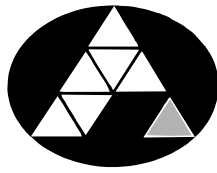


POHJOIS-KARJALAN AMMATTIKORKEAKOULU
Rakennustekniikan koulutusohjelma

Ville Laitinen

LIIKERAKENNUKSEN STABILITEETTI

Opinnäytetyö
Toukokuu 2011



POHJOIS-KARJALAN
AMMATTIKORKEAKOULU

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2011
Rakennustekniikan koulutusohjelma

Karjalankatu 3
80100 JOENSUU
p. (013) 260 6800

Tekijä(t)

Ville Laitinen

Nimeke

Liikerakennuksen stabiilitetti

Tiivistelmä

Liikerakennuksen stabiilitetitarkastelussa perehdytään yleisimpien rakennuksen ulkopuolisten kuormitusten määrittämiseen ja pääosin puurakenteisen rakennuksen rakenteiden mitoittamiseen stabiilitetin säilyttämiseksi. Työssä käydään läpi erityyppisiä vaihtoehtoja rakennuksen kokonaisjäykistyksen toteuttamiseksi ja valitaan kohteena olevalle liikerakennukselle rakennusteknisestiärkevin kokonaisjäykistys. Lisäksi työssä mitoitetaan rakennuksen stabiilitetin säilymisen kannalta olennaiset rakenteet. Laskelmat on toteutettu eurokoodin mukaisin laskelmin.

Työssä todetaan laskelmin, että kohteena olevan liikerakennuksen kokonaisjäykistys on mahdollista toteuttaaärkevästi levymäisellä jäykistyksellä katon ja päätyseinien rakenteissa. Rakennuksen rakenteista on pyritty muodostamaan mahdollisimman kustannustehokas kokonaisuus. Työ luo hyvän pohjan liikerakennuksen rakennesuunnittelulle ja varsinaisten rakennekuvien piirtämiseksi.

Kieli
suomi

Sivuja 65
Liitteet 8
Liitesivumäärä 13

Asiasanat

stabiilitetti, liikerakennus, eurokoodi, rakennesuunnittelu



NORTH KARELIA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

THESIS
May 2011
Degree Programme in Civil Engineering

Karjalankatu 3
80100 JOENSUU
Tel. +358 (0) 13 260 6800

Author(s)

Ville Laitinen

Title

Stability of a Business Building

Abstract

Stability consideration of a business building consists of structure designing for the most common loads to preserve the overall stability of the building. This thesis includes consideration of different stiffening structures from an economical aspect. Different ways of strutting without losing the overall stability have been studied. Overall strutting system is in a major role in designing structures for a large building and strutting goes hand in hand with supporting structures. The relevant structures to maintain the stability are dimensioned by eurocode regulations.

The structural calculations in this thesis verify that the most reasonable overall strutting can be done with plate structures in the roof and in the end walls. Special attention was paid to making the structures as economical as possible. This thesis creates a good base for creating a structure plan and structural drawings of the business building.

Language

Finnish

Pages 65

Appendices 8

Pages of Appendices 13

Keywords

stability, business building, eurocode, structural designing

Sisältö

| | |
|--|----|
| 1 Johdanto | 7 |
| 2 Rajatilamitoitus..... | 8 |
| 2.1 Rakenteiden suunnittelun periaatteet | 8 |
| 2.2 Murtorajatila..... | 9 |
| 2.2.1 Murtorajatilamitoitus puurakenteissa..... | 9 |
| 2.2.2 Puurakenteen mitoituskuormitukset | 11 |
| 2.3 Käyttörajatila puurakenteissa | 12 |
| 3 Kuormat | 13 |
| 3.1 Pysyvät kuormat..... | 13 |
| 3.2 Muuttuvat kuormat..... | 13 |
| 3.2.1 Hyötykuorma..... | 14 |
| 3.2.2 Lumikuorma | 14 |
| 3.2.3 Tuulikuorma | 16 |
| 4 Jäykistysjärjestelmät | 21 |
| 4.1 Tehtävä ja mitoitus | 21 |
| 4.2 Mastopilarijäykistys | 21 |
| 4.3 Kehäjäykistys | 22 |
| 4.4 Levyjäykistys | 22 |
| 4.5 Ristikkojäykistys | 23 |
| 4.6 Yhdistelmäjäykistys | 23 |
| 5 Liikerakennuksen rakenteiden mitoitus ja stabiilitetti | 24 |
| 5.1 Harjoituskohteessa käytettävät rakenneosat | 24 |
| 5.2 Rakenteille aiheutuvat kuormat | 25 |
| 5.2.1 Pysyvät kuormat | 25 |
| 5.2.2 Lumikuorman ominaisarvo | 25 |
| 5.2.3 Tuulikuorman ominaisarvo | 26 |
| 5.2.4 Mitoituskuormitukset | 26 |

| | |
|---|----|
| 5.3 Tuulijäkistys | 27 |
| 5.3.1 Sisäkaton levyjäkistys | 27 |
| 5.3.2 Päätöseiniä levyjäkistys | 29 |
| 5.3.3 Tuulijäkistys aiheuttama pystykuormitus | 30 |
| 5.4 Seinäantura | 31 |
| 5.5 Runkorakenteet | 32 |
| 5.5.1 Rakennemalli | 32 |
| 5.5.2 Seinärungon mitoitusperusteet | 32 |
| 5.5.3 Runkotolpan mitoitusarvot | 35 |
| 5.5.4 Runkotolpan käyttöaste | 36 |
| 5.6 Pilarit | 37 |
| 5.6.1 Pilarien valinta | 37 |
| 5.6.2 Teräspilarin poikkileikkausluokka | 37 |
| 5.6.3 Teräspilarin mitoitusperiaatteet | 38 |
| 5.6.4 Teräspilarin mitoitus nurjahdukselle | 40 |
| 5.6.5 Teräspilarin palomitoituksen mukainen palosuojaus | 41 |
| 5.6.6 Stabiiliteetin säilyminen törmäystilanteessa | 46 |
| 5.7 Pilariantura | 48 |
| 5.7.1 Pilarianturan mitoitusperiaatteet | 48 |
| 5.7.2 Mitoitus maaperän kantavuuden perusteelta | 49 |
| 5.7.3 Mitoitus raudituksen ja kiinnikkeiden perusteelta | 49 |
| 5.7.4 Pilarianturan koon valinta ja mitoitus | 50 |
| 5.8 Palkit | 51 |
| 5.8.1 Palkin rakennemalli ja kuormitusala | 51 |
| 5.8.2 Mitoituksen perusteet | 51 |
| 5.8.3 Taipumamitoitus | 51 |
| 5.8.4 Taivutuskestävyys | 54 |
| 5.8.5 Kiepahduskestävyys | 56 |

| | |
|--|----|
| 5.8.6 Leikkauskestävyys | 59 |
| 5.8.7 Vaadittu palkin tukipituus | 60 |
| 6 Tulosten arviointi | 61 |
| 7 Pohdinta | 62 |
| Lähteet | 64 |

1 Johdanto

Tässä opinnäytetyössä mitoitetaan pääosin puurakenteisen liiketilan rakenteet rakennuksen stabiliteetin säilymiseksi. Valitsin opinnäytetyön aiheeksi liikerrakennuksen stabiliteettitarkastelun, koska rakennuksen rakenteiden yhteen toimivuutta ja kokonaisuutta ei ole käsitelty mielestäni riittävästi opintojeni kuluessa Eurokoodin perusteelta. Rakennuksen rakenteiden toimivuus kokonaisuudessaan ja stabiliteetin tarkastelu vakauden kannalta ovat ehdottoman tärkeitä osa-alueita rakennuksen kokonaisvaltaisessa rakennesuunnittelussa.

Opintojeni kuluessa on rakennesuunnittelussa siirrytty käyttämään Suomen rakennusmääräyskokoelmien rinnalla ns. eurokoodia, joka poikkeaa mitoituseriaaiteiltaan osin merkittävästi Suomen rakennusmääräyskokoelmien mukaisista periaatteista. Olen opintojeni aikana joutunut tilanteeseen, jossa osalla kursseista on mitoitettu rakenteet käyttäen Suomen rakennusmääräyskokoelmia ja osalla kursseista on käytetty rakenteiden mitoitukseen eurokoodia. Tämä on valitettavasti luonut opintokokonaisuudesta varsin sekavan. Näen tärkeänä, että hallitsen eurokoodiston mitoituseriaaiteet sillä tasolla, että osaan suunnitella rakennuksen rakenteet käyttäen vain eurokoodiston mukaista mitoitusta.

Rakennesuunnittelun tarkoituksena on toteuttaa asiakkaan mieltymysten mukainen rakennus siten, että rakenteet mahdollistaisivat rakennuksen käytön mahdollisimman hyvin asiakkaan tarpeiden mukaisesti. Toisaalta rakenteiden mitoituksessa tulee myös huomioida rakenteet ja työtekniset seikat siten, että rakenteet ovat työmaateknisesti toteutettavissa, kustannustehokkaita ja toimivia asiakasta ajatellen. Rakenteiden kustannusten takia onkin olennaista, että rakenteiden mitoituksessa ei olisi ylimitoitusta. Rakenteiden suunnittelussa on pyrittävä kustannussyistä optimoimaan käytettävät rakenteet siten, että eri rakenteiden käyttöasteiden mitoitus olisi Suomessa käytettävien rakennusmääräysten mukaisesti mitoitettaessa lähellä murtotilannetta. Lähelle murtotilannetta mitoitaminen tarkoittaa käytännössä sitä, että rakenteille lasketaan määräysten mukainen varmuus murtotilannetta ajatellen, jolloin rakenteille saavutetaan riittävä varmuus rakenteiden pettämistä vastaan.

Rakennuksen stabiliteettiin olennaisesti kuuluva kokonaisjäykistys voidaan toteuttaa usealla eri tavalla. Opinnäytetyössäni tulen käsittelemään erilaisia rakennuksen stabiliteettiin vaikuttavia rakenteita ja pohtimaan kohteena olevalle rakennukselle toimivimman ja järkevimmän rakenneratkaisun asiakkaan käyttötarkoitusta ja stabiliteettia ajatellen. Lisäksi tulen mitoittamaan kohteena olevalle rakennukselle stabiliteetin säilymisen kannalta olennaisimmat rakenteet, joiden perusteelta voidaan todeta rakennuksen stabiliteetin pysyvyys.

2 Rajatilamitoitus

2.1 Rakenteiden suunnittelun periaatteet

Rakenteiden suunnittelu perustuu rajatilanormeihin. Rakenteiden suunnittelussa tarkastellaan rakenteiden luotettavuutta sen tilan jälkeen kun rakenne ei enää täytä määrättyjä toimivuuskeriteerejä. Rakenteiden suunnittelussa käytettävässä eurokoodissa tarkastellaan kahta rajatilaa: murto- ja käyttörajatilaa. [1, s. A2/2].]

Suunnittelun pääparametreina ovat rakenteille aiheutuvat kuormat, materiaaliominaisuudet ja tarkasteltavan rakenteen geometriset mitat. Suunnittelun tavoitteena on saada riittävän pieni todennäköisyys sille, että kuormat ovat suurempia kuin vastaava rakenteen kapasiteetti. Tähän päästään osavarmuuskerroinmenettelyllä, kun mitoituslaskelmissa käytetään osavarmuuskertoimilla huomioituja suunnitteluarvoja kuormien suuruuden ja materiaalin kestävyuden suhteen. [1, s. A2/2.]

Suunnittelussa on erityisesti oltava varma siitä, että laskennalliset rakenteille aiheutuvat kuormat eivät ylitä murtorajatilatarkastelussa rakenteiden suunnittelukapasiteettia eivätkä rakenteen toimivuusperusteet ylitä käyttörajatilatarkastelussa. [1, s. A2/2.]

Rakennuksen rakenteiden toimivuus stabiliteettitarkastelussa tehdään olemassa olevien määräysten ja ohjeiden mukaisesti siten, että rakenteet täyttävät ominaiskapasiteetiltaan rajatilamitoituksessa määritettävät kuormitukset. Tässä

työssä kestävyyttä ja stabiliteetin säilymistä käsitellään euronormien mukaisin määräyksin. Rakennukseen kohdistuvat kuormitukset tulee johtaa rakenteiden avulla maaperään siten, että rakennus säilyy käyttötarkoitukseltaan toimivana ja rakenteet kestävät niille aiheutuvat rasitukset riittävällä varmuudella.

Kuormituksista aiheutuva taipuma ja värähtely käsitellään käyttörajatilassa, koska ne saattavat rajoittaa rakennuksen käyttöä liian suurten muodonmuutosten takia. Rakenteita rasitettaessa muodonmuutoksia ei voida estää, mutta muodonmuutoksia voidaan hallita mitoittamalla rakenteet siten, että sallittuja muodonmuutoksille määritettyjä raja-arvoja ei ylitetä rakennuksen käyttöaikana. Rakennuksen käyttötarkoitus on muodonmuutosten raja-arvon kannalta olennaisessa osassa. Esimerkiksi 2 cm taipuma omakotitalon ikkunan ylityspalkissa voi johtaa ikkunan toimimattomuuteen, mutta sama kimmoisa taipuma varastokatoksen katon palkistossa ei vaikuta rakennuksen käyttötarkoitukseen.

Rakennus voi liiallisten muodonmuutosten lisäksi menettää stabiliteettinsa rakenneosan siirtymän, liukuman, nurjahduksen, kiepahduksen tai rakenneosan vaurioitumisen yhteydessä. Stabiliteetti menetetään, kun jonkin rakenneosan tai rakennekokonaisuuden kapasiteetti kuormia vastaan ylittyy. Käyttö- ja murtorajatilamitoituksella saadaan rakenteille riittävä varmuus siitä, että kuormituksista aiheutuvat rasitukset eivät johda stabiliteetin menettämiseen. Mitoittamalla rakenne murtorajatilamitoituksessa rakenteiden ominaislujuuksia pienennetään ja vastaavasti rakenteille aiheutuvia kuormia kasvatetaan varmuuskertoimilla. Käytettävillä varmuuskertoimilla saavutetaan hyväksyttävä varmuus rakennuksen käyttötarkoituksen mukaisessa tilanteessa stabiliteetin menettämistä vastaan.

2.2 Murtorajatila

2.2.1 Murtorajatilamitoitus puurakenteissa

Murtorajatilamitoituksessa tulee tarkistaa jäykkänä kappaleena tarkasteltavan rakenteen tai sen jonkin osan tasapainon menetys, vaurioituminen siirtymän kasvaessa liialliseksi, rakenteen tai sen jonkin osan muuttuminen mekanismiksi, rakenteen tai sen jonkin osan stabiiliuden menetys, tuet ja perustukset mukaan

luettuina. Luetellut seikat tulee tarkistaa, mikäli ne ovat rakenteen toimivuuden kannalta merkityksellisiä. [2, s. 52 – 54.]

Murtorajatilatarkastelussa täytyy kuormien suhteen varmistaa [2, s. A2/3], että

(1)

jossa

on kuorman suunnitteluarvo, kuten normaalivoima, momentti, useammasta voimasta tai kuormasta tuleva vektori, siirtymä tai kiihtyvyys

on vastaava kapasiteetin suunnitteluarvo

Staattisen tasapainon tai jäykkänä kappaleena tarkasteltavan rakenteen poikkeileikkauksen siirtymien suhteen vastaava lauseke on [1, s. A2/3]

(2)

jossa

on epästabiloivien voimien suunnitteluarvo

on stabiloivien voimien suunnitteluarvo

Suunnitteluarvo voidaan määrittää suoraan ominaisarvosta [1, s. A2/6]

(3)

jossa

on kuorman keston ja kosteusvaikutuksen korjauskerroin, ks. taulukko

on materiaalin osavarmuuskerroin, ks. taulukko 2

Taulukko 1. Kuorman keston ja kosteusvaikutuksen muunnoskerroimet [3, s.45]

| Materiaali | Käyttöluokka | Kuorman aikaluokka, keskipitkä, |
|---|--------------|---------------------------------|
| Sahatavara, Pyöreä puutavara, Liimapuu, LVL, Vaneri | 1 | 0,80 |
| | 2 | 0,80 |
| | 3 | 0,65 |

Taulukko 2. Puurakennemateriaalien osavarmuuskertoimet [3, s.42]

| | |
|---|------|
| Sahatavara ja pyöreä puutavara yleensä | 1,4 |
| Havusahatavara, lujuusluokka \geq C35 | 1,25 |
| Liimapuu, LVL | 1,2 |
| Puulevyt | 1,25 |
| Naulalevyliitokset | |
| - tartuntalujuus | 1,25 |
| - teräslevyn lujuus | 1,1 |

2.2.2 Puurakenteen mitoituskuormitukset

Murtorajatilassa rakenteiden kestävyttä tarkasteltaessa pystyrakenteille aiheutuvat kuormat tulee huomioida pysyvässä tai keskipitkässä aikaluokassa seuraavalla tavalla [4, s.9],

pysyvä aikaluokka:

(4)

keskipitkä aikaluokka:

(5)

hetkellinen aikaluokka:

(6)

jossa

on pysyvien kuormien ominaisarvo

on lumi- tai hyötykuorman ominaisarvosta suurempi

on lumi- tai hyötykuorman ominaisarvosta pienempi

on tuulikuorman ominaisarvo

Mikäli pysyvien kuormien yhteisvaikutus lisää rakenteen kestävyyttä, pysyvien kuormien ominaisarvo kerrotaan kertoimen 1,15 sijasta luvulla 0,9 [4, s.9].

Murtorajatilassa kuormien suunnitteluarvona käytetään yleensä keskipitkän aikaluokan mitoitusarvoa, koska Suomessa lumikuorma asettuu tähän aikaluokkaan.

2.3 Käyttörajatila puurakenteissa

Käyttörajatilassa tarkastellaan rakenteen käyttöhäiriöitä aiheuttavat muodonmuutokset, ihmisille epämukavuutta tai rakenteiden vaurioitumista aiheuttavat värähtelyt ja rakenteita heikentävät vauriot [1, s. A2/2].

