



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
VASA YRKESHÖGSKOLA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Juho Seppänen

AJONEUVOHALLIN RAKENNUS- JA RAKENNESUUNNITTELU

Tekniikka ja liikenne
2011

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Juho Seppänen
Opinnäytetyön nimi	Ajoneuvohallin rakennus- ja rakennesuunnittelu
Vuosi	2011
Kieli	suomi
Sivumäärä	63 + 26 liitettä
Ohjaaja	Tapani Hahtokari

Tässä opinnäytetyössä suunnitellaan ajoneuvohalli autoharrastajan määrittelemien tarpeiden ja esitettyjen toiveiden mukaan. Työn tavoitteena on ajoneuvohallin rakennus- ja rakennesuunnitelmat, rakennuksen energiatodistuksen tekeminen sekä rakenteiden mitoittaminen laskelmin. Rakennuksen lämmitysjärjestelmä on ennalta valmiiksi valittu ja se otetaan huomioon suunnittelussa.

Suunnittelua varten selvitetään kyseistä rakennusta koskevat tämänhetkiset määräykset ja vaatimukset. Suomen rakentamismääräyskokoelmasta on koottu rakennusta koskevat määräykset ja vaatimukset. Rakennuksesta tehtiin uudisrakennukselta vaadittava energiatodistus. Energiatodistuksen tekemistä varten on tutustuttu ympäristöministeriön Energiatodistus 2007 –oppaaseen, ja tehty RakMK:n osan D5 mukainen laskupohja rakennuksen energiankulutuksen laskemiseksi.

Piirustuksia tehdään todenmukaisesti niiltä osin kuin on mahdollista. Rakennussuunnittelun piirustuksista puuttuu asemapiirustus, koska opinnäytetyötä tehdessä tarkkaa rakennuspaikkaa ei ole vielä päätetty. Samasta syystä rakennesuunnittelussa rakennuksen perustamistapa on valittu malliratkaisuksi. Niinpä perustuksien osalta suunnitelmat eivät ehkä ole lopulliset ja niitä saatetaan muuttaa myöhemmin, kunhan maaperää aikanaan ensin tutkitaan. Muilta osin rakennesuunnittelussa pyritään piirtämään lopullisia rakennekuvia, joita voitaisiin käyttää myöhemmin rakennusprojektin edetessä.

ABSTRACT

Author	Juho Seppänen
Title	Construction Part and Structural Design for Vehicle Shed Building
Year	2011
Language	Finnish
Pages	63 + 26 Appendices
Name of Supervisor	Tapani Hahtokari

The engineering degree thesis deals with vehicle shed building designed according to the needs and the presented wishes defined by the car enthusiast. The objective of the work is the making of construction design and structural design for the vehicle building. The study includes the drawing up of the energy certificate of the building and the dimensioning of structures with calculations. The heating system of the building has been chosen in advance and it is taken into consideration in the planning.

The present regulations and demands concerning a vehicle building are clarified. These have been composed of The National Building Code of Finland. An energy certificate has been made from the building because it is required of the new construction. The guide 'Energy certificate 2007' of the Ministry of the Environment has been used as help for the making of the energy certificate. The calculation of the energy consumption of the building has been made according to the D5 of the part of The National Building Code of Finland.

An attempt is to make the drawings so that they can be later used as an advantage when the building project will proceed. The drawings of architectural designs, the layout drawing is missing because the building's exact location is not yet known. For the same reason building's foundation has been chosen as the model solution. Plans may change after the site investigation is done.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	8
2	RAKENNUSKOHDE	10
	2.1 Rakennussuunnittelu	10
	2.1.1 Rakennuksen mitat	10
	2.1.2 Julkisivut	14
	2.1.3 Ajoneuvonostimet	14
	2.2 Rakennesuunnittelu.....	15
	2.2.1 Rakenteet.....	20
	2.2.2 Kuormat.....	22
	2.2.3 Mitoitustarkastelu ja rakenteiden toteutus	25
	2.2.4 Muu toteutus	26
3	PALOMÄÄRÄYKSET	28
	3.1 Palovaarallisuusluokka ja suojaustaso	28
	3.2 Rakennuksen paloluokka	28
	3.3 Palo-osastointi.....	29
	3.4 Rakenteiden kantavuuden säilyttäminen.....	29
	3.5 Pinnat	30
	3.6 Rakennustarvikkeiden paloluokitus	30
	3.7 Palon leviämisen estäminen naapurirakennuksiin	31
	3.8 Kattilahuoneen ja polttoainevaraston paloturvallisuus	32
	3.9 Kattilahuone ja polttoainevarasto rakennuksen osana	32
	3.10 Rakennusosan paloluokitus.....	33
	3.11 Savunpoisto.....	33
	3.12 Savuhormi	34
4	LÄMMÖNERISTYSVAATIMUKSET	36
	4.1 Rakenteiden ilman pitävyys	36
	4.2 Rakennuksen vaipan lämmöneristys.....	37
	4.3 Hallin lämmönläpäisykertoimet.....	38
	4.4 Hallin lämpöhäviön tasauslaskenta.....	38

4.4.1	Lomakkeeseen syötettävät arvot	40
4.4.2	Tasauslaskentalomake.....	42
5	LÄMMITYSJÄRJESTELMÄ.....	45
5.1	Hakelämmitys	45
5.2	Hake	45
5.3	Kattilatyyppit	47
5.3.1	Yläpalokattila	47
5.3.2	Alapalokattila	47
5.3.3	Stokerikattila	48
5.3.4	Stokeripoltin.....	48
5.4	Hakesiilot ja syöttöjärjestelmät.....	48
5.5	Järjestelmän ongelmat.....	48
5.6	Automaattisyöttöisen laitteiston turvajärjestelmät.....	49
5.6.1	Sammutusjärjestelmä	49
5.6.2	Sulkusyötin.....	49
5.6.3	Pudotuskuilu ja kaksi ruuvikuljetinta.....	49
5.6.4	Muita turvajärjestelmiä	50
5.7	Käyttö, huolto ja kunnossapito	50
5.8	Hallin lämmitysjärjestelmä	50
5.8.1	Lämmitysjärjestelmän valintaperusteet.....	50
5.8.2	Lämmitysjärjestelmän vaatimukset ja polttoaineen kulutus	51
5.8.3	Lämmityskattila.....	51
5.8.4	Polttoainevarasto ja polttoaineen syöttö.....	52
6	ENERGIATODISTUS	54
6.1	Lait, määräykset ja asetukset	54
6.2	Energiatehokkuusluku ja energiatehokkuusluokka.....	54
6.3	Energiatehokkuusluvun laskenta ja vertailusäätiöt	55
6.4	Energiatodistusmallit	56
6.5	Energiatodistuksen laatijan pätevyysvaatimukset.....	56
6.6	Uudisrakennuksen energiatodistus.....	57
6.7	Olemassa olevan rakennuksen ja isännöitsijän energiatodistus.....	57
6.8	Erillinen energiatodistus	58

6.9 Hallin energiatodistus	58
7 YHTEENVETO	61

LÄHTEET

LIITTEET

KÄYTETYT TERMIT

RakMK

Suomen rakentamismääräyskokoelma

RT-ohjekortisto

Rakennustieto Oy:n kustantama tietokortisto (RT Net)

NR

Naulalevyrakenne

LTO

Lämmöntalteenotto ilmanvaihtokoneessa

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä on tarkoituksena suunnitella ajoneuvohalli. Hallin pääasiallinen tarkoitus on toimia autoharrastajan harrastetilana eli hallissa korjataan, huolletaan ja säilytetään harrasteajoneuvoja sekä niihin liittyviä tarvikkeita ja osia. Lisäksi hallissa tullaan huoltamaan ja etenkin talviaikaan myös säilyttämään käyttöajoneuvoja. Pihapiiristä löytyy myös traktori laitteineen. Traktoria säilytetään kylmässä tallissa, mutta sitäkin olisi mielekkäämpi huoltaa talviaikaan lämpimässä tilassa, jos tarvetta ilmenee. Halli tulee erityiseen tarpeeseen, koska pihapiiristä ei löydy ennestään käyttötarkoitukseen soveltuvaa lämmintä tilaa. Talviaikaan ajoneuvon säilyttäminen lämpimässä tilassa tekee autolla liikkeelle lähtemisen helpommaksi ja mielekkäämmäksi.

Suunnittelun lähtökohdaksi tilaaja määritteli rakennuksen tarpeet ja esitti toiveita. Niiden mukaan tullaan selvittämään toimintojen tilantarvetta. Tilantarvetta selvitetään ajoneuvonostimien mittojen ja RT-ohjekortissa esitettyjen ajoneuvojen mittojen mukaan sekä ennalta valitun hakelämmitysjärjestelmän polttoainevaraston tilantarve huomioon ottaen. Suunnitelmien tekemistä varten piti myös selvittää, mitä vaatimuksia ja määräyksiä tällaisen käyttötarkoituksen mukaiselle rakennukselle on asetettu. Suomen rakentamismääräyskokoelmassa rakennus luokitellaan tuotanto- ja varastorakennukseksi. RakMK:sta on koottu tuotanto- ja varastorakennuksia sekä yleisesti rakennuksia koskevia määräyksiä palomääräysten (osat E1 ja E2) ja lämmöneristys vaatimusten (osa C3) osalta. Suomen rakentamismääräyskokoelman määräykset koskevat uuden rakennuksen rakentamista.

Nykyään kiinnitetään paljon huomioita rakennuksen energiatehokkuuteen. Taustalla on EU:n rakennusten energiatehokkuutta koskeva direktiivi. Määräystenmukaisuus tulee osoittaa laskelmin. Uudisrakennukselta vaaditaan nykyään pääsääntöisesti energiatodistus. Energiatodistuksen tekoa varten on tutustuttu ympäristöministeriön oppaaseen Energiatodistusopas 2007 ja siitä on koottu oma kappaleensa työhön. Energiatodistuksen tekoon liittyen on myös tehty RakMK:n osan D5 mukainen laskupohja rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontar-

2 RAKENNUSKOHDE

2.1 Rakennussuunnittelu

Suunnittelu lähti liikkeelle rakennuksen mittojen selvittämisellä. Lähtökohtana oli suunnitella ajoneuvohalli neljälle ajoneuville. Tässä ajoneuvolla tarkoitetaan henkilöautoa, maastoautoa tai pakettiautoa (yleinen koko). Ajoneuvoista kaksi sijoitetaan ajoneuvonostimien kohdalle siten, että halliin tulee aluksi 2-pilari ajoneuvonostin ja tämän vierelle varataan tila mahdollisesti myöhemmin hankittavalle 4-pilari nostimelle. Kahdelle muulle ajoneuville haluttiin lattiapaikka. Rakennuksen sisäkorkeus haluttiin sellaiseksi, että ajoneuvonostimella pystyy nostamaan myös pakettiauton (yleinen koko). Lisäksi haluttiin, että rakennus olisi ulkonäöltään ja materiaaleiltaan yhtenevä ympäröivien muiden rakennusten kanssa.

Rakennussuunnittelun tuloksena on piirretty rakennuslupaam tarvittavia pääpiirustuksia. Piirustuksista puuttuu asemapiirustus, koska lopullista rakennuspaikkaa tontille ei ole päätetty. Piirustuksien tekemiseen on käytetty AutoCAD-ohjelmaa.

Taulukko 1. Rakennuksesta tehdyt rakennuspiirustukset.

Pohjapiirustus	1:100
Julkisivupiirustus	1:100
Leikkauspiirustukset	1:100, 1:50

2.1.1 Rakennuksen mitat

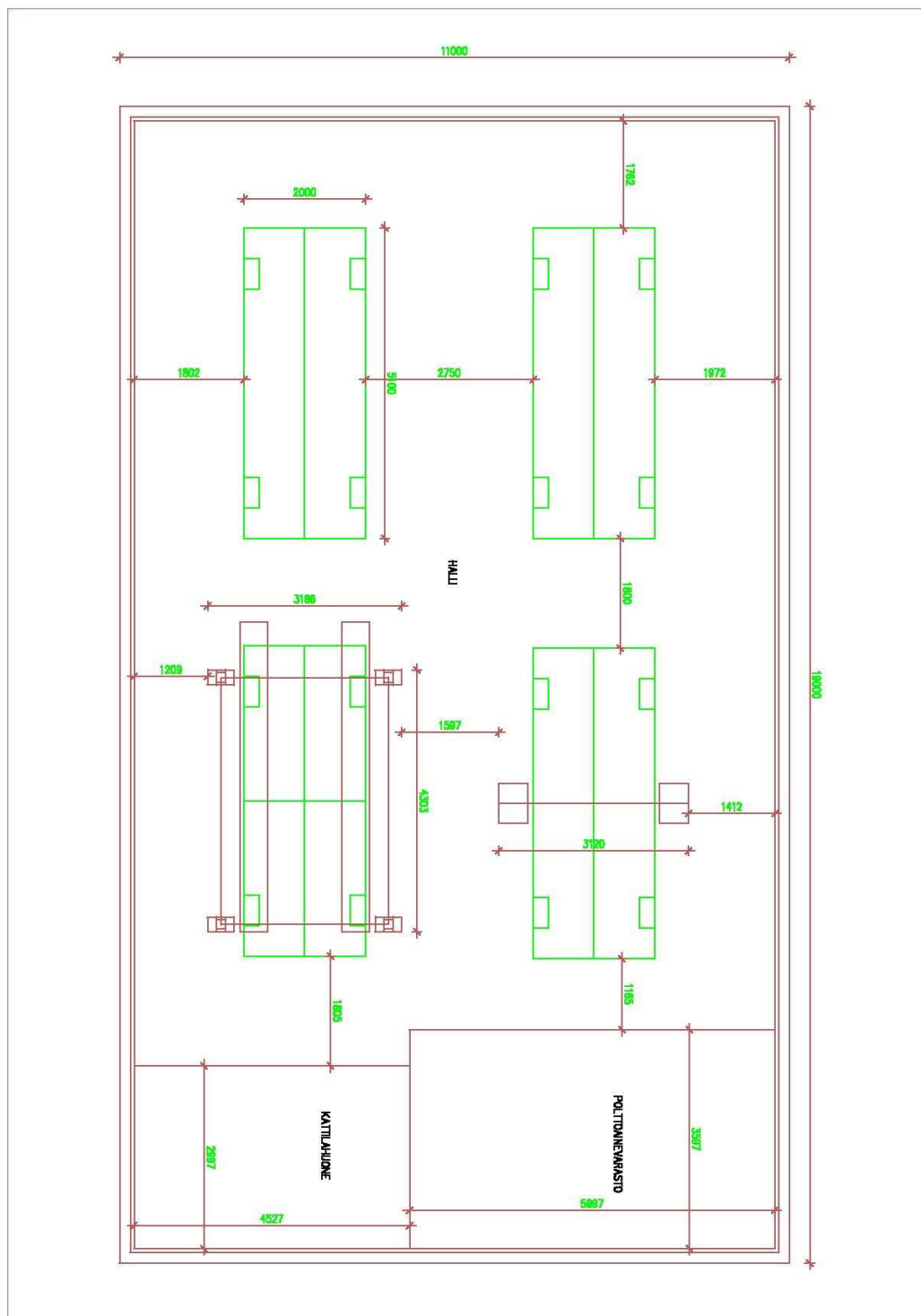
Rakennuksen mittojen suunnittelussa käytettiin apuna ajoneuvonostimien valmistajan (Stenhoj) ilmoittamia mittoja ja RT 98-10914 Ajoneuvojen mittoja -ohjekortissa esitettyjä arvoja. Suunnittelussa mitat valittiin siten, että niiden sisään mahtuu henkilöauto, maastoauto ja pakettiauto, yleinen koko. Lisäksi suunnittelussa huomioitiin ajoneuvon oven avaamiseen tarvittava tila 1,0 m, ajoneuvojen

välissä liikkumiseen ja työskentelyyn tarvittava tila sekä ajoneuvonostimissa hyväksyttävä liikkuvan ja kiinteän osan välinen turvaetäisyys 0,6 m (SFS-standardit).

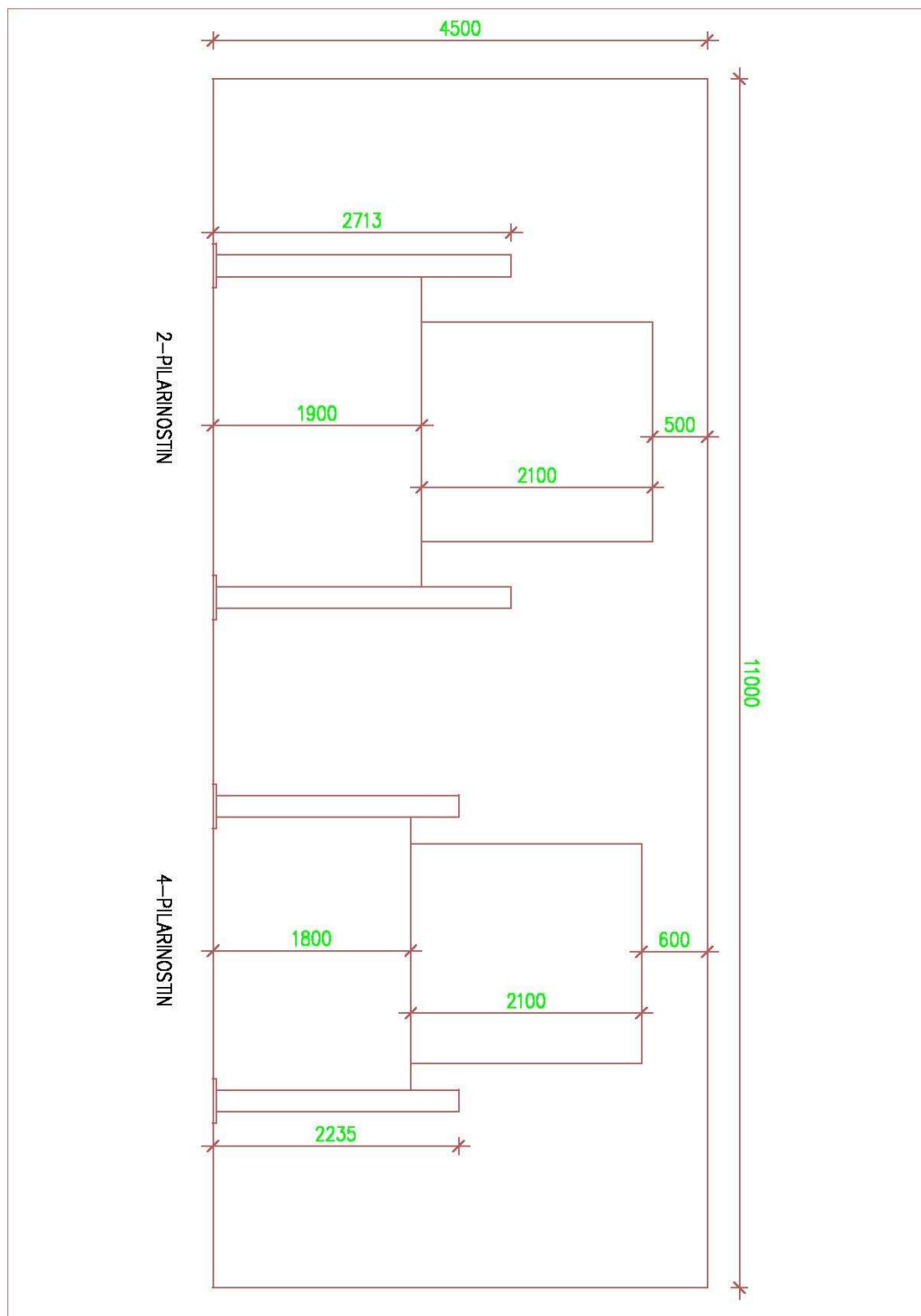
Taulukko 2. Ajoneuvojen päämitat. /18/

	pituus m	leveys m	korkeus m
Henkilöauto	4,8	1,8	1,5
Maastoauto	5,1	2,0	1,7 - 2,0
Pakettiauto, yleinen koko	5,0	1,8 - 2,0	1,8 - 2,1

Rakennuksen rungon ulkomitan pituudeksi valittiin 19 m ja rungon ulkomitan leveydeksi 11 m. Rakennuksen päätynurkkaan sijoitettiin polttoainevarasto. Rakennukseen haluttiin automaattinen polttoaineensyöttö. Polttoainevaraston koko suunniteltiin vuotuisen polttoaineenkulutuksen mukaan. Tämän jälkeen kattilahuone sijoitettiin viereiseen nurkkaan. Kattilahuoneen yläpohjalaatan päälle suunniteltiin varastotila, jonka hyötykuormana käytettiin 2kN/m^2 . Rakennuksen sisäkorkeudeksi valittiin 4,5 m. Sisäkorkeuden valinnassa huomioitiin myös mahdolliset kattovalaisimet ajoneuvonostinten kohdalla.



Kuva 1. Rakennuksen tilantarve ja mitat.



Kuva 2. Rakennuksen sisäkorkeus.

2.1.2 Julkisivut

Rakennuksen julkisivuille annettiin vaatimuksia, koska hallin haluttiin sopivan ympäröiviin rakennuksiin. Hallin haluttiin olevan yhtenevä materiaaleiltaan ja pääosin myös väreiltään. Rakennukseen haluttiin yksi yhtenäinen kattotaso ja katemateriaalin haluttiin olevan peltiä. Katon värin haluttiin olevan sävyltään tumma. Seiniin haluttiin punainen puu-ulkoverhous. Lisäksi rakennukseen haluttiin riittävän kokoinen nosto-ovi, jotta oven edessä, ajoneuvojen vierekkäisille lattia-paikoille, olisi helppo pysäköidä sopivan väljästi ja myös mahdollistaa traktorilla pääsyn halliin. Rakennuksen värimaailman hillitsemiseksi haluttiin käyttää mahdollisuuksien mukaan vain mustaa ja punaista.

