

Toimitilarakennuksen suunnittelu

Janne Kannisto

OPINNÄYTETYÖ
Tammikuu 2021

Rakentamisen ylempi tutkinto-ohjelma

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakentamisen ylempi tutkinto-ohjelma

KANNISTO JANNE:
Toimitilarakennuksen suunnittelu

Opinnäytetyö 180 sivua, joista liitteitä 86 sivua
Tammikuu 2021

Opinnäytetyön aiheena oli toimitilarakennuksen suunnittelu tekijän oman yrityksen toimintaa varten. Olemassa olevien toimitilojen ahtaus ja epäkäytännöllisyys aiheuttivat uusien tilojen tarpeen. Työn tavoitteena oli selvittää kohteeseen tarvittava lupamenettely, tuottaa suunnitelma uusista tiloista pääpiirustusten muodossa rakennusluvan hakua ja jatkosuunnittelua varten sekä rakennelaskelmien laatiminen rakennesuunnitelmia varten. Suunnittelussa oli tarkoitus perehtyä rakennuspiirustusten 3D-mallintamiseen, josta ei ollut aiempaa kokemusta. Rakennelaskelmat tuli tehdä käyttäen eurokoodistandardien mukaista suunnittelumenetelmää, josta ei myöskään ollut aiempaa käyttökokemusta. Päämääränä oli 3D-mallinnuksen ja eurokoodien käyttöönotto tulevissa suunnittelutehtävissä.

Työ toteutettiin suunnitteluprojektina, jossa suunniteltiin yritykselle toimiva ja tarkoituksenmukainen rakennus. Lopputuloksena valmistui suunnitelmat suunnittelutarveratkaisun ja rakennusluvan hakemista varten, rakennelaskelmat rakennepiirustusten laatimista varten sekä rakennuksen 3D-malli.

Työssä havaittiin 3D-suunnitelman laatimisen hyödyt jo rakennuksen suunnitteluvaiheessa. Rakennuksen massoittelun havainnollistaminen ja visualisointi helpottuu huomattavasti kolmiulotteisten näkymien avulla. Laadittuun 3D-malliin voidaan sisällyttää tietoa rakennuksen rakenteista niin tarkasti kuin halutaan, kun taas pelkkä rakennuksesta piirretty kuva sisältää vain sen tiedon, joka kuvassa näkyy. Toisena tärkeänä asiana suunnittelukokonaisuudessa todettiin rakennesuunnittelun aloittaminen mahdollisimman varhaisessa vaiheessa suunnitteluprojektia. Tämä helpottaa ja nopeuttaa rakennesuunnittelijan työtä. Sillä voidaan myös välttää hankalia ja kalliita rakenneratkaisuja.

Asiasanat: toimitila, rakennussuunnittelu, rakennesuunnittelu

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Master's Degree Programme in Construction Engineering

KANNISTO JANNE:
Production and Office Building Engineering

Bachelor's thesis 180 pages, appendices 86 pages
January 2021

The objective of this study was the engineering of a production and office building for the author's own company. The current facilities were cramped and impractical, so new facilities were needed. The aim of the study was to learn about the procedure of building permits and draw up plans of the building. Also the aim was to prepare structural calculations for structural planning. The purpose was to learn 3D modeling. Structural calculations had to be made according to Eurocodes. There was no earlier experience of either of them.

This study was carried out as a engineering project. The major results were a functional plan of the building, calculations for structural plans and the 3D model of the building.

During planning it was noticed how useful 3D-modeling is in the planning process. Visualization of the building becomes easier with 3D scenes. Plenty of information can be included in a 3D model. It also became evident, that there are many advantages in starting the structural planning at an early stage of the planning process. For example, it can prevent expensive and difficult structural construction solutions.

Key words: production building, construction engineering, structural planning

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	10
1.1	Opinnäytetyön aihe	10
1.2	Suunnittelutyön tausta.....	10
1.3	Työn tavoitteet ja rajaukset	11
2	RAKENNUSHANKE SUUNNITTELIJAN NÄKÖKULMASTA.....	12
2.1	Rakennushankkeen vaiheet.....	12
2.1.1	Tarveselvitys.....	14
2.1.2	Hankesuunnittelu.....	14
2.1.3	Suunnittelun valmistelu.....	14
2.1.4	Ehdotussuunnittelu	14
2.1.5	Yleissuunnittelu	15
2.1.6	Rakennuslupatehtävät.....	15
2.1.7	Toteutussuunnittelu	15
2.1.8	Rakentamisen valmistelu.....	16
2.1.9	Rakentaminen	16
2.1.10	Käyttöönotto.....	16
2.1.11	Takuuaika	17
2.2	Rakennussuunnittelu.....	17
3	RAKENTAMISEN LUVAT	19
3.1	Suunnittelutarveratkaisu.....	20
3.2	Rakennuslupa	21
3.3	Sähköinen lupapalvelu Lupapiste.....	23
4	TOIMITILAHANKE	24
4.1	Rakennuspaikka.....	24
4.2	Tarveselvitys	24
4.3	Suunniteltu käyttöikä.....	25
4.4	Hankesuunnittelu	26
4.5	Tilaohjelma.....	26
4.5.1	Toimistotilat	26
4.5.2	Kalustovarasto/huolto	27
4.5.3	Rakennustarvikevarasto	27
4.5.4	Lämpökeskus/tekninen tila	27
4.6	Luonnossuunnitelma	28
5	RAKENNESUUNNITTELUN HUOMIOIMINEN RAKENNUSSUUNNITTELUSSA.....	30
5.1	Runkojärjestelmän valinta	30

5.2	Perustaminen	31
5.3	Ulkoseinät	31
5.4	Yläpohja	32
5.5	Täydentävät rakenteet	33
5.6	Paloturvallisuus	33
6	YLEISSUUNNITELMA	35
6.1	Pohjaratkaisu	35
6.2	Talotekniikka	37
6.3	Rakenteet.....	37
6.4	Rakennuksen 3D-malli	38
7	RAKENNESUUNNITTELU	40
7.1	Lähtötiedot	40
7.2	Kuormat	41
7.2.1	Seuraamusluokka ja luotettavuusluokan kuormakerroin	42
7.2.2	Käyttöluokka ja toteutusluokka	43
7.2.3	Pysyvät kuormat.....	43
7.2.4	Muuttuvat kuormat.....	44
7.2.5	Onnettomuustilanteen kuormat.....	44
7.3	Mitoitustilanteet	44
7.3.1	Murtorajatilat.....	45
7.3.2	Käyttörajatilat.....	45
7.3.3	Kuormitusyhdistelmät	45
8	LIIMAPUURUNKO	47
8.1	Pääpalkin mitoitus	47
8.1.1	Taivutuskestävyys	48
8.1.2	Leikkauskestävyys.....	48
8.1.3	Palkin pään puristuskestävyys.....	49
8.1.4	Kiepahduskestävyys.....	50
8.1.5	Taipuma	51
8.1.6	Poikittaisjäykistys.....	53
8.2	Sivuseinän mastopilarin mitoitus	56
8.2.1	Nurjahduskestävyys	57
8.3	Päädyn mastopilari ja päätypalkki	60
8.4	Pääpalkin ja mastopilarin välinen hankolautaliitos	62
9	LIIMAPUURUNGON LIITOS PERUSTUKSIIN	68
9.1	Mastopilarin perustusliitos liimapuupilarikengillä ja liimaruuveilla.....	69
10	LIIMAPUURUNGON PALOMITOITUS	73
10.1	Liimapuupalkin hiiltymämitoitus	76
10.2	Liimapuupilarin hiiltymämitoitus	77

11 PILARIANTUROIDEN RAKENNETEKNINEN MITOITUS	78
11.1.1 Taivutusmitoitus	78
11.1.2 Raudoituksen ankkurointi	80
11.1.3 Lävistysmitoitus	84
12 POHDINTA	89
LÄHTEET	91
LIITTEET	94

LYHENTEET JA TERMIT

Puurakennemitoituksessa esiintyvät lyhenteet ja termit

C	Jousijäykkyys
c	Puulaadun huomioiva kerroin taivutetun sauvan kiepahduskestävyyden laskennassa
C_f	Tuulen voimakkeroin
$C_s C_d$	Rakennekerroin
$d_{char,n}$	Nimellinen hiiltymissyvyys
$E_{0,05}$	Syynsuuntaisen kuormituksen kimmokerroin
E_{mean}	Kimmokertoimen keskiarvo
f_{20}	Lujuus- ja jäykkysominaisuuden 20 % fraktiili
$f_{ax,k}$	Kiinnikkeen ulosvetoparametri
$f_{c,0,k}$	Puristuslujuus syynsuuntaan
$f_{c,90,k}$	Puristuslujuus syynsuuntaa vastaan kohtisuoraan
$f_{h,k}$	Reunapuristuslujuus
$f_{m,k}$	Taivutuslujuus
$f_{t,0,k}$	Vetolujuus syynsuuntaan
$f_{t,90,k}$	Vetolujuus syynsuuntaa vastaan kohtisuoraan
$f_{v,k}$	Leikkauslujuus
$G_{0,05}$	Syynsuuntaisen tason leikkausmuodonmuutoksen liukukerroin
G_{mean}	Liukukertoimen keskiarvo
K_{FI}	Kuormakerroin
K_{ser}	Liitoksen siirtymäkerroin
k_0	Rakenteen palosuojakerroin
k_c	Nurjahduskerroin
$k_{c,\perp}$	Tukipainekkeroin
$k_{c,90}$	Kiskopainekkeroin
k_{cr}	Halkeamien vaikutuksen huomioiva kerroin taivutettujen sauvojen leikkauskestävyyden laskennassa
k_{crit}	Kiepahduskerroin
k_{def}	Virumaluku
k_f	Stabiloivan voiman muunnoskerroin

k_{fi}	Materiaalikerroin palotilanteessa, alaindeksillä fi kuvataan yleisesti termin arvoa palotilanteessa
k_m	Jännitysjakauman ja materiaalin epähomogeenisuuden vaikutuksen kerroin kahteen suuntaan taivutetun poikileikkauksen taivutuskestävyyden laskennassa
k_{mod}	Kuorman keston ja kosteuden vaikutuksen kerroin
k_n	Puumateriaalin huomioiva kerroin
k_l	Kerroin stabiloivan voiman laskennassa
k_s	Muunnoskerroin jousijäykkyyden laskennassa
l_s	Kriittinen aallonpituus
$l_{c,90}$	Kosketuspinnan pituus
R_{ax}	Kiinnikkeen ulosvetokestävyys
R_{ak}	Kiinnikkeen tartuntalujuus
R_k	Lujuus tai kantavuus
R_v	Liitoksen leikkauskestävyys
S	Jäykkyyssominaisuus
w_c	Esikorotus
w_{creep}	Viruman aiheuttama taipuma
w_{fin}	Kokonaistaipuma
w_{inst}	Hetkellinen taipuma
$w_{net,fin}$	Lopputaipuma
β_c	Sauvan alkukäyryydestä riippuva kerroin
β_n	Nimellinen hiiltymisnopeus
γ_M	Materiaalin osavarmuusluku
λ	Hoikkuusluku
λ_{rel}	Muunnettu hoikkuus
$\lambda_{rel,m}$	Suhteellinen hoikkuus
$\sigma_{c,0,k}$	Puristusjännitys syynsuunnassa
$\sigma_{c,90,k}$	Puristusjännitys syynsuuntaa vastaan kohtisuoraan
$\sigma_{m,crit}$	Kriittinen taivutusjännitys
$\sigma_{m,k}$	Taivutusjännitys
$\sigma_{t,0,k}$	Vetojännitys syynsuunnassa
$\sigma_{t,90,k}$	Vetojännitys syynsuuntaa vastaan kohtisuoraan
τ_k	Leikkausjännitys

Teräsbetonianteuroiden mitoituksessa esiintyvät lyhenteet ja termit

A_c	Betonin poikkileikkausala
A_s	Teräsmäärä betonissa
C_{Rdc}	Lävistyskapasiteetin kerroin
c_{nom}	Betonipeitteen paksuus
d	Betonirakenteen tehollinen korkeus
f_b	Harjaterästangon tartuntalujuus betonissa
f_{ck}	Betonin puristuslujuus (lieriölujuus)
f_{cm}	Betonin puristuslujuuden keskiarvo
$f_{ctk.0.05}$	Betonin vetolujuuden 5 % alaraja-arvo
f_{ctm}	Betonin vetolujuus
f_{yk}	Betoniteräksen myötölujuus
k	Korkeuskerroin
l_b	Ankkurointipituus
s	Raudoitustankojen välinen etäisyys
u	Murtokartion lävistyspiiri
W_1	Leikkausvoiman staattinen momentti
z	Sisäinen momenttivarso
α_{cc}	Betonin puristuslujuuskerroin
α_{ct}	Betonin vetolujuuskerroin
β	Puristusvyöhykkeen suhteellinen korkeus
γ_c	Betonin osavarmuusluku
γ_s	Teräksen osavarmuusluku
η_1	Tartuntaolosuhteista riippuva kerroin
η_2	Tankopaksuudesta riippuva kerroin
μ	Suhteellinen momentti
ρ_{eff}	Tehollinen raudoitusalala
ρ_L	Geometrinen raudoitussuhde
σ_c	Betonin jännitys
σ_s	Raudoituksen jännitys
ω	Mekaaninen raudoitussuhde

1 JOHDANTO

1.1 Opinnäytetyön aihe

Opinnäytetyön aiheena on suunnitella uudet toimitilat tekijän oman yrityksen tarpeisiin. Työ sisältää käytännön rakennusteknisen suunnittelutyön rakennussuunnittelun ja rakennelaskelmien teon osalta. Rakennuksesta on tarkoitus tuottaa 3D-malli, jota voidaan hyödyntää jatkosuunnittelussa ja käytännön rakentamisessa. Rakenteiden mitoituskalkulat tehdään eurokoodistandardien mukaisella menetelmällä.

1.2 Suunnittelutyön tausta

Opinnäytetyö tehdään tekijän omalle yritykselle JK-Rakennustyö Oy:lle. Yrityksen kotipaikkana on Akaan kaupunki Etelä-Pirkanmaalla ja toimialoina on talonrakentamisen suunnittelua, vastaavan työnjohtajan palveluita ja käytännön rakentamista. Yritys on perustettu vuonna 1998 alun perin toiminimenä. Vuonna 2012 yhtiömuoto muutettiin osakeyhtiöksi.

Tällä hetkellä yrityksen käytössä olevat tilat ovat ahtaat ja epäkäytännölliset. Käytännöllisempien tilojen tarve on kasvanut vuosien myötä yrityksen toiminnan kehittyessä. Varsinaista toimistoa ei ole, vaan suunnittelu ja muu toimistotyö tehdään yrittäjän asuintiloissa. Rakennustarvikevarasto on ahdas ja eristämätön, joten lämpimän varaston vaatimia tarvikkeita ei voida säilyttää. Kalusto varastoidaan samassa eristämättömässä tilassa tarvikkeiden kanssa, lämmintä kalustosuojaa ei ole.

Uusien tilojen kautta tavoitellaan monipuolisia hyötyjä yrityksen toiminnalle. Kaikki yrityksen toiminnot voitaisiin sijoittaa samoihin tiloihin. Ylimääräinen tarvikkeiden siirtely jää vähemmälle. Kalusto on suojassa ja huoltotoimet onnistuvat lämpimissä sisätiloissa. Toimistotyölle on oma rauhallinen tila. Asiakastapaamiset voidaan sopia yrityksen omiin tiloihin.

1.3 Työn tavoitteet ja rajaukset

Työn tavoitteena on suunnitella yrityksen toimintaa hyvin palveleva rakennus sekä kehittää tekijän suunnitteluosaamista. Työssä selvitetään rakennushankkeen kulku yleisluontoisesti, mutta keskitytään hankkeen rakennus- ja rakennesuunnitteluun. Lisäksi työssä käydään läpi rakentamisen vaatima lupaprosessi ja siihen tarvittavat selvitykset ja liitteet. Tekijän on tarkoitus työssä laadittavan suunnitelman teossa perehtyä myös rakennuspiirustusten 3D-mallintamiseen, josta ei ole aiempaa kokemusta. Lisäksi työn tarkoituksena on kehittää tekijän rakennesuunnitteluosaamista laskentamenetelmien osalta. Rakennelaskelmat tehdään eurokoodistandardien suunnittelumenetelmällä, josta tekijällä ei myöskään ole aiempaa käyttökokemusta. Päämääränä on, että tekijä siirtyy käyttämään 3D-mallinnusta ja eurokoodien mukaista suunnittelumenetelmää työssään jatkossa. Suunnitelman toteutukseen käytetään Cadmatic Building -ohjelmistoa. Rakennelaskelmat tehdään käsinlaskentana hyödyntäen Mathcad -ohjelmaa.

Opinnäytetyö toteutetaan suunnittelutehtävänä. Työ rajataan rakennussuunnittelun osalta siten, että rakennuksesta laaditaan suunnitelma pääpiirustusten muodossa sekä 3D-malli. Kustannuslaskentaan ei tässä työssä perehdytä. Hankkeen kustannustasolle on tilaajan puolesta asetettu raamit, joiden täyttämiseen suunnitteluratkaisuilla pyritään. Rakennesuunnittelun osalta työ rajataan liimapuurungon suunnitteluun. Liimapuurungon lujuusmitoitus selitetään normaali- ja palotilanteessa sekä esitetään rakennuksen rungon mitoituslaskelmat. Liimapuupilarin perustusliitoksen mitoitus selitetään ja esitetään laskelmat sivuseinän ja päädyn pilarien osalta. Lisäksi selitetään pilarianturan rakennustekninen mitoitus ja esitetään rakennuksen sivuseinän ja päädyn pilarianturoiden laskelmat. Mitoitus tehdään eurokoodien mukaisella menetelmällä. Työn tuloksena rakennussuunnittelun osalta saadaan rakennuksen pääpiirustukset ja rakennuksen 3D-malli. Rakennesuunnittelun osalta tuloksina esitetään laskelmat rakennuksen liimapuurungon tärkeimmistä rakenneosista sekä niiden liitoksista.

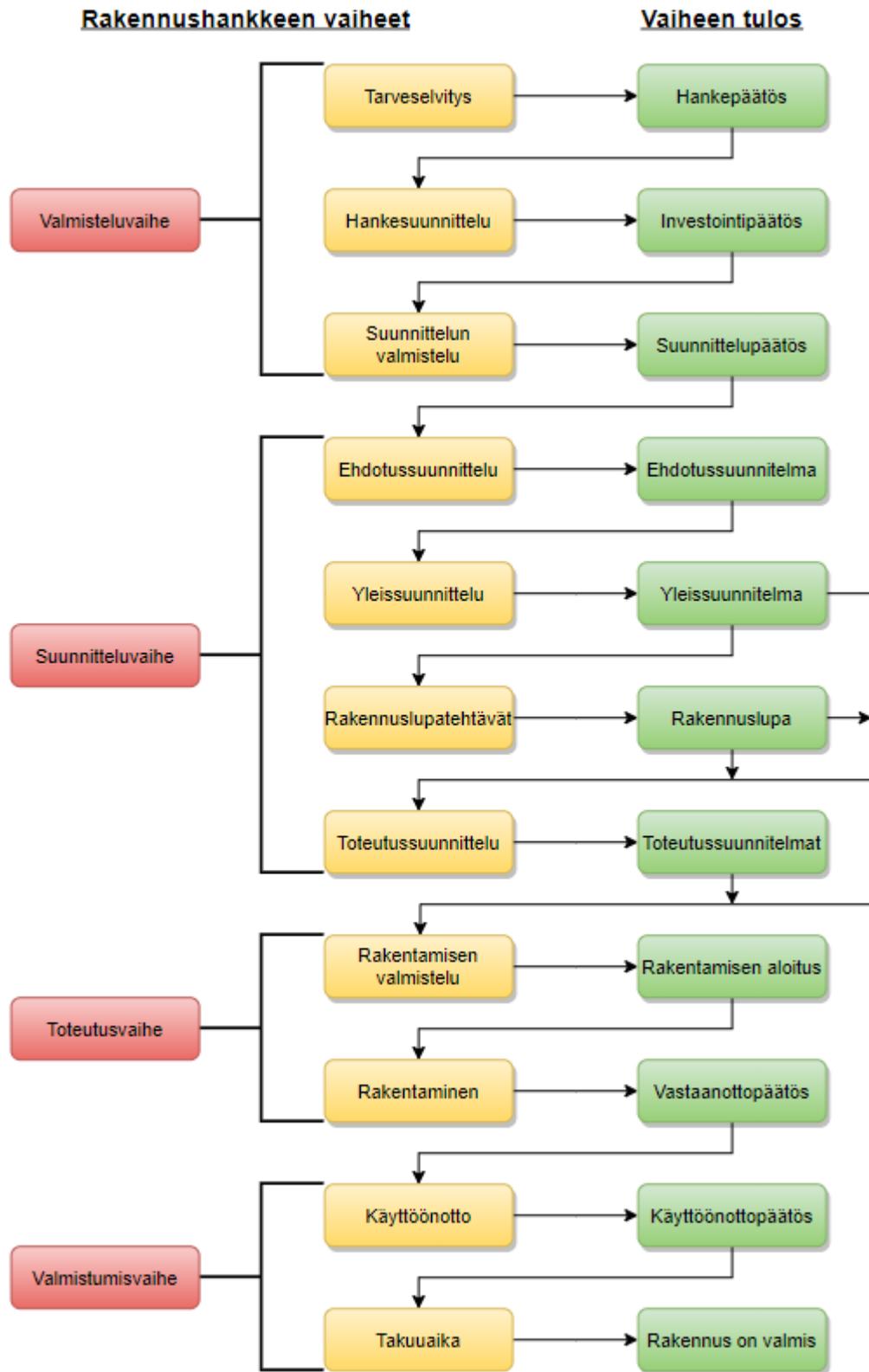
2 RAKENNUSHANKE SUUNNITTELIJAN NÄKÖKULMASTA

Rakennushankkeen tarkoituksena on tuottaa tiettyyn toimintaan tarkoitettu tai tiettyä toimintaa palveleva tila. Rakennushanke koostuu kaikista niistä toimenpiteistä, joilla ko. tila saadaan aikaiseksi. Hankkeen käynnistäjänä voi olla esimerkiksi kiinteistön omistaja, rakennuksen käyttäjä tai sijoittaja. Varsinainen hanke alkaa, kun tehdään päätös tilan hankkimisesta rakentamalla. (RT 10-11256, 2017, 1.)

Rakennushankkeessa tarvitaan sen laajuudesta ja vaativuudesta riippuen eri alojen suunnittelijoita. Tämä opinnäytetyö keskittyy rakennuksen suunnitteluun rakennussuunnittelun ja rakennesuunnittelun osalta

2.1 Rakennushankkeen vaiheet

Rakennushankkeen vaiheita voidaan kuvata eri tavoin. Rakennuttajan ja suunnittelijan näkökulmasta rakennushankkeen kulkua on kuvattu Rakennustieto Oy:n julkaisemassa RT-ohjekortissa 10-11256 Talonrakennushankkeen kulku. Rakennushanke on jaettu ohjekortissa yhteentoista osavaiheeseen (RT 10-11256, 2017, 1), joista neljä on varsinaisia suunnitteluvaiheita. Suunnittelutehtävät alkavat, kun hankkeen toteutusedellytykset on selvitetty ja suunnittelupäätös on tehty. Jotta suunnitelmista olisi hyötyä, tulisi suunnitelmien olla valmiita ennen rakentamisvaihetta. Vaiheiden etenemistä ja niiden tuloksia on kuvattu kuviossa 1.



KUVIO 1. Rakennushankkeen vaiheet

2.1.1 Tarveselvitys

Tarveselvitysvaiheessa pohditaan hankkeen tarpeellisuutta. Samoin tutkitaan hankkeen onnistumisen edellytyksiä ja vertaillaan erilaisia mahdollisuuksia. Tuloksena syntyy tarveselvitys, josta ilmenee hankkeen perusolemus. Tarveselvityksen perusteella tehdään hankepäätös. (RT 103253, 2020, 3.)

2.1.2 Hankesuunnittelu

Hankesuunnitteluvaiheessa arvioidaan yksityiskohtaisemmin hankkeen toteuttamismahdollisuuksia, tarpeita ja erilaisia toteuttamistapoja. Lisäksi määritetään tilojen mitoituserusteet ja laaditaan tilaohjelma. Suunnitelmista muodostetaan hankesuunnitelma, jossa on määritelty hankkeen toteuttamistapa sekä tavoitteet sen laadulle ja aikataululle sekä kustannustasolle. Hankesuunnitelman perusteella tehdään rakennuksen investointipäätös. Hankesuunnittelu ei kuulu varsinaisiin suunnittelijan tehtäviin, vaan sen tekee yleensä tilaaja. (RT 103253, 2020, 4.)

2.1.3 Suunnittelun valmistelu

Suunnittelun valmisteluvaiheessa tarkennetaan hankkeen suunnittelutehtävät. Suunnittelun ajoituksen, hinnoittelun ja tavoitteiden asettamisen jälkeen tehdään päätös suunnittelun käynnistämisestä. Suunnittelu voidaan tarvittaessa kilpailuttaa, jonka ratkettua valitaan kohteen suunnittelijat ja laaditaan suunnittelusopimukset. (RT 103253, 2020, 6.)

2.1.4 Ehdotussuunnittelu

Ehdotussuunnittelusta alkaa varsinainen rakennussuunnitteluvaihe. Ehdotussuunnittelussa laaditaan vaihtoehtoiset suunnitteluratkaisut asetettujen tavoitteiden täyttämiseksi. Ehdotussuunnittelussa laadittuja luonnossuunnitelmia vertaillaan ja niistä valitaan paras vaihtoehto. Voidaan myös valita yksittäisiä rat-

kaisuja eri vaihtoehtoista ja sovittaa ne valittuun suunnitelmaan. Vaiheen tuloksena syntyy ehdotuksen valintapäätös ja valittu ehdotussuunnitelma asetetaan jatkosuunnittelun pohjaksi. (RT 103253, 2020, 7.)

2.1.5 Yleissuunnittelu

Yleissuunnitteluvaiheessa valittu ja hyväksytty ehdotussuunnitelma kehitetään toteutuskelpoiseksi suunnitelmaksi siinä laajuudessa ja tarkkuudessa, että laatutaso voidaan määrittää toteutuskustannusten edellyttämällä tarkkuudella. Yleissuunnittelussa pyritään jakamaan hanke muuntuviin tiloihin ja kiinteisiin tiloihin siten, että perusrakennuksen tilajakoa voidaan muuttaa vielä toteutussuunnitteluvaiheessa. Yleissuunnitelmat muodostavat pohjan rakennuslupa-asiakirjoille. Vaiheen tuloksena syntyy hyväksytty yleissuunnitelma ja pääpiirustukset. (RT 103253, 2020, 9.)

2.1.6 Rakennuslupatehtävät

Rakennuslupatehtävävaiheessa laaditaan rakennuslupahakemus ja siihen tarvittavat liitteet. Tässä vaiheessa tulee viimeistään nimetä puuttuvat suunnittelijat. Suunnittelijoiden kelpoisuus varmistetaan ja hyväksytetään rakennusvalvontaviranomaisella. Kun kaikki vaaditut suunnitelmat ja liitteet on toimitettu, viranomainen ottaa hakemuksen käsittelyyn. Vaiheen tuloksena hakemuksen syntyy lupapäätös. (RT 103253, 2020, 11.)

2.1.7 Toteutussuunnittelu

Toteutussuunnittelussa yleissuunnitelma kehitetään rakentamisen ja hankinnan edellyttämiksi mitoitetuiksi suunnitelmiksi ja tuotemäärittelyiksi. Toteutussuunnitteluun sisältyy tuote- ja järjestelmäosasuunnittelu. Toteutussuunnittelu tuottaa suunnitelmia valitun hankinta- ja toteutustavan mukaisesti sekä hankinnan että toteutuksen käyttöön. Hankintoja varten laaditaan tarpeelliset suunnitelmat ja

asiakirjat siihen laajuuteen, että kohteen määrät, työtavat ja laatutaso voidaan määrittää toteutuskustannusten edellyttämällä tarkkuudella palvelien hankintakyselyjä. Vaiheen tuloksena syntyy hyväksytyt toteutussuunnitelmat. (RT 103253, 2020, 12.)

2.1.8 Rakentamisen valmistelu

Rakentamisen valmistelu alkaa kun rakennuslupa on saatu. Valmisteluvaiheessa laaditaan tarjouspyynnöt ja kilpailutetaan rakentamisurakat. Tarjousten jättöajan umpeuduttua käydään urakkaneuvottelut ehdokkaiden kanssa. Valittujen urakoitsijoiden kanssa laaditaan sopimukset rakentamisesta. (RT 103253, 2020, 15.)

2.1.9 Rakentaminen

Rakentamisvaiheessa toteutetaan käytännön rakentaminen edellä laadittujen suunnitelmien ja sopimusten mukaan. Toteutussuunnitelmia voidaan tarvittaessa täydentää rakentamisen aikana. Mikäli tehdään muutoksia, niistä laaditaan muutossuunnitelmat. Varsinainen rakentaminen alkaa rakentamissopimuksen allekirjoittamisesta ja päättyy rakennuksen vastaanottotarkastukseen. (RT 103253, 2020, 16.)

2.1.10 Käyttöönotto

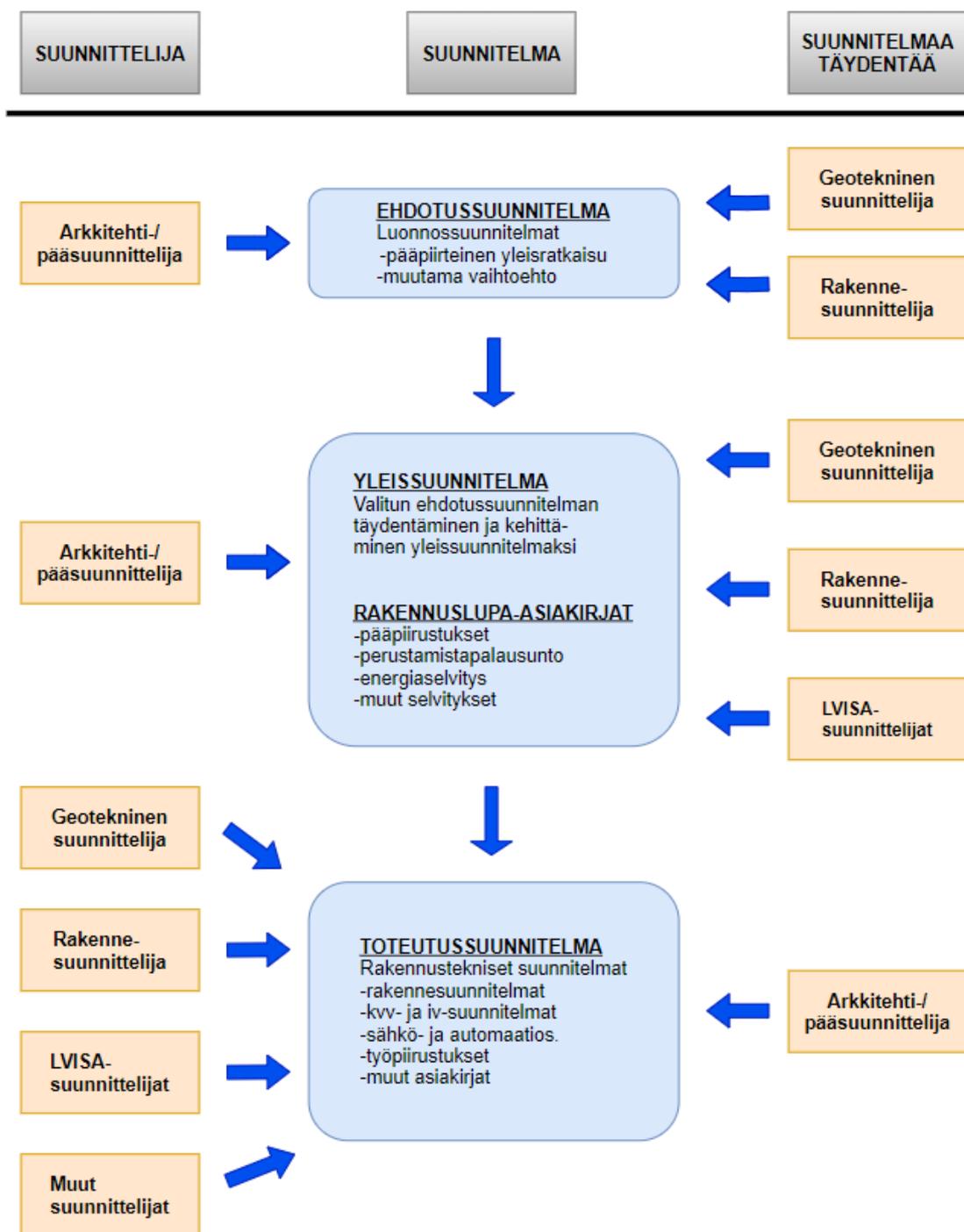
Käyttöönottovaiheessa rakennuksen tilaaja ottaa rakennuksen käyttöön ja aloittaa suunnitellun toiminnan. Rakennuksen rakentaja ja laitetoimittajat opastavat uudet käyttäjät rakennuksen toimintoihin ja ylläpitoon. Suunnittelijat varmistavat, että laaditut suunnitelmat vastaavat toteutusta, ja muutokset on päivitetty suunnitelmiin. Käyttöönottovaihe päättyy rakennuksen käyttöönottoon. (RT 103253, 2020, 17.)

2.1.11 Takuuaika

Takuuaikana rakennuksen käyttäjät ja omistajat seuraavat rakennuksen toimivuutta. Takuutarkastuksissa listataan havaitut puutteet ja tarvittavat korjaustoimenpiteet. Urakoitsijat suorittavat listatut korjaustoimenpiteet sovitun aikataulun mukaisesti. (RT 103253, 2020, 18.)

2.2 Rakennussuunnittelu

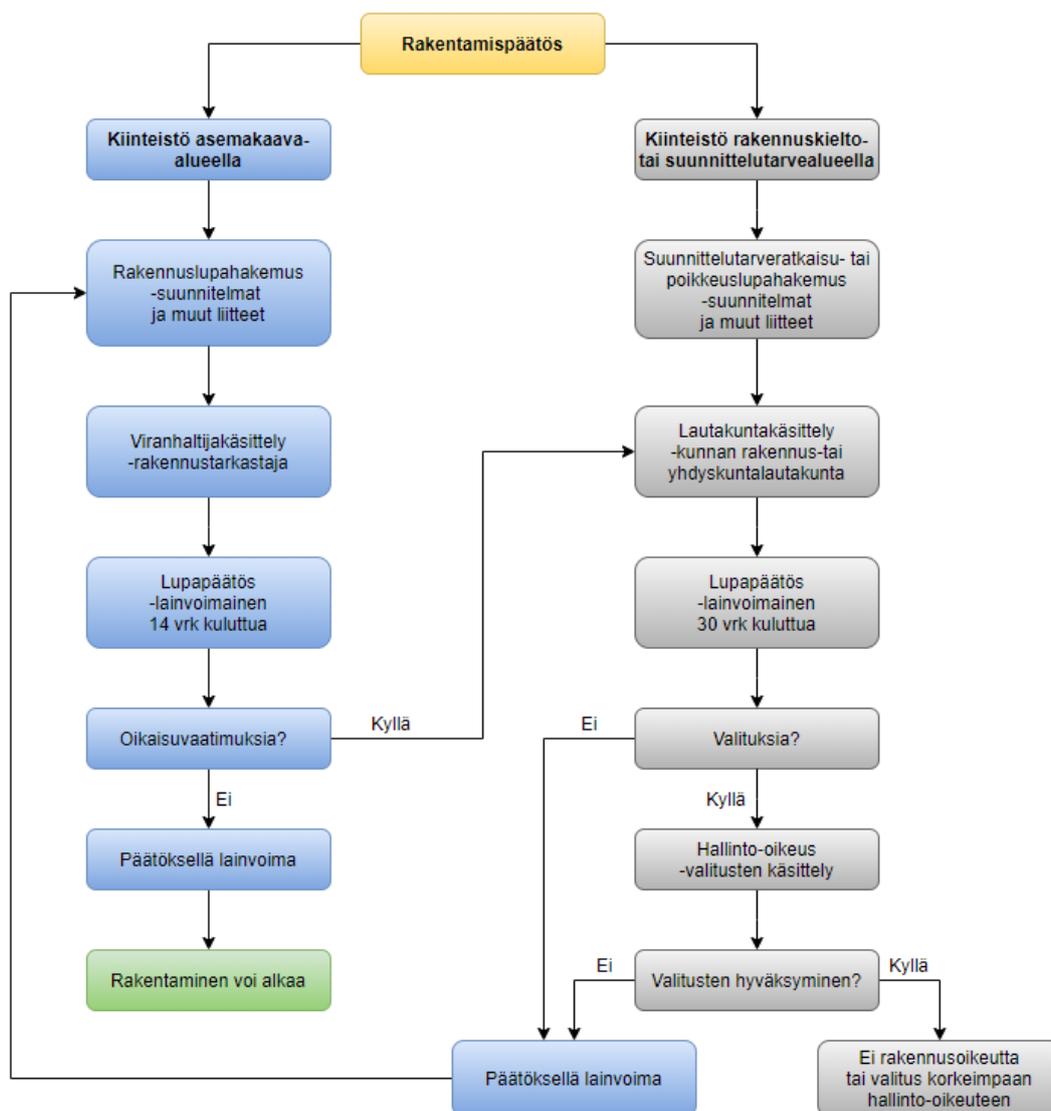
Rakennussuunnittelu on yleisnimitys rakennuksen arkkitehtisuunnittelulle. Siihen liittyy tiiviisti toteutussuunnittelu, kuten tässä hankkeessa rakennesuunnittelu. Rakennussuunnittelija laatii rakennuksen pääpiirustukset ja usein toimii myös hankkeen pääsuunnittelijana. Rakennussuunnittelu koostuu ehdotussuunnittelu-, yleissuunnittelu- ja toteutussuunnitteluvaiheesta. Rakennussuunnitteluvaiheessa laaditaan hankesuunnitelman pohjalta hankkeen varsinaiset suunnitelmat. Rakennuksen arkkitehtuuri, rakentamistapa, rakenteet sekä tekniset järjestelmät määräytyvät rakennussuunnitteluvaiheessa. Rakentamisen viranomaislupien vaatimat suunnitelmat ja selvitykset kuuluvat myös tähän vaiheeseen. Kuviossa 2 esitetään suunnitteluprosessin eri vaiheisiin osallistuvat suunnittelijat ja niissä tuotetut suunnitelmat.



KUVIO 2. Suunnitelmat ja suunnittelijat suunnitteluprosessin eri vaiheissa

3 RAKENTAMISEN LUVAT

Rakentaminen on Suomessa luvanvaraista toimintaa. Rakentamisen luvista ja lupamenettelyistä säädetään Maankäyttö- ja rakennuslaissa (MRL 1999/132). Lupaa haetaan sen kaupungin tai kunnan rakennusvalvontaviranomaiselta, jonka alueella rakennuspaikka sijaitsee. Jokaisella kunnalla on oltava rakennusjärjestys, joka sisältää tarkempia kuntakohtaisia määräyksiä ja ohjeita. Lisäksi alueellisia säännöksiä annetaan maankäyttöä varten suunniteltujen kaavojen määräyksissä. Kaavoissa ja rakennusjärjestyksessä määritellään ne alueet, joille rakentaminen on mahdollista. Myös hankkeen vaatima lupatyyppi ja -menettely määräytyvät kaavojen ja rakennusjärjestyksen mukaan. Lupamenettelyn kulku on esitetty kuviossa 3.



KUVIO 3. Rakennusluvan hakeminen asema- ja yleiskaava-alueella

3.1 Suunnittelutarveratkaisu

Tämä suunnittelutyö tehdään kiinteistölle, joka sijaitsee yleiskaava-alueella. Yleiskaava -alue on Akaan kaupungin rakennusjärjestyksen 22 §:ssä määrätty suunnittelutarvealueeksi (Akaan kaupunki. 2018). Maankäyttö- ja rakennuslain 1999/132 16 §:n mukaan suunnittelutarvealueella tarkoitetaan aluetta, jonka käyttöä varten alueelle tarvitaan uusia teitä, kunnallistekniikkaa tai virkistysalueita. Kunnalla on mahdollisuus oikeusvaikutteisessa yleiskaavassa tai rakennusjärjestyksessä merkitä suunnittelutarvealueiksi alueita, joilla niiden sijainnin vuoksi on odotettavissa suunnittelua vaativaa yhdyskuntakehitystä tai joilla maankäytön suunnittelu on tarpeen ympäristöarvojen tai ympäristöhaittojen vuoksi. (MRL 1999/132.)

Rakennusluvan myöntämisen ehtona on, että suunnittelutarveratkaisu on haettu, ja sen päätös on myönteinen sekä lainvoimainen. Hakemus tehdään Akaan kaupungissa rakennuslupahakemuksen tavoin käyttäen Lupapiste -palvelua. Suunnittelutarveratkaisuhakemukseen tarvittavat liitteet ovat (Akaan kaupunki. n.d.):

- asemapiirros 1:500
- omistusoikeusselvitys
- naapurien kuulemiset
- rakennusoikeuslaskelma
- selvitys kiinteistön vesi- ja jätevesihuollosta

Asemapiirros laaditaan samoin käytännöin kuin rakennuslupaa varten tehtävä asemapiirros. Hankkeen aiottu rakennusalue mittoineen esitetään piirroksessa. Rakennusoikeuslaskelma voidaan esittää asemapiirroksen yhteydessä. Laskelmassa esitetään haettava rakennusoikeus rakennuskohtaisesti (Akaan kaupunki. n.d). Asemapiirros suunnittelutarveratkaisua varten on liitteessä 1.

Omistusoikeusselvityksenä voidaan käyttää kiinteistön kauppakirjan (tai vuokrasopimuksen) jäljennöstä tai enintään kuuden kuukauden ikäistä lainhuutotodistusta (Akaan kaupunki. n.d.). Sähköistä Lupapiste -verkkopalvelua käytettäessä viranomaisen saa omistajatiedot suoraan kiinteistörekisteristä, eikä niitä tarvitse erikseen toimittaa. Rakennusvalvonta määrittelee hanketta varten kuultavat

naapurit. Hankkeen asiakirjat esitellään naapurikiinteistöjen omistajille ja he vahvistavat saaneensa tiedon käynnistyvästä hankkeesta allekirjoituksellaan.

Selvitys kiinteistön vesi- ja jätevesihuollosta laaditaan kaupungilta saatavalle lomakkeelle. Kiinteistö ei kuulu kunnallisen vesi- ja viemäriverkoston piiriin. Mikäli kiinteistöllä ei ole jätevesiasetuksen mukaista jätevesijärjestelmää, liitetään mukaan myös suunnitelma rakennettavasta jätevesijärjestelmästä. Suunnitelma sisältää asemapiirroksen, järjestelmän rakennuspiirustukset, mitoituslaskelmat sekä käyttö- ja huolto-ohjeet. Talousvesikaivon ja jätevesijärjestelmän sijainnit sekä niiden väliset etäisyydet merkitään asemapiirroksen. (Akaan kaupunki. n.d.) Jätevesijärjestelmän suunnitelma on esitetty liitteessä 1.

3.2 Rakennuslupa

Myönteisen suunnittelutarveratkaisupäätöksen saatua lainvoiman voidaan aloittaa rakennuslupahakemuksen laatiminen. Varsinainen lupahakemus täytetään sähköisesti Lupapiste -palvelussa. Lisäksi hakemusta täydennetään liiteasiakirjoilla.

Akaan kaupungissa uudisrakentamisen rakennuslupahakemukseen vaadittavat liitteet ovat (Akaan kaupunki. n.d.):

- selvitys rakennuspaikan omistusoikeudesta
- pääpiirustukset
- energiaselvitys
- naapurien kuulemiset
- ennakkoluvat (suunnittelutarveratkaisu tai poikkeuslupa)
- tontin rakennettavuusselvitys (perustamistapalausunto)
- jätevesijärjestelmän rakentamissuunnitelmat haja-asutusalueella (asemakaava-alueella vesilaitoksen liitoslausunto)
- suunnittelijaosapuolien nimeäminen sekä heidän tutkintotodistuksensa ja ansioluettelonsa

Pääpiirustukset esitetään rakentamismääräyskokoelman määräysten mukaisesti. Asemapiirrosta tarkennetaan suunnittelutarveversiosta rakennuksen suunnitelluilla mitoilla ja korkeuksilla. Lisäksi täydennetään mahdolliset muut muutokset suunnitelmaan sekä rakennusoikeuslaskelmaan. Pohjapiirros, julkisivut sekä leikkauspiirrokset esitetään samoin kuin asemakaavakohteissakin. Rakennuksen päärakenteista (perustus, alapohja, ulkoseinä, yläpohja, vesikatto) esitetään rakenneleikkaus 1:20 mittakaavassa. Julkisivujen väriyysuunnitelma esitetään joko erillisellä lomakkeella värimallein varustettuna tai pääjulkisivukuva väritettynä suunnitelluilla väreillä ja värinumeroin varustettuna. (Akaan kaupunki. n.d.)

Uudisrakennuksen energiaselvitys laaditaan Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta 1048/2017 mukaan (YMa 1048/2017). Energiatodistuksen laatijalla tulee olla energiatodistustulain 755/2017 mukainen koulutus tehtävään ja FISE Oy:n myöntämä pätevyys energiatodistusten laadintaan (Laki 755/2017).

Rakennuslupahakemukseen liitetään myös tontin rakennettavuusselvitys tai perustamistapalausunto. Perustamistapalausunnossa selvitetään tontin korkeussuhteet, puusto, rakennuspaikan olosuhteet ja maaperän koostumus sekä kantavuus. Maaperän kantavuus selvitetään yleensä pohjatutkimuksella.

Naapureille esitellään hankkeen lopulliset suunnitelmat ja suoritetaan kuuleminen samoin kuin suunnittelutarveratkaisuvaiheessakin. Myönteinen suunnittelutarveratkaisupäätös liitetään rakennuslupahakemuksen liitteeksi. Päätöksessä on ilmoitettu suunnittelutarveratkaisun voimassaoloaika. Rakennuslupahakemus on jätettävä ennen sen umpeutumista, tai rakennusoikeus raukeaa. (Akaan kaupunki. n.d.)

Jos kiinteistölle on rakennettava uusi jätevesijärjestelmä, laaditaan sen rakentamissuunnitelma tai päivitetään olemassa oleva suunnitelma vastaamaan hankkeen tarkkoja kulutus- ja laajuustietoja. Tässä hankkeessa jätevesijärjestelmän suunnitelma on laadittu jo suunnittelutarveratkaisuhakemusta varten, joten samaa suunnitelmaa voidaan käyttää myös rakennuslupahakemuksen liitteenä, jos sen mitoitustiedot pitävät edelleen paikkaansa.

Suunnittelijaosapuolet kutsutaan mukaan hakemuksen täyttämiseen. Rakennuslupavaiheessa vaadittavat suunnittelijat ovat pääsuunnittelija, arkkitehtisuunnittelija, rakennesuunnittelija sekä kvv- ja iv-suunnittelija. Suunnittelijat kirjautuvat hakemukselle ja liittävät mukaan tutkintotodistuksensa ja referenssi- tai ansioluettelonsa. Lisäksi rakennusvalvonta voi pyytää muita selvityksiä hankkeen laadusta ja laajuudesta riippuen. Kun kaikki hakemuksen tiedot on täytetty ja kaikki liitteet on lisätty hakemukselle, voidaan lupahakemus jättää viranomaisen käsiteltäväksi.

Kun rakennuslupahakemus on jätetty, ja rakennusvalvonta on tarkastanut hakemuksen tietojen oikeellisuuden sekä liitteet, hakemus otetaan käsittelyyn. Rakennuslupapäätös asetetaan nähtäville päätöksenteon jälkeen, ja se saa lainvoiman 14 vrk:n kuluttua, ellei päätöksestä valiteta. Rakennusluvassa todetaan rakentamisen osapuolet ja suunnitellut toimenpiteet. Päätöksen ehtoina edellytetään eri alojen työnjohtajien nimeämistä hankkeelle. Lisäksi tarkentavien suunnitelmien toimittamisesta määrätään lupaehtoissa. Tällaisia suunnitelmia voivat olla esim. rakennesuunnitelmat sekä kvv- ja iv-suunnitelmat.

3.3 Sähköinen lupapalvelu Lupapiste

Lupapiste -palvelu on internetselaimen kautta toimiva viranomaispalvelu, jolla voidaan hakea rakentamisen lupia ja tehdä rakentamisen ilmoituksia sähköisesti. Palvelu on käytössä suurimmassa osassa Suomen kuntien rakennusvalvontoja. Paperisia lomakkeita ja suunnitelmia ei tarvita, kun kaikki hakemusten liitteet voidaan lisätä hakemukselle sähköisinä. Hanke liitteineen tallentuu Lupapisteeseen, josta kaikkien osapuolien on mahdollista milloin tahansa käydä tutkimassa tarvitsemaansa tietoa. Lisäksi palvelussa voidaan käydä hankkeen eri osapuolten välistä keskustelua kirjallisena, jolloin kaikki käydyt keskustelut tallentuvat hankkeelle. (Cloudpermit Oy. n.d.)

4 TOIMITILAHANKE

Nyt on selvitetty rakentamisen suunnittelun eteneminen ja rakennusluvan hakumenettely sekä luvan myöntämisen ehdot. Tässä luvussa aloitetaan varsinaisen suunnittelutyö perehtymällä rakennuspaikkaan sekä ominaisuuksiin, joita suunnittelun kohteena olevassa rakennuksessa tulisi olla.

4.1 Rakennuspaikka

Rakennuspaikka on yrityksen nykyisten tilojen vieressä oleva kiinteistö. Tontti on tasainen, jossa maaperä on kivistä moreenia. Peruskallio on n. 2 m:n syvyydessä koko rakennuksen alueella. Kiinteistö sijaitsee yleiskaava-alueella, ja rakentaminen vaatii suunnittelutarveratkaisun (Akaan kaupunki, 2018).

Vesihuollon järjestämisestä Akaan kaupungin alueella vastaa Hämeenlinnan Seudun Vesi Oy. Kiinteistö ei kuitenkaan ole vesihuoltolaitoksen toimialueen piirissä, koska se sijaitsee asemakaavan ulkopuolella. Vesihuoltolaitokselta pyydetyn lausunnon mukaan kiinteistön läheisyyteen ei ole suunnitteilla vesi- ja viemäriverkoston rakentamista, eikä näin ollen edellytetä kunnalliseen vesihuoltoon liittymistä. Kiinteistöllä on olemassa toimiva talousvesikaivo, josta on tarkoitus ottaa käyttövesi uuteen rakennukseen. Rakennuksesta syntyviä jätevesiä varten pitää kiinteistölle rakentaa jätevesiasetuksessa (VNa 157/2017) määritellyt jätevesien käsittelyjärjestelmä.

4.2 Tarveselvitys

Tällä hetkellä yrityksen käytössä olevat tilat ovat ahtaat ja epäkäytännölliset. Käytännöllisempien tilojen tarve on kasvanut vuosien myötä yrityksen toiminnan kehittyessä. Varsinaista toimistoa ei ole, vaan suunnittelu ja muu toimistotyö tehdään yrittäjän asuintiloissa. Rakennustarvikevarasto on ahdas ja eristämätön, joten lämpimän varaston vaatimia tarvikkeita ei voida säilyttää. Kalusto varastoidaan samassa eristämättömässä tilassa tarvikkeiden kanssa, lämmintä kalustosuojaa ei ole.

