palo-osastosta toiseen vaaditun ajan kuluessa.

Ympäristöministeriön asetuksen (848/2017) taulukon 6 mukaan kohteen palo-osaston välisten rakennusosien on täytettävä tiivydelle ja eristämislle luokkavaatimus EI 60 kerrosten välissä. Ullakon osastoivien seinien osalta vaatimus on EI 30 ja kellarikerroksissa EI 60, A2. Sen lisäksi uloskäytävien osastoivien rakennusosien on oltava vähintään A2-s1, d0 -luokan tarvikkeista.

Osastoivissa rakennusosissa voi olla ovia, pienehköjä ikkunoita ja muita aukkoja. Näiden palonkestävyysaika tulisi olla vähintään puolet siitä, mitä osastoivalle rakennusosalle on määritetty, eli tässä tapauksessa EI 30. Eri palo-osastojen välisten ovien tulee myös sulkeutua itsestään. Rakennesuunnittelijan on otettava myös huomioon, että uloskäytävien ja palosulkujen rakenteet eivät oleellisesti saa lisätä palokuormaa. Lisäksi on huolehdittava, että ullakolle ja kellariin on pääsy ulkokautta kulkematta uloskäytävien kautta.

### 3.2.5 Palon kehittymisen rajoittaminen

Rakennusmateriaalit ja tarvikkeet eivät saisi oleellisesti edesauttaa palon kehittymistä. Ympäristöministeriön asetuksessa (848/2017) on esitetty vaatimukset näiden osallistumisesta palon kehittymiseen.

Asetuksen perustelumuiustiossa sisäpuolen pinnat, lattiapäällysteitä lukuun ottamatta, on jaettu luokkiin sen mukaan, miten niiden on todettu osallistuvan paloon tai tuottavan savukaasuja ja palavia pisaroita. Luokkia ovat A1, A2, B, C, D, E ja F. Luokka A1 on paras ja siihen kuuluvat tarvikkeet, jotka eivät osallistu paloon ollenkaan. Toisessa ääripäässä on F-luokka, jolle ei ole asetettu mitään vaatimuksia paloon osallistumisesta. Luokan

perässä oleva merkintä s1, s2 tai s3 viittaa savuntuottoon, joista s1 on paras ja annetaan tarvikkeelle, joka tuottaa hyvin vähän tai ei ollenkaan savua. Merkintä d0, d1 tai d2 viittaa taas palvien pisaroiden tuottoon, joista d0 on paras ja annetaan tarvikkeelle, joka ei tuota pisaroita. Lattiapäällysteille on oma vastaavanlainen luokitus.

Sisäpuolisten pintojen luokkavaatimukset esitetään Ympäristöministeriön asetuksen taulukossa 7. Kohteen koulurakennuksen sisäpintojen luokkavaatimus on kerroksissa ja kellarissa on C-s2, d1. Ullakolla ja yläpohjan onteloissa, jotka osastoitu alemmista kerroksista luokkavaatimus on D-s2, d2 ja teknisen huollon tiloissa B-s1, d0.

Kohteen kaltaisessa P1-paloluokan rakennuksessa, ulkoseinä pitää suunnitella suurimaksi osaksi toteutettavan vähintään A2-s1, d0 -luokan tarvikkeista. Kuitenkin jos rakennuksen korkeus on alle 56 metriä, voidaan käyttää alemman B-s1, d0 -luokan lämmöneristettä. Tällöin lämmöneriste tulee suojata sisäpuolelta ja aukkojen kohdalta siten, että palo ei pääse eristeeseen. Tässä tilanteessa aikavaatimus on puolet osastoivien rakenteiden vaatimuksesta. Eli EI 60 tapauksessa siis EI 30. Mikäli halutaan käyttää vielä tätäkin alemman luokan eristettä, on eriste katkaistava kahden kerroksen välein, kun ollaan alle 28 metrissä kuten kohteessa. Sen lisäksi lämmöneriste pitää suojata pintarakenteella, jonka suojaus vastaa E 15 -vaatimusta tai tuuletusvälin sisäpinta on varustettava K<sub>2</sub>10, A2-s1, d0 -luokan suojaverhouksella. Kantamattomien ulkoseinien runko voidaan kohteen kaltaisessa rakennuksessa suunnitella ja toteuttaa D-s2, d2 -luokan tarvikkeista.

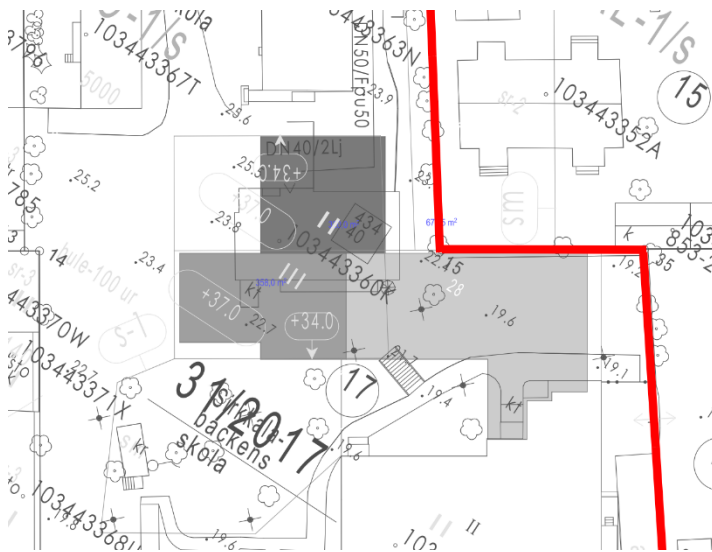
Ympäristöministeriön asetuksen (848/2017) taulukon 8 mukaan kohteen kaltaiselle P1-paloluokan koulurakennukselle ulkoseinän ja tuuletusvälin ulkopinnoille on määritetty D-s2, d2 -luokkavaatimus sekä tuuletusvälin sisäpinnalle B-s2, d0 -luokkavaatimus. Tuuletusvälissä palon etenemistä on sen lisäksi rajoitettava jokaisen kerroksen kohdalla sekä ullakon ja yläpohjan kohdalta siten, että se vastaa EI 30 rakennusosaa.

Yläpohjan lämmöneristeen luokkavaatimus on B-s1, d0. Muussa tapauksessa se on suojattava palolta osastoivia rakennusosia vastaavan ajan eli tässä tapauksessa 60 minuuttia.

### 3.2.6 Rakennusten välinen etäisyys ja palomuur

Suunnittelussa on myös otettava huomioon, ettei palo pääse helposti leviämään naapurirakennuksiin. Ensisijaisesti tähän pyritään rakentamaan rakennukset riittävän

etäälle toisistaan. Ympäristöministeriön asetuksessa (848/2017) määrätään, että jos tähän ei päästä ja etäisyys jää alle 8 metrin on käytettävä palomuuria. Kohteen uusi rakennus sijoittuu aivan rajan tuntumaan (kuva 6) joten rajan vastainen seinä tulee rakentaa palomuuriksi. Palomuuuri on suunniteltava A1-luokan tarvikkeista. Siinä olevien ovien on täytettävä sama palonkestävyysaika kuin palomuurin ja niiden on oltava vähintään A2-s1, d0 -luokkaa. Kohteen kaltaisessa P1-paloluokan rakennuksessa palomuurin tulee täyttää EI-M 120 -luokkavaatimus. Lisämerkintä M tarkoittaa iskunkestävyyttä palotilanteessa.



Kuva 6. Tontin rajan läheisyys suhteessa tulevaan rakennukseen.

Betonista valmistetun palomuurin vähimmäispaksuudet ovat 200 mm raudoittamattomana, 140 mm raudoitettuna kantavana ja 120 mm raudoitettuna ei-kantavana. (SFS-EN 1992-1-2+AC, Eurokoodi 2: Betonirakenteiden suunnittelu, osa 1–2: Yleiset säännöt. Rakenteiden palomitoitus, Taulukko 5.3.)

### 3.3 Ääni

Tilaaajan edellytys on, että kohteen suunnittelussa on otettava huomioon myös rakennuksen ääniolosuhteet ja meluäänien eristäminen. Maankäyttö ja rakennuslaki (132/1999, 117 f §) ja sen versio (958/2012) asettaa näille myös vaatimuksia. Laissa todetaan, että rakennuksen oleskelualueiden meluallistutus ja ääniolosuhteet eivät saa vaarantaa terveyttä, lepoa tai työntekoa. Rakennesuunnittelijan vastuulla on rakenteiden

äänieristuksen suunnittelu varmistaen, että rakennuksen käyttötarkoituksen mukainen toiminta on mahdollista.

Ympäristöministeriön asetuksessa ja siihen liittyvässä ohjeessa rakennuksen ääniympäristöstä (796/2017) säädetään tarkemmin äänieristyksestä, melun- ja värinäntorjunnasta sekä ääniolosuhteista. Asetusta sovelletaan myös opetustiloihin.

Rakennesuunnittelijan on otettava huomioon rakennuksen tilojen välinen äänieristys sekä myös rakennuksen ulkopuolelta tuleva melu ja värinä, jotka kaikki vaikuttavat tulevan rakennuksen ääniympäristöön. Nämä asiat on hyvä ottaa suunnittelussa mahdollisimman varhaisessa vaiheessa huomioon varsinkin, jos rakennus sijaitsee vaativassa ympäristössä tai sen käyttötarkoitus on vaativa. Tässä kohteessa ohje edellyttää, että suunnittelun tavoite on riittävän hyvä ääniympäristö ja puheenerotettavuus.

### 3.3.1 Äänieristys

Rakennuksen äänieristystä suunniteltaessa huomioidaan ilman ja rungon kautta leviävät äänet. Ilman kautta leviävät esimerkiksi puhe, musiikki sekä erilaisista laitteista tulevat äänet. Käyttämällä tilojen välisissä rakennusosissa eristeitä tai riittävän paksuja rakenteita pyritään estämään tai vähentämään näiden ilmaäänien siirtyminen.

Runkoäänet syntyvät yleensä esimerkiksi kävelystä, huonekalujen ja muiden tavaroiden siirtelystä sekä esineiden putoamisesta. Nämä saavat välipohjan värähtelemään, jota pyritään rajoittamaan esimerkiksi joustavalla lattianpäällysteellä, uivalla rakenteella, eristeellä tai riittävän paksulla rakenteella. Kokonaisuuden kannalta on huomioitava myös saumat, läpiviennit, liitokset sekä taloteknisten järjestelmien tiiviys ja eristävyys.

Ympäristöministeriön ohjeen rakennuksen ääniympäristöstä (2018) taulukon 1 mukaan opetustiloissa ohjearvo kahden tilan väliselle ilmaääneneristävyydelle yleisesti on 44 dB. Kahden tilan, joita yhdistää ovi ja niiden käyttötarkoitus on sama, ohjearvo on 42 dB. Luokkahuoneen ja käytävän välinen ohjearvo on 34 dB, mikäli niitä yhdistää ovi. Musiikinopetustilan vaatimukset ovat suuremmat. Ympäristöministeriön ohjeen taulukon 2 mukaan oppilaitoksissa kerrosten välillä askeläänien vaimennuksen ohjearvo on 63 dB.

### 3.3.2 Melun- ja värinän torjunta

Melun- ja värinän torjunnalla pyritään rajoittamaan rakennuksen sisä- ja ulkomelua sekä värinäytystä tasolle, ettei siitä ole haittaa rakennuksessa oleilevien terveydelle tai viihtyvyydelle.

Ulkovaipan äänieristyksellä rajoitetaan rakennuksen ulkopuolelta tulevaa melua. Vaadittavan äänieristävyyden ohjearvo voi perustua kaavamerkintään, ympäristöministeriön asetuksen 5 §:ään tai tapausharkintamenettelyyn. Vuonna 2018 voimaan tulleen Turun kaupungin kaavan mukaan rakennuspaikalla julkisivun ikkunoineen on eristettävä ääntä vähintään 38 dB (Turun kaavakarttapalvelu 2020). Tämän lisäksi on huomioitava, että valtioneuvoston päätöksen (993/1992) mukaan opetustilojen melutason enimmäisrajan ohjearvo sisällä päiväsaikaan on 35 dB.

### 3.3.3 Äänisolosuhteet

Tilan äänisolosuhteisiin vaikuttavat siis viereisistä tiloista ja ulkoa kantautuvat sekä teknisistä järjestelmistä tulevat äänet. Näiden lisäksi äänisolosuhteisiin vaikuttaa myös tilan akustiikka. Opetustiloissa tila tulee suunnitella siten, että puheesta saa mahdollisimman hyvin selvää. Tähän voidaan vaikuttaa käyttämällä heijastavia pintoja siten, että ne suuntaavat puhujan ääntä kuulijaan päin ja vaimentavia materiaaleja muilla pinnoilla, jotka siten vähentävät tilan kaiuntaa. Nämä kaikki vaikuttavat tilan viihtyvyyteen sekä puheen erotettavuuteen ja tilan kaiuntaisuuteen. Tiloja on siis suunniteltava kokonaisuutena. Kohteeseen valitaan myöhemmin akustiikkasuunnittelija, joka varmistaa toivotun lopputuloksen.

## 3.4 Energiätehokkuus ja lämpöhäviö

Tilaaajan edellytys on, että kohteen suunnittelussa otetaan huomioon ekologisuus. Myös maankäyttö- ja rakennuslaki (132/1999, 117 g §) ja sen versio (1151/2016) asettaa tälle vaatimuksia. Laissa määrätään, että uusi rakennus on suunniteltava ja rakennettava siten, että se kuluttaa energiaa ja luonnon varoja mahdollisimman vähän. Laissa säädetään myös, että on osoitettava laskelmilla energiätehokkuuden vähimmäisvaatimusten täyttyminen.

Ympäristöministeriön asetuksella uuden rakennuksen energiatehokkuudesta (1010/2017) asetetaan, että uuden opetusrakennuksen laskennallisen energiatehokkuuden vertailuluvun (E-luku) raja-arvo  $100 \text{ kWhE}/(\text{m}^2\text{a})$  ei saa ylittyä. Luku kuvaa laskennallista ostoenergiankulutusta rakennuksen lämmitettyä nettoalaa kohden vuodessa. Laskennallinen ostoenergia on painotettu energiamuotojen kertoimilla, jotka on säädetty valtioneuvoston asetuksella rakennuksissa käytettävien energiamuotojen kertoimien lukuarvoista (788/2017).

Rakennuksen lämmöneristyksen suunnitteluun kuuluu rakennuksen lämpöhäviön määräysten mukaisuuden osoittaminen, lämmöneristeen ja asennustavan valinta, ilmatiiviiden ja tuulensuojauksen suunnittelu, kylmäsiltojen ja pintalämpötilojen tarkastelu, putki- ja hormieristyksen suunnittelu sekä routaeristyksen suunnittelu (RIL 255-1-2014). Ehdotussuunnitteluvaiheessa määritetään rakennetyypit ja valitaan eristeet sekä varmistetaan, että ne täyttävät niiltä vaaditut vaatimukset lämpöhäviön osalta.

Rakennuksen lämpöhäviö ei saa ylittää vertailuarvoilla lasketun rakennuksen lämpöhäviötä. Lämpimän tilan vertailuarvo seinälle on  $0,17 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , yläpohjalle ja ulkoilmaan rajoittuvalle alapohjalle  $0,09 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , ryömintätilaan rajoittuvalle alapohjalle  $0,17 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  ja maanpaineseinille  $0,16 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . (Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 1010/2017.)

## 4 SUUNNITTELUN PERUSTEET JA KUORMAT

Lähtökohta suunnittelulle on eurostandardit EN 1990...1999. Näihin voidaan kansallisilla liitteillä antaa tarkennuksia. Uudet rakennukset on suunniteltava siten, että niiden rakenteet kestävät niille todennäköisesti esiintyvät kuormat ja pysyvät käyttökelpoisina tarkoitukseensa koko käyttöikänsä ajan riittävän luotettavasti. Rakenteiden tulee kestää myös tulipalotilannetta vaaditun ajan sekä onnettomuustilanteita siten, ettei syntyvät vauriot suhteessa alkuperäiseen onnettomuuteen ole suhteettoman suuret. (RIL 201-1-2017, 2016, 25.)

Riittävän luotettavuuden saavuttamiseksi rakennukset jaetaan seuraamusluokkiin sen mukaan miten vahingolliset seuraamukset rakenteiden pettämisestä voi koitua ihmisille sekä taloudellisesti. Suunnittelun kohteena oleva rakennus kuuluu seuraamusluokkaan CC2. Seuraamusluokan perusteella rakenteille saadaan kuormakertoimeksi  $K_{FI} = 1,0$ . (RIL 201-1-2017, 2016, 26.)

### 4.1 Rajatilamitoitus

Suunnittelussa tulee ottaa huomioon murtorajatilat sekä käyttörajatilat. Murtorajatilamitoituksessa käsitellään tilanteita, joissa rakenne menettää tasapainon, murtuu tai vaurioituu väsymisen tai muun syyn takia. Murtorajatilamitoitus liittyy yleensä ihmisten turvallisuuteen, mutta voi liittyä myös materiaalin suojaamiseen. Yleisiä murtorajatilanteita ovat rakenteen tai sen osan tasapainon menetys, katkeaminen tai muuttuminen mekaniikaksi sekä stabiiliuden menetys. Haitallisia murtorajatilanteita ovat myös liian suuret siirtymätilat sekä rakenteen väsyminen. (RIL 201-1-2017, 2016, 29.)

Käyttörajatilamitoituksessa tarkastellaan tilanteita normaalikäytössä, mitkä liittyvät ihmisten mukavuuteen tai rakenteiden ulkonäköön. Siihen liittyvät esimerkiksi siirtymät ja värähtelyt sekä ulkonäköön, mukavuuteen, toimivuuteen ja säilyvyyteen liittyvät vauriot. (RIL 201-1-2017, 2016, 30.)

Rajatilamitoituksessa otetaan huomioon kaikki oleelliset rajatilat, eikä mikään niistä saa ylittyä, kun niissä käytetään asianmukaisia arvoja kuormille, materiaali- tai tuoteominaisuuksille ja mittatiedoille.

## 4.2 Kuormat

Kuormat jaetaan pysyviin kuormiin (G), muuttuviin kuormiin (Q) ja onnettomuuskuormiin (A) sen mukaan miten pitkään ne ajallisesti vaikuttavat. Pysyviin kuormiin kuuluvat rakenteiden ja kiinteiden laitteiden omat painot. Muuttuvia kuormia ovat hyötykuormat, sekä tuuli- ja lumikuormat. Onnettomuuskuormia ovat esimerkiksi räjähdykset sekä ajoneuvojen törmäykset. (RIL 201-1-2017, 2016, 31.)

