

Tuomas Kankaanpää

Puurunkoisen konehallin runkovaihtoehdot ja rakennesuunnittelu

Opinnäytetyö

Kevät 2016

SeAMK Tekniikka

Rakennustekniikan koulutusohjelma

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Tutkinto-ohjelma: Rakennustekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Talonrakennustekniikka

Tekijä: Tuomas Kankaanpää

Työn nimi: Puurunkoisen konehallin runkovaihtoehdot ja rakennesuunnittelu

Ohjaaja: Martti Perälä

Vuosi: 2016

Sivumäärä: 34

Liitteiden lukumäärä: 9

Opinnäytetyössä käydään läpi puurunkoisen konehallin runkovaihtoehdot sekä suunnitellaan konehalli ja mitoitetaan hallin rakenteet ja jäykistys. NR-ristikoita ei kuitenkaan mitoiteta tässä työssä. Lisäksi käydään läpi rakennushanketta ja rakentamista koskevia määräyksiä. Työssä käsiteltävien runkovaihtoehtojen kantavat rakenteet koostuvat pääasiassa esivalmistetuista pilareista, palkeista, kehistä ja ristikoista.

Suunniteltava halli on kooltaan n. 150 m² ja siitä n.70 m² on lämmitettävää huolto- ja korjaustilaa ja loput kylmää varastotilaa. Hallin runkoratkaisuna käytetään NR-ristikoita ja pystyrunkorunkoa sekä lämmitettävällä osalla harkkorunkoa.

Avainsanat: rakennesuunnittelu, runkorakenteet, puurakenteet

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Construction Engineering

Specialisation: Building Construction

Author: Tuomas Kankaanpää

Title of thesis: Timber framed machinery hall's frame structures and structural design

Supervisor: Martti Perälä

Year: 2016

Number of pages: 34

Number of appendices: 9

The thesis dealt with the frame structures of a timber framed machinery. The thesis also studied hall design, the design structures and bracing. However, roof trusses were not designed in the thesis. In addition, the thesis observed a building project and building regulations. Frame structures handled in the thesis consisted mainly of prefabricated columns, beams, frames and trusses.

The area of the designed hall was approximately 150 m², approximately 70 m² was heated service space and the rest of the space was unheated storage space. The frame structures of the hall would be made of roof trusses and the unheated part of the hall would be made with a vertical design frame. The heated part of the hall would be made of blocks.

Keywords: structural design, skeleton constructions, wooden structures

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	1
Thesis abstract.....	2
SISÄLTÖ.....	2
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo.....	5
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	6
1 JOHDANTO.....	7
2 TYÖN KUVAUS.....	8
2.1 Työn tavoitteet.....	8
2.2 Työn rajaukset.....	8
3 RAKENNUSHANKE.....	9
3.1 Rakennushankkeen vaiheet.....	9
3.2 Tarveselvitys.....	9
3.3 Hankesuunnittelu.....	9
4 RUNKOVAIHTOEHDOT.....	11
4.1 Yleistä konehalleista.....	11
4.2 Puurunko.....	11
4.2.1 NR-ristikot ja kantavat puurankaseinät.....	11
4.2.2 Pilari-palkki-runko.....	12
4.2.3 Kehärunko.....	13
4.2.4 Post-Frame.....	14
4.2.5 Kolminivelkehät.....	15
4.3 Harkko.....	16
4.4 Rakennustavan valinta.....	16
5 RAKENTAMISMÄÄRÄYKSET.....	18
5.1 Rakentamismääräyskokoelma.....	18
5.2 Palomääräykset.....	18
5.3 U-arvo.....	18
6 RAKENNESUUNNITTELU.....	19
6.1 Perusvaatimukset.....	19

6.2 Kuormitukset.....	19
6.2.1 Lumikuorma.....	19
6.2.2 Tuulikuorma.....	20
6.3 Alapohja.....	22
6.4 Perustukset.....	22
6.4.1 Anturan mitoitus.....	23
6.4.2 Routasuojaus.....	25
6.5 Puurunko.....	26
6.6 Harkkoseinä.....	26
6.7 Oviaukon palkki.....	28
6.8 Yläpohja.....	28
6.9 Jäykistys.....	28
7 YHTEENVETO.....	31
LÄHTEET.....	32
LIITTEET.....	34

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuvio 1. NR-ristikot ja kantavat puurankaseinät.....	12
Kuvio 2. Pilari-palkki-runko	13
Kuvio 3. Kehärunko.....	14
Kuvio 4. Post-Frame	15
Kuvio 5. Kolminivelkehä.....	16
Kuvio 6. Lumikuorman ominaisarvo kN/m^2 maassa.....	20
Kuvio 7. Ilmastovyöhykkeet	25
Kuvio 8. Seinälohkossa ja levyssä vaikuttavat voimat	29

Käytetyt termit ja lyhenteet

MRT	Murtorajatila. Tila, jossa rakenne menettää kantokykynsä.
Ominaiskuorma	Kuormaa ensisijaisesti edustava arvo.
Mitoituskuorma	Kuorma, joka saadaan kertomalla ominaiskuorma ao. osavarmuusluvulla.

1 JOHDANTO

Opinnäytetyössä käydään läpi erilaisia puurunkoisen konehallin runkoratkaisuja, niiden suositeltavat jännevälit, pilari- /kehäjaot, sekä rakenteen jäykistysperiaatteet. Työssä suunnitellaan konehalli ja mitoitetaan sen rakenteet. Lisäksi käydään läpi joitakin rakentamismääräyksiä ja rakennushanketta.

Puu on ollut perinteinen rakennusmateriaali maatalouden rakentamisessa, sillä se sopii hyvin omatoimirakentamiseen. Työssä suunniteltava halli pyritään toteuttamaan myös yksinkertaisilla ja omatoimiseen rakentamiseen sopivilla ratkaisuilla. Hallista noin puolet tulee lämmitettävää korjaamo- /huoltotilaa ja loput kylmää varastotilaa.

2 TYÖN KUVAUS

2.1 Työn tavoitteet

Työn tavoitteena on suunnitella ja mitoittaa tarpeita vastaava konehalli, jonka lisäksi työssä esitellään puurunkoisen konehallin runkovaihtoehtoja sekä käydään läpi rakennushanketta yleensä ja joitakin rakentamista koskevia määräyksiä. Rakenteet pyritään toteuttamaan yksinkertaisilla ja kustannustehokkailla ratkaisuilla.

2.2 Työn rajaukset

Työssä käsiteltävät runkovaihtoehdot rajautuvat ainoastaan puurunkoihin, vaikka ne voitaisiin toteuttaa myös betoni- tai teräsrakenteisina. Puun lisäksi materiaalina esitellään kevytbetoniharkko, jolla toteutetaan hallin lämpimän osan kantavat rakenteet. Mitoitus käydään läpi suunniteltavaan rakennukseen käytettäville rakenteille sekä rakennuksen jäykistykselle. NR-ristikoita ei kuitenkaan mitoiteta tässä työssä. Rakentamismääräyksistä käydään läpi U-arvon ja palomääräysten asettamat vaatimukset rakennukselle.

3 RAKENNUSHANKE

3.1 Rakennushankkeen vaiheet

Rakennushankkeen tarkoituksena on tuottaa tilaajan toiminnan tarvitsemat tilat. Rakennushanke muodostuu ajallisesti etenevistä vaiheista, joita ovat tarveselvitys, hankesuunnittelu, rakennussuunnittelu, rakentaminen ja käyttöönotto. (Männistö, Takala & Siltala 2005, 8.)

3.2 Tarveselvitys

Tarveselvitys edeltää kaikkia muita suunnittelutoimenpiteitä ja siinä päätetään hankkeen kannalta oleellisimmista piirteistä ja vaikutetaan eniten syntyviin kustannuksiin. Tarveselvitys sisältää yleensä hankkeen tavoitteiden määrittelyn, eri tilanhankintavaihtoehtojen selvittämisen ja vertailun, sekä hankepäättöksen valmistelun. Hankeen tavoitteita määriteltäessä tulee ottaa huomioon mm. mitä tarvittavassa tilassa tehdään, toiminnan tarvitsemat tilat, taloudelliset tavoitteet ja rajoitteet. Eri tilanhankintavaihtoehtoja on tilojen osto tai vuokraus, omien uusien tilojen rakentaminen tai jääminen vanhoihin tiloihin. Hankepäättöksen tekemistä varten kootaan tarveselvitysasiakirja, jonka perusteella tilaaja tekee päätöksen hankkeeseen ryhtymisestä. Tarveselvitysasiakirja sisältää mm. hankkeen perustiedot, tilatarpeet, tilamitoituksen, tonttitiedot, rahoitus-, kustannus- ja hyötyanalyysit ja aikataulun. (Männistö, Takala & Siltala 2005,13–14.)

3.3 Hankesuunnittelu

Hankesuunnittelu aloitetaan, kun tilaaja on tarveselvityksen jälkeen tehnyt hankepäättöksen. Hankesuunnitteluun osallistuu yleensä rakennuksen käyttäjä, rakentaja ja suunnittelijat. Hankesuunnittelussa selvitetään yksityiskohtaisesti rakennushankkeen toteuttamismahdollisuudet ja laaditaan suunnitteluohje rakennussuunnitelmaa varten. Suunnitteluvaiheella on suuri vaikutus rakennushankkeen kustannuksiin, sillä rakennuskustannukset määräytyvä lähes kokonaan suunnitte-

luvaiheessa tehtyjen ratkaisujen perusteella. (Männistö, Takala & Siltala 2005, 15–18.)

4 RUNKOVAIHTOEHDOT

4.1 Yleistä konehalleista

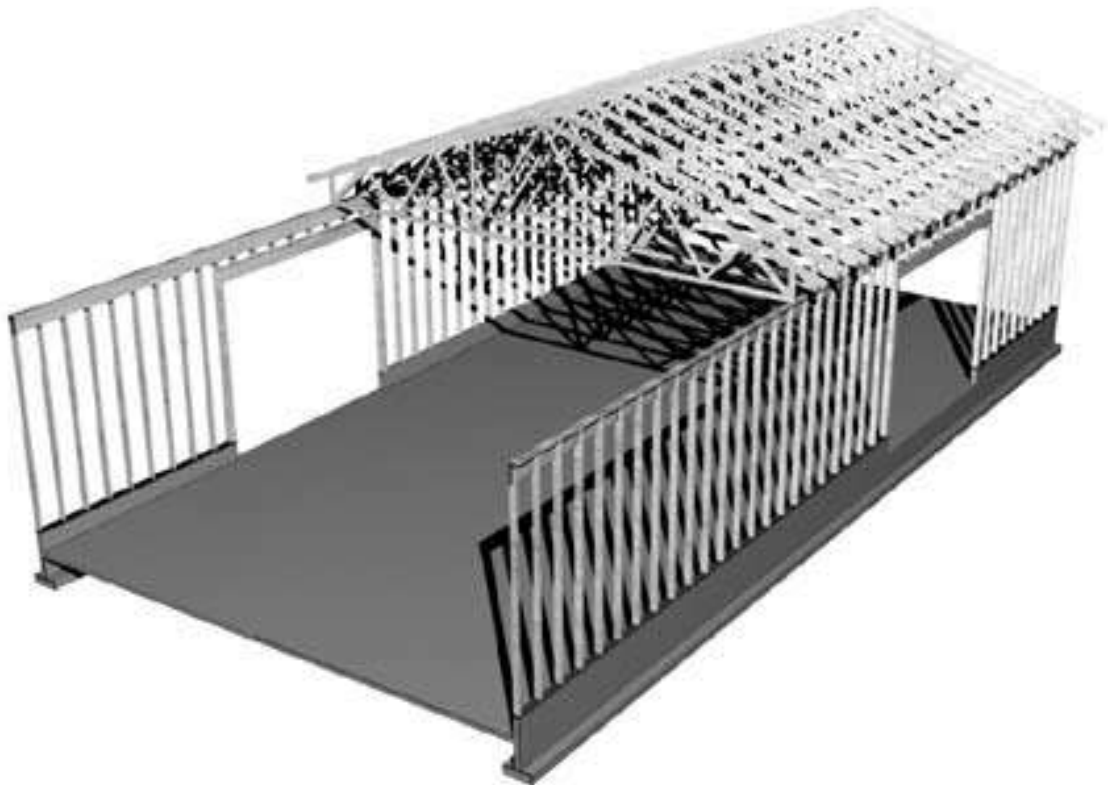
Konehallin toiminnallisuuden kannalta suunnittelussa tulee varautua siihen, että oviaukkoja voidaan sijoittaa vapaasti haluttuihin kohtiin. Ovien leveyden tulee olla 3,6–4 m ja korkeuden 3,5–4 m. Suurimpia koneita varten hallin päätyihin voidaan tarvittaessa sijoittaa suurempia ovia. Rakennerratkaisussa on varauduttava myös käyttötarpeiden muuttumiseen, jolloin halli, tai osa siitä, voidaan lämmöneristää esimerkiksi koneiden huolto- ja korjaustilaksi. (Kurkela, Kivinen, Westman & Kevarinmäki 2003, 24.)

4.2 Puurunko

Puu on ollut perinteisesti pääsääntöinen rakennusmateriaali maatalousrakennuksissa johtuen siitä, että tiloilla on ollut käytettävissä omasta metsästä saatavaa puutavaraa. Näin ollen on pystytty rakentamaan kustannustehokkaasti hyödyntämällä omaa työvoimaa ja puutavaraa. (Lahtela 2008, 10.)

4.2.1 NR-ristikot ja kantavat puurankaseinät

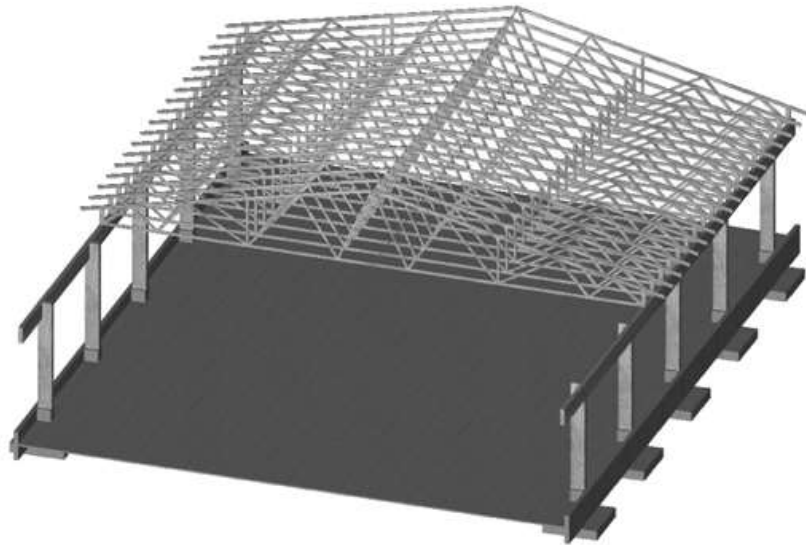
Nykyään yleisesti käytetty konehallin rakennerratkaisu koostuu kantavasta rankaseinästä ja naulalevyristikosta. Rakennuksen korkeus määräytyy yleensä tarvittavien oviaukkojen korkeuden mukaan ja jänneväli on yleensä n.12 m, mutta vaihtelee tarpeen mukaan. Ovien ja ikkunoiden sijoittelu on vapaata, mutta kantavilla seinillä vaaditaan palkit aukkojen päällä. Erityisesti pitkissä halleissa jäykistys on ongelmallista ja jatkaminen voi olla vaikeaa, koska päätyseinät toimivat yleensä jäykistävinä rakenteina. Kuviossa 1 esitetään kyseinen rakennerratkaisu. (Kurkela, Kivinen, Westman & Kevarinmäki 2003, 29–30.)