Rakennuksen katemateriaaliksi valittiin pelti, kuten jo olemassa olevissa rakennuksissa. Katteen ja kattopellityksen väriksi valittiin musta, kuten pääosin ympärillä olevissa talousrakennuksissa. Seinään valittiin ulkoverhoukseksi pystysuuntainen punainen peiterimalaudoitus, jonka katsottiin sopivan ulkonäöltään paneelia paremmin. Nosto-oven kooksi valittiin 3700x3200mm, jonka katsottiin riittävän ajoneuvojen liikkumiseen. Polttoainevaraston oviaukon kooksi valittiin 2500x1500mm, jonka katsottiin riittävän varaston täyttämiseen traktorin etukauhalla. Rakennukseen ikkunoista tulevan luonnonvalon halutulle määrälle ei annettu lähtötiedoissa vaatimusta. Rakennuksen halliosaan sijoitettiin molemmille sivuille kolme paria ikkunoita seinän yläosaan. Ikkunoiden kooksi valittiin 900x700mm. Rakennuksen kulkuovi sijoitettiin halliosan toiselle sivulle keskimäisen ikkunaparin alapuolelle, jolloin ovi sijoittuu kahden ajoneuvojen väliin. Ikkunoiden, ovien, räystäs- ja aluslautojen, nurkkalautojen, listojen, ikkunakarmien- ja puitteiden, pielilautojen, vesipeltien, piipun, talotikkaan ja muiden osien väriksi valittiin musta.

2.1.3 Ajoneuvonostimet

Rakennukseen suunniteltiin paikka kahdelle ajoneuvonostimelle. Nostimiksi on suunniteltu laadukkaita ja suosittuja tanskalaisia Stenhoj-merkkisiä nostimia. Nostimilla on tarkoitus pystyä nostamaan henkilö-, maasto- ja pakettiauto. Nostimien valinnassa kiinnitettiin huomiota niiden nostokykyyn. 2-pilarinostimeksi kävisi

esimerkiksi Stenhoj Maestro 2.32, jonka nostokyky on 3,2t. 4-pilarinostimeksi kävisi esimerkiksi Stenhoj Major 400, jonka nostokyky on 4t.



Kuva 3. 2-pilarinostin, Stenhoj Maestro 2.32. /20/



Kuva 4. 4-pilarinostin, Stenhoj Major 400. /20/

2.2 Rakennesuunnittelu

Suomen rakentamismääräyskokoelmasta on selvitetty ja koottu työhön vaatimuksia ja määräyksiä, jotka koskevat kyseistä rakennusta ja sen rakenteita. Ajoneuvohallin suunnitteluun tarvittavia kohtia on yleisissä, kaikkia rakennuksia koskevissa osissa, ja sen lisäksi tuotanto- ja varastorakennuksia koskevissa osissa, joihin autokorjaamo- ja huoltamotoiminta kuuluu.

Perustiedoissa on suunnittelun lähtökohtia ja koottuja asioita, joiden mukaan suunnitelmia on tehty. Tämän ajoneuvohallirakennuksen rakenteiden vaativuusluokka on A (perusvaatimus), eli rakennus on kooltaan ja rakenteeltaan normaali.

Vaativuusluokan A rakennuksen voi suunnitella esimerkiksi rakennesuunnitteluun suuntautunut AMK-insinööri. Tämän rakennuksen rakenteiden käyttöluokka on 1. Käyttöluokkaan 1 kuuluu rakenne, joka on lämmitetyissä sisätiloissa tai lämpöeristekerroksessa oleva rakenne. Seuraamusluokkien määrittelyn mukaan rakennus kuuluu seuraamusluokkaan CC2. Kyseisessä seuraamusluokassa rakennuksen tai rakenteen vaurioituessa syntyy keskisuuret seuraamukset ihmishenkien menetysten tai merkittävien taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia. Tämän rakennuksen käyttötapa huomioiden seuraukset olisivat lähinnä merkittäviä taloudellisia vahinkoja, sekä mahdollisesti ympäristövahinkoja.

Taulukko 3. Perustiedot.

Kohteen nimi	Puurakenteinen ajoneuvohalli
Pääasiallinen käyttötarkoitus	Ajoneuvojen säilytys ja korjaus
Rakenteiden vaativuusluokka	A
Käyttöluokka	1
Seuraamusluokka	CC2
Paloluokka	P3
Pääasiallinen rakennusmateriaali	Puu
Pääasiallinen rakennustapa	Paikalla rakentaminen
Kerroslukku	1
Kokonaiskorkeus	6,705 m
Bruttopinta-ala	209 m ²

Taulukko 2.2 Seuraamusluokkien määrittely

Seuraamusluokka	Kuvaus	Rakennuksia sekä rakenteita koskevia esimerkkejä
CC3	Suuret seuraamukset ihmishenkien menetysten <i>tai</i> hyvin suurten taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	Rakennuksen kantava runko ¹⁾ jäykistävine rakenneosineen sellaisissa rakennuksissa, joissa usein on suuri joukko ihmisiä kuten <ul style="list-style-type: none"> – yli 8-kerroksiset²⁾ asuin-, työpaikka- ja liikerakennukset – konserttitalit, teatterit, urheilu- ja näyttelyhallit, katsomot – raskaasti kuormitetut tai suuria jännevälejä sisältävät rakennukset Erikoisrakenteet kuten esim. suuret mastot ja tornit. Luiskat sekä penkereet ja muut rakenteet, jotka sijaitsevat siirtymien haittavaikutuksille herkissä ympäristöissä erityisesti hienorakeisten maalajien alueilla.
CC2	Keskisuuret seuraamukset ihmishenkien menetysten <i>tai</i> merkittävien taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	Rakennukset ja rakenteet, jotka eivät kuulu luokkiin CC3 tai CC1
CC1	Vähäiset seuraamukset ihmishenkien menetysten <i>tai</i> pienien tai merkityksettömien taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	1- ja 2-kerroksiset rakennukset, joissa vain tilapäisesti oleskelee ihmisiä ³⁾ kuten esim. pienehköt varastot ja maatalouden tuotantolaitokset, joiden pinta-ala on enintään 300 m ² tai suurin jänneväli enintään 6 metriä Rakenteet, joiden vaurioitumisesta ei aiheudu merkittävää vaaraa kuten <ul style="list-style-type: none"> – matalalla olevat terassit ja 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⁾ pienehköt rakennusrungosta erilliset välipohjat kuuluvat kuitenkin luokkaan CC2 elleivät ne toimi koko rakennusta jäykistävänä rakenteena.

²⁾ kellarikerrokset mukaan luettuina.

³⁾ tilapäisenä oleskeluna pidetään päivittäistä käymistä rakennuksessa, mutta ei oleskelua.

Kuva 5. Seuraamusluokkien määrittely. /21/

Työssä suunniteltava rakennus on 1-kerroksinen ja se rakennetaan paikanpäällä. Rakenteellisessa järjestelmässä on kerrottu, kuinka rakennuksen kantavarunko toteutetaan ja mitä materiaaleja käytetään. Rakennuksen pystyrungossa käytettävän sahatavaran lujuusluokka on C24 ja NR-ristikoiden kannatuspalkit ovat ker-topuuta. Yläpohjaa kannattelevat NR-ristikot tilataan ristikkovalmistajalta. NR-ristikoista tehdään ristikkokaaviot ja ne lähetetään valmistajalle.

Taulukko 4. Rakenteellinen järjestelmä.

Kantavat seinät	Rankaseinä
Pääkannattimet	Kertopuupalkit, NR-naulalevyristikot
Ulkoseinät	Kantava puurankaseinä k600, lämpöeristetty

Yläpohja	NR-naulalevyristikko k900, lämpöeristetty
Alapohja	Maanvarainen betonilaatta
Seinärungon jäykistys	Rungossa levyjäykistys
Yläpohjan jäykistys	yläpaarteen yläpinnassa sidevanne
Perustamistapa	Betoniantura + lämpöharkkoperusmuuri

Taulukko 5. Materiaalien lujuusluokat.

Kantava pystyrunko	Sahatavara C24
NR-ristikon kannatuspalkit	Kerto-S
Betoni	C25/30

Tässä työssä osa rakenteista on mitoitettu hyväksyttäviä Eurokoodi menetelmiä käyttäen. Muilta osin rakenteista on tehty vain malliratkaisuja. Rakennuksen perustamistapa on malliratkaisu, koska lopullista rakennuspaikkaa ei ole päätetty ja näin ollen maaperään sopivaa perustamistapaa ei voi vielä tietää. Rakennuspaikan perustamis- ja pohjaolosuhteista tulee tehdä tutkimus tarpeen vaatiessa. Lisäksi joidenkin rakenteiden toteuttamistavat on esitetty malliratkaisuina, eikä Niitä ole mitoitettu laskemalla.

Taulukko 6. Normit, kuormitukset, määräykset ja ohjeet.

Rakenteet	Eurokoodi
Soveltamisohje (puurakenteet)	RIL 205-1-2009 (Liite B lyhennetty suunnitteluohje)

Palonkestovaatimus	EI30 palo-osastointi kattilahuoneeseen ja polttoainevarastoon
--------------------	---

Rakennuksen kantavapuurunko on mitoitettu Eurokoodin mukaan. Rakennuksen betonirakenteiden osalta perustuksen malliratkaisussa antura on mitoitettu Eurokoodin mukaan. Rakennuksen alapohjalaatan mitoituksessa ei ole käytetty Eurokoodia. Alapohjalaatasta on laskettu vain suuntaa antava raudoituksen määrä, muita menetelmiä käyttäen. Lisäksi Eurokoodia on käytetty mitoitettaessa polttoainevaraston harkkoseinää hakkeen aiheuttamalle paineelle, sekä kattilahuoneen ristiinkantavaa yläpohjalaattaa mitoitettaessa päälle tulevalle varastokuormalle. Mitoituksen laskennassa on käytetty MathCAD-ohjelmaa.

Rakennesuunnitteluvaiheen tuloksena on tehty rakennepiirustuksia. Piirustuksien tekemiseen on käytetty AutoCAD-ohjelmaa.

Taulukko 7. Rakennuksesta tehdyt rakennepiirustukset.

Perustuksen mittapiirustus	1:50	
Vesikattopiirustus	1:50	
Seinien mittapiirustus	1:50	
Rakenneleikkaukset	1:20	3 kpl
Perustusleikkaukset	1:20	5 kpl
Rakennedetaljit	1:20	3 kpl
Rakennetyypit	1:10	7 kpl
Ristikkokaavio	1:50	

2.2.1 Rakenteet

Tässä kappaleessa on kerrottu rakennuksen rakenteet. Nämä rakenteet on esitetty myös työn liitteissä, rakennepiirustuksiin sisältyvinä rakennetyyppeinä.

Ulkoseinä halliosan kohdalla

Rakenne ulkoa sisään lueteltuna

- ulkoverhous 22+22mm, peiterimalaudoitus; pystylauta 22x125 + pystyrima 22x45
- tuuletusväli 22+22mm, rima 22x50 k600 ristiinkoolaus
- tuulensuoja ja lämmöneriste 30mm
- vanerilevy 9mm, rungon jäykistys
- lämmöneriste 175+50mm + runkotolppa 175mm
- höyrynsulkumuovi
- sisäverhouslevy, kipsilevy 13mm

Ulkoseinä harkkoseinän kohdalla

Seinärakenne muuten sama paitsi sisäverhouslevy puuttuu kokonaan. Ulkoseinärakenteen ja harkk väliseinän välissä 50mm tuuletusväli.

Ulkoseinä polttoainevaraston yläosassa (=harkkoseinän yläpuolella)

Seinärakenne muuten sama paitsi sisäverhouslevynä on vesivaneri 9mm. Vesivaneria käytetään tässä rakenteessa varastossa olevan hakkeen sisältämän kosteuden sekä vanerin iskunkestävyyden takia.

Väliseinä polttoainevaraston yläosa (=harkkoseinän yläpuolella)

Seinän yläpään tuenta toteutetaan siten, että seinä ei aiheuta NR-ristikoille pystysuuntaista tukireaktiota (kts. liite rakenneleikkaukset).

Rakenne halliosasta varastoon lueteltuna

- verhous, kipsilevy 13mm
- runkotalppa 50x175mm k600
- verhous, vesivaneri 9mm

Väliseinä polttoainevarasto

Polttoainevarastossa on 2400mm (12 harkkoa) korkea harkkoseinä RUH-290. Polttoainevaraston täyttöaukon alareuna on harkkokuoren yläpinnan korkeudella. Harkkoseinä mitoitetaan hakkeen aiheuttamalle paineelle (lepopaine) ja raudoitetaan ympäriinsä molemmissa urissaan sopivalla jaolla.

Väliseinä kattilahuone

Kattilahuoneessa on 2400mm (12 harkkoa) korkea harkkoseinä RUH-200.

Yläpohja

Rakenne ulkoa sisään lueteltuna

- peltikate
- ruodelaudoitus 22x100 k300
- tuuletusväli 22x50
- aluskate
- NR-ristikko + lämmöneriste 350mm puhallusvilla + 100mm levyvilla
- höyrinsulku
- verhous, kipsilevy 9mm

Kattilahuoneen yläpohja

Kattilahuoneen yläpohjaksi tulee 100mm paksu paikalla valettava ristiin kantava teräsbetoni-laatta. Rakenteella täytetään palo-osastointi vaatimus. Lisäksi laatta mitoitetaan kantamaan mahdollista päälle tulevaa varastokuormaa 2kN/m^2 .

Alapohja

Rakenne sisältä ulos lueteltuna

- pintakäsittely, epoksipinnoite
- maanvarainen betoni-laatta 120mm (ylä- ja alapinnan raudoitus)
- lämmöneriste 150mm (+50mm reuna-alue)
- kapillaarikatko, salaojasora 300mm

Antura

Antura valetaan paikanpäällä. Anturan korkeus on 200mm ja leveys 600mm.

Perusmuuri

Perusmuuri muurataan paikanpäällä lämpöharkoista. Harkon koko on 590x190x300mm. Muuraamalla viisi harkkokerrosta tulee perusmuurin korkeudeksi 1000mm. Perusmuurin (harkon) leveys on 300 mm.

2.2.2 Kuormat

Tähän kappaleeseen on koottu rakennukseen kohdistuvia kuormia, lumikuorma ja tuulikuorma, sekä rakenteiden painoja. Laskenta on tehty MathCad-ohjelmalla ja laskenta löytyy työn liitteistä.

Lumikuorma

maanpinnan lumikuorman ominaisarvo s_k

$$s_k = 2,5 \text{ kN/m}^2 \text{ (Keski-Suomi)}$$

harjakaton muotokerroin, kun lunta ei estetä liukumasta katolta

katon kaltevuus on 14°

$$\mu_i = 0,8$$

katon ominaislumikuorma q_k

$$q_k = \mu_i * s_k$$

$$q_k = 2,5 \text{ kN/m}^2 * 0,8 = 2,0 \text{ kN/m}^2$$

Tuulikuorma

Tuulikuorman laskemiseksi yksinkertaistettu menettely, jota voidaan käyttää tavanomaisten rakennusten yhteydessä. Rakennuksen kaikissa tuulikuormatarkasteiluissa käytetään samaa nopeuspaineen ominaisarvoa, joka määritetään rakennuksen korkeuden h mukaan. /19/

tuulikuorman suuruuteen vaikuttava maastoluokka:

maastoluokka 2 (maatalousmaa)

rakennuksen korkeus $h = 6,705 \text{ m}$

nopeuspaineen ominaisarvo $q_k(h)$

$$q_k(h) = 0,6 \text{ kN / m}^2$$

Taulukko 8. Rakenteiden painot.

Yläpohja (rakenteet)	
jänteellä	0,61 kN /m ²
räystäällä	0,2 kN /m ²
Seinäarakenteet (rakenteet)	
ulkoseinä	2,08 kN/m
polttoainevaraston yläosan puuseinä	0,57 kN/m
polttoainevaraston alaosan harkkoseinä	4,53 kN/m
kattilahuoneen harkkoseinä	3,12 kN/m
perusmuuri	2,85 kN/m
antura	3,00 kN/m
Kattilahuoneen yläpohjalaatasta kuormat (rakenteet + hyötykuorma)	
pitkälle seinälle	6,06 kN/m
lyhyelle seinälle	4,40 kN/m

Taulukko 9. Kuormat perustuksille.

Pysyvät kuormat (katto- ja seinäarakenteet)	
katolta	3,57 kN/m
seinältä (ulkoseinä + perusmuuri + antura)	7,93 kN/m

Muuttuvat kuormat	
lumesta	13.35 kN/m

2.2.3 Mitoitustarkastelu ja rakenteiden toteutus

Tähän kappaleeseen on koottu rakenteiden mitoituksen tulokset siltä osin kun rakenteita on laskettu. Laskenta on tehty MathCad-ohjelmalla ja laskenta löytyy työn liitteistä.

Runkotolppa

sahatavara C24 50x175 mm

Runkotolppa ikkuna-aukon reunassa

sahatavara C24 50x175 mm 3 kpl vierekkäin

Rungon levyjäykistys

Rakennuksen runko jäykistetään runkotolppien ulkopintaan kiinnitettävillä vanerilevyillä. Vanerilevyn paksuus on 9 mm. Yhden jäykistyslohkon leveys on 1200 mm. Levyt kiinnitetään pyöreillä konenauloilla 2,5x50 mm. Kiinnitys tehdään kaikilta levyn reunoilta ja lisäksi levyn keskialueelta, mikäli keskialueella on tolppia.

Päätuseinät (lyhyet)

Liitinjako levyn reunoilla on 30 mm ja levyn keskialueella enintään 60 mm.

Sivuseinät (pitkät)

Liitinjako levyn reunoilla on 80 mm ja levyn keskialueella enintään 160 mm.

NR-ristikon kannatuspalkki rungon kohdalla

Kerto-S 51x200

NR-ristikon kannatuspalkki ikkuna-aukon kohdalla

Kerto-S 75x260

Polttoainevaraston harkkoseinä

Polttoainevaraston harkkoseinän RUH-290 molempiin uriin (sisä- ja ulkopintaan) laitetaan halkaisijaltaan 10 mm harjateräs jatkuvana k400 eli joka toiseen kerrokseen.

Kattilahuoneen yläpohja

Kattilahuoneelle tehdään 100mm paksu yläpohjalaatta. Laatta tehdään paikanpäällä ja se raudoitetaan ristiin kantavaksi. Pääraudoitus (alapinnan alempi raudoitus) on $\Phi 8$ -k250 ja sekundääriraudoitus (alapinnan ylempi raudoitus) on $\Phi 8$ -k300. Laatta on suunniteltu kantamaan 2kN/m^2 varastokuormaa.

Alapohja

Rakennuksen alapohjaksi tulee maanvarainen laatta. Laatan paksuus on 120 mm. Laattaan laitetaan verkkoraudoitus molempiin pintoihin. Alapintaan laitetaan ja Yläpintaan laitetaan.

Antura

Antura tehdään paikanpäällä betonista valaen. Anturan korkeus on 200 mm ja leveys 600 mm. Antura vetoraudoitetaan. Anturan kumpaankin ylänurkkaan laitetaan halkaisijaltaan 8 mm teräs. Raudoitteet sijoitetaan anturaan pituussuuntaisesti, jatkuvana raudoituksena.

2.2.4 Muu toteutus

Tässä kappaleessa kuvataan rakennuksen ja rakenteiden toteutusta. Niitä ei ole mitoitettu laskennassa. Ne ovat esitetty malliratkaisuina ja ovat esimerkkejä, miten ne mahdollisesti voisi toteuttaa.

Kattilahuoneen harkkoseinä

Kattilahuoneen harkkoseinän RUH-200 molempiin uriin (sisä- ja ulkopintaan) laitetaan halkaisijaltaan 8 mm harjateräs jatkuvana k400 eli joka toiseen kerrokseen.

Perusmuuri

Perusmuuri tehdään lämpöharkkoista. Perusmuurin (harkon) leveys on 300mm. Harkkoja muurataan viisi kerrosta. Raudoitus (k400) laitetaan jatkuvana molempiin uriin joka toiseen kerrokseen eli 1, 3 ja 5 harkkoon. Raudoitteena käytetään halkaisijaltaan 10 mm harjaterästä.

Vesikaton jäykistys

NR-ristikkoyläpohja jäykistetään sidevanteilla. Vanteet kiinnitetään ristikon yläpaarten yläpintaan. Siteen toinen pää kiinnitetään ristikon tukipinnan kohdalle ja toinen pää harjalle. Siteet laitetaan ristiin siten, että aina neljästä ristikosta muodostuu lappelle risti. Sidevanteena käytetään 60 x 2,0 mm sidevannetta.

3 PALOMÄÄRÄYKSET

Rakennuksen palomitoitus tehdään Suomen rakentamismääräyskokoelman E-osan mukaan. Kokoelman osassa E1 esitetään rakennusten paloturvallisuuden määräykset ja yleiset ohjeet. Lisäksi autokorjaamoihin ja huoltamoihin sovelletaan RakMK:n osaa E2 tuotanto- ja varistorakennusten paloturvallisuus ohjeet. Palomääräykset asettavat paloluokan mukaan vaatimuksia rakennuksen rakenteille.