Rakenteita mitoittaessa on oleellista myös valita riittävän oikeanlainen sekä toiminnan ennakoimiseen soveltuva rakennemalli, joka perustuu yleisesti tunnettuun rakennustekniikan teoriaan tai käytäntöön. (RIL 201-1-2017, 2016, 34.)

## 4.3 Osavarmuuslukumenetelmä

Osavarmuuslukumenetelmässä käytetään kuormien ominaisarvoja ja osavarmuuslukuja sekä yhdistelykertoimia. Näiden avulla saadaan laskettua mitoitusarvot.

Murtorajatiloista tulee tarkistaa EQU, STR ja GEO. EQU-tilassa tarkastellaan jäykän kappaleen staattisen tasapainon menetystä kuten esimerkiksi jäykistysrakenteen kaatumista. STR-rajatilassa tarkastetaan rakenteen vaurioituminen ja liian suuri siirtymätila, kun rakenteen rakennusmateriaalin lujuus on määräävä. GEO-rajatila liittyy geotekniiseen kantavuuteen, jossa tutkitaan maan pettämistä tai liian suurta siirtymää, kun maan lujuus on merkitsevä.

Tehtäessä ehdotussuunnitelmaa ja valittaessa sopivia rakenteita ja materiaaleja käytetään tässä työssä STR-murtorajatila tarkastelua, jonka tulee täyttää seuraava ehto:

$$E_d < R_d$$

missä:

$E_d$  on kuormien vaikutuksen mitoitusarvo

$R_d$  on kestävyuden mitoitusarvo

Mitoittava kuormitusyhdistelmä STR-rajatilassa saadaan kaavasta:

$$1,15 \times K_{FI} \times \Sigma G_{k,j} + 1,5 \times K_{FI} \times Q_{k,1} + 1,5 \times K_{FI} \times \Sigma \Psi_{0,i} \times G_{K,i}$$

Arvon tulee olla kuitenkin vähintään:

$$1,35 \times K_{FI} \times \Sigma G_{k,j}$$

joissa:

$K_{FI}$  on kuormakerroin

$G_{k,j}$  on pysyvien kuormien ominaisarvot

$Q_{k,1}$  on määräävän muuttuvan kuormat ominaisarvo

$Q_{k,j}$  on muiden muuttuvien kuormien ominaisarvot

$\Psi_{0,i}$  on yhdistelykerroin

(RIL 201-1-2017, 2016, 38.)

Kestävyyden mitoitusarvo  $R_d$  saadaan jakamalla materiaalin kestävyuden ominaisarvo  $R_k$  kyseisen materiaalin materiaaliosavarmuusluvulla  $\gamma_m$ .

$$R_d = R_k / \gamma_m$$

#### 4.4 Omat painot

Omana painona on pysyvät ja kiinteät kuormat. Rakennneosille lasketut omat painot ovat valmisosille valmistajan ilmoittamia. Teräsbetonisille rakennusosille on käytetty tilavuuspainoa  $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$  (RIL 201-1-2017, 2016, 81).

#### 4.5 Hyötykuormat

Hyötykuormat ovat liikkuvia kuormia kuten henkilöistä, huonekaluista ja muista siirrettävistä kohteista sekä ajoneuvoista kertyviä kuormia (RIL 201-1-2017, 2016, 68). Hyötykuormien ominaisarvot on esitetty taulukossa 1 tilan käyttötarkoituksen mukaan.

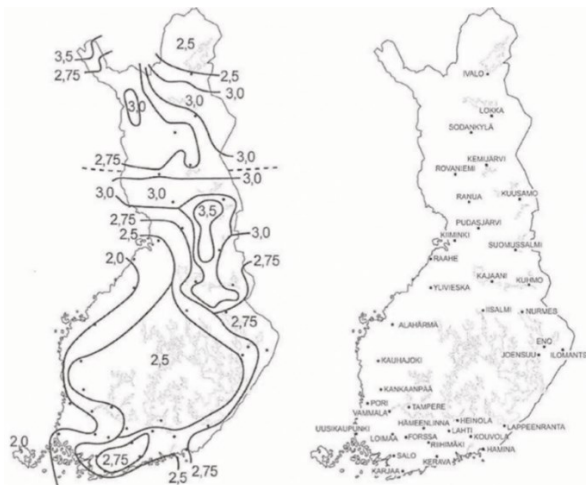
Taulukko 1. Rakennuksen tilojen luokat ja hyötykuormat (RIL 201-1-2017, 2016, 71).

Luokka	Käyttötarkoitus	Pinta-alkuorma $q_k$ (kN/m <sup>2</sup> )	Pistekuorma $Q_k$ (kN) (portaat suluissa)	Vaakuormat ks. huom. 5 (kN/m)
A	<b>Asunto- ja majoitustilat</b> – esim. asuinrakennusten huoneet, sairaaloiden potilas- ja toimenpidehuoneet, hotellien majoitustilat	välipohjat 2,0 portaat 2,0 parvekkeet 2,5	2,0 (2,0)	0,5
B	<b>Toimistotilat</b>	välipohjat 2,5 portaat 3,0 parvekkeet 2,5	2,0 (2,0)	0,5
C	<b>Kokoontumistilat</b>			
	C1: Tilat, joissa on pöytiä yms. esim. koulut, kahvilat, ravintolat, ruokasalit, lukusalit, vastaanottotilat	välipohjat 2,5 portaat 3,0 parvekkeet 2,5	3,0 (2,0)	1,0
	C2: Tilat, joissa on kiinteät istuimet, esim. kirkot, teatterit, elokuvateatterit, konferenssisalit, luentsalit, kokoussalit, odotussalit, asemien odotustilat	välipohjat 3,0 portaat 3,0 parvekkeet 3,0	3,0 (2,0)	1,0

Koulurakennukset kuuluvat kuormaluokkaan C1, joiden hyötykuorman ominaisarvo pinta-alkuormana on  $q_k = 2,5 \text{ kN/m}^2$  välipohjissa. Kohteen suunnittelussa on kuitenkin päätetty käyttää varmanpäälle olevaa arvoa  $q_k = 3 \text{ kN/m}^2$ .

#### 4.6 Lumikuormat

Lumikuorma on muuttuva kiinteä kuorma, jonka määrittämiseksi tarvitaan paikkakunta-kohtainen lumikuorman ominaisarvo ( $s_k$ ) maassa. Turussa arvo  $s_k = 2,5 \text{ kN/m}^2$ .



Kuva 7. Lumen ominaiskuorman arvot maassa, yksikkö kN/m<sup>2</sup> (RIL 201-1-2017, 2016, 98).

Katolla oleva lumikuorma saadaan kaavasta:

$$s = \mu_i \times C_e \times C_t \times s_k$$

missä:

$\mu_i$  on lumikuorman muotokerroin, joka riippuu katon kaltevuudesta.

$C_e$  on tuulensuojaisuuskerroin, joka normaali maastotyyppissä = 1,0

$C_t$  on lämpökerroin, joka yleensä = 1,0

$s_k$  lumikuorman ominaisarvo maassa

#### 4.6.1 Katon muotokertoimet ja kuormituskaaviot

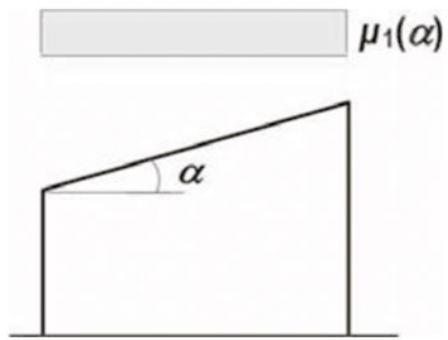
Hankesuunnitteluvaiheen lähtötiedoissa ei ole määritelty kohteelle vesikaton rakennetta. Alustavat kuormat on laskettu olettamalla, että katon kulma on välillä 0–30 astetta, jolloin on voitu käyttää muotokertoimen arvona 0,8.

Seuraavaksi on kuitenkin esitelty eri kattotyyppien lumikuorman laskentaan tarvittavat kuormituskaaviot. Lumikuormaan katolla vaikuttaa kattotyyppi sekä katon kaltevuus. Muotokertoimelle  $\mu_i$  saadaan arvo katon kaltevuuden mukaan taulukosta 2.

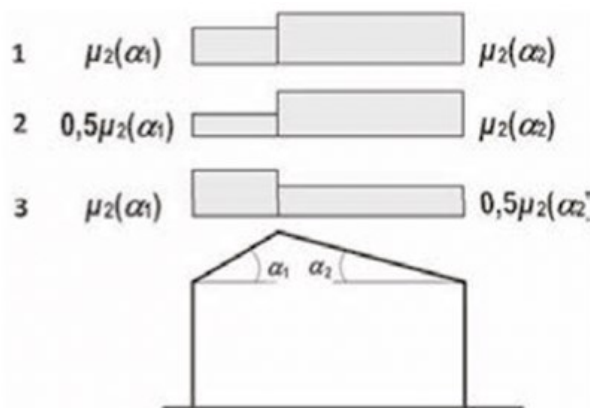
Taulukko 2. Lumikuorman muotokertoimet (RIL 201-1-2017, 2016, 102).

Katon kaltevuuskulma $\alpha$	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
$\mu_1, \mu_2$	0,8	$0,8(60 - \alpha)/30$	0,0
$\mu_3$	$0,8 + 0,8 \alpha/30$	1,6	1,6

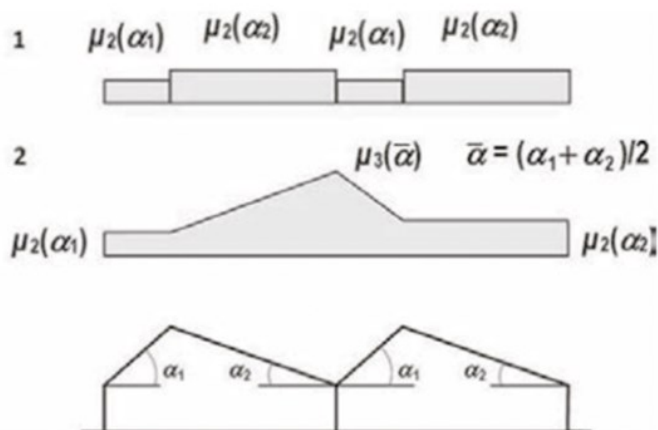
Laskennassa tulee ottaa huomioon myös erilaiset kattotyypit ja niille laaditut kuormituskaaviot (kuvat 8–10). Kuormituskaavioissa käytetään taulukon 2 muotokerrointa.



Kuva 8. Pulpettikaton kuormituskaavio (RIL 201-1-2017, 2016, 102).



Kuva 9. Harjakaton kuormituskaaviot jossa 1 = kinostumaton lumi, 2 ja 3 = kinostunut lumi (RIL 201-1-2017, 2016, 102).



Kuva 10. Sahakaton kuormituskaaviot jossa 1= kinostumaton lumi, 2 = kinostunut lumi (RIL 201-1-2017, 2016, 103).

#### 4.6.2 Korkeampaa kohdetta vasten oleva katto

Korkeampaa rakennuksen osaa vasten olevalle katolle saadaan lumikuorma laskettua kuvan 11 mukaan. Lumikuormaan vaikuttaa ylemmältä katolta liukuvan lumen osuus  $\mu_s$  sekä tuulen aiheuttaman kinostuman osuus  $\mu_w$ .

Tällöin:

$\mu_1$  on alemman katon muotokerroin (esimerkiksi 0,8 kun alemman katon kulma on 0–30°)

ja

$\mu_2$  on  $\mu_s + \mu_w$ .

Kinostumispuite lasketaan kaavasta:

$$l_s = 2 \times h \text{ (arvon oltava välillä 2–6 m)}$$

missä:

$h$  on ylemmän osan korkeus.

Liukumisesta johtuva muotokerroin  $\mu_s$  on 0 kun ylemmän katon kaltevuuskulma  $\alpha < 15$  astetta ja kun kulma  $\alpha > 15$  astetta arvo lasketaan lisäkuormasta, joka on 50 % ylemmän katon lähimmän lappeen maksimilumikuormasta.

Tuulesta johtuva muotokerroin lasketaan kaavasta:

$$\mu_w = (b_1 + b_2) / (2 \times h) < \gamma \times h / s_k$$

missä:

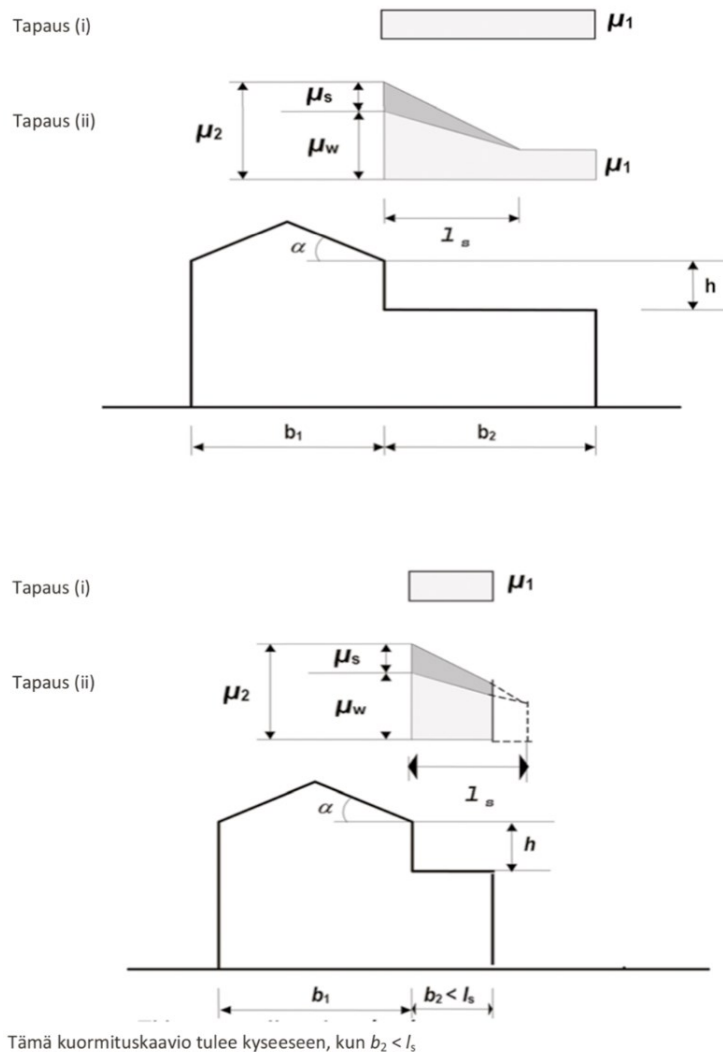
$h$  on ylemmän osan korkeus

$b_1$  ja  $b_2$  korkean osan ja matalan osan pituudet

$\gamma$  lumen tilavuuspaino

$s_k$  on lumikuorma maassa.

On vielä varmistettava, että kertoimen  $\mu_w$  arvo sopii RIL 201-1-2017 (2016, 105) kirjassa määritettyyn sallittuun vaihteluväliin.



Kuva 11. Korkeampaa kohdetta vasten olevan katon muotokertoimet jossa tapaus (i) = kinostumaton lumi ja tapaus (ii) = kinostunut lumi (RIL 201-1-2017, 2016, 106).

Kohteen lumikuorman ominaisarvo katolla yleensä  $s = 2 \text{ kN/m}^2$  ja kinostuneen lumikuorman ominaisarvo alemmalla katolla kuuden metrin kaistaleella korkeampaa osaa vasten on  $5.7 \text{ kN/m}^2$ .

#### 4.7 Tuulikuormat

Rakennuksen tuulikuormien laskentaan voidaan käyttää voimakerroinmenetelmää tai painekerroinmenetelmää. Voimakerroin menetelmä on yksinkertaisempi ja se soveltuu käytettäväksi jäykistävän rungon suunnittelussa (RIL 201-1-2017, 2016, 123).

Laskettaessa ehdotussuunnitteluvaiheen kuormia alustavassa mitoituksessa käytetään tätä menetelmää. Menetelmässä oletetaan, että tuulenpaineella on kaikkialla sama arvo kuin rakennuksen korkeimmassa kohdassa.

Tässä kohteessa, jonka korkeus on pienempi kuin leveys saadaan rakennukseen kohdistuvan kokonaisvoiman suuruus kaavasta:

$$F_w = c_s c_d \times c_f \times q_p(h) \times A_{ref}$$

missä:

$F_w$  on kokonaistuulivoima (kN)

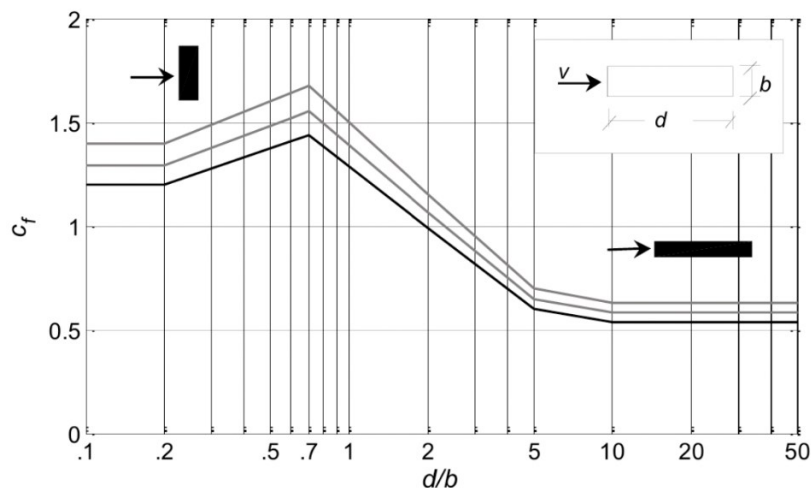
$c_s c_d$  on rakennekerroin, jonka arvo matalissa rakennuksissa on 1,0

$c_f$  on voimakerroin

$q_p(h)$  on maaston pinnan muodon mukaan modifioitu nopeuspaine

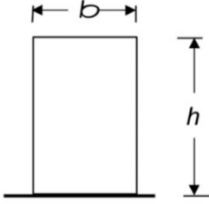
$A_{ref}$  on tuulikuorman vaikutusala "tuulen näkemänä".

Voimakerroin  $c_f$  saadaan määritettyä kuvasta 12, kun tiedetään hoikkuusluku  $\lambda$  sekä pitkän ja lyhyen sivun suhde  $d/b$ . Ylin käyrä vastaa hoikkuusluvun arvoa  $\lambda = 10$ , keskimäinen käyrä arvoa  $\lambda = 3$  ja alin arvoa  $\lambda \leq 1$ . Hoikkuusluku  $\lambda$  saadaan taukukosta 3.

