

Puurakenteisen varastorakennuksen rakennussuunnittelu ja alustavat ra- kennelaskelmat

Panu Karsikas

Opinnäytetyö
Toukokuu 2017
Tekniikan ja liikenteen ala
Insinööri (AMK), Rakennustekniikan koulutusohjelma

Tekijä(t) Karsikas, Panu	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Toukokuu 2017
	Sivumäärä 43	Julkaisun kieli Suomi
		Verkkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi Puurakenteisen varastorakennuksen rakennussuunnittelu ja alustavat rakennelaskelmat		
Tutkinto-ohjelma Rakennustekniikan koulutusohjelma		
Työn ohjaaja(t) Viinikainen, Marko		
Toimeksiantaja(t) Karsikas, Jarmo		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön aihe syntyi toimeksiantajan tarpeesta rakentaa varastorakennus, jossa voisi säilyttää ajoneuvoja sekä esimerkiksi polttopuita.</p> <p>Opinnäytetyön aiheena oli puurakenteisen varastorakennuksen rakennussuunnittelu ja puurakenteiden alustava rakennesuunnittelu. Rakennus oli tarkoitus suunnitella vastamaan toimeksiantajan tarpeita käyttöä ajatellen. Suunnittelussa otettiin huomioon rakennuspaikan vaatimukset rakennusta koskien. Työn tavoitteena oli luoda arkkitehti- ja rakennesuunnitelmat, jotka vastaisivat toimeksiantajan tarpeita ja toivomuksia.</p> <p>Työ toteutettiin suunnittelemalla rakennuksen pohjaratkaisu, sijainti tontilla sekä piirtämällä julkisivukuvat. Rakennelaskelmat tehtiin pääasiassa käsinlaskentana kirjallisia lähteitä apuna käyttäen.</p> <p>Työn tuloksena syntyivät rakennuksen arkkitehtikuvat ja kantavien puurakenteiden rakennelaskelmat.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Varastorakennus, puurakenteet, rakennussuunnittelu, rakennesuunnittelu, rakennelaskelma		
Muut tiedot		

Author(s) Karsikas, Panu	Type of publication Bachelor's thesis	Date May 2017 Language of publication: Finnish
	Number of pages 43	Permission for web publication: x
Title of publication Title Architectural design and preliminary structural planning of wooden warehouse		
Degree programme Civil Engineering		
Supervisor(s) Viinikainen, Marko		
Assigned by Karsikas, Jarmo		
Abstract <p>The thesis was assigned by a client who needed to build a storage building for storing e.g. vehicles and firewood.</p> <p>The purpose was to conduct architectural design and preliminary structural planning of a wooden storage. The building was be designed in accordance with the client's needs. In the design process, the requirements of the building site regarding the building were taken into account. The goal of the project was to create architectural and structural plans that reflect the client's needs and wishes.</p> <p>The work was carried out by designing the floor plan of the building, the position of the building on the building site and by completing the façade drawings. Structure calculations were carried out mainly with hand calculations and utilizing literary sources on the subject.</p> <p>The thesis results in architectural drawings of the building and structure calculations of the wooden structures.</p>		
Keywords/tags (subjects) Storage, wooden structures , architecture, structural planning, structure calculation		
Miscellaneous		

Sisältö

1	Johdanto.....	3
2	Suunnitteluprosessi.....	5
	2.1 Tarveselvitys.....	5
	2.2 Hankesuunnittelu.....	7
	2.2.1 Kohteen perustiedot.....	8
	2.2.2 Vaativuusluokka.....	8
	2.2.3 Käyttöluokka.....	10
	2.2.4 Seuraamusluokka.....	11
	2.2.5 Paloluokka.....	12
	2.2.6 Rakenteellinen järjestelmä.....	14
	2.3 Suunnittelun valmistelu.....	16
	2.3.1 Suunnittelijoiden kelpoisuusvaatimukset.....	17
	2.4 Rakennussuunnittelu.....	19
	2.4.1 Hallin rakennussuunnittelun periaatteet.....	20
	2.4.2 Pohjaratkaisu.....	20
	2.4.3 Rakennuksen sijoittuminen tontille.....	22
	2.4.4 Julkisivu.....	23
3	Rakenneosien mitoitus.....	25
	3.1 Suunnittelun perusvaatimukset.....	25
	3.2 Rajatilamitoituksen periaatteet.....	25
	3.2.1 Murtorajatilat.....	26
	3.2.2 Käyttörajatilat.....	26
	3.3 Kuormat.....	27
	3.3.1 Lumikuormat.....	28
	3.3.2 Tuulikuormat.....	30
	3.4 Ruoteet.....	38

3.5	Räystäspuut	39
3.6	Vesikattopalkisto	39
3.7	Kattorakenteen kannatinpalkit.....	40
3.8	Pilarit	40
3.9	Takaseinän puurunko.....	41
3.10	Päätyseinän runkotolppa	41
3.11	Rakennuksen jäykistäminen.....	42
4	Pohdinta	42
	Lähteet	44
	Liitteet	45

1 Johdanto

Opinnäytetyö sisältää varastorakennuksen alustavat puurakenteiden kestävyyslaskelmat ja rakennus- sekä rakennesuunnitelmat. Opinnäytetyön toimeksiantaja on yksityishenkilö Jarmo Karsikas.

Tausta

Opinnäytetyön aihe muodostui tarpeesta rakentaa varastorakennus, jossa voisi säilyttää esimerkiksi koneita ja venettä sekä varastoida polttopuita. Toimeksiantajalla on mahdollisuus käyttää rakentamisessa kotitarvepuuta, jota olisi tarkoitus käyttää rakentamisessa mahdollisuuksien mukaan. Tästä johtuen rakennus suunnitellaan puurakenteisena. Rakennushankkeelle ei ole määritelty aikataulua ja budjettia, mutta rakenteista on tarkoitus suunnitella mahdollisimman yksinkertaisia ja edullisia sekä helppoja rakentaa.

Tavoitteet

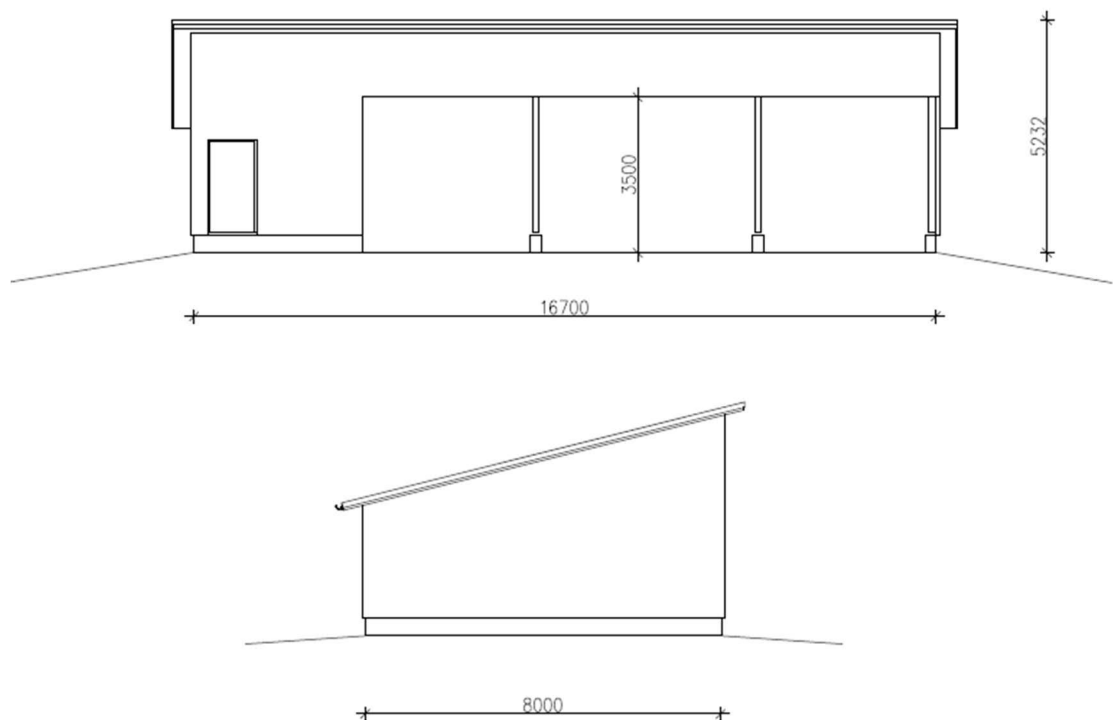
Opinnäytetyössä on tavoitteena selvittää puurakenteisen katosrakennuksen tarkoituksenmukaisia rakenneratkaisuja sekä mitoittaa kantava runko, sekä rungon jäykitys. Tavoitteena olisi saada rakennuksen puurakenteista runkoa koskevat mitoituslaskelmat sekä rakennuksen julkisivu- ja asemapiirroksat. Rakennuksesta ei ole olemassa alustavia suunnitelmia, joten työssä käsitellään myös rakennusprosessin vaiheita, jotka johtavat suunnitteluvaiheeseen.

Rajaukset

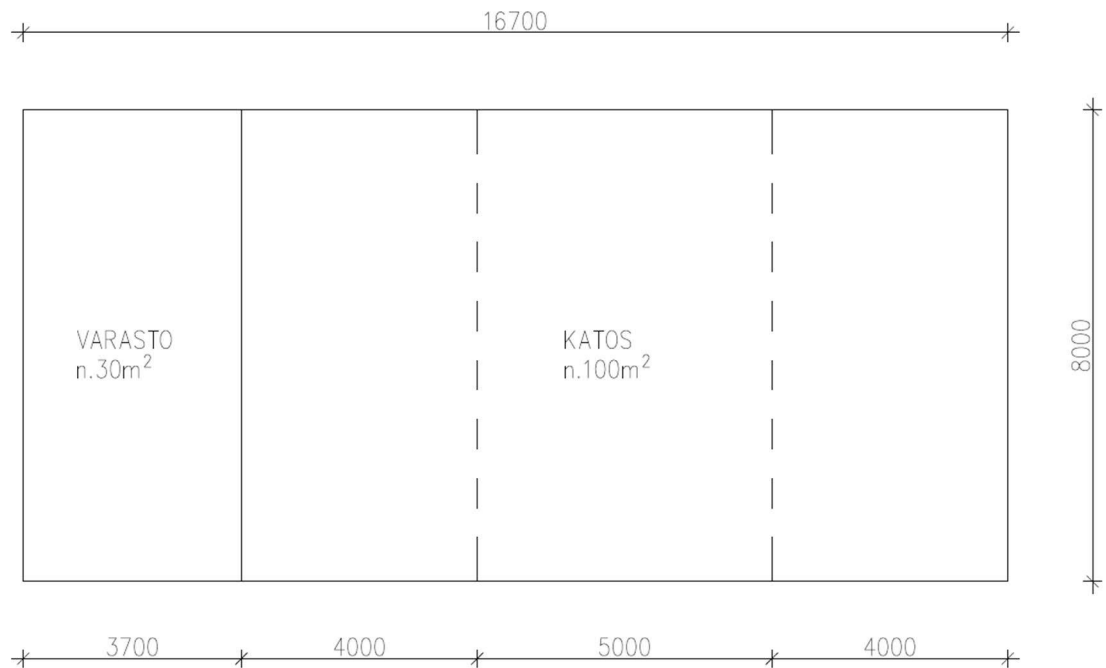
Tässä opinnäytetyössä käsitellään rakennuksen suunnitteluprosessia, joten jätämme huomioimatta hankkeen rakennusvaiheen ja käyttöönoton. Käsiteltävät aiheet opinnäytetyössä ovat tarveselvitys, hanke-, rakennus- ja kantavien puurakenteiden rakennesuunnittelu. Opinnäytetyö käsittelee rakennuksen perustuksen yläpuolisia puurakenteita ja rakenneratkaisuja. Puurakenteiden liitoksia ei käsitellä opinnäytetyössä.

Rakennuskohde

Mahdollinen rakentamiskaipa sijaitsee Keski-Suomessa Äänekoskella haja-asutusalueella. Tontti on pinta-alaltaan 1,8 ha ja sillä sijaitsee asuinrakennus ja talousrakennus. Rakennuksen luonnoskuvat, jotka on suunniteltu vastaamaan toimeksiantajan toivomuksia, ovat kuvissa 1 ja 2.



Kuva 1. Julkisivuluonnos



Kuva 2. Pohjaratkaisun luonnos

2 Suunnitteluprosessi

2.1 Tarveselvitys

Tarveselvityksessä perustellaan tilahankinnan tarpeellisuus tai olemassa olevan tilan muutostarve, kuvataan alustavasti tarvittavat tilat ja niille asetettavat vaatimukset, tutkitaan vaihtoehtoiset käyttömahdollisuudet sekä arvioidaan eri ratkaisujen edullisuus. Tilantarve selvitetään karkeasti tilaryhmittäin ottaen huomioon kehysennusteista arvioitu kohtuullinen laajennusvara. Eri käyttö- ja toimintaratkaisut asettavat tiloille erilaiset vaatimukset, joiden tyydyttämiseksi voi olla useita erilaisia ratkaisuja, joista rakentamsvaihtoehto johtaa hankeprosessiin. Usein tarveselvitys ja hankesuunnitelma voidaan tehdä yhdessä. Tilanhankinnan

tarveselvityksen laatii omistajan tai käyttäjän toimeksiannosta rakennuttaja käyttäen tarvittaessa apunaan suunnittelijoita tai muita asiantuntijoita. Vaiheen tuloksena syntyy hyväksytty tarveselvitys ja hankepäätös. (RT 10-11107 2013, 4.)

Toimeksiantajan kanssa käydyssä keskustelussa määriteltiin rakennukselta vaadittavat ominaisuudet (ks. taulukko 1). Rakennus toimii kylmänä varistorakennuksena. Rakennuksen kokonaispinta-alavaatimus on n. 135m².

Muita rakennuksen vaatimuksia ovat:

- puurakenteinen runko
- kotitarvepuun käyttö mahdollisuuksien mukaan
- sisäänkulkuaukon minimikorkeus avoimella tilalla 3m
- alapohjan betonilaatta
- pulpettikatto.

Taulukko 1. Toimeksiantajan tilaohjelma

Tila	Käyttötarkoitus	Lisätietoja	Koko
Avokatos	Ajoneuvojen yms. säilytys	Sisäänkulkuaukon minimikorkeus 3m. Tila koostuu kolmesta lohkoista, joiden syvyys 8m ja leveydet 2x 4m ja 5m.	n. 105m ²
Kylmävarasto	Polttopuu- /tavaravarasto	Kylmä tila	30m ²

Rakennuslupa

Tontilla on rakennusoikeutta jäljellä 30m² talusrakennukselle. Tästä johtuen rakennukseen tulisi suunnitella kerrosalaltaan enintään 30m² kokoinen varasto sekä katos, joka täyttää katoksen kriteerit. Rakennus, rakennelma tai rakennuksen osa on katos, jos sen seinien pinta-alasta on avoinna vähintään 30%. Katoksen rakentamiseen ei tarvita rakennuslupaa, vaan siihen riittää toimenpidelupa (L 958/2012, 126 a §.).

2.2 Hankesuunnittelu

Hankesuunnittelussa asetetaan rakennushankkeelle täsmälliset laajuutta, toimivuutta, laatua, kustannuksia, ajoitusta ja ylläpitoa koskevat tavoitteet. Siinä määritellään rakennuspaikka ja hankkeen toteutustapa. Hankesuunnittelussa laaditaan toimeksiantajan investointipäätökseen tarvitsemat rakennushanketta koskevat tiedot ja rakennussuunnittelun tavoitemäärittely. Hankesuunnittelu on luonteeltaan tarkentuva prosessi, jossa haetaan tasapainoa tavoitteiden ja lähtötietojen välille. Hankesuunnittelun tuloksena syntyy hankesuunnitelma, joka muodostuu projektiohjelmasta ja hankeohjelmasta. Projektiohjelmassa esitetään hankkeen läpiviennille asetetut tavoitteet ja hankeohjelmassa hankkeen suunnittelulle asetetut tavoitteet. Hankesuunnittelun yhteydessä mahdollisesti tehdyt ehdotussuunnitelmat eivät kuulu hankesuunnitelmaan. (RT 10-11107 2013, 5-7.)

Luettelo rakennushankkeeseen ryhtyvän lakisääteisistä velvollisuuksista liittyen hankesuunnitteluvaiheeseen:

- *Rakennushankkeeseen ryhtyvän on huolehdittava siitä, että rakennus suunnitellaan ja rakennetaan rakentamista koskevien säännösten ja määräysten sekä myönnetyn luvan mukaisesti. Hänellä tulee olla hankkeen vaativuus huomioon ottaen riittävät edellytykset sen toteuttamiseen sekä käytettävissään pätevä henkilöstö. (MRL § 119.)*
- *Rakennuksen rakentamiseen on oltava rakennuslupa. Rakennuslupa tarvitaan myös sellaiseen korjaus- ja muutostyöhön, joka on verrattavissa rakennuksen rakentamiseen, sekä rakennuksen laajentamiseen tai sen kerrosalaan laskettavan tilan lisäämiseen. (MRL § 125.)*
- *Rakennuslupahakemukseen tulee liittää selvitys rakennuspaikan perustamis- ja pohjaolosuhteista ja tarvittaessa terveellisyydestä ja korkeusasemasta sekä näiden edellyttämästä perustamistavasta ja tarvittavista muista toimenpiteistä. (MRL § 49.)*

Tämän projektin hankesuunnittelussa ei määritellä hankkeelle budjettia tai aikataulua. Suunnittelu keskittyy rakennuksen toteutustapaan ja rakenneratkaisuihin. Tässä vaiheessa selvitetään myös rakennuksen vaativuusluokka ja muut rakennuksen suunnitteluun vaikuttavat rakennuksen vaatimukset.

2.2.1 Kohteen perustiedot

Rakennus sijaitsee Äänekoskella osoitteessa Järvenpääntie 187. Tontti sijaitsee haja-asutusalueella ja maasto on osittain metsäpeitteistä. Rakennus suunnitellaan puurakenteisena ja paikalla rakennettavana. Taulukkoon 2 on tiivistetty rakennuksen perustiedot.

Taulukko 2. Rakennuksen perustiedot

Kohteen nimi	Puurakenteinen katosrakennus
Osoite	Järvenpääntie 187 44150 Äänekoski
Pääasiallinen käyttötarkoitus	Varastorakennus
Rakenteiden vaativuusluokka	Tavanomainen (Maankäyttö - ja rakennuslaki 120 d § (41/2014))
Käyttöluokka	2 (RIL 205-1-2017)
Seuraamusluokka	CC1 (RIL 205-1-2017)
Paloluokka	P3 (RakMK osa E1)
Pääasiallinen rakennusmateriaali	Puu
Pääasiallinen rakennustapa	Paikalla rakentaminen
Kerrosluku	1
Kokonaiskorkeus	5,3 m
Bruttopinta-ala yhteensä	136 m ²

2.2.2 Vaativuusluokka

Rakennuksen vaativuusluokka on tavanomainen perustuen valtioneuvoston asetukseen (A 214/2015.) suunnittelutehtävien vaativuusluokkien määräytymisestä. Rakennus täyttää tavanomaisen pohjarakenteiden-, kantavien rakenteiden suunnittelutehtävän ja rakennussuunnittelun kriteerit.

Pohjarakenteiden suunnittelutehtävien vaativuus

Pohjarakenteiden suunnittelutehtävä on tavanomainen, jos suunniteltava rakennus on kooltaan pienehkö, sen pohjarakenteet ovat teknisiltä ja toiminnallisilta vaatimuksiltaan yksinkertaiset eikä rakennuksen ympäristöstä tai rakennuspaikasta aiheudu suunnittelulle erityisiä vaatimuksia. (A 214/2015, 10 §.)

Pohjarakenteiden suunnittelun kannalta suunnittelutehtävän vaativuusluokka on tavanomainen, koska rakennus on kooltaan pienehkö, yksikerroksinen, pohjarakenteet ovat teknisiltä ja toiminnallisilta vaatimuksiltaan yksinkertaiset ja pohjarakenteisiin kohdistuvat kuormat ovat tavanomaisia. Kohteessa ei ole tehty maaperätutkimusta, mutta perustuen kokemuksiin aikaisempien rakennusten pohjatöistä maaperän rakennettavuus on hyvä. (Ohje rakennusten vaativuusluokista 2015, 10.)

Kantavien rakenteiden suunnittelutehtävien vaativuus

Kantavien rakenteiden suunnittelutehtävä on tavanomainen, jos suunniteltava rakennus on yksi- tai kaksikerroksinen ja kooltaan pienehkö, rakennuksen kantavat rakenteet ovat teknisiltä ja toiminnallisilta vaatimuksiltaan yksinkertaiset ja suunnittelussa voidaan käyttää yleisiä suunnitteluohjeita ja vakiintuneita ratkaisuja. (A 214/2015, 7 §.)

Asetuksen lisäksi ympäristöministeriö on julkaissut ohjeen koskien suunnittelutehtävien vaativuusluokkia. Siinä on määritelty tavanomaisen rakennesuunnittelutehtävän kriteerejä, joita ovat

- enintään kaksikerroksinen rakennus, jossa voi olla kellarikerros ja ullakko
- kooltaan pienehkö, kerrosalaltaan enintään 300 m²
- kantavien rakenteiden jänneväli enintään kuusi metriä
- kantavat rakenteet ja niiden liitokset ovat suunniteltaville materiaaleille tyypillisiä ja voidaan käyttää yleisiä suunnitteluohjeita. (Ohje rakennusten vaativuusluokista 2015, 7.)

Kantavien rakenteiden suunnittelutehtävien kannalta rakennus on tavanomainen, koska se on yksikerroksinen, kerrosalaltaan n. 135 m², kantavien rakenteiden jännevälit ovat enintään 5m ja rakennuksen suunnitteluun voidaan käyttää yleisiä suunnitteluohjeita.

Rakennussuunnittelutehtävien vaativuus

Rakennussuunnittelutehtävä on tavanomainen, jos suunniteltava rakennus on yksi- tai kaksikerroksinen ja kooltaan pienehkö, arkkitehtonisilta, teknisiltä ja toiminnallisilta vaatimuksiltaan tavanomainen eikä rakennuksen käyttötarkoituksesta, ympäristöstä tai rakennuspaikasta aiheudu suunnittelulle erityisiä vaatimuksia. (A 214/2015, 3 §.)

Asetuksen lisäksi ympäristöministeriö on julkaissut ohjeen koskien suunnittelutehtävien vaativuusluokkia. Siinä on määritelty tavanomaisen rakennussuunnittelutehtävän kriteerejä. Ohjeen mukaan rakennuksen tulee olla

- enintään kaksikerroksinen, ja siinä voi olla lisäksi kellarikerros ja ullakko
- kooltaan pienehkö, kerrosalaltaan enintään 300 m²
- arkkitehtonisilta, teknisiltä ja toiminnallisilta vaatimuksiltaan tavanomainen
- rakennuksen ympäristöstä tai rakennuspaikasta ei aiheudu suunnittelulle erityisiä vaatimuksia. (Ohje rakennusten vaativuusluokista 2015, 4.)

Rakennussuunnittelutehtävä on tavanomainen, koska rakennus on yksikerroksinen, kooltaan n. 135 m² ja rakennuksen ympäristö ja rakennuspaikka eivät aiheuta erityisiä vaatimuksia. Rakennuksen arkkitehtoniset vaatimukset eivät ole vaativia, vaan tarkoitus olisi suunnitella yksinkertainen ja pelkistetty rakennus. Toiminnalliset vaatimukset liittyvät lähinnä varastointiin, jolloin voidaan olettaa, että ne ovat tavanomaisia.

2.2.3 Käyttöluokka

Rakenteet tulee jaotella käyttöluokkiin 1,2 tai 3. Käyttöluokkajärjestelmä on tarkoitettu pääasiassa lujuusarvojen jaottelua varten ja määritellyissä ympäristöolosuhteissa syntyvän muodonmuutoksen laskemista varten. Käyttöluokka määräytyy rakenteessa vallitsevan ilmasto-olosuhteen perusteella. Siihen vaikuttavat lämpötila, ilmankosteus ja suojaaminen kastumiselta. Rakennus kuuluu käyttöluokkaan 2, koska se on katettu ja kastumiselta suojattu kylmä rakennus.

Käyttöluokkaan 2 kuuluu ulkoilmassa kuivana oleva puurakenne. Rakenteen tulee olla katetussa ja tuuletetussa tilassa sekä alta ja sivuilta hyvin kastumiselta suojattu. (RIL 205-1-2009, 31.)

2.2.4 Seuraamusluokka

Rakennuksen seuraamusluokka on CC1, koska onnettomuustilanteissa seuraamukset ovat vähäiset ihmishenkien menetysten tai pienten tai merkityksettömien taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristön vahinkojen takia (ks. taulukko 3). Kerroin K_{FI} on rakennuksen seuraamusluokasta riippuva kuormakerroin, jota käytetään laskettaessa rakenteisiin kohdistuvia mitoituskuormia eri kuormitusyhdistelyillä.

Taulukko 3. Seuraamusluokat (RIL 205-1-2009, 26.)

Taulukko 2.1-FI. Seuraamusluokkien määrittely ja kuormakertoimien K_{FI} arvot (SFS-EN 1990:n kansallinen liite, taulukko B1 (FIN)).

Luokka	K_{FI}	Kuvaus	Rakennuksia ja rakenteita koskevia esimerkkejä
CC3	1,1	Suuret seuraamukset ihmishenkien menetysten <i>tai hyvin suurten</i> taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia.	Rakennuksen kantava runko ¹⁾ jäykistävine rakennusosineen sellaisissa rakennuksissa, joissa usein on suuri joukko ihmisiä, kuten <ul style="list-style-type: none"> – (yli 8-kerroksiset asuin-, konttori- ja liikerrakennukset) – konserttitalit, teatterit, urheilu- ja näyttelyhallit, katsomot (yli 1 000 henkeä) – raskaasti kuormitettut tai suuria jännevälejä sisältävät rakennukset. Erikoisrakenteet, kuten esim. suuret mastot ja tornit.
CC2	1,0	Keskisuuret seuraamukset ihmishenkien menetysten <i>tai merkittävien</i> taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristön vahinkojen takia.	Rakennukset ja rakenteet, jotka eivät kuulu luokkiin CC3 tai CC1.
CC1	0,9	Vähäiset seuraamukset ihmishenkien menetysten <i>tai pienten tai merkityksettömien</i> taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristön vahinkojen takia.	1- ja 2-kerroksiset rakennukset, joissa vain tilapäisesti oleskelee ihmisiä, kuten esim. varastot. Rakenteet, joiden vaurioitumisesta ei aiheudu merkittävää vaaraa, kuten <ul style="list-style-type: none"> – matalalla olevat alapohjat, ilman kellaritiloja – ryömintätilaiset vesikatot, kun yläpohja on varsinainen kantava rakenne – sellaiset ulko- ja väliseinät, ikkunat, ovet ja vastaavat, joihin pääasiassa kohdistuu ilman paine-eroista aiheutuva sivuttaiskuormitus ja jotka eivät toimi kantavan tai jäykistävän rungon osana.

¹⁾ Ylä- ja välipohjat kuuluvat kuitenkin luokkaan CC2, elleivät ne toimi koko rakennusta jäykistävänä rakenteena. Rakennuksen koostuessa erilaisista toisistaan riippumattomista rakennusosista määritetään kunkin osan seuraamusluokka erikseen.

2.2.5 Paloluokka

Rakennuksen paloluokat ovat P1, P2 ja P3. Paloluokka määräytyy rakennuksen käyttötarkoituksen, pinta-alan, henkilölukumäärän ja kerroslukumäärän perusteella (ks. taulukko 4).

Taulukko 4. Paloluokan riippuvuus rakennuksen käyttötarkoituksesta, koosta ja korkeudesta

	Rakennusten paloluokka		
	P1	P2	P3
Kerrosten lukumäärä	Ei rajoitusta	Korkeintaan 2 Asuinrakennus, korkeintaan 4	Korkeintaan 2
Pinta-ala (m ²)	Ei rajoitusta	Ei rajoitusta	2400, 1- kerroksinen 1600, 2- kerroksinen
Henkilölukumäärä	Ei rajoitusta	150, 1- kerroksinen 50, 2- kerroksinen	50, 1- kerroksinen 10, 2- kerroksinen
Hotelli		100, 1- kerroksinen	10, 1- kerroksinen
Hoitolaitos		25, 2- kerroksinen	
Liikerakennus	Ei rajoitusta	Ei rajoitusta, 1- kerroksinen 250, 2- kerroksinen	500, 1- kerroksinen 50, 2- kerroksinen

Paloluokka voi asettaa kantaville rakenteille palonkestovaatimuksia, jolloin rakenteille on tehtävä palomitoitus (ks. taulukko 5).

Taulukko 5. Kantavien rakenteiden palonkestovaatimukset eri luokissa

	P1			P2		P3
Palokuorma MJ/m ²	>1200	600-1200	<600			
2- kerroksinen	R120	R90	R60	R30		-
3-8 kerrosta	R180	R90	R60	R30		-
> 8 kerrosta	R240	R180	R120	ei sallittu		ei sallittu

Suomen rakentamismääräyskokoelmassa osassa E1 määritellään rakennusten paloluokat sekä paloluokkiin liittyvät vaatimukset kantavien rakenteiden suunnittelun ja rakennuksen osastointitarpeen osalta. Asetuksen mukaan rakennuksissa, jotka kuuluvat paloluokkaan P3 kantaville rakenteille ei aseteta erityisvaatimuksia palonkestävyyden suhteen. Paloluokassa P3 saavutetaan riittävä turvallisuustaso kun rakennuksen kokoa (kerrosluku, pinta-ala) ja henkilömäärää rajoitetaan käyttötavasta riippuen. (RakMK osa E1 2011, 10.)