Kuvio 1. NR-riistkot ja kantavat puurankaseinät (Lahtela 2008, 57).

4.2.2 Pilari-palkki-runko

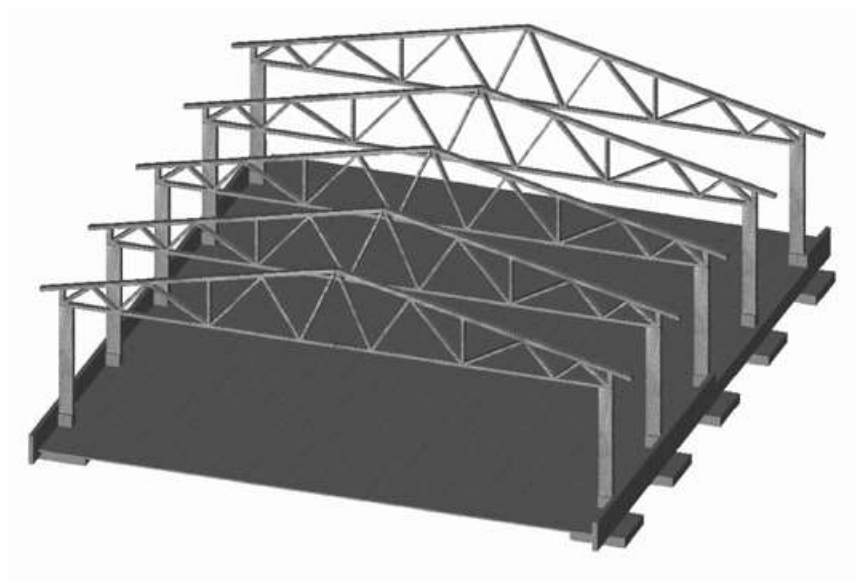
Kantavat rakenteet muodostuvat pilareista ja palkeista, jotka voidaan tehdä kertosai liimapuusta, sekä yläpohjan NR-riistikoista. Pilarijako voidaan suunnitella vapaasti huomioiden tarvittavien ovien koot. Tyypillinen pilarijako on 5–6 m, jolloin palkki ei kasva liian suureksi. Jänneväli on tyypillisesti alle 20 m ja NR-riistikoiden jako k900. Poikittaissuunnassa rakennuksen jäykistys voidaan toteuttaa mastopilareilla. Mastopilareiden väliin jäävä osuus tulee jäykistää esimerkiksi alakaton levytyksellä, ellei pääpalkki ole riittävän jäykkä vaakakuormille. Ristikoiden tuenta on myös työlästä. Rakennusratkaisu on esitetty kuviossa 2. (Lahtela 2008, 31, 39, 41.)



Kuvio 2. Pilari-palkki-runko (Lahtela 2008, 39).

4.2.3 Kehärunko

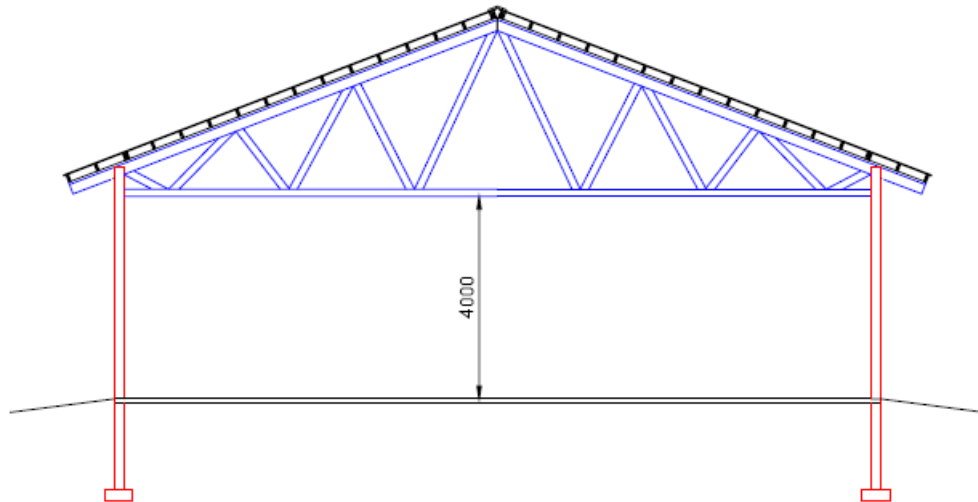
Kantavat rakenteet koostuvat mastopilareista, jotka tehdään kerto- tai liimapuusta, sekä yläpohjan NR-ristikoista, joita on tyypillisesti useampi samassa nipussa. Kehäjako voidaan suunnitella vapaasti, mutta tyypillisesti käytetään 4–5 m kehäjakoja ja jänneväli alle 20 m. Rakennus jäykistetään kehien suunnassa mastopilareille ja pituussuunnassa kehien väliin asennettavilla jäykisteristikoilla. Kehärunko on esitetty kuviossa 3. (Lahtela 2008, 31, 40–41.)



Kuvio 3. Kehärunko (Lahtela 2008, 40).

4.2.4 Post-Frame

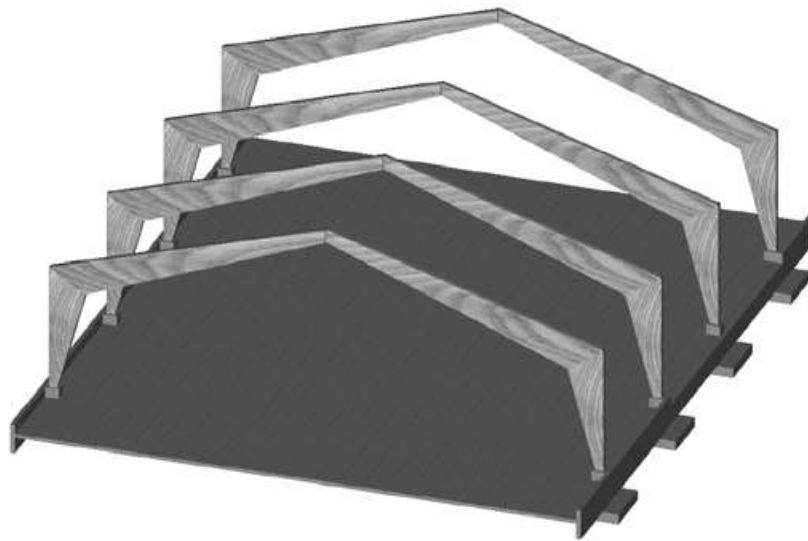
Post-Frame-rakennuksen runko koostuu myös mastopilareista ja NR-ristikoista. Mastopilareina käytetään kyllästettyä puutavaraa, sillä rakenteessa perustukset kaivetaan routarajan alapuolelle, jonka pohjalle valetaan pilarianturat ja pilarit lähtevät maan alta anturan päältä. Pilarin ympärystä on tiivistettävä huolellisesti, koska sillä on huomattava vaikutus pilarin vakavuuteen. Pilarijako voidaan suunnitella vapaasti huomioiden tarvittavien oviaukkojen koot. Yleensä käytetään k2400 jakoa, jolloin aukkojen kohdalta jätetään yksi pilari pois ja käytetään aukkopalkkia. Yläpohja toteutetaan yleensä NR-ristikoilla, jotka asennetaan pilarijaolla. Tarvittaessa käytetään useampia ristikoita nipussa. Rakennus jäykistetään mastopilareilla ja katon profiilipellillä. Kuviossa 4 on esitettyä periaatelineen leikkauskuva kyseisestä rakenneratkaisusta. (Kurkela, Kivinen, Westman & Kevarinmäki 2003, 35–38.)



Kuvio 4. Post-Frame (Kurkela, Kivinen, Westman & Kevarinmäki 2003, 53).

4.2.5 Kolminivelkehät

Kolminivelkehän pääkannatin koostuu kahdesta puoliskosta, jotka voidaan tuoda työmaalle myös useampina osina. Tällöin kehän puoliskot kootaan työmaalla ennen asennusta. Kehät voidaan tehdä kertopuusta, liimapuusta tai NR-ristikoista. Kehäjako voidaan suunnitella vapaasti, mutta tyypillisesti käytetty kehäjako on 4,8–8 m huomioiden tarvittavien ovien koon. Jänneväli on yleensä 15–25 m. Rakennuksen jäykistys on helppoa, sillä kehän suunnassa rakenne on jäykkä ja pituussuuntainen jäykistys voidaan toteuttaa kehien väliin asennettavilla jäykisteristikoilla. Rakenteen huonona puolena on kuitenkin kalteva kehäjalka, joka saattaa häiritä rakennuksen käyttöä. Kolminivelkehät on esitetty kuviossa 5. (Kurkela, Kivinen, Westman & Kevarinmäki 2003, 32; Lahtela 2008, 31, 38, 41.)



Kuvio 5. Kolminivelkehä (Lahtela 2008, 38).

4.3 Harkko

Harkkorakenteisena toteutettuna, käyttäen siporex harkkoa, harkko toimii kantavana rakenteena ja samalla lämmöneristeenä. Siporex on hyvin kosteutta kestävä ja paloturvallinen materiaali. Yksiaineisuuden vuoksi seinään ei muodostu materiaalien rajapintoja, joihin kosteudella on tapana tiivistyä. Massiivinen kivirakenne tasaa myös äkillisiä lämpötilojen muutoksia, sillä se varastoi huomattavan määrän lämpöä itseensä. (Tietoa siporexista, [Viitattu 15.2.2016].)

Harkkorakennetta käytettäessä lämpimän osan runko toteutettaisiin harkolla ja kylmä osa puurunkoisena. Harkkoseinän ulkopuolen pinnoitus toteutetaan tavallisesti rappauksella, mutta rakennuksen julkisivun sovittamiseksi ympäröiviin rakennuksiin käytetään tässä tapauksessa ulkoverhoiluna puupaneelia.

4.4 Rakennustavan valinta

Rakennus tulee sijoittumaan tontilla jo olemassa olevien rakennusten väliin, joten rakennuksen pohjan koko n.10 m x 15 m määräytyi osittain rakennuspaikan mu-

kaan. Rakennuksen julkisivun tulee sopeutua jo olemassa oleviin rakennuksiin, joten ulkoverhouksena käytetään pystypaneelia ja vesikaton päällysrakenteena peltikatetta. Rakennuksen toiseen päähän tulisi kylmää varastotilaa koneille ym. ja toiseen päähän sijoitettaisiin lämmin koneiden huolto- ja korjaustila. Lämmitetylle tilalle ei välttämättä ole aina ympärivuotisesti tarvetta, joten rakenteet pyritään tekemään sellaisista materiaaleista, jotka kestävät myös vaikei tilaa lämmitettäisiin. Tässä tapauksessa runko päätettiin tehdä kylmältä osalta puurankarunkona ja lämpöiseltä osalta harkkorakenteisena sen palo- ja kosteusominaisuuksien vuoksi. Yläpohja toteutetaan NR-ristikoilla. Pystyrankarunkoon päädyttiin sen yksinkertaisen rakenteen vuoksi, sekä perustukset voidaan toteuttaa vastaavanlaisina kuin harkkoseinän osalla. Rakennuksen kuvat liitteissä 1–3.

5 RAKENTAMISMÄÄRÄYKSET

5.1 Rakentamismääräyskokoelma

Maankäyttö- ja rakennuslaissa määritellään rakentamista koskevat yleiset edellytykset, olennaiset tekniset vaatimukset sekä rakentamisen lupamenettely ja viranomaismääräykset. Rakentamismääräyskokoelmaan on koottu tarkemmat rakentamista koskevat säännökset ja ohjeet, jotka koskevat yleensä uuden rakennuksen rakentamista. Korjaus- ja muutostöiden yhteydessä määräyksiä sovelletaan mahdollisuuksien mukaan huomioiden toimenpiteiden laatu ja laajuus. (Rakentamismääräykset, [Viitattu 25.3.2016].)

5.2 Palomääräykset

Rakennuksen paloluokkaan vaikuttaa kerrosluku, rakennuksen korkeus, kerrosala, henkilömäärä ja palo-osastojen pinta-ala, joille on asetettu tiettyjä ehtoja ja rajoituksia käyttötarkoituksesta ja paloluokasta riippuen. Kyseinen rakennus on yksi-kerroksinen ja alle 14m korkea (tuotanto- ja varastorakennukset), jolloin rakennuksen paloluokka on P3. (RakMK E1 2011; RakMK E2 2005.)

5.3 U-arvo

Rakennuksen lämmitettävä osa on puolilämmintä tilaa, jonka rakennusosien u-arvon vertailuarvoiksi on asetettu seinälle 0,26 W/m²K, yläpohjalle 0,14 W/m²K, alapohjalle 0,24 W/m²K sekä ikkunoille ja oville 1,4 W/m²K. Rakennuksen kylmälle osalle ei ole asetettu u-arvo vaatimuksia. (RakMK C3 2009.)

6 RAKENNESUUNNITTELU

6.1 Perusvaatimukset

Rakenteet tulee suunnitella ja toteuttaa siten, että ne pysyy vaadittuun tarkoitukseen käyttökelpoisena ja kestää kaikki kuormat ja vaikutukset, joita todennäköisesti esiintyy suunnitellun käyttöiän aikana. Vaatimukset täytetään valitsemalla soveltuvat materiaalit, suunnittelemalla rakenne yksityiskohtineen asianmukaisesti ja määrittelemällä kyseisen hankkeen kannalta merkitykselliset suunnittelun, tuotannon, toteutuksen ja käytön valvontamenettelyt. (SFS-EN 1990 + A1 + AC 2006.)

6.2 Kuormitukset

Kuormat luokitellaan niiden aikariippuvuuden perusteella pysyviin, muuttuviin ja onnettomuuskuormiin. Kuormat luokitellaan myös niiden alkuperän mukaan välittömiksi tai välillisiksi, niiden vaikutuskohdan vaihtelun mukaan kiinteiksi tai muuttuviksi ja niiden luonteen tai rakenteen vasteen perusteella staattisiksi tai dynaamisiksi. Rakenteille aiheutuu pysyviä kuormia rakenteiden omasta painosta, sekä muuttuvia kuormia hyötykuormista, lumikuormasta ja tuulikuormasta. (SFS-EN 1990 + A1 + AC 2006.)