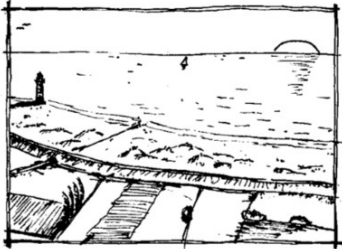
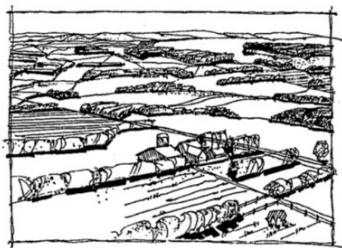
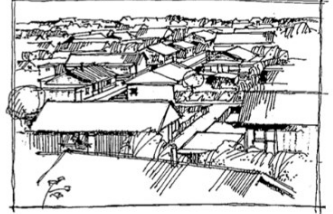


Kuva 12. Tuulikuorman voimakerroin (RIL 201-1-2017, 2016, 141).

Taulukko 3. Tehollinen hoikkuus (RIL 201-1-2017, 2016, 140).

Rakenteen mittasuhteet, tuuli kohtisuoraan tasoa vasten	Tehollinen hoikkuus $\lambda$
	<p>kun <math>b &lt; 15</math> m, <math>\lambda = 2 b/h</math>  kun <math>b \geq 50</math> m, <math>\lambda = 1,4 b/h</math></p> <p>Välialueella <math>15 \text{ m} &lt; b &lt; 50 \text{ m}</math> sovelletaan interpolointia.</p> <p>Huom: Tämä ohje ei koske hyvin hoikkia rakennuksia, joille <math>\lambda &gt; 10</math>.</p>

Nopeuspaineen  $q_p(h)$  määrittämiseksi tarvitaan kohteen maastoluokka. Kuvassa 13 eri maastoluokkia on kuvituksen lisäksi kuvailtu myös sanallisesti. Kohde kuuluu IV-luokkaan.

	
<p><b>Maastoluokka 0:</b> Meri, avoimen meren äärellä oleva rannikkoalue.</p>	<p><b>Maastoluokka I:</b> Järvi tai alue, jolla on vähäistä kasvillisuutta eikä esteitä.</p>
	
<p><b>Maastoluokka II:</b> Alue, jolla on matalaa kasvillisuutta, kuten heinää tai ruohoa ja erillisiä esteitä (puita, rakennuksia), jotka ovat vähintään esteen 20-kertaisen korkeuden etäisyydellä toisistaan.</p>	<p><b>Maastoluokka III:</b> Alue, jolla on säännöllinen kasvipeite tai rakennuksia tai erillisiä esteitä, jotka ovat esteen 20-kertaista korkeutta lähempänä toisiaan (kuten kylät, esikaupunkialueet, pysyvä metsä).</p>
<p><b>Maastoluokka IV:</b> Alue, jolla vähintään 15 % alasta on rakennusten peitossa ja joiden keskimääräinen korkeus ylittää 15 m.</p>	

Kuva 13. Maastoluokkien kuvaukset (RIL 201-1-2017, 2016, 131).

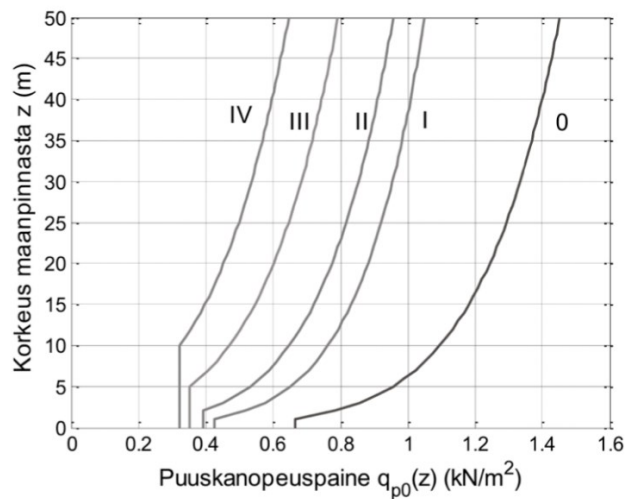
Maastoluokan avulla saadaan kuvasta 14 arvo kohteessa vallitsevalle puuskanopeuspaineelle  $q_{p0}(z)$ . Puuskanopeuspaineen avulla määritetään nopeuspaine  $q_p(h)$  kaavasta:

$$q_p(h) = \gamma_D \times q_{p0}(z)$$

missä:

$\gamma_D$  on 1,0 kun maaston kaltevuus on pieni kuten kohteen tapauksessa.

Kohteen harjalla noin 15 metrin korkeudella nopeuspaineelle saadaan arvoksi  $q_p(h) = 0.4 \text{ kN/m}^2$



Kuva 14. Puuskanopeuspaineen  $q_{p0}(z)$  ominaisarvo eri maastoluokissa (RIL 201-1-2017, 2016, 136).

## 5 RAKENNEVAIHTOEHDOT JA -TYYPIT

Betonirakenteiden yleisyys sekä lukuisat hyödyt ovat syy, miksi ne on valittu tämän työn lähtökohdaksi. Betoni sopii myös käytettäväksi kaikissa rakennuksen rungon osissa mikä selkeyttää suunnittelua ja toteutusta. Betonirakenteiden hyviä ominaisuuksia ovat lujuus, jäykkyys, luontainen palonkesto sekä äänieristävyys, joustavat suunnittelu ja valmistustekniset ominaisuudet, muotoiltavuus, korkea kotimaisuusaste sekä mahdollinen uusiokäyttö. Myös sen kosteus- ja kulutuskestävyys on hyvä.

Vaikka betonin valmistaminen kuormittaa ympäristöä suuren energiatarpeen vuoksi, on sen ympäristökuormitus verrattuna muihin materiaaleihin hyvällä tasolla, kun ottaa huomioon betonirakenteilla saavutettavan pitkän käyttöiän ja vähäisen huollontarpeen. Pitkän käyttöiän ja vähäisen huollon takia myös rakenteiden kustannustehokkuus hyvä. (Betoniteollisuus ry 2020b.)

### 5.1 Elementtirakentaminen vai paikallavalu

Yksi oleellisin syy valita betonirakenteet on mahdollisuus käyttää betonielementtejä. Nämä betonielementtirakenteet ovat Suomessa yleisin käytetty toteutustapa rakennettaessa asuin-, toimisto-, liike- ja julkisten rakennusten runkoja. Elementtirakentamisen pitkä tuotekehitys on mahdollistanut hyväksi todettujen vakioratkaisujen, -liitosten ja toimintatapojen kehittymisen. Laaja käyttö tarkoittaa myös sitä, että niille on laaja valmistajaverkosto.

Elementtirakentamisen suurin hyöty on rakentamisen nopeus. Elementit rakennetaan tehtaassa mahdollisimman pitkälle, koko runko elementoidaan, liitokset vakioidaan ja rakentaminen toteutetaan lohkoissa. Näin päästään mahdollisimman taloudelliseen ja nopeaan kokonaisuuteen. Tällöin työn järjestely on selkeää, kun työn- ja työvaiheiden määrät ovat vähäisempiä. Elementtityötä tahdistavat työvaiheet, kuten pystytys ja saumaus, voidaan suorittaa porrastaen.

Muita elementtirakentamisen hyötyjä ovat kuivassa sisällä tehtävien elementtien laadun paraneminen, kun ne eivät ole sään armoilla, sekä materiaalihukan pienentyminen. Hyvät tehdasolosuhteet mahdollistavat myös korkealuokkaisen betonin käytön. (RT 82-10821, 2014, 2.)

Paikallavaletulla rakenteella voidaan päästä kustannustehokkaampaan kokonaisratkaisuun, varsinkin jos valut ajoittuvat kesäaikaan, jolloin valun jäätyminen pelkoa ei ole. Paikallavalettu rakenne on myös suunnittelun kannalta vapaampi, kun rakenteissa ei tarvitse ottaa huomioon vakioitujen elementtien hyödyntämistä. Paikallavalurakenteissa voidaan myös kuormituseroihin reagoida helpommin, säätämällä raudoitusmäärää ja valunpaksuutta paikallisesti. Paikallavalun huonona puolena on työvaiheiden paljous, kun työn järjestelyssä tulee ottaa huomioon muun muassa muottityöt, raudoitukset, valut, jälkihoidot ja muottien purut. Myös pitkät kuivumisajat sekä sääolosuhteiden armoilla työskentely asettavat omat haasteensa paikallavalurakentamiselle. (Betoniteollisuus ry 2020b.)

Rakennesuunnittelijan tulee ottaa huomioon myös rakentamisen aikaiset olosuhteet ja työturvallisuus. Tässä kohteessa tontin ahtaus ja sen korkeuserot sekä kapeat kulkureitit aiheuttavat haasteita rakentamisen aikana. On myös varmistettava, että nostot on mahdollista suorittaa turvallisesti. Rakennettaessa elementeistä voi yksittäiset elementit tulla helposti niin pitkiksi ja painaviksi, että niitä on vaikea käsitellä ahtaassa ympäristössä. Nostoja ja tonttiliikennettä tulee kuitenkin molemmissa menetelmissä paljon, joten turvalliset reitit ja puominosturin paikka tulee suunnitella tarkasti, jotta koko työmaa saadaan rakennettua sujuvasti eikä ulkopuolisille synny vaaraa.

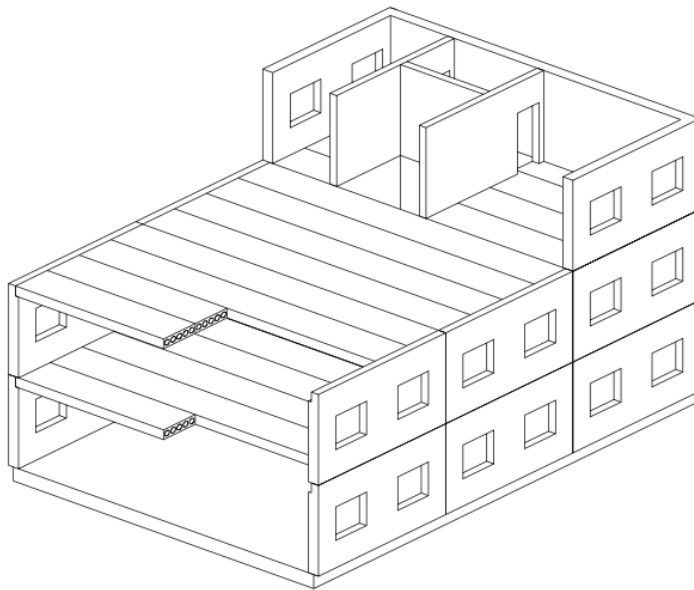
## 5.2 Runkojärjestelmät

Rakennuksen rungon tehtävä on kantaa kaikki rakennuksen kuormat ja siirtää ne perustuksille. Betoninen runko voidaan toteuttaa erilaisilla ratkaisuilla. Pystyrakenteissa vaihtoehtoina ovat pilarit ja seinät, vaakarakenteissa palkit ja laatat. Runko voidaan tehdä paikallavaluna, esivalmistetuista osista tai näiden sekoituksena. Rakenneosat voidaan valmistaa normaalilla raudoituksella tai käyttää jännitettyjä rakenteita. Jännitetyillä esivalmistetuilla betonirakenteilla päästään pitkiin jänneväleihin, mikä mahdollistaa tilojen muuntojoustavuuden. Pitkistä jänneväleistä huolimatta rakennepaksuudet pysyvät ohuina, joten tilaa jää runsaasti myös talotekniikalle. Rakenteissa voidaan käyttää myös betonin ja teräksen liittorakenteita. (Betoniteollisuus ry 2020c.)

Betonisista runkojärjestelmistä tässä tarkistellaan vaihtoehtoja, jotka soveltuvat parhaiten kohteen kaltaiseen useampikerroksiseen suurehkoon koulurakennukseen.

### 5.2.1 Kantavat seinät-laattarunkojärjestelmä

Yleinen käytetty runkojärjestelmä on kantavat seinät-laattarunko (kuva 15). Tätä käytetään tyypillisesti asuinrakentamisessa. Kantavina seininä voidaan käyttää ulkoseiniä ja asuntojen välisiä sisäseiniä. Kantavat seinät ja laatat valmistetaan yleensä elementteinä, mutta myös paikallavalettu rakenne on mahdollinen. Yleensä kuitenkin ulkoseinät ovat kuori- tai sandwichelementtejä ja laatat ontelolaattoja. Rakennuksen jäykisteenä voidaan käyttää kantavia seiniä sekä myös porras- ja hissikuiluja. (Elementtisuunnittelu 2020e.)



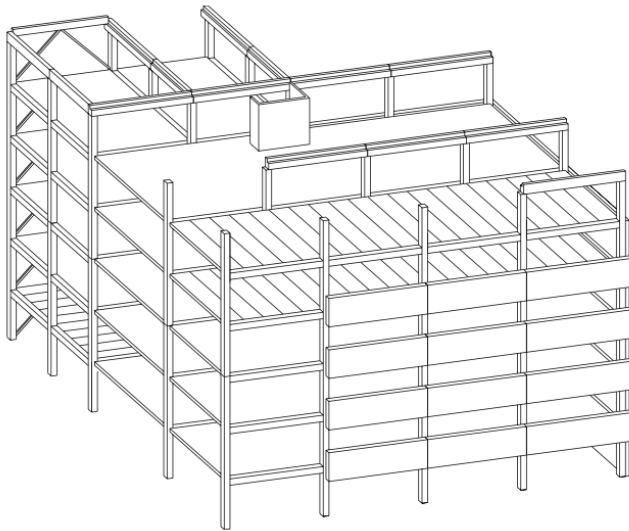
Kuva 15. Kantavat seinät-laattarunkojärjestelmä (RT 82-10821, 2004, 7).

Kantava ulkoseinärakenne rajoittaa yleensä ikkuna-aukotusten kokoa ja linjaa. Mikäli rakennuksen lyhyempi sivu ei mahdollista rakentamista yhdellä laatastolla muuntojoustavuus kärsii, kun rakennuksen keskelle joudutaan lisäämään kantavia väliseiniä. Yleensä juuri tästä syystä tämä runkojärjestelmä ei suoraan sovi toimisto- ja liikerakennuksiin eikä myöskään koulurakennuksiin. Kuitenkin käyttämällä keskilinjalla pilari-palkkilinjaa, saadaan tästä käyttökelpoinen runkojärjestelmä kohteen kaltaiseen rakennukseen.

### 5.2.2 Pilari-palkkirunkojärjestelmä

Toimisto- ja liikerakennuksissa yleisesti käytetty runkotyyppi on betonista valmistettu pilari-palkkirunko (kuva 15). Tämä sopii hyvin myös koulurakennuksiin, kun sisälle

sijoitetut pilarilinjat mahdollistavat hyvän muuntojoustavuuden. Pilarit voidaan toteuttaa useamman kerroksen korkuisina ja ne voidaan valmistaa joko betonista tai betonin ja teräksen liittorakenteena. Palkit ovat tyypillisesti joko betonisia suorakaide- tai leukapalkkeja tai teräksisiä WQ- tai deltapalkkeja. Laatat toteutetaan yleensä ontelolaatoilla tai kuorilaatoilla. Esijännitetyt ontelolaatat mahdollistavat ohuet rakenteet pitkillä jänneväleillä. Koska rakenteessa ei ole kantavia seiniä, jäykistäminen täytyy toteuttaa erikseen käyttämällä hyväksi esimerkiksi porrashuoneita ja hissikuiluja. Mikäli tämä ei kuitenkaan riitä sijoitetaan jäykistäviä seiniä esimerkiksi ulkoseinälle tai palo-osastojen välisiin seiniin.



Kuva 16. Pilari-palkkirunkojärjestelmä (RT 82-10821, 2004, 8).

Koska käytävä yleensä kulkee rakennuksessa pituussuuntaan, samaan suuntaan asetettu pilari-palkkilinja mahdollistaa käytävillä kulkevalle talotekniikalle hyvän esteettömän tilan. Elementtilaatat suunnitellaan toimimaan yhtenäisinä laatastoina, jolloin ne siirtävät rakennuksen vaakakuormat hallitusta jäykistäville rakenteille. Hyvän muuntojoustavuuden lisäksi hyviä puolia on julkisivun asennus eri tahdissa rungon pystytyksen kanssa, jolloin rungon pystytys on nopeampaa. Järjestelmä mahdollistaakin useat julkisivuvaihtoehdot. Haasteita ovat erillisten jäykistävien rakenteiden kuten esimerkiksi hissi- ja porraskuilujen seinien riittävyys. Asennuksen aikaiseen tuentaan on myös käytettävä erityistä huomiota. (Elementtisuunnittelu 2020e.)

## 5.3 Rakenteet

### 5.3.1 Alapohja ja perustukset

Kohteen perustaminen käydään ehdotussuunnitteluvaiheessa yleisellä tasolla läpi. Perustaminen toteutetaan myöhemmin annetun perustamistapalausunnon mukaisesti. Käydään tässä läpi kuitenkin muutama perusasia perustamiseen liittyen.

Alustavan hankesuunnitelmavaiheen perustamisolosuhteraportin mukaan maapohja on osittain moreenia ja osittain korkeintaan viiden metrin paksuudelta savea kallion päällä. Raportin perusteella rakennus voidaan perustaa osittain käyttämällä maanvaraisia anturoita ja osittain voidaan joutua käyttämään lyhyitä paaluja. Tontilla voidaan joutua myös louhimaan. Tontin ahtaus tulee ottaa huomioon kuten myös ympärillä olevat vanhat rakennukset, joissa on mahdollisesti kevyt perustus. Anturan alle suositellaan murskearinaa. Ulkoseinien alle nauha-anturat ja mahdollisten pilarien alle pilarianturat. Kohdissa, joissa kallion päällä on savea, tarvitaan lyhyt paalutus. Ahtaan tontin takia kohteessa tulisi välttää suuria kaivuita, mikä paalutuksella voidaan välttää. Rinnetontti aiheuttaa myös omat haasteet, kun rakennus sijoittuu kerroksittain rinteeseen. Anturalinja ei saisi laskea enemmän kuin 1:3 suhteessa. Kohdissa missä kallio on pinnassa, suositellaan kallion päälle ohutta sorapetiä.