2.2.6 Rakenteellinen järjestelmä

Rakennuksen rakenteellinen järjestelmä ja rakenteet määrittyvät niiden kustannusten, yksinkertaisuuden ja helpon rakentamisen perusteella. Osaltaan rakenteiden valitsemiseen vaikuttaa myös kotitarvepuun käytön mahdollisuus. Rakennuksen runkojärjestelmäksi valikoitui pilari-palkkirakenne, jossa käytetään nivelellisiä pilareita niiden yksinkertaisen mitoituksen ja rakennettavuuden perusteella. Lisäksi rakennuksessa on kantavaseinäisiä puurankarakenteita. Rakennus jäykistetään ulkoseinien OSB-levyjäkisteillä. Yläpohja suunnitellaan kertopuupalkeista. Perustukset toteutetaan reunavahvistetulla laattalla. Taulukossa 6 on esitetty rakennuksen rakenteellinen järjestelmä.

Taulukko 6. Rakenteellinen järjestelmä

Perustamistapa	Reunavahvistettu laattaperustus
Pääasialliset runkorakenteet	
Pilarit	Nivelepäiset pilarit (sahatavara C24)
Kantavat seinät	Rankaseinä (sahatavara C24)
Pääkannattimet	Liimapuu-, kertopuu- ja sahatavarapalkki
Ulkoseinät	Paikalla rakennettu puurankaseinä
Väliseinät	Paikalla rakennettu puurankaseinä
Yläpohja	Paikalla rakennettu kertopuupalkkiyläpohja
Rakennusrungon jäykistys	Rakennus jäykistetään rungon poikki- ja pituussuuntaisilla OSB-levyjäkisteillä, jotka sijaitsevat rungon ulkopinnassa.

Pilarit

Pilareiksi valikoituivat sahatavarapilarit 150 mm x 150 mm lujuusluokaltaan C24, koska ne on mahdollista toteuttaa kotitarvepuusta.

Paikalla rakennettu puurankaseinä

Rakennuksen pitkä takaseinä kannattelee kattorakennetta ja seinän korkeus on suhteellisen maltillinen, joten sen voisi suunnitella kantavana puurankaseinä.

Puurankaseinä on myös levyjäykistyksen kannalta järkevä vaihtoehto. Seinässä voisi mahdollisuuksien mukaan käyttää kotitarvepuuta, esimerkiksi 50 mm x 100 mm lujuusluokaltaan C24 sahatavaraa.

Kotitarvepuulla tarkoitetaan puutavaraa, jonka rakennuttaja hankkii joko omasta tai vieraan metsästä ja joko sahaa tai sahauttaa sen omaan käyttöönsä. Näin hankittua sahatavaraa ei tarvitse lujuusleimata, jos se kuuluu lujuusluokkaan C24 tai sitä alempaan C-lujuusluokkaan. (RIL 205-1-2009, 47.)

Rakennuksen päätyseinät kannattelevat vain räystäsrakennetta ja ottavat vastaan tuulenpainetta, joten kuormat sille ovat suhteellisen pieniä. Seinä toimii myös jäykistävänä rakenneosana. Seinän voisi toteuttaa sahatavarasta, esimerkiksi 50 mm x 150 mm lujuusluokaltaan C24.

Katosrakennuksen ja varaston välinen seinä ei ota vastaan mitään kuormia, joten sen voisi toteuttaa puurankaseinäna sahatavarasta suunniteltuna.

Palkit

Kattopalkkeiksi valikoituivat Kerto-S palkit niiden hyvien lujuusominaisuuksien perusteella. Kattopalkisto olisi ollut vaikea toteuttaa sahatavarasta, koska sen poikkileikkausmitat tai jako olisi muodostunut järjettömäksi toteuttaa.

Kattorakenteen kannatinpalkit suunnitellaan liimapalkeilla lujuusluokaltaan GL30c, koska liimapalkeille löytyy riittävän suuria poikkileikkausmittoja kattorakennetta kannattelemaan.

Perustukset

Rakennukseen olisi tarkoitus suunnitella betonilaatta alapohjaan, joten perustusrakenteeksi sopisi hyvin reunavahvistettu laatta. Sillä saataisiin helposti vaadittava kantavuus perustusrakenteille ja samalla vaivalla alapohjan betonilaatta

rakennettua. Tällä perustusrakenteella saavutetaan hyötyjä rakennusvaiheessa, kun samalla valukerralla voidaan valaa laatta sekä perustukset. Jos perustus toteutettaisiin esimerkiksi jatkuvilla anturoilla sekä muurattavilla sokkeleilla ja maanvaraisella betonilaatalla, rakentamisessa tulisi olemaan useampia työvaiheita mikä lisää työhön käytettävää aikaa.

Reunavahvistettu laatta on jäykkä, yhtenäiseksi valettu laatta, joka jakaa rakennuksen painon koko rakennuksen kattamalle alalle. Laatta on paksumpi reunoiltaan, koska sinne sijoittuvat yleensä kantavat rakenteet. Rakenne toteutetaan siten, että pohjamaa tasataan, minkä jälkeen tehdään kapillarikatkoksen ja eristeiden asennus sekä raudoitus ja muotitus suunnitelman mukaisesti. Lisäksi tehdään kantavien rakenteiden vahvistukset. Tämän jälkeen valetaan betonilaatta. (Koko talo on perustuksien varassa 2013.)

2.3 Suunnittelun valmistelu

Suunnittelun valmistelussa organisoidaan suunnittelu, pidetään mahdolliset suunnittelukilpailut, pyydetään suunnittelutarjoukset, käydään tarvittavat neuvottelut, valitaan suunnittelijat, tehdään suunnittelusopimukset ja käynnistetään suunnittelu. Rakennuttaja huolehtii suunnittelun valmistelusta, suunnittelijoiden valinnasta ja suunnittelusopimusten tekemisestä hankkien suorituksilleen sovituisissa vaiheissa toimeksiantajan hyväksynnän. Vaiheen tuloksena syntyy suunnittelupäätös. (RT 10-11107 2013, 8.)

Suunnittelun valmisteluvaiheeseen liittyvät oleelliset rakennushankkeeseen ryhtyvän lakisääteiset velvollisuudet:

- *Rakennuksen suunnittelussa tulee olla suunnittelun kokonaisuudesta ja sen laadusta vastaava pätevä henkilö, joka huolehtii siitä, että rakennussuunnitelma ja erityissuunnitelmat muodostavat kokonaisuuden, joka täyttää sille asetetut vaatimukset (pääsuunnittelija). (MRL § 120.)*
- *Rakennuttajan on laadittava rakentamisen suunnittelua ja valmistelua varten turvallisuusasiakirja. Rakennuttajan on suunnittelutoimeksiannossa edellytettävä suunnittelijoilta työturvallisuuden huomioonottamista rakentamisessa ja siinä on*

annettava sellaiset tiedot, joita suunnittelija tarvitsee työturvallisuuslain 57 §:n mukaisen vastuunsa toteuttamisessa. (VNa 205/2009 § 7, 8.)

- *Rakennuttajan on nimettävä jokaiseen rakennushankkeeseen hankkeen vaativuutta vastaava pätevä turvallisuuskoordinaattori. Rakennuttajan on huolehdittava siitä, että turvallisuuskoordinaattorilla on riittävä pätevyys, asianmukaiset toimivaltuudet ja muut edellytykset huolehtia kyseessä olevasta rakennushankkeesta. Turvallisuuskoordinaattorin on huolehdittava 5–9 §:ssä tarkoitetuista turvallisuutta ja terveellisyyttä koskevista toimenpiteistä. (VNa 205/2009 § 5.)*

Rakennuksen suunnitteluvaiheen alussa rakennushankkeeseen ryhtyvän täytyy huolehtia siitä, että hänellä on käytettävissään suunnittelutehtävän pätevyysvaatimukset täyttävät suunnittelijat. Lisäksi pääsuunnittelijan avulla tulee selvittää rakennushankkeen vaatimat ja riittävät edellytykset hankkeen suunnitteluun ja toteutukseen, huolehtia rakennussuunnittelun ja erikoisalojen suunnittelun tarve, sekä järjestää suunnittelijoiden yhteistyö rakennuksen käyttö- ja huolto-ohjeen laatimiseksi. (RT 10-11107 2013, 8.)

2.3.1 Suunnittelijoiden kelpoisuusvaatimukset

Suunnittelijoiden kelpoisuusvaatimukset määritellään Maankäyttö- ja rakennuslaissa 120 e § (41/2014). Tässä osassa käsitellään suunnittelijoiden kelpoisuusvaatimuksia liittyen kyseisen varistorakennuksen suunnitteluun. Koska rakennuksen vaativuusluokka on tavanomainen, tarkastellaan tavanomaisen suunnittelutehtävän suunnittelijan kelpoisuusvaatimuksia.

Rakennussuunnittelun kelpoisuusvaatimukset tavanomaisessa suunnittelutehtävässä

Tavanomaisessa rakennussuunnittelutehtävässä suunnittelijalta vaadittavat tutkinnot ovat vähintään talonrakennuksen opintosuunnan teknikon (rakennusmestari) tutkinto tai tekniikan kandidaatin tutkinto (180 opintopistettä). Tutkintoihin tulee olla sisältynyt rakennussuunnitteluun ja rakentamisen tekniikkaan liittyviä opintoja

vähintään 90 opintopistettä. Tutkintojen tulee myös sisältää seuraavien tai vastaavien alojen opintosuorituksia:

- asuntosuunnittelu
- rakennusoppi ja rakennetekniikka
- rakennuksen tekniset järjestelmät

Tutkinnon lisäksi suunnittelijalta vaaditaan kolmen vuoden kokemus avustavista rakennussuunnittelutehtävistä. Korjaus- ja muutostöissä vaaditaan edellä mainitusta kokemuksesta vähintään vuoden kokemus korjaus- ja muutostöiden suunnittelutehtävissä. Vaadittavasta kokemuksesta suurin osa tulee olla hankittu tutkinnon suorittamisen jälkeen. (Ohje rakennusten suunnittelijoiden kelpoisuudesta 2015, 4.)

Kantavien rakenteiden suunnittelun kelpoisuusvaatimukset tavanomaisessa suunnittelutehtävässä

Tavanomaisessa kantavien rakenteiden suunnittelutehtävässä suunnittelijalta vaadittavat tutkinnot ovat vähintään rakennustekniikan tai -tuotannon tutkinto, konetekniikan teknikon tutkinto, tai tekniikan kandidaatin tutkinto (180 opintopistettä). Tutkinnon tai täydentävien opintojen täytyy sisältää rakennetekniikkaan sekä suunnittelutehtävässä kyseessä olevien rakenteiden suunnitteluun ja toimintaan liittyviä opintoja vähintään 30 opintopistettä. Opintoihin tulee sisältyä seuraavien tai vastaavien alojen opintosuorituksia:

- rakenteiden mekaniikka ja rakennesuunnittelu
- materiaali- ja valmistustekniikka
- kyseisen rakennemateriaalin alla mainitut opinnot
 - betonirakenteiden suunnittelu ja betonirakentaminen
 - teräsrakenteiden suunnittelu ja teräsrakentaminen
 - puurakenteiden suunnittelu ja puurakentaminen
 - betonirakenteiden suunnittelu ja betonirakentaminen
 - muurattujen rakenteiden suunnittelu.

Tutkinnon lisäksi suunnittelijalta vaaditaan kolmen vuoden kokemus avustavista kantavien rakenteiden suunnittelutehtävistä. Korjaus- ja muutostöissä vaaditaan edellä mainitusta kokemuksesta vähintään vuoden kokemus korjaus- ja muutostöiden

suunnittelutehtävissä. Vaadittavasta kokemuksesta suurin osa tulee olla hankittu tutkinnon suorittamisen jälkeen. (Ohje rakennusten suunnittelijoiden kelpoisuudesta 2015, 5.)

Pohjarakenteiden suunnittelun kelpoisuusvaatimukset tavanomaisessa suunnittelutehtävässä

Suunnittelijan tulee olla suorittanut vähintään rakennustekniikan tai -tuotannon tutkinto, tekniikan tutkinto tai tekniikan kandidaatin tutkinto (180 opintopistettä). Tutkinnon tai täydentävien opintojen tulee sisältää pohjarakenteiden suunnitteluun ja toimintaan sekä rakennetekniikkaan liittyviä opintoja vähintään 30 opintopistettä. Opintojen tulee sisältää seuraavien alojen opintosuorituksia:

- maamekaniikka ja pohjarakennus
- rakenteiden mekaniikka ja rakenteiden suunnittelu.

Tutkinnon lisäksi suunnittelijalta vaaditaan kolmen vuoden kokemus avustavista pohjarakenteiden suunnittelutehtävistä. Korjaus- ja muutostöissä vaaditaan edellä mainitusta kokemuksesta vähintään vuoden kokemus korjaus- ja muutostöiden suunnittelutehtävissä. Vaadittavasta kokemuksesta suurin osa tulee olla hankittu tutkinnon suorittamisen jälkeen. (Ohje rakennusten suunnittelijoiden kelpoisuudesta 2015, 7.)

2.4 Rakennussuunnittelu

Sovellan rakennuksen rakennussuunnittelussa hallirakennusten rakennussuunnittelun periaatteita, koska rakennus muistuttaa ominaisuuksiltaan hallirakennusta.

2.4.1 Hallin rakennussuunnittelun periaatteet

Hallin arkkitehtisuunnitteluun pätevät samat periaatteelliset lähtökohdat kuin muuhunkin rakennussuunnitteluun. Hallirakennusten yleinen piirre käytöstavasta riippumatta on suuri lattiapinta-ala.

Aluksi suunnittelijan on tärkeää löytää ja jäsentää kohteen oikeat lähtötiedot. Suunnittelijan tulee myös tuntea eri rakennejärjestelmien suomat tekniset ja taloudelliset mahdollisuudet. Näiden tekijöiden optimaalinen yhteensovittaminen luo parhaat edellytykset onnistuneen kokonaisuuden aikaansaamiseksi.

Rakennussuunnittelun yleiset toimivuustavoitteet ovat:

- käyttökelpoisuus
- koettavuus
- tekniset ominaisuudet.

Rakennuksen suunnittelussa tulee ottaa huomioon myös sen käyttökelpoisuus. Käyttökelpoisuudella tarkoitetaan asetettujen toiminnallisten tavoitteiden täyttymistä. Rakennuksen käyttötarkoituksen mukaan voidaan painottaa erilaisia tekijöitä tavoitteista riippuen. Käyttökelpoisuuden osatekijöitä ovat:

- tontti ja liikenne
- tilakannan laajuus ja muoto
- tilojen väliset yhteydet
- olosuhteet ja niiden hallinta
- laatutaso
- monikäyttöisyys.

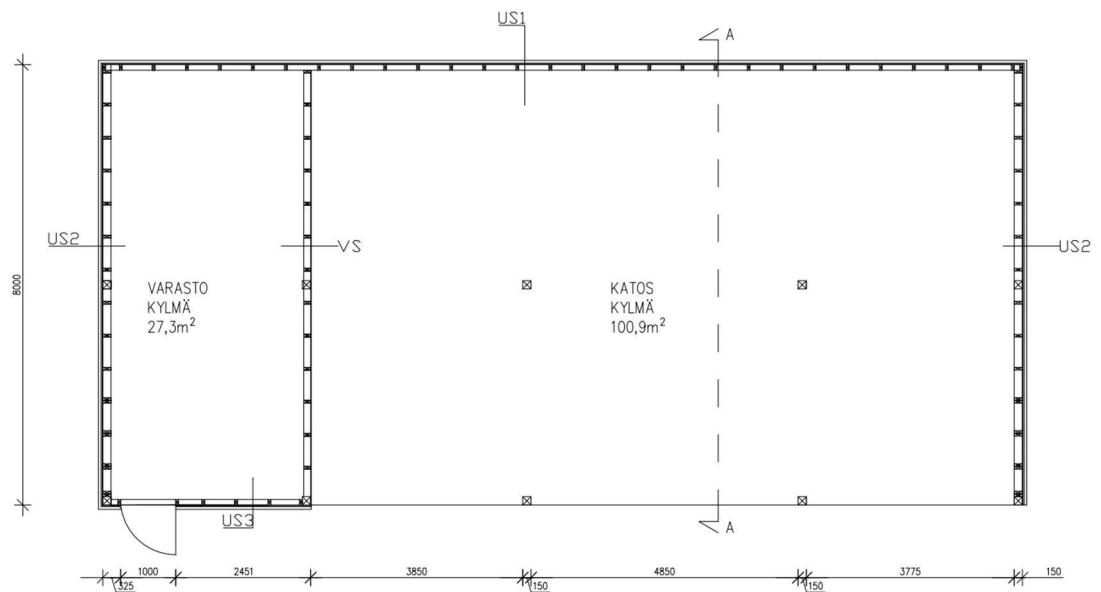
2.4.2 Pohjaratkaisu

Rakennuksen pohjaratkaisuun vaikuttavia tekijöitä ovat varastointitarve säältä suojatussa tilassa, sekä ajoneuvojen säilytysmahdollisuus etuosastaan avoimen katoksen suojassa. Katoksen osalla tarvetta olisi kolmelle paikalle, joiden leveydet olisivat kaksi kertaa 4 m ja 5 m. Katoksen syvyyden tulisi olla 8 m. Varaston kokoa rajoittaa rakennusoikeuden määrä, joka on 30 m².

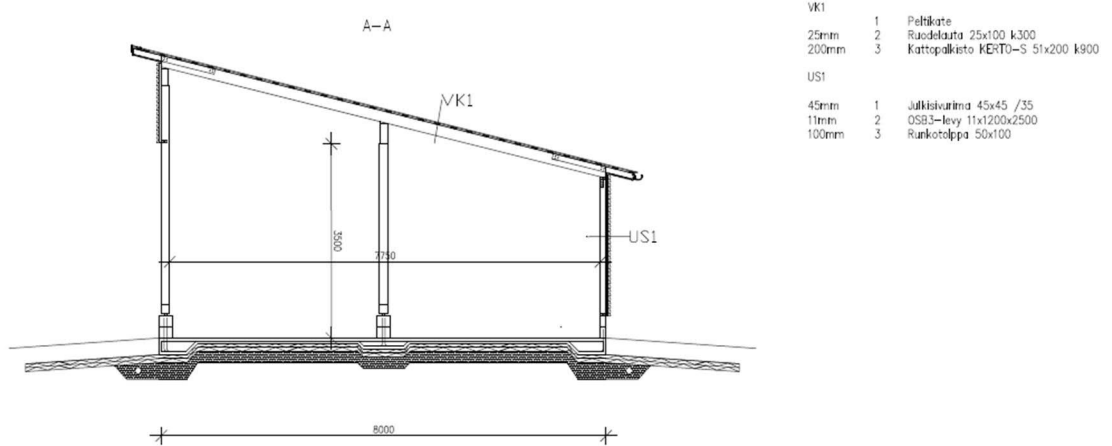
Toimeksiantajan vaatimukset pohjaratkaisun suhteen olivat aika vaatimattomat, joten ratkaisu oli yksinkertainen. Rakennuksen vasempaan reunaan suunnittelin varaston, jonka huonealaksi muodostui $27,3 \text{ m}^2$. Varaston ja katoksen väliin tulee yksinkertainen puurankaväliseinä, jonka katoksen puoleiseen pintaan asennetaan OSB-levyt. Katokseen muodostui pilarilinjojen väliin kolme kaistaa, joiden koot ovat n. $4 \text{ m} \times 8 \text{ m}$, $4 \text{ m} \times 8 \text{ m}$ ja $5 \text{ m} \times 8 \text{ m}$. Katoksen pinta-alaksi muodostui $100,9 \text{ m}^2$. Koko rakennuksen pinta-ala on 136 m^2 . Rakennuksen pohjapiirros ja kokonaisleikkaus kuvissa 3 ja 4. Taulukossa 7 esitetään lopulliset huonealat rakennuksen eri osille.

Taulukko 7. Lopullinen tilaohjelma

Tila	Koko
Avokatos	$100,9 \text{ m}^2$
Kylmävarasto	$27,3 \text{ m}^2$
Yhteensä	$128,2 \text{ m}^2$



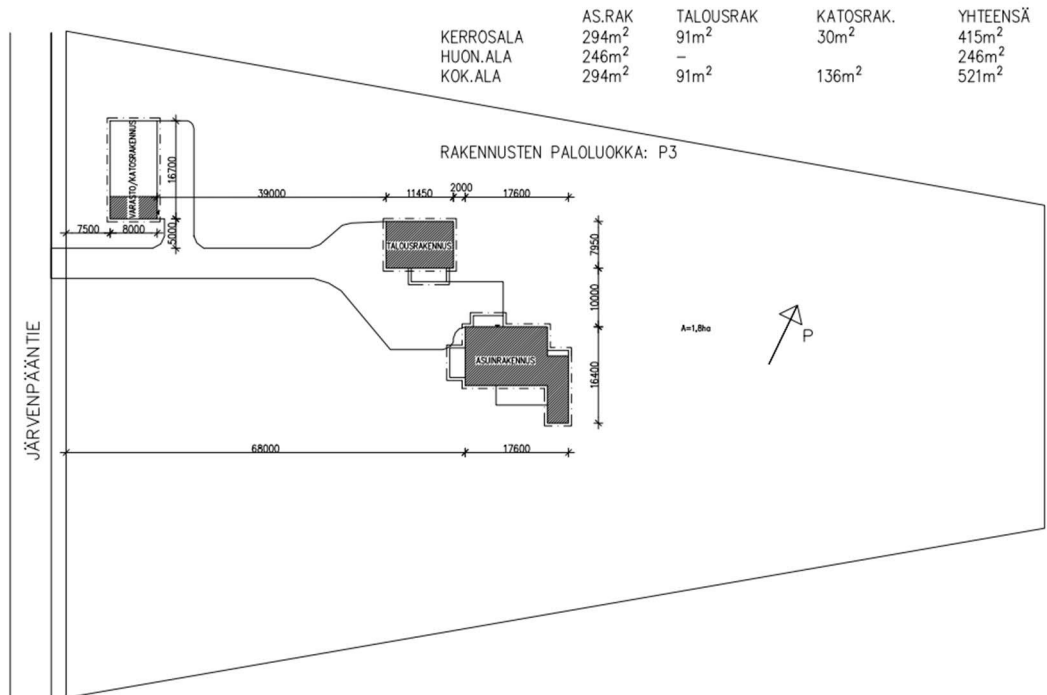
Kuva 3. Pohjapiirros



Kuva 4. Leikkaus A-A

2.4.3 Rakennuksen sijoittuminen tontille

Rakennus sijoitetaan tontille sisääntuloliittymän ja piha-alueen välille tontin vasemman reunaan (ks. kuva 5). Rakennuksen sijoittamiseen vaikuttivat rakennuspaikan helppo rakennettavuus ja pihatien läheisyys. Rakennuspaikka on tasainen ja maaperä rakennuksen perustamiselle otollinen.



Kuva 5. Asemapiirros

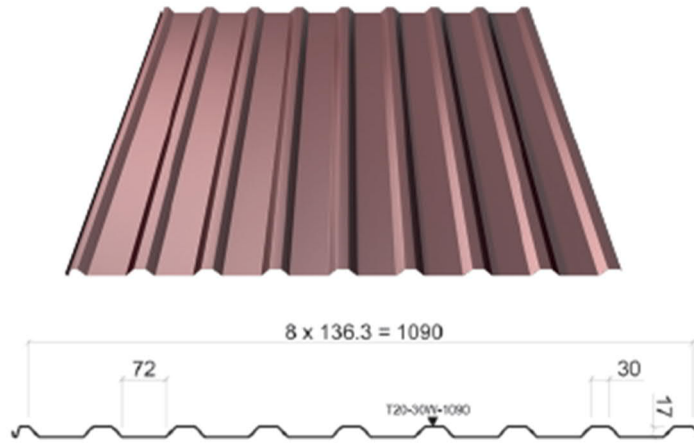
2.4.4 Julkisivu

Rakennuksen julkisivumateriaalivaihtoehtoina olivat vaakapaneliverhous, laudoitus ja julkisivurimoitus. Näistä ilmeeltään mielenkiintoisimpana vaihtoehtona valitsimme julkisivurimoituksen (ks. kuva 6). Rimoituksen alla oleva OSB -levy maalataan mustaksi kuten rimoituskin, jolloin se ei erotu taustasta. Rakennuksen julkisivukuvat ovat kuvassa 8.

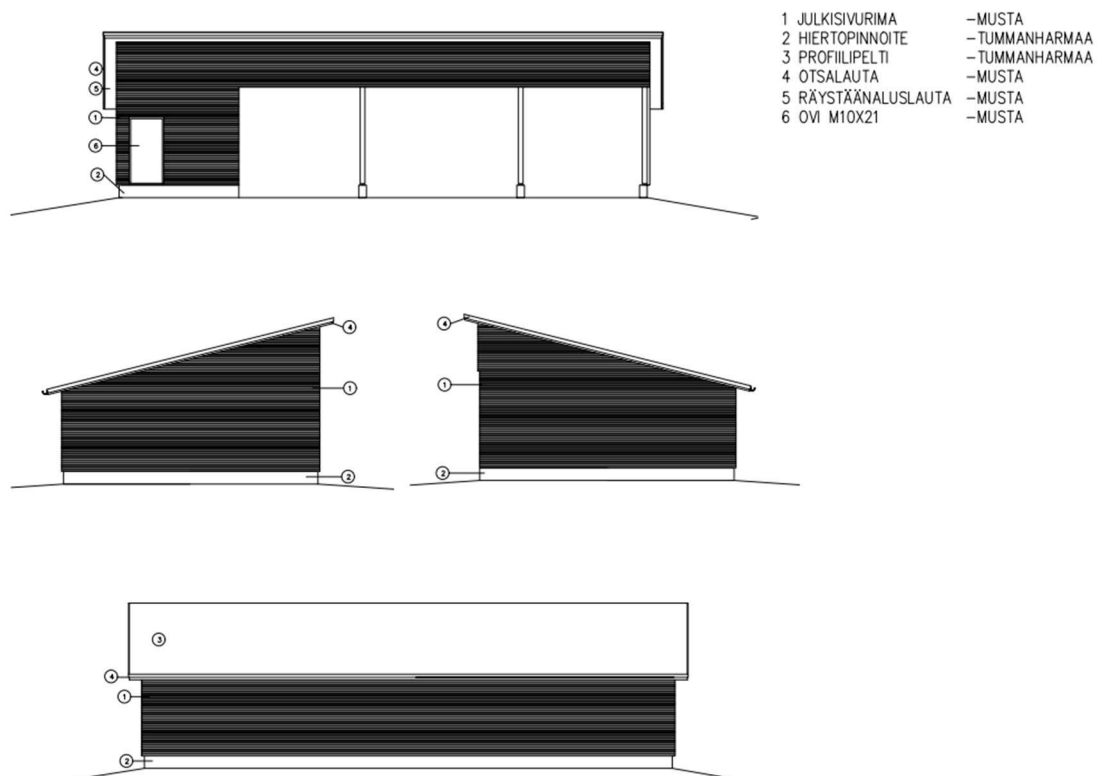


Kuva 6. Julkisivurimoitus

Rakennus suunnitellaan pulpettikattoisena, koska halutaan sen noudattavan tontin muiden rakennusten tyyliä. Vesikattomateriaaliksi valikoitui grafiitinharmaa Ruukin profiilipelti T20-30W-1090 (ks. kuva 7).



Kuva 7. Ruukki T20-30W-1090



Kuva 8. Julkisivupiirroksset

3 Rakenneosien mitoitus

3.1 Suunnittelun perusvaatimukset

Rakenteiden suunnittelussa ja toteutuksessa täytyy ottaa huomioon taloudellisuus ja se, että rakenteet toimivat luotettavasti suunnitellun käyttöikänsä ajan. Rakenteen tulee myös kestää kaikki siihen todennäköisesti kohdistuvat kuormat ja vaikutukset. Kuormia muodostuu omapainosta, hyötykuormasta, lumikuormasta sekä tuulikuormasta. Rakenteen käyttökelpoisuus vaadittuun tarkoitukseen ei saa vaarantua.

Onnettomuustilanteessa rakennuksen vauriot eivät saa muodostua suhteettoman suuriksi. Vaurioita voi välttää suunnittelemalla rakennus niin, että vaaratilanteiden syntyminen on epätodennäköistä. Rakenteiden suunnittelussa tulee huomioida niiden vaurionkestävyys.

Suunnittelun perusvaatimusten täyttymiseen vaaditaan huolellista suunnittelua. Rakennukseen tulee valita siihen soveltuvat materiaalit sekä suunnitella rakenteet asianmukaisesti yksityiskohtineen. Rakennusvaiheessa valvontaan tulee kiinnittää erityistä huomiota, jotta rakennus toteutetaan suunnitelmien mukaan. Suunnittelun tulee olla riittävän osaavaa ja pätevyysvaatimusten tulee täytyä. Asianmukaisten lähteiden käyttö suunnittelussa on tärkeää. (RIL 201-1-2011, 23.)

3.2 Rajatilamitoituksen periaatteet

Rajatilamitoitus perustuu asianomaista rajatilaa varten muodostettuihin rakenne- ja kuormitusmalleihin. Malleissa tulee käyttää asianmukaisia mitoitusarvoja kuormille, materiaali- ja tuoteominaisuuksille sekä mittatiedoille. Mikään rajatila ei saa ylittyä rakenteita mitoittaessa. Kaikille rakennuksen toimintaan merkittävästi vaikuttaville mitoitus- ja kuormitustapauksille suoritetaan tarkastelu osavarmuuslukumenetelmän

mukaisesti. Mitoituksessa tulee selvittää vaarallisimmat mitoitustilanteet ja kuormitustapaukset. (RIL 201-1-2011, 28.)