Rakennuksessa tulisi olla suunnittelutyöhön ja asiakastapaamisiin soveltuvat toimistotilat, tuotantotilat mahdollista puuelementtivalmistusta ajatellen, sosiaalitilat sekä varastotilaa kalustolle. Lisäksi rakennukseen sijoitettaisiin mahdollisesti vuokralle tarjottavaa toimisto- sekä työ-/tuotantotilaa. Lämmitysenergia olisi tarkoitus tuottaa joko maalämmöllä tai rakennuksen yhteyteen sijoitettavalla hakelämpökeskuksella. Tavoitteena on suunnitella energiatehokas ja pitkäikäinen rakennus sellaisilla rakenneratkaisuilla, että rakennuksen tilojen ja käyttötarkoituksen muuttaminen on mahdollista. Rakennuksen kokonaispinta-ala olisi n. 500 m², tilavuus n. 2000 m³ ja kantavan rungon jänneväli n. 15 m.

4.3 Suunniteltu käyttöikä

Rakenteiden suunnitteluperusteet SFS-EN 1990 -standardissa edellytetään rakennuksen suunnitellun käyttöiän määrittelyä. Suunnitellulla käyttöiällä tarkoitetaan aikaa, jonka rakennuksen tulisi kestää ilman merkittäviä korjauksia suunnitellussa käyttötarkoituksessa. Rakennuksen säilyvyys pitää suunnitella siten, että rakennuksen ikääntyminen ei heikennä rakenteiden toimintaa huonommaksi kuin on suunniteltu. Rakennukset luokitellaan SFS-EN 1990:n mukaan viiteen eri käyttöikäluokkaan. Viitteellinen käyttöikäluokittelu on esitetty taulukossa 1. Tämä toimitilarakennus kuuluu käyttöikäluokkaan 4, talorakennukset ja muut tavanomaiset rakenteet. Rakennuksen käyttöiäksi suunnitellaan vähintään 50 vuotta. Elinkaariajattelussa huomioidaan mahdolliset käyttötarkoituksen muutokset ja laajennustarpeet ja -mahdollisuudet rakennuspaikan sallimissa rajoissa. (SFS-EN 1990+ A1 + AC, 2006, 48.)

TAULUKKO 1. Rakennuksen käyttöikäluokitus (SFS-EN 1990+ A1 + AC, 2006, 48)

Suunnitellun käyttöiän luokka	Viitteellinen suunniteltu käyttöikä (vuosia)	Esimerkkejä
1	10	Tilapäisrakenteet ⁽¹⁾
2	10...25	Vaihdettavissa olevat rakenteen osat, esim. nosturiratapalkit, laakerit
3	15...30	Maatalous- ja vastaavat rakennukset
4	50	Talorakennukset ja muut tavanomaiset rakenteet
5	100	Monumentaaliset rakennukset, sillat ja muut maa- ja vesirakennuskohteet

⁽¹⁾ Sellaisia rakenteita tai niiden osia, jotka voidaan purkaa uudelleen käytettäväksi, ei pidetä tilapäisinä.

4.4 Hankesuunnittelu

Hankesuunnitelman keskeisin sisältö tässä hankkeessa on tilaohjelma. Rakennuspaikka on olemassa, joten tontin hankintaan liittyviä tehtäviä ei ole. Kaupungin rakennusvalvonnan kanssa on käyty etukäteen keskustelu rakentamisen ehdoista ja lupamenettelyistä. Rakennuspaikalla on suoritettu alustavat maaperätutkimukset ja todettu tontin rakentamiskelpoisuus. Rakennuksen ohjeellinen paikka tontilla on määritelty. Lisäksi on kartoitettu kiinteistön vesi- ja jätevesihuollon tilanne sekä tarpeet uudisrakentamista varten.

4.5 Tilaohjelma

Tilaohjelmaa varten rakennussuunnittelija kirjaa ylös tilaajan toiveet rakennuksen ominaisuuksista. Rakennukseen halutut tilat listataan ja määritellään niille tavoitepinta-ala. Myös tilojen sijainti rakennuksessa sekä yhteydet muihin tiloihin kirjataan ylös. Lisäksi pohditaan tilojen käyttötarkoitusta ja varustelua. Rakennuksen tekniset laitteet ja järjestelmät sekä mahdolliset erityisominaisuudet lisätään tilaohjelman lähtötietoihin. Valmis tilaohjelma antaa tiedon rakennuksen pinta-alasta ja varustetasosta, niiden perusteella voidaan laskea hankkeelle tavoitehinta-arvio.

Tilaohjelman pohjalta laaditaan rakennuksesta ehdotussuunnitteluvaiheen ensimmäiset luonnospiirustukset. Tämän hankkeen tilaohjelman tiloja ja toimintoja pohditaan seuraavissa luvuissa.

4.5.1 Toimistotilat

Toimiston toiminnat painottuvat suunnittelutyöhön. Lisäksi yrityksen laskutus, kirjanpito sekä arkistointi tapahtuu toimistotiloissa. Myös asiakastapaamiset voidaan sopia toimiston tiloihin. Toimisto olisi hyvä saada jaettava kahteen erilliseen osaa. Toimistojen yhteydessä tulisi olla taukotila, jossa on ruoanvalmistusmahdollisuus. Pukeutumis- ja WC-tilojen lisäksi olisi hyvä olla myös peseytymis- ja pyykinpesumahdollisuus.

4.5.2 Kalustovarasto/huolto

Kalustoon kuuluu lähinnä rakennustyökaluja. Huoltotila tulisi kuitenkin olla sen verran iso, että sinne mahtuu tarvittaessa kuorma-auto kuormineen sekä kaivinkone. Kalustotilan varusteina pitäisi ainakin olla lattiakaivo ja vesipiste. Lisäksi olisi hyvä olla myös oma WC-tila ja taukuhuone.

4.5.3 Rakennustarvikevarasto

Varastotilararve on kylmälle ja lämpimälle varastolle. Lämpimässä tilassa varastoidaan maalit, liimat ym. nestemäiset tarvikkeet, sisätilojen pintamateriaalit ja muut lämminvarastointia vaativat tarvikkeet. Tilantarve voi vaihdella suurestikin riippuen työkohteesta. Lämmin varasto voisi sijaita kalustovarastossa omana erillisenä tilanaan. Kylmään varastoon sijoitettavia tarvikkeita ovat puutavara, rakennuslevyt ja eristeet. Tilassa täytyy kyetä liikkumaan trukilla ja kuorma-autolla. Toisaalta kylmää varastotilaa on nykyisissäkin samalla piha-alueella olevissa tiloissa, joten välttämätöntä tarvetta sille ei ole.

4.5.4 Lämpökeskus/tekninen tila

Mikäli päädytään hakelämmitykseen, tarvitaan erikseen kattilahuone ja hakesäiliö, josta hake syötetään ruuvikuljettimella kattilaan. Kattilahuone ja hakesäiliö on palo-osastoitava toisistaan EI-30 -luokkaisin rakennusosin (YMa 848/2017). Tilantarpeet määräytyvät lämmitystehon kautta; mitä suurempi lämmöntarve, sitä suurempi kattila ja kattilahuone. Hakesiilon tilavuus mitoitetaan halutun täytövälän mukaan. Kattilahuone ja hakesäiliö voivat olla räjähdysvaarallisia tiloja (palovaarallisuusluokka 2), ja silloin niitä ei saisi sijoittaa muiden tilojen yhteyteen (YMa 848/2017). Erillisen lämpökeskusrakennuksen sijoittaminen tontille asettaa uusia haasteita tontin toiminnalle ja yhteyksille.

Jos lämmönlähteeksi valitaan maalämpö, on teknisten järjestelmien vaatima tila huomattavasti vähäisempi. Maalämpöpumppu voidaan asentaa tekniseen ti-

laan, joka ei vaadi palo-osastointia. Tilaan sijoitetaan varsinainen lämpöpumppu sekä sen apulaitteet. Lisäksi samaan tilaan voidaan sijoittaa muitakin teknisiä laitteita, kuten ilmanvaihtokone ja sähköpääkeskus.

4.6 Luonnossuunnitelma

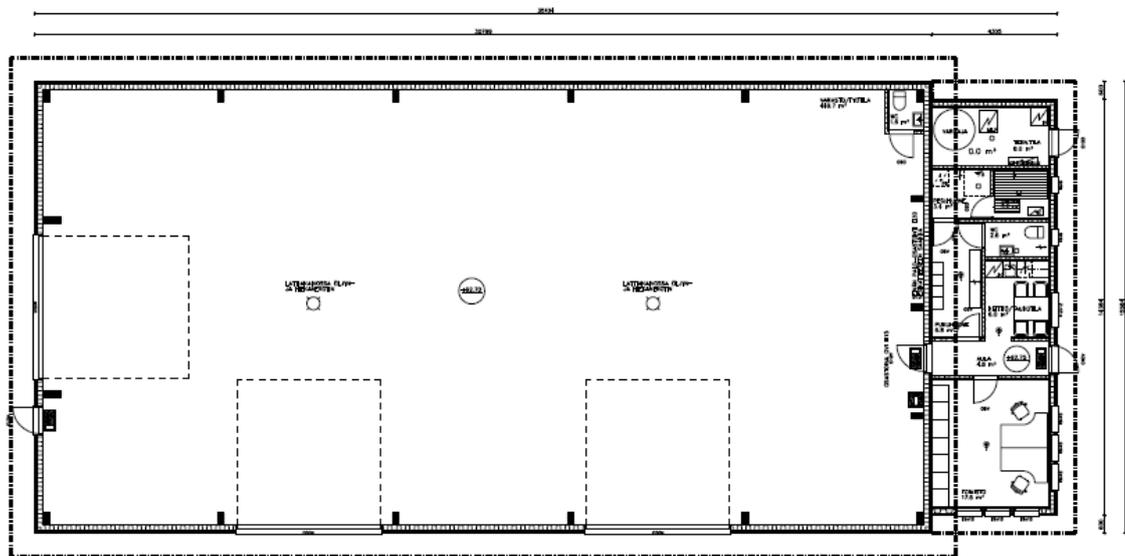
Luonnossuunnitelman laadinta aloitetaan tilaohjelman pohjalta. Luonnosvaiheessa määritellään rakennuksen pohjamuoto, sijoitetaan tilat paikalleen ja määritetään niiden pinta-alat. Luonnosehdotuksia voidaan laatia useampia, jolloin tilaajalla on mahdollisuus vertailla erilaisia vaihtoehtoja. Tämän hankkeen luonnosehdotusta pohditaan seuraavassa.

Rakennuksen sijoittamiseen tontille on periaatteessa vain yksi vaihtoehto. Tontin muoto on suorakaide ja se rajoittuu tiealueeseen pidemmältä sivultaan. Rakennuksen eteen halutaan jättää reilunkokoinen piha-alue kuljetusten ja liikennöinnin helpottamiseksi. Lisäksi halutaan varautua mahdolliselle lisärakentamiselle tulevaisuudessa tontin eteläsivulla. Näin ollen toimivin ja parhaiten tonttia hyödyntävin paikka rakennukselle on tiealueen puoleinen sivu. Tieliittymä on tontin koilliskulmasta, ja soveltuu hyvin rakennuksen tienvarren sijoitukseen. Ajoneuvoliikenteellä on suora yhteys piha-alueelle, ja kääntötilaa jää hyvin isommallekin ajoneuvoyhdistelmälle.

Rakennuksen ja tieliittymän väliin jää alue, johon maalämpökaivot voi sijoittaa. Alue on lähellä tietä ja muutenkin sellainen kohta tontilla, jota on muuten hankala hyödyntää. Lisäksi kallio on tässä tontin koilliskulmassa lähes maanpinnan tasossa, joten paikka soveltuu maalämpökaivojen sijoitukseen hyvin. Kiinteistölle ei ainakaan tällä hetkellä ole mahdollista saada kunnallista vesijohtoa eikä viemäriä. Tontilla on olemassa oma talousvesikaivo. Kaivo sijaitsee tontin kaakkoiskulmassa. Luonnollinen paikka jätevesijärjestelmän sijainnille on tontin länsireuna. Siellä maasto on alavampaa kuin muualla ja etäisyys talousvesikaivosta on mahdollisimman suuri.

Tontin yhteydet ja pihan toiminnot otetaan huomioon myös tilojen sijoittelussa rakennuksen sisällä. Toimistotilat olisi hyvä saada rakennuksen itäpäätyyn. Si- ten toimisto on heti ensimmäisenä vastassa kiinteistölle saavuttaessa. Kesäai- kainen sisälämpötilan nousu estetään osittain siten, että toimiston julkisivu ei ole etelä-länsisuunnassa. Rakennuksen päätyyn saadaan myös asiakaspaikoi- tukselle riittävät parkkipaikat. Halliosa rakentuu toimistojen jatkoksi lännen suuntaan. Ovet avautuvat etelän pihan puolelle. Ikkunat voi sijoittaa seinien ylä- osaan sekä etelä- että pohjoissivuille. Näin saadaan luonnonvaloa halliin sekä riittävä savunpoistoaukotus.

Kun tilat sijoittuvat peräkkäin ja pihaan halutaan jäävän mahdollisimman paljon tilaa, on suorakaide luonnollinen valinta pohjan muodolle. Se on lisäksi tehokas ja edullinen rakennuksen pohjan muoto. Julkisivun elävöittämiseksi porraste- taan seinälinjaa toimiston ja hallin liittymäkohdassa. Ensimmäisen luonnosvai- heen pohjapiirrosehdotelma on esitetty kuvassa 1.



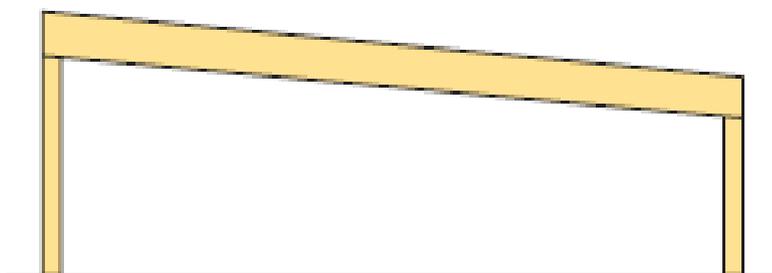
KUVA 1. Luonnosvaiheen pohjapiirros

5 RAKENNESUUNNITTELUN HUOMIOIMINEN RAKENNUSSUUNNITTELUSSA

Rakennesuunnittelijan olisi hyvä osallistua suunnitteluun jo luonnosvaiheessa, jolloin on mahdollista vaikuttaa rakennuksen rakennejärjestelmään, aukotuksiin ja kantaviin linjoihin. Myös rakennuksen jäykistämistapa on hyvä päättää ennen yleissuunnitelman laatimista. Mitä varhaisemmassa vaiheessa kantavien rakenteiden mitoitus ja liitostavat saadaan varmistettua, sitä paremmin niiden ominaisuuksia pystytään hyödyntämään yleissuunnitelmassa.

5.1 Runkojärjestelmän valinta

Rakennesuunnittelun perusajatuksena tässä hankkeessa on, että rakentamisessa voidaan hyödyntää mahdollisimman paljon yrityksen omaa työtä. Halliosan runko on ajateltu tehtävän liimapuusta pilari-palkki -rakenteella (kuva 2). Vapaata korkeutta halutaan 5 metriä ja jänneväliä 15 metriä, joten sahatavara-runko naulalevyristikoilla alkaa olla kantokyvyn äärirajoilla. Kantavien palkkien yläpuolella oleva yläpohjarakenne mahdollistaa palo-osastovien väliseinien sijoittamisen ja siirtämisen vapaasti ilman, että yläpohjaan täytyy tehdä muutoksia. Lisäksi ovi- ja ikkuna-aukkojen sijoittaminen ja lisääminen ulkoseiniin rakentamisen jälkeenkin on helpompaa varsinkin sivuseinillä, kun katolta tulevat kuormat viedään perustuksille pilarien kautta.



Pilareiden varassa oleva suora palkki 10 - 30 m

KUVA 2. Esimerkki liimapuisesta hallirungosta (Vesänen & Viljakainen, 2014, 29)

Toimisto-osan rakennusrunko ja runkojärjestelmä voivat olla erilaiset halliosan kanssa. Jänneväli ja korkeus jäävät pienemmiksi ja sitä kautta kuormitukset ovat vähäisemmät. Runkona voi olla esimerkiksi sahatavarakon puusta ja katokannattajina naulalevyristikot. Runkoleveyden ja -korkeuden muutoksella toimisto-osan kohdalla voidaan elävöittää laatikkomaisen hallirakennuksen julkisivua.

Kylmän varaston osalta olisi hyvä huomioida mahdolliset laajennustarpeet tulevaisuudessa. Varasto-osa tulisi olla muutettavissa lämpimäksi tilaksi lämmöneristämällä ulkoseinät ja yläpohja. Lisäksi pitäisi varautua rakennuksen mahdolliseen jatkamiseen lännen suuntaan, joten laajennuksen mitat ja muoto olisi hyvä miettiä valmiiksi jo tässä vaiheessa.

5.2 Perustaminen

Perustusratkaisun lähtökohtana on maanvarainen teräsbetoninen seinäantura, jonka varaan tukeutuu teräsbetoninen sokkelipalkki joko paikallavalaen tai elementeistä koottuna. Kantavien pilarien kohdalla anturaan tehdään levikkeet ja puupilarin kannatusta varten teräsbetoninen peruspilari. Lattianrakenne on maanvarainen teräsbetonilaatta, jonka täytyy halliosalla kestää raskaiden ajoneuvojen kuormitus.

5.3 Ulkoseinät

Ulkoseinärakennevaihtoehtoina ovat joko puurunkoinen mineraalivillaeristetty ulkoseinäelementti tai kahden peltiprofiilin ja niiden välissä olevan mineraalivillaeristeen muodostama sandwich-seinäelementti. Puuelementin sisäpinta on yleensä kipsilevyä ja ulkopinta voidaan verhoilla joko ulkoverhouslaudoituksella tai peltiprofiileilla. Peltielementin sisä- ja ulkopinta ovat valmiiksi maalattua ja pinnoitettua peltiprofiilia. Tässä hankkeessa puuelementin etuihin voidaan lukea mahdollisuus valmistukseen omana työnä sekä ulkoseinien elävöittäminen laudoituksen/peltiprofiilin suuntaa ja katkaisupituutta muuttamalla. Lisäksi mahdol-

liset muutokset ja tulevien laajennusten liitokset on helppo toteuttaa yhteneviksi olemassa olevan rakenteen kanssa. Peltielementin etuina taas ovat nopea ja helppo asennus sekä heti valmis seinäpinta sekä sisä- että ulkopuolelta.

5.4 Yläpohja

Yläpohjan voi rakentaa paikalla käyttämällä kantavana rakenteena itsekantavaa teräspoimulevyä, jonka päälle asennetaan höyrynsulku, kattokäyttöön tarkoitettua lämmöneristeitä ja vesieriste. Toisena vaihtoehtona on kattoelementti, jossa kaikki rakenneosat ovat valmiina (kuva 3). Puurunkoisen kattoelementin kantavana rakenteena on yleensä LVL- tai liimapuupalkki. Elementissä on valmiiksi asennettuna mahdollinen sisäpuolen verhouslevy, höyrynsulku, lämmöneristeet sekä vesikatemateriaali. Vesikatemateriaali on suora huopakate eli kauttaaltaan liimaamalla kiinnitetty kumibitumikermi, tai PVC -kate. Elementti voi olla joko tuulettumaton tai tuulettuva, jolloin lämmöneristeiden päällä on räystäälle saakka auki oleva tuuletustila. (Vesanen & Viljakainen, 2014, 41.)



KUVA 3. Periaatekuva tuulettuvasta puukattoelementistä (Vesanen & Viljakainen, 2014, 41)

Kattokaltevuus laajarunkoisessa rakennuksessa on loiva, joten liimattu kaksikerroksinen kumibitumikermi on hyvä valinta vedenpitäväksi katemateriaaliksi. Yksikerroksinen PVC-kate on myös vedenpitävä vaihtoehto, mutta sen mekaaninen kestävyys ei ole yhtä hyvä kuin bitumikermikatteella. Kaksinkertaisen bitumikatteen etuihin kuuluu myös, että siihen voidaan helposti tehdä vedenpitä-

viä liitoksia ja aukkoja jälkeinpäin. Vedenpoisto toteutetaan seinälinjojen ulkopuolisten räystäiden kautta. Räystäät suojaavat ulkoseiniä auringon ja sateiden rasiuksilta, ja tuovat ryhtiä rakennuksen julkisivuihin. Vesikaton suunnittelussa huomioidaan katolle mahdollisesti asennettavien aurinkopaneelien kiinnitys ja kuormitukset.

5.5 Täydentävät rakenteet

Halliosan isot ovet voivat olla joko nosto-ovia tai sivulle taittuvia lamelliovia. Koska hallista ei voi rakennuksen sijainnin vuoksi tehdä ns. ”läpiajettavaa”, on isoja oviaukkoja oltava eteläseinällä useampia. Lisäksi hallitiloihin on oltava omat käyntiovet. Isoissa ovissa olisi hyvä olla ikkunat luonnonvalon hyödyntämiseksi. Muutoin ikkunat voisivat sijaita ulkoseinien yläosissa sekä etelä- että pohjoissivuilla. Toimisto-osan ulko-ovet ja ikkunat voivat olla normaalia asuntotasoa. Ikkunoissa olisi hyvä olla tuuletusmekanismilla varustettu osa. Varastossa ikkunoita välttämättä tarvita, mutta jatkokäytön ja muuntelun takia niiden koot ja sijoitus olisi hyvä ajatella jo tässä vaiheessa. Varaston etelänpuoleinen seinä voisi olla kokonaan avointa siten, että sen saa suljettua esim. liukuovin.

5.6 Paloturvallisuus

Rakennuksen paloluokka määritellään Ympäristöministeriön asetuksen rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017:n mukaan. Asetuksen 8 §:ssä esitetään paloluokkien rajat rakennuksen kerrosluvun, käyttötarkoituksen, korkeuden, pinta-alan ja käyttäjämäärän perusteella (YMa 848/2017). Toimitilarakennuksen kerrosluku on yksi, käyttötapana on tuotanto- ja varastotilat, korkeus on alle 9 m ja pinta-ala on alle 2400 m². Henkilömäärä on alle 50 henkilöä, joten rakennuksen paloluokaksi määräytyy näiden ehtojen pohjalta P3.

Palo-osastot määräytyvät tässä rakennuksessa käyttötavan mukaan. Toimistotilat ja halliosa osastoidaan omiksi palo-osastoikseen osastoivalla seinällä EI 30. Kantavan rungon rakenteellista palonkestoa ei vaadita paloluokassa P3, lukuun

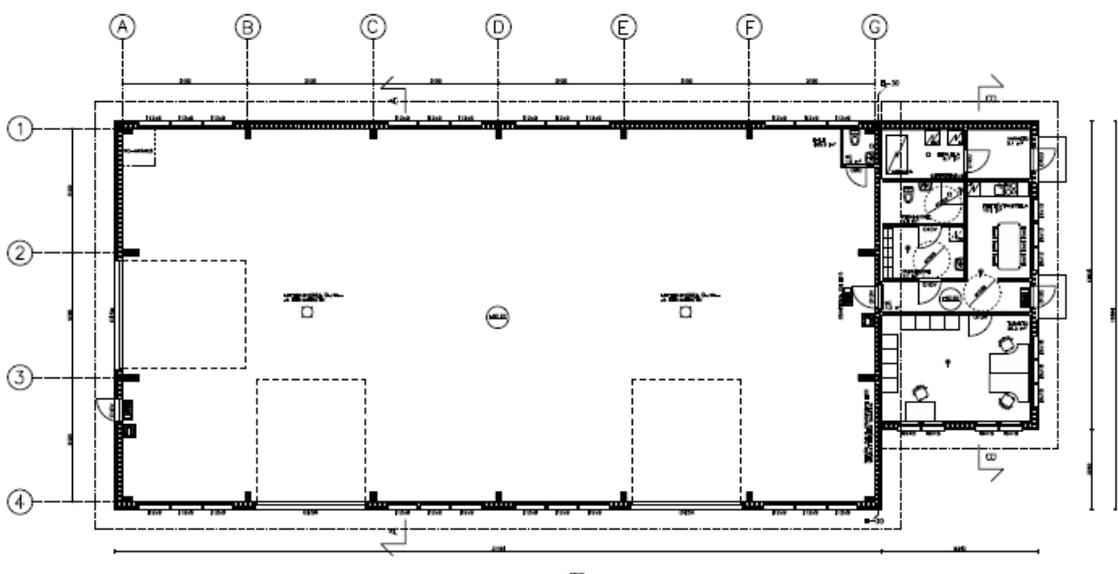
ottamatta sellaisia rakenteita, joiden vaurioituminen voi johtaa osastoinnin pettämiseen (YMa 848/2017). Tilaajan toiveesta halliosan kantavien rakenteiden palonkestoajaksi määritellään R 30. Tällä lisäyksellä varaudutaan siihen, että kantavia rakenteita ei tarvitse erikseen palosuojata tulevaisuudessa, jos rakennusta laajennetaan tai sen käyttötarkoitus muuttuu.

6 YLEISSUUNNITELMA

Lopulliseen yleissuunnitelmaan valitaan luonnossuunnitelmien paras ehdotelma ja parhaaksi todetut rakenne- ja tilaratkaisut. Yleissuunnitelman pohjalta laaditaan rakennuksen pääpiirustukset rakennusluvan hakua varten. Yleissuunnitelma toimii pohjana jatkosuunnittelulle toteutusvaiheessa. Tässä työssä yleissuunnitelmasta luodaan myös rakennuksen 3D-malli.

6.1 Pohjaratkaisu

Tässä hankkeessa yleissuunnitelman pohjaratkaisu oli alusta alkaen hyvin samanlainen lopullisen ratkaisun kanssa. Rakennuksen lopullinen pohjapiirros on tämän työn liitteessä 2 osana pääpiirustuksia. Kuvassa 4 on pohjapiirros esitettyä ilman mittakaavaa. Halliosaan kaavailtu kylmä varastotila jätetään tässä vaiheessa rakentamatta, mutta suunnittelutarveratkaisuhakemuksessa haetaan rakennusoikeutta erilliselle varastorakennukselle. Halliosan länsipääty ajateltiin rakenteiltaan sellaiseksi, että hallin laajentaminen lännen suuntaan onnistuu ilman suuria rakenteellisia muutoksia. Toimisto-osa oli luonnosvaiheessa ajateltu kaksikerroksiseksi. Toistaiseksi toisen kerroksen tiloille ei kuitenkaan ole tarvetta, joten päädyttiin yksitasoiseen ratkaisuun siten, että toisen kerroksen rakentaminen on tulevaisuudessa mahdollista.



KUVA 4. Valmis pohjapiirros

Rakennuksen länsipäädyssä on halliosaan oma käyntiovi. Päädyn nosto-oven vieressä on varattu tila kahdelle pysäköintipaikalle. Nosto-ovia halliin on yhteensä kolme, joista kaksi on pihan puolelle. Halliin on käynti myös toimisto-osasta. Etelä- ja pohjoisseinien yläosassa on ikkunarivistö, joista halliin saadaan luonnonvaloa. Niitä voidaan käyttää myös savunpoistoon, jos nosto-ovia ei jostain syystä saada avattua. Hallitila voidaan tarvittaessa jakaa kahteen osaan keskelle sijoitettavalla väliseinällä. Toimisto-osan viereen tehdään WC, ja länsipäätyyn asennetaan vesijohdon ja viemärin varaus WC:n rakentamista varten.

Toimisto-osan sisäänkäynti on itäseinällä, josta se näkyy heti kiinteistön pihaan saavuttaessa. Samalla seinällä on myös tekniseen tilaan johtava ovi. Teknisen tilan ”eteisenä” on talovarasto kiinteistönhuollon välineitä varten. Sisäänkäynnin vieressä on kolme autopaikkaa, joista yksi on tarkoitettu liikuntaesteisille. Pääovi avautuu käytävään, josta on suora yhteys rakennuksen kaikkiin muihin tiloihin, paitsi tekniseen tilaan. Käytävän vasemmalla puolella on toimisto ja oikealla puolella taukhuone. Taukhuoneeseen sijoitettiin minikeittiö, jossa on liesi ja jääkaappi ruoan valmistusta ja säilytystä varten. Toimistohuone suunniteltiin siten, että se on mahdollista jakaa väliseinällä kahdeksi tilaksi. Uuteen huoneeseen johtava ovi voidaan sijoittaa käytävän väliseinään. Toimiston ikkunat ovat itä- ja eteläseinillä. Ikkunoista tulee paljon luonnonvaloa ja näkyvyys piha-alueelle on hyvä. Kummallakin seinällä on yksi tuuletusmekanismilla varustettu ikkuna. Kuvassa 5 esitetään rakennuksen julkisivupiirroksia. Mittakaavaan laaditut julkisivupiirroksia on esitetty liitteessä 2.



KUVA 5. Rakennuksen julkisivupiirroksia

Taukhuoneen viereiseen tilaan sijoitettiin saniteettitilat. Valtioneuvoston asetuksessa rakennuksen esteettömyydestä 241/2017 määritellään uudisrakennusten tilojen ja toimintojen soveltumisesta liikuntaesteisille henkilöille. Asetuksen 10 §:ssä määrätään muun uuden rakennuksen kuin asuinrakennuksen WC-tilojen mitoituksista. Rakennuksessa on oltava WC-tila, joka on mitoitettu pyörätuolin tai kävelytelineen käyttäjille. WC-tilassa on oltava kääntymistä varten vähintään 1500 mm halkaisijaltaan oleva vapaa tila. Tämän lisäksi WC-istuin on sijoitettava siten, että sen molemmilla puolilla on vapaata tilaa vähintään 800 mm, ja sen etäisyys takaseinästä on 200 – 300 mm. Saman asetuksen 11 §:ssä määrätään muun kuin uuden asuinrakennuksen hygieniatilojen esteettömyydestä. Jos rakennuksessa on pesu-, puku-, sauna- tai uima-allastiloja, on niistä osan oltava soveltuvia liikuntaesteisille. (VNa 241/2017.) Koska suunniteltava rakennus on mitoitettu vain 1 – 3 henkilön käytölle, päätettiin luopua erillisistä tiloista ja mitoittaa toimisto-osan WC-pesuhuone ja pukuhuone liikuntaesteisille soveltuviksi. Hallin puolelle suunniteltiin lisäksi yksi WC-tila.

6.2 Talotekniikka

Lämmönlähteeksi valikoitui lopulta maalämpö. Hakelämmityksestä luovuttiin, koska se olisi vaatinut erillisen lämpökeskuksen. Maalämpölaitteet sijoitetaan toimisto-osassa olevaan tekniseen tilaan. Samaan tilaan sijoitetaan lämminvesivaraaja, käyttövesijärjestelmän painesäiliö, ilmanvaihtokone ja sähköpääkeskus. Ilmanvaihto on koneellinen ja varustettu lämmön talteenotolla. Lämmönjako toteutetaan vesikiertoisena lattialämmityksenä koko rakennuksessa. Sähkösuunnitelmassa huomioidaan mahdollisuus liittää aurinkopaneelit osaksi sähköntuotantoa. Katolle asennettavat paneelit huomioidaan myös hallin rakennelaskelmissa.

6.3 Rakenteet

Rakennuksen kokonaiskerrosalaksi muodostui lopullisessa suunnitelmassa 575 m² ja kokonaistilavuudeksi 3400 m³. Halliosan vapaa sisäkorkeus on 5,0 m matalimmassa kohdassa pohjoisseinällä. Hallissa on pilari-palkki -runko, johon

kiinnitetään puukattoelementit yläpohja- ja vesikattorakenteeksi sekä puurunkoiset lautaverhoillut seinäelementit ulkoseiniksi. Lattia on maanvarainen teräsbetonilaatta, joka sisältää vesikiertoisen lattialämmityksen. Perustuksena on maanvarainen pilarianturaperustus, joihin kiinnitetään sokkelielementit kannattelemaan ulkoseinäelementtejä.

Toimisto-osan huonekorkeus on 2,6 m. Runkorakenne on paikallarakennettava puurunko, jonka päällä on naulalevyristikot yläpohjan ja vesikaton runkona. Perustuksen antura ja sokkeli tehdään betonista paikallavalaen. Lattia on maanvarainen teräsbetonilaatta vesikiertoisella lattialämmityksellä. Julkisivumateriaalina on halliosan tapaan lautaverhous. Rakennuksen vesikattomateriaalina on kumi-bitumikermi.

6.4 Rakennuksen 3D-malli

Suunnitelma toteutetaan Cadmatic Building -ohjelmalla, joka erityisesti talonrakentamisen suunnitteluun tarkoitettu sovellus. Rakennuksen 3D-malli luodaan ohjelmalla pohjapiirroksista. Pohjapiirros piirretään tasokuvana. Kaikkiin pohjapiirroksessa oleviin elementteihin voidaan syöttää tietoa mm. elementin sijainnista, korkeudesta, mitoista, pintamateriaalista, väreistä jne. Syötettävän tiedon määrä riippuu siitä, miten tarkka rakennuksen mallista halutaan tehdä, ja miten paljon aikaa mallintamiseen halutaan käyttää. Myös muiden suunnittelualojen suunnittelijat voivat syöttää oman suunnitelmansa tähän samaan pohjapiirrokseseen. Kun suunnitelma on valmis, voidaan siitä ottaa esiin tai tulostaa mikä tahansa siihen syötetty suunnitelmaosio. (Cadmatic Oy n.d.)

Pohjapiirroksista saadaan nostettua rakennuksen 3D-kuvanto. Tätä kolmiulotteista rakennuksen mallia voidaan katsoa mistä suunnasta tahansa ja sen sisällä voidaan kulkea. Rakenteisiin syötetty tieto on mallissa nähtävissä. (Cadmatic Oy n.d.) Kolmiulotteinen visuaalisuus on yksi mallintamisen etuja. Rakennuksen ulkoisesta olemuksesta saadaan kolmiulotteisuuden avulla todentuntuinen kuva. Hankaliakin rakenneyksityiskohtia voidaan havainnollistaa jo rakennuksen suunnitteluvaiheessa, ja tarkastella niiden toimivuutta. Kun samaan malliin sisällytetään eri alojen suunnitelmia, voidaan kolmiulotteisesta näkymästä varmis-

taa, että esimerkiksi ilmanvaihtoputket eivät törmää rakenteisiin tai että sähkörasioille on riittävästi tilaa runkopuiden välissä. Rakenteiden 3D-malli on juuri niin tarkka, kuin siitä halutaan tehdä.

Jotta mallia voidaan käyttää tietomallien käsittelyyn tarkoitetuilla ohjelmistoilla, pitää suunnitelman tiedostomuoto muuttua. Tämä tapahtuu Cadmatic -ohjelmassa siten, että suunnitelma vietään IFC-tiedostoksi (Cadmatic Oy n.d.). IFC (Industry Foundation Classes) on avoin standardi tietomallien tallentamiseen ja siirtämiseen ohjelmistosta toiseen. (BuildingSMART Finland. n.d.)

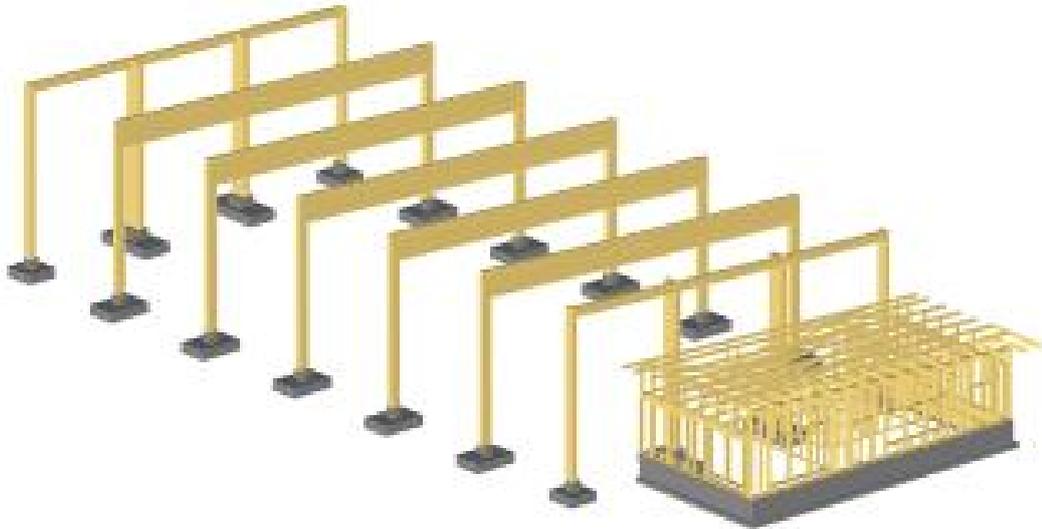
Tässä opinnäytetyön yhtenä tavoitteena oli perehtyä rakennussuunnitelmien mallintamiseen ja laatia toimitilarakennuksesta 3D-malli. Kuvassa 4 on mallista otettu 3D-näkymä rakennuksen julkisivuista kaakon suuntaan.



KUVA 4. 3D-näkymä rakennuksen julkisivusta kaakon suuntaan

7 RAKENNESUUNNITTELU

Tämän työn rakennesuunnittelu -osassa on tarkoituksena tutustua kantavien rakenteiden yhteiseurooppalaisiin mitoitusohjeisiin eli eurokoodeihin. Mitoituksessa keskitytään rakennuksen halliosan vaativien puurakenteiden laskentaan eurokoodien mukaan. Toimisto-osan rakenteet ovat tavanomaisia rankarunkorakenteita, eikä niiden suunnittelua ja mitoitusta käsitellä. Halliosan rakenteista mitoitetaan liimapuiset pääkehän mastopilarit ja -palkit sekä pituussuuntaisena jäykisterakenteena toimivat päätypilari ja -palkki. Pilarien perustusliitoksissa mitoitetaan liimaruuvit ja liimapuupilarikengät. Lisäksi esitetään pilarianturan rakennetekninen mitoitus sivuseinän pääpilarin ja päätypilarin osalta. Laskennan kulku ja niissä käytetyt kaavat selitetään työn tekstiosassa. Varsinaiset mitoituslaskelmat ovat työn liitteinä. Kuvassa 6 on rakennuksen 3D-mallin havainnekuva rakennuksen rungosta ja perustuksista rakennussuunnittelun pohjalta rakennesuunnittelun lähtötilanteessa.



KUVA 6. 3D-havainnekuva rakennuksen puurungosta ja perustuksista arkkitehtisuunnitelman pohjalta rakennesuunnittelun lähtötilanteessa

7.1 Lähtötiedot

Yleissuunnitteluvaiheessa laaditut rakennussuunnitelmat ja rakennuksen pääpiirustukset ovat rakennesuunnittelijan tärkein aineisto lähtötietojen määrittämiseen. Pääpiirustuksista saadaan rakennuksen mm. päämitat, rakennejärjestelmä, ra-

kennusmateriaalit, käyttötarkoitus, paloluokka ja rakennuspaikkakunta. Näiden tietojen perusteella rakennesuunnittelija laatii rakennemallit ja kuormitusyhdistelmät rakennesuunnittelua varten.

Lähtötiedot:

Rakennuspaikkakunta: Akaa

Tuulikuorman

maastoluokka: II

Seuraamusluokka: CC2

Suunniteltu käyttöikä: 50 vuotta

Paloluokka: P3

Liimapuuhallin rakenteet:

Rungon materiaali: Liimapuu GL30c

Palonkestoluokka: R30

Pilarityyppi: Suora mastopilari

Pääpalkin tyyppi: Tasakorkea palkki

Kattorakenne: Kolmeaukkoinen puukattoelementti, pituus 15,3 m

Ulkoseinärakenne: Puurunkoinen ulkoseinäelementti

Rungon jäykistystapa: Poikittaissuunnassa mastopilarikehät, pituussuunnassa päädyn mastopilarit ja päätypalkkipalkki

Hallin liimapuurungon ulkomitat:

Leveys: 15,3 m

Pituus: 30,6 m

Korkeus: 5,00 m (alin sisäkorkeus)

Pääpilarijako: 5,1 m

7.2 Kuormat

Suomessa rakennettavien rakennusten suunnittelussa käytetään ensisijaisesti eurokoodi-standardien suunnittelujärjestelmää. Muidenkin suunnittelujärjestelmien käyttö on sallittua, mutta niitä ei saa käyttää yhdessä eurokoodien kanssa, eivätkä ne saa olla ristiriidassa eurokoodien kanssa. Rakennesuunnittelua var-

ten rakenteen ja siihen vaikuttavat kuormat ja kuormitussäännöt selvitetään perustuen seuraaviin eurokoodeihin sekä niiden kansallisiin liitteisiin (SFS-EN 1990 + A1 + AC, 2006, 10, 24; RIL 201-1-2017, 2017, 22 – 23.):

- SFS-EN 1990 Rakenteiden suunnitteluperusteet
- SFS-EN 1991-1 Yleiset kuormat: Tilavuuspainot, oma paino ja rakennusten hyötykuormat
- SFS-EN 1991-2 Palolle altistettujen rakenteiden rasitukset
- SFS-EN 1991-1-3 Lumikuormat
- SFS-EN 1991-1-4 Tuulikuormat
- SFS-EN 1991-1-6 Toteuttamisen aikaiset kuormat
- SFS-EN 1991-1-7 Onnettomuuskuormat

Lisäksi lämpökuormille sekä nostureiden ja koneiden aiheuttamille kuormille on omat standardit. Kuormat tulee luokitella ajan, alkuperän, liikkuvuuden, luonteen ja rakenteen vasteen perusteella (SFS-EN 1990 + A1 + AC, 2006, 58). Kansalliset liitteet esitetään Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa: Lujuus ja vakaus, rakenteiden kuormat (Ympäristöministeriö, rakenteiden kuormat, 2019).

7.2.1 Seuraamusluokka ja luotettavuusluokan kuormakerroin

Rakennuksen rakenteiden luotettavuudella on vaikutusta kuormitusten suuruuteen. Suomessa määritellään rakennusten ja rakenteiden luotettavuustasot SFS-EN 1990 kansallisen liitteen mukaan kolmella seuraamusluokalla CC1, CC2 ja CC3. Seuraamusluokkaa vastaa luotettavuusluokan kuormakertoimen K_{FI} -luku, jolla kuormitukset kerrotaan. Vähäisten seuraamusten luokassa CC1 kuormakerroin on 0,9 ja suurten seuraamusten luokassa CC3 kerroin $K_{FI}=1,1$. (Ympäristöministeriö, Lujuus ja vakaus, 2016, 23.) Tämä toimitila kuuluu keskisuurten seuraamusten luokkaan CC2, jossa kuormakerroin on 1,0

7.2.2 Käyttöluokka ja toteutusluokka

Käyttöluokka kuvaa puurakenteen suunnittelussa käytettävää kosteusolosuhteiden luokitusta. Käyttöluokalla on vaikutusta puun lujuus- ja jäykkysominaisuuksiin. Käyttöluokkia on kolme: 1, 2 ja 3. Käyttöluokassa 1 kosteus ja lämpötila vastaavat lämmitetyn sisätilan olosuhteita. Käyttöluokassa 2 rakenne on kuivan ja katetun ulkotilan olosuhteissa. Käyttöluokassa 3 rakenteet ovat suuremmissa kosteusrasituksessa kuin kosteusluokassa 2. (RIL 205-1-2017, 2017, 33.) Tässä hankkeessa liimapuurakenteet ja toimisto-osan sahatavara-runko ovat käyttöluokassa 1. Naulalevyristikot toimisto-osan yläpohjassa ovat käyttöluokassa 2.

Puurakenteilla toteutusluokat valitaan Suomen rakentamismääräyskokoelman mukaan. Toteutusluokkia puurakenteilla on kolme: TL1, TL2 ja TL3. Vaatimustaso on vähäisin toteutusluokassa TL1 ja vaativin toteutusluokassa TL3. (Ympäristöministeriö, Puurakenteet, 2016, 5.) Toteutusluokan valinta tehdään seuraamusluokan perusteella seuraavasti:

Seuraamusluokka CC1 => TL1 tai TL2

Seuraamusluokka CC2 => TL2 tai TL3

Seuraamusluokka CC3 => TL3

Seuraamusluokassa CC2 käytetään toteutusluokkaa TL3, kun puurakenteilla toteutetaan yli kolmekerroksisia tai yli 14 m korkeita rakennuksia, tai kun rakennusten toteutukseen ja käyttöön liittyy erityisiä riskejä (SFS 5978, 2014, 10). Tämän rakennuksen seuraamusluokka on CC2. Rakennuksen riskitaso on normaali, jonka perusteella toteutusluokaksi saadaan TL2.

7.2.3 Pysyvät kuormat

Kuormat luokitellaan niiden keston ja aikariippuvuuden mukaan pysyviin, muuttuviin ja onnettomuuskuormiin (SFS-EN 1990 + A1 + AC, 2006, 58). Pysyvän kuorman vaikutus kestää todennäköisesti koko tarkastelujakson, eikä sen suuruus muutu merkittävästi (RIL 201-1-2017, 2017, 21). Pysyvät kuormat muodos-

tuvat pääasiassa rakennuksen osien omista painoista sekä kiinteiden varusteiden ja laitteiden painoista. Välillisiä pysyviä kuormia voi syntyä lämpöliikkeiden, kutistumisen ja rakenteiden epätasaisten painumien aiheuttamista pakkovoimista. Näitä välillisiä kuormia voidaan estää tai ainakin hallita hyvällä rakennesuunnittelulla. Lisäksi pystyrakenteiden vinoudesta ja kuormitusten epäkeskisyydestä aiheutuva lisävaakavoima on pysyvä kuorma. (RIL 201-1-2017, 2017, 21,31.) Tässä opinnäytetyössä käytetyt pysyvät kuormat on esitetty rakennekohtaisesti laskelmien yhteydessä mitoituslaskelmat -liitteissä.

7.2.4 Muuttuvat kuormat

Muuttuvat kuormat ovat ajallisesti vaihtelevia. Rakennukseen vaikuttavia muuttuvia kuormia ovat mm. lumikuormat, tuulikuormat ja erilaiset hyötykuormat. Pysyvien kuormien kohdassa mainitut lämpöliikkeistä syntyvien pakkovoimien aiheuttamat kuormat voivat olla myös muuttuvia kuormia. (RIL 201-1-2017, 2017, 21, 31.) Tässä opinnäytetyössä käytetyt muuttuvat kuormat on esitetty rakennekohtaisesti laskelmien yhteydessä mitoituslaskelmat -liitteissä.

7.2.5 Onnettomuustilanteen kuormat

Onnettomuuskuorma on lyhytaikainen kuorma, jonka kohdistumista rakenteeseen pidetään epätodennäköisenä. Onnettomuuskuorma voi syntyä tulipalon, törmäyksen, räjähdyksen tai muun ennalta arvaamattoman tapahtuman seurauksena. (RIL 201-1-2017, 2017, 21.) Palotilanteen onnettomuuskuormaa on käytetty tässä opinnäytetyössä liimapuupalkin- ja pilarin palomitoituslaskelmissa.

7.3 Mitoitustilanteet

Mitoitustilanteiden valinnassa huomioidaan rakenteiden erilaiset toimintaolosuhteet. Mitoitustilanne voi olla normaali käyttötilanne, tilapäinen käyttötilanne esim. rakentamisen tai korjaamisen aikana, onnettomuustilanne tai maanjäristystilan-

ne. Suunnittelijan on tarkistettava rakenteen toiminta murto- ja käyttörajatiloissa. Murtorajatilán lújuustarkastelussa tulee osoittaa, että rakenteen kestävyuden mitoitusarvo on suurempi kuin kuormien yhteisvaikutuksen mitoitusarvo. Staattisen tasapainon murtorajatilatarkastelussa osoitetaan, että rakennuksen pystyssä pitävien kuormien mitoitusarvo on suurempi kuin kaatavien kuormien mitoitusarvo. Käyttörajatilassa osoitetaan, ettei määrättyä käyttökelpoisuuden mitoitusarvoa ylitetä kuormien mitoitusarvolla. (RIL 201-1-2017, 2017, 29.)

7.3.1 Murtorajatilat

Rajatilamitoituksessa tarkastetaan määrävillä kuormitusyhdistelmillä, ettei mitoitustilanteen rajatiloja ylitetä. Murtorajatiloissa rakenteiden varmuudella suojellaan ihmisten tai tavaroiden turvallisuutta. Murtorajatiloissa rakenteen toimintaa tarkastellaan mm. tasapainon menetyksen suhteen, vaurioitumisen suhteen, murtumisen suhteen, stabiiliuden menetyksen suhteen, väsymisen suhteen ja mekanismiksi muuttumisen suhteen. (SFS-EN 1990 + A1 + AC, 2006, 56; RIL 201-1-2017, 2017, 29 – 30.)

7.3.2 Käyttörajatilat

Käyttörajatiloissa tarkastellaan rakennuksen tai rakenneosan muutoksia käyttötilanteissa. Rakenteen toimivuus ja säilyvyys sekä ulkonäkö ja käyttömukavuus voivat muuttua käyttörajatilojen aiheuttamien vaikutusten johdosta. Käyttörajatiloja voivat olla mm. rakenteen siirtymät, taipumat, värähtely tai vauriot. Käyttörajatilatarkastelussa erotetaan palautumaton ja palautuva rajatila (RIL 201-1-2017, 2017, 30.), kuten esimerkiksi viruman ja lumikuorman aiheuttamat taipumat.

7.3.3 Kuormitusyhdistelmät

Kuormitusyhdistelmissä tarkastellaan eri kuormien samanaikaisen vaikutuksen aiheuttamaa rasitusta rakenteisiin. Määrävissä kuormitustapauksissa yhdiste-

tään samanaikaisesti esiintyvien kuormien arvot. Jokaisessa kuormitusyhdistelmässä on oltava määräävä muuttuva kuorma tai onnettomuuskuorma. (SFS-EN 1990 + A1 + AC, 2006, 78.) Matalissa rakennuksissa määräävä muuttuva kuorma on yleensä lumikuorma tai lumen ja tuulen yhdistelmä. Mitä korkeampi rakennus on, sitä määräävämmäksi kasvaa tuulen vaikutus. Myös pysyvien kuormien vaikutus kasvaa rakennuksen korkeuden kasvaessa.

Tässä työssä tutkitaan laskennallisesti rakenneosien kestävyyttä. Laskelmissa on esitetty vain määräävät kuormitusyhdistelmät rakennusosakohtaisesti. Palkkien mitoituksessa laskenta suoritetaan kuormitusyhdistelmällä: Rakenteiden omapaino 100 % + symmetrinen lumikuorma 100 %. Mastopilarien mitoituksessa laskenta tehdään kuormitusyhdistelmällä: Rakenteiden omapaino 100 % + tuulikuorma 100 % + lumikuorma 70 %.

8 LIIMAPUURUNKO

Liimapuurunko koostuu kantavista mastopilareista sekä niiden varaan tukeutuvista palkeista. Sivuseinillä mastopilarit kannattelevat suoria yksiaukkoisia pääpalkkeja ja jäykistävät rungon poikittaissuunnassa. Päätyseinien mastopilarit jäykistävät rakenteen pituussuunnassa yhdessä yläpään päätypalkkien kanssa. Mastojäykistystä käytettäessä ei tarvita erillisiä jäykistysristikoita, jos mastojen jäykistyskapasiteetti on riittävä. Käytettävän liimapuun lujuusluokka on GL30c.

8.1 Pääpalkin mitoitus

Liimapuukehän pääpalkki on suora yksiaukkoisen palkki. Palkki tukeutuu päistään mastopilarien varaan. Palkit puolestaan kannattelevat kaksiaukkoisia vesikattoelementtejä. Pääpalkeille tulee kuormaa niiden omasta painosta, vesikattoelementtien omasta painosta sekä lumikuormasta. Katon kaltevuus on niin vähäinen, että siihen kohdistuvan tuulikuorman pystykomponentilla ei ole merkitystä. Lisäksi palkille oletetaan tulevan ripustuskuormaa 1 kN/m. Tulevaisuudessa mahdollisesti asennettavien aurinkopaneelien omapaino 0.15 kN/m² lisätään myös vesikaton omaan painoon.

