

PIHATON RAKENTEIDEN KUSTANNUSVERTAILU

Tapio Myllylä

Opinnäytetyö
Syyskuu 2013

Rakennustekniikan koulutusohjelma
Tekniikan ja liikenteen ala





Tekijä(t) MYLLYLÄ, Tapio	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 1.9.2013
	Sivumäärä 34+25	Julkaisun kieli suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty (X)
Työn nimi PIHATON RAKENTEIDEN KUSTANNUSVERTAILU		
Koulutusohjelma Rakennustekniikka		
Työn ohjaaja(t) HAAPAMAA, Hannu		
Toimeksiantaja(t) ProAgria Keski-Suomi, Juho Liski		
<p>ProAgria Keski-Suomen toimeksiannosta tehtiin vertailutyökalu 60 lypsävän lehmän pihaton eri runkorakenteiden, materiaalien sekä vaipan sulkevien rakenteiden ja materiaalien kustannusvertailuun. Vertailutyökalun tavoitteena oli tehdä selkeä ja käyttäjäystävällinen ohjelma, jolla asiakkaat pystyvät näkemään eri valintojen vaikutuksen pihaton kokonaiskustannukseen.</p> <p>Työ toteutettiin suunnitteleamalla aluksi pihaton toiminnallinen ratkaisu tiloihin, ja sen jälkeen perustukset, rungot ja kattoratkaisut mitoitettiin eli materiaali- ja rakennevaihtoehdoille. Mitoituksessa käytettiin sijaintina Jyväskylää ja maastoluokkana II, joka on aluetta, jolla on matalaa heinää tai siihen verrattavaa kasvillisuutta ja erillisiä esteitä (puita, rakennuksia), joiden etäisyys toisistaan on vähintään 20 kertaa esteen korkeus. Mitoitukset toteutettiin opinnäytetyötä varten laaditulla Excel – taulukkolaskentaohjelmalla. Myös vertailutyökalu toteutettiin Excel – taulukkolaskentaohjelmalla.</p> <p>Vertailutyökalun avulla toteutetun vertailun pohjalta halvimaksi ratkaisuksi muodostui pihatto, jossa lannanpoisto toteutetaan raapalla ja kokoojakuilulla, seinien runkorakenteet puupilareilla sisältäen keskipilarit, kattorakenteet liimapuupalkeilla ja vaipan sulkevat rakenteet seiiniin omasta puutavarasta sekä palavillasta.</p> <p>Järkevin vaihtoehto, ottaen huomioon työtekniikan toteutuksen on pihatto, jossa on lannanpoistossa raappa, seininä betonisandwich-elementit ja päätykolmioissa kappaletavara sekä villa, keskipilarit ja katon kantavat rakenteet tehtynä liimapuusta.</p> <p>Koska työ olisi mennyt liian laajaksi, jouduttiin työhön tekemään muutamia rajoituksia. Työssä ei käsitelty aikatauluja eikä elinkaarikustannuksia, jotka molemmat vaikuttavat osaltansa materiaali- ja rakennevalintoihin paljon. Opinnäytetyössä ei myöskään otettu kantaa lypsyaseman, parsien, koneiden, väliseiniin, ovien ja ikkunoiden, suunnittelun, lupamaksujen, rakennuttajakulujen yms. vaikutuksia kustannuksiin, koska nämä kustannukset ovat samansuuruisia rungon ja vaipan materiaaleista riippumatta</p>		
Avainsanat (asiasanat) ProAgria, kustannusvertailu, rakennusmateriaali, pihatto, mitoitus, rakennuskustannus		
Muut tiedot		



Author(s) MYLLYLÄ, Tapio	Type of publication Bachelor's Thesis	Date 01092013
	Pages 34+25	Language Finnish
		Permission for web publication (X)
Title BUILDING COST COMPARISON FOR COWSHED		
Degree Programme Civil Engineering		
Tutor(s) HAAPAMAA, Hannu		
Assigned by ProAgria Keski-Suomi, Juho Liski		
Abstract <p>ProAgria Keski-Suomi gave an assignment to develop a price comparison tool for different frameworks, materials and for enveloping structures and materials for a cowshed of 60 cows. The goal was to build simple and user friendly comparison tools which allow customers to understand how various choices affect the total cost of a cowshed.</p> <p>The assignment was carried out by planning the functional solutions of a cowshed and then designing groundwork, framework and roofing solutions for different materials and structures. In the specifications Jyväskylä was used as a location and for the terrain category a terrain with low hay or comparable vegetation and separate obstacles (trees, buildings) was chosen, where the distance of buildings, trees and other obstacles from each other is at least 20 times their height. The design and comparison tool were carried out using Excel spreadsheet program.</p> <p>The comparison carried out with the tool showed that the most affordable solution was a cowshed with manure removal done by scraper and sludge gap, where the walls were built using wooden columns including middle columns, the roof's supporting structures were made of glue laminated beam and the enveloping structures were to be constructed with customers' own timber and mineral wool. The most feasible option taking into account the technical execution is a cowshed with scraper manure removal, concrete-sandwich elements for walls with pediment made of timber and mineral wool, and middle columns and roofs supporting structures made of glue laminated wood.</p> <p>Some restrictions were made for the assignment not to extend its scope too much. Schedules and life-cycle costs were not considered, though both affect considerably the choices concerning materials and structures. This thesis contains no statement about the effect on the cost caused by milking station, stalls, machines, partitions, doors and windows, planning, license fees, constructor costs etc. because these expenditures do not depend on the materials of framework and envelope.</p>		
Keywords ProAgria, comparison of costs, construction material, cowshed, design, construction cost		
Miscellaneous		

Sisältö

1 Työn lähtökohdat?	4
1.1 Opinnäytetyön tavoite	4
1.2 Maatalouden tilanne ja tulevaisuus	4
2 Pihaton suunnittelun periaatteet.....	5
2.1 Toiminnallinen suunnittelu	5
2.2 Määräykset.....	6
3 Rakenteiden mitoittaminen.....	8
3.1 Mitoittamisen lähtökohdat	8
3.2 Puurakenteet.....	9
3.3 Teräsrakenteet	14
3.4 Betonirakenteet/valmisosat.....	16
3.5 Betonirakenteet/paikallavalu.....	21
3.6 Täydentävät rakenteet.....	21
4 Kustannukset	21
4.1 Tarjoukset.....	21
4.2 Puurakenteet.....	22
4.3 Teräsrakenteet	22
4.4 Betonirakenteet	23
4.5 Vaipan sulkevat rakenteet.....	23
4.6 Muu rakentaminen.....	24
5 Rakenteiden ja materiaalien vertailu	24
5.1 Vertailuperiaatteet.....	24
5.2 Lannanpoisto	25
5.3 Runko.....	25
5.4 Kattorakenteet	26
5.5 Keskipilari	26
6 Tulokset	27
6.1 Vertailutyökalu	27
6.2 Pihaton eri rakennevaihtoehtojen vertailu.....	27

6.3 Kustannustehokkain ratkaisu	28
6.4 Järkevin vaihtoehto	28
7 Arviointi.....	29
7.1 Haasteet ja opit	29
7.2 Jatkotutkimuksia	31
Lähteet	32
Liitteet.....	33
Liite 1. Pihaton pohjakuva	33
Liite 2. Kuormat	34
Liite 3. Harjapalkin mitoitus	35
Liite 4. Liimapuupalkin mitoitus	37
Liite 5. Puupilarien mitoitus	38
Liite 6. Puupalkkien mitoitus	41
Liite7. Teräspilarien mitoitus.....	44
Liite 8. Teräspalkkien mitoitus	47
Liite 9. Betonipilarien mitoitus.....	50
Liite 10. Betonipalkkien mitoitus.....	53
Liite 11. Anturoiden mitoitus	57

Termit

Eläintila, lypsykarjarakennuksessa oleva tila, joka muodostuu nautaeläinten parsi-, ja karsina-alueista ruokinta- ja lantakäytävät mukaan lukien.

Lantakäytävä, pihatton makuuparret tai makuuparren ja ruokintapöydän yhdistävä lehmien kulkuväylä, josta lanta poistuu valumalla tai poistetaan koneellisesti.

Lehmä, poikinuut naaraspuolinen nauta.

Lypsylehmä, pääasiassa maidontuotantoa varten pidettävä lehmä.

Lypsyosasto, lypsyasema ja lehmien odotustila sekä siihen liittyvä käytävätila.

Lämminpihatto, lämpöeristetty pihatto, jossa ohjattava huoneilmasto ja sisälämpötila ympäri vuoden

Pihatto, lypsykarjarakennus, jossa nautaeläimet voi liikkua vapaasti syömään, makuulle ja lypsylle.

Vasikka, enintään 6 kk:n ikäinen nauta sukupuolesta riippumatta.

1 Työn lähtökohdat?

1.1 Opinnäytetyön tavoite

Keski-Suomen Pro Agria tarvitsi työkalun siihen, miten asiakkaille voi perustellusti suositella pihatton rakentamiseen tiettyjä rakenneratkaisuja ja materiaaleja. Pihatton rakentaminen on kuitenkin maataloudessa yksi merkittävimmistä yksittäisistä investoinneista, joten kustannustehokkain ratkaisu on yleensä asiakkaalle järkevin.

Tällä työkalulla voidaan asiakkaalle osoittaa yksiselitteisesti, mistä kustannukset koostuvat ja miten eri rakennevaihtoehdot vaikuttavat hintaan. Tässä opinnäytetyössä ei pihatton rakentamista ole aikataulutettu eri rakennevaihtoehtojen mukaan, mutta päätelmiä eri rakenneosien tekemisen kestoista voidaan päätellä siitä, mitkä osat tulevat elementteinä tehtailta ja miten paljon joutuu eri työvaiheita toteuttamaan työmaalla.

Opinnäytetyössä rajattiin pihatton tilat 60 lypsävän lehmän lypsykarjalle sisältäen hoito-, poikima- ja ruokintatilat sekä lypsyaseman, ruokintapöydän, sosiaalitilat, valvomon, kone- ja maituhuoneen. Lisäksi pihattoon varattiin tilat vasikoille 0-8 vk sekä 8 vk - 6 kk.

Opinnäytetyössä käsitellään kustannuksien osalta vain pohjatyöt, lannanpoiston, lattian, runkorakenteet sekä vaipan sulkevat rakenteet eri materiaalien osalta. Pois rajattiin loput pihattoon liittyvät kustannukset, kuten lypsyasema, irtokalusteet, väliseinät, ikkunat ja ovet.

1.2 Maatalouden tilanne ja tulevaisuus

Lypsykarjatalouden harjoittaminen muuttuu koko ajan tekniikan kehittyessä ja kilpailun kiristytessä. Suomeen haetaan paljon vaikutteita Hollannista ja Tanskasta, joissa 60 lehmän pihatton on todella pieni. Enää ei Suomessakaan ole kannattavaa pitää

tuota pienempää pihattoa, vaan yleisimmin, kun suunnitellaan uutta pihattoa tai korjausta vanhaan pihattoon, on lähtökohtana vähintään 60 lehmän pihatto. Pihatto on kustannuksiltaan suuri yksittäinen investointi lypsykarjatalouden parissa työskentelevälle, ja siksi se on tärkeä suunnitella huolellisesti tarpeiden mukaan ja mahdollinen laajentuminen huomioon ottaen. Vaikka Suomessa nykyisin ei ole niin paljon maidontuotantotiloja ja eläinmäärä on laskenut, maidontuotannon määrään se ei juuri ole vaikuttanut, koska yhden lehmän keskimääräinen maidontuotos on kasvanut.

2 Pihaton suunnittelun periaatteet

2.1 Toiminnallinen suunnittelu

Pihaton suunnittelu lähtee käyntiin toiminnallisella suunnittelulla. Tämä työvaihe on vaativin vaihe pihaton suunnittelussa ja siihen kannattaa varata riittävästi resursseja ja asiantuntemusta. Kun toiminnallisuus on saatu järkeväksi, luova työ loppuu ja ryhdytään miettimään rakenneratkaisuja ja materiaaleja. Toiminnallisessa suunnittelussa otetaan huomioon eläinten tarvitsemat tilat, ihmisen tarvitsemat tilat, lannankulku, ruokinta ja varastotilat.

Aluksi täytyy miettiä eläinten näkökulmasta kulku pihatossa eli nukkuminen, ruokailu, juominen, lypsy, hoito, poikiminen, laiduntaminen ja pois kuljettaminen. Tämän jälkeen mietitään ihmisen näkökulmasta toiminnallisuutta. Tässä pitää ottaa huomioon pihattoon tulo, vaatteiden vaihto, eläinten valvonta, sosiaalitilat, peseytyminen ja pyykin pesu, ruokien varastointi sekä miten saadaan täytettyä mahdollisimman helposti ja kätevästi eläinten vaatimat asiat.

Tämän jälkeen mietitään rakennus näiden tilojen ja reittien ympärille. Siinä on otettava huomioon rakenteiden ja rakennuksen lisäksi ilmanvaihto ja valaistus sekä suunniteltava huolella lannankulku (ks. LIITE 1).

2.2 Määräykset

Pihaton toiminnallisen suunnittelun peruslähtökohtana ovat Suomen säädöskokoelmat 8/2012, 163/2012, 164/2012.

8/2012 on maa- ja metsätalousministeriön asetus tuettavaa rakentamista koskevista lypsykarjarakennusten rakennusteknisistä ja toiminnallisista vaatimuksista, ja sen voimaantulopäivä on 12.1.2012

163/2012 on maa- ja metsätalousministeriön asetus tuettavaa rakentamista koskevista paloteknisistä vaatimuksista ja sen voimaantulopäivä on 10.4.2012

164/2012 on maa- ja metsätalousministeriön asetus tuettavaa rakentamista koskevista lypsykarjarakennusten rakennusteknisistä ja toiminnallisista vaatimuksista annetun maa- ja metsätalousministeriön asetuksen muuttamisesta ja sen voimaantulopäivä on 10.4.2012

Lypsykarjarakennusten suunnittelussa noudatetaan Suomen rakentamismääräyskokoelman määräyksiä ja ohjeita, eläinsuojelulakia (247/1996) ja sen nojalla annettuja eläinsuojelusäädöksiä sekä ympäristöhallinnon ympäristönsuojeluvaatimuksia (L 13.4.2012/164 3§)

Eläintilan huonekorkeuden tulee olla keskimäärin vähintään 2,7 metriä pois lukien peruskorjauskohde, jonka huonekorkeus ei saa alittaa 2,2 metriä. Jokaiselle eläimelle pitää löytyä makuupaikka; pihatossa lehmien makuupaikat ovat makuuparsia, jotka on erotettu toisistaan parrenerottajilla. Hoito- ja poikimatiloissa ei tarvita parsia, vaan niissä riittää kuivikkeilla alustetut makuupaikat. Makuuparsien tulee olla sellaisia, että eläin pystyy menemään makuulle ja nousemaan eläimelle ominaisella tavalla. Parren lattian kallistuksen lantakäytävään päin tulee olla 2-5 % ja parren pituus 2800 mm – 3100 mm, jos on yksiparsirivi, ja jos on päät vastakkain kaksi parsiriviä, parren pituus 2450 mm – 2850 mm. Parren leveyden tulee olla 1200 mm – 1400 mm parrenerottajan sisäpinnoista mitattuna. Kuivikepohjaisessa eläintilassa makuualueen koko tulee olla 6 m² lehmää kohden, ja jos alueella on lantakäytävä erikseen,

koon tulee olla 8,5 m² lehmää kohden, josta 6 m² on makuualueetta. Eläinalueen lantakäytävän leveyden tulee olla 2600 mm yhden tai kahden parsirivin välillä, 3600 mm ruokintapöydän ja parren välillä, jos on 1-2 makuuparsiriviä, ja 3800 mm ruokintapöydän ja parren välillä, jos on 3 makuuparsiriviä. Poikittaisten käytävien leveys tulee olla 1800 mm päätyseinän vieressä, 2600 mm ilman ahtauttavia kalusteita, 3800 mm, jos käytävällä juoma-allas tai karjajarja, ja 5000 mm, jos käytävällä sekä juoma-allas että karjajarja. Lisäksi poikittaisia käytäviä tulee olla vähintään 1 jokaista 20:tä makuupartta kohden. (L 18.1.2012/8)

Pihatossa pitää varata 1 poikimatila jokaista alkavaa 20 lypsylehmän ryhmää kohden. Sen sijainti pitää suunnitella siten, että sinne on helpot näkö- ja kulkuyhteydet ja sen tulee sijaita vedottomassa paikassa. Lisäksi poikimatila tulee sijoittaa ja suunnitella siten, että eläin on helppo lypsää. Poikimatilan pinta-ala käytettäessä yksittäisiä karsinoita tulee olla vähintään 13 m² ja lyhimmän sivun mitta vähintään 3,5 metriä. Ryhmäpoikimakarsinan pinta-ala tulee olla 11 m² ja lyhimmän sivun mitta 3,5 metriä. (L 13.4.2012/164 12§.)

Pihatossa on oltava yksi sairaan eläimen hoitopaikka jokaista alkavaa 25 lypsylehmää ryhmää kohden ensimmäiseen 50 lehmäpaikkaan asti, ja 50 lehmäpaikkaa ylittävälle osalle vähintään yksi sairaan eläimen hoitopaikka jokaista 50 lypsylehmän ryhmää kohden. (L 13.4.2012/164 13§.)