Käyttörajatilatarkastelussa varmistetaan [1, s. A2/3]

(8)

jossa

on kuorman suunnitteluarvo

on annettu raja-arvo

Käyttörajatilän kuormina käytetään [4, s. 10]

hyöty- tai lumikuorman ollessa määräävä muuttuva kuorma:

(9)

tuulikuorman ollessa määräävä muuttuva kuorma:

(10)

jossa

on pysyvien kuormien ominaisarvo

on lumi- tai hyötykuorman ominaisarvoista suurempi

on lumi- tai hyötykuorman ominaisarvoista pienempi

on tuulikuorman ominaisarvo

3 Kuormat

3.1 Pysyvät kuormat

Suunnittelussa käytettävät kuormat saadaan standardista SFS-EN 1991 ja sen kansallisista liitteistä [4, s.10].

Omapainon ominaisarvo lasketaan rakenteen nimellismittojen ja tilavuuspainojen perusteelta. Rakennuksen omaan painoon kuuluvat kantavat ja ei-kantavat rakennusosat, kiinteät laitteet sekä maakerrosten ja sepelysten painot. Rakenteisiin kiinnitettyjen kantamattomien rakenneosien, kuten keveiden väliseinien omapaino voidaan käsitellä tasaisena lattiakuormana [4, s.10].

Yleisimpien puurungon osien paino voidaan arvioida tasaiseksi kuormaksi $q_{k,0}$, missä l on osan jänneväli metreinä. Lattian (levyt ja palkit) tai kattorakenteen (levyt, paarteet ja orret) omapaino vaihtelee tyypillisesti $0,15 \text{ kN/m}^2$. [1, s. A3/4.]

3.2 Muuttuvat kuormat

3.2.1 Hyötykuorma

Rakennusten hyötykuormat aiheutuvat rakennuksen käytöstä. Kuormina käytetään tilojen käyttötarkoituksesta riippuvia tasaisia kuormia, pistekuormia ja vaakasuuntaisia viivakuormia. Hyötykuorma oletetaan liikkuvaksi kuormaksi, joka vaikuttaa tarkasteltavan rakenteen kannalta epäedullisimmassa osassa [4, s.11.]

Yleisimpiä tasaisen hyötykuorman ominaisarvoja on esitetty taulukossa 3.

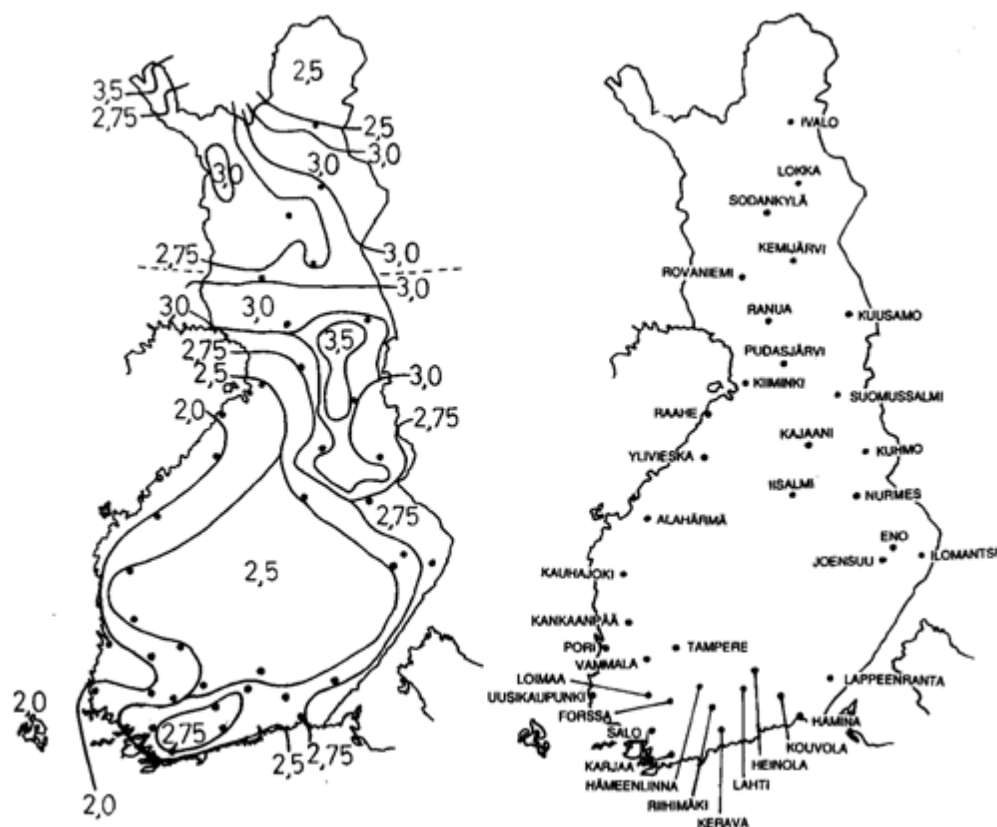
Taulukko 3. Tavallisimpien tasaisten hyötykuormien ominaisarvot [4, s. 11]

| Käyttötarkoitus ja tila | ominaisarvo q_k [kN/m ²] |
|-----------------------------------|---|
| Luokka A: asuintilat | |
| - Lattiat | 2,0 |
| - Portaat | 2,0 |
| - Parvekkeet | 2,5 |
| Luokka B: toimistotilat | 2,5 |
| Luokka C: kokoontumistilat | |
| - C1: Pöytäalueet | 2,5 |
| - C2: kiinteiden istuimien alueet | 3,0 |
| - C3: Esteettömät alueet | 4,0 |
| - C4: Liikuntatilat ja näyttämöt | 5,0 |
| - C5: Tungokselle alttiit alueet | 6,0 |

3.2.2 Lumikuorma

Lumikuormat perustuvat maanpinnalla mitattuihin ja tilastoituihin lumen syvyyksiin ja lumen tiheyksiin. Ympäröivästä maastosta ja paikallisesta säästä riippuen lumen tiheys vaihtelee välillä 0,1 (uusi lumi) – 0,4 (vanha lumi) kg/dm³. Mittaus-tuloksista on tilastollisesti määritetty ominaislumikuorma maassa, jonka voidaan todeta toistuvan 50 vuoden välein. [1, s. A3/4.]

Maanpinnan lumikuorman ominaisarvot on esitetty kuvassa 1.

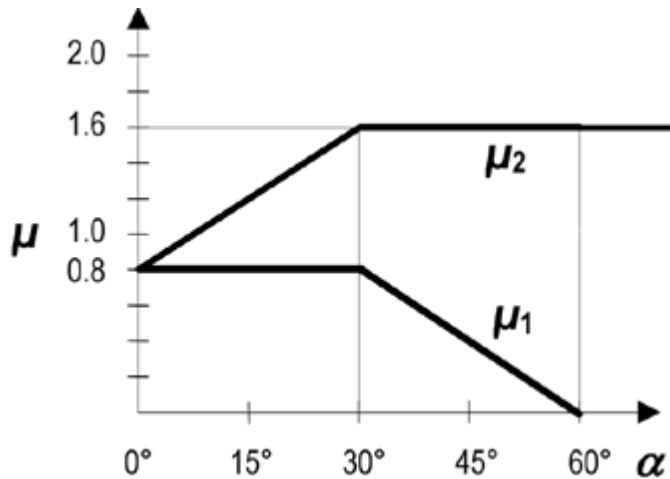


Kuva 1. Maanpinnan lumikuorman ominaisarvot [4, s. 11]

Muotokerroin ottaa huomioon katon muodon ja kaltevuuden. Eurokoodi EN 1993-1-3, lumikuormat-standardissa on määritelty kaksi kerrointa, jotka riippuvat katon muodosta ja kinostavuudesta.

Kuvassa 2 esitetään kinostumattomalle () ja kinostuneelle () lumelle muotokerroin . Muotokerroin riippuu katon kaltevuudesta α .

Kuvassa 2 esitetyt muotokertoimien arvot ovat voimassa, kun lunta ei estetä liukumasta katolla. Jos lumen liukuminen pois katolta on estetty rakentamalla katolle lumieste, muu liukumiseste tai jos katon alaräystäällä on kaide, niin lumikuorman muotokertoimelle käytetään vähintään arvoa 0,8. [4, s. 12.]



Kuva 2. Kinostumattoman () ja kinostuneen () lumikuorman muotokerroin kattokaltevuuden funktiona [4, s. 12]

Lumen satamisesta maahan aiheutuvat lumikuormat käsitellään Suomessa yleisesti kuorman aikaluokan ”keskipitkä” mukaisesti muuttuvana kuormana. Katon vaakaprojektiolle aiheutuva lumikuorma lasketaan kaavasta 11. [1, s. A3/5.]

(11)

jossa

on lumikuorman ominaisarvo katolla

on lumikuorman muotokerroin

on lumikuorman ominaisarvo maassa

3.2.3 Tuulikuorma

Tuuli vaihtelee merkittävästi eri aikoina ja tuulikuorma luokitellaan vaikutusajaltaan lyhytaikaiseksi. Tuulen rakennukselle aiheuttamaa rasitusta voitaisiin käsitellä staattisena tai värähtelevänä. Värähtelevällä rasituksella on vähän merkitystä useimmissa rakenteissa. Tuulikuormat voidaan korvata staattisella paineella, jonka ajatellaan vaikuttavan rakenteen pintaan tai kokonaispaineella ja tuulesta aiheutuvalla kitkalla. Tuulikuorman mitoituslaskelmat perustuvat tuu-

lennopeuden ja tuulenpaineen tilastollisiin vertailuarvoihin, joiden lähtökohtana on toistuminen 50 vuoden välein. [1, s. A3/6-A3/7.]

Tuulikuorman suuruus vaihtelee rakennuspaikan maastoluokan mukaisesti maan rosoisuuden ja pinnanmuodon perusteelta. Taulukossa 4 on esitetty maastoluokat, joita käytetään tuulikuorman määrittämisessä.

Taulukko 4. Maastoluokat [4, s.13]

| Luokka | Maaston rosoisuuden ja pinnanmuodon kuvaus. |
|--------|---|
| 0 | Avomeri tai merelle avoin rannikko. |
| I | Järvi tai alue, jolla on vähäistä kasvillisuutta eikä esteitä. |
| II | Alue, jolla on matalaa kasvillisuutta ja erillisiä puita tai rakennuksia, joiden etäisyys toisistaan on vähintään 20 kertaa esteen korkeus. Esim. maatalousmaa. |
| III | Esikaupunki- tai teollisuusalueet sekä metsät. Matalat pientaloalueet ja kylät. |
| IV | Yhtenäiset laajat kaupunki alueet, joiden pinta-alasta vähintään 15% on rakennettu ja rakennusten keskimääräinen korkeus on yli 15m |

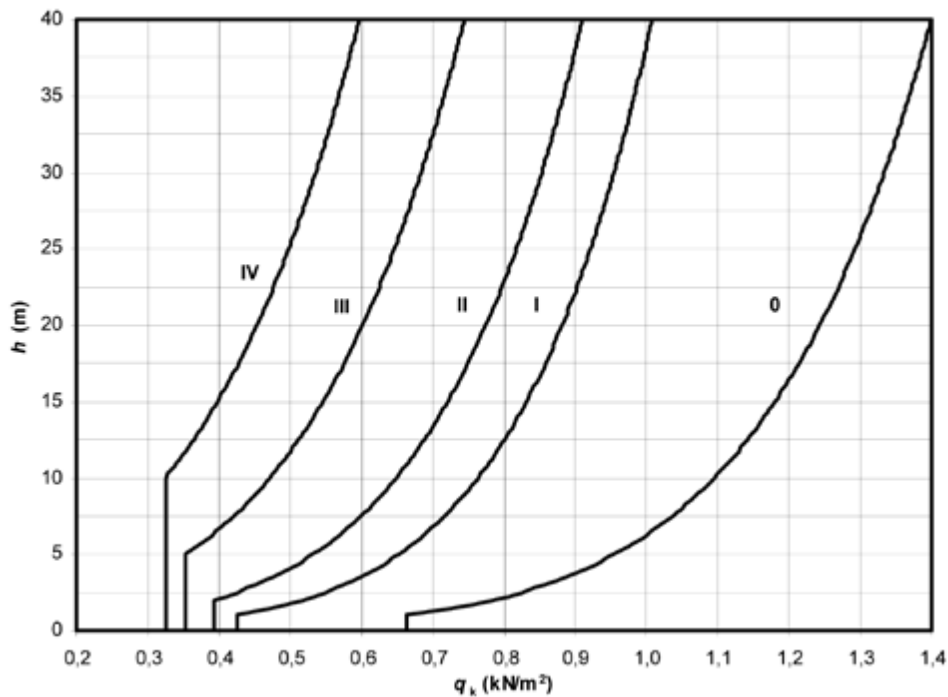
Mitoitettaessa rakenteita tuulikuormille erotetaan erillisiksi mitoitus tapauksiksi rakennuksen tuulta jäykistävien rakenteiden mitoitus rakennuksen stabiliteetille, jolloin käytetään kokonaistuulikuorman ominaisarvoa ja rakennuksen rakenteiden pintojen ja kiinnitysten mitoitus, jolloin mitoituskuormat lasketaan paikalliselle tuulenpaineelle. [4, s. 12.]

Rakennuksen kokonaistuulikuorma määritetään voimakertoimen avulla, joka riippuu rakennuksen korkeus-levyysuhteesta. Tuulikuormaan vaikuttavat taulukon 4 mukainen maastoluokka, taulukon 5 mukainen rakenteen voimakerroin, joka on riippuvainen tehollisesta hoikkuudesta, tasaista maastoa vastaava nopeuspaineen ominaisarvo, joka määritetään kuvan 3 mukaan korkeuden funktiona ja tuulen näkemä seinän pinta-ala. [5, s.136.]

Rakennuksen hoikkuus, kun korkeus on alle 15 m [5, s.136]

Taulukko 5. Voimakerroin rakennuksen hoikkeuden ja sivusuhteiden vaikutuksen perusteelta [5, s.137]

| hoikkuus | sivusuhte pääty/lape | | | | | | | | |
|----------|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 0,1 | 0,2 | 0,5 | 0,7 | 1 | 2 | 5 | 10 | 50 |
| ≤ 1 | 1,20 | 1,20 | 1,37 | 1,44 | 1,28 | 0,99 | 0,60 | 0,54 | 0,54 |
| 3 | 1,29 | 1,29 | 1,48 | 1,55 | 1,38 | 1,07 | 0,65 | 0,58 | 0,58 |
| 10 | 1,40 | 1,40 | 1,60 | 1,68 | 1,49 | 1,15 | 0,70 | 0,63 | 0,63 |



Kuva 3. Nopeuspaineen ominaisarvot eri maastoluokissa [4, s. 13]

Rakennuksen tai erillisen seinämän vaakasuuntaisen kokonaistuulikuorman ominaisarvo saadaan matalan rakennuksen tapauksessa [5, s. 136]

(12)

jossa

on rakennekerroin, matalalla rakennuksella 1,0

on rakenteen voimakerroin, ks. taulukko 5

on rakennuksen korkeutta h vastaava peruspaine, ks. kuva 3

on rakenteen tuulta vastaan kohtisuora projektiopinta-ala

Kokonaistuulikuorman resultantin oletetaan vaikuttavan $0,6h$ korkeudella maasta, jota käytetään määrittäessä rakennuksen kokonaisstabiiliteettia [4, s. 13].

Liitosten, kiinnitysten ja verhousten taivutustarkastelun mitoituksessa käytetään rakenteen osapinnoille kohdistuvaa paikallista tuulenpainetta. Osapinnan tuulenpaine kohdistuu aina kohtisuorasti pintaa vastaan. Paikallinen tuulenpaine määritetään rakennuksen ulkoisen ja sisäisen tuulenpaineen nettopaineena. Ulkoseinien nettopaine kertoimet on esitetty taulukossa 6 ja kattojen nettopaine kertoimet taulukossa 7.

Taulukko 6. Ulkoseinien paikallisen tuulenpaineen nettopaine kertoimet [4, s.14]

| Ulkoseinät | suurin imu nurkka-alueilla ¹⁾ | | suurin imu keskialueilla | | suurin paine sisään päin | |
|-----------------------------|--|----------------------|--------------------------|----------------------|--------------------------|----------------------|
| | $A \geq 10$ | $A \leq 1\text{m}^2$ | $A \geq 10$ | $A \leq 1\text{m}^2$ | $A \geq 10$ | $A \leq 1\text{m}^2$ |
| tarkasteltava pinta-ala A | | | | | | |
| | -1,5 | -1,7 | -1,1 | -1,4 | +1,1 | +1,3 |

¹⁾ Nurkka-alue ulottuu ulkonurkasta molempiin suuntiin etäisyydelle $\min(b/5; 2h/5)$, kun b on rakennuksen suurempi sivumitta ja h on rakennuksen korkeus. Muualla käytetään keskialueen nettopaine kerrointa.

Taulukko 7. Kattojen nettopainekertoimet suurimmalle paikalliselle imulle.
Kertoimet eivät päde avoimille katoksille [4, s.14]

| Katto- tyyppi | katon kalte- vuus ¹⁾ | Nurkka-alueet ²⁾ | | | reuna-alueet ³⁾ | | | muu alue ⁴⁾ | |
|--------------------|---------------------------------------|-----------------------------|-------|--------------|----------------------------|-------|--------------|------------------------|-------|
| | | A ≥ 10 | A ≤ 1 | räys- täs | A ≥ 10 | A ≤ 1 | räys- täs | A ≥ 10 | A ≤ 1 |
| tasa- katto | < 5° | -2,1 | -2,8 | -3,5 | -1,5 | -2,3 | -3,0 | -1,0 | -1,5 |
| pulpet- tikatto | 5°...15° | -2,7 | -3,2 | -3,9 | -2,2 | -2,8 | -3,5 | -1,2 | -1,5 |
| Katto- tyyppi | katon kalte- vuus ¹⁾ | Nurkka-alueet ²⁾ | | | reuna-alueet ³⁾ | | | muu alue ⁴⁾ | |
| | | A ≥ 10 | A ≤ 1 | räys- täs | A ≥ 10 | A ≤ 1 | räys- täs | A ≥ 10 | A ≤ 1 |
| pulpet- tikatto | ≥ 30° | -2,4 | -3,2 | -3,9 | -1,8 | -2,3 | -3,0 | -1,3 | -1,6 |
| harja- katto | 5°...15° | -2,0 | -2,8 | -3,5 | -1,6 | -2,3 | -3,0 | -1,0 | -1,5 |
| | ≥ 30° | -1,4 | -1,8 | -2,5 | -1,7 | -2,3 | -3,0 | -1,2 | -1,5 |

¹⁾ Kaltevuuksilla 15 - 30° käytetään lineaarista interpolointia.