Turun rakennusohjeissa (Turun kaupunki 2020) neuvotaan välttämään maanvaraista rakentamista. Pyritään siis rakentamaan alapohjat tuulettavana kantavana rakenteena. Mikäli korkeuden takia tämä ei ole mahdollista voidaan joutua jossain kohdissa rakentamaan maanvaraisena. Korkeuserojen takia rakennukseen tulee jonkun verran myös maanpaineiseiniä. Rakennus on myös toteutettava siten, ettei siitä aiheudu haitallista pohjaveden alenemista eikä vauriota ympäröiville rakennuksille.

















### 5.3.2 Pilarit

Kantavina pystyrakenteina voidaan käyttää joko seiniä tai pilareita. Pyrittäessä mahdollisimman muuntojoustavaan tilaan kantavien rakenteiden lähtökohtana sisätiloissa on käyttää pilareita ja sijoittaa ne mahdollisuuksien mukaan käytävälinjaan. Rakennuksen ulkosivuilla voidaan käyttää kantavana rakenteena joko ulkoseiniä tai pilareita.

Betonirunkoisessa rakennuksessa pilarivaihtoehtoina ovat paikallavaletut betonipilarit, elementtipilarit tai liittopilarit. Koska suunnittelun lähtökohtana on elementtirakentaminen, käsitellään kohteen tapauksessa elementtipilaria sekä liittopilaria. Toki alustava mitoitus, mikä myöhemmin on suoritettu elementtipilarille, sopii myös vastaavan kokoiselle paikallavaletulle pilarille.

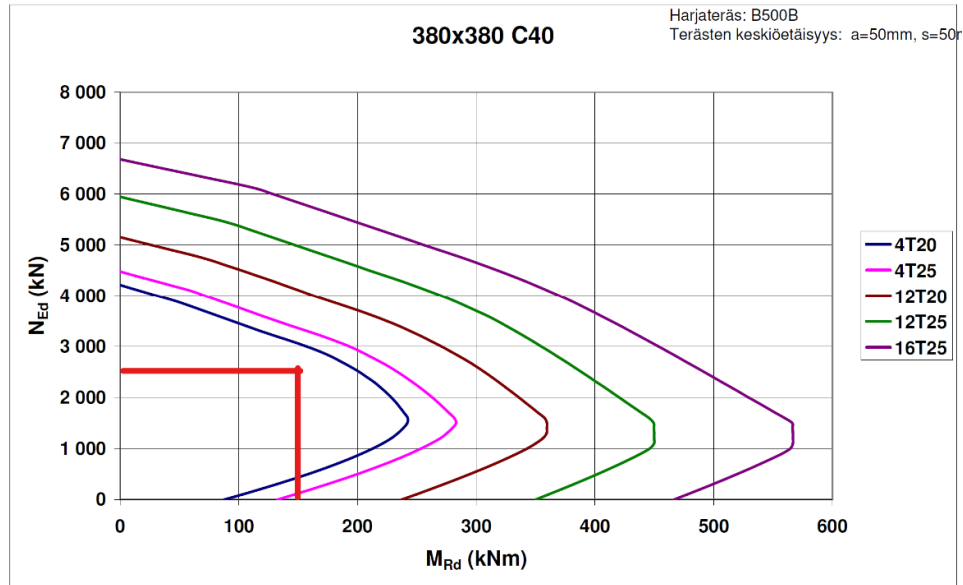
Elementtipilareita valmistetaan suorakaiteen ja pyöreän muotoisina. Erimittaisilla sivuilla olevia suorakaidepilareita käytetään yleensä, kun niitä kuormittaa pystykuormien lisäksi myös vaakakuormat. Kohteessa suunnittelun lähtökohta on, että vaakakuormat otetaan vastaan jäykistävillä rakenneosilla, joten pilareille lasketaan lähtökohtaisesti vain pystykuormia. Tässä tapauksessa suositeltavaa olisi ensisijaisesti käyttää neliöpilareita. Neliöpilareita voidaan myös toteuttaa monen kerroksen korkuisina, mikä on taloudellisesti kannattavaa. Jopa 15 metriset pilarit ovat mahdollisia, jolloin yhdellä pilarilla voidaan kannattaa jo 3–4:ää kerrosta. Pyöreän muotoisia pilareita taas suositellaan käytettäväksi pääsääntöisesti yhden kerroksen korkuisina. (Betoniteollisuus ry 2010.)

Elementtipilarien mitoitus perustuu moduulimitoitukseen, jossa koot vaihtelevat yhden moduulin eli 0,1 metrin välein. Suositeltavin minimikoko on moduulimitaltaan 3M eli 280 x 280 mm (kuva 17).

		PILARIN LEVEYS				
		2M 180	3M 280	4M 380	5M 480	6M 580
PILARIN KORKEUS	2M 180					
	3M 280					
	4M 380					
	5M 480					
	6M 580					
	7M 680					
	8M 780					
			SUOSITELTAVIN		SUOSITELTAVA	

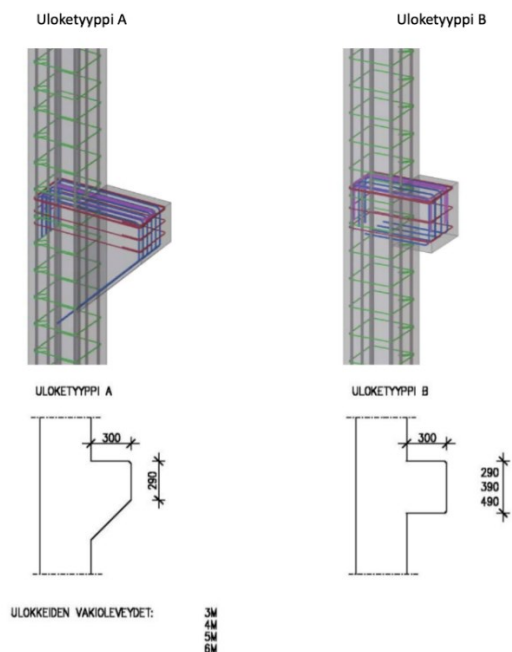
Kuva 17. Suorakaidepilarien suositeltavat poikkileikkaukset (Betoniteollisuus ry 2010, 29).

On kuitenkin suositeltavaa käyttää kohteen kaikissa pilareissa samaa poikkileikkausta, joten poikkileikkaus kannattaa valita suurimman rasituksen mukaan. Alustavien laskelmien mukaan eniten kuormitetun pilarin pystykuormaksi muodostuu  $N_{Ed} = 2\,400$  kN ja epäkeskisyyksistä johtuvaksi taivutusmomentiksi  $M_{Ed} = 145$  kNm. 380 x 380 mm:ä kokoisen neliöpilarin, joka on valmistettu C40 betonista kantokykykäyrästä (kuva 18) nähdään, että kyseiseen kuormitusmaksimiin riittää valittu koko raudoitettuna neljällä kulmiin sijoitetuilla halkaisijoiltaan 20 mm:llä harjateräksillä.



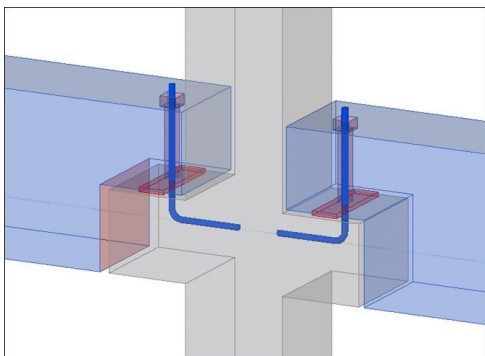
Kuva 18. Kantokykykäyrä teräsbetonipilari 380x380 C40 (Betoniteollisuus ry 2010, 94).

Palkkien kannatus monikerrospilareihin voidaan tehdä joko näkyviin jäävillä betonisilla ulokkeilla tai piiloulokkeilla. Betonista valmistettu uloke (kuva 19), mikä jää näkyviin, on usein taloudellisin vaihtoehto. Siihen betoninen suorakaidepalkki voidaan tukea sellaiseen.



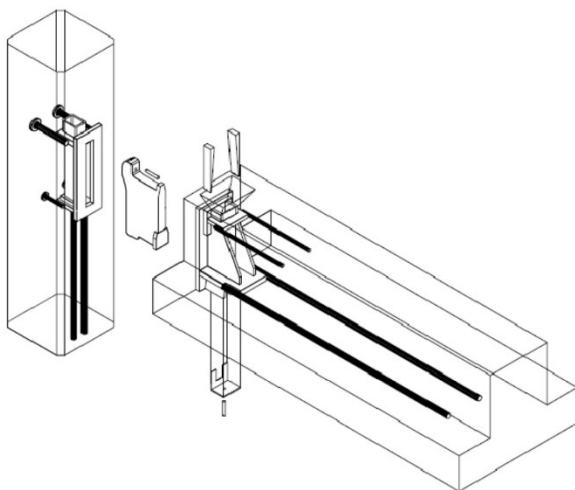
Kuva 19. Betoniulokkeen vakio mitoitus (Betoniteollisuus ry 2010, 34).

Betonisen ulokkeen voi toteuttaa myös siten, että se piilotetaan koloamalla betonisen palkin päähän (kuva 20). Silloin ei kuitenkaan voida käyttää kovin matalia palkkeja.



Kuva 20. Betoniuloke kolotulla palkilla (Elementtisuunnittelu 2020e).

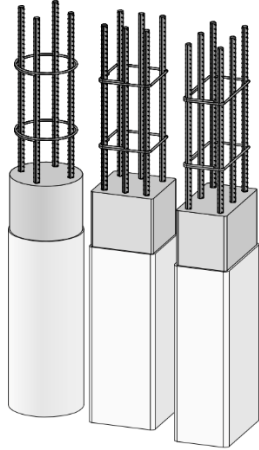
Matalilla palkeilla yksi mahdollisuus on käyttää teräksisiä piilokonsoleita (kuva 21). Piilokonsoleita käytettäessä muotit voidaan pitää yksinkertaisempina, koska valun asennettavat osat jäävät pilarin sisäpuolelle, eikä muottipintaa siten tarvitse rikkoa. Pilarin ulkopuoliset osat voidaan asentaa vasta valun jälkeen. Palkkeihin asennetaan vastaavasti yhteensopivat osat. (Betoniteollisuus ry 2010.)



Kuva 21. Piilokonsoli (Betoniteollisuus ry 2010, 35).

Yksi vaihtoehto pilariksi on myös teräksen ja betonin muodostama liittopilari. Siinä käytetään esivalmistettua teräskomponenttia, jossa joko pyöreän tai suorakaide teräsputken sisään on lisätty paloraudotus valmiiksi (kuva 22). Tämä täytetään asennuksen jälkeen betonilla, jolloin materiaalit toimivat yhdessä. Liittopilarien etuna voidaan pitää niiden

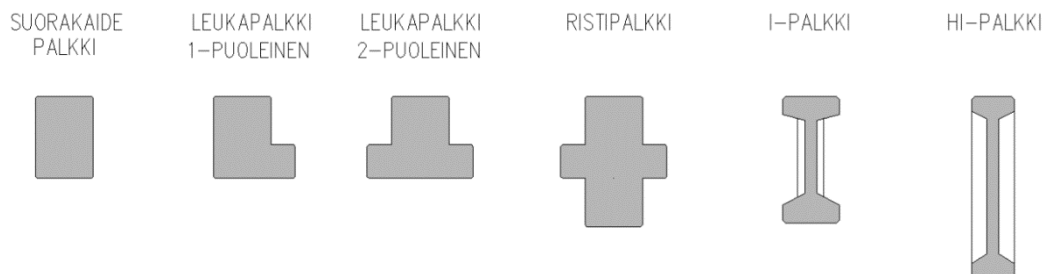
keveyttä asennusvaiheessa ennen betonitäyttöä sekä käytettäessä myös liittopalkkeja voidaan rungon osat tilata samalta toimittajalta.



Kuva 22. Teräksen ja betoni liittopilari (Peikko Oy 2019, 5).

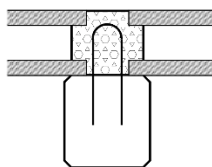
### 5.3.3 Palkit

Pilari-palkkirunkoisessa rakennuksessa tarvitaan palkkeja jakamaan laatoilta tulevia kuormia eteenpäin pilareille. Rakennettaessa elementeistä tarjolla on useita palkkivaihtoehtoja. Voidaan käyttää tavallisia teräsbetonipalkkeja tai jännitetyjä jännebetonipalkkeja. Tarjolla on myös useita teräслиittopalkkeja, joilla päästään matalaan kokonaisrakennekorkeuteen. Useammasta edellä mainitusta löytyy valmiita kantokykykäyriä, joilla luonnossuunnitteluvaiheessa päästään arvioimaan poikkileikkauksen sopivuutta rakenteeseen.



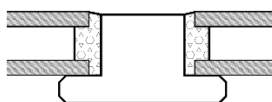
Kuva 23. Betonisten elementtipalkkien poikkileikkauksia (Betoniteollisuus ry 2010, 38).

Betonista valmistetaan elementtipalkkeja usealla poikkileikkauksella (kuva 23). Suorakaidepalkkia valmistetaan sekä teräsbetonipalkkina, että jännitettynä. Suorakaidepalkki jää kuitenkin aina kokonaan laataston alapuolelle, jolloin se paksuntaa rakennetta ja hankaloittaa muun muassa talotekniikan sijoittelua (kuva 24). Suorakaidepalkki on kuitenkin yleensä taloudellisin vaihtoehto.



Kuva 24. Suorakaidepalkki (Elementtisuunnittelu 2020b).

Mikäli palkin ei haluta vievän niin paljon tilaa laataston alta voidaan käyttää leukapalkkeja (kuva 25). Ne sijoittuvat osittain laataston sisään ja jäävät vain leuan korkeuden verran sen alle. Leuan korkeus vaihtelee kuormituksesta ja jännevälillä riippuen noin 180–480 mm:n välillä. Leukapalkkia voidaan valmistaa sekä jännitettynä että teräsbetonisena. Palkkia kannattelevan pilarin suositellaan olevan saman levyinen kuin palkki. Käytettäessä betonielementtipalkkeja yleensä on edullista pyrkiä käyttämään mahdollisimman paljon samaa poikkileikkausta.

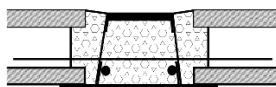


Kuva 25. Leukapalkki (Elementtisuunnittelu 2020b).

Leukapalkkeja valmistetaan myös jännitettynä matalapalkkeina. Ne valmistetaan yleensä korkealujuusbetonista ja niissä päästään leuan korkeudessa matalimmillaan 80 mm:iin käytettäessä 320 mm korkeaa ontelolaattaa, paloluokan ollessa silloin R 60. R 120 paloluokassa vastaava leuan korkeus on 130 mm.

Vielä matalampaan rakennepaksuuteen päästään käyttämällä teräksisiä liittopalkkeja, jotka jäävät käytännössä kokonaan laataston sisään (kuva 26). Näitä yhdistää teräksestä valmistettu esivalmisteosa, joka valetaan saumavalun yhteydessä kiinteäksi osaksi laatasta. Näin palkki ja laatta toimivat yhdessä liittorakenteena. Näistä yleisesti käytetty on Deltapalkki, joka on Peikko Oy:n patentoima liittopalkki. Se pitää koteloinnin lisäksi

sisällään myös paloraudoituksen, joka jää suojaavan betonin sisään, kun palkki valetaan täyteen.



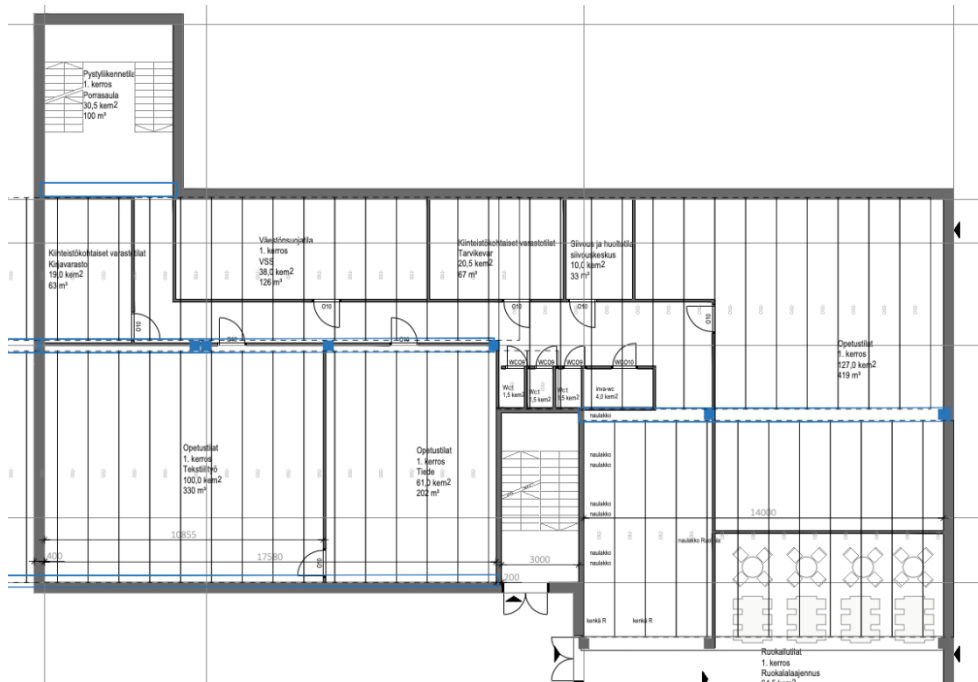
Kuva 26. Deltapalkki (Elementtisuunnittelu 2020b).

Toinen yleisesti käytetty teräksinen matalapalkki on WQ-palkki (kuva 27). Deltapalkkien ohella se on suunniteltu ensisijaisesti ontelolaattojen kannatteluun. WQ palkki on teräslevyistä hitsattu rakenne, jonka alalaippa kannattelee laatasta. Se eroaa deltapalkista kuitenkin siinä, että siinä ei ole erillistä paloraudoitusta eikä sitä myöskään valeta umpeen laataston saumavalun yhteydessä. Näin ollen se tarvitsee aina palosuojauksen alalaippaan. Se ei myöskään muodosta niin selvää liittorakennetta betonin kanssa.