Ruokintapaikkoja pihatossa on järjestettävä siten, että jokaiselle lehmälle on varattu 400 mm ruokailutilaa, jos ruokaa on jatkuvasti ruokintapöydällä. Jos ruokinta tapahtuu vain tiettyinä aikoina, ruokintapöydän leveys tulee olla 750 mm lehmää kohden. Ruokintapöydän tulee pihatossa olla 100 mm korkeammalla kuin lantakäytävän lattiataso tai sorkkapalli, ja se tulee muotoilla siten, että eläin pystyy sille ominaisella tavalla ruokailemaan. (L 13.4.2012/164 15§.)

Juoma-astioita tai juomalaitteita pihatossa täytyy olla vähintään yksi jokaista alkavaa 6 lypsylehmän ryhmää kohden. Juoma-altaat tule sijoittaa tasaisesti ja siten, että niiden edessä on vähintään 3 metriä esteetöntä liikkumatilaa. Juoma-allasta tai astiaa

käytettäessä pitää vapaata reunaa olla 100 mm jokaista lehmää kohti ja lähin juomapaikka saa olla enintään 50 metrin päässä. (L 13.4.2012/164 16§.)

Lypsyasema on mitoitettava lypsylehmien lukumäärän mukaan ja lypsyasemalle tullessa tulee olla kokoontumistilaa $1,5 \text{ m}^2$ yhtä lehmää kohden. Kokoontumistilana alle 60 lehmän pihatoissa voidaan käyttää eläintilan liikunta-aluetta. Lypsyasemaa mitoitettaessa on otettava huomioon, ettei lehmien odotusaika ylitä tuntia. (L 13.4.2012/164 18§.)

Maitohuoneen tulee olla lämpöeristetty alue, josta ei ole suoraa pääsyä eläintiloihin tai muihin sellaisiin tiloihin, joista voi kulkeutua lantaa tai likaa. Maitohuone voi olla yhteydessä lypsyasemaan, jos lypsyasema on eroteltu eläintiloista tai jos ilmapirta on maitohuoneesta poispäin (L 13.4.2012/164 19§.)

3 Rakenteiden mitoittaminen

3.1 Mitoittamisen lähtökohdat

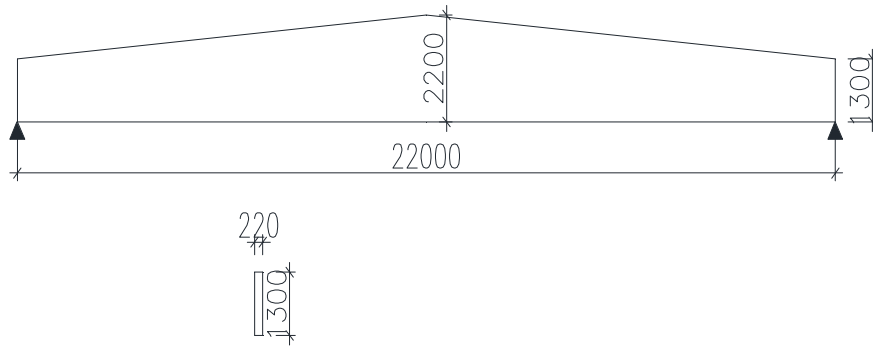
Tässä esimerkkipihatossa on lähtökohtana, että kohde rakennetaan Jyväskylän alueelle. Lumikuorma maassa on $2,5 \text{ kN/m}^2$ ja lumikuorma katolla on 2 kN/m^2 ja tuulikuormanmäärittämisessä käytettiin maastoluokkaa II, jolloin tuulikuormaksi saatiin $0,61 \text{ kN/m}^2$ (ks. LIITE 2). Kuormien määrittäminen perustuu kirjaan RIL 201-1-208 Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat, joka puolestaan perustuu eurokoodeihin EN 1990, EN 1991-1-1, EN 1991-1-3 ja EN 1991-1-4 (RIL 201-1-2008). Laskentamenetelmä on rajatilamenetelmä, ja laskennassa käytetään Excel-taulukkolaskentaohjelmaa, jonka laskentataulukko on kehitetty tätä työtä varten. Tässä työssä olevia rakennevaihtoehtoja ei saa käyttää suoraan mahdollisessa toteutuksessa, vaan rakenteiden lujuuslaskelmat ja suunnitelmat pitää toteuttaa tapauskohtaisesti.

Pilareiden, palkkien ja perustusten laskennassa käytetään rakenteiden omana painona vaarallisimman kuorman aiheuttamaa tulosta. Näin ollen eri rakenteiden yhdistely ja vertailu on mahdollista laskematta jokaista vaihtoehtoa uudestaan. Tästä johtuen kuormat saattaisivat olla joillakin yhdistelyillä pienemmät, mutta kovin suurta merkitystä sillä ei ole, koska yläpohjan sulkevana rakenteena on joka vaihtoehdossa käytetty samaa ratkaisua. Niinpä kattorakenteesta aiheutuvat kuormat koostuvat yläpohjan sekundaari palkkien, eristeiden, pellin $0,5 \text{ kN/m}^2$ ja ripustuskuorman $0,3 \text{ kN/m}^2$ arvoista. Tällöin yläpohjan kuorma on yhteensä $0,8 \text{ kN/m}^2$. Samoin pilareiden pituutena on käytetty suurinta pituutta, joten pilaripalkkiratkaisussa on palkin korkeuden verran ylimääräistä varmuutta tuloksessa. Laskennassa kattorakenteiden aiheuttamana kuormana on käytetty eri versioista saatujen kuormien suurinta arvoa.

3.2 Puurakenteet

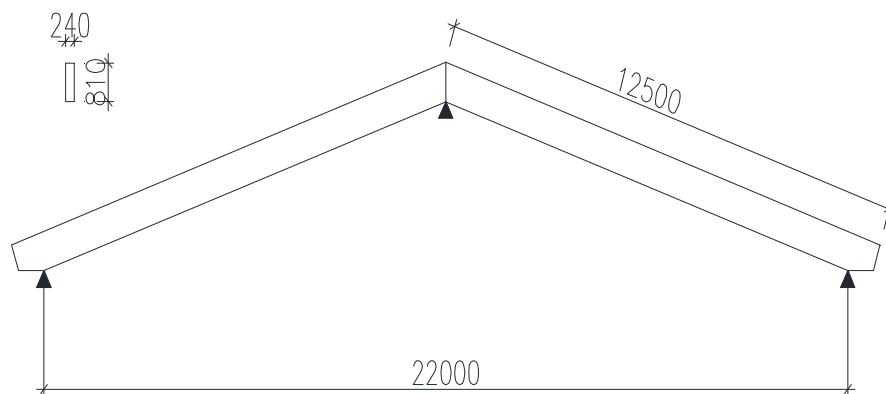
Puurakenteiden mitoituksessa on käytetty RIL 205-1-2009, puurakenteiden suunnitteluohje eurokoodi EN 1995-1-1 (RIL 205-1-2009) ja RIL 205-2-2009, puurakenteiden suunnitteluohjeeseen, EN 1995-1-2 (RIL 205-2-2009). Osa 1 käsittelee puurakenteiden suunnittelun yleisiä sääntöjä ja rakennuksia koskevia sääntöjä, ja osa 2 käsittelee puurakenteiden palomitoitusta. Lisäksi apuna on käytetty Puuinfon tuottamia teoksia Puurakenteiden suunnittelun lyhennetty suunnitteluohjetta eurokoodi 5 (2010), ja sovelluslaskelmat/hallirakennus (2010) -teoksia.

Kantavina rakenteina, jotka on mitoitettu, käytettiin liimapuuta lujuusluokaltaan GL32C ja kattorakenteiden vaihtoehtoina harjapalkkia 1-aukkoisena, jonka jänneväli oli 22 m (ks. LIITE 3) ja liimapuupalkkia 2-aukkoisena, jonka jänneväli oli 12.5 m (ks. LIITE 4). Harjapalkin kooksi määräytyi: leveys 0,22 m, korkeus 1,5 m - 2,2 m ja pituus 22 m (ks. kuvio 1). Harjapalkit on suunniteltu 6000 mm:n kehäjaolla.



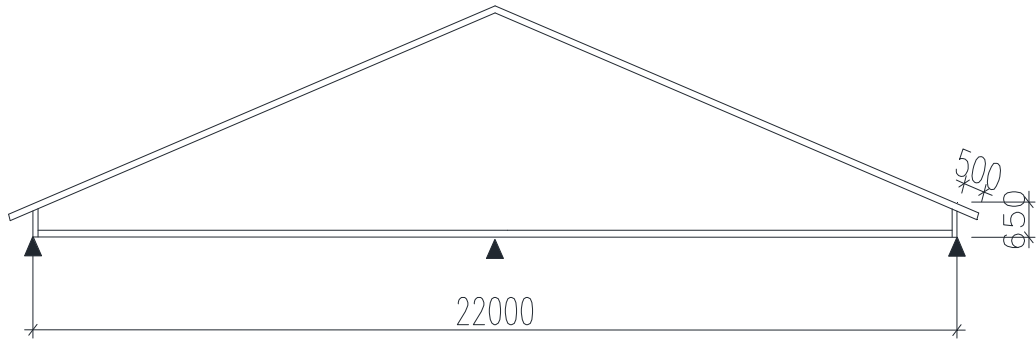
Kuvio 1 Harjapalkki

Liimapuupalkin mitoittamisessa määräytyi leveydeksi 0,24 m, korkeudeksi 0,81 m ja pituudeksi 12,5 m (ks. kuvio 2). Liimapuupalkit on suunniteltu 6000 mm:n kehäjaolla.

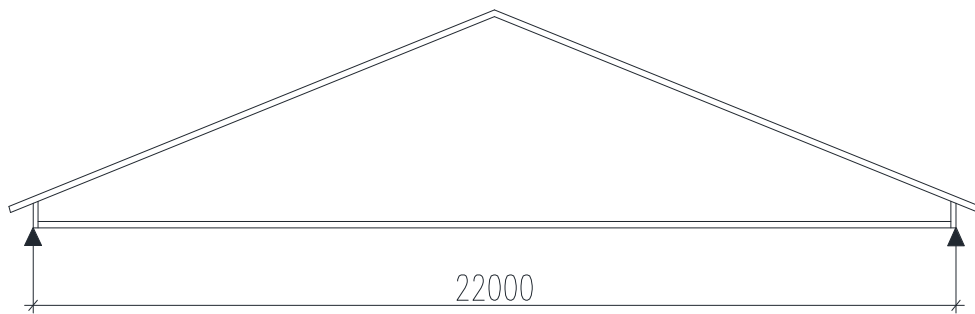


Kuvio 2 Liimapuupalkki

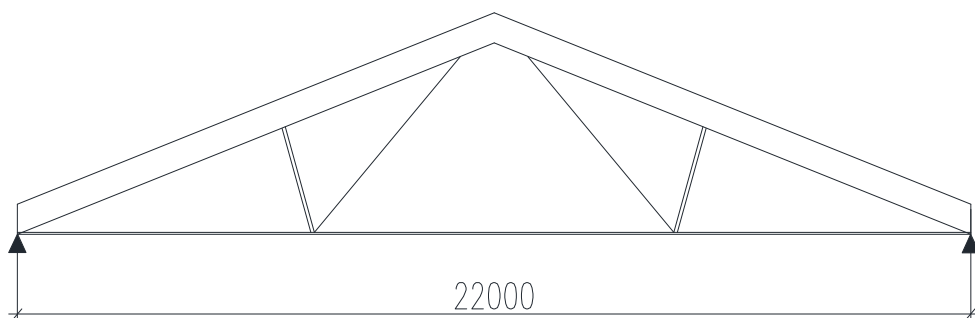
Loppuihin kattorakennevaihtoehtoihin määritettiin kuormat, tukipisteet ja jännevälit, ja pyydettiin toimittajilta tarjoukset niiden mukaan. Muut rakennevaihtoehdot olivat ristikko kolmella tukipisteellä (ks. kuvio 3), ristikko kahdella tukipisteellä (ks. kuvio 4), vetotangollinen ansaspalkki-kannattaja (ks. kuvio 5), vetotangollinen palkkikannattaja (ks. kuvio 6), ja terävänurkkainen kolminivelkehä (ks. kuvio 7).



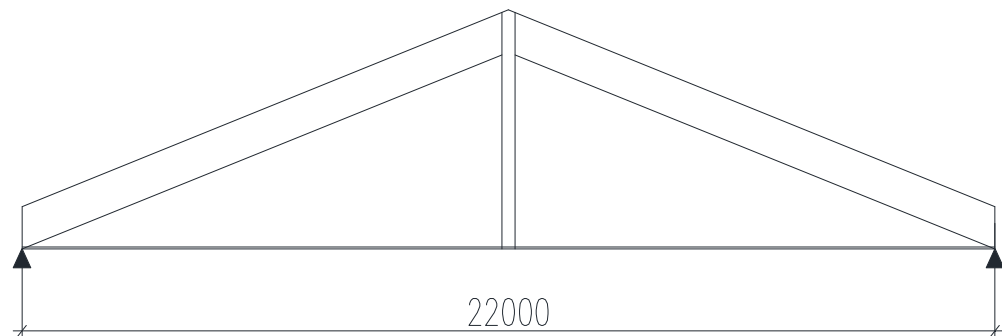
Kuvio 3 Ristikko kolmella tukipisteellä



Kuvio 4 Ristikko kahdella tukipisteellä



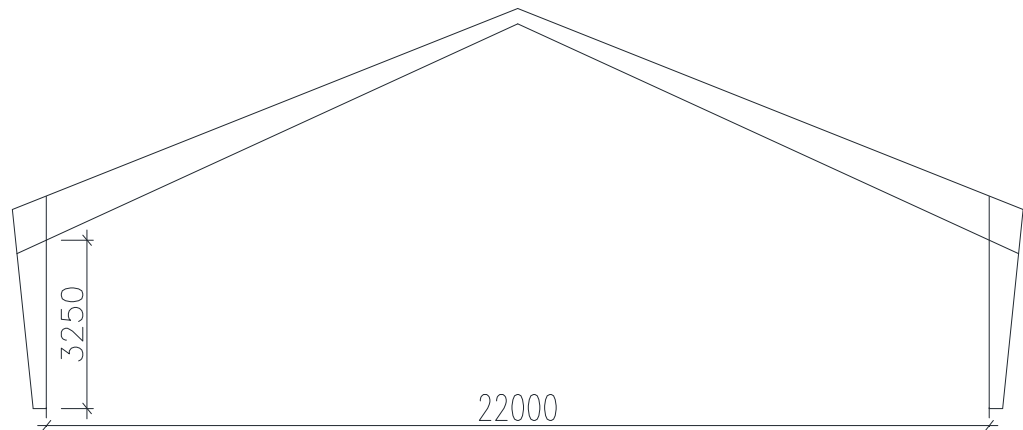
Kuvio 5 Vetotangollinen ansaspalkki-kannattaja



Kuvio 6 Vetotangollinen palkkikannattaja

Nämä neljä suunniteltiin 1200 mm:n jaolla ja niiden kannatus tulee pilari-palkkirungosta. Edellä olevat kuvat lähetettiin valmistajalle tarjouspyynnön mukana.

Terävänurkkainen kolminivelkehä (ks. kuvio 7) on suunniteltu 6000 mm:n jaolla ja lähtemään suoraan perustusten päältä. Tähän ulkopuoliseen jäykistysratkaisuun päädyttiin, koska sisäpuolelle pitää jäädä korkeutta ruokintapöytää varten, jossa ruoka jaetaan mahdollisesti traktorilla ja apevaunulla. Tämä kolminivelkehä on hyvä vaihtoehto, koska katto- ja seinärakenteet tulevat samanaikaisesti tehdyiksi, jolloin työvaiheet työmaalla vähenevät. Tarjous kysyttiin tuon kuvan mukaisesti suoraan kyseisten kattorakenteiden valmistajilta.