²⁾ Nurkka alue ulottuu ulkonurkasta molempiin suuntiin $\min(b/4; 2h/4)$, jossa b on rakennuksen suurempi sivumitta ja h on rakennuksen korkeus.

³⁾ Katon reuna-alue ulottuu etäisyydelle $\min(b/10; 2h/10)$ – ei kuitenkaan nurkka-alueille.

⁴⁾ Muut kuin nurkka- ja reuna-alueet. Tarkasteltaessa koko rakennuksen levyisen kattokannatteen kiinnitystä tuulen imulle, voidaan tuulenpaine laskea käyttäen pelkästään tämän sarakkeen nettopainekerrointa.

Tuulen aiheuttama osapinnan nettopaine lasketaan seuraavasti [4, s. 13]

(13)

jossa

osapinnan nettotuulenpainekerroin, ks. taulukot 7 ja 8

rakennuksen korkeutta vastaava nopeuspaine, ks. kuva 3

4 Jäykistysjärjestelmät

4.1 Tehtävä ja mitoitus

Jäykistysjärjestelmän tehtävänä on siirtää rakennukseen kohdistuvien vaaka- ja pystykuormitusten aiheuttamat rasitukset kantavien rakenteiden avulla perustuksiin ja maapohjaan. [6.]

Jäykistysjärjestelmä mitoitetaan standardin SFS-EN 1990 mukaisesti murtorajatilakuormitukselle. Murtorajatilaksi luokitellaan kaikki rajatilat, jotka liittyvät ihmisten turvallisuuteen tai rakenteiden varmuuteen. Myös aineen tai tavaran suojaaminen voidaan luokitella murtorajatilaksi. [6.]

Rakenteellisen jäykistyksen tarkoitus on ottaa vastaan kuormituksista johtuvat rakenteiden siirtymää aiheuttavat kuormat. Myös rakentamisvaiheessa ja rakenneosien valmistuksessa esiintyvät poikkeamat osien suoruudessa on otettava huomioon jäykistyksen suunnittelussa. [7, s.95.]

Rakennuksen jäykistys on pystykuormien osalta usein huomioitu rakennuksen pystyrakenteissa nurjahduskestävyyden riittävänä kapasiteettina. Seinärungon mitoituksessa yksittäinen runkotolppa ei kuitenkaan yleensä kestäisi nurjahtamatta heikompaan suuntaan ilman koolauslaudoitusta tai usein sisäseinään asennettavaa levytystä. Asennettava koolauslaudoitus tai levytys toimii tässä tilanteessa jäykistysjärjestelmänä nurjahduskuormitusta ajatellen.

4.2 Mastopilarijäykistys

Mastopilarit toimivat jäykästi alapäästään kiinnitettyinä ulokkeina vaakakuormia vastaan. Vaakakuormat siirretään pilareille suoraan ulkoseinärakenteiden välityksellä ja jäykkien tasorakenteiden kautta. Tasorakenteiden tukeutuessa palkkeihin suunnitellaan palkkien ja pilarien väliset liitokset siirtämään tasorakenteiden vaakakuormat mastopilareille. Mastopilarien rasitukset siirretään jäykän liitoksen kautta anturalle, joka siirtää kuormat suoraan maapohjaan. [6.]

Mastopilarijäykistys on yksi käytetyimmistä jäykistysjärjestelmistä kookkaammissa yksikerroksisissa rakennuksissa. Mastopilarijäykistyksellä tuulen aiheuttama vaakakuorma voidaan ottaa vastaan ilman jäykistäviä seinärakenteita. Mastopilarijäykistys on usein järkevä, kun rakennuksen käyttötarkoitus vaatii päätyseiniin suuria aukkoja tai rakennuksen sivusuhte on suuri. Mastopilarijäykistys on usein taloudellisesti kannattava enintään 3 kerroksisessa rakennuksessa. Mastopilarijäykistys vaatii yleensä pilareilta huomattavasti suurempia ulkomittoja vaakakuormituksen aiheuttaman taivutusrasituksen takia verrattuna vain nurjahduskestävyyden mitoittamiseen.

4.3 Kehäjäykistys

Kehäjäykistyksessä rakenteina toimii nivellisesti tai jäykästi alapäästään perustuksiin kiinnitetyt pilarit ja pilarien väliin jäykästi kiinnitetty palkki tai muu jäykästi kiinnitetty rakenne. Rakenne toimii jäykän kiinnityksen ansiosta vaakakuormien rasituksia vastaan kehänä, jonka nurkat jäykistävät rakennuksen. Kehäjäykistetyssä rakennuksessa päästään vapaampaan tilojen käyttöön, kun rajoittavat jäykistävät seinät puuttuvat. Kehien nurkat voivat olla jäykkiä tai osittain jäykkiä. [6.]

Kehäjäykistys ei ole rakenteellisesti eikä työmaateknisesti järkevä varsinkaan pääosin puurakenteisessa kohteessa, koska jäykän kiinnityksen rakentaminen puurakenteisena johtaa useimmissa tilanteissa käytön kannalta toimimattomiin ratkaisuihin. Kehäjäykistyksen käyttäminen on järkevää usein paikalla valettavissa teräsbetonirakenteissa ja teräsrakenteissa. Kehäjäykistystä käytetään varsin vähän Suomessa, mutta on varsin yleinen esimerkiksi Keski-Euroopassa.

4.4 Levyjäykistys

Levyjäykistyksessä rakennuksen runko jäykistetään runkorakenteiden muodostamien kehien aukkoihin asennettujen levyjen avulla [8, s. 13].

Levyjäykistys on yleisimpiä kokonaisjäykistyksiä, koska ulkoseinien rakenteet muodostavat levymäisen rakennekokonaisuuden yleisimmissä rakennuskokonaisuuksissa. Käytettävät levytykset ovat nopeasti asennettavia ja hyviä rakennusmateriaaleja myös rakennuksen muista rakenteellisista näkökulmista ajatellen. Seinien levytys muodostaa hyvän kokonaisjäykistykseen puurunkoiselle rakennukselle. Levyjäykistyksessä jäykistyskapasiteetin kannalta olennaisimmassa osassa on levymateriaalin jäykistyskapasiteetti ja kiinnikkeiden leikkauskestävyys jäykistettäviä voimia vastaan. Levyjäykistyksessä jäykistävä rakenne on umpinainen ja voi tällöin rajoittaa rakennuksen käyttöä.

4.5 Ristikojäykistys

Levyjäykistykseen sijaan pilari-palkkirunkoisessa rakennuksessa voidaan käyttää ristikkojäykistystä. Ristikojäykistys on toimintaperiaatteeltaan levyjäykistykseen kaltainen. Levyjäykisteet on korvattu veto- ja/tai puristussauvoilla. Jäykistysristikot voidaan toteuttaa rakenteellisesti osana pystykuormia kantavaa rakennetta tai jäykistysristikko voidaan tehdä erillisenä osana runkorakenteisiin tukeutumatta. [6.]

Ristikojäykistystä käytetään usein silloin, kun jäykistystä vaativa rakenne on avoin, eikä rakenteelta vaadita tiivyyttä. Esimerkiksi kylmien rakennusten päätyseinien jäykistys on usein järkevää toteuttaa ristikkojäykistyksellä, kun rakennuksen käyttötarkoitus ei vaadi seiniltä tasaista sisäpintaa. Tasojäykisteet on myös järkevää toteuttaa ristikkojäykistyksellä, jos tasossa ei muuten käytetä yhtenäistä levymäistä rakennetta.

4.6 Yhdistelmäjäykistys

Edellä mainittujen jäykistysmuotojen yhdistelmiä voidaan soveltaa mahdollisimman kustannustehokkaan ratkaisun saavuttamiseksi. Yhdistelmäjäykistystä

käytettäessä on huomattava eri jäykistysjärjestelmien erilaiset jäykkyydet ja jaettava vaakakuormat oikein eri jäykisteille. [6.]

Tasorakenteet jakavat vaakakuormat pystyrungossa oleville jäykistäville levymäisille rakenteille niiden jäykkyyksien ja sijaintien mukaisesti. Jos jäykistävät levyrakenteet eivät sijaitse suoraan päällekkäin useampikerroksisessa rakennuksessa, on muistettava siirtää jäykistyksestä aiheutuvat pystykuormat muilla rakenteilla perustuksiin ja maapohjaan. [6.]

Yhdistelmäjäykistyksessä on erityisesti huomioitava jokaiselle erinäiselle jäykisteosalle aiheutuvat kuormitukset ja ajateltava kunkin jäykistyskokonaisuuden toimivan itsenäisesti. On huomioitava, että eri jäykistysjärjestelmiin aiheutuu usein erisuuruista elämistä taipumien ja rakennekokonaisuuksien siirtymien/liukumien ansiosta. Jäykistysten erilaisen toiminnallisuuden takia yhdistelmäjäykistyksessä tulee huolehtia, että jäykistyskapasiteetti ei pääse yksittäisen jäykisteen osalta ylittymään.

5 Liikerakennuksen rakenteiden mitoitus ja stabiilitetti

5.1 Harjoituskohteessa käytettävät rakenneosat

Harjoituskohteena toimiva liikerakennus toteutetaan mahdollisimman kustannustehokkaasti pääosin puurakenteisena. Liikerakennuksen käyttötarkoituksen takia on järkevää, että yhtenäistä lattiapinta-alaa olisi mahdollisimman paljon ja rakenteet rajoittaisivat mahdollisimman vähän yhtenäisen lattiapinta-alan käyttöä. Liikerakennuksen rakentamisen kustannustehokkuuden kannalta ei ole kuitenkaan järkevää suunnitella rakennetta vain kantavien ulkoseinien varaan jänneväliden muodostuessa suuriksi (yli 25 metriä). Rakenteet muodostuvat pilari-palkkirakenteiksi, jotka tukeutuvat perustuksiin, kantaviin ulkoseiniin ja yläpohjan rakenteisiin.

Rakenteiden kustannusten takia on olennaista, että rakenteiden mitoituksessa pyritään käyttämään rakenteen kestävyysominaisuudet mahdollisimman tehokkaasti. Rakenteiden suunnittelussa on pyrittävä kustannussyistä optimoimaan

käytettävät rakenteet siten, että eri rakenteiden käyttöasteiden mitoitus olisi Suomessa käytettävien rakennusmääräysten mukaisesti mitoitettaessa lähellä murtotilannetta. Lähelle murtotilannetta mitoittaminen tarkoittaa käytännössä sitä, että rakenteille lasketaan määräysten mukainen varmuus murtotilannetta ajatellen.

5.2 Rakenteille aiheutuvat kuormat

5.2.1 Pysyvät kuormat

Pysyvät kuormat koostuvat omapainoista. Rakennuksen kattorakenteille ajatellaan käytettävän omapainoa . Omapaino koostuu katteesta, ruodelaudoituksesta, kattotuoleista, sisäkaton koolauksesta ja sisäkaton gyproclevytyksestä. Palkkien omapainoksi voidaan ajatella palkin kuormituslevyden ollessa 8,7 m liitteen 3, yläpohjan tasokuvan perusteelta määritettynä.

5.2.2 Lumikuorman ominaisarvo

Kohde sijaitsee Suonenjoella, jolloin lumikuorman ominaisarvoksi määräytyy kuvan 1 mukaisesti $2,5 \text{ kN/m}^2$. Kattokaltevuus kohteessa on 1:15, jolloin katon kaltevuus α on . Katon muotokertoimena voidaan pitää kerrointa , koska katon kinostumista ei varsinaisen lämpimän rakennuksen katteen osalta muodostu. Lumikuorman ominaisarvo katolla voidaan määrittää kaavan 11 avulla.

Rakennuksen lumikuorman ominaiskuorman arvo katolla

5.2.3 Tuulikuorman ominaisarvo

Kohteen rakennuspaikka rajoittuu ulkoilu- ja teollisuusalueeseen, jolloin voidaan taulukon 4 perusteelta todeta rakennuspaikan kuuluvan maastoluokkaan III. Rakennuksen harjakorkeudeksi voidaan määrittää liitteen 4 yleisleikkaus A - A kuvasta 8 m. Maastoluokan ja rakennuksen harjakorkeuden perusteelta voidaan rakennukselle määrittää tuulenpaineen perusarvo s_{ref} kuvan 3 perusteelta.

5.2.4 Mitoituskuormitukset

Rakennuksen stabiiliteetti mitoitetaan keskipitkässä aikaluokassa lumikuorman luonteen takia. Kattorakenteiden omapainosta ja lumikuormasta aiheutuva pystysuuntainen mitoituskuorma S_d voidaan määrittää kaavan 5 avulla

(5)

Rakennuksen tuulta jäykistävien rakenteiden mitoituksessa käytetään tavallisissa tapauksissa vaakasuuntaisen kokonaistuulikuorman ominaisarvoa s_{ref} . Kuorman ominaisarvo voidaan laskea kaavan 12 avulla. Kokonaistuulikuorman rasiuspinta-ala on laskettavissa liitteiden 3 ja 4 perusteelta. Kokonaistuulikuorman kuormituspinta-alaksi lasketaan puolet seinän korkeudesta ja tuulen näkemä kattopinta-ala. Kuormituspinta-alaksi saadaan

Rakennuksen leveysuhteeksi saadaan liitteen 3 mukaisten mittojen perusteelta

Voimakerroin μ määritetään taulukon 5 mukaisesti interpoloimalla taulukoitujen arvojen perusteelta rakennuksen leveysuhteen mukainen voimakerroin

Voidaan määrittää kokonaistuulikuorman ominaisarvo , kun tiedetään voimakkeroin, tuulenpaineen perusarvo ja kuormituspinta-ala.

(12)

5.3 Tuulijäykistys

5.3.1 Sisäkaton levyjäykistys

Sisäkatto tullaan levyttämään Gyproc-levyin, jolloin on järkevää käyttää Gyproc-levytystä yhtenäisenä levymäisenä tuulijäykisteenä. Yläpohjan Gyproc-levytys mitoitetaan kiinnitteiden osalta riittäville leikkausvoimille ja tarkastetaan levytyksen kestävyys vaakakuormia vastaan. Rakennuksen kokonaistuulikuorman ominaisarvoksi on määritetty 94,1 kN ja levymäisen tuulijäykisteen pinta-alaksi on liitteestä 3 laskettavissa 1252 m². Pinta-alan perusteelta voidaan laskea 2,4 m * 1,2 m kokoisten asennettavien levyjen määrä n.

$$\frac{A_{\text{levymäinen}}}{A_{\text{yksittäinen}}}$$
(14)

jossa

on levymäisen tuulijäykisteen pinta-ala

on yksittäisen jäykistelevyn pinta-ala

Asennettavia levyjä voidaan laskea menevän kokonaisuena 434 levyä, jolloin kokonaistuulikuorman perusteelta voidaan laskea tarvittava jäykistyskapasiteetti/levy.

$$\frac{A_{\text{levymäinen}}}{A_{\text{yksittäinen}}}$$
(14)

Gyproclevyjen valmistaja Gyproc Oy on julkaissut taulukon eri levytyyppien kiinnikeväleillä saavutettavasta jäykistyskapasiteetista/levy. Liitteen 5 mukaan kiinnikkeiden QMST 32 minimikiinnitys välillä 300 mm saavutetaan jäykistyskapasiteetiksi levyä kohti 1,23 kN. Kiinnikeväli k300 tarkoittaa tässä yhteydessä

kiinnikkeiden väliä levyn pitkällä sivulla (2,4 m). Levyn lyhyempi sivu (1,2 m) voidaan kiinnittää rankovälillä k600. Levyn keskellä olevaan rankaan riittää levyn lommahduksen estämiseksi puolta pienempi kiinnikemäärä kuin levyn reunoilla. [9, s. 425 – 427.]

Ohjetta soveltamalla minimikiinnitys riittää varsin hyvin kokonaistuulikuorman jäykistykseen ja voidaan todeta, että kiinnittämällä Gyproc-levytys QMST 32 kiinnikkeillä k300 mm saavutetaan riittävä tason levyjäykistys rakennuksen vaakakuorman aiheuttamaa rasiusta vastaan.

Levyjäykistyksen asentamisen ja yläpohjan kosteusteknisen toiminnan takia yläpohjaan on ristikoiden alapaarteisiin naulattava koolaus 400 mm välein, jolloin määritetty kiinnikeväli on mahdollista toteuttaa. Samalla yläpohjaan muodostuu tarvittava ilmaväli Gyproclevyn ja höyrynsulkumuovin väliin. Koolauksen naulauksen leikkauskapasiteetin tulee olla vähintään levyn kiinnitysten mukainen. QMST 32-kiinnikkeen leikkauskapasiteetti aikaluokassa C on 0,4 kN / kiinnike [9, s. 427]. Yhdelle 2,4 m * 1,2 m Gyproclevylle tulee kiinnikkeitä määritetyllä kiinnikevälillä yhteensä 23 kpl.

Käytettävän lankanaulan 2,8 mm * 75 mm leikkauskapasiteetti aikaluokassa C on sahatavaralla C24 - C30 kyseessä olevassa käyttöluokassa 0,69 kN / kiinnike [3, s. 208]. Koolaus naulataan kattoristikoihin, jolloin kiinnikeväliksi koolauslautaa kohti tulee kattoristikoiden jakoväli, 1000 mm. Levyn kohdalla koolauslaudoituksen kiinnikkeiden yhteenlasketun leikkauskestävyyden tulee vastata vähintään levyn kiinnitykseen käytettyä QMST 32-kiinnikkeiden leikkauskapasiteettia.