6.2.1 Lumikuorma

Lumikuorma on muuttuva, kiinteä kuorma. Lumikuorma määritetään standardi SFS-EN 1991-1-3 mukaan kaavasta

$$s = \mu_i * C_e * C_t * s_k \quad (1)$$

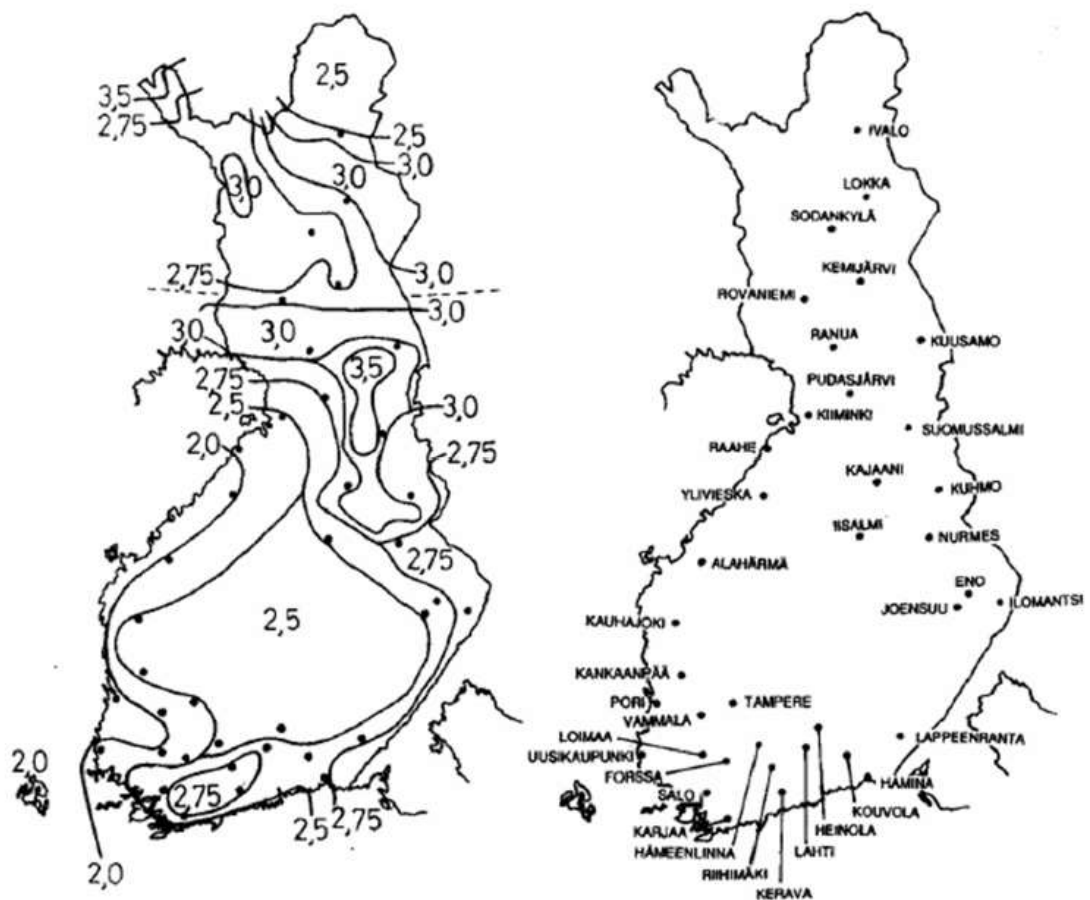
missä

μ_i	on lumikuorman muotokerroin
C_e	on tuulensuojaisuuskerroin
C_t	on lämpökerroin

s_k on maanpinnan lumikuorman ominaisarvo

Maanpinnan lumikuorman ominaisarvo s_k voidaan määrittää SFS-EN 1991-1-3, kansallisen liitteen kuvan mukaan (kuvio 6) tai vaihtoehtoisesti paikkakunta-kohtaisen taulukon mukaisesti julkaisusta RIL 205-1-2007.

Tässä tapauksessa lumikuormaksi saatiin $1,7 \text{ kN/m}^2$, kun maanpinnan lumikuorman ominaisarvona käytettiin paikkakunta-kohtaista arvoa $2,1 \text{ kN/m}^2$.



Kuvio 6. Lumikuorman ominaisarvo kN/m^2 maassa (SFS-EN 1991-1-3 2004).

6.2.2 Tuulikuorma

Tuulikuormat ovat ajan mukaan vaihtelevia kuormia ja luokitellaan muuttuviksi, kiinteiksi kuormiksi. Ne aiheuttavat painetta tai imua umpinaisten rakenteiden ulkopintoihin, sekä avoimien rakenteiden sisäpintoihin. Suurilla pinnoilla myös pin-

nan suuntaiset kitkavoimat voivat olla merkittäviä. Tuulikuormaa laskettaessa määritetään rakennuksen maastoluokka maaston rosoisuuden mukaan. Maastoluokan ja rakennuksen korkeuden mukaan määritetään puuskanopeuspaine q_p , jonka arvoksi saatiin tässä tapauksessa $0,60 \text{ kN/m}^2$, kun rakennus sijoittuu maastoluokkaan 2 ja korkeus on $7,5 \text{ m}$. Rakenteeseen paikallisesti vaikuttava tuulenpaine määritetään sisäisen ja ulkoisen paineen summana. Paikallista tuulenpainetta käytetään rakenneosien mitoituksessa, kuten esimerkiksi runkotolpan taivutus. Sisäisen paineen kertoimen C_{pi} arvona voidaan käyttää $-0,3$ tai $+0,2$, sen mukaan kumpi antaa vaarallisemman vaikutuksen, kun seinien tiiviyydet voivat vaihdella tai niitä ei tunneta tarkkaan. Ulkoisen paineen kerroin saadaan laskettua standardin SFS-EN 1991-1-4 mukaan kaavasta

$$C_{pe} = C_{pe,1} - (C_{pe,1} - C_{pe,10}) * \log_{10} A \quad (2)$$

missä

$C_{pe,1}$	on ulkopuolisen paineen kerroin
$C_{pe,10}$	on ulkopuolisen paineen kerroin
A	on kuormitetun rakenneosan pinta-ala

Ulkopuolisen paineen kertoimien arvot saadaan taulukosta, joiden arvot tässä tapauksessa tuulen puoleisella seinällä on $C_{pe,1}=+1,0$ ja $C_{pe,10}=+0,8$. Näin ollen ulkoisen paineen kertoimen arvoksi saadaan $C_{pe}=+0,90$, kun pinta-ala $A=2,7\text{m}^2$. Näiden avulla saadaan laskettua rakenteeseen kohdistuva nettopaine kaavasta

$$q_{wk} = (C_{pe} + C_{pi}) * q_p \quad (3)$$

missä

C_{pe}	on ulkopuolisen paineen kerroin
C_{pi}	on sisäisen paineen kerroin
q_p	on puuskanopeuspaine

Näin ollen paikalliseksi tuulenpaineeksi saadaan $0,72 \text{ kN/m}^2$. (SFS-EN 1991-1-4 + AC + A1. 2011.)

Rakennuksen jäykistystä mitoitettaessa käytetään kokonaistuulivoimaa, joka saadaan kaavasta

$$q_{wk} = C_s C_d * C_f * q_p \quad (4)$$

missä

$C_s C_d$	on rakennekerroin
C_f	on voimakerroin
q_p	on puuskanopeuspaine

Rakennekertoimen voidaan käyttää arvoa 1, kun rakennuksen korkeus on alle 15m. Voimakerroin voidaan määrittää standardin SFS-EN 1991-1-4 kuvasta, josta saadaan tässä tapauksessa $C_f=1,43$. Näin ollen kokonaistuulivoimaksi saadaan $0,86 \text{ kN/m}^2$. (SFS-EN 1991-1-4 + AC + A1 2011.)

6.3 Alapohja

Alapohja toteutetaan maanvaraisena teräsbetonilaattana. Laatan paksuus 120mm ja betonin lujuusluokka C25/30 sekä rauditus #8-150/150. Alapohja lämmöneristetään 100mm eps-eristeellä. Laatta tulee irrottaa ympäröivistä rakenteista laatan ja sokkelin väliin asennettavalla irrotuskaistalla.

6.4 Perustukset

Perustusten tarkoituksena on siirtää rakenteiden aiheuttamat kuormitukset maapohjaan. Ne tulee suunnitella niin, että pohjan kantavuus ei vaarannu ja perustusten painumat ja niistä johtuvat rakenteiden muodonmuutokset pysyvät sallituissa rajoissa. (Ratu KI-6020 2010, 47.)

Maaperän kantavuudesta ei tehty erillistä pohjatutkimusta, joten kantavuudeksi arvioitiin 100 kN/m^2 . Tontilla aiemmin rakennetut rakennukset on perustettu maanvaraisesti, eikä niissä ole syntynyt haitallisia painumia. Näin ollen perustukset valittiin toteutettavaksi myös maanvaraisena.

6.4.1 Anturan mitoitus

Anturaa mitoitettaessa pohjapaine oletetaan tasan jakautuneeksi anturan alla, kun se on keskeisesti kuormitettu. Anturan minimi leveys saadaan tällöin laskettua kaavasta

$$\sigma_{gd} = \frac{N_{Ed}}{b_f * 1m} \leq \sigma_{g,Rd} \quad (5)$$

missä

N_{Ed}	on mitoituskuorma pituusyksikköä kohden
σ_{gd}	on pohjapaineen mitoitusarvo
$\sigma_{g,Rd}$	on perusmaan mitoituskantavuus
b_f	on anturan leveys

Tästä saadaan anturan minimi leveydeksi 400 mm, kun mitoituskuorma on 37,54 kN/m. Valitaan käytettäväksi anturan kokona 600 mm x 200 mm, jolloin pohjapaineeksi tulee 62,6 kN/m². Anturan alapintaan tulee mitoittaa vetoraudoitus. Mitoitava taivutusmomentti riippuu anturaan liittyvästä rakenteesta ja tässä tapauksessa, kun liittyvä rakenne on muurattu, taivutusmomentti saadaan laskettua kaavasta

$$M_{Ed} = \frac{\sigma_{gd} * b_f^2}{8} \quad (6)$$

Tästä saadaan mitoittavaksi taivutusmomentiksi 2,82kNm. Raudoituksen pinta-alaa laskiessa määritetään suhteellinen momentti kaavasta

$$\mu = \frac{M_{Ed}}{b * d^2 * f_{cd}} \quad (7)$$

missä

b	on anturan leveys
d	on poikkileikkauksen tehollinen korkeus
f_{cd}	on betonin puristuslujuuden mitoitusarvo

Tämän avulla saadaan laskettua puristusvyöhykkeen korkeus kaavasta

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2 * \mu} \quad (8)$$

Lisäksi tarvitaan vielä sisäinen momenttivarssi, joka lasketaan kaavasta

$$z = d * \left(1 - \frac{\beta}{2}\right) \quad (9)$$

Näiden jälkeen voidaan laskea vetoraidoituksen pinta-ala vaatimus kaavasta

$$A_s = \frac{M_{Ed}}{z * f_{yd}} \quad (10)$$

Raidoitukselle on vähimmäispinta-ala vaatimus, joka lasketaan kaavasta

$$A_{s,min} = 0,26 * f_{ctm} * \frac{1000mm * d}{f_{yk}} \geq 0,0013 * 1000mm * d \quad (11)$$

Raidoitukseksi saadaan Ø8 mm k150 mm. Halkeilua ei tarvitse tarkastaa, kun $k \leq 150$ mm. Lisäksi anturaan tulee pituussuuntaiset teräkset 2 kpl Ø10 mm halkeilun rajoittamiseksi. (Leskelä 2008, 447–448.)

Anturan leikkauskestävyys tarkistetaan leikkausraudoittamattoman rakenteen mukaisesti. Leikkausvoima saadaan laskettua kaavasta

$$V_{Ed} = (a - d) * \sigma_{gd} \quad (12)$$

Mitoitusehdon mukaan tämän tulee olla pienempi kuin leikkauskapasiteetin, joka saadaan kaavasta

$$V_{co} = 0,3 * k * \left(1 + 50 * \frac{A_s}{b * d}\right) * f_{ctd} * b * d \quad (13)$$

missä

$$k = 1,6 - d$$

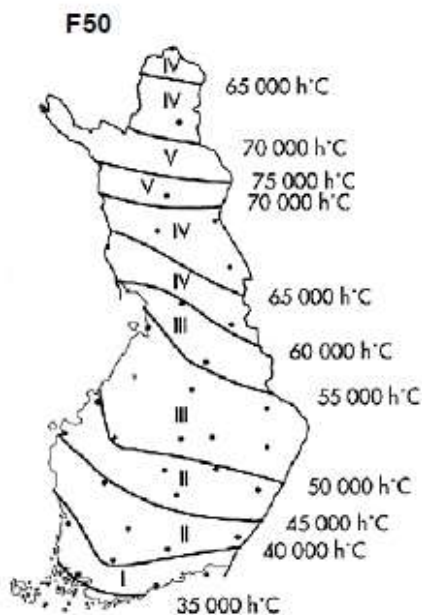
f_{ctd} on betonin vetolujuuden mitoitusarvo

A_s on valitun raidoituksen pinta-ala

Anturan leikkauskapasiteetiksi saadaan 84,79 kN/m ja leikkausvoimaksi 9,7 kN/m, jolloin käyttöasteeksi tulee 11,5 %. Anturan mitoitus on liitteessä 4. (RakMK B4 2004.)

6.4.2 Routasuojaus

Perustukset tulee routasuojata, ellei perustuksia viedä routarajan alapuolelle ja maapohja perustusten alla on routivaa. Maaperän ominaisuudet vaikuttavat routan syvyyteen, sekä routivuuteen ja routanousujen suuruuteen. Kuivassa maaperässä routa tunkeutuu syvemmälle kuin kosteassa maaperässä. Routivuus vaihtelee siten, että erittäin suuri routivuus on silttimaalla, keskinkertainen savella ja moreenilla, sekä hiekkamoreenilla usein vähäinen routivuus. Perustusten routasuojaus mitoitetaan kerran 50 vuodessa toistuvalla pakkasmäärällä (kuvio 7). Pakkasmäärällä arvioidaan maan routaantumissyvyyttä. Roudan todelliseen syvyyteen vaikuttaa kuitenkin ilmaston lisäksi lumipeitteen paksuus. Lumipeitteen vaikutusta ei kuitenkaan huomioida routasuojauksen mitoitettaessa, sillä ei voida olla varmoja lumipeitteen pysymisestä rakennuksen vierustalla. Rakennus sijoittuu ilmastovyöhykkeelle 2, jolloin eristepaksuuden vaatimus on 65 mm. (RT 81-10590 1995.)



Kuvio 7. Ilmastovyöhykkeet (RT 81-10590 1995, 2).

Perustusten routasuojaukseen käytetään 50 mm + 50 mm eps-eristettä, jotka asennetaan siten, että alempi levy ulottuu 1,2 m päähän ja ylempi levy 1 m päähän rakennuksesta. Näin ollen eristepaksuudeksi tulee 100 mm, joka täyttää hyvin vaatimukset.

6.5 Puurunko

Kylmän osan runko toteutetaan sahatavarasta pystyrunkona ja runkotolppa jakona käytetään k600mm. Runkotolpalle siirtyy kuormituksia tuulesta ja lumesta sekä katon ja seinän omista painoista. Runkotolppaan kohdistuvaksi tuulikuormaksi saadaan 0,432 kN/m, kun paikallinen tuulenpaine on 0,72 kN/m². Lumi-kuormaa pitkille seinille siirtyy 9,61 kN/m, josta runkotolpalle tulee 5,77 kN. Omia painoja tulee katolta ja seinästä yhteensä 2,5 kN. Kuormat ovat ominaisarvoja, jotka kerrotaan mitoituksessa ao. osavarmuusluvulla. Runko mitoitettiin Finnwood 2.3 SR1-ohjelmalla, joka käyttää laskennassa SFS-EN 1995-1-1 standardia, sen täydennysosaa A1:2008 ja Suomen kansallisia liitteitä sekä RIL 205-1-2009-suunnitteluohjetta. Mitoituksessa runkotolpan mitoiksi saatiin 48mm x 147mm ja käyttöasteeksi 71 %. Mitoituksen tuloste on liitteessä 5. Runkotolppien yläpään sekä ikkunoiden yläpuolelle lovetaan 48mm x 147mm.