Kuvio 7 Terävänurkkainen kolminivelkehä

Kantavana runkovaihtoehtoina käytettiin puun osalta pilareita ja palkkeja. Taulukossa 1 on esitetty eri pilareiden ja palkkien sijainti ja dimensiot. Ensimmäisenä vaihtoehtona pilareita reunoilla, jotka kantavat 6000 mm:n jaolla tulevia kattorakenteita, joiden jänneväli 22 metriä (pilari 1). Toisena vaihtoehto käytettiin reunoilla pilareita, joiden päälle tulee palkki. Tätä vaihtoehtoa käytettiin 1200 mm:n jaolla tuleviin kattorakenteisiin, joiden jänneväli oli 22 metriä (pilari 1 ja palkki 1). Kolmantena vaihtoehtona ovat pilarit reunoilla ja keskilinjassa, jotka kannattavat 6000 mm:n jaolla olevia kattorakenteita, joiden jänneväli oli n. 11 metriä - 12,5 metriä riippuen siitä, oliko keskipilari seinäpilareiden korkuinen vai harjalle asti. (pilari 1 ja pilari 2) Neljäntenä vaihtoehtona ovat pilarit reunoilla, päälle tulee palkki ja lisäksi pilarit keskilinjalla, päälle tulee palkki. Tätä neljättä vaihtoehtoa käytettiin 1200mm:n jaolla olevissa kattorakenteissa, joiden jänneväli oli n. 11 metriä – 12,5 metriä riippuen keskipilarin korkeudesta. (pilari 2, pilari 3, palkki 1 ja palkki 2)

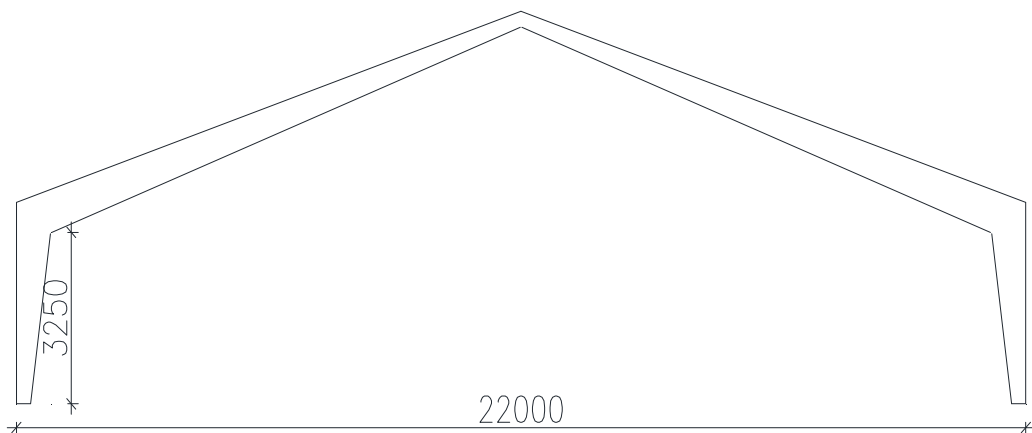
Taulukko 1. Kantavien puuosien dimensiot

	Reunalinja	keskilinja	b	h	L	mitoitus
pilari 1	x		215	630	3300	ks. liite 5
pilari 2	x	x	270	270	3300	ks. liite 5
pilari 3		x	270	270	6000	ks. liite 5
palkki 1	x		270	505	6000	ks. liite 6
palkki 2		x	270	630	6000	ks. liite 6

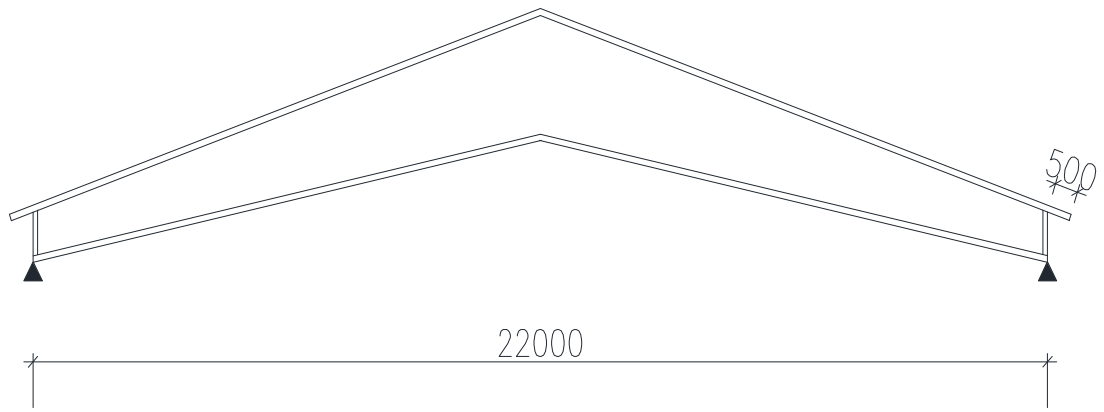
3.3 Teräsrakenteet

Teräsrakenteiden mitoitus perustuu Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus, Eurocode 3-oppikirjaan (Kaitila 2012) sekä Ruukin tuottamaan Rakenneputket, EN 1993-käsikirjaan 2012 (Ongelin & Valkonen 2012) sekä hitsatut profiilit EN 1993-käsikirjaan 2010 (Ongelin & Valkonen 2010).

Mitoitetuissa palkeissa ja pilareissa käytettiin S235-lujuusluokan terästä. Kattorakenteista piirrettiin periaatekuvat ja tarjoukset pyydettiin niiden perusteella. Tässä vertailussa on kolme eri kattorakennevaihtoehtoa. Vaihtoehdot ovat kolminivelkehä (ks. kuvio 8), ristikko kahdella tukipisteellä (ks. kuvio 9) ja ristikko kolmella tukipisteellä (ks. kuvio 10).

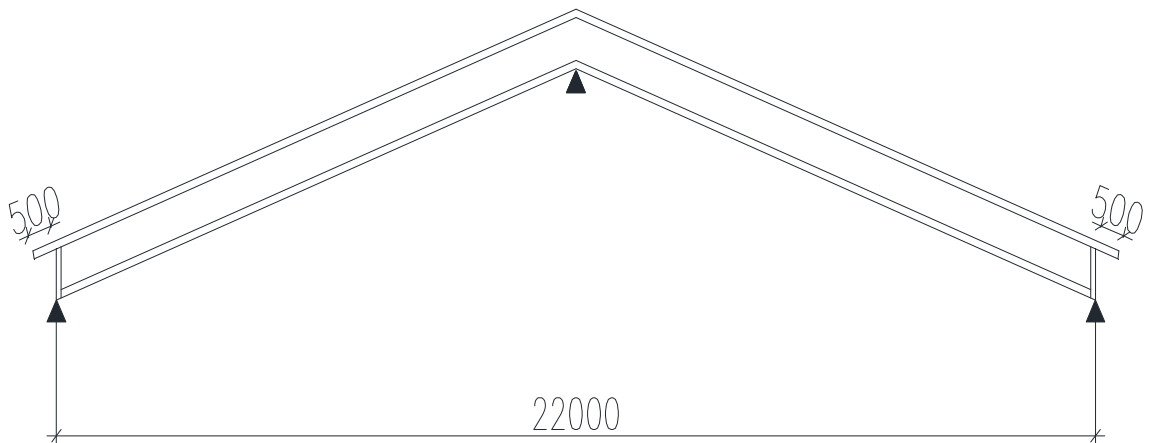


Kuvio 8 Kolminivelkehä



Kuvio 9 Ristikko kahdella tukipisteellä

Nämä kaksi vaihtoehtoa on suunniteltu 6000 mm jaolla. Kolminivelkehä lähtisi suoraan perustusten päältä ja siinä olisi katon ja seinien kantavat rakenteet valmiina. Ristikko puolestaan lähtisi suoraan pilareiden päältä, ja alaparteen kaltevuus määräytyy toimittajan mitoitus mukaan (ks. kuvio 10).



Kuvio 10 Ristikko kolmella tukipisteellä

Ristikko kolmella tukipisteellä toteutetaan myös 6000 mm:n jaolla ja se tukeutuu pilareiden varaan, mutta keskilinjalle tulee yksi korkea pilari näiden lisäksi. Tällä pääs-

tään kevyempään ristikkorakenteeseen, mutta pilarilinja keskellä rakennusta tekee toiminnallisesta suunnittelusta hieman haasteellisempaa.

Kantavaksi runkovaihtoehdoksi mitoitettiin HEA-profiilipilareita (ks. LIITE 7) ja taulukossa 2 on esitetty eri vaihtoehtojen dimensiot ja sijainnit erilaisia kombinaatioita varten. Mukana on tässäkin materiaalivaihtoehdossa pilaripalkki ratkaisu ja siinä vaihtoehdossa on pilareina samoja HEA-profiilin teräksiä ja palkkeina IPE-profiilin terästä (ks. LIITE 8).

Teräksiin, joihin tarvittiin palonsuojamaalaus, on käytetty teräsrakenneyhdistyksen hyväksymää palonsuojamaalia Unitherm safir, jolla on varmennettu käyttöseloste TRY-115–2009. Teräsrakenneyhdistys on hyväksynyt varmennetun käyttöselosteen 24.3.2009 ja se on voimassa 27.4.2009 alkaen ja enintään 26.4.2014 asti (Varmennettu käyttöseloste TRY-115–2009 2009).

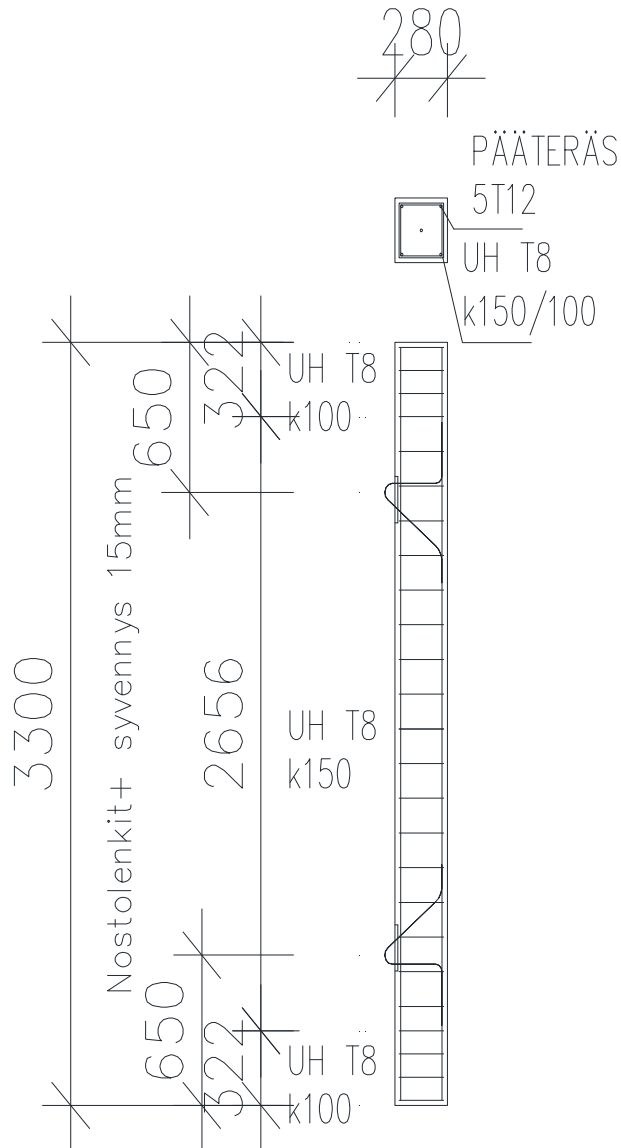
Taulukko 2 Kantavien teräsosien profiilit

	reunalinja	keskilinja	profiili	muuta	palonsuojamaali [μm]	
Pilari 1	x		HE260A		-	
Pilari 2	x		HE200A		-	
Pilari 3		x	HE300A		-	
Palkki 1	x		IPE300		400	
Palkki 2		x	IPE360		500	

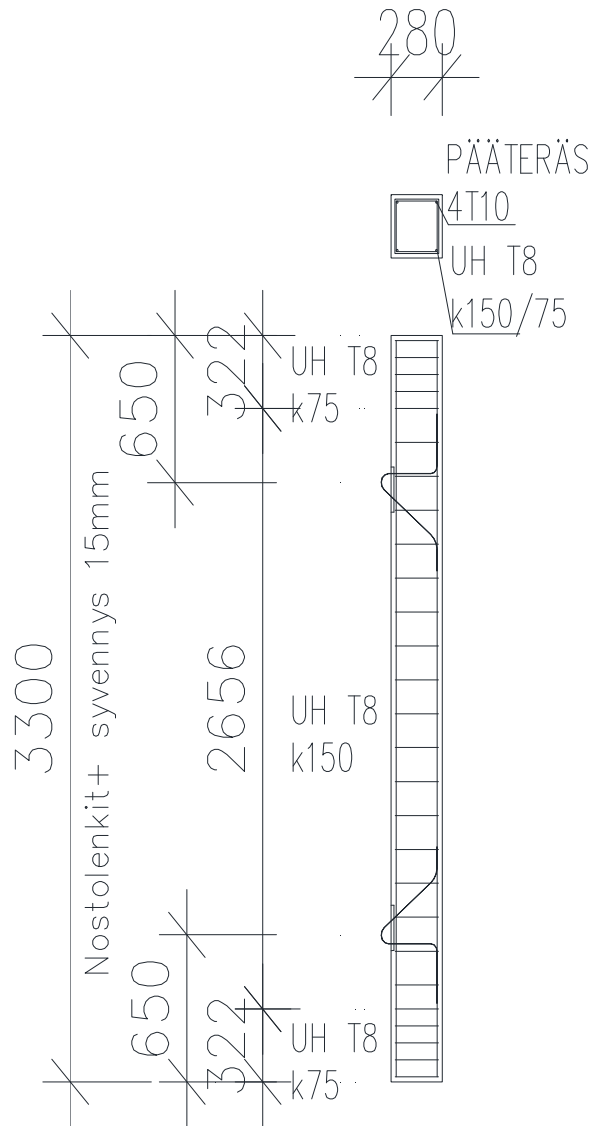
3.4 Betonirakenteet/valmisosat

Betonirakenteiden mitoitus perustuu Suomen betoniyhdistys ry:n vuonna 2009 tuottamaan By60 suunnitteluohjeeseen EC 2 osiin 1-1 ja 1-2 (Suomen betoniyhdistys, 2009). Osa 1-1 on yleinen suunnitteluohje ja osa 1-2 pitävät sisällään yleiset säännöt ja palomitoituksen. Lisäksi apuna käytettiin Betoniteollisuuden tuottaman opassarjan betonirakenteiden suunnittelu eurokoodien mukaan osaa 4 palkit (Betoniteollisuus 2011) ja osaa 5 pilarit (Betoniteollisuus 2009).

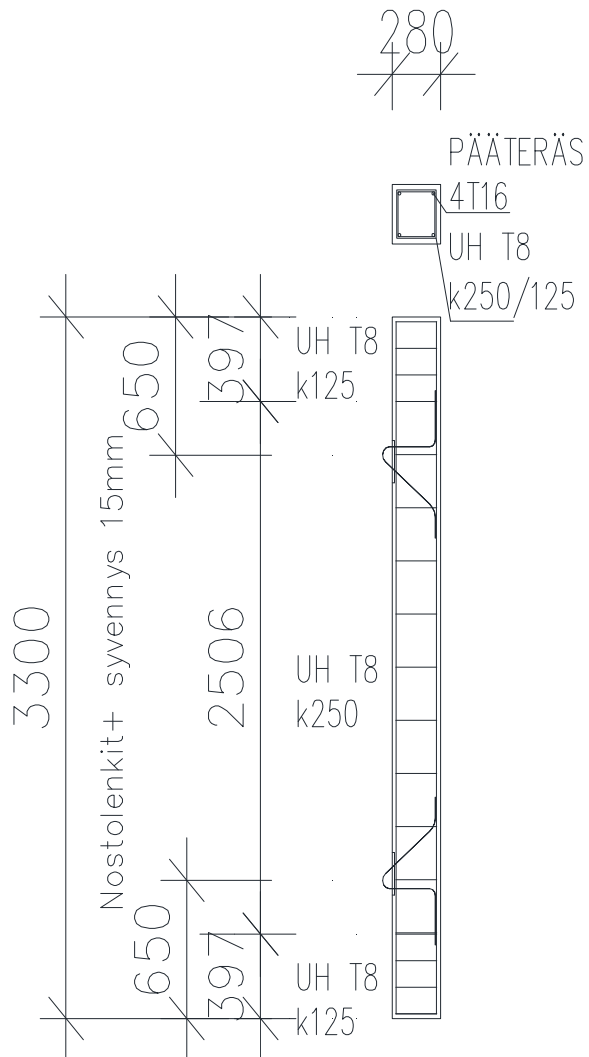
Betonista mitoitettiin pilarit (ks. LIITE 9) ja palkit (ks. LIITE 10) sekä laitettiin sandwich-elementtikuvat tarjouslaskentaa varten valmistajille. Runkovaihtoehdoiksi laskettiin pilarit reunoilla (ks. kuvio 11) sekä pilarit reunoilla (ks. kuvio 12) ja keskilinjalla (ks. kuvio 13), joiden päälle tulee suoraan kattorakenteet jaolla 6000 mm, sekä pilarit, joiden päälle tuli palkit ja niiden päälle kattorakenteet 1200 mm:n jaolla.