Levyjäykistyksen kiinnikkeiden yhteenlaskettu leikkauskestävyys ja koolauslaudoituksen kiinnityksen vähimmäisleikkauskestävyys on

Lankanaulojen vaadittava määrä / solmukohta voidaan laskea leikkauskestävyyden perusteelta

Koolauksen kiinnitykseltä vaadittu leikkauskestävyys saavutetaan naulaamalla 2 kpl 2,8 mm * 75 mm lankanaulaa /lauta / ristikko.

Koolaus voidaan edellä todetuilla laskelmilla toteuttaa esim. 22*100 mm² C24 sahatavaralla, naulaus 2*2,8 mm * 75 mm / lauta / ristikko, jolloin koolauksen kiinnitys on riittävä vastaan ottamaan levyjäykistyksen aiheuttamat leikkauskuormitukset. Koolaus voitaisiin asentaa levyjäykistyksen näkökulmasta jopa k600, mutta tämä ei ole työmaateknisesti järkevää koolauslaudoituksen kannalta.

5.3.2 Päätyseinien levyjäykistys

Sisäkaton tasomaisen levyjäykistyksen voidaan ajatella siirtävän vaakakuormat päätyulkoseinien yläreunaan vaakakuormiksi, jolloin päätyseinillä otetaan vastaan sisäkaton jäykistämä vaakakuorma. Päätyseinien kiinnitykset yläpohjan rakenteisiin ja perustuksiin tulee mitoittaa myös samaiselle rasitukselle leikkausvoimana. Koska jäykistäviä seiniä on kohteessa kaksi, muodostuu jäykistettäväksi voimaksi

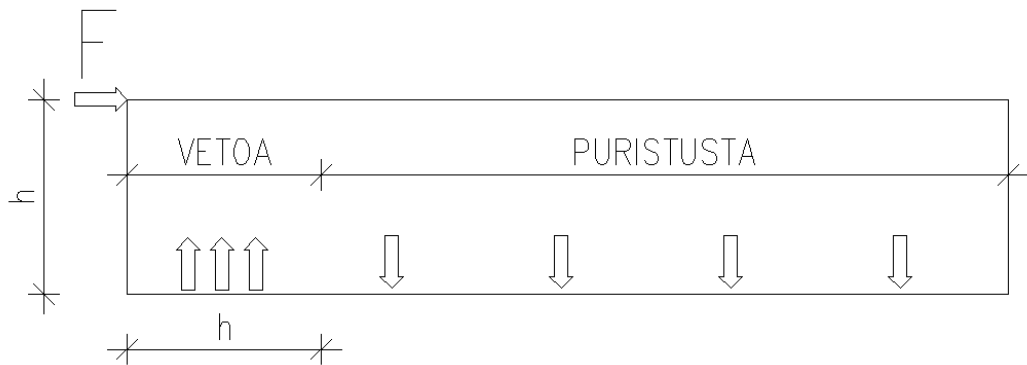
Päätyseinään voidaan asentaa runkotolppiin tukeutuen 42 täysikokoista Gyproc levyä, jolloin vaadittava jäykistyskapasiteetti kaavan 14 mukaan on

$$\text{—————} \quad (14)$$

Liitteen 4 perusteelta kiinnikkeillä QMST 32 minimikiinnikevälillä 300 mm saavutetaan jäykistyskapasiteetiksi 1,12 kN/levy, joka riittää jäykistämään tuulikuormituksesta aiheutuvan kuormituksen.

5.3.3 Tuulijäykistyksen aiheuttama pystykuormitus

Vaakakuorman vastaan ottaminen sisäkaton levyjäykistyksellä ja vaakakuorman siirtäminen päätyseinien levyjäykistyksellä maaperään aiheuttaa päätyseinille pystykuormitusta. Tuulenpaineen puoleiselle päätyseinälle aiheutuu seinän korkeuden etäisyydellä nurkasta vetorasitusta. Imun puoleinen päätyseinä pyrkii seinän loppuosalta painumaan seinän yläreunaan aiheutuvan vaakakuorman seurauksena. Tuulijäykistyksen aiheuttamat pystykuormitukset on esitetty kuvassa 4. Päätyseinä siirtää jäykistyksen avulla rakennukselle aiheutuvan vaakakuorman pystykuormina maaperään.



Kuva 4. Vaakakuorman siirtyminen pystykuormina maaperään

Pystykuormat aiheuttavat päätyseinille kuormalisän anturoiden mitoitukselle veto- ja puristuskuormituksena, kun $h = 5$ m. Kuormitus tulee huomioida vedon kannalta rungon kiinnityksessä perustuksiin. Toisaalta tulee myös huomioida, ettei nostava voima nouse suuremmaksi kuin päätyseinälle aiheutuvat muut puristavat kuormitukset. Vedon noustessa suuremmaksi täytyy kuormitus huomioida perustusten suunnittelussa.

Vaakakuormituksen aiheuttama veto

Vaakakuormituksen aiheuttama puristus

5.4 Seinäantura

Rakennuskohteen maaperän kantavuus on todettu maastokatselmuksen, maanäytteiden rakeisuustutkimuksen, kapillaarisen nousukorkeuden ja pintavaaituksen avulla. Tehdyssä pohjatutkimuksessa, on määritelty perustusten geotekniselle kantavuudelle mitoitusarvo 150 kPa.

Seinäanturan tehtävänä on välittää kantaville ulkoseinille aiheutuvat rasitukset maaperään ilman, että geoteknistä kantavuuden mitoitusarvoa ylitetään. Seinäanturana toimii jatkuva antura, jonka leveys määräytyy mitoittavan pohjapaineen ja seinäanturalle aiheutuvien kuormien perusteelta.

Seinäanturoiden pystykuormitus muodostuu seinäanturoiden kuormituspinta-alan kattorakenteiden ja lumikuormien mitoitusarvosta, tuulijäykistyksen aiheuttamasta lisäkuormituksesta ja seinän omapainosta.

Seinän omapainon koostuminen on esitetty taulukossa 9

Taulukko 9. Seinän omapaino

| Rakenneosa | [kN/m] |
|-------------------------------|--------|
| Seinärunko, h 5m | 2,25 |
| Harkot, 100*200 korkeus 600mm | 0,45 |
| Antura 500*200mm ² | 2,5 |

Kuormitusyhdistelmän mitoitusarvoksi jatkuvalla seinäanturalle/m kaavaa 5 soveltamalla, saadaan katon omapainosta, seinän omapainosta, lumi ja tuulikuormasta kuormitusleveydellä 3,7 m.

(5)

Anturan leveydeksi on valittu 0,5 m. Pohjapaineen perusteelta mitoitettu anturaleveys:

Geoteknisen kantavuuden mitoitusarvo sallisi 160 mm leveän anturan. Anturan leveydeksi valittu 500 mm on siis selvästi varmalla puolella.

Päätyseinän anturan kuormitus on hyvin erilainen, joka aiheutuu lähinnä rakenteiden omapainosta, pilarien aiheuttamasta pistekuormituksesta ja tuulijäykistyksen aiheuttamasta vedosta / puristuksesta. Jatkuvana anturana tehtävälle teräsbetonirakenteelle muodostuu päätyseinän osalta mm. leikkausvoimaa ja taivutuskuormitusta edellä mainituista kuormituksista johtuen. Rasiukset tulee huomioida anturan tarkemmassa suunnittelussa mm. raudoituksen riittävänä kapasiteettina.

5.5 Runkorakenteet

5.5.1 Rakennemalli

Liikerakennuksen kantavat ulkoseinät tehdään puurankorakenteisena, kantavana ulkoseinärakenteena. Kantavana puurunkona tulee toimimaan 50 mm * 125 mm k600 puurunko. Puurungon materiaalina on sahatavara C24. Puurunko vie kattorakenteille aiheutuvat kuormitukset perustuksille ja edelleen maaperään.

Puurangan stabiliteetin säilymiseksi voidaan tarkastella yhtä 50 mm * 125 mm sahatavarasta C24 sahattua puurungon osaa, kun puurungon korkeus on liitteen 4 mukaan 4,725 m.

5.5.2 Seinärungon mitoitusperusteet

Seinärungon stabiliteetti on määritettävissä kuormitusyhdistelmällä, jossa huomioidaan yksittäiselle seinärungon runkotolpalle aiheutuvat rasiukset. Runkotolpalle aiheutuvat kuormitukset koostuvat vaakakuorman (tuulikuorman) ja pystykuorman (rakenteiden omapainot ja lumikuorma) aiheuttamista kuormituksista.

Runkotolpalle kohdistuu samanaikaisesti puristus ja taivutuskuormitusta. Tämä johtaa samanaikaisesti puristetun ja taivutetun heikompaan suuntaan nurjahdustuetun sauvan mitoitusarvoon, jossa huomioidaan samanaikaisesti vaikuttavat kuormitusten mitoitusarvot suhteessa runkotolpan mitoitusarvoihin. Kuormayhdistelmästä saadaan tulokseksi rakenneosan käyttöaste.

Samanaikaisesti puristetun ja taivutetun sauvan yleinen mitoitusehto seinärunkotolpan tapauksessa on muotoa [4, s. 25].

$$\frac{\sigma_x}{\sigma_{x,lim}} + \frac{\sigma_y}{\sigma_{y,lim}} + \frac{\sigma_z}{\sigma_{z,lim}} + \frac{\tau_{xy}}{\tau_{xy,lim}} + \frac{\tau_{yz}}{\tau_{yz,lim}} + \frac{\tau_{zx}}{\tau_{zx,lim}} \leq 1 \quad (15)$$

jossa

on y-akselin suuntaisen taivutusjännityksen mitoitusarvo

on z-akselin suuntaisen taivutusjännityksen mitoitusarvo

on syysuuntaisen puristusjännityksen mitoitusarvo

on y-akselin suuntaisen puristuslujuuden mitoitusarvo

on z-akselin suuntaisen puristuslujuuden mitoitusarvo

on x-akselin suuntaisen puristuslujuuden mitoitusarvo

on nurjahduskerroin, joka riippuu rakenteen suhteellisesta hoikkeudesta kaavan 14 ja kuvan 5 mukaan

jännitys jakauman ja materiaalin epähomogeenisuuden vaikutuksen huomioiva kerroin. (sahatavaran ja liimapuun suorakaidepoikkileikkauksille 0,7, muille 1,0)

Rakenteelle aiheutuva jännitys lasketaan lujuusopin mukaan rakenteelle aiheutuvan kuorman ja poikkileikkauksen pinta-alan suhteena [10, s.139].

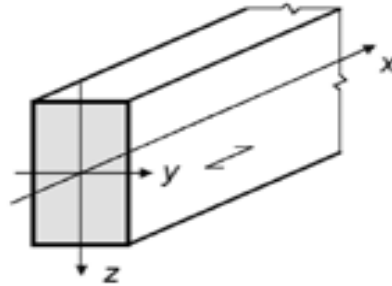
$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (16)$$

jossa

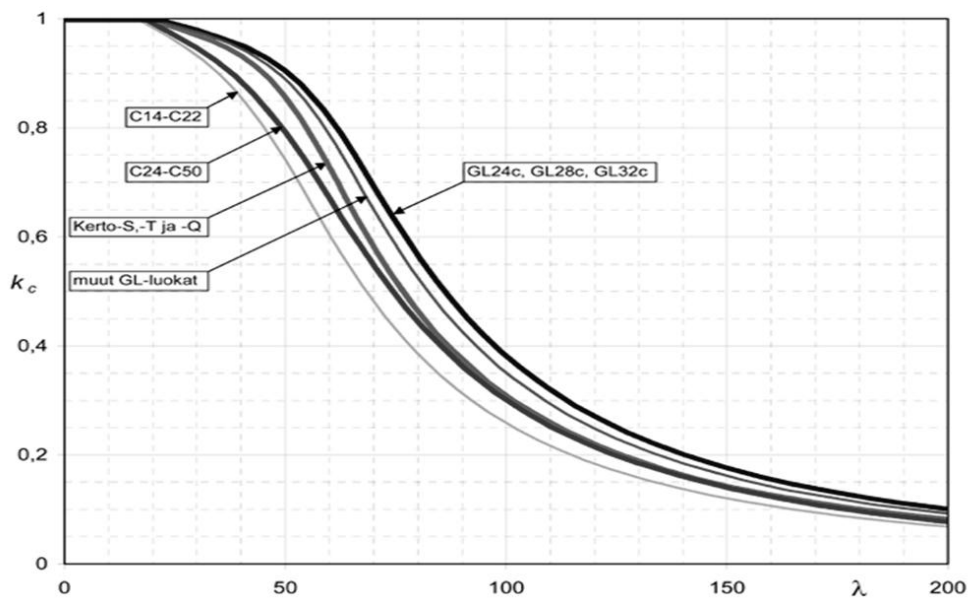
on rakenteen jännitys

on rakenteelle aiheutuva rasitus

on rakenteen poikkileikkauksen pinta-ala



Kuva 4. Akselien suunnat runkotolpan tapauksessa [4, s. 25]



Kuva 5. Nujahduskertoimen riippuvuus suhteellisesta hoikkuudesta [3, s. 73]

Runkotolpan poikkileikkauksen suhteellinen hoikkuusluku saadaan kaavasta [3, s.73]

—

(17)

jossa

on nurjahduspituus, ks. taulukko 10

on poikkileikkauksen jäyhyysäde

Taulukko 10. nurjahduspituus [3, s. 74]

| Tuentatapa | Nurjahduspituus L_c |
|---|--------------------------|
| Sauva on jäykästi kiinnitetty toisesta päästään ja nivellisesti toisesta päästään | 0,85L |
| Sauva on nivelöity molemmista päistään | 1,0L |
| Sauva on poikittaistuettu nurjahduksen suunnassa välein a | 1,0a |
| Sauva on jäykästi kiinnitetty toisesta päästään ja on vapaa toisesta päästään | 2,5L |

Runkotolppa on tuettu levyjäykistyksellä tolpan heikommassa suunnassa. Tämän ansiosta mitoitus ehdon y-akselin suuntaisen taivutuskestävyysasteen arvoksi muodostuu nolla, koska runkotolpalle ei aiheudu y-akselin suuntaista taivutusrasitusta.

Jäyhyysäde i lasketaan tässä tapauksessa runkotolpan vahvempaan suuntaan, koska runkotolppa on tuettu edellä esitetyllä tavalla heikompaan suuntaan. Runkotolpan jäyhyysäde on $i = \frac{h}{\sqrt{12}}$, missä h on runkotolpan sivumitta nurjahduksen suuntaan. [4, s.26.]

Runkotolpan suhteellinen hoikkuusluku

$$\lambda_{rel} = \frac{L_c}{i} \quad (17)$$

Kuvasta 5 voidaan määrittää nurjahduskerroin k sahatavaralle C24,

5.5.3 Runkotolpan mitoitusarvot

Runkotolpalle aiheutuva kuormitus on lumikuorman luonteesta johtuen aikaluokassa keskipitkä, jolloin materiaalin keston ja kosteusvaikutuksen huomioiva kerroin k on taulukon 2.1 mukaan 0,8. Sahatavaran ja liimapuun ominaisuudet on esitetty liitteessä 6.

Liitteen 5 mukaan sahatavaran C24 taivutuslujuus ja puristusominaisuus . Sahatavaran C24 osavarmuusluku on taulukon 2 mukaan .

Sahatavaran mitoituslujuudet taivutus ja puristuskuorman osalta ovat

(3)

(3)

Taivutusjännitykseksi muodostuu tuulikuorman mitoitusarvon ja rakenteen poikkileikkauksen pinta-alan perusteelta

(16)

Puristusjännitykseksi muodostuu kattorakenteista aiheutuvan mitoitus kuormituksen ja rakenteen poikkileikkauksen pinta-alan perusteelta

(16)

5.5.4 Runkotolpan käyttöaste

Runkotolpan käyttöaste määritetään runkotolpan tapauksessa kohdan 5.5.2 mukaisesti

(15)

Runkotolpan käyttöaste on 66 %, eli kuormitustapauksessa runkotolpan kestävyys on reilusti varmalla puolella. Seinärungon mitoittavana tekijänä on levyjäykistyksen vaatima kiinnikeväli (600 mm) ja toisaalta vaadittava seinärungon riittävä eristepaksuus.

5.6 Pilarit

5.6.1 Pilarien valinta

Harjoituskohteen kattorakenteiden kuormien siirtäminen pelkästään kantaville ulkoseinille ei ole kohteena toimivassa liikerakennuksessa taloudellisesti järkevää suuren jännevälin takia. Tukemalla kattorakenteita pilareilla saadaan kattorakenteen kuormat jaettua järkeviin osiin ja rakenteet eivät muodostu turhan suuriksi. Pilarit vaikuttavat liiketilan käyttömahdollisuuksiin negatiivisesti, mutta saavutettu taloudellinen hyöty on merkittävästi suurempi verrattuna heikentyneisiin käyttömahdollisuuksiin. Pilareilla viedään yläpohjan rakenteiden palkeille aiheuttamat kuormat edelleen perustuksille ja maaperään. Pilareilla ei oleteta otettavan vastaan tuulikuormia, koska rakennus on jäykistetty kohdan 5.3 mukaisella tuulijäykistyksellä. Pilarit mitoitetaan vain pystykuormia vastaan.

Teräksinen putkipalkki soveltuu erinomaisesti puristussauvaksi, koska putkipalkin materiaali sijaitsee tehokkaasti kaukana poikkileikkauksen keskipisteestä. Materiaalin painopisteen jakautuminen aiheuttaa putkipalkille hyvän nurjahduskestävyyden. Suuren vääntöjäykkyyden ansiosta vääntönurjahdusta ei tarvitse ottaa huomioon. [11, s. 43.]

5.6.2 Teräspilarin poikkileikkausluokka

Teräksinen putkipalkki mitoitetaan vastaanotettavien kuormien luonteen takia puristuskuormituksesta aiheutuvalla nurjahduksella.

Teräsrakenteet jaetaan poikkileikkausluokkiin, joiden tarkoitus on tunnistaa missä laajuudessa paikallinen lommahdus rajoittaa poikkileikkauksen kestävyttä ja kiertymiskykyä. Poikkileikkausluokitus määräytyy puristettujen osien leveyspaksuussuhteista. [12, s. 42.]