3.1 Palovaarallisuusluokka ja suojaustaso

Rakennuksen paloluokka määräytyy palovaarallisuusluokan ja suojaustason mukaan. Tuotanto ja varastointi jaetaan kahteen palovaarallisuusluokkaan rakennuksen toiminnan mukaan. E2:n opastavissa tiedoissa toimialoittain tehdyn luokittelun mukaan tämän rakennuksen toiminnat kuuluu palovaarallisuusluokkaan 1. Toimintaan rakennuksessa liittyy vähäinen tai kohtuullinen palovaara. /1/

Tuotanto- ja varastotilat varustetaan aina pelastus- ja sammutustyötä helpottavilla laitteilla valitun suojaustason mukaisesti. Suojaustaso vaikuttaa rakennuksen paloluokkaan, suurimpaan sallittuun osastokokoon, savunpoistoon sekä kantavien ja osastoivien rakennusosien paloluokkavaatimuksiin. Suojauksen yksityiskohdista neuvotellaan paikallisen pelastusviranomaisen kanssa. /1/

Rakennuksen suojaustasoksi valitaan suojaustaso 1. Tämä on mahdollista valita palovaarallisuusluokassa 1. Suojaustaso 1 edellyttää tavallista alkusammutuskalustoa. Tavallisella alkusammutuskalustolla tarkoitetaan yhden henkilön käytettävissä olevia, palonalkujen sammuttamiseen suunniteltuja laitteita kuten paloposteja ja käsiammuttimia. /1/

3.2 Rakennuksen paloluokka

Rakennuksen paloluokka on P3. P3-paloluokan rakennus tulee kysymykseen lähinnä palovaarallisuusluokassa 1. Tuotanto- tai varistorakennus on mahdollista suunnitella paloluokkaan P3. Rakennuksen kokoa rajoitetaan P3-paloluokassa

seuraavasti. Rakennuksen kerrosluku saa olla enintään 1 ja korkeus enintään 14 metriä. Tällöin kerrosalaa ei ole rajoitettu yksikerroksisessa tuotanto- ja varastorakennuksessa. Myöskään rakennuksen suurinta sallittua henkilömäärää ei rajoiteta P3-luokkaan kuuluvassa yksi kerroksisessa rakennuksessa. /2/

3.3 Palo-osastointi

Rakennus tulee yleensä jakaa palo-osastoihin palon ja savun leviämisen rajoittamiseksi, poistumisen turvaamiseksi, pelastus- ja sammutustoimien helpottamiseksi sekä omaisuusvahinkojen rajoittamiseksi. Merkittävien palovahinkojen estämiseksi suuret tuotanto- ja varastorakennukset jaetaan pinta-alaltaan rajoitettuihin palo-osastoihin. Paloluokassa P3 rakennuksen kuulussa palovaarallisuusluokkaan 1 ja suojaustason ollessa 1 on osastojen suurin sallittu koko pinta-alaosastoinnissa 2000 m². Rakennukselta ei vaadita kerrososastointia kerrosluvun ollessa 1. Käyttötapaosastointiakaan ei tule, kun käyttötapa on koko tilassa sama. Tässä hallirakennuksessa palo-osastointi tulee ainoastaan kattilahuoneeseen ja polttoainevarastoon. /2, 1/

3.4 Rakenteiden kantavuuden säilyttäminen

Tuotanto- ja varastorakennusten paloturvallisuus osassa E2 todetaan, että kantavat rakenteet tehdään yleensä osan E1 mukaisesti. E1 osassa todetaan, että tuotanto- ja varastorakennuksissa sallitaan lievennyksiä osan E2 mukaisesti. Osa E2 ei anna lievennyksiä P3-paloluokan rakennukselle. /1, 2/

Rakennus ja sen rakennusosat eivät palon vaikutuksesta saa sortumalla aiheuttaa vaaraa määrätynä aikana palon alkamisesta. E1:n kantavien rakenteiden luokkavaatimustaulukko ei aseta vaatimuksia kantavien rakenteiden kantavuuden suhteen P3-paloluokkaan kuuluvalla enintään 2-kerroksiselle rakennukselle. Rakennuksen kantaville yläpohjarakenteille P3-paloluokassa ei ole vaatimuksia, jos yläpohjan eristeet ovat vähintään luokkaa A2-S1, d0. Paloluokkaan P3 kuuluvan rakennuksen kantaville rakenteille ei aseteta erityisvaatimuksia palonkeston suhteen. Riittävä turvallisuustaso saavutetaan rakennuksen kokoa ja henkilömääriä rajoittamalla käyttötavasta riippuen. /2/

3.5 Pinnat

Rakennuksessa on käytettävä rakennusmateriaaleja, jotka eivät myötävaikuta palon kehittymiseen vaaraa aiheuttavalla tavalla. Paloluokassa P3 palovaarallisuusluokan 1 rakennuksen (tuotanto- ja varastotilat) sisäpuolisten pintojen luokkavaatimukset ovat seinien ja katon osalta D-s2, d2. Lattiapinnalle ei ole asetettu vaatimusta. Ulkoseinien ulkopintojen ja tuuletusraon pintojen luokkavaatimukset ovat ulkoseinän- ja tuuletusraon ulkopinta osalta D-s2, d2. Tuuletusraon sisäpinnaksi ei ole asetettu vaatimusta. /2/

3.6 Rakennustarvikkeiden paloluokitus

Rakennustarvikkeet jaetaan luokkiin sen perusteella, miten ne vaikuttavat palon syttymiseen ja sen leviämiseen sekä savuntuottoon ja palavaan pisarointiin. Rakennustarvikkeiden luokkaa kuvataan merkinnöillä: A1, A2, B, C, D, E, F. Savuntuotto ja palava pisarointi ilmaistaan lisämääreillä s ja d. Savuntuoton luokitus on s1, s2, s3 ja palavan pisaroinnin d0, d1, d2. Lattianpäällysteiden luokat kuvataan merkinnöillä: A1_{FL}, A2_{FL}, B_{FL}, C_{FL}, D_{FL}, E_{FL}, F_{FL}. Savuntuotto ilmaistaan lisämääreellä s1 tai s2. /2/

Taulukko 10. Rakennustarvikkeiden luokat. /2/

A1	Tarvikkeet, jotka eivät osallistu lainkaan paloon
A2	Tarvikkeet, joiden osallistuminen paloon on erittäin rajoitettu
B	Tarvikkeet, joiden osallistuminen paloon on hyvin rajoitettu
C	Tarvikkeet, jotka osallistuvat paloon rajoitetusti
D	Tarvikkeet, joiden osallistuminen paloon on hyväksyttävissä
E	Tarvikkeet, joiden käyttäytyminen palossa on hyväksyttävissä
F	Tarvikkeet, joiden käyttäytymistä ei ole määritetty

s1	Savuntuotto on erittäin vähäistä
s2	Savuntuotto on vähäistä
s3	Savuntuotto ei täytä s1 eikä s2 vaatimuksia
d0	Palavia pisaroita tai osia ei esiinny
d1	Palavat pisarat tai osat sammuvat nopeasti
d2	Palavien pisaroiden tai osien tuotto ei täytä d0 eikä d1 vaatimuksia

Taulukko 11. Lattianpäällysteiden luokat. /2/

A _{1FL}	Tarvikkeet, jotka eivät osallistu lainkaan paloon
A _{2FL}	Tarvikkeet, joiden osallistuminen paloon on erittäin rajoitettu
B _{FL}	Tarvikkeet, joiden osallistuminen paloon on hyvin rajoitettu
C _{FL}	Tarvikkeet, jotka osallistuvat paloon rajoitetusti
D _{FL}	Tarvikkeet, joiden osallistuminen paloon on hyväksyttävissä
E _{FL}	Tarvikkeet, joiden käyttäytyminen palossa on hyväksyttävissä
F _{FL}	Tarvikkeet, joiden käyttäytymistä ei ole määritetty
s1	Savuntuotto on rajoitettu
s2	Savuntuotto ei täytä s1 vaatimuksia

3.7 Palon leviämisen estäminen naapurirakennuksiin

Rakennuksen läheisyydessä ei ole muita rakennuksia. Jos rakennusten välinen etäisyys on alle 8 metriä, tulee rakenteellisin tai muin keinoin huolehtia palon le-

viämisen rajoittamisesta. Jos palon leviäminen on ilmeistä, tai rakennetaan kiinni toiseen rakennukseen, on käytettävä palomuuria. Paloluokassa P3 vaaditaan palomuurilta EI-M 60. /2/

3.8 Kattilahuoneen ja polttoainevaraston paloturvallisuus

Rakennuksen kattilahuone ja polttoainevarasto suunnitellaan RakMK:n E9 osan mukaan. Lämmityskattila sijoitetaan yleensä erilliseen osastoituun kattilahuoneeseen. Kattilalle ja sen lisälaitteille varattava riittävä tila määräytyy kattilan koon ja mallin mukaan. Kattilan ja sen laitteiden suojaetäisyydet määritetään kunkin kattilatyypin asennusohjeiden mukaisesti. Määräykset vaativat kuitenkin seuraavia vähimmäismittoja. Tulisijan suuluukun edessä tulee olla tilaa vähintään tulisijan syvyyden verran, kuitenkin vähintään 1000 mm sekä nuohoukseen tarvitaan puhdistusluukkujen edessä tilaa vähintään 600 mm. /3/

3.9 Kattilahuone ja polttoainevarasto rakennuksen osana

Kattilahuoneen ja polttoainevaraston sisäpuolisille pinnoille E9 antaa vaatimuksia. Rakennuksen paloluokassa P3 kattilahuoneen seinien ja kattojen luokkavaatimus on B-s1, d0 ja lattioiden luokkavaatimus on A_{2FL}-s1. Kiinteän polttoaineen varaston seiniltä ja katoilta vaaditaan luokkaa D-s2, d2. Lattioille ei ole asetettu vaatimusta. /3/

Kattilahuone muodostetaan omaksi palo-osastokseen. Kattilahuonetta ympäröivien rakennusosien luokat perustuvat rakennuksen paloluokkaan, kattilan tehoon ja kattilan sijoitukseen. P3-paloluokan rakennuksessa, jossa enintään 30 kW:n kattila kerroksessa, vaaditaan palonkestoluokkaa EI30. Rakennustarvikkeiden luokalle ei ole vaatimusta, jos kattila sijaitsee kerroksessa. Kattilahuoneen ja polttoainevaraston välisen osastoivan oven palonkestävyysaika on vähintään puolet osastoivalle rakennusosalle vaaditusta palonkestävyysajasta. Ulkoseinässä olevan osastoivan oven ei tarvitse olla osastoiva. Lämmöneristettyä ovea voidaan pitää riittävän turvallisenä. Kattilalle palamisilma johdetaan suoraan ulkoa. Palamisilmakanava tulee eristää läpiviennin alueella, jos se kulkee palo-osaston läpi. /3/

Polttoainevarasto muodostetaan omaksi palo-osastoksi. E9:n mukaan P3-paloluokan rakennuksessa polttoainevaraston osastoivien rakennusosien palonkestovaatimus on EI30. Rakennustarvikkeiden luokalle ei ole vaatimusta, kun polttoainevarasto sijaitsee kerroksessa. Osastoivan oven palonkestävyysaika on vähintään puolet osastoivalle rakennusosalle vaaditusta palonkestoajasta. Kiinteän polttoaineen syöttölaitteisto ei saa vaarantaa osastointia. /3/

3.10 Rakennusosan paloluokitus

Kantavat ja osastoivat rakennusosat jaetaan luokkiin sen perusteella, miten ne kestävät paloa. Rakennusosan paloluokka merkintä muodostuu seuraavasti. Merkkien R, REI, RE, EI, E jälkeen ilmoitetaan palonkestävyysaika minuutteina. Merkintää voidaan täydentää tunnuksella M. Rakennusosan vaatimustenmukaisuus osoitetaan kokeellisesti tai laskennallisilla menetelmin. /2/

Taulukko 12. Rakennusosan paloluokitus. /2/

R	kantavuus
E	tiiviyys
I	eristävyys
15, 30, 45, 60, 90, 120, 180 tai 240	palonkestävyysaika minuutteina
M	iskunkestävyys palotilanteessa

3.11 Savunpoisto

Painovoimainen savunpoisto voidaan järjestää käyttämällä huoneen yläosassa sijaitsevia helposti avattavia tai helposti rikottavia ikkunoita ja luukkuja sekä korkeita oviaukkoja. Savunpoistoon soveltuvien aukkojen kokonaispinta-alan tulee olla palovaarallisuusluokassa 1 0,25 - 2,0 % osaston alasta. Tässä rakennuksessa halliosan pinta-alasta laskettuna aukkojen pinta-alan tulisi olla 0,44 - 3,48 m². Tämä saavutetaan jo pelkästään ikkunoiden pinta-alalla. Hallissa on 12 kappaletta

6x7 ikkunaa alareunan ollessa 3,5 metrin korkeudella maanpinnasta. Olettaen ikkunan valoaukon mitaksi luokkaa 0,5x0,7, tulee yhteispinta-alaksi 4,2 m². /1/

3.12 Savuhormi

Ajoneuvohalliin tilataan valmiskiipput. Valmistajan tulee huolehtia tuotteensa määräystenmukaisuuden täyttymisestä. Lisäksi tuotepakkaukseen pitää sisältyä asennus-, käyttö- ja huolto-ohjeet.

Suomen rakentamismääräyskokoelman osa E3 sisältää pienten savupiippujen rakenteet ja paloturvallisuus määräykset ja ohjeet 2007. Määräykset koskevat pienten savupiippujen suunnittelua ja rakentamista. Pieneen savupiippuun, jossa voi olla yksi tai useampi hormi, liitettävien tulisijojen lämpöteho on yhteensä enintään 120kW. Savupiippu, yhdys- sekä liitinhormeineen on suunniteltava ja rakennettava siten, että saavutetaan riittävä veto, lujuus, tiiveys ja käyttöikä ja ettei niistä aiheudu palo- tai räjähdysvaaraa. Piipun on kestävä säärasitus sekä jäätyminen ja sulamisen sekä lämpötilan muutoksista aiheutuvat muodonmuutokset ja rasitukset. Elementeistä tehtynä elementtien liitoskohtia ei saa sijoittaa läpiviennin kohtaan. Piiput tehdään A1 luokan tarvikkeista. A1-luokan rakennustarvikkeet eivät osallistu lainkaan paloon. /4/

Piippu on ulotettava vesikaton yläpuolelle riittävän korkealle, jotta saavutetaan riittävä paloturvallisuus ja veto. Piipun pään tulee olla vähintään 0,8 metrin korkeudella harjasta. Piippu on tarkoituksenmukaista sijoittaa lähelle harjaa. Piipun ollessa lappeella, tavanomaisilla kattokaltevuuksilla, piipun korkeuteen lisätään 0,1 metriä jokaista lapemetriä kohden harjalta laskettuna. Piiput tehdään mahdollisimman pystysuoriksi. Poikkeama pystysuoruudesta ei saa vaarantaa paloturvallisuutta tai piipun toimivuutta. Piippu voi erityisestä syystä poiketa pystysuorasta suunnasta. Poikkeaman ollessa yli 30 astetta, tehdään selvitys savupiipun rakenteellisistä ratkaisuista, toimivuudesta ja nuohottavuudesta. /4/

Hormituotteiden tuotepakkaukseen sisältyy asennus-, käyttö- ja huolto-ohjeet. Niissä esitetään yhteensopivuus tulisijojen kanssa, periaatteet läpivientien tekemisestä sekä suojaetäisyydet ja puhdistus. Piippu sekä siihen liittyvät liitin- ja yh-

dyshormit tulee sijoittaa siten, ettei niiden pintalämpötila aiheuta vaaraa henkilö tai paloturvallisuudelle. Näkyvissä ja helposti kosketeltavissa olevien savupiipun osien pintalämpötila voi olla enintään 80 astetta. Piipun viereisen muusta kuin A1-luokan materiaalista tehdyn rakenteen pintalämpötila ei saa olla yli 85 astetta. Tällaiset rakennusosat sijoitetaan vähintään 100 mm:n etäisyydelle savupiipun ulkopinnasta. Väli- ja yläpohjan tai seinän läpimenokohtaan asennetaan vähintään 100 mm paksu kerros soveltuvaa A1-luokan eli palamatonta rakennustarviketta. Piipun ja rakennusosan väliin jätetään vähintään noin 20 mm liikuntaväli, joka täytetään tarkoitukseen sopivalla A1-luokan rakennustarvikkeella. /4/

4 LÄMMÖNERISTYSVAATIMUKSET

Nykyään kiinnitetään paljon huomiota rakennuksen energiatehokkuuteen. Taustalla on EU:n rakennusten energiatehokkuutta koskeva direktiivi. Viimeaikoina lämmöneristysvaatimukset ovat kiristyneet. Huomiota on kiinnitettävä rakenteisiin suunnittelun lisäksi myös työvaiheessa, jotta rakenteet toimisivat suunnitellulla tavalla. Rakenteet tulee suunnitella ja rakentaa niin, että vältetään tarpeettomalta energiankäytöltä ja rajoitetaan energiahäviötä hyvän energiatehokkuuden saavuttamiseksi.

Määräystenmukaisuus tulee osoittaa. Rakennuksen lämmöneristysvaatimuksen täytyminen osoitetaan lasketuilla U-arvoilla. Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuus osoitetaan tasauslaskelmalla. Suomen rakentamismääräyskokoelman C3-osan määräykset koskevat uusia rakennuksia, joiden lämmitykseen ja mahdolliseen jäähdytykseen käytetään energiaa. Poikkeuksena sellaiset tuotantorakennukset, joissa tuotantoprosessi luovuttaa suuren osan halutusta sisälämpötilasta tai tuotantotila, jossa lämmöneristys lisää oleellisesti jäähdytysenergiankulutusta. Määräykset eivät koske kesäkäyttöön tarkoitettuja loma-asuntoja. Myöskään sellaisissa rakennuksissa ei tarvitse noudattaa määräyksiä, joiden käyttö tarkoitukseensa vaikeutuisi kohtuuttomasti. /5/

4.1 Rakenteiden ilman pitävyys

Lämpimän tilan ulkoilmasta erottavien rakennusosien tulee olla lämpö- ja kosteusteknisiltä ominaisuuksiltaan sellaisia, että tilassa voidaan saavuttaa käyttötarkoituksen edellyttämät sisäilmasto-olot energiatehokkaasti. Rakenteiden tulee olla riittävän ilmanpitäviä ettei vuotokohtien ilmavirtaukset aiheuta merkittäviä haittoja rakennuksen käyttäjille tai rakenteille, eikä haittaa ilmanvaihtojärjestelmän toimintaa. Erityisesti läpivienteihin ja liitoksiin on kiinnitettävä huomiota. /5/

4.2 Rakennuksen vaipan lämmöneristys

Rakennuksen vaipan lämpöhäviö ei saa olla suurempi kuin vertailuarvoilla laskettu lämpöhäviö. Rakennuksen vaippaan kuuluvat rakennusosat, jotka erottavat lämpimän tilan ulkoilmasta, maaperästä tai lämmittämättömästä tilasta. Vaipan lämpöhäviön ylitys, enintään 30 prosentti voidaan kuitenkin tasata pienentämällä rakennuksen vuotoilman tai ilmanvaihdon lämpöhäviötä. /5/

Halli suunnitellaan lämpimäksi tilaksi. Lämpimällä tilalla tarkoitetaan sellaista tilaa, jonka mitoittavaksi lämpötilaksi lämmityskaudella valitaan +17 °C tai sitä korkeampi lämpötila. Mitoittavan sisä- ja ulkolämpötilan perusteella määritetään rakennuksen lämmitystehontarve. /5/

Taulukko 13. Lämpimän tilan rakennusosien vertailuarvoina käytettävät lämmönläpäisykertoimet U. /5/

seinä	0,17 W/m ² K
yläpohja	0,09 W/m ² K
maata vasten oleva rakennusosa	0,16 W/m ² K
ikkuna, ovi	1,0 W/m ² K

Tarpeen vaatiessa lujuus- tai muista erityisistä syistä rakennusosan pienen osan kerroin saa olla suurempi. Poikkeaminen vaatimuksesta ei saa aiheuttaa tiivistymistä tai liian korkeaa suhteellista kosteutta rakenteen pinnassa tai rakenteessa. Rakennusosien lämpö- ja kosteustekninen toiminta on otettava huomioon suunniteltaessa. Kuitenkaan rakennuksen vaippaan kuuluvan alapohjan, yläpohjan tai seinän arvo ei saa ylittää 0,60. Lämpimäntilan ikkuna saa olla korkeintaan 1,8 ja puolilämpimän 2,8. Alapohjan lämmöneristys, routaeristys ja mahdollisen perusmuurin lämmöneristys tulee suunnitella ja toteuttaa siten, että vältytään routavaurioilta. /5/

4.3 Hallin lämmönläpäisykertoimet

Tässä luvussa esitetään ajoneuvohallirakennuksen vaippaan kuuluvien rakennusosien lämmönläpäisykertoimet ja lämmönläpäisykertoimien vertailu. Tämä rakennus suunnitellaan lämpimäksi tilaksi.

Rakenteet

Alapohja-, yläpohja- ja seinärakenne ovat esitetty edellä rakennesuunnitteluvuossa. Rakenteet on esitetty myös työn liitteissä, rakennepiirustuksiin sisältyvinä rakennetyypeinä.

Lämmönläpäisykertoimet

Lämmönläpäisykertoimet lasketaan rakentamismääräyskokoelman osan C4 mukaan. Taulukkoon on poimittu hallin lämmönläpäisykertoimet MathCaD-laskupohjasta, joka on tehty C4-osan mukaan.

Taulukko 14. Lämmönläpäisykertoimien vertailu.

	halli W/m ² K	vertailu W/m ² K (lämmintila)
seinä	0,162	0,17
yläpohja	0,085	0,09
alapohja	0,155	0,16
ikkuna, ovi	1,0	1,0

4.4 Hallin lämpöhäviön tasauslaskenta

Hallin lämpöhäviön tasauslaskenta on tehty ympäristöministeriön verkkosivuilta löytyvällä excel-lomakkeella Tasauslaskin 2010. Tasauslaskentalomakkeella voidaan osoittaa rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuus. Lomakkeessa osoittaminen tapahtuu ympäristöministeriön verkkosivuilta löytyvän määräysten

soveltamisoppaan Tasauslaskentaopas 2007 mukaisesti. Lomaketta ja Tasauslaskentaopasta käytetään rinnan. Lämpöhäviön tasauslaskentaa varten on tehty MathCAD-laskupohja, joka on työssä liitteenä.

Käytetyt termit ja määritelmät

Alla olevat termit ja määritelmät on lainattu ympäristöministeriön julkaisusta Tasauslaskentaopas 2007. /14/

Rakennustilavuus

Rakennuksen tilavuudella tarkoitetaan tilaa, jota rajoittavat ulkoseinien ulkopinnat, alapohjan alapinta ja yläpohjan yläpinta.

Maanpäälliset kerrostasoalat yhteensä

Kerrostasoala on kerrosala, jonka rajoina ovat kerrostasoa ympäröivien ulkoseinien ulkopinnat tai niiden ajateltu jatke ulkoseinien pinnassa olevien aukkojen ja koristeosien osalla.

Kerroskorkeus

Kerroskorkeus mitataan alemman kerroksen lattian pinnasta välittömästi yläpuolella olevan kerroksen lattian pintaan.

Huonekorkeus

Huonekorkeus mitataan huoneen lattian pinnasta huoneen katon alapintaan.

Ilmatilavuus

Rakennuksen ilmatilavuus on huonekorkeuden ja kokonaissisämittojen mukaan lasketun pinta-alan tulo.

Rakennusosien pinta-alat

Nämä määritelmät on lainattu Suomen rakentamismääräyskokoelma D5 osasta. /15/

Alapohjat

Pinta-ala lasketaan sisämittojen mukaan aukkojen ja rakenteiden aloja vähentämättä.

Yläpohjat

Pinta-ala lasketaan ulkoseinien sisämittojen mukaisesti kattoikkunoiden aukkojen pinta-alat vähentäen.

Ulkoseinät

Pinta-ala lasketaan sisämittojen mukaisesti lattiapinnasta yläpohjan alapintaan ikkunoiden ja ovien aukkojen pinta-alat vähentäen.