Rajatilamitoituksessa huomioitavia asioita:

- *materiaaliominaisuudet (esim. lujuus ja jäykkyys)*
- *materiaalien erilainen ajasta riippuva toiminta (kuorman vaikutusaika, viruminen)*
- *erilaiset ilmasto-olosuhteet (lämpötila, kosteuden vaihtelu)*
- *erilaiset mitoitustilanteet (rakentamisvaiheet, tukiehtojen muutos). (RIL 205-1-2009, 24.)*

3.2.1 Murtorajatilat

Murtorajajiloja ovat rakenteen tasapainon menetys, sen vaurioituminen tai murtuminen tai väsymisen aiheuttama vaurioituminen. Jos rakenne ylittää murtorajatilaa, seurauksena voi olla ihmisten turvallisuuden vaarantuminen tai rakenteen varmuuden heikkeneminen. (RIL 201-1-2011, 27.)

Tarkasteltavia murtorajajiloja ovat:

- *jäykän kappaleen tai sen osan tasapainon menetys*
- *liian suuri siirtymätila*
- *rakenteen tai sen osan muuttuminen mekanismiksi*
- *katkeaminen*
- *rakenteen tai sen osan stabiiliuden menetys*
- *ajasta riippuva vaurioituminen, esim. väsyminen. (RIL 201-1-2011, 27.)*

3.2.2 Käyttörajatilat

Käyttörajatilat liittyvät rakenteen tai rakenneosien toimintaan normaalikäytössä, ihmisten mukavuuteen tai rakennuksen ulkonäköön. Käyttörajatilassa tarkasteltavia asioita ovat siirtymät, värähtelyt, taipumat ja mahdolliset vauriot, jotka vaikuttavat rakenteen toimintaan, käyttömukavuuteen tai rakennuksen ulkonäköön. Käyttörajatiloja on olemassa palautuvia ja palautumattomia ja ne tulee erotella. (RIL 201-1-2011, 28.)

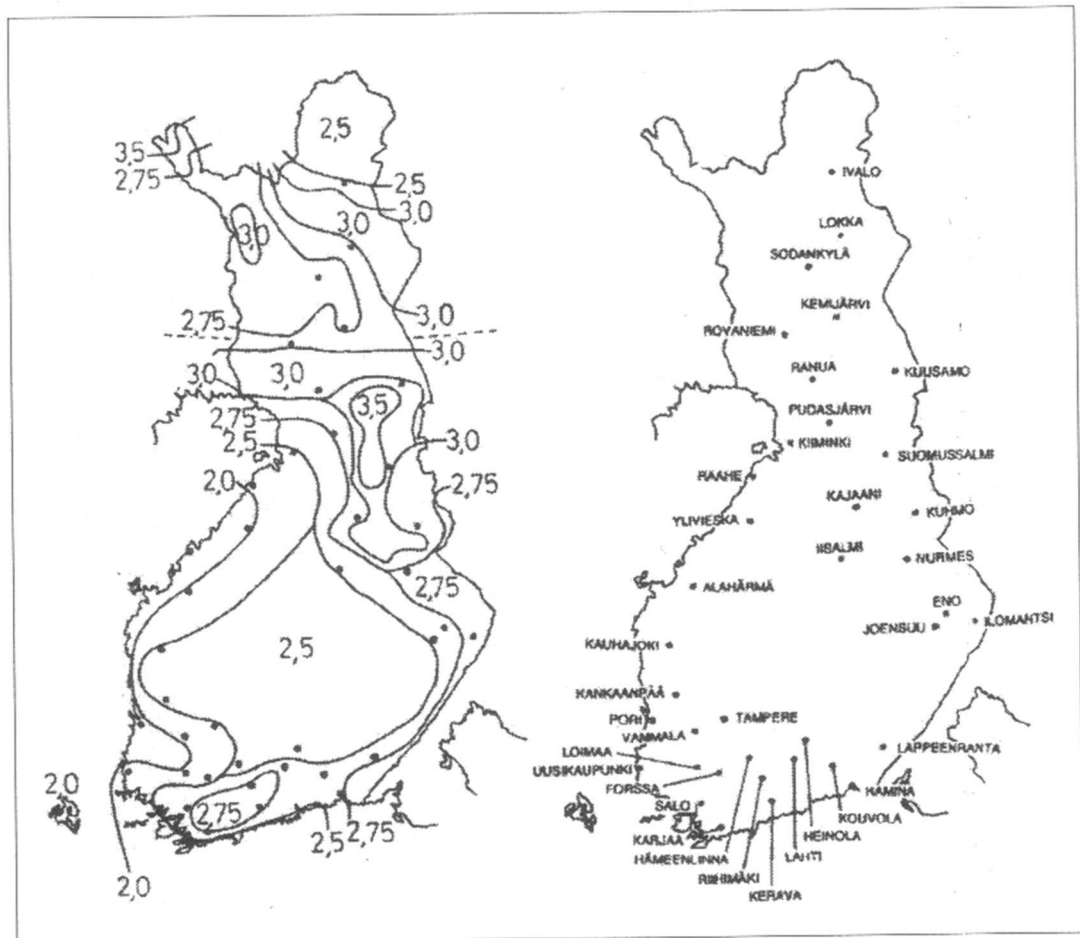
3.3 Kuormat

Suunnittelussa käytettävät kuormat saadaan standardista SFS-EN 1991 ja sen kansallisista liitteistä. Rakennuksen kuormiin vaikuttaa rakennuksen sijainti, koska tuuli- ja lumikuormille on määritelty ominaisarvot maaston ja maantieteellisen sijainnin perusteella. Rakenneosien omapainon ominaisarvot lasketaan nimellismittojen ja nimellisten tilavuuspainojen perusteella. Tehdasvalmisteisille rakennusosille käytetään valmistajan ilmoittamia arvoja. (Puurakenteiden suunnittelu. Lyhennetty suunnitteluohje 2011, 10.)

Kuormat luokitellaan ajallisen vaihtelun mukaan:

- pysyvät kuormat (G), esim. rakenteiden oma paino
- muuttuvat kuormat (Q), esim. hyöty-, tuuli- ja lumikuormat
- onnettomuuskuormat (A)

3.3.1 Lumikuormat



Kuva 9. Ominaislumikuormat maassa (RIL 201-1-2011, 92.)

Rakennuspaikka sijaitsee Äänekoskella, jossa ominaislumikuorma maassa on $s_k = 2,5 \text{ kN/m}^2$ (ks. Kuva 9). Ominaislumikuorma maassa tulee muuttua lumikuormaksi katolla. Lumikuorma katolla saadaan kaavasta:

$$s = \mu_i s_k, \text{ missä}$$

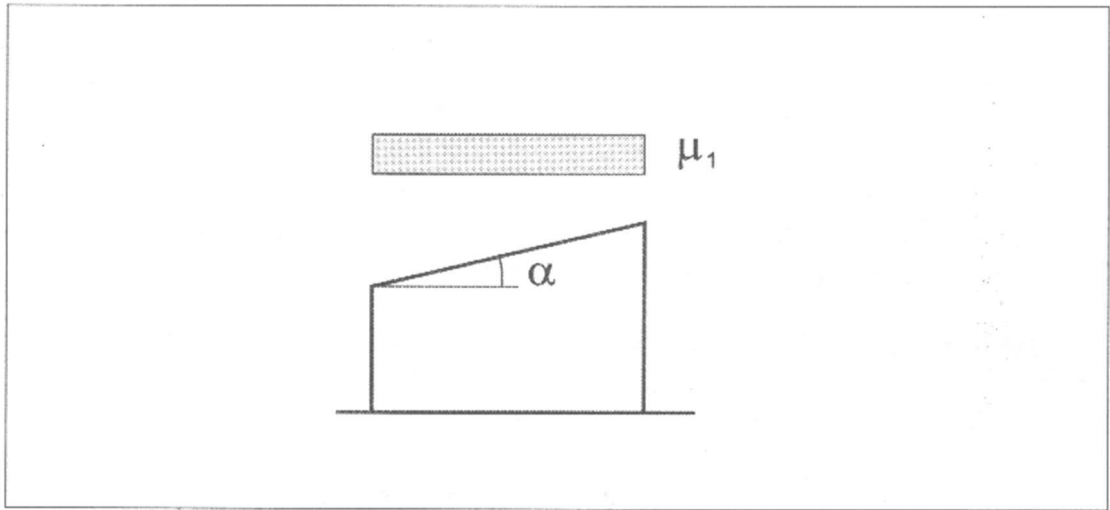
s = katon lumikuorma

μ_i = lumikuorman muotokerroin

s_k = lumikuorma maassa (RIL 201-1-2011, 94.)

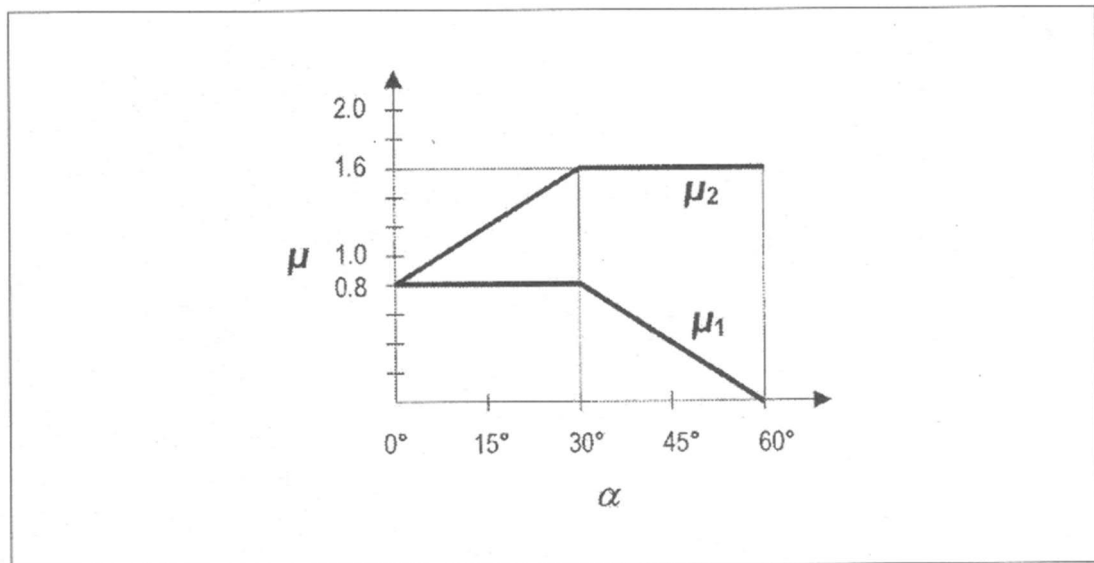
Rakennuksessa on pulpettikatto, jonka kaltevuuskulma α on 0° ja 30° välillä, jolloin lumikuorman muotokerroin on 0,8 (ks. Kuva 10 ja 11). Lumikuorma katolla saadaan kaavasta

$$q_{\text{lumi, k}} = \mu_1 \cdot S_k = 0,8 \cdot 2,5 \text{ kN/m}^2 = 2 \text{ kN/m}^2$$



Kuva 10. Pulttikaton lumikuorman kuormituskaavio (RIL 201-1-2011, 96.)

Katon kaltevuuskulma α	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
μ_1	0,8	$0,8(60 - \alpha)/30$	0,0
μ_2	$0,8 + 0,8 \alpha/30$	1,6	1,6



Kuva 11. Lumikuorman muotokertoimet (RIL 201-1-2011, 95.)

3.3.2 Tuulikuormat

Tuulikuormat vaihtelevat ajan mukana. Tuulesta aiheutuu tasainen kuorma umpinaisten rakennusten ulkopintoihin ja välillisesti sisäpintoihin. Avoimissa rakenteissa tuulikuorma vaikuttaa suoraan sisäpintoihin. Tuulenpaine aiheuttaa rakenteeseen tai rakenneosaan kohtisuoria tasaisia kuormia. Suurissa rakennuksissa täytyy huomioida myös tuulen aiheuttama kitkavoima, joka vaikuttaa pinnan suuntaisesti. (RIL 201-1-2011, 123.)

Koko rakenteeseen vaikuttavat tuulikuormat lasketaan voimakertoimia (c_f) käyttäen. Rakenneosiin vaikuttavat tuulikuormat lasketaan pintapaineiden perusteella ja painekertoimia (c_p) käyttäen. (RIL 201-1-2011, 135.)

Tuulen nopeuspaineen ominaisarvo

Tuulen voimakkuus vaihtelee rakennusta ympäröivät maaston rosoisuuden mukaan. Maasto-olosuhteet luokitellaan viiteen eri maastoluokkaan (ks. kuva 12). Tuulen nopeuspaineen ominaisarvo $q_{p0}(z)$ määritellään maastoluokan ja rakennuksen korkeuden perusteella.



Kuva 12. Maastoluokkien kuvaukset (RIL 201-1-2011, 126.)

Rakennus sijaitsee alueella, jolla on säännöllinen kasvipeite, joten rakennus kuuluu maastoluokkaan III. Rakennuksen enimmäiskorkeus on 5,3m, joten taulukosta saadaan arvioitua tuulen nopeuspaineen ominaisarvo $q_{p0}(z) = 0,37 \text{ kN/m}^2$ (ks. taulukko 8).

Taulukko 8. Tuulen nopeuspaineen ominaisarvot eri maastoluokissa (RIL 201-1-2011, 133.)

z (m)	Maastoluokka				
	0	I	II	III	IV
0	0,66	0,42	0,39	0,35	0,32
1	0,66	0,42	0,39	0,35	0,32
2	0,78	0,52	0,39	0,35	0,32
5	0,96	0,65	0,53	0,35	0,32
8	1,05	0,73	0,61	0,43	0,32
10	1,09	0,76	0,65	0,47	0,32
15	1,18	0,83	0,72	0,55	0,40
20	1,24	0,88	0,77	0,60	0,45
25	1,29	0,92	0,82	0,65	0,50
30	1,33	0,95	0,85	0,68	0,54
35	1,37	0,98	0,88	0,72	0,57
40	1,40	1,01	0,91	0,74	0,60

Kokonaistuulikuorma

Kokonaistuulikuormia käytetään, kun tarkastellaan rakennuksen stabiiliteettia ja rakennuksen jäykistämistä. Tämän rakennuksen kokonaistuulikuormaa laskettaessa käytän voimakertoimia. Yksinkertaistetussa menettelyssä voimakertoimet saadaan taulukosta 9. Tässä rakennuksessa pitkän etusivun aukkojen pinta-ala on n. 27 % rakennuksen ulkoseinien kokonaispinta-alasta, joten voidaan käyttää voimakerrointa $c_f = 1,6$.

Taulukko 9. Voimakertoimia c_f

Kuvaus	c_f
Umpinainen rakennus yleensä	1,3
Pulpettikattoinen umpinainen rakennus tarkasteltaessa kattolapteen suuntaista tuulta, kun katon kaltevuus on 5° ... 40° (toisessa suunnassa $c_f = 1,3$)	1,5
Osittain avoin rakennus, kun tuulen puoleisella sivulla olevien aukkojen pinta-ala on enintään 30% rakennuksen ulkoseinien kokonaispinta-alasta.	1,6
Erillinen seinämä	2,1

Kokonaistuulikuorma lasketaan kaavalla:

$$F_w = 1,25 \cdot c_f q_{p0}(z) A_{ref}, \text{ missä}$$

F_w = kokonaistuulivoima (kN)

c_f = voimakerroin (sisältää kitkan vaikutukset)

$q_{p0}(z)$ = tuulen nopeuspaineen ominaisarvo

A_{ref} = tuulikuorman vaikutusala ($A = b \cdot h$). (RIL-205-2009, 39.)

Rakennuksen päädyn pinta-ala $A_{ref, pääty} = 33,5 \text{ m}^2$

Rakennuksen kokonaistuulikuorma kohtisuoraan päätä vasten saadaan yhtälöstä

$$F_{w, pääty} = 1,25 \cdot c_{f, pääty} q_{p0}(z) A_{ref, pääty} = 1,25 \cdot 1,6 \cdot 0,37 \text{ kN/m}^2 \cdot 33,5 \text{ m}^2 = 24,75 \text{ kN}$$

Rakennuksen pitkän sivun pinta-ala $A_{ref, sivu} = 16,7 \text{ m} \cdot 5,3 \text{ m} = 88,5 \text{ m}^2$

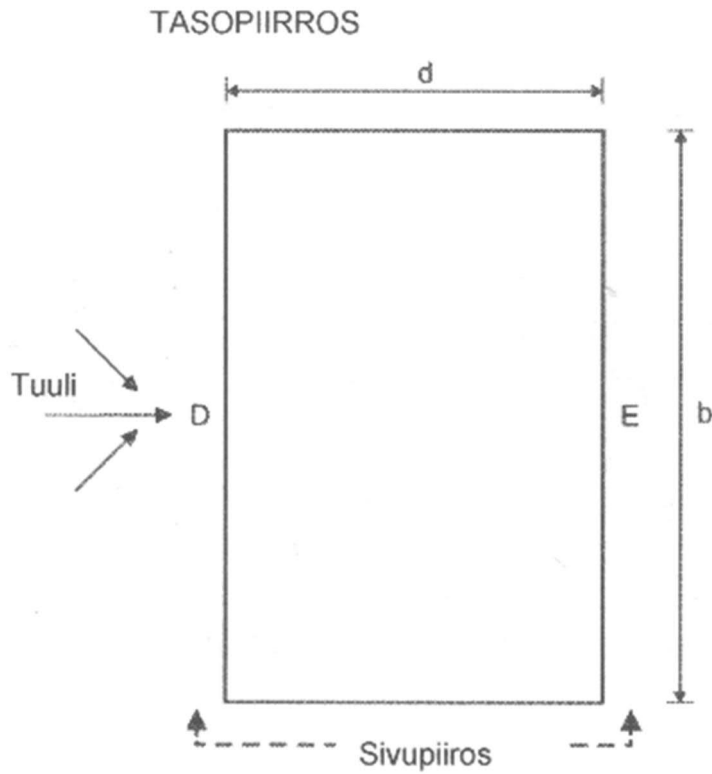
Rakennuksen kokonaistuulikuorma kohtisuoraan pitkää sivua vasten saadaan yhtälöstä

$$F_{w, sivu} = 1,25 \cdot c_{f, sivu} q_{p0}(z) A_{ref, sivu} = 1,25 \cdot 1,6 \cdot 0,37 \text{ kN/m}^2 \cdot 88,5 \text{ m}^2 = 65,5 \text{ kN}$$

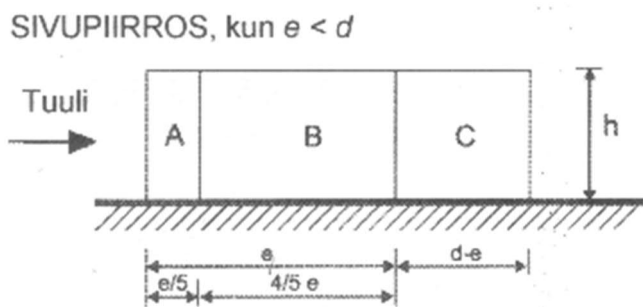
Tuulikuorma rakenneosille

Rakennuksen rakenneosia mitoitettaessa täytyy selvittää rakennuksen sisäpuoliset painekertoimet $c_{pi, 10}$ ja $c_{pi, 1}$ ja ulkopuoliset painekertoimet $c_{pe, 10}$ ja $c_{pe, 1}$, joiden avulla lasketaan rakenneosiin vaikuttavat tuulikuormat.

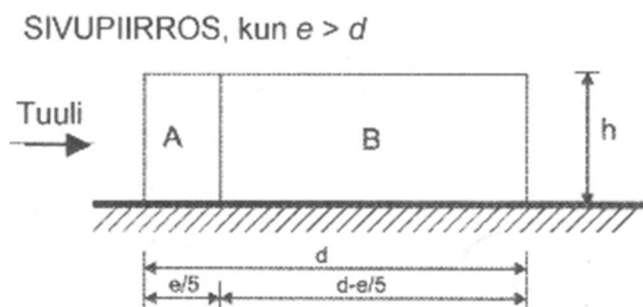
Rakennuksen seinät jaetaan vyöhykkeisiin riippuen rakennuksen muodosta, sivumitoista ja tuulen suunnasta (ks. kuvat 13, 14 ja 15). Jokaiselle vyöhykkeelle on määriteltä omat painekertoimensa. Taulukossa 10 esitetään ulkopuoliset painekertoimet eri seinävyöhykkeille.



Kuva 13. Pystyseiniä koskeva vyöhykekaavio, tasopiirros (RIL 201-1-2011, 146.)



Kuva 14. Pystyseiniä koskeva vyöhykekaavio, sivupiirros, kun tuuli kohtisuoraan päätä vasten (RIL 201-1-2011, 146.)

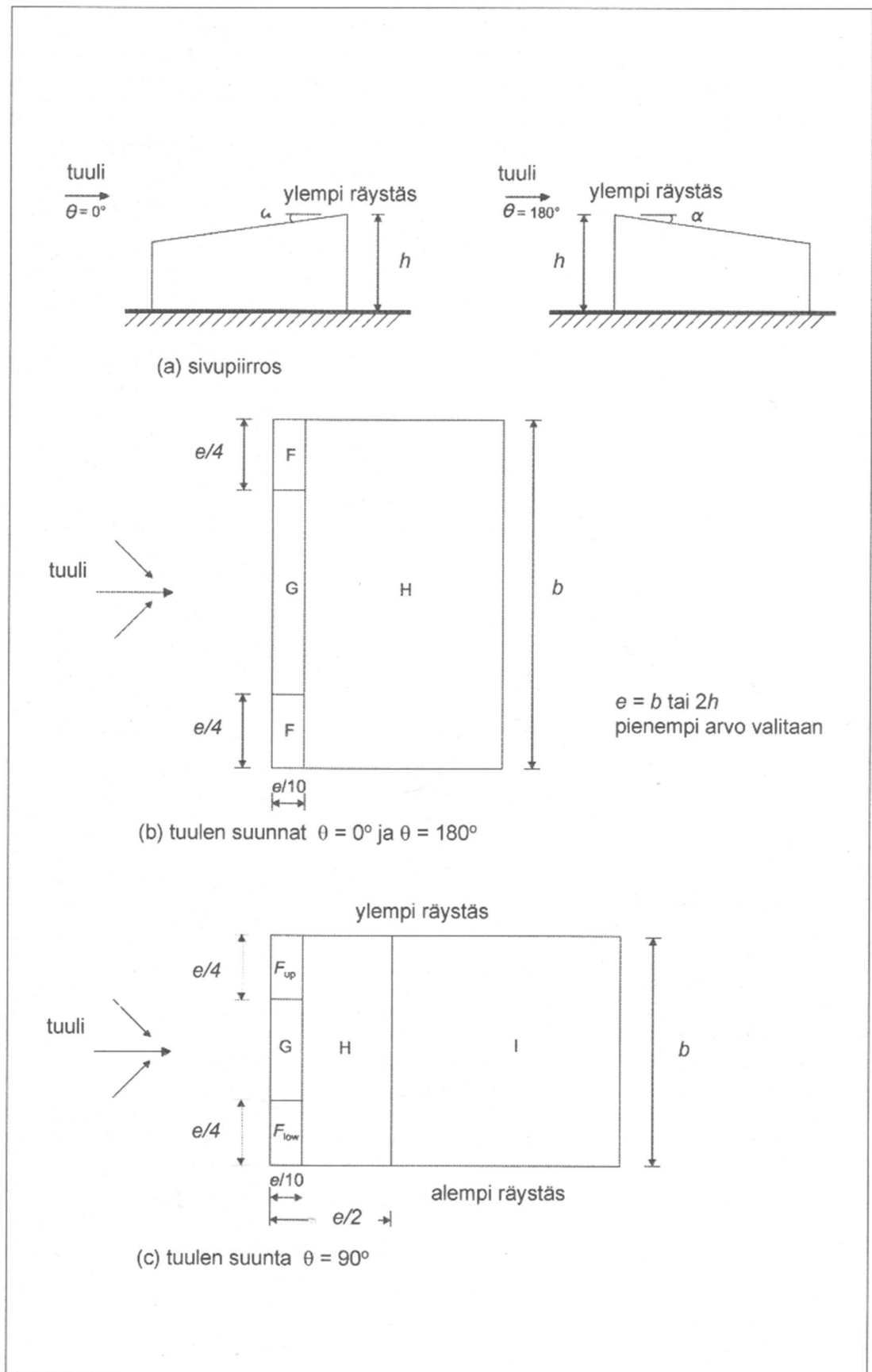


Kuva 15. Pystyseiniä koskeva vyöhykekaavio, sivupiirros, kun tuuli kohtisuoraan sivua vasten (RIL 201-1-2011, 146.)

Taulukko 10. Ulkopuolisen paineen kertoimet pohjaltaan suorakulmaisten rakennusten pystysuurille seinille. (RIL 201-1-2011, 146.)

Vyöhyke	A		B		C		D		E	
h/d	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
≥ 5	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,7	
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,5	
$\leq 0,25$	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,7	+1,0	-0,3	

Rakennuksen katto jaetaan myös eri vyöhykkeisiin riippuen tuulen suunnasta (ks. kuva 16). Taulukossa 11 on esitetty pulpettikattojen ulkoisen paineen kertoimet.



Kuva 16. Pulpettikattoja koskeva vyöhykekaavio, ulkopuolinen paine (RIL 201-1-2011, 149.)

Taulukko 11. Pulpettikattojen ulkoisen paineen kertoimet (RIL 201-1-2011, 150.)

Lape- kulma α	Vyöhyke, kun tuulen suunta $\theta = 0^\circ$						Vyöhyke, kun tuulen suunta $\theta = 180^\circ$					
	F		G		H		F		G		H	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-2,3	-2,5	-1,3	-2,0	-0,8	-1,2
	+0,0		+0,0		+0,0							
15°	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3		-2,5	-2,8	-1,3	-2,0	-0,9	-1,2
	+0,2		+0,2		+0,2							
30°	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2		-1,1	-2,3	-0,8	-1,5	-0,8	
	+0,7		+0,7		+0,4							
45°	-0,0		-0,0		-0,0		-0,6	-1,3	-0,5		-0,7	
	+0,7		+0,7		+0,6							
60°	+0,7		+0,7		+0,7		-0,5	-1,0	-0,5		-0,5	
75°	+0,8		+0,8		+0,8		-0,5	-1,0	-0,5		-0,5	

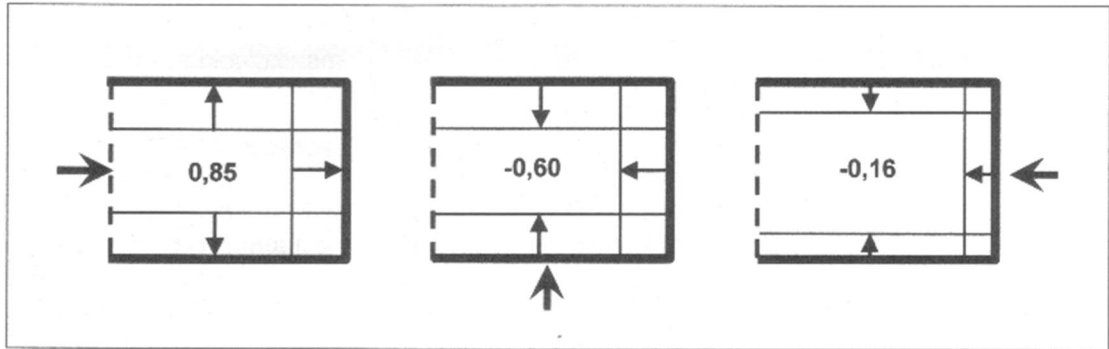
Lape- kulma α	Vyöhyke, kun tuulen suunta $\theta = 90^\circ$									
	F_{up}		F_{low}		G		H		I	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
5°	-2,1	-2,6	-2,1	-2,4	-1,8	-2,0	-0,6	-1,2	-0,5	
15°	-2,4	-2,9	-1,6	-2,4	-1,9	-2,5	-0,8	-1,2	-0,7	-1,2
30°	-2,1	-2,9	-1,3	-2,0	-1,5	-2,0	-1,0	-1,3	-0,8	-1,2
45°	-1,5	-2,4	-1,3	-2,0	-1,4	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
60°	-1,2	-2,0	-1,2	-2,0	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,7	-1,2
75°	-1,2	-2,0	-1,2	-2,0	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,5	

HUOM. 1 Arvolla $\theta = 0^\circ$ paine muuttuu nopeasti positiivisten ja negatiivisten arvojen välillä, kun kaltevuuskulma on välillä $\alpha = +5^\circ \dots +45^\circ$, joten sekä positiiviset että negatiiviset arvot on esitetty. Tällaisten kattojen osalta tarkastellaan kahta tapausta: toista, jossa kaikki arvot ovat positiivisia ja toista, jossa kaikki arvot ovat negatiivisia. Samalla lappeella ei saa käyttää sekaisin positiivisia ja negatiivisia arvoja.

HUOM. 2 Samanmerkkisten kaltevuuskulman arvojen välillä voidaan käyttää lineaarista interpolaatiota. Arvot 0,0 on merkitty interpolaatiota varten.

Rakennuksen sisäisiä paineita täytyy tarkastella kahdessa eri osassa, koska osittain avoimille rakennuksille käytetään eri sisäisen paineen kertoimia kuin umpinaisille rakennuksille. Varaston sisäiseksi paineeksi voidaan määritellä vaarallisemman vaikutuksen tuottava arvo vaihtoehdoista $c_{pi} = -0,3$ tai $c_{pi} = +0,2$ (RIL201-1-2011, 159.). Kun

tarkastellaan rakennuksen katososaa, sisäisen paineen kertoimet seiniin ja kattoon määräytyvät kuvan 17 mukaisesti riippuen tuulen suunnasta. Tuulen puhaltaessa rakennuksen sisään vaikuttavat sisäiset painekuormat samaan suuntaan kuin ulkoiset painekuormat.