Poikkileikkausluokkia on neljä, joista poikkileikkausluokassa 4 sauvan kestävyttä rajoittaa sauvan seinämän paikallinen lommahdus. Poikkileikkausluokis-

sa 1-3 voidaan ajatella teräksen myötörajan mitoittavan sauvan kestävyys-
rasituksia vastaan [12, s.42]

Puristetun osan poikkileikkausluokka määritetään eurokoodissa esitettyjen ehto-
lauseiden mukaisesti. Pilariksi on valittu 120*120*5 S355 teräksestä kylmä-
muovattu ja pituushitsattu putkipalkki.

Poikkileikkausluokan 1 rakenneosan tulee täyttää puristuskuormituksessa seu-
raava ehto [12, s. 45]

$$— \quad (18)$$

jossa

on puristetun taso-osan pituus

on palkin seinämän paksuus

———, kohteen palkilla 0,81

Palkin seinämän paksuus , nurkan taivutussäde .

Laskennassa vaadittava puristetun taso-osan pituus

. Voidaan laskea poikkileikkausluokan 1 mukainen ehto puris-
tuskuormitukselle

$$— \quad — \quad (18)$$

Voidaan todeta, että valittu putkipalkki kuuluu poikkileikkausluokkaan 1, koska
esitetty ehto 18 toteutuu.

5.6.3 Teräspilarin mitoitusperiaatteet

Puristetun sauvan tulee täyttää ehto [12, s.61]

$$— \quad (19)$$

jossa

on puristusvoiman mitoitusarvo

on puristetun sauvan nurjahduskestävyyden mitoitusarvo

Puristetun sauvan nurjahduskestävyys lasketaan poikkileikkausluokalle 1, 2 ja 3 [12, s.61]

—

(20)

jossa

on nurjahduskestävyyden mitoitusarvo

on nurjahduksen pienennyskerroin

on koko poikkileikkauksen pinta-ala

on teräksen myötölujuuden perusarvo

on materiaalin osavarmuuskerroin (1,0)

Nurjahduskestävyyden pienennyskerroin saadaan seuraavasti [12, s. 61]

=====

(21)

(22)

—
—

(23)

jossa

suhteellinen hoikkuus

on pilarin nurjahduspituus

on nurjahduskäyrän epätarkkuustekijä, suorakaiteen muotoisella kylmävalssatulla putkipalkilla 0,49 [12, s.62 – 63]

kimmoteorian mukainen bruttopoikkileikkauksen mukaan laskettu kriittinen voima kyseeseen tulevassa nurjahdusmuodossa

Kimmenteorian mukaisen kriittisen voiman suuruus nurjahduspituuden funktiona on [13, s.54]

$$\text{---} \quad (24)$$

jossa

kimmokerroin, teräs

jäyhyysmomentti, liite 7

nurjahduspituus, kun molemmissa päissä nivel

5.6.4 Teräspilarin mitoitus nurjahdukselle

Suurimmaksi pilarille tulevaksi kuormituspinta-alaksi saadaan liitteen 3 perusteelta 57 m². Murtorajatilan mukainen kuormitus lasketaan yläpohjan ja pilarin omapainojen summana, sekä lumikuormasta kerrottuna varmuuskertoimilla.

(5)

Valitaan teräspilari RHS 120*120*5, jonka ominaisarvot on esitetty liitteessä 7.

Määritetään pilarin nurjahduskestävyys liikerakennuksen mukaisessa tilanteessa kohdan 5.6.3 mukaisesti.

$$\text{---} \quad (24)$$

$$\text{---} \quad (23)$$

(22)

$$\frac{\sigma_{\text{L}}}{\sigma_{\text{R}}} \leq \frac{R_{\text{d}}}{R_{\text{d}}} \quad (21)$$

$$\sigma_{\text{L}} \leq R_{\text{d}} \quad (20)$$

Laskettu puristusvoiman mitoitusarvo on pienempi kuin lasketun teräspilarin nurjahduskestävyyden arvo.

(19)

Näin ollen valittu pilari kestää sille aiheutuvan kuormituksen nurjahtamatta.

5.6.5 Teräspilarin palomitoituksen mukainen palosuojaus

Liiketilän paloluokaksi on määritetty P2. Paloluokassa P2 rakennuksen kantavien pilarien tulee täyttää kantavuusarvo R30, joka tarkoittaa kestävyyden säilyttämistä 30min täyden palon ajan. Palomitoituksen kuormalaskenta huomioidaan onnettomuustilanteen mukaisessa kuormalaskennassa.

Onnettomuustilanteen kuormaksi määräytyy [5, s. 39]

kun pääasiallinen kuorma on lumi, jää- tai tuulikuorma

(25)

kun pääasiallinen kuorma on joku muu kuorma

(26)

jossa

on pysyvät kuormat

on esijännitysvoima

on onnettomuuskuorma

on määräävä muuttuva kuorma

on muu muuttuva kuorma

on yhdistelykerroin, kohteen tilanteessa ,
[5, s.36]

Palotilanteen mitoituskuorma saadaan kaavan 25 avulla

(25)

Palomitoituksessa tarkastellaan lämpötilan nousun aiheuttamaa nurjahduskestävyyden heikentymistä teräspilarin osalta.

Standardipalon lämpötila [$^{\circ}\text{C}$] palon hetkellä saadaan kaavasta [14, s. 40]

(27)

jossa

on kaasun lämpötila palotilassa

on aika

Palon lämpötilaksi mitoitettavana ajankohtana saadaan standardipalon lämpötila-aikakäyrästä

(28)

Rakenteelle aiheutuvat lämpörasitukset saadaan rakenneosan pintaan vaikuttavan nettolämpövuon perusteelta. Palolle altistuvan pinnan nettolämpövuomääritetään laskemalla yhteen kuljettumalla ja säteilemällä tapahtuva lämmön siirtyminen kaavan 29 mukaisesti [14, s. 38]

(29)

jossa

on nettolämpövuon kuljettumalla siirtyvä osa

on nettolämpövuon säteilemällä siirtyvä osa

Nettolämpövuon kuljettumalla siirtyvä osa määritetään seuraavasti [14, s. 40]

(30)

jossa

on kuljettumisen lämmönsiirtymiskerroin, teräksellä

on kaasun lämpötila palolle altistetun rakenneosan lähellä

on rakenneosan pintalämpötila

Nettolämpötilavuon säteilemällä siirtyvä osa määritetään seuraavasti [14, s. 40]

(31)

jossa

on näkyvyyskerroin, kohteen tapauksessa 1,0

on rakenneosan pinnan säteilykerroin, käytetään arvoa 0,8

on palon säteilykerroin, yleensä 1,0

on Stefan Boltzmann –vakio (

on paloympäristön tehollinen säteilylämpötila

on rakenneosan pintalämpötila

Kohteen teräspilarin nettolämpövuon voidaan määrittää kaavojen 30 ja 31 perusteelta

—

(29)

Teräspilarin lämpötilan nousu 30 min palon aikana voidaan määrittää kaavasta [15. s.35]

—

(32)

jossa

$$\text{---} \text{---} \text{---} \quad (34)$$

jossa

on muunnettu hoikkuus lämpötilassa

$$\text{---} \quad (35)$$

Muunnettu hoikkuus lämpötilassa lasketaan kaavasta ([15, s.28]

$$\text{---} \quad (36)$$

jossa

on teräksen myötörajan pienennystekijä lämpötilassa

on pienennystekijä, joka vastaa lineaarista kimmoista aluetta lämpötilassa

on muunnettu hoikkuus normaalilämpötilassa

Teräksen myötörajan ja kimmoalueen pienennystekijät on taulukoitu liitteessä 8.

Teräksen lämpötilan ollessa täytyy väliarvo interpoloida ja vastaaviksi pienennystekijöiksi saadaan

$$\text{---}$$

$$\text{---}$$

$$\text{---} \quad (36)$$

$$\text{---}$$

$$(35)$$

$$\text{---} \text{---} \text{---}$$

$$(34)$$

$$(33)$$

Voidaan todeta, että teräspilari tulee palosuojata, koska nurjahduskestävyyden mitoitussarvo palotilanteessa () on huomattavasti pienempi kuin palotilanteen mitoituskurva ().

Teräspilarin palonsuojaus voidaan R30 tilanteessa suorittaa betonitäytöllä, jonka käyttö perustuu putkiprofiilin sisällä olevan betonin lämmönsitomiskykyyn ja toisaalta myös betonin sisältämän kideveden haihduttamiseen kuluvaan energiaan. Teräksisen rakenneputken betonitäytöllä saavutettavana kestävyysnä voidaan laskea teräksen ja betonitäytön kantavuusominaisuudet yhteen R30 mukaisessa palotilanteessa.

Teräspilarin palonsuojaukseen voidaan käyttää ns. paisuvia palonsuojamaaleja. Palonsuojamaalien käyttö perustuu maalin paisumisreaktioon, joka toimii eristeenä palon korkeaa lämpötilaa vastaan. Saavutettu paloluokka vaihtelee tavallisesti R30 ja R60 välillä. Palonsuojamaalauksen suunnittelussa on tiedettävä rakenteen vaadittu paloluokka, teräksen kriittinen lämpötila ja rakenteen poikkeileikkaustekijä. Palonsuojamaalin kalvon paksuus voidaan määrittää palotestien perusteelta tehtyjen käyrien avulla. [16.]

Teräspilarin palonsuojaus voidaan toteuttaa myös erilaisilla pilarin palosuojarakenteilla tai vesitäytöllä. Pilarin palosuojarakenteet aiheuttavat pilarin ulkomittojen kasvamista merkittävästi, eikä pilarin suojaus rakenteellisesti ole kohteessa perusteltua. Vesitäytön toteutus aiheuttaa rakennustyömaalle ylimääräistä erikoistyötä, jonka toteutus vaatii suhteettoman paljon työtä ja nostaa työmaan kustannuksia tarpeettomasti.

5.6.6 Stabiiliteetin säilyminen törmäystilanteessa

Pilarit sijaitsevat rakennuksen käytön kannalta piilossa. Päätypilarit sijoitetaan päätyseinien seinärakenteen sisään, varaston ja liiketilan väliset pilarit jäävät väliseinän sisään ja liiketilan pilarit ovat pääsääntöisesti kohteessa kalusteiden yhteydessä. Törmäyskuormat ovat rakennuksen käytössä epätodennäköisiä. On kuitenkin perusteltua tarkastaa standardin mukaisen haarukkatrukin törmä-

yksen aiheuttaman vaakakuorman vaikutus rakennuksen stabiliteetin säilymiseen.

Törmäyksessä pilarille aiheutuu vaaka-kuorma yläpuolisten rakenteiden aiheuttaman aksiaalisen kuormituksen lisäksi. Rakenteen kestävyys säilyminen onnettomuustilanteessa voidaan tarkistaa ehdolla [12 s. 49]

$$\frac{N}{A} \leq \frac{M}{W} \quad (37)$$

jossa

on puristuskuorman mitoitusarvo

on pilarin nurjahduskestävyys

on vaakakuormasta aiheutuva momentin mitoitusarvo

on pilarin momenttikapasiteetti

Haarukkatrukin luokan FL 1 mukainen nettopaino on 21kN ja taakan paino 10kN [17, s. 36].

Haarukkatrukin aiheuttama törmäyskuorma määritetään nettopainon ja taakanpainon summana kerrottuna luvulla 5, joka vaikuttaa korkeudella 0,75 m lattian pinnasta [18, s.38].

Törmäyskuormasta aiheutuva mitoittava momentti lasketaan statiikan perusteelta [19, s. 52]

$$M = \frac{F \cdot h}{2} \quad (38)$$

jossa

on pilariin kohdistuva vaakakuorma

on voiman yläpuolinen rakenneosan pituus

on voiman alapuolinen rakenneosan pituus

on rakenneosan pituus

Kohteen tapauksessa pilarille aiheutuva momentti on

 (38)

Teräspilarin momenttikapasiteetti voidaan määrittää teräspilarille ominaisen taivutusvastuksen perusteelta, liite 7

Voidaan todeta, että esitetty ehto 37 ei täyty, koska törmäyskuormasta aiheutuva momentti on selvästi teräspilarin momenttikapasiteettia suurempi. Määritetään nurjahduskestävyyden mukaisen käyttöasteen perusteelta sallittu törmäyskuorma

 (37)

Saatu törmäyskuorman momentti tarkoittaa, että pilari säilyttää stabiliteettinsa onnettomuustilanteessa, kun pilarille aiheutuu momenttia enintään 18,46 kNm. Kaavalla 38 voidaan määrittää vastaavalle 0,75 m korkeudelle suurimmaksi sallituksi voimaksi 28,7 kN.

5.7 Pilariantura

5.7.1 Pilarianturan mitoitusperiaatteet

Pilarianturan koon valinnassa tulee huomioida rakentamisvaiheen kuormitukset, joiden perusteelta pilarianturan koko voi määräytyä muun kuin valmiin rakennustilanteen mukaisten rasiusten perusteelta. Rakentamisvaiheessa kattorakenteiden rakentaminen voi määrätä pilarianturan koon kaatumista vastaan, jos pilareita ei voida rakentamisen aikaisesti tukea riittävästi (valun aikainen tuenta). Tällainen tilanne voi olla esimerkiksi suuren hallin rakentamisessa, jossa sisäpuolinen lattiavalu jäykistäisi pilarin kiinnityksen perustuksiin. Pilarien asennusvaiheen aikaisen tukemisen puuttuminen tai liian kapean pilarianturan mitoittaminen voi johtaa pilarien rakentamisen aikaiseen kaatumiseen ja näin jopa koko rakennuksen romahtamiseen.

Pilarianturan mitoituksessa huomioitavia seikkoja maaperän kantavuusominaisuuksien lisäksi on pilarianturaan vaadittu rauditus ja mahdollisten teräskiinnikkeiden ankkurointi. Rauditus ja kiinnikkeiden ankkurointi määrää usein anturan koon suuremmaksi kuin maaperän kantavuus ominaisuudet määräisivät.

5.7.2 Mitoitus maaperän kantavuuden perusteelta

Suurimmat kuormitukset aiheutuvat liitteen 2 linjan 2 pilareille ja näin myös anturoille. Kuormituspinta-ala kyseisen linjan pilareilla on 57 m^2 , jolloin mitoittavaksi kuormaksi yläpohjan rakenteista, pilarin ja anturan omapainosta ja lumi-kuormasta saadaan murtorajatilamitoituksen perusteelta

(5)

Neliön muotoisen pilarianturan sivun pituus voidaan määrittellä suoraan maaperän geoteknisen kantavuuden mitoitusarvon perusteelta seuraavasti

$$\frac{F}{A} = \frac{F}{a \cdot b}$$

Geoteknisen kantavuuden mitoitusarvon perusteelta anturaksi voidaan valita $1250 \cdot 1250 \text{ mm}^2$.

5.7.3 Mitoitus raudituksen ja kiinnikkeiden perusteelta

Pilarianturaan kiinnitetään kohdassa 5.6 mitoittavat teräspilarit hitsaamalla pilarit anturaan asennettavaan kiinnityslevyyn Peikko SBKL $150 \cdot 150 \text{ mm}^2$.

Asennuslevyn kuormitus muodostuu vain pystykuormasta, koska vaakakuormat johdetaan perustuksille tuulijäkisteillä kohdan 5.3 mukaisesti. Asennuslevylle ei siis aiheudu rakennuksen käytönaikaista leikkausvoimaa, momenttia tai vääntöä.

Asennuslevylle aiheutuva pystykuorma lasketaan kattorakenteiden, pilarin ja lumikuorman perusteelta murtorajatilassa.

(5)

Asennuslevylle aiheutuva pistekuorma tulee huomioida pilarianturan raudoituksessa. Tässä työssä ei käsitellä anturan raudoittamista.

Törmäyskuormaa tarkastellessa asennuslevyn leikkauskapasiteetiksi on ilmoitettu 22,6 kN [20, s.13]. Mikäli tämä leikkausvoima ylitetään, pilarille voi aiheutua siirtymä leikkausvoiman suunnassa. Pilari on kuitenkin ankkuroitu lattiavalun alapuolelle ja kiinnitys jää betonivalun sisälle. Kohteen tapauksessa lattiavalun teräsbetoni-laatta ja SBKL 150*150 m² kiinnityslevy ankkuroivat pilarin mahdollisia vaakakuormia vastaan (törmäyskuorma). Teräsbetoni-laatan puristuskapasiteetti pilarille aiheutuvan leikkausvoiman suunnassa muodostuu laatan betonin ja raudoituksen yhdistetystä puristuskapasiteetista. Määritettäessä pilarin siirtymää tulee perehtyä tarkemmin kohteen teräsbetoni-laatan kapasiteetin laskentaan.

5.7.4 Pilarianturan koon valinta ja mitoitus

Pilarianturan pohjan pinta-alan tulee täyttää stabiliteetin säilymisen kannalta maaperälle ominainen pohjapaineen vaatima pinta-ala, jolloin voidaan todeta pilarianturan johtavan kuormitukset maaperään. Toisaalta pilariantura tulee mitoitaa anturalle aiheutuville kuormille teräsbetonirakenteen kestävyden kannalta. Anturan raudoitus voi vaikuttaa pilarianturan ulkomittoihin raudoituksen ankkuroinnin, riittävän sisäisen voimanvarren ja teräksen suojakerroksen mitoituksen näkökulmasta.

5.8 Palkit

5.8.1 Palkin rakennemalli ja kuormitusala

Yläpohjan ristikkorakenteet tukeutuvat liimapuupalkkeihin, jotka siirtävät yläpohjan kuormat pilareita pitkin perustuksille. Liimapuupalkit mitoitetaan yksiaukkoina palkkina. Palkin kuormituspituus on esitetty liitteessä 3, yläpohjan tasopiirustus. Kuormituspituus varaston ylityksen osalta on 7,140 m, joka on määräävä liiketilan palkkien mitoituksessa.

Palkille aiheutuva kuormitus muodostuu käytännössä useasta pistekuormasta kattotuolien välityksellä. Kattotuolijako on kuitenkin palkin kuormituspituuteen nähden sen verran lyhyt, että kuorma voidaan ajatella tasaisena. Kuormana käytetään kohdassa 5.2.4 määritettyä pystykuormitusta kerrottuna neliökuorma palkin kuormitusleveydellä, jolloin kuormaksi saadaan palkille muodostuva tasainen kuormitus / juoksumetri.