Murtorajatilatarkastelussa palkki mitoitetaan taivutukselle ja leikkausvoimalle. Lisäksi tarkistetaan palkin vaakasuuntainen nurjahdus ja puristuskestävyyden riittävyys tuella. Käyttörajatilassa tarkastetaan palkin taipuma. Palkin mitoituslaskenta on esitetty liitteessä 3. Mitoituksen tuloksena pääpalkin poikkileikkaukseksi saatiin 215*1080 mm.

8.1.1 Taivutuskestävyys

Palkin taivutustarkastelussa tutkitaan kaavojen 1 ja 2 ehtojen toteutuminen (SFS-EN 1995-1-1 + A1 + A2 + AC, 2014, 38).

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (1)$$

$$k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (2)$$

missä

$\sigma_{m,y,d}$ ja $\sigma_{m,z,d}$ ovat jännitysten mitoitusarvot taivutuksessa pääakselien suhteen

$f_{m,y,d}$ ja $f_{m,z,d}$ ovat taivutuslujuuksien mitoitusarvot vastaavissa tapauksissa

k_m on kerroin, joka huomioi jännitysten jakautumisen ja materiaalin epähomogeenisuuden vaikutuksen taivutuskestävyyteen, liimapuisella suorakaidepoikkileikkauksella kertoimen arvo $k_m = 0,7$

8.1.2 Leikkauskestävyys

Palkin leikkauskestävyyssmitoituksessa huomioidaan halkeamien vaikutus käytämällä poikkileikkauksen leveytenä tehollista leveyttä b_{ef} , joka saadaan kaavasta (3) kertoimen k_{cr} avulla (SFS-EN 1995-1-1 + A1 + A2 + AC, 2014, 38).

$$b_{ef} = k_{cr} b \quad (3)$$

missä

k_{cr} on puumateriaalista riippuva kerroin

b on tarkasteltavan poikkileikkauksen leveys

Liimapuusauvoille käytetään kertoimen k_{cr} suositusarvoa 1,0. Leikkauskestävyys osoitetaan kaavan (4) ehdon mukaisesti. (SFS-EN 1995-1-1 + A1 + A2 + AC, 2014, 38.)

$$\tau_d \leq f_{v,d} \quad (4)$$

missä

τ_d on leikkausjännityksen mitoitusarvo

$f_{v,d}$ on leikkauslujuuden mitoitusarvo vallitsevassa tilanteessa

8.1.3 Palkin pään puristuskestävyys

Palkin pään tukipinnan puristuskestävyys tarkastetaan syysuuntaa vastaan kohtisuoralle puristusvoimalle. Puristusjännityksen tulee täyttää kaavan (5) ehdon. (SFS-EN 1995-1-1 + A1 + A2 + AC, 2014, 36.)

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} f_{c,90,d} \quad (5)$$

missä

$\sigma_{c,90,d}$ on puristusjännityksen mitoitusarvo kosketuspinnalla

$k_{c,90}$ on kerroin, joka huomioi kuorman sijainnin, halkeamismahdollisuuden ja puristuman suuruuden

$f_{c,90,d}$ on puristuslujuuden mitoitusarvo syysuuntaa vastaan kohtisuorassa puristuksessa

Sovellusohjeessa RIL 205-1-2017 Puurakenteiden suunnitteluohje (2017), kaava on esitetty muodossa (6)

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,\perp} f_{c,90,d} \quad (6)$$

missä

$k_{c,\perp}$ on tukipainekerroin

Tukipaine kerroin huomioi kosketuspinnan pituuden vaikutuksen puristuslujuuteen. Kerroin lasketaan kaavalla (7) (RIL 205-1-2017, 2017, 72).

$$k_{c,\perp} = \frac{l_{c,90,ef}}{l} k_{c,90} \quad (7)$$

missä

l	on kosketuspinnan pituus syiden suunnassa
$l_{c,90,ef}$	tehollisen kosketuspinnan pituus
$k_{c,90}$	on kerroin, joka huomioi kuorman sijainnin, halkeamismahdollisuu- den ja puristuman suuruuden

Kertoimelle $k_{c,90}$ voidaan käyttää havupuisella liimapuulla arvoa 1,5. Tehollisen kosketuspinnan pituus saadaan lisäämällä kosketuspinnan pituuteen 30 mm per puoli, jos tuki ulottuu vähintään 30 mm tuettavan kappaleen molemmille puolille. (RIL 205-1-2017, 2017, 72 – 73.)

8.1.4 Kiepahduskestävyys

Taivutusmomentin rasittamalle palkille tarkistetaan kiepahduskestävyyden ehto kaavalla (8). Taivutusjännityksen pitää täyttää ehto (SFS-EN 1995-1-1 + A1 + A2 + AC, 2014, 42.)

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} f_{m,d} \quad (8)$$

missä

$\sigma_{m,d}$	on taivutusjännityksen mitoitusarvo
k_{crit}	on kerroin, joka huomioi kiepahdusriskin vuoksi pienentyneen taivutuskestävyyden
$f_{m,d}$	on taivutuslujuuden mitoitusarvo

Kun liimapuupalkin alkukäyryys on enintään 1/500 palkin pituudesta (SFS-EN 1995-1-1 + A1 + A2 + AC, 2014, 96), voidaan kiepahduskertoimen k_{crit} arvo määritellä kaavayhdistelmästä (9) (SFS-EN 1995-1-1 + A1 + A2 + AC, 2014, 43).

$$k_{crit} = \begin{cases} 1 & \text{kun } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75\lambda_{rel,m} & \text{kun } 0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4 \\ \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} & \text{kun } 1,4 < \lambda_{rel,m} \end{cases} \quad (9)$$

Palkin suhteellinen hoikkuus $\lambda_{rel,m}$ saadaan kaavasta (10) (SFS-EN 1995-1-1 + A1 + A2 + AC, 2014, 42).

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} \quad (10)$$

Kriittinen taivutusjännitys $\sigma_{m,crit}$ voidaan laskea havupuiselle sahatavara-, liimapu- ja LVL-suorakaidepalkille kaavalla (11) (RIL 205-1-2017, 2017, 84 – 85).

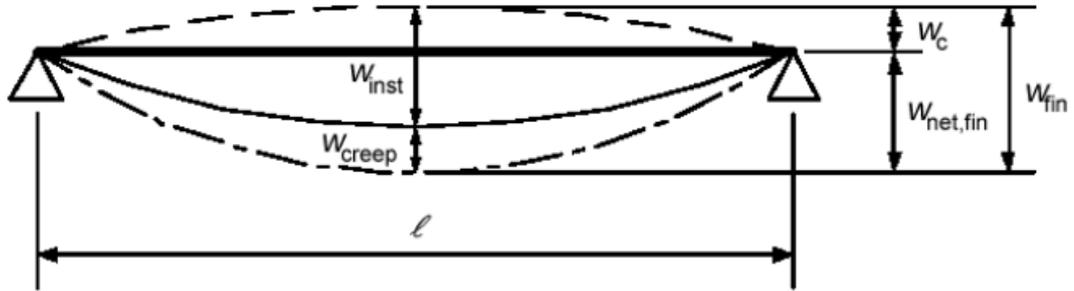
$$\sigma_{m,crit} = \frac{cb^2}{hl_{ef}} E_{0,05} \quad (11)$$

missä

c	on puulaadun kerroin, liimapuulla GL30c $c = 0,70$
b	on palkin leveys
h	on palkin korkeus
l_{ef}	on palkin tehollinen pituus
$E_{0,05}$	on kimmokerroin syynsuuntaisessa kuormituksessa

8.1.5 Taipuma

Käyttörajatilassa tarkastetaan palkin suurin taipuma. Taivutusmomentista ja leikkausvoimasta aiheutuvat taipumat lasketaan erikseen sekä pysyvistä että muuttuvista kuormista. Kokonaistaipuman laskennassa huomioidaan viruman aiheuttama taipuma pysyvillä kuormilla. Taipuman muodostuminen on esitetty kuvassa 7. (SFS-EN 1995-1-1 + A1 + A2 + AC, 2014, 50.)



KUVA 7. Taipuman muodostuminen (SFS-EN 1995-1-1 + A1 + A2 + AC, 2014, 50)

Kuvassa merkityt taipuman eri osat:

W_c	esikorotus
W_{inst}	hetkellinen taipuma
W_{creep}	viruman aiheuttama taipuma pysyvistä kuormista
W_{fin}	kokonaistaipuma
$W_{net,fin}$	lopputaipuma, jossa kokonaistaipumaan on lisätty viruman vaikutus ja siitä on vähennetty esikorotus

Suomen rakentamismääräyskokoelman Puurakenteiden lujuus ja vakaus -osan liitteenä olevan eurokoodin SFS-EN 1995-1-1 kansallinen liite määrittelee puupalkin taipuman raja-arvot. Pääkannattimen kokonaistaipumalle on annettu raja-arvo $L/200$ ja lopputaipumalle raja-arvo $L/300$. Rakenteen taipumien ja vaakasiirtymien raja-arvot on esitetty taulukossa 2. (Ympäristöministeriö, Puurakenteet, 2016, 13.)

TAULUKKO 2. Rakenteen taipumien ja vaakasiirtymien enimmäisarvot. (Ympäristöministeriö, 2016, 13)

Rakenne	$W_{inst}^{1)}$	$W_{net,fin}$	$W_{fin}^{2)}$
Pääkannattimet	$L/400$	$L/300$	$L/200$
Orret ja muut toisiokannattimet	-	$L/200^{3)}$	$L/150$
Rakennuksen vaakasiirtymä	-	$H/300$	-

8.1.6 Poikittaisjäykistys

Liimapuupalkin molemmissa päissä oletetaan vaikuttavan puristava voima N_d , joka aiheutuu palkin pyrkimyksestä kiepahtaa. Palkki on tuettu puristetulta reunalta välein a , joka tässä tapauksessa on kattoelementtien leveys. Kattoelementti kiinnitetään palkkiin elementin reunasta. Liimapuusauvan alkukäyryys saa olla tukivälillä enintään $a/500$. Jokaiselta tuelta edellytetään jousijäykkyyttä C , jonka täytyy täyttää kaavan (12) ehto. (SFS-EN 1995-1-1 + A1 + A2 + AC, 2014, 94.)

$$C = k_s \frac{N_d}{a} \quad (12)$$

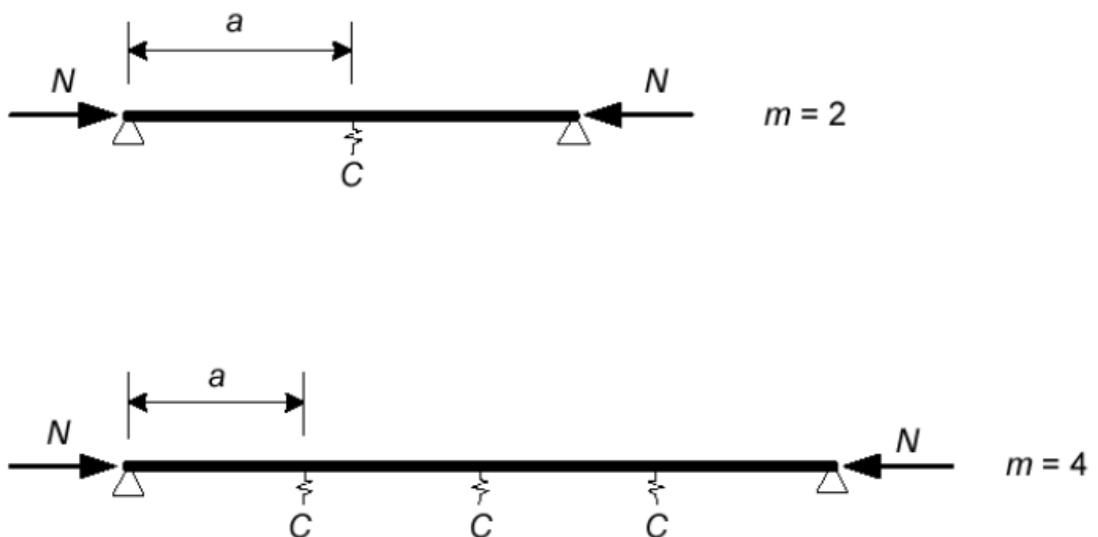
missä

k_s on muunnoskerroin

N_d on puristusvoiman mitoitusarvo, joka rakenneosassa keskimäärin vaikuttaa

a on kiepahdustukien väli

Kuvassa 8 on esimerkkejä poikittaistuetuista puristussauvoista. Mitta a on poikittaistukien väli ja m on poikittaistuettujen kenttien lukumäärä. (SFS-EN 1995-1-1 + A1 + A2 + AC, 2014, 94.)



KUVA 8. Poikittaistuettuja puristussauvoja (SFS-EN 1995-1-1 + A1 + A2 + AC, 2014, 94)

Poikittaisjäykistyksen muunnoskerroimen arvot määritellään kansallisessa liitteessä (Ympäristöministeriö, Puurakenteet, 2016, 14). Taulukossa 3 on esitetty kertoimen k_s arvo, kun m on välein a tuettujen kenttien lukumäärä ≥ 2 .

TAULUKKO 3. Muunnoskerroimien k_s ja k_f arvot (Ympäristöministeriö, Puurakenteet 2016, 14)

Muunnoskerroin	Arvo
k_s	$2 + 2 \cos\left(\frac{180^\circ}{m}\right)^{*)}$
$k_{f,1}$	50
$k_{f,2}$	80
$k_{f,3}$	50

Palkin päissä vaikuttava puristusvoima N_d määritetään kaavalla (13) (SFS-EN 1995-1-1 + A1 + A2 + AC, 2014, 94).

$$N_d = (1 - k_{crit}) \frac{M_d}{h} \quad (13)$$

missä

M_d on suurimman momentin mitoitusarvo

h on palkin korkeus

Kiepahduskerroin k_{crit} lasketaan kaavayhdistelmästä (9). Kriittisen taivutusjännityksen $\sigma_{m,crit}$ laskennassa käytetään tehollisena pituutena taulukon 4 (SFS-EN 1995-1-1 + A1 + A2 + AC, 2014, 43) sekä kansallisen liitteen kohdan 6.3.3 mukaan määritettyä kiepahduspituutta (Ympäristöministeriö, Puurakenteet, 2016, 12).

TAULUKKO 4. Tehollisen pituuden suhde jänneväliin (SFS-EN 1995-1-1 + A1 + A2 + AC, 2014, 43)

Palkin tuenta	Kuormituksen tyyppi	ℓ_{ef}/ℓ^a
Vapaasti tuettu	Vakiomomentti	1,0
	Tasaisesti jakautunut kuorma	0,9
	Pistekuorma jänteen keskellä	0,8
Uloke	Tasaisesti jakautunut kuorma	0,5
	Pistekuorma vapaassa päässä	0,8

^a Tehollisen jännevälin ℓ_{ef} ja todellisen jännevälin ℓ suhde on voimassa palkilla, joka ei tuillaan pääse kiertymään pituusakselin ympäri ja johon kuormitus vaikuttaa painopisteen korkeudella. Jos kuormitus vaikuttaa palkin puristetun reunan korkeudella, tehollisen pituuden ℓ_{ef} arvoa suurennetaan mitan $2h$ verran, ja sitä voidaan pienentää mitan $0,5h$ verran, jos kuormitus vaikuttaa vedetyn reunan korkeudella.

Kansallisen liitteen kohdan 6.3.3 mukaan kuormituksen vaikuttaessa palkin puristetulla reunalla välein a tuetussa palkissa, tehollisena kiepahduspituutena voidaan käyttää mitta $\ell_{ef} = a + 2h$ (Ympäristöministeriö, Puurakenteet, 2016, 12).

Kiepahdustukeen syntyvä stabiloiva voima liimapuulla lasketaan kaavasta (14) (SFS-EN 1995-1-1 + A1 + A2 + AC, 2014, 94).

$$F_d = \frac{N_d}{k_{f,2}} \quad (14)$$

missä

N_d on puristusvoima kaavasta (13)

$k_{f,2}$ on muunnoskerroin taulukosta 2

Moniaaltoisen kiepahduksen ehto on määritelty sovellusohjeessa RIL 205-1-2017. Jos kriittinen aallonpituus l_s on pidempi kuin jännevälin l puolikas, ei moniaaltoista kiepahdusta pääse tapahtumaan. Tällöin yksittäisten kiepahdustukien stabiloivat voimat F_d voidaan laskea yhden kiepahdusaallon tuentavoimasta kaavalla (15). (RIL 205-1-2017, 2017, 172.)

$$F_d = k_t \frac{N_d}{50l} a \quad (15)$$

Kerroin k_l saadaan kaavan (16) ehdolla (RIL 205-1-2017, 2017, 172).

$$k_l = \min \left\{ \frac{1}{\sqrt{\frac{15}{l}}} \right\} \quad (16)$$

Kriittinen aallonpituus l_s moniaaltoisessa kiepahduksessa määritetään kaavayhdistelmästä (17) (RIL 205-1-2017, 2017, 171).

$$l_s = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{\pi}{\sqrt{\frac{C}{aE_{0,05}I_z}}} \\ 2a \end{array} \right\} \quad (17)$$

missä

C on kaavalla (12) laskettu jousijäykkyys

I_z on palkin jäyhyysmomentti heikommassa suunnassa

8.2 Sivuseinän mastopilarin mitoitus

Sivuseinän mastopilari on pääpalkin levyinen suora pilari. Pilariin kohdistuu pääpalkilta tuleva pystysuora kuormitus omista painoista sekä katon lumikuormista ja ripustuskuormista. Vaakasuuntaisia pilariin vaikuttavia kuormia ovat tuulikuorma rakennuksen korkeudelta ja pilarijaon leveydeltä, sekä vesikaton tasolla vaikuttava lisävaakavoima $H=N_d/150$. (RIL 201-1-2017, 2017, 79.)

Murtorajatilatarkastelussa tutkitaan pilarin nurjahduskestävyys, vedetyn reunan kiepahduskestävyys ja leikkauskestävyys. Lisäksi pilarille suoritetaan seinän suuntaisen jäykistyksen tarkastelu samalla menetelmällä kuin edellä esitettiin palkin laskennassa. Käyttörajatilassa tarkastetaan pilarin taipuma. Tässä osassa selitetään pilarin nurjahduskestävyyden tarkastelu, muut tarkastelut noudattavat edellä selitetyjä palkin laskennan menetelmiä ja kaavoja.

Mastopilarin mitoituslaskenta on esitetty liitteessä 4. Pilarin poikkileikkausmitoksi saatiin laskennan kautta 270*405 mm.

8.2.1 Nurjahduskestävyys

Puristetun sauvan nurjahduspituus määritetään sauvan tuentatavan perusteella. Nurjahduspituuden arvo valitaan tavallisissa tuentatapauksissa kansallisen liitteen kohdan 6.3.2 mukaan taulukosta 5. (Ympäristöministeriö, Puurakenteet, 2016, 11.)

TAULUKKO 5. Puristussauvan nurjahduspituuksia (Ympäristöministeriö, Puurakenteet, 2016, 11)

<i>Tuentatapa</i>	<i>Nurjahduspituus L_c</i>
<i>Sauva on jäykästi kiinnitetty toisesta ja nivelellisesti toisesta päästään, sivusiirtymätön rakenne</i>	<i>0,85 L</i>
<i>Sauva on nivelöity molemmista päistään</i>	<i>1,0 L</i>
<i>Sauva on poikittaistuettu nurjahduksen suunnassa välein a</i>	<i>1,0 a</i>
<i>Sauva on jäykästi kiinnitetty toisesta päästään ja on vapaa toisesta päästään</i>	<i>2,5 L</i>

Nurjahduspituuden perusteella määritetään sauvan hoikkuusluku kaavalla (18). Hoikkuusluku saa pysyvissä rakenteissa olla enintään 200. (RIL 205-1-2017, 2017, 79.)

$$\lambda_y = \frac{L_{c,z}}{i_y} \quad (18)$$

missä

λ_y on hoikkuusluku taivutuksessa y-akselin suhteen

$L_{c,z}$ on pilarin nurjahduspituus z-akselin suuntaisessa nurjahduksessa

i_y on pilarin poikkileikkauksen jäyhyys säde y-akselin suhteen, joka lasketaan kaavalla (19) (RIL 205-1-2017, 2017, 79)

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} \quad (19)$$

missä

I_y on pilarin poikkileikkauksen jäyhyysmomentti y-akselin suhteen
 A on pilarin poikkileikkauksen pinta-ala

Pilarin suhteellinen hoikkuus λ_{rel} lasketaan kummankin pääakselin suhteen tapahtuvassa taivutuksessa kaavoilla (20) ja (21) (SFS-EN 1995-1-1 + A1 + A2 + AC, 2014, 41).

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad (20)$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad (21)$$

missä

$\lambda_{rel,y}$ on sauvan suhteellinen hoikkuus y-akselin suhteen
 $f_{c,0,k}$ on puristuslujuuden ominaisarvo syynsuunnassa
 $\lambda_{rel,z}$ on sauvan suhteellinen hoikkuus z-akselin suhteen

Mikäli suhteelliset hoikkeudet $\lambda_{rel,y} \leq 0,3$ ja $\lambda_{rel,z} \leq 0,3$, taivutuksen ja puristuksen yhteisvaikutuksen jännitysten tulee täyttää kaavojen (22) ja (23) ehdot (SFS-EN 1995-1-1 + A1 + A2 + AC, 2014, 40 – 41).

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (22)$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (23)$$

missä

$\sigma_{c,0,d}$ on puristusjännityksen mitoitusarvo syynsuunnassa
 $f_{c,0,d}$ on puristuslujuuden mitoitusarvo syynsuunnassa

Taipumisen aiheuttaman jännitysten kasvamisen takia kaikissa muissa tapauksissa yhteisvaikutusten tulee täyttää kaavojen (24) ja (25) ehdot (SFS-EN 1995-1-1 + A1 + A2 + AC, 2014, 41).

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (24)$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z}f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (25)$$

Nurjahduskertoimien $k_{c,y}$ ja $k_{c,z}$ laskennassa tarvittavien kertoimien k_y ja k_z määrittäminen tehdään kaavoilla (26) ja (27) (SFS-EN 1995-1-1 + A1 + A2 + AC, 2014, 41).

$$k_y = 0,5 \left(1 + \beta_c (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2 \right) \quad (26)$$

$$k_z = 0,5 \left(1 + \beta_c (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2 \right) \quad (27)$$

missä

β_c on alkukäyrydestä riippuva kerroin, ja sen arvo liimapuulla on 0,1 (SFS-EN 1995-1-1 + A1 + A2 + AC, 2014, 42)

Nurjahduskertoimet $k_{c,y}$ ja $k_{c,z}$ määritetään kaavoilla (28) ja (29) (SFS-EN 1995-1-1 + A1 + A2 + AC, 2014, 41).

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} \quad (28)$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} \quad (29)$$

8.3 Päädyn mastopilari ja päätypalkki

Päätypilarit yhdessä päätypalkin kanssa muodostavat liimapuurungon pituussuuntaisen jäykistysjärjestelmän. Pilarit ovat momenttijäykästi kiinnittyneinä perustuksiin ja päätypalkki jakaa pääpalkeilta kattoelementtien kautta tulevan nurjahdusvoiman päätypilareille. Sisäisen jäykistyskuorman, lisävaakavoiman ja muiden ulkoisten vaakakuormien (tuuli, katon kitkakuorma) aiheuttama jäykistysrakenteen vaakataipuma saa olla enintään $l/500$, missä l on kokonaisjännenväli. (SFS-EN 1995-1-1 + A1 + A2 + AC, 2014, 95.) Poikittaisjäykisteen vaakasiirtymä lasketaan lopputilan taipumana murtorajatilän mitoituskuormituksella (RIL 205-1-2017, 2017, 172). Tämä vaakasiirtymän ehto on päätypilarin mitoitettava tekijä rakennemallissa, jossa päätypilari jäykistää rakennuksen pituussuunnassa.

Pituussuuntaiselle jäykisterakenteelle kertyy ulkoista kuormaa tuulikuorman lisäksi pääpalkkien asennusvinoudesta muodostuvasta lisävaakavoimasta. Lisävaakavoima rakennuksen pituussuunnassa lasketaan pääpalkin kuormista kaavalla (30). Kaava antaa tuloksena lisävaakavoiman yhdeltä palkilta, koko rakenteelta muodostuva voima saadaan kertomalla tulos palkkien lukumäärällä. (RIL 201-1-2017, 2017, 79.)

$$H_{dl} = \frac{b}{l} * \frac{N_d}{150} \geq \frac{N_d}{250} \quad (30)$$

missä

H_{dl} on lisävaakavoiman mitoitusarvo rakennuksen pidemmässä suunnassa

b on rakennuksen leveys

l on rakennuksen pituus

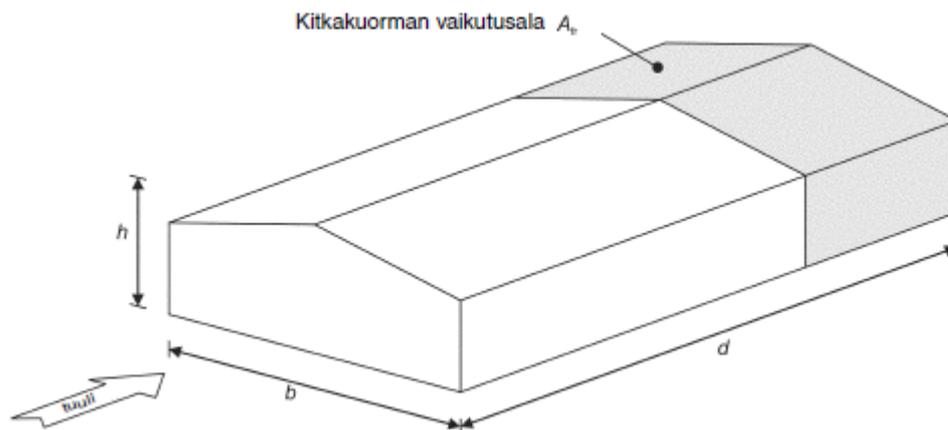
N_d on lisävaakavoiman aiheuttama pystykuorman mitoitusarvo

Ulkoista kuormaa jäykistysrakenteelle tulee myös katon kitkan aiheuttamasta tuulikuormasta. Kitkakuorman merkitys on suurempi pitkillä rakennuksilla ja profiloituilla pintamateriaaleilla. Kuorma huomioidaan kokonaistuulikuormassa kitkakertoimen c_{fr} ja kitkakuorman vaikutusalan A_{fr} avulla. Kitkakertoimen arvot on

esitetty taulukossa 6. Kitkakuorman vaikutusalan laskentaperusteita suorakaitteen muotoisella rakennuksella havainnollistetaan kuvassa 9. (SFS-EN 1991-1-4+AC+A1, 2011, 110-112.)

TAULUKKO 5. Kitkakertoimet c_{fr} . (SFS-EN 1991-1-4+AC+A1, 2011, 110)

Pinta	Kitkakerroin c_{fr}
Sileä (eli teräs, sileä betoni)	0,01
Karhea (eli karhea betoni, bitumihuopa)	0,02
hyvin karhea (eli aalto-, ripa- tai poimuprofilointi)	0,04



KUVA 9. Kitkakertoimen vaikutusala (SFS-EN 1991-1-4+AC+A1, 2011, 112)

Sovellusohjeen RIL 201-1-2017 mukaan kitkakuorman vaikutusalan pituus saadaan kaavasta (31) (RIL 201-1-2017, 2017, 170).

$$d = \min[2b, 4h] \quad (31)$$

missä

d on rakennuksen pituus

b on rakennuksen leveys

h on rakennuksen korkeus

Pääpalkkien kiepahdustuennasta muodostuva sisäinen jäykistyskuorma laskeaan kaavalla (32) (RIL 205-1-2017, 2017, 172).

$$q_d = k_l \frac{nN_d}{50l} \quad (32)$$

missä

q_d	on sisäinen jäykistyskuorma
k_l	on kerroin, joka saadaan kaavasta (16)
n	on vierekkäisten tuettavien palkkien lukumäärä
N_d	on kiepahdustuettavan palkin puristusvoiman mitoitusarvo
l	on palkin jänneväli

Edellä mainittujen kuormien murtorajatilan laskenta-arvojen yhteisvaikutuksen aiheuttama taipuma lasketaan erikseen pääty pilarille ja -palkille. Näiden yhteenlaskettu lopputaipuma eli rakenteen vaakasiirtymä katon tasolla saa olla enintään $l / 500$.

Vaakasiirtymätarkastelun lisäksi pääty palkille ja -pilarille tehdään kohtien 12.1 ja 12.2 mukaiset kestävyystarkastelut. Pääty rakenteiden mitoitus on esitetty liitteessä 5. Mitoituslaskennan kautta pääty palkiksi saatiin 215*360 mm ja -pilareiksi 240*675 mm.

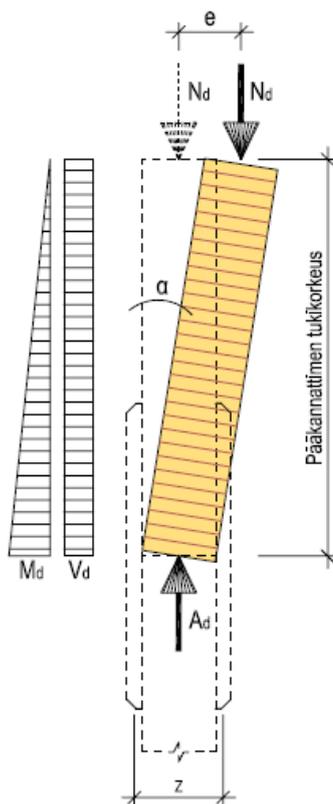
8.4 Pääpalkin ja mastopilarin välinen hankolautaliitos

Pääpalkki ja sivuseinän mastopilari liitetään toisiinsa kaksipuoleisilla hankolautoilla. Hankolautojen materiaali on liimapuuta GL30cs. Liitosta kuormittaa palkilta tulevan kuormituksen epäkeskisyydestä johtuva lisävaakavoima ja katon kitkan tuulikuorma sekä tuulikuorma palkin ja vesikaton korkeuden osalta. Liitosmitoituksessa määritellään hankolaudan koko sekä vaadittava liitinmäärä ja -koko.

Hankolautaliitoksen määrittämiseen ei ole olemassa määräystasoista mitoitusohjeistusta. Tässä työssä hankolautaliitoksen mitoitus on tehty HalliPES 1.0:n mi-

toitusohjeen (Puuinfo, Voimaliitokset, 2015) ja Puuinfo Oy:n hankolautaliitoksen esimerkkilaskelman (Puuinfo, Hankolautaliitos, 2018) mukaan. Laskenta noudattaa laskentaesimerkin mallia, joten sitä ei tässä kaikilta osin yksityiskohtaisesti selitetä.

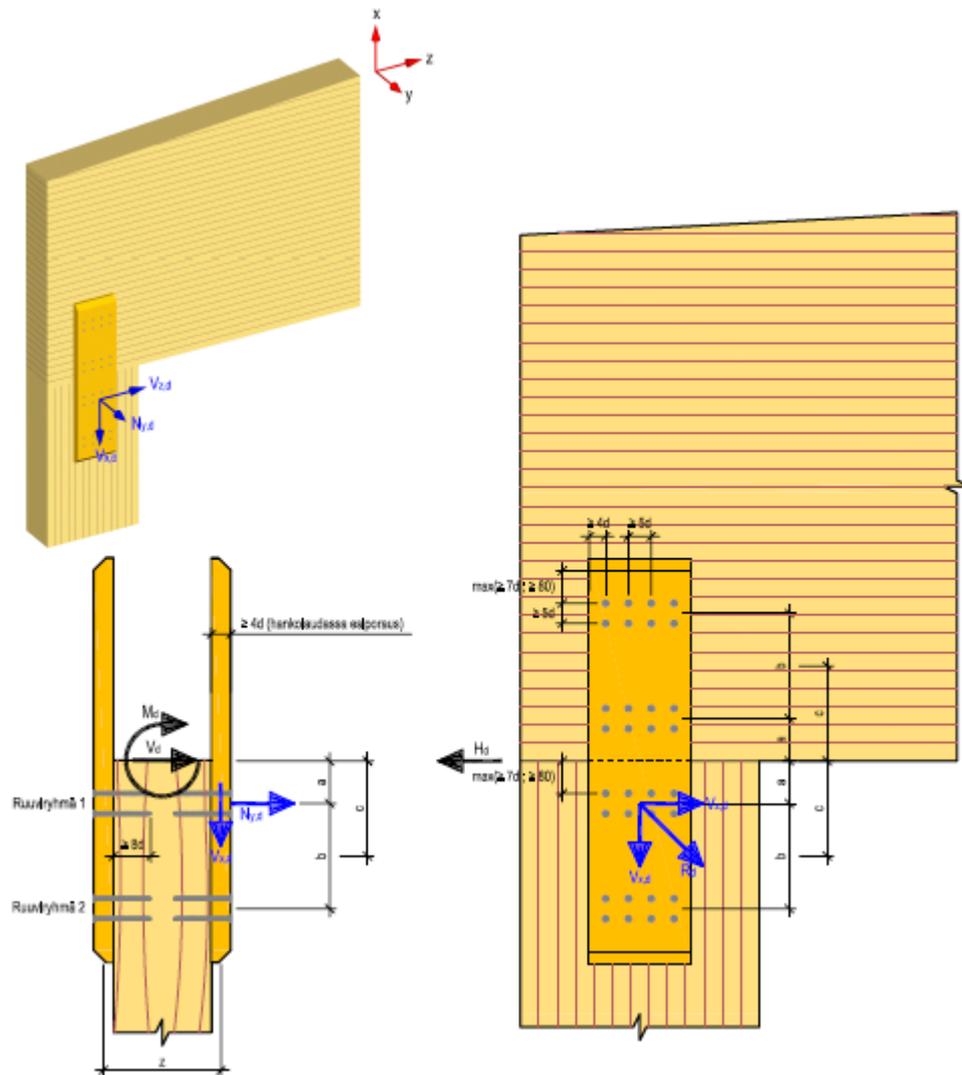
Jotta liitokseen syntyvät voimat voidaan määrittellä, lähtötietona mallinnetaan liitoksen rakenne sisältäen hankolaudan mitat, liittimien määrät ja etäisyydet sekä liitoksen epäkeskisyydet. Voimien suuruus riippuu pääasiassa palkin mahdollisesta kaltevuudesta (kuva 10). Kaltevuuskulma α aiheuttaa liitokseen epäkeskisyyden e . Palkin kallistuma synnyttää liitokseen taivutusmomenttia ja leikkausvoimaa. Muut liitokseen vaikuttavat voimat saadaan palkin ja pilarin mitoitustalokelmista. Liitoksen sauman ja uloimman liittimen välinen etäisyys on rajoitettu palkin korkeuden kolmannekseen $H / 3$, jotta palkin kosteusmuodonmuutokset voivat tapahtua vapaasti. (Puuinfo, Voimaliitokset, 2015, 17.)



KUVA 10. Palkin yläreunan siirtymä (Puuinfo, Voimaliitokset, 2015, 18)

Liitoksen akselit valitaan kuvan 11 mukaisesti siten, että palkin suunta on z-akseli, pilarin suunta on y-akseli ja x-akseli on näitä vastaan kohtisuorassa. Liitosvoimat lasketaan yhden hankolaudan puolikkaassa olevalle liitinryhmälle. Tuloksena saadaan liitinryhmään vaikuttavat leikkausvoimat vaaka- ja pys-

tysuuntaan sekä näiden resultantti ja liittimiä ulosvetävä voima. Lisäksi laskeaan hankolautaan vaikuttava leikkausvoimat palkin suunnassa z ja palkkia vastaan kohtisuorassa suunnassa y sekä hankolautaan vaikuttava taivutusmomentit z - ja y -akselien suhteen. (Puuinfo, 2015, Voimaliitokset, 19.)



KUVA 11. Hankolautaliitoksen akselit ja liitoksessa vaikuttavat voimat. (Puuinfo, Voimaliitokset, 2015, 19)

Hankolautaliitoksessa käytettävät liittimet voivat olla nauvoja, ruuveja tai pultteja. Tämän opinnäytetyön hankolautaliitoksen laskennassa on käytetty ruuveja Puuinfon esimerkkilaskelman mukaisesti. Siksi ruuvimitoitusta ei tässä yhteydessä selitetä yksityiskohtaisesti.

Ruuvi kannattaa yksilöidä ja käyttää ruuvivalmistajan ETA-lausuntoa, jolloin saadaan hyödynnettyä köysivaikutusta ja kasvatettua liitoksen kapasiteettia.

Lisäksi ruuvien tehollisena paksuutena voidaan käyttää ruuvien nimellistä paksuutta. (Pitkänen, 2018, 6.) Ruuvien välisten etäisyyksien ja reunaetäisyyksien minimiarvot määritellään ruuvien ETA-lausunnon (ETA-11/0190, 2018, 17) mukaan eurokoodin SFS-EN 1995-1-1 naulavälien minimietäisyyksien mukaisesti. Naulavälien ja reunaetäisyyksien minimiarvot on esitetty taulukossa 7 (SFS-EN 1995-1-1 + A1 + A2 + AC, 2014, 61). Hankolaudan mitat ja ruuvien ominaisuudet valitaan siten, että kaikki esitetyt vähimmäisetäisyydet täyttyvät.

TAULUKKO 7. Naulavälien ja reunaetäisyyksien minimiarvot (SFS-EN 1995-1-1 + A1 + A2 + AC, 2014, 61)

Väli tai etäisyys (ks. kuvaa 8.7)	Kulma α	Naulavälin tai pääty- tai reunaetäisyyden vähimmäisarvo		
		ei reikien esiporausta		reikien esiporaus
		$\rho_k \leq 420 \text{ kg/m}^3$	$420 \text{ kg/m}^3 < \rho_k \leq 500 \text{ kg/m}^3$	
Naulaväli a_1 (syysuunnassa)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$d < 5 \text{ mm}$: $(5 + 5 \cos \alpha) d$ $d \geq 5 \text{ mm}$: $(5 + 7 \cos \alpha) d$	$(7 + 8 \cos \alpha) d$	$(4 + \cos \alpha) d$
Naulaväli a_2 (syysuuntaa vastaan kohtisuoraan)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$5d$	$7d$	$(3 + \sin \alpha) d$
Etäisyys $a_{3,i}$ (kuormitettuun päähän)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$(10 + 5 \cos \alpha) d$	$(15 + 5 \cos \alpha) d$	$(7 + 5 \cos \alpha) d$
Etäisyys $a_{3,e}$ (kuormittamat- tomaan päähän)	$90^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$10d$	$15d$	$7d$
Etäisyys $a_{4,i}$ (kuormitettuun reunaan)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$d < 5 \text{ mm}$: $(5 + 2 \sin \alpha) d$ $d \geq 5 \text{ mm}$: $(5 + 5 \sin \alpha) d$	$d < 5 \text{ mm}$: $(7 + 2 \sin \alpha) d$ $d \geq 5 \text{ mm}$: $(7 + 5 \sin \alpha) d$	$d < 5 \text{ mm}$: $(3 + 2 \sin \alpha) d$ $d \geq 5 \text{ mm}$: $(3 + 4 \sin \alpha) d$
Etäisyys $a_{4,e}$ (kuormittamat- tomaan reunaan)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$5d$	$7d$	$3d$

Ruuviryhmän leikkauskapasiteetti tarkastetaan x- ja z-akselien suuntaisten leikkausvoimien resultanttia vastaan. Ruuvien vetomitoitustarkastelussa tutkitaan, ettei palkin vinoudesta aiheutuva ulosvetovoima ylitä ruuvien vetomurtokestävyyttä. Myös tartuntakapasiteetti tarkastetaan samaa ulosvetovoimaa vastaan. Lisäksi tutkitaan ruuvien yhdistetty veto- ja leikkauskapasiteetti leikkausvoiman resultantin ja ulosvetovoiman yhteisvaikutukselle.

Hankolauta mitoitetaan eurokoodin SFS-EN 1995-1-1 mukaan. Hankolaudan leikkauskestävyys tarkastetaan palkin suunnassa z ja kohtisuorassa vaakasuunnassa y. Leikkauskestävyyden täytyy täyttää kaavan (4) ehto molemmissa suunnissa. Hankolaudan taivutuskestävyys tutkitaan z- ja y-akselien suhteen. Taivutuskestävyyden mitoitusehto tarkastetaan kaavojen (1) ja (2) ehtojen mukaisesti.

Hankolautaan kohdistuva veto- ja puristusvoima ovat yhtä suuret. Veto- ja puristuskestävyys tarkastetaan kaavoilla (33) ja (34). (SFS-EN 1995-1-1 + A1 + A2 + AC, 2014, 36.)

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d} \quad (33)$$

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d} \quad (34)$$

missä

$\sigma_{t,0,d}$	on vetojännityksen mitoitusarvo syynsuuntaan
$f_{t,0,d}$	on syynsuuntaisen vetolujuuden mitoitusarvo
$\sigma_{c,0,d}$	on puristusjännityksen mitoitusarvo syynsuuntaan
$f_{c,0,d}$	on syynsuuntaisen puristuslujuuden mitoitusarvo

Lisäksi hankolaudan kestävyys tarkastetaan yhdistetyille veto- ja taivutusjännityksille kaavoilla (35) ja (36) (SFS-EN 1995-1-1 + A1 + A2 + AC, 2014, 40) sekä yhdistetyille puristus- ja taivutusjännityksille kaavoilla (22) ja (23), kun oletetaan, että hankolauta ei nurjahda.

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (35)$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (36)$$

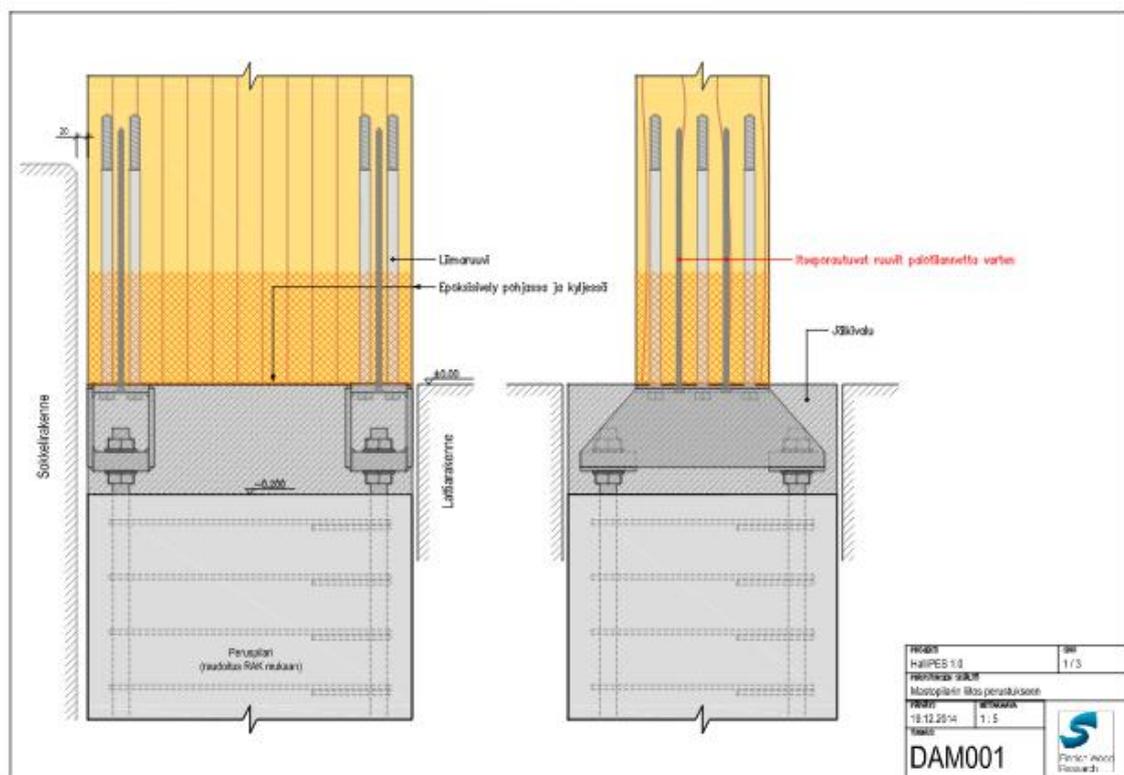
Standardin SFS-EN 1995-1-1 kansallisen liitteen mukaan lohkeamismurtuminen pitää tarkastaa vedettyjen puuosien sauvanpäällitöksissä, kun ne ovat kaksi- tai useampileikkeisiä (Ympäristöministeriö, Puurakenteet, 2016, 15). Lohkeamis-

murtotarkastelussa noudatetaan RIL 205-1-2017 suunnitteluohjetta. Palalohkeamiskestävyyttä ei tarvitse tarkastaa puuosien välisissä puikkoliitoksissa. Läpiloikeamiskestävyys tarkastetaan, jos liittimien määrä puun syysuunnassa on enemmän kuin 4 ja liittimien välinen etäisyys poikittaissuunnassa on vähemmän kuin 5 kertaa liittimen paksuus. (RIL 205-1-2017, 2017, 107 – 108.)

Liitoksen laskenta on esitetty liitteessä 6. Hankolautojen mitoiksi saatiin laskennan kautta 56*240*920 mm. Liittimiksi valikoitui ruuvit Wurth Assy plus VG 8*120. Yhteen hankolautaan asennetaan 4 ruuviryhmää, joissa jokaisessa on 6 ruuvia.

9 LIIMAPUURUNGON LIITOS PERUSTUKSIIN

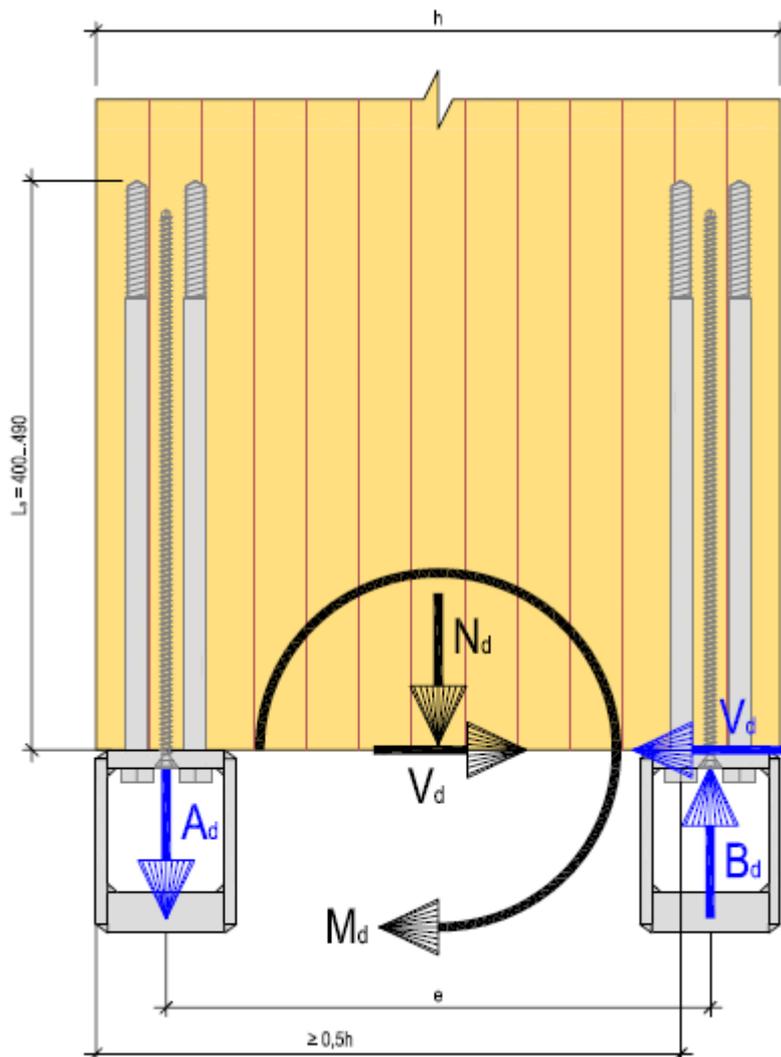
Mastopilareina toimivat liimapuupilarit vaativat momenttijäykän liitoksen perustuksiin. Nykyaikainen liitostapa Suomessa on käyttää tähän tarkoitukseen suunniteltuja liimapilarikenkiä (kuva 11). Kenkä on pilarin levyinen ja niitä asennetaan 2 kpl pilariliitosta kohden, toinen pilarin vetopuolelle ja toinen puristuspuolelle. Kengät kiinnitetään liimapuupilariin liimaruuveilla. Kengissä on valmiina reiät ruuveja varten ko. kengän kapasiteetin vaatima määrä. Liimaruuvit ovat päästään kierteistettyjä kansiruuveja, jotka ruuvataan liimapuupilariin esiporatuihin reikiin. Ruuviliitos varmistetaan liimauksella, jossa liimana käytetään epoksiliimaa. Kenkien asennus pilareihin suoritetaan tehtaalla, työmaaliimaus ei ole sallittu. Työmaalla pilarissa olevat kengät kiinnitetään perustuksissa oleviin peruspultteihin. Liitos varmistetaan jälkivalamalla liitoskohta betonilla. Yleensä pilarikenkäliitos suunnitellaan siten, että se jää lattiapintatason alapuolelle. Liimapuupilarin jäädessä betonin sisään täytyy huolehtia betonin kanssa kosketuksissa olevan puun kosteuseristämisestä esim. epoksisivelyllä. (Puuinfo, Voimaliitokset, 2015, 2-4.)



KUVA 11. Liimapuupilarikenkäliitos (Puuinfo, Voimaliitokset, 2015, 2)

9.1 Mastopilarin perustusliitos liimapuupilarikengillä ja liimaruuveilla

Perustusliitoksen mitoituksen kulku selitetään tässä Puuinfo Oy:n mitoitusohjeen (Puuinfo, Voimaliitokset, 2015, 4) mukaan. Liitoksen rasitukset saadaan pilarin mitoituslaskelmasta. Niiden oletetaan vaikuttavan kuvan 12 mukaisesti pilarin alapään keskipisteessä. Taivutusmomentti saadaan jaettua pilarikengille veto- ja puristusvoimaksi laskemalla kenkien liimaruuviryhmien keskipisteiden välinen etäisyys e ja asettamalla tämä etäisyys vuorotellen veto- ja puristusvoiman momenttivarreksi. Normaalivoima jakautuu tasan kummallekin pilarikengälle. (Puuinfo, Voimaliitokset, 2015, 4.)



KUVA 12. Liimaruuviliitoksessa vaikuttavat voimat. (Puuinfo, Voimaliitokset, 2015, 4)

Liitoksessa käytettävät liimaruuvit ovat keskenään samanlaisia, liitoksen kapasiteetti riippuu liimaruuvien määrästä ja ruuvien tehollisesta pituudesta. Liimaruuvit ovat kärkeänsä kierteistettyjä kansiruuveja, joiden halkaisija on 19 mm. Ruuvien tartuntapituus puussa on 400 mm – 900 mm. Liimaruuvien lujuusluokan ollessa 5.8, liimana käytetään epoksiliimaa. Lujuusluokan S235 ruuvia käytettäessä voidaan käyttää myös polyuretaaniliimaa. Liimaruuvien ulosvetokestävyys lasketaan kaavasta (37). (Puuinfo, Voimaliitokset, 2015, 4.)

$$R_{ax,d} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{R_{y,k}}{\gamma_{M,y}} \\ k_{mod} \frac{R_{a,k}}{\gamma_M} \end{array} \right. \quad (37)$$

missä

$R_{ax,d}$	on liimaruuvien ulosvetokestävyysmitoitussarvo
$R_{y,k}$	on ruuvien myötökestävyyden ominaisarvo
$\gamma_{M,y}$	on osavarmuusluku ruuvien myötökestävyydelle
k_{mod}	on liimapuun muunnoskerroin
$R_{a,k}$	on ruuvien tartuntakestävyysmitoitussarvo
$\gamma_{M,y}$	on osavarmuusluku liimapuulle

Vedetyn liimaruuviryhmän kokonaiskapasiteetille on asetettu kaavan (38) mukainen ehto (Puuinfo, Voimaliitokset, 2015, 4).

$$F_{t,d} \leq n_t^{0,9} R_{a,d} \quad (38)$$

missä

$F_{t,d}$	on vedetyn liimaruuviryhmän mitoituskuorma
n_t	on ruuvien lukumäärä ko. liimaruuviryhmässä
$R_{a,d}$	on ruuvien tartuntakestävyysmitoitussarvo

Pilariliitoksen puristuspuoli mitoitetaan pilarikengän puristetun pinta-alan mukaan, eli liimaruuvien kapasiteettia ei lasketa mukaan puristuspuolen kapasiteettiin. Puristuskapasiteetin tulee täyttää kaavan (34) ehto.