Ikkunat ja ovet

Pinta-alat lasketaan karmirakenteen ulkomittojen mukaan.

4.4.1 Lomakkeeseen syötettävät arvot

Tässä luvussa on esitetty tasauslaskentalomakkeen täyttämiseen tarvittavat tiedot. Lomakkeeseen syötettävät arvot on ryhmitelty. Lomakkeeseen syötettävät kohdat ovat rakennuksen laajuustiedot, perustiedot, vaipan ilmavuodot ja ilmanvaihto.

Lomakkeeseen syötetään rakennuksesta laajuustiedot. Arvot on laskettu edellisessä kappaleessa 4.4 esitettyjen määritelmien mukaan.

Taulukko 15. Rakennuksen laajuustiedot.

Rakennustilavuus	1094,115 m ³
Maanpäälliset kerrostasoalat yhteensä	209 m ²
Kerroskorkeus	4,985 m
Huonekorkeus	4,5 m

Ilmatilavuus, V, lämpimät tilat	877,26 m ³
---------------------------------	-----------------------

Perustietoihin syötetään rakennusosien pinta-alat ja U-arvot. Pinta-alat on laskettu edellisessä kappaleessa 4.4 esitettyjen määritelmien mukaan. Rakennusosien U-arvoista on tarkemmin kappaleessa 4.3.

Taulukko 16. Rakennusosien pinta-alat.

Osa	Pinta-ala, m ²
Ulkoseinä	239,295
Yläpohja	194,947
Alapohja (maanvastainen)	194,947
Ikkunat	6,48
Ulko-ovet	17,69

Taulukko 17. Rakennusosien U-arvot.

Osa	U-arvo, W/m ² K
Ulkoseinä	0,162
Yläpohja	0,085
Alapohja	0,155
Ikkunat	1,0
Ulko-ovet	1,0

Vaipan ilmavuodot kohtaan syötetään ilmanvuotoluku ja vuotoilmavirta. Arvot on koottu lämpöhäviön tasauslaskenta liitteestä.

Taulukko 18. Vaipan ilmavuodot.

Ilmanvuotoluku	4 1/h
Vuotoilmavirta	0,0390 m ³ /s

Kohdassa ilmanvaihto otetaan huomioon rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmä. Kohtaan syötetään poistoilmavirta ja LTO:n (ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenotto) vuosihyötysuhde. Arvot on koottu lämpöhäviön tasauslaskenta liitteestä. LTO:n vuosihyötysuhde on valmistajan ilmoittama varmennettu vuosihyötysuhde.

Taulukko 19. Ilmanvaihto.

Poistoilmavirta	0,042 m ³ /s
LTO:n vuosihyötysuhde (Vallox 280se)	51 %

4.4.2 Tasauslaskentalomake

Ajoneuvohallin lämpöhäviön tasauslaskenta lomake täytettynä.

Rakennuksen lämpöhäviön tasauslaskelma, D3-2010 (voimassa 1.1.2010 alkaen)

Rakennuskohde	Autohalli
Rakennuslupatunnus	
Rakennustyyppi	Muu rakennus
Pääsuunnittelija	
Tasauslaskelman tekijä	
Päiväys	
Tulos: Suunnitteluratkaisu	TÄYTTÄÄ VAATIMUKSET

Rakennuksen laajuustiedot	Lasketatuloksia
Rakennustilavuus	1 034 rak-m ³
Maanpäälliset kerrostasosalat yhteensä	209 m ²
Kerroskorkeus	5,0 m
Huonekorkeus	4,5 m
Imatilavuus, V, lämpimät tilat	877 m ³
Imatilavuus, V, puoliämpimät tilat	m ³

Julkisivun pinta-ala on 263 m²
 Kkunanpinta-ala on 4 % maanpäällisestä kerrostasosalasta
 Kkunanpinta-ala on 3 % julkisivun pinta-alasta
 Lämpöhäviö on 98 % vertailutasosta (lämpimät tilat)

Perustiedot	Pinta-alat, m ²		U-arvot, W/(m ² K)			Lämpöhäviöiden tasaus	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Enimmäis- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
RAKENNUSOSAT							
<i>Lämpimät tilat</i>							
Ulkoseinä	214	238	0,17	0,60	0,16	38,4	38,6
Hiriseinä			0,40	0,60		-	-
Yläpohja	195	195	0,09	0,60	0,09	17,5	18,6
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,09	0,60		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva) ¹⁾			0,17	0,60		-	-
Alapohja (maanvastainen)	195		0,16	0,60	0,16	31,2	30,2
Muu maanvastainen rakennusosa			0,16	0,60		-	-
Kkunnat	31,4	7,8	1,00	1,80	1,00	31,4	7,8
Ukko-ovet		17,7	1,00	-	1,00	17,7	17,7
Kattoikkunat			1,00	1,80		-	-
Lämpimät tilat yhteensä	653	653				134,3	110,6
<i>Puoliämpimät tilat</i>							
Ulkoseinä			0,26	0,60		-	-
Hiriseinä			0,60	0,60		-	-
Yläpohja			0,14	0,60		-	-
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,14	0,60		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva) ¹⁾			0,26	0,60		-	-
Alapohja (maanvastainen)			0,24	0,60		-	-
Muu maanvastainen rakennusosa			0,24	0,60		-	-
Kkunnat			1,40	2,80		-	-
Ukko-ovet			1,40	-		-	-
Kattoikkunat			1,40	2,80		-	-
Puoliämpimät tilat yhteensä							
YAIKAN ILMAVUODOT							
	Ilmanvuotoluku, 1/h		Vuotoilmavirta, m ³ /s		Ominaislämpöhäviö, W/K		
	[n ₅₀]		[q _{v,v} = n ₅₀ × 25 × V/3600]		[H _{vuotoilma} = 1200 × q _{v,v}]		
Vuotoilma	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu	
Lämpimät tilat	2,0	4,0	0,0195	0,0390	23,4	46,6	
Puoliämpimät tilat	2,0						
ILMANVAIHTO							
	Poistoilmavirta, m ³ /s		LTO:n vuosiyhtäsuhteen, %		Ominaislämpöhäviö, W/K		
	[q _{v,p}]		[η _a]		[H _v = 1200 × q _{v,p} × (1-η _a)]		
Häilitty ilmanvaihto	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu	
Lämpimät tilat	0,042		45	51	27,4	24,4	
Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0				
Puoliämpimät tilat			45				
Puoliämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0				
Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus							
	Ominaislämpöhäviö, W/K						
	[H = H _{poht} + H _{vuotoilma} + H _v]						
Lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö yhteensä					185	182	
Puoliämpimien tilojen ominaislämpöhäviö yhteensä					-	-	

¹⁾ Ryömintätilaan rajoittuva alapohjan lämpöhäviö kerrotaan luvulla 0,6 rakentamismääräyköselmän osan D3 mukaisesti.

Tällä tavalla otetaan huomioon ryömintätilan ilman ulkoilmaa korkeampi vuotuinen keskilämpötila.

Ryömintätilan tuuletusaukkojen määrä on enintään 6 promillea alapohjan pinta-alasta.

Kuva 6. Tasauslaskentalomake sivu 1.

Rakennuksen lämpöhäviön tasauslaskelma, D3-2010 (voimassa 1.1.2010 alkaen)

Rakennuskohde	Autohalli		
Rakennuslupatunnus			
Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden tarkistuslista			
Pinta-alat (osa C3)			
Vertailukunapinta-ala on 15 % yhteenlasketuista maanpäällisistä kerrostasaloista, mutta kuitenkin enintään 50 % julkisivujen pinta-alasta		kyllä	ei
		V	
Rakennusosien yhteenlaskettu pinta-ala sama molemmissa ratkaisuissa			
- lämpimissä tiloissa		V	
- puoliämpimissä tiloissa			
Rakennusosien U-arvot ja vaipan lämpöhäviö (osa C3)			
U-arvot ovat enintään enimmäisarvojen suuruisia		kyllä	ei
		V	
Vaipan suunnittelu- ja vertailuratkaisun ominaislämpöhäviön suhde on enintään 1,3			
		V	
- lämpimissä tiloissa			Enimmäisarvo
- puoliämpimissä tiloissa			Toteutunut arvo
			1,3
			0,82
			1,3
Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus (D3)			
Suunnitteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään vertailuratkaisun suuruinen		kyllä	ei
		V	
- lämpimissä tiloissa			Vertailu-
- puoliämpimissä tiloissa			Suunnittelu-
			arvo
			arvo
			185 W/K
			182 W/K
Tarkistuslistan yhteenveto			
Suunnitteluratkaisu täyttää lämpöhäviövaatimukset		kyllä	ei
		V	
Lisäselvitykset			
Rakennuksen vuotoilma (osa D3)			
Jos lämpöhäviölaskelmassa vaipan ilmanvotokuvun n_{50} suunnitteluarvo on alle 4 1/h, ilmanpitävyydestä on esitettävä selvitys			
Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton (LTO) hyötysuhde (osa D2)			
Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen määrittämisestä on esitettävä selvitys			
Matalaenergiarakennuksen lämpöhäviötaso (osa D3)			
Kun suunnitellaan matalaenergiarakennusta, tulisi rakennuksen laskennallisen lämpöhäviön olla enintään 85 % rakennukselle määritetystä vertailulämpöhäviöstä. Tällöin vertailulämpöhäviön laskennassa käytetään hirsiseinille lämmönläpäisykerroimen vertailuarvoa 0,17 W/m ² K lämpimissä tiloissa ja 0,26 W/m ² K puoliämpimissä tiloissa.			
Suunnitteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään 85 % vertailuratkaisun ominaislämpöhäviöstä		kyllä	ei
			85 % vertailu-
- lämpimissä tiloissa		X	Suunnittelu-
- puoliämpimissä tiloissa			arvo
			arvo
			157 W/K
			182 W/K
Suunnitteluratkaisu vastaa matalaenergiarakennuksen lämpöhäviötasoa			
		X	

© Ympäristöministeriö, Tasauslaskelma 2010 (versio helmikuu 2009)

2(2)

Kuva 7. Tasauslaskentalomake sivu 2.

Lomakkeesta näkee, että suunnitteluratkaisu täyttää vaatimukset. Vertailuratkaisussa ominaislämpöhäviöiden $H_{j\text{ohd}}$, $H_{\text{vuotoilma}}$ ja H_{IV} summa on 185 W/K. Suunnitteluratkaisussa summa on pienempi, 182 W/K.

5 LÄMMITYSJÄRJESTELMÄ

5.1 Hakelämmitys

Hakelämmitysjärjestelmään kuuluu kattila, polttoaineen syöttölaitteisto turvajärjestelmineen sekä polttoainevarasto. Hakelämmitys mahdollistaa puulämmityksen automatisoinnin lämpökeskuksessa. Kattila syöttää polttoainetta automaattisesti tarpeen mukaan. Kattila alkaa syöttää haketta, kun veden lämpötila laskee. Lämpöä ei siis välttämättä tarvitse varastoida lämminvesivaraajaan. Lämmöntarpeen ollessa pieni tai kattilan toimiessa tavallista pienemmällä teholla esim. kesällä, lämminvesivaraaja voi olla käytännöllinen. Automaattisyötöllä toimivia kattiloita käytetään useimmiten isoissa lämpökeskuksissa. /6/

Lämmönjakojärjestelmänä on yleensä joko lattia- tai patterilämmitysverkko. Lisäksi lämmitysjärjestelmässä voi olla lämminvesivaraaja, johon kattilasta saatu lämpö varastoidaan. Hyvässä puukattilassa hyötysuhde nimellisteholla on yli 80 %. /7/

5.2 Hake

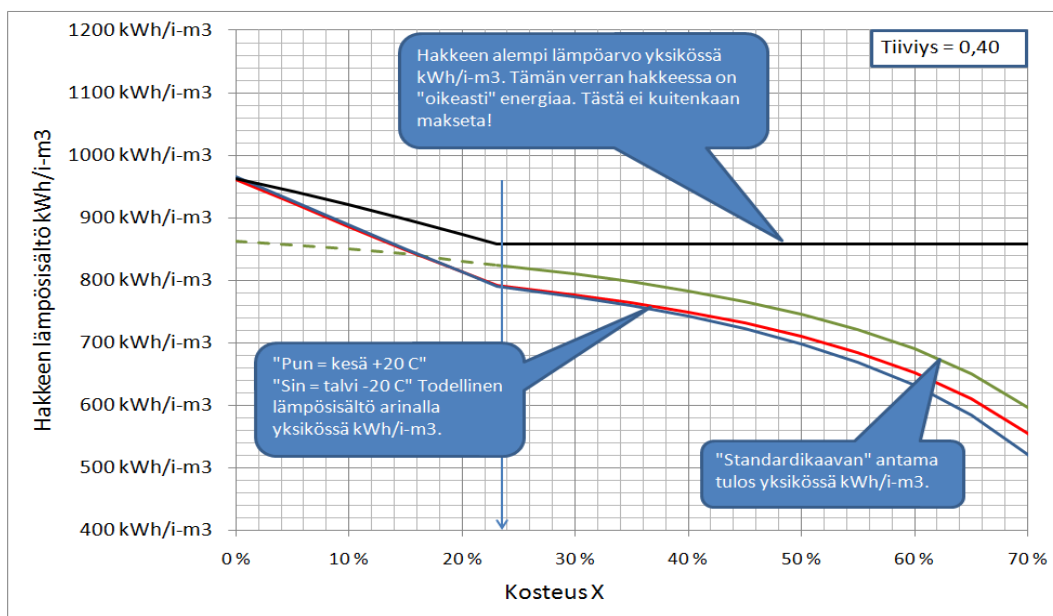
Haketta käytetään polttoaineena puukattilassa. Hake on metsästä saatava puhdas, edullinen ja uusiutuva kotimainen energialähde. Hake valmistetaan koneellisesti hakettamalla puuta. Hake voidaan tehdä usealla eritavalla ja raaka-aineeksi on useita vaihtoehtoja, esimerkiksi rakennusjätettä tai sahausjätettä. Metsähaketta saadaan metsistä korjattavasta raaka-aineesta. Kokopuuhaketta tehdään karsimatomasta kokopuusta, rankahaketta karsituista rangoista, hakkuutähdehaketta hakkuutähdeestä ja kantohaketta kannoista. /8/

Hakkeen palakoko voi vaihdella. Hake valmistetaan hakkureilla. Hakkeet voidaan jakaa kolmeen eri kokoluokkaan. Pala-hakkeen palakoko on 5-10 cm. Pala-hake tehdään ruuvimaisella palahakkurilla. Pienempi kokoiset hakkeet tehdään laikka- tai rumpuhakkurilla. Normaalin hakkeen palakoko on 1-4 cm. Pienhakkeen palakoko on alle 1 cm. Hakkurit saavat käyttövoimansa traktorin tai kuorma-auton

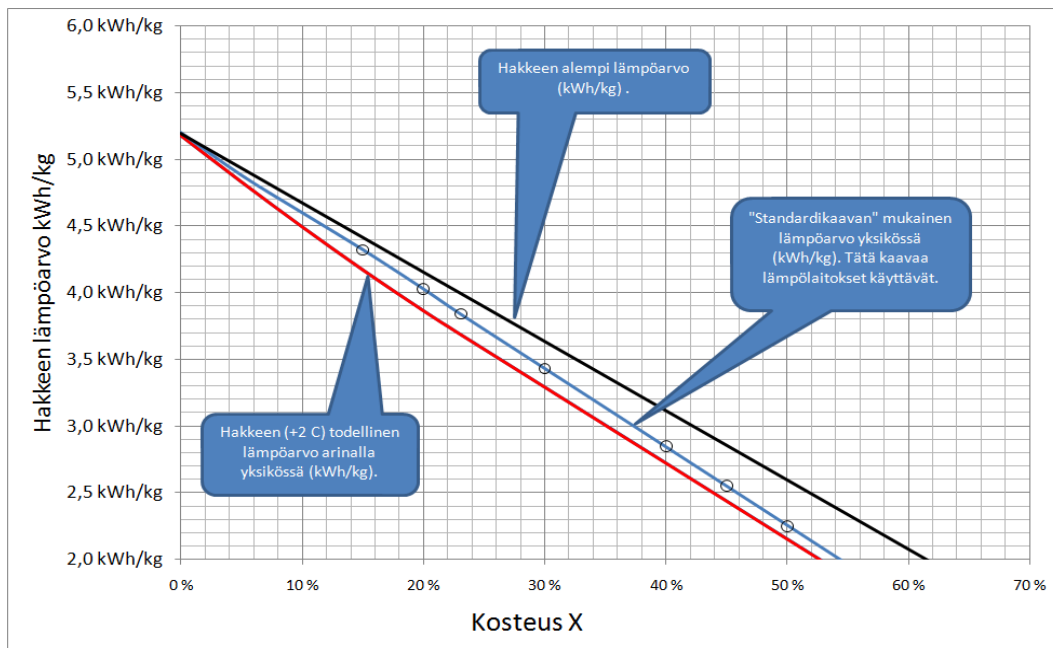
moottorilta. Suurimmat hakkurit on yleensä varustettu omalla moottorilla. Hake voidaan tehdä paikanpäällä erillisellä hakkurilla tai urakoitsijan toimesta. Hakkeen voi myös tilata urakoitsijalta paikalle tuotuna valmiiksi hakettuna. /9/

Tärkeimmät hakkeen ominaisuudet ovat sen korkea lämpöarvo ja alhainen kosteus. Metsähakkeen energiasisältö vaihtelee kosteudesta ja tiheydestä riippuen 0,7-1,0 MWh/i-m³. Metsähakkeen tiheys on 250-320 kg/i-m³ kosteudesta riippuen. Hakkeen kosteus vaihtelee välillä 25 % (kuiva) ja 50 % (märkä). Hakkeen polton automatisointi edellyttää, että hake on riittävän kuivaa (kosteus alle 35 %). Hakkeen varastoinnille ei ole suuria vaatimuksia. Katto ja betonilattia ovat minimiväaattimus. Hakekuivurilla voidaan parantaa hakkeen laatua. /9/

Polttoaineen laatuun kannattaa panostaa. Liian kostea polttoaine palaa tehottomasti. Kosteasta polttoaineesta saadaan vähemmän lämpöenergiaa. Kattilan hyötysuhde heikkenee voimakkaasti polttoaineen kosteuden lisääntyessä. Hakkeen polton automatisointi edellyttää myös riittävän kuivaa haketta. Hakekattilaan sopii parhaiten normaalihake palakooltaan 1-3 cm. Mitä pienempi hakkeen palakoko on, sitä helpompi on hakkeen siirto automatisoida. /8/



Kuva 8. Hakkeen lämpösisältö irtokuutiota kohti eri kosteuspitoisuuksilla. /10/



Kuva 9. Hakkeen lämpösisältö hakekiloa kohti eri kosteuspitoisuuksilla. /10/

5.3 Kattilatyyppit

Hakkeen polttoon soveltuvia kattiloita on erilaisia. Hakekattilat ovat tyypiltään yläpalo-, alapalo- tai stokerikattiloita. Haketta poltetaan yleensä vain stokerikattilassa tai alapalokattilassa. Hyvä hakelämmityskattila siirtää palaessa syntyvän lämpöenergian mahdollisimman korkealla hyötysuhteella kattilaveteen kyeten pitämään lämmön kattilan vaipan sisäpuolella. /8/

5.3.1 Yläpalokattila

Yläpalokattilassa polttoainekerros palaa kerralla ja palamiskaasut virtaavat koko polttoainekerroksen lävitse. Epätasaisen palamisen vuoksi tervapäästöt ovat runsaita ja savukaasujen lämpötila on korkea. Yläpalokattila on hyvä stokerikattila, jos tulipesä on tarpeeksi avara ja konvektiopinnat ovat pystysuorassa, jottei lentotuhka kerry niihin. Yläpalokattila liitetään yleensä erilliseen varaajaan. /8/

5.3.2 Alapalokattila

Alapalokattilassa polttoainekerros palaa kaksivaiheisesti. Ensin polttoaine kaasuuntuu arinalla ja muodostuneet kaasut palavat toisioilman avulla jälkipoltto-

pesässä. Alapalokattila on varaajakattila, suoraan lämmitykseen tehonsäätö ei yleensä riitä. /8/

5.3.3 Stokerikattila

Stokerikattila on suunniteltu erityisesti stokerikäyttöön ja suurella vesitilalla varustettu, suoraan lämmitykseen suunniteltu kattila. Stokerikattiloissa käyttövesi lämmitetään erillisellä käyttövesikierukalla. Stokerikattila koostuu ilmatiiviillä kannella varustetusta hakesäiliöstä, syöttöruuvista ja kattilan tulipesään sijoitettava palopäästä. /8/

5.3.4 Stokeripoltin

Stokeripoltin koostuu hakesäiliöstä, syöttöruuvista ja kattilantulipesään sijoitettava palopäästä. Ruuvisyötteistä menetelmää kutsutaan stokeriksi. Stokeripoltin voidaan sijoittaa joko olemassa olevaan kattilaan tai stokerikattilaan. Poltin toimii hyvin, kunhan käytettävä hake on riittävän kuivaa (noin 30 %), jolloin hake palaa puhtaasti. Polttoainetta syötetään palopäähän kerrallaan vain kulutustarpeen verran. Palaminen tapahtuu sylinterimäisen putken sisällä. Palamiseen tarvittavaa ilmaa puhalletaan puhaltimella. Stokeripolttimessa on laaja tehoalue 0-100 %, jolloin erillistä varaajaa ei välttämättä tarvita. /8/

5.4 Hakesiilot ja syöttöjärjestelmät

Hakesiilon mitoitus riippuu hakkeen kulutuksesta ja halutusta siilon täyttövälisestä. Varastossa haketta ohjataan erilaisilla kuljettimilla tiettyyn osaan varastoa ja siitä edelleen ruuvilla kattilaan. Siilo voidaan täyttää esim. traktorin etukuormaimella tai käsin. Isommilla täyttömäärillä hakkeen siirto kannattaa koneellistaa. Siilossa on haketta purkamassa joko lautas-, jousi-, kola- tai tankopurkain. /9/

5.5 Järjestelmän ongelmat

Automaattisyöttöisen kattilan suurin ongelma on takatuli. Takatuli on kaasumaista tai ns. kytytulua. Kytytulena tuli etenee hitaasti palamalla syöttöjärjestelmään päin. Kaasumaisessa takatulessa tulipesään syntyy ylipaine, jolloin kattila toimii vää-

rään suuntaan. Myös polttoainesäiliön kannen auki jääminen voi aiheuttaa kuumen savukaasun kulkeutumisen syöttöjärjestelmää pitkin polttoainevarastoon. /6/