Kuvio 11 Reunapilari (ei keskilinjalla pilaria)



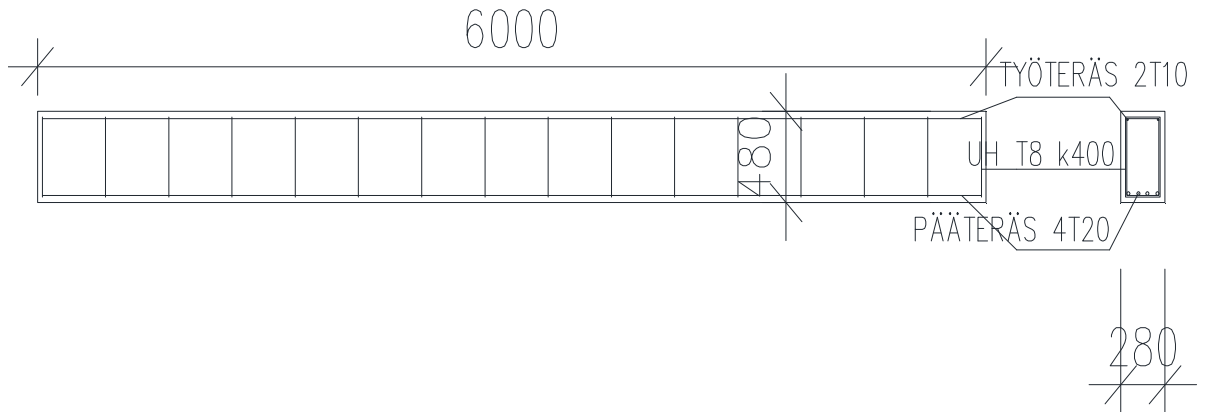
Kuvio 12 Reunapilari (keskilinjalla pilari)



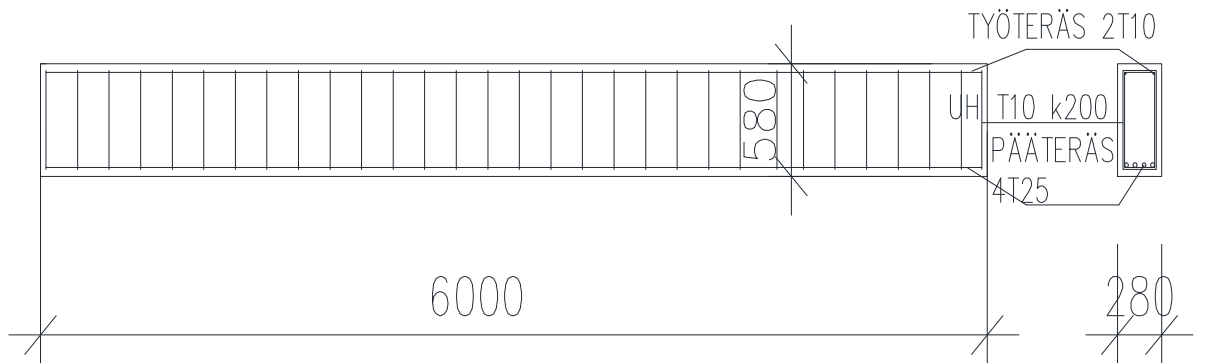
Kuvio 13 Keskipilari

Näissä kaikissa pilareissa betonina on C35/45-2 ja teräksenä A500HW. Alapäähän tulee peikon pilarikenkä HPKM20 ja yläpäähän 4kpl tappi T25-L1300, jossa kierre M24-L150 lisäksi tappeihin mutterit M24 ja aluslevyt.

Palkeissa puolestaan betonina on C30/37-2 ja teräksenä A500HW. Palkit on mitoitettu reunalinjaan (ks. kuvio 14) ja keskilinjaan (ks. kuvio 15).



Kuvio 14 Reunapalkki



Kuvio 15 Keskipalkki

Lannanpoisto

Lannanpoistojärjestelminä käytettiin vaihtoehtoina raappa ja kokoojakuilu sekä syvät kuilut ja kokoojakuilu. Kuilujen seinämistä kysyttiin tarjous suoraan valmistajalta. Raapparatkaisussa kokoojakuilun syvyys on n. 1,3 m ja pituus n. 20 m. Syväkuiluratkaisussa seinämän korkeus on 1,3 m ja pituus n. 75 m ja kokoojakuilun syvyys on n. 1,8 m ja pituus n. 20 m.

3.5 Betonirakenteet/paikallavalu

Elementtien lisäksi pihattoon tulee paikallavaluja kuten anturat, lattiat, lietekuilujen pohjat ja mahdolliset peruspilarit. Anturat mitoitettiin nivelelliselle pilarille (ks. LIITE 11). Anturat tulevat 6000 mm jaolla reunoille ja mahdollisesti keskilinjaan riippuen valitusta runkoratkaisusta.

Lattiat kallistuksineen valetaan aina paikallavaluna kuten myös lietekuilujen pohjat. Tämä on yksi vaativimmista työvaiheista pihaton rakentamisessa ottaen huomioon, miten paljon on eri korkeudella olevia tasoja, kaatoja, varauksia esimerkiksi ritiläpalkeille tai raapalle yms.

3.6 Täydentävät rakenteet

Täydentäviin rakenteisiin kuuluvat vaipan sulkevat rakenteet kuten katto sekundaaripalkkeineen sekä seinät sekundaaripalkkeineen. Kattovaihtoehtona käytettiin valmista elementeistä kasattavaa kattoa, josta tarjous pyydettiin suoraan valmistajalta. Seinien vaihtoehtoina on käytetty betonisandwich -elementin lisäksi omasta ja ostettavasta puutavarasta rakennettavaa villaeristeistä seinää, pelti-villa-pelti -seinä, pelti-uraetaanieriste-pelti -seinä, tiiliseinä, kevytsoraharkkoseinä sekä näiden kaikkien eri kombinaatiot.

4 Kustannukset

4.1 Tarjoukset

Tarjouksia tuli lukuisista kyselyistä huolimatta tuli niukasti varsinkin kattoristikoiden eri vaihtoehdoista. Vertailu pystyttiin suorittamaan, koska tarjoukset saatiin kuitenkin kaikista yleisimmin käytetyistä rakenne- ja materiaalivaihtoehdoista.

Tässä työssä käytetyt hinnat ovat pyöristettyjä ALV 0 % -hintoja ja jos samasta rakenneosasta on tullut useita tarjouksia, niin käytetyt hinnat ovat keskiarvoja. Lisäksi kaikki käytetyt hinnat sisältävät koko pihattoon tarvittavat kyseiset rakennusosat. Tarjoukset on saatu toukokuussa 2013, joten hinnat ovat sen hetkisiä hintoja.

4.2 Puurakenteet

Kattorakenteiden hinta kahdella tukipisteellä olevalla ristikolla on 17 000 € ja ristikoiden tarve on 44 kappaletta 1200 mm välein. Tässä vaihtoehdossa etuna on se, ettei tarvitse tehdä pihatton keskilinjaan ollenkaan pilareita, mutta reunapilareiden päälle tarvitaan palkkilinja. Kolmella tukipisteellä olevien ristikoiden hinta on 12 000 € ja ristikoiden tarve on sama 44 kappaletta 1200 mm välein. Tähän vaihtoehtoon tarvitaan reunapilareiden lisäksi pilarit keskilinjaan sekä reuna- ja keskipilareiden päälle palkkilinjat. Harjapalkkien yhteishinnaksi muodostui 36 400 € ja niitä tarvitaan 10 kappaletta 6000 mm välein, joten tässä vaihtoehdossa tarvitaan pilarit ainoastaan reunoihin ja palkkeja ei tarvita ollenkaan. Liimapuupalkkien hinta on 21 600 € ja niitä tarvitaan 8 kappaletta 6000 mm välein molemmille lappeille eli yhteensä 16 kappaletta. Lisäksi nämä tarvitsevat keskilinjalle pilarit.

Pilarit pelkästään reunoilla maksaa 5 500 € ja niitä tarvitaan 20 kappaletta. Niihin tarvittavat liitososat maksavat 4 500 € ja puolestaan pilarit keski- ja reunalinjoilla maksavat 5 000 € ja niitä tulee yhteensä 30 kappaletta. Niihin liitososat maksavat 6 500 €.

Palkit reunalinjoille maksavat 8 500 € ja niitä tulee 18 kappaletta, ja palkit keskilinjalle maksaa 5 400 € ja niitä tulee 9 kappaletta.

4.3 Teräsrakenteet

Teräsristikoiden yhteishinnaksi kahdella tukipisteellä tulee 50 250 € ja niiden tarve on 10 kappaletta. Teräsristikoiden hinnaksi puolestaan kolmella tukipisteellä muodostui

47 900 € ja niiden tarve on myös 10 kappaletta. Teräskehistä tehdyn hallin hinta on 73 000 € sisältäen kaikki teräskehien liitososat.

Kolmella tukipisteellä toteutetun kattoratkaisun reunapilarit HE200A maksavat 4 000 € ja niitä tulisi yhteensä 20 kappaletta. Keskipilarit HE300A maksavat yhteensä 4 500 € ja niitä tulisi 10 kappaletta. Kahdella tukipisteellä toteutetun kattoratkaisun reunapilarit HE260A maksavat yhteensä 6 500€ ja niitä tulisi 20 kappaletta.

Palkit reunapilarien päälle IPE 300 maksavat palosuojamaalattuna yhteensä 14 000 € ja niitä tulisi 18 kappaletta. Keskipilarien päälle palkit IPE 360 maksavat palosuojamaalattuna yhteensä 9 700 € ja niitä tulisi 9 kappaletta.

4.4 Betonirakenteet

Betonirakenteiden osalta sandwich-elementeillä toteutettu seinäratkaisu maksaa 78 000 €, ja on vaihtoehtona hyvä siinä mielessä, että kantava runko ja seinät pintoi-
neen tulee kerralla valmiiksi. Kolmella tukipisteellä toteutetun kattoratkaisun reunapilarit maksavat 10 200 € ja niitä tarvitaan 20 kappaletta; keskipilarit maksavat 5 100 € ja niitä menee 10 kappaletta. Kahdella tukipisteellä toteutetun kattoratkaisun pilarit maksavat 10 200 € ja niitä tarvitaan 20 kappaletta.

Reunalinjalle tulevat palkit maksavat yhteensä 9 000 € ja niitä tarvitsee 18 kappaletta ja vastaavasti keskilinjalle tulevat palkit maksavat 5 000 € ja niitä tarvitaan 9 kappaletta.

4.5 Vaipan sulkevat rakenteet

Lisäksi opinnäytetyössä muiden rakenteiden osalta on kustannuksiin huomioitu kattoelementit, joita menee n. 1400 m² ja ne tulevat maksamaan 91 000 €. Kattoelementeissä oli eri valmistajien välillä hyvin vähän hintaeroa, joten lopulliseen vertailutyökaluun ei otettu kuin yhden valmistajan elementti.

Seinien osalta materiaalimenekki on n. 600 m² ja huomioidut kustannukset ovat omasta puutavarasta valmistettu villalla eristetty seinä 57 000 €, ostetusta puutavarasta valmistettu villalla eristetty seinä 69 500 €, pelti-villa-pelti -elementtiseinä 94 000 €, pelti-uraetaanieriste-pelti -elementtiseinä 72 000 €, tiiliseinä 95 000 € ja kevytsoraharkkoseinä 103 000 €.

4.6 Muu rakentaminen

Lisäksi kustannuksia, jotka on otettu mukaan vertailuun, tulee maansiirtotöistä, nostokalustosta, kirvesmiehen aputöistä asennusten yhteydessä ja väleissä. Kustannuksia, joita tässä työssä ei ole huomioitu ovat suunnittelu, lupamaksut, rakennuttajan kulut, väliseinät, ikkunat, ovet, LVIS, irtokalusteet, lypsyasema yms.

Maansiirtotöiden hinnan määräytymisperuste tässä vertailussa riippuu siitä minkälainen perustustapa ja lannanpoistojärjestelmä valitaan. Maa-ainesten kuljetusmatkaksi on tässä työssä määritetty 5 km. Nostokaluston hintaa tässä työssä ei ole käsitelty, koska aikataulutusta ei ole tehty.

Yksi suuri lisäkustannus on aputyöt ja valmistelut. Tässä käytettiin 1,5 työntekijää koko työnmaan ajan eli n. 6 kk, jolloin palkkakuluiksi saatiin n. 100 000 €.

5 Rakenteiden ja materiaalien vertailu

5.1 Vertailuperiaatteet

Tässä työssä pihaton eri rakennevaihtoehtoja vertailtiin toteutuskustannuksiltaan. Vertailtavina kohteina olivat perustukset, lannanpoistojärjestelmistä raappa ja syvät kuilut, runkoratkaisuista puu, teräs ja betoni, kattorakenteista teräs ja puu, ja eri vaihtoehtoja vaipan sulkeviksi rakenteiksi. Vertailu kattaa rakennuksen rakentamisesta aiheutuneet kustannukset eikä ota kantaa rakennuksen sisälle tulevien kalus-

teiden ja tilojen kustannuksiin. Tässä työssä ei oteta myöskään huomioon ulkopuolisia pihatöitä rakenteineen.

Työssä eri rakenteita vertailtaessa on otettu huomioon vaihtoehtojen vaikutukset muuhun rakentamiseen ja mahdollisiin ratkaisuihin sekä niistä aiheutuviin kustannuksiin. Aikataulusioita sekä niistä aiheutuvia kustannuksia ei ole otettu huomioon ollenkaan vaan pelkästään rakennusaikana vaihtoehtoista aiheutuvat rakennuskustannukset ilman arvonlisäveroa.

Erivaihtoehtoja vertailtaessa on syytä muistaa, että jos jossakin vaihtoehdossa hintaero ei ole merkittävä, kannattaa selvittää toteutusaikataulu. Mitä nopeammin pihatto on valmis sitä nopeammin se alkaa tuottaa.

5.2 Lannanpoisto

Lannanpoistojärjestelmien osalta vertailussa ovat syvät kuilut kokoojakuilulla ja raappa kokoojakuilulla. Rakennuskustannuksia vertaillessa on otettu huomioon materiaalit, asennukset, laitteet sekä maanrakennustyöt, joka on merkittävin syy kustannuksien erossa, koska syvät kuilut vaativat enemmän maansiirtotöitä. Kohteena olevan pihaton lannanpoisto järjestelmä on raapalla tehtynä n. 30 000 € halvempi verrattuna syviin kuiluihin.

Lannanpoistojärjestelmiä vertailtaessa ei otettu kantaa laitteiden huoltoon eikä siihen, vaatiiko käyttäminen työvoimaa. Lisäksi slalom-lannanpoistojärjestelmä rajattiin selvityksen ulkopuolelle johtuen siitä, että sen käyttö ei ole kovinkaan yleistä.

5.3 Runko

Runkovertailussa on betonisandwich, betonipilarit, teräspilarit, puupilarit sekä joidenkin kattorakenteiden vaatimat palkit pilareiden päälle kustakin materiaalista. Vertailussa on otettu huomioon, että esimerkiksi sandwich-vaihtoehdossa pinnat ovat

valmiina ja muissa tarvitaan erikseen vaipan sulkevia materiaaleja. Vaipan sulkevana vaihtoehtona tässä vertailussa on kappaletavara-villa vaihtoehto.

Runkovaihtoehtojen osalta hinnat jakautuivat siten, että halvin vaihtoehto rakennuskustannuksiltaan on puupilarit. Seuraavana 5 000 € kalliimpana ovat teräspilarit ja siitä taas 5 000 € kalliimpana tulevat betonipilarit ja kallein betonisandwich-vaihtoehto, joka on noin 16 000 € kalliimpi kuin puupilarit. Palkkien hinnat kulkevat samassa suhteessa pilarien hintoihin nähden, joten niitä tarvittaessa vertailutyökalu ottaa ne huomioon.

Vaikka tässä tutkimuksessa ei ole otettu huomioon aikataulullisia seikkoja, niin tässä kohtaa on todettava, että betonisandwich-elementeillä tehtäessä aikataulu lyhenee merkittävästi verrattuna muihin vaihtoehtoihin.

5.4 Kattorakenteet

Kattorakenteiden osalta kaikista vaihtoehdoista ei saatu tarjousta. Mutta niistä joista saatiin tarjous, rakennuskustannuksia vertailtaessa halvin vaihtoehto on puuristikko kahdella tukipisteellä sekä liimapuupalkki. Seuraavana on puuristikko kolmella tukipisteellä sekä harjapalkki, jotka ovat n. 11 000 € kalliimpia. Halvinta vaihtoehtoa n. 27 000 € kalliimpia vaihtoehtoja ovat teräsristikot kahdella ja kolmella tukipisteellä.

Kattorakenteiden valintaan vaikuttaa runkomateriaalin valinta sekä hinta. Yleisimmin käytetty materiaali on puu joko liimapuupalkkina tai ristikkona. Näissä on otettava huomioon, että puuristikot vaativat runkorakenteeksi pilari-palkki rungon tai betonisandwich-elementit, kun taas liimapuupalkit voi asentaa suoraan pilareiden päälle.

5.5 Keskipilari

Keskipilarien käyttö ei vaikuta kustannuksiin kovinkaan paljon, mutta ovat tietyille kattorakennevaihtoehdoille välttämättömiä. Puuristikoiden osalta keskipilarin käyttö nostaa rakennuskustannuksia, kun taas puolestaan teräsristikoita käytettäessä keskipilarin kanssa kattorakenteet on halvempi toteuttaa.

Suurin keskipilarin käyttöön vaikuttava tekijä on tuulijäykistyksen toteutus. Esimerkiksi betonisandwich-elementeillä keskipilarien käyttö helpottaa tuulijäykistyksen suunnittelemista. Toisaalta yksi huomionarvoinen asia on toiminnallisen suunnittelun helpottuminen, jos keskipilareita ei käytetä.

6 Tulokset

6.1 Vertailutyökalu

Opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä helppokäyttöinen työkalu kustannusvertailuja varten. Vertailutyökalun avulla pystytään helposti esittämään pihaton eri rakenne ja materiaaliratkaisuiden vaikutukset kustannuksiin.