Liitoksen leikkausvoimakestävyys mitoitetaan puristettujen liimaruuvien yhteenlasketulla leikkausvoimakapasiteetilla. Vetopuolen ruuvien ei oleteta omaavan leikkauskestävyyttä. Puristetun liimaruuviliitoksen leikkauskapasiteetin laskentiarvo $R_{v,d}$ yhdelle ruuville saadaan taulukosta 8. Taulukon arvoja voidaan käyttää täysimääräisenä, kun ruuvien etäisyys poikkileikkauksen leikkauskuormitusta reunasta on $\geq 0,5h$, ja ruuvien välinen toteutunut keskiöetäisyys a_h pilarin suunnassa h on vähintään suunnitellun keskiöetäisyyden $a_{h,s}$ suuruinen. (Puuinfo, Voimaliitokset, 2015, 4.)

TAULUKKO 8. Liimaruuvien leikkauskestävyyden mitoitussarvot (Puuinfo, Voimaliitokset, 2015, 4)

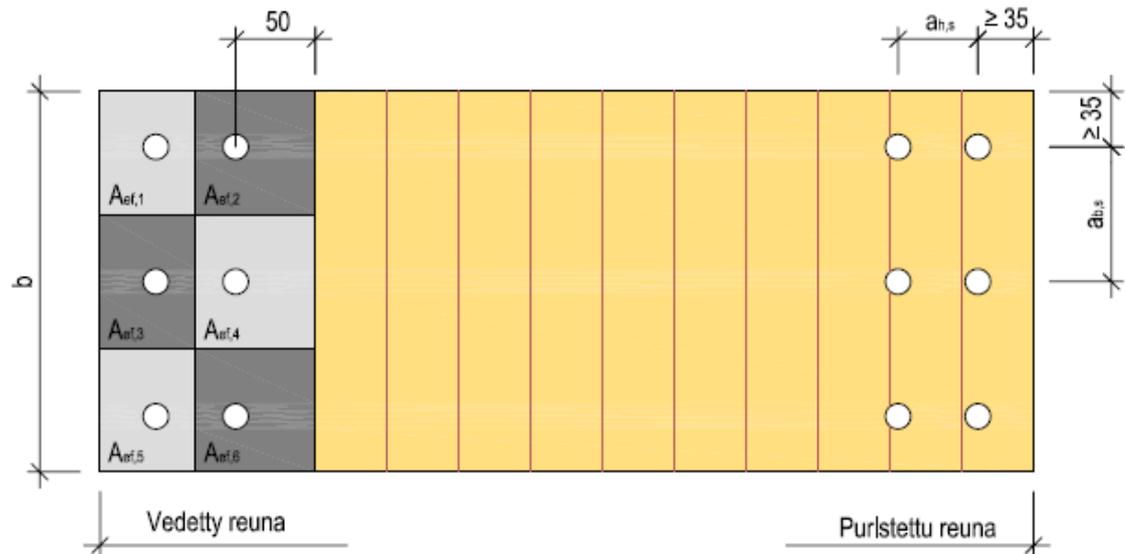
Puristetun liimaruuviliitoksen leikkauskestävyyden mitoitussarvo $R_{v,d}$ (kN) yhtä ruuvia kohden käyttöluokissa 1 ja 2, kun ruuvien etäisyys poikkileikkauksen leikkauskuormitusta reunasta on $\geq 0,5h$ ja ruuvien keskiöetäisyys $a_h \geq a_{h,s}$. Mikäli ruuvien keskiöetäisyys $a_h < a_{h,s}$ tulee arvoja pienentää kertoimella $a_h / a_{h,s}$			
Ruuvi	Aikaluokka		
	Pysyvä	Keskipitkä	Hetkellinen
S235JRG2	5,2	6,0	7,0
Lujuusluokka 5.8	6,1	7,1	8,3

Liimapuupilarin lohkeamismurtokestävyys lasketaan vetopuolen liimaruuvien teholliselle pinta-alalle $A_{e,f}$ (kuva 13). Jokaisen liimaruuvien tehollinen pinta-ala ulottuu maksimissaan 50 mm:n päähän ruuvien reiän keskipisteestä. Jos vierekkäiset alat menevät päällekkäin, samaa alaa ei lasketa kahteen kertaan. Liimaruuveille porattujen reikien (halkaisija 16 mm) pinta-ala vähennetään. Liimapuun lohkeamismurtokestävyys tarkastetaan kaavan (39) ehdolla. (Puuinfo, Voimaliitokset, 2015, 4.)

$$f_{t,d} \sum_{i=1}^{n_t} A_{ef,i} \geq F_{t,d} \quad (39)$$

missä

- $f_{t,d}$ on liimapuun vetolujuuden mitoitussarvo
- $A_{ef,i}$ on vedetyn liimaruuvien tehollinen pinta-ala
- n_t on vedettyjen liimaruuvien määrä ruuviryhmässä
- $F_{t,d}$ on vedettyyn liimaruuviryhmään kohdistuva mitoituskuorma



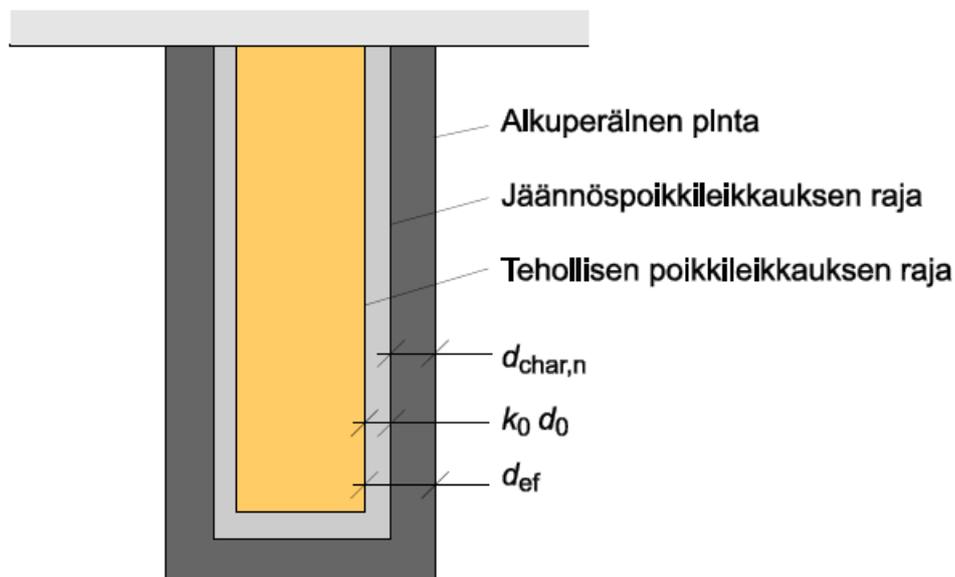
KUVA 11. Liimaruuvien tehollinen pinta-ala $A_{e,f}$ ja keskiöetäisyydet $a_{h,s}$ ja $a_{b,s}$. (Puuinfo, Voimaliitokset, 2015, 4)

Liimaruuvien minimietäisyys pilarin reunasta on 35 mm. Kun liimapuun lohkeamismurtokestävyys täyttää kaavan (39) ehdon, keskiöetäisyyksien $a_{h,s}$ ja $a_{b,s}$ minimietäisyys saa olla 40 mm. (Puuinfo, Voimaliitokset, 2015, 4.) Liimapuupilarikenkien reikien etäisyydet voidaan tarkastaa Liimapuupilarikenkien tekninen käyttöohje ja kapasiteettitaulukot -ohjeen mittapiirroksista (Kortelainen, Liimapuupilarikenkä, 2015). Ohjeessa on esitetty myös mitoitus taulukot kenkien veto- ja puristuskapasiteetille asennustilanteessa ja vetokapasiteetille lopputilanteessa.

Liitteissä 7 ja 8 on esitetty kehän mastopilarin ja pääty pilarin perustusliitosten mitoituslaskelmat. Laskelmat on tehty Puuinfo Oy:n Mastopilarin perustusliitos liimaruuveilla -esimerkkilaskelman mukaisesti (Puuinfo, Perustusliitos, 2018). Kehän mastopilarin liitokseen mitoitettiin liimapuupilarikenkä 215 ja 6 liimaruuvia. Pääty pilarin liitosmitoituksesta saatiin tulokseksi liimapuupilarikenkä 240 ja 8 liimaruuvia.

10 LIIMAPUURUNGON PALOMITOITUS

Liimapuurungon palomitoitus tehdään tässä työssä tehollisen poikkileikkauksen menetelmällä. Palotapahtumassa liimapuun pinnalle muodostuva hiilikerros toimii lämmöneristeenä ja estää lämmön pääsyä syvemmälle puun sisään. Hiiltymämitoituksessa tarkastetaan, miten paljon ko. palonkestoajan jälkeen liimapuun poikkileikkauksesta on jäljellä, ja millainen kapasiteetti sillä on. Mikäli palossa vaurioitumattoman eli tehollisen poikkileikkauksen kapasiteetti riittää säilyttämään rakenteen kantavuuden, rakenne voidaan toteuttaa ilman erillistä palosuojausta. Palotilanteessa tarkasteltavan poikkileikkauksen osat on esitetty kuvassa (14). (Vesänen & Viljakainen, 2015, 274.)



KUVA 14. Palaneen poikkileikkauksen jäännöspoikkileikkaus ja tehollinen poikkileikkaus (Vesänen & Viljakainen, 2015, 274).

missä

$d_{char,n}$ on nimellisen hiiltymissyvyyden mitoitusarvo

$k_0 d_0$ on 20 minuutin palon jälkeen vaurioitunut osuus

d_{ef} on tehollinen hiiltymissyvyys

Puumateriaalin hiiltymisen nopeus ajatellaan olevan ajasta riippumatonta. Sen sijaan hiiltymisnopeus riippuu puupinnan suojauksesta. Materiaaliominaisuuksien ja kestävyyksien tarkasteluihin käytetään palotilanteessa normaalitilanteesta

poikkeavia kertoimia. Materiaalin osavarmuusluku on palotilanteessa $\gamma_{M,fi} = 1,0$. Kerroin k_{fi} riippuu materiaalista, sen arvo on liimapuulla $k_{fi} = 1,15$. Kuorman keston ja kosteusvaikutuksen muunnoskerroin k_{mod} korvataan palotilanteen muunnoskerroimella $k_{mod,fi}$. Kuormat määritetään onnettomuustilanteen kuormitusyhdistelmien mukaisesti. (SFS-EN 1995-1-2 + AC, 2004, 30 – 40.)

Rakennusosien lujuus- ja jäykkyysominaisuudet palotilanteessa määritetään mekaanista kestävyyttä laskettaessa kaavoilla (40) ja (41). Jäykkyysominaisuuksilla tarkoitetaan materiaalin kimmokerroimen tai liukukerroimen arvoa. (SFS-EN 1995-1-2 + AC, 2004, 30.)

$$f_{d,fi} = k_{mod,fi} \frac{f_{20}}{\gamma_{M,fi}} \quad (40)$$

$$S_{d,fi} = k_{mod,fi} \frac{S_{20}}{\gamma_{M,fi}} \quad (41)$$

missä

$f_{d,fi}$	on lujuuden mitoitusarvo palotilanteessa
$S_{d,fi}$	on jäykkyysominaisuuden mitoitusarvo palotilanteessa
f_{20}	on normaalilämpötilan lujuusominaisuuden 20 % fraktiili
S_{20}	on normaalilämpötilan jäykkyysominaisuuden 20 % fraktiili

Rakennusosien kantavuuden (mekaaninen kestävyys) mitoitusarvo saadaan kaavasta (42) (SFS-EN 1995-1-2 + AC, 2004, 30).

$$R_{d,t,fi} = \eta \frac{R_{20}}{\gamma_{M,fi}} \quad (42)$$

missä

$R_{d,t,fi}$	on palotilanteen kantavuuden mitoitusarvo hetkellä t
η	on muuntokerroin
R_{20}	on kantavuuden 20 % fraktiili normaalilämpötilassa ilman kuorman keston ja kosteuspitäisyyden vaikutusta

Lujuus- ja jäykkyysominaisuuksien sekä liitosten mekaanisen kestävyden 20 % fraktiilit lasketaan kaavoista (43), (44) ja (45) (SFS-EN 1995-1-2 + AC, 2004, 32).

$$f_{20} = k_{fi} f_k \quad (43)$$

$$S_{20} = k_{fi} S_{05} \quad (44)$$

$$R_{20} = k_{fi} R_k \quad (45)$$

missä

f_k on lujuuden ominaisarvo

S_{05} on normaalilämpötilan jäykkyysominaisuuden 5 % fraktiili

R_k on liitoksen mekaanisen kestävyden ominaisarvo normaalilämpötilassa ilman kuorman keston ja kosteuden vaikutusta

Palotilanteessa olevan rakenteen on täytettävä kaavan (46) ehto vaaditun palonkestoajan (SFS-EN 1995-1-2 + AC, 2004, 30).

$$E_{d,fi} \leq R_{d,t,fi} \quad (46)$$

$E_{d,fi}$ on palotilanteen mitoituskuormien rasitus

$R_{d,t,fi}$ on kestävyden mitoitusarvo palotilanteessa

10.1 Liimapuupalkin hiiltymämitoitus

Suojaamattoman suorakaidepoikkileikkauksen hiiltymissyvyys lasketaan kaavalla (47) (SFS-EN 1995-1-2 + AC, 2004, 40).

$$d_{char,n} = \beta_n t \quad (47)$$

missä

β_n on nimellisen hiiltymisnopeuden mitoitusarvo, johon sisältyy kulmapyöristysten ja halkeamien vaikutus

t on aika, jonka palorasitus kestää

Hiiltymisnopeuden mitoitusarvo liimapuulle on $\beta_n = 0,7$ mm / min. Palkki pääsee hiiltymään kolmelta sivulta, palkin yläpintaa suojaa vesikattorakenne. Tehollisen poikkileikkauksen mitat saadaan vähentämällä palkin palolle altistutuvista sivuista tehollisen hiiltymissyvyyden d_{ef} paksuus, joka saadaan kaavasta (48). (SFS-EN 1995-1-2 + AC, 2004, 56.)

$$d_{ef} = d_{char,n} + k_0 d_0 \quad (48)$$

missä

k_0 on ajasta t riippuva kerroin

d_0 on vakioarvo 7 mm

Kerroin k_0 on riippuvainen palon kestoajasta ja sen arvo suojaamattomalle suorakaidepoikkileikkaukselle määritetään taulukosta 9 (SFS-EN 1995-1-2 + AC, 2004, 56).

TAULUKKO 9. Kertoimen k_0 määrittäminen suojaamattomalla pinnalla (SFS-EN 1995-1-2 + AC, 2004, 56)

	k_0
$t < 20$ minuuttia	$t/20$
$t \geq 20$ minuuttia	1,0

Palkin palotilanteen taivutuskestävyys tarkastetaan teholliselle poikkileikkaukselle palotilanteen kuormilla kohdan 12.1.1 tavoin. Palkin kiepahduskestävyys tulee tarkastaa teholliselle poikkileikkaukselle kohdan 12.1.4 mukaisesti, mikäli palkin kiepahdustuenta ei ole palosuojattu (SFS-EN 1995-1-2 + AC, 2004, 60). Molemmissa tarkasteluissa palotilanteen kestävyden tulee täyttää kaavan (46) ehto.

Suorakaidepalkin leikkauskestävyyttä ei tarvitse tarkastaa palotilanteessa. Myöskään palkin tukipainekestävyyttä ei tarvitse huomioida. Taipumaa ei tarvitse huomioida palotilanteessa, mikäli siitä ei ole vaaraa muille rakenteille ja niiden palosuojauksille. (SFS-EN 1995-1-2 + AC, 2004, 28, 60.) Kehän palkin hiiltymämitoitus on esitetty liitteessä 9.

10.2 Liimapuupilarin hiiltymämitoitus

Liimapuupilarin hiiltymämitoitus noudattaa edellä esitettyä palkin laskentamenetelmää. Pilarin kuormitus palotilanteessa määritetään onnettomuustilanteen kuormitusyhdistelmillä. Tehollinen poikkileikkaus lasketaan tehollisen hiiltymissyvyyden perusteella oletuksella, että pilarin ulkoseinän puoleinen sivu on palolta suojattu. Pilarin nurjahduskestävyys tarkastetaan palotilanteessa. Jos nurjahdustuetun pilarin tuet voivat murtua palon aikana, pitää nurjahdustarkastelu tehdä ilman nurjahdustukien huomiointia. Leikkauskestävyyttä ja taipumaa koskevat samat ehdot kuin palkkejakin. (SFS-EN 1995-1-2 + AC, 2004, 28, 60.) Kehän pilarin hiiltymämitoitus on esitetty liitteessä 10 ja päätympilarin hiiltymämitoitus liitteessä 11.

11 PILARIANTUROIDEN RAKENNETEKNINEN MITOITUS

Rakennuksen perustamisen osalta tutkitaan mastopilarin anturan rakennetekninen mitoitus. Laskelmat suoritetaan sivuseinän kehäpilarin anturalle ja päädyn mastopilarille. Mitoituslaskelmat on esitetty liitteissä 12 ja 13.

Halliosan mastopilarit tukeutuvat teräsbetonisen peruspilarin ja peruspulttien kautta maanvaraiseen pilarianturaan. Pilarianturan mitat on alustavasti selvitetty geoteknisen mitoituksen kautta. Tässä selitetään pilarianturan rakennetekninen mitoitus taivutusraudoituksen, raudoituksen ankkuroinnin sekä lävistyksen osalta. Anturalle tulisi tarkastaa myös halkeamaleveyden rajatila, mutta sitä ei käsitellä tässä työssä.

11.1.1 Taivutusmitoitus

Mastopilaria rasittava taivutusmomentti aiheuttaa pilarianturalle epäkeskeistä kuormitusta. Pilarianturan taivutuskestävyys tarkastetaan pilarin kyljessä molempiin suuntiin. Epäkeskisyyden e saadaan laskettua pilarianturan pohjan tasossa vaikuttavien taivutusmomentin ja normaalivoiman suhteella kaavan (49) mukaisesti. (Nykyri, 2015b, 181.)

$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} \quad (49)$$

missä

- e on pilarianturaan kohdistuvan kuormituksen epäkeskisyyden
- M_{Ed} on taivutusmomentti tarkasteltavan akselin suhteen
- N_{Ed} on pystysuuntainen kuormitus anturan alapinnan tasossa

Kuormitukseen lasketaan mukaan anturan omapaino ja anturan päällä olevan maan paino. Epäkeskisellä kuormalla anturaan kohdistuva pohjapaine lasketaan kaavalla (50). (Nykyri, 2015b, 180.)

$$\sigma_{gd} = \frac{N_{Ed}}{(B_1 - B_2 e) B_2} \quad (50)$$

missä

σ_{gd} on pohjapaine

B_1 on anturan sivun pituus epäkeskisen kuormituksen suunnassa

B_2 on anturan sivun pituus kohtisuorassa suunnassa

Epäkeskeisesti kuormitetun anturan taivutusraudoitus mitoitetaan momenteille, jotka pohjapaine aiheuttaa momenttivarren ollessa pilarin kyljen ja anturan reunan välinen etäisyys a molempiin suuntiin. Taivutusmomenttien laskenta-arvot määritetään kaavoilla (51) ja (52). (Nykyri, 2015b, 180.)

$$M_{Ed1} = \sigma_{gd} \frac{a_1^2}{2} B_2 \quad (51)$$

$$M_{Ed2} = \sigma_{gd} \frac{a_2^2}{2} B_1 \quad (52)$$

missä

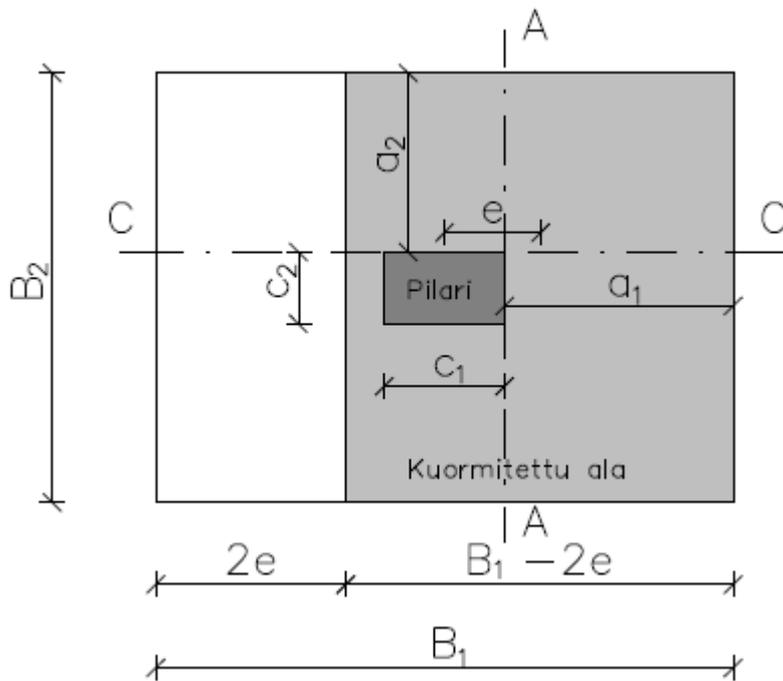
M_{Ed1} on taivutusmomentti epäkeskisen kuormituksen suunnassa

M_{Ed2} on taivutusmomentti kohtisuorassa suunnassa

a_1 on etäisyys pilarin reunasta anturan reunaan kuormituksen suunnassa

a_2 on etäisyys pilarin reunasta anturan reunaan kohtisuorassa suunnassa

Vain osa anturan pinta-alasta mitoitetaan kuormitetuksi. Pohjapaineen kuormittama ala epäkeskisellä kuormituksella ja anturan mitat on esitetty kuvassa 15. Kuormitus on epäkeskinen sivun B_1 suunnassa.



KUVA 15. Periaatepiirros epäkeskisesti kuormitetusta pilarianturasta (Nykyri, 2015b, 192 – 193, muokattu)

Rauditus suunnitellaan ristiin kantavien laattojen rauditussääntöjä soveltaen. Pilarianturan kumpaankin suuntaan asennetaan vähintään vähimmäisraudoituksen teräsmäärä. Terästen keskinäisille etäisyyksille noudatetaan SFS-EN 1992-1-1 kansallisen liitteen mukaisia tankovälien enimmäisarvoja. (Ympäristöministeriö, Betonirakenteet, 2019, 25.) Raudituksen mitoitus suoritetaan kuitenkin tavanomaisille laatoille, eikä sitä selitetä tässä.

11.1.2 Raudituksen ankkurointi

Raudituksen ankkuroinnin pitää pystyä välittämään tartuntavoimat betonin ja teräksen välillä. Betoniterästen tartuntalujuus murtorajatilassa voidaan esittää kaavalla (53). (SFS-EN 1992-1-1 + A1 + AC, 2015, 132 – 133.)

$$f_{bd} = 2,25\eta_1\eta_2f_{ctd} \quad (53)$$

missä

f_{bd} on harjatangon tartuntalujuuden mitoitusarvo

f_{ctd} on betonin vetolujuuden mitoitusarvo

η_1 on tartuntaolosuhteiden laatua ja tangon sijaintia kuvaava kerroin

η_2 on tangon halkaisijasta riippuva kerroin

Kertoimen η_1 arvo on 1,0, kun tartuntaolosuhteet ovat hyvät ja $\eta_1 = 0,7$ kaikissa muissa tapauksissa. Kerroin $\eta_2 = 1,0$, kun tankojen halkaisija on enintään 32 mm. Kun teräksessä on mitoitusjännitys σ_{sd} , vaadittu ankkurointipituuden perusarvo saadaan kaavasta (54). (SFS-EN 1992-1-1 + A1 + AC, 2015, 132 – 133.)

$$l_{b,rqd} = \left(\frac{\phi}{4}\right)\left(\frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}}\right) \quad (54)$$

missä

$l_{b,rqd}$ on ankkurointipituuden perusarvo

ϕ on tangon halkaisija

σ_{sd} on tangon mitoitusjännitys kohdassa, mistä ankkurointipituus on mitattu

Ankkurointipituuden perusarvoa saadaan laskennassa pienentää taulukossa 10 esitetyillä ankkurointipituuteen vaikuttavilla kertoimilla kaavan (55) mukaan (SFS-EN 1992-1-1 + A1 + AC, 2015, 134).

$$l_{bd} = \alpha_1\alpha_2\alpha_3\alpha_4\alpha_5l_{b,rqd} \geq l_{b,min} \quad (55)$$

missä

l_{bd} on ankkurointipituuden mitoitusarvo

$l_{b,min}$ on ankkurointipituuden minimiarvo (kaavasta 56)

α_1 - α_5 ovat kertoimet taulukosta 10

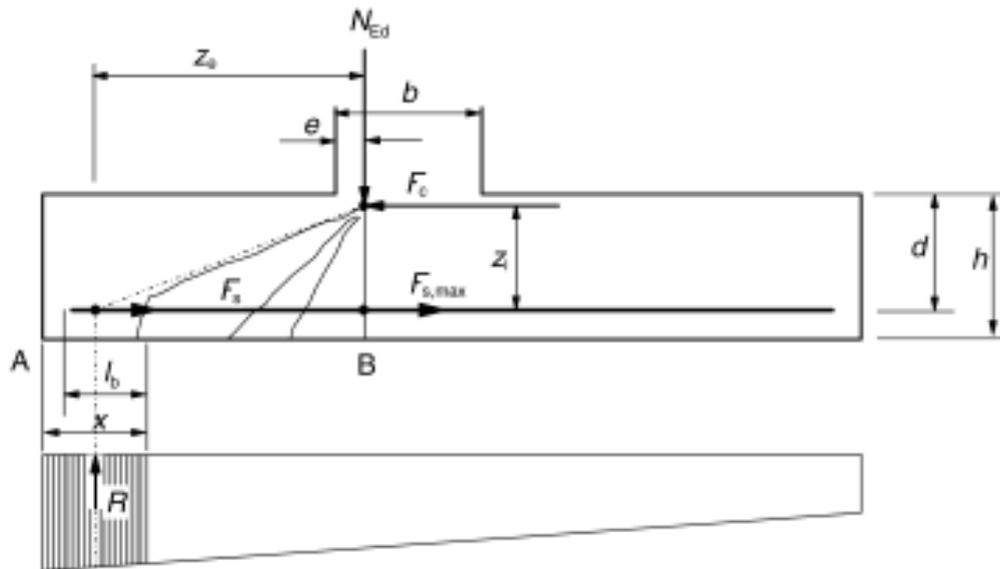
TAULUKKO 10. Ankkurointipituuden kertoimien α_1 - α_5 arvot. (SFS-EN 1992-1-1 + A1 + AC, 2015, 135)

Vaikuttava tekijä	Ankkurointityyppi	Betoniteräs	
		vetoteräs	puristusteräs
Tankojen muoto	Suora	$\alpha_1 = 1,0$	$\alpha_1 = 1,0$
	Muu kuin suora (ks. kuvia 8.1 (b), (c) ja (d))	$\alpha_1 = 0,7$ jos $c_d > 3\phi$ muuten $\alpha_1 = 1,0$ (mitan c_d arvot ovat kuvassa 8.3)	$\alpha_1 = 1,0$
Betonipeite	Suora	$\alpha_2 = 1 - 0,15 (c_d - \phi)/\phi$ $\geq 0,7$ $\leq 1,0$	$\alpha_2 = 1,0$
	Muu kuin suora (ks. kuvia 8.1 (b), (c) ja (d))	$\alpha_2 = 1 - 0,15 (c_d - 3\phi)/\phi$ $\geq 0,7$ $\leq 1,0$ (mitan c_d arvot ovat kuvassa 8.3)	$\alpha_2 = 1,0$
Poikittainen laajenemisen estoraudoitus, jota ei ole hitsattu pääraudoitukseen	Kaikki tyypit	$\alpha_3 = 1 - K\lambda$ $\geq 0,7$ $\leq 1,0$	$\alpha_3 = 1,0$
Poikittainen hitsattu laajenemisen estoraudoitus*	Kaikki tyypit; sijainti ja koko kuvassa 8.1 (e) määritellyllä tavalla	$\alpha_4 = 0,7$	$\alpha_4 = 0,7$
Laajenemista estävä poikittaispaine	Kaikki tyypit	$\alpha_5 = 1 - 0,04p$ $\geq 0,7$ $\leq 1,0$	–
missä $\lambda = (\Sigma A_{st} - \Sigma A_{st,min})/A_s$ ΣA_{st} poikittaisraudoituksen poikkileikkausala pitkin mitoitusarvon mukaista ankkurointipituutta l_{bd} $\Sigma A_{st,min}$ poikittaisraudoituksen poikkileikkauksen vähimmäisarvo $= 0,25 A_s$ palkeilla ja 0 laatoilla A_s yksittäisen halkaisijaltaan suurimman ankkuroidun tangon poikkileikkausala K kuvan 8.4 arvot p poikittaispaine [MPa] murtorajatilassa pitkin mitoitusarvon mukaista ankkurointipituutta l_{bd} .			
* Ks. myös kohtaa 8.6: Välttämättä tulla ankkurointipituuden mitoitusarvona l_{bd} voidaan käyttää pienempää arvoa kuin $l_{b,min}$ mikäli tuen kohdalla on vähintään yksi hitsattu poikittaislanka. Tämän edellytetään olevan vähintään 15 mm tuen ulkopinnalta.			

Ankkurointipituudelta vähintään vaadittava minimiarvo valitaan kaavan (56) ehtojen mukaisesti (SFS-EN 1992-1-1 + A1 + AC, 2015, 134).

$$l_{b,min} \geq \max \begin{cases} 0,3l_{b,rqd} \\ 10\phi \\ 100mm \end{cases} \quad (56)$$

Betonirakenteiden eurokoodissa on esitetty pilari- ja seinäanturoiden raudoituksen ankkuroinnille lisävaatimus vinohalkeamien huomioinnista (Nykyri, 2015b, 187). Kuvassa 16 esitetään vinohalkeamien mukainen vetovoimamalli, jossa teräkseen muodostuva vetovoima F_s kohdassa x tulee ankkuroida x:n etäisyydellä anturan reunasta (SFS-EN 1992-1-1 + A1 + AC, 2015, 163).



KUVA 16. Vinohalkeamien mukainen vetovoimamalli (SFS-EN 1992-1-1 + A1 + AC, 2015, 163)

Ulkoisen momenttivarren z_e pituutena voidaan käyttää kuvan 16 merkintöjen mukaan arvoa $0,15b$ ja sisäisen momenttivarren pituutena z_i arvoa $0,9d$. Suorilla tangoilla voidaan käyttää mitalle x arvoa $h/2$. Ankkuroitava vetovoima lasketaan kaavasta (57). (SFS-EN 1992-1-1 + A1 + AC, 2015, 163 – 164.)

$$F_s = R \frac{z_e}{z_i} \quad (57)$$

missä

R on pohjapaine pituudella x

z_e on ulkoinen momenttivarren pituus (kuva 16)

z_i on sisäinen momenttivarren pituus (kuva 16)

Ankkurointivaatimus vinohalkeamille esitetään kaavassa (58). Ankkurointipituudelle voidaan suorilla tangoilla käyttää mittaa x , josta on vähennetty betonipeitteen paksuus c_{nom} . (Nykyri, 2015b, 186 – 188.)

$$F_{bd} = l_b f_{bd} \sum u_s \geq F_s \quad (58)$$

missä

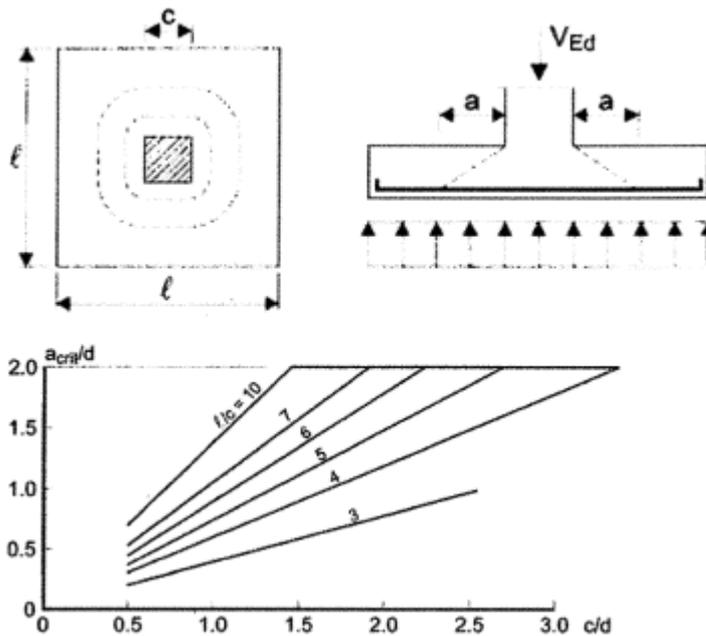
F_{bd}	on ankkurointikestävyys
l_b	on suorien tankojen ankkurointipituus
u_s	on tangon ympärysmitta

Jos ankkurointipituus ei riitä suorilla tangoilla, ankkurointipituutta voidaan kasvattaa taivuttamalla tankojen päät ylös. Ankkurointia voidaan parantaa myös lisäämällä tankomäärää, jolloin kaavan (58) tankojen ympärysmitta kasvaa.

11.1.3 Lävistysmitoitus

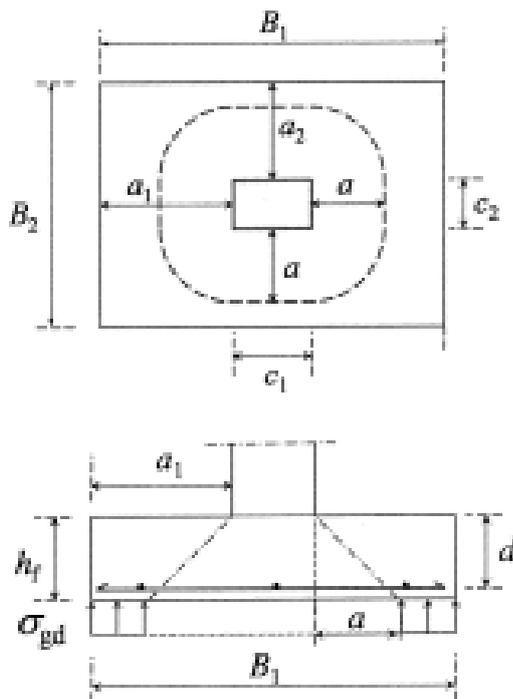
Pilarianturaan kohdistuva lävistyskuorma on riippuvainen anturaan muodostuvan lävistyskartion kaltevuudesta (Nykyri, 2015b, 194). Lävistyskartion ulkopuolelle jäävään anturan osaan kohdistuva pohjapaine aiheuttaa anturaan lävistyskuormaa. Eurokoodissa (SFS-EN 1992-1-1 + A1 + AC, 2015, 96) esitetään pilarin lävistyskartion kaltevuudeksi normaalitapauksessa pilarilaatoilla $\theta = \arctan(1/2) = 26,6^\circ$. Tämä kaltevuus antaa lävistyskartion ja pilarin väliselle etäisyydelle arvon $2d$ anturan alapinnan tasossa, missä d on laatan tehollinen paksuus. Pilarianturalla lävistyskartion kulma on kuitenkin pienempi. Näin ollen lävistyskartion ulkopuolelle jää enemmän anturan pinta-alaa, jolloin lävistävää kuormaa syntyy enemmän. (Nykyri, 2015b, 194.)

Eurokoodin (SFS-EN 1992-1-1 + A1 + AC, 2015, 97) mukaan perustuksilla käytetään lävistyskartion ja pilarin väliselle etäisyydelle anturan alapinnan tasossa pienempää arvoa kuin $2d$. Nykyrin (2015b, 194) mukaan perustapauksissa voidaan käyttää Commentary Eurocode 2 (2008) mukaista neliöanturan apukäyrästä, joka on esitetty kuvassa 17. Käyrästä saadaan pilarin ja anturan sivujen suhteilla haettua murtokartion kaltevuuden kulman tangenti d/a . (Nykyri, 2015b, 194.)



KUVA 17. Apukäyrästä kriittisen lävistysmurtokartion määrittämiseen keskeisesti kuormitetulle neliöanturalle (Nykyri, 2015b, 194)

Lävistyskartion piirin etäisyys a pilarin reunasta saadaan nyt ratkaistua ja kartion pinta-ala voidaan laskea. Lävistyskuormaa kehittyi lävistyskartion ulkopuolelle jäävältä alueelta pohjapaineen vaikutuksesta. Lävistyskartio on esitetty kuvassa 18. (Nykyri, 2015b, 195.)



KUVA 18. Pilarianturan lävistyskartio. (Nykyri, 2015b, 194)

Pilarianturan lävistyskestävyys tarkastetaan pilarin reunan ja lävistyskartion piirin kohdalla. Lävistyskartion piirin pituus u saadaan kaavasta (59). (Nykyri, 2015b, 195.)

$$u = 2(c_1 + c_2) + 2\pi a \quad (59)$$

missä

c_1 ja c_2 ovat pilarin sivumitat

Pilarianturan lävistyskestävyyden tulee ilman lävistämisraudoitusta täyttää kaavan (60) ehto (SFS-EN 1992-1-1 + A1 + AC, 2015, 99) Mikäli kaavan ehto ei täyty, anturan lävistyskestävyyttä voidaan parantaa lisäämällä taivutusraudoitusta tai lävistysraudoitusta. Myös raudoituksen ankkuroinnin parantaminen ja anturan paksuuden kasvattaminen lisäävät anturan lävistyskestävyyttä. (Nykyri, 2015b, 203.)

$$v_{Ed} \leq v_{Rd,c} \quad (60)$$

missä

v_{Ed} on tarkastelukohdassa vaikuttavan leikkausjännityksen mitoitusarvo
 $v_{Rd,c}$ on lävistyskestävyyden mitoitusarvo ilman lävistysraudoitusta

Epäkeskisesti kuormitetun pilarianturan suurin leikkausjännitys määritetään kaavan (61) mukaan (SFS-EN 1992-1-1 + A1 + AC, 2015, 100).

$$v_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{ud} \left(1 + k \frac{M_{Ed}}{V_{Ed}} \frac{u}{W_1} \right) \quad (61)$$

missä

V_{Ed} on lävistyskuorman mitoitusarvo
 k on pilarin sivujen suhteesta riippuva kerroin taulukosta 11
 M_{Ed} on taivutusmomentin mitoitusarvo
 W_1 leikkausvoiman staattinen momentti

TAULUKKO 11. Kertoimen k arvot suorakaiteen muotoisille kuormituspinta-aloille (SFS-EN 1992-1-1 + A1 + AC, 2015, 100)

c_1/c_2	$\leq 0,5$	1,0	2,0	$\geq 3,0$
k	0,45	0,60	0,70	0,80

Lävistyspiirissä vaikuttavan leikkausvoiman staattinen momentti W_1 lasketaan suorakaidepilarille kaavasta (62) (SFS-EN 1992-1-1 + A1 + AC, 2015, 100).

$$W_1 = \frac{c_1^2}{2} + c_1c_2 + 4c_2d + 16d^2 + 2\pi dc_1 \quad (62)$$

Pilarianturan lävistyskestävyyden laskennassa (kaava 63) huomioidaan kestävyden riippuvuus murtokartion kaltevuudesta termillä $2d/a$ (Nykyri, 2015b, 196).

$$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} k \left(100 \rho_L \frac{f_{ck}}{MPa} \right)^{\frac{1}{3}} \frac{2d}{a} MPa \quad (63)$$

missä

$C_{Rd,c}$ on kerroin lävistyskapasiteetin laskentaan

k on korkeuskerroin

ρ_L on geometrinen raudoitussuhde

f_{ck} on betonin puristuslujuuden ominaisarvo

Lävistyskestävyyden arvon laskemista varten täytyy selvittää lävistyskapasiteetin kerroin $C_{Rd,c}$. Eurokoodin SFS-EN 1992-1-1 kansallisen liitteen mukaan kertoimen arvo leikkausraudoittamattomalle rakenteelle määritetään kaavasta (64) (Ympäristöministeriö, Betonirakenteet, 2019, 26 – 27).

$$C_{Rd,c} = \frac{0,3 \frac{D}{d} + 1,5}{\gamma_c \frac{D}{d} + 4} \quad (64)$$

missä

D on pyöreän pilarin halkaisija tai suorakaidepilarilla $D = \sqrt{c_1 c_2}$, jossa c_1 ja c_2 ovat pilarin sivumittoja

γ_c on betonin osavarmuusluku

Korkeuskerroin saadaan kaavan (65) ehdon mukaan (SFS-EN 1992-1-1 + A1 + AC, 2015, 103).

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200mm}{d}} \leq 2,0 \quad (65)$$

Geometrinen raudoitussuhde (kaava 66) määritellään anturan eri suuntien tehollisten raudoitusalojen avulla (SFS-EN 1992-1-1 + A1 + AC, 2015, 103).

$$\rho_L = \sqrt{\rho_{y,eff} \rho_{z,eff}} \leq 0,02 \quad (66)$$

missä

$\rho_{y,eff}$ on y-suunnan tehollinen raudoitusala

$\rho_{z,eff}$ on z-suunnan tehollinen raudoitusala

Tarkasteltavassa suunnassa tehollinen raudoitusala lasketaan täysin ankkuroituneen vetoraudoituksen pinta-alan perusteella kaavalla (67) (Nykyri, 2015a, 213).

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}} \quad (67)$$

missä

A_s on täysin ankkuroitujen vetoterästen määrä tehollisella vetoalueella

$A_{c,eff}$ on tehollisen vetoalueen ala

12 POHDINTA

Aiheena tässä opinnäytetyössä oli rakennusalan yrityksen toimintaa palvelevan rakennuksen suunnittelu. Tarkoituksena oli tuottaa rakennuksen suunnitelmat sekä tutustua 3D-suunnitteluun ja eurokoodien käyttöön rakenteiden suunnittelussa. Työn sisältö oli monipuolinen sisältäen sekä rakennussuunnittelua että rakenteiden mitoitusta vaativien puurakenteiden osalta. Päämääränä oli konkreettisen suunnitelman laatimisen lisäksi kehittää suunnitteluosaamista ja rakennussuunnitelmien mallintamistaitoa.

Työn rakennussuunnitteluosassa selvitettiin rakennuspaikan lupaehdot ja suunnitteluprosessin eteneminen. Kohteena olevan rakennuksen suunnittelua toteutettiin prosessin vaiheiden mukaisesti. Kohteesta laadittiin tilaohjelma, jonka pohjalta suunniteltiin luonnosehdotus. Luonnosvaiheessa huomioitiin myös rakennesuunnittelun näkökanta suunnitelman ratkaisuihin. Todettiin, että rakennesuunnittelun aloittaminen jo luonnosvaiheessa edesauttaa hyvien rakenneratkaisujen löytymistä lopulliseen suunnitelmaan ja helpottaa kaikkea suunnittelua jatkossa. Luonnosehdotuksesta kehitettiin yleissuunnitelma ja lopullinen pohjaratkaisu. Pohjaratkaisun perusteella laadittiin varsinainen rakennussuunnitelma, joka myös mallinnettiin. Pohjaratkaisuun saatiin sovitettua kaikki tarvittavat tilat. Alun perin rakennukseen suunnitelluista kylmistä varastotiloista tosin luovuttiin, ja päätettiin sen sijaan rakentaa erillinen varastorakennus. Rakennuskokonaisuuteen suunniteltiin yrityksen kapasiteettiin sopivat toimistotilat sekä laaja hallitila käytännön työskentelyyn ja lämpimään varastointiin. Myös tauko-, pesu- ja WC-tilat sovitettiin rakennuksen muihin toimintoihin. Lopputuloksena saatiin suunnitelmat suunnittelutarveratkaisun hakemista varten sekä pääpiirustukset rakennuslupahakemusta varten. Jatkotoimia hankkeen rakennussuunnittelussa ovat lupahakemusten liitteiden laatiminen ja lupien hakeminen sekä suunnittelun ohjaus toteutussuunnittelua varten.

Suunnitelman laatimisessa 3D-muotoon tutustuttiin syvällisesti Cadmatic Building -suunnitteluohjelman käyttöön. Ohjelmasta oli aiempaa kokemusta, mutta ei 3D-mallintamisen osalta. Suunnittelutyön aikana selvisi, miten paljon tietoa rakennuksesta ja rakenteista 3D-malliin saadaan sisällytettyä. Malliin syötetyn tiedon määrä riippuu siitä, miten tarkasti mallintaminen halutaan tehdä, ja miten

paljon aikaa mallin luomiseen voidaan käyttää. 3D-suunnitelman monipuoliset hyödyt havaittiin suunnittelutyön edetessä. Eri suunnittelualojen suunnitelmat voidaan sisällyttää samaan malliin, ja tästä mallista voidaan tarvittaessa ottaa esiin mikä tahansa suunnitelmista, tai niiden yhdistelmä. Rakennusta ja rakenteita päästään katsomaan kolmiulotteisesti mistä kohdasta tai suunnasta tahansa jo suunnittelun aikana. Hankalien rakenneyksityiskohtien havainnollistaminen kolmiulotteisesti edesauttaa parempien ratkaisujen suunnittelua. Mahdolliset virheet havaitaan 3D-suunnitelmasta huomattavasti helpommin kuin perinteisestä 2D-tasokuvasta. Lisäksi eri suunnittelijoiden laatimien suunnitelmien yhteensovittaminen helpottuu. Tämä taas vähentää ongelmatilanteita ja ristiriitoja rakentamisvaiheessa työmaalla. Laadittua 3D-mallia tullaan hyödyntämään rakennuksen toteutussuunnittelussa ja rakentamisessa.

Työn rakennesuunnitteluosassa oli tavoitteena tutustua kantavien rakenteiden yhteiseurooppalaisiin suunnittelustandardeihin eli eurokoodeihin, ja mitoittaa työssä suunnitellun toimitilarakennuksen liimapuurunko niiden mukaisesti. Mitoituslaskelmat laadittiin käsin laskien eurokoodien sekä niiden kansallisten liitteiden mukaisesti. Laskelmien kulusta tehtiin laskentaselitykset, joissa paneuduttiin mitoitusääntöihin. Laskelmia varten selvitettiin lähtötiedot rakennuksesta, sekä laskentaan vaikuttavat ominaisuudet ja olosuhteet. Mitoituksen aikana huomattiin laskentamenetelmien aiempaa suurempi tarkkuus ja monipuolisuus. Eurokoodeihin perustuvassa mitoituksessa huomioidaan eri rasiusten yhdistelmien vaikutukset tarkemmin kuin vanhoissa kansallisissa mitoitusmenetelmissä. Lisäksi yksittäisten rakenneosien muodostamien rakennejärjestelmien kokonaisuuden hallintaan ja stabiliteettiin kiinnitetään enemmän huomiota. Laskelmia kertyy pienestäkin rakennuksesta suuri määrä, ja niiden laskeminen käsin vie paljon aikaa. Jotta mitoitus eurokoodien mukaan onnistuu riittävän nopeasti ja taloudellisesti, on käytössä oltava laskentaa avustavia sovelluksia ja mitoitusohjelmia.

LÄHTEET

Akaan kaupunki. 2018. Akaan kaupungin rakennusjärjestys 2018. Luettu 4.11.2019.

https://www.aka.fi/asuminen_ja_ymparisto/rakennusvalvonta/rakennusjarjestys/

Akaan kaupunki. n.d. Rakentamisen luvat. Luettu 4.11.2019.

<https://aka.fi/asuminen-ja-ymparisto/rakennusvalvonta/rakentamisen-luvat/>

BuildingSMART Finland. n.d. Helsinki. Tietomallintamisen yhteistyöfoorumi. Rakennustietosäätiö RTS sr. <https://buildingsmart.fi/standardit/>

Cadmatic Oy. n.d. MyCads -verkkopalvelu. Vaatii käyttöoikeuden.

https://my.cads.fi/hc/fi/restricted?return_to=https%3A%2F%2Fmy.cads.fi%2Fhc%2Ffi

Cloudpermit Oy. n.d. Rakentamisen sähköinen asiointipalvelu Lupapiste. Vaatii käyttöoikeuden. www.lupapiste.fi/

European technical Approval ETA-11/0190. 2013. Berlin. Deutsches Institut für Bautechnik. Luettu 20.3.2020.

https://www.wurth.se/globalassets/inriver/resources/european-technical-approval-eta-110190_assy_c0ac1aa3.pdf

Laki Rakennuksen energiatodistuksesta annetun lain muuttamisesta 17.11.2017/755.

Maankäyttö- ja rakennuslaki 5.2.1999/132.

Nykyri, P. 2015a. By 211 Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja 2013 – osa 1. BY 211. 3. korjattu painos. Helsinki. BY -Koulutus Oy.

Nykyri, P. 2015b. By 211 Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja 2014 – osa 2. BY 211. 2. painos. Helsinki. BY -Koulutus Oy.

Pitkänen, J. 2018. Liimapuupilarin ja -palkin hankolautaliitos. Vaativien puurakenteiden suunnittelu -koulutus 2018. Luettu 11.10.2020. https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/06/15_Liimapuupilarin-ja-palkin-hankolautaliitos.pdf

Puuinfo Oy. 2015. Voimaliitokset. Luettu 17.10.2020. https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/07/HalliPES_1-0_Osa_14_Voimaliitokset-2.12..pdf

Puuinfo Oy. 2018. Hankolautaliitos. Luettu 11.10.2020. https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/06/Moduuli_2_Esimerkki_7_Hankolautaliitos.pdf

Puuinfo Oy. 2018. Liimaruuviliitos. Luettu 17.10.2020. https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/06/Moduuli_2_Esimerkki_Mastopilarin-liimaruuviliitos.pdf

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

RIL 205-1-2017. 2017. Puurakenteiden suunnitteluohje 2017. 2. painos. Helsinki. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

RT 103253. 2020. Arkkitehtisuunnittelun tehtäväluettelo ARK18. Helsinki. Rakennustieto Oy. Luettu 18.10.2020. Vaatii käyttöoikeuden.

<https://kortistot.rakennustieto.fi/kortistot/rt-kortisto>

RT 10-11256. 2017. Talonrakennushankkeen kulku. Helsinki. Rakennustieto Oy. Luettu 31.12.2019. Vaatii käyttöoikeuden.

<https://kortistot.rakennustieto.fi/kortistot/rt-kortisto>

SFS-EN 1990-1-1+ A1+AC. 2006. Eurokoodi: Rakenteiden suunnittelun perusteet. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS. Luettu 23.8.2020. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/index.html.stx>

SFS-EN 1991-1-1+AC. 2009. Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-1: Yleiset kuormat. Tilavuuspainot, oma paino ja rakennusten hyötykuormat. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS. Luettu 29.8.2020. Vaatii käyttöoikeuden.

<https://online.sfs.fi/fi/index.html.stx>

SFS-EN 1991-1-2 +AC. 2003. Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-2: Yleiset kuormat. Palolle altistettujen rakenteiden rasitukset. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS. Luettu 14.12.2020. Vaatii käyttöoikeuden.