Kattilan ollessa käytössä voi sähkökatkos aiheuttaa järjestelmään suuren ongelman, jos kattilassa on vielä palamatonta haketta. Sähkökatkoksen pysäytettyä polttoaineen syötön voi hiipumalla etenevä takatuli tulla mahdolliseksi, ellei sen estämiseksi ole riittäviä turvajärjestelmiä. /6/

5.6 Automaattisyöttöisen laitteiston turvajärjestelmät

Takatulen estämiseksi on olemassa erilaisia turvajärjestelmiä. Automaattisyöttöisten kattiloiden polttoaineen syöttölaitteistossa on suositeltavaa olla kaksi erillistä toisistaan riippumatonta turvajärjestelmää takatulen varalta. Järjestelmien tulisi toimia myös sähkökatkosten aikana. /6/

5.6.1 Sammutusjärjestelmä

Sammutusjärjestelmä on liitetty polttoaineen syöttölaitteistoon. Kattilan puoleisessa syöttöruuvissa on sammutusjärjestelmän suuttimet yleensä molemmissa päissä. Ruuvin putken lämpötilan noustessa liian korkeaksi, suuttimet aukeavat ja sammuttavat ruuvissa syttyneen hakkeen. Hakelämmitysjärjestelmissä sammutusaineeksi sopii parhaiten vesi. /6/

5.6.2 Sulkusyötin

Polttoaineen syöttölaitteistossa oleva laite, jonka tehtävänä on katkaista suorayhteys lämmityskattilan ja polttoainevaraston välillä. Laitteen tiiviys tulee tarkastaa vähintään kaksi kertaa vuodessa. /6/

5.6.3 Pudotuskuilu ja kaksi ruuvikuljetinta

Pudotuskuilua käytetään 2-ruuvisessa polttoaineen syöttölaitteistossa. Polttoaine putoaa siirtoruuvilta pudotuskuilua pitkin syöttöruuville. Siirtoruuvi ja sen putki syöttää polttoainetta polttoainevarastosta syöttöruuville. Syöttöruuvi ja sen putki syöttää polttoainetta tulipesään. /6/

5.6.4 Muita turvajärjestelmiä

Järjestelmässä on antureita ja muita laitteita turvaamassa laitteiston oikeaa toimintaa. Sammutusjärjestelmän lämpöanturi katkaisee polttoaineen syötön, jos lämpötila nousee liian korkeaksi. Järjestelmän tulipesässä alipaineanturi ohjaa savukaasupuhallinta alipainetta mittaamalla. Kattilan ja savupiipun välissä olevan savukaasupuhaltimen tehtävänä on vedon varmistaminen. Tulipesässä on liekinvalvontalaite, joka valvoo palamista. Sen tehtävä on pysäyttää polttoaineen syöttö, jos tuli on päässyt sammumaan. /6/

5.7 Käyttö, huolto ja kunnossapito

Lämmitysjärjestelmän turvallinen käyttö varmistetaan sijoittamalla laitteisto paloturvallisesti. Sijoittamisessa on otettava huomioon laitekohtaiset suojaetäisyydet sekä käytön ja huollon vaatima tila. Lämmityskattilan palamisilma on johdettava suoraan ulkoa. Laitteiston tulee olla vaatimusten mukainen, sekä koottu ja asennettu oikein. Kattilan mukana tulee käyttöohjeet kirjallisesti turvallista käyttöä varten. Käyttöohjeissa on ohjeet myös huoltoa ja kunnossapitoa varten. Käyttäjä merkitsee tarkastukset toimitettuihin tarkastuslomakkeisiin. Kattilan ja hormin säännöllinen nuohous on huolehdittava vähintään kerran vuodessa. Käyttäjän on tehtävätuhkan poistoa ja muuta puhdistusta tarpeen mukaan. Säännöllisesti huollettu kattila toimii tehokkaammin ja lisää laitteiston käyttöikää. Lisäksi valmistajan on kerrottava tyypillisistä häiriötekijöistä ja menettelytavoista häiriön sattuessa. /6/

5.8 Hallin lämmitysjärjestelmä

5.8.1 Lämmitysjärjestelmän valintaperusteet

Merkittävin tekijä lämmitysjärjestelmän valinnassa on investoinnin kannattavuus eli lämmityksessä saatavat säästöt. Valitusta lämmitysratkaisusta saadaan säästöjä verrattuna muihin vaihtoehtoihin, koska hakkeen raaka-aine saadaan hallin vieressä olevasta metsästä. Pihapiiristä löytyy myös traktori raaka-aineen siirtoon ja hakkurin käyttövoimaksi. Lisäinvestointina hakkeen tekemiseen pitää hankkia hakkuri tai vaihtoehtoisesti ostaa haketus ulkopuoliselta urakoitsijalta. Lisäksi au-

tomatisoidulla lämmitysjärjestelmällä, hakkeen syötöllä, voi säästää aikaa, joka menee lämmityksestä huolehtimiseen ja polttoaineen lisäämiseen.

5.8.2 Lämmitysjärjestelmän vaatimukset ja polttoaineen kulutus

Uuden lämmitysjärjestelmän suunnittelu aloitetaan selvittämällä kattilan huipputeho. Rakennuksen lämmityskattilan huipputehon arviointiin on käytetty metsänhoitoyhdistyksen verkkosivuilta löytyvää kohtaa, lämpökeskuksen suunnittelu. Kilowateissa (kW) mitattava huipputeho voidaan laskea edellisen lämmitysmuodon lämpökulutuksesta. Uudisrakennuksessa voidaan käyttää rakennuskuutioihin sidottuja tyyppiarvoja. Kattilan huipputehon arviointiin on käytetty ohjeessa esitettyä normaalin asuinrakennuksen tyyppiarvoa, 20-30 W/rakennuskuutiometri, koska rakennus on suunniteltu normaalin asuinrakennuksen lämmöneristysvaatimusten mukaisesti. Rakennuksen ilmatilavuuden on 877,26 m³. Rakennuksen kattilalta vaaditaan siis 17,55 – 26,32 kW huipputehoa. /11/

Rakennuksen energiatodistusta varten tehdystä laskupohjasta saadaan rakennuksen vuotuista ostettavaa lämmitysenergiaa (33720kWh) vastaavaksi polttoainemääräksi 37,47 irto-m³ haketta.

5.8.3 Lämmityskattila

Rakennuksen kattilahuoneen palo-osastointi on suunniteltu enintään 30kW:n kattilalle. Halliin on suunniteltu lämmityskattilaksi stokerikattilaa, koska se sopii hyvin suoraan lämmitykseen eikä erillistä varaajaa tarvita ja lisäksi siinä on lämpimälle käyttövedelle käyttövesikierukka. Kattila voisi olla esimerkiksi Veljekset Ala-Talkkari Oy:n valikoimasta löytyvä 30kW:n Veto 30 stokerikattila. Kattilaan voi valita polttimen aukon vasemmalle, oikealle tai eteen /16/.



Kuva 10. Veto mallisarjan stokerikattila, Veljekset Ala-Talkkari Oy. /16/

5.8.4 Polttoainevarasto ja polttoaineen syöttö

Hake varastoidaan ”harkkokuoreen”, jonka sisämitat ovat 5,41 x 3,01 m ja korkeus (täyttöaukon alareuna) 2,4 m korkeudella lattiasta. Hakevaraston tilavuus on 39,08 m³. Täysi varastollinen polttoainetta riittää siis yhden kokonaisen vuoden lämmitystarpeeseen, eikä välitäyttöjä tarvitse tehdä. Polttoainevaraston pohjalle tulee jousipurkain. Purkain siirtää hakekasan pohjalta haketta ruuviin, joka siirtää hakkeen kattilahuoneeseen. Jousipurkain voisi olla esimerkiksi Veljekset Ala-Talkkari Oy:n valikoimasta löytyvä Veto jousipurkain.



Kuva 11. Sulkusyöttimellä varustettu Veto jousipurkain, Veljekset Ala-Talkkari Oy. /17/

6 ENERGIATODISTUS

Laki energiatodistuksesta on ollut voimassa vuoden 2008 alusta lähtien. Taustalla on EU:n rakennusten energiatehokkuutta koskeva direktiivi. Tavoitteena on hiili-dioksidipäästöjen vähentäminen rakennusten energiatehokkuutta parantamalla. Energiatodistus ohjaa kuluttajaa valinnassaan. Energiatodistus mahdollistaa rakennusten keskinäisen energiatehokkuuden vertailun. Energiatehokkuuden vertailu osto- ja vuokraustilanteessa on haluttu saada tärkeäksi valintatekijäksi. Mitä vähemmän energiaa rakennus kuluttaa, sitä enemmän omistaja säästää. /13/

6.1 Lait, määräykset ja asetukset

Laki rakennuksen energiatodistuksesta edellyttää, että rakennusta myytäessä tai vuokrattaessa on asetettava nähtäville voimassaoleva rakennuksen energiatodistus ja haettaessa rakennuslupaa uudisrakentamista varten on hakemukseen liitettävissä energiaselvityksessä oltava rakennuksen energiatodistus. /13/

Uudisrakentamisen energiatehokkuuden perusvaatimustaso määritellään RakMK:n osassa D3. Osassa C3 asetetaan rakennusten vaipparakenteita koskevat lämmöneristysvaatimukset. Energiatodistuksen käyttöönottoon liittyy laki rakennuksen energiatodistuksesta (487/2007). Rakennusten sisäilmastoa ja ilmanvaihtoa koskee osa D2, sekä laki rakennuksen ilmastointijärjestelmän kylmälaitteiden energiatehokkuuden tarkastamisesta (489/2007). Lisäksi ympäristöministeriö on antanut asetukset rakennuksen energiatodistuksesta (765/2007) ja energiatehokkuuden laskentamenetelmästä (RakMK osa D5). Rakennuslupaa haettaessa on osoitettava, että suunniteltu rakennus toteuttaa rakentamismääräysten vaatimukset.

6.2 Energiatehokkuusluku ja energiatehokkuusluokka

Rakennuksen energiatehokkuus ilmaistaan rakennuksen energiatehokkuusluvulla ja sen perusteella määräytyvällä energiatehokkuusluokalla. Energiatehokkuusluku saadaan jakamalla rakennuksen vuotuinen energiatarve rakennuksen bruttopinta-alalla. Energiatodistuksessa käytetään rakennustyyppikohtaisia energiatehokkuus-

luvun luokitteluasteikkoja. Energiatehokkuusluokkia on seitsemän, A-G (ET-luokat). /13/

ET-luku	Vähän kuluttava	Rakennuksen ET-luokka
- 100	A	
101 - 120	B	
121 - 140	C	
141 - 180	D	
181 - 230	E	E
231 - 280	F	
281 -	G	
Paljon kuluttava		

Kuva 12. Energiatehokkuusluokat. /13/

Luokitteluasteikko määräytyy rakennuksen käyttötarkoituksen perusteella. Rakennustyypit ovat: Pienet asuinrakennukset (enintään kuusi asuntoa asuinrakennuksessa tai -rakennusryhmässä), suuret asuinrakennukset, toimistorakennukset, liikerakennukset, opetusrakennukset, päiväkodit, terveydenhoitorakennukset, koontumisrakennukset, uimahallit ja muut rakennukset. /13/

6.3 Energiatehokkuusluvun laskenta ja vertailusäätiedot

Uusille ja olemassa oleville pienille asuinrakennuksille (enintään 6 asuntoa) on energiankulutus laskettava energiatodistusta varten aina RakMK:n osan D5 mukaan. Myös muille rakennuksille on hyvä käyttää samaa menetelmää, mutta muitakin menetelmiä voi käyttää. /13/

Rakennuksen tarvitsema vuotuinen energiamäärä on lämmitysenergian, sähköenergian ja jäähdytysenergian (jos on jäähdytysjärjestelmä) summa. Lämmitysenergiamäärä on tilojen lämmityksen ja lämpimän käyttöveden lämmityksen yhteenlaskettu kulutus. Uudisrakennusten ja olemassa olevien pienten asuinrakennusten lämmitysenergiankulutus lasketaan energiatodistusta varten suoraan säävyöhyke 3 säätiedoilla, jolloin erillistä sääkorjausta ei tehdä. Muun olemassa ole-

van rakennuksen toteutunut lämmitysenergiankulutus muunnetaan vastaamaan vertailuarvonmukaista lämmitystarvelukua. /13/

Sähköenergian kulutus lasketaan erilailla rakennustyyppikohtaisesti, pienille asuinrakennuksille ja muille rakennuksille. Pienissä asuinrakennuksissa sähköenergiamäärään lasketaan aina koko laitesähköenergiankulutus ($W_{\text{laitesähkö}}$). Muille rakennuksille lasketaan tai mitataan kiinteistösähköenergiankulutus ($W_{\text{kiinteistösähkö}}$). Jäähdytysenergiamäärä ($Q_{\text{jäähdytys,tilat}}$) on mukana vain, jos rakennuksessa on jäähdytysjärjestelmä. /13/

6.4 Energiatodistusmallit

Energiatodistuslomakkeita on kolme erilaista. Lomake 1 on pienelle asuinrakennukselle. Lomake 2 on muille rakennuksille kuin pienelle asuinrakennukselle. Lomake 3 on isännöitsijän todistukseen sisältyvään energiatodistukseen. /13/

Energiatodistuslomake väreineen on tarkasti määritelty asetuksen liitteessä 5. Lomakkeet löytyvät ympäristöministeriön nettisivuilta pdf- ja excel-muodossa.

6.5 Energiatodistuksen laatijan pätevyysvaatimukset

Rakennushankkeen pääsuunnittelijalla on asemansa perusteella pätevyys antaa uudisrakennuksen energiatodistus. Energiakatselmoijan pätevyyden omaava henkilö on pätevä antamaan energiatodistuksen kohteesta, jossa hän on tehnyt energiakatselmuksen. Erillisen energiatodistuksen antajalla täytyy olla soveltuva rakennusalan tai talotekniikka-alan tutkinto. Pätevyyden voi saada myös energiatodistuksen laadintaan ja energiatodistusta koskeviin säädöksiin perehtynyt henkilö, jolla on vähintään kolmen vuoden työkokemus rakennusten energiankäyttöön liittyvissä tehtävissä. Pätevyys varmennetaan aina ympäristöministeriön hyväksymän pätevyyden toteajan järjestämässä kokeessa. Taloyhtiön isännöitsijällä tai hallituksen puheenjohtajalla on asemansa perusteella pätevyys antaa hallinnoimansa taloyhtiön isännöitsijän todistukseen sisältyvä energiatodistus. /13/

6.6 Uudisrakennuksen energiatodistus

Pääsääntöisesti kaikilta uudisrakennuksilta edellytetään energiatodistus. Todistusta ei kuitenkaan tarvita seuraavissa tapauksissa. Ennen lain voimaantuloa valmistuneesta enintään kuuden asunnon asuinrakennuksesta tai rakennusryhmästä, pinta-alaltaan enintään 50 m² rakennukselta, enintään neljä kuukautta vuodessa käytettävältä asuinrakennukselta, enintään kahden vuoden käyttöön suunnitellulta väliaikaiselta rakennukselta, suojelluilta rakennuksilta tai uskonnollisen yhdyskunnan kokoontumiseen tarkoitettulta rakennukselta. Sellaisilta teollisuus-, korjaamo- tai maatilarakennuksilta, jossa vähäinen energiantarve tai jota käytetään alalla, jota koskee kansallinen alakohtainen energiatehokkuussopimus, ei myöskään vaadita energiatodistusta. /13/

Pääsuunnittelija antaa energiatodistuksen, joka sisältyy rakennuslupahakemukseen liitettävään energiaselvitykseen. Käytännössä energiatodistuksen laatimiseen osallistuu myös erityissuunnittelijat, joilta tulevat lähtötiedot. Pääsuunnittelijan on varmennettava energiatodistus ennen rakennuksen käyttöönottoa. Uudisrakennuksessa energiatodistus perustuu aina laskennalliseen energiankulutukseen. Muilla rakennuksilla kuin pienillä asuinrakennuksilla, todistus on voimassa neljä vuotta. Sen jälkeen energiatodistus perustuu toteutuneeseen kulutukseen. Pienillä asuinrakennuksilla (enintään 6 asunnon rakennus tai rakennusryhmä) energiatodistus on voimassa 10 vuotta. Pienten asuinrakennusten energiatodistus perustuu aina laskennalliseen energian kulutukseen. Energiatodistus annetaan pienille asuinrakennuksille lomakkeella 1 ja muille uudisrakennuksille lomakkeella 2. /13/

6.7 Olemassa olevan rakennuksen ja isännöitsijän energiatodistus

Olemassa olevan rakennuksen energiatodistuksen voi antaa energiakatselmoija energiakatselmuksen yhteydessä, erillisen energiatodistuksen antaja (täytyy olla pätevyys), yhtiön isännöitsijä tai hallituksen puheenjohtaja isännöitsijäntodistuksen osana. Energiatodistus perustuu toteutuneeseen energian kulutukseen, paitsi pienillä asuinrakennuksilla kuitenkin aina laskennalliseen kulutukseen. Erillinen energiatodistus ja energiakatselmuksen energiatodistus ovat voimassa 10 vuotta.

Isännöitsijän todistukseen sisältyvänä, energiatodistus on voimassa kuten isännöitsijän todistuskin, yhden vuoden. Isännöitsijä voi antaa vain toteutuneeseen kulutukseen perustuvan todistuksen. Olemassa olevan rakennuksen toteutunut lämmitysenergian kulutus muunnetaan vastaamaan vertailusäätiöta, jolloin voidaan vertailla eripuolilla Suomea olevia rakennuksia. Pienille asuinrakennuksille energiatodistus annetaan lomakkeella 1 ja muille rakennuksille lomakkeella 2. Isännöitsijätodistukseen energiatodistus annetaan lomakkeella 3. /13/

6.8 Erillinen energiatodistus

Erillisessä energiatodistuksessa annetaan aina myös suosituksia rakennuksen energiatehokkuuden kustannustehokkaasta parantamisesta. Tarkastuksessa on todettava rakennusosien ja teknisten järjestelmien energiatekninen kunto ja selvitetävä kustannustehokkaat energiansäästömahdollisuudet. Tarkastuksessa käytetään rakennuksen asiakirjoja, paikanpäällä tehtyjä havaintoja ja haastatellaan käyttäjiä. Tarkastus on kohdistettava rakenteisiin, lämmitysjärjestelmään, käyttöveden lämmitysjärjestelmään, ilmanvaihto/ilmastointijärjestelmään, valaistukseen, sähköisiin erillislämmityksiin ja muihin rakennuksen energiatehokkuuteen vaikuttaviin järjestelmiin. Erillinen energiatodistus on voimassa 10 vuotta ja sen antajalla täytyy olla pätevyys. /13/

6.9 Hallin energiatodistus

Energiatodistuslomakkeeseen syötettävät arvot on saatu RakMK:n osan D5 mukaan tehdystä Mathcad-laskupohjasta. Hallin energiatodistuslomakkeeksi valitaan lomake 2, muut rakennukset kuin pienet asuinrakennukset. Laskupohjasta saadaan rakennuksen energiankulutukset. Rakennuksen energiatehokkuusluvun laskemiseksi lomakkeeseen syötetään lämmitysenergian kulutus ja kiinteistösähkön kulutus. Lomakkeeseen 2 syötetään myös jäähdytysenergian kulutus, jos rakennuksessa olisi jäähdytysjärjestelmä.

ENERGIATODISTUS

Rakennus
 Rakennustyyppi: **Muu rakennus** Valmistumisvuosi: _____
 Osoite: * _____
 * _____
 Rakennustunnus: * _____

Energiatodistus on annettu

rakennuslupamenettelyn yhteydessä ja perustuu laskennalliseen kulutukseen
 energiakatselmuksen yhteydessä ja perustuu toteutuneeseen kulutukseen
 erillisen tarkastuksen yhteydessä ja perustuu toteutuneeseen kulutukseen
 *

ET-luku	Vähän kuluttava	Rakennuksen ET-luokka
- 110		
111 - 150		
151 - 200		
201 - 280		
281 - 420		
421 - 660		
661 -		
<i>Paljon kuluttava</i>		

Rakennuksen energiatehokkuusluku (ET-luku, kWh/brm²/vuosi): **170**
 Energiatehokkuusluvun luokitteluasteikko: Muut rakennukset

Todistuksen antaja: * _____
 * _____
 * _____
 Allekirjotus:

Todistuksen tilaaja: * _____
 * _____
 * _____

Todistuksen antamispäivä: * _____
 Viimeinen voimassaolopäivä: * _____

Energiatodistus perustuu lakiin rakennusten energiatodistuksesta (487/2007) ja 19.6.2007 annettuun ympäristöministeriön asetukseen energiatodistuksesta. Tämä energiatodistus on asetuksen lomakkeen 2 mukainen.

Kuva 13. Hallin energiatodistus sivu 1.

RAKENNUKSEN ENERGIANKULUTUS			
Energiätehokkuusluvun laskenta			
Lämmitysenergian kulutus *		26 980 kWh/vuosi	
Kiinteistösähkön kulutus		8 360 kWh/vuosi	
Jäähdytysenergian kulutus *		0 kWh/vuosi	
Yhteensä		35 340 kWh/vuosi	
Rakennuksen bruttoala		209 brm ²	
Rakennuksen energiatehokkuusluku		170 kWh/brm²/vuosi	
* Uudisrakennuksen energiankulutus lasketaan käyttäen RakMk D5 Liite 1 säävyöhyke III (Jyväskylä-Luonetjärvi) mukaisia säätietoja.			
Toteutuneet energian ja veden kulutukset			
Kulutuskohte	Kulutus	Yksikkö	Vuosi
Lämmitysenergia			
*	*	*	*
*	*	*	*
Kiinteistösähkö			
Mitattu kiinteistösähkö	*	kWh	*
Jäähdytysenergia			
Kaukojäähdytys	*	kWh	*
Jäähdytysenergia	*	kWh	*
Vedenkulutus			
Kokonaiskulutus	*	m ³	*
Lämpimän veden kulutus	*	m ³	*
Toteutuneiden kulutusten muuntaminen energiatehokkuusluvun laskentaa varten			
Vertailupaikkakunta:		*	*
Normaalivuoden lämmitystarveluku vertailupaikkakunnalla:		*	*
Vuoden * lämmitystarveluku vertailupaikkakunnalla:		*	*
Paikkakuntakohtainen korjauskertoimen Jyväskylään k2:		*	*
Lämmöntuottojärjestelmän hyötysuhde:		*	*
*			
*			
*			
*			
*			
*			
*			
Rakennuksen sisäilmasto sekä ilmanvaihto- ja lämmitysjärjestelmä			
Painovoimainen ilmanvaihto	<input type="checkbox"/>	Ulkoilmaventtiilit	<input type="checkbox"/>
Koneellinen poistoilmanvaihto	<input type="checkbox"/>	Tuloilman suodatus	<input checked="" type="checkbox"/>
Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto	<input checked="" type="checkbox"/>	Lämmöntalteenotto	<input checked="" type="checkbox"/>
Lämmönjakotapa: vesipatterit		Jäähdytys	<input type="checkbox"/>
Ilmanvaihdon ilmavirrat on mitattu ja todettu riittäviksi vuonna			<input type="checkbox"/>
Ilmanvaihtojärjestelmä on puhdistettu ja tasapainotettu vuonna			<input type="checkbox"/>
Ilmastoinnin kylmälaitteiden kunto ja energiatehokkuus on tarkastettu vuonna			<input type="checkbox"/>
Lämmitysjärjestelmä on tasapainotettu vuonna			<input type="checkbox"/>

Kuva 14. Hallin energiatodistus sivu 2.