Päätyseinälle ei siirry kuormituksia kattoristikoilta, mutta kuormituksia tulee kuitenkin katolta räystäään osalta ja seinän omastapainosta. Päätyyn lovetaan runkotolppien yläpään 48mm x 147mm, joka kannattaa päätyräystäään runkopuita. Oviaukon kohdalle tehdään palkki 3 x 48mm x 197mm, jolle tulee kuormia lumesta 2,04 kN/m ja omasta painosta 0,68 kN/m. Oviaukon pieliin laitetaan lisäksi tuplatolpat kannattamaan palkkia.

6.6 Harkkoseinä

Harkkoseinään aiheutuu tuulesta, lumesta ja yläpohjan omasta painosta vastaavat kuormat kuin puurunkoon. Tuulikuorma aiheuttaa seinään taivutusta pysty- ja vaakasaumojen suhteen. Taivutusta mitoitettaessa tarkastellaan metrin levyistä kais-
taa seinästä ja taivutusmomentit lasketaan myötöviivateorian mukaan. Mitoittaviksi taivutusmomenteiksi saatiin 1,74 kNm ja 1,21 kNm, kun seinä oletetaan vapaasti tuetuksi kaikilta sivuiltaan. Vastaavasti taivutuskestävyyksiksi saatiin 3,38 kNm ja 2,34 kNm, jolloin käyttöasteeksi tulee 52 % ja rakenne voidaan tehdä raudoittamattomana. Siihen tulee kuitenkin asentaa vähintään 0,03 % seinän bruttopinta-
alasta oleva raudoitus estämään halkeilua. Raudoitukseksi saadaan tällöin 2 kpl 8 mm harjateräksiä joka neljänteen vaakasaumaan. Seinä sidotaan yhtenäiseksi

kentäksi asentamalla raudoitus ensimmäiseen ja ylimpään saumaan. Ikkunoiden alapuoliseen sauman on asennettava lisäksi teräkset, jotka ulottuvat vähintään 900 mm ikkuna pielen ohi. Ikkuna aukkojen päälle asennetaan kuormaluokan 15 kN/m palkit, joka mitoitetaan samalla periaatteella kuin palkki kappaleessa 6.7 Oviaukon palkki. Mitoituksessa on käytetty SFS-EN 1996-1-1 + A1, Siporex Suunnittelijan käsikirjaa ja Harkkokäsikirjaa.

Muurattuun seinään aiheutuu paikallinen puristus kattotuolilta tulevasta kuormista. Puristavaksi MRT kuomaksi saadaan 14,78 kN. Paikallinen puristuskestävyys saadaan laskettua kaavasta

$$N_{Rd,C} = \beta * A_b * f_d \quad (14)$$

missä

β on korotuskerroin paikallisessa kuormassa

A_b on kuormitusala

f_d on puristuslujuuden mitoitusarvo

Paikalliseksi puristuskestävyydeksi saadaan 17,36 kN, jolloin käyttöasteeksi tulee 85 %.

Seinän puristuskuorma on suurin seinän alapäässä, jonne aiheutuu kuormituksia 22,23 kN/m. Puristuskestävyys saadaan laskettua kaavasta

$$N_{Rd} = \Phi * t * f_d \quad (15)$$

missä

Φ on hoikkeuden ja kuormituksen epäkeskisyyden vaikutuksen huomioiva pienennyskerroin

t on seinän paksuus

f_d on puristuslujuuden mitoitusarvo

Seinän puristuskestävyydeksi saadaan 263 kN/m, joka on huomattavasti suurempi kuin kuormitus. Mitoituksessa on käytetty SFS-EN 1996-1-1 + A1 ja Harkkokäsikirjaa. Harkkoseinän mitoitus on liitteessä 6.

6.7 Oviaukon palkki

Oviaukon ylittävänä palkkina käytetään valmista Siporex-palkkia. Valmistaja on mitoittanut palkit valmiiksi tiettyihin kuormaluokkiin, jossa kuormaluokan lukuarvo ilmoittaa sallitun tasaisen ominaiskuorman suuruuden kN/m. Tämä kuorma on oletettu mitoituksessa kokonaan muuttuvaksi ja pitkäaikaiseksi. Mitoitettaessa palkkia riittää kun tarkistetaan, ettei kuormista syntyvä maksimimomentti ja leikkausvoima ylitä kuormaluokan ilmoittamasta tasaisesta kuormasta laskemalla saatavia arvoja. (Siporex Suunnittelijan käsikirja 2004, 57–58.)

Palkille tulee viisi 11,65 kN:n (ominaiskuormia) pistekuormaa kattotuolilta, joista saadaan leikkausvoimaksi 39,97 kN ja maksimimomentiksi 32,20 kNm. Vastavasti 600 mm korkean kuormaluokan 25 kN/m palkin leikkauskestävyydeksi saadaan 55 kN ja taivutuskestävyydeksi 60,50 kNm. Näin ollen käyttöasteeksi saadaan 73 %. Palkin tukipinnan suositeltu vähimmäispituus on 300 mm, jonka puristuskestävyys riittää hyvin palkilta siirtyville kuormille. Näin palkin vähimmäispituudeksi saadaan 4600 mm, kun oviaukko on 4000 mm leveä. Palkkeja valmistetaan kuitenkin 300 mm välein, jolloin käytettävän palkin pituudeksi tulee 4800 mm ja tukipintojen pituuksiksi 400 mm. Palkin mitoitus on tehty Siporex Suunnittelijan käsikirjan (2004) ohjeen mukaan. Oviaukon palkin mitoitus on liitteessä 7.

6.8 Yläpohja

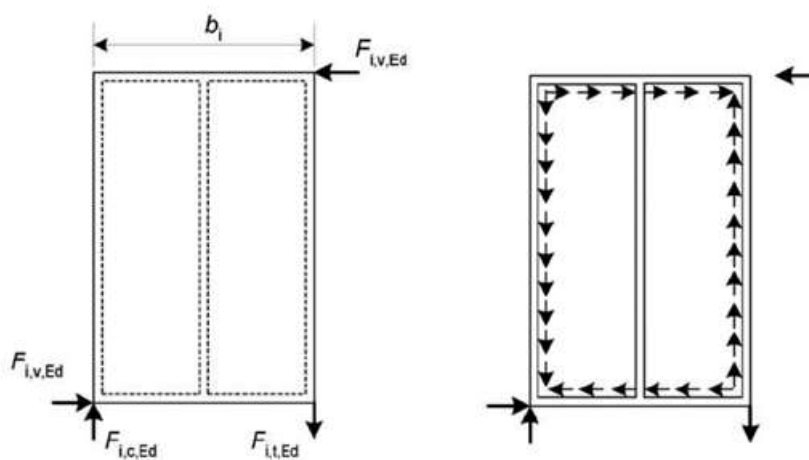
Yläpohjan kantavat rakenteet toteutetaan NR-ristikoilla. Ristikoiden jakona käytetään k900mm. NR-ristikoita ei mitoiteta tässä opinnäytetyössä, vaan niiden mitoituksen tekee ristikkotoimittaja.

6.9 Jäykistys

Rakenteet on jäykistettävä vaakavoimia vastaan. Merkittävimmät vaakavoimat aiheutuvat tuulesta, sekä rakenteiden nurjahdus- ja kiepahdustuentavoimista. Hallirakenteiden jäykistäminen voidaan tehdä monella eri tavalla. Yleisimmin käyte-

tään masto-, levy-, kehä- ja ristikkojäykisteitä, sekä näiden eri tapojen yhdistelmiä. (Kurkela, Kivinen, Westman & Kevarinmäki 2003, 75.)

Rakennuksen pitkälle sivulle kohdistuvaa tuulivoimaa vastaan rakennuksen jäykistys tehdään päätyseinillä ja väliseinillä. Päätyseinälle kohdistuvaa tuulivoimaa vastaan rakennus jäykistetään sivuseinillä. Tuulikuormat siirretään jäykistäville seinille alakaton avulla. Alakatto jäykistetään lämpimällä osalla levytyksellä ja kylmällä osalla vinolaudoituksella. Kattoristikot jäykistetään vinoreivauksilla. Rungonjäykistys puurungon osalta tehdään tässä tapauksessa levyjäykisteillä. Levyssä ja seinälohkossa vaikuttavat voimat on esitettyä kuviossa 8.



Kuvio 8. Seinälohkossa ja levyssä vaikuttavat voimat (EC5 2011).

Tuulikuormaksi ristikon alapaarteen tasolla saadaan 6,15kN/m pitkälle sivulle, josta jäykistävälle päätyseinälle syntyy 24,6kN suuruinen voima. Vastaavasti päätyseinälle saadaan arvoiksi 4,98kN/m ja 24,9kN. Levyjäykistystä mitoitettaessa seinä jaetaan lohkoihin. Levyjäykisteenä käytetään 15 mm paksuista vaneria, jotka kiinnitetään 2,4mm x 60mm lankanuloilla tai vaihtoehtoisesti kiinnittämiseen voidaan käyttää 2,8mm x 50mm konenuloja. Naulaväli päätyseinällä on 40 mm ja sivuseinillä 70mm. Levyn keskellä voidaan käyttää kaksinkertaista naulaväliä. Mitoitus on tehty EC5 (2011) ohjeen mukaan. Levyjäykistykseen mitoitusta on liitteessä 8.

Harkkoseinää mitoitettaessa vaakakuormalle tulee tarkistaa, että seinä pystyy vastaanottamaan siihen kohdistuvat rasitukset. Seinä mitoitetaan tällöin ulokkeena.

Jäykistävän seinän yläosaan tulee vaakakuormaa yläpohjan välityksellä siirtyvästä tuulikuormasta. Vaakakuormaksi saatiin 46,13kN. Jäykistykseen mitoituksessa pystykuormana käytetään minimipystykuormaa, joka tässä tapauksessa on 46,58kN. Kuormat aiheuttavat momenttia seinän nurkan suhteen. Mitoitusehdon mukaisesti pystykuormasta aiheutuvan momentin tulee olla vaakakuorman aiheuttamaa momenttia suurempi. Vaakakuorma aiheuttaa seinään myös leikkausvoiman, jota vastaan seinän kestävyys tulee tarkastaa. Harkkoseinän jäykistykseen mitoitusta on liitteessä 9. (Siporex Suunnittelijan käsikirja 2004, 78, 90–93.)

7 YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli suunnitella konehalli ja mitoittaa hallin rakenteet sekä käydä läpi erilaisia puurunkoisten hallien runkoratkaisuja. Lisäksi työssä käytiin läpi rakennushanketta ja joitakin rakentamista ohjaavia määräyksiä. Eriteltyjen runkovaihtoehtojen kantavat rakenteet koostuvat pääasiassa esivalmistetuista pilareista, palkeista, kehistä ja ristikoista.

Työn tuloksena saatiin tarpeita vastaava halli. Suunniteltu konehalli on pinta-alaltaan n. 150m², josta n. 70m² on lämmitettävää ja loput kylmää tilaa. Hallin runkoratkaisuna käytetään NR-ristikoita ja pystyrunkarunkoa, sekä lämpimällä osalla harkkorunkoa. Näin ollen hallin rakenteet ovat sellaisia, että ne sopivat toteutettavaksi myös omatoimirakentamisella.

Rakenteiden mitoitus puurakenteiden osalta tehtiin Finnwood 2.3 SR1-ohjelmalla. Muiden rakenteiden mitoitus tehtiin joko käsin laskemalla tai Exceliä hyödyntämällä eurokoodien ja muiden suunnitteluohjeiden mukaan. Rakennuksen kuvat piirrettiin AutoCAD-ohjelmalla.

LÄHTEET

- EC5. 2011. Puurakenteiden suunnittelu. Lyhennetty suunnitteluohje. Helsinki: Puuminfo Oy.
- Harkkokäsikirja. 2016. Muurattujen harkkorakenteiden mitoitusohje (liite 1). Helsinki: Betoniteollisuus Ry.
- Kurkela, J., Kivinen, T., Westman, V-M. & Kevarinmäki, A. 2003. Suurten maatalousrakennusten puurunkoratkaisut: Esivalmistetut rakennejärjestelmät. Espoo: Otamedia Oy. VTT tiedotteita 2194
- Lahtela, T. 2008. Puumatilarakentamisessa: Tuotanto- ja varastorakennusten suunnitteluohje. Helsinki: Puuminfo Oy.
- Leskelä, M. 2008. BY 210 Betonirakenteiden suunnittelu ja mitoitus. Helsinki: Rakennustieto.
- Männistö, J., Takala R. & Siltala, K. 2005. Hallin rakennuttaminen: Rakennushankkeen toteutus. Espoo: Wood Focus Oy.
- Rakentamismääräykset. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. Ympäristöministeriö. [viitattu 25.3.2016]. Saatavana: http://www.ym.fi/fi-fi/maankaytto_ja_rakentaminen/lainsaadanto_ja_ohjeet/rakentamismaarayskokouelma
- RakMK B4. 2004. Betonirakenteet. Helsinki: Rakennustieto.
- RakMK C3. 2009. Rakennusten lämmöneristys. Helsinki: Rakennustieto.
- RakMK E1. 2011. Rakennusten paloturvallisuus. Helsinki: Rakennustieto.
- RakMK E2. 2005. Tuotanto- ja varastorakennusten paloturvallisuus. Helsinki: Rakennustieto.
- Ratu KI-6020. 2010. Rakentamisen tuotantotekniikka. Helsinki: Rakennustieto.
- RT 81-10590. 1995. Routasuojusrakenteet. Helsinki: Rakennustieto.
- SFS-EN 1990 + A1 + AC. 2006. Rakenteiden suunnitteluperusteet. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.
- SFS-EN 1991-1-3 + AC. 2004. Rakenteiden kuormat. Osa 1-3: Yleiset kuormat. Lumikuormat. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.

SFS-EN 1991-1-4 + AC + A1. 2011. Rakenteiden kuormat. Osa 1-4: Yleiset kuormat. Tuulikuormat. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.

SFS-EN 1996-1-1 + A1. 2013. Muurattujen rakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Raudoitettuja ja raudoittamattomia muurattuja rakenteita koskevat yleiset säännöt. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.