<https://online.sfs.fi/fi/index.html.stx>

SFS-EN 1991-1-3 +A1+AC. 2015. Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-3: Yleiset kuormat. Lumikuormat. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS. Luettu 29.8.2020. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/index.html.stx>

SFS-EN 1991-1-4+A1+AC. 2011. Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-4: Yleiset kuormat. Tuulikuormat. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS. Luettu 30.8.2020. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/index.html.stx>

SFS-EN 1991-1-6 +AC. 2005. Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-6: Yleiset kuormat. Toteuttamisen aikaiset kuormat. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS. Luettu 30.8.2020. Vaatii käyttöoikeuden.

<https://online.sfs.fi/fi/index.html.stx>

SFS-EN 1991-1-7+A1+AC. 2014. Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-7: Yleiset kuormat. Onnettomuuskuormat. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS. Luettu 14.12.2020. Vaatii käyttöoikeuden.

<https://online.sfs.fi/fi/index.html.stx>

SFS-EN 1992-1-1+A1+AC. 2015. Eurokoodi 2: Betonirakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS. Luettu 8.11.2019. Vaatii käyttöoikeuden.

<https://online.sfs.fi/fi/index.html.stx>

SFS-EN 1995-1-1+A1+A2+AC. 2014. Eurokoodi 5: Puurakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS. Luettu 4.3.2020. Vaatii käyttöoikeuden.

<https://online.sfs.fi/fi/index.html.stx>

SFS-EN 1995-1-2+AC. 2004. Eurokoodi 5: Puurakenteiden suunnittelu. Osa 1-2: Yleistä. Puurakenteiden palomitoitus. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS. Luettu 14.12.2020. Vaatii käyttöoikeuden.

<https://online.sfs.fi/fi/index.html.stx>

SFS 5978. 2014. Puurakenteiden toteuttaminen. Rakennuksien kantavia rakennosia koskevat säännöt. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS. Luettu 4.3.2020. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/index.html.stx>

Valtioneuvoston asetus talousvesien käsittelystä viemäriverkostojen ulkopuolisilla alueilla 16.3.2017/157.

Valtioneuvoston asetus rakennuksen esteettömyydestä 4.5.2017/241.

Vesänen, T. & Viljakainen, M. 2014. Liimapuukäsikirja osa 1. Helsinki. Suomen Liimapuuyhdistys ry ja Puuinfo Oy.

Vesänen, T. & Viljakainen, M. 2015. Liimapuukäsikirja osa 2. Helsinki. Suomen Liimapuuyhdistys ry ja Puuinfo Oy.

Ympäristöministeriö. 2016. Suomen Rakentamismääräyskokoelma. Rakenteiden lujuus ja vakaus. Kantavien rakenteiden suunnitteluperusteet. Helsinki: Ympäristöministeriö. Luettu 26.9.2020.

https://www.ym.fi/fi/FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma

Ympäristöministeriö. 2016. Suomen Rakentamismääräyskokoelma. Rakenteiden lujuus ja vakaus. Puurakenteet. Helsinki: Ympäristöministeriö. Luettu 4.3.2020.

https://www.ym.fi/fi/FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma

Ympäristöministeriö. 2019. Suomen Rakentamismääräyskokoelma. Rakenteiden lujuus ja vakaus. Betonirakenteet. Helsinki: Ympäristöministeriö. Luettu 9.11.2019.

https://www.ym.fi/fi/FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma

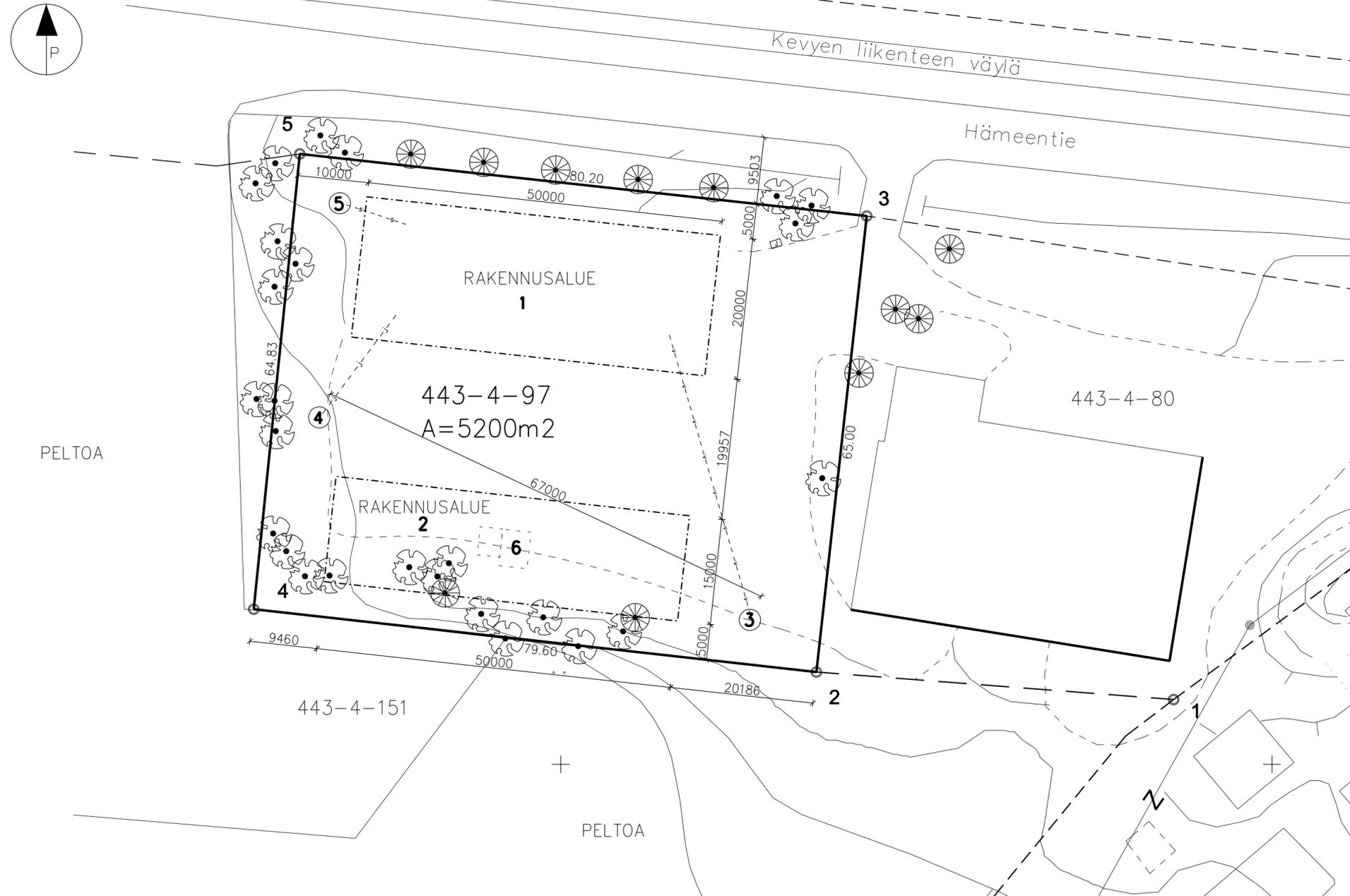
Ympäristöministeriö. 2019. Suomen Rakentamismääräyskokoelma. Rakenteiden lujuus ja vakaus. Rakenteiden kuormat. Helsinki: Ympäristöministeriö. Luettu 26.9.2020.

https://www.ym.fi/fi/FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma

Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 12.12.2017/848.

LIITTEET

- Liite 1. Asemapiirros ja jätevesijärjestelmän suunnitelma suunnittelutarve-
ratkaisuhakemusta varten
- Liite 2. Rakennuksen pääpiirustukset
- Liite 3. Liimapuukehän pääpalkin mitoituslaskelma
- Liite 4. Liimapuukehän mastopilarin mitoituslaskelma
- Liite 5. Päätyjäykisteen (pilarit ja palkki) mitoituslaskelma
- Liite 6. Pilarin ja palkin välisen hankolautaliitoksen mitoituslaskelma
- Liite 7. Kehän pilarin perustusliitoksen mitoituslaskelma
- Liite 8. Päädyn pilarin perustusliitoksen mitoituslaskelma
- Liite 9. Kehän palkin palomitoituslaskelma
- Liite 10. Kehän pilarin palomitoituslaskelma
- Liite 11. Päädyn pilarin palomitoituslaskelma
- Liite 12. Kehän pilarin pilarianturan rakennetekninen mitoituslaskelma
- Liite 13. Päädyn pilarin pilarianturan rakennetekninen mitoituslaskelma



AIEMMIN RAKENNETTU TALOUSRAKENNUS, PURETTAVA	34m ²
NYT HAETAAN RAKENNUSOIKEUTTA:	
TOIMITILARAKENNUS	600m ²
VARASTORAKENNUS	400m ²
KERROSALA YHTEENSÄ	1000m ²

KIINTEISTÖN JÄTEVESIEN KÄSITTELYÄ VARTEN RAKENNETAAN OMA JÄTEVESIJÄRJESTELMÄ. TALOUSVESI HANKITAAN KIINTEISTÖN OMASTA RENGASKAIVOSTA. RAKENNUKSEN HULEVEDET JOHDETAAN PERUSVESIKAIVON KAUTTA IMEYTYKSEEN TONTILLA.

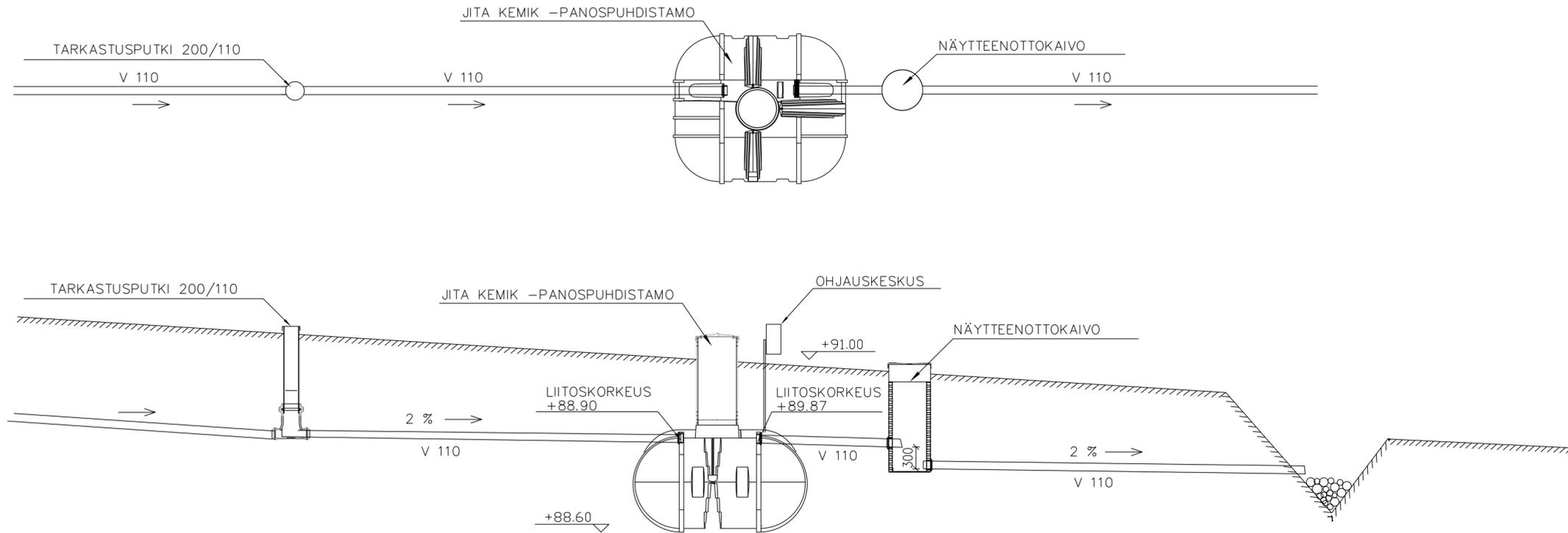
- 1 TOIMITILARAKENNUKSEN RAKENNUSALUE
- 2 VARASTORAKENNUKSEN RAKENNUSALUE
- 3 TALOUSVESIKAIVO
- 4 JÄTEVESIEN KÄSITTELYJÄRJESTELMÄ
- 5 PERUSVESIKAIVO
- 6 OLEMASSAOLEVA TALOUSRAKENNUS

RAKENNUSTEN PALOLUOKKA P3

JÄTEVESIJÄRJESTELMÄN ETÄISYYDET:	
- TALOUSVESIKAIVON	67m
- VESISTÖÖN	500m
- OJAAN	10m
- RAJAAN	6m
- TIEHEN	45m
- RAKENNUKSEEN	15m
- LÄMPÖKAIVON	65m

TUNN.	LUKUM.	MUUTOS	NIMIM. PVM	
Kaupunginosa	Korttelin/tila	Tontti/nro	Viranomaisen merkintä	
443	Jarvala	4: 97		
Rakennustoimenpide	Piirustustaji	Juoks.no		
Uudisrakennus	Pääpiirustus	01		
Rakennuskohde	Piirustuksen sisältö	Mittakaavat		
Toimitilarakennus Hämeentie 726 37830 Akaa	Asemapiirros	1: 500		
JK-Rakennustyö Oy Hämeentie 723 37830 Viiala p.0400-935 099	Suunnitteluala, työnnumero ja piirustuksen numero	Muutos		
Päiväys, suunnittelija, nimen selvennys ja koulutus	ARK /	Tiedosto		
18.10.2019 RI Janne Kannisto				

JITA KEMIK –PANOSPUHDISTAMO



JITA KEMIK –PANOSPUHDISTAMO
MITOITUSVESIMÄÄRÄ 750 L/VRK
PUHDISTUSKEMIKAALI: POLYALUMIINIKLORIDI

PUHDISTAMO ANKKUROIDAAN MAAHAN
ANKKUROINTIKANKAALLA
JÄRJESTELMÄ VARUSTETAAN AUTOMAATTISELLA
HÄLYTYSJÄRJESTELMÄLLÄ

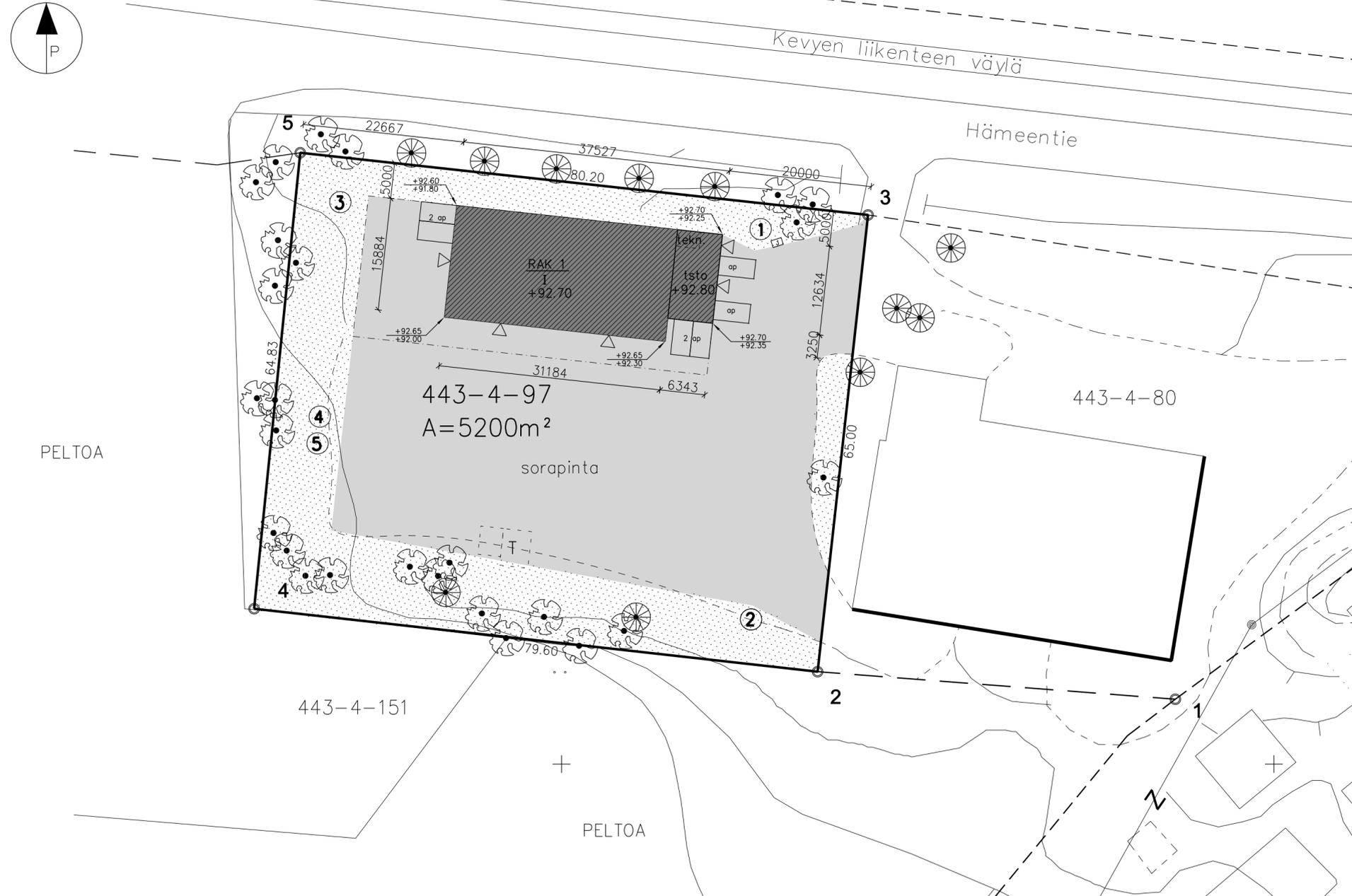
PUHDISTAMOON JOHDETAAN WC-VEDET, PESUHUONEEN
PESUVEDET SEKÄ KEITTIÖN JÄTEVEDET.

PUHDISTETTU JÄTEVESI JOHDETAAN TARKASTUS-
KAIVON KAUTTA OJAAN JA EDELLEEN IMEYTYKSEEN
KIINTEISTÖLLÄ.

PUHDISTAMOLIETTEEN SÄILIÖ TYHJENNETÄÄN VÄHINTÄÄN
KERRAN VUODESSA.

Jita Oy:n Kemik panospuhdistamo –tyyppikuvasta kohteeseen muokannut
Ri Janne Kannisto 20.11.2019

TUNN.	LUKUM.	MUUTOS	NIMIM. PVM	
Kaupunginosa	Kortteli/tila	Tontti/nro	Viranomaisten merkintäjä	
443	Jarvala	4:97	Piirustuslaji	Juoks.no
Rakennustoimenpide			iv01	
Uudisrakennus			Piirustuksen sisältö	Mittakaavat
Rakennuskohde			Jätevesijärjestelmä	1:50
Toimitilarakennus			Leikkaukset	
Hämeentie 726			Suunnitteluala, työnmero ja piirustuksen numero Muutos	
37830 Akaa			LVI	/
JK-Rakennustyö Oy			Yhteyshenkilö	
Hämeentie 723			Tiedosto	
37830 Viiala				
p.0400-935 099				
Päiväys, suunnittelija, nimen selvitys ja koulutus				
20.11.2019	Ri Janne Kannisto			



SALLITTU RAKENNUSOIKEUS	1000 m ²
AIEMMIN RAKENNETTU	34 m ²
PURETAAN TALOUSRAKENNUS T	34 m ²
NYT RAKENNETAAN TOIMITILARAKENNUS RAK1	575 m ²
KERROSALA YHTEENSÄ	575 m ²

RAKENNUKSEN PALOLUOKKA P3

AUTOPAIKAT 6 KPL

- 1 MAALÄMPÖKAIVO
- 2 TALOUSVESIKAIVO
- 3 PERUSVESIKAIVO
- 4 JÄTEVESIEN KÄSITTELYJÄRJESTELMÄ
- 5 NÄYTTEENOTTOPISTE

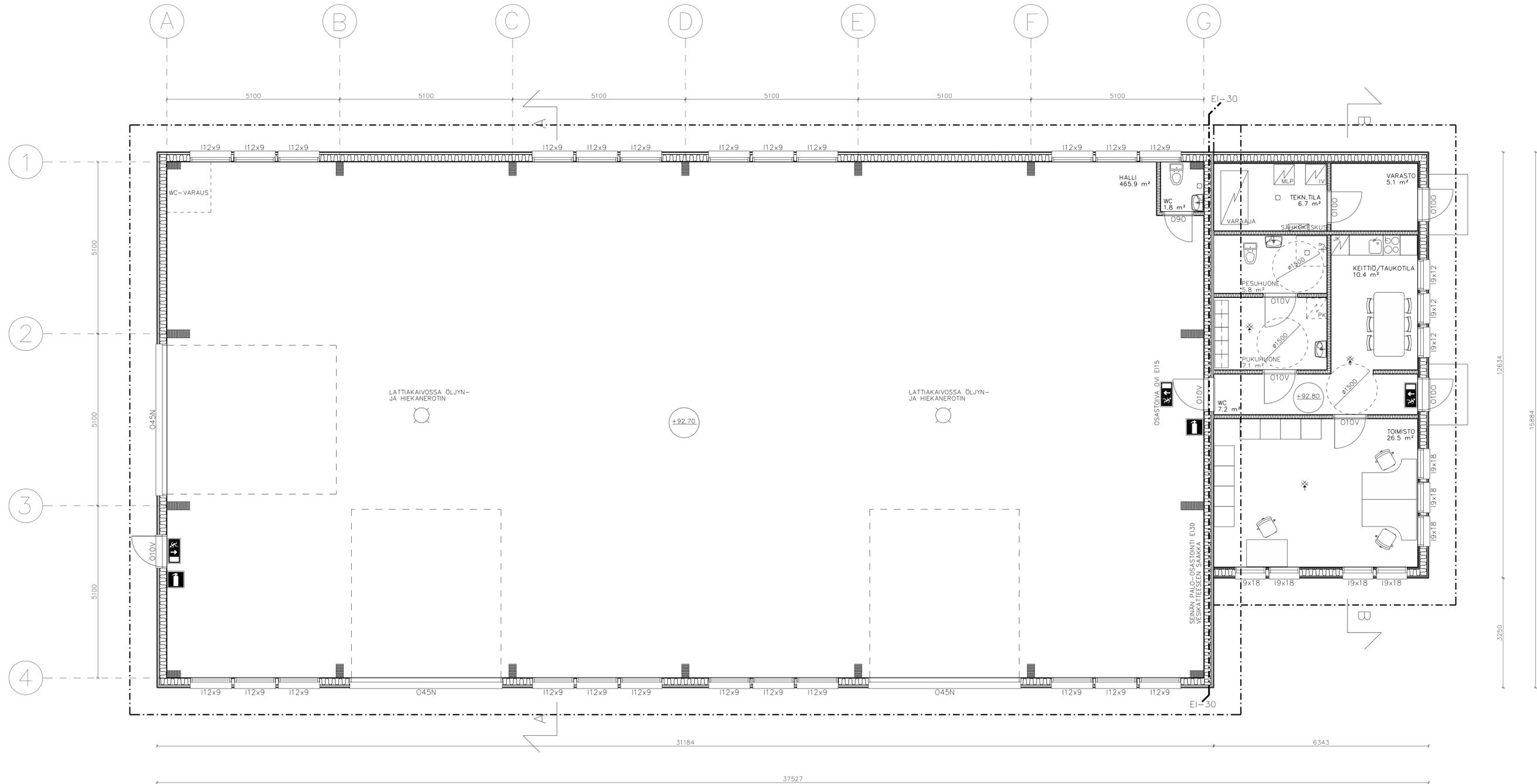
KIINTEISTÖN JÄTEVESIEN KÄSITTELYÄ VARTEN RAKENNETAAN OMA JÄTEVESIJÄRJESTELMÄ. TALOUSVESI HANKITAAN KIINTEISTÖN OMASTA RENGASKAIVOSTA. RAKENNUKSEN HULEVEDET JOHDETAAN PERUSVESIKAIVON KAUTTA IMEYTYKSEEN TONTILLA.

JÄTEVESIJÄRJESTELMÄN ETÄISYYDET:

- TALOUSVESIKAIVON	67 m
- VESISTÖÖN	500 m
- OJAAN	10 m
- RAJAAN	6 m
- TIEHEN	46 m
- RAKENNUKSEEN	22 m
- LÄMPÖKAIVON	65 m

TUNN.	LUKUM.	MUUTOS	NIMIM. PVM	
Kaupunginosa	Kortteli/tila	Tontti/nro	Viranomaisten merkintä	
443	Jarvala	4:97	Piirustaja	Juoks.no
Rakennustoimenpide	Uudisrakennus		Pääpiirustus	01
Rakennuskohde	Toimitilarakennus Hämeentie 726 37830 Akaa		Piirustuksen sisältö	Mittakaavat
			Asemapiirros	1:500
JK-Rakennustyö Oy Hämeentie 723 37830 Viiala p.0400-935 099			Suunnitteluala, työn numero ja piirustuksen numero	Muutos
Päiväys, suunnittelija, nimen selvennys ja koulutus			ARK	
26.10.2020 RI Janne Kannisto			Yhteyshenkilö	Tiedosto

POHJAPIIRROS



KERROSALA	
HALLIOSA	495 m ²
TOIMISTO-OOSA	80 m ²
YHTEENSÄ	575 m ²

TILAVUUS	
HALLIOSA	3129 m ³
TOIMISTO-OOSA	271 m ³
YHTEENSÄ	3400 m ³

LÄMMÖNLÄHDE MAALÄMPÖ
LÄMMÖNJAKO VESIKIERTOINEN LATTIALÄMMITYS
KONEELLINEN ILMANVAIHTO

PALOLUOKKA P3
PALO-OASTOINTI
KÄYTTÖTAVAN MUKAAN:
-VARASTO/TYÖTILAN VÄLINEN SEINÄ, EI-30

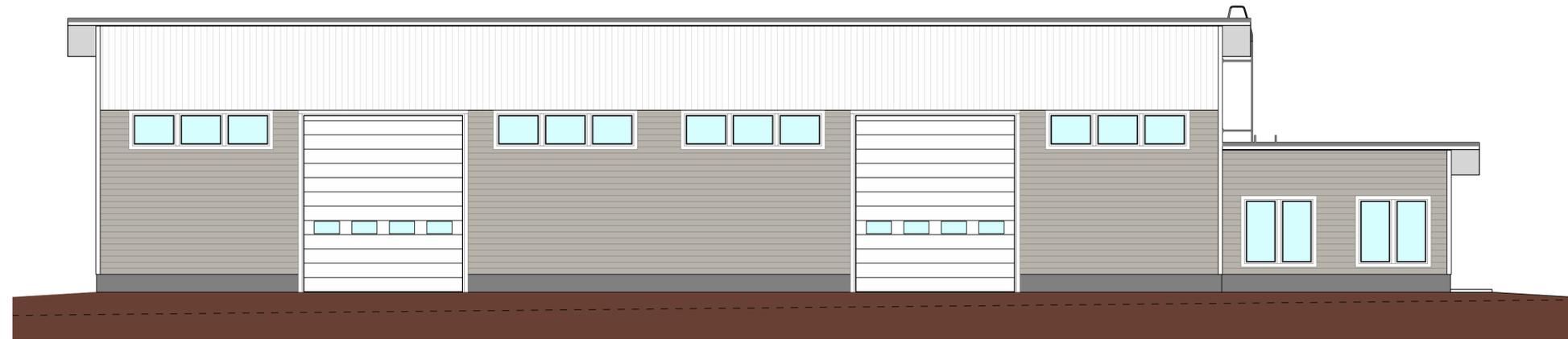
ALKUSAMMUTUSKALUSTO:
-VARASTO/TYÖTILASSA SAMMUTIN 34A 183B

TOIMISTOSSA JA TAUKOTILASSA SÄHKÖVERKKOON
KYTKETTYT PALOVAIROITTIMET PARISTOVAHMONNUKSELLE
POISTUMISTIET VARUSTETAAN ITSEVALAISEVIN OPASTEIN

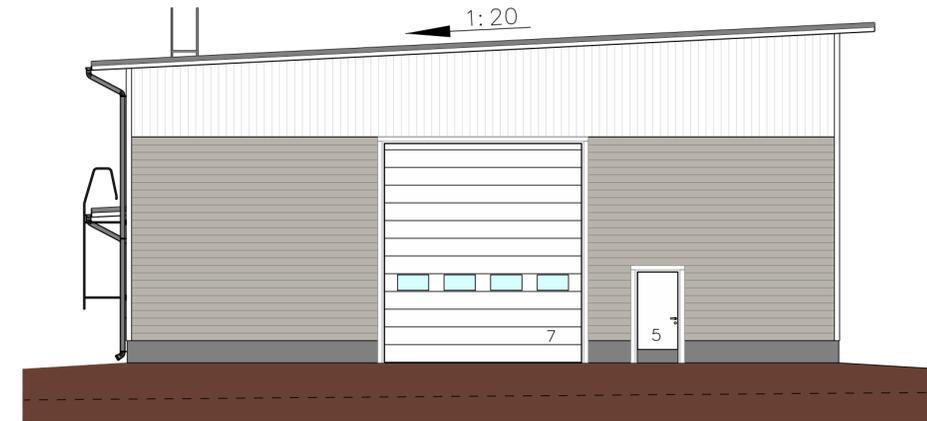
SÄVYNPOISTO NOSTO-OVIEN JA IKKUNOIDEN KAUITA

TUNN.	LUKU.	HUUTOS	NFIM, PYH	
Kaavunpöytä	443	Korttel/Ala	Järvala	4:97
Rakennuslupamenetelmä	Uudisrakennus	Piirustustyyppi	Pöytäpiirustus	Julkaisu
Tilakausnumero	Toimitilarakennus	Rakennuksen nimi	Pohjapiirros	Mittakaava
	Hömeentie 726			1:50
	37830			
JK-Rakennus Oy		Suunnittelija, työnro ja piirustuksen numero		Muutos
Hömeentie 723		37830 Viiala		ARK /
p.0400-935 099		Päiväys, suunnittelija, nimen selvennys ja laatus		Tiedosto
11.11.2020		Ri Janne Kannista		

JULKISIVUT



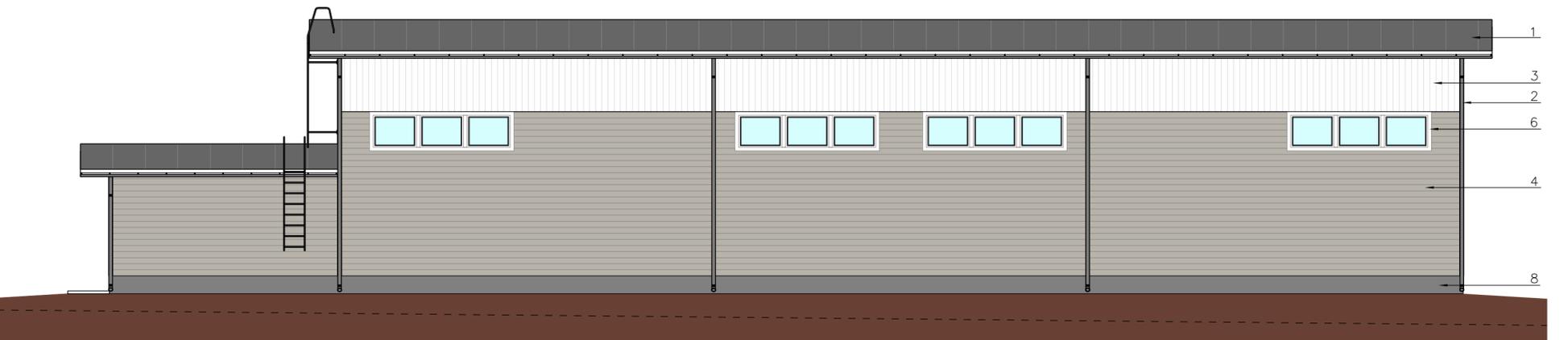
JULKISIVU ETELÄ



JULKISIVU LÄNSI

+100.37
+99.54
+96.22
+93.20
+92.70

JULKISIVUMATERIAALIT JA -VÄRIT	
1. KUMIBITUMIKERMIKATE	TUMMA HARMAA
2. REUNAPELITYKSET, SADEVESIKOURUT JA KATTOTURVATUOTTEET	RR23, TUMMA HARMAA
3. ULKOVERHOUSLAUDOITUS, PYSTYLAUTA	TVT3867, VAALEA
4. ULKOVERHOUSLAUDOITUS, VAAKALAUTA	TIKKURILA 217, HARMAA
5. IKKUNAPUITTEET, KÄYNTIOVET	VALKOINEN
6. VUORILAUDAT, IKKUNAPELITYKSET	VALKOINEN
7. NOSTO-OVET	VALKOINEN
8. SOKKELI	BETONINHARMAA



JULKISIVU POHJOINEN



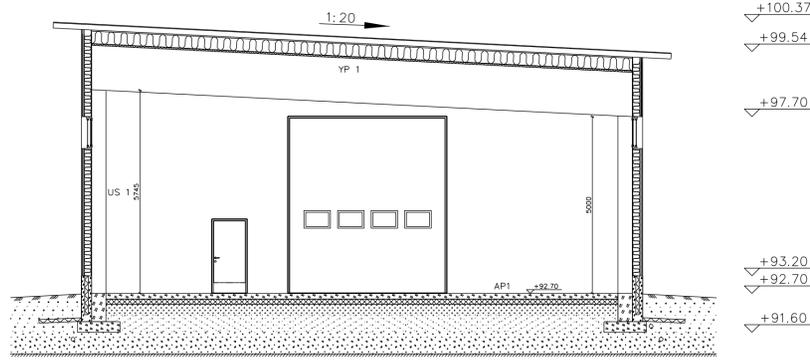
JULKISIVU ITÄ

+100.37
+99.54
+96.89
+96.22
+93.20
+92.70

TUNN.	LUKUM.	MUUTOS	NIMIM. PVM	
Kaupunginosa	Kortteli/tila	Tontti/hra	Viranomaisten merkintä	
443	Jorvala	4:97	Piirustuslaji	Juoks.no
Rakennustoimenpide			Pääpiirustus	03
Rakennuskohde			Piirustuksen sisältö	Mittakaavat
Toimitilarakennus			Julkisivut	1:100
Hämeentie 726				
37830				
JK-Rakennustyö Oy			Suunnitteluala, työnnumero ja piirustuksen numero	Muutos
Hämeentie 723			ARK /	
37830 Viiala				
p.0400-935 099				
Päiväys, suunnittelija, nimen selvitys ja koulutus			Yhteyshenkilö	Tiedosto
11.11.2020 Ri Janne Kannisto				

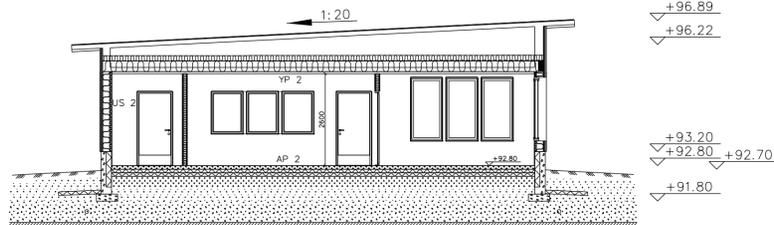
LEIKKAUKSET

LEIKKAUS A-A
1:100



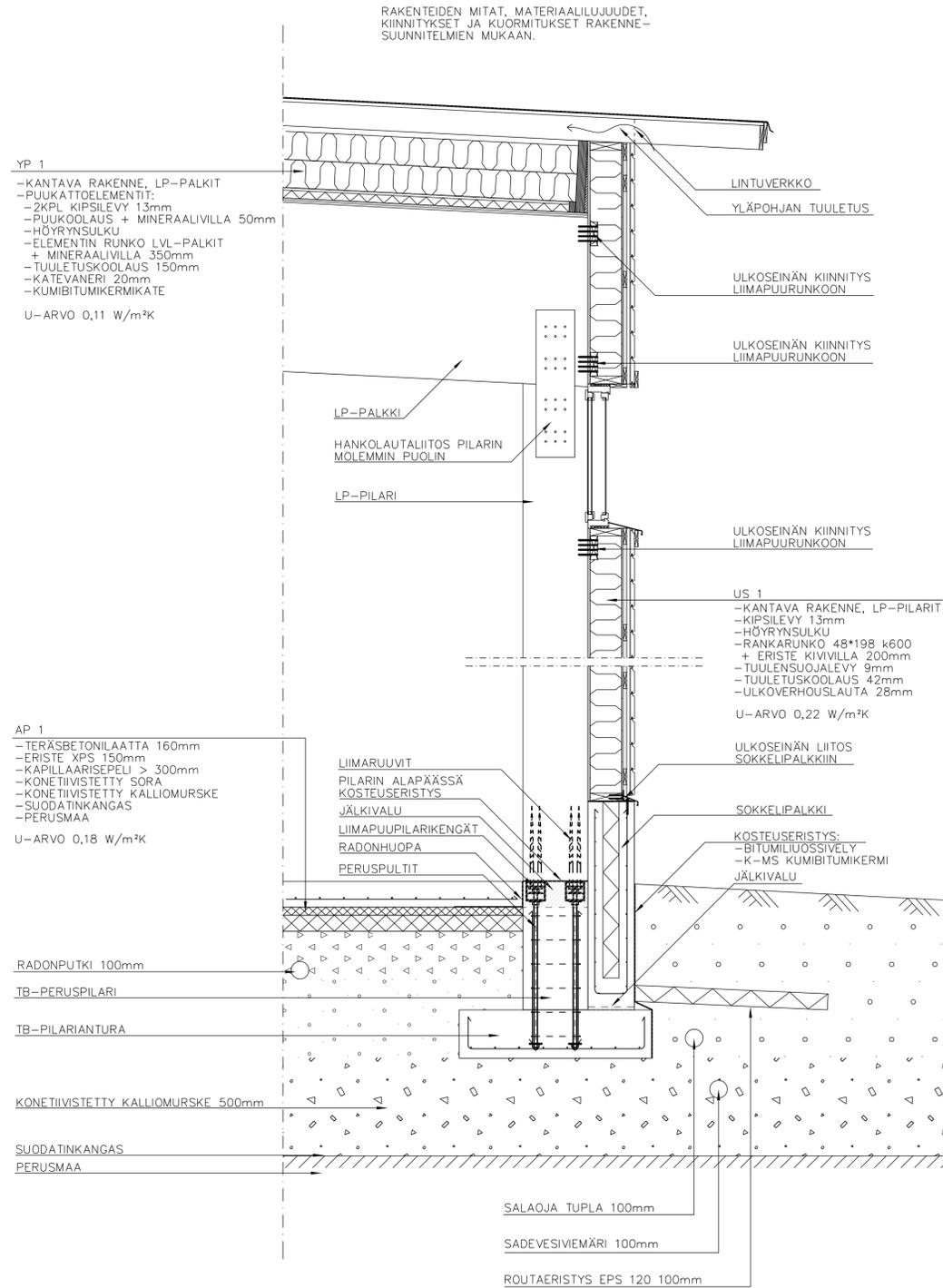
- | | | |
|--|--|--|
| <p>AP 1</p> <ul style="list-style-type: none"> -TERÄSBETONILAATTA 160mm -ERISTE XPS 150mm -KAPILLAARISEPELI > 300mm -KONETIIVISTETTY SORA -KONETIIVISTETTY KALLIOMURSKE -SUODATINKANGAS -PERUSMAA <p>U-ARVO 0,18 W/m²K</p> | <p>US 1</p> <ul style="list-style-type: none"> -KANTAVA RAKENNE, LP-PILARIT -KIPSILEVY 13mm -HÖYRYNSULKU -RANKARUNKO 48*198 k600 + ERISTE KIVIVILLA 200mm -TUULENSUOJALEVY 9mm -TUULETUSKOOLAUS 42mm -ULKOVERHOUSLAUTA 28mm <p>U-ARVO 0,22 W/m²K</p> | <p>YP 1</p> <ul style="list-style-type: none"> -KANTAVA RAKENNE, LP-PALKIT -PUUKATTOELEMENTIT: -2KPL KIPSILEVY 13mm -PUUKOOLAUS + MINERAALIVILLA 50mm -HÖYRYNSULKU -ELEMENTIN RUNKO LVL-PALKIT + MINERAALIVILLA 350mm -TUULETUSKOOLAUS 150mm -KATEVANERI 20mm -KUMBITUMIKERMIKATE <p>U-ARVO 0,11 W/m²K</p> |
|--|--|--|

LEIKKAUS B-B
1:100



- | | | |
|---|---|--|
| <p>AP 2</p> <ul style="list-style-type: none"> -TERÄSBETONILAATTA 100mm -ERISTE PS 200mm -KAPILLAARISEPELI > 300mm -KONETIIVISTETTY SORA -KONETIIVISTETTY KALLIOMURSKE -SUODATINKANGAS -PERUSMAA <p>U-ARVO 0,16 W/m²K</p> | <p>US 2</p> <ul style="list-style-type: none"> -KIPSILEVY 13 mm -VAAKARUNKO 48*48 k600 + ERISTE KIVIVILLA 50mm -HÖYRYNSULKU -NR-RISTIKÖT k900 + ERISTE KIVIVILLA 450mm -TUULETUSTILA -KATEVANERI 18mm -KUMBITUMIKERMIKATE <p>U-ARVO 0,17 W/m²K</p> | <p>YP 2</p> <ul style="list-style-type: none"> -KIPSILEVY 13mm -KOOLAUS 48*48 k400 -HÖYRYNSULKU -NR-RISTIKÖT k900 + ERISTE KIVIVILLA 450mm -TUULETUSTILA -KATEVANERI 18mm -KUMBITUMIKERMIKATE <p>U-ARVO 0,09 W/m²K</p> |
|---|---|--|

RAKENNELEIKKAUS
1:20



TUNN.	LUKUM.	MUUTOS	NPM, PVM	
Kaupunginosa	Korttelit/ta	Tontti/aro	Vironomaisen merkintä	
443	Jarvala	4:97		
Rakennustalonnepide	Pääpiirustus	Juoks.no	Piiirustuksen merkintä	
Uudisrakennus		04		
Rakennuskohde	Piiirustuksen sisältö	Mittakaavat		
Toimitilarakennus	Leikkaus A-A	1:100		
Hämeentie 726	Leikkaus B-B	1:100		
37830 Akaa	Rakenneleikkaus	1:20		
JK-Rakennustyö Oy	Suunnittelija, työnnumero ja piirustuksen numero	Muutos		
Hämeentie 723				
37830 Viiala				
p.0400-935 099				
Päivä, suunnittelija, nimen selvennys ja koulutus	Yhteyshenkilö	Tiedosto		
11.11.2020	RI Janne Kannisto			

Liite 3.

Pääpalkin mitoituslaskelma

Määräykset: Eurocode 5, SFS EN 1995-1-1+A1+AC
Sovellusohjeet: RIL 205-1-2017

Palkkityyppi: Liimapuu, suora palkki
Palkkijako k/k: 5100mm
Palkin jänneväli: 15000mm
Esikorotus: L/400
Liimapuun lujuus: GL 30c
Käyttöluokka: 2
Kuorman aikaluokka: Keskipitkä
Seuraamusluokka CC2

Liimapuun ominaisuudet

$$k_{mod} := 0.80$$

$$K_{FI} := 1.0$$

$$k_{def} := 0.60$$

$$Y_m := 1.25$$

$$k_n := 1.0$$

$$E_{0mean} := 13000 \frac{N}{mm^2}$$

$$k_{c90} := 1.5$$

$$E_{0.05} := 10800 \frac{N}{mm^2}$$

$$G_{mean} := 650 \frac{N}{mm^2}$$

Luuuudet

$$f_{myk} := 30 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{myd} := k_{mod} \cdot \frac{f_{myk}}{Y_m} = 19.2 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{c0k} := 24.5 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{c0d} := \left(k_{mod} \cdot \frac{f_{c0k}}{Y_m} \right) = 15.68 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{c90k} := 2.5 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{c90d} := \left(k_{mod} \cdot \frac{f_{c90k}}{Y_m} \right) = 1.6 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{vk} := 3.5 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{vd} := \left(k_{mod} \cdot \frac{f_{vk}}{Y_m} \right) = 2.24 \frac{N}{mm^2}$$

(jatkuu)

Palkin mitat

Poikkileikkaus	$b_1 := 215 \text{ mm}$	$h_1 := 1080 \text{ mm}$
Jänneväli:	$L := 15 \text{ m}$	
Palkkijako:	$n := 5.1 \text{ m}$	

Kuormat:

Pysyvät kuormat:

-kattoelementit
-ripustuskuorma
-aurinkopaneelit

$$g_{k1} := 1.15 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

-palkin omapaino

$$g_{k2} := 1.16 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Muuttuvat kuormat:

Lumikuorma maassa Akaa

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

Laskentalumikuorma

$$q_{kl} := 2.0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Sekundääristen kattoelementtien jatkuvuuskerroin:
3-aukkoisilla elementeillä 1,1

Tässä laskelmassa esitetään vain mitoittava kuormitustapaus:
omapaino 100% + lumikuorma 100%

$$\Sigma g_k := 1.1 \cdot n \cdot g_{k1} + g_{k2} = 7.61 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\Sigma q_k := 1.1 \cdot n \cdot q_{kl} = 11.22 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$p_k := \Sigma g_k + \Sigma q_k = 18.83 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$p_d := 1.15 \cdot \Sigma g_k + 1.5 \cdot \Sigma q_k = 25.58 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Palkin pään tukireaktio $A_d := p_d \cdot \frac{L}{2} = 191.87 \text{ kN}$

Taivutusmomentti $M_{dmax} := \frac{p_d \cdot L^2}{8} = 719.53 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Maksimi leikkausvoima $V_{dmax} := A_d$

Mitoittava leikkausvoima palkin korkeuden mitan etäisyydellä palkin päästä

$$V_{dmit} := V_{dmax} - h_1 \cdot p_d = 164.24 \text{ kN}$$

Palkin taivutuskestävyyden tarkistus

Taivutusvastus $W_y := \frac{b_1 \cdot h_1^2}{6} = (4.18 \cdot 10^7) \text{ mm}^3$

Taivutusjännitys $\sigma_{myd} := \frac{M_{dmax}}{W_y} = 17.22 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

$$\sigma_{mzd} := 0$$

Liimapuinen suorakaidepoikkileikkaus, kerroin $k_m := 0.7$

Mitoitusehto: $k_m \cdot \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} \leq 1$ $k_m \cdot \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} = 0.628$

Käyttöaste: 63 %

Kiepahduskestävyyden tarkistus:

Poikittaistuentojen väli $a := 2500 \text{ mm}$ (kattoelementin kiinnitysväli)

Palkin tehollinen pituus $l_{ef} := a + 2 h_1 = (4.66 \cdot 10^3) \text{ mm}$

Materiaalikerroin $c := 0.70$

Suorakaidepalkin kriittinen taivutusjännitys

$$\sigma_{m.crit} := \frac{c \cdot b_1^2}{h_1 \cdot l_{ef}} \cdot E_{0.05} = 69.44 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Palkin suhteellinen hoikkuus $\lambda_{rel.m} := \sqrt{\frac{f_{myk}}{\sigma_{m.crit}}} = 0.657$

Kiepahduskerroin $k_{crit} := 1$ kun $\lambda_{rel.m} < 0.75$

Mitoitusehto: $\frac{\sigma_{myd}}{k_{crit} \cdot f_{myd}} \leq 1$ $\frac{\sigma_{myd}}{k_{crit} \cdot f_{myd}} = 0.897$

Käyttöaste: 90 %

Leikkauskestävyyden tarkistus

Liimapuulla $k_{cr} := 1$

Tehollinen leveys $b_{ef} := k_{cr} \cdot b_1 = 0.215 \text{ m}$

Tehollinen ala $A_b := b_{ef} \cdot h_1 = 0.232 \text{ m}^2$

Leikkausjännitys $T_d := \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{dmax}}{A_b} = 1.24 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

Mitoitusehto: $T_d \leq f_{vd}$ $\frac{T_d}{f_{vd}} = 0.553$

Käyttöaste: 56 %

Palkin tukipinnan puristuskestävyyden tarkistus

Arvioidaan mastopilarin koko $b_2 := 215 \text{ mm}$ $h_2 := 360 \text{ mm}$

Tukipinnan tehollinen pituus: $l_{c90ef} := h_2 + 30 \text{ mm} = 390 \text{ mm}$

Tukipainekerroin $k_{c_l} := \frac{l_{c90ef}}{h_2} \cdot k_{c90} = 1.625$

Puristusjännitys syysuuntaa vastaan kohtisuoraan $\sigma_{c90d} := \frac{A_d}{b_2 \cdot h_2} = 2.479 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

$$k_{c_l} \cdot f_{c90d} = 2.6 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Mitoitusehto: $\frac{\sigma_{c90d}}{k_{c_l} \cdot f_{c90d}} \leq 1$ $\frac{\sigma_{c90d}}{k_{c_l} \cdot f_{c90d}} = 0.953$

Käyttöaste: 96 %

Poikittaissuunnan (y -suunta) kiepahdustuen voima ja jousijäykkyys

Tehollisen pituuden suhde jänneväliin tasaisesti jakautuneella kuormalla: 0.9

$$L_{ef,y} := L \cdot 0.9 + 2 \cdot h_1 = 15.66 \text{ m}$$

$$\sigma_{m,crit} := \frac{c \cdot b_1^2}{h_1 \cdot L_{ef,y}} \cdot E_{0.05} = 20.66 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\lambda_{rel,m} := \sqrt{\frac{f_{myk}}{\sigma_{m,crit}}} = 1.205 \quad 0.75 < \lambda_{rel,m} \leq 1.4$$

$$k_{crit} := 1.56 - 0.75 \cdot \lambda_{rel,m} = 0.656$$

Palkin kiepahtamisesta (tai palkin pyrkimyksestä kiepahtaa) syntyy palkin päihin puristava voima

$$N_d := (1 - k_{crit}) \cdot \frac{M_{dmax}}{h_1} = 229 \text{ kN}$$

Poikittaistuettujen kenttien lukumäärä $m := 6$

Kiepahdustuen jousijäykkyyden ehto:

$$C := \left(2 + 2 \cos\left(\frac{180^\circ}{m}\right) \right) \cdot \frac{N_d}{a} = 341.8 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

Kiepahdustukeen syntyvä voima

$$F_{d1} := \frac{N_d}{50 L} \cdot a = 0.763 \text{ kN}$$

Kiepahduksen S-muodon tarkistus

$$I_z := \frac{h_1 \cdot b_1^3}{12} = (8.945 \cdot 10^{-4}) \text{ m}^4$$

$$I_s := \frac{\pi}{\sqrt[4]{\frac{C}{a \cdot E_{0.05} \cdot I_z}}} = 9.108 \text{ m}$$

$$\frac{L}{2} = 7.5 \text{ m} \quad \Rightarrow \quad I_s > \frac{L}{2}$$

S-muodon kiepahdus ei ole mahdollinen

Taipuma KRT palkin keskellä

$$I_y := \frac{b_1 \cdot h_1^3}{12} = 0.023 \text{ m}^4$$

Esikorotus $w_c := \frac{L}{400} = 37.5 \text{ mm}$

Taipuma momentista $w_{inst.M.G} := \frac{5}{384} \cdot \frac{(\sum g_k \cdot L^4)}{(E_{0mean} \cdot I_y)} = 17.1 \text{ mm}$

$$w_{inst.M.Q} := \frac{5}{384} \cdot \frac{\sum q_k \cdot L^4}{E_{0mean} \cdot I_y} = 25.2 \text{ mm}$$

Taipuma leikkausvoimasta $w_{inst.V.G} := \frac{3}{20} \cdot \frac{\sum g_k \cdot L^2}{G_{mean} \cdot A_b} = 1.7 \text{ mm}$

$$w_{inst.V.Q} := \frac{3}{20} \cdot \frac{\sum q_k \cdot L^2}{G_{mean} \cdot A_b} = 2.5 \text{ mm}$$

Kokonaistaipuma

Lumikuorma on määräävä muuttuva kuorma $\psi_2 := 0.2$

$$w_{fin} := (1 + k_{def}) \cdot (w_{inst.M.G} + w_{inst.V.Q}) + (1 + \psi_2 \cdot k_{def}) \cdot (w_{inst.M.Q} + w_{inst.V.Q}) = 62.4 \text{ mm}$$

Mitoitusehto: $w_{fin} < \frac{L}{200}$

$$\frac{w_{fin}}{\frac{L}{200}} = 0.832 \quad \text{Käyttöaste: 84 \%}$$

Lopputaipuma

$$w_{net.fin} := w_{fin} - w_c = 24.9 \text{ mm}$$

Mitoitusehto: $\frac{w_{net.fin}}{\frac{L}{300}} = 0.498 \quad \text{Käyttöaste: 50 \%}$

=> Valitaan palkki 215*1080

Liite 4.