7 YHTEENVETO

Rakennussuunnittelusta saatiin rakennuslupahakemukseen tarvittavista pääpiirustuksista julkisivupiirustus, pohjapiirustus ja leikkauspiirustukset. Pääpiirustuksista puuttuu asemapiirustus, koska rakennuspaikkaa ei työtä tehdessä ollut vielä päätetty. Kaikki lähtötiedoissa esitetyt toiveet ja tarpeet otettiin suunnittelussa huomioon.

Rakennesuunnittelusta saatiin rakennuksen perustuksen mittapiirustus, perustusleikkaukset, seinienmittapiirustus, vesikattopiirustus, rakenneleikkaukset, rakennedetailit ja rakennetyypit. Yläpohjan NR-ristikoista tehtiin ristikkokaavio ristikkovaikalmistajalle lähetettäväksi.

Rakenteita mitoitettiin seuraavasti:

- runkotolppa
- ikkunatolppa
- ristikon kannatuspalkki rungon kohdalla
- ristikon kannatuspalkki ikkuna-aukon kohdalla
- rungon levyjäykistys
- polttoainevaraston harkkoseinä
- kattilahuoneen yläpohjalaatta
- alapohjalaatan raudoitus
- antura.

Suunnittelussa otettiin huomioon palomääräykset. Rakennus on suunniteltu paloluokkaan P3. Paloluokassa P3 rakennuksen kantaville rakenteille ei aseteta vaatimuksia palonkeston suhteen. Rakennuksen seinä- ja kattopintojen luokkavaatimus on D-s2, d2 eli tarvikkeiden osallistuminen paloon on hyväksyttävissä. Lattiapinnalle ei ole vaatimusta. Rakennuksessa palo-osastointi tulee kattilahuoneeseen ja polttoainevarastoon. Kattilahuone ja polttoainevarasto ovat osana rakennusta. Molemmat sijaitsevat kerroksessa ja kattilan teho on alle 30kW. Palonkestoluokkavaatimus on EI30. Rakennustarvikkeiden luokalle ei ole vaatimusta. Kattilahuoneeseen tulee harkkoseinä sekä betonikatto ja -lattia. Polttoainevaraston lattia on betonia, seinän alaosa tehdään harkoista ja yläosaan puurunkoseinä levytettynä sekä katto levytetään yläpohjan ristikoihin.

Suunnittelussa otettiin huomioon lämmöneristysvaatimukset. Rakenteet on suunniteltu siten, että jokaisen rakenteen lämmönläpäisykerroin eli U-arvo alittaa vastaavan rakenteen vertailuarvon. Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuus osoitetaan tasauslaskelmalla. Tasauslaskelma täyttää vaatimukset. Vaatimus täyttyy vaikka tasauslaskennassa on käytetty ilmanvuotolukuna 4 l/h taulukkoarvoa. Ilmanvuotolukuna voitaisiin käyttää mahdollisesti pienempää arvoa rakennuksen valmistumisen jälkeen suoritettavan mittauksen mukaan. Pienempään arvoon päästäisiin kiinnittämällä huomiota rakennusvaiheessa rakenteiden ilmanpitävyyteen.

Suunnittelussa otettiin huomioon ennalta valittu lämmitysjärjestelmä. Kattilahuone ja polttoainevarasto sijoitettiin osaksi rakennusta, vierekkäin hallin takaosaan. Lämmitysjärjestelmästä esitetty toive toteutettiin polttoainevaraston tilavuuden suunnittelussa. Ainakin laskennallisesti talven lämmityskaudesta selvittää ilman polttoainevaraston talviaikaista lisätäyttöä.

Rakennuksesta tehtiin energiatodistus, koska sellainen vaaditaan uudisrakennukselta. Rakennuksen lämmitysenergian kulutus on 26980 kWh/vuosi ja kiinteistösähkön kulutus 8360 kWh/vuosi. Jakamalla yhteenlaskettu kulutus rakennuksen bruttoalalla saadaan rakennuksen energiatehokkuusluvuksi 170 kWh/brm²/vuosi. Tämä sijoittuu energiatodistuslomake 2:ssa (muut rakennukset, kuin pienet asuinrakennukset) energiatehokkuusluokkaan C (ET -luokka).

Opinnäytetyön tekemisestä sai hyvän käsityksen uudisrakennuksen suunnittelusta ja siihen kuluva ajasta. Työtä tehdessä huomasi kuinka monia asioita on otettava huomioon suunnittelussa. Selvitettäviä asioita oli palomääräyksissä ja lämmöneristysvaatimuksissa. Myös valitun hakelämmitysjärjestelmän osalta piti selvittää asioita. Vaatimusten selvittämiseen kului huomattavasti aikaa. Työn tekemisessä kului paljon aikaa myös erilaisten laskupohjien tekemiseen, joita tarvittiin rakenteiden mitoittamiseen, rakenteiden U-arvojen laskemiseen ja energiatodistuksen tekemiseen. Laskupohjat on tehty MathCAD-ohjelmalla. Vasta kaikkien näiden vaiheiden jälkeen pääsi tekemään lopullisia rakennepiirustuksia.

LÄHTEET

/1/ Suomen rakentamismääräyskokoelma E2. Tuotanto- ja varastorakennusten paloturvallisuus ohjeet 2005. Ympäristöministeriö. Saatavilla [www-muodossa: <URL:http://www.finlex.fi/data/normit/28207-E2su2005.pdf>](http://www.finlex.fi/data/normit/28207-E2su2005.pdf)

/2/ Suomen rakentamismääräyskokoelma E1. Rakennusten paloturvallisuus määräykset ja ohjeet 2002. Ympäristöministeriö. Saatavilla [www-muodossa: <URL:http://www.finlex.fi/data/normit/10530-37-3762-4.pdf>](http://www.finlex.fi/data/normit/10530-37-3762-4.pdf)

/3/ Suomen rakentamismääräyskokoelma E9. Kattilahuoneiden ja polttoainevarastojen paloturvallisuus Ohjeet 2005. Ympäristöministeriö. Saatavilla [www-muodossa: <URL:http://www.finlex.fi/data/normit/28202-E9su2005.pdf>](http://www.finlex.fi/data/normit/28202-E9su2005.pdf)

/4/ Suomen rakentamismääräyskokoelma E3. Pienten savupiippujen rakenteet ja paloturvallisuus Määräykset ja ohjeet 2007. Ympäristöministeriö. Saatavilla [www-muodossa: <URL:http://www.finlex.fi/data/normit/30497-RakMk_E3_2007_FI.pdf>](http://www.finlex.fi/data/normit/30497-RakMk_E3_2007_FI.pdf)

/5/ Suomen rakentamismääräyskokoelma C3. Rakennusten lämmöneristys Määräykset 2010. Ympäristöministeriö. Saatavilla [www-muodossa: <URL:http://www.finlex.fi/data/normit/34163-C3-2010_suomi_221208.pdf>](http://www.finlex.fi/data/normit/34163-C3-2010_suomi_221208.pdf)

/6/ KIINTEÄN POLTTOAINEEN LÄMMITYSKATTILOIDEN TURVALLISUUS. Tukes, Turvatekniikan keskus. Saatavilla [www-muodossa: <URL:http://www.tukes.fi/Tiedostot/painelaitteet/esitteet_ja_oppaat/Kattilaopas.pdf>](http://www.tukes.fi/Tiedostot/painelaitteet/esitteet_ja_oppaat/Kattilaopas.pdf)

/7/ http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/eri_lammitysmuodot/hake-pilke-ja_halkokattilat

/8/ Hakelämmitys pienopas. Itä-Suomen Energiatoimisto. Saatavilla [www-muodossa: <URL:http://www.esavo-energia.fi/wp-content/uploads/2009/05/hakelammitysopas.pdf>](http://www.esavo-energia.fi/wp-content/uploads/2009/05/hakelammitysopas.pdf)

/9/ Maatilan hakelämmitysopas. Metsäkeskus. Saatavissa [www-muodossa. <URL:http://www.puulakeus.net/docs/109-TgY_Maatilan_hakelammitysopas_lopullinen.pdf>](http://www.puulakeus.net/docs/109-TgY_Maatilan_hakelammitysopas_lopullinen.pdf)

/10/ METLA, Metsäntutkimuslaitos. http://www.forestpower.net/data/liitteet/10539=2010-09-22_martin_esitelma.pdf

/11/ Lämpökeskuksen suunnittelu. Metsänhoitoyhdistys. Saatavilla [www-muodossa: <URL: http://www.mhy.fi/revir/energia/fi_FI/suunnitt/>](http://www.mhy.fi/revir/energia/fi_FI/suunnitt/)

/12/ Suomen rakentamismääräyskokoelma D3. Rakennusten energiatehokkuus MÄÄRÄYKSET JA OHJEET 2010. Ympäristöministeriö. Saatavissa [www-muodossa: <URL:http://www.finlex.fi/data/normit/10530-37-3762-4.pdf>](http://www.finlex.fi/data/normit/10530-37-3762-4.pdf)

muodossa: <URL: http://www.finlex.fi/data/normit/34165-D3-2010_suomi_22-12-2008.pdf>

/13/ Energiatodistusopas 2007. Rakennuksen energiatodistus ja energiatehokkuusluvun määrittäminen. Ympäristöministeriö. Saatavilla www-muodossa: <URL: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=105735&lan=fi>>

/14/ Tasauslaskentaopas 2007. Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden osoittaminen. Ympäristöministeriö. Saatavissa www-muodossa: <URL: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=80008&lan=en>>

/15/ Suomen rakentamismääräyskokoelma D5. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta ohjeet 2007. Saatavilla www-muodossa: <URL: <http://www.finlex.fi/data/normit/29520-D5-190607-suomi.pdf> >

/16/ VETO STOKERIKATTILAT. Veljekset Ala-Talkkari Oy. Saatavilla www-muodossa: <URL: <http://www.ala-talkkari.fi/esitteet/fin/StokerikattilatFIN.pdf>>

/17/ LUONNOLLISTA JA EDULLISTA LÄMMITTÄMISTÄ. Veljekset Ala-Talkkari Oy. Saatavilla www-muodossa: <URL: <http://www.ala-talkkari.fi/esitteet/fin/L%C3%A4mmityslaitteet.pdf>>

/18/ RT 98-10914. Ajoneuvojen mittoja (2008). Rakennustietosäätiö.

/19/ Kevarinmäki, Ari. 2010. Eurokoodi 5. Lyhennetty suunnitteluohje. 2.painos. Puuinfo Oy.

/20/ Tecalemit Oy. Korjaamolaitteiden ja -tarvikkeiden toimittajan sivut. Saatavilla www-muodossa: <URL: <http://www.tecalemit.fi> >

/21/ Kantavat rakenteet määräykset ja ohjeet 2010. Ympäristöministeriö. Saatavilla www-muodossa: <URL: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=116079&lan=fi>>

LIITTEET

Piirustukset

Rakennuspiirustukset

LIITE 1	Pohjapiirustus	1:100
LIITE 2	Julkisivupiirustus	1:100
LIITE 3	Leikkauspiirustukset	1:100, 1:50

Rakennepiirustukset

LIITE 4	Perustuksen mittapiirustus	1:50
LIITE 5	Vesikattopiirustus	1:50
LIITE 6	Seinien mittapiirustus	1:50
LIITE 7	Rakenneleikkaukset	1:20
LIITE 8	Perustusleikkaukset	1:20
LIITE 9	Rakennedetaljit	1:20
LIITE 10	Rakennetyypit	1:10
LIITE 11	Ristikkokaavio	1:50

Laskelmat

Rakenteiden mitoitus

LIITE 12	Runkotolppa	
LIITE 13	Runkotolppa, ikkuna-aukon reunassa	
LIITE 14	NR-ristikon kannatuspalkki, rungon kohdalla	
LIITE 15	NR-ristikon kannatuspalkki, ikkunan kohdalla	

- LIITE 16 Rungon levyjäykistys
- LIITE 17 Polttoainevaraston harkkoseinä
- LIITE 18 Kattilahuoneen yläpohjalaatta
- LIITE 19 Antura
- LIITE 20 Alapohjalaatta

Rakenteiden painot

- LIITE 21 Rakenteiden painot
- LIITE 22 Kattorakenteen omapaino
- LIITE 23 Ristikoille tulevat kuormat

Muut laskelmat

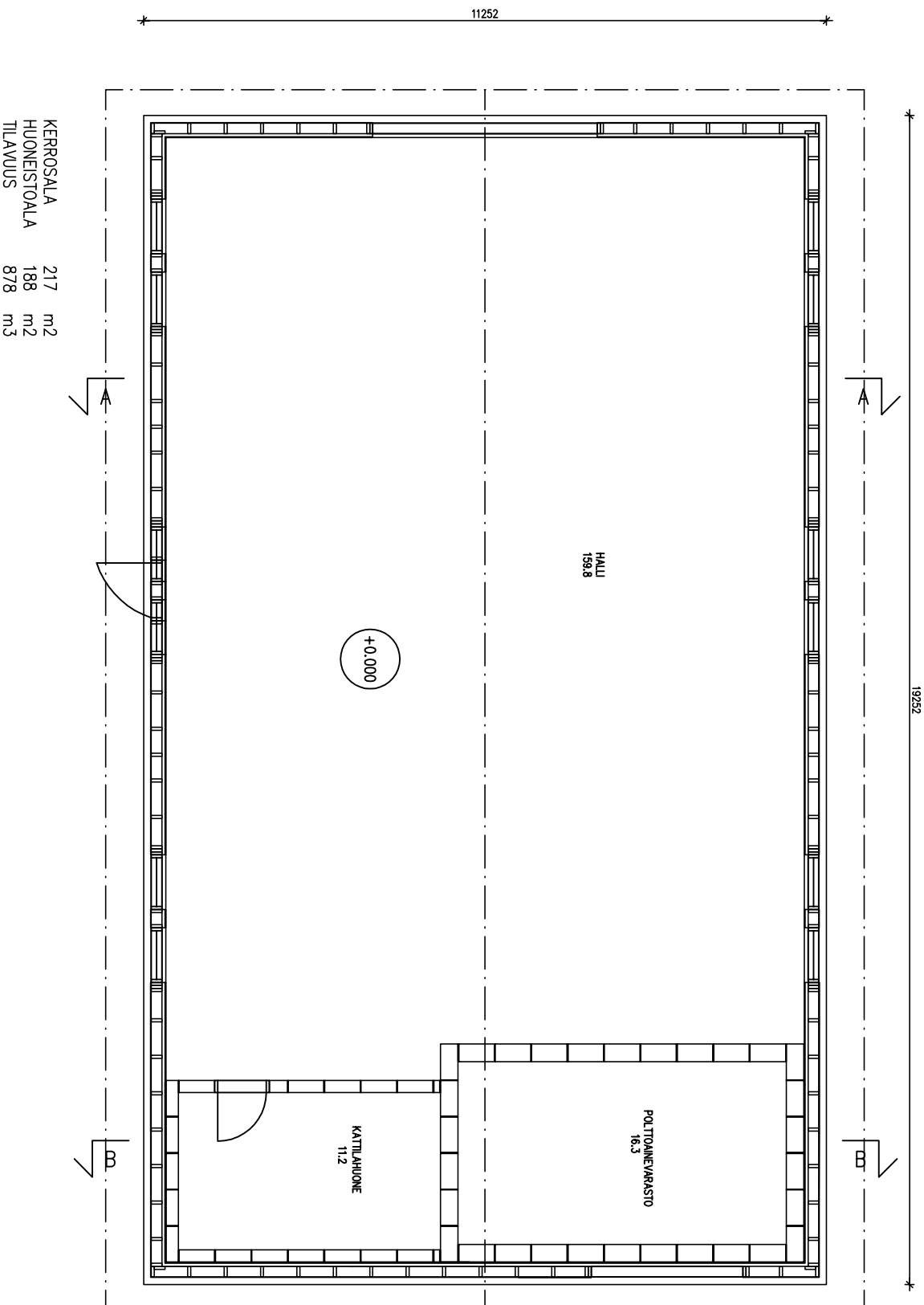
- LIITE 24 Rakenteiden U-arvot
- LIITE 25 Energiatodistus
- LIITE 26 Lämpöhäviön taseuslaskenta

LIITE 1

TUNNUS	LUKUM.	MUUTOS	PÄIVÄYS	PIIRT.	HYV.

K.osa/kylä	Kortteli/Tila	Tontti/Rn:o	Viranomaisen arkistointimerkintöjä varten		
Rakennustoimenpide UUDISRAKENNUS			Piirustuslaji PÄÄPIIRUSTUS		Juoks. n:o
Rakennuskohteen nimi ja osoite AUTOHALLI			Piirustuksen sisältö POHJAPIIRUSTUS		Mittakaavat 1:100
			RAK	Työ	Piir.
Piirt.	Suunn.	Hyv.		Pvm.	

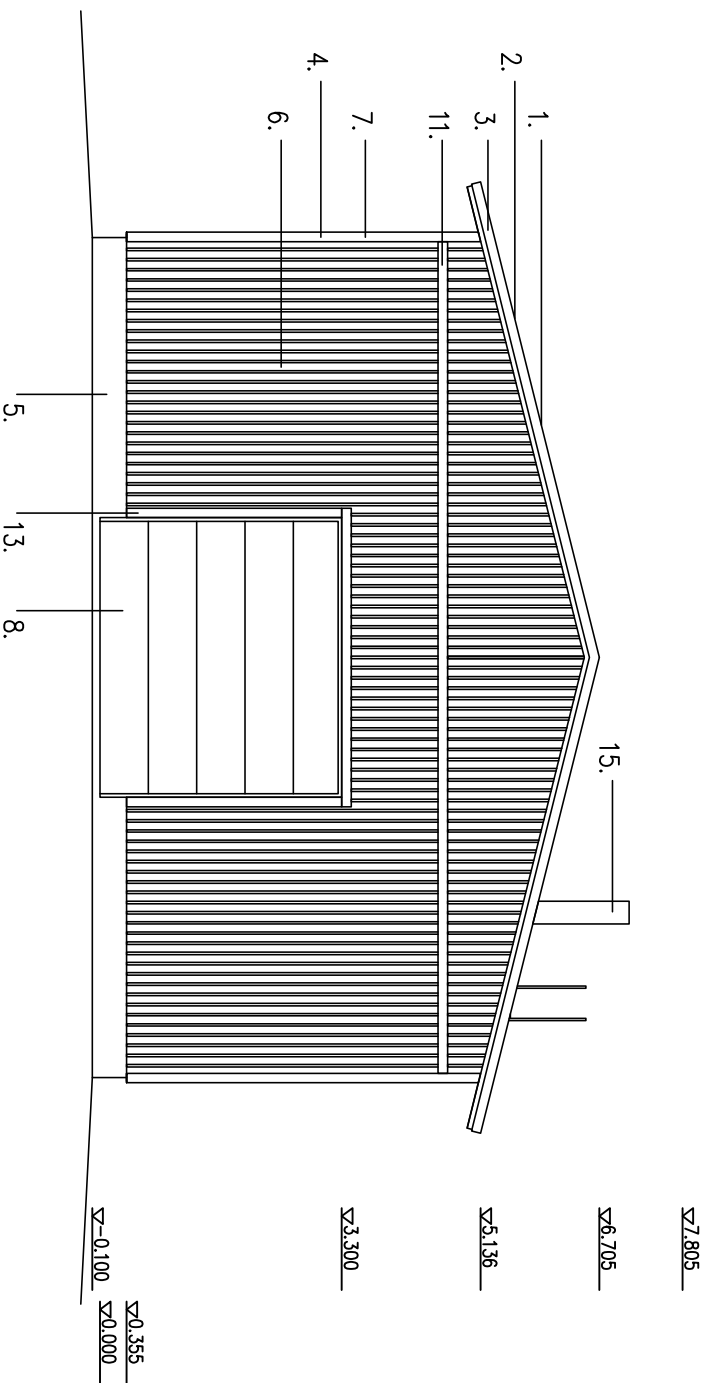
POHJAPIIRUSTUS 1:100



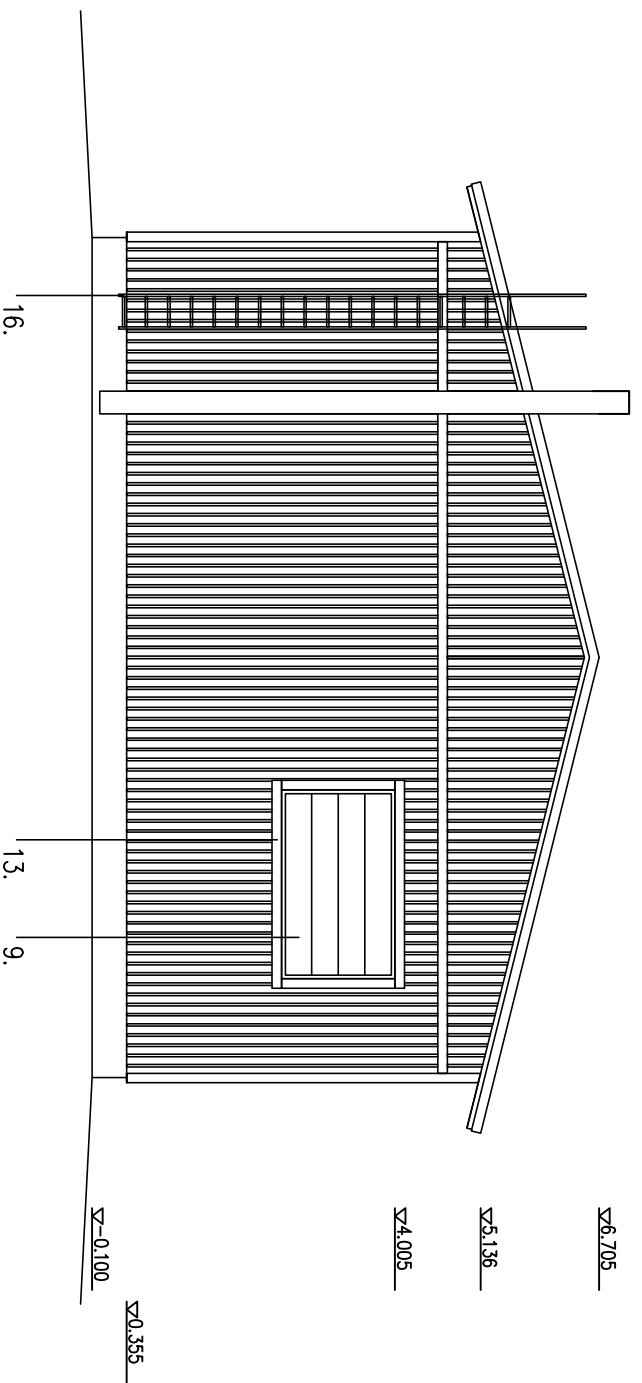
LIITE 2

TUNNUS	LUKUM.	MUUTOS	PÄIVÄYS	PIIRT.	HYV.