Siporex Suunnittelijan käsikirja. 2004. [Verkkosivu]. H+H Finland Oy. [Viitattu 15.2.2016]. Saatavana: <http://www.hplush.fi/suunnittelijan-kasikirja>

Tietoa siporexista. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. H+H Finland Oy. [Viitattu 15.2.2016]. Saatavana: <http://www.hplush.fi/tuotteet>

LIITTEET

Liite 1: Pohjapiirustus

Liite 2: Julkisivut

Liite 3: Leikkauskuvat

Liite 4: Anturan mitoitus

Liite 5: Runkotolpan mitoituksen tuloste

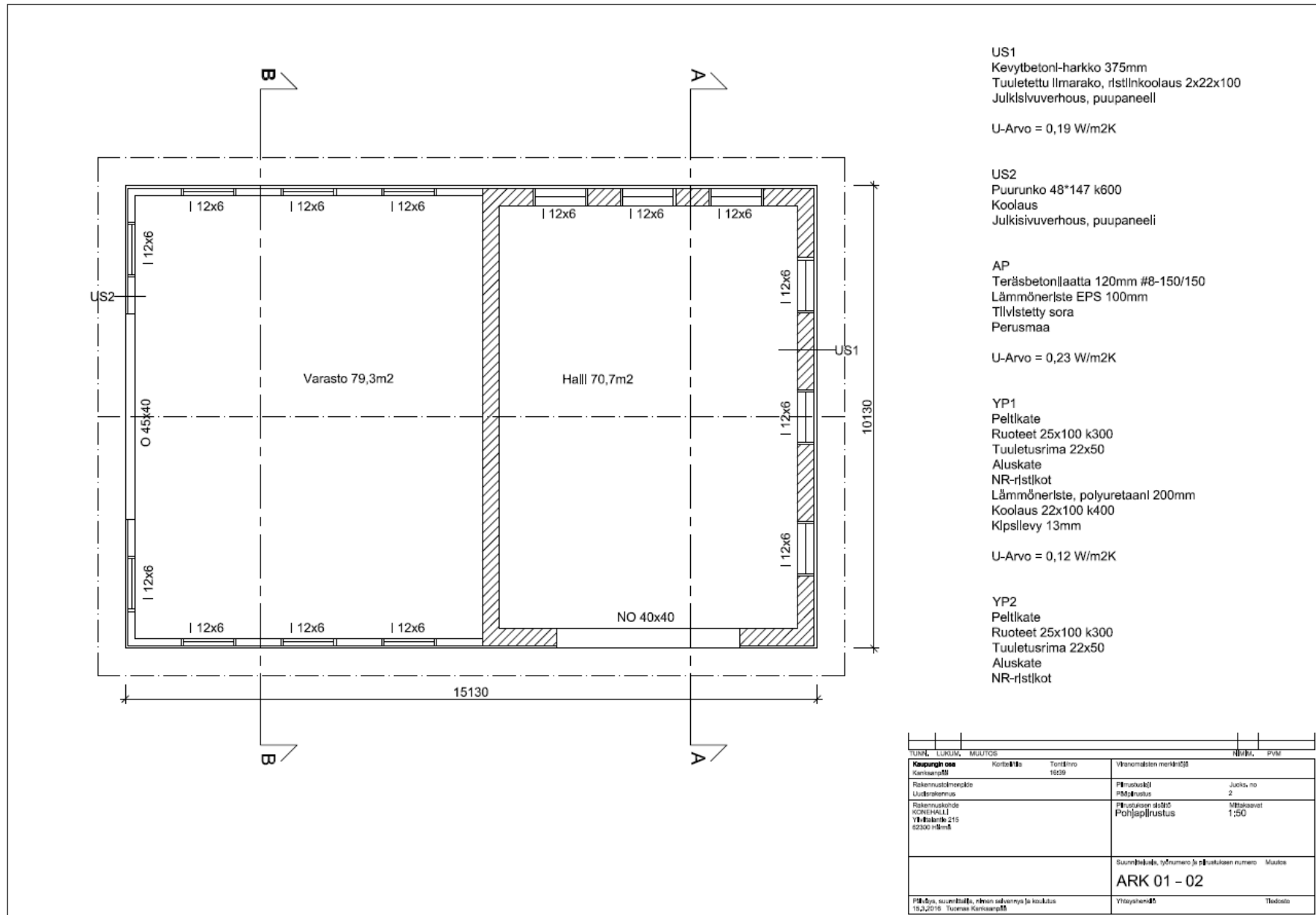
Liite 6: Harkkoseinän mitoitus

Liite 7: Oviaukon palkin mitoitus

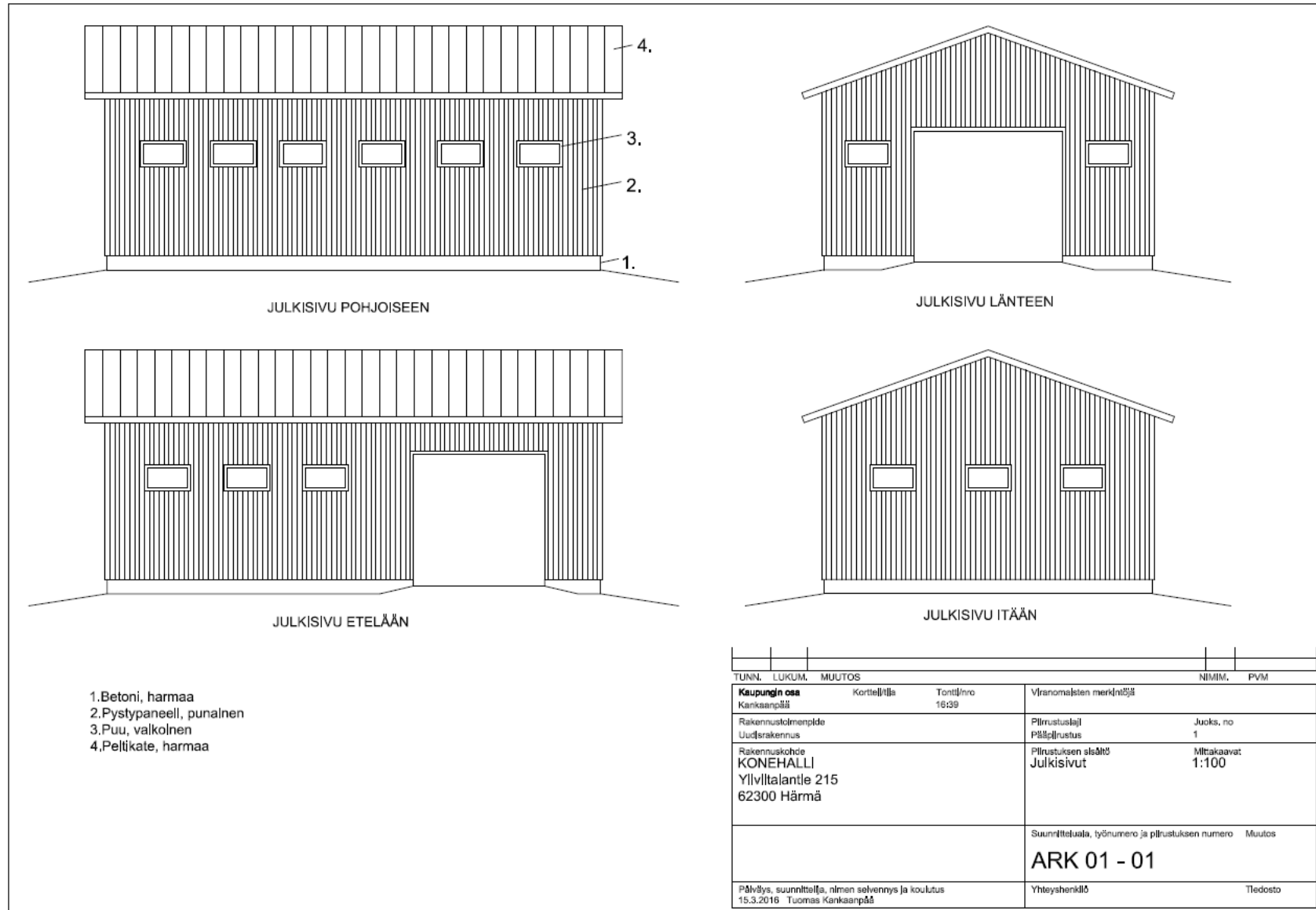
Liite 8: Levyjäykistyksen mitoitus

Liite 9: Jäykistävän harkkoseinän mitoitus

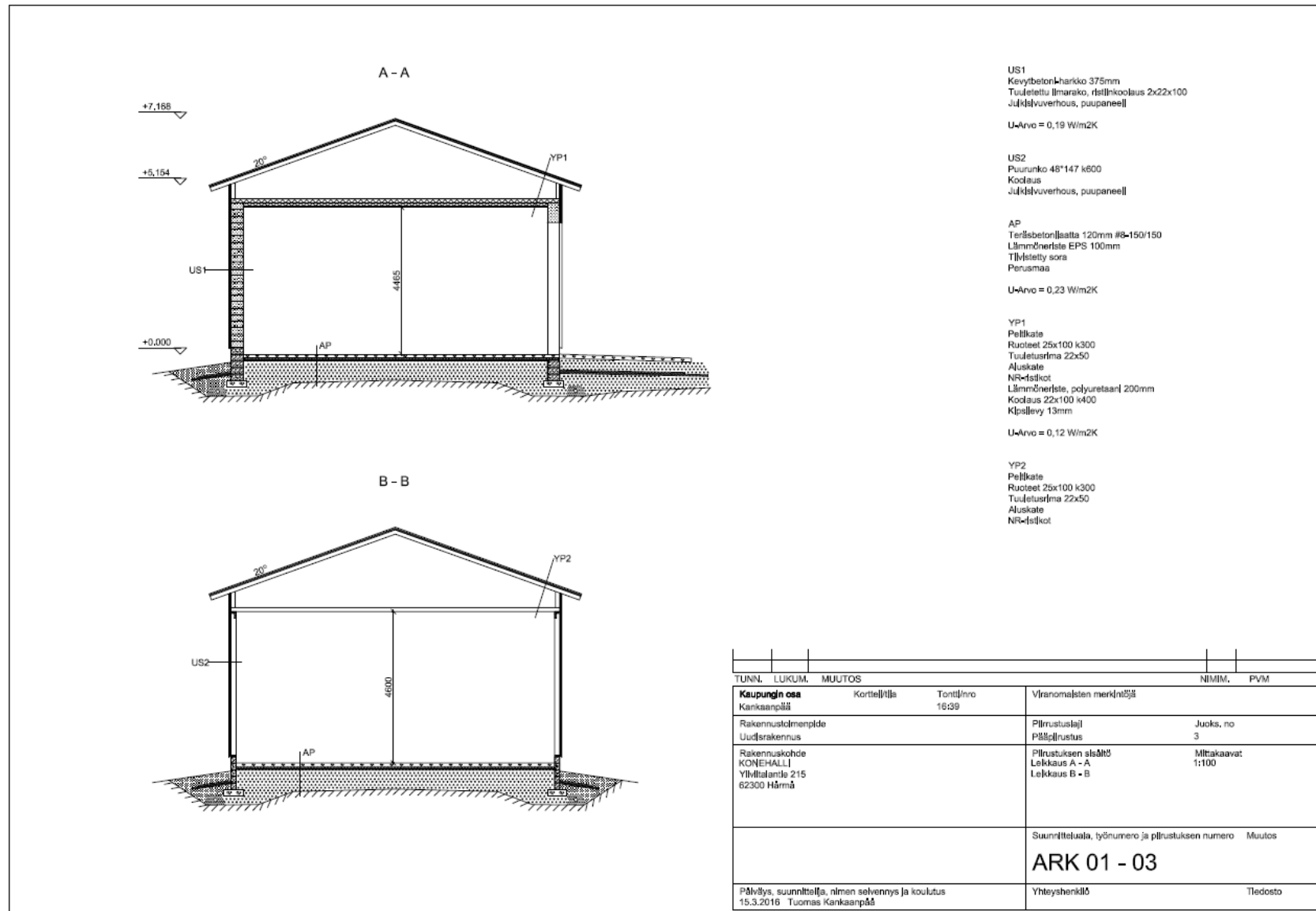
Liite 1. Pohjapiirustus



Liite 2. Julkisivut



Liite 3. Leikkaukset



Liite 4. Anturan mitoitus

Perusmaan mitoituskantavuudeksi arvioitiin $\sigma_{g,Rd} = 100 \text{ kN/m}^2$

Sokkelilta siirtyvät kuormat $G_{k,1} = 11,2 \text{ kN/m}$ ja $Q_k = 10 \text{ kN/m}$

Anturan omapaino $G_{k,2} = 0,6 \text{ m} * 0,2 \text{ m} * 25 \text{ kN/m}^3 = 3 \text{ kN/m}$

Anturan päällä olevan soratäytön omapaino, kun tilavuuspaino 20 kN/m^3 ja täytön korkeus n. $0,6 \text{ m}$. $G_{k,3} = 0,6 \text{ m} * 0,45 \text{ m} * 20 \text{ kN/m}^3 = 5,4 \text{ kN/m}$

$$\Rightarrow G_k = 19,6 \text{ kN/m}$$

$$\Rightarrow N_{ed} = 37,54 \text{ kN/m}$$

Anturan leveys saadaan kaavasta

$$\sigma_{gd} = \frac{N_{Ed}}{b_f * 1\text{m}} \leq \sigma_{g,Rd}$$

$$\Rightarrow b_f \geq \frac{N_{Ed}}{\sigma_{g,Rd}}$$

$$b_f \geq \frac{37,54 \frac{\text{kN}}{\text{m}}}{100 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}$$

$$b_f \geq 0,3754 \text{ m} \rightarrow b_f = 400 \text{ mm}$$

Valitaan käytettäväksi kuitenkin $b_f = 600 \text{ mm}$.

$$\Rightarrow \sigma_{gd} = 62,6 \text{ kN/m}^2$$

Anturan korkeuden tulee olla välillä $\frac{b_f}{3} \dots \frac{b_f}{4}$.

$$\frac{600 \text{ mm}}{3} = 200 \text{ mm}$$

$$\frac{600 \text{ mm}}{4} = 150 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow \text{Valitaan korkeudeksi } h_f = 200 \text{ mm}$$

Mitoittava taivutusmomentti

$$M_{Ed} = \frac{\sigma_{gd} * b_f^2}{8}$$

$$M_{Ed} = \frac{62,6 \text{ kN/m}^2 * (0,6 \text{ m})^2}{8} = 2,816 \text{ kNm}$$

Poikkileikkauksen tehollinen korkeus

$$d = 200\text{mm} - 50\text{mm} - \frac{1,1 * 8\text{mm}}{2} = 145,6\text{mm}$$

Betonin puristuslujuuden mitoitusarvo

$$f_{cd} = 0,85 * \frac{25 \frac{N}{\text{mm}^2}}{1,5} = 14,1667 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Suhteellinen momentti

$$\mu = \frac{M_{Ed}}{b * d^2 * f_{cd}}$$

$$\mu = \frac{2,816\text{kNm}}{0,6\text{m} * (0,1456\text{m})^2 * 14,17 \frac{N}{\text{mm}^2}} = 0,015625$$

Puristusvyöhykkeen korkeus

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2 * \mu}$$

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2 * 0,015625} = 0,015749$$

Sisäinen momenttivarsi

$$z = d * \left(1 - \frac{\beta}{2}\right)$$

$$z = 145,6\text{mm} * \left(1 - \frac{0,015749}{2}\right) = 144,5\text{mm}$$

Betoniteräksen mitoituslujuus

$$f_{yd} = \frac{500 \frac{N}{\text{mm}^2}}{1,15} = 434,7826 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Raudituksen pinta-ala vaatimus

$$A_s = \frac{M_{Ed}}{z * f_{yd}}$$

$$A_s = \frac{2,816 * 10^6 \text{Nmm}}{144,5\text{mm} * 434,8 \frac{N}{\text{mm}^2}} = 44,83\text{mm}^2$$

Vähimmäisraudoitus

$$A_{s,min} = 0,26 * f_{ctm} * \frac{1000mm * d}{f_{yk}} \geq 0,0013 * 1000mm * d$$

$$A_{s,min} = 0,26 * 2,565 \frac{N}{mm^2} * \frac{1000mm * 145,6mm}{25 \frac{N}{mm^2}} = 194,2mm^2$$

$$\geq 0,0013 * 1000mm * 145,6mm = 113,6mm^2$$

$$\Rightarrow A_s = 194,2mm^2$$

Raudoituksen jako, kun käytetään 8mm terästä.

$$s = \frac{1000mm}{\frac{A_s}{\pi * r^2}}$$

$$s = \frac{1000mm}{\frac{194,2mm^2}{\pi * (4mm)^2}} = 258,8mm \Rightarrow s = 250mm$$

Valitaan käytettäväksi k 150mm, jolloin ei tarvita halkeilutarkastelua.