Kuva 17. Sisäisen paineen kertoimet tuulen eri suunnissa rakennukselle, jossa on avoin sivu (RIL 201-1-2011, 183.)

3.4 Ruoteet

Ruoteiden materiaaliksi valitsin sahatavaran 25 mm x 100 mm lujuusluokaltaan C24. Ruodejaoksi määräytyi Ruukin poimulevyjen asennusohjeen perusteella 300 mm. Ruodelaudan alla olevien kattopalkkien jako on 900 mm. Ruoteiden kuormat muodostuvat lumikuormasta ja vesikattorakenteen omapainosta. Ruodelautojen mitoituksessa olennaista ovat taivutuskestävyyden, leikkauskestävyyden ja tukipainekes- tävyyden tarkastelu. Rakennelaskelmat ovat liitteessä 4.

3.5 Räystäspuut

Räystäspuut tehdään sahatavarasta kooltaan 50 mm x 100 mm ja lujuusluokaltaan C24. Päädyissä palkkien jako on 600 mm ja ylä- ja alaräystäillä 900 mm. Räystäspuut kiinnitetään naulaliitoksiin. Räystäisiin kohdistuvat kuormat ovat samat kuin ruoteisiin. Räystäspuiden mitoituksessa olennaista ovat taivutuskestävyyden, leikkauskestävyyden ja tukipainekestävyyden tarkastelu. Naulaliitokset mitoitetaan niihin kohdistuvat leikkausvoiman perusteella. Rakennelaskelmat ovat liitteissä 5 ja 6.

3.6 Vesikattopalkisto

Kattopalkeiksi valitsin KERTO-S palkit kooltaan 51 mm x 200 mm. Ne mitoitetaan kaksiaukkoisina palkkeina pituudeltaan 8 245 mm, jolloin yhden aukon jänneväliksi saadaan 4 122 mm. Palkkien jako on 900 mm. Palkkeihin kohdistuvat kuormat muodostuvat katon lumikuormasta ja vesikattorakenteen omapainosta. Suurista kuormista ja pitkästä jännevälisestä johtuen sahatavara ei ole tässä rakenteessa järkevä vaihtoehto. Joko sahatavaran poikkileikkauksen koko tai palkkien jako muodostuisivat epätaloudelliseksi. Mitoituksessa olennaista ovat taivutuskestävyyden, leikkauskestävyyden, tukipainekestävyyden ja taipuman tarkastelu. Lisäksi palkeille täytyy tehdä kiepahdustarkastelu, jossa kiepahdustuentana toimivat palkin yläreunaan kiinnitetyt ruodelaudat. Rakennelaskelmat ovat liitteessä 7.

3.7 Kattorakenteen kannatinpalkit

Rakennuksessa on kaksi palkkilinjaa, jotka kannattelevat kattorakennetta. Ne sijaitsevat rakennuksen keskellä ja etulaidassa. Palkit on merkitty rakenneosien positiokuvaan liitteessä 2 tunnuksilla B01 ja B02. Tunnus B01 tarkoittaa liimapalkkia GL30c 140 mm x 360 mm ja B02 palkkia GL30c 115 mm x 315 mm. Kumpaankin linjaan tulee peräkkäin kaksi palkkia. Näistä palkeista mitoitetaan pidempi, pituudeltaan 9000 mm. Siinä aukkojen pituudet ovat 4 000 mm ja 5 000 mm. Palkeiksi valitsin liimapalkin GL30c ja koska kuormat ovat erisuuruisia etu- ja keskilinjalla, palkkien poikkileikkauksen koot ovat erilaisia. Suurista kuormista johtuen sahatavara ei ole järkevä vaihtoehto tässä rakenteessa. Keskilinjän palkin koko on 140 mm x 360 mm ja etulinjan palkin 115 mm x 315 mm. Kuormat siirtyvät kattorakenteelta vesikattopalkiston kautta kannatinpalkeille. Mitoituksessa olennaista ovat taivutuskestävyyden, leikkauskestävyyden, tukipainekestävyyden ja taipuman tarkastelu. Lisäksi palkeille täytyy tehdä kiepahdustarkastelu, jossa kiepahdustuentana toimivat palkin yläreunaan kiinnitetyt vesikattopalkit. Rakennelaskelmat ovat liitteissä 8 ja 9.

3.8 Pilarit

Pilareita on rakennuksessa kahdessa eri linjassa. Pilarit on merkitty rakenneosien positiokuvaan liitteessä 2 tunnuksilla P01 ja P02. P01 tarkoittaa keskilinjän pilaria ja P02 etulinjan pilaria. Keskilinjän pilareihin kohdistuu suurempi kuorma ja niiden pituus on 3 100 mm. Etulinjan pilareihin kohdistuu pienempi kuorma ja niiden pituus on 4 130 mm. Pilarit suunnitellaan sahatavarasta kooltaan 150 mm x 150 mm ja lujuusluokaltaan C24. Pilarit voidaan tehdä kotitarvepuusta, jos mahdollista. Pilareihin kohdistuva suurin kuorma muodostuu kattorakenteen kannatinpalkin keskituelta. Pilareihin kohdistuu ainoastaan pystykuorma, joten ne mitoitetaan ainoastaan nurjahdukselle. Rakennelaskelmat ovat liitteissä 10 ja 11.

3.9 Takaseinän puurunko

Takaseinän puurunko suunnitellaan sahatavarasta kooltaan 50 mm x 100 mm ja lujuudeltaan C24. Sahatavaraksi soveltuu kotitarvepuu. Rakennuksen takaseinästä täytyy mitoittaa kehäpalkki sekä runkotolppa. Seinässä ei ole aukkoja, joten koko seinä voidaan suunnitella samanlaisella rakenteella, jossa kehäpalkki ja runkotolppa on mitoitettu pahimmalle kuormitustapaukselle. Seinään kohdistuva kuorma välittyy katolta vesikattopalkin kautta. Kehäpalkin mitoituksessa tulee huomioida kuorman kaksi eri sijoittumismahdollisuutta, jolloin saadaan laskettua pahin mahdollinen leikkausrasitus ja momentti rakenteelle. Runkotolppaa mitoittaessa ajatellaan pystykuorman kohdistuvan suoraan runkotolpan kohdalle. Runkotolppaan kohdistuu pystykuorman lisäksi tasainen tuulikuorma. Kehäpalkki mitoitetaan taivutus- ja leikkausrasituksille. Runkotolppa mitoitetaan yhdistetylle taivutukselle ja nurjahdukselle. Näiden tarkastelujen lisäksi tulee suorittaa taipuma- ja tukipainekestävyystarkastelu. Rakennelaskelmat ovat liitteessä 12. Seinän tunnus positiokuvassa liitteessä 2 on S01.

3.10 Päätyseinän runkotolppa

Päätyseinän runkotolppa suunnitellaan sahatavarasta kooltaan 50 mm x 150 mm ja lujuudeltaan C24. Seinän rakentamiseen voidaan käyttää kotitarvepuuta. Seinään kohdistuu pieni pystykuorma räystäältä sekä tasainen tuulikuorma. Runkotolppa mitoitetaan yhdistetylle taivutukselle ja nurjahdukselle. Näiden tarkastelujen lisäksi tulee suorittaa taipuma- ja tukipainekestävyystarkastelu. Rakennelaskelmat ovat liitteessä 13. Seinän tunnus positiokuvassa liitteessä 2 on S02.

3.11 Rakennuksen jäykistäminen

Rakennus jäykistetään käyttämällä ulkoseinissä OSB3-levyjä, jotka naulataan seinärunkoon kiinni. Rakennuksen jokaiselle seinälle on mitoitettu levykentät ottamaan vastaan tuulen rakennukseen aiheuttama kokonaiskuormitus sekä rakennuksen kuormista riippuva lisävaakavoima. OSB3-levyn valitsin siksi, koska se kestää ulkoilmaolosuhteita ja on kohtuullisen edullinen vaihtoehto verrattuna esimerkiksi vanerilevyihin. Rakennelaskelmat ovat liitteessä 14.

4 Pohdinta

Tässä opinnätetyössä toteutettiin varastorakennuksen rakennussuunnittelu ja kantavien puurakenteiden alustavat rakennelaskelmat. Työssä myös esitetään suunnitteluprosessissa oleellisia asioita. Työn tuloksesta voidaan käyttää vain rakennussuunnittelun osuutta, joka sisältää asemapiirroksen, pohjapiirroksen ja julkisivukuvat. Rakennesuunnittelua ei voi viedä käytäntöön, koska pätevyytteni ei riitä siihen kuten opinnätetyössä on selvitetty. Opinnätetyön tekijältä puuttuu suunnitteluun vaadittavan tutkinnon suorittaminen sekä vaadittava työkokemus suunnittelutyöstä.

Työ aloitettiin rakennuksen lähtötietojen ja toimeksiantajan vaatimuksien selvittämisellä. Rakennuksen käyttötarkoitus, sijainti sekä koko- ja ulkonäkövaatimukset johtivat luonnoksiin, joiden perusteella rakennusta suunniteltiin pidemmälle. Rakennuksen ulkonäköön vaikutti myös Äänekosken rakennusvalvontaviranomaisen toivomus siitä, että rakennuksen värityksi olisi tumma ja mahdollisimman huomiota herättämätön. Tämän seurauksena rakennuksen värityksi toteutetaan mustana ja tummanharmaana. Pohjaratkaisuun vaikuttivat jäljellä olevan rakennusluvan määrä ja rakennuksen käyttötarkoitus. Suurin osa katoksesta suunniteltiin avoimena katoksena, koska sitä ei lasketa kerrosalaan, jos seinien pinta-alojen suhde aukkojen pinta-alaan on riittävän pieni.

Rakennesuunnitteluvaiheessa oli tarkoitus suunnitella rakenteet niin, että niissä voitaisiin käyttää mahdollisimman paljon tontilla kaadetusta puusta tehtyä sahatavaraa. Suunnittelun edetessä ilmeni kuitenkin, että johtuen pitkistä jänneväleistä ja suurista kuormista, palkkirakenteet olisi toteutettava liimapuusta ja kertopuusta. Muussa tapauksessa joko rakenneosien poikkileikkauskoot tai jaot olisivat muodostuneet epätaloudellisiksi. Rakennesuunnitteluvaihetta hankaloitti puurakenteiden suunnitteluohjeen päivitys kesken työn, joka johti materiaalien ominaiskestävyysarvojen ja osavarmuuskertoimien muuttumiseen. Tämä johti siihen, että kaikki rakennelaskelmat oli tarkistettava ja Finnwoodin mitoitusohjelmaa ei voinut enää käyttää kaikissa rakennelaskelmissa. Puurakenteiden suunnittelusta jätiin pois liitosten suunnittelu, koska se olisi lisännyt oleellisesti työssä olevan materiaalin määrää.

Lähteet

Koko talo on perustuksien varassa. 2013. Artikkelit suomirakentaa sivustolla. Viitattu 6.5.2017.

<https://www.suomirakentaa.fi/tyoohjeet/perustukset-ja-alapohja/koko-talo-on-perustuksien-varassa>

Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999. Viitattu 27.2.2017.

<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990132#L18P126>

Puurakenteiden suunnittelu. 2011. Lyhennetty suunnitteluohje. Puuinfo. Eurokoodi 5. 3.p. Viitattu 27.2.2017.

<http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/eurokoodi-5-lyhennetty-ohje-puurakenteiden-suunnittelu/eurokoodi-5-lyhennetty-ohje-puurakenteiden-suunnittelu/eurokoodi5lyhennettysuunnitteluohjeweekolmaspainos10913rilinkorjauksin.pdf>

RT 10-11107. 2013. Rakennustieto Oy. RT-net. Kortistot. Hankkeen johtamisen ja rakennuttamisen tehtäväluettelo HJR12. Viitattu 27.2.2017.

<https://www.rakennustietokauppa.fi/rt-10-11107-hankkeen-johtamisen-ja-rakennuttamisen-tehtavaluettelo-hjr12/109261/dp>

RIL 205-1-2009. 2009. Puurakenteiden suunnitteluohje. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL Ry.

RIL 201-1-2011. 2011. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL Ry.

RIL 205-1-2017. 2017. Puurakenteiden suunnitteluohje. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL Ry.

Valtioneuvoston asetus rakennustyön turvallisuudesta 205/2009. Viitattu 27.2.2017.

<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2009/20090205>

Valtioneuvoston asetus rakentamisen suunnittelutehtävien vaativuusluokkien määräytymisestä 214/2015. Viitattu 11.3.2017.

<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20150214>

Ohje rakennusten suunnittelijoiden kelpoisuudesta. 2015. Ympäristöministeriö. 12.3.2015. Viitattu 26.2.2017.

http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/RakentamismaarayskokoeIma/Suunnittelu_ja_valvonta

Ohje rakentamisen suunnittelutehtävien vaativuusluokista. Ympäristöministeriö. 12.3.2015. Viitattu 26.2.2017.

http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/RakentamismaarayskokoeIma/Suunnittelu_ja_valvonta

Liitteet

Liite 1. Rakennelaskelmien selostus

Laskentamenetelmät

Rakenteet mitoitetaan käsinlaskentana käyttäen joissakin laskelmissa apuna Finnwood 2.3 SR1 rakenteiden mitoitushjelmaa. Laskelmissa esitetyt kaavaviittaukset tarkoittavat Puurakenteiden suunnitteluohjetta (RIL 205-1-2009). Materiaalien kestävyysominaisuuksien ja osavarmuuskertoimien lähteenä on käytetty Eurokoodi 5 suunnittelustandardia ja sen Suomen kansallista liitettä.

Perustiedot

Kohteen nimi	Puurakenteinen katosrakennus
Osoite	Järvenpääntie 187 44150 Äänekoski
Pääasiallinen käyttötarkoitus	Varastorakennus
Rakenteiden vaativuusluokka	Tavanomainen (Maankäyttö - ja rakennuslaki 120 d § (41/2014))
Käyttöluokka	2 (RIL 205-1-2017)
Seuraamusluokka	CC1 (RIL 205-1-2017)
Paloluokka	P3 (RakMK osa E1)
Pääasiallinen rakennusmateriaali	Puu
Pääasiallinen rakennustapa	Paikalla rakentaminen
Kerrosluku	1
Kokonaiskorkeus	5,3 m
Bruttopinta-ala yhteensä	136 m ²

Rakenteellinen järjestelmä

Perustamistapa	Reunavahvistettu laattaperustus
Pääasialliset runkorakenteet	
Pilarit	Nivelpäiset pilarit (sahatavara C24)
Kantavat seinät	Rankaseinä (sahatavara C24)
Pääkannattimet	Liimapuu-, kertopuu- ja sahatarapalkki
Ulkoseinät	Paikalla rakennettu puurankaseinä
Väliseinät	Paikalla rakennettu puurankaseinä
Yläpohja	Paikalla rakennettu kertopuupalkkiyläpohja
Rakennusrungon jäykistys	Rakennus jäykistetään rungon poikki - ja pituussuuntaisilla OSB-levyjäykisteillä, jotka sijaitsevat rungon ulkopinnassa.

Normit ja kuormitukset

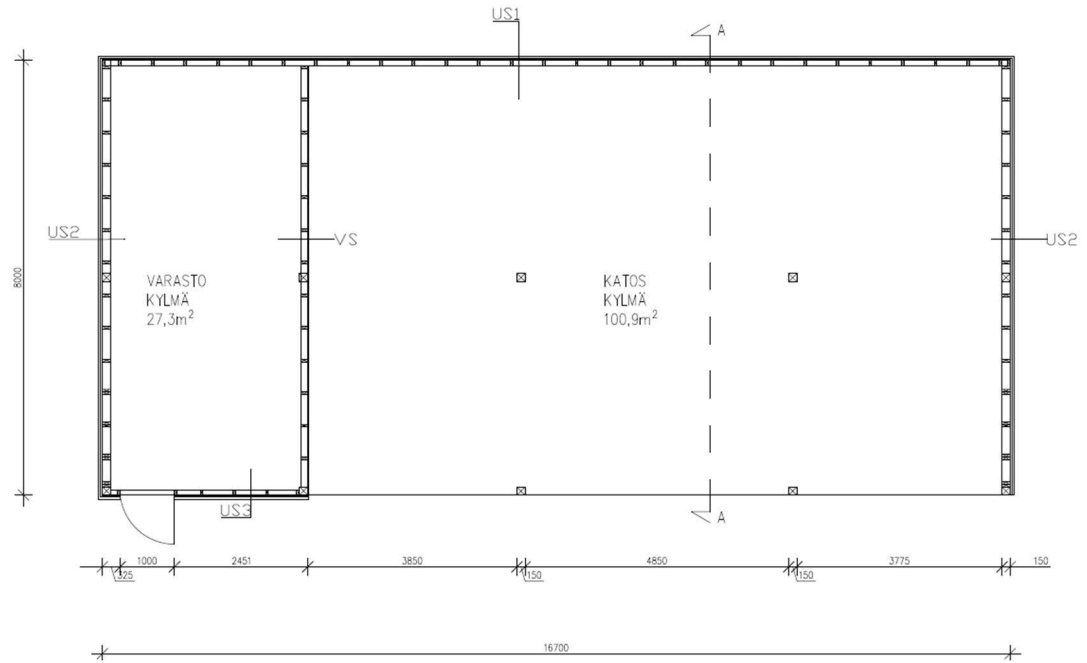
Määräykset ja ohjeet	
Puurakenteet	Eurocode 5
Soveltamisohje	RIL 205-1-2017, RIL 205-1-2009, Liite B Lyhennetty suunnitteluohje
Palonkestovaatimus	-
Kuormitukset	
Yläpohja	0,5kN/m ²
Räystäät	0,5kN/m ²
Lumikuorma maan pinnalla	2,5kN/m ²
Hyötykuorma	7,5kN/m ²
Tuulikuorma	0,37kN/m ² ; nopeuspaineen ominaisarvo maastoluokassa III, kun h=5,3 m

Materiaalien lujuusluokat yleensä

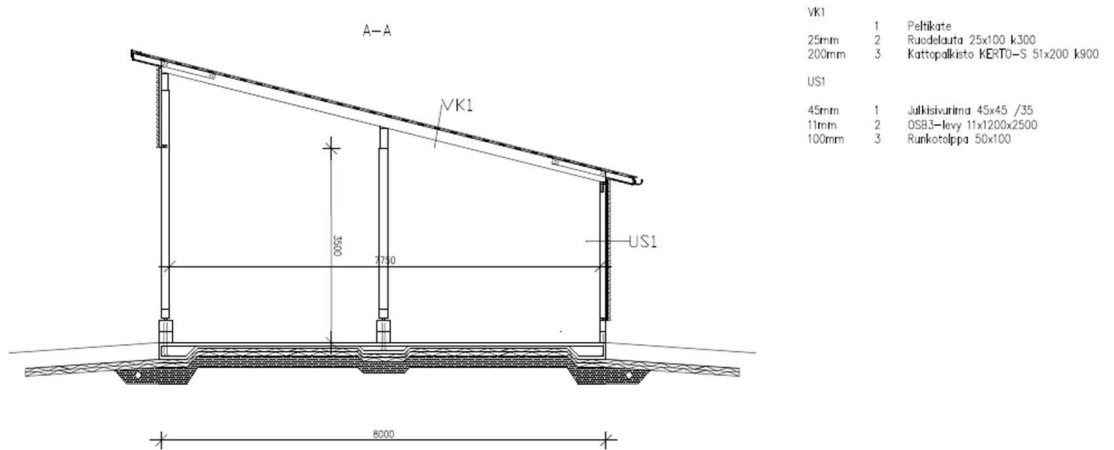
Pilarit	Sahatavara C24
Palkit	Kerto-S, Liimapuu GL30c ja sahatavara C24
Kantavien seinien rungot	RIL 205-1-2017, Liite B Lyhennetty suunnitteluohje
Jäykistävä levytys ulkoseinässä	OSB- levy 11mm

Liite 2. Rakennuksen esittely

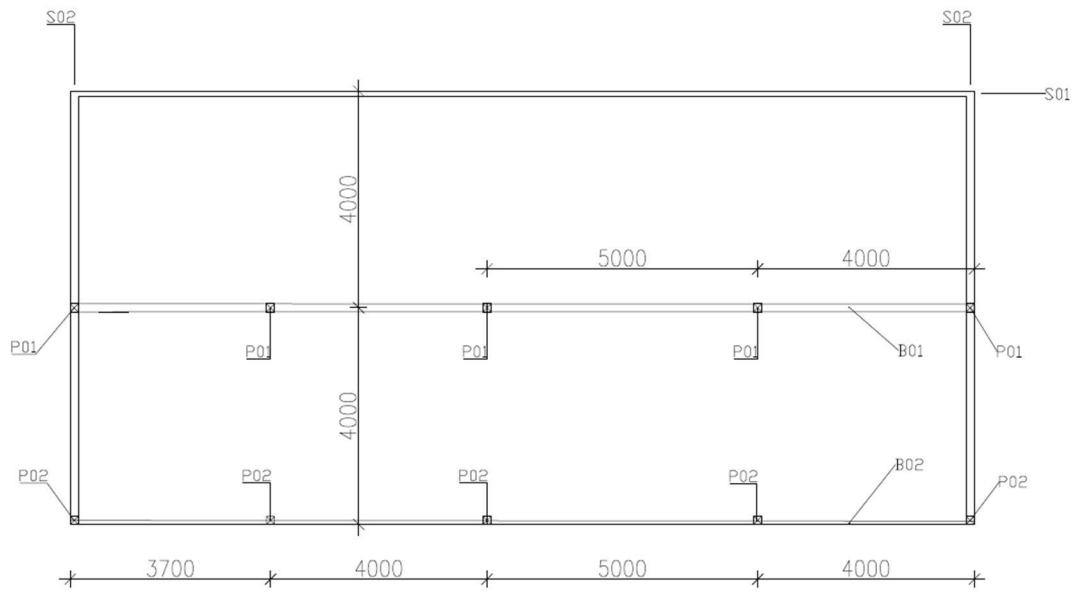
Pohjapiirustus



Leikkaus A-A



Rakennesien positointi



Liite 3. Kuormituskaaviot

Yläpohjan kuormat

Lumikuorma:

Rakennuspaikka sijaitsee Äänekoskella, jossa ominaislumikuorma maassa on $s_k = 2,5\text{kN/m}^2$. Ominaislumikuorma maassa tulee muuttua lumikuormaksi katolla. Lumi-kuorma katolla saadaan kaavasta:

$$s = \mu_i s_k, \text{ missä} \quad (2.5.5S)$$

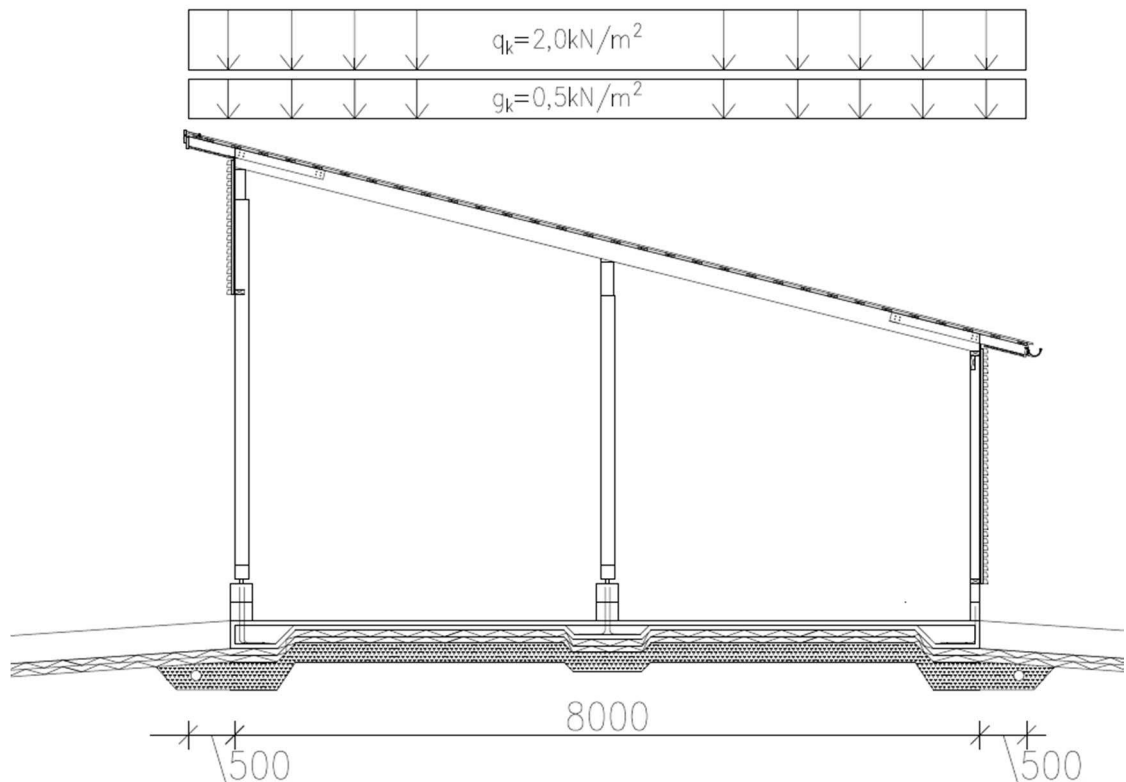
s = katon lumikuorma

μ_i = lumikuorman muotokerroin

s_k = lumikuorma maassa

Rakennuksessa on pulpettikatto, jonka kaltevuuskulma α on 0° ja 30° välillä, jolloin lumikuorman muotokerroin on 0,8. Lumikuorma katolla saadaan kaavasta

$$q_{\text{lumi, k}} = \mu_1 \cdot s_k = 0,8 \cdot 2,5\text{kN/m}^2 = 2\text{kN/m}^2$$



Tuulikuorma

Rakennus sijaitsee alueella, jolla on säännöllinen kasvipeite, joten rakennus kuuluu maastoluokkaan III. Rakennuksen enimmäiskorkeus on 5,3m.

Tuulen nopeuspaineen ominaisarvo $q_{p0}(z) = 0,37\text{kN/m}^2$ (kuva 2.6S)

Voimakerroin $c_f = 1,6$ (taulukko 2.7)

Projektion ala = $A_{\text{ref, sivu}} = 88,5\text{ m}^2$

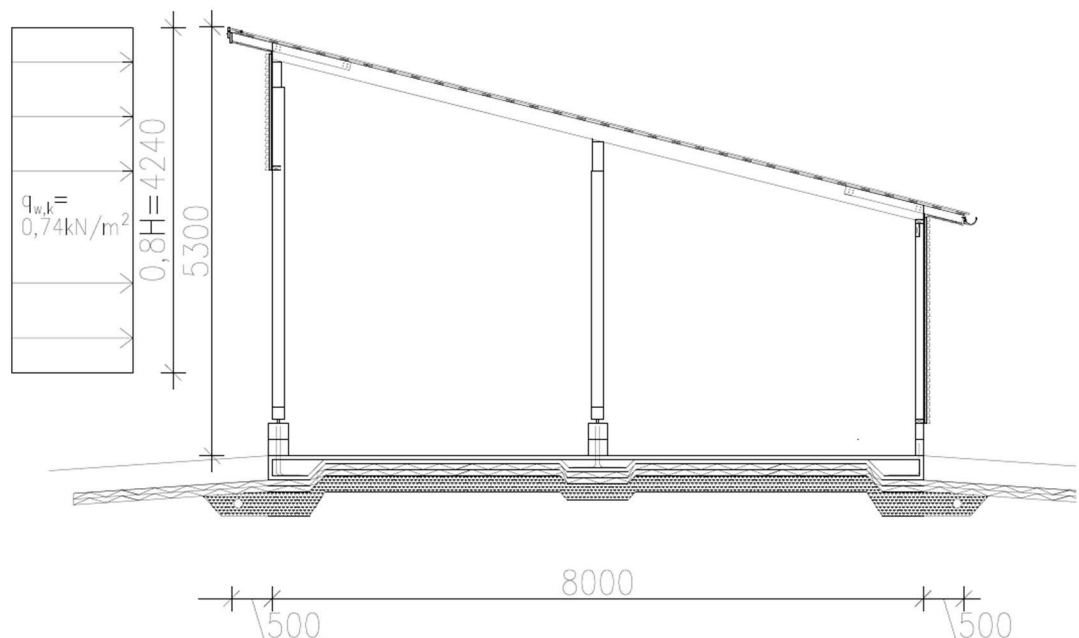
Projektion ala = $A_{\text{ref, pääty}} = 33,5\text{ m}^2$

$F_{w,k} = c_f q_k(h) A_{\text{ref}}$ (2.5.10S)

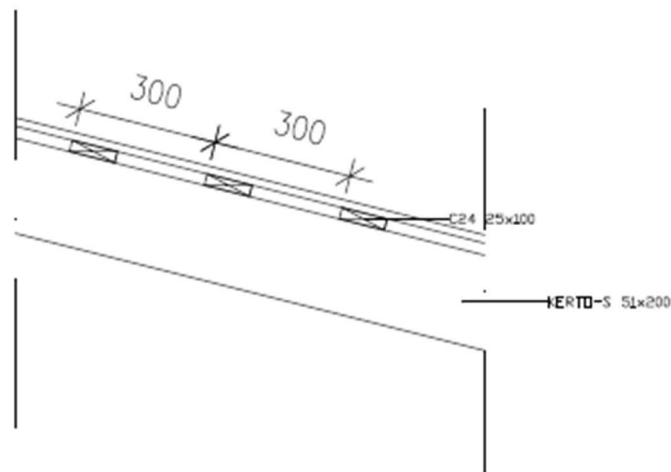
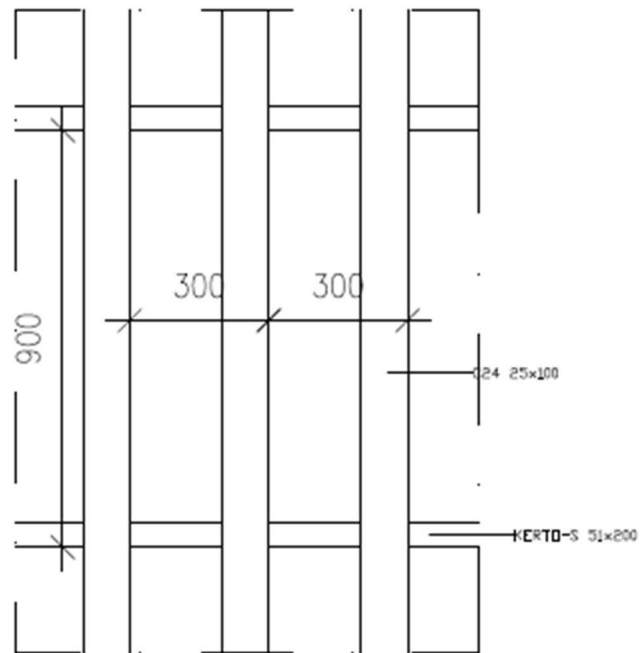
Kerroin 1,25 tulee muunnoksesta, jossa koko projektiopinnalle kohdistuva tuulenpaine korvataan rakennuksen yläosalle sijoitettavalla tasaisella kuormalla. Tasaisen kuorman resultantti sijaitsee korkeudella 0,6H.