5.8.2 Mitoituksen perusteet

Kohteen tapauksessa palkit ottavat vastaan kattorakenteille aiheutuvat pystykuormat. Palkki tulee 1 m välein asennettavien kattotuolien väliin siten, että kattotuolin alapaarre on palkin alapinnan kanssa samalla tasolla. Palkki tulee kohteen tapauksessa mitoittaa kuormituksista aiheutuville rasituksille käyttörajatilassa taipumalle ja murtorajatilassa stabiliteetin menettämistä vastaan taivutukselle, leikkaukselle, kiepahdukselle ja tukipaineelle.

5.8.3 Taipumamitoitus

Palkin taipuma aiheuttaa käyttöä häiritsevää muodonmuutosta. Taipuma ei yksinään aiheuta varsinaista rakennuksen stabiliteetin menetystä. Taipumamitoitus mitoitetään käyttörajatilassa, jolloin kuormituksena käytetään arvoa, joka ei

sisällä varmuuskertoimia. Kohteessa käytetään sallittuna taipumana arvona $L/300$.

Palkin kuormitusleveydeksi voidaan määrittää liitteestä 3 todeta 8,7m, jolloin tasaiset kuormat ovat

Taipuma määritetään kokonaistaipumana hetkellisen taipuman, virumasta aiheutuvan taipuman ja mahdollisen esikorotuksen summana. Kohteen palkin tapauksessa kokonaistaipuma saadaan [4, s. 10]

(39)

jossa

virumaluku, ks. taulukko 11

pysyvän kuorman G_{kj} aiheuttama hetkellinen taipuma

hyötykuorman $Q_{k,l}$ aiheuttama hetkellinen taipuma

hyötykuorman $Q_{k,h}$ aiheuttama hetkellinen taipuma

Taulukko 11. Materiaalin virumaluku k_{def} [3, s. 47]

| Materiaali | Käyttöluokka | | |
|---------------------------------------|--------------|-----|-----|
| | 1 | 2 | 3 |
| Sahatavara, pyöreä puu, Liimapuu, LVL | 0,6 | 0,8 | 2,0 |

Tasaisesta kuormituksesta johtuva taipuma saadaan statiikan perusteelta [19, s. 51]

(40)

jossa

on taipuma

on kuorma

on kuormituspituus

on kimmomoduuli

on jäyhyysmomentti

Statiikkaa soveltamalla voidaan hetkellinen taipuma määrittää seuraavasti:

$$\text{---} \text{ ---} \quad (40)$$

$$\text{---} \text{ ---} \quad (40)$$

Valitaan palkiksi liimapuupalkki GL32c, 115 mm * 765 mm

Jäyhyysmomentti / saadaan statiikan perusteelta [19, s.45]

$$\text{---} \quad (41)$$

jossa

on palkin leveys

on palkin korkeus

Palkin jäyhyysmomentiksi saadaan

$$\text{-----} \quad (41)$$

Taipuman laskennassa käytetään kimmomoduulin arvoa, joka vastaa kimmomoduulin keskiarvoa liimapuun lamellien vastaisesti taivutettuna.

Liimapuupalkille GL32c ominainen kimmomoduuli liite

6.

Kokonaistaipumaksi saadaan

(39)

Laskettu taipuma 18,8 mm tarkoittaa 7,14m jännevälillä taipumaa L/380, joka on varaston ylityksen osalta sallittavissa rajoissa.

5.8.4 Taivutuskestävyys

Taivutuskestävyys tulee mitoittaa murtorajatilassa, koska taivutuskestävyyden ylitys aiheuttaa rakennuksen stabiliteetin menetyksen. Murtorajatilassa mukaiset kuormitukset ovat

(5)

Taivutetun sauvan tulee täyttää seuraava mitoitusehto [4, s. 25]

(42)

jossa

on taivutusjännityksen mitoitusarvo

on taivutuslujuuden mitoitusarvo

on kiepahduskerroin

Yleinen taivutuskestävyyden mitoitusehto johtaa mitoitukseen kiepahdusta vastaan, eikä pelkän taivutuskestävyyden määrittämiseen. Ehdon 42 mukaan mitoitettava palkki ei siis vaadi erillistä kiepahdustuenta.

Kohteessa palkki on lovettu kattoristikoiden väliin siten, että palkki jää kokonaisuudessaan kattoristikoiden väliin. Kiepahdustuenta toteutetaan 1 m välein asennettavien kattotuolien avulla. Tällöin voidaan palkin taivutuskestävyys määrittää suoraan taivutusvastuksen avulla.

Statiikan mukaan palkille ominainen taivutusvastus [19, s. 45]

$$\text{---} \quad (43)$$

Palkille ominainen taivutusvastus

$$\text{-----} \quad (43)$$

Palkille vaadittava taivutusvastus voidaan määrittää palkille aiheutuvien kuormien perusteelta jakamalla murtorajatilän mukaisilla kuormilla palkille aiheutuva momentin maksimiarvo lasketulla materiaalille ominaisella taivutusjännityksen mitoitusarvolla [3, s.78].

$$\text{---} \quad (44)$$

Palkin mitoittava momentin arvo saadaan statiikan avulla [19, s. 51]

$$\text{---} \quad (45)$$

Momentin mitoitusarvo palkille aiheutuvan murtorajatilakuorman perusteelta

$$\text{-----} \quad (45)$$

Liimapuun GL32c taivutuksen ominaislujuus liite 6.

$$\text{-----} \quad (3)$$

Mitoituskuormien vaatima taivutusvastus

$$\text{---} \quad \text{-----} \quad (44)$$

Voidaan todeta, että liimapuupalkin 115 mm * 765 mm taivutusvastus on suurempi kuin murtorajatilakuormitusten vaatima taivutusvastus.

Valittu palkki kestää sille aiheutuvan murtorajatilakuormituksen mukaisen taivutuskuormituksen.

5.8.5 Kiepahduskestävyys

Taivutetun sauvan kiepahduskestävyyden toteamiseksi osoitetaan, että taivutusjännitykset toteuttavat kohdassa 5.8.4 kohdassa esitetyn ehdon [3, s.76]

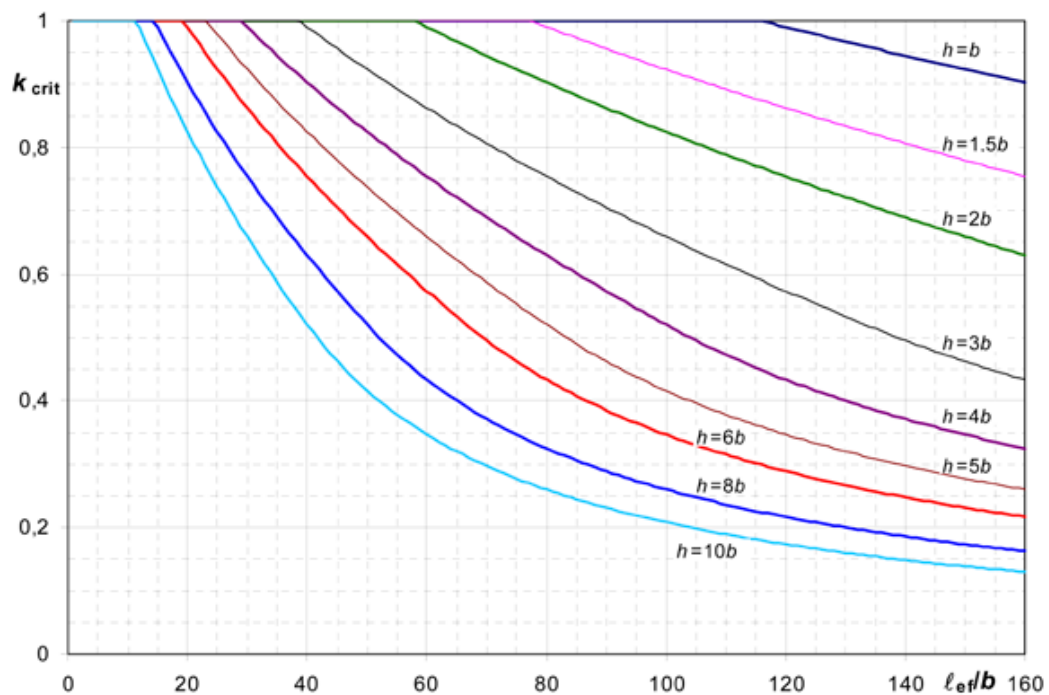
(42)

jossa

on taivutusjännityksen mitoitusarvo

on taivutuslujuuden mitoitusarvo

on kerroin, jonka avulla otetaan huomioon kiepahdusriskin takia pienentynyt taivutuskestävyys, ks. kuva 6



Kuva 6. Kiepahduskertoimen riippuvuus palkin tehollisen pituuden l_{eff} suhteesta palkin leveyteen b eri palkin korkeuksilla h [3, s. 77].

Kiepahduskerroin voidaan määrittää myös laskennallisesti. Laskennallinen määrittäminen on järkevää, kun kiepahdustarkastelu johtaa kiepahdustuennan määrittämiseen [3, s. 79].

(46)

Kertoimen laskennallisessa määrityksessä tarvittava palkin suhteellinen hoikkuus [3, s.77]

$$\frac{w_{rel}}{w_{lim}}$$

(47)

Kriittinen taivutusjännitys lasketaan kaavalla [3, s.78]

$$\sigma_{cr}$$

(48)

jossa

on 0,71 liimapuun lujuusluokalle GL32c

on tehollinen palkin kuormituspituus

on palkin leveys

on palkin korkeus

on kimmomoduulin ominaisarvo 95% luottamustasolla (liite 6)

Palkin kriittinen taivutusjännitys

$$\sigma_{cr}$$

(48)

Palkin suhteellinen hoikkuus

$$\frac{w_{rel}}{w_{lim}}$$

(47)

Kiepahduskerroin

(46)

Kiepahduskertoimella korjattu taivutuskestävyyden mitoitusarvo

(42)

Koska kiepahduskertoimella huomioitu palkin taivutuskestävyyden mitoitus arvo on palkin mitoittavaa taivutusjännitystä alhaisempi, tulee palkki tukea kiepahdusta vastaan. Kiepahdus otetaan vastaan kattoristikoidella tasaisesti jakautuvana vaakavoimana.

Määritetään liimapuupalkin kiepahduksen aiheuttama puristuskuorma [1, s. B15/6]

$$\text{---} \quad (49)$$

Palkin kiepahduksen aiheuttama puristuskuorma

$$\text{-----} \quad (49)$$

Tuentakuorma voidaan määrittää vakiokuormana alle 15m jänneväleillä [1, s. B15/4]

$$\text{---} \quad (50)$$

jossa

kiepahdustuettavien palkkien määrä

tuettavan palkin pituus

Tuentakuorman tasainen arvo / palkki

$$\text{-----}$$

Kattoristikot ovat 1 m jaolla, jolloin yhdelle kattoristikolle aiheutuu palkin yläreunasta 371 N puristava tai vaihtoehtoisesti vetävä vaakakuorma, joka täytyy huomioida kattoristikon mitoituksessa. Kattoristikon kannalta mitoittavana kuormana huomioidaan yleensä puristava kuormitus.

5.8.6 Leikkauskestävyys

Leikkauskestävyyden maksimiarvo saavutetaan yksiaukkoisen palkin tapauksessa tuen reunassa, kun pistemäinen tukikuorma pyrkii ”leikkaamaan” palkin poikki. Leikkausvoiman maksimiarvo saadaan laskemalla palkille aiheutuvat pystykuormitukset ja jakamalla arvo luvulla 2.

Leikkauskestävyys määritetään seuraavalla ehdolla [3, s. 69]

(51)

Leikkausjännityksen mitoitussarvo saadaan jakamalla leikkausvoima palkin poikkipinta-alalla A

—

(16)

Palkin leikkausjännityksen mitoitussarvo

—————

(51)

Liimapuun GL32c ominaislujuus leikkaukselle on _____, liite 6.

Liimapuun GL32c mitoituslujuus leikkaukselle

—

(5)

Leikkauskestävyyden mitoitusehto toteutuu, eli palkki kestää aiheutuvat leikkausjännitykset.

(1)

5.8.7 Vaadittu palkin tukipituus

Syysuuntaan kohtisuorassa puristuksessa tulee seuraavan ehdon olla voimassa [4, s.24]

(52)

Tukipainekerroin lasketaan kaavalla [4, s.24]

$$\text{---}$$

(53)

jossa

on kosketuspinnan pituus syiden suunnassa

on tehollinen kosketuspinnan pituus

Tehollinen kosketuspinnan pituus määritetään lisäämällä kosketuspinnan pituuteen / molemmin puolin 30 mm, kuitenkin enintään tuen ylittämä palkin osa, kosketuspinnan pituus tai tukien väli/2 [4, s.24].

Kertoimelle käytetään havupuisella liimapuulla arvoa 1,5 [4, s. 24].

Valitaan tukipainepituudeksi 325 mm.

Tukipainekerroin 325 mm tukipainepituudella

$$\text{---}$$

(53)

Tukipainepituudella 325 mm voidaan palkille laskea puristusjäännitys .

$$\text{---}$$

(16)

Liimapuun GL32c ominaislujuus puristukselle syitä kohtisuoraan
, liite 6

Liimapuun GL32c mitoituslujuus kohtisuoralle puristukselle

$$\text{---}$$

(5)

Palkin tukipituuden mukainen sallittu tukipaine on

Palkin tukipituudelle määritetty mitoitusehto

(52)

Valittu tukipainepituus 325 mm on riittävä.

6 Tulosten arviointi

Kohteena olevan liikerakennuksen kokonaisjäykistys on mahdollista toteuttaa levymäisillä tasojäykisteillä. Kohdassa 5.3 mitoitettu tuulijäykistys on toteutettu alakaton ja päätyseinien levytyksellä Gyproc GN13 levyin riittävällä kiinnikeväliillä. Tämän ansiosta rakennuksen pilareilla ei oleteta otettavan vastaan rakennuksen kokonaistuulikuorman aiheuttamaa vaakakuormitusta. Tämä tulos mahdollistaa rakennukselle huomattavasti hoikemmat pilarit, josta on rakennuksen käyttötarkoituksen takia huomattavaa hyötyä ja rakennuksen sisätila näyttää avarammalle.

Rakennuksen rakenteellisen toimivuuden kannalta on mitoitettu oleellisimmat rakenteet. Laskelmissa on kohdassa 5.4 määritetty seinäanturan mitoitus pohjapaineen avulla. Anturan mitoitus on toteutettu vertaamalla anturalle tulevaa kuormitusta sallittuun pohjapaineeseen. Seinäanturan mitoitus johtaisi seinälle aiheutuvilla kuormilla todella kapeaan jatkuvaan anturaan. Työmaan kannalta onkin järkevää, että seinäanturan leveys on mitoitettua suurempi, koska muuten seinän kaatuminen tulisi työmaalla asennuksen aikana tukea. Lisäksi päätypilareille aiheuttamat rasituksen on järkevää johtaa suoraan seinäanturalle. Tällöin seinäantura ottaa vastaan huomattavasti suurempia kuormia ja seinäanturan mitoitus täytyy tarkistaa päätypilarien aiheuttaman pistemäisen kuorman osalta riittäväksi, jotta päätypilarit voidaan perustaa seinäanturan varaan.

Seinärungon kestävyys yhdistettyä taivutus- ja puristuskuormitusta vastaan on mitoitettu kohdassa 5.5. Seinärungon kestävyys on riittävä tarkasteltavan liikerakennuksen tapauksessa. Seinärungon korkeus on tässä tarkastelussa olen-

naisessa osassa, sillä nostamalla seinärungon korkeus 4,75 metristä 5,5 metriin seinärungon stabiliteetti menetettäisiin.

Teräspilarit on mitoitettu kohdassa 5.6. Teräspilareiksi valittiin 120*120*5 putkipilarit, koska teräspilarin valinnalla päästään huomattavasti hoikempiin rakenteisiin ja toisaalta työmaateknisesti pilarien asentaminen on helpompaa hitsaamalla teräspilarit pilarianturaan valettavaan pohjalevyyn. Puupilarien tapauksessa tulisi anturoihin asentaa pilarikengät ja kiinnittää pilarit esimerkiksi kansiruuvein pilarikengään. Lisäksi kiinnitykset jäisivät esille liikerakennukseen, kun teräspilarin tapauksessa kiinnitykset jäävät piiloon lattiavalun sisälle. Lisäksi palkkien kiinnittäminen teräspilariin hitsattuihin laippoihin on työmaalla nopeampaa kuin esimerkiksi vanerilevyjen avulla vastaavaan puupilariin. Teräspilarin palomitoitus johtaa suojaamattoman pilarin stabiliteetin menetykseen paloluokassa R30. Teräspilarien palonsuojaus on huomioitava.

Palkkien mitoitus on käsitelty kohdassa 5.8. Rakennuksessa päädyttiin käyttämään yksiaukkoisia palkkeja työmaateknisistä syistä. Palkkien pituus kasvaisi turhan suureksi, jos palkki mitoitettaisiin esimerkiksi kaksiaukkoisena. Lisäksi palkkien leveys on järkevää valita pilarin mukaan. Palkeiksi valittiin liimapuupalakit GL32c 115 mm*765 mm. Palkkien taipuma varaston ylityksen kohdalla, missä palkin jänneväli on 7,14 m pysyy hyvin sallituissa rajoissa ollen luokkaa L/380. Valittujen palkkien taipumat jäävät liiketilassa lyhemmän jännevälin 5,88m takia huomattavasti pienemmäksi ollen luokkaa L/680. Palkin hoikkuuden takia palkki tulee taivutuskestävyyden näkökulmasta tukea kiepahdusta vastaan. Kiepahdustuenta otetaan vastaan kattoristikoiden aiheutuvana lisävaakavoimana, joka on lasketulla vaakavoiman arvolla 0,4 kN/ristikko toteutettavissa suhteellisen kevyillä rakenteilla.