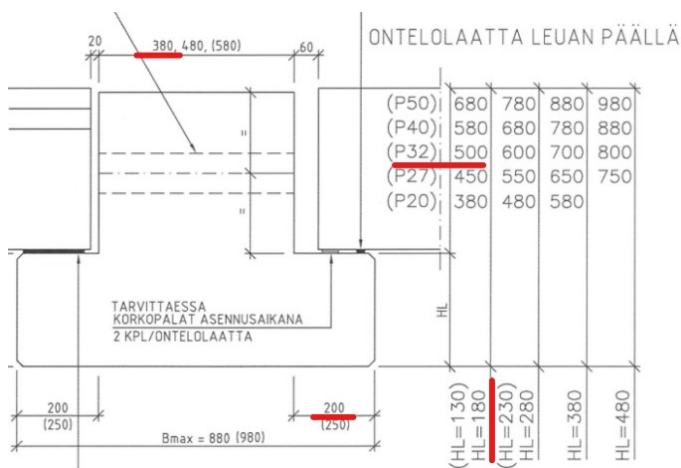
Kuva 27. WQ-palkki (Elementtisuunnittelu 2020b).

Alustavassa mitoituksessa arvioidaan betonisen leukapalkin, betonisen matalaleukapalkin sekä deltapalkin maksimijänneväliä, mikä vaikuttaa suoraan pilarien lukumäärään sekä sijoitteluun. Rakennuksen ollessa lyhyempään suuntaan pääsääntöisesti 15 metriä käytetään alustavassa arvioinnissa palkkivälinä 7,5 metriä, jotta runko voidaan toteuttaa yhdellä palkkilinjalla (kuva 28).

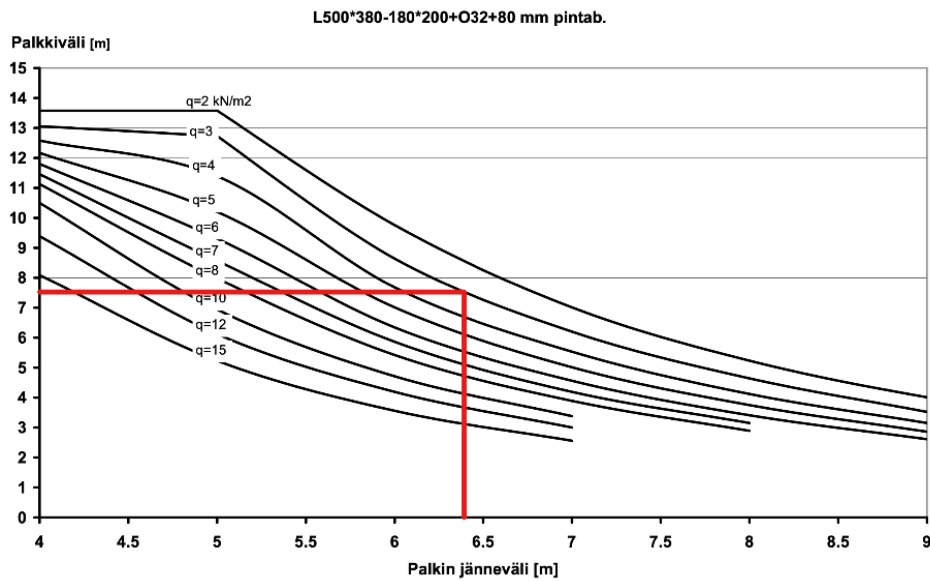


Kuva 28. Alustava palkkilinja ja ontelolaattojen jako ensimmäisessä kerroksessa.

Käytettäessä leukapalkkia, jonka kokonaiskorkeus on 500 mm ja mikä on tarkoitettu 320 mm paksulle ontelolaatalle, jolloin leuan korkeudeksi jää 180 mm (kuva 29), saadaan kantokykykäyrästä (kuva 30) palkin maksimijänneväliksi  $q = 3 \text{ kN/m}^2$  hyötykuormalla ja 80 mm:n pintavalulla noin 6,4 metriä.

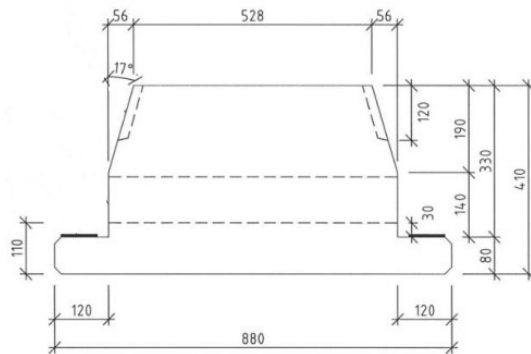


Kuva 29. Leukapalkki (Betoniteollisuus ry 2010, 41).

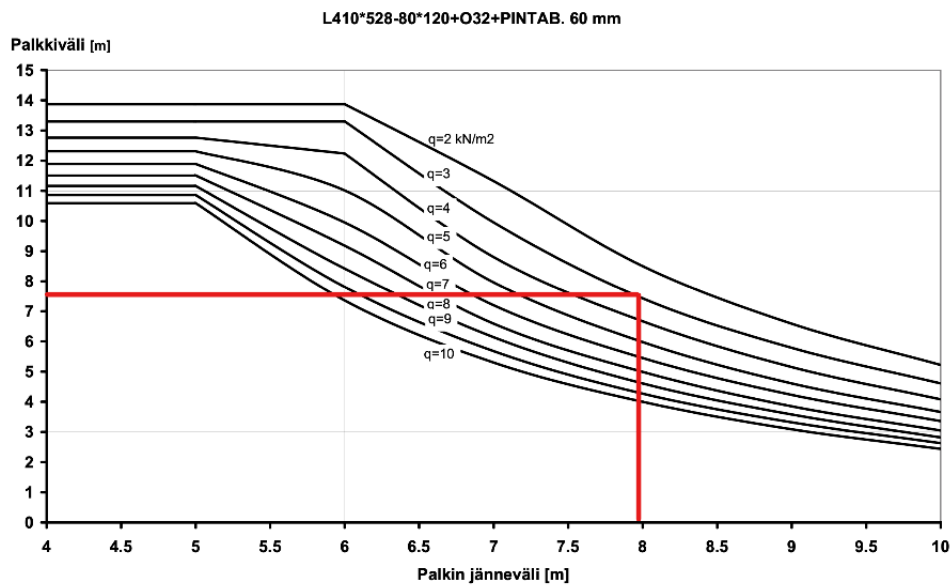


Kuva 30. Leukapalkin kantokykykäyrät (Elementtisuunnittelu 2020d).

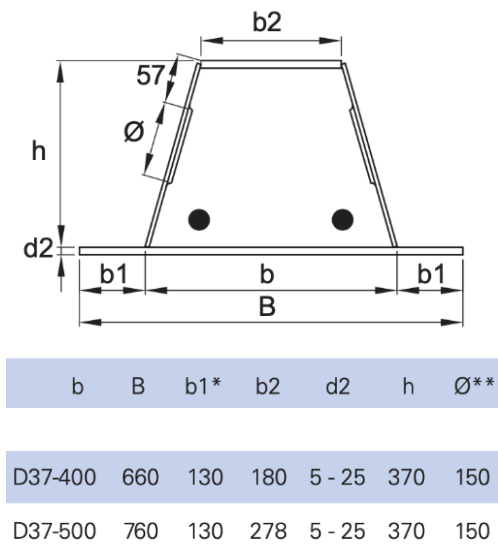
Vastaavalle ontelolaatalle tarkoitetulla betonisella matalaleukapalkilla (kuva 31) jonka leuankorkeus on 80 mm, saadaan kantokykykäyrästä (kuva 32) samalla hyötykuormalla ja 60 mm:n pintavalulla palkin maksimijänneväliksi noin 8 metriä.



Kuva 31. Betoninen matalaleukapalkki (Betoniteollisuus ry 2010, 43).



Kuva 32. Betonisen matalaleukapalkin kantokykykäyrä (Elementtisuunnittelu 2020d).



Kuva 33. Deltapalkki (Peikko Oy 2007, 5).

320 millimetriä paksulle ontelolaatalle on kaksi Deltapalkki vaihtoehtoa (kuva 33). Kuormaksi on käytetty alustavasta laskennasta saatua välipohjan omaa painoa  $g_k = 5,3 \text{ kN/m}^2$  sekä hyötykuormaa  $q_k = 3 \text{ kN/m}^2$ . Pinta-ala kuormaksi on kuormien yhdistelykertoimilla 1,15 omille painoille ja 1,5 hyötykuormalle saatu kaavasta:

$$p_{Ed} = 1,15 \times g_k + 1,5 \times q_k = 11 \text{ kN/m}^2$$

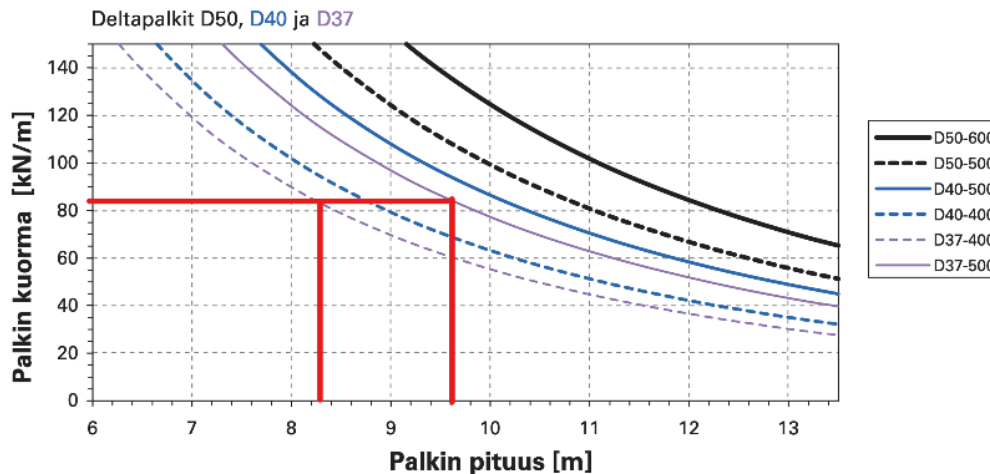
Siitä on johdettu palkille tulevaksi viiva kuormaksi:

$$P_{Ed} = p_{Ed} \times L = 82,5 \text{ kN/m}$$

missä:

L on kentän pituus 7,5 m.

Viivakuorman arvolla saadaan Deltapalkin kantokykykäyrästä (kuva 34) palkin maksimijänneväliksi D37-400 palkilla noin 8,3 metriä ja D37-500 palkilla noin 9,6 metriä. Jotta suunnittelussa päästään mahdollisimman vähäiseen pilarimäärään, käytetään alustavassa suunnittelussa palkkeina deltapalkkeja.



Kuva 34. Deltapalkin kantokykykäyrä (Peikko Oy 2007, 7).

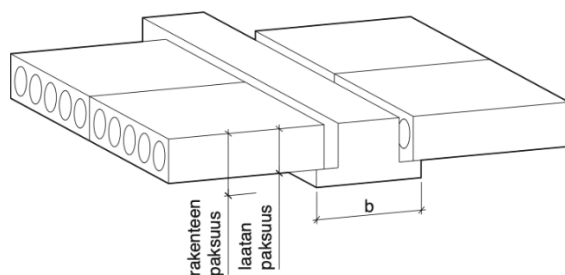
#### 5.3.4 Laatat

Laatat voidaan toteuttaa paikallavalettuina, elementtirakenteisina tai liittorakenteina. Käytettäessä paikallavalutekniikkaa tulisi runkojärjestelmäksi kuitenkin valita tekniikkaan sopivampi pilari-laattarunko, jota ei tässä työssä käydä läpi, koska ensisijainen tavoite on käyttää elementtirakenteita. Toimisto- ja liikerakennuksen tyypisessä rakennuksessa, jossa on pilari-palkkirunko, tyypilliset vaihtoehdot laataksi ovat jännitetyt ontelo-laatat ja kuorilaatat. (RT 82-10821, 2004, 10.)

Laatan valintaan vaikuttaa monta asiaa. Niistä oleellimmat ovat kuormitus, käytettävissä oleva tila, sekä tavoiteltu jänneväli. Myös äänieristyksellä ja palonkestävyydellä on merkitystä, mutta ne harvemmin betonirakenteita käytettäessä muodostuvat rajoittaviksi

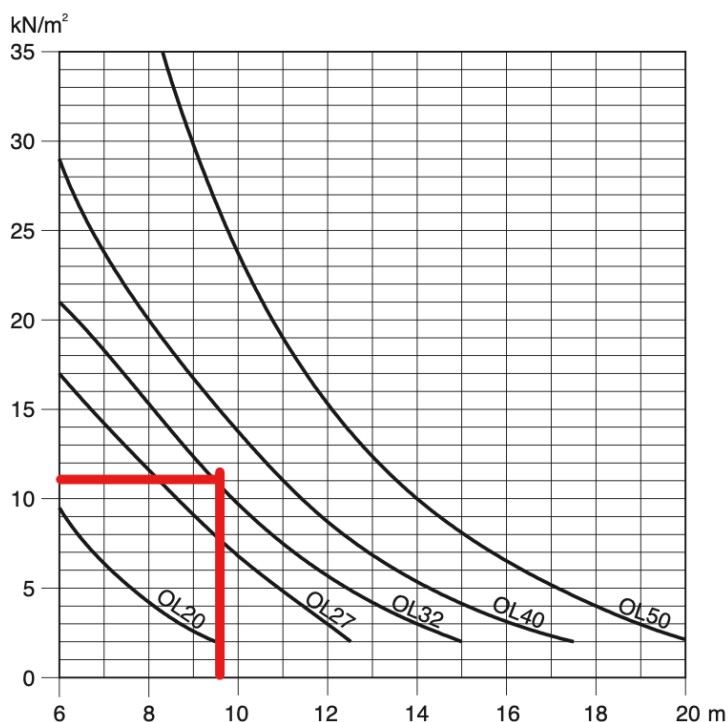
tekijöiksi. Muita huomioonotettavia seikkoja on talotekniikan sijoitus, muiden rakenteiden liittyminen laatastoon sekä laatastoon aukotus ja omapaino. (Betoniteollisuus ry 2010.)

Ontelolaatta on nimensä mukaan onteloilla kevennetty esijännitetty elementti. Ontelolaattoja valmistetaan useaa paksuutta. Laattojen vakioleveys on 1 200 mm. Niillä päästään pitkiin jänneväleihin suhteellisen ohuilla rakenteilla ja ne ovat yleisimmin käytettyjä elementtilaattoja. Niitä voidaan myös tarvittaessa myös rei'ittää ja kaventaa. Lopuksi laatasto rengas- ja saumaraudoitetaan sekä saumat valetaan umpeen, jolloin laatasto toimii yhtenäisenä laattana. Ontelolaatat on suunniteltu käytettäväksi leuka-, delta- ja WQ-palkkien kanssa (kuva 35). Palonkesto on yleensä vakiona REI 60. (Betoniteollisuus ry 2010.)



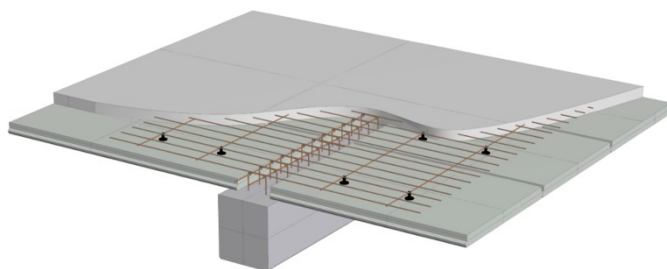
Kuva 35. Leukapalkin ja ontelolaatan liitos (RT 82-10821, 2004, 20).

Alustavan arvion mukaan sopivaksi ontelolaataksi sopii alun perin liike- ja toimistorakennuksia varten kehitetty O32, jonka paksuus on 320 mm (Betoniteollisuus ry 2010). Sillä päästään alustavalla 11 kN/m<sup>2</sup>:n pinta-ala kuormalla noin 9,5 metrin jänneväliin (kuva 36).



Kuva 36. Ontelolaattojen käyttöalue (RT 82-10821, 2004, 19).

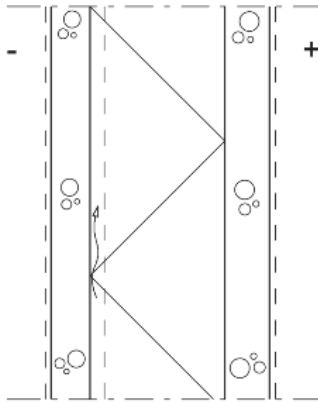
Kuorilaattoja käytetään liittorakenteena pintavalun kanssa (kuva 37), jossa se toimii samalla muottina ja liittorakenteen pääraudoituksena. Kuorilaatat ovat ohuita ja esijännitetyjä. Yleisimmin niitä käytetään teollisuus- ja asuinrakennuksissa sekä pysäköintitaloissa. Ne soveltuvat käytettäväksi sekä kantavien seinien, että pilari-palkkirunkojen kanssa. Vakiopaksuudet ovat 100, 120 ja 150 mm ja pintavalut ovat yleensä 100–200 mm. Maksimijänneväli on noin 10 m. Myös kuorilaattojen palonkesto vakiona on REI 60. (Betoniteollisuus ry 2010, 58–59.)



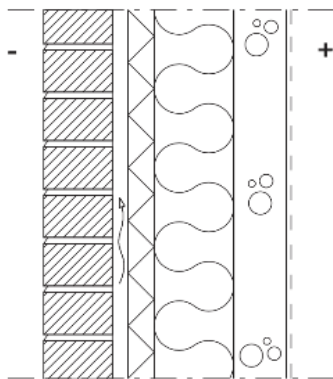
Kuva 37. Suorakaidepalkin ja kuorilaatan liitos (Elementtisuunnittelu 2020b).

### 5.3.5 Ulkoseinät

Rakennettaessa elementeistä kannattaa kohteen ulkoseinät toteuttaa yhdistelmärakenteena, jossa käytetään betonisia sisäkuorielementtejä. Tämä toteutustapa mahdollistaa erilaiset julkisivuvaihtoehdot. Toinen vaihtoehto olisi käyttää sandwich rakennetta (kuva 38), jolloin ulkokuori valmistetaan sisäkuoren kanssa yhtä aikaa samaan elementtiin. Sandwich rakenteessa jää kuitenkin usein julkisivuun näkyvät elementtisaumat, joita kohteen ympäristössä tulisi lähtötietojen nojalla välttää. Tästä syystä suunnittelun lähtökohtana pidetään nimenomaan yhdistelmärakennetta. Tällöin sisäkuori elementoidaan ja julkisivu voidaan toteuttaa erikseen esimerkiksi muuraamalla tai puuverhoiltuna (kuva 39).



Kuva 38. Sandwich seinärakenne (RT 82-11006, 2010, 8).



Kuva 39. Yhdistelmä rakenne, jossa betoninen sisäkuori ja muurattu julkisivu (RT 82-11006, 2010, 5).