K.osa/kylä	Kortteli/Tila	Tontti/Rn:o	Viranomaisen arkistointimerkintöjä varten		
Rakennustoimenpide UUDISRAKENNUS			Piirustuslaji PÄÄPIIRUSTUS	Juoks. n:o	
Rakennuskohteen nimi ja osoite AUTOHALLI			Piirustuksen sisältö JULKISIVUPIIRUSTUKSET	Mittakaavat 1:100	
			RAK	Työ	Piir.
Piirt.	Suunn.	Hyv.		Pvm.	



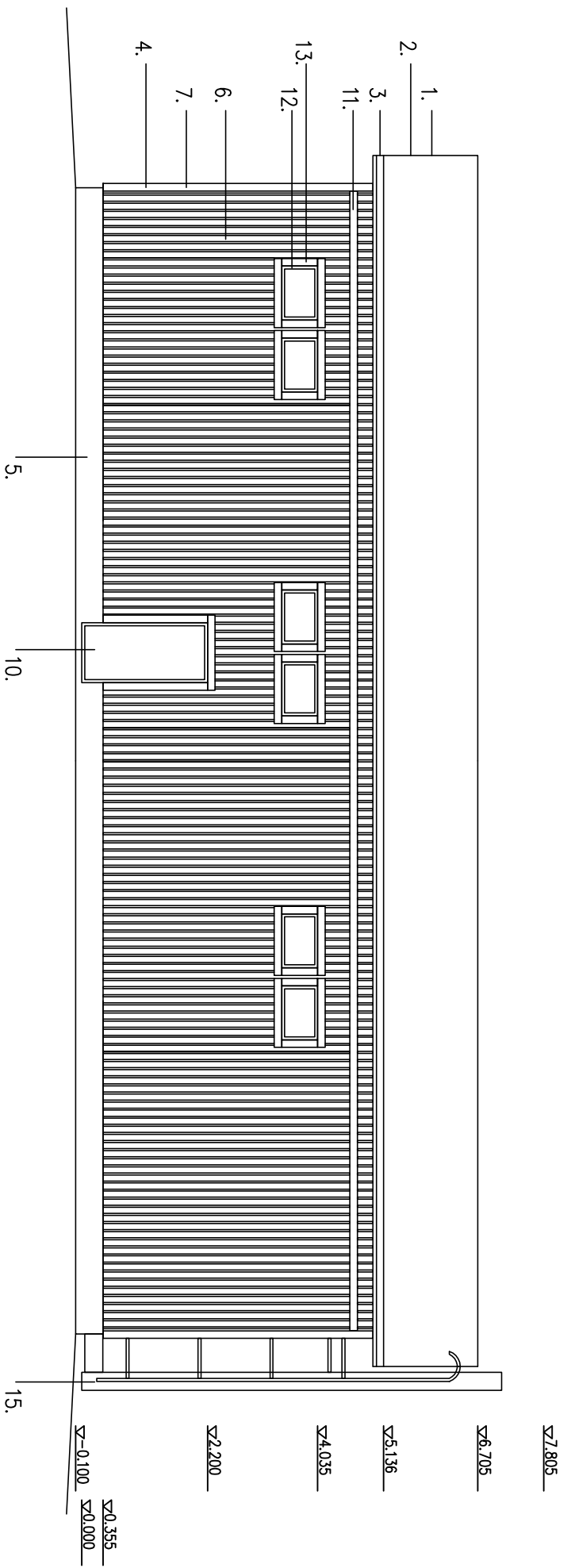
JULKISIVU



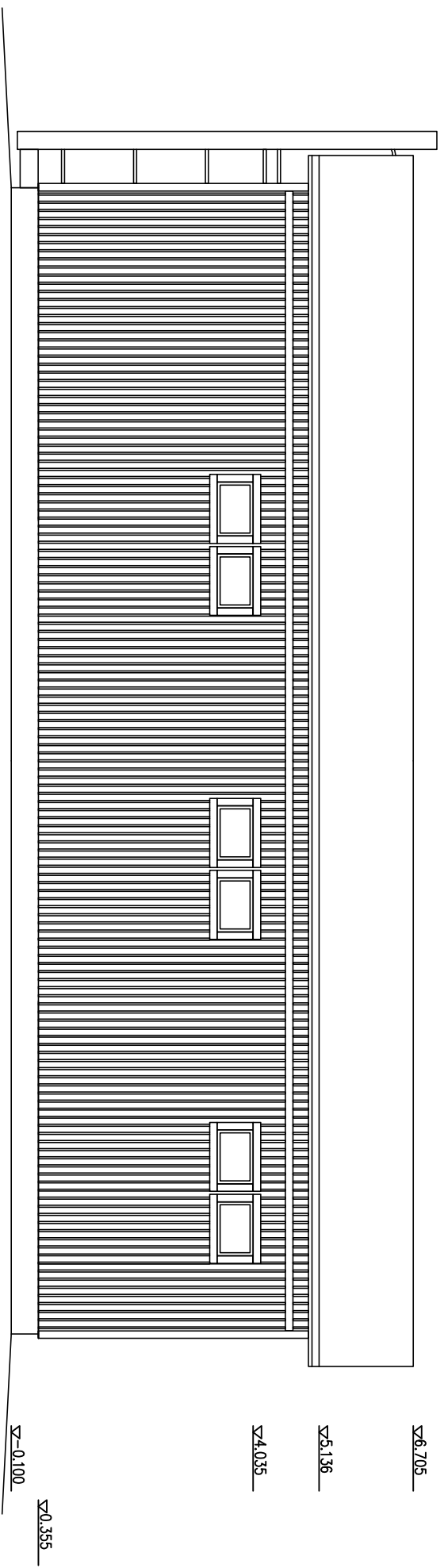
JULKISIVU

JULKISIVU MATERIAALIT JA VÄRIT

1. VESIKATE, PELTI, MUSTA
2. KATTOPELLITYKKESET, MUSTA
3. RÄYSTÄS- JA ALUSLAUDAT, PUU, MUSTA
4. SADEVESIKOURUT JA SYÖKSYTORVET, PELTI, MUSTA
5. PERUSMUURI, HARKKO
6. PYSTYVERHOUS, PETERIMALAUDOITUS, PUNAINEN
7. NURKKALAUDAT, MUSTA
8. NOSTO-OVI, MUSTA, 3700x3200mm
9. NOSTO-OVI, MUSTA, 2500x1500mm
10. KULKUOVI, MUSTA, 1000x2100mm
11. LISTA, PUU, MUSTA
12. IKKUNA, 900x700mm, IKKUNAKARMIIT JA -PUTTEET, MUSTA
13. PIELLAUDAT, MUSTA
14. VESIPELLIT, MUSTA
15. PIIPPU, PELTI, MUSTA
16. TALOTIKAS, MUSTA



JULKISIVU



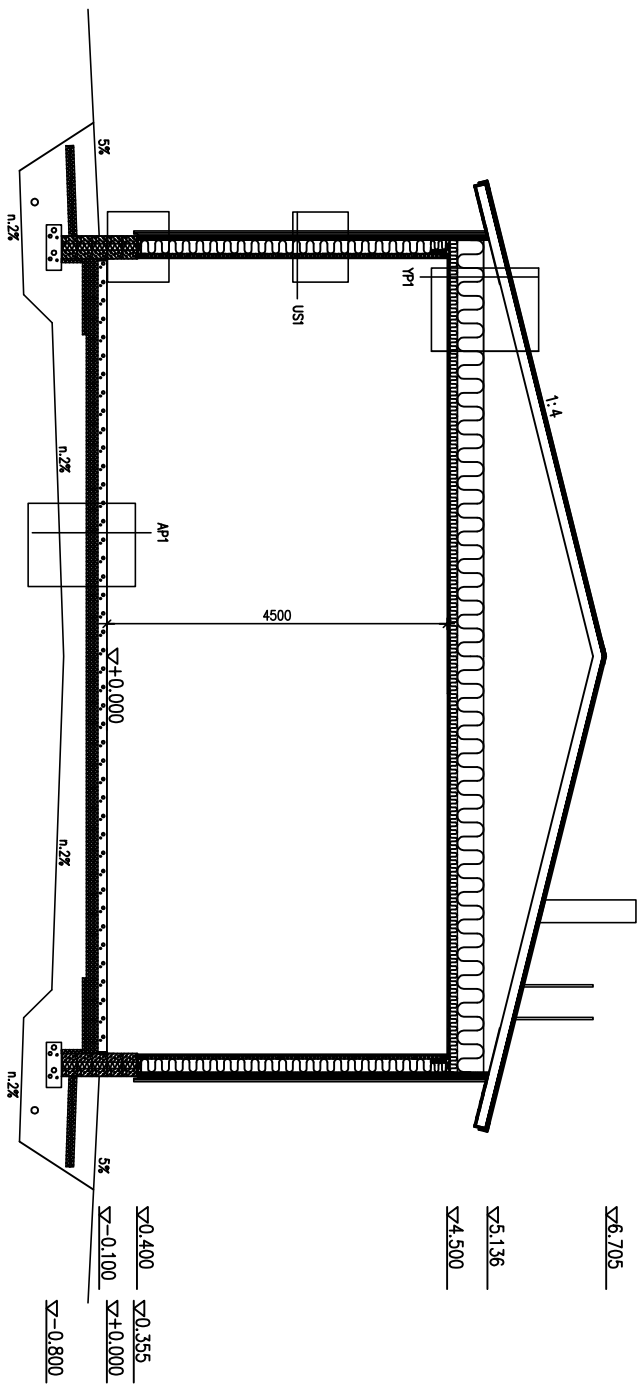
JULKISIVU

LIITE 3

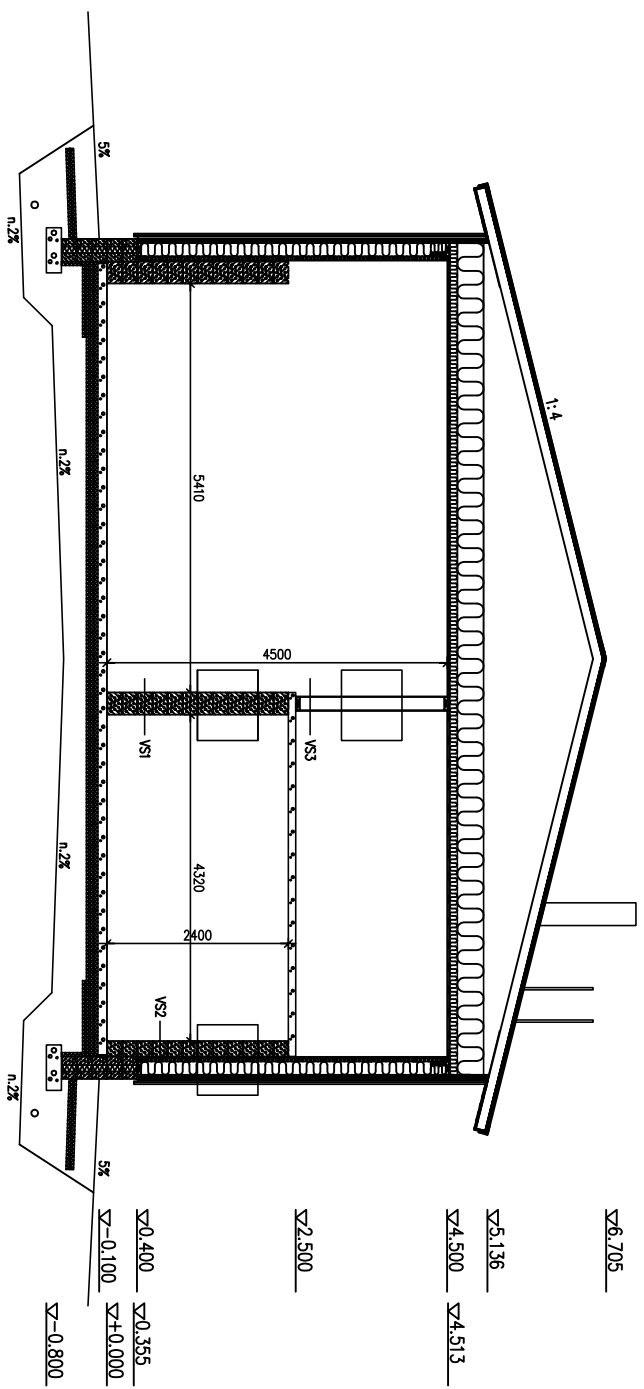
TUNNUS	LUKUM.	MUUTOS		PÄIVÄYS	PIIRT. HYV.

K.osa/kylä	Kortteli/Tila	Tontti/Rn:o	Viranomaisen arkistointimerkintöjä varten		
Rakennustoimenpide UUDISRAKENNUS			Piirustuslaji PÄÄPIIRUSTUS		Juoks. n:o
Rakennuskohteen nimi ja osoite AUTOHALLI			Piirustuksen sisältö LEIKKAUS A LEIKKAUS C LEIKKAUS B		Mittakaavat 1:100 1:100 1:50
			RAK	Työ	Piir.
Piirt.	Suunn.	Hyv.		Pvm.	

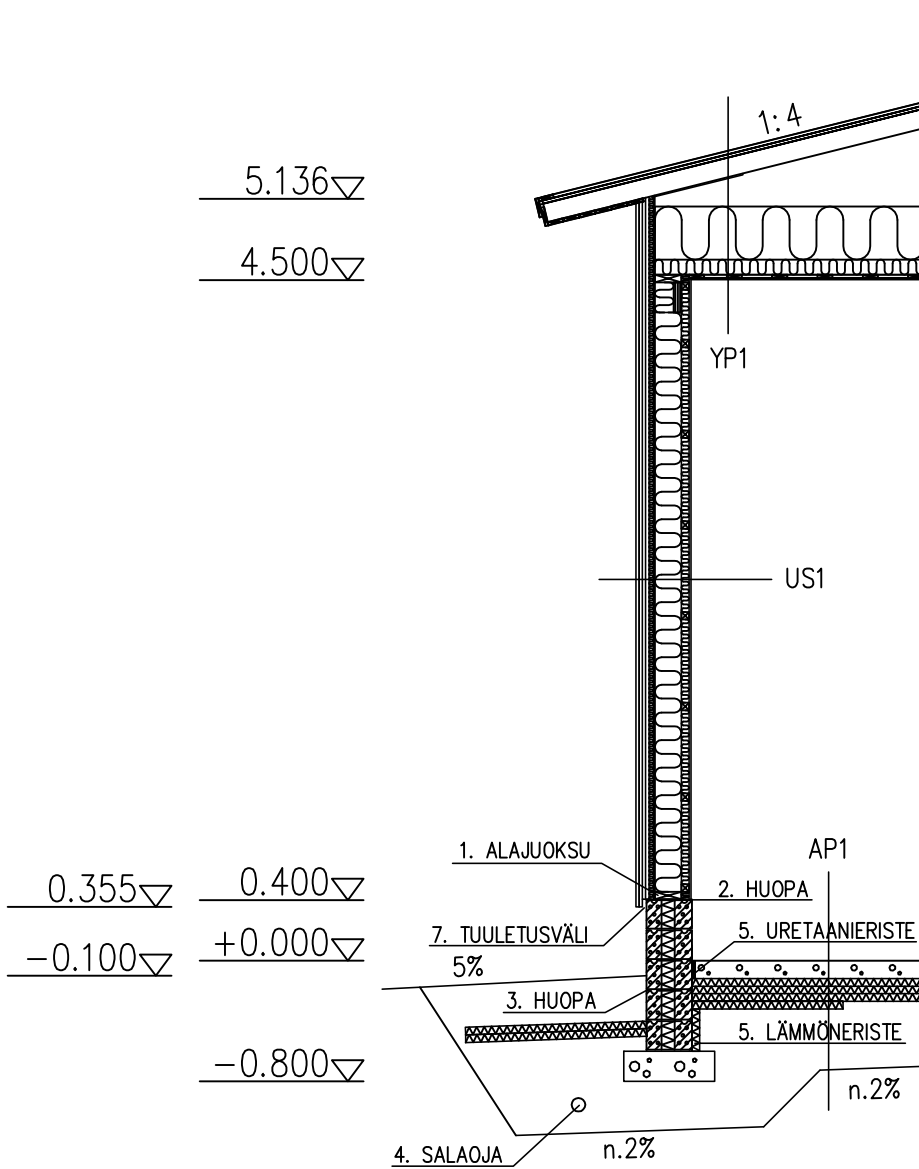
LEIKKAUS A 1:100



LEIKKAUS C 1:100



LEIKKAUS B 1:50



YP1 Uarvo - 0,09 W/m²K
 PELTIKATTO
 22 RUODELAUDOITUS, 22x100 K300
 22 TUULETUSVÄLI, 22x50 k600
 ALUSKATE
 9 TUULENSUOJA, KIPSILEVY
 350 LÄMMÖNERISTE, KATTOTUOLI K900
 HÖYRYNSULKU
 100 LÄMMÖNERISTE
 9 KIPSILEVY
 PINTAKÄSITTELY, MAALI

US1 Uarvo - 0,16 W/m²K
 PINTAKÄSITTELY
 22+22 PYSTYVERHOUS, 22x125 + PYSTYRIMA, 22x45
 22+22 TUULETUSVÄLI, 22x50 K600
 30 TUULENSUOJA JA LÄMMÖNERISTE
 175 LÄMMÖNERISTE, RUNKOTOLPPA 50x200 K600
 50 LÄMMÖNERISTE, RISTIINKOOLAUS 50x50 k600
 HÖYRYNSULKU
 13 KIPSILEVY
 PINTAKÄSITTELY, MAALI

AP1 Uarvo - 0,00 W/m²K
 PINTAMATERIAALI, EPOKSPINNOITE
 120 MAANVARAINEN BETONILAATTA
 50+50+50 LÄMMÖNERISTE, (+50 REUNA-ALUE)
 300 KAPILLAARIKATKO, SALAOJASORA

SOKKELIN LIITOS PERUSTUKSIIN
 1. ALAJUOKSU, 50x175
 2. HUOPAKAISTA, kapillaarieriste
 3. PERUSMUURIN ERISTYS, huopaeriste/patolevy
 4. SALAOJA, 110mm
 5. URETAANIERISTE, lattialaatan erotus
 6. LÄMMÖNERISTE
 7. TUULETUSVÄLI

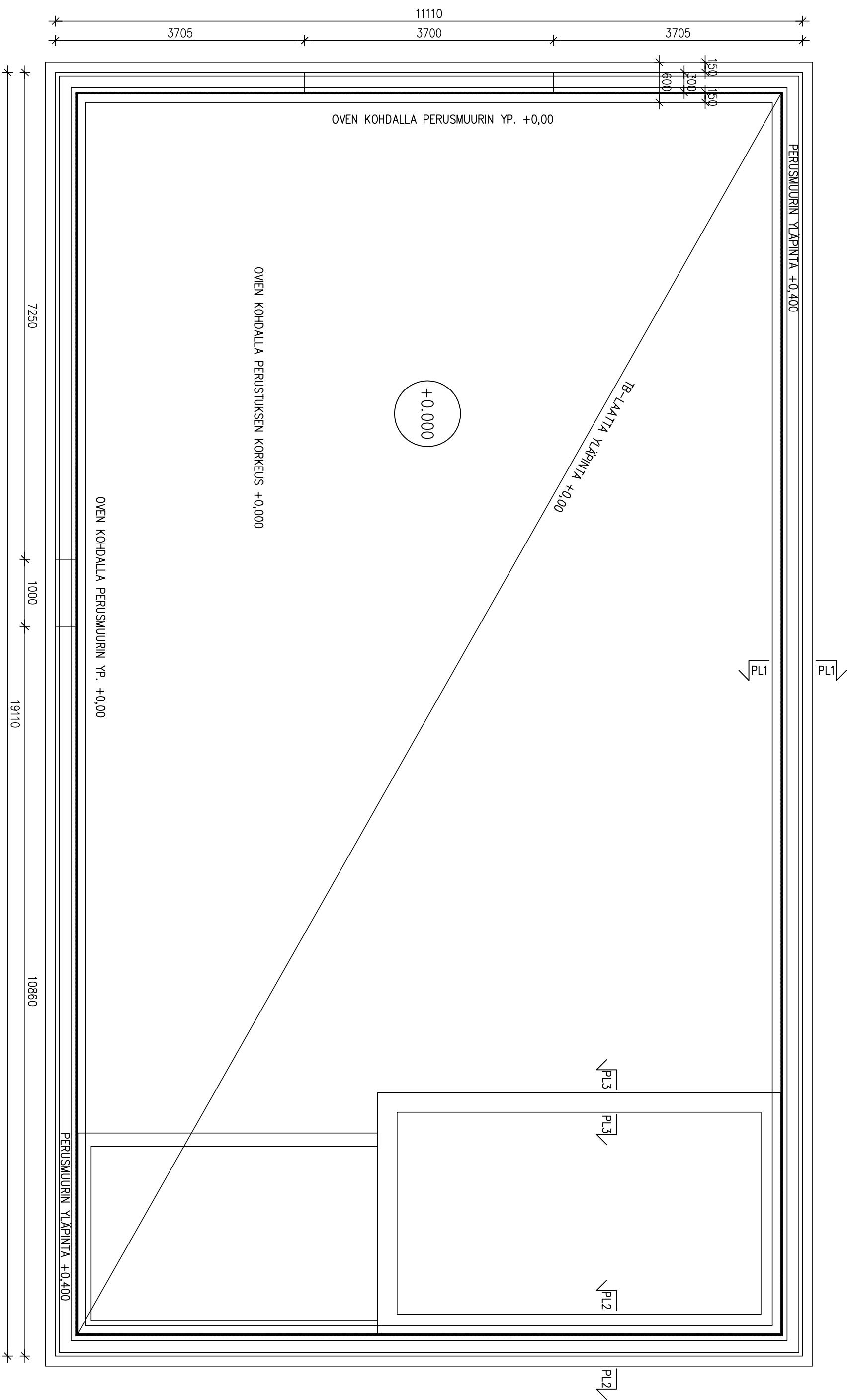
IKKUNOIDEN Uarvo 1,00 W/m²K
 OVIENT Uarvo 1,00

LIITE 4

TUNNUS	LUKUM.	MUUTOS		PÄIVÄYS	PIIRT. HYV.