Kehän mastopilarin mitoituslaskelma

Määräykset: Eurocode 5, SFS EN 1995-1-1+A1+AC
Sovellusohjeet: RIL 205-1-2017

Pilarityyppi: Liimapuu, suora pilari
Kehäjako k/k: 5100mm
Palkin jänneväli: 15000mm
Liimapuun lujuus: GL 30c
Käyttöluokka: 1
Kuorman aikaluokka: Hetkellinen
Seuraamusluokka CC2

Liimapuun ominaisuudet

$$k_{def} := 0.60$$

$$K_{FI} := 1.0$$

$$k_{mod} := 1.1$$

$$Y_m := 1.25$$

$$k_m := 0.7$$

$$E_{0mean} := 13000 \frac{N}{mm^2}$$

$$k_n := 1.0$$

$$E_{0.05} := 10800 \frac{N}{mm^2}$$

$$k_{c90} := 1.5$$

$$G_{mean} := 650 \frac{N}{mm^2}$$

$$c := 0.70$$

Lujuudet

$$f_{myk} := 30 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{myd} := k_{mod} \cdot \frac{f_{myk}}{Y_m} = 26.4 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{c0k} := 24.5 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{c0d} := \left(k_{mod} \cdot \frac{f_{c0k}}{Y_m} \right) = 21.56 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{c90k} := 2.5 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{c90d} := \left(k_{mod} \cdot \frac{f_{c90k}}{Y_m} \right) = 2.2 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{vk} := 3.5 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{vd} := \left(k_{mod} \cdot \frac{f_{vk}}{Y_m} \right) = 3.08 \frac{N}{mm^2}$$

(jatkuu)

Rakenteen mitat

Pilarin pituus	$h_c := 5800 \text{ mm}$
Palkin korkeus	$h_b := 1100 \text{ mm}$
Kattorakenteen korkeus	$h_r := 700 \text{ mm}$
Kokonaiskorkeus	$H := 7600 \text{ mm}$

KuormatRakenteet

Kattorakenne	$1.15 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$
Pääpalkin omapaino	$1.16 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$
Räystä omapaino	$0.2 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$
Yhteensä yhdelle mastopilarille	$G_{rak} := 56.5 \text{ kN}$

Tuulikuorma

Tuulen nopeuspaineen ominaisarvo maastoluokassa II	$q_{p0}h := 0.6 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$
Maaston kaltevuuskerroin	$\gamma_D := 1.0$
Nopeuspaine	$q_p h := \gamma_D \cdot q_{p0} h = 0.6 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$
Rakennuksen leveys tuulen suuntaa vastaan	$B := 31.2 \text{ m}$
Rakennuksen leveys tuulen suuntaan	$D := 15.9 \text{ m}$
Rakennuksen korkeus on alle 15 m:	
Rakennuksen hoikkuus	$\lambda := \frac{2 \cdot H}{B} = 0.487$
Sivujen suhde	$\frac{D}{B} = 0.51$
Voimakerroin	$c_f := 1.37$

Rakennekerroin	$c_s c_d := 1.0$
Kokonaistuulikuorma sivuseinälle	$q_{w.k} := c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p h = 0.82 \frac{kN}{m^2}$
Yhdelle kehäpilarille	$q_{wk} := q_{w.k} \cdot 5.1 \text{ m} = 4.19 \frac{kN}{m}$
	$q_{wd} := 1.5 \cdot q_{wk} = 6.29 \frac{kN}{m}$

Tuulikuorma palkin ja kattorakenteen osalta yhdelle kehäpilarille

$$F_{wk} := 1.8 \text{ m} \cdot q_{wk} = 7.55 \text{ kN}$$

$$F_{wd} := 1.5 \cdot F_{wk} = 11.32 \text{ kN}$$

Lumikuorma

Lumikuorma alueelta: rakennuksen leveyden puolikas + räystäs

Laskentalumikuorma yhdelle kehäpilarille	$Q_{kl} := 2.0 \frac{kN}{m^2} \cdot 5.1 \text{ m} \left(\frac{D}{2} + 0.8 \text{ m} \right) = 89.25 \text{ kN}$
--	--

Kuormitustapaus

Tässä laskelmassa esitetään vain mitoitettava kuormitustapaus: omapaino 100% + tuulikuorma 100% + lumi 70%

Normaalivoima	$N_d := 1.15 \cdot K_{Fl} \cdot G_{rak} + 1.5 \cdot K_{Fl} \cdot 0.7 \cdot Q_{kl} = 158.7 \text{ kN}$
Lisävaakavoima	$H_{Td} := \frac{N_d}{150} = 1.06 \text{ kN}$
Taivutusmomentti seinän tuulikuormasta	$M_{dy1} := \frac{5 \cdot q_{wd} \cdot h_c^2}{16} = 66.11 \text{ kN} \cdot \text{m}$
Pistekuormista	$M_{dy2} := \frac{F_{wd} \cdot h_c}{2} + \frac{H_{Td} \cdot h_c}{2} = 35.89 \text{ kN} \cdot \text{m}$
Yhteensä	$M_d := M_{dy1} + M_{dy2} = 102 \text{ kN} \cdot \text{m}$
Pilarin leikkausvoima	$V_d := \frac{4 \cdot q_{wd} \cdot h_c}{5} + \frac{F_{wd}}{2} + \frac{H_{Td}}{2} = 35.37 \text{ kN}$

Pilarin mitoitus

Alustavasti oli valittu pilari 215*360

$$A_1 := 77400 \text{ mm}^2 \quad I_{y1} := 835.92 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$W_{y1} := 4.644 \cdot 10^6 \text{ mm}^3 \quad I_{z1} := 298.15 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

Nurjahduskestävyys palkin suunnassa (z-suunta)

Nurjahduspituus $L_{cz} := 2.5 \cdot h_c = (1.45 \cdot 10^4) \text{ mm}$

Hitaussäde $i_y := \sqrt{\frac{I_{y1}}{A_1}} = 104 \text{ mm}$

Hoikkuusluku $\lambda_y := \frac{L_{cz}}{i_y} = 140$

Muunnettu hoikkuusluku $\lambda_{rel,y} := \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c0k}}{E_{0.05}}} = 2.1$

Alkukäyryyskerroin $\beta_c := 0.1$

Kerroin $k_y := 0.5 \left(1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0.3) + \lambda_{rel,y}^2 \right) = 2.828$

Nurjahduskerroin $k_{cy} := \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0.213$

Puristusjännitys $\sigma_{cod1} := \frac{N_d}{A_1} = 2.05 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

Taivutusjännitys $\sigma_{myd1} := \frac{M_d}{W_{y1}} = 21.96 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

Taivutusjännitys y-suuntaan $\sigma_{mzd} := 0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

Mitoitusehto: $\frac{\sigma_{cod1}}{k_{cy} \cdot f_{cod}} + \frac{\sigma_{myd1}}{f_{myd}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{mzd}}{f_{myd}} = 1.28 > 1, \text{ ei riitä}$

=> Kokeillaan pilariksi 215*405

$$A_2 := 87075 \text{ mm}^2$$

$$W_{y2} := 5.87 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$I_{y2} := 1190 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_{z2} := 335 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

Nurjahduskestävyys palkin suunnassa (z-suunta)

$$i_{y2} := \sqrt{\frac{I_{y2}}{A_2}} = 117 \text{ mm}$$

$$\lambda_{y2} := \frac{L_{cz}}{i_{y2}} = 124$$

$$\lambda_{rel,y2} := \frac{\lambda_{y2}}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c0k}}{E_{0.05}}} = 1.88$$

$$k_{y2} := 0.5 \left(1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y2} - 0.3) + \lambda_{rel,y2}^2 \right) = 2.35$$

$$k_{cy2} := \frac{1}{k_{y2} + \sqrt{k_{y2}^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0.3$$

$$\sigma_{cod2} := \frac{N_d}{A_2} = 1.82 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{myd2} := \frac{M_d}{W_{y2}} = 17.38 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Mitoitusehto:

$$\frac{\sigma_{cod2}}{k_{cy2} \cdot f_{c0d}} + \frac{\sigma_{myd2}}{f_{myd}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{mzd}}{f_{myd}} = 0.943$$

käyttöaste 95 %

Nurjahduskestävyys seinän suunnassa (y-suunta)

Tarkistetaan nurjahduskestävyys ilman välitukia, $a := h_c = 5.8 \text{ m}$

$$L_{cy} := 1.0 \cdot a = 5.8 \text{ m}$$

$$i_z := \sqrt{\frac{I_{z2}}{A_2}} = 62 \text{ mm}$$

$$\lambda_z := \frac{L_{cy}}{i_z} = 93.51$$

$$\lambda_{rel.z} := \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c0k}}{E_{0.05}}} = 1.42$$

$$k_z := 0.5 \left(1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel.z} - 0.3) + \lambda_{rel.z}^2 \right) = 1.56$$

$$k_{cz} := \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel.z}^2}} = 0.45 < 1$$

Mitoitusehto:

$$\frac{\sigma_{cod2}}{k_{cz} \cdot f_{c0d}} + k_m \frac{\sigma_{myd2}}{f_{myd}} + \frac{\sigma_{mzd}}{f_{myd}} = 0.648$$

käyttöaste 65 %

Pilarin sisäreunan kiepahduskestävyys

Pilari 215*405

$$b_2 := 215 \text{ mm}$$

$$h_2 := 405 \text{ mm}$$

Määrävä kuormitus vaikuttaa pilarin vedetyllä reunalla, tehollinen kiepahduspituus:

$$L_{efy} := h_c - 0.5 \cdot h_2 = 5.598 \text{ m}$$

$$\sigma_{m.crit} := \frac{c \cdot b_2^2}{h_2 \cdot L_{efy}} \cdot E_{0.05} = 154.2 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\lambda_{rel.m} := \sqrt{\frac{f_{myk}}{\sigma_{m.crit}}} = 0.441 < 0.75 \Rightarrow k_{crit} := 1$$

Pilari ei ole kiepahdusherkkä, kiepahduksen jännitysehtoja ei tarvitse tarkastaa.

Leikkauskestävyys

Leikkausjännitys $T_d := \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{A_2} = 0.61 \frac{N}{mm^2}$

Mitoitusehto: $T_d \leq f_{vd} \quad \frac{T_d}{f_{vd}} = 0.198$

Käyttöaste 20 %

Seinän suuntaisen (y-suunnan) nurjahdustuen voima ja jousijäykkyys

Pilarilla on tasainen kuorma vedetyllä reunalla + pistekuorma päässä.

$$k_{crit} := 1$$

$$N_{ds} := (1 - k_{crit}) \frac{M_d}{h_c} = 0 \text{ N}$$

$$\Rightarrow \Sigma N := N_d = 158.7 \text{ kN}$$

Poikittaistuettujen kenttien lukumäärä, oletus $m := 3$

Kiepahdustukiväli $a_1 := \frac{h_c}{3} = 1933 \text{ mm}$

Nurjahdustuen jousijäykkyyden ehto:

$$C := \left(2 + 2 \cos \left(\frac{180^\circ}{m} \right) \right) \cdot \frac{N_d}{a} = 82.08 \frac{N}{mm}$$

Nurjahdustukeen syntyvä voima (1-muodossa)

$$F_{d1} := \frac{N_d}{50 h_c} \cdot a_1 = 1.06 \text{ kN}$$

Nurjahduksen S-muodon tarkistus

Kriittinen aallonpituus

$$l_s := \frac{\pi}{\sqrt[4]{\frac{C}{a_1 \cdot E_{0.05} \cdot I_{z2}}}} = 9.545 \text{ m}$$

$$l_s > \frac{h_c}{2}$$

S-muodon kiepahdus ei ole mahdollinen

Mastopilakehän taipuma (vaakasiirtymä) KRT

Normaalivoima KRT

$$N_k := G_{rak} + Q_{kl} = 145.75 \text{ kN}$$

Lisävaakavoima

$$H_{Tk} := \frac{N_k}{150} = 0.97 \text{ kN}$$

Hetkellinen taipuma pysyvistä kuormista (lisävaakavoimasta)

$$w_H := \frac{H_{Tk} \cdot h_c^3}{3 \cdot E_{0mean} \cdot I_{y2}} = 4 \text{ mm}$$

Hetkellinen taipuma tuulikuormasta

Määräavalle muuttuvalle kuormalle käytetään taipuman laskennassa (tavallinen yhdistelmä) yhdistelykerrointa $\psi_1 := 0.2$

$$w_{qt} := \frac{\psi_1 \cdot q_{wk} \cdot h_c^4}{8 \cdot E_{0mean} \cdot I_{y2}} + \frac{\psi_1 \cdot F_{wk} \cdot h_c^3}{3 \cdot E_{0mean} \cdot I_{y2}} = 14 \text{ mm}$$

$$w_{tot} := w_H + w_{qt} = 18 \text{ mm}$$

$$w_{net.fin.sall} := \frac{H}{300} = 25 \text{ mm}$$

Mitoitusehto:

$$w_{tot} < w_{net.fin.sall}$$

$$\frac{w_{tot}}{w_{net.fin.sall}} = 0.714$$

Käyttöaste 72 %

=> Valitaan kehän mastopilariksi 215*405

Liite 5.

Päätyjäykisteen (pilarit ja palkki) mitoituslaskelma

Määräykset: Eurocode 5, SFS EN 1995-1-1+A1+AC

Sovellusohjeet: RIL 205-1-2017

Pilarityyppi: Liimapuu, suora pilari

Palkkityyppi: Liimapuu, suora palkki

Pilarien väli: 5.1m

Liimapuun lujuus: GL 30c

Käyttöluokka: 1

Kuorman aikaluokka: Hetkellinen, päätypalkin kestävyudessa keskipitkä

Seuraamusluokka CC2

Liimapuun ominaisuudet, hetkellinen:

$$k_{def} := 0.60$$

$$K_{FI} := 1.0$$

$$k_{mod} := 1.1$$

$$\gamma_m := 1.25$$

$$k_m := 0.7$$

$$E_{0mean} := 13000 \frac{N}{mm^2}$$

$$k_n := 1.0$$

$$E_{0.05} := 10800 \frac{N}{mm^2}$$

$$k_{c90} := 1.5$$

$$G_{mean} := 650 \frac{N}{mm^2}$$

$$c := 0.70$$

Lujuudet

$$f_{myk} := 30 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{myd} := k_{mod} \cdot \frac{f_{myk}}{\gamma_m} = 26.4 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{c0k} := 24.5 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{c0d} := \left(k_{mod} \cdot \frac{f_{c0k}}{\gamma_m} \right) = 21.56 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{c90k} := 2.5 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{c90d} := \left(k_{mod} \cdot \frac{f_{c90k}}{\gamma_m} \right) = 2.2 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{vk} := 3.5 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{vd} := \left(k_{mod} \cdot \frac{f_{vk}}{\gamma_m} \right) = 3.08 \frac{N}{mm^2}$$

(jatkuu)

Lasketaan pisimmän pääty Pilarin mukaan	$l_c := 6.57 \text{ m}$
Kuormitusleveys katon osalta	$s := \frac{5.1 \text{ m}}{2} = 2.55 \text{ m}$
Räystään pituus	$r := 0.8 \text{ m}$

Kuormat

Rakenteet omapaino

Kattorakenne	$1.15 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot s = 2.93 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$
Päätypalkki	$0.3 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$
Räystä omapaino	$0.2 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$
Yhteensä	$g_{rak} := 3.433 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$
Yhdelle pääty Pilarille	$G_{rak} := g_{rak} \cdot 5.1 \text{ m} = 17.51 \text{ kN}$

Tuulikuorma

Kokonaiskorkeus	$H := 7.6 \text{ m}$
Rakennuksen leveys tuulen suuntaa vastaan	$B := 15.9 \text{ m}$
Rakennuksen leveys tuulen suuntaan	$D := 31.2 \text{ m}$
Rakennuksen hoikkuus	$\lambda := \frac{2 \cdot H}{B} = 0.956$
Sivujen suhde	$\frac{D}{B} = 1.962$
Nopeuspaine	$q_p h := 0.6 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$
Voimakertoin	$c_f := 1.0$
Rakennekerroin	$c_s c_d := 1.0$
Tuulikuorma pääty seinälle	$q_{w,k} := c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p h = 0.6 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$
Tuulikuorma pääty Pilarille	$q_{wk} := q_{w,k} \cdot 5.1 \text{ m} = 3.06 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$
	$q_{wd} := 1.5 \cdot q_{wk} = 4.59 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Lumikuorma

Laskentalumikuorma $q_{lk} := 2.0 \frac{kN}{m^2} (s + r) = 6.7 \frac{kN}{m}$

$$q_{ld} := 1.5 \cdot q_{lk} = 10.05 \frac{kN}{m}$$

Tässä laskelmassa esitetään vain kuormitustapaus: omapaino 100% + tuulikuorma 100% + lumi 70%

Lisävaakavoima pääpalkkien asennusvinoudesta

Pääpalkin kuormat $g_{pk} := 7.612 \frac{kN}{m}$

$$q_{pk} := 11.22 \frac{kN}{m}$$

$$N_{pd} := 1.15 \cdot K_{F1} \cdot g_{pk} + 1.5 \cdot K_{F1} \cdot 0.7 \cdot q_{pk} = 20.53 \frac{kN}{m}$$

Lisävaakavoima $\frac{B}{D} \cdot \frac{N_{pd}}{150} = 0.07 \frac{kN}{m} < \frac{N_{pd}}{250} = 0.08 \frac{kN}{m}$

$$\Rightarrow H_{dL} := 0.08 \frac{kN}{m}$$

Pääpalkkeja yht. 5kpl, lisävaakavoima kaikilta palkeilta $H_{dL,tot} := 5 \cdot H_{dL} = 0.4 \frac{kN}{m}$

Jäykistyskuorma pääpalkkien kiepahdustuennasta

Kiepahdustukemattomalle palkille

$$M_d := \frac{N_{pd} \cdot (15 \text{ m})^2}{8} = 577.5 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$k_{crit} := 0.656$$

Palkin puristusvoiman laskenta-arvo

$$N_d := (1 - k_{crit}) \cdot \frac{M_d}{1.08 \text{ m}} = 184 \text{ kN}$$

Kerroin $k_1 := \sqrt{\frac{15}{15}} = 1$

Sisäinen jäykistyskuorma viideltä palkilta $q_{jd} := k_1 \cdot \frac{5 \cdot N_d}{50 \cdot 15 \text{ m}} = 1.23 \frac{kN}{m}$

Katon kitkan aiheuttama tuulikuorma

Kitkakuorman vaikutuspituus $D - \min(2 \cdot B; 4 \cdot H) = 2.3 \text{ m}$

=> vaikutuspituus on niin pieni, että siltä kertyvä kuorma on merkityksetön.

Päätypalkille tuleva vaakakuorma yhteensä

$$\Sigma p_d := H_{dLtot} + q_{jd} = 1.63 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Vaakakuorma siirtyy päätypalkin kautta päätypilareille, suurin pistekuorma keskimmäisten pilarien päässä $F_{pd} := 9.18 \text{ kN}$

Päätviäykisteen siirtymä

Hallirakennuksen vaakasiirtymää käyttörajatilassa ei tarvitse tarkistaa, ellei siitä ole erityistä haittaa ulkonäölle tai rakenteiden toiminnalle. Rakenteen jäykisteen max. vaakasiirtymä murtorajatilassa on L/500, joka tulee tarkistaa.

Valitaan alustavasti päätypalkiksi 215*360

Palkin mitat $b_b := 215 \text{ mm}$ $h_b := 360 \text{ mm}$

Pinta-ala $A_b := 77400 \text{ mm}^2$

Taivutusvastus $W_b := 4.644 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$

Jäyhyysmomentti $I_{by} := 835.92 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$

$I_{bz} := 298.15 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$

Vaakakuormasta aiheutuva palkin taipuma, hetkellinen aikaluokka, ei virumaa

$$w_1 := \frac{\Sigma p_d \cdot (5.1 \text{ m})^4}{192 \cdot E_{0mean} \cdot I_{bz}} = 1.5 \text{ mm}$$

Mastopilarien max. taipuma

Valitaan alustavasti päätypilariksi 240*675

$$b_c := 240 \text{ mm} \quad h_c := 675 \text{ mm}$$

$$A_c := 162000 \text{ mm}^2$$

$$W_c := 18.2 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$I_{cy} := 6151 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_{cz} := 777.6 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

Taipuma tuulikuormasta $w_2 := \frac{q_{wd} \cdot l_c^4}{8 \cdot E_{0mean} \cdot I_{cy}} = 13.4 \text{ mm}$

Taipuma päätypalkin kautta tulevasta vaakakuormasta

$$w_3 := \frac{F_{pd} \cdot l_c^3}{3 \cdot E_{0mean} \cdot I_{cy}} = 10.9 \text{ mm}$$

Päätyjäykisteen kokonaisvaakasiirtymä $w_{mt} := w_1 + w_2 + w_3 = 25.7 \text{ mm}$

Taipumaraja $\frac{15 \text{ m}}{500} = 30 \text{ mm}$ Käyttöaste 86 %

Päätypalkin kestävyden mitoitus

Tarkistetaan palkin kestävyys kuormitustapauksessa omapaino 100% + lumi 100%

Taivutuskestävyys

Kuorma katolta $p_{dp} := 1.15 \cdot 1.1 \cdot g_{rak} + 1.5 \cdot 1.1 \cdot q_{lk} = 15.4 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Jatkuvan palkin momentti laskentaohjelmasta $M_{ydmx} := 31.96 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Taivutusjännitys $\sigma_{myd} := \frac{M_{ydmx}}{W_b} = 6.88 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

Mitoitusehto $f_{myd} \geq \sigma_{myd}$ keskipitkä $f_{md} := 19.2 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$
Käyttöaste 36 %

Kiepahdyskestävyys

Kiepahdustuentaväli = pilariväli $a := 5100 \text{ mm}$

Sivusuunnassa tuetun pilarin tehollinen jänneväli

$$l_{ef} := a + 2 \cdot h_b = (5.82 \cdot 10^3) \text{ mm}$$

Suorakaidepalkin kriittinen taivutusjännitys

$$\sigma_{m.crit} := \frac{c \cdot b_b^2}{h_b \cdot l_{ef}} \cdot E_{0.05} = 166.8 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Palkin suhteellinen hoikkuus

$$\lambda_{rel.m} := \sqrt{\frac{f_{myk}}{\sigma_{m.crit}}} = 0.424$$

Kiepahduskerroin $k_{crit} := 1$ $\lambda_{rel.m} < 0.75$ \Rightarrow ei kiepahda

Leikkauskestävyys

Leikkausvoima $V_{dmax} := 47.17 \text{ kN}$

Leikkausjännitys $T_d := \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{dmax}}{A_b} = 0.91 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

Mitoitusehto $T_d \leq f_{vd}$ keskipitkä kuormitus $f_{vd} := 2.24 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$
 Käyttöaste 41%

Tukipainekestävyys

Tukipinnan tehollinen pituus: $l_{c90ef} := 30 \text{ mm} + b_c + 30 \text{ mm} = 300 \text{ mm}$

Tukipaine kerroin $k_{c.L} := \frac{l_{c90ef}}{b_c} \cdot k_{c90} = 1.875$

Suurin tukireaktio palkissa $A_d := 86.4 \text{ kN}$

Suurin puristusjännitys palkissa

$$\sigma_{c90d} := \frac{A_d}{b_b \cdot b_c} = 1.67 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Mitoitusehto $\frac{\sigma_{c90d}}{k_{c,l} \cdot f_{c90d}} \leq 1$ keskipitkä kuormitus

Käyttöaste 41%

Taipuma KRT

Palkin taipuma pysyvistä kuormista

$$w_{inst.G} := \frac{1.1 \cdot g_{rak} \cdot a^4}{192 \cdot E_{0mean} \cdot I_{by}} = 1.2 \text{ mm}$$

Taipuma lumikuormasta $\psi_2 := 0.2$

$$w_{inst.Q} := \frac{1.1 \cdot q_{lk} \cdot a^4}{192 \cdot E_{0mean} \cdot I_{by}} = 2.4 \text{ mm}$$

Lopputaipuma $w_{net.fin} := (1 + k_{def}) \cdot w_{inst.G} + (1 + \psi_2 \cdot k_{def}) \cdot w_{inst.Q} = 4.6 \text{ mm}$

KRT taipumaraja L/300 $17 \text{ mm} > 4.6 \text{ mm}$

Käyttöaste 28 %

Pääty pilarin kestävyvden mitoitus

Tarkistetaan pilarin toiminta puhtaana mastona

Taivutusmomentti tuulikuormasta

$$M_{yd1} := \frac{q_{wd} \cdot l_c^2}{2} = 99.1 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Päätypalkin kautta pilarille tuleva pystykuorma (jossa lunta 70%)

$$N_{dp} := (1.15 \cdot 1.1 \cdot g_{rak} + 1.5 \cdot 1.1 \cdot 0.7 \cdot q_{lk}) \cdot 5.1 \text{ m} = 61.6 \text{ kN}$$

Taivutusmomentti päätypalkin kautta pilarille tulevan pystykuorman epäkeskisyydestä, $e = 230 \text{ mm}$

$$M_{yd2} := N_{dp} \cdot 0.23 \text{ m} = 14.2 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Taivutusmomentti jäykistysvoimista tulevasta vaakakuormasta

$$M_{yd2} := F_{pd} \cdot l_c = 60.3 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Kattorakenteen korkeuden osalta (0.7m) tuleva tuulikuorma pilarille

$$F_{wd} := q_{wd} \cdot 0.7 \text{ m} = 3.2 \text{ kN}$$

Taivutusmomentti tuulikuormasta kattorakenteen korkeuden osalta

$$M_{yd4} := F_{wd} \cdot l_c = 21.1 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Päätypilarin taivutusmomentti yhteensä

$$\Sigma M_{yd} := M_{yd1} + M_{yd2} + M_{yd2} + M_{yd4} = 240.8 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Nurjahduskestävyys

Pilarin nurjahduspituus

$$L_c := 2.5 \cdot l_c = 16.425 \text{ m}$$

Jäyhyyssäde

$$i_y := \sqrt{\frac{I_{cy}}{A_c}} = 195 \text{ mm}$$

Hoikkuus

$$\lambda_y := \frac{L_c}{i_y} = 84.3$$

Muunnettu hoikkuusluku

$$\lambda_{rel,y} := \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c0k}}{E_{0.05}}} = 1.278$$

Alkukäyryskerroin

$$\beta_c := 0.1$$

Kerroin

$$k_y := 0.5 \left(1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0.3) + \lambda_{rel,y}^2 \right) = 1.365$$

Nurjahduskerroin

$$k_{cy} := \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0.542$$

Puristusjännitys

$$\sigma_{cod1} := \frac{N_{dp}}{A_c} = 0.38 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Taivutusjännitys

$$\sigma_{myd1} := \frac{\Sigma M_{yd}}{W_c} = 13.23 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{mzd1} := 0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Mitoitusehto

$$\frac{\sigma_{cod1}}{k_{cy} \cdot f_{c0d}} + \frac{\sigma_{myd1}}{f_{myd}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{mzd1}}{f_{myd}} = 0.534$$

Käyttöaste 54 %

Kiepahdukestävyys

Tasaisesti jakautunut kuorma ja pistekuorma ulokkeen päässä, tehollinen kiepahduspituus:

$$L_{efy} := l_c = (6.57 \cdot 10^3) \text{ mm}$$

Kriittinen taivutusjännitys $\sigma_{m.crit} := \frac{c \cdot b_c^2}{h_c \cdot L_{efy}} \cdot E_{0.05} = 98.2 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

Suhteellinen hoikkuus $\lambda_{rel.m} := \sqrt{\frac{f_{myk}}{\sigma_{m.crit}}} = 0.553 < 0.75 \Rightarrow k_{crit} := 1$

Pilari ei ole kiepahdusherkkä, kiepahduksen jännitysehtoja ei tarvitse tarkastaa.

Leikkauskestävyys

Leikkausvoima tuulikuormasta koko päädyn korkeudelta

$$V_{d1} := q_{wd} \cdot (l_c + 0.7 \text{ m}) = 33.4 \text{ kN}$$

Leikkausvoima vaakakuormasta

$$V_{d2} := F_{pd}$$

Leikkausvoima yhteensä

$$\Sigma V_d := V_{d1} + V_{d2} = 42.5 \text{ kN}$$

$$T_d := \frac{3}{2} \cdot \frac{\Sigma V_d}{A_c} = 0.39 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Mitoitusehto: $T_d \leq f_{vd} \quad \frac{T_d}{f_{vd}} = 0.176$

Käyttöaste 18%

Pilarin taipuma KRT

Pilarin taipuma laskettiin päätyjäykisteen vaakasiirtymän yhteydessä. Pilarin taipuma murtorajatilassa oli pienempi kuin käyttörajatilan taipumaraja $L/300$, joten käyttörajatilan tarkastelua ei tarvitse erikseen tehdä.

=> Valitaan päatypalkki 215*360 ja päatypilarit 240*675

Liite 6.

Pääpalkin ja mastopilarin välisen hankolautaliitoksen mitoituslaskelmat

Määräykset:

-Puurakenteet Eurocode 5, SFS EN 1995-1-1+A1+AC

Sovellusohjeet:

-RIL 205-1-2017

-ETA 11/0190 Wurth self-tapping screws for use in timber constructions

-Puuinfo hankolautaliitos esimerkkilaskelma

Pilarityyppi: Liimapuu, suora pilari 215*405

Palkkityyppi: Liimapuu, suora palkki 215*1080

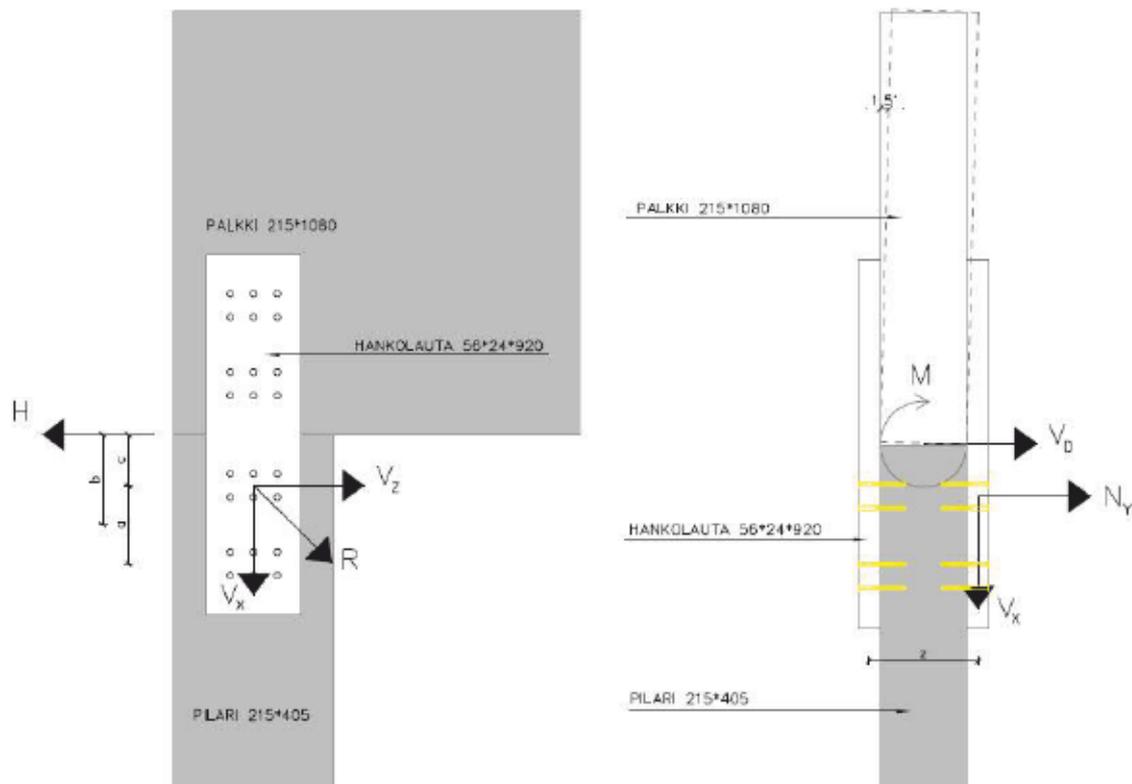
Pilarien väli: 5.1m

Liimapuun lujuus: GL 30c, hankolaudat GL30cs

Käyttöluokka: 1

Kuorman aikaluokka: hetkellinen

Seuraamusluokka CC2



Periaatepiirros hankolautaliitoksesta ja voimien suunnat

(jatkuu)

Kuormat

Oletus: pääpalkki kallellaan 1.5 astetta, kuorman epäkeskisyys

$$e := \sin(1.5^\circ) \cdot 1080 \text{ mm} = 28.27 \text{ mm}$$

Palkin pystytukireaktio $N_d := 191.874 \text{ kN}$

Palkin vaakaturkireaktio tuulikuormasta pilarin päässä

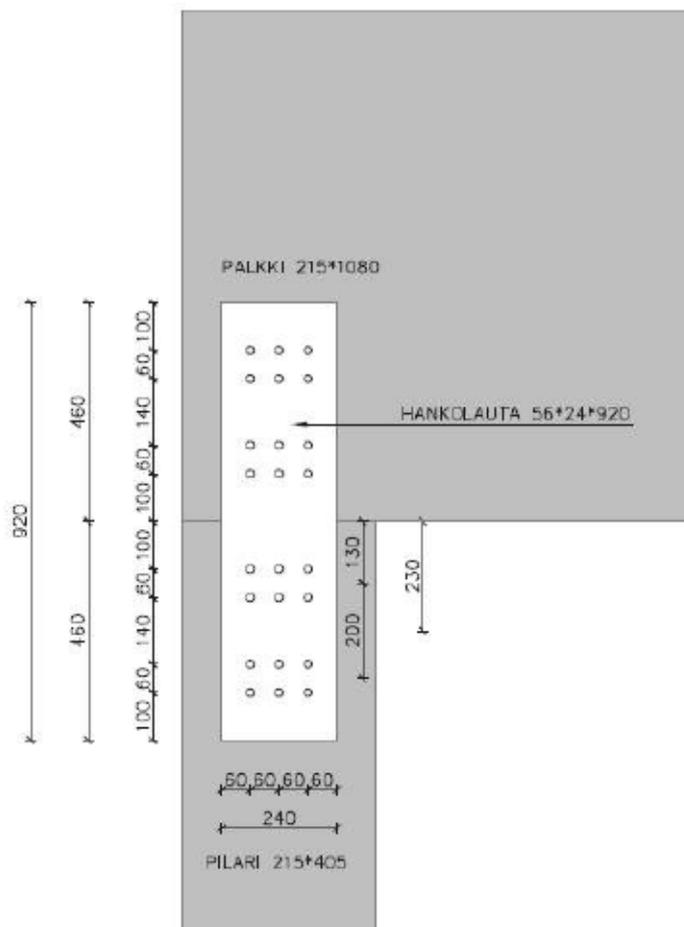
$$H_d := 11.319 \text{ kN}$$

Pääpalkin kallistumasta aiheutuva momentti

$$M_d := N_d \cdot e = 5.42 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Pääpalkin kallistumasta aiheutuva leikkausvoima

$$V_d := N_d \cdot \sin(1.5^\circ) = 5.02 \text{ kN}$$



Liittimien ja liitinryhmien väliset etäisyydet hankolautaliitoksessa

Hankolaudat

Uloimman liittimen etäisyys palkin ja pilarin saumasta

$$L := (100 + 60 + 140 + 60) \text{ mm} = 360 \text{ mm}$$

Etäisyydelle L asetettu ehto $L \leq \frac{H}{3}$ $H \geq 1080 \text{ mm}$ ok, palkin $h=1080 \text{ mm}$

Hankolautojen mitat $56*240*920 \text{ mm}$

Liitosvoimat

Liitinryhmiä / hankolaudan puolikas $n_r := 2$

Hankolautoja liitoksessa $n_h := 2$

Liitinryhmien välinen etäisyys $a := 200 \text{ mm}$

Liitinryhmien painopisteen etäisyys pilarin ja palkin saumasta $b := 230 \text{ mm}$

Lähimmän liitinryhmän painopisteen etäisyys pilarin ja palkin saumasta $c := 130 \text{ mm}$

Hankolautojen keskilinjojen välinen etäisyys $z := 271 \text{ mm}$

Voimat

$$V_{xd} := \frac{M_d}{z \cdot n_r} = 10.01 \text{ kN}$$

$$V_{zd} := \frac{H_d}{n_h \cdot n_r} + \frac{H_d \cdot b}{n_h \cdot a} = 9.34 \text{ kN}$$

$$N_{yd} := \frac{\left(\frac{V_d \cdot b}{a} + \frac{V_d}{n_r} \right)}{n_h} = 4.14 \text{ kN}$$

$$M_{zd} := \frac{V_d \cdot b}{n_h} - \frac{V_d \cdot a}{n_h \cdot n_r} = 0.33 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$Q_{zd,h} := \frac{V_d}{n_h} = 2.51 \text{ kN}$$

$$M_{yd} := \frac{H_d \cdot b}{n_h} - \frac{H_d \cdot a}{n_h \cdot n_r} = 0.74 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$Q_{yd,h} := \frac{H_d}{n_h} = 5.66 \text{ kN}$$

Yhteen liitinryhmään vaikuttavat voimat

Leikkausvoima pystysuuntaan $V_{xd} = 10.01 \text{ kN}$

Leikkausvoima vaakasuuntaan $V_{zd} = 9.34 \text{ kN}$

Leikkausvoimien resultantti $R_d := \sqrt{V_{xd}^2 + V_{zd}^2} = 13.69 \text{ kN}$

Ulosvetovoima $N_{yd} = 4.14 \text{ kN}$

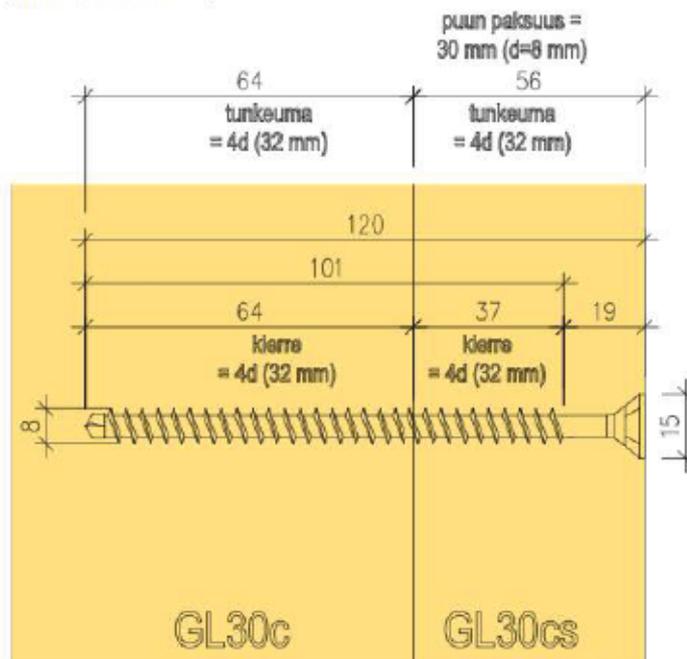
Ruuvien mitoitus

Valitaan ruuvi Würth Assy plus VG 8*120 $d := 8 \text{ mm}$

Ruuvit: Würth ASSY plus VG 8x120 (ETA-11/0190)

Ruuvivalmistajan ETA:n mukaan seuraavat säännöt ovat voimassa:

- Esiporausta ei tarvita, kun ruuvin paksuus $d > 8 \text{ mm}$ ja puu on kuusi tai mänty (ETA s.10, kohta 4.2) (esiporaus hankolautaan on suositeltavaa ruuvien asennuksen helpottamiseksi)
- Ruuvin tunkeumasyyvyys vähintään $4d$ (ETA s.12, kohta A.1.1.1)
- Ruuvin tehollinen halkaisija $d_{ef} = d$ (ETA s.12, kohta A.1.2.1)
- Aksiaalisesti kuormitetun ruuvin kierteisen osan pituus puussa on vähintään $4d$ (ETA s.14, kohta A.1.2.3)
- Liitettävän puuosan paksuus vähintään 30 mm , kun ruuvin paksuus on 8 mm (ETA s.16, kohta A.1.4)
- Reunaetäisyydet EN 1995 taulukon 8.2 mukaan ($d_{ef} = d$ ja ASSY-ruuvilla esiporatun mukaan) (ETA s.16, kohta A.1.4.1)
- $n_{ef} = n^{0.9}$ (ETA s.13, kohta A.1.3.1)



Ruuvien ominaisuudet. (Puuinfo, hankolautaliitos 2018, 7)

Table A.2.2 Characteristic load-carrying capacities of Würth self-tapping screws made from carbon steel with $d = 6.3 \text{ mm}$ to 14.0 mm

Outer thread diameter [mm]		6.3	7.0	7.5	8.0	10.0	12.0	14.0
Characteristic yield moment $M_{y,k}$ [Nm]	ASSY plus VG	-	-	-	23.0	36.0	58.0	86.0
	ASSY plus VG Hot-dip galvanised	-	-	-	-	-	-	86.0
	ASSY Isotop 8.0/10.0	-	-	-	11.0	-	-	-
	Amo Y	-	-	21.0	-	-	-	-
	WG Fix	6.5	-	-	-	-	-	-
	Remaining screws	-	14.0	-	23.0	36.0	58.0	-
Characteristic tensile strength $f_{tens,k}$ [kN]	ASSY plus VG	-	-	-	22.0	33.0	45.0	62.0
	ASSY plus VG Hot-dip galvanised	-	-	-	-	-	-	47.0
	ASSY Isotop 8.0/10.0	-	-	-	11.0	-	-	-
	Amo Y	-	-	18.0	-	-	-	-
	WG Fix	8.0	-	-	-	-	-	-
	Remaining screws	-	15.0	-	21.5	26.0	41.0	-
Characteristic torsional strength $f_{tor,k}$ [Nm]	ASSY plus VG	-	-	-	25.0	45.0	75.0	115
	ASSY plus VG Hot-dip galvanised	-	-	-	-	-	-	100
	ASSY Isotop 8.0/10.0	-	-	-	20 ^{a)} 12 ^{b)}	-	-	-
	Amo Y	-	-	20.0	-	-	-	-
	WG Fix	8.0	-	-	-	-	-	-
	Remaining screws	-	15.0	-	23.0	45.0	65.0	-
a) head side								
b) point side								

Würth Assy -ruuvien kestävyysarvot (ETA 11/0190 Würth self-tapping screws for use in timber constructions, 2018, 9)

Liittimien välinen etäisyys (EN 1995-1-1 taul. 8.2 mukaan)

(5) Taulukossa 8.2 esitetään naulavälien sekä naulojen reuna- ja päätyetäisyyksien vähimmäisarvot.

Merkinnät ovat (ks. kuvaa 8.7):

- a_1 on naulaväli syysuuntaisessa rivissä
- a_2 on naularivien syysuuntaa vastaan kohtisuora keskinäinen etäisyys
- $a_{3,e}$ on naulan ja kuormittamattoman pään välinen etäisyys
- $a_{3,i}$ on naulan ja kuormitetun pään välinen etäisyys
- $a_{4,e}$ on naulan ja kuormittamattoman reunan välinen etäisyys
- $a_{4,i}$ on naulan ja kuormitetun reunan välinen etäisyys
- α on voiman ja syysuunnan välinen kulma.

Taulukko 8.2 Naulavälien sekä naulojen reuna- ja päätyetäisyyksien vähimmäisarvot

Väli tai etäisyys (ks. kuvaa 8.7)	Kulma α	Naulavälin tai pääty- tai reunaetäisyyden vähimmäisarvo		
		ei reikien esiporausta		reikien esiporaus
		$\rho_k \leq 420 \text{ kg/m}^3$	$420 \text{ kg/m}^3 < \rho_k \leq 500 \text{ kg/m}^3$	
Naulaväli a_1 (syysuunnassa)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$d < 5 \text{ mm}$: $(5 + 5 \cos \alpha) d$ $d \geq 5 \text{ mm}$: $(5 + 7 \cos \alpha) d$	$(7 + 8 \cos \alpha) d$	$(4 + \cos \alpha) d$
Naulaväli a_2 (syysuuntaa vastaan kohtisuoraan)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$5d$	$7d$	$(3 + \sin \alpha) d$
Etäisyys $a_{3,i}$ (kuormitettuun päähän)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$(10 + 5 \cos \alpha) d$	$(15 + 5 \cos \alpha) d$	$(7 + 5 \cos \alpha) d$
Etäisyys $a_{3,e}$ (kuormittamattomaan päähän)	$90^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$10d$	$15d$	$7d$
Etäisyys $a_{4,i}$ (kuormitettuun reunaan)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$d < 5 \text{ mm}$: $(5 + 2 \sin \alpha) d$ $d \geq 5 \text{ mm}$: $(5 + 5 \sin \alpha) d$	$d < 5 \text{ mm}$: $(7 + 2 \sin \alpha) d$ $d \geq 5 \text{ mm}$: $(7 + 5 \sin \alpha) d$	$d < 5 \text{ mm}$: $(3 + 2 \sin \alpha) d$ $d \geq 5 \text{ mm}$: $(3 + 4 \sin \alpha) d$
Etäisyys $a_{4,e}$ (kuormittamattomaan reunaan)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$5d$	$7d$	$3d$

Liitinetäisyyksien vähimmäisarvot (SFS EN 1995-1-1+A1+AC, 2014, 61)

Liittimien välinen etäisyys syiden suuntaan

Minimietäisyys palkissa:

$$a_{1p0} := (4 + \cos(0)) \cdot d = 40 \text{ mm}$$

$$a_{1p90} := (4 + \cos(90)) \cdot d = 28.42 \text{ mm}$$

Toteutuva etäisyys:

$$60 \text{ mm}$$

$$60 \text{ mm}$$

Minimietäisyys hankolaudassa: Toteutuva etäisyys:

$$a_{1h0} := (4 + \cos(0)) \cdot d = 40 \text{ mm} \quad 60 \text{ mm}$$

$$a_{1p90} := (4 + \cos(90)) \cdot d = 28.42 \text{ mm} \quad 60 \text{ mm}$$

Liittimien välinen etäisyys kohtisuoraan syysuuntaa vastaan

Palkissa: Toteutuva etäisyys:

$$a_{2p0} := (3 + \sin(0)) \cdot d = 24 \text{ mm} \quad 60 \text{ mm}$$

$$a_{2p90} := (4 + \sin(90)) \cdot d = 39.15 \text{ mm} \quad 60 \text{ mm}$$

Hankolaudassa: Toteutuva etäisyys:

$$a_{2h0} := (4 + \cos(0)) \cdot d = 40 \text{ mm} \quad 60 \text{ mm}$$

$$a_{2p90} := (4 + \cos(90)) \cdot d = 28.42 \text{ mm} \quad 60 \text{ mm}$$

Liittimien etäisyys kuormitettuun päähän

Pilarissa: Toteutuva etäisyys:

$$a_{3p0} := (7 + 5 \cos(0)) \cdot d = 96 \text{ mm} \quad 100 \text{ mm}$$

$$a_{3p90} := (7 + 5 \cos(90)) \cdot d = 38.08 \text{ mm} \quad 100 \text{ mm}$$

Hankolaudassa: Toteutuva etäisyys:

$$a_{3h0} := (7 + 5 \cos(0)) \cdot d = 96 \text{ mm} \quad 100 \text{ mm}$$

$$a_{3h90} := (7 + 5 \cos(90)) \cdot d = 38.08 \text{ mm} \quad 100 \text{ mm}$$

Liittimien etäisyys kuormitettuun reunaan, kun $d > 5\text{mm}$

Palkissa: Toteutuva etäisyys:

$$a_{4p0} := (3 + 4 \sin(0)) \cdot d = 24 \text{ mm} \quad 100 \text{ mm}$$

$$a_{4p90} := (3 + 4 \cdot \sin(90)) \cdot d = 52.61 \text{ mm} \quad 100 \text{ mm}$$

Hankolaudassa:

Toteutuva etäisyys:

$$a_{4h0} := (3 + 4 \sin(0)) \cdot d = 24 \text{ mm}$$

$$60 \text{ mm}$$

$$a_{4h90} := (3 + 4 \cdot \sin(90)) \cdot d = 52.61 \text{ mm}$$

$$60 \text{ mm}$$

Kaikki reunaetäisyydet ovat suurempia kuin minimietäisyydet.