Vertailutyökalulla käyttäjä valitsee haluamansa kattorakenteen materiaalin ja tyyppin, seinärakenteiden materiaalin ja tyyppin, runkoratkaisun, vaipan sulkevat rakenteet ja lannanpoistojärjestelmän. Käyttäjä saa tulokseksi koko pihaton hinnan, yhden 6 m levyisen kaistan hinnan sekä ensimmäisen 6 m levyisen kaistan hinnan sisältäen päätyrakenteet. Kyseiset hinnat sisältävät valintojen lisäksi mahdollisesta keskipilarista aiheutuvat kustannukset sekä kattoelementeistä, anturoista, lattiasta, maanrakennustöistä sekä kirvesmiehen aputöistä aiheutuvat kustannukset. Lisäksi vertailutyökalu erittelee työkustannukset anturoista, lattiavalusta, rungon pystytyksestä, seinien asennuksista, kattorakenteiden ja elementtien asennuksesta. Elementtien asennus otetaan huomioon sen takia, jos asiakas haluaa toteuttaa jonkin työvaiheen itse.

6.2 Pihaton eri rakennevaihtoehtojen vertailu

Vertailu suoritettiin tätä työtä varten kehitetyllä vertailutyökalulla, joka toimii Excel-taulukkolaskentaohjelmalla. Vertailussa käytiin lävitse kaikkien materiaalien kaikki mahdolliset kombinaatiot ja niistä aiheutuneet rakennuskustannukset. Kattoelemen-

tit ja lattiavalut pysyvät kokoajan samanhintaisina, joten niiden huomioon ottaminen kustannuksien vertailussa ei ollut tarpeellinen.

Eri materiaalien vertailussa keskityttiin hintaeroihin eikä niinkään lopulliseen kokonaiskustannukseen. Hinnat ovat alv 0 % hintoja ja sisältävät materiaalit ja asennukset sekä rahdit.

Vertailuissa etsittiin kustannuksiltaan halvinta vaihtoehtoa sekä järkevintä vaihtoehtoa. Kun halvinta vaihtoehtoa etsittiin, keskityttiin pelkästään hintaan eikä toteutukseen ja materiaaleihin. Kun etsittiin järkevintä vaihtoehtoa, vaakakupissa painoi hinnan lisäksi työvaiheiden oletettu määrä ja kesto.

6.3 Kustannustehokkain ratkaisu

Rakennuskustannuksiltaan tehokkain vaihtoehto on pihatto, jossa lannanpoisto toteutetaan raapalla ja kokoojakuilulla. Seinien runkorakenteet puupilareilla sisältäen keskipilarit, kattorakenteet liimapuupalkeilla ja vaipan sulkevat rakenteet seiniin omasta puutavarasta sekä palavillasta. Jos ei ole käytössä omaa puutavaraa, pihatton seinään menevät puutavarat maksavat noin 12 500 € enemmän.

Aikataulullisesti tämän vaihtoehdon toteutus seinien osalta vaatisi paljon kirvesmies-töitä, joten tämä ratkaisu ei välttämättä ole järkevin vaihtoehto ottaen huomioon, milloin pihatto pääsee tuottamaan. Lisäksi tässä vaihtoehdossa rakenteet altistuvat säävaihteluille huomattavan kauan.

6.4 Järkevin vaihtoehto

Kokonaisuus huomioon ottaen tämän tutkimuksen pohjalta järkevin vaihtoehto on toteuttaa pihatto käyttäen lannanpoistossa raappaa, seininä betonisandwich-elementtejä ja päätykolmioissa kappaletavaraa sekä villaa, keskipilareina puupilareita ja kattorakenteina liimapuupalkkeja. Tämä ratkaisu on n. 20 000 € kalliimpi, kuin kustannustehokkain ratkaisu, mutta aikataulullisesti ja työmaateknisesti huomattavasti

parempi. Betonin elinkaarikustannukset jäävät todennäköisesti huomattavasti pienemmiksi kuin puuvaihtoehdon elinkaarikustannukset, vaikkakaan tässä työssä sitä ei ole huomioitu.

Toinen järkevä vaihtoehto, jonka rakennuskustannukset ovat suunnilleen samat, on teräspilarirunkoinen pihatto puukattoristikolla kahdella tukipisteellä, jonka vaipan sulkevana rakenteina seinien osalta on pelti-uraetaani-pelti vaihtoehto. Lannanpoistojärjestelmä tässäkin vaihtoehdossa kannattaa olla raappa.

7 Arviointi

7.1 Haasteet ja opit

Suurin haaste opinnäytetyössä oli maatilarakennuksessa käytettävien määräysten huomioiminen sekä pihaton suunnitteleminen eläimen näkökulmasta huomioon ottaen ihmisten tarvitsemat tilat ja kulkureitit. Lisäksi hankaluuksia tuotti tarjousten saaminen suunnitelluista rakenteista ja se näkyi eniten vertailutyökalun osalta siinä, että rakennevaihtoehtoja jouduttiin karsimaan puutteellisten hintatietojen vuoksi. Eniten työtunteja kului vertailutyökalun tekemiseen sekä kaikkien rakenteiden laskemiseen, koska Excel-taulukkolaskentaohjelman käyttöä täytyi opetella. Myös rakenteiden laskeminen oli hidasta, koska moneen kertaan täytyi tarkastaa laskelmia oman kokemattomuuden takia.

Opinnäytetyön kirjoittaminen tuotti hankaluuksia, koska kirjoittaminen yleensä ei kuulu vahvimpiin osa-alueisiini. Itse asiakohdat, laskennan perusteet ja tulokset oli suhteellisen helppo kirjoittaa.

Aikataulullisesti opinnäytetyö eteni suunnitelmien mukaan, vaikka välillä tuntui, että opinnäytetyön aihe on liian laaja. Laajuuden takia jouduin jättämään tästä työstä pois aikataulujen vaikutukset, elinkaarikustannukset ja kaluston.

Tässä työssä opin maatilarakentamisen ajattelutavan ja määräykset. Maatilarakentaminen poikkeaa määräyksiltään ja ajattelutavoiltaan paljon tavanomaisista rakennuskohteista kuten omakotitaloista, kerrostaloista yms. Toiminnallisensuunnittelun jälkeen rakenteiden suunnittelu meni samoilla opeilla kun muutkin rakenteiden suunnittelut. Tosin rakenteiden laskeminen vaati paljon työtä, koska kokemusta laskemisesta ei ollut kovinkaan paljon. Tämän työn yksi hyvä puoli itselleni oli, että kaikkia koulussa oppimiani rakenteiden laskemisia pääsin kertaamaan ja vankistamaan osaamistani tätä työtä tehdessäni sekä sain Excel-taulukkolaskentaohjelmaan melko kattavan rakenteiden laskentapohjan, jota voin jatkossa hyödyntää rakenteita suunnitellessani.

Tästä työstä tulevan tuotoksen eli vertailutyökalun tekemisessä jouduin opettelemaan Excel-taulukkolaskentaohjelmaa melko laajasti sen takia, että Excel ei entuudestaan ollut kovinkaan hyvin hallussa. Ennen tätä työtä en osannut Excelistä kuin peruskaavat ja jotta työkalusta sai mahdollisimman käyttäjäystävällisen sekä mahdollisimman vähän mahdollisuuksia käyttäjille tehdä inhimillisiä virheitä, niin jouduin tekemään monimutkaisia ehtolausekkeita. Mielestäni työkalusta tuli hyvä ja helppokäyttöinen.

Rakenteiden suunnittelussa käytettävä kirjallisuus tuli myös entistä tutummaksi tätä työtä tehdessäni. En käyttänyt rakenteita laskiessani mitään valmiita ohjelmia, vaan Excelin käyttöä voi verrata käsin laskemiseen. Tällä tavalla laskiessani tuli hyvä käsitys laskenta-arvojen muodostumisperusteista sekä eri valintojen vaikutuksesta laskennassa.

Opinnäytetyötä tehdessäni pääsin lisäksi opettelemaan tarjousten pyytämistä sekä kanssakäymistä valmistajien kanssa. Tämä oli myös siinä mielessä hyvä, että pääsin luomaan vähän suhteita tämän alan eri tuotevalmistajien kanssa ja sain käsityksen heidän maailmasta.

7.2 Jatkotutkimuksia

Tässä opinnäytetyössä en pystynyt käsittelemään aikatauluja juuri lainkaan. Aikataulut ovat kuitenkin tärkeä osa eri vaihtoehtojen valinta päätöstä tehtäessä. Eri vaihtoehtojen vaikutus aikatauluun vaikuttaa myös suoraan siihen, miten nopeasti pihatto saadaan tuotantoon.

Toinen iso asia, joka piti rajata pois, oli elinkaarikustannukset. Elinkaarikustannukset eivät vaikuta suoraan rakennuskustannuksiin, mutta vaikuttaa huomattavasti rakennuksen kokonaiskustannukseen. Vaikka jokin materiaali tai rakenneosia olisi edullinen toteuttaa rakennusvaiheessa, niin saattaa se ajan saatossa muodostua kalliimmaksi johtuen elinkaaresta ja huoltotarpeista.

Muita asioita, joita on selvitettävä pihattoa suunniteltaessa ja tehdessä ovat lypsyaseman, parsien, koneiden yms. vaikutus kustannuksiin ja aikatauluun sekä kevyet väliseinät jakamaan tiloja. Lisäksi tässä työssä ei ole otettu huomioon ovien, ikkunoiden, suunnittelun, lupamaksujen, rakennuttajakulujen yms. vaikutusta kustannuksiin.

Lähteet

Betoniteollisuus. 2009. Betonirakenteiden suunnittelu eurokoodien mukaan osa 5. pilarit. Rakennustuoteteollisuus.

Betoniteollisuus. 2011. Betonirakenteiden suunnittelu eurokoodien mukaan osa 4: palkit. Rakennustuoteteollisuus.

By60 suunnitteluohje EC2 osat 1-1 ja 1-2. 2009. Suomen betoniyhdistys

Kaitila, O. 2012. Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus Eurocode 3 – oppikirja. Teräsrakenneyhdistys

L 13.4.2012/164 3§

Ongelin, P & Valkonen, I. 2010. Hitsatut profiilit. Rautaruukki.

Ongelin, P & Valkonen, I. 2012. Rakenneputket. Rautaruukki.

Puurakenteiden suunnittelu, lyhennetty suunnitteluohje. 2010. Puuinfo.

RIL 201-1-2008. 2008. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Hansaprint oy. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

RIL 205-1-2009. 2009 Puurakenteiden suunnitteluohje. Hansaprint oy. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

RIL 205-2-2009 Puurakenteiden suunnitteluohje. Hansaprint oy. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

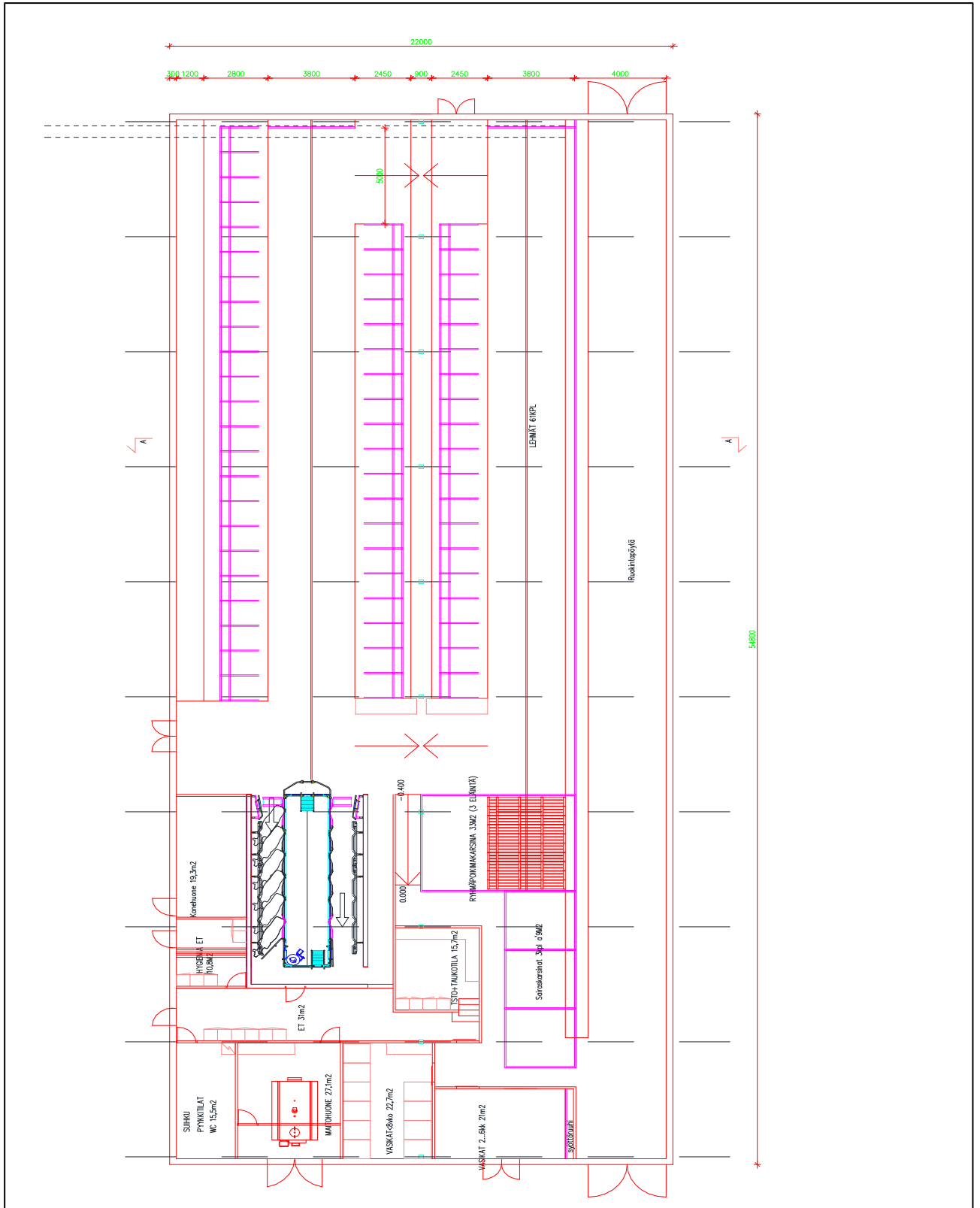
Sovelluslaskelmat, hallirakennus. 2010. Puuinfo.

Varmennettu käyttöseloste TRY-115–2009. 2009. Sika Unitherm Safir - palonsuojamaalin varmennettu käyttöseloste. Viitattu 13.8.2013.

http://www.terasrakenneyhdistys.fi/fin/ohjeet_ja_patevyydet/tuotehyvaksynnat/varmennetut_kayttoselosteet/

Liitteet

Liite 1. Pihaton pohjakuva



Liite 2. Kuormat

HUOM! Nämä laskelmat on tehty kustannusvertailuja varten. Toteutettaessa kohdetta ovat rakennelaskelmat ja suunnitelmat teetettävä kohde kohtaisesti

LUMIKUORMA

S_k	2,500 kN/m ²		Lumikuorma maassa
S	2,000 kN/m ²	$(\mu_i * C_e * C_t * S_k)$	lumikuorma katolla S
μ_i	0,800		muotokerroin
C_e	1,000	Ei tuulinen	tuulensuojaisuuskerroin
C_t	1,000		lämpökerroin

TUULIKUORMA

Tuulikuorma (voimakerroin menetelmällä)

$(q_p,8m)$	0,610 kN/m ²		
q_{wk}	4,807 kN/m	$(C_s * C_d * C_f * q_p(8m) * S)$	kaava 5.3
$C_s * C_d$	1,000	(alle 15m)	
C_f	1,313	Taulukko5.2S	
λ	0,288	$(2 * h/b) = (2 * h_{harja}/leveys)$	
d/b	0,401	sivusuhte	
S	6,000 m	kehäväli	

Tuulipaine (rakenneosien mitoitus)

$F_{w,e}$	211,265 kN	$(C_s C_d * \sum p_{innat} * w_e * A_{ref})$	
$w_{e,D}$	0,488 kN/m²	$(q_p(z_e) * c_{pe})$	Etuseinä
$w_{e,E}$	-0,305 kN/m²		takaseinä
$C_{pe,10D}$	0,800		Etuseinä
$C_{pe,10E}$	-0,500		takaseinä
h/d	0,359	(h/leveys)	

MUU KUORMA

g_1	0,500 kN/m ²	(Katon rakenteet)
g_2	0,300 kN/m ²	(Ripustuskuorma)
G	0,800 kN/m ²	(Yhteensä)

Laskelmissa käytetyt kuormitusyhdistelmät

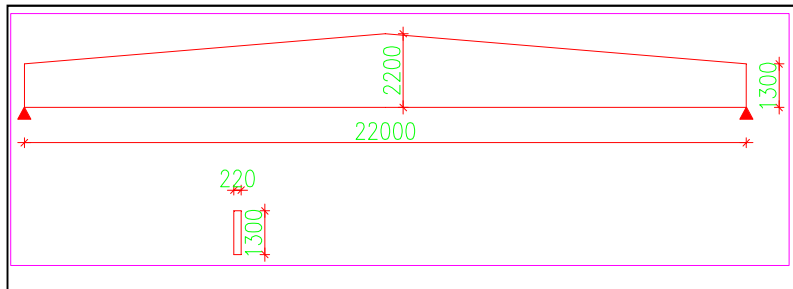
KT1	$= 1,35 * G$
KT2	$= 1,15 * G + 1,5 * Q_{lumi} + 0,0 * Q_{tuuli}$
KT3	$= 1,15 * G + 1,05 * Q_{lumi} + 1,5 * Q_{tuuli}$
KT4	$= 1,15 * G + 1,5 * Q_{lumi} + 0,9 * Q_{tuuli}$
KT5	$= 1,15 * G + 0,0 * Q_{lumi} + 1,5 * Q_{tuuli}$