7 Pohdinta

Työssä perehdyttiin eurokoodin mukaisesti rakennuksen stabiliteetin kannalta olennaisten rakenteiden mitoitamiseen. Laskelmin on voitu osoittaa olennaisimpien rakenneosien kestävyys siten, että rakenteet kestävät niille aiheutuvat

kuormitukset määräysten mukaisesti. Rakennuksen stabiliteetti säilyy työssä käsitellyn rakennuksen mukaisessa tilanteessa. Teräspilarien kestävyys törmäys- ja palokuormituksen kannalta tulee huomioida erikseen ja työssä esitetyt laskelmat antavat pohjan mahdollisille tarkennuksille, mikäli ne ovat rakennuksen käytön kannalta olennaisia. Lisäksi rakenteiden väliset kiinnikkeet ja teräsbetonirakenteet tulee mitoittaa työssä määritetyille kuormituksille.

Rakennuksen stabiliteetin yksiselitteiseen määrittämiseen tulisi rakennuksen rakenteet määrittää työssä laskettua yksityiskohtaisemmin. Esimerkiksi kattoristikoiden kiinnitykset kantaviin rakenteisiin tulisi laskea paikallisen tuulenpaineen aiheuttaman rasituksen kannalta. On kuitenkin perusteltua rajata työn aihealue stabiliteetin kannalta olennaisiin kantaviin rakenteisiin ja kokonaisjäykistykseen.

Työn perusteelta voidaan todeta, että kookkaan liikerakennuksen kokonaisjäykistys voidaan toteuttaa varsin yksinkertaisella rakenteella. Tarkastellun liikerrakennuksen tapauksessa tämä jäykistys on mahdollista toteuttaa Gyproc-levytyksellä sisäkatossa ja ulkoseinissä. Jäykistykseen vaikuttavat rakennukselle aiheutuvat kuormitukset, jotka kasvavat rakennuksen koon kasvaessa. Toisaalta myös jäykistysrakenteiden yhteenlaskettu kapasiteetti kasvaa rakennuksen koon kasvaessa. Rakennuksen koko ei siis varsinaisesti vaikuta käytettäviin rakenteisiin levyjäykistykseen osalta. Työn kannalta olennainen havainto on myös, että liimapuupalkin mitoituksessa olennaisessa osassa oleva taivutuskestävyys voidaan määrittää sallitun taivutusvastuksen ja vaadittavan kiepahdustuennan avulla. Tällöin päästään ohuempaan ja kevyempään rakenteeseen, mutta tällöin kiepahduksen estämiseksi määritettävä kiepahdusvoima on otettava rakennesuunnittelussa huomioon.

Työssä on käytetty täysin ns. euronormien mukaista mitoittamista, joka on syrjäyttämässä osaltaan pitkään käytössä olleen Suomen rakennusmääräyskoelman. Työssä esitetyt laskelmat pohjautuvat voimassa oleviin eurokoodistandardeihin ja ovat näin lakisääteisesti hyväksytyjä menetelmiä rakenteiden mitoittamiselle. Työ antaa hyvät perusteet eurokoodien mukaisesta rakennesuunnittelusta varsinkin Suomessa yleisille puurankarakenteille. Työn aikana olen perehtynyt aikaisempaa syvemmin eurokoodien mukaiseen rakennesuunnitteluun ja uskon, että tämä työ selvittäisi yleisesti eurokoodin mukaista rakennesuunnittelua tulevassa ammattikunnassani.

Lähteet

- 1 Valtion teknillinen tutkimuskeskus ja Rakennustieto Oy. Step 1, puurakenteet. Tampere. 1996.
- 2 SFS-EN 1990 + A1 + AC. Eurokoodi. Rakenteiden suunnitteluperusteet. Helsinki. 2006.
- 3 RIL 205-1-2007. Puurakenteiden suunnitteluohje. Helsinki. 2007.
- 4 Puuinfo Oy. Puurakenteiden suunnittelu, lyhennetty suunnitteluohje. Helsinki. 2010.
- 5 RIL 201-1-2008. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL Ry. Helsinki. 2008.
- 6 Betoniteollisuus Ry. Jäykistysjärjestelmät.
<http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/rakennuksen-jaykistys/jaykistysjarjestelmat> 15.2.2011
- 7 Valtion teknillinen tutkimuskeskus ja Rakennustieto Oy. Step 2, puurakenteet. Tampere. 1998.
- 8 Kuusjärvi, M. Betonirungon stabiliteetin määrittäminen. Tampereen ammattikorkeakoulu, rakennustekniikan koulutusohjelma, tutkintotyö. Tampere. 2006.
- 9 Koivunen, Nyholm & Renholm. Gyproc käsikirja. Gyproc Oy. Helsinki. 2006.
- 10 Mäkelä, Soininen, Tuomola & Öistämö. Tekniikan Kaavasto. Tammertekniikka. Tampere. 2002.
- 11 Vainio, H. Rautaruukin putkipalkki käsikirja. Rautaruukki Oyj. Hämeenlinna. 2000.
- 12 SFS-EN 1993-1-1. Eurocode 3. Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Helsinki. 2005.

- 13 Kaitila, O. Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus Eurocode 3 – oppikirja. Teräsrakenneyhdistys ry. Helsinki. 2010.
- 14 SFS-EN 1991-1-2 Eurocode 1: Rakenteiden Kuormat. Osa 1-2: Yleiset kuormat. Palolle altistettujen rakenteiden rasitukset. Helsinki. 2003.
- 15 SFS-EN 1993-1-2. Eurocode 3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-2: Rakenteen palomitoitus. Helsinki. 2005.
- 16 Tikkurila Oy. Palonsuojamaalaus. 05.05.2011.
http://www.tikkurila.fi/teollinen_maalaus/metalliteollisuus/terasrakenteiden_palosuojaus/palosuojamaalaus
- 17 SFS-EN 1991-1-1. Eurocode 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-1: Yleiset kuormat, tilavuuspainot, oma paino ja rakennusten hyötykuormat. Helsinki. 2002.
- 18 SFS-EN 1991-1-7. Eurokoodi 1. Rakenteiden kuormat. Osa 1-7: Yleiset kuormat. Onnettomuuskuormat. Helsinki. 2007.
- 19 Rakentajain kalenteri 2006. Rakennusmestarit ja –insinöörit AMK RKL ry. Hämeenlinna. 2005.
- 20 Peikko Finland Oy. Peikko kiinnityslevyt. 20.02.2011.
<http://trinity.siteadmin.fi/File.aspx?id=421039&ext=pdf&routing=419671&webid=419723&name=Kiinnityslevyt%5F9%2D2007>