Liitinyhmän mitoitus leikkaukselle

Liimapuun ominaistiheys

$$\rho_k := 3.90 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

Ruuvin paksuus

$$d := 8 \text{ mm}$$

Reunapuristuslujuuden ominaisarvo

$$f_{hk} := \frac{0.082 \cdot \rho_k \cdot d^{-0.3}}{2.5 \cdot (\cos(90^\circ))^2 + (\sin(90^\circ))^2}$$

$$f_{hk} := 17.14 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Sauvojen reunapuristuslujuuksien suhde $\beta := 1$

Ruuvin kärjen puoleinen tunkeuma

$$t_2 := 120 \text{ mm} - 56 \text{ mm} = 64 \text{ mm}$$

Ruuvin kannan puoleinen tunkeuma

$$t_1 := 56 \text{ mm}$$

Ruuvin myötömomentti

$$M_{r,yk} := 23000 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Ruuvin paksuus

$$d_{ef} := d = 8 \text{ mm}$$

Ruuvin sydänhalkaisija

$$d_{ef} = 8 \text{ mm}$$

Ruuvin ja puun syyn välinen kulma

$$\alpha := 90^\circ$$

Ruuvin ulosvetoparametri

$$f_{ax,k} := 11.0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Tehollisten ruuvien määrä

$$n_{ef} := 1$$

Ruuvin ja puun syyn välisen kulman kerroin $k_{ax} := 1.0$

Ruuvin kierteen tehollinen pituus

$$l_{ef} := 37 \text{ mm}$$

Ruuvin aksiaalinen ulosvetokapasiteetti

$$F_{ax,k,rk} := n_{ef} \cdot k_{ax} \cdot f_{ax,k} \cdot d \cdot l_{ef} \cdot \left(\frac{390}{350}\right)^{0.8} = 3.55 \text{ kN}$$

Ruuvien leikkauskestävyys

8.2.2 Kahden puuosan sekä puulevyn ja puuosan väliset liitokset

(1) Naulojen, hakasten, pulttien, tappivaarvojen ja ruuvien kestävyys ominaisarvona leikkaustasoa ja liitintä kohti käytetään pienintä arvoa, joka saadaan seuraavista lausekkeista:

- Yksileikkeiset liittimet:

$$F_{v,dk} = \min \begin{cases} f_{h,1,k} t_1 d & \text{(a)} \\ f_{h,2,k} t_2 d & \text{(b)} \\ \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{1+\beta} \left[\sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] + \frac{F_{ax,dk}}{4} & \text{(c)} \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2+\beta} \left[\sqrt{2\beta(1+\beta) + \frac{4\beta(2+\beta)M_{y,dk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,dk}}{4} & \text{(d)} \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_2 d}{1+2\beta} \left[\sqrt{2\beta^2(1+\beta) + \frac{4\beta(1+2\beta)M_{y,dk}}{f_{h,1,k} d t_2^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,dk}}{4} & \text{(e)} \\ 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1+\beta}} \sqrt{2M_{y,dk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,dk}}{4} & \text{(f)} \end{cases} \quad (8.6)$$

Liittimen leikkauskestävyys (SFS EN 1995-1-1+A1+AC, 2014, 55)

Pienin arvo ruuvien leikkauskestävyydelle saadaan kaavasta:

$$F_{v,rk} := 1.15 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{r,yk} \cdot f_{hk} \cdot d} + \frac{F_{ax,k,rk}}{4} = 3.78 \text{ kN}$$

Hankolaudassa 2 ruuviryhmää, ruuviryhmässä 6 ruuvia $n := 6$

Kuorman aikaluokka hetkellinen $k_{mod} := 1.1$

Liitoksen osavarmuuskerroin $\gamma_{ml} := 1.3$

Ruuviryhmän leikkauskapasiteetti

$$F_{v,rd} := F_{v,rk} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_{ml}} \cdot n = 19.17 \text{ kN}$$

Mitoitusehto $F_{v,rd} \geq R_d \Rightarrow 19.2 \text{ kN} \geq 13.7 \text{ kN}$

Käyttöaste 72 %

Ruuvien vetomitoitus

Kahdessa ryhmässä yhteensä 12 ruuvia

Tehollisten ruuvien määrä $n_{ef} := 12^{0.9} = 9.36$

Ruuvien vetomurtokestävyys $F_{tens.k} := 22 \text{ kN}$

Laskenta-arvo liitokselle $F_{tens.d} := \frac{n_{ef} \cdot F_{tens.k}}{Y_{mf}} = 158.4 \text{ kN}$

Mitoitusehto $N_{yd} \leq F_{tens.d} \Rightarrow 4.1 \text{ kN} \leq 158.4 \text{ kN}$

Käyttöaste 3 %

Ruuvien tartuntakapasiteetti

Kerroin huomioi voiman ja syyn välisen kulman, $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ \Rightarrow k_{ax} := 1.0$

Ruuvien ulosvetolujuusparametrin ominaisarvo syynsuuntaa vastaan kohtisuoraan $f_{ax.k} := 11 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

Ruuviliitoksen tartuntakapasiteetin ominaisarvo

$$F_{ax.a.rk} := n_{ef} \cdot k_{ax} \cdot f_{ax.k} \cdot d \cdot l_{ef} \cdot \left(\frac{390}{350} \right)^{0.8} = 33.23 \text{ kN}$$

Ruuviliitoksen tartuntakapasiteetin mitoitusarvo

$$F_{ax.a.d} := \frac{k_{mod}}{Y_{mf}} \cdot F_{ax.a.rk} = 28.12 \text{ kN}$$

Mitoitusehto $N_{yd} \leq F_{ax.a.d} \Rightarrow 4.144 \text{ kN} \leq 28.1 \text{ kN}$

Käyttöaste 15 %

Ruuvien yhdistetty veto ja leikkauskapasiteetti

Mitoitusehto $\left(\frac{N_{yd}}{F_{ax.a.d}} \right)^2 + \left(\frac{R_d}{F_{v.rd}} \right)^2 \leq 1 \Rightarrow \left(\frac{N_{yd}}{F_{ax.a.d}} \right)^2 + \left(\frac{R_d}{F_{v.rd}} \right)^2 = 0.53$

Käyttöaste 53 %

Hankolaudan mitoitus

Hankolaudan materiaali Liimapuu GL 30 cs $\gamma_m := 1.25$

Hankolaudan leikkauskestävyys palkin suuntaan (z)

Ominaisleikkauslujuus

$$f_{vk} := 3.5 \frac{N}{mm^2}$$

Mitoitusarvo

$$f_{vd} := \left(k_{mod} \cdot \frac{f_{vk}}{\gamma_m} \right) = 3.08 \frac{N}{mm^2}$$

Hankolaudan mitat

$$h_{hlz} := 240 \text{ mm} \quad b_{hlz} := 56 \text{ mm}$$

Tehollinen leveys

$$b_{efz} := 0.67 \cdot b_{hlz} = 37.52 \text{ mm}$$

Leikkausjännitys

$$T_{dz} := \frac{3}{2} \cdot \frac{Q_{zd,h}}{b_{efz} \cdot h_{hlz}} = 0.42 \frac{N}{mm^2}$$

Mitoitusehto

$$T_{dz} \leq f_{vd} \quad \Rightarrow \quad 0.4 \frac{N}{mm^2} \leq 3.1 \frac{N}{mm^2}$$

Käyttöaste 13 %

Hankolaudan leikkauskestävyys kohtisuoraan palkkia vasten (y)

$$h_{hly} := 56 \text{ mm} \quad b_{hly} := 240 \text{ mm}$$

$$b_{efy} := 0.67 \cdot b_{hly} = 160.8 \text{ mm}$$

$$T_{dy} := \frac{3}{2} \cdot \frac{Q_{yd,h}}{b_{efy} \cdot h_{hly}} = 0.94 \frac{N}{mm^2}$$

Mitoitusehto

$$T_{dy} \leq f_{vd} \quad \text{Käyttöaste 29 \%}$$

Hankolaudan taivutuskestävyys z-akselin suhteen

Taivutusjännitys

$$\sigma_{mzd} := \frac{M_{zd}}{\frac{1}{6} \cdot b_{hly} \cdot h_{hly}^2} = 2.6 \frac{N}{mm^2}$$

Ominaislujuus

$$f_{mk} := 28.0 \frac{N}{mm^2}$$

Mitoitusarvo

$$f_{md} := k_{mod} \cdot \frac{f_{mk}}{\gamma_m} = 24.64 \frac{N}{mm^2}$$

Mitoitusehto

$$\sigma_{mzd} \leq f_{md} \quad \text{Käyttöaste 11 \%}$$

Hankolaudan taivutuskestävyys y-akselin suhteen

$$\sigma_{myd} := \frac{M_{yd}}{\frac{1}{6} \cdot b_{hlz} \cdot h_{hlz}^2} = 1.37 \frac{N}{mm^2}$$

Mitoitusehto

$$\sigma_{myd} \leq f_{md} \quad \text{Käyttöaste 6 \%}$$

Hankolaudan vetokestävyys

Hankolautaan kohdistuva veto- ja puristusvoima ovat yhtä suuret

$$N_{dhl} := 2 \cdot V_{xd} = 20.02 \text{ kN}$$

Ominaislujuus

$$f_{tok} := 18.5 \frac{N}{mm^2}$$

Mitoitusarvo

$$f_{tod} := k_{mod} \cdot \frac{f_{tok}}{\gamma_m} = 16.28 \frac{N}{mm^2}$$

Vetojännitys

$$\sigma_{tod} := \frac{N_{dhl}}{b_{hlz} \cdot h_{hlz}} = 1.49 \frac{N}{mm^2}$$

Mitoitusehto

$$\sigma_{tod} \leq f_{tod} \quad \text{Käyttöaste 10 \%}$$

Hankolaudan puristuskestävyys

Ominaislujuus	$f_{c0k} := 23.3 \frac{N}{mm^2}$	
Mitoitusarvo	$f_{c0d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{c0k}}{\gamma_m} = 20.5 \frac{N}{mm^2}$	
Puristusjännitys	$\sigma_{c0d} := \frac{N_{dhl}}{b_{hlz} \cdot h_{hlz}} = 1.49 \frac{N}{mm^2}$	
Mitoitusehto	$\sigma_{c0d} \leq f_{c0d}$	Käyttöaste 8 %

Hankolaudan yhdistetty veto- ja taivutuskestävyys

Liimapuinen suorakaidepoikkileikkaus $k_m := 0.7$

Mitoitusehdot

$$\frac{\sigma_{t0d}}{f_{t0d}} + \frac{\sigma_{myd}}{f_{md}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{mzd}}{f_{md}} \leq 1 \Rightarrow \frac{\sigma_{t0d}}{f_{t0d}} + \frac{\sigma_{myd}}{f_{md}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{mzd}}{f_{md}} = 0.22$$

Käyttöaste 22 %

$$\frac{\sigma_{t0d}}{f_{t0d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{myd}}{f_{md}} + \frac{\sigma_{mzd}}{f_{md}} \leq 1 \Rightarrow \frac{\sigma_{t0d}}{f_{t0d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{myd}}{f_{md}} + \frac{\sigma_{mzd}}{f_{md}} = 0.24$$

Käyttöaste 24 %

Hankolaudan yhdistetty puristus- ja taivutuskestävyys

Hankolaudan ei oleteta nurjahtavan

Mitoitusehdot

$$\left(\frac{\sigma_{c0d}}{f_{c0d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{mzd}}{f_{md}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{myd}}{f_{md}} \leq 1 \Rightarrow \left(\frac{\sigma_{c0d}}{f_{c0d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{mzd}}{f_{md}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{myd}}{f_{md}} = 0.15$$

Käyttöaste 15 %

$$\left(\frac{\sigma_{c0d}}{f_{c0d}}\right)^2 + k_m \cdot \frac{\sigma_{mzd}}{f_{md}} + \frac{\sigma_{myd}}{f_{md}} \leq 1 \Rightarrow \left(\frac{\sigma_{c0d}}{f_{c0d}}\right)^2 + k_m \cdot \frac{\sigma_{mzd}}{f_{md}} + \frac{\sigma_{myd}}{f_{md}} = 0.13$$

Käyttöaste 13 %

Palalohkeaminen

Puuosien välisissä puikkoliitoksissa ei tarvitse tarkastaa palalohkeamista.

Läpilohkeaminen

Peräkkäisiä liittimiä on enintään 4 kpl ja liittinten väliset etäisyydet 60/90 mm ovat suurempia kuin $5 \cdot d = 40 \text{ mm} \Rightarrow$ ei tarvitse tarkastaa.

YhteenvetoRuuviryhmän kapasiteetti:

Leikkauskestävyys	Käyttöaste 72 %
Vetokapasiteetti	Käyttöaste 3 %
Tartuntakapasiteetti	Käyttöaste 15 %
Yhdistetty veto ja leikkaus	Käyttöaste 50 %

Hankolaudan kapasiteetti:

Hankolaudan leikkauskestävyys suuntaan (z)	Käyttöaste 13 %
Hankolaudan leikkauskestävyys suuntaan (y)	Käyttöaste 29 %
Hankolaudan taivutuskestävyys z-akselin suhteen	Käyttöaste 11 %
Hankolaudan taivutuskestävyys y-akselin suhteen	Käyttöaste 6 %
Hankolaudan vetokestävyys	Käyttöaste 10 %
Hankolaudan puristuskestävyys	Käyttöaste 8 %
Hankolaudan yhdistetty veto- ja taivutuskestävyys	Käyttöaste 22/24 %
Hankolaudan yhdistetty puristus- ja taivutuskestävyys	Käyttöaste 15/13 %

Liite 7.

Kehän mastopilarin perustusliitoksen mitoitus liimapuupilarikencillä ja liimaruuveilla

Määräykset: Puurakenteet Eurocode 5, SFS EN 1995-1-1+A1+AC

Sovellusohjeet: RIL 205-1-2017, Puuinfo liimapuupilarin perustusliitos 2018

Pilarityyppi: Liimapuu, suora pilari

Kehäjako k/k: 5100mm

Palkin jänneväli: 15000mm

Liimapuun lujuus: GL 30c

Käyttöluokka: 1

Kuorman aikaluokka: Hetkellinen

Seuraamusluokka CC2

Liimapuun ominaisuudet:

$$k_{def} := 0.60$$

$$k_{mod} := 1.1$$

$$k_m := 0.7$$

$$k_n := 1.0$$

$$k_{c90} := 1.5$$

$$c := 0.70$$

$$K_{FI} := 1.0$$

$$Y_m := 1.25$$

$$E_{0mean} := 13000 \frac{N}{mm^2}$$

$$E_{0.05} := 10800 \frac{N}{mm^2}$$

$$G_{mean} := 650 \frac{N}{mm^2}$$

Luuudet

$$f_{myk} := 30 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{c0k} := 24.5 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{c90k} := 2.5 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{vk} := 3.5 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{t0k} := 19.5 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{myd} := k_{mod} \cdot \frac{f_{myk}}{Y_m} = 26.4 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{c0d} := \left(k_{mod} \cdot \frac{f_{c0k}}{Y_m} \right) = 21.56 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{c90d} := \left(k_{mod} \cdot \frac{f_{c90k}}{Y_m} \right) = 2.2 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{vd} := \left(k_{mod} \cdot \frac{f_{vk}}{Y_m} \right) = 3.08 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{t0d} := \left(k_{mod} \cdot \frac{f_{t0k}}{Y_m} \right) = 17.16 \frac{N}{mm^2}$$

(jatkuu)

Voimasuureet mastopilarin mitoituslaskelmasta

Tässä laskelmassa esitetään vain mitoittava kuormitustapaus:
omapaino 100% + tuulikuorma 100% + lumi 70%

Normaalivoima	$N_d := 158.4 \text{ kN}$	
Leikkausvoima	$V_d := 35.4 \text{ kN}$	
Taivutusmomentti	$M_d := 102 \text{ kN}\cdot\text{m}$	
Pilarin mitat	$b := 215 \text{ mm}$	$h := 405 \text{ mm}$
Liimaruuviryhmien välinen etäisyys	$e := h - (2 \cdot (40 + 20)) \text{ mm} = 285 \text{ mm}$	

Puristusvoima puristetun puolen liimaruuveille

$$B_d := \frac{M_d}{e} + \frac{N_d}{2} = 437.1 \text{ kN}$$

Vetovoima vedetyn puolen liimaruuveille

$$A_d := \frac{M_d}{e} - \frac{N_d}{2} = 278.7 \text{ kN}$$

Liimaruuvit

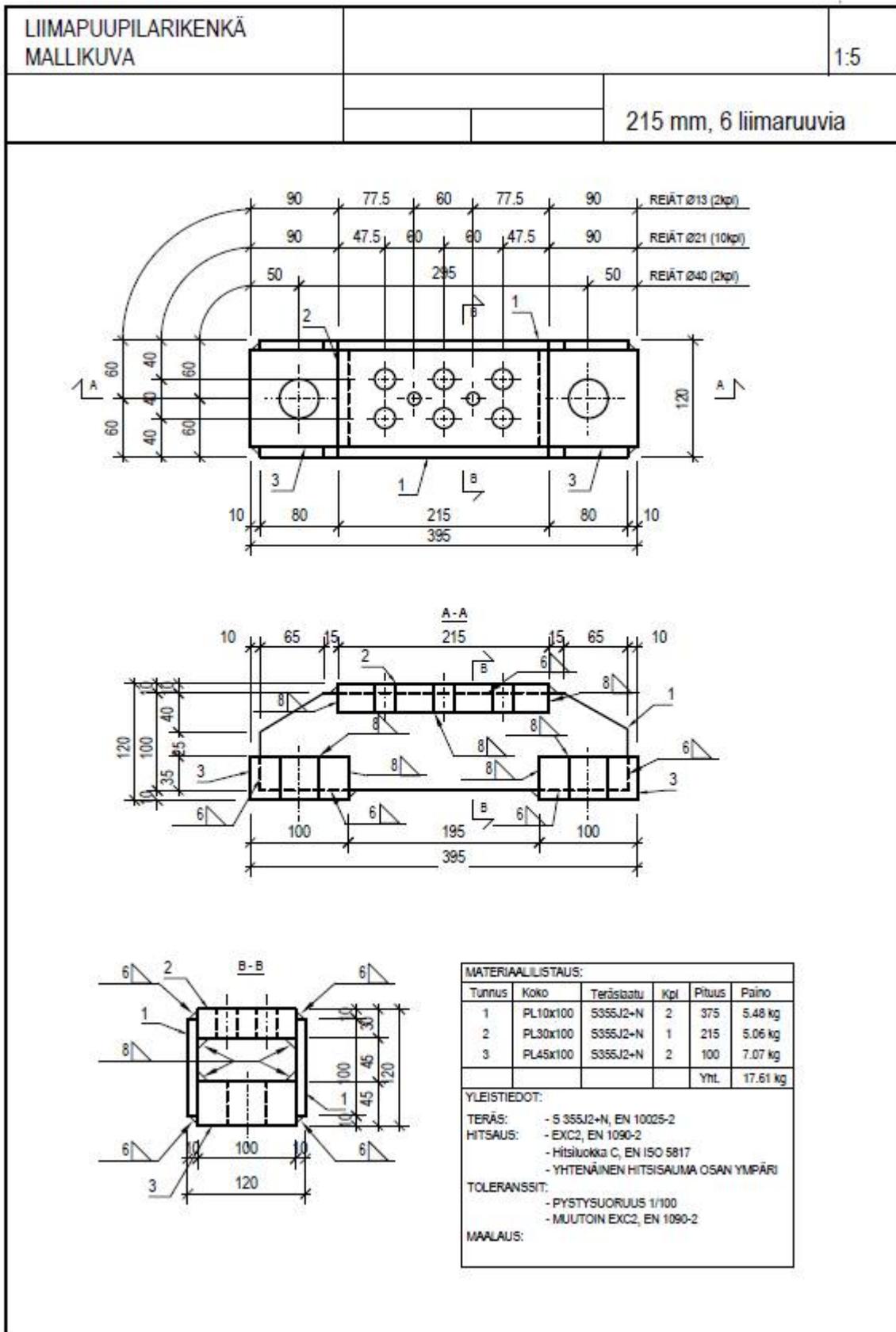
Liimaruuvit ovat kansiruuveja, joiden päästä on kierteistetty 100 mm. Ruuvien lujuusluokka on 5.8, tartuntapituus liimapuussa 490 mm ja sileän osan halkaisija on 19 mm.

Liimana käytetään epoksiliimaa.

Valitaan laskelmaan liimapuupilarikenkä 215 mm, kiinnitys 6 liimaruuvia/kenkä.

Puristuspuolen liimaruuvit $n_p := 6$

Vetopuolen liimaruuvit $n_v := 6$



Liimapuupilarikengän tekninen käyttöohje ja kapasiteettitaulukot.
(A-Insinöörit Oy, 2015)

Mitoitus

Ruuvien osavarmuusluku	$\gamma_{my} := 1.1$
Liitoksen osavarmuusluku	$\gamma_{ml} := 1.3$
Ruuvien vetokestävyys	$R_{yk} := 101 \text{ kN}$
Tartuntakestävyys	$R_{ak} := 84 \text{ kN}$

Liimaruuvien ulosvetokestävyys

Yhden ruuvien kapasiteetti	$R_{ax.d} := k_{mod} \cdot \frac{R_{ak}}{\gamma_{ml}} = 71.1 \text{ kN}$	
Liitoksen vetopuolen liimaruuvien 6kpl kapasiteetti	$R_{ax.d} \cdot n_v^{0.9} = 356.5 \text{ kN}$	
Vetovoima	$A_d = 278.7 \text{ kN}$	
Mitoitusehto	$A_d \leq 356.5 \text{ kN}$	Käyttöaste 79%

Liitoksen puristuspuolen kapasiteetti

Puristuskapasiteetti mitoitetaan pilarikengän puristetun pinta-alan mukaan:

Puristusjännitys	$\frac{B_d}{120 \text{ mm} \cdot 215 \text{ mm}} = 16.94 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	
Puristuslujuus	$f_{c0d} = 21.56 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	
Mitoitusehto	$16.94 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \leq f_{c0d}$	Käyttöaste 79%

Leikkauskestävyys

Leikkauskestävyys lasketaan puristettujen ruuvien yhteenlasketulla kapasiteetilla.

Yhden ruuvin leikkauskestävyys:

Taulukko 1. *Puristetun liimaruuviliitoksen leikkauskestävyyden mitoitusarvo $R_{v,d}$ (kN) yhtä ruuvia kohden käyttöluokissa 1 ja 2, kun ruuvien etäisyys poikkileikkauksen leikkauskuormitetusta reunasta on $\geq 0,5h$ ja ruuvien keskiöetäisyys $a_h \geq a_{h,v}$.*

Ruuvi	Aikaluokka	pysyvä	keskipitkä	hetkellinen
	S235JRG2		5,2	6,0
Lujuusluokka 5.8		6,1	7,1	8,3

Ruuviliitoksen leikkauskestävyys. (Puuinfo liimapuupilarin perustusliitos 2018)

Taulukon mukainen ehto puristus- ja vetopuolen ruuvien välisestä etäisyydestä, kun leikkaus otetaan puristuspuolen ruuveilla:

$$0.5 \cdot h = 202.5 \text{ mm} < 285 \text{ mm, ok.}$$

Liitoksen leikkauskestävyys

$$R_{vd,tot} := 6 \cdot 8.3 \text{ kN} = 49.8 \text{ kN}$$

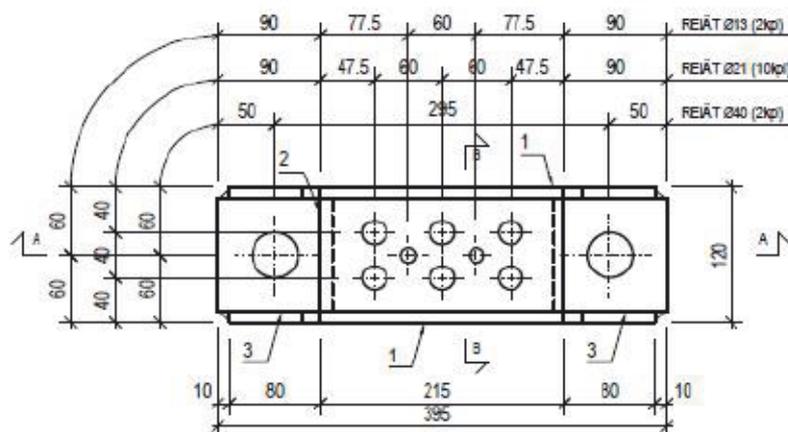
Leikkausvoima

$$V_d = 35.4 \text{ kN}$$

Mitoitusehto

$$R_{vd,tot} \geq V_d \quad \text{Käyttöaste 72\%}$$

Lohkeamismurtokestävyys



Liimapuupilarikengän tekninen käyttöohje ja kapasiteettitaulukot. (A-Insinöörit Oy, 2015)

Lohkeamismurtokestävyys lasketaan teholliselle pinta-alalle, josta on vähennetty liimaruuveille porattujen reikien ($d=16$ mm) pinta-ala. Tehollinen pinta-ala ulottuu 50 mm:n päähän ruuvista, eli pilarin pidemmässä suunnassa tehollinen pituus on $40 + 40 + 50 = 130$ mm.

$$\text{Tehollinen pinta-ala } A_{ef} := 130 \text{ mm} \cdot 215 \text{ mm} - 6 \cdot \pi \cdot (8 \text{ mm})^2 = (2.67 \cdot 10^4) \text{ mm}^2$$

$$\text{Lohkeamismurtokestävyys} \quad f_{t0d} \cdot A_{ef} = 458.9 \text{ kN}$$

$$\text{Vetovoima} \quad A_d = 278.7 \text{ kN}$$

$$\text{Mitoitusehto} \quad A_d \leq 458.9 \text{ kN} \quad \text{Käyttöaste 61\%}$$

Liimaruuvien reunaetäisyydet

VTT lausunto nro VTT-S-07607-12:n mukaan liimaruuvien minimietäisyys pilarin reunasta on 35 mm. Pilarikengän 215 + 6 ruuvia ja pilarin 215*405 välisen liitoksen pienin reunaetäisyys on 40 mm.

Käyttöaste 88%

Pilarikengän kestävyys

Vetokapasiteetti lopputilanteessa N_{Rd} [kN]				
Pilarikengä	Liimaruuvien lukumäärä / pilarikengä			
	10	8	6	4
265	575	475	375	-
240	575	475	375	-
215	-	475	375	-
190	-	475	375	-
165	-	-	375	260
140	-	-	-	260
115	-	-	-	260

Taulukko 3, Pilarikengien vetokapasiteetit lopputilanteessa.

Liimapuupilarikengän tekninen käyttöohje ja kapasiteettitaulukot. (A-Insinöörit Oy, 2015)

$$\text{Mitoitusehto} \quad N_{Rd} \geq N_d \Rightarrow 375 \text{ kN} \geq 279 \text{ kN}$$

Käyttöaste 75%

=> Liimapuupilarikengä 215 + 6 liimaruuvia ok.

Tässä laskelmassa ei mitoiteta asennusaikaista kestävyyttä eikä peruspultteja.

Liite 8.

Päädyn mastopilarin perustusliitoksen mitoitus liimapuupilarikencillä ja liimaruuveilla

Määräykset: Puurakenteet Eurocode 5, SFS EN 1995-1-1+A1+AC

Sovellusohjeet: RIL 205-1-2017, Puuinfo mastopilarin perustusliitos 2018

Pilarityyppi: Liimapuu, suora pilari

Liimapuun lujuus: GL 30c

Käyttöluokka: 1

Kuorman aikaluokka: Hetkellinen

Seuraamusluokka CC2

Liimapuun ominaisuudet:

$$k_{def} := 0.60$$

$$K_{FI} := 1.0$$

$$k_{mod} := 1.1$$

$$Y_m := 1.25$$

$$k_m := 0.7$$

$$E_{0mean} := 13000 \frac{N}{mm^2}$$

$$k_n := 1.0$$

$$E_{0.05} := 10800 \frac{N}{mm^2}$$

$$k_{c90} := 1.5$$

$$G_{mean} := 650 \frac{N}{mm^2}$$

$$c := 0.70$$

Lujuudet

$$f_{myk} := 30 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{myd} := k_{mod} \cdot \frac{f_{myk}}{Y_m} = 26.4 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{c0k} := 24.5 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{c0d} := \left(k_{mod} \cdot \frac{f_{c0k}}{Y_m} \right) = 21.6 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{c90k} := 2.5 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{c90d} := \left(k_{mod} \cdot \frac{f_{c90k}}{Y_m} \right) = 2.2 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{vk} := 3.5 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{vd} := \left(k_{mod} \cdot \frac{f_{vk}}{Y_m} \right) = 3.1 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{tok} := 19.5 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{t0d} := \left(k_{mod} \cdot \frac{f_{tok}}{Y_m} \right) = 17.2 \frac{N}{mm^2}$$

(jatkuu)

Voimasuureet pääty pilarin mitoituslaskelmasta

Tässä laskelmassa esitetään vain mitoittava kuormitustapaus:
omapaino 100% + tuulikuorma 100% + lumi 70%

Normaalivoima	$N_d := 61.6 \text{ kN}$
Leikkausvoima	$V_d := 42.5 \text{ kN}$
Taivutusmomentti	$M_d := 240.8 \text{ (kN}\cdot\text{m)}$
Pilarin mitat	$b := 240 \text{ mm}$ $h := 675 \text{ mm}$
Liimaruuviryhmien välinen etäisyys	$e := h - (2 \cdot (40 + 20)) \text{ mm} = 555 \text{ mm}$

Puristusvoima puristetun puolen liimaruuveille

$$B_d := \frac{M_d}{e} + \frac{N_d}{2} = 464.7 \text{ kN}$$

Vetovoima vedetyn puolen liimaruuveille

$$A_d := \frac{M_d}{e} - \frac{N_d}{2} = 403.1 \text{ kN}$$

Liimaruuvit

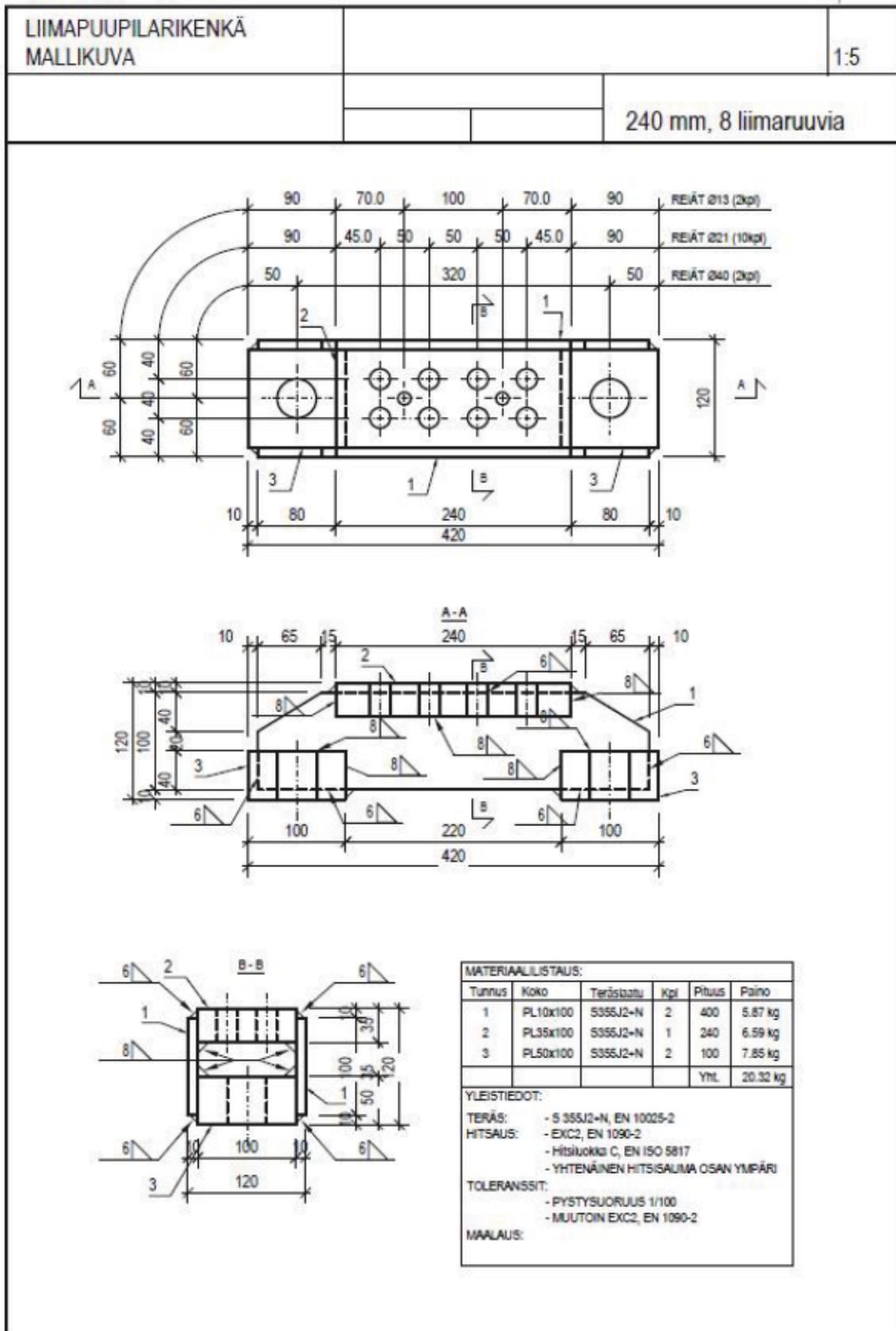
Liimaruuvit ovat kansiruuveja, joiden päästä on kierteistetty 100 mm. Ruuvien lujuusluokka on 5.8, tartuntapituus liimapuussa 490 mm ja sileän osan halkaisija on 19 mm.

Liimana käytetään epoksiliimaa.

Valitaan laskelmaan liimapuupilarikenkä 240 mm, kiinnitys 8 liimaruuvia/kenkä.

Puristuspuolen liimaruuvit $n_p := 8$

Vetopuolen liimaruuvit $n_v := 8$



Liimapuupilarikengän tekninen käyttöohje ja kapasiteettitaulukot.
(A-Insinöörit Oy, 2015)

Mitoitus

Lähde: Puuinfo, mastopilarin perustusliitos liimaruuveilla.

Ruuvien osavarmuusluku	$\gamma_{my} := 1.1$
Liitoksen osavarmuusluku	$\gamma_{ml} := 1.3$
Ruuvien vetokestävyys	$R_{yk} := 101 \text{ kN}$
Tartuntakestävyys	$R_{ak} := 84 \text{ kN}$

Liimaruuvien ulosvetokestävyys

Yhden ruuvien kapasiteetti	$R_{ax.d} := k_{mod} \cdot \frac{R_{ak}}{\gamma_{ml}} = 71.1 \text{ kN}$
Liitoksen vetopuolen liimaruuvien 8kpl kapasiteetti	$R_{ax.d} \cdot n_v^{0.9} = 461.9 \text{ kN}$
Vetovoima	$A_d = 403.1 \text{ kN}$
Mitoitusehto	$A_d \leq 461.9 \text{ kN}$ Käyttöaste 88%

Liitoksen puristuspuolen kapasiteetti

Puristuskapasiteetti mitoitetaan pilarikengän puristetun pinta-alan mukaan:

Puristusjännitys	$\frac{B_d}{120 \text{ mm} \cdot 240 \text{ mm}} = 16.1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$
Puristuslujuus	$f_{c0d} = 21.6 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$
Mitoitusehto	$16.1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \leq f_{c0d}$ Käyttöaste 75%

Leikkauskestävyys

Leikkauskestävyys lasketaan puristettujen ruuvien yhteenlasketulla kapasiteetilla.

Yhden ruuvin leikkauskestävyys:

Taulukko 1. Puristetun liimaruuviliitoksen leikkauskestävyyden **mitoitusarvo** $R_{v,d}$ (kN) yhtä ruuvia kohden käyttöluokissa 1 ja 2, kun ruuvin etäisyys poikkileikkauksen leikkauskuormitetusta reunasta on $\geq 0,5h$ ja ruuvien keskiöetäisyys $a_h \geq a_{h,s}$.

Ruuvi	Aikaluokka	pysyvä	keskipitkä	hetkellinen
	S235JRG2		5,2	6,0
Lujuusluokka 5.8		6,1	7,1	8,3

Ruuviliitoksen leikkauskestävyys. (Puuinfo mastopilarin perustusliitos 2018)

Taulukon mukainen ehto puristus- ja vetopuolen ruuvien välisestä etäisyydestä, kun leikkaus otetaan puristuspuolen ruuveilla:

$$0.5 \cdot h = 337.5 \text{ mm} < 555 \text{ mm, ok.}$$

Liitoksen leikkauskestävyys

$$R_{v,d,tot} := n_p \cdot 8.3 \text{ kN} = 66.4 \text{ kN}$$

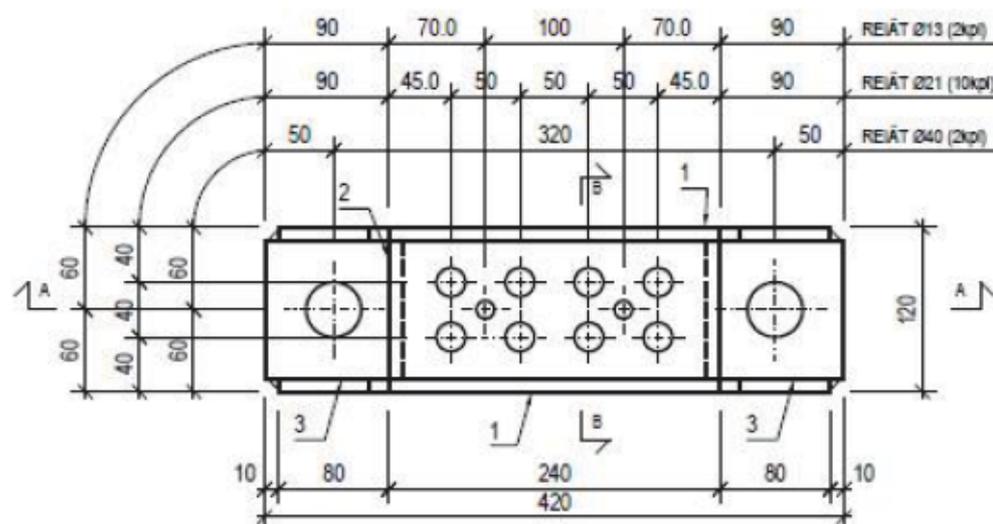
Leikkausvoima

$$V_d = 42.5 \text{ kN}$$

Mitoitusehto

$$R_{v,d,tot} \geq V_d \quad \text{Käyttöaste 64\%}$$

Lohkeamismurtokestävyys



Liimapuupilarikengän tekninen käyttöohje ja kapasiteettitaulukot. (A-Insinöörit Oy, 2015)

Lohkeamismurtokestävyys lasketaan teholliselle pinta-alalle, josta on vähennetty liimaruuveille porattujen reikien ($d=16$ mm) pinta-ala. Tehollinen pinta-ala ulottuu 50 mm:n päähän ruuvista, eli pilarin pidemmässä suunnassa tehollinen pituus on $40 + 40 + 50 = 130$ mm.

$$\text{Tehollinen pinta-ala } A_{ef} := 130 \text{ mm} \cdot 240 \text{ mm} - 8 \cdot \pi \cdot (8 \text{ mm})^2 = (3 \cdot 10^4) \text{ mm}^2$$

$$\text{Lohkeamismurtokestävyys} \quad f_{t0d} \cdot A_{ef} = 507.8 \text{ kN}$$

$$\text{Vetovoima} \quad A_d = 403.1 \text{ kN}$$

$$\text{Mitoitusehto} \quad A_d \leq 507.8 \text{ kN} \quad \text{Käyttöaste 80\%}$$

Liimaruuvien reunaetäisyydet

VTT lausunto nro VTT-S-07607-12:n mukaan liimaruuvien minimietäisyys pilarin reunasta on 35 mm. Pilarikengän 240 + 8 ruuvia ja pilarin 240 * 675 välisen liitoksen pienin reunaetäisyys on 40 mm.

Käyttöaste 88%

Pilarikengän kestävyys

Vetokapasiteetti lopputilanteessa N_{Rd} [kN]				
Pilarikengä	Liimaruuvien lukumäärä / pilarikengä			
	10	8	6	4
265	575	475	375	-
240	575	475	375	-
215	-	475	375	-
190	-	475	375	-
165	-	-	375	260
140	-	-	-	260
115	-	-	-	260

Taulukko 3. Pilarikengien vetokapasiteetit lopputilanteessa.

Liimapuupilarikengän tekninen käyttöohje ja kapasiteettitaulukot. (A-Insinöörit Oy, 2015)

$$\text{Mitoitusehto} \quad N_{Rd} \geq A_d \Rightarrow 475 \text{ kN} \geq 403.1 \text{ kN}$$

Käyttöaste 85%

=> Liimapuupilarikengä 240 + 8 liimaruuvia ok.

Tässä laskelmassa ei mitoiteta asennusaikaista kestävyyttä eikä peruspultteja.

Liite 9.

Pääpalkin palomitoitus R30

Määräykset: Eurocode 5, SFS EN 1995-1-1+A1+AC, SFS-EN 1995-1-2 + AC
Sovellusohjeet: RIL 205-1-2017

Palkkityyppi: Liimapuu, suora palkki 215*1080
Kehäjako k/k: 5100mm
Palkin jänneväli: 15000mm
Liimapuun lujuus: GL 30c
Käyttöluokka: 1
Kuorman aikaluokka: hetkellinen, palotilanne
Seuraamusluokka CC2
Paloluokka R30

Liimapuun ominaisuudet palotilanteessa:

$$k_{mod,\bar{n}} := 1.0$$

$$k_{\bar{n}} := 1.15$$

$$Y_{m,\bar{n}} := 1.0$$

$$c := 0.70$$

$$E_{0.05} := 10800 \frac{N}{mm^2}$$

Luuudet

$$f_{mk} := 30 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{20} := k_{\bar{n}} \cdot f_{mk} = 34.5 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{md,\bar{n}} := \left(k_{mod,\bar{n}} \cdot \frac{f_{20}}{Y_{m,\bar{n}}} \right) = 34.5 \frac{N}{mm^2}$$

Kuormat palkin laskelmasta

Pysyvät kuormat	$p_{gk} := 7.612 \frac{kN}{m}$
Lumikuorma	$p_{qk} := 11.22 \frac{kN}{m}$

(jatkuu)

Lumikuorman yhdistelykerroin $\psi_{1.1} := 0.4$ kun lumikuorma $< 2.75 \frac{kN}{m^2}$

Palkin kuormitus palotilanteessa $p_{fi} := p_{gk} + \psi_{1.1} \cdot p_{qk} = 12.1 \frac{kN}{m}$

Tehollisen poikkileikkauksen määrittäminen

Liimapuun nimellinen
hiiltymisnopeus $\beta_n := 0.7 \frac{mm}{min}$

Palonkesto-aika $t := 30 \text{ min}$

Hiiltymissyvyyden mitoitusarvo $d_{char.n} := \beta_n \cdot t = 21 \text{ mm}$

Kerroin $k_0 := 1.0$

Vakio $d_0 := 7 \text{ mm}$

Tehollinen hiiltymissyvyys $d_{ef} := d_{char.n} + k_0 \cdot d_0 = 28 \text{ mm}$

Tehollinen poikkileikkaus: Palkki pääsee hiiltymään kolmelta sivulta, joista vähennetään tehollisen hiiltymissyvyyden paksuus.

=> tehollinen poikkileikkaus $b_{ef} := 215 \text{ mm} - 2 \cdot d_{ef} = 159 \text{ mm}$

$h_{ef} := 1080 \text{ mm} - d_{ef} = 1052 \text{ mm}$

Taivutuskestävyys

Palkin jänneväli $L := 15 \text{ m}$

$M_{fi,max} := \frac{p_{fi} \cdot L^2}{8} = 340 \text{ (kN} \cdot \text{m)}$

$W_{fi} := \frac{b_{ef} \cdot h_{ef}^2}{6} = (2.9 \cdot 10^7) \text{ mm}^3$

$\sigma_{md.fi} := \frac{M_{fi,max}}{W_{fi}} = 11.6 \frac{N}{mm^2}$

Mitoitusehto

$\sigma_{md.fi} \leq f_{md.fi}$

Käyttöaste 34 %

Palkin kiepahdus palotilanteessa

Tehollinen jänneväli

$$l_{ef.fi} := 0.9 \cdot L + 2 \cdot h_{ef} = 15604 \text{ mm}$$

Suorakaidepalkin kriittinen taivutusjännitys

$$\sigma_{m.crit.fi} := \frac{c \cdot b_{ef}^2}{h_{ef} \cdot l_{ef.fi}} \cdot E_{0.05} = 11.6 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Palkin suhteellinen hoikkuus

$$\lambda_{rel.m.fi} := \sqrt{\frac{f_{mk}}{\sigma_{m.crit.fi}}} = 1.605$$

Kun $\lambda_{rel.m.fi} > 1 \Rightarrow$

$$k_{crit} := \frac{1}{\lambda_{rel.m.fi}^2} = 0.388$$

Mitoitusehto

$$\sigma_{md.fi} \leq k_{crit} \cdot f_{md.fi}$$

Käyttöaste 116 %

\Rightarrow Palkki kiepahtaa palotilanteessa ilman kiepahdustuenta. Kiepahdustuenta (kattoelementti) palosuojataan 30 minuutin paloa vastaan, esim. 2 kpl 13 mm:n kipsilevyllä.

Leikkauskestävyys

Leikkauskestävyyttä ei tarvitse tarkastaa palotilanteessa, kun kyseessä on suorakaidepalkki.

Tukipainekestävyys

Tukipainekestävyyttä ei tarvitse tarkastaa palotilanteessa.

Taipuma

Taipumaa ei tarvitse tarkastaa palotilanteessa, ellei siitä ole vaaraa osastoinnille tai palosuojauksille.

Liitokset

Tehollinen hiiltymissyvyys on 28 mm. Liitokset voidaan palosuojata 28 mm:n liimapuulevyllä.

Liite 10.

Pääpilarin palomitoitus R30

Määräykset: Eurocode 5, SFS EN 1995-1-1+A1+AC, SFS-EN 1995-1-2 + AC
Sovellusohjeet: RIL 205-1-2017

Pilarityyppi: Liimapuu, pilari 215*405
Kehäjako k/k: 5100mm
Palkin jänneväli: 15000mm
Liimapuun lujuus: GL 30c
Käyttöluokka: 1
Kuorman aikaluokka: hetkellinen, palotilanne
Seuraamusluokka CC2
Paloluokka R30

Liimapuun ominaisuudet palotilanteessa:

$$k_{mod,fi} := 1.0$$

$$k_{fi} := 1.15$$

$$k_m := 0.7$$

$$Y_{m,fi} := 1.0$$

$$c := 0.70$$

$$E_{0.05} := 10800 \frac{N}{mm^2}$$

Luuudet

$$f_{mk} := 30 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{c0k} := 24.5 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{20} := k_{fi} \cdot f_{mk} = 34.5 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{md,fi} := \left(k_{mod,fi} \cdot \frac{f_{20}}{Y_{m,fi}} \right) = 34.5 \frac{N}{mm^2}$$

Liimapuupilarin mitat

$$h := 405 \text{ mm}$$

$$L := 5800 \text{ mm}$$

$$b := 215 \text{ mm}$$

(jatkuu)

Kuormat pilarin laskelmasta

Pysyvät kuormat $F_{rak} := 56.5 \text{ kN}$

Tuulikuorma seinältä $q_{wk} := 4.192 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Tuulikuorma katon osalta $F_{wk} := 7.546 \text{ kN}$

Lumikuorma $F_{lk} := 89.25 \text{ kN}$

Tuuli on määräävä muuttuva kuorma

Tuulikuorman yhdistelykerroin $\psi_{1.1} := 0.2$

Lumikuorman yhdistelykerroin $\psi_{2.1} := 0.2$

Pilarin kuormitus palotilanteessa

Normaalivoima $N_{k.fi} := F_{rak} + \psi_{2.1} \cdot F_{lk} = 74.35 \text{ kN}$

Taivutusmomentti

$$M_{k.fi} := \frac{5 \cdot \psi_{1.1} \cdot q_{wk} \cdot L^2}{16} + \frac{\psi_{1.1} \cdot F_{wk} \cdot L}{2} = 13.19 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Tehollisen poikkileikkauksen määrittäminen

Liimapuun nimellinen
hiiltymisnopeus $\beta_n := 0.7 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$

Palonkesto aika $t := 30 \text{ min}$

Hiiltymissyvyyden mitoitusarvo $d_{char.n} := \beta_n \cdot t = 21 \text{ mm}$

Kerroin $k_0 := 1.0$

Vakio $d_0 := 7 \text{ mm}$

Tehollinen hiiltymissyvyys $d_{ef} := d_{char.n} + k_0 \cdot d_0 = 28 \text{ mm}$

Tehollinen poikkileikkaus: Pileri pääsee hiiltymään kolmelta sivulta, joista vähennetään tehollisen hiiltymissyvyyden paksuus.

=> tehollinen poikkileikkaus $b_{ef} := 215 \text{ mm} - 2 \cdot d_{ef} = 159 \text{ mm}$

$$h_{ef} := 405 \text{ mm} - d_{ef} = 377 \text{ mm}$$

$$A_{ef} := b_{ef} \cdot h_{ef} = (5.994 \cdot 10^4) \text{ mm}^2$$

Nurjahduskestävyys

Nurjahduspituus

$$L_c := 2.5 \cdot L = 14500 \text{ mm}$$

$$I_{y,\bar{n}} := \frac{b_{ef} \cdot h_{ef}^3}{12} = (7.1 \cdot 10^8) \text{ mm}^4$$

$$W_{y,\bar{n}} := \frac{b_{ef} \cdot h_{ef}^2}{6} = (3.8 \cdot 10^6) \text{ mm}^3$$

$$i_y := \sqrt{\frac{I_{y,\bar{n}}}{A_{ef}}} = 108.8 \text{ mm}$$

Hoikkuusluku

$$\lambda_y := \frac{L}{i_y} = 53.3$$

Muunnettu hoikkuusluku

$$\lambda_{rel,y} := \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c0k}}{E_{0.05}}} = 0.808$$

Alkukäyryyskerroin

$$\beta_c := 0.1$$

Kerroin

$$k_y := 0.5 \left(1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0.3) + \lambda_{rel,y}^2 \right) = 0.852$$

Nurjahduskerroin

$$k_{cy} := \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0.892$$

$$\sigma_{ck,\bar{n}} := \frac{N_{k,\bar{n}}}{A_{ef}} = 1.24 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{mk,\bar{n}} := \frac{M_{k,\bar{n}}}{W_{y,\bar{n}}} = 3.502 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{mzk} := 0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Mitoitusehto

$$\frac{\sigma_{ck,\bar{n}}}{k_{cy} \cdot f_{c0k}} + \frac{\sigma_{mk,\bar{n}}}{f_{mk}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{mzk}}{f_{mk}} = 0.174 < 1$$

Käyttöaste 18 %

Liite 11.

Pääty pilarin palomitoitus R30

Määräykset: Eurocode 5, SFS EN 1995-1-1+A1+AC, SFS-EN 1995-1-2 + AC
Sovellusohjeet: RIL 205-1-2017

Pilarityyppi: Liimapuu, pilari 240*675
Kehäjako k/k: 5100mm
Palkin jänneväli: 5000mm
Liimapuun lujuus: GL 30c
Käyttöluokka: 1
Kuorman aikaluokka: hetkellinen, palotilanne
Seuraamusluokka CC2
Paloluokka R30

Liimapuun ominaisuudet palotilanteessa:

$$k_{mod,fi} := 1.0$$

$$k_{fi} := 1.15$$

$$k_m := 0.7$$

$$Y_{m,fi} := 1.0$$

$$c := 0.70$$

$$E_{0.05} := 10800 \frac{N}{mm^2}$$

Luuudet

$$f_{mk} := 30 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{c0k} := 24.5 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{20} := k_{fi} \cdot f_{mk} = 34.5 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{md,fi} := \left(k_{mod,fi} \cdot \frac{f_{20}}{Y_{m,fi}} \right) = 34.5 \frac{N}{mm^2}$$

Liimapuupilarin mitat

$$h := 675 \text{ mm}$$

$$L := 6570 \text{ mm}$$

$$b := 240 \text{ mm}$$

(jatkuu)

Kuormat pilarin laskelmasta

Pysyvät kuormat	$F_{rak} := 17.508 \text{ kN}$
Tuulikuorma seinällä	$q_{wk} := 3.06 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$
Tuulikuorma katon osalta	$F_{wk} := 0.7 \text{ m} \cdot q_{wk} = 2.1 \text{ kN}$
Lumikuorma katolla	$q_{lk} := 6.7 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$
Lumikuorma pilarille	$F_{lk} := 5.1 \text{ m} \cdot q_{lk} = 34.2 \text{ kN}$
Tuuli on määräävä muuttuva kuorma	
Tuulikuorman yhdistelykerroin	$\psi_{1.1} := 0.2$
Lumikuorman yhdistelykerroin	$\psi_{2.1} := 0.2$

Pilarin kuormitus palotilanteessa

Normaalivoima	$N_{k.fi} := F_{rak} + \psi_{2.1} \cdot F_{lk} = 24.3 \text{ kN}$
Taivutusmomentti	$M_{k.fi} := \frac{\psi_{1.1} \cdot q_{wk} \cdot L^2}{2} + \frac{\psi_{1.1} \cdot F_{wk} \cdot L}{2} = 14.6 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Tehollisen poikkileikkauksen määrittäminen

Liimapuun nimellinen hiiltymisnopeus	$\beta_n := 0.7 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$	(RIL 205-2-2007, taul. 3.2)
Palonkesto aika	$t := 30 \text{ min}$	
Hiiltymissyvyyden mitoitussarvo	$d_{char.n} := \beta_n \cdot t = 21 \text{ mm}$	
Kerroin	$k_0 := 1.0$	(RIL 205-2-2007, taul. 4.1)
Vakio	$d_0 := 7 \text{ mm}$	
Tehollinen hiiltymissyvyys	$d_{ef} := d_{char.n} + k_0 \cdot d_0 = 28 \text{ mm}$	

Tehollinen poikkileikkaus: Pileri pääsee hiiltymään kolmelta sivulta, joista vähennetään tehollisen hiiltymissyvyyden paksuus.

$$\Rightarrow \text{tehollinen poikkileikkaus} \quad b_{ef} := 240 \text{ mm} - 2 \cdot d_{ef} = 184 \text{ mm}$$

$$h_{ef} := 675 \text{ mm} - d_{ef} = 647 \text{ mm}$$

$$A_{ef} := b_{ef} \cdot h_{ef} = 119048 \text{ mm}^2$$

Nurjahduskestävyys

Nurjahduspituus

$$L_c := 2.5 \cdot L = 16425 \text{ mm}$$

$$I_{y,\bar{n}} := \frac{b_{ef} \cdot h_{ef}^3}{12} = (4.2 \cdot 10^9) \text{ mm}^4$$

$$W_{y,\bar{n}} := \frac{b_{ef} \cdot h_{ef}^2}{6} = (1.3 \cdot 10^7) \text{ mm}^3$$

$$i_y := \sqrt{\frac{I_{y,\bar{n}}}{A_{ef}}} = 186.8 \text{ mm}$$

Hoikkuusluku

$$\lambda_y := \frac{L}{i_y} = 35.2$$

Muunnettu hoikkuusluku

$$\lambda_{rel,y} := \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c0k}}{E_{0.05}}} = 0.533$$

Alkukäyryyskerroin

$$\beta_c := 0.1$$

Kerroin

$$k_y := 0.5 \left(1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0.3) + \lambda_{rel,y}^2 \right) = 0.654$$

Nurjahduskerroin

$$k_{cy} := \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0.969$$

$$\sigma_{ck,\bar{n}} := \frac{N_{k,\bar{n}}}{A_{ef}} = 0.204 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{mk,\bar{n}} := \frac{M_{k,\bar{n}}}{W_{y,\bar{n}}} = 1.139 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{mzk} := 0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Mitoitusehto

$$\frac{\sigma_{ck,\bar{n}}}{k_{cy} \cdot f_{c0k}} + \frac{\sigma_{mk,\bar{n}}}{f_{mk}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{mzk}}{f_{mk}} = 0.047 < 1$$

Käyttöaste 5 %

Liite 12.