Liite 3. Harjapalkin mitoitus

HUOM! Nämä laskelmat on tehty kustannusvertailuja varten. Toteutettaessa kohdetta ovat rakennelaskelmat ja suunnitelmat teetettävä kohde kohtaisesti

HARJAPALKKI

liimapuu GL32C



Taivutus	63 %
Taivutus kestävyys harjalla	60 %
Poikittainen vetokestävyys harjalla	88 %
Leikkaus	67 %
tukipinta	86 %
taipuma	32 %
suhteellinen hoikkuus	88 %

Palkin tiedot		
korkeus harjalla	2,2	m
korkeus räystäällä	1,5	m
leveys (b)	0,215	m
pituus(L)	22	m
liimapuu paino	410	kg/m ³
kattokaltevuus	3,64	

Kuormat	k [kN/m ²]	k [kN/m]	d [kN/m]	Rd [kN]palkki
q	2	12	18	198
g	0,8	6,47	7,44	81,8
Pd			25,5	279,8

Rd	279,8	kN	Pd*I/2	
Md	1364	kNm	Rd*x-Pd*x*x/2	

Mitoittava poikkileikkaus			
x	7,29	m	$h/(2*hm)*l$
h	1,5	m	palkin korkeus räystäällä
hm	2,2	m	palkin korkeus harjalla
l	21,37	m	Jänneväli (arvioidaan pilarin 500mm)
hx	2	m	$((hm-h)/l*(x+500/2))+h$

Laskenta arvot		
k_{mod}	0,6	
γ_m	1,2	
f_{mk}	32	N/mm ²
$f_{c,90,k}$	3	N/mm ²
f_{vk}	3,2	N/mm ²
E_{mean}	13700	N/mm ²
E_{005}	11100	N/mm ²
sallittu taipuma l/300	71	mm
esikorotus	35	mm
taipuma	23	mm

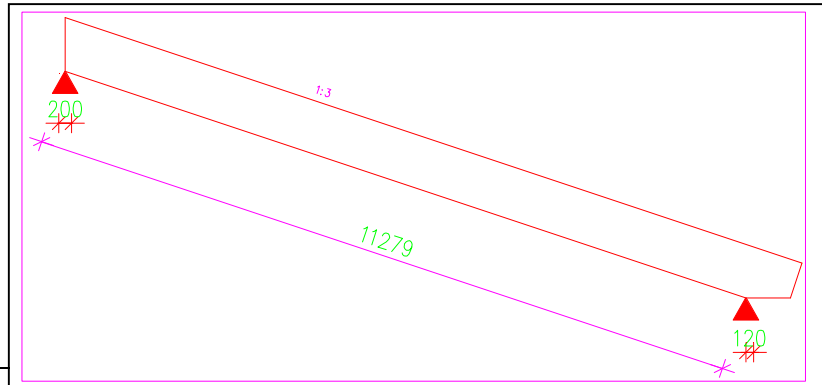
Liite 4. Liimapuupalkin mitoitus

HUOM! Nämä laskelmat on tehty kustannusvertailuja varten. Toteutettaessa kohdetta ovat rakennelaskelmat ja suunnitelmat teetettävä kohde kohtaisesti

KATTOPALKKI

liimapuu GL32C

LEIKKAUS	54 %
TAIPUMA	54 %
TAIVUTUS	78 %
TUKIPINTA reunapilari	73 %
TUKIPINTA keskipilari	86 %



Palkin tiedot	
k-jako	6 m
kiepahdustuenta	1,5 m
b	240 mm
h	810 mm
l (palkki)	11,5 m

Kuormat	k [kN/m ²]	k [kN/m]	d [kN/m]	Rd [kN]palkki
Lumikuorma Q	2	12	18	99
Omapaino G	0,8	4,8	5,52	30,36
yhteensä	2,8	16,8	23,52	129,36

Mmax	355,74 kNm	$pl^2/8$	Muutettu tasaiseksi kuormaksi
------	------------	----------	-------------------------------

Laskenta arvot	
k_{mod}	0,65
k_{def}	2
γ_m	1,2
f_{mk}	32 N/mm ²
$f_{t,0,k}$	19,5 N/mm ²
$f_{t,090,k}$	0,45 N/mm ²
$f_{c,0,k}$	26,5 N/mm ²
$f_{c,90,k}$	3 N/mm ²
f_{vk}	3,2 N/mm ²
E_{mean}	13700 N/mm ²
E_{005}	11100 N/mm ²
ρ_k	410 kg/m ³
sallittu taipuma l/300	36,7 mm
taipuma	20 mm

Liite 5. Puupilarien mitoitus

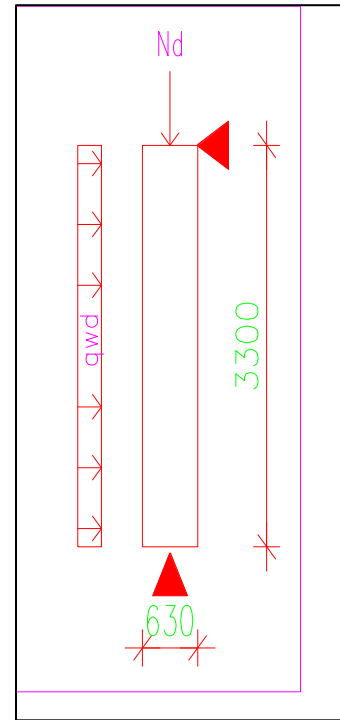
HUOM! Nämä laskelmat on tehty kustannusvertailuja varten. Toteutettaessa kohdetta ovat rakennelaskelmat ja suunnitelmat teetettävä kohde kohtaisesti

PUUPILARI reuna (1-aukkoinen kattoratkaisu)

liimapuu GL32C

KÄYTTÖASTETAULUKKO	
KA (kt3)	
11 %	puristus ja taivutus
KA (kt4)	
14 %	puristus ja taivutus

Pilarin tiedot	
k-jako	6 m
kiepahdustuenta	1 m
b	0,24 m
h	0,63 m
l	3,30 m
Gk	52,8 kN
Qk	132 kN
qwk	4,81 kN/m



Kuormat	kt1	kt2	kt3	kt4	kt5	
Nd	71,28	258,72	199,32	258,72	60,72	kN
qwd	0,00	0	7,2102	4,32612	7,2102	kN/m
Md	0	0	9,81	5,89	9,81	kNm

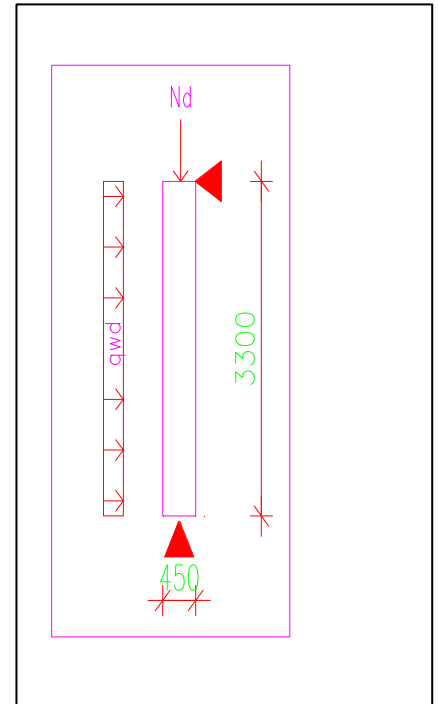
Laskenta-arvot		
l_n	3300 mm	
f_{c0d}	14,3	
γ_m	1,2	
k_{mod}	0,65	
i	181,87 mm	
λ	18,15 N/mm^2	
λ_{rely}	0,28 N/mm^2	
f_{c0k}	26,5 N/mm^2	
E_{005}	11100 N/mm^2	
K_{cy}	0,9965	
k_y	0,54	
β_c	0,1	
K_{cy}	\leq	1

PUUPILARI reuna (2-aukkoinen kattoratkaisu)

liimapuu GL32C

KÄYTTÖASTETAULUKKO	
KA (kt3)	
17 %	puristus ja taivutus
KA (kt4)	
15 %	puristus ja taivutus

Pilarin tiedot	
k-jako	6 m
kiepahdustuenta	1 m
b	0,265 m
h	0,450 m
l	3,30 m
Gk	26,4 kN
Qk	66 kN
qwk	4,8 kN/m



Kuormat	kt1	kt2	kt3	kt4	kt5	
Nd	35,64	129,36	99,66	129,36	30,36	kN
qwd		0	7,2102	4,32612	7,2102	kN/m
Md	0	0	17,73	10,64	17,73	kNm

Laskenta-arvot	
k_{mod}	0,65
k_{def}	2
γ_m	1,2
f_{mk}	32 N/mm ²
$f_{t,0,k}$	19,5 N/mm ²
$f_{t,090,k}$	0,45 N/mm ²
$f_{c,0,k}$	26,5 N/mm ²
$f_{c,90,k}$	3 N/mm ²
f_{vk}	3,2 N/mm ²
E_{mean}	13700 N/mm ²
E_{005}	11100 N/mm ²
ρ_k	410 kg/m ³

PUUPILARI keski (2-aukkoinen kattoratkaisu)

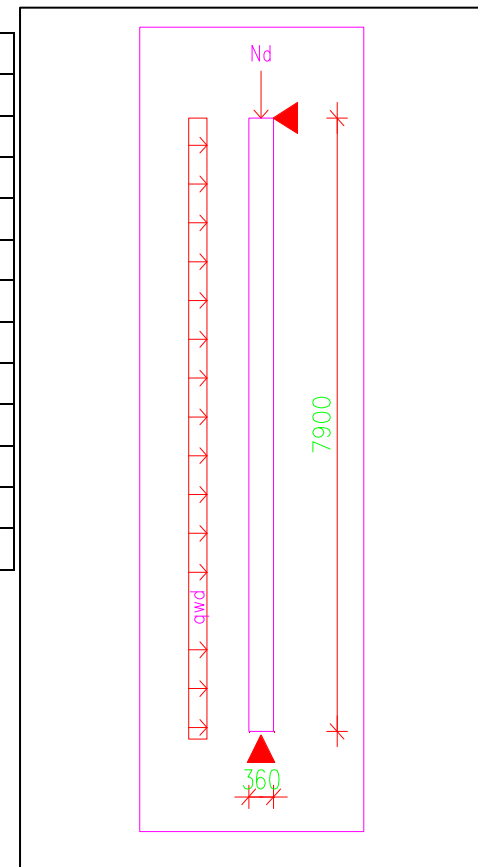
liimapuu GL32C

KÄYTTÖASTETAULUKKO	
KA (kt3)	
42 %	puristus ja taivutus
KA (kt4)	
54 %	puristus ja taivutus

Pilarin tiedot	
k-jako	6 m
kiepahdustuenta	8 m
b	0,265 m
h	0,36 m
l	7,90 m
Gk	52,8 kN
Qk	132 kN
qwk	0 kN/m

Kuormat	kt1	kt2	kt3	kt4	kt5	
Nd	71,28	258,72	199,32	258,72	60,72	kN
qwd		0	0	0	0	kN/m
Md	0	0	0	0	0	kNm

Laskenta-arvot	
k_{mod}	0,65
k_{def}	2
γ_m	1,2
f_{mk}	32 N/mm ²
$f_{t,0,k}$	19,5 N/mm ²
$f_{t,0,90,k}$	0,45 N/mm ²
$f_{c,0,k}$	26,5 N/mm ²
$f_{c,90,k}$	3 N/mm ²
f_{vk}	3,2 N/mm ²
E_{mean}	13700 N/mm ²
E_{005}	11100 N/mm ²
ρ_k	410 kg/m ³



Liite 6. Puupalkkien mitoitus

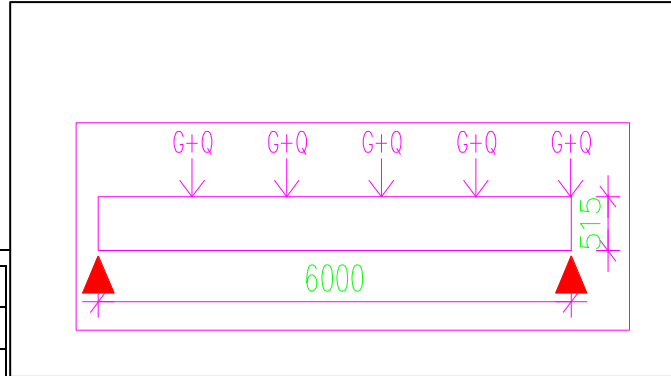
HUOM! Nämä laskelmat on tehty kustannusvertailuja varten. Toteutettaessa kohdetta ovat rakennelaskelmat ja suunnitelmat teetettävä kohde kohtaisesti

PUUPALKKI (1-aukkoinen kattoratkaisu)

liimapuu GL32C

KÄYTTÖASTETAULUKKO	
63 %	leikkaus
47 %	taipuma
93 %	taivutus
90 %	tukipinta

Palkin tiedot		
l (palkki)	6	m
h	515	m
b	315	m
k-jako ristikko	1,2	m
jänneväli rist L	22	m
ristikko tuesta	1,19	m



Kuormat	kN/m ²	kN/m	Rk rist [kN]	Rd rist [kN]	k Palkki (kN/m)	d palkki [kN/m]	Rd palkki [kN]
Lumikuorma Q	2	2,4	26,4	39,6	22	33	99
Omapaino G	0,8	0,96	10,56	12,144	8,8	10,12	30,36
yhteensä				51,744		43,12	129,36

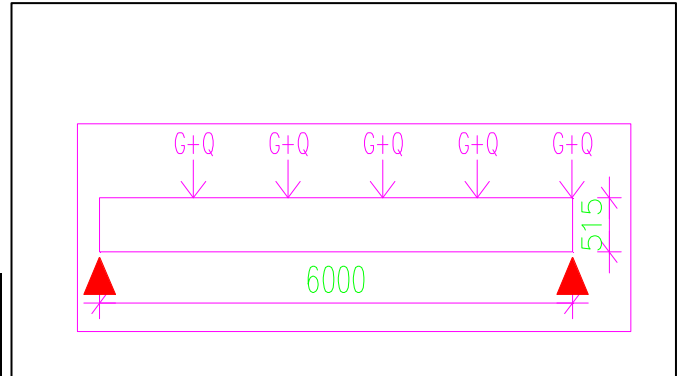
Md	223,376	kNm	F*ab/L
----	---------	-----	--------

Laskenta-arvot		
k_{mod}	0,65	
k_{def}	2	
γ_m	1,2	
f_{mk}	32	N/mm ²
$f_{t,0,k}$	19,5	N/mm ²
$f_{t,0,90,k}$	0,45	N/mm ²
$f_{c,0,k}$	26,5	N/mm ²
$f_{c,90,k}$	3	N/mm ²
f_{vk}	3,2	N/mm ²
E_{mean}	13700	N/mm ²
E_{005}	11100	N/mm ²
ρ_k	410	kg/m ³
sallittu taipuma l/300	20	mm
taipuma	9,5	mm

PUUPALKKI (2-aukkoinen kattoratkaisu)

liimapuu GL32C

KÄYTTÖASTETAULUKKO	
39 %	leikkaus
32 %	taipuma
59 %	taivutus
73 %	tukipinta



Palkin tiedot		
l (palkki)	6	m
h	495	m
b	265	m
k-jako ristikko	1,2	m
jänneväli rist L	11	m
ristikko tuesta	1,19	m

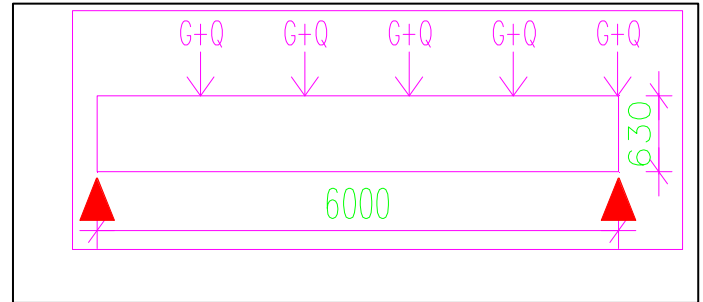
Kuormat	kN/m ²	kN/m	Rk rist [kN]	Rd rist [kN]	k Palkki (kN/m)	d palkki [kN/m]	Rd palkki [kN]	
Lumikuorma Q	2	2,4	13,2	19,8	11	16,5	49,5	
Omapaino G	0,8	0,96	5,28	6,072	4,4	5,06	15,18	
yhteensä				25,872		21,56	64,68	kN
Md	111,6879	kNm	F*ab/L					

Laskenta-arvot		
k_{mod}	0,65	
k_{def}	2	
γ_m	1,2	
f_{mk}	32	N/mm ²
$f_{t.0.k}$	19,5	N/mm ²
$f_{t.090.k}$	0,45	N/mm ²
$f_{c.0.k}$	26,5	N/mm ²
$f_{c.90.k}$	3	N/mm ²
f_{vk}	3,2	N/mm ²
E_{mean}	13700	N/mm ²
E_{005}	11100	N/mm ²
ρ_k	410	kg/m ³
sallittu taipuma l/300	20	mm
taipuma	8,2	mm