Pituussuuntainen raudoitus

$$A_{s,min} = 0,26 * f_{ctm} * \frac{b * d}{f_{yk}}$$

$$d = 200mm - 50mm - 1,1 * 8mm - \frac{1,1 * 10mm}{2} = 135,7mm$$

$$A_{s,min} = 0,26 * 2,565 \frac{N}{mm^2} * \frac{600mm * 135,7mm}{25 \frac{N}{mm^2}} = 108,6mm^2$$

$$\Rightarrow 2 \text{ kpl } \varnothing 10 \text{ mm } (A_s = 157,1 \text{ mm}^2)$$

Leikkauskapasiteetti

$$V_{co} = 0,3 * k * \left(1 + 50 * \frac{A_s}{b * d} \right) * f_{ctd} * d$$

$$\begin{aligned}
 V_{co} &= 0,3 * (1,6 - 0,1456) * \left(1 + 50 * \frac{335,1\text{mm}^2}{1000\text{mm} * 145,6\text{mm}} \right) * 1,2 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 145,6\text{mm} \\
 &= 84792 \frac{\text{N}}{\text{m}} = 84,79 \frac{\text{kN}}{\text{m}}
 \end{aligned}$$

Leikkausvoima

$$V_{Ed} = (a - d) * \sigma_{gd}$$

$$V_{Ed} = (0,300\text{m} - 0,1456\text{m}) * 62,6 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 9,7 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Mitoitusehto

$$V_{Ed} \leq V_{co}$$

$$9,7 \frac{\text{kN}}{\text{m}} < 84,79 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \text{OK!} \quad \text{KA } 11,5 \%$$

Liite 5. Runkotolpan mitoituksen tuloste

Finnwood 2.3 SR1 (2.4.017)

© Copyright 2012 Metsäliitto Osuuskunta, Metsä

Tuomas Kankaanpää

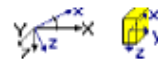
Runkotolppa

17.3.2016

Laskelmat on tehty alla olevilla lähtötiedoilla vain kyseiselle rakenneosalle. Laskelmissa esitetty rakenneosan pituus ei ole tilausmitta. Tilausmitassa on otettava huomioon esim. tuennan vaatima lisäpituus.

Finnwood 2.3 SR1 (2.4.017)

RIL 205-1-2009 SR1 (02.07.2012)



PROJEKTITIEDOT:

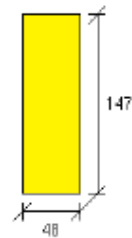
Suunnittelija: Tuomas Kankaanpää

Nimi: Runkotolppa

D:\...Runkotolppa.s01

RAKENNETIEDOT:

Rakennetyyppi: Pileri
 Materiaali: C24
 Poikkileikkaus: 48x147
 (B=48 mm, H=147 mm, A=7056 mm², I_y=12706092 mm⁴, W_y=172872 mm³)
 Käyttöluokka: 2
 Seuraamusluokka: CC1 (KFI=0.9)
 Kulma: 90.0 astetta
 Jako/kuormituslev.: 600 mm (pintakuormille)



Uloke-/jännevälipituudet:

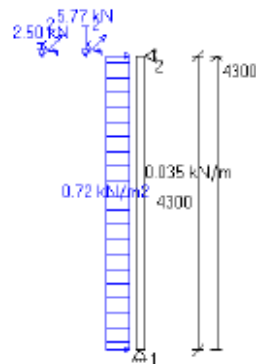
Uloke/jänneväli: Pystymitta [mm]:
 Jänneväli 1: 4300.0
 Yhteensä: 4300.0

Tuki:	Sijainti x [mm]:	Tyyppi:
1:	0	Kiinteä niveltuki (X,Z)
2:	4300	Liukutuki (X)

f _{m,k} (M _y):	24.10 N/mm ²
f _{m,k} (M _z):	30.14 N/mm ²
f _{c,0,k} :	21.00 N/mm ²
f _{c,90,k} :	2.50 N/mm ²
f _{t,0,k} :	14.06 N/mm ²
f _{v,k} (V _z):	4.00 N/mm ²
f _{v,k} (V _y):	4.00 N/mm ²
E _{mean} :	11000 N/mm ²
G _{mean} :	690 N/mm ²
E 0.05:	7400 N/mm ²
G 0.05:	460 N/mm ²
Tilavuuspaino:	5.00 kN/m ³ (omapainon laskentaa varten)

Tuomas Kankaanpää

Osavamuusluku:	1.40
Aikaluokka:	kmod:
Pysyvä:	0.600
Pitkäaikainen:	0.700
Keskipitkä:	0.800
Lyhytaikainen:	0.900
Hetkellinen:	1.100
<hr/>	
kdef:	0.800

**KUORMITUSTIEDOT:**

Omapaino (Omapaino, Pysyvä):

Pistekuorma: 1:	FZ = 2.50 kN	x = 4300.0 mm
Pistekuorma: 2:	My = -0.125 kNm	x = 4300.0 mm
Rakenneosan paino:	QZ = 0.035 kN/m	x = 0 - 4300 mm

Lumikuorma (Lumikuorma $S_k < 2.75$ kN/m², Keskipitkä):

Pistekuorma: 1:	FZ = 5.77 kN	x = 4300.0 mm
Pistekuorma: 2:	My = -0.288 kNm	x = 4300.0 mm

Tuulikuorma (Tuulikuorma, Hetkellinen):

Pintakuorma: 1:	Qz = 0.720 kN/m ²	x = 0 - 4300 mm
-----------------	------------------------------	-----------------

KUORMITUSYHDISTELMÄT:

Tuomas Kankaanpää

Yhdistelmä 1 (MRT, Pysyvä)
0.90*Omapaino

Yhdistelmä 2 (MRT, Pysyvä)
0.90*1.35*Omapaino

Yhdistelmä 3 (MRT, Pysyvä)
0.90*1.15*Omapaino

Yhdistelmä 4 (MRT, Keskipitkä)
0.90*1.15*Omapaino + 0.90*1.50*0.70*Lumikuoma

Yhdistelmä 5 (MRT, Keskipitkä)
0.90*1.15*Omapaino + 0.90*1.50*Lumikuoma

Yhdistelmä 6 (MRT, Hetkellinen)
0.90*1.15*Omapaino + 0.90*1.50*0.70*Lumikuoma + 0.90*1.50*0.60*Tuulikuoma

Yhdistelmä 7 (MRT, Hetkellinen)
0.90*1.15*Omapaino + 0.90*1.50*Lumikuoma + 0.90*1.50*0.60*Tuulikuoma

Yhdistelmä 8 (MRT, Hetkellinen)
0.90*1.15*Omapaino + 0.90*1.50*0.70*Lumikuoma + 0.90*1.50*Tuulikuoma

Yhdistelmä 9 (KRT)
1.00*Omapaino

Yhdistelmä 10 (KRT)
1.00*Omapaino + 1.00*0.70*Lumikuoma

Yhdistelmä 11 (KRT)
1.00*Omapaino + 1.00*Lumikuoma

Yhdistelmä 12 (KRT)
1.00*Omapaino + 1.00*0.70*Lumikuoma + 1.00*Tuulikuoma

MITOITUS:

Mitoitusstandardi: EN 1995-1-1:2004 + A1:2008 + RIL 205-1-2009
Kokonaiskäyttöaste: 70.6 %

MITOITUSPARAMETRIT:

Taipumaraja Wnet,fin: L/300
Korotuskerroin, vasen uloke: 2.00
Korotuskerroin, oikea uloke: 2.00

Tuomas Kankaanpää

Nurjahdus z-suuntaan: $L_c = 1.00 \cdot L$
 Nurjahdus on estetty y suuntaan
 Kiepahdus on estetty

MITOITUKSEN ÄÄRIARVOT:

Tarkastelu:	Mitoitusarvo:	Raja-arvo:	Käyttöaste *):	Sijainti x:	
Leikkaus (z):	1.35 kN	14.78 kN	9.1 %	4300 mm	Yhdistelmä 8/1, Hetkellinen
Puristus:	10.53 kN	25.23 kN	41.8 %	0 mm	Yhdistelmä 5/1, Keskipitkä
Taivutus (My):	1.15 kNm	3.27 kNm	35.2 %	2042 mm	Yhdistelmä 8/1, Hetkellinen
Taivutus+puristus: (My=0.52 kNm, Mz=0.00 kNm, Nx=10.38 kN)	0.63	1.00	62.9 %	4300 mm	Yhdistelmä 5/1, Keskipitkä
jänneväli 1, Winst:	11.3 mm	- mm	0.0 %	2042 mm	Yhdistelmä 12/1
jänneväli 1, Wnet,fin:	10.1 mm	14.3 mm	70.6 %	2042 mm	Yhdistelmä 12/1

ÄÄRIARVOJEN KUORMITUSYHDISTELMÄT

Yhdistelmä 8/1 (Hetskellinen):

$1.03 \cdot \text{Omapaino} + 0.94 \cdot \text{Lumikuorma} + 1.35 \cdot \text{Tuuli kuorma}$

Yhdistelmä 5/1 (Keskipitkä):

$1.03 \cdot \text{Omapaino} + 1.35 \cdot \text{Lumikuorma}$

Yhdistelmä 12/1 :

$1.00 \cdot \text{Omapaino} + 0.70 \cdot \text{Lumikuorma} + 1.00 \cdot \text{Tuuli kuorma}$

VOIMASUUREIDEN ÄÄRIARVOT:

Tulos:	Maksimiarvo:	Sijainti x:
Nx,max	10.53 kN	0 mm
Vz,max	1.35 kN	4300 mm
My,max	1.15 kNm	2042 mm

TUKIREAKTIOT:

FX:

Tuki:	MRTmax:	MRTmin:	KRTmax:	KRTmin:
1:	0.12 kN	-1.16 kN	0.10 kN	-0.85 kN
2:	-0.03 kN	-1.35 kN	-0.03 kN	-1.00 kN

FZ:

Tuki:	MRTmax:	MRTmin:	KRTmax:	KRTmin:
1:	10.53 kN	2.39 kN	8.42 kN	2.65 kN
2:	0.00 kN	0.00 kN	0.00 kN	0.00 kN

- KRT tukireaktiot ovat vain vertailua varten

TUKIREAKTIOT KUORMITUSTAPAUKSITTAIN (OMINAISARVOT):

Kuormitustapaus:	Omapaino	
Tuki:	FX [kN]:	FZ [kN]:
1:	0.03	2.65

Finnwood 2.3 SR1 (2.4.017)

© Copyright 2012 Metsäliitto Osuuskunta, Metsä

Runkotolppa

17.3.2016

Tuomas Kankaanpää

2:	-0.03	0.00
<hr/>		
Kuomitustapaus:	Lumikuoma	
Tuki:	FX [kN]:	FZ [kN]:
1:	0.07	5.77
2:	-0.07	0.00
<hr/>		
Kuomitustapaus:	Tuulikuoma	
Tuki:	FX [kN]:	
1:	-0.93	
2:	-0.93	

HUOMIOT:

- EN 1995-1-1-standardin, sen täydennysosan A1:2008 ja Suomen kansallisten liitteiden sekä RIL 205-1-2009 -suunnitteluohjeen mukainen laskenta
- VTT on tehnyt kolmannen osapuolen tarkistuksen ohjelmalle (VTT-S-03937-12)
- MRT = Murtorajatila, KRT = Käyttörajatila
- *) Yhteisvaikutustarkasteluissa %-luku tarkoittaa mitoitusarvon ja raja-arvon suhdetta, ei todellista käyttöastetta
- Liittyvän alapuolisen rakenteen tukipainekestävyys tulee tarkistaa erikseen
- Mitoituksessa ei huomioida ulokkeiden alle 20 mm taipumaa ylöspäin
- Värähtely- ja taipumatarkastelua ei tehdä alle 200 mm pituisille ulokkeille
- Leikkausmuodonmuutos on mukana käyttörajatilamitoituksessa
- Leikkausmuodonmuutos ei ole mukana voimasuureiden laskennassa
- Rakenneseosan koon vaikutus lujuteen on otettu huomioon ominaisarvoissa kertoimilla kh ja kl
- Suunnittelijan tulee kiinnittää huomiota myös rakennedetaljeihin ja varmistaa, ettei rakenteisiin muodostu vesitaskuja

Laskelmissa ei ole huomioitu rakennusaikaisia kuomia eikä kosteusolosuhteita. Mahdolliset rakennusaikaiset lisätuennat on mitoitettava erikseen. Rakennuksen kokonaisjäykistystä ja siitä johtuvia vaakavoimia ei ole huomioitu. Rakenneseosan (palkki, pilari, laatta) soveltuvuus kokonaisuuteen on päärakennesuunnittelijan tarkistettava erikseen.

Finnwood-ohjelmistolla tehdyt laskelmat ja tulosteet ovat voimassa vain ohjelmistoon tallennettujen Metsäliitto Osuuskunta, Metsä Woodin tuotteiden kanssa. Nämä tuotteet on tarvittaessa osoitettava rakennuspaikalla hankkeen osapuolille sekä viranomaisille. Metsäliitto Osuuskunta, Metsä Wood tai sen tytäryhtiöt eivät vastaa käyttäjälle tai kolmannelle osapuolelle muiden valmistajien tuotteista tai niiden käytöstä Finnwood-ohjelmistossa, ohjelmiston perusteella näin tehdyistä laskelmista ja tulosteista tai kolmansien valmistajien tuotteista tai niiden käytöstä aiheutuneista virheistä, menetyksistä tai vahingoista. Näitä ehtoja ei saa poistaa tulosteesta.