$F_{w, \text{pääty}} = 1,25 \cdot c_s c_d c_f \text{, pääty} q_{p0}(z) A_{\text{ref, pääty}} = 1,25 \cdot 1,0 \cdot 1,6 \cdot 0,37\text{ kN/m}^2 \cdot 33,5\text{ m}^2 = 24,75\text{ kN}$

$F_{w, \text{sivu}} = 1,25 \cdot c_s c_d c_f \text{, sivu} q_{p0}(z) A_{\text{ref, sivu}} = 1,25 \cdot 1,0 \cdot 1,6 \cdot 0,37\text{ kN/m}^2 \cdot 88,5\text{ m}^2 = 65,5\text{ kN}$



Liite 4. Kattoruoteiden rakennelaskelmat



Kuormat

Omapaino:

$$g_{vk,k} = 0,3\text{m} \cdot 0,5\text{kN/m}^2 = 0,15 \text{ kN/m}$$

Lumikuorma:

$$q_{lumi,k} = 0,3\text{m} \cdot 2\text{kN/m}^2 = 0,6 \text{ kN/m}$$

Kuormitusyhdistelmä

$$P_d = K_{fi} \cdot (1,15 \cdot g_k + 1,5 \cdot q_k) \quad (2.1.1S)$$

$$= 0,9 \cdot (1,15 \cdot 0,15 \text{ kN/m} + 1,5 \cdot 0,6 \text{ kN/m}) = 1,0 \text{ kN/m}$$

Rasitukset

Momentti:

$$M_d = q \cdot L^2 / 8 = 1,0 \text{ kN/m} \cdot (0,9 \text{ m})^2 / 8 = 0,1 \text{ kNm}$$

Leikkaus:

$$V_d = q \cdot L / 2 = 1,0 \text{ kN/m} \cdot 0,9 \text{ m} / 2 = 0,45 \text{ kN}$$

Sisäiset jännitykset

Taivutusjännitys:

$$\sigma_{m,d} = 6 \cdot M_d / (b \cdot h^2) = 6 \cdot 100\,000 \text{ Nmm} / (100 \text{ mm} \cdot (25 \text{ mm})^2) = 9,6 \text{ N/mm}^2$$

Leikkausjännitys:

$$\tau_d = 3/2 \cdot V_d / (b_{ef} \cdot h) = 3/2 \cdot 450 \text{ N} / (100 \text{ mm} \cdot 25 \text{ mm}) = 0,27 \text{ N/mm}^2$$

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b = 1,0 \cdot 100 \text{ mm} = 100 \text{ mm} \quad (6.13a)$$

Poikittainen puristus:

$$\sigma_{c,90,d} = N_d / (b \cdot h) \quad (6.3)$$

$$= 450 \text{ N} / (25 \text{ mm} \cdot 100 \text{ mm}) = 0,18 \text{ N/mm}^2$$

Kestävyydet

$$k_{mod} = 0,8 \quad (\text{taulukko 3.1})$$

$$\gamma_M = 1,3 \quad (\text{taulukko 2.10-FI})$$

$$f_{m,k} = 24 \text{ N/mm}^2 \quad f_{m,d} = 0,8 \cdot 24 \text{ N/mm}^2 / 1,3 = 14,77 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,k} = 4 \text{ N/mm}^2 \quad f_{v,d} = 0,8 \cdot 4 \text{ N/mm}^2 / 1,3 = 2,46 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,90,k} = 2,5 \text{ N/mm}^2 \quad f_{c,90,d} = 0,8 \cdot 2,5 \text{ N/mm}^2 / 1,3 = 1,54 \text{ N/mm}^2$$

(taulukko 3.3S)

Mitoitusehdot

Taivutus:

$$k_m \cdot \sigma_{m,d} / f_{m,d} \quad (6.11)$$

$$= 0,7 \cdot 9,6 \text{ N/mm}^2 / 14,77 \text{ N/mm}^2 = 0,45 \rightarrow \text{Käyttöaste } 45\%$$

$$k_m = 0,7$$

Leikkaus:

$$\tau_d / f_{v,d} \quad (6.13)$$

$$= 0,27 \text{ N/mm}^2 / 2,46 \text{ N/mm}^2 = 0,11 \rightarrow \text{Käyttöaste } 11\%$$

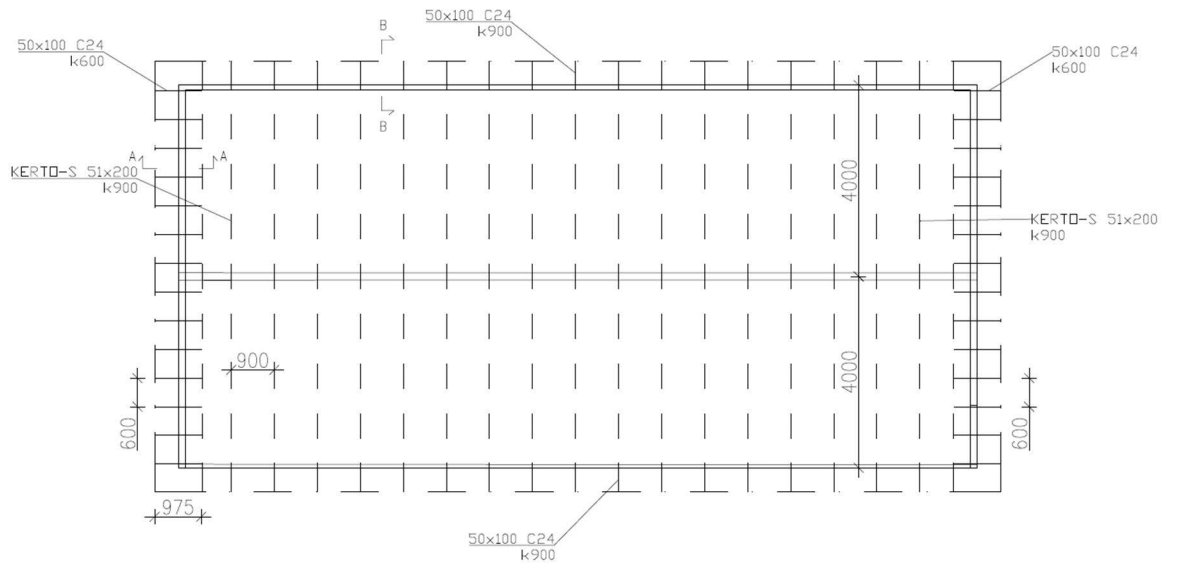
Poikittainen puristus:

$$k_{c,\perp} = l_{c,90,ef} / l \cdot k_{c,90} = 111 \text{ mm} / 51 \text{ mm} \cdot 1,25 = 2,78 \quad (6.4S)$$

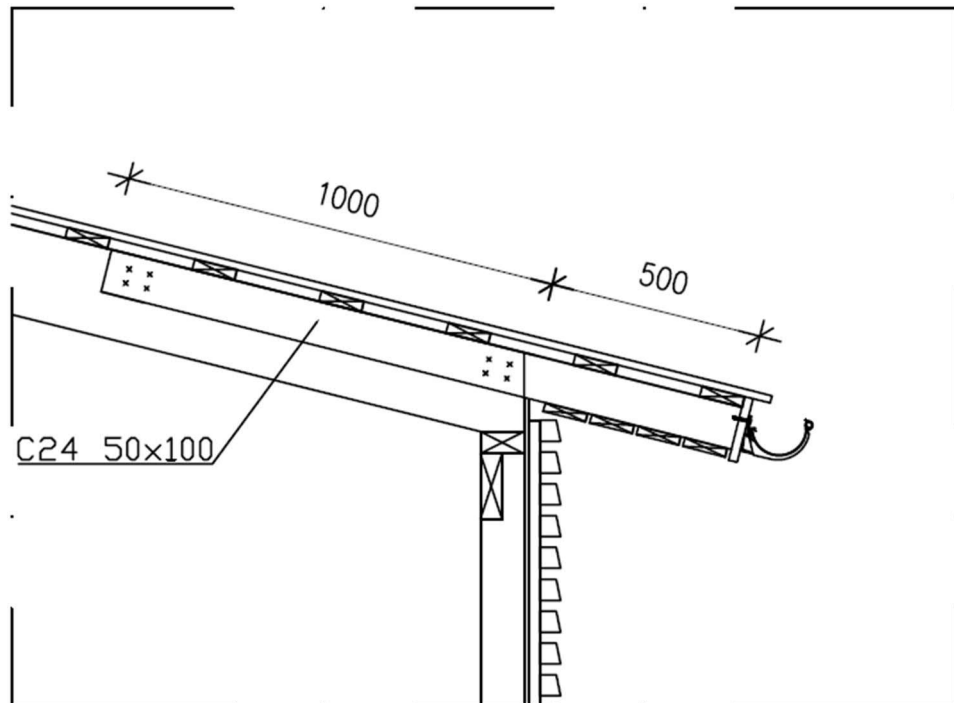
$$\sigma_{c,90,d} / (k_{c,\perp} \cdot f_{c,90,d}) \quad (6.3)$$

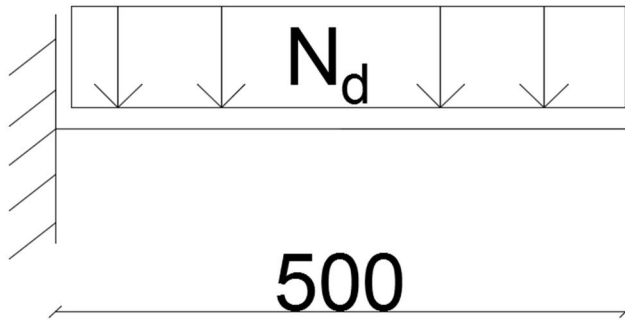
$$= 0,18 \text{ N/mm}^2 / (2,78 \cdot 1,54 \text{ N/mm}^2) = 0,04 \rightarrow \text{Käyttöaste } 4\%$$

Liite 5. Ylä- ja alaräystäsvasojen rakennelaskelmat



B-B





Kuormat

Omapaino:

$$g_k = 0,9\text{m} \cdot 0,5\text{kN/m}^2 = 0,45\text{ kN/m}$$

Lumikuorma:

$$q_{\text{lumi,k}} = 0,9\text{m} \cdot 2\text{kN/m}^2 = 1,8\text{ kN/m}$$

Kuormitusyhdistelmä

$$P_d = K_{fi} \cdot (1,15 \cdot g_k + 1,5 \cdot q_k) \quad (2.1.1S)$$

$$= 0,9 \cdot (1,15 \cdot 0,45\text{kN/m} + 1,5 \cdot 1,8\text{kN/m}) = 2,9\text{ kN/m}$$

Rasitukset

Momentti:

$$M_d = q \cdot L^2 / 2 = 2,9\text{kN/m} \cdot (0,5\text{m})^2 / 2 = 0,363\text{ kNm}$$

Leikkaus:

$$V_d = q \cdot L = 2,9\text{kN/m} \cdot 0,5\text{m} = 1,45\text{ kN}$$

Sisäiset jännitykset

Taivutusjännitys:

$$\sigma_{m,d} = 6 \cdot M_d / (b \cdot h^2) = 6 \cdot 363\text{ 000 Nmm} / (50\text{mm} \cdot (100\text{mm})^2) = 4,4\text{ N/mm}^2$$

Leikkausjännitys:

$$\tau_d = 3/2 \cdot V_d / (b_{ef} \cdot h) = 3/2 \cdot 1\text{ 450N} / (50\text{mm} \cdot 100\text{mm}) = 0,435\text{ N/mm}^2$$

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b = 1,0 \cdot 50\text{mm} = 50\text{mm} \quad (6.13a)$$

Kestävyydet

$$k_{\text{mod}} = 0,8 \quad (\text{taulukko 3.1})$$

$$\gamma_M = 1,3 \quad (\text{taulukko 2.10-FI})$$

$$f_{m,k} = 24 \text{ N/mm}^2 \quad f_{m,d} = 0,8 \cdot 24 \text{ N/mm}^2 / 1,3 = 14,8 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,k} = 4,0 \text{ N/mm}^2 \quad f_{v,d} = 0,8 \cdot 4,0 \text{ N/mm}^2 / 1,3 = 2,5 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{0,05} = 7\,400 \text{ N/mm}^2$$

(taulukko 3.3S)

Mitoitusehdot

Taivutus:

$$k_m \cdot \sigma_{m,d} / f_{m,d} \quad (6.11)$$

$$= 0,7 \cdot 4,4 \text{ N/mm}^2 / 14,8 \text{ N/mm}^2 = 0,21 \rightarrow \text{Käyttöaste } 21\%$$

$$k_m = 0,7$$

Leikkaus:

$$\tau_d / f_{v,d} = 0,435 \text{ N/mm}^2 / 2,5 \text{ N/mm}^2 = 0,17 \rightarrow \text{Käyttöaste } 17\% \quad (6.13)$$

Kiepahdus:

$$\sigma_{m,\text{crit}} = c \cdot b^2 / (h \cdot l_{\text{ef}}) \cdot E_{0,05} \quad (6.31.1S)$$

$$= 0,78 \cdot (50\text{mm})^2 / (100\text{mm} \cdot 500\text{mm}) \cdot 7\,400\text{N/mm}^2 = 289 \text{ N/mm}^2$$

$$l_{\text{ef}} = 500\text{mm}$$

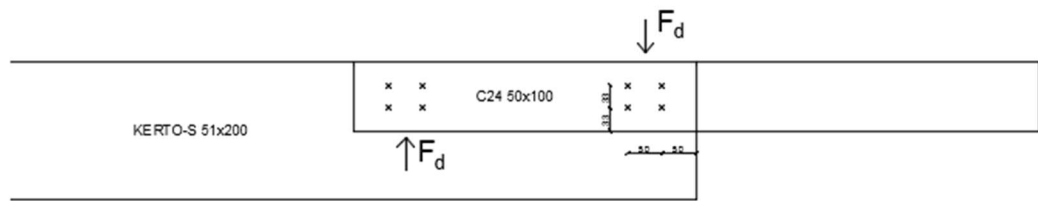
$$\lambda_{\text{rel},m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,\text{crit}}}} = \sqrt{\frac{24 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{289 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}} = 0,29 \quad (6.30)$$

$$k_{\text{crit}} = 1, \text{ kun } \lambda_{\text{rel},m} \leq 0,75 \quad (6.34)$$

$$\sigma_{m,d} / (k_{\text{crit}} \cdot f_{m,d}) \quad (6.33)$$

$$= 4,4 \text{ N/mm}^2 / (1,0 \cdot 14,8 \text{ N/mm}^2) = 0,30 \rightarrow \text{Käyttöaste } 30\%$$

Liitos



$$F_d = 1,45 \text{ kN}$$

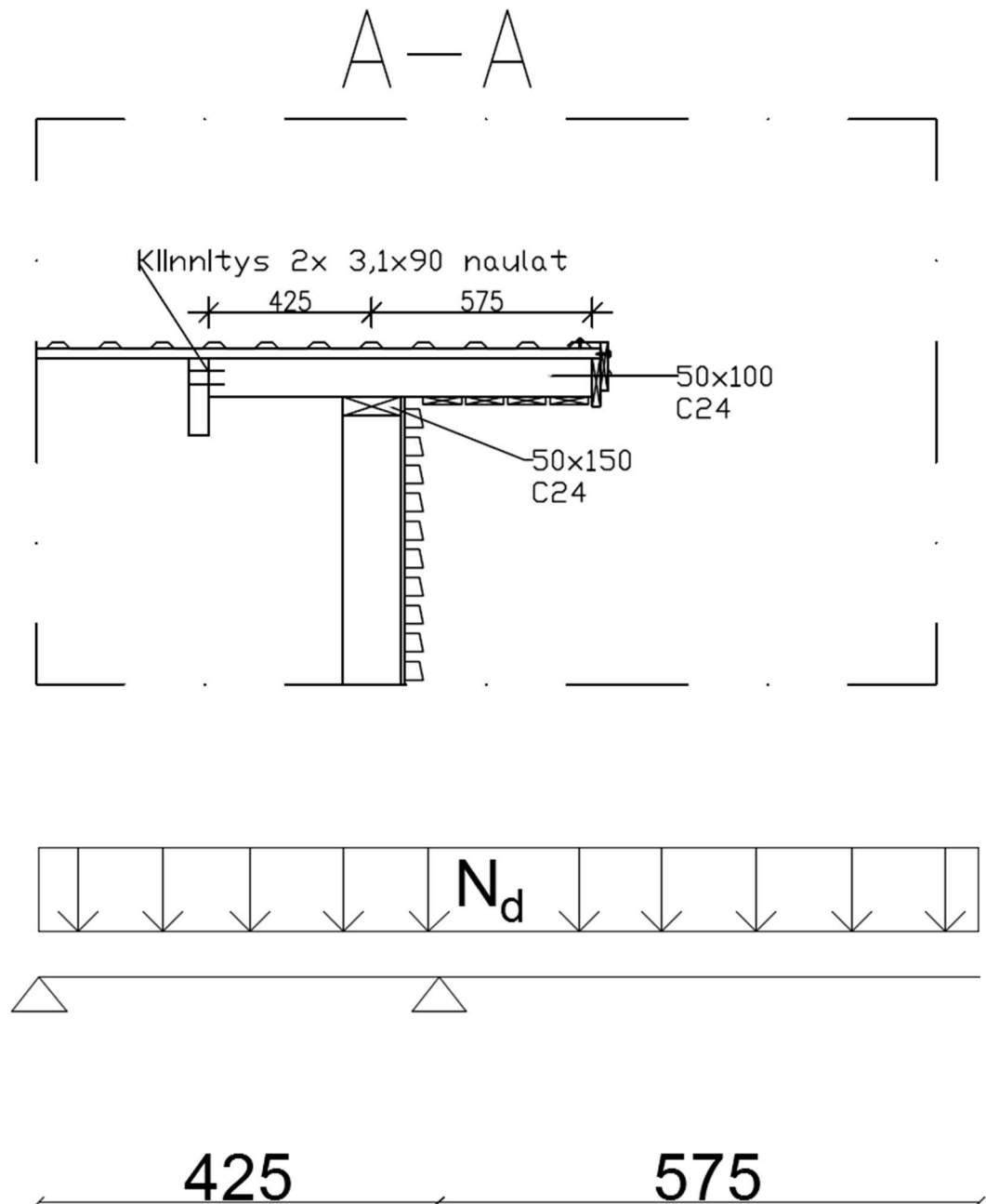
Liitoksessa käytetään konenauvoja $\varnothing 3,1 \times 90$. Niiden leikkausvoimakestävyys R_d saadaan RIL 205-1-2017 taulukosta 8.1S.

$$R_d = 560 \text{ N}$$

Liitoksessa on neljä naulaa, joten mitoitusehto on:

$$F_d / (2 \cdot R_d) = 1450 \text{ N} / (4 \cdot 560 \text{ N}) = 0,65 \rightarrow \text{Käyttöaste } 65\%$$

Liite 6. Päätystäiden rakennelaskelmat



Kuormat

Omapaino:

$$g_k = 0,6\text{m} \cdot 0,5\text{kN/m}^2 = 0,3\text{ kN/m}$$

Lumikuorma:

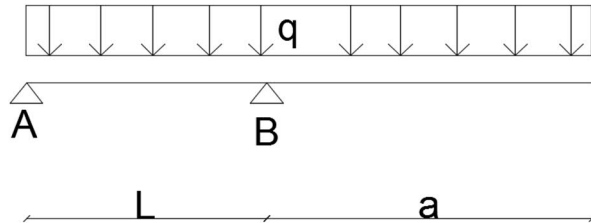
$$q_{\text{lumi,k}} = 0,6\text{m} \cdot 2\text{kN/m}^2 = 1,2\text{ kN/m}$$

Kuormitusyhdistelmä

$$P_d = K_{fi} \cdot (1,15 \cdot g_k + 1,5 \cdot q_k) \quad (2.1.1S)$$

$$= 0,9 \cdot (1,15 \cdot 0,3 \text{ kN/m} + 1,5 \cdot 1,2 \text{ kN/m}) = 1,9 \text{ kN/m}$$

Rasitukset



Momentti:

$$M_{\text{kenttä}} = q / (8 \cdot L^2) \cdot (L^2 - a^2)^2 = 1,9 / (8 \cdot 0,425^2) \cdot (0,425^2 - 0,575^2) = 0,030 \text{ kNm}$$

$$M_B = q \cdot a / 2 = 1,9 \cdot 0,575 = 0,31 \text{ kNm}$$

Tukireaktiot:

$$B = q / (2 \cdot L) \cdot (L + a)^2 = 1,9 / (2 \cdot 0,425) \cdot (0,425 + 0,575)^2 = 2,2 \text{ kN}$$

$$A = q / (2 \cdot L) \cdot (L - a)^2 = 1,9 / (2 \cdot 0,425) \cdot (0,425^2 - 0,575^2) = -0,34 \text{ kN}$$

Leikkaus:

$$V_d \approx 2,2 \text{ kN} / 2 = 1,1 \text{ kN}$$

Sisäiset jännitykset

Taivutusjännitys:

$$\sigma_{m,d} = 6 \cdot M_d / (b \cdot h^2) = 6 \cdot 310\,000 \text{ Nmm} / (50 \text{ mm} \cdot (100 \text{ mm})^2) = 3,72 \text{ N/mm}^2$$

Leikkausjännitys:

$$\tau_d = 3/2 \cdot V_d / (b_{ef} \cdot h) = 3/2 \cdot 1\,100 \text{ N} / (50 \text{ mm} \cdot 100 \text{ mm}) = 0,33 \text{ N/mm}^2$$

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b = 1,0 \cdot 50 \text{ mm} = 50 \text{ mm} \quad (6.13a)$$

Kestävyydet

$$k_{mod} = 0,8 \quad (\text{taulukko 3.1})$$

$$\gamma_M = 1,3 \quad (\text{taulukko 2.10-FI})$$

$$f_{m,k} = 24 \text{ N/mm}^2 \quad f_{m,d} = 0,8 \cdot 24 \text{ N/mm}^2 / 1,3 = 14,8 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,k} = 4,0 \text{ N/mm}^2 \quad f_{v,d} = 0,8 \cdot 4,0 \text{ N/mm}^2 / 1,3 = 2,5 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{0,05} = 7\,400 \text{ N/mm}^2$$

(taulukko 3.3S)

Mitoitusehdot

Taivutus:

$$k_m \cdot \sigma_{m,d} / f_{m,d} \quad (6.11)$$

$$= 0,7 \cdot 3,72 \text{ N/mm}^2 / 14,8 \text{ N/mm}^2 = 0,18 \rightarrow \text{Käyttöaste } 18\%$$

$$k_m = 0,7$$

Leikkaus:

$$\tau_d / f_{v,d} = 0,33 \text{ N/mm}^2 / 2,5 \text{ N/mm}^2 = 0,13 \rightarrow \text{Käyttöaste } 13\% \quad (6.13)$$

Kiepahdus:

$$\sigma_{m,crit} = c \cdot b^2 / (h \cdot I_{ef}) \cdot E_{0,05} \quad (6.31.1S)$$

$$= 0,78 \cdot (50\text{mm})^2 / (100\text{mm} \cdot 1000\text{mm}) \cdot 7\,400\text{N/mm}^2 = 152 \text{ N/mm}^2$$

$$I_{ef} = 500\text{mm}$$

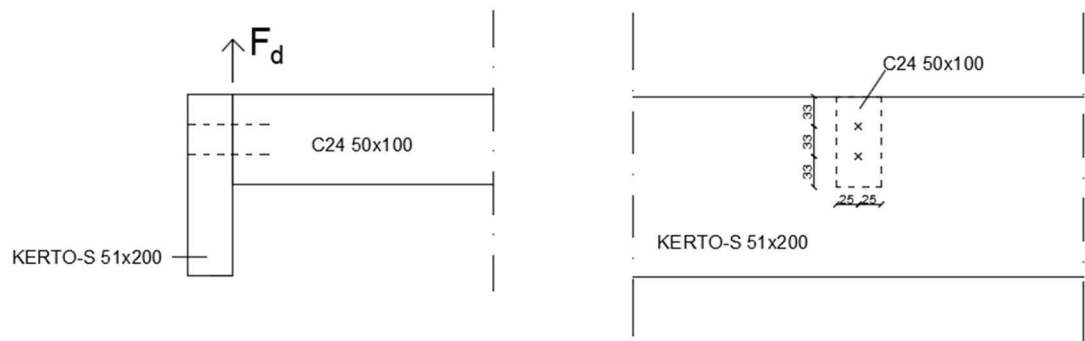
$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{152 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}} = 0,40 \quad (6.30)$$

$$k_{crit} = 1, \text{ kun } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \quad (6.34)$$

$$\sigma_{m,d} / (k_{crit} \cdot f_{m,d}) \quad (6.33)$$

$$= 3,72 \text{ N/mm}^2 / (1,0 \cdot 14,8 \text{ N/mm}^2) = 0,25 \rightarrow \text{Käyttöaste } 25\%$$

Liitos



$$F_d = 0,34 \text{ kN}$$

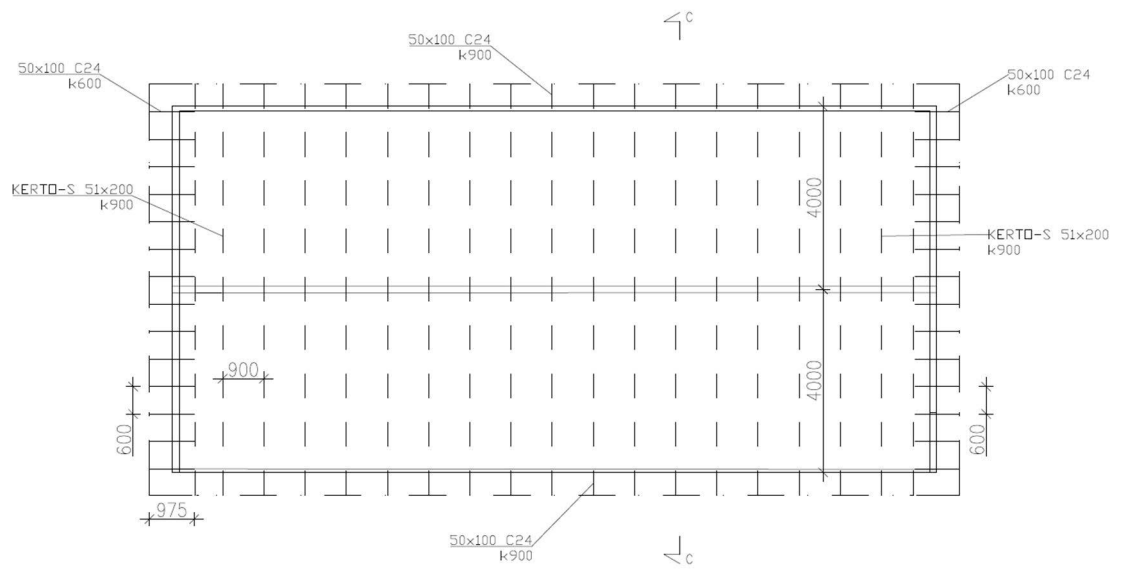
Liitoksessa käytetään konenauloja $\varnothing 3,1 \times 90$. Niiden leikkausvoimakestävyys R_d saadaan RIL 205-1-2017 taulukosta 8.1S. Päättypuuliitoksen mitoitusarvona käytetään 1/3 vastaavan normaalin naulaliitoksen mitoituskestävyydestä.