Kehän mastopilarin anturan mitoituslaskelma

Määräykset: Eurocode 2, SFS EN 1992-1-1 + A1 + AC

Sovellusohjeet: Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja, osat 1 ja 2

Tässä laskelmassa esitetään vain anturan rakennetekninen mitoitus.

Seuraamusluokka CC2

Toleranssiluokka 1

Toteutusluokka 2

Betonin rasitusluokka XC2

Betoni C30/37

Betoniteräs B500B

Kertoimet ja osavarmuusluvut

$$K_{F1} := 1.0$$

$$\gamma_c := 1.50$$

$$\gamma_s := 1.15$$

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

$$\alpha_{ct} := 1.0$$

Luuudet

$$f_{ck} := 30 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} := \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 17 \text{ MPa}$$

$$f_{ctm} := 0.30 \text{ MPa} \cdot \left(\frac{f_{ck}}{1 \text{ MPa}} \right)^{\frac{2}{3}} = 2.9 \text{ MPa}$$

$$f_{ctk.0.05} := 0.7 \cdot f_{ctm} = 2.03 \text{ MPa}$$

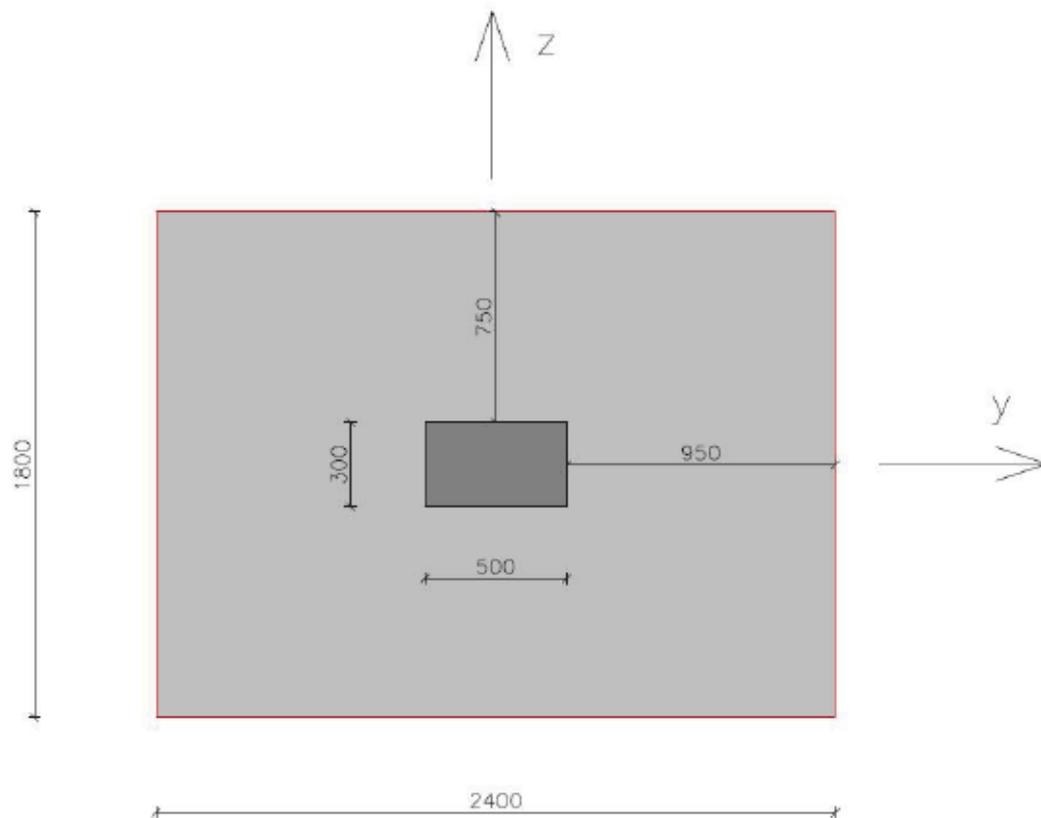
$$f_{ctd} := \alpha_{ct} \cdot \frac{f_{ctk.0.05}}{\gamma_c} = 1.35 \text{ MPa}$$

$$f_{cm} := f_{ck} + 8 \text{ MPa} = 38 \text{ MPa}$$

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

$$f_{yd} := \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 435 \text{ MPa}$$

(jatkuu)



Anturan ja peruspilarin mitat

Lasketaan mitoitus anturalle 1800*2400*300 *mm*

Anturan pituus $B_1 := 2400$ *mm*

Anturan leveys $B_2 := 1800$ *mm*

Anturan korkeus $h := 300$ *mm*

Arvioitu tankopaksuus $\phi := 12$ *mm*

Betonipeite $c_{nom} := 50$ *mm*

Tehollinen korkeus $d := 240$ *mm*

Peruspilari 500*300*500 mm $c_1 := 500$ *mm*

$c_2 := 300$ *mm*

Kuormat

Liimapuupilarille tuleva pystykuorma $N_{pd} := 170.7 \text{ kN}$

Omat painot:	-lp-pilari	2.5 kN
	-peruspilari	1.9 kN
	-antura	32.4 kN
	-maan paino	41.7 kN
	-ulkoseinä	35 kN
	-sokkeli	32 kN
		<hr/>
		145.5 kN

Yhteensä: $N_{op} := 1.15 \cdot 145.5 \text{ kN} = 167 \text{ kN}$

Pystykuormat yhteensä $N_{Ed} := N_{pd} + N_{op} = 338 \text{ kN}$

Taivutusmomentti

Lp-pilarin laskelmasta kehälle: $M_{pd} := 102 \text{ kN} \cdot \text{m}$

$V_d := 35.4 \text{ kN}$

Taivutusmomentti anturan alapinnan tasossa

$M_{Ed} := 102 \text{ kN} \cdot \text{m} + V_d \cdot 0.9 \text{ m} = 134 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Anturan kuormitettu ala

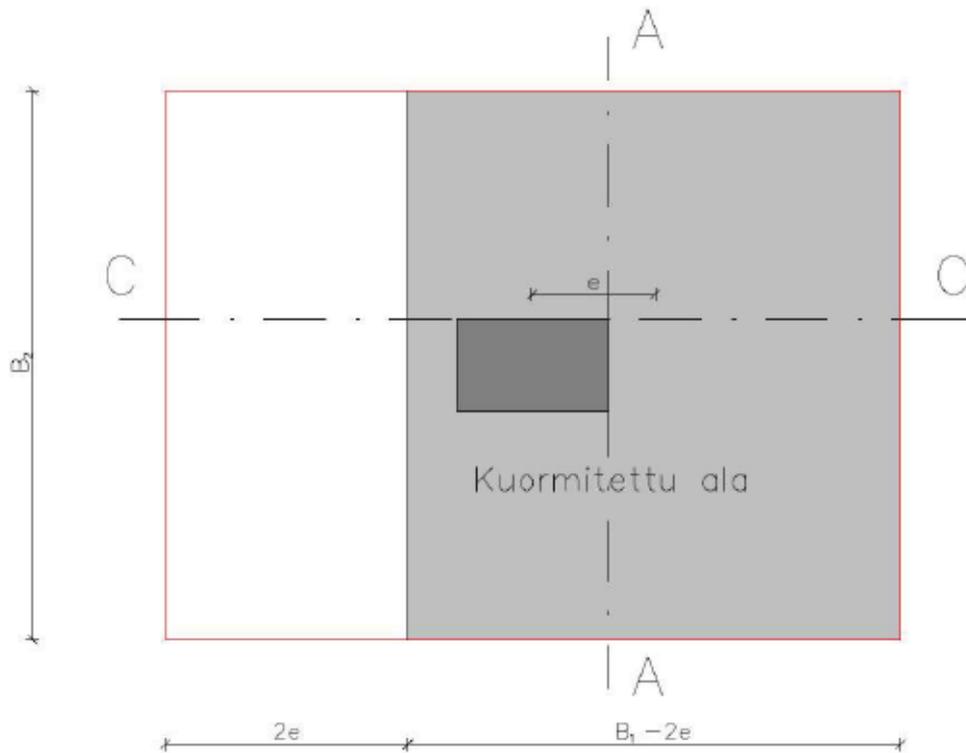
Kuormituksen epäkeskisyys $e_y := \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = 396 \text{ mm}$ $e_z := 0$

Anturan kuormitettu pituus $B_{1T} := B_1 - 2 \cdot e_y = 1.61 \text{ m}$

Anturan kuormitettu leveys $B_{2T} := B_2 - e_z = 1.8 \text{ m}$

Anturan kuormitettu pinta-ala $A_T := B_{1T} \cdot B_{2T} = 2.89 \text{ m}^2$

Pohjapaine $\sigma_{gd} := \frac{N_{Ed}}{A_T} = 116.79 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$



Anturan kuormitettu ala

Mitoitusmomentti

Peruspilarin etäisyys anturan reunasta y-suunta $a_1 := \frac{B_1 - c_1}{2} = 0.95 \text{ m}$

Peruspilarin etäisyys anturan reunasta z-suunta $a_2 := \frac{B_2 - c_2}{2} = 0.75 \text{ m}$

Momentti y-suuntaan $M_{Ed1} := \sigma_{gd} \cdot \frac{a_1^2}{2} \cdot B_{2T} = 94.86 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Momentti z-suuntaan $M_{Ed2} := \sigma_{gd} \cdot \frac{a_2^2}{2} \cdot B_{1T} = 52.82 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Vähimmäisraudoitus $A_{smin} := \max\left(0.26 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot d, 0.0013 \cdot d\right) = 361 \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$

Raudoitus

Anturan pituussuuntainen raudoitus (y-suunta)

Suhteellinen momentti $\mu_z := \frac{M_{Ed1}}{B_2 \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = 0.054$

Puristuvyöhykkeen suhteellinen korkeus $\beta_z := 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \mu_z} = 0.055$

Mekaaninen raudoitussuhde $\omega := \beta_z$

Vaadittu raudoitusala $A_{svaad} := \omega \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 519 \frac{mm^2}{m} > A_{smin}$

$$A_{svaad,y} := A_{svaad} \cdot B_2 = 935 \text{ mm}^2$$

Valitaan raudoitus 9 T12 k170 $A_{sy} := 1017 \text{ mm}^2$

Tankovälisääntö $s_{max} := \min(2 \cdot h, 250 \text{ mm}) = 250 \text{ mm} > 170 \text{ mm}$

Anturan poikittaissuuntainen raudoitus (z-suunta)

$$\mu_y := \frac{M_{Ed2}}{B_1 \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = 0.022$$

$$\beta_z := 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \mu_y} = 0.023$$

$$A_{svaad} := \beta_z \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 213 \frac{mm^2}{m} < A_{smin}$$

$$A_{svaad,z} := A_{smin} \cdot B_1 = 868 \text{ mm}^2$$

Riittävä raudoitusmäärä 8 T12 k255 $\Rightarrow A_s := 904 \text{ mm}^2$

Tankovälisäännön mukaan $s_{max} = 250 \text{ mm}$

Valitaan raudoitus 9 T12 k230 $\Rightarrow A_{sz} := 1017 \text{ mm}^2$

Raudoituksen ankkurointi

Hyvät tartuntaolosuhteet $\eta_1 := 1$ $\eta_2 := 1$

Tartuntalujuus $f_{bd} := 2.25 f_{ctd} \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 = 3.04 \text{ MPa}$

Pystyleikkauksessa, y-suuntaan:

Raudoituksen jännitys $\sigma_{sd1} := f_{yd} \cdot \frac{A_{svaad,y}}{A_{sy}} = 400 \text{ MPa}$

Ankkurointipituuden perusarvo $l_{b,rqd} := \frac{\phi \cdot \sigma_{sd1}}{4 \cdot f_{bd}} = 394 \text{ mm}$

Ankkurointipituuden vähimmäisarvo $l_{b,min} := \max(0.3 \cdot l_{b,rqd}, 10 \cdot \phi, 100 \text{ mm}) = 120 \text{ mm}$

Ankkurointipituus $l_{b1} := a_1 - c_{nom} = 900 \text{ mm} > 394 \text{ mm}$

Ankkurointipituus riittää Käyttöaste 44 %

Pystyleikkauksessa, z-suuntaan:

Raudoituksen jännitys $\sigma_{sd2} := f_{yd} \cdot \frac{A_{svaad,z}}{A_{sz}} = 371 \text{ MPa}$

Ankkurointipituuden perusarvo $l_{b,rqd} := \frac{\phi \cdot \sigma_{sd2}}{4 \cdot f_{bd}} = 366 \text{ mm}$

Ankkurointipituuden vähimmäisarvo $l_{b,min} := \max(0.3 \cdot l_{b,rqd}, 10 \cdot \phi, 100 \text{ mm}) = 120 \text{ mm}$

Ankkurointipituus $l_{b2} := a_2 - c_{nom} = 700 \text{ mm} > 366 \text{ mm}$

Ankkurointipituus riittää Käyttöaste 53 %

Vinoleikkauksessa, y-suuntaan:

Ankkuroitava voima $F_s := \sigma_{gd} \cdot B_{2T} \cdot \frac{h}{1.8 \cdot d} \cdot \left(a_1 - \frac{h}{4} + 0.15 \cdot c_1 \right) = 139 \text{ kN}$

Tankojen ympärysmitta $\Sigma U_{sy} := 9 \cdot 12 \text{ mm} \cdot \pi = 339 \text{ mm}$

Ankkurointikestävyys $F_{bd} := \left(\frac{h}{2} - c_{nom} \right) \cdot f_{bd} \cdot \Sigma U_{sy} = 103 \text{ kN} < F_s$

Ankkurointikestävyys ei riitä **Käyttöaste 135 %**

Lisätään ankkurointikestävyttä taivuttamalla tankojen päät ylös

Kasvanut ankkurointipituus $l_{b1vino} := \frac{h}{2} - c_{nom} + (h - 2 \cdot c_{nom}) = 300 \text{ mm}$

Ankkurointikestävyys
ylöstaivutetuilla tangoilla $F_{bd} := l_{b1vino} \cdot f_{bd} \cdot \Sigma U_{sy} = 310 \text{ kN} > F_s$

Ankkurointikestävyys riittää **Käyttöaste 45 %**

Vinoleikkauksessa, z-suuntaan:

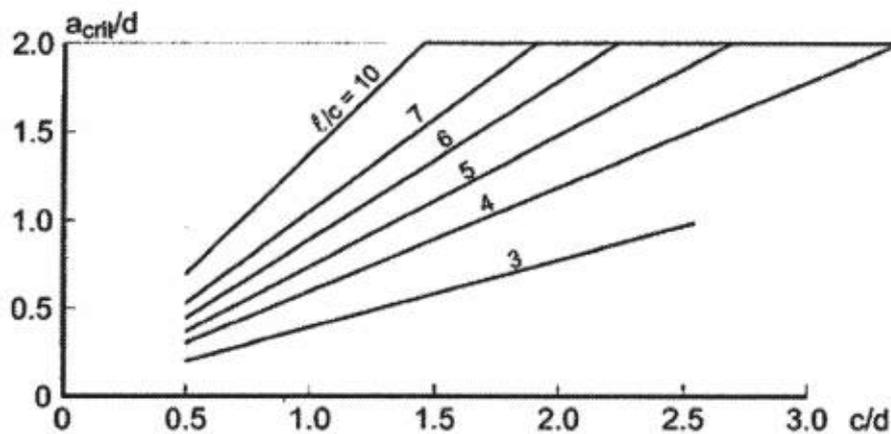
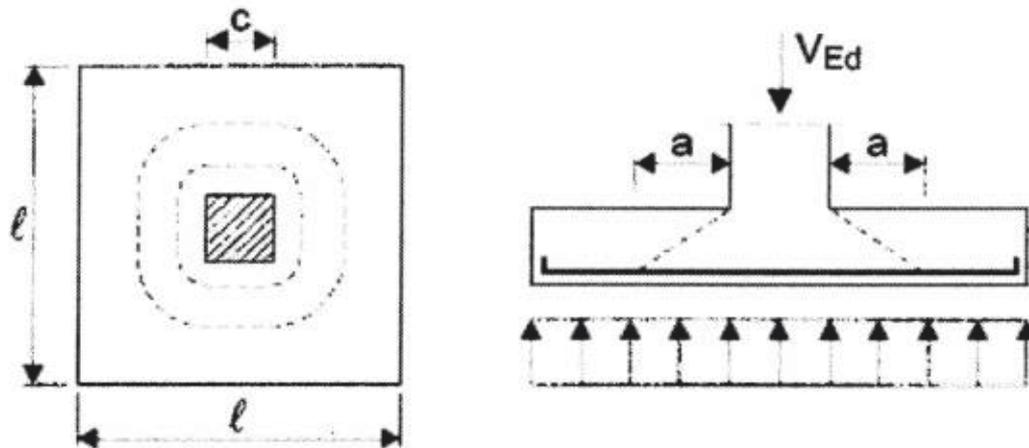
Ankkuroitava voima $F_s := \sigma_{gd} \cdot B_{1T} \cdot \frac{h}{1.8 \cdot d} \cdot \left(a_2 - \frac{h}{4} + 0.15 \cdot c_2 \right) = 93.9 \text{ kN}$

Tankojen ympärysmitta $\Sigma U_{sz} := 9 \cdot 12 \text{ mm} \cdot \pi = 339 \text{ mm}$

Ankkurointikestävyys $F_{bd} := \left(\frac{h}{2} - c_{nom} \right) \cdot f_{bd} \cdot \Sigma U_{sz} = 103 \text{ kN} > F_s$

Ankkurointikestävyys riittää **Käyttöaste 91 %**

Lävistysmitoitus



Apukäyrästä kriittisen lävistysmurtokartion määrittämiseen keskisesti kuormitetulla neliöanturalle. (by 211 osa 2, 2015)

Lävistysmurtokartion kaltevuus:

$$\begin{array}{l} \text{Suhdeluvut} \quad \frac{c_1}{d} = 2.08 \quad \frac{c_2}{d} = 1.25 \\ \frac{B_1}{c_1} = 4.8 \quad \frac{B_2}{c_2} = 6 \end{array}$$

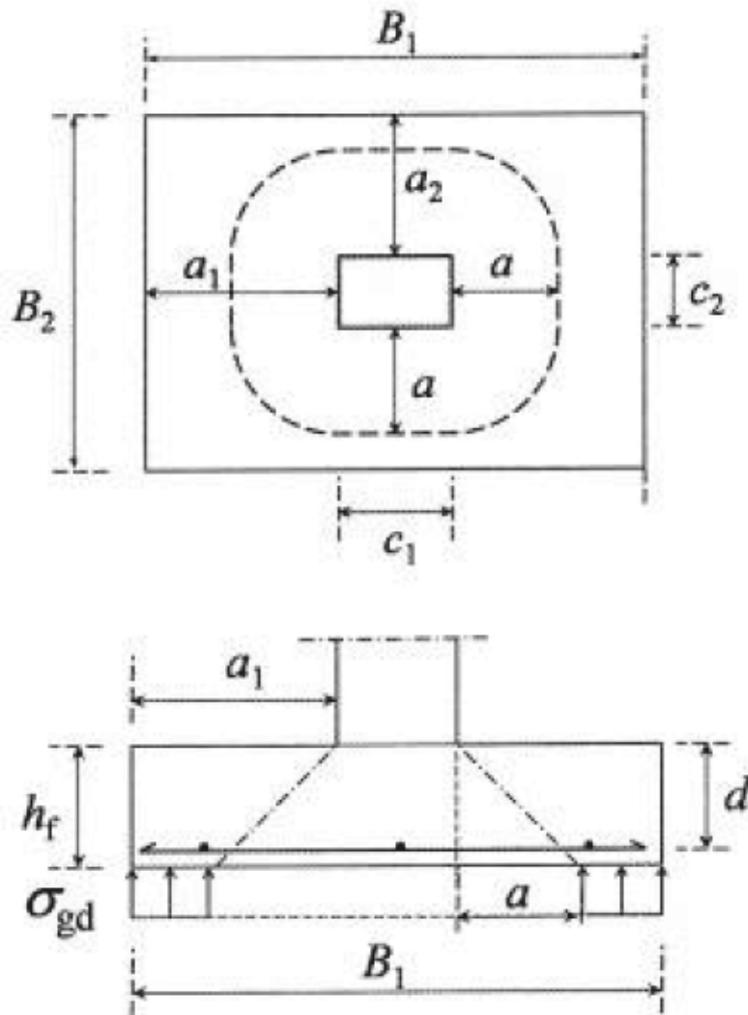
Kuvan käyrästä luetaan arvot:

$$\text{Suuntaan y} \quad \frac{a_{crit}}{d} = 1.5 \Rightarrow a := 1.5 \cdot d = 360 \text{ mm}$$

$$\text{Suuntaan z} \quad \frac{a_{crit}}{d} = 1.1 \Rightarrow a := 1.1 \cdot d = 264 \text{ mm}$$

=> murtokartio on anturan sisällä, valitaan varmalla puolella oleva arvo

$$a := 264 \text{ mm}$$



Pilarianturan lävistyskartio. (BY 211 osa 2, 2015)

Murtokartion pohjan pinta-ala anturan alapinnassa

$$\Delta A_{red} := 2 \cdot a \cdot (c_1 + c_2) + \pi \cdot a^2 + c_1 \cdot c_2 = 0.79 \text{ m}^2$$

Alalta kehittyvä kuorma pohjapaineesta

$$\Delta V_{Ed} := \sigma_{gd} \cdot \Delta A_{red} = 92.42 \text{ kN}$$

Lävistyskuorma lävistyskartion ulkopuoliselta alueelta

$$V_{Ed,red} := N_{Ed} - \Delta V_{Ed} = 245.61 \text{ kN}$$

Lävistyspiiri $u := 2 (c_1 + c_2) + 2 \cdot \pi \cdot a = 3.26 \text{ m}$

Lävistyspiirissä vaikuttavan leikkausvoiman staattinen momentti

$$W_1 := \frac{c_1^2}{2} + c_1 \cdot c_2 + 2 \cdot c_2 \cdot a + 4 \cdot a^2 + \pi \cdot a \cdot c_1 = 1.13 \text{ m}^2$$

Taulukko 6.1 Kertoimen k arvot suorakaiteen muotoisille kuormituspinta-aloille

c_1/c_2	$\leq 0,5$	1,0	2,0	$\geq 3,0$
k	0,45	0,60	0,70	0,80

Kertoimen k -arvot. (SFS-EN 1992-1-1 + A1 +A1)

Suhdeluku $\frac{c_1}{c_2} = 1.67$

Kerroin k taulukosta 6.1 $k := 0.667$

Lävistyskuormien aiheuttama jännitys piirillä u

$$v_{Ed} := \frac{V_{Ed,red}}{u \cdot d} \left(1 + k \cdot \frac{M_{Ed}}{V_{Ed,red}} \cdot \frac{u}{W_1} \right) = 0.64 \text{ MPa}$$

Suorakaidepilarille mitta D $D := \sqrt{c_1 \cdot c_2} = 387 \text{ mm}$

Lävistyskapasiteetin kerroin $C_{Rdc} := \frac{0.3 \cdot \left(\frac{D}{d} + 1.5 \right)}{\gamma_c \cdot \left(\frac{D}{d} + 4 \right)} = 0.11$

Korkeuskerroin $k_k := \min \left(\left(1 + \sqrt{200 \frac{\text{mm}}{d}} \right), 2.0 \right) = 1.91$

Ankkurointivaatimus y -suuntaan teräksen täydelle myötövoimalle

$$L_{b,rqd} := \frac{\phi \cdot f_{yd}}{4 \cdot f_{bd}} = 429 \text{ mm}$$

Toteutuva ankkurointipituus $L_{by} := a_1 - a = 686 \text{ mm} > L_{b,rqd} = 429 \text{ mm}$

=> Y -suunnan rauditus täysin ankkuroitu

Käyttöaste 63 %

Tehollinen raudoitusala $\rho_{y,eff} := \frac{A_{sy}}{B_2 \cdot d} = 0.0024$

Toteutuva ankkurointipituus z-suuntaan

$$L_{bz} := a_2 - a = 486 \text{ mm} > L_{b,reqd} = 429 \text{ mm}$$

=> Z-suunnan raudoitus täysin ankkuroitu

Käyttöaste 89 %

Tehollinen raudoitusala $\rho_{z,eff} := \frac{A_{sz}}{B_1 \cdot d} = 0.0018$

Geometrinen raudoitussuhde

$$\rho_L := \min\left(\sqrt{\rho_{y,eff} \cdot \rho_{z,eff}}, 0.02\right) = 0.002$$

Lävistyskestävyys

$$v_{Rd,c} := C_{Rdc} \cdot k_k \cdot \left(100 \cdot \rho_L \cdot \frac{f_{ck}}{1 \text{ MPa}}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot \left(2 \cdot \frac{d}{a}\right) \text{ MPa} = 0.71 \text{ MPa}$$

Mitoitusehto

$$v_{Rd,c} \geq v_{Ed}$$

Käyttöaste 92 %

=> Anturan lävistyskestävyys riittää ilman leikkausraudoitusta

Yhteenvedo anturan raudoituksesta:

Raudoitus y-suuntaan 9 T12 k170, tankojen päät taivutetaan ylös

Raudoitus z-suuntaan 9 T12 k230

Liite 13.

Pääty Pilarin anturan mitoituslaskelma

Määräykset: Eurocode 2, SFS EN 1992-1-1 + A1 + AC

Sovellusohjeet: Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja, osat 1 ja 2

Tässä laskelmassa esitetään vain anturan rakennetekninen mitoitus.

Seuraamusluokka CC2

Toleranssiluokka 1

Toteutusluokka 2

Betonin rasitusluokka XC2

Betoni C30/37

Betoniteräs B500B

Kertoimet ja osavarmuusluvut

$$K_{F1} := 1.0$$

$$\gamma_c := 1.50$$

$$\gamma_s := 1.15$$

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

$$\alpha_{ct} := 1.0$$

Luuudet

$$f_{ck} := 30 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} := \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 17 \text{ MPa}$$

$$f_{ctm} := 0.30 \text{ MPa} \cdot \left(\frac{f_{ck}}{1 \text{ MPa}} \right)^{\frac{2}{3}} = 2.9 \text{ MPa}$$

$$f_{ctk.0.05} := 0.7 \cdot f_{ctm} = 2.03 \text{ MPa}$$

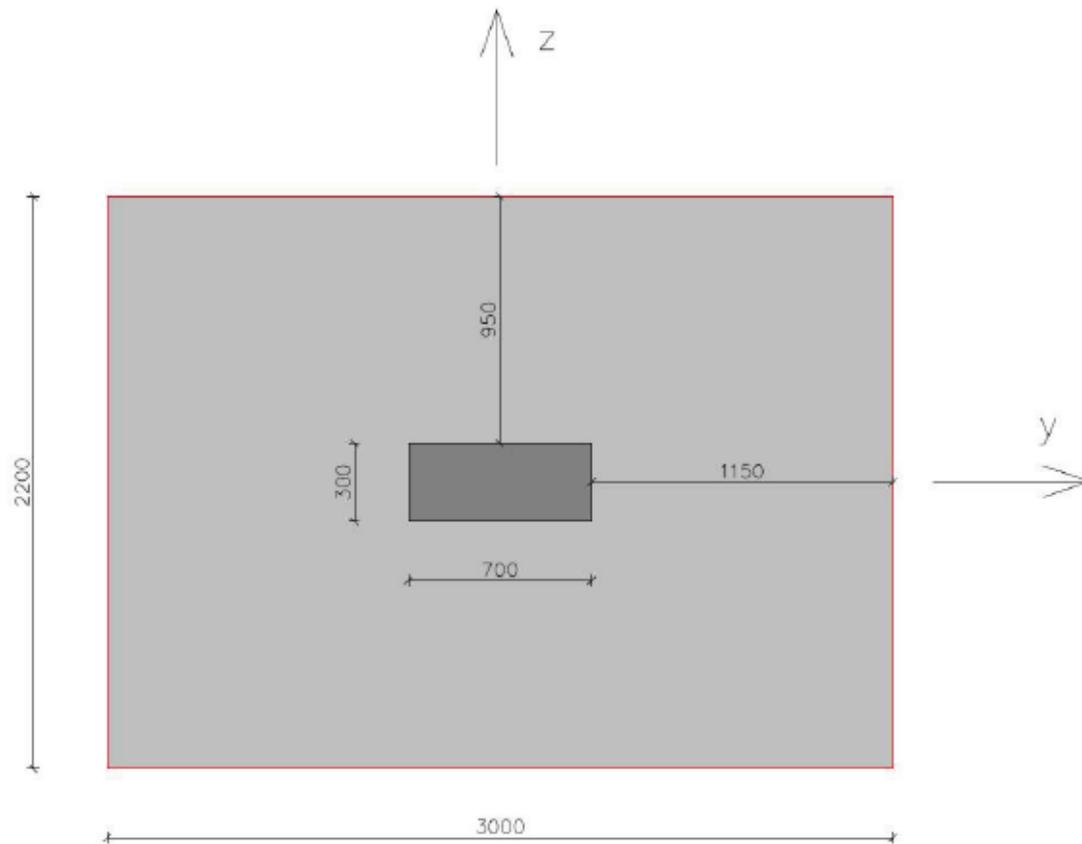
$$f_{ctd} := \alpha_{ct} \cdot \frac{f_{ctk.0.05}}{\gamma_c} = 1.35 \text{ MPa}$$

$$f_{cm} := f_{ck} + 8 \text{ MPa} = 38 \text{ MPa}$$

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

$$f_{yd} := \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 435 \text{ MPa}$$

(jatkuu)



Anturan ja peruspilarin mitat

Lasketaan mitoitus anturalle 2200*3000*400 *mm*

Anturan pituus $B_1 := 3000 \text{ mm}$

Anturan leveys $B_2 := 2200 \text{ mm}$

Anturan korkeus $h := 400 \text{ mm}$

Arvioitu tankopaksuus $\phi := 12 \text{ mm}$

Betonipeite $c_{nom} := 50 \text{ mm}$

Tehollinen korkeus $d := 340 \text{ mm}$

Peruspilari 700*300*500 mm $c_1 := 700 \text{ mm}$

$c_2 := 300 \text{ mm}$

Kuormat

Liimapuupilarille tuleva pystykuorma $N_{ipd} := 61.6 \text{ kN}$

Omat painot:	-lp-pilari	4.2 kN
	-peruspilari	2.6 kN
	-antura	66 kN
	-maan paino	64.4 kN
	-ulkoseinä	35 kN
	-sokkeli	32 kN
		<hr/>
		204.2 kN

Yhteensä: $N_{op} := 1.15 \cdot 204.2 \text{ kN} = 234.83 \text{ kN}$

Pystykuormat yhteensä $N_{Ed} := N_{ipd} + N_{op} = 296.43 \text{ kN}$

Taivutusmomentti

Lp-pilarin laskelmasta kehälle:
(vähennetty sisäiset
jäykistyskuormat)

$$M_{pd} := 180 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$V_d := 33.4 \text{ kN}$$

Taivutusmomentti anturan alapinnan tasossa

$$M_{Ed} := 180 \text{ kN} \cdot \text{m} + V_d \cdot 0.9 \text{ m} = 210.06 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Anturan kuormitettu ala

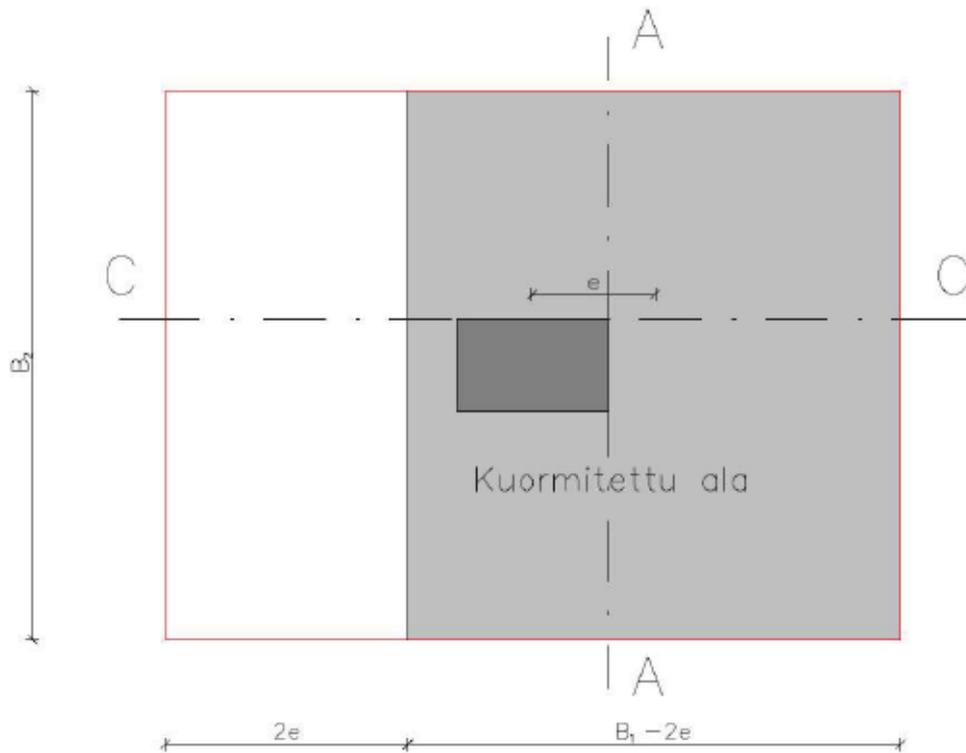
Kuormituksen epäkeskisyys $e_y := \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = 709 \text{ mm}$ $e_z := 0$

Anturan kuormitettu pituus $B_{1T} := B_1 - 2 \cdot e_y = 1.58 \text{ m}$

Anturan kuormitettu leveys $B_{2T} := B_2 - e_z = 2.2 \text{ m}$

Anturan kuormitettu pinta-ala $A_T := B_{1T} \cdot B_{2T} = 3.48 \text{ m}^2$

Pohjapaine $\sigma_{gd} := \frac{N_{Ed}}{A_T} = 85.13 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$



Anturan kuormitettu ala

Mitoitusmomentti

Peruspilarin etäisyys anturan reunasta y-suunta $a_1 := \frac{B_1 - c_1}{2} = 1.15 \text{ m}$

Peruspilarin etäisyys anturan reunasta z-suunta $a_2 := \frac{B_2 - c_2}{2} = 0.95 \text{ m}$

Momentti y-suuntaan $M_{Ed1} := \sigma_{gd} \cdot \frac{a_1^2}{2} \cdot B_{2T} = 123.85 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Momentti z-suuntaan $M_{Ed2} := \sigma_{gd} \cdot \frac{a_2^2}{2} \cdot B_{1T} = 60.8 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Vähimmäisraudoitus $A_{smin} := \max\left(0.26 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot d, 0.0013 \cdot d\right) = 512 \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$

Raudoitus

Anturan pituussuuntainen raudoitus (y-suunta)

$$\text{Suhteellinen momentti} \quad \mu_z := \frac{M_{Ed1}}{B_2 \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = 0.029$$

$$\text{Puristuvyöhykkeen suhteellinen korkeus} \quad \beta_z := 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \mu_z} = 0.029$$

$$\text{Mekaaninen raudoitussuhde} \quad \omega := \beta_z$$

$$\text{Vaadittu raudoitusala} \quad A_{svaad} := \omega \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 386 \frac{\text{mm}^2}{\text{m}} < A_{smin}$$

$$A_{svaad,y} := \max(A_{svaad} \cdot B_2, A_{smin} \cdot B_2) = 1127 \text{ mm}^2$$

$$\text{Valitaan raudoitus} \quad 11 \text{ T12 k210} \quad A_{sy} := 1244 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tankovälisääntö} \quad s_{max} := \min(2 \cdot h, 250 \text{ mm}) = 250 \text{ mm} > 210 \text{ mm}$$

Anturan poikittaissuuntainen raudoitus (z-suunta)

$$\mu_y := \frac{M_{Ed2}}{B_1 \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = 0.01$$

$$\beta_z := 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \mu_y} = 0.01$$

$$A_{svaad} := \beta_z \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 138 \frac{\text{mm}^2}{\text{m}} < A_{smin}$$

$$A_{svaad,z} := A_{smin} \cdot B_1 = 1536 \text{ mm}^2$$

$$\text{Riittävä raudoitusmäärä} \quad 14 \text{ T12 k223} \Rightarrow A_{sz} := 1583 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tankovälisäännön mukaan} \quad s_{max} = 250 \text{ mm} > 223 \text{ mm}$$

Raudoituksen ankkurointi

Hyvät tartuntaolosuhteet $\eta_1 := 1$ $\eta_2 := 1$

Tartuntalujuus $f_{bd} := 2.25 f_{ctd} \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 = 3.04 \text{ MPa}$

Pystyleikkauksessa, y-suuntaan:

Raudoituksen jännitys $\sigma_{sd1} := f_{yd} \cdot \frac{A_{svaad.y}}{A_{sy}} = 393.75 \text{ MPa}$

Ankkurointipituuden perusarvo $l_{b.rqd} := \frac{\phi \cdot \sigma_{sd1}}{4 \cdot f_{bd}} = 388 \text{ mm}$

Ankkurointipituuden vähimmäisarvo $l_{b.min} := \max(0.3 \cdot l_{b.rqd}, 10 \cdot \phi, 100 \text{ mm}) = 120 \text{ mm}$

Ankkurointipituus $l_{b1} := a_1 - c_{nom} = 1100 \text{ mm} > 388 \text{ mm}$

Ankkurointipituus riittää **Käyttöaste 36 %**

Pystyleikkauksessa, z-suuntaan:

Raudoituksen jännitys $\sigma_{sd2} := f_{yd} \cdot \frac{A_{svaad.z}}{A_{sz}} = 421.95 \text{ MPa}$

Ankkurointipituuden perusarvo $l_{b.rqd} := \frac{\phi \cdot \sigma_{sd2}}{4 \cdot f_{bd}} = 416 \text{ mm}$

Ankkurointipituuden vähimmäisarvo $l_{b.min} := \max(0.3 \cdot l_{b.rqd}, 10 \cdot \phi, 100 \text{ mm}) = 124.9 \text{ mm}$

Ankkurointipituus $l_{b2} := a_2 - c_{nom} = 900 \text{ mm} > 416 \text{ mm}$

Ankkurointipituus riittää **Käyttöaste 47 %**

Vinoleikkauksessa, y-suuntaan:

Ankkuroitava voima $F_s := \sigma_{gd} \cdot B_{2T} \cdot \frac{h}{1.8 \cdot d} \cdot \left(a_1 - \frac{h}{4} + 0.15 \cdot c_1 \right) = 141.4 \text{ kN}$

Tankojen ympärysmitta $\Sigma u_{sy} := 10 \cdot 12 \text{ mm} \cdot \pi = 377 \text{ mm}$

Ankkurointikestävyys $F_{bd} := \left(\frac{h}{2} - c_{nom} \right) \cdot f_{bd} \cdot \Sigma u_{sy} = 172 \text{ kN} > F_s$

Ankkurointikestävyys riittää Käyttöaste 83 %

Vinoleikkauksessa, z-suuntaan:

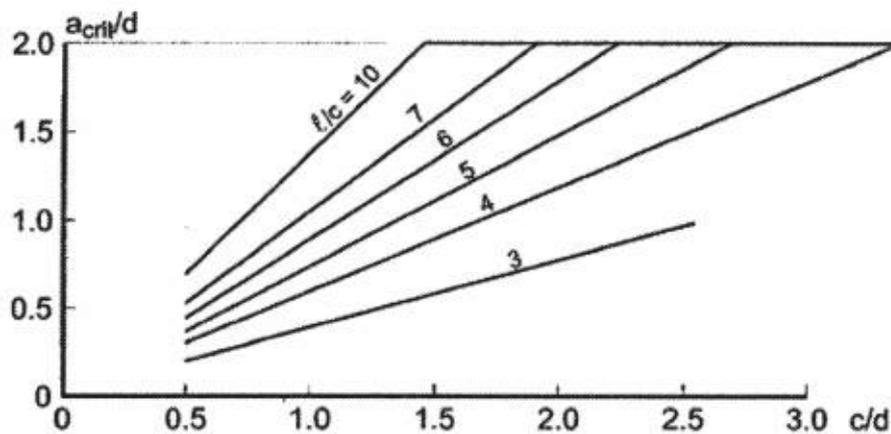
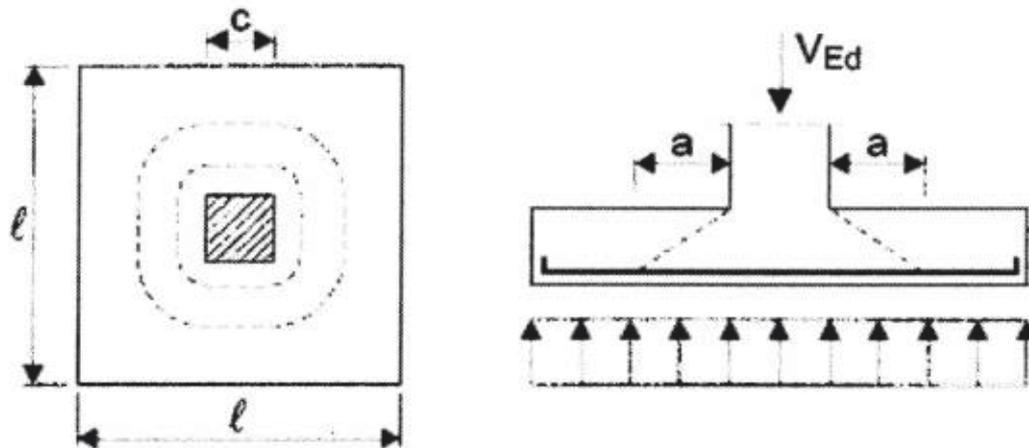
Ankkuroitava voima $F_s := \sigma_{gd} \cdot B_{1T} \cdot \frac{h}{1.8 \cdot d} \cdot \left(a_2 - \frac{h}{4} + 0.15 \cdot c_2 \right) = 78.8 \text{ kN}$

Tankojen ympärysmitta $\Sigma u_{sz} := 13 \cdot 12 \text{ mm} \cdot \pi = 490 \text{ mm}$

Ankkurointikestävyys $F_{bd} := \left(\frac{h}{2} - c_{nom} \right) \cdot f_{bd} \cdot \Sigma u_{sz} = 223.6 \text{ kN} > F_s$

Ankkurointikestävyys riittää Käyttöaste 36 %

Lävistysmitoitus



Apukäyrästä kriittisen lävistysmurtokartion määrittämiseen keskisesti kuormitetulla neliöanturalle. (by 211 osa 2, 2015)

Lävistysmurtokartion kaltevuus:

Suhdeluvut	$\frac{c_1}{d} = 2.06$	$\frac{c_2}{d} = 0.88$
	$\frac{B_1}{c_1} = 4.29$	$\frac{B_2}{c_2} = 7.33$

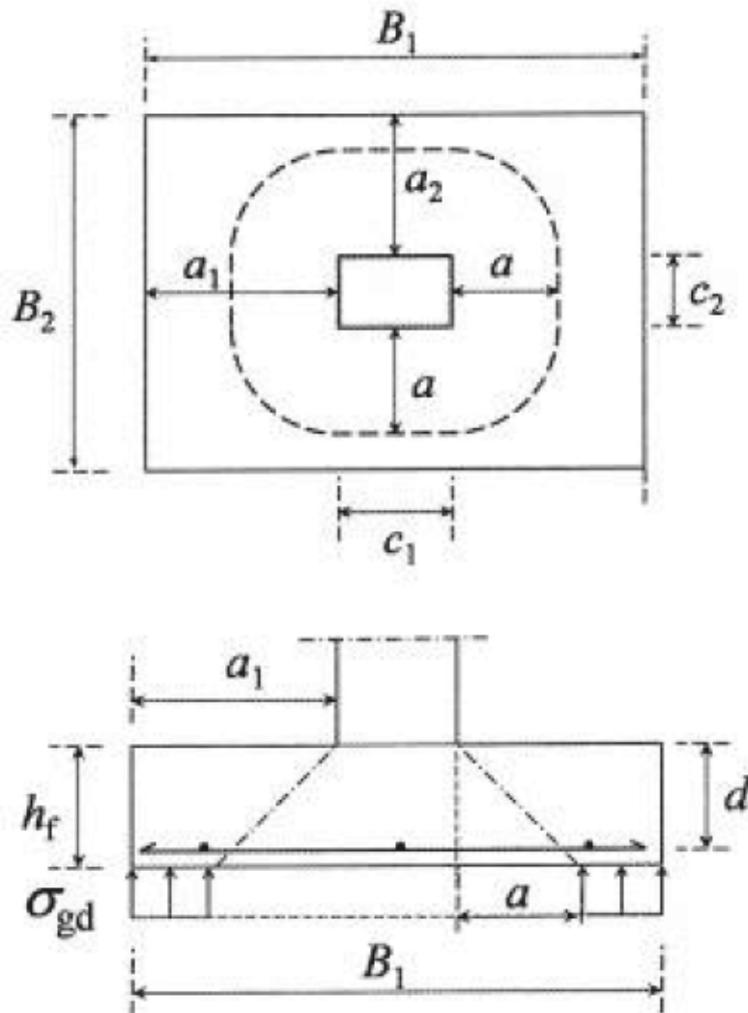
Kuvan käyrästä luetaan arvot:

Suuntaan y $\frac{a_{crit}}{d} = 1.5 \Rightarrow a := 1.5 \cdot d = 510 \text{ mm}$

Suuntaan z $\frac{a_{crit}}{d} = 1.1 \Rightarrow a := 1.1 \cdot d = 374 \text{ mm}$

=> murtokartio on anturan sisällä, valitaan varmallalla puolella oleva arvo

$a := 374 \text{ mm}$



Pilarianturan lävistyskartio. (BY 211 osa 2, 2015)

Murtokartion pohjan pinta-ala anturan alapinnassa

$$\Delta A_{red} := 2 \cdot a \cdot (c_1 + c_2) + \pi \cdot a^2 + c_1 \cdot c_2 = 1.4 \text{ m}^2$$

Alalta kehittyvä kuorma pohjapaineesta

$$\Delta V_{Ed} := \sigma_{gd} \cdot \Delta A_{red} = 118.97 \text{ kN}$$

Lävistyskuorma lävistyskartion ulkopuoliselta alueelta

$$V_{Ed,red} := N_{Ed} - \Delta V_{Ed} = 177.46 \text{ kN}$$

Lävistyspiiri $u := 2 (c_1 + c_2) + 2 \cdot \pi \cdot a = 4.35 \text{ m}$

Lävistyspiirissä vaikuttavan leikkausvoiman staattinen momentti

$$W_1 := \frac{c_1^2}{2} + c_1 \cdot c_2 + 2 \cdot c_2 \cdot a + 4 \cdot a^2 + \pi \cdot a \cdot c_1 = 2.06 \text{ m}^2$$

Taulukko 6.1 Kertoimen k arvot suorakaiteen muotoisille kuormituspinta-aloille

c_1/c_2	$\leq 0,5$	1,0	2,0	$\geq 3,0$
k	0,45	0,60	0,70	0,80

Kertoimen k -arvot. (SFS-EN 1992-1-1 + A1 + A1)

Suhdeluku $\frac{c_1}{c_2} = 2.33$

Kerroin k taulukosta 6.1 $k := 0.73$

Lävistyskuormien aiheuttama jännitys piirillä u

$$v_{Ed} := \frac{V_{Ed,red}}{u \cdot d} \left(1 + k \cdot \frac{M_{Ed}}{V_{Ed,red}} \cdot \frac{u}{W_1} \right) = 0.34 \text{ MPa}$$

Suorakaidepilarille mitta D $D := \sqrt{c_1 \cdot c_2} = 458 \text{ mm}$

Lävistyskapasiteetin kerroin $C_{Rdc} := \frac{0.3}{\gamma_c} \cdot \frac{\left(\frac{D}{d} + 1.5 \right)}{\left(\frac{D}{d} + 4 \right)} = 0.11$

Korkeuserroin $k_k := \min \left(\left(1 + \sqrt{200 \frac{\text{mm}}{d}} \right), 2.0 \right) = 1.77$

Ankkurointivaatimus y -suuntaan teräksen täydelle myötövoimalle

$$L_{b,rqd} := \frac{\phi \cdot f_{yd}}{4 \cdot f_{bd}} = 429 \text{ mm}$$

Toteutuva ankkurointipituus $L_{by} := a_1 - a = 776 \text{ mm} > L_{b,rqd} = 429 \text{ mm}$

=> Y -suunnan rauditus täysin ankkuroitu

Käyttöaste 56 %

Tehollinen raudoitusalala $\rho_{y,eff} := \frac{A_{sy}}{B_2 \cdot d} = 0.0017$

Toteutuva ankkurointipituus z-suuntaan

$$L_{bz} := a_2 - a = 576 \text{ mm} > L_{b,reqd} = 429 \text{ mm}$$

=> Z-suunnan raudoitus täysin ankkuroitu

Käyttöaste 75 %

Tehollinen raudoitusalala $\rho_{z,eff} := \frac{A_{sz}}{B_1 \cdot d} = 0.0016$

Geometrinen raudoitussuhde

$$\rho_L := \min\left(\sqrt{\rho_{y,eff} \cdot \rho_{z,eff}}, 0.02\right) = 0.0016$$

Lävistyskestävyys

$$V_{Rd,c} := C_{Rdc} \cdot k_k \cdot \left(100 \cdot \rho_L \cdot \frac{f_{ck}}{1 \text{ MPa}}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot \left(2 \cdot \frac{d}{a}\right) \text{ MPa} = 0.58 \text{ MPa} > 0.34 \text{ MPa}$$

Mitoitusehto

$$V_{Rd,c} \geq V_{Ed}$$

Käyttöaste 59 %

=> Anturan lävistyskestävyys riittää ilman leikkausraudoitusta

Yhteenveto anturan raudoituksesta:

Raudoitus y-suuntaan 11 T12 k210

Raudoitus z-suuntaan 14 T12 k223