PUUPALKKI keski (2-aukkoinen kattoratkaisu)

liimapuu GL32C

KÄYTTÖASTETAULUKKO	
60 %	leikkaus
31 %	taipuma
61 %	taivutus
95 %	tukipinta



Palkin tiedot	
l (palkki)	6 m
h	630 m
b	265 m
k-jako ristikko	1,2 m
jänneväli rist L	11 m
ristikko tuesta	1,19 m

Kuormat	kN/m ²	kN/m	Rk rist [kN]	Rd rist [kN]	k Palkki (kN/m)	d palkki [kN/m]	Rd palkki [kN]
Lumikuorma Q	2	2,4	26,4	39,6	22	33	99
Omapaino G	0,8	0,96	10,56	12,144	8,8	10,12	30,36
yhteensä						43,12	129,36
Md	186,15	kNm	F*ab/L				

Laskenta-arvot	
k_{mod}	0,65
k_{def}	2
γ_m	1,2
f_{mk}	32 N/mm ²
$f_{t,0,k}$	19,5 N/mm ²
$f_{t,0,90,k}$	0,45 N/mm ²
$f_{c,0,k}$	26,5 N/mm ²
$f_{c,90,k}$	3 N/mm ²
f_{vk}	3,2 N/mm ²
E_{mean}	13700 N/mm ²
E_{005}	11100 N/mm ²
ρ_k	410 kg/m ³
sallittu taipuma l/300	20 mm
taipuma	6,2 mm

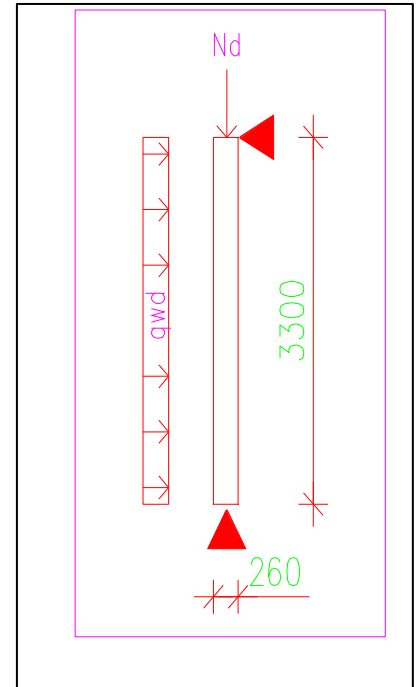
Liite7. Teräspilarien mitoitus

HUOM! Nämä laskelmat on tehty kustannusvertailuja varten. Toteutettaessa kohdetta ovat rakennelaskelmat ja suunnitelmat teetettävä kohde kohtaisesti

HE 260 A TERÄSPILARI reuna (1-aukkoinen kattoratkaisu)

KÄYTTÖASTETAULUKKO		
kt3	17%	puristus + taivutus
kt4	19 %	puristus + taivutus

Pilarin tiedot		
k-jako	6	m
l	3,3	m
kiepahdustuenta	1	m
teräs	S355	
kaltevuus	1/3	
Gk	59,4	kN
Qk	132	kN
qwk	4,8	kN/m



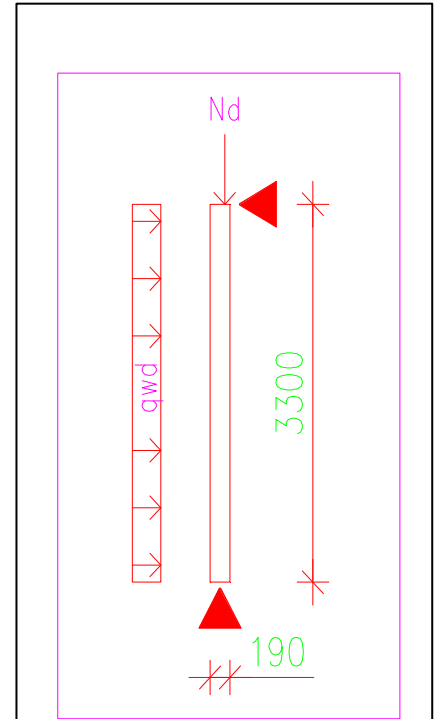
Kuormat	kt1	kt2	kt3	kt4	kt5	
Nd	80,19	266,31	206,91	266,31	68,31	kN
qwd	0,00	0,00	7,21	4,33	7,21	kN/m
Md	0	0	9,81	5,89	9,81	kN/m

Laskenta-arvot		
Nrd	1951,8	kN
χ	0,957	
A	8682	mm ²
f _y	235	N/mm ²
γ_{m0}	1	
θ	0,5717	
λ	0,3202	
N _{cr}	19898264	N
α	0,34	
E	210000	N/mm ²
I	104550000	mm ⁴
L _n	3300	mm
W	920000	mm ³
e ₀	22	mm

HE 200 A TERÄSPILARI reuna (2-aukkoinen kattoratkaisu)
S235

KÄYTTÖASTETAULUKKO		
kt3	36 %	puristus + taivutus
kt4	29 %	puristus + taivutus

Pilarin tiedot		
k-jako	6	m
l	3,3	m
kiepahdustuenta	1	m
teräs	s235	
kaltevuus	1/3	
Gk	29,7	kN
Qk	66	kN
qwk	4,8	kN/m



Kuormat	kt1	kt2	kt3	kt4	kt5	
Nd	40,095	133,16	103,46	133,16	34,16	kN
qwd	0,00	0,00	7,21	4,33	7,21	kN/m
Md	0	0	24,54	14,72	24,54	kNm

Laskenta-arvot		
Nrd	1159,1	kN
χ	0,916	
A	5383	mm ²
fy	235	N/mm ²
γ_{m0}	1	
θ	0,628	
λ	0,424	
Ncr	7026723,3	N
α	0,34	
E	210000	N/mm ²
I	36920000	mm ⁴
Ln	3300	mm
W	429000	mm ³
e ₀	22	mm

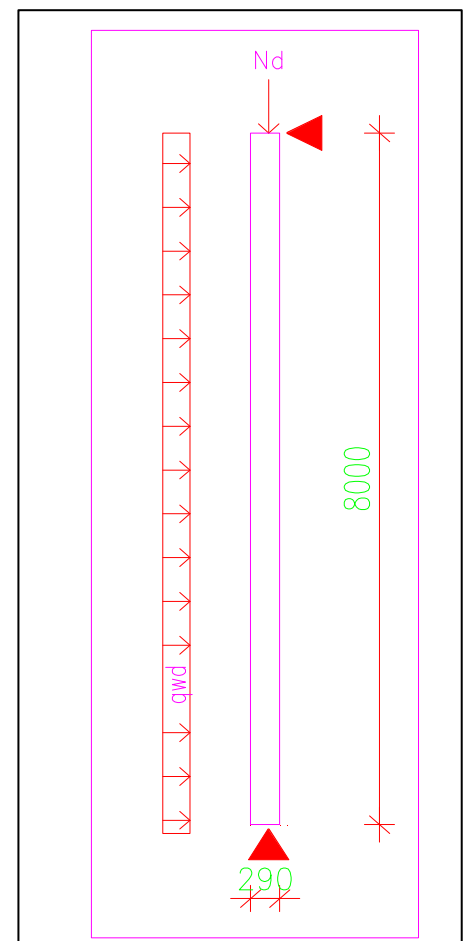
HE 300 A TERÄSPILARI keski (2-aukkoinen kattoratkaisu)
S235

KÄYTTÖASTETAULUKKO		
kt3	15 %	puristus + taivutus
kt4	19 %	puristus + taivutus

Pilarin tiedot		
k-jako	6 m	
l	8 m	
kiepahdustuenta	1 m	
teräs	s235	
kaltevuus	1/3	
Gk	59,4 kN	
Qk	132 kN	
qwd	0 kN/m	

Kuormat	kt1	kt2	kt3	kt4	kt5	
Nd	80,19	266,31	206,91	266,31	68,31	kN
qwd	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	kN/m
Md	4,28	14,20	11,04	14,20	3,64	kNm

Laskenta-arvot		
Nrd	2118,5	kN
χ	0,801	
A	11253	mm ²
f _y	235	N/mm ²
γ_{m0}	1	
θ	0,803	
λ	0,669	
N _{cr}	5914406,7	N
α	0,34	
E	210000	N/mm ²
I	182630000	mm ⁴
L _n	8000	mm
W	1383000	mm ³
e ₀	53,3	mm



Liite 8. Teräspalkkien mitoitus

HUOM! Nämä laskelmat on tehty kustannusvertailuja varten. Toteutettaessa kohdetta ovat rakennelaskelmat ja suunnitelmat teetettävä kohde kohtaisesti

IPE 360 TERÄSPALKKI reuna (1-aukkoinen kattoratkaisu)

Palkin tiedot		
l (palkki)	6	m
k-jako ristikko	1,2	m
ristikon jänneväli L	22	m
ristikko tuesta	1,19	m
γ_{m0}	1	

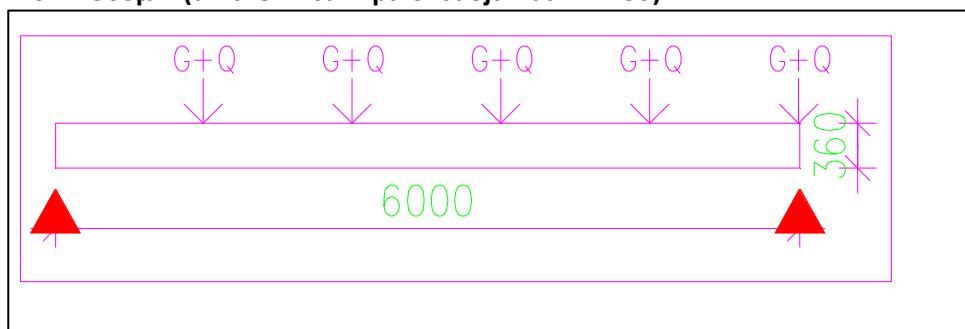
Kuormat	kN/m ²	kN/m	Rk rist [kN]	Rd rist (kN)	k Palkki (kN/m)	d palkki [kN/m]	Rd palkki [kN]
Lumikuorma Q	2	2,4	26,4	39,6	22	33	99
Omapaino G	0,8	0,96	10,56	12,144	8,8	10,12	30,36
yhteensä				63,888		46,2	129,36
M1	223,4		F*ab/L				

Laskenta-arvot			
Taivutuskestävyys (w_{pl})	950	cm ³	pitää olla
Taivutuskestävyys (w_{pl})	1019	cm ³	on
Sallittu taipuma l/300	20	mm	
taipuma	15,2	mm	

kestävyyskriteerit		
I (IPE360)	162660000	mm ⁴
E	210000	N/mm ²
w_{pl}	1019000	mm ³
I_{vaad}	123750000	mm ⁴

Palonsuojaus

Esim. 500µm (unitherm safir palonsuojamaali-->R30)



IPE 300 TERÄSPALKKI reuna (2-aukkoinen kattoratkaisu)

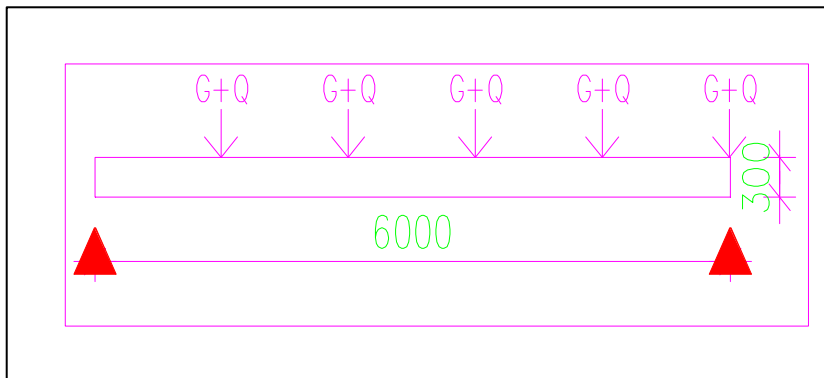
S235

Palkin tiedot		
l (palkki)	6	m
k-jako ristikko	1,2	m
ristikon jänneväli L	11	m
ristikko tuesta	1,19	m
γ_{m0}	1	

Kuormat	kN/m^2	kN/m	Rk rist [kN]	Rd rist [kN]	k Palk- ki (kN/m)	d palk- ki [kN/m]	Rd palkki [kN]
Lumikuorma Q	2	2,4	13,2	19,8	11	16,5	49,5
Omapaino G	0,8	0,96	5,28	6,072	4,4	5,06	15,18
Yhteensä						21,56	64,68
Md	111,69		F^*ab/L				

Laskenta-arvot			
Taivutuskestävyys (w_{pl})	475	cm^3	pitää olla
Taivutuskestävyys (w_{pl})	628	cm^3	on
Sallittu taipuma $l/300$	20	mm	
taipuma	14,80	mm	

kestävyyskriteerit		
I (IPE300)	83560000	mm^4
E	210000	N/mm^2
W_{pl}	628000	mm^3
I_{vaad}	61875000	mm^4

PalonsuojausEsim. 400 μm (unitherm safir palonsuojamaali-->R30)

IPE 360 TERÄSPALKKI keski (2-aukkoinen kattoratkaisu)

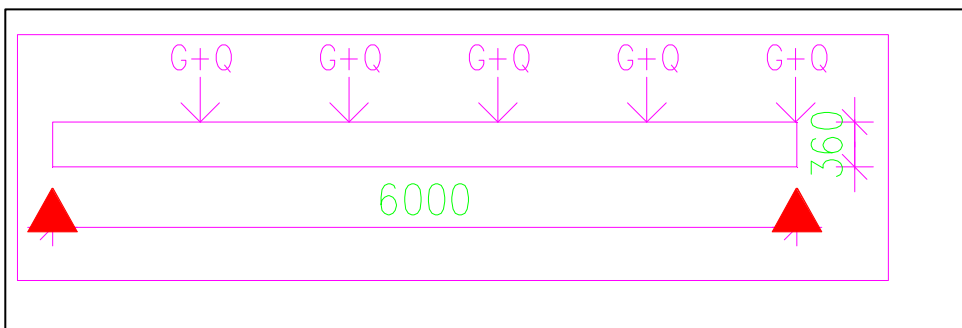
s235

Palkin tiedot		
l (palkki)	6	m
k-jako ristikko	1,2	m
ristikon jänneväli L	11	m
ristikko tuesta	1,19	m
γ_{m0}	1	

Kuormat	kN/m^2	kN/m	Rk rist [kN]	Rd rist (kN)	k Palkki (kN/m)	d palkki [kN/m]	Rd palkki [kN]
Lumikuorma Q	2	2,4	13,2	39,6	22	33	99
Omapaino G	0,8	0,96	5,28	12,2	8,8	10,12	30,36
yhteensä				61,8		43,12	129,36
M_1	194,1		$pl^2/8$				

Laskenta-arvot			
Taivutuskestävyys (w_{pl})	825,7	cm^3	pitää olla
Taivutuskestävyys (w_{pl})	1019	cm^3	on
Sallittu taipuma $l/300$	20	mm	
taipuma	15,2	mm	

kestävyysskriteerit		
I (IPE360)	162660000	mm^4
E	210000	N/mm^2
w_{pl}	1019000	mm^3
I_{vaad}	123750000	mm^4

PalonsuojausEsim. 500 μm (unitherm safir palonsuojamaali-->R30)

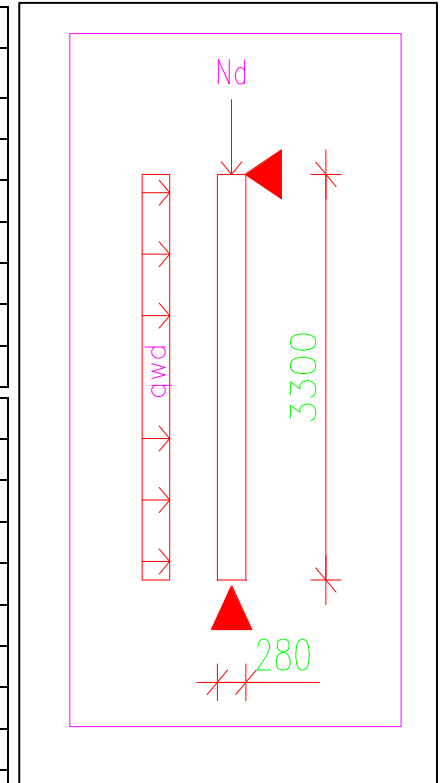
Liite 9. Betonipilarien mitoitus

HUOM! Nämä laskelmat on tehty kustannusvertailuja varten. Toteutettaessa kohdetta ovat rakennelaskelmat ja suunnitelmat teetettävä kohde kohtaisesti

BETONIPILARI reuna (1-aukkoinen kattoratkaisu)

Tulokset		
L_1 =pituus=	3,3	m
B=leveys (neliöpoikkileikkaus)=	280	mm
TERÄS	A500HW	
PÄÄTERÄS (JOKAISISSA NURKASSA)	4T16	
HAAT	T8k250	
HAAT ETÄISYYDELLÄ B PILARIN PÄÄSTÄ	T8k125	
BETONI	C35/45-2	
Betonisuojaepite; c=	26	mm

Pilarin tiedot		
L	3,3	m
B (pilarin leveys; neliöpoikkileikkaus)	280	mm
A_c	78400	mm ²
f_{ck}	35	N/mm ²
f_{yk}	500	N/mm ²
f_{cd}	19,83	N/mm ²
f_{yd}	434,78	N/mm ²
Ympäristöluokka	XC1	
øpääteräs (halkaisija)	16	mm
øhaka (halkaisija)	8	mm
Betonisuojaepite	26	mm