$$R_d = 560 \text{ N} / 3 = 186,7 \text{ N}$$

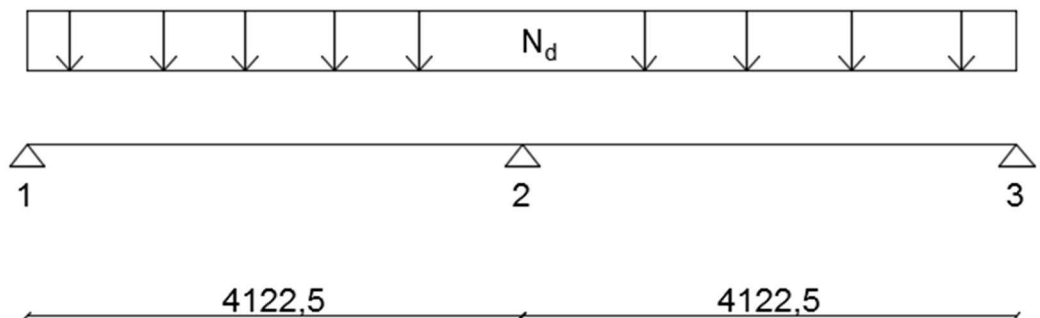
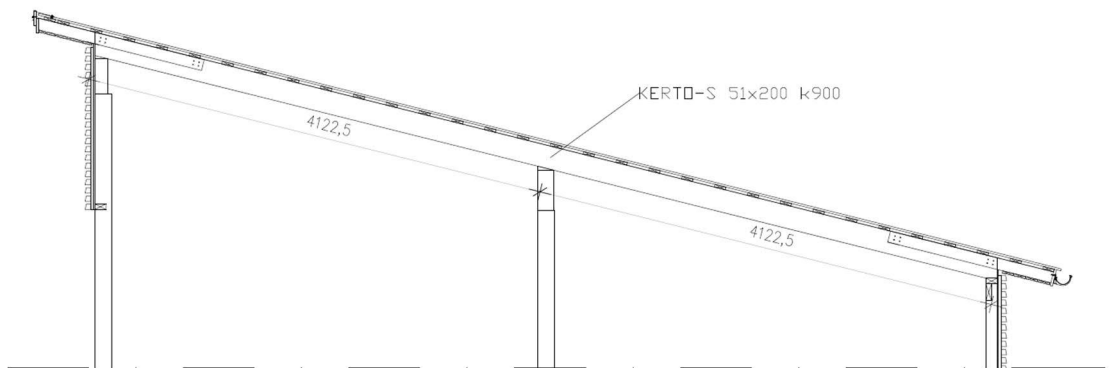
Liitoksessa on kaksi naulaa, joten mitoitusehto on:

$$F_d / (2 \cdot R_d) = 340 \text{ N} / (2 \cdot 186,7 \text{ N}) = 0,91 \rightarrow \text{Käyttöaste } 91\%$$

Liite 7. Vesikattopalkiston rakennelaskelmat



C—C



Kuormat

Omapaino:

$$g_k = 0,9\text{m} \cdot 0,5\text{kN/m}^2 + 0,051\text{kN/m} = 0,5 \text{ kN/m}$$

Lumikuorma:

$$q_{\text{lumi,k}} = 0,9\text{m} \cdot 2\text{kN/m}^2 = 1,8 \text{ kN/m}$$

Kuormitusyhdistelmä

$$P_d = K_{fi} \cdot (1,15 \cdot g_k + 1,5 \cdot q_k) \quad (2.1.1S)$$

$$= 0,9 \cdot (1,15 \cdot 0,5\text{kN/m} + 1,5 \cdot 1,8\text{kN/m}) = 2,95 \text{ kN/m}$$

Rasitukset

Momentti:

$$M_d = -0,125 \cdot P_d \cdot L^2 = -0,125 \cdot 2,95\text{N/mm} \cdot (4\,122\text{mm})^2 = -6\,265\,388 \text{ Nmm}$$

Leikkaus:

$$V_d = 0,625 \cdot P_d \cdot L = 0,625 \cdot 2,95\text{N/mm} \cdot 4\,122\text{mm} = 7\,600 \text{ N}$$

Tukireaktio keskituella:

$$1,25 \cdot 2,95\text{N/mm} \cdot 4\,122\text{mm} = 15\,200 \text{ N}$$

Sisäiset jännitykset

Taivutusjännitys:

$$\sigma_{m,d} = 6 \cdot M_d / (b \cdot h^2) = 6 \cdot 6\,265\,388 \text{ Nmm} / (51\text{mm} \cdot (200\text{mm})^2) = 18,4 \text{ N/mm}^2$$

Leikkausjännitys:

$$\tau_d = 3/2 \cdot V_d / (b_{ef} \cdot h) = 3/2 \cdot 7\,600\text{N} / (51\text{mm} \cdot 200\text{mm}) = 1,12 \text{ N/mm}^2$$

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b = 1,0 \cdot 51\text{mm} = 51\text{mm} \quad (6.13a)$$

Poikittainen puristus:

$$\sigma_{c,90,d} = N_d / (b \cdot h) = 15\,200\text{N} / (51\text{mm} \cdot 140\text{mm}) = 2,13 \text{ N/mm}^2$$

Kestävyydet

$$k_{\text{mod}} = 0,8 \quad (\text{taulukko 3.1})$$

$$\gamma_M = 1,2 \quad (\text{taulukko 2.10-FI})$$

$$f_{m,k} = 44 \text{ N/mm}^2 \quad f_{m,d} = 0,8 \cdot 44 \text{ N/mm}^2 / 1,2 = 29,33 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,k} = 4,1 \text{ N/mm}^2 \quad f_{v,d} = 0,8 \cdot 4,1 \text{ N/mm}^2 / 1,2 = 2,73 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,90,k} = 2,5 \text{ N/mm}^2 \quad f_{c,90,d} = 0,8 \cdot 2,5 \text{ N/mm}^2 / 1,25 = 1,6 \text{ N/mm}^2 \text{ (GL30 c)}$$

$$E_{\text{mean}} = 13\,800 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{0,05} = 11\,600 \text{ N/mm}^2$$

(taulukko 3.5S)

Mitoitusehdot

Taivutus:

$$k_m \cdot \sigma_{m,d} / f_{m,d} \quad (6.11)$$

$$= 0,7 \cdot 18,4 \text{ N/mm}^2 / 29,33 \text{ N/mm}^2 = 0,44 \rightarrow \text{Käyttöaste } 44\%$$

$$k_m = 0,7$$

Leikkaus:

$$\tau_d / f_{v,d} = 1,12 \text{ N/mm}^2 / 2,73 \text{ N/mm}^2 = 0,41 \rightarrow \text{Käyttöaste } 41\%$$

Kiepahdus:

$$\sigma_{m,\text{crit}} = c \cdot b^2 / (h \cdot I_{\text{ef}}) \cdot E_{0,05} \quad (6.31.1S)$$

$$= 0,58 \cdot (51\text{mm})^2 / (200\text{mm} \cdot 700\text{mm}) \cdot 11\,600\text{N/mm}^2 = 125 \text{ N/mm}^2$$

$$I_{\text{ef}} = a + 2 \cdot h = 300\text{mm} + 2 \cdot 200\text{mm} = 700\text{mm}$$

a = kiepahdustuentaväli

h = palkin korkeus

$$\lambda_{\text{rel},m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,\text{crit}}}} = \sqrt{\frac{44 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{125 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}} = 0,59 \quad (6.34)$$

$$k_{\text{crit}} = 1, \text{ kun } \lambda_{\text{rel,m}} \leq 0,75$$

$$\sigma_{\text{m,d}} / (k_{\text{crit}} \cdot f_{\text{m,d}}) \quad (6.33)$$

$$= 18,4 \text{ N/mm}^2 / (1,0 \cdot 29,33 \text{ N/mm}^2) = 0,63 \rightarrow \text{Käyttöaste } 63\%$$

Poikittainen puristus:

$$k_{\text{c,\perp}} = l_{\text{c,90,ef}} / l \cdot k_{\text{c,90}} = 111\text{mm} / 51\text{mm} \cdot 1,5 = 3,3 \quad (6.4S)$$

$$\sigma_{\text{c,90,d}} / (k_{\text{c,\perp}} \cdot f_{\text{c,90,d}}) \quad (6.3)$$

$$= 2,13 \text{ N/mm}^2 / (3,3 \cdot 1,6 \text{ N/mm}^2) = 0,40 \rightarrow \text{Käyttöaste } 40\%$$

Taipuma

Jäyhyysmomentti:

$$I_y = b \cdot h^3 / 12 = 51\text{mm} \cdot (200\text{mm})^3 / 12 = 34 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

Hetkellinen taipuma pysyvistä kuormista:

$$w_{\text{inst,G}} = 0,54 \cdot g_k \cdot L^4 / (100 \cdot E_{\text{mean}} \cdot I_y)$$

$$= 0,54 \cdot 0,5 \cdot 0,9 \cdot 4 \cdot 122^4 / (100 \cdot 13\,800 \cdot 34 \cdot 10^6) = 1,49 \text{ mm}$$

Hetkellinen taipuma muuttuvista kuormista:

$$w_{\text{inst,Q}} = 0,54 \cdot q_k \cdot L^4 / (100 \cdot E_{\text{mean}} \cdot I_y)$$

$$= 0,54 \cdot 2,0 \cdot 0,9 \cdot 4 \cdot 122^4 / (100 \cdot 13\,800 \cdot 34 \cdot 10^6) = 5,9 \text{ mm}$$

Hetkellinen taipuma:

$$w_{\text{inst}} = w_{\text{inst,G}} + w_{\text{inst,Q}} = 1,49\text{mm} + 5,9\text{mm} = 7,4 \text{ mm} \quad (2.2)$$

Mitoitusehto:

$$w_{\text{inst}} \leq L / 200 = 4\,122\text{mm} / 200 = 20,6\text{mm} > 7,4\text{mm} \quad (\text{taulukko 7.2-FI})$$

Lopputaipuma:

$$k_{\text{def}} = 0,8$$

$$w_{\text{net,fin}} = ((1 + k_{\text{def}}) \cdot w_{\text{inst,G}} + (1 + 0,3 \cdot k_{\text{def}}) \cdot w_{\text{inst,Q}}) \quad (\text{RIL 205-1-2009 liite B, 2.8})$$

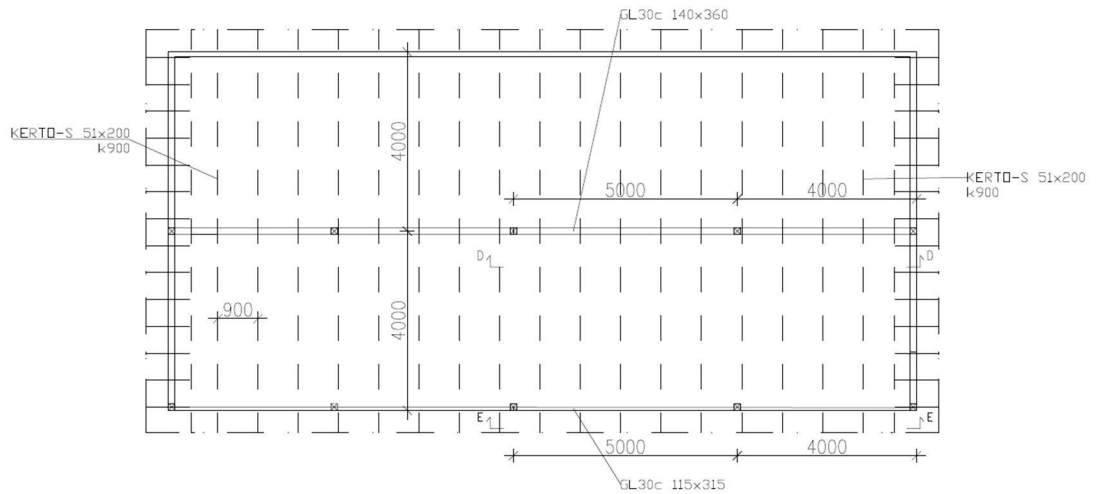
$$= (1 + 0,8) \cdot 1,49\text{mm} + (1 + 0,3 \cdot 0,8) \cdot 5,9\text{mm} = 10\text{mm}$$

Mitoitusehto:

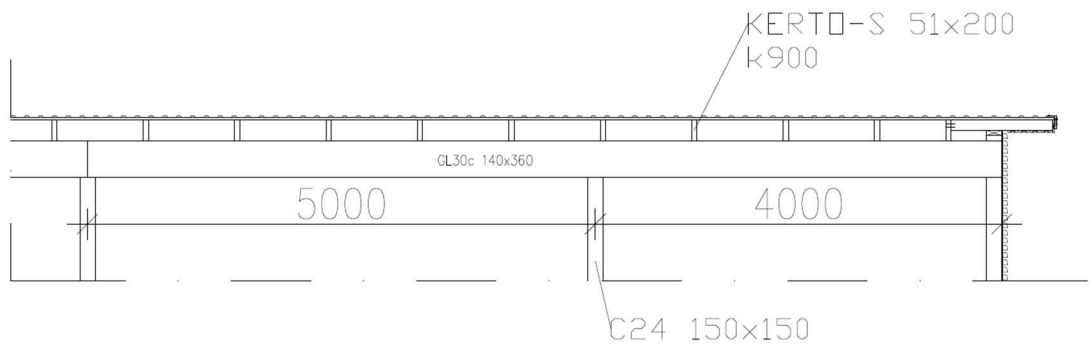
$$w_{\text{net.fin}} \leq L / 200 = 4\,122\text{mm} / 200 = 20,61\text{mm} > 10\text{mm}$$

(taulukko 7.2-FI)

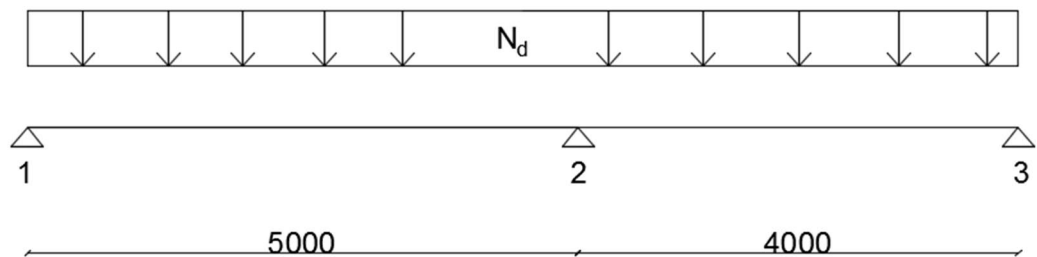
Liite 8. Keskilinjan kannatinpalkin rakennelaskelmat



D-D



Palkki GL30c 140x360



Kuormat

Omapaino:

$$g_k = (38\text{m}^2 \cdot 0,5\text{kN/m}^2 + 0,052\text{kN/m} \cdot 40\text{m}) / 9\text{m} = 2,34 \text{ kN/m}$$

Lumikuorma:

$$q_{\text{lumi,k}} = 38\text{m}^2 \cdot 2\text{kN/m}^2 / 9\text{m} = 8,44 \text{ kN/m}$$

Kuormitusyhdistelmä

$$P_d = K_{fi} \cdot (1,15 \cdot g_k + 1,5 \cdot q_k) \quad (2.1.1S)$$

$$= 0,9 \cdot (1,15 \cdot 2,34\text{kN/m} + 1,5 \cdot 8,44\text{kN/m}) = 13,8 \text{ kN/m}$$

Rasitukset

Momentti:

$$M_d = 36,95 \text{ kNm}$$

Leikkaus:

$$V_d = 42,6 \text{ kN}$$

Tukireaktiot:

Tukireaktiot laskettu Finnwood 2.3 SR1 ohjelmalla

1. 27,8 kN
2. 80 kN
3. 19 kN

TUKIREAKTIOT:

Tuki:	MRTmax:	MRTmin:	KRTmax:	KRTmin:
1:	27.80 kN	4.61 kN	21.79 kN	5.12 kN
2:	79.97 kN	13.25 kN	62.68 kN	14.73 kN
3:	18.92 kN	3.13 kN	14.82 kN	3.48 kN

- KRT tukireaktiot ovat vain vertailua varten

Sisäiset jännitykset

Taivutusjännitys:

$$\sigma_{m,d} = 6 \cdot M_d / (b \cdot h^2) = 6 \cdot 36\,950\,000 \text{ Nmm} / (140\text{mm} \cdot (360\text{mm})^2) = 12,2 \text{ N/mm}^2$$

Leikkausjännitys:

$$\tau_d = 3/2 \cdot V_d / (b_{ef} \cdot h) = 3/2 \cdot 42\,600\text{N} / (140\text{mm} \cdot 360\text{mm}) = 1,27\text{ N/mm}^2$$

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b = 1,0 \cdot 140\text{mm} = 140\text{mm} \quad (6.13a)$$

Poikittainen puristus:

$$\text{Tuki 1: } \sigma_{c,90,d} = N_d / (b \cdot h) = 22\,800\text{N} / (140\text{mm} \cdot 75\text{mm}) = 2,65\text{ N/mm}^2$$

$$\text{Tuki 2: } \sigma_{c,90,d} = N_d / (b \cdot h) = 80\,000\text{N} / (140\text{mm} \cdot 150\text{mm}) = 3,8\text{ N/mm}^2$$

Kestävyydet

$$k_{mod} = 0,8 \quad (\text{taulukko 3.1})$$

$$\gamma_M = 1,25 \quad (\text{taulukko 2.10-FI})$$

$$f_{m,k} = 30\text{ N/mm}^2 \quad f_{m,d} = 0,8 \cdot 30\text{ N/mm}^2 / 1,25 = 19,2\text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,k} = 3,5\text{ N/mm}^2 \quad f_{v,d} = 0,8 \cdot 3,5\text{ N/mm}^2 / 1,25 = 2,24\text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,90,k} = 2,5\text{ N/mm}^2 \quad f_{c,90,d} = 0,8 \cdot 2,5\text{ N/mm}^2 / 1,25 = 1,6\text{ N/mm}^2$$

$$E_{mean} = 13\,000\text{ N/mm}^2$$

$$E_{0,05} = 10\,800\text{ N/mm}^2$$

(taulukko 3.4S)

Mitoitusehdot

Taivutus:

$$k_m \cdot \sigma_{m,d} / f_{m,d} \quad (6.11)$$

$$= 0,7 \cdot 12,2\text{ N/mm}^2 / 19,2\text{ N/mm}^2 = 0,44 \rightarrow \text{Käyttöaste } 44\%$$

$$k_m = 0,7$$

Leikkaus:

$$\tau_d / f_{v,d} = 1,27\text{ N/mm}^2 / 2,24\text{ N/mm}^2 = 0,57 \rightarrow \text{Käyttöaste } 57\%$$

Kiepahdus:

$$\sigma_{m,crit} = c \cdot b^2 / (h \cdot I_{ef}) \cdot E_{0,05} \quad (6.31.1S)$$

$$= 0,70 \cdot (140\text{mm})^2 / (360\text{mm} \cdot 1\,620\text{mm}) \cdot 10\,800\text{N/mm}^2 = 254\text{ N/mm}^2$$

$$l_{ef} = a + 2 \cdot h = 900\text{mm} + 2 \cdot 360\text{mm} = 1\,620\text{mm}$$

a = kiepahdustuentaväli

h = palkin korkeus

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{254 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}} = 0,59 \quad (6.30)$$

$$k_{crit} = 1, \text{ kun } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \quad (6.34)$$

$$\sigma_{m,d} / (k_{crit} \cdot f_{m,d}) \quad (6.33)$$

$$= 12,2\text{ N/mm}^2 / (1,0 \cdot 19,2\text{ N/mm}^2) = 0,64 \rightarrow \text{Käyttöaste } 64\%$$

Poikittainen puristus:

Tuki 2:

$$k_{c,\perp} = l_{c,90,ef} / l \cdot k_{c,90} = 210\text{mm} / 150\text{mm} \cdot 1,5 = 2,1 \quad (6.4S)$$

$$\sigma_{c,90,d} / (k_{c,\perp} \cdot f_{c,90,d}) \quad (6.3)$$

$$= 3,8\text{ N/mm}^2 / (2,1 \cdot 1,6\text{ N/mm}^2) = 1,13 \rightarrow \text{Käyttöaste } 113\%$$

Tukipintaa täytyy lisätä.

Tuki 1:

$$k_{c,\perp} = l_{c,90,ef} / l \cdot k_{c,90} = 105\text{mm} / 75\text{mm} \cdot 1,5 = 2,1 \quad (6.4S)$$

$$\sigma_{c,90,d} / (k_{c,\perp} \cdot f_{c,90,d}) \quad (6.3)$$

$$= 2,65\text{ N/mm}^2 / (2,1 \cdot 1,6\text{ N/mm}^2) = 0,79 \rightarrow \text{Käyttöaste } 79\%$$

Taipuma

Finnwood 2.3 SR1 (2.4.017)

© Copyright 2012 Metsäliitto Osuuskunta, Metsä Wood
Kattorakenteen kannatinpalkki keskilinja

Panu Karsikas

17.4.2017

MITOITUS:

Mitoitusstandardi: EN 1995-1-1:2004 + A1:2008 + RIL 205-1-2009
Kokonaiskäyttöaste: 90.7 %

MITOITUSPARAMETRI:

Taipumaraja $W_{net,fin}$: L/300

Korotuskerroin, vasen uloke: 2.00

Korotuskerroin, oikea uloke: 2.00

Nurjahdus on estetty molempiin suuntiin (y ja z)

Kiepahdus taivutuksesta M_y (y-askelin suhteen):

Kiepahdustukiväli rakenteen yläpuolella: Lk1 = 600.00 mm

Kiepahdustukiväli rakenteen alapuolella: Lk2 = Päätukien välimatka

Lef1 = Lk1 ja Lef2 = Lk2 (Esim. kuormitus neutraaliksi/kipahdustukien kautta)

HUOM! Lk1:ta käytetään, kun $M_y > 0$ ja Lk2:ta, kun $M_y < 0$

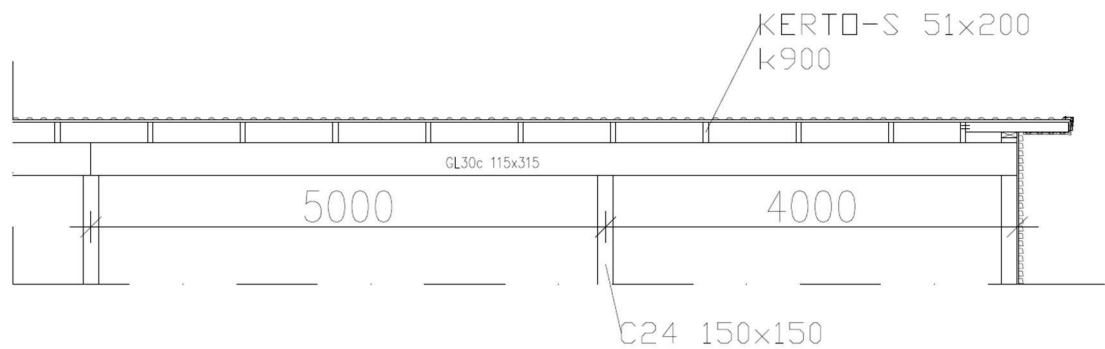
MITOITUKSEN ÄÄRIARVOT:

Tarkastelu:	Mitoitusarvo:	Raja-arvo:	Käyttöaste %:	Sijainti x:	
Leikkaus (z):	42.58 kN	78.40 kN	54.3 %	5000 mm	Yhdistelmä 2/1, Keskipitkä
Taivutus (M_y):	36.95 kNm	63.65 kNm	58.1 %	5000 mm	Yhdistelmä 2/1, Keskipitkä
(ilman kiepahdusta):	36.95 kNm	63.65 kNm	58.1 %	5000 mm	Yhdistelmä 2/1, Keskipitkä
Tukipaine, tuki 1:	27.80 kN	44.10 kN	63.0 %	0 mm	Yhdistelmä 2/1, Keskipitkä
Tukipainekerroin = 2.10					
Tukipaine, tuki 2:	79.97 kN	88.20 kN	90.7 %	5000 mm	Yhdistelmä 2/1, Keskipitkä
Tukipainekerroin = 2.10					
Tukipaine, tuki 3:	18.92 kN	75.60 kN	25.0 %	9000 mm	Yhdistelmä 2/1, Keskipitkä
Tukipainekerroin = 1.80					
jänneväli 1, W_{fin} :	10.3 mm	-- mm	0.0 %	2250 mm	Yhdistelmä 13/1
jänneväli 1, $W_{net,fin}$:	10.3 mm	16.7 mm	62.1 %	2250 mm	Yhdistelmä 13/1
jänneväli 2, W_{fin} :	2.9 mm	-- mm	0.0 %	7425 mm	Yhdistelmä 13/1
jänneväli 2, $W_{net,fin}$:	2.9 mm	13.3 mm	21.6 %	7425 mm	Yhdistelmä 13/1

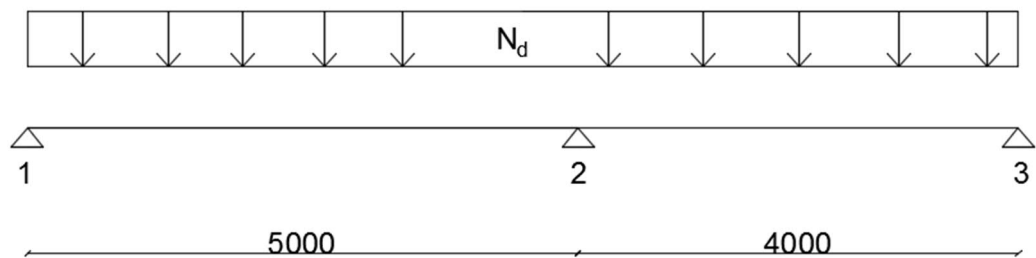
Tulosteesta huomioidaan ainoastaan taipumamitoitus, koska laskentaohjelma käyttää lähteenään vanhentunutta Puurakenteiden suunnitteluohjetta RIL 205-1-2009. Taipumamitoitukseen suunnitteluohjeen päivitykset eivät vaikuta.

Liite 9. Etulinjan kannatinpalkin rakennelaskelmat

E—E



Palkki GL30c 115x315



Kuormat

Omapaino:

$$g_k = (23,75\text{m}^2 \cdot 0,5\text{kN/m}^2 + 0,052\text{kN/m} \cdot 20\text{m}) / 9\text{m} = 1,44 \text{ kN/m}$$

Lumikuorma:

$$q_{\text{lumi,k}} = 23,75\text{m}^2 \cdot 2\text{kN/m}^2 / 9\text{m} = 5,3 \text{ kN/m}$$

Kuormitusyhdistelmä

$$P_d = K_{fi} \cdot (1,15 \cdot g_k + 1,5 \cdot q_k) \quad (2.1.1S)$$

$$= 0,9 \cdot (1,15 \cdot 1,44\text{kN/m} + 1,5 \cdot 5,3\text{kN/m}) = 8,6 \text{ kN/m}$$

Rasitukset

Momentti:

$$M_d = 23,2 \text{ kNm}$$

Leikkaus:

$$V_d = 26,7 \text{ kN}$$

Tukireaktiot:

Tukireaktiot laskettu Finnwood 2.3 SR1 ohjelmalla

1. 17,44 kN
2. 50,18 kN
3. 11,87 kN

TUKIREAKTIOT:

Tuki:	MRTmax:	MRTmin:	KRTmax:	KRTmin:
1:	17.44 kN	2.88 kN	13.67 kN	3.20 kN
2:	50.18 kN	8.29 kN	39.32 kN	9.21 kN
3:	11.87 kN	1.96 kN	9.30 kN	2.18 kN

- KRT tukireaktiot ovat vain vertailua varten

Sisäiset jännitykset

Taivutusjännitys:

$$\sigma_{m,d} = 6 \cdot M_d / (b \cdot h^2) = 6 \cdot 23\,200\,000 \text{ Nmm} / (115\text{mm} \cdot (315\text{mm})^2) = 12,3 \text{ N/mm}^2$$

Leikkausjännitys:

$$\tau_d = 3/2 \cdot V_d / (b_{ef} \cdot h) = 3/2 \cdot 26\,700\text{N} / (115\text{mm} \cdot 315\text{mm}) = 1,1 \text{ N/mm}^2$$

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b = 1,0 \cdot 140\text{mm} = 140\text{mm} \quad (6.13a)$$

Poikittainen puristus:

$$\text{Tuki 1: } \sigma_{c,90,d} = N_d / (b \cdot h) = 17\,440\text{N} / (115\text{mm} \cdot 75\text{mm}) = 2,0 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Tuki 2: } \sigma_{c,90,d} = N_d / (b \cdot h) = 50\,200\text{N} / (115\text{mm} \cdot 150\text{mm}) = 2,9 \text{ N/mm}^2$$

Kestävyydet

$$k_{mod} = 0,8 \quad (\text{taulukko 3.1})$$

$$\gamma_M = 1,25 \quad (\text{taulukko 2.10S})$$

$$f_{m,k} = 30 \text{ N/mm}^2 \quad f_{m,d} = 0,8 \cdot 30 \text{ N/mm}^2 / 1,25 = 19,2 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,k} = 3,5 \text{ N/mm}^2 \quad f_{v,d} = 0,8 \cdot 3,5 \text{ N/mm}^2 / 1,25 = 2,24 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,90,k} = 2,5 \text{ N/mm}^2 \quad f_{c,90,d} = 0,8 \cdot 2,5 \text{ N/mm}^2 / 1,25 = 1,6 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{\text{mean}} = 13\,000 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{0,05} = 10\,800 \text{ N/mm}^2$$

(taulukko 3.4S)

Mitoitusehdot

Taivutus:

$$k_m \cdot \sigma_{m,d} / f_{m,d} \quad (6.11)$$

$$= 0,7 \cdot 12,3 \text{ N/mm}^2 / 19,2 \text{ N/mm}^2 = 0,45 \rightarrow \text{Käyttöaste } 45\%$$

$$k_m = 0,7$$

Leikkaus:

$$\tau_d / f_{v,d} = 1,1 \text{ N/mm}^2 / 2,24 \text{ N/mm}^2 = 0,49 \rightarrow \text{Käyttöaste } 49\%$$

Kiepahdus:

$$\sigma_{m,\text{crit}} = c \cdot b^2 / (h \cdot l_{\text{ef}}) \cdot E_{0,05} \quad (6.31.1S)$$

$$= 0,70 \cdot (115\text{mm})^2 / (315\text{mm} \cdot 1\,530\text{mm}) \cdot 10\,800\text{N/mm}^2 = 207,5 \text{ N/mm}^2$$

$$l_{\text{ef}} = a + 2 \cdot h = 900\text{mm} + 2 \cdot 315\text{mm} = 1\,530\text{mm}$$

a = kiepahdustuentaväli

h = palkin korkeus

$$\lambda_{\text{rel},m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,\text{crit}}}} = \sqrt{\frac{30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{207,5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}} = 0,38 \quad (6.30)$$

$$k_{\text{crit}} = 1, \text{ kun } \lambda_{\text{rel},m} \leq 0,75 \quad (6.34)$$

$$\sigma_{m,d} / (k_{\text{crit}} \cdot f_{m,d}) \quad (6.33)$$

$$= 12,3 \text{ N/mm}^2 / (1,0 \cdot 19,2 \text{ N/mm}^2) = 0,64 \rightarrow \text{Käyttöaste } 64\%$$

Poikittainen puristus:

Tuki 2:

$$k_{c,\perp} = l_{c,90,ef} / l \cdot k_{c,90} = 210\text{mm} / 150\text{mm} \cdot 1,5 = 2,1 \quad (6.4S)$$

$$\sigma_{c,90,d} / (k_{c,\perp} \cdot f_{c,90,d}) \quad (6.3)$$

$$= 2,9 \text{ N/mm}^2 / (2,1 \cdot 1,6 \text{ N/mm}^2) = 0,86 \rightarrow \text{Käyttöaste } 86\%$$

Tukipintaa täytyy lisätä.