Liite 6. Harkkoseinän mitoitus

Materiaalin ominaisuudet

Normalisoitu puristuskestävyys

$$f_b = 1,8 \text{ N/mm}^2 \text{ (valmistajan ilmoittama)}$$

Puristuslujuuden ominaisarvo

$$f_k = K * f_b^\alpha * f_m^\beta$$

$$\alpha = 0,85 \quad \beta = 0 \quad K = 0,85 \quad (\text{Arvot taulukosta, kun käytetään ohutsauma- laastia})$$

$$f_k = 0,85 * \left(1,8 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\right)^{0,85} * 1 = 1,40 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Puristuslujuuden mitoitusarvo

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_M} = \frac{1,4 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1,8} = 0,78 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Leikkauslujuuden ominaisarvo

$$f_{vko} = 0,06 * f_b = 0,06 * 1,8 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 0,108 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{vk} = f_{vko} + 0,4\sigma \quad \rightarrow \quad f_{vk} = 0,108 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}, \text{ kun ei huomioida puristusjännityksen } \sigma \text{ tuomaa lisää kestävyYTEEN.}$$

Leikkauslujuuden mitoitusarvo

$$f_{vd} = \frac{f_{vk}}{\gamma_M} = \frac{0,108 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1,8} = 0,06 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Taivutuslujuuden ominaisarvot

$$f_{xk,1} = 0,26 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{xk,2} = 0,1 * f_b = 0,1 * 1,8 \frac{N}{mm^2} = 0,18 \frac{N}{mm^2}$$

Taivutuslujuuden mitoitusarvot

$$f_{xd,1} = \frac{f_{xk,1}}{\gamma_M} = \frac{0,26 \frac{N}{mm^2}}{1,8} = 0,144 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{xd,2} = \frac{f_{xk,2}}{\gamma_M} = \frac{0,18 \frac{N}{mm^2}}{1,8} = 0,10 \frac{N}{mm^2}$$

Mitoittavat taivutusmomentit

$$\text{Vaakakuorman mitoitusarvo } W_{Ed} = K_{FI} * 1,5 * q_{wk} = 0,9 * 1,5 * 0,72 \frac{kN}{m^2} = 0,97 \frac{kN}{m^2}$$

$$M_{Ed,1} = \alpha_1 * W_{Ed} * l^2 \qquad h = 4,6m$$

$$\alpha_1 = \mu * \alpha_2 \qquad l = 6,9m$$

$$\mu = \frac{f_{xd,1}}{f_{xd,2}} = \frac{0,144}{0,1} = 1,44 \qquad \frac{h}{l} = \frac{4,6}{6,9} = 0,67$$

$$\alpha_2 = 0,02616 \qquad (\text{Taulukosta, kun seinä reunoiltaan vapaasti tuettu})$$

$$\alpha_1 = 1,44 * 0,02616 = 0,03767$$

$$M_{Ed,1} = \alpha_1 * W_{Ed} * l^2 = 0,03767 * 0,97 \frac{kN}{m^2} * (6,9m)^2 = 1,74kNm$$

$$M_{Ed,2} = \alpha_2 * W_{Ed} * l^2 = 0,02616 * 0,97 \frac{kN}{m^2} * (6,9m)^2 = 1,21kNm$$

Taivutuskestävyydet

$$M_{Rd,i} = f_{xd,i} * z$$

$$z = \frac{bh^2}{6} = \frac{1000mm * (375mm)^2}{6} = 23437500mm^3$$

$$M_{Rd,1} = 0,144 \frac{N}{mm^2} * 23437500mm^3 = 3375000Nmm = 3,375kNm$$

$$M_{Rd,2} = 0,10 \frac{N}{mm^2} * 23437500mm^3 = 2343750Nmm = 2,344kNm$$

Mitoitusehdot

$$M_{Ed,1} \leq M_{Rd,1} \quad \rightarrow \quad 1,74 \text{ kNm} < 3,375 \text{ kNm} \quad \text{OK!}$$

$$M_{Ed,2} \leq M_{Rd,2} \quad \rightarrow \quad 1,21 \text{ kNm} < 2,344 \text{ kNm} \quad \text{OK!}$$

Käyttöasteet 51,6 %.

Paikallinen puristuskestävyys

Puristava kuorma kattotuolilta

$$G_k = 3,0kN \quad Q_k = 8,65kN \quad K_{Fi} = 0,9$$

$$N_{Edc} = 0,9 * (1,15 * 3,0kN + 1,5 * 8,65kN) = 14,78kN$$

Paikallinen puristuskestävyys

$$N_{Rdc} = \beta * A_b * f_b$$

$$\beta = \left(1 + 0,3 * \frac{a_1}{h_c}\right) * \left(1,5 - 1,1 * \frac{A_b}{A_{ef}}\right)$$

$$\text{Ehto} \quad 1,0 \leq \beta \leq \min \left\{ \begin{array}{l} 1,25 + \frac{a_1}{2 * h_c} \\ 1,5 \end{array} \right.$$

$$a_1 = 750mm$$

$$h_c = 4600mm \quad \text{Seinän korkeus}$$

$$A_b = 375mm * 42mm = 15750mm^2 \quad \text{Kuormitusala}$$

$$l_{efm} = \cos(60) * 2300mm + 42mm + 750mm = 1942mm$$

$$A_{ef} = l_{efm} * t = 1942\text{mm} * 375\text{mm} = 728250\text{mm}^2$$

$$\frac{A_b}{A_{ef}} = \frac{15750}{728250} = 0,0216 < 0,45 \quad \text{OK!}$$

$$\beta = \left(1 + 0,3 * \frac{750\text{mm}}{4600\text{mm}}\right) * \left(1,5 - 1,1 * \frac{15750\text{mm}^2}{728250\text{mm}^2}\right) = 1,548 \leq$$

$$\min \left\{ \begin{array}{l} 1,25 + \frac{750}{2*4600} = 1,413 \\ 1,5 \end{array} \right. \quad \rightarrow \underline{\beta = 1,413}$$

$$N_{Rdc} = 1,413 * 15750\text{mm}^2 * 0,78 \frac{N}{\text{mm}^2} = 17359N = 17,36\text{kN}$$

Mitoitusehto

$$N_{Edc} \leq N_{Rdc} \quad \rightarrow \quad 14,78\text{kN} < 17,36\text{kN} \quad \text{OK!}$$

Käyttöaste 85,1 %.

Puristuskestävyys (seinän alapäässä)

$$N_{Rd} = \Phi * t * f_d$$

$$\Phi = 1 - 2 * \frac{e}{t}$$

$$e \geq 0,05 * t = 0,05 * 375\text{mm} = 18,75\text{mm} \quad (\text{kuormat keskeisiä})$$

$$\Phi = 1 - 2 * \frac{18,75\text{mm}}{375\text{mm}} = 0,9$$

$$N_{Rd} = 0,9 * 375\text{mm} * 0,78 \frac{N}{\text{mm}^2} = 263,25 \frac{N}{\text{mm}} = 263,25 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Puristava kuorma seinän alapäässä

$$\text{Yläpohjan omapaino} \quad G_{,1} = 3,0 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\text{Seinän omapaino} \quad G_{,2} = 6,0 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$G_k = 9,0 \frac{kN}{m}$$

$$Q_k = 9,61 \frac{kN}{m}$$

$$N_{Ed} = 0,9 * \left(1,15 * 9,0 \frac{kN}{m} + 1,5 * 9,61 \frac{kN}{m} \right) = 22,23 \frac{kN}{m} = 22,23 \frac{N}{mm}$$

Mitoitusehto

$$N_{ed} \leq N_{Rd} \quad \rightarrow \quad 22,23 \text{ kN/m} < 263,25 \text{ kN/m} \quad \text{OK!}$$

Käyttöaste 8,4 %.

Rauditus halkeilua vastaan

Raudituksen pinta-alan tulee olla vähintään 0,03 % seinän bruttopinta-alasta.

$$375mm * 4600mm * 0,0003 = 517,5mm^2$$

⇒ 2kpl 8mm harjateräs joka neljänteen saumaan

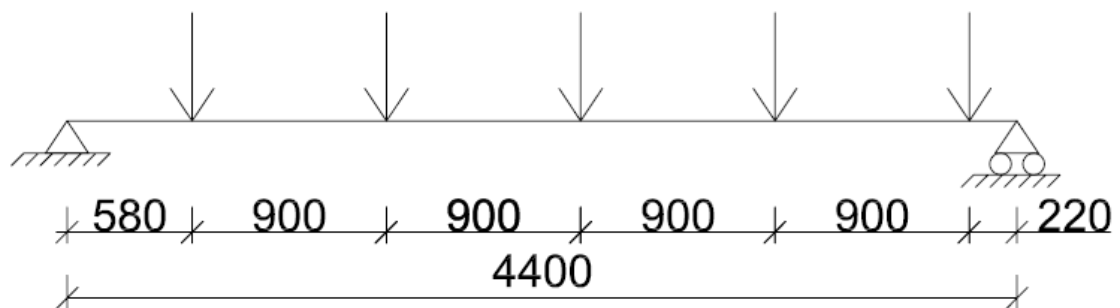
Liite 7. Oviaukon palkin mitoitus

Oviaukon ylittävä palkki

Palkin pituus

Suosittelun min. tukipinnan pituus 300mm → väh. 4600mm pitkä palkki. Valitaan käytettäväksi 4800 mm (palkkeja valmistetaan 300mm välein). Tällöin tukipinnan pituus 400 mm.

Palkille tulee 5 pistekuormaa kattotuolilta, joiden suuruus on $N_{Ed} = 14,78\text{kN}$ ja $N_k = 11,65\text{kN}$. Pistekuormien sijainnit on esitetty alla olevassa kuvassa.



Palkin kuormituksiksi saadaan $V_{Ed} = 40\text{kN}$ ja $M_{Ed} = 41\text{kNm}$ murtorajatilassa ja $V_{Ek} = 31,5\text{kN}$ ja $M_{Ek} = 32,20\text{kNm}$ ominaiskuormilla laskettuna.

Palkin sallittu kuormitus 25kN/m on ilmoitettu ominaiskuormana, josta saadaan kestävyudeksi $V_{Rk} = 55\text{kN}$ ja $M_{Rk} = 60,5\text{kNm}$.

Mitoitusehdot

$$V_{Ek} < V_{Rk} \quad \rightarrow \quad 31,5\text{kN} < 55\text{kN} \quad \text{OK!}$$

$$M_{Ek} < M_{Rk} \quad \rightarrow \quad 32,20\text{kNm} < 60,50\text{kNm} \quad \text{OK!}$$

Käyttöaste 73 %.

Tukipinnan puristuskestävyys

$$f_d = 0,78 \frac{N}{\text{mm}^2} \quad \text{Harkko}$$

$$f_d = 1,37 \frac{N}{\text{mm}^2} \quad \text{Palkki}$$

$$\Rightarrow \text{Harkko määräävä } f_d = 0,78 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$N_{Rd} = 0,9 * 0,78 \frac{N}{\text{mm}^2} * 375\text{mm} = 263,25 \frac{N}{\text{mm}}$$

Puristava kuorma

$$N_{Ed} = 40kN$$

Tukipinnan pituus

$$l = \frac{40000N}{263,25 \frac{N}{mm}} = 152mm \quad \rightarrow \text{Tukipinnan pituus } 400 \text{ mm riittävä.}$$

Puristuskestävyys, kun tukipinta 400mm

$$N_{Rd} = 0,9 * 0,78 \frac{N}{mm^2} * 375mm * 400mm = 105300N$$

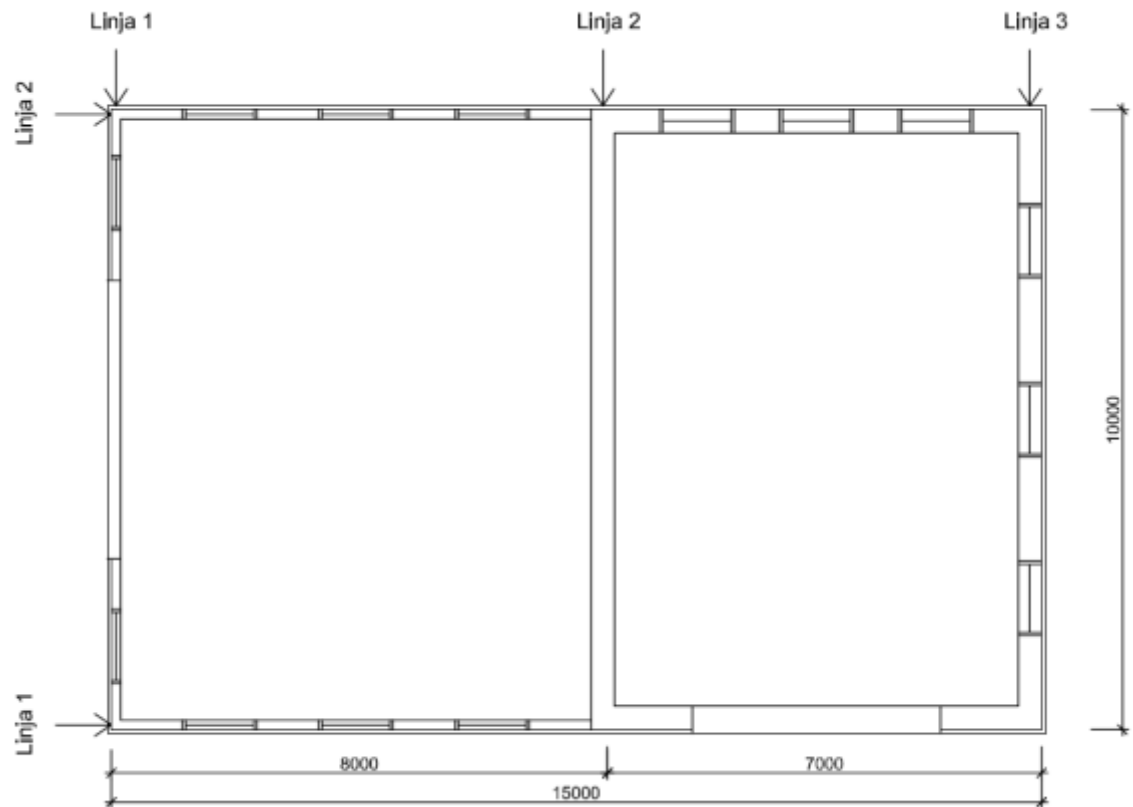
Käyttöaste 38 %.

Liite 8. Levyjäkistyksen mitoitus

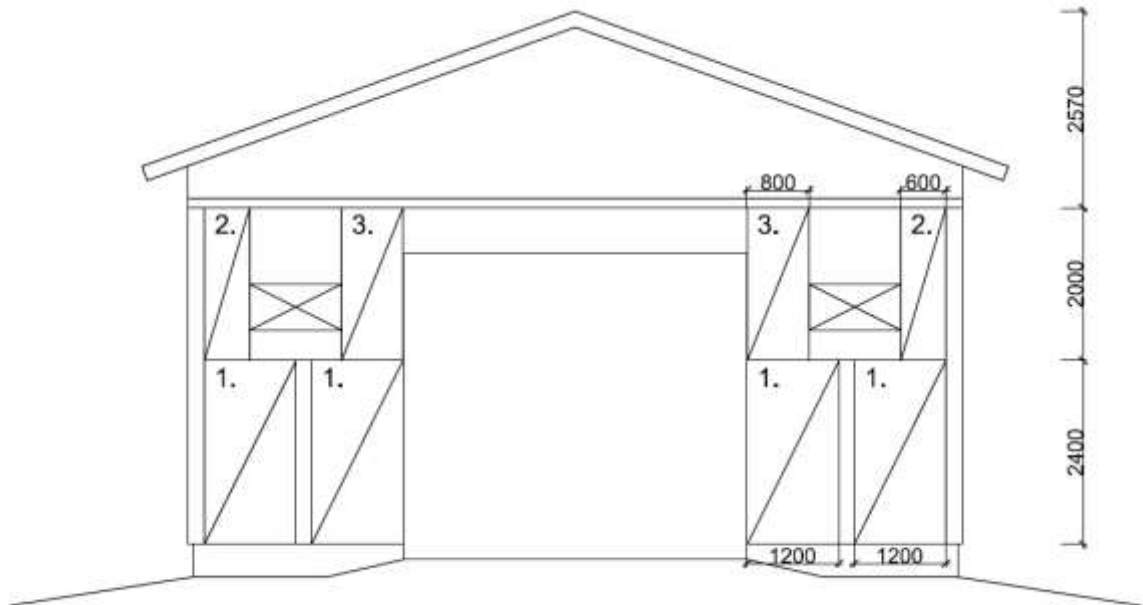
Sivusuuntainen jäykistys

Rakennus jäykistetään sivusuunnassa väli- ja päätyseinillä.