Lyhenteet

koko poikkileikkauksen pinta-ala

onnettomuuskuorma

levymäisen tuulijäkisteen pinta-ala

yksittäisen levyn pinta-ala

rakenteen tuulta vastaan kohtisuora projektiopinta-ala

poikkileikkaustekijä

osan leveys

rakennusmateriaalin kerroin

teräksen ominaislämpökapasiteetti

rakenteen voimakerroin

osapinnan nettotuulenpainekerroin

puristetun taso-osan pituus

annettu raja-arvo

kimmomoduuli

kimmomoduulin ominaisarvo 95% luottamuvälillä

taipuma

x-akselin suuntaisen puristuslujuuden ominaisarvo

x-akselin suuntaisen puristuslujuuden mitoitusarvo

mitoituslujuus kohtisuoralla puristukselle

taivutuslujuuden ominaisarvo

taivutuslujuuden mitoitusarvo

y-akselin suuntaisen puristuslujuuden mitoitusarvo

y-akselin suuntaisen puristuslujuuden mitoitusarvo

leikkauslujuuden ominaisarvo

leikkauslujuuden mitoitusarvo

teräksen myötölujuuden perusarvo

rakenteelle aiheutuva rasisitus

tuulen aiheuttama vetorasitus

tuulen aiheuttama puristusrasitus

kokonaistuulikuorman ominaisarvo

tasainen kuormitus, omapaino

pysyvien kuormien ominaisarvo

korkeus

nettolämpövuoto

nettolämpövuon kuljettumalla siirtyvä osa

nettolämpövuon säteilemällä siirtyvä osa

poikkileikkauksen jäyhyyssäde

jäyhyysmomentti

nurjahduskerroin

materiaalista riippuva tukipainekerroin

tukipainekerroin

nurjahduskerroin

kiepahduskerroin

virumaluku

teräksen kimmoisen alueen pienennystekijä

jännitys jakauma ja materiaalin epähomogeenisuuskerroin

materiaalin osavarmuuskerroin

teräksen myötörajan pienennystekijä

kosketuspinnan pituus syiden suunnassa

tehollinen kosketuspinnan pituus

palkin tehollinen kuormituspituus

rakenteen pituus

nurjahduspituus

nurjahduspituus teräspilarille

mitoitettava momentti

rakenteen momenttikapasiteetti

lukumäärä

nurjahduskestävyyden mitoitusarvo palotilanteessa

nurjahduskestävyyden mitoitusarvo

kriittinen voima nurjahdukselle

puristuskuorman mitoitusarvo

puristusvoiman mitoitusarvo

esijännitysvoima

tasainen kuormitus, hyötykuorma

tasainen mitoituskuorma

rakennuksen korkeutta h vastaava tuulen peruspaine

tuulen aiheuttama osapinnan nettopaine

lumi- tai hyötykuorman ominaisarvosta suurempi

lumi- tai hyötykuorman ominaisarvosta pienempi

muu muuttuva kuorma

tuulikuorman ominaisarvo

rakenteen kapasiteetin suunnitteluarvo

lumikuorman ominaisarvo maassa

lumikuorman ominaisarvo katolla

kuorman suunnitteluarvo

palotilanteen mitoituskuorma

anturalle aiheutuva mitoituskuorma

epästabiloivien voimien suunnitteluarvo

stabiloivien voimien suunnitteluarvo

pilarianturalle aiheutuva mitoituskuorma

pilarianturan kiinnityslevylle aiheutuva mitoituskuorma

pilarille aiheutuva mitoituskuorma

törmäystilanteen nurjahduskuorma

aika

palkin seinämän paksuus

leikkausjännityksen mitoituskuorma

taivutusvastus

kokonaistaipuma

pysyvän kuorman aiheuttama hetkellinen taipuma

lumikuorman aiheuttama hetkellinen taipuma

hyötykuorman aiheuttama hetkellinen taipuma

palkille ominainen taivutusvastus

vaadittava taivutusvastus

muotokerroin teräsrakenteille

kuljettumisen lämmönsiirtymiskerroin

teräspilarin lämpötilan nousu

korjauskerroin

palon säteilykerroin

rakenneosan pinnan säteilykerroin

näkyvyyskerroin

kaasun lämpötila palotilassa

rakenneosan lämpötila

muuttuvan kuorman yhdistelykerroin

materiaalin osavarmuuskerroin

materiaalin varmuuskerroin palotilanteessa

poikkileikkauksen suhteellinen hoikkuusluku

teräsrakenteen suhteellinen hoikkuus

palkin suhteellinen hoikkuus

teräksen tiheys

rakenteen jännitys

Stefan Boltzmann –vakio

syitä kohtisuoran puristusjännityksen mitoitusarvo

kriittinen taivutusjännitys

taivutusjännityksen mitoitusarvo

y-akselin suuntaisen taivutusjännityksen mitoitusarvo

z-akselin suuntaisen taivutusjännityksen mitoitusarvo

syysuuntaisen puristusjännityksen mitoitusarvo

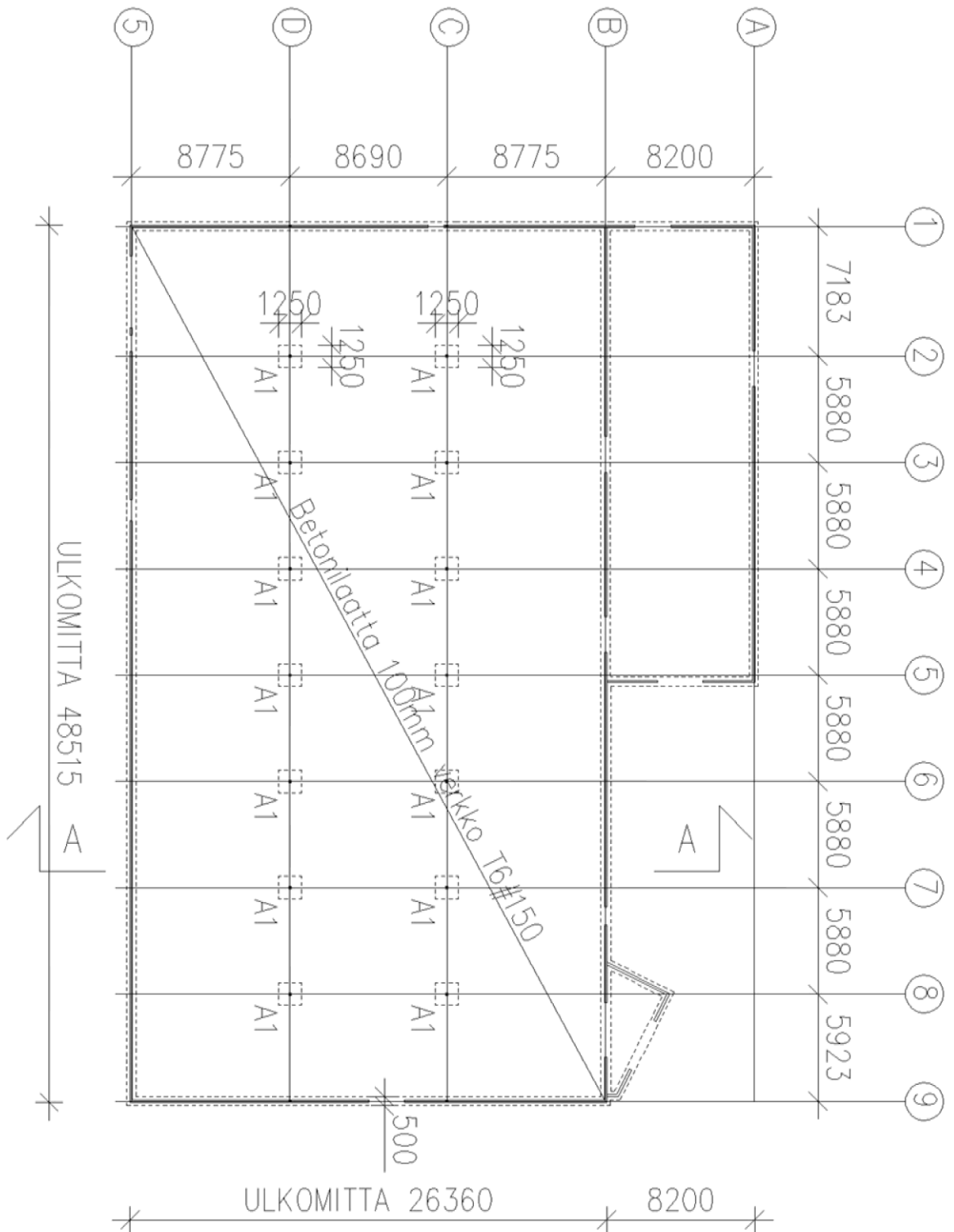
leikkausjännityksen mitoitusarvo

lumikuorman muotokerroin

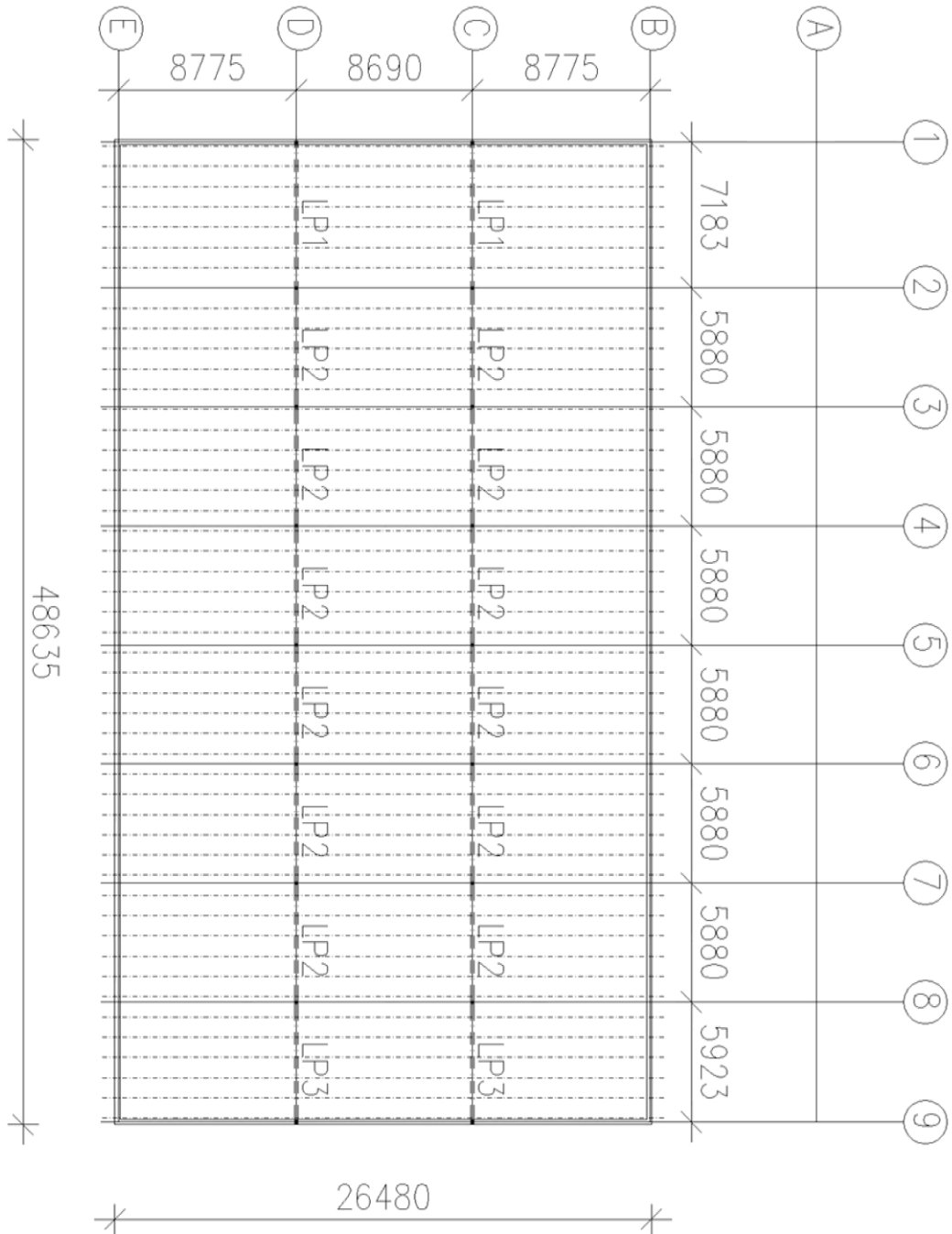
nurjahduksen pienennyskerroin

nurjahduksen pienennyskerroin palotilanteessa

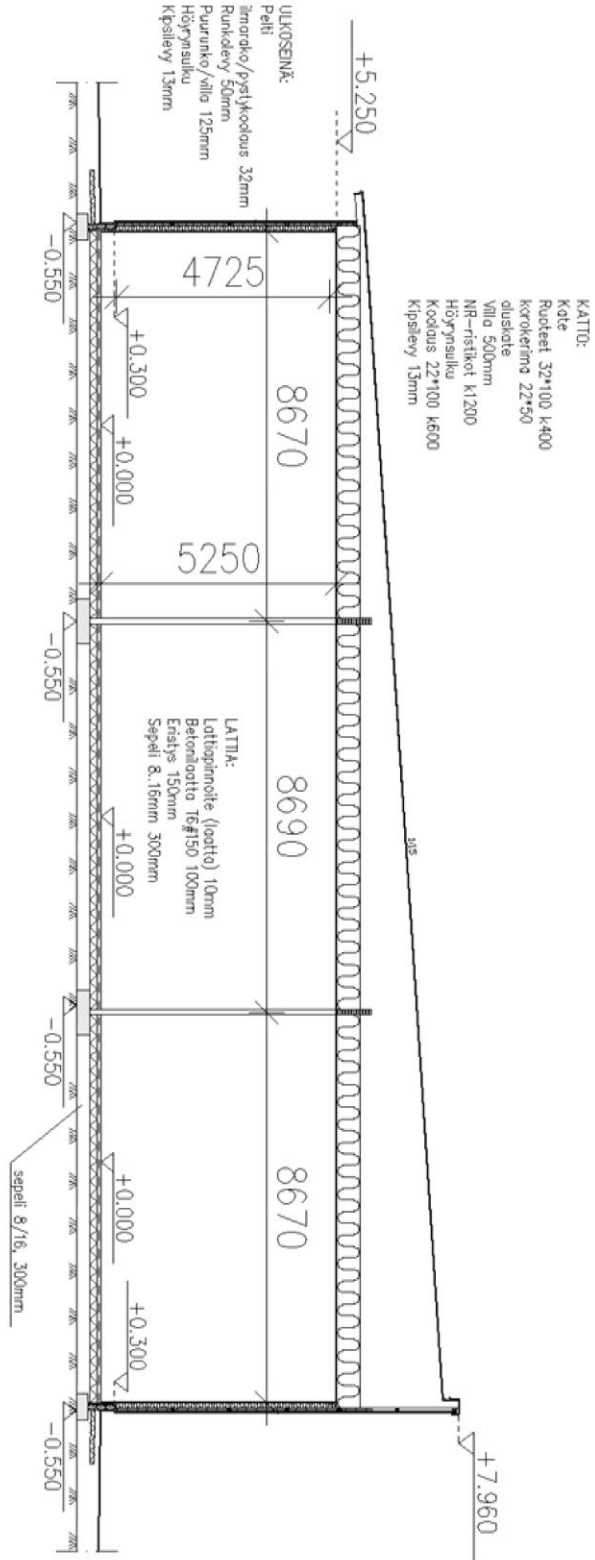
Alapohjan tasopiirustus



Yläpohjan tasopiirustus



Yleisleikkaus A – A



Liite 5

Gyproc levyjen jäykistyskapasiteetti eri kiinnikeväleillä

Murtorajatila, Aikaluokka C

| Ranka | Kiinnike | Levy- tyyppi | Kosteus- luokka | Kiinnikkeiden väli (mm) | | | | | |
|-------------------------------------|------------------------|-----------------|--------------------|-------------------------|------|------|------|------|------|
| | | | | 70 | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 |
| Puu | Ruuvit | | | | | | | | |
| | QMST 32 | GN 13 | 1 | 5,27 | 3,69 | 2,46 | 1,85 | 1,48 | 1,23 |
| | QMST 32 | GEK 13 | 1 | 8,57 | 6,00 | 4,00 | 3,00 | 2,40 | 2,00 |
| | QT 29 | GN 13 | 1 | 5,27 | 3,69 | 2,46 | 1,85 | 1,48 | 1,23 |
| | QTR 29 | GEK 13 | 1 | 7,25 | 5,08 | 3,38 | 2,54 | 2,03 | 1,69 |
| | QT 41 | GF 15 | 1 | 7,25 | 5,08 | 3,38 | 2,54 | 2,03 | 1,69 |
| | QU 32 | GTS 9 | 2 | 5,93 | 4,15 | 2,77 | 2,08 | 1,66 | 1,38 |
| | QU 32 | GTS 9 | 3 | 3,95 | 2,77 | 1,85 | 1,38 | 1,11 | 0,92 |
| Gyproc metalli- ranka 0,56 mm | Ruuvit | | | | | | | | |
| | QMST 32 | GN 13 | 1 | 4,61 | 3,23 | 2,15 | 1,62 | 1,29 | 1,08 |
| | QMST 32 | GEK 13 | 1 | 5,93 | 4,15 | 2,77 | 2,08 | 1,66 | 1,38 |
| | QS 25 | GN 13 | 1 | 4,61 | 3,23 | 2,15 | 1,62 | 1,29 | 1,08 |
| | QSR 25 | GEK 13 | 1 | 5,93 | 4,15 | 2,77 | 2,08 | 1,66 | 1,38 |
| | QS 25 | GF 15 | 1 | 6,59 | 4,62 | 3,08 | 2,31 | 1,85 | 1,54 |
| Puu | Konenaulat | | | | | | | | |
| | BTC (NK-R) | GEK 13 | 1 | 5,93 | 4,15 | 2,77 | 2,08 | 1,66 | 1,38 |
| | DF | GEK 13 | 1 | 5,93 | 4,15 | 2,77 | 2,08 | 1,66 | 1,38 |
| | Senco | GEK 13 | 1 | 5,93 | 4,15 | 2,77 | 2,08 | 1,66 | 1,38 |
| | Huopanaulat | | | | | | | | |
| | Huopanaula (HJ15, DPN) | GTS 9 | 2 | 5,27 | 3,69 | 2,46 | 1,85 | 1,48 | 1,23 |
| | Huopanaula (HJ15, DPN) | GTS 9 | 3 | 3,30 | 2,31 | 1,54 | 1,15 | 0,92 | 0,77 |
| | Ruuvinaula | | | | | | | | |
| | BTC (NKS) | GEK 13 | 1 | 6,59 | 4,62 | 3,08 | 2,31 | 1,85 | 1,54 |

Liite 6

Sahatavaran ja liimapuun ominaislujuuksia

| Lujuusluokka | | C14 T0 | C18 T1 | C24 T2 | C30 T3 | C35 ¹⁾ | C40 ¹⁾ |
|---|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------------|-------------------|
| Ominaislujuudet (N/mm ²) | | | | | | | |
| Taivutus | $f_{m,k}$ | 14 | 18 | 24 | 30 | 35 | 40 |
| Veto | $f_{t,0,k}$ | 8 | 11 | 14 | 18 | 21 | 24 |
| | $f_{t,90,k}$ | 0,4 | 0,5 | 0,5 | 0,6 | 0,6 | 0,6 |
| Puristus | $f_{c,0,k}$ | 16 | 18 | 21 | 23 | 25 | 26 |
| | $f_{c,90,k}$ | 2,0 | 2,2 | 2,5 | 2,7 | 2,8 | 2,9 |
| Leikkaus | $f_{v,k}$ | 1,7 | 2,0 | 2,5 | 3,0 | 3,4 | 3,8 |
| Jäykkyysominaisuudet (N/mm ²) | | | | | | | |
| Kimmo- moduuli | $E_{0,mean}$ | 7 000 | 9 000 | 11 000 | 12 000 | 13 000 | 14 000 |
| | $E_{0,05}$ | 4 700 | 6 000 | 7 400 | 8 000 | 8 700 | 9 400 |
| | $E_{90,mean}$ | 230 | 300 | 370 | 400 | 430 | 470 |
| Liukumoduuli | G_{mean} | 440 | 560 | 690 | 750 | 810 | 880 |
| | $G_{0,05}$ | 300 | 380 | 460 | 500 | 540 | 590 |
| Tiheydet (kg/m ³) | | | | | | | |
| Ominaisstiheys | ρ_k | 290 | 320 | 350 | 380 | 400 | 420 |
| Tiheyden keskiarvo | ρ_{mean} | 350 | 380 | 420 | 460 | 480 | 500 |

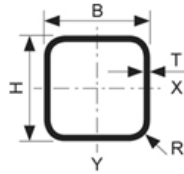
¹⁾ C35 tai C40 lujuusluokan sahatavaraa ei ole yleensä saatavilla puutavaraaliikkeistä.

| Lujuusluokka | | GL24c | GL28c | GL28h ¹⁾ | GL32c | GL32h ¹⁾ |
|---|---------------|--------|--------|---------------------|--------|---------------------|
| Ominaislujuudet (N/mm ²) | | | | | | |
| Taivutus | $f_{m,k}$ | 24 | 28 | 28 | 32 | 32 |
| Veto | $f_{t,0,k}$ | 14 | 16,5 | 19,5 | 19,5 | 22,5 |
| | $f_{t,90,k}$ | 0,35 | 0,4 | 0,45 | 0,45 | 0,5 |
| Puristus | $f_{c,0,k}$ | 21 | 24 | 26,5 | 26,5 | 29 |
| | $f_{c,90,k}$ | 2,4 | 2,7 | 3,0 | 3,0 | 3,3 |
| Leikkaus | $f_{v,k}$ | 2,2 | 2,7 | 3,2 | 3,2 | 3,8 |
| Jäykkyysominaisuudet (N/mm ²) | | | | | | |
| Kimmomoduli | $E_{0,mean}$ | 11 600 | 12 600 | 12 600 | 13 700 | 13 700 |
| | $E_{0,05}$ | 9 400 | 10 200 | 10 200 | 11 100 | 11 100 |
| | $E_{90,mean}$ | 320 | 390 | 420 | 420 | 460 |
| Liukumoduuli | G_{mean} | 590 | 720 | 780 | 780 | 850 |
| | $G_{0,05}$ | 480 | 580 | 630 | 630 | 690 |
| Tiheydet (kg/m ³) | | | | | | |
| Ominaisstiheys | ρ_k | 350 | 380 | 410 | 410 | 430 |
| Tiheyden keskiarvo | ρ_{mean} | 390 | 430 | 460 | 470 | 500 |

¹⁾ Homogeenista liimapuuta valmistetaan yleensä vain tilauksesta.

Liite 7

Neliön muotoisten rakenneputkipalkkien ominaisuuksia teräslajille S355J2H



M = paino
A = poikkipinta-ala
A_u = ulkopinta-ala
I = jäyhyyshmomentti
W = taivutusvastus

W_p = plastinen taivutusvastus
i = jäyhyyssäde
I_v = vääntöjäyhyyshmomentti
W_v = vääntövastus
Ainestiheys = 7,85 kg/dm³

Poikkileikkauksen ominaisuudet on laskettu käyttämällä nimellismittoja H, B ja T ja nurkan ulkosädettä R:
R = 2,0 x T, kun T ≤ 6,0 mm
R = 2,5 x T, kun 6,0 mm < T ≤ 10,0 mm
R = 3,0 x T, kun T > 10,0 mm

suositussarjat

| H x B mm | T mm | M kg/m | A mm ² x 10 ² | A _u m ² /m | I _x = I _y mm ⁴ x 10 ⁴ | W _x = W _y mm ³ x 10 ³ | W _{px} = W _{py} mm ³ x 10 ³ | i _x = i _y mm x 10 | I _v mm ⁴ x 10 ⁴ | W _v mm ³ x 10 ³ |
|-------------|---------|-----------|--|-------------------------------------|--|--|--|--|---|---|
| 100 x 100 | 2.5 | 7.53 | 9.59 | 0.391 | 150.63 | 30.13 | 34.86 | 3.96 | 235.21 | 45.23 |
| 100 x 100 | 3 | 8.96 | 11.41 | 0.39 | 177.05 | 35.41 | 41.21 | 3.94 | 278.68 | 53.19 |
| 100 x 100 | 4 | 11.7 | 14.95 | 0.386 | 226.35 | 45.27 | 53.3 | 3.89 | 362.01 | 68.1 |
| 100 x 100 | 5 | 14.4 | 18.36 | 0.383 | 271.1 | 54.22 | 64.59 | 3.84 | 440.52 | 81.72 |
| 100 x 100 | 6 | 17 | 21.63 | 0.379 | 311.47 | 62.29 | 75.1 | 3.79 | 514.16 | 94.12 |
| 100 x 100 | 7.1 | 19.4 | 24.65 | 0.37 | 340.13 | 68.03 | 83.59 | 3.71 | 589.17 | 105.56 |
| 100 x 100 | 8 | 21.4 | 27.24 | 0.366 | 365.94 | 73.19 | 91.05 | 3.67 | 644.51 | 114.23 |
| 100 x 100 | 10 | 25.6 | 32.57 | 0.357 | 411.08 | 82.22 | 105.25 | 3.55 | 749.84 | 130.1 |
| 110 x 110 | 2.5 | 8.31 | 10.59 | 0.431 | 202.38 | 36.8 | 42.47 | 4.37 | 314.86 | 55.23 |
| 110 x 110 | 3 | 9.9 | 12.61 | 0.43 | 238.34 | 43.33 | 50.27 | 4.35 | 373.51 | 65.07 |
| 110 x 110 | 4 | 13 | 16.55 | 0.426 | 305.94 | 55.62 | 65.21 | 4.3 | 486.47 | 83.63 |
| 110 x 110 | 5 | 16 | 20.36 | 0.423 | 367.95 | 66.9 | 79.27 | 4.25 | 593.6 | 100.74 |
| 110 x 110 | 6 | 18.9 | 24.03 | 0.419 | 424.57 | 77.19 | 92.46 | 4.2 | 694.85 | 116.47 |
| 120 x 120 | 3 | 10.8 | 13.81 | 0.47 | 312.35 | 52.06 | 60.24 | 4.76 | 487.72 | 78.15 |
| 120 x 120 | 4 | 14.3 | 18.15 | 0.466 | 402.28 | 67.05 | 78.33 | 4.71 | 636.57 | 100.75 |
| 120 x 120 | 5 | 17.6 | 22.36 | 0.463 | 485.47 | 80.91 | 95.45 | 4.66 | 778.5 | 121.75 |
| 120 x 120 | 5.6 | 19.5 | 24.82 | 0.461 | 532.25 | 88.71 | 105.26 | 4.63 | 860.31 | 133.61 |
| 120 x 120 | 6 | 20.8 | 26.43 | 0.459 | 562.16 | 93.69 | 111.61 | 4.61 | 913.46 | 141.22 |
| 120 x 120 | 7.1 | 23.8 | 30.33 | 0.449 | 623.3 | 103.88 | 125.65 | 4.53 | 1056.01 | 160.08 |
| 120 x 120 | 8 | 26.4 | 33.64 | 0.446 | 676.88 | 112.81 | 137.81 | 4.49 | 1162.95 | 174.58 |
| 120 x 120 | 8.8 | 28.6 | 36.48 | 0.442 | 719.88 | 119.98 | 147.89 | 4.44 | 1252.41 | 186.45 |
| 120 x 120 | 10 | 31.8 | 40.57 | 0.437 | 776.81 | 129.47 | 161.82 | 4.38 | 1376.41 | 202.52 |

Suorakaiteenmuotoiset S355J2H- ja muut EN 10219 mukaiset rakenneputket.
Rautaruukki Oyj. 10.5.2011. <http://www.ruukki.fi/Tuotteet-ja-ratkaisut/Terastuotteet/Rakenneputket/Suorakaiteenmuotoiset-rakenneputket/Suorakaiteenmuotoiset-S355J2H--ja-muut-EN-10219-mukaiset-rakenneputket>

Liite 8

Teräksen lujuusominaisuuksien pienennystekijät palotilanteessa

| Teräksen lämpötila | Pienennystekijät lämpötilassa θ_a suhteessa 20 °C lämpötilaa vastaaviin arvoihin f_y tai E_a | | |
|--------------------|---|---|---|
| | Tehollisen myötörajan pienennystekijä (suhteessa arvoon f_y) $k_{y,\theta} = f_{y,\theta} / f_y$ | Suhteellisuusrajan pienennystekijä (suhteessa arvoon f_y) $k_{p,\theta} = f_{p,\theta} / f_y$ | Kimmokertoimen pienennystekijä (suhteessa arvoon E_a) $k_{E,\theta} = E_{a,\theta} / E_a$ |
| 20 °C | 1,000 | 1,000 | 1,000 |
| 100 °C | 1,000 | 1,000 | 1,000 |
| 200 °C | 1,000 | 0,807 | 0,900 |
| 300 °C | 1,000 | 0,613 | 0,800 |
| 400 °C | 1,000 | 0,420 | 0,700 |
| 500 °C | 0,780 | 0,360 | 0,600 |
| 600 °C | 0,470 | 0,180 | 0,310 |
| 700 °C | 0,230 | 0,075 | 0,130 |
| 800 °C | 0,110 | 0,050 | 0,090 |
| 900 °C | 0,060 | 0,0375 | 0,0675 |
| 1000 °C | 0,040 | 0,0250 | 0,0450 |
| 1100 °C | 0,020 | 0,0125 | 0,0225 |
| 1200 °C | 0,000 | 0,0000 | 0,0000 |

HUOM. Väliarvot lämpötilan suhteen saadaan lineaarista interpolointia käyttäen.