Tuulikuormat	qw1 [kN/m]	H1 [kN]	qw2 [kN/m]	H2 [kN]	Fwd
k	2,93	6,01	1,83	3,72	
d (kt3)	4,39	9,01	2,75	5,58	2,73
d (kt4)	2,64	5,40	1,65	3,35	1,64

Muut kuormat			kt3	kt4
	kN/m ²	Nk [kN]	Nd [kN d]	Nd [kN d]
Lumikuorma Q	2	132,00	138,60	198,00
Omapaino G	0,8	14,48	16,65	16,65
yhteensä		146,48	155,25	214,65

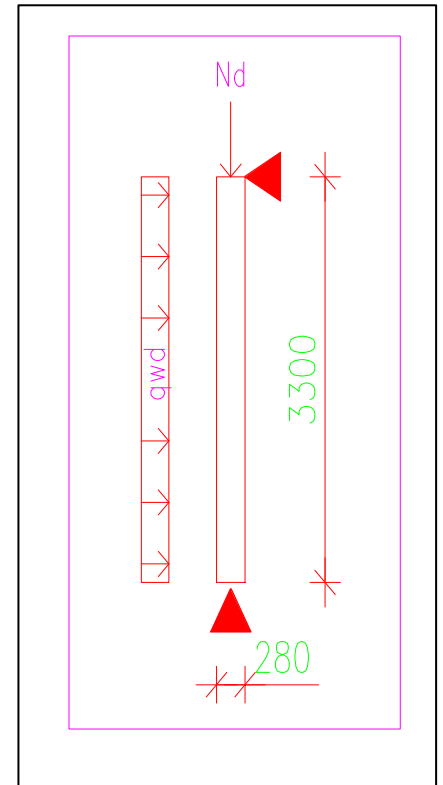
Teräs määrät		
$A_{s,req'd}$	1367,9526	mm ²
$A_{s,max}$	4704	mm ²
$A_{s,min}$	156,8	mm ²
A_s	804	mm ²

kt4 määräävä

BETONIPILARI reuna (2-aukkoinen kattoratkaisu)

Tulokset		
L_1 =pituus=	3,3	m
B=leveys (neliöpoikkileikkaus)=	280	mm
TERÄS	A500HW	
PÄÄTERÄS (JOKAISISSA NURKASSA)	5T12	
HAAT	T8k150	
HAAT ETÄISYYDELLÄ B PILARIN PÄÄS- TÄ	T8k100	
BETONI	C35/45-2	
Betonisuojaajepite; c=	22	mm

Pilarin tiedot		
L	3,3	m
B (pilarin leveys; neliöpoikkileikkaus)	280	mm
A_c	78400	mm ²
f_{ck}	35	N/mm ²
f_{yk}	500	N/mm ²
f_{cd}	19,83	N/mm ²
f_{yd}	434,78	N/mm ²
Ympäristöluokka	XC1	
Øpääteräs (halkaisija)	12	mm
Øhaka (halkaisija)	8	mm
Betonisuojaajepite	22	mm



Tuulikuormat	qw1 [kN/m]	H1 [kN]	qw2 [kN/m]	H2 [kN]	Fwd
k	2,93	6,01	1,83	3,72	
d (kt3)	4,39	9,01	2,75	5,58	2,73
d (kt4)	2,64	5,40	1,65	3,35	1,64

Muut kuormat			kt3	kt4
	kN/m2	Ned [kN k]	Ned [kN d]	Ned [kN d]
Lumikuorma Q	2	66,00	69,30	99,00
Omapaino G	0,8	14,48	16,65	16,65
yhteensä		80,48	85,95	115,65

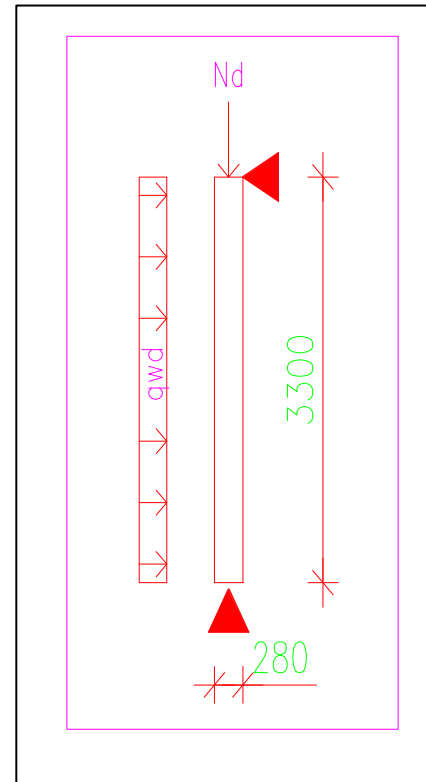
Teräs määrät		
$A_{s,req'd}$	467,5	mm ²
$A_{s,max}$	4704	mm ²
$A_{s,min}$ on OK	156,8	mm ²
A_s	565	mm ²

kt3 määräävä

BETONIPILARI reuna (2-aukkoinen kattoratkaisu)

Tulokset		
L_1 =pituus=	3,3	m
B=leveys (neliöpoikkileikkaus)=	280	mm
TERÄS	A500HW	
PÄÄTERÄS (JOKAISISSA NURKASSA)	4T10	
HAAT	T8k150	
HAAT ETÄISYYDELLÄ B PILARIN PÄÄSTÄ	T8k75	
BETONI	C35/45-2	
Betonisuojaepite; c=	20	mm

Pilarin tiedot		
L	3,3	m
B (pilarin leveys; neliöpoikkileikkaus)	280	mm
A_c	78400	mm ²
f_{ck}	35	N/mm ²
f_{yk}	500	N/mm ²
f_{cd}	19,83333	N/mm ²
f_{yd}	434,7826	N/mm ²
Ympäristöluokka	XC1	0
Øpääteräs (halkaisija)	10	mm
Øhaka (halkaisija)	8	mm
Betonisuojaepite	20	mm



kuormat	kN/m ²	Ned [kN k]	kt3	kt4
			Ned [kN d]	Ned [kN d]
Lumikuorma Q	2	132	138,6	198
Omapaino G	0,8	28,96	33,3	33,3
yhteensä	0	160,96	171,9	231,3
Fwd ja Qwd	0	0	0	0

Teräs määrät		
$A_{s,req'd}$	311,7	mm ²
$A_{s,max}$	4704	mm ²
$A_{s,min}$ on OK	156,8	mm ²
A_s	314	mm ²

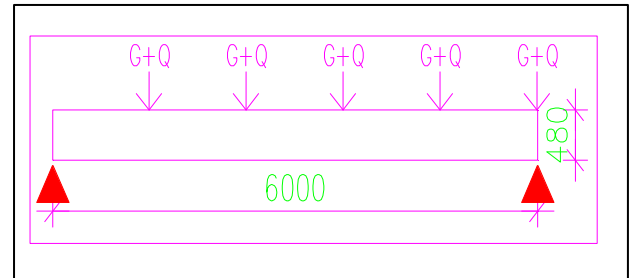
kt3 määrävä

Liite 10. Betonipalkkien mitoitus

HUOM! Nämä laskelmat on tehty kustannusvertailuja varten. Toteutettaessa kohdetta ovat rakennelaskelmat ja suunnitelmat teetettävä kohde kohtaisesti

BETONIPALKKI reuna (2-aukkoinen kattoratkaisu)

Tulokset		
L_1 =pituus=	6	m
B=leveys=	280	mm
H=korkeus=	480	mm
TERÄS	A500HW	
PÄÄTERÄKSET	4T20	
HAAT	T8k400	
BETONI	C30/37-2	
Suurin raekoko	16	mm
Betonisuojaepite; c=	30	mm



Palkin tiedot		
L	6	m
B	280	mm
H	480	mm
f_{ck}	30	N/mm ²
f_{yk}	500	N/mm ²
f_{cd}	17	N/mm ²
f_{yd}	434,8	N/mm ²
Ympäristöluokka	XC1	
Øpääteräs (halkaisija)	20	mm
Øhaka (halkaisija)	10	mm
Betonisuojaepite	30	mm
k-jako ristikko	1,2	m
ristikko tuesta	1,19	m

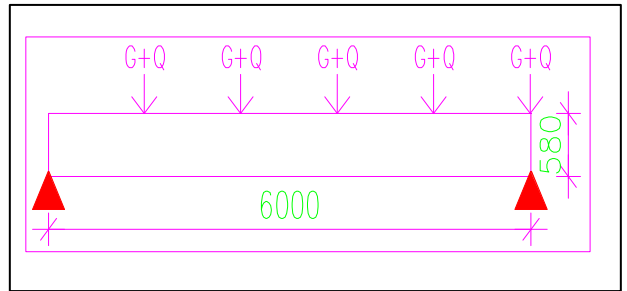
Kuormat	kN/m ²	kN/m	Rk rist [kN]	d palkki [kN/m]	Rd palkki [kN]
Lumikuorma Q	2	2,4	13,2	16,5	49,5
Omapaino G	0,8	0,96	5,28	5,06	15,18
yhteensä				21,56	64,68
M1	111,688		$F \cdot ab/L$		
Md max	114.4	Sisältää M1 ja palkin aiheuttaman momentin			

Teräsmäärät		
Pääteräs:		
$A_{s,req'd}$	657,9	mm ²
$A_{s,min}$	181,6	mm ²
A_s	1256	mm ²
Leikkausraudoitus:		
A_{sw}	-	mm ²
$A_{sw,min}$	219,4	mm ²
A_s	252	mm ²

TAIPUMAA EI TARVITSE TARKASTAA TÄSSÄ TAPAUKSESSA, KOSKA L/d ei ylitä raja-arvoa

BETONIPALKKI keski (2-aukkoinen kattoratkaisu)

Tulokset		
TERÄS	A500HW	
PÄÄTERÄKSET	4T25	
HAAT	T10K200	
BETONI	C30/37-2	
Suurin raekoko	16	mm
Betonisuojaepite; c=	35	mm



Palkin tiedot		
L	6	m
B	280	mm
H	480	mm
f_{ck}	30	N/mm ²
f_{yk}	500	N/mm ²
f_{cd}	17	N/mm ²
f_{yd}	434,8	N/mm ²
Ympäristöluokka	XC1	
Øpääteräs (halkaisija)	20	mm
Øhaka (halkaisija)	10	mm
Betonisuojaepite	30	mm
k-jako ristikko	1,2	m
ristikko tuesta	1,19	m

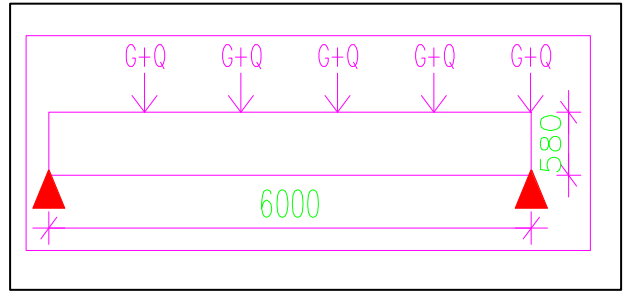
Kuormat	kN/m ²	kN/m	Rk rist [kN]	d palkki [kN/m]	Rd palkki [kN]
Lumikuorma Q	2	2,4	26,4	33	99
Omapaino G	0,8	0,96	10,56	10,12	30,36
yhteensä				43,12	129,36
M1	186,147		F*ab/L		
Md max	207,2	Sisältää M1 ja palkin aiheuttaman momentin			

Teräsmäärät		
Pääteräs:		
$A_{s,req'd}$	999,1	mm ²
$A_{s,min}$	220,6	mm ²
A_s	1964	mm ²
Leikkausraudoitus:		
A_{sw}	687,7	mm ²
$A_{sw,min}$	219,4	mm ²
A_s	786	mm ²

TAIPUMAA EI TARVITSE TARKASTAA TÄSSÄ TAPAUKSESSA, KOSKA L/d ei ylitä raja-arvoa

BETONIPALKKI reuna (1-aukkoinen kattoratkaisu)

Tulokset		
TERÄS	A500HW	
PÄÄTERÄKSET	4T20	
HAAT	T10K200	
BETONI	C30/37-2	
Suurin raekoko	16	mm
Betonisuojaepite; c=	30	mm



Palkin tiedot		
L	6	m
B	280	mm
H	580	mm
f_{ck}	30	N/mm ²
f_{yk}	500	N/mm ²
f_{cd}	17	N/mm ²
f_{yd}	434,8	N/mm ²
Ympäristöluokka	XC1	
Øpääteräs (halkaisija)	20	mm
Øhaka (halkaisija)	10	mm
Betonisuojaepite	30	mm
k-jako ristikko	1,2	m
ristikko tuesta	1,19	m

Kuormat	kN/m ²	kN/m	Rk rist [kN]	Rd rist [kN]	k Palkki (kN/m)	d palkki [kN/m]	Rd [kN]palkki
Lumikuorma Q	2	2,4	26,4	39,6	22	33	99
Omapaino G	0,8	0,96	10,56	12,144	8,8	10,12	30,36
yhteensä				51,744		43,12	129,36
M1	223,376		F*ab/L				
Md max	244,4	Sisältää M1 ja palkin aiheuttaman momentin					

Teräsmäärät		
Pääteräs:		
$A_{s,req'd}$	1180,7	mm ²
$A_{s,min}$	223,8	mm ²
A_s	1256	mm ²
Leikkausraudoitus:		
A_{sw}	678	mm ²
$A_{sw,min}$	219,4	mm ²
A_s	786	mm ²

Liite 11. Anturoiden mitoitus

HUOM! Nämä laskelmat on tehty kustannusvertailuja varten. Toteutettaessa kohdetta ovat rakennelaskelmat ja suunnitelmat teetettävä kohde kohtaisesti

PILARIANTURA reuna

Anturan tiedot		
p_{sall}	150	kN/m ²
B	1,6	m
L	1,6	m
H	0,35	m
betoni	C35/45-2	
Teräs	A500HW	
Raudoitus	10 # 200	

Kuormat (ominaisarvot)	NK [kN]	Qk [kN]	Nk [kN]	MQwk,max [kNm]	Qwk [kN]	ek [m]	pkmax [kN/m ²]
kt1	224,828	132	356,828	0	0	0	139,386
kt2	224,828	92,4	317,228	0	0	0	123,917
kt3	224,828	0	224,828	0	0	0	87,8234

Pk ehto1
 Kun $ek \leq L/6$ $(1+6 \cdot e/L) \cdot Nk/B \cdot L$
 Kun $L/6 < ek < L/3$ $2 \cdot Nk/(B \cdot (1,5 \cdot L - 3 \cdot e))$

Kuormat (lakenta-arvot)	Ngd [kN]	Nqd [kN]	Nd [kN]	Mqwd [kNm]	Hqwd [kN]	ed [m]	Pd [kN/m ²]	Lt
kt1	258,5522	198	456,5522	0	0	0	178,341	1,6
kt2	258,5522	138,6	397,1522	0	0	0	155,138	1,6
kt3	258,5522	0	258,5522	0	0	0	100,997	1,6

$ed = Mqwd/Nd$

$Lt = L - 2 \cdot ed$

$Pd = Nd/(B \cdot Lt)$

Tulokset		
$d_{vaad,läv}$	0,195	m
$A_{s,req}$	311,2	mm ²
A_s	393	mm ²

Stabiliteettiä ei tarvitse tarkastaa (ei kalliolle perustettu)

Betonin leikkauskapasiteetti riittää--> ei tarvitse leikkausraudoitusta

Anturan päälle tuleva pilari 280*280

PILARIANTURA keski

Anturan tiedot		
p_{sall}	150	kN/m ²
B	1,6	m
L	1,6	m
H	0,4	m
betoni	C35/45-2	
Teräs	A500HW	
Raudoitus	10 # 250	

Kuormat (ominaisarvot)	NK [kN]	Qk [kN]	Nk [kN]	MQwk,max [kNm]	Qwk [kN]	ek [m]	pkmax [kN/m ²]
kt1	229	132	361	0	0	0	141
kt2	229	92	321	0	0	0	126
kt3	229	0	229	0	0	0	89

P_k ehto1 Kun $ek \leq L/6$ $(1+6 \cdot e/L) \cdot N_k / B \cdot L$
 0 Kun $L/6 < ek < L/3$ $2 \cdot N_k / (B \cdot (1,5 \cdot L - 3 \cdot e))$

Kuormat (lakenta-arvot)	Ngd [kN]	Nqd [kN]	Nd [kN]	Mqwd [kNm]	Hqwd [kN]	ed [m]	Pd [kN/m ²]	Lt
kt1	263,4	198	461,4	0	0	0	180,2	1,6
kt2	263,4	138,6	402	0	0	0	157	1,6
kt3	263,4	0	263,4	0	0	0	102,9	1,6

$$ed = Mqwd / Nd$$

$$Lt = L - 2 \cdot ed$$

$$Pd = Nd / (B \cdot Lt)$$

Tulokset		
$d_{vaad,läv}$	0,197	m
$A_{s,req}$	269,1	mm ²
A_s	314	mm ²

Stabiileettiä ei tarvitse tarkastaa (ei kalliolle perustettu)

Betonin leikkauskapasiteetti riittää--> ei tarvitse leikkausraudoitusta

Anturan päälle tuleva pilari 280*280