K.osa/kylä	Kortteli/Tila	Tontti/Rn:o	Viranomaisen arkistointimerkintöjä varten		
Rakennustoimenpide UUDISRAKENNUS			Piirustuslaji RAKENNEPIIRUSTUS		Juoks. n:o
Rakennuskohteen nimi ja osoite AUTOHALLI			Piirustuksen sisältö PERUSTUKSEN MITTAPIIRUSTUS		Mittakaavat 1:50
			RAK	Työ	Piir.
Piirt.	Suunn.	Hyv.		Pvm.	

PERUSTUKSEN MITTAPIIRUSTUS 1:50



LIITE 5

TUNNUS	LUKUM.	MUUTOS		PÄIVÄYS	PIIRT. HYV.

K.osa/kylä	Kortteli/Tila	Tontti/Rn:o	Viranomaisen arkistointimerkintöjä varten		
Rakennustoimenpide UUDISRAKENNUS			Piirustuslaji RAKENNEPIIRUSTUS		Juoks. n:o
Rakennuskohteen nimi ja osoite AUTOHALLI			Piirustuksen sisältö VESIKATTOPIIRUSTUS		Mittakaavat 1:50
			RAK	Työ	Piir.
Piirt.	Suunn.	Hyv.		Pvm.	

VESIKATTOPUURUSTUS 1:50

Vasat 42x148 k600 L=1476

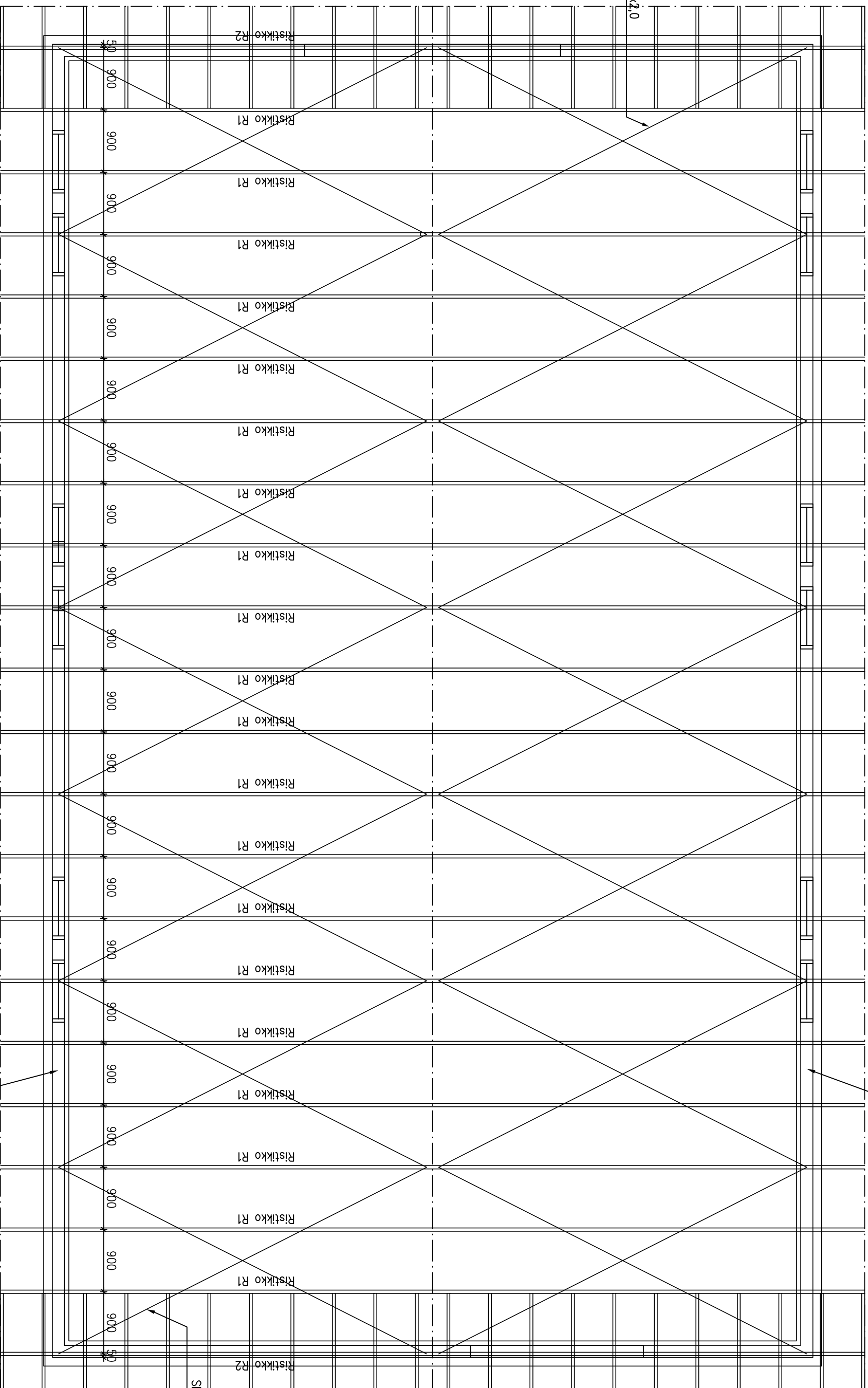
Vasat 42x148 k600 L=1476

SIDEVANNE 60x2,0

SIDEVANNE 60x2,0

KANTAVA PUUSEINÄ 175

KANTAVA PUUSEINÄ 175

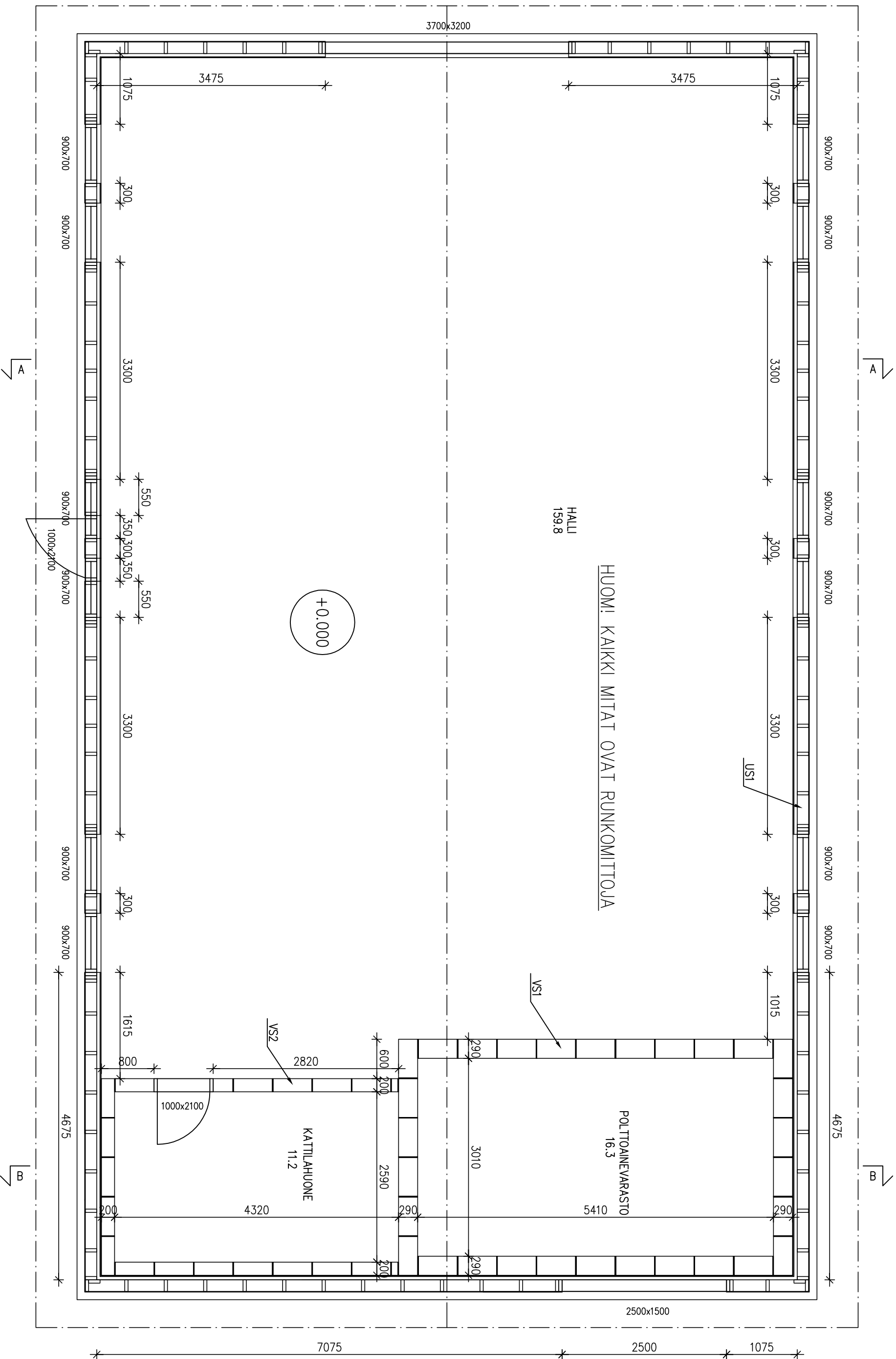


LIITE 6

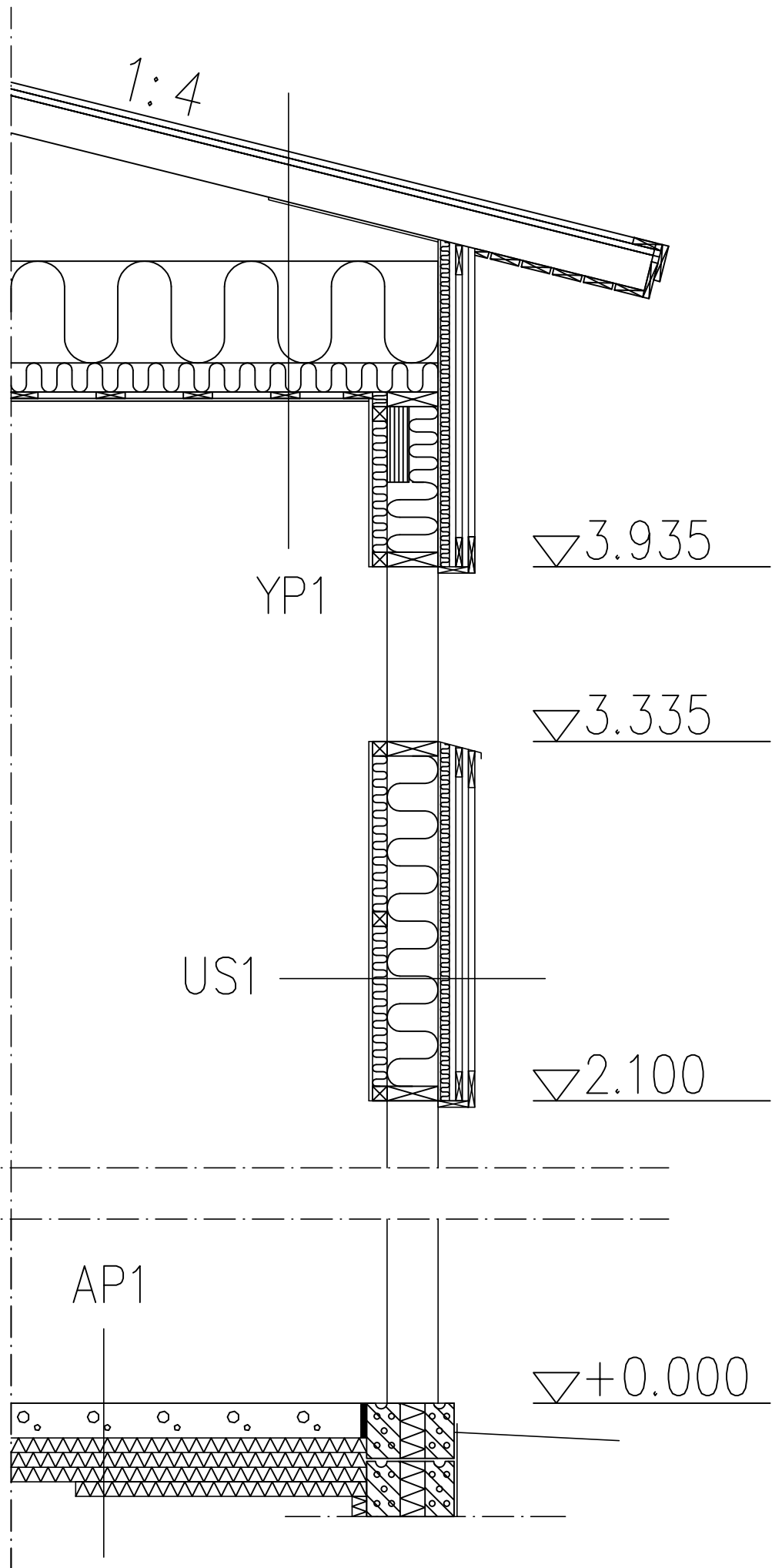
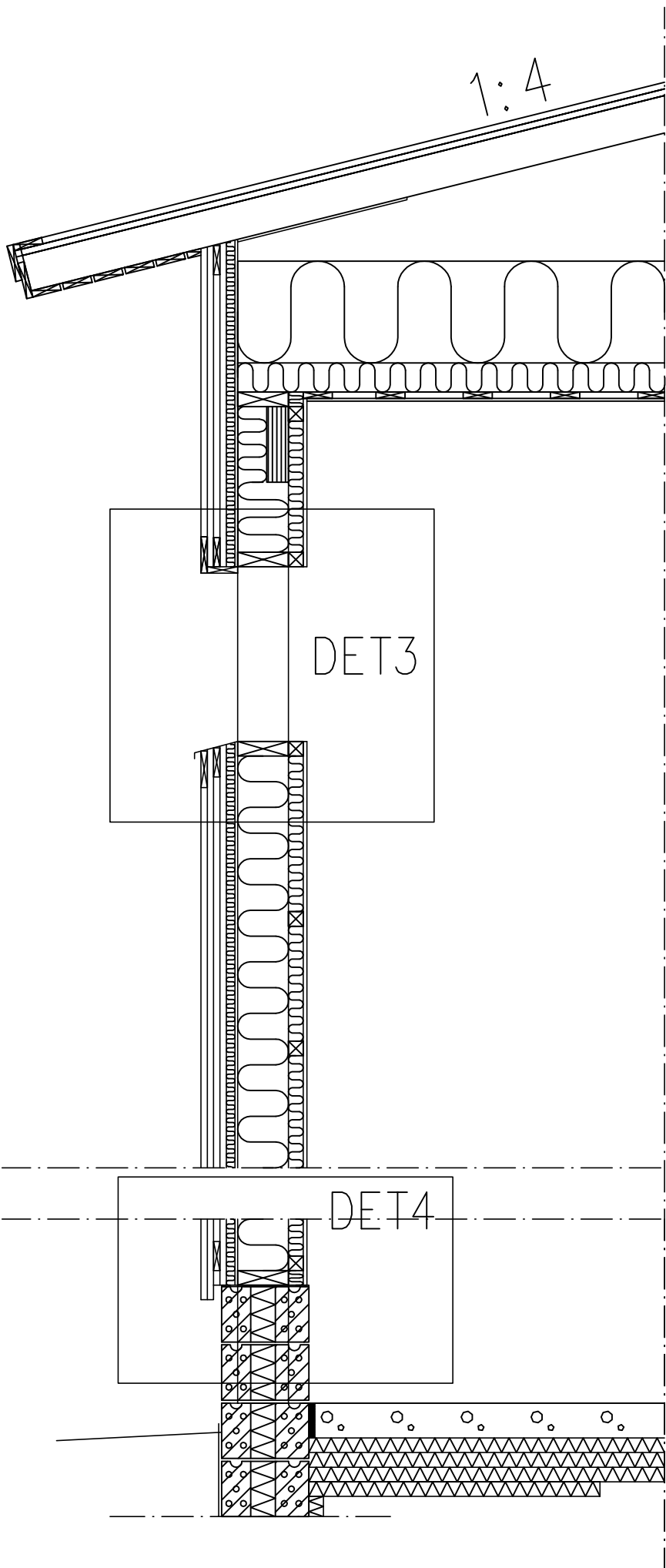
TUNNUS	LUKUM.	MUUTOS		PÄIVÄYS	PIIRT. HYV.

K.osa/kylä	Kortteli/Tila	Tontti/Rn:o	Viranomaisen arkistointimerkintöjä varten		
Rakennustoimenpide UUDISRAKENNUS			Piirustuslaji RAKENNEPIIRUSTUS		Juoks. n:o
Rakennuskohteen nimi ja osoite AUTOHALLI			Piirustuksen sisältö SEINIEN MITTAPIIRUSTUS		Mittakaavat 1:50
			RAK	Työ	Piir.
Piirt.	Suunn.	Hyv.		Pvm.	

SEINIEN MITTAPIIRUSTUS 1:50



RAKENNELEIKKAUS A-A 1:20

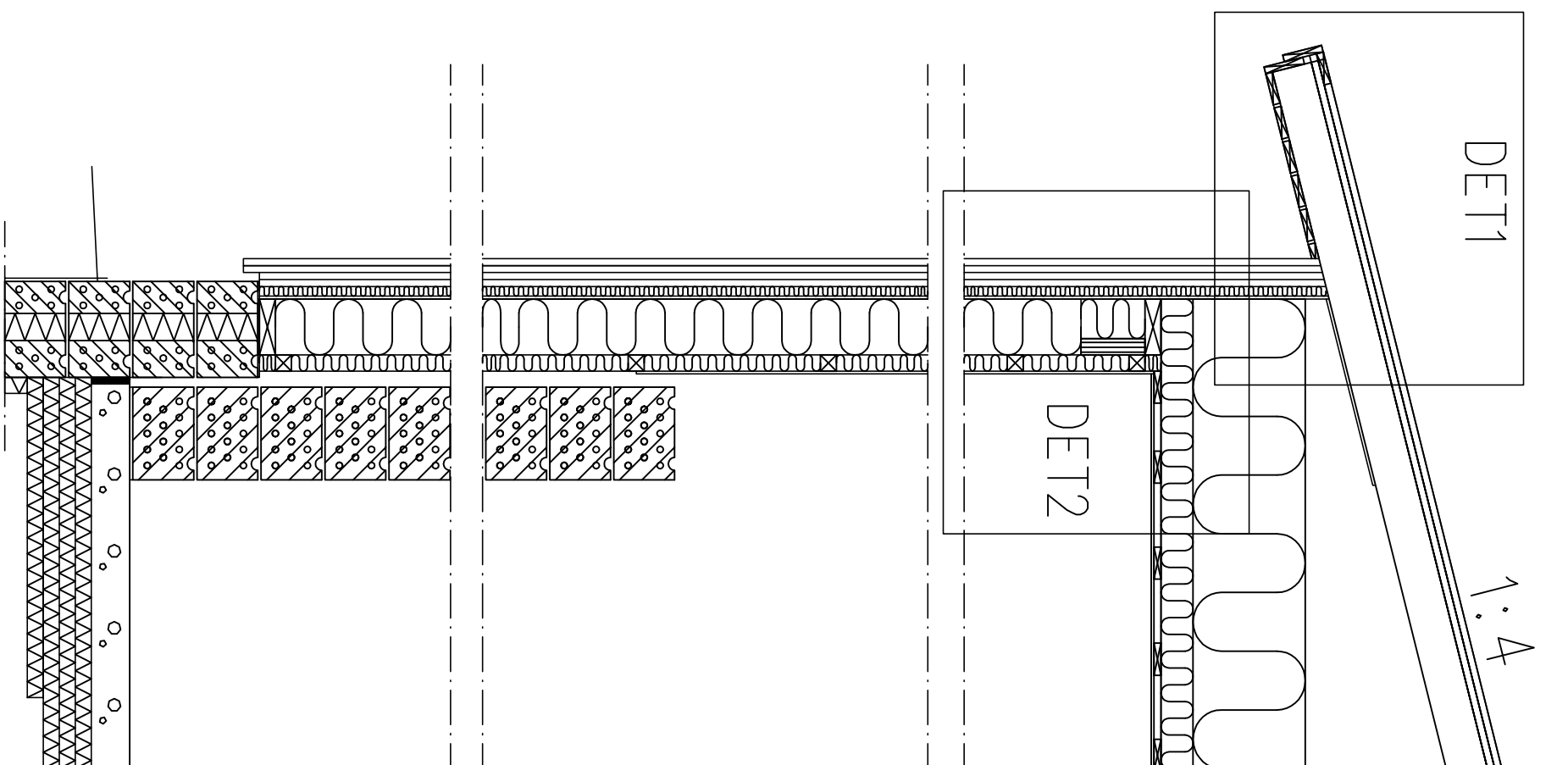


Rakennuskohde:
AUTOHALLI

Piirustuksen sisältö
RAKENNELEIKKAUS A-A

Tunnus
A-A