Betoniset sisäkuorielementit voidaan tehdä joko kantavina tai ei-kantavina. Mikäli runkojärjestelmänä käytetään pilari-palkkirunkoa ei ole välttämättä tarpeen tehdä ulkoseiniä kantavina. Ulkoseinä elementit voidaan siinä tapauksessa tehdä itsekantavina tai ripustettuina. Itsekantava ulkoseinä kantaa oman painonsa ja johtaa kuorman perustuksiin. Ripustettuna ne voidaan kiinnittää rungon varaan.

Jos kuitenkin käytetään pilarilinjaa vain rakennuksen keskellä, pilarilinjan suuntaisen sivun ulkoseinistä tehdään silloin kantavat. Kantavat seinät rajoittavat jonkin verran ikkunoiden sijoittelua, eikä varsinkaan suuret yhtämittaiset ikkunalinjat ole silloin mahdollisia. Taloudellisin ratkaisu olisi toteuttaa ulkoseinät kantavina. Tällöin myös tilat pysyvät paremmin muuntojoustavina, kun seinän sisäpinta on suora eikä seinälinjalla ole erillisiä pilareita tai pilastereita. (RT 82-10821, 2004, 9.)

Yhdistelmä rakenteessa seinän sisäpuoli on betonia ja ulkopuoli jotain muuta materiaalia. Sisäkuori asennetaan ensin joko niin että siihen on jo tehtaalla kiinnitetty eristeet tai ne voidaan myös kiinnittää työmaalla ulkoverhouksen yhteydessä. Tässä yhteydessä rakenteeseen on myös helppo toteuttaa riittävä tuuletusrako. Julkisivu kannattaa tehdä tuulettavana. Yhtenäinen tuuletusväli edistää rakenteen kuivumista ja parantaa kosteusteknistä toimivuutta. Pystysuuntaisen yhtenäisen tuuletusvälin tulisi olla 30 mm (Elementtisuunnittelu 2020). Suositus puisia rankarakenteita käytettäessä on kuitenkin 40 mm:n tuuletusväli (RIL 255-1-2014, 2014, 134).

Ulkoseinän sisäkuorielementin paksuus suositus on 120–150 mm. Tätä voidaan käyttää rakennuksen ei kantavilla seinillä. Kantavien ja jäykistävien seinien vähimmäispaksuus tulisi olla 180 mm (Betoniteollisuus ry 2010, 48).

### 5.3.6 Lämmöneristys

Lämmitetty tila vaatii aina lämmöneristeen. Kun käytetään betonista sisäkuorielementtiä, lämmöneriste asennetaan sisäkuoren ulkopintaan joko valmiiksi tehtaalla tai vasta työmaalla. Lämpimän tilan seinän lämmönläpäisykertoimen vertailuarvo on 0,17 W/(m<sup>2</sup>K) (Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 1010/2017). Eriytetyssä betonijulkisivussa, jonka sisäkuori on vähintään 120 mm ja jossa on tuuletusväli, alustava eristepaksuus vaaditun arvon täyttämiseksi on mineraalivillalle noin 220 mm, EPS:lle 180–220 mm ja PUR/PIR-eristeelle noin 150 mm (Elementtisuunnittelu 2020c).

## 5.4 Jäykistys

Rakennukseen syntyy pystyvoimien lisäksi myös vaakavoimia. Näitä syntyy tuulen vaikutuksesta, lisävaakavoimista ja toisen kertaluvun vaikutuksesta. Lisävaakavoimat ovat normaalin asennustoleranssin sallimasta rakenteen vinoudesta johtuvia. Toisen kertaluvun rasitukset tulee kuvaan mukaan, kun rakenteeseen kohdistuvan rasituksen aiheuttamat muodonmuutokset, siirtymät tai epäkeskisyydet lisäävät osaltaan vaakakuormaa. Jäykistävien rakenteiden tehtävä on johtaa nämä vaakavoimat perustuksille siten, että rakennus ei menetä stabiiliuttaan eikä siihen synny haitallisia muodonmuutoksia tai siirtymiä.

Rakennuksen jäykistävään kokonaisuuteen kuuluu jäykkä pystyrakenne sekä jäykistetyt vaakarakenteet eli laatastot. Jäykällä yhtenäisellä laatalalla voidaan vaakarasitukset johtaa hallitusti pystyrakenteille.

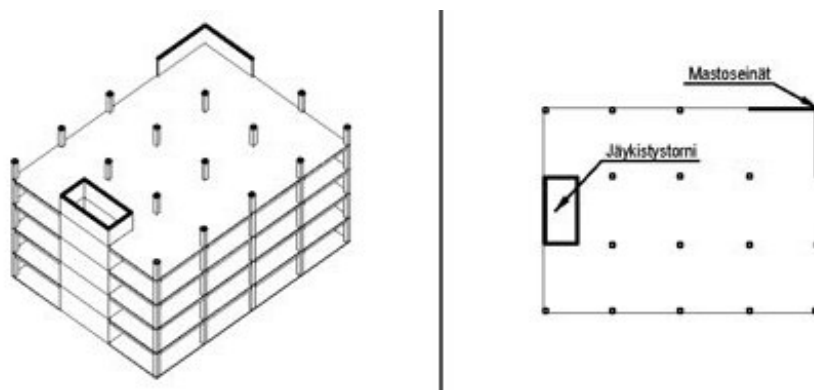
Jäykistys on yleensä vaativa suunnittelutehtävä ja se tehdään usein FEM-ohjelmilla. Luonnossuunnitteluvaiheessa on kuitenkin jo hyvä alustavasti pohtia jäykistys vaihtoehtoja ja niiden sopivuutta valitussa runkorakenteessa, sekä tehdä näiden pohjalta alustava jäykistysuunnitelma.

Alustavassa tarkistelussa käydään läpi rakennuksen jäykistävien rakenteiden riittävyys, niiden symmetria ja toiminta molempiin suuntiin sekä kyky estää rakennuksen kiertymistä. Jos rakennukseen tulee liikuntasauvoja niiden vaikutusta jäykistykseen pitää myös arvioida ja varmistaa, että liikuntasauvan molemmilla puolilla on riittävä jäykistys. Alustavassa tarkistelussa tulisi myös arvioida syntyykö jäykistävän rakenteen ja perustusten välille vetoa mikä vaatisi ankkurointia. (Elementtisuunnittelu 2020a.)

Jäykistysjärjestelmiä on useita ja sopivimman valintaan vaikuttaa monta asiaa. Tärkeimmät näistä ovat valittu runkojärjestelmä, rakennuksen mittasuhteet, kustannustehokkuus sekä muuntojoustavuuden ja rakennuksen käyttötarkoituksen asettamat vaatimukset jäykistävien rakenteiden sijoittelulle. Myös arkkitehdillä on varmasti oma näkemyksensä asiaan, mikäli jäykistyksestä tulee näkyvä rakenne. Pilari-palkkirungolle sopivia jäykistystapoja on mastojäykistys ja levyjäykistys tai useamman tavan yhdistelmä.

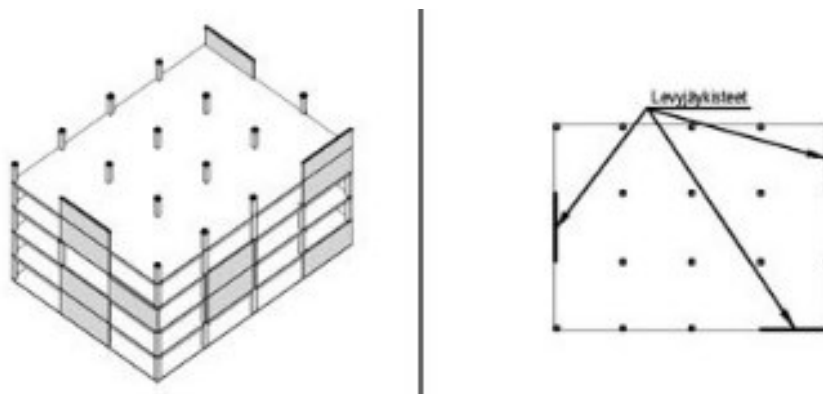
Mastojäykistys voidaan toteuttaa mastopilarina tai mastoseinä (kuva 40). Molemmat perustuvat alapäästään jäykästi perustuksiin kiinnitettyyn rakenteeseen, joka toimii ulokepalkkina. Vaakarakenteet voidaan tukea mastoon nivelellisenä. Mastopilari soveltuu

parhaiten mataliin rakennuksiin, joissa ei ole paljon kerroksia, mutta mastoseinäjäykistys sen sijaan sopii paremmin valittuun runkojärjestelmään. Siinä osa ulkoseinästä rakennetaan jäykäksi levymäiseksi rakenteeksi, joka sidotaan jäykästi perustuksiin. Tämä jäykistävä seinän osa on koko rakennuksen korkuinen ja sellainen tulisi yleensä olla symmetrisesti molemmin puolin rakennusta sekä sijoitettuna molempiin suuntiin. Muilta osin ulkoseinä voidaan toteuttaa kevyemmin esimerkiksi pelkästään itsensä kantavana rakenteena. Tästä seuraa kuitenkin se, että ulkoseinässä rakennetyyppi on erilainen jäykistävän ja ei jäykistävän seinänä osalta, jonka takia myös liitosdetaljien määrä kasvaa, mikä lisää osaltaan suunnitelmien monimutkaisuutta.



Kuva 40. Jäykistystornin ja mastoseinien yhdistelmä (Elementtisuunnittelu 2020a).

Jäykistävien mastoseinien tavoin toimivat myös jäykistystornit (kuva 40), joita ovat muun muassa hissikuilut ja porrashuoneet, joita yleensä korkeista rakennuksista löytyy jo valmiiksi. Tällöin on usein kustannustehokkaampaa käyttää näitä kuin suunnitella erillisratkaisuja vaativia mastoseiniä.

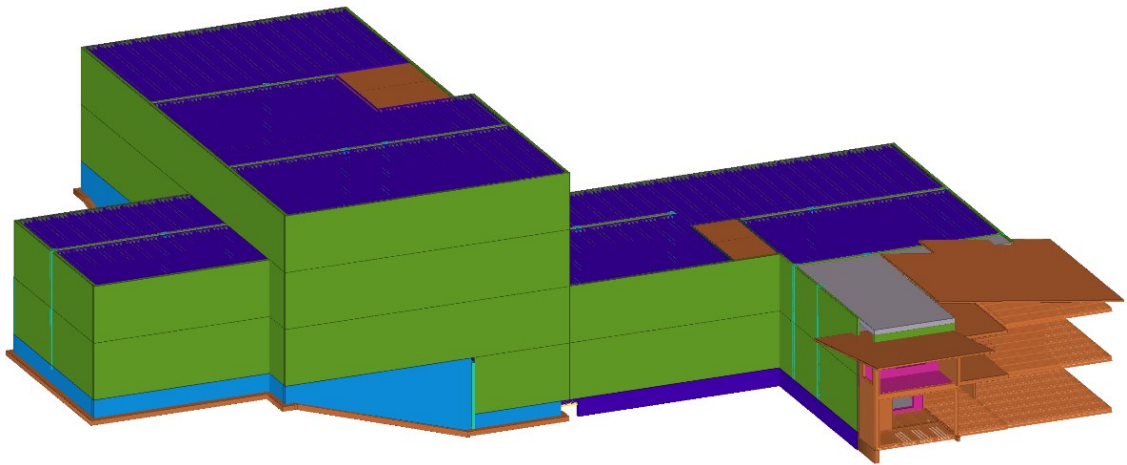


Kuva 41. Levyjäykistys (Elementtisuunnittelu 2020a).

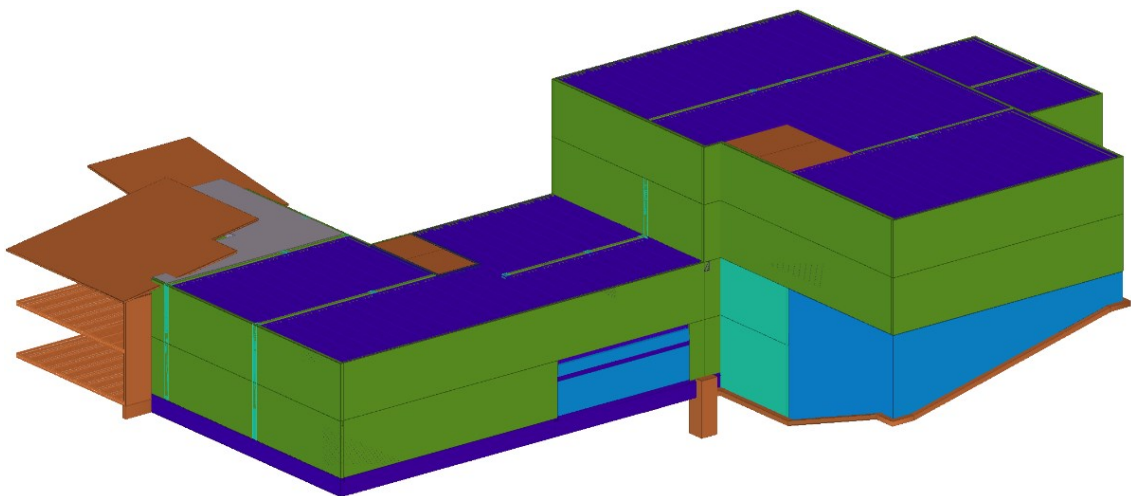
Levyjäykistyksessä rungon aukkoihin sijoitetut jäykät levyt (kuva 41) siirtävät niille tulevat vaakakuormat leikkausvoimina kerroksittain alapuolisille vaakarakenteille ja alimmassa kerroksessa suoraan perustuksille. Ne toimivat vähän samaan tapaan kuin mastoseinät, mutta niistä ei muodostu yhtä koko talon korkuista kokonaisuutta, vaan ne voidaan sijoittaa kerroksittain eri kohtiin, koska ne jakavat vaakakuormat aina alla olevan vaakarakenteen kautta seuraavaan kerrokseen. Levyt välittävät jäykistyksen ohella myös pystykuormia. Niitä täytyy olla sijoitettuna molemmissa suunnissa ja yhteensä vähintään kolme kappaletta sijoitettuna siten, etteivät ne osu symmetrisesti samalle kohtaan talon vastakkaisille puolille. Levyinä voivat toimia sekä rakennuksen sisäseinät, että myös ulkoseinien osat. Mastoseinien tavoin ulkoseinän ja välipohjalaattojen liitosten suunnittelu vaatii erityishuomiota ja poikkeaa muuten käytetyistä detaljeista. (Elementtisuunnittelu 2020a.)

## 6 CASE

Rakennesuunnittelijan tehtäväluettelon RAK18 (RT 103087, 2019) mukaisesti valitaan hankkeen tavoitteet täyttävät sopivimmat suunnitteluratkaisut. Seuraavaksi on esitetty valittu runkojärjestelmä sekä yleisimmät rakennusosat. Sen lisäksi esitetään rakennetyypit yleisimmistä rakenteista. Kohteesta tehtiin ehdotussuunnitteluvaiheessa myös 3D-mallinnus (kuvat 42–43). Mallinnus koettiin hyödylliseksi etenkin arvioitaessa rakennuksen sijoittumista rinteeseen ja sen vaikutuksia perustamis- ja alapohjaratkaisuihin sekä maanpainesiniin. Mallinnusta käytettiin hyväksi myös tutkittaessa liittymää vanhaan osaan.



Kuva 42. Rakennuksen alustava 3D-malli katsottuna etelästä. Oikean reunan ruskeat rakennusosat ovat vanhaa rakennusta.



Kuva 43. Rakennuksen alustava 3D-malli katsottuna pohjoisesta.

## 6.1 Runko ja rakenteet

Koulurakennuksen vaatimukset huomioon ottaen parhaiten käyttötarkoitukseen soveltuu pilari-palkkirunko. Runko antaa mahdollisuuden hyvään muuntojoustavuuteen ja toteutettaessa ontelolaatoilla ja delpapalkeilla pitkiin jänneväleihin. Rakennettaessa teräsluotto-palkeilla laatasto saadaan toimimaan yhtenäisenä kokonaisuutena. Näin ollen rakenteen paksuus saadaan pidettyä mahdollisimman ohuena, mikä mahdollistaa hyvän tilan talotekniikalle.

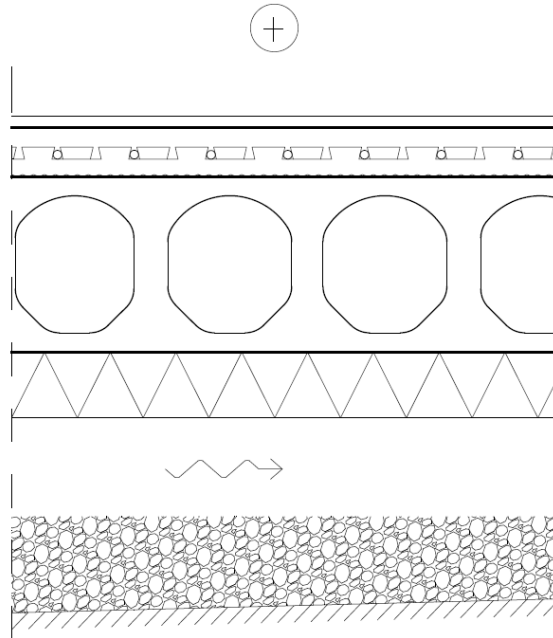
Pilareina käytetään tasasivuista suorakaide teräsbetonipilaria vähintään kahden kerroksen korkuisena. Alustavan mitoituksen mukaan kokoa 380 x 380 mm. Delpapalkkien ja pilarien liitoksessa käytetään suositusten mukaan piilokiinnitystä. Valitulla runkotyypillä päästää myös tehokkaaseen rakentamisnopeuteen. Ulkoseinät voidaan toteuttaa elementtirakenteisena sisäkuorilla.



Kuva 44. Toisen kerroksen alustava pilarilinja.

Palkkilinja toteutetaan rakennuksen pitkän sivun suuntaan (kuva 44). Näin toteutettuna tulee vähemmän variaatioita laattojen pituuksiin sekä yksinkertaisempi runko. Tällä järjestelyllä myös pilarien ja palkkien määrä pysyy vähäisempänä ja on siten edullisempi rakentaa. Pilarilinja saadaan näin myös sijoitettua pitkänsivun suuntaisen käytävän seinälinjaan.

Ontelolaataksi valitaan alustavasti 320 mm paksu laatta (kuvat 45–46). Sillä päästään riittävään jänneväliin, jotta rakennuksen lyhyempi väli voidaan toteuttaa kahdella laattalla. Myös rakennepaksuus on näin optimaalinen.