Jäykistyslinjat on esitetty alla olevassa kuvassa.



Päätyseinän levyjäykisteen lohkojako on esitetty alla olevassa kuvassa.



Jäykistysseinälle tulevat kuormat (pitkän sivun linja1)

$$\text{Tuulivoima } q_{wk} = 0,86 \frac{kN}{m^2}$$

Alapaartteen tasoon tuleva viivakuorma

$$F_{k,1} = 0,86 \frac{kN}{m^2} * \left(2,57m + \frac{4,4m}{2} \right) = 4,1 \frac{kN}{m}$$

Lohkoille tuleva kuorma

$$F_{k,1} = 4,1 \frac{kN}{m} * \frac{8m}{2} = 16,4kN$$

Mitoituskuorma

$$F_{Ed,1} = 1,5 * 16,4kN = 24,6kN$$

Naulan leikkauskestävyys jäykistävässä seinässä

Konenaula 2,8x50

Käytetään 15mm vaneria

Korjauskerroin k_ρ

$$k_\rho = \sqrt{\frac{\rho}{350}} = \sqrt{\frac{350}{350}} = 1$$

$\rho = 350$, kun puutavara C24

Korjauskerroin k_l

$$k_l = \left(0,5 + \frac{t}{12 * d} \right) * k_\rho = \left(0,5 + \frac{15mm}{12 * 2,8mm} \right) * 1 = 0,946$$

$$k_{mod} = 1,1$$

$$\gamma_M = 1,4$$

Naulan leikkauskestävyys

$$R_d = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} * k_l * 120 * d^{1,7} = \frac{1,1}{1,4} * 0,946 * 120 * 2,8^{1,7} = 513,7N$$

Naulan leikkauskestävyysjäykistävässä seinässä

Naulan leikkauskestävyyttä saadaan korottaa kertoimella 1,2

$$F_{f,Rd} = 1,2 * R_d = 1,2 * 513,7N = 616,4N$$

Naulan leikkauskestävyys jäykistävässä seinässä

Lankanauula 2,5x60

Käytetään 15mm vaneria

Korjauskerroin k_ρ

$$k_\rho = \sqrt{\frac{\rho}{350}} = \sqrt{\frac{350}{350}} = 1 \quad \rho = 350, \text{ kun puutavara C24}$$

Korjauskerroin k_l

$$k_l = \left(0,5 + \frac{t}{12 * d}\right) * k_\rho = \left(0,5 + \frac{15mm}{12 * 2,5mm}\right) * 1 = 1,0$$

$$k_{mod} = 1,1 \quad \gamma_M = 1,4$$

Naulan leikkauskestävyys

$$R_d = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} * k_l * 120 * d^{1,7} = \frac{1,1}{1,4} * 1,0 * 120 * 2,5^{1,7} = 447,7N$$

Naulan leikkauskestävyysjäykistävässä seinässä

Naulan leikkauskestävyyttä saadaan korottaa kertoimella 1,2

$$F_{f,Rd} = 1,2 * R_d = 1,2 * 447,7N = 537,2N$$

⇒ Tehdään mitoitus lankanaulan kestävyuden mukaan

Seinän yläosan lohkot 2kpl 600x2000 ja 2kpl 800x2000 $F_{E,1} = 24,6kN$

Lohkojen leveyden tulee täyttää ehto $b_1 > \frac{h}{4}$ $\frac{2000mm}{4} = 500mm < b$ OK!

$$c_1 = \begin{cases} 1,0 & \text{kun } b_i \geq \frac{h}{2} \\ \frac{2 * b_i}{h} & \text{kun } b_i < \frac{h}{2} \end{cases}$$

Lohkon 2 leikkausvoimakestävyys

$s = 40mm$ naulaväli

$b_2 = 600mm$ lohkon leveys

$$c_2 = \frac{2 * b}{h} = \frac{2 * 600}{2000} = 0,6$$

$$F_{2,V,Rd} = \frac{F_{f,Rd} * b_2 * c_2}{s} = \frac{537,2N * 600mm * 0,6}{40mm} = 4834,8N$$

Lohkon 3 leikkausvoimakestävyys

$s = 40mm$ naulaväli

$b_3 = 800mm$ lohkon leveys

$$c_3 = \frac{2 * b}{h} = \frac{2 * 800}{2000} = 0,8$$

$$F_{3,V,Rd} = \frac{F_{f,Rd} * b_3 * c_3}{s} = \frac{537,2N * 800mm * 0,8}{40mm} = 8595,2N$$

Seinän leikkausvoimakestävyys

$$F_{V,Rd} = 2 * 4834,8N + 2 * 8595,2N = 26860N = 26,86kN$$

Mitoitusehto

$$F_{Ed} \leq F_{V,Rd} \quad \rightarrow \quad 24,60kN < 26,86kN \text{ OK!}$$

Käyttöaste 92 %.

Seinän alaosanlohkot 4kpl 1200x2400

$$F_{E,1} = 24,6kN$$

Lohkon 1 leikkausvoimakestävyys

$s = 40mm$ naulaväli

$b_1 = 1200mm$ lohkon leveys

$$c_1 = 1,0$$

$$F_{1,V,Rd} = \frac{F_{f,Rd} * b_1 * c_1}{s} = \frac{537,2N * 1200mm * 1,0}{40mm} = 16116N$$

Seinän leikkausvoimakestävyys

$$F_{V,Rd} = 4 * 16116N = 64464N = 64,46kN$$

Mitoitusehto

$$F_{Ed} \leq F_{V,Rd} \quad \rightarrow \quad 24,6kN < 64,46kN \text{ OK!}$$

Käyttöaste 38 %.

Alaosan levytykseen riittäisi $s = 100mm$.

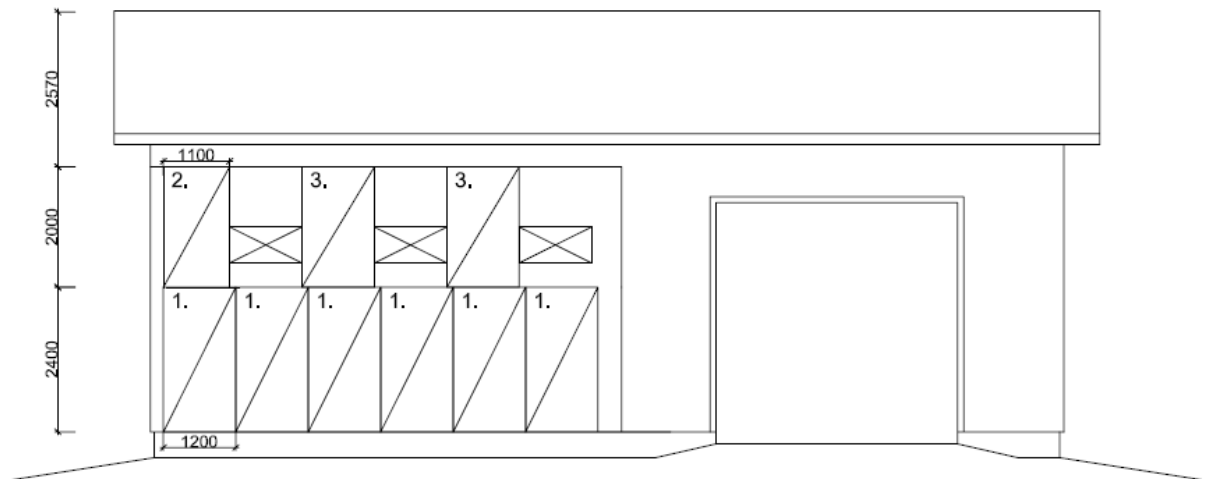
Pituussuuntainen jäykistys

Rakennus jäykistetään pituussuunnassa sivuseinien levytyksellä.

Jäykistyslinjat on esitetty sivusuuntaisen jäykistyksen yhteydessä.

Sivuseinien lohkojako on esitetty alla olevassa kuvassa.

Molemmilla sivuilla samanlainen lohkojako.



Jäykistysseinille tulevat kuormat (päädyn linjat 1 ja 2)

$$\text{Tuulivoima } q_{wk} = 0,86 \frac{kN}{m^2}$$

Päädyn keskimääräinen korkeus

$$h = \frac{2,57m + 0,75m}{2} = 1,66m$$

Alapaarteen tasoon tuleva viivakuorma

$$F_{k,1} = 0,86 \frac{kN}{m^2} * \left(\frac{4,4m}{2} + 1,66m \right) = 3,32 \frac{kN}{m}$$

Lohkoille tuleva kuorma

$$F_{k,1} = 3,32 \frac{kN}{m} * \frac{10m}{2} = 16,6kN$$

Mitoituskuorma

$$F_{Ed,1} = 1,5 * 16,6kN = 24,9kN$$

Naulan leikkauskestävyys

$$F_{f,Rd} = 537,2N \quad \text{lankanauula } 2,5 \times 60$$

Seinän yläosan lohkot 1kpl 1100x2000 ja 2kpl 1200x2000 $F_{E,1} = 24,9kN$

Lohkojen leveyden tulee täyttää ehto $b_1 > \frac{h}{4}$ $\frac{2000mm}{4} = 500mm < b$ OK!

$$c_1 = \begin{cases} 1,0 & \text{kun } b_i \geq \frac{h}{2} \\ \frac{2 * b_i}{h} & \text{kun } b_i < \frac{h}{2} \end{cases}$$

Lohkon 2 leikkausvoimakestävyys

$s = 70mm$ naulaväli

$b_2 = 1100mm$ lohkon leveys

$c_2 = 1,0$

$$F_{2,V,Rd} = \frac{F_{f,Rd} * b_2 * c_2}{s} = \frac{537,2N * 1100mm * 1,0}{70mm} = 8441,7N$$

Lohkon 3 leikkausvoimakestävyys

$s = 70mm$ naulaväli

$b_3 = 1200mm$ lohkon leveys

$c_3 = 1,0$

$$F_{3,V,Rd} = \frac{F_{f,Rd} * b_3 * c_3}{s} = \frac{537,2N * 1200mm * 1,0}{70mm} = 9209,1N$$

Seinän leikkausvoimakestävyys

$$F_{V,Rd} = 8441,7N + 2 * 9209,1N = 26860N = 26,86kN$$

Mitoitusehto

$$F_{Ed} \leq F_{V,Rd} \quad \rightarrow \quad 24,9kN < 26,86kN \text{ OK!}$$

Käyttöaste 93 %.

Seinän alaosanlohkot 6kpl 1200x2400 $F_{E,1} = 24,9kN$

Lohkon 1 leikkausvoimakestävyys

$s = 70mm$ naulaväli

$b_1 = 1200mm$ lohkon leveys

$c_1 = 1,0$

$$F_{1,V,Rd} = \frac{F_{f,Rd} * b_1 * c_1}{s} = \frac{537,2N * 1200mm * 1,0}{70mm} = 9209,1N$$

Seinän leikkausvoimakestävyys

$$F_{V,Rd} = 6 * 9209,1N = 55250N = 55,25kN$$

Mitoitusehto

$$F_{Ed} \leq F_{V,Rd} \quad \rightarrow \quad 24,9kN < 55,25kN \text{ OK!}$$

Käyttöaste 45 %.

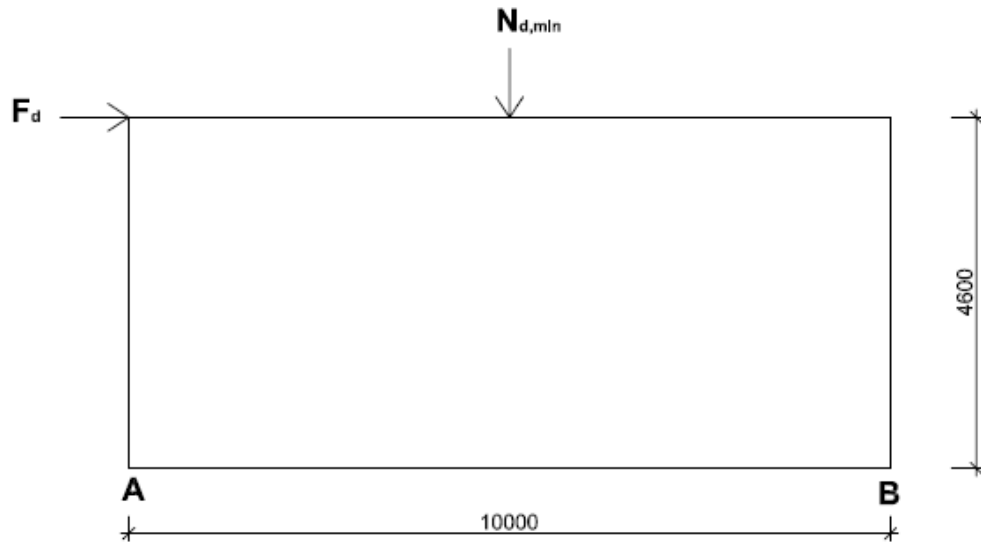
Alaosan levytykseen riittäisi $s = 100\text{mm}$.

Liite 9. Jäykistävän harkkoseinän mitoitus

Jäykistykseen mitoitus harkkoseinään (linja 2, väliseinä)

Väliseinä harkkoseinistä mitoittava

Seinälle tulevat kuormat



$$\text{Tuulivoima } q_{wk} = 0,86 \frac{kN}{m^2}$$

Alapaarteen tasoon tuleva viivakuorma

$$F_k = 0,86 \frac{kN}{m^2} * \left(2,57m + \frac{4,4m}{2} \right) = 4,1 \frac{kN}{m}$$

Pistekuorma seinän ylänurkassa

$$F_{k,2} = 4,1 \frac{kN}{m} * \left(\frac{8m}{2} + \frac{7m}{2} \right) = 30,75kN$$

Mitoituskuorma

$$F_{Ed,2} = 1,5 * 30,75kN = 46,13kN$$

Seinän omastapainosta syntyvä pystysuuntainen puristus

$$N_{d,min} = 0,9 * 0,375m * 10m * 4,6m * 3,0 \frac{kN}{m^3} = 46,58kN$$

Momentit pisteen B suhteen

$$M_F = 4,6m * 46,13kN = 212,2kNm$$

$$M_N = 5,0m * 46,58kN = 232,88kNm$$

$$M_N > M_F \quad \text{OK!}$$

Leikkaustarkastelu

Leikkausvoima

$$F_{Ed,2} = 46,13kN$$

Leikkauskestävyys

$$f_{vd} = 0,06 \frac{N}{mm^2} \quad \text{leikkauslujuuden mitoitusarvo}$$

$$F_{V,Rd} = 375mm * 10000mm * 0,06 \frac{N}{mm^2} = 225000N = 225kN$$

Mitoitusehto

$$F_{Ed,2} \leq F_{V,Rd} \quad \rightarrow \quad 46,13kN < 225kN \quad \text{OK!}$$

Käyttöaste 21 %