Tuki 1:

$$k_{c,\perp} = l_{c,90,ef} / l \cdot k_{c,90} = 105\text{mm} / 75\text{mm} \cdot 1,5 = 2,1 \quad (6.4S)$$

$$\sigma_{c,90,d} / (k_{c,\perp} \cdot f_{c,90,d}) \quad (6.3)$$

$$= 2,0 \text{ N/mm}^2 / (2,1 \cdot 1,6 \text{ N/mm}^2) = 0,60 \rightarrow \text{Käyttöaste } 60\%$$

Taipuma

Finnwood 2.3 SR1 (2.4.017)

© Copyright 2012 Metsäliitto Osuuskunta, Metsä Wood

?
17.4.2017

MITOITUS:

Mitoitusstandardi: EN 1995-1-1:2004 + A1:2008 + RIL 205-1:2009
Kokonaiskäyttöaste: 69,3 %

MITOITUSPARAMETRIIT:

Taipumaraja $W_{net,fin}$: L/300
Korotuskerroin, vasen uloke: 2,00
Korotuskerroin, oikea uloke: 2,00
Nurjahdus on estetty molempiin suuntiin (y ja z)
Kiepahdus taivutuksesta M_y (y-askelin suhteen):
Kiepahdustukiväli rakenteen yläpuolella: Lk1 = 600,00 mm
Kiepahdustukiväli rakenteen alapuolella: Lk2 = Päätukien välimatka
Lef1 = Lk1 ja Lef2 = Lk2 [Esim. kuormitus neutraal akselilla/kiepahdustukien kautta]
HUOM! Lk1:ta käytetään, kun $M_y > 0$ ja Lk2:ta, kun $M_y < 0$

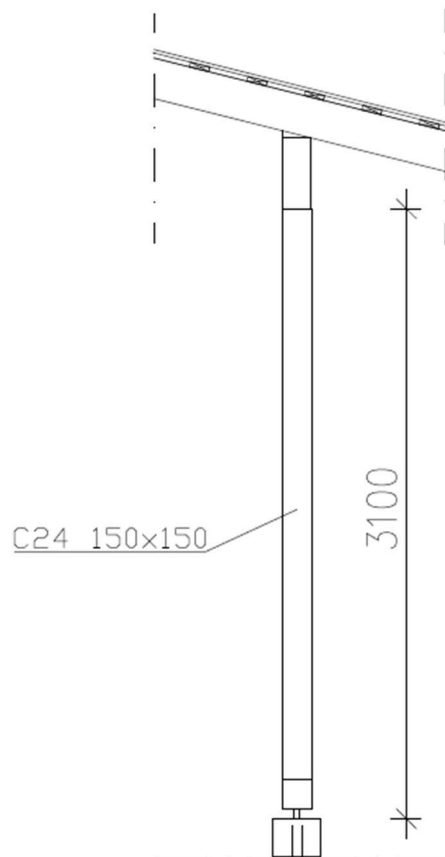
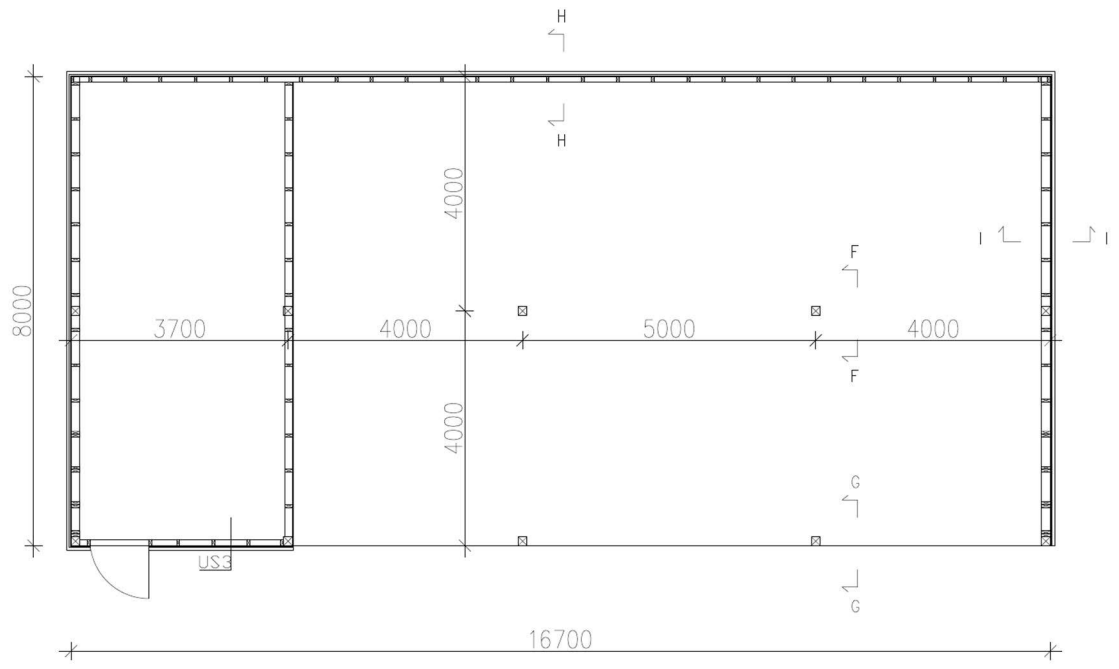
MITOITUKSEN ÄÄRIARVOT:

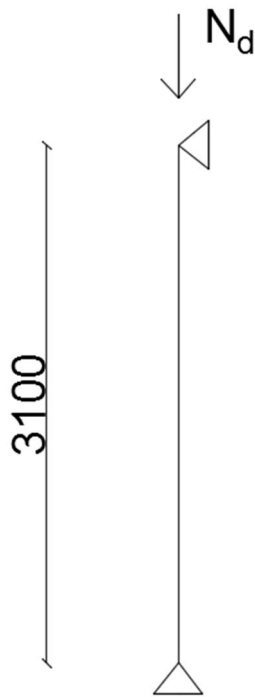
Tarkastelu:	Mitoitusarvo:	Raja-arvo:	Käyttöaste %:	Sijainti x:	
Leikkaus (z):	26.72 kN	56.35 kN	47.4 %	5000 mm	Yhdistelmä 2/1, Keskipitkä
Taivutus (M_y):	23.19 kNm	40.57 kNm	57.2 %	5000 mm	Yhdistelmä 2/1, Keskipitkä
(ilman kiepahdusta):	23.19 kNm	40.57 kNm	57.2 %	5000 mm	Yhdistelmä 2/1, Keskipitkä
Tukipaine, tuki 1:	17.44 kN	36.23 kN	48.2 %	0 mm	Yhdistelmä 2/1, Keskipitkä
Tukipainekerroin = 2.10					
Tukipaine, tuki 2:	50.18 kN	72.45 kN	69.3 %	5000 mm	Yhdistelmä 2/1, Keskipitkä
Tukipainekerroin = 2.10					
Tukipaine, tuki 3:	11.87 kN	62.10 kN	19.1 %	9000 mm	Yhdistelmä 2/1, Keskipitkä
Tukipainekerroin = 1.80					
jänneväli 1, W_{fin} :	11.3 mm	-- mm	0.0 %	2250 mm	Yhdistelmä 13/1
jänneväli 1, $W_{net,fin}$:	11.3 mm	16.7 mm	67.7 %	2250 mm	Yhdistelmä 13/1
jänneväli 2, W_{fin} :	3.0 mm	-- mm	0.0 %	7425 mm	Yhdistelmä 13/1
jänneväli 2, $W_{net,fin}$:	3.0 mm	13.3 mm	22.2 %	7425 mm	Yhdistelmä 13/1

Tulosteesta huomioidaan ainoastaan taipumamitoitus, koska laskentaohjelma käyttää lähteenään vanhentunutta Puurakenteiden suunnitteluohjetta RIL 205-1-2009.

Taipumamitoitukseen suunnitteluohjeen päivitykset eivät vaikuta.

Liite 10. Keskilinjan pilarin rakennelaskemat





Kuormat

Pilariin kohdistuva kuorma saadaan kattorakenteen kannatinpalkin keskituen tukireaktiosta.

$$N_d = 80 \text{ kN}$$

Sisäiset jännitykset

$$\sigma_{c.0.d} = N_d / A = 80\,000 \text{ N} / (150 \text{ mm})^2 = 3,56 \text{ N/mm}^2$$

Kestävyydet

$$k_{\text{mod}} = 0,8 \quad (\text{taulukko 3.1})$$

$$\gamma_M = 1,3 \quad (\text{taulukko 2.10-FI})$$

$$f_{c.0.k} = 21 \text{ N/mm}^2 \quad f_{c.0.d} = 0,8 \cdot 21 \text{ N/mm}^2 / 1,3 = 12,9 \text{ N/mm}^2$$

(taulukko 3.3S)

Nurjahduskestävyys

$$\lambda_y = L_{c.z} / i_y = 3\,100 / 43,3 = 71,6 \quad (6.20.2S)$$

$$i_y = h / \sqrt{12} = 150 / \sqrt{12} = 43,3$$

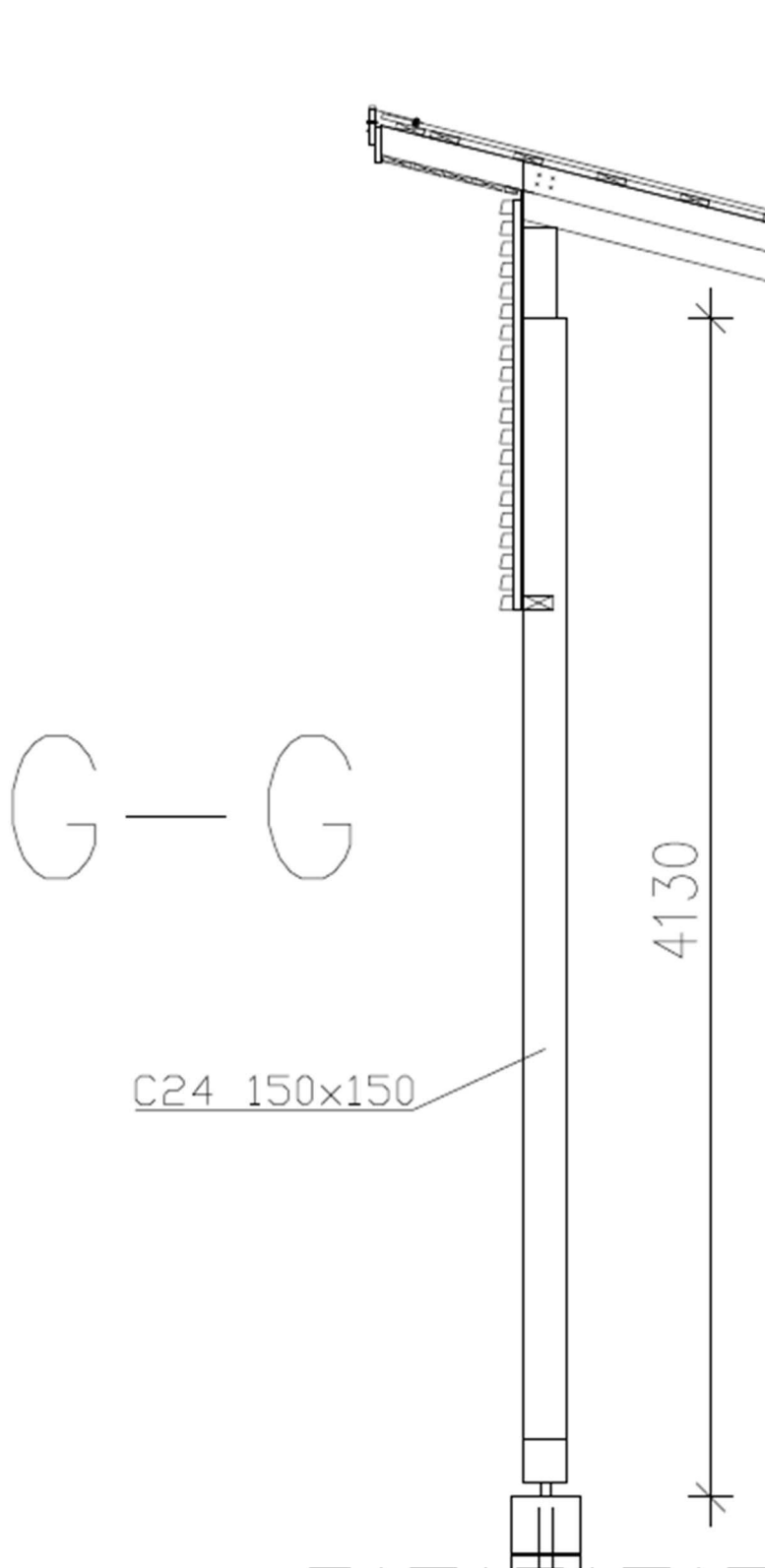
$$k_c = 0,49 \quad (\text{kuva 6.9S})$$

Mitoitusehto:

$$\sigma_{c.0.d} / (k_c \cdot f_{c.0.d}) \quad (6.23)$$

$$= 3,56 \text{ N/mm}^2 / (0,49 \cdot 12,9 \text{ N/mm}^2) = 0,56 \rightarrow \text{Käyttöaste } 56\%$$

Liite 11. Etulinjan pilarin rakennelaskelmat





Kuormat

Pilariin kohdistuva kuorma saadaan kattorakenteen kannatinpalkin keskituen tukireaktiosta.

$$N_d = 50,2 \text{ kN}$$

Sisäiset jännitykset

$$\sigma_{c.0.d} = N_d / A = 50\,200 \text{ N} / (150 \text{ mm})^2 = 2,23 \text{ N/mm}^2$$

Kestävyydet

$$k_{\text{mod}} = 0,8 \quad (\text{taulukko 3.1})$$

$$\gamma_M = 1,3 \quad (\text{taulukko 2.10-FI})$$

$$f_{c.0.k} = 21 \text{ N/mm}^2 \quad f_{c.0.d} = 0,8 \cdot 21 \text{ N/mm}^2 / 1,3 = 12,9 \text{ N/mm}^2$$

(taulukko 3.3S)

Nurjahduskestävyys

$$\lambda_y = L_{c.z} / i_y = 4\,130 / 43,3 = 71,6 \quad (6.20.2S)$$

$$i_y = h / \sqrt{12} = 150 / \sqrt{12} = 43,3$$

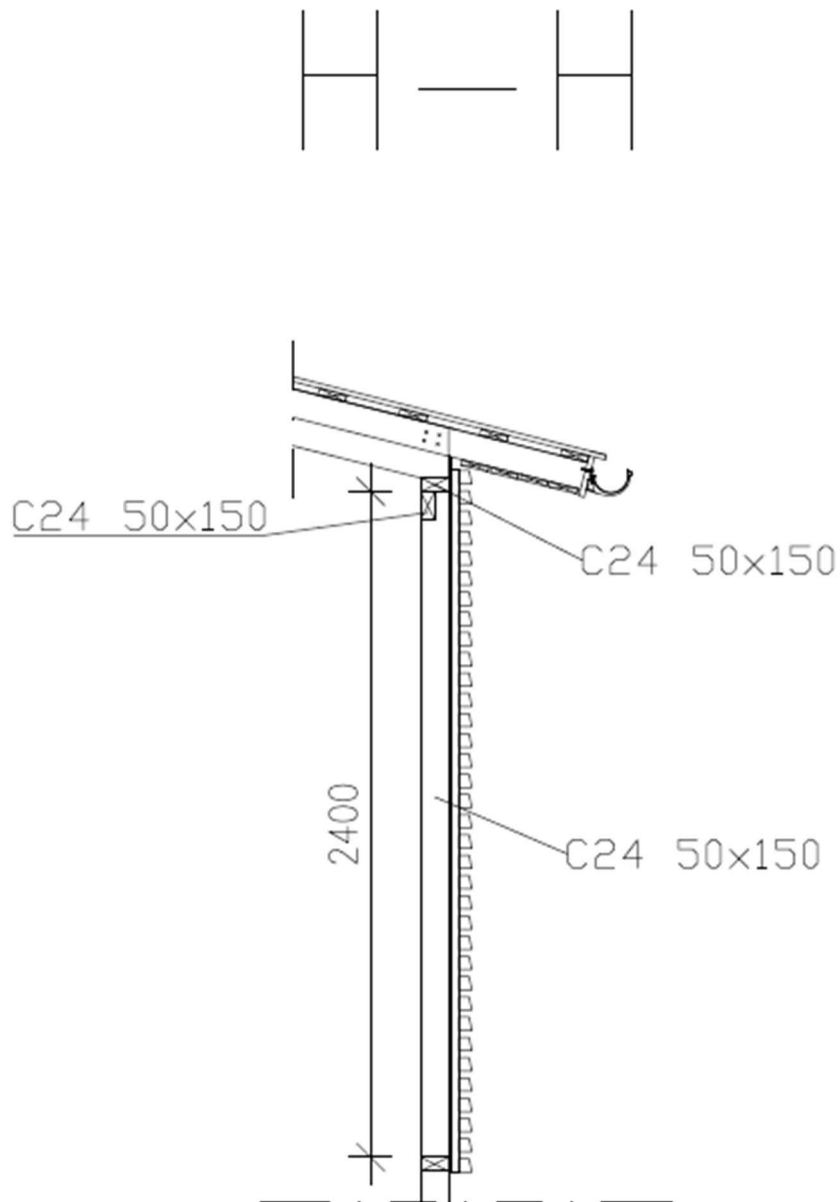
$$k_c = 0,33 \quad (\text{kuva 6.9S})$$

Mitoitusehto:

$$\sigma_{c.0.d} / (k_c \cdot f_{c.0.d}) \quad (6.23)$$

$$= 2,23 \text{ N/mm}^2 / (0,33 \cdot 12,9 \text{ N/mm}^2) = 0,52 \rightarrow \text{Käyttöaste } 52\%$$

Liite 12. Takaosan puurankaseinän rakennelaskelmat



Takaseinän puurunko suunnitellaan sahatavarasta 50x100 C24.

Kehäpalkki

Kuormat

Omapaino:

$$G_k = 2,25\text{m}^2 \cdot 0,5\text{kN/m}^2 + 2\text{m} \cdot 0,052\text{kN/m} = 1,23 \text{ kN}$$

Lumikuorma:

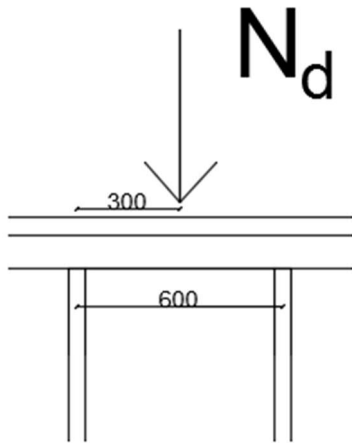
$$Q_{\text{lumi,k}} = 2,25\text{m}^2 \cdot 2\text{kN/m}^2 = 4,5 \text{ kN}$$

Kuormitusyhdistelmä

$$N_d = K_{fi} \cdot (1,15 \cdot g_k + 1,5 \cdot q_k) \quad (2.1.1S)$$

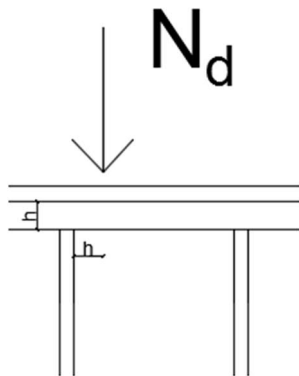
$$= 0,9 \cdot (1,15 \cdot 1,23\text{kN} + 1,5 \cdot 4,5\text{kN}) = 7,35 \text{ kN}$$

Rasitukset



Momentti:

$$M_d = N_d \cdot L / 4 = 7,35 \text{ kN} \cdot 0,6\text{m} / 4 = 1,1 \text{ kNm}$$



Leikkaus:

$$V_d = 7,35 \text{ kN} \cdot 0,5\text{m} / 0,6\text{m} = 6,1 \text{ kN}$$

Sisäiset jännitykset

Taivutusjännitys:

$$\sigma_{m,d} = 6 \cdot M_d / (b \cdot h^2) = 6 \cdot 110\,000\text{Nmm} / (50\text{mm} \cdot (100\text{mm})^2) = 13,2 \text{ N/mm}^2$$

Leikkausjännitys:

$$\tau_d = 3/2 \cdot V_d / (b_{ef} \cdot h) = 3/2 \cdot 6\,100\text{N} / (50\text{mm} \cdot 100\text{mm}) = 1,83\text{ N/mm}^2$$

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b = 1,0 \cdot 50\text{mm} = 50\text{mm} \quad (6.13a)$$

Kestävyydet

$$k_{mod} = 0,8 \quad (\text{taulukko 3.1})$$

$$\gamma_M = 1,3 \quad (\text{taulukko 2.10-FI})$$

$$f_{m,k} = 24\text{ N/mm}^2 \quad f_{m,d} = 0,8 \cdot 24\text{ N/mm}^2 / 1,3 = 14,8\text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,k} = 4,0\text{ N/mm}^2 \quad f_{v,d} = 0,8 \cdot 4,0\text{ N/mm}^2 / 1,3 = 2,5\text{ N/mm}^2$$

(taulukko 3.3S)

Mitoitusehdot

Taivutus:

$$k_m \cdot \sigma_{m,d} / f_{m,d} \quad (6.11)$$

$$= 0,7 \cdot 13,2\text{ N/mm}^2 / 14,8\text{ N/mm}^2 = 0,62 \rightarrow \text{Käyttöaste } 62\%$$

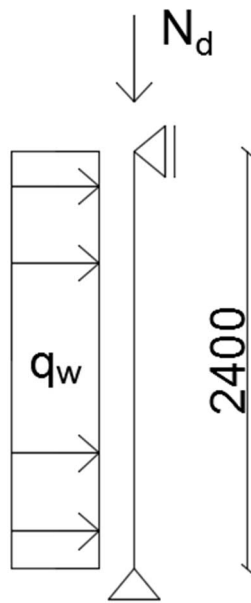
$$k_m = 0,7$$

Leikkaus:

$$\tau_d / f_{v,d} \quad (6.13)$$

$$= 1,83\text{ N/mm}^2 / 2,5\text{ N/mm}^2 = 0,73 \rightarrow \text{Käyttöaste } 73\%$$

Runkotolppa



Kuormat

Omapaino:

$$G_k = 1,26 \text{ kN}$$

Lumikuorma:

$$Q_{\text{lumi,k}} = 4,5 \text{ kN}$$

Tuulikuorma:

$$q_{p0}(z) = 0,37 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{w,k} = C_{p,\text{net}} \cdot q_{p0}(z) = 1,35 \cdot 0,37 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,6 \text{ m} = 0,3 \text{ kN/m}$$

Kuormitusyhdistelmät

$$\text{KY1: } N_d = K_{fi} \cdot 1,35 \cdot G_k = 1,53 \text{ kN}$$

$$\text{KY2: } N_d + q_{w,d} = K_{fi} \cdot (1,15 \cdot G_k + 1,5 \cdot Q_k) = 7,4 \text{ kN}$$

$$\text{KY3: } N_d + q_{w,d} = K_{fi} \cdot (1,15 \cdot G_k + 1,05 \cdot Q_k) = 5,6 \text{ kN}$$

$$\text{KY4: } N_d + q_{w,d} = K_{fi} \cdot (1,15 \cdot G_k + 1,5 \cdot q_{w,k} + 1,05 \cdot Q_k) = 5,6 \text{ kN} + 0,28 \text{ kN/m}$$

$$\text{KY5: } N_d + q_{w,d} = K_{fi} \cdot (1,15 \cdot G_k + 1,5 \cdot Q_k + 0,9 \cdot q_{w,k}) = 7,4 \text{ kN} + 0,24 \text{ kN/m}$$

$$\text{KY6: } N_d + q_{w,d} = K_{fi} \cdot (1,15 \cdot G_k + 1,05 \cdot Q_k + 0,9 \cdot q_{w,k}) = 5,6 \text{ kN} + 0,24 \text{ kN/m}$$

(2.1.1S)

Kuormitusyhdistelmistä KY4 ja KY5 ovat vaarallisimmat tapaukset.

Kestävydet

$$k_{\text{mod}} = 1,1 \quad (\text{taulukko 3.1})$$

$$\gamma_M = 1,3 \quad (\text{taulukko 2.10-FI})$$

$$f_{m,k} = 24 \text{ N/mm}^2 \quad f_{m,d} = 1,1 \cdot 24 \text{ N/mm}^2 / 1,3 = 20,3 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,k} = 4,0 \text{ N/mm}^2 \quad f_{v,d} = 1,1 \cdot 4 \text{ N/mm}^2 / 1,3 = 3,4 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,90,k} = 2,5 \text{ N/mm}^2 \quad f_{c,90,d} = 1,1 \cdot 2,5 \text{ N/mm}^2 / 1,3 = 2,11 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,0,k} = 21 \text{ N/mm}^2 \quad f_{c,0,d} = 1,1 \cdot 21 \text{ N/mm}^2 / 1,3 = 17,8 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{\text{mean}} = 11\,000 \text{ N/mm}^2$$

(taulukko 3.3S)

KY4

Rasitukset

Momentti:

$$M_d = P_d \cdot L^2 / 8 = 0,28 \text{ kN/m} \cdot (2,4 \text{ m})^2 / 8 = 0,2 \text{ kNm}$$

Sisäiset jännitykset

Taivutusjännitys:

$$\sigma_{m,d} = 6 \cdot M_d / (b \cdot h^2) = 6 \cdot 200\,000 \text{ Nmm} / (50 \text{ mm} \cdot (100 \text{ mm})^2) = 2,4 \text{ N/mm}^2$$

Puristusjännitys:

$$\sigma_{c,0,d} = N_d / A = 5\,600 \text{ N} / (50 \text{ mm} \cdot 100 \text{ mm}) = 1,12 \text{ N/mm}^2$$

Nurjahduskestävyys

$$\lambda_y = L_{c,z} / i_y = 2\,400 / 28,9 = 83 \quad (6.20.2S)$$

$$i_y = h / \sqrt{12} = 100 / \sqrt{12} = 28,9$$

$$k_c = 0,40 \quad (\text{kuva 6.9S})$$

Mitoitusehdot

Taivutus + nurjahdus:

$$\sigma_{m,d} / f_{m,d} + \sigma_{c,0,d} / (k_c \cdot f_{c,0,d}) \quad (6.23)$$

$$= 2,4 \text{ N/mm}^2 / 20,3 \text{ N/mm}^2 + 1,12 \text{ N/mm}^2 / (0,40 \cdot 17,8 \text{ N/mm}^2) = 0,28 \rightarrow \text{Käyttöaste } 28\%$$

KY5

Rasitukset

Momentti:

$$M_d = P_d \cdot L^2 / 8 = 0,24 \text{ kN/m} \cdot (2,4 \text{ m})^2 / 8 = 0,17 \text{ kNm}$$

Sisäiset jännitykset

Taivutusjännitys:

$$\sigma_{m,d} = 6 \cdot M_d / (b \cdot h^2) = 6 \cdot 170 \text{ 000 Nmm} / (50 \text{ mm} \cdot (100 \text{ mm})^2) = 2,04 \text{ N/mm}^2$$

Puristusjännitys:

$$\sigma_{c,0,d} = N_d / A = 7 \text{ 400 N} / (50 \text{ mm} \cdot 100 \text{ mm}) = 1,48 \text{ N/mm}^2$$

Nurjahduskestävyys

$$\lambda_y = L_{c,z} / i_y = 2 \text{ 400} / 28,9 = 83 \quad (6.20.2S)$$

$$i_y = h / \sqrt{12} = 100 / \sqrt{12} = 28,9$$

$$k_c = 0,40 \quad (\text{kuva 6.9S})$$

Mitoitusehdot

Taivutus + nurjahdus:

$$\sigma_{m,d} / f_{m,d} + \sigma_{c,0,d} / (k_c \cdot f_{c,0,d}) \quad (6.23)$$

$$= 2,04 \text{ N/mm}^2 / 20,3 \text{ N/mm}^2 + 1,48 \text{ N/mm}^2 / (0,40 \cdot 17,8 \text{ N/mm}^2) = 0,31 \rightarrow \text{Käyttöaste } 31\%$$

Tukipainekestävyys

$$\sigma_{c,90,d} = 7\,500\text{N} / (50\text{mm} \cdot 100\text{mm}) = 1,5\text{ N/mm}^2$$

$$k_{c,\perp} = l_{c,90,ef} / l \cdot k_{c,90} = 110\text{mm} / 50\text{mm} \cdot 1,25 = 2,75 \quad (6.4S)$$

$$\sigma_{c,90,d} / (k_{c,\perp} \cdot f_{c,90,d}) \quad (6.3)$$

$$= 1,5\text{ N/mm}^2 / (2,75 \cdot 2,11\text{ N/mm}^2) = 0,26 \rightarrow \text{Käyttöaste } 26\%$$