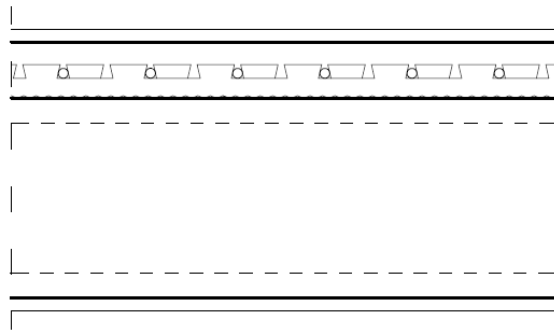


- pintarakenne arkk. mukaan
- 37 mm Knauf LM 80 pintalattiamassa, minimikerrospaksuus 30 mm lämmitysputken yläpuolella
- Warmia lattialämmitysputket
- Warmia Silent - asennuslevy 32 / 53 mm
- 320 mm ontelolaatta, rakennepiirustusten mukaan
- 120 mm Kooltherm
- > 800 mm koneellisesti tuuletettu alustila
- 150 mm salaojasorastus # 8...16 mm
- suodatinkangas (N3)
- perusmaa kallistettu salaojiin

Vedenpoistoreiät porattava onteloihin saumavalun jälkeen

Palonkestoluokka: REI60

Kuva 45. Alapohjan alustava rakennetyyppi.



- pintarakenne arkk. mukaan
- 37 mm Knauf LM 80 pintalattiamassa, minimikerrospaksuus 30 mm lämmitysputken yläpuolella
- Warmia lattialämmitysputket
- Warmia Silent - asennuslevy 32 / 53 mm
- 320 mm Ontelolaatta rakennesuunnitelmien mukaan
- Alakatto arkk. mukaan

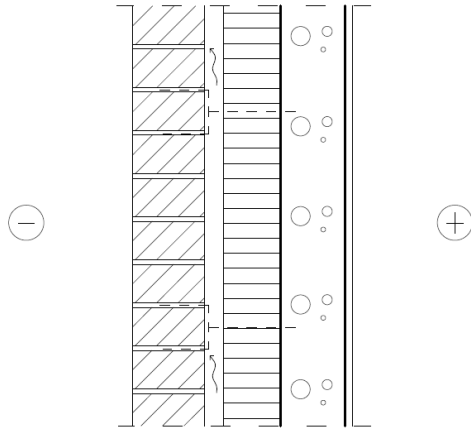
Vedenpoistoreiät porattava onteloihin saumavalun jälkeen

Palonkestoluokka: REI60

Ääneneristävyys:  $R'w = 55\text{dB}$

Kuva 46. Välipohjan alustava rakennetyyppi.

Ulkoseinät toteutetaan sisäkuorielementeillä, joiden paksuus on 150 mm. Jos ikkunalinja mahdollistaa toteutetaan ulkoseinä kantavana. Jos ulkoseinällä kuitenkin käytetään pilareita, elementit tuetaan sokkelipalkkien päälle ja ne toimivat ainoastaan itsensä kantavina. Eristeeksi valitaan Kingspan Kooltherm K15 Julkisivueriste. Sen lämmönjohtavuusarvon ollessa vain 0,020 W/mK riittää eristepaksuudeksi 120 mm. Levyn pinnassa on B-s1, d0 -luokan palonsuojalaminaatti. Kooltherm K15 eristettä voidaan käyttää kohteessa, kun sisäkuori on vähintään A2-s1, d0 -luokan palamatonta materiaalia eli kuten tässä tapauksessa betonia. Eriste on ilmatiivis, joten se ei tarvitse erillistä tuulensuojalevyä. Näin seinärakenteiden (kuvat 47–48) kokonaispaksuus pysyy mahdollisimman ohuena. Tuuletusväliksi suositellaan 40 mm.



- 135 mm Tiilimuuraus
- 40 mm Tuuletusrako
- 120 mm Kooltherm K15 ( $\lambda_d=0,020$  W/mK, B-s1, d0 - tarvike, tumma puoli)
- Kantava teräsbetoniseinä rakennepiirustusten mukaan
- Pintakäsittely huoneselostuksen mukaan

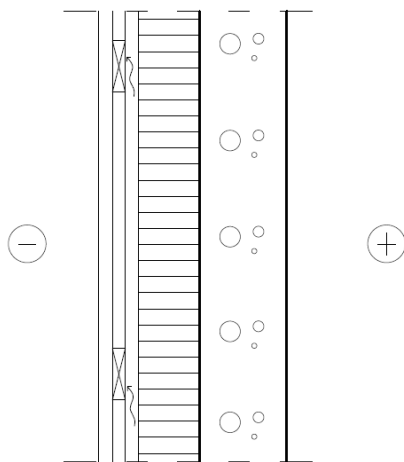
Lämpöliikkeen sallivat tiilisiteet  $\varnothing 4$  mm rst. 4 kpl/m<sup>2</sup>, kallistettu ulospäin

Lämmöneristeen palonsuojattun pintakerroksen tulee jatkaa yhtenäisenä tiiviinä kerroksena.

Lämmönläpäisykerroin:  $U=0,17$  W/m<sup>2</sup>K

Palonkesto > REI60

Kuva 47. Muuratun ulkoseinän alustava rakennetyyppi.



- >28 mm teollisesti palonsuojamaalattu julkisivupaneeli arkkitehdin mukaan
- Ristiinkoolaus 22x100 k600 + 22x100 k600 + tuuletusväli
- 120 mm Kooltherm K15 ( $\lambda_d=0,020$  W/mK, B-s1, d0)
- Kantava teräsbetoniseinä rakennepiirustusten mukaan
- Pintakäsittely huoneselostuksen mukaan

Palonkesto: REI60

Kuva 48. Puuverhoillun ulkoseinän alustava rakennetyyppi.

## 6.2 Palotekniset ratkaisut

Rakennus kuuluu paloluokkaan P1, jonka palokuorma on alle 600 MJ/m<sup>2</sup>. Rakenteiden luokkavaatimus on R 60, A2. Tämä tarkoittaa, että rakenteiden tulee kestää sortumatta palotilanteessa 60 minuutin ajan ja kantavien rakenteiden tulee olla vähintään A2-s1, d0 -luokan materiaalia eli tässä tapauksessa betonia.

Rakennus jaetaan palo-osastoihin kerroksittain. Kerrosalan jäädessä alle 1 000 m<sup>2</sup>:n kerroksia ei tarvitse jakaa pienempiin palo-osastoihin. Ulkoseinien tuuletusraossa palon etenemistä rajoitetaan kerroksittain. Ullakko toimii omana palo-osastona. Palo-osastojen välisen rakenteen luokkavaatimus kerroksissa on EI 60, ullakolla EI 30 ja kellarissa EI 60, A2.

Rakennus rajoittuu toiselta sivulta tontin rajaan. Sen takia toteutetaan sille puolelle palomuurin A1-luokan materiaalista eli tässä tapauksessa betonista. Palomuurin luokkavaatimus on EI-M 120. Palomuurin minimipaksuus raudoitettuna ei-kantavana on 120 mm ja kantavana 180 mm.

## 6.3 Kohteen jäykistys

Vaikka kohde on korkeimmillaan neljän kerroksen korkuinen, sijoittuu se rinteeseen, jolloin suuri osa sen alakerrosten seinistä on maanpaineeseen. Nämä voidaan itsessään suunnitella toimivan jäykisteenä. Rakennus on toiseen suuntaan selvästi pidempi eikä se ole koko matkaltaan täyskorkea, vaan porrastettu, joten siihen syntyvät vaakavoimat eivät ole niin suuria kuin korkeissa ja hoikissa rakennuksissa. Uudisosan toinen pääty rajoittuu vanhaan rakennukseen mikä osaltaan helpottaa jäykistystarvetta. Koska pohjaolosuhteet muuttuvat keskellä taloa savesta kallioon, rakennuksessa tarvitaan liikuntasäule. Liikuntasäuleen molemmilla puolilla kuitenkin sijaitsee porrashuoneet, joita voidaan hyödyntää jäykistystorjennä. Mikäli lisäjäykistystä tarvitaan, voidaan se toteuttaa levyjäykisteenä ulkoseinillä. Täten rungon pilareille ei tarvitse huomioida vaakakuormia. Asennuksen aikainen jäykistys tulee tarkistaa erikseen.

## 7 YHTEENVETO

Opinnäytetyön aiheena oli laatia Sirkkalan koulun laajennuksen rakennesuunnittelun ehdotussuunnitelma. Työn pohjana käytettiin rakennesuunnittelun tehtäväluetteloa RAK18 (RT 103087, 2019). Työn toimeksiantajana toimi rakennusalan suunnittelu- ja konsultointitoimisto Sitowise Oy, jonka asiantuntemusta ja hyväksi havaitsemia ratkaisuja käytettiin suunnittelun pohjana. Tämän kokemuksen lisäksi käytettiin lukuisia eri tietolähteitä.

Rakennustavaksi valikoitui betonielementtirakentaminen, joka täyttää hyvin kohteelle asetetut tavoitteet. Valintojen perusteena pidettiin ensisijaisesti tilaajan lähtötiedoissa asettamia edellytyksiä muuntojoustavuudesta, ekologisuudesta sekä rakenteiden pitkästä käyttöiästä.

Lopputuloksena oli ehdotus runkojärjestelmästä, kantavista rakennusosista sekä alustavat ehdotukset yleisimmistä rakennetyypeistä. Työssä laskettiin myös alustavat rakenteiden kuormat sekä mitoitettiin alustavasti kantavat rakenneosat.

Työssä käytiin monipuolisesti läpi kohteen koulurakennukselle asetetut vaatimukset, tavoitteet sekä rakennevaihtoehdot. Näin ollen laadittu ehdotussuunnitelma toimii hyvänä pohjana kohteen varsinaiselle suunnittelulle.

## LÄHTEET

Betoniteollisuus ry 2020a. Paloturvallisuus & palovahingot. Viitattu 16.9.2020 <https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/turvallisuus/paloturvallisuus-palovahingot>.

Betoniteollisuus ry 2020b. Perustietopaketti. Viitattu 16.9.2020 <https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti>.

Betoniteollisuus ry 2020c. Rakenne- ja elementtisuunnittelu. Viitattu 16.9.2020 <https://betoni.com/arkkitehtisuunnittelu/rakenne-ja-elementtisuunnittelu>.

Betoniteollisuus ry 2010. Runkorakenteet. 10.3.2010. Saatavilla <http://www.elementtisuunnittelu.fi/Download/22592/Runkorakenteet-9-3-2010.pdf>.

Elementtisuunnittelu 2020a. Jäykistysjärjestelmät. Viitattu 16.9.2020 <https://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/rakennejarjestelmat/rakennuksen-jaykistys/jaykistysjarjestelmat>.

Elementtisuunnittelu 2020b. Liittorakenteet. Viitattu 16.9.2020 <https://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/runkorakenteet/liittorakenteet>.

Elementtisuunnittelu 2020c. Lämpö- ja kosteustekniikka. Viitattu 16.9.2020 <https://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/julkisivut/lampo-ja-kosteustekniikka>.

Elementtisuunnittelu 2020d. Matalapalkkikäyrät. Viitattu 16.9.2020 <https://www.elementtisuunnittelu.fi/Download/23552/matalapalkkikayrat.pdf>.

Elementtisuunnittelu 2020e. Rakennejärjestelmät. Viitattu 20.9.2020 <https://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/rakennejarjestelmat/toimisto-ja-liikerakennukset>.

Elementtisuunnittelu 2020f. Runkorakenteiden kantokykykäyrät. Viitattu 23.9.2020 <http://elementtisuunnittelu.fi/Download/22591/Runkorakenteiden-kantokykykayrat.pdf>.

Laki maankäyttö- ja rakennuslain muuttamisesta 958/2012. Annettu Helsingissä 21.12.2012. Saatavilla <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2012/20120958>.

Laki maankäyttö- ja rakennuslain muuttamisesta 1151/2016. Annettu Helsingissä 16.12.2016. Saatavilla <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2016/20161151>.

Peikko Oy 2019. Deltabeam liittorunko. Viitattu 11.10.2020 <https://www.peikko.fi/tuotteet/deltabeam-liittorunko/deltabeam-liittorunko/DELTABEAM-Frame-tekninen-kayttoohje.pdf>.

Peikko Oy 2007. Deltapalkki. Viitattu 16.9.2020 <https://www.peikko.fi/tuotteet/deltabeam/tekniset-tiedot/deltapalkki.pdf>.

RIL 201-1-2017. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry.

RIL 255-1-2014. Rakennusfysiikka 1 Rakennusfysikaalinen suunnittelu ja tutkimukset. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry.

RT 82-10821. 2014. Betonielementti runkorakenteet. Helsinki: Rakennustieto Oy.

RT 82-11006. 2010. Ulkoseinärakenteita. Helsinki: Rakennustieto Oy.

RT 103087. 2019. Rakennesuunnittelun tehtäväluettelo RAK18. Helsinki: Rakennustieto Oy.

SFS-EN 1992-1-1/AC. Eurokoodi 2: Betonirakenteiden suunnittelu. Osa 1–1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.

SFS-EN 1992-1-2+AC. Eurokoodi 2: Betonirakenteiden suunnittelu, osa 1–2: Yleiset säännöt. Rakenteiden palomitoitus. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.

Turun kaavakarttapalvelu 2020. Asemakaava. Viitattu 3.9.2020 <https://www.turku.fi/kaavoitus/12033-2017-sirkkalan-koulu>.

Turun kaupunki 2020. Rakennusohjeet. Viitattu 16.9.2020 <https://www.turku.fi/asuminen-ja-ymparisto/rakentaminen/rakentamisen-ohjeet-ja-lomakkeet/ohjeet>.

Valtioneuvoston päätös melutaso ohjearvoista 993/1992. Annettu Helsingissä 29.10.1992. Saatavilla <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1992/19920993>.

Valtioneuvoston asetus rakennuksissa käytettävien energiamuotojen kertoimien lukuarvoista 788/2017. Annettu Helsingissä 30.11.2017. Saatavilla <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170778>.

Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017. Annettu Helsingissä 28.11.2017. Saatavilla <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170848>.

Ympäristöministeriön asetukseen rakennusten paloturvallisuudesta perustelumuistio 2017. Annettu Helsingissä 28.11.2017. Saatavilla <https://ym.fi/rakentamismaaraykset/Paloturvallisuus/Perustelumuistio-ymparistoministeriön-asetukseen-rakennusten-paloturvallisuudesta.pdf>.

Ympäristöministeriön asetuksessa rakennuksen ääniympäristöstä 796/2017. Annettu Helsingissä 24.11.2017. Saatavilla <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170796>.

Ympäristöministeriön ohje rakennuksen ääniympäristöstä 2018. Annettu Helsingissä 28.6.2018. Saatavilla <https://ym.fi/rakentamismaaraykset/meluntorjunta-ja-aaniolosuhteet/Ymparistoministerion-ohje-rakennuksen-aaniymparistosta.pdf>

Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 1010/2017. Annettu Helsingissä 20.12.2017. Saatavilla <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171010>.

## Liite 1: Kuormat

### Alapohjan oma paino

Ontelolaatta O32

$$g_{k.1} := 4 \frac{kN}{m^2} \quad (\text{Parman suunnitteluohje})$$

pinta  $h_2 := 60 \text{ mm}$   $\gamma_2 := 20 \frac{kN}{m^3}$

$$g_{k.2} := h_2 \cdot \gamma_2 = 1.2 \frac{kN}{m^2} \quad (\text{Knauf LM80 lattiamassa})$$

Eriste  $h_3 := 120 \text{ mm}$   $\gamma_3 := 0.35 \frac{kN}{m^3}$

$$g_{k.3} := h_3 \cdot \gamma_3 = 0.04 \frac{kN}{m^2} \quad \text{Kooltherm}$$

Välipohja oma paino yhteensä

$$g_{k.ap} := g_{k.1} + g_{k.2} + g_{k.3} = 5.2 \frac{kN}{m^2}$$

### Välipohjan oma paino

Ontelolaatta O32

$$g_{k.1} := 4 \frac{kN}{m^2} \quad (\text{Parman suunnitteluohje})$$

pinta  $h_2 := 60 \text{ mm}$   $\gamma_2 := 20 \frac{kN}{m^3}$

$$g_{k.2} := h_2 \cdot \gamma_2 = 1.2 \frac{kN}{m^2} \quad (\text{Knauf LM80 lattiamassa})$$

Ripustuskuorma

$$g_{k.3} := 0.5 \frac{kN}{m^2}$$

Välipohja oma paino yhteensä

$$g_{k.vp} := g_{k.1} + g_{k.2} + g_{k.3} = 5.7 \frac{kN}{m^2}$$

### Yläpohjan oma paino

Ontelolaatta O32

$$g_{k.1} := 4 \frac{kN}{m^2} \quad (\text{Parman suunnitteluohje})$$

Vesikate

$$g_{k.2} := 0.8 \frac{kN}{m^2}$$

Ripustuskuorma

$$g_{k.3} := 0.5 \frac{kN}{m^2}$$

Välipohja oma paino yhteensä

$$g_{k.yp} := g_{k.1} + g_{k.2} + g_{k.3} = 5.3 \frac{kN}{m^2}$$

### Ulkoseinän oma paino

Sisäkuori  $h_1 := 150 \text{ mm}$   $\gamma_1 := 25 \frac{kN}{m^3}$

$$g_{k.1} := h_1 \cdot \gamma_1 = 3.8 \frac{kN}{m^2} \quad \text{Teräsbetoni}$$

Eriste  $h_2 := 120 \text{ mm}$   $\gamma_2 := 0.35 \frac{kN}{m^3}$

$$g_{k.2} := h_2 \cdot \gamma_2 = 0.04 \frac{kN}{m^2} \quad \text{Kooltherm}$$

Reikätiili  $h_3 := 135 \text{ mm}$   $\gamma_3 := 13 \frac{kN}{m^3}$

$$g_{k.3} := h_3 \cdot \gamma_3 = 1.8 \frac{kN}{m^2} \quad \text{Kooltherm}$$

Ulkoseinän oma paino yhteensä /kerros  $h := 3.8 \text{ m}$

$$g_{k.us} := h \cdot (g_{k.1} + g_{k.2} + g_{k.3}) = 21.1 \frac{kN}{m}$$

### Pilarin oma paino

Sisäkuori  $h_1 := 380 \text{ mm}$   $\gamma_1 := 25 \frac{kN}{m^3}$   
 $b_1 := 380 \text{ mm}$

$$g_{k.1} := h_1 \cdot b_1 \cdot \gamma_1 = 3.6 \frac{kN}{m} \quad \text{Teräsbetoni}$$