Taipuma

Jäyhyysmomentti:

$$I_y = b \cdot h^3 / 12 = 50\text{mm} \cdot (100\text{mm})^3 / 12 = 41,7 \cdot 10^5\text{ mm}^4$$

Hetkellinen taipuma muuttuvista kuormista:

$$w_{inst,Q} = 5 \cdot q_k \cdot L^4 / (384 \cdot E_{mean} \cdot I_y)$$

$$= 5 \cdot 0,3 \cdot 2\,400^4 / (384 \cdot 11\,000 \cdot 41,7 \cdot 10^5) = 2,8\text{ mm}$$

Hetkellinen taipuma:

$$w_{inst} = w_{inst,G} + w_{inst,Q} = 0 + 2,8\text{mm} = 2,8\text{ mm} \quad (2.2)$$

Mitoitusehto:

$$w_{inst} \leq L / 400 = 2\,400\text{mm} / 400 = 6\text{mm} > 2,8\text{mm} \quad (\text{taulukko 7.2-FI})$$

Lopputaipuma:

$$k_{def} = 0,8$$

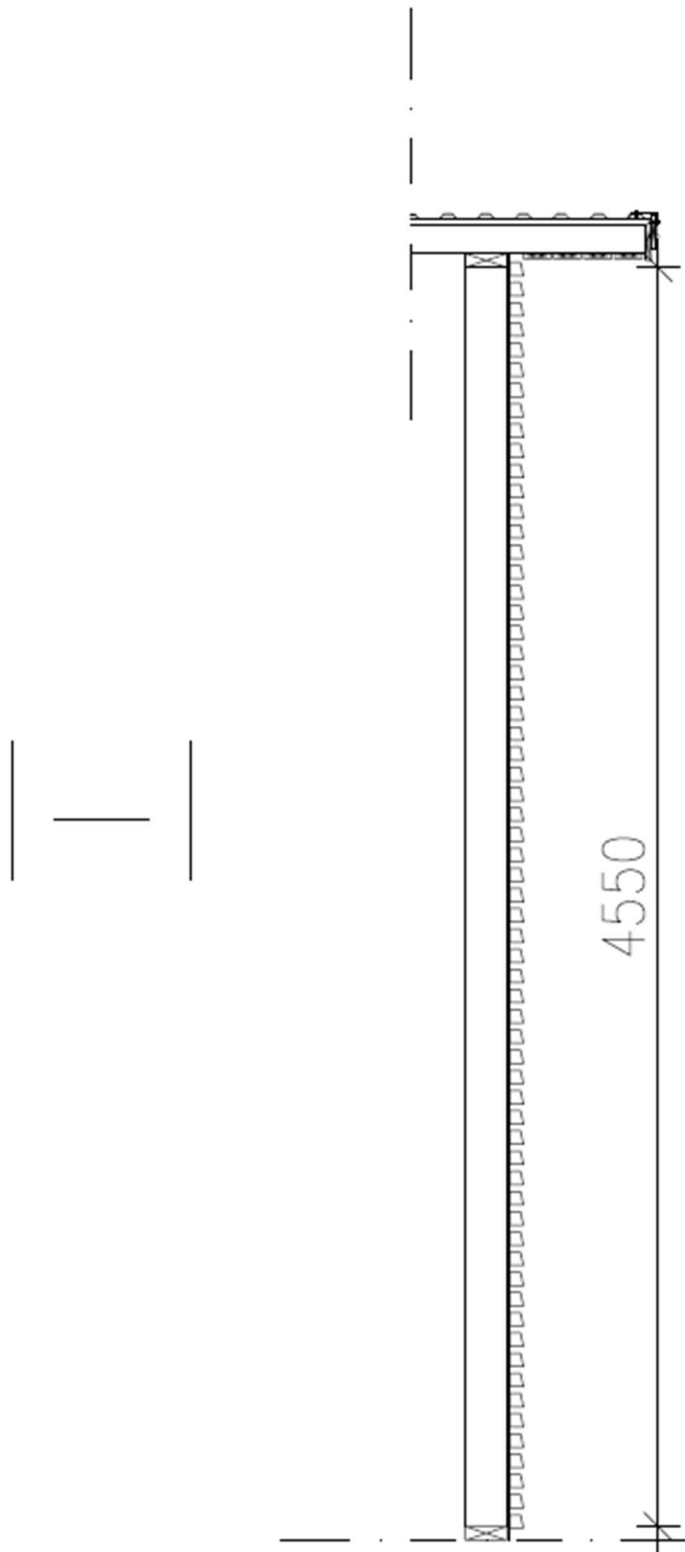
$$w_{net,fin} = ((1 + k_{def}) \cdot w_{inst,G} + (1 + 0,3 \cdot k_{def}) \cdot w_{inst,Q}) \quad (\text{RIL 205-1-2009 liite B, 2.8})$$

$$= (1 + 0,3 \cdot 0,8) \cdot 2,8\text{mm} = 3,5\text{mm}$$

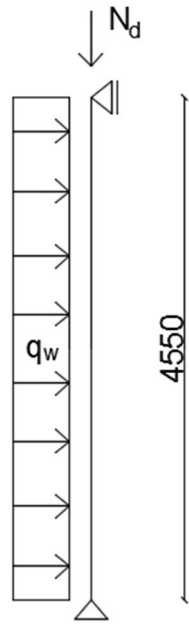
Mitoitusehto:

$$w_{net,fin} \leq L / 300 = 2\,400\text{mm} / 300 = 8\text{mm} > 3,5\text{mm} \quad (\text{taulukko 7.2-FI})$$

Liite 13. Päätseinän runkotolpan rakennelaskelmat



Päätseinän runkotolppa suunnitellaan sahatavarasta 50x150 C24.



Kuormat

Omapaino:

$$G_k = 0,45\text{m}^2 \cdot 0,5\text{kN/m}^2 = 0,23 \text{ kN}$$

Lumikuorma:

$$Q_{\text{lumi,k}} = 0,45\text{m}^2 \cdot 2\text{kN/m}^2 = 0,9 \text{ kN}$$

Tuulikuorma:

$$q_{p0}(z) = 0,37 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{w,k} = C_{p,\text{net}} \cdot q_{p0}(z) = 2,25 \cdot 0,37\text{kN/m}^2 \cdot 0,6\text{m} = 0,5 \text{ kN/m}$$

Kuormitusyhdistelmät

$$\text{KY4: } N_d + q_{w,d} = K_{fi} \cdot (1,15 \cdot G_k + 1,5 \cdot q_{w,k} + 1,05 \cdot Q_k) = 1,1 \text{ kN} + 0,68 \text{ kN/m}$$

$$\text{KY5: } N_d + q_{w,d} = K_{fi} \cdot (1,15 \cdot G_k + 1,5 \cdot Q_k + 0,9 \cdot q_{w,k}) = 1,45 \text{ kN} + 0,41 \text{ kN/m}$$

(2.1.1S)

Kestävyudet

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

(taulukko 3.1)

$$\gamma_M = 1,3$$

(taulukko 2.10-FI)

$$f_{m,k} = 24 \text{ N/mm}^2 \quad f_{m,d} = 1,1 \cdot 24 \text{ N/mm}^2 / 1,3 = 20,3 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,k} = 4,0 \text{ N/mm}^2 \quad f_{v,d} = 1,1 \cdot 4 \text{ N/mm}^2 / 1,3 = 3,4 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,90,k} = 2,5 \text{ N/mm}^2 \quad f_{c,90,d} = 1,1 \cdot 2,5 \text{ N/mm}^2 / 1,3 = 2,11 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,0,k} = 21 \text{ N/mm}^2 \quad f_{c,0,d} = 1,1 \cdot 21 \text{ N/mm}^2 / 1,3 = 17,8 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{\text{mean}} = 11\,000 \text{ N/mm}^2$$

(taulukko 3.3S)

KY4

Rasitukset

Momentti:

$$M_d = P_d \cdot L^2 / 8 = 0,68 \text{ kN/m} \cdot (4,55 \text{ m})^2 / 8 = 1,8 \text{ kNm}$$

Sisäiset jännitykset

Taivutusjännitys:

$$\sigma_{m,d} = 6 \cdot M_d / (b \cdot h^2) = 6 \cdot 1\,800\,000 \text{ Nmm} / (50 \text{ mm} \cdot (150 \text{ mm})^2) = 9,6 \text{ N/mm}^2$$

Puristusjännitys:

$$\sigma_{c,0,d} = N_d / A = 1\,100 \text{ N} / (50 \text{ mm} \cdot 150 \text{ mm}) = 0,15 \text{ N/mm}^2$$

Nurjahduskestävyys

$$\lambda_y = L_{c,z} / i_y = 4\,550 / 43,3 = 105,1 \quad (6.20.2S)$$

$$i_y = h / \sqrt{12} = 150 / \sqrt{12} = 43,3$$

$$k_c = 0,275 \quad (\text{kuva 6.9S})$$

Mitoitusehdot

Taivutus + nurjahdus:

$$\sigma_{m,d} / f_{m,d} + \sigma_{c,0,d} / (k_c \cdot f_{c,0,d}) \quad (6.23)$$

$$= 9,6 \text{ N/mm}^2 / 20,3 \text{ N/mm}^2 + 0,15 \text{ N/mm}^2 / (0,275 \cdot 17,8 \text{ N/mm}^2) = 0,50 \rightarrow \text{Käyttöaste } 50\%$$

KY5

Rasitukset

Momentti:

$$M_d = P_d \cdot L^2 / 8 = 0,41 \text{ kN/m} \cdot (4,55 \text{ m})^2 / 8 = 1,1 \text{ kNm}$$

Sisäiset jännitykset

Taivutusjännitys:

$$\sigma_{m,d} = 6 \cdot M_d / (b \cdot h^2) = 6 \cdot 1\,100\,000 \text{ Nmm} / (50 \text{ mm} \cdot (150 \text{ mm})^2) = 5,87 \text{ N/mm}^2$$

Puristusjännitys:

$$\sigma_{c,0,d} = N_d / A = 1\,450 \text{ N} / (50 \text{ mm} \cdot 150 \text{ mm}) = 0,19 \text{ N/mm}^2$$

Nurjahduskestävyys

$$\lambda_y = L_{c,z} / i_y = 4\,550 / 43,3 = 105,1 \quad (6.20.2S)$$

$$i_y = h / \sqrt{12} = 150 / \sqrt{12} = 43,3$$

$$k_c = 0,275 \quad (\text{kuva 6.9S})$$

Mitoitusehdot

Taivutus + nurjahdus:

$$\sigma_{m,d} / f_{m,d} + \sigma_{c,0,d} / (k_c \cdot f_{c,0,d}) \quad (6.23)$$

$$= 5,87 \text{ N/mm}^2 / 20,3 \text{ N/mm}^2 + 0,19 \text{ N/mm}^2 / (0,275 \cdot 17,8 \text{ N/mm}^2) = 0,33 \rightarrow \text{Käyttöaste } 33\%$$

Tukipainekestävyys

$$\sigma_{c,90,d} = 1450 \text{ N} / (50 \text{ mm} \cdot 150 \text{ mm}) = 0,19 \text{ N/mm}^2$$

$$k_{c,\perp} = l_{c,90,ef} / l \cdot k_{c,90} = 110 \text{ mm} / 50 \text{ mm} \cdot 1,25 = 2,75 \quad (6.4S)$$

$$\sigma_{c,90,d} / (k_{c,\perp} \cdot f_{c,90,d}) \quad (6.3)$$

$$= 0,19 \text{ N/mm}^2 / (2,75 \cdot 2,11 \text{ N/mm}^2) = 0,03 \rightarrow \text{Käyttöaste } 3\%$$

Taipuma

Jäyhyysmomentti:

$$I_y = b \cdot h^3 / 12 = 50\text{mm} \cdot (150\text{mm})^3 / 12 = 14,1 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

Hetkellinen taipuma muuttuvista kuormista:

$$\begin{aligned} W_{\text{inst.Q}} &= 5 \cdot q_k \cdot L^4 / (384 \cdot E_{\text{mean}} \cdot I_y) \\ &= 5 \cdot 0,5 \cdot 4\,550^4 / (384 \cdot 11\,000 \cdot 14,1 \cdot 10^6) = 18 \text{ mm} \end{aligned}$$

Hetkellinen taipuma:

$$W_{\text{inst}} = W_{\text{inst.G}} + W_{\text{inst.Q}} = 0 + 18\text{mm} = 18 \text{ mm} \quad (2.2)$$

Mitoitusehto:

$$W_{\text{inst}} \leq L / 400 = 4\,550\text{mm} / 400 = 11,4\text{mm} > 2,8\text{mm} \quad (\text{taulukko 7.2-FI})$$

Lopputaipuma:

$$k_{\text{def}} = 0,8$$

$$\begin{aligned} W_{\text{net.fin}} &= ((1 + k_{\text{def}}) \cdot W_{\text{inst.G}} + (1 + 0,3 \cdot k_{\text{def}}) \cdot W_{\text{inst.Q}}) \quad (\text{RIL 205-1-2009 liite B, 2.8}) \\ &= (1 + 0,3 \cdot 0,8) \cdot 2,8\text{mm} = 3,5\text{mm} \end{aligned}$$

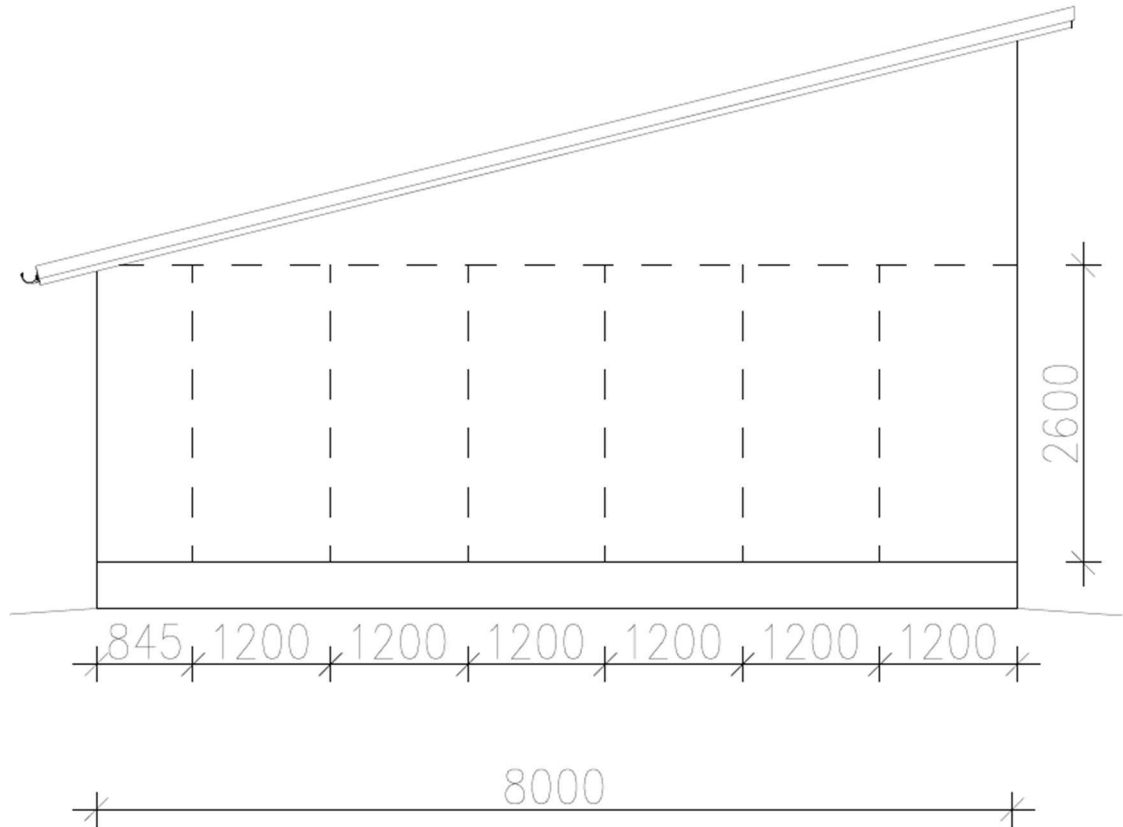
Mitoitusehto:

$$W_{\text{net.fin}} \leq L / 300 = 4\,550\text{mm} / 300 = 15,2 \text{ mm} > 3,5\text{mm} \quad (\text{taulukko 7.2-FI})$$

Liite 14. Rakennuksen jäykistäminen

Päätyseinä

Jäykistämiseen käytetään OSB-levyä 11x2600x1200. Naulat 2,1x50.



Täysleiveitä levyjä seinässä 6 kpl, sekä lisäksi yksi 845 mm leveä levy.

Kuormat

Kokonaistuulikuorma pitkälle sivulle:

$$F_{w,sivu} = 65,5 \text{ kN jaetaan kummallekin päädylle} \rightarrow 65,5 \text{ kN} / 2 = 32,75 \text{ kN}$$

Lisävaakavoima:

$$H_L = P_d / 150 = 3,93 \text{ kN} \rightarrow 3,93 \text{ kN} / 2 \approx 2 \text{ kN}$$

$$P_d = 1,15 \cdot g_k + 1,5 \cdot q_{lumi,k} = 589 \text{ kN}$$

$$q_{lumi,k} = 159,5 \text{ m}^2 \cdot 2,0 \text{ kN/m}^2 = 319 \text{ kN}$$

$$g_k = 159,5 \text{ m}^2 \cdot 0,5 \text{ kN/m}^2 + 8 \text{ m} \cdot 19 \cdot 0,052 \text{ kN/m} + 33,4 \text{ m} \cdot 0,25 \text{ kN/m} = 96 \text{ kN}$$

Yhden kokonaisen levyn jäykistyskapasiteetti $s = 50\text{mm}$

$$R_d = k_{\text{mod}} / \gamma_M \cdot k_l \cdot R_k \min(1 ; t_2 / 12d) \quad (8.5.8S)$$

$$k_l = (0,5 + t / 12d) \cdot k_p = 0,5 + 11 \text{ mm} / (12 \cdot 2,1 \text{ mm}) = 0,94 \quad (8.5.7S)$$

$$k_p = \sqrt{\frac{pk}{350}} = \sqrt{\frac{350}{350}} = 1 \quad (8.5.4S)$$

$$R_d = 0,9 / 1,3 \cdot 0,94 \cdot 120 \text{ N} \cdot (2,1 \text{ mm})^{1,7} = 275,7 \text{ N} / \text{leike}$$

$$F_{i.v.Rd} = F_{f.Rd} \cdot b_i \cdot c_i / s \quad (9.21)$$

$$= 275,7 \text{ N} \cdot 1\,200 \text{ mm} \cdot 0,92 / 50 \text{ mm} = 6\,087 \text{ N}$$

$$c_i = 2b_i / h = 2 \cdot 1\,200 \text{ mm} / 2\,600 \text{ mm} = 0,92 \quad (9.22)$$

Vajaan levyn jäykistyskapasiteetti $s = 50\text{mm}$

$$F_{i.v.Rd} = F_{f.Rd} \cdot b_i \cdot c_i / s \quad (9.21)$$

$$= 275,7 \text{ N} \cdot 845 \text{ mm} \cdot 0,65 / 50 \text{ mm} = 3\,029 \text{ N}$$

$$c_i = 2b_i / h = 2 \cdot 845 \text{ mm} / 2\,600 \text{ mm} = 0,65 \quad (9.22)$$

Koko seinän jäykistyskapasiteetti

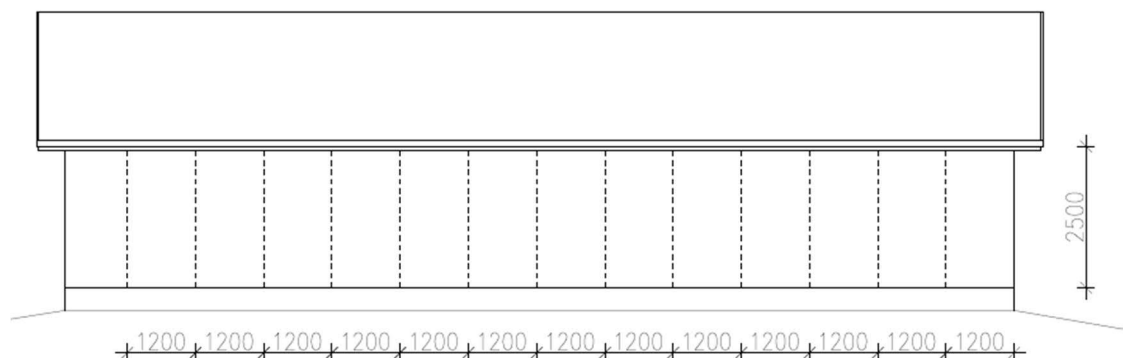
$$6 \cdot 6\,087 \text{ N} + 3\,029 \text{ N} = 39\,551 \text{ N} > 34\,750 \text{ N}$$

Voima ankkuroinnille

$$F_{i.c.Ed} = F_{v.Ed} \cdot h / b_i = 34\,750 \text{ N} \cdot 2\,600 \text{ mm} / 7\,600 \text{ mm} = 11\,888 \text{ N} \quad (9.23)$$

Takaseinä

Jäykistämässä käytetään OSB- levyä 11x2500x1200. Naulat 2,1x50.



Seinässä 13 kpl kokonaisia levyjä.

Kuormat

Kokonaistuulikuorma päätyseinään:

$$F_{w,sivu} = 24,75 \text{ kN jaetaan kummallekin päädylle} \rightarrow 24,75 \text{ kN} / 2 \approx 12,4 \text{ kN}$$

Lisävaakavoima:

$$H_L = (B / L) \cdot (P_d / 150) = 1,88 \text{ kN tai } P_d / 250 = \underline{2,36 \text{ kN}}$$

$$2,36 \text{ kN} / 2 = 1,2 \text{ kN}$$

$$P_d = 1,15 \cdot g_k + 1,5 \cdot q_{lumi,k} = 589 \text{ kN}$$

$$q_{lumi,k} = 159,5 \text{ m}^2 \cdot 2,0 \text{ kN/m}^2 = 319 \text{ kN}$$

$$g_k = 159,5 \text{ m}^2 \cdot 0,5 \text{ kN/m}^2 + 8 \text{ m} \cdot 19 \cdot 0,052 \text{ kN/m} + 33,4 \text{ m} \cdot 0,25 \text{ kN/m} = 96 \text{ kN}$$

Yhden kokonaisen levyn jäykistyskapasiteetti $s = 150 \text{ mm}$

$$R_d = k_{mod} / \gamma_M \cdot k_I \cdot R_k \min(1 ; t_2 / 12d) \quad (8.5.8S)$$

$$k_I = (0,5 + t / 12d) \cdot k_p = 0,5 + 11 \text{ mm} / (12 \cdot 2,1 \text{ mm}) = 0,94 \quad (8.5.7S)$$

$$k_p = \sqrt{\frac{pk}{350}} = \sqrt{\frac{350}{350}} = 1 \quad (8.5.4S)$$

$$R_d = 0,9 / 1,3 \cdot 0,94 \cdot 120 \text{ N} \cdot (2,1 \text{ mm})^{1,7} = 275,7 \text{ N} / \text{leike}$$

$$F_{i.v.Rd} = F_{f.Rd} \cdot b_i \cdot c_i / s \quad (9.21)$$

$$= 275,7 \text{ N} \cdot 1\,200 \text{ mm} \cdot 0,96 / 150 \text{ mm} = 2117 \text{ N}$$

$$c_i = 2b_i / h = 2 \cdot 1\,200 \text{ mm} / 2500 \text{ mm} = 0,96 \quad (9.22)$$

Koko seinän jäykistyskapasiteetti

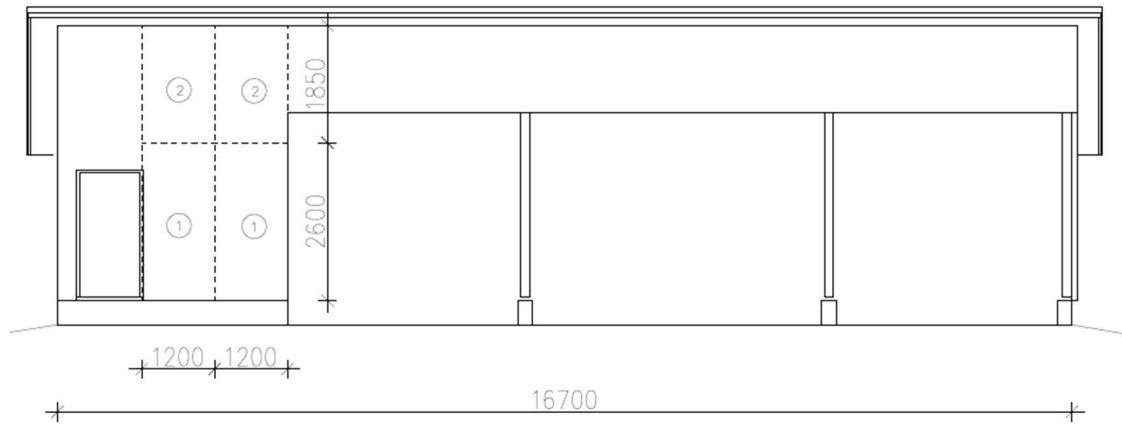
$$13 \cdot 2\,117 \text{ N} = 27\,521 \text{ N} > 13\,600 \text{ N}$$

Voima ankkuroinnille

$$F_{i.c.Ed} = F_{v.Ed} \cdot h / b_i = 13\,600 \text{ N} \cdot 2\,500 \text{ mm} / 16\,300 \text{ mm} = 2\,086 \text{ N} \quad (9.23)$$

Etuseinä

Jäykistämässä käytetään OSB- levyä 11x2500x1200. Naulat 2,1x50.



Kuormat

Kokonaistuulikuorma päätyseinään:

$$F_{w,sivu} = 24,75 \text{ kN jaetaan kummallekin päädylle} \rightarrow 24,75 \text{ kN} / 2 \approx 12,4 \text{ kN}$$

Lisävaakavoima:

$$H_L = (B / L) \cdot (P_d / 150) = 1,88 \text{ kN tai } P_d / 250 = \underline{2,36 \text{ kN}}$$

$$2,36 \text{ kN} / 2 = 1,2 \text{ kN}$$

$$P_d = 1,15 \cdot g_k + 1,5 \cdot q_{lumi,k} = 589 \text{ kN}$$

$$q_{lumi,k} = 159,5 \text{ m}^2 \cdot 2,0 \text{ kN/m}^2 = 319 \text{ kN}$$

$$g_k = 159,5 \text{ m}^2 \cdot 0,5 \text{ kN/m}^2 + 8 \text{ m} \cdot 19 \cdot 0,052 \text{ kN/m} + 33,4 \text{ m} \cdot 0,25 \text{ kN/m} = 96 \text{ kN}$$

Levyn 1 jäykistyskapasiteetti $s = 50 \text{ mm}$

$$R_d = k_{mod} / \gamma_M \cdot k_I \cdot R_k \min(1 ; t_2 / 12d) \quad (8.5.8S)$$

$$k_I = (0,5 + t / 12d) \cdot k_p = 0,5 + 11 \text{ mm} / (12 \cdot 2,1 \text{ mm}) = 0,94 \quad (8.5.7S)$$

$$k_p = \sqrt{\frac{pk}{350}} = \sqrt{\frac{350}{350}} = 1 \quad (8.5.4S)$$

$$R_d = 0,9 / 1,3 \cdot 0,94 \cdot 120 \text{ N} \cdot (2,1 \text{ mm})^{1,7} = 275,7 \text{ N} / \text{leike}$$

$$F_{i.v.Rd} = F_{f.Rd} \cdot b_i \cdot c_i / S \quad (9.21)$$

$$= 275,7 \text{ N} \cdot 1200 \text{ mm} \cdot 0,92 / 50 \text{ mm} = 6087 \text{ N}$$

$$c_i = 2b_i / h = 2 \cdot 1200 \text{ mm} / 2600 \text{ mm} = 0,92 \quad (9.22)$$

Levyn 2 jäykistyskapasiteetti $s = 50 \text{ mm}$

$$R_d = k_{\text{mod}} / \gamma_M \cdot k_l \cdot R_k \min(1 ; t_2 / 12d) \quad (8.5.8S)$$

$$k_l = (0,5 + t / 12d) \cdot k_p = 0,5 + 11 \text{ mm} / (12 \cdot 2,1 \text{ mm}) = 0,94 \quad (8.5.7S)$$

$$k_p = \sqrt{\frac{pk}{350}} = \sqrt{\frac{350}{350}} = 1 \quad (8.5.4S)$$

$$R_d = 0,9 / 1,3 \cdot 0,94 \cdot 120 \text{ N} \cdot (2,1 \text{ mm})^{1,7} = 275,7 \text{ N} / \text{leike}$$

$$F_{i.v.Rd} = F_{f.Rd} \cdot b_i \cdot c_i / s \quad (9.21)$$

$$= 275,7 \text{ N} \cdot 1\,200 \text{ mm} \cdot 1 / 50 \text{ mm} = 6\,617 \text{ N}$$

$$c_i = 2b_i / h = 2 \cdot 1\,200 \text{ mm} / 1\,850 \text{ mm} = 1,30 \rightarrow 1 \quad (9.22)$$

Koko seinän jäykistyskapasiteetti

$$2 \cdot 6\,087 \text{ N} + 2 \cdot 6\,617 \text{ N} = 25\,408 \text{ N} > 13\,600 \text{ N}$$

Voima ankkuroinnille

$$F_{i.c.Ed} = F_{v.Ed} \cdot h / b_i = 13\,600 \text{ N} \cdot 2\,500 \text{ mm} / 16\,300 \text{ mm} = 2\,086 \text{ N} \quad (9.23)$$