Pilarin oma paino /kerros  $h := 3.8 \text{ m}$

$$g_{k.us} := h \cdot g_{k.1} = 13.7 \text{ kN}$$

**Lumikuorma yleensä**

$$s_k := 2.5 \frac{kN}{m^2}$$

Lumikuorma maassa Turussa

$$\mu_1 := 0.8$$

Katon kulma, oletus 0-30 astetta

$$C_e := 1$$

Tuulensuojaisuuskerroin, normaali maastotyyppi

$$C_t := 1$$

Lämpökerroin

$$s := \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 2 \frac{kN}{m^2}$$

Lumikuorma katolla yleensä

**Lisälumikuorma korkeampaa osaa vasten olevalla katolla**

$$h := 7.6 \text{ m}$$

$$l_s := \min(2 \cdot h, 6 \text{ m}) = 6 \text{ m}$$

Kinostumis pituus välillä 2m - 6m

$$b_1 := 19 \text{ m}$$

Ylemmän katon pituus

$$b_2 := 29 \text{ m}$$

Alemman katon pituus

$$\gamma_{lumi} := 2 \frac{kN}{m^3}$$

Lumen tilavuuspaino

$$\mu_1 := 0.8$$

Ylemmän katon kulma, oletus 0-30 astetta

$$\mu_2 := 0.8$$

Alemman katon kulma, oletus 0-30 astetta

$$\mu_s := \frac{\mu_1 \cdot b_1}{2 \cdot l_s} = 1.3$$

Ylemmältä katolta valuvan lumen muotokerroin

$$\mu_w := \min\left(\frac{b_1 + b_2}{2 \cdot h}, \frac{\gamma_{lumi} \cdot h}{s_k}\right) = 3.2$$

Tuulesta johtuvan lumikuorman muotokerroin

$$\mu_w := 2.5$$

Sallittu vaihteluväli 0,8-2,5 kun alemman katon pinta-ala  $\geq 6 \text{ m}^2$ 

$$\mu_2 := \mu_s + \mu_w = 3.8$$

$$s_1 := \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 2 \frac{kN}{m^2}$$

Lumikuorma katolla yleensä

$$s_2 := \mu_2 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 9.4 \frac{kN}{m^2}$$

Lisälumikuorma korkeamman osan seinällä

$$s_{2,keskiarvo} := \frac{s_1 + s_2}{2} = 5.7 \frac{kN}{m^2}$$

Lisälumikuorman keskiarvo 6m kaistalla korkeamman osan vieressä

**Tuulikuorma**

Maastoluokka IV

$$h := 17 \text{ m}$$

$$b := 60 \text{ m}$$

$$d := 20 \text{ m}$$

$$z := 20 \text{ m}$$

$$\gamma_D := 1$$

$$c_s c_d := 1$$

Rakennuksen korkeus

Rakennuksen pitkä sivu

Rakennuksen lyhyt sivu

Korkeus meren pinnasta

Maaston kaltevuus pieni

Rakennekerroin matalissa rakennuksissa

**Tuulee lyhyemmän sivun suuntaan**

$$A_{ref} := b \cdot h = 1020 \text{ m}^2$$

$$\frac{d}{b} = 0.3$$

Tuulee lyhyen sivun suuntaan

$$15 \text{ m} \leq h = 17 \text{ m} \leq 50 \text{ m} \quad \text{--> interpoloidaan}$$

$$\lambda := \frac{(1.4 - 2) \cdot \frac{h}{b} \cdot (h - 15 \text{ m})}{50 \text{ m} - 15 \text{ m}} + 2 \cdot \frac{h}{b} = 0.56$$

$$c_f := 1.25$$

Voimakerroin (RIL 201-1-2017 kuva 5.2S s.141)

$$q_{p0} := 0.45 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Puuskanopeuspaine (RIL 201-1-2017 kuva 4.5S s.137)

$$q_p := \gamma_D \cdot q_{p0} = 0.45 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Nopeuspaine

$$q_{w,k} := c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p = 0.6 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Tuulivoima pinta-ala kuormana kun tuulee lyhyemmän sivun suuntaan

$$F_w := c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p \cdot A_{ref} = 573.8 \text{ kN}$$

Kokonais tuulivoima kun tuulee lyhyemmän sivun suuntaan

**Tuulee pitkän sivun suuntaan**

$$A_{ref} := d \cdot h = 340 \text{ m}^2$$

$$\frac{b}{d} = 3$$

Tuulee lyhyen sivun suuntaan

$$15 \text{ m} \leq h = 17 \text{ m} \leq 50 \text{ m} \quad \text{--> interpoloidaan}$$

$$\lambda := \frac{(1.4 - 2) \cdot \frac{h}{d} \cdot (h - 15 \text{ m})}{50 \text{ m} - 15 \text{ m}} + 2 \cdot \frac{h}{d} = 1.67$$

$$c_f := 0.8$$

Voimakerroin (RIL 201-1-2017 kuva 5.2S s.141)

$$q_{p0} := 0.45 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Puuskanopeuspaine (RIL 201-1-2017 kuva 4.5S s.137)

$$q_p := \gamma_D \cdot q_{p0} = 0.45 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Nopeuspaine

$$q_{w,k} := c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p = 0.4 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Tuulivoima pinta-ala kuormana kun tuulee lyhyemmän sivun suuntaan

$$F_w := c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p \cdot A_{ref} = 122.4 \text{ kN}$$

Kokonais tuulivoima kun tuulee lyhyemmän sivun suuntaan

## LIITE 2: Pilarin D5 kuormat ja mitoitus

### Pilari 380\*380 alustava laskenta (Moduulilinja D-5)

Pilarin poikkileikkauksen rauditus, jäykistetty järjestelmä eli pilari on sivusiirtymätön

#### Lähtötiedot

$g_{k,ap} := 5.2 \frac{kN}{m^2}$	Alapohjan ompaino
$g_{k,vp} := 5.7 \frac{kN}{m^2}$	Välipohjan ompaino
$g_{k,yp} := 5.3 \frac{kN}{m^2}$	Alapohjan ompaino
$g_{k,us} := 21.1 \frac{kN}{m}$	Ulkoseinän omapaino
$g_{k,p} := 13.7 \frac{kN}{m^2}$	Pilarin omapaino / kerros
$s_1 := 2 \frac{kN}{m^2}$	Lumikuorma yleensä
$s_2 := 5.7 \frac{kN}{m^2}$	Lumikuorma 6m kaistalla korkeamman osan viereissä
$g_{k,vs} := 0.5 \frac{kN}{m}$	Kevyen väliseinän viivakuorma
$q_k := 3 \frac{kN}{m^2}$	Hyötykuorma

#### Kuormat 1. kerroksen pilarille (moduuli D5)

$A_2 := 47 \text{ m}^2$	Kuormitusala 2. kerros
$l_{vs,2} := 20 \text{ m}$	Väliseinien määrä 2. kerros arvio
$N_{g,k2} := g_{k,vp} \cdot A_2 + g_{k,vs} \cdot l_{vs,2} + g_{k,p} = 291.6 \text{ kN}$	Omat painot 2. kerrokselta
$N_{q,k2} := q_k \cdot A_2 = 141 \text{ kN}$	Hyötykuorma 2. kerrokselta
$A_3 := 58 \text{ m}^2$	Kuormitusala 3. kerros
$l_{vs,3} := 20 \text{ m}$	Väliseinien määrä 3. kerros arvio
$N_{g,k3} := g_{k,vp} \cdot A_3 + g_{k,vs} \cdot l_{vs,3} + g_{k,p} = 354.3 \text{ kN}$	Omat painot 3. kerrokselta
$N_{q,k3} := q_k \cdot A_3 = 174 \text{ kN}$	Hyötykuorma 3. kerrokselta
$A_4 := 58 \text{ m}^2$	Kuormitusala 4. kerros
$l_{vs,4} := 20 \text{ m}$	Väliseinien määrä 4. kerros arvio
$N_{g,k4} := g_{k,vp} \cdot A_4 + g_{k,vs} \cdot l_{vs,4} + g_{k,p} = 354.3 \text{ kN}$	Omat painot 4. kerrokselta
$N_{q,k4} := q_k \cdot A_4 = 174 \text{ kN}$	Hyötykuorma 4. kerrokselta
$A_{yp} := 58 \text{ m}^2$	Kuormitusala yläpohja
$N_{g,kyp} := g_{k,yp} \cdot A_{yp} = 307.4 \text{ kN}$	Omat painot yläpohja
$N_{q,kyp} := s_1 \cdot A_{yp} = 116 \text{ kN}$	Lumikuorma
$N_{g,k} := N_{g,k2} + N_{g,k3} + N_{g,k4} + N_{g,kyp} = 1307.6 \text{ kN}$	Pysyvä kuorma yhteensä
$N_{q,k} := N_{q,k2} + N_{q,k3} + N_{q,k4} + N_{q,kyp} = 605 \text{ kN}$	Muuttuva kuorma yhteensä
$N_{Ed,1} := 1.15 \cdot N_{g,k} + 1.5 \cdot N_{q,k} = 2411.24 \text{ kN}$	
$N_{Ed,2} := 1.35 \cdot N_{g,k} = 1765.26 \text{ kN}$	
$N_{Ed} := \max(N_{Ed,1}, N_{Ed,2}) = 2411.24 \text{ kN}$	Mitoittava normaalivoima

**Geometria**

$$L := 3.8 \text{ m}$$

$$L_0 := L = 3.8 \text{ m}$$

$$e := 50 \text{ mm}$$

$$h := 380 \text{ mm}$$

$$b := 380 \text{ mm}$$

Pilarin pituus  
 Nurjahduspituus  
 Epäkeskeisyys (arvio)  
 Palkin korkeus  
 Palkin leveys

**Materiaalit: Betoni**

$$c_{nom} := 30 \text{ mm}$$

$$d_g := 32 \text{ mm}$$

Nimellinen suojabetonipeite      tarkistukset EC2 kohta 4.4  
 Runkoaineen suurin raekoko      tarkistukset EC2 kohta 8.2

$$\gamma_e := 1.5$$

Betonin materiaaliosavarmuusluku

$$\alpha_{cc} := 0.85$$

$$\alpha_{ct} := 1$$

Betonini puristuslujuuskerroin  
 Betonini vetolujuuskerroin

$$f_{ck} := 40 \text{ MPa}$$

$$f_{cm} := f_{ck} + 8 \text{ MPa} = 48 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} := \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 22.67 \text{ MPa}$$

$$f_{ctm} := 0.30 \text{ MPa} \cdot \left( \frac{f_{ck}}{\text{MPa}} \right)^{\frac{2}{3}} = 3.51 \text{ MPa}$$

Betoni puristuslujuuden ominaisarvo C40/50  
 Betonin puristuslujuuden keskiarvo

$$f_{ctk.0.05} := 0.7 \cdot f_{ctm} = 2.46 \text{ MPa}$$

$$f_{ctk.0.95} := 1.3 \cdot f_{ctm} = 4.56 \text{ MPa}$$

Betonin puristuslujuuden mitoitusarvo

$$f_{ctd} := \alpha_{ct} \cdot \frac{f_{ctk.0.05}}{\gamma_c} = 1.64 \text{ MPa}$$

Betoni vetolujuus kun  $f_{ck} \leq 50 \text{ MPa}$

Vetolujuuden 5% alaraja-arvo  
 Vetolujuuden 95% aylaraja-arvo

Vetolujuuden mitoitusarvo

**Materiaalit: Betoniteräs**

$$\gamma_s := 1.15$$

Teräksen materiaaliosavarmuusluku

$$f_{yk} := 500 \text{ MPa}$$

Raudituksen vetomyötölujuuden mitoitusarvo B500B

$$f_{yd} := \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 434.78 \text{ MPa}$$

Myötölujuuden mitoitusarvo

$$E_s := 200 \text{ GPa}$$

Teräksen kimmokerroin

$$D := 20 \text{ mm}$$

$$D_h := 6 \text{ mm}$$

Pääraudoitus alustava  
 Hakaraudoitus alustava

**Toisen kertaluvun hoikkuskriteeri**

$$A_c := b \cdot h = 144400 \text{ mm}^2$$

$$i := \frac{h}{\sqrt{12}} = 109.7 \text{ mm}$$

$$\lambda := \frac{L_0}{i} = 34.64$$

$$A := 0.7$$

$$B := 1.1$$

$$C := 0.7$$

$$n := \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}} = 0.74$$

$$\lambda_{lim} := 20 \cdot A \cdot B \cdot C \cdot \frac{1}{\sqrt{n}} = 12.56$$

$$\lambda = 34.64 > \lambda_{lim} = 12.56$$

Pilarin pinta-ala

Jäyhyysäde

Hoikkusluku

Virumasta riippuva kerroin

Raudoitusmäärästä riippuva kerroin

Pilarin momenttijakautumasta ruiippuva kerroin

Suhteellinen normaalivoima

Hoikkuden raja-arvo

EC2 kohta 5.8.3.1

Eli 2. Kertaluvun vaikutukset otettava huomioon

**2.Kertaluvun taipuman aiheuttama epäkeskisyyys**

$$d' := c_{nom} + 1.1 \cdot D_h + 1.1 \cdot \frac{D}{2} = 47.6 \text{ mm}$$

$$d := h - d' = 332.4 \text{ mm}$$

$$c := 10$$

$$K_\varphi := 1$$

$$K_r := 1$$

$$\varepsilon_{yd} := \frac{f_{yd}}{E_s} = 0.00217$$

$$e_2 := K_r \cdot K_\varphi \cdot \frac{\varepsilon_{yd}}{0.45 \cdot d} \cdot \frac{L_0^2}{c} = 20.99 \text{ mm}$$

Oletus alussa (korjauskerroin joka riippuu normaalivoimasta)

Oletus alussa (korjauskerroin jonka avulla huomioidaan viruma)

2.kertaluvun epäkeskisyyys

**Rasitukset**

$$M_{0Ed} := N_{Ed} \cdot e = 120.56 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_2 := N_{Ed} \cdot e_2 = 50.6 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Momentti 1. kertaluku

Momentti 2. kertaluku

EC2 kohta 5.8.8.3

0 jos hoikkuden raja-arvo alittuu

**Mitoitusmomentin vähimmäisarvo**

$$e_0 := \max\left(\frac{h}{30}, 20 \text{ mm}\right) = 20 \text{ mm}$$

$$M_{min} := N_{Ed} \cdot e_0 = 48.22 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

**Mittaepätarkkuuksista johtuva lisä**

$$m_{jäyk.pr.määrä} := 1$$

$$\alpha_m := \sqrt{0.5 \cdot \left(1 + \frac{1}{m_{jäyk.pr.määrä}}\right)} = 1$$

$$\alpha_h := \max\left(\min\left(\frac{2}{\sqrt{\frac{L}{m}}}, 1\right), \frac{2}{3}\right) = 1$$

$$\theta_i := \frac{\alpha_h \cdot \alpha_m}{200} = 0.01$$

$$e_i := \theta_i \cdot \frac{L_0}{2} = 9.5 \text{ mm}$$

EC2 kohta 5.2 menetelmä 2

$$M_{ylä} := M_{0Ed} = 120.56 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{ala} := 0$$

$$M_{01} := \min(M_{ylä}, M_{ala}) + e_i \cdot N_{Ed} = 22.91 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{02} := \max(M_{ylä}, M_{ala}) + e_i \cdot N_{Ed} = 143.47 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{0e} := \max(0.6 \cdot M_{02} + 0.4 \cdot M_{01}, 0.4 \cdot M_{02}) = 95.24 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Ekvivalentti vakiomomentti (EC2 kohta 5.8.8.2)

**Mitoittava taivutumomentti**

EC2 kohta 5.8.8.2 sekä 6.1(4)

$$M_{Ed} := \max(M_{0e} + M_2, M_{02}, M_{min}) = 145.85 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Tarkistamatta vino taivutus EC2 kohta 5.8.9(4)

**Raudoitus**

$$v := \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = 0.74$$

Suhteellinen normaalivoima

$$\mu := \frac{M_{Ed}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = 0.12$$

Suhteellinen taivutusmomentti

$$\frac{d'}{h} = 0.125$$

Suhde pyöristetään ylöspäin, eli luetaan käyrästä jossa suhde on 0,15

$$w := 0.1$$

Yhteisvaikutusdiagrammista luettu mekaaninen raudoitussuhde

$$A_s := \frac{w \cdot A_c \cdot f_{cd}}{f_{yd}} = 752.81 \text{ mm}^2$$

Laskennallinen raudoitus

$$A_{s,min} := \max\left(\frac{0.1 \cdot N_{Ed}}{f_{yd}}, 0.002 \cdot A_c\right) = 554.59 \text{ mm}^2$$

vähimmäisraudoitus

EC2 kohta 9.5.2

$$A_{s,vaad} := \max(A_s, A_{s,min}) = 752.81 \text{ mm}^2$$

Vaadittu raudoitus

tarkistamatta päätankojen sitominen EC2 kohta 9.5.3(6)

**Raudoituksen valinta**

$$D_1 := 20 \text{ mm}$$

Valittu pääraudoituksen tankokoko

$$n_1 := 4$$

Pääraudoituksen tankomäärä, yksi jokaisessa nurkassa

$$D_2 := 16 \text{ mm}$$

Valitaan toinen pääraudoituskoko

$$n_2 := 0$$

$$A_{s,val} := n_1 \cdot \pi \cdot \left(\frac{D_1}{2}\right)^2 + n_2 \cdot \pi \cdot \left(\frac{D_2}{2}\right)^2 = 1256.64 \text{ mm}^2 > A_{s,vaad} = 752.81 \text{ mm}^2 \quad \text{OK}$$

**Enimmäisraudoitus**

$$A_{s,max} := 0.06 \cdot A_c = 8664 \text{ mm}^2 > A_{s,val} = 1256.64 \text{ mm}^2 \quad \text{OK}$$

**Jos valittu raudoitus ylittäisi enimmäisraudoituksen määrän, jouduttaisiin suurentamaan poikkileikkausta****Hakaraudoitus**

$$D_{t,min} := \max\left(\frac{D}{4}, 6 \text{ mm}\right) = 6 \text{ mm}$$

Haan halkaisija

EC2 kohta 9.5.3

$$s_{cL,max} := \min(15 \cdot D, b, h, 400 \text{ mm}) = 300 \text{ mm}$$

Hakaväli enintään

**Kun taivutus yhden akselin ympäri -->****Valitaan pilarin pääraudoitus 4T20 ja hakaraudoitus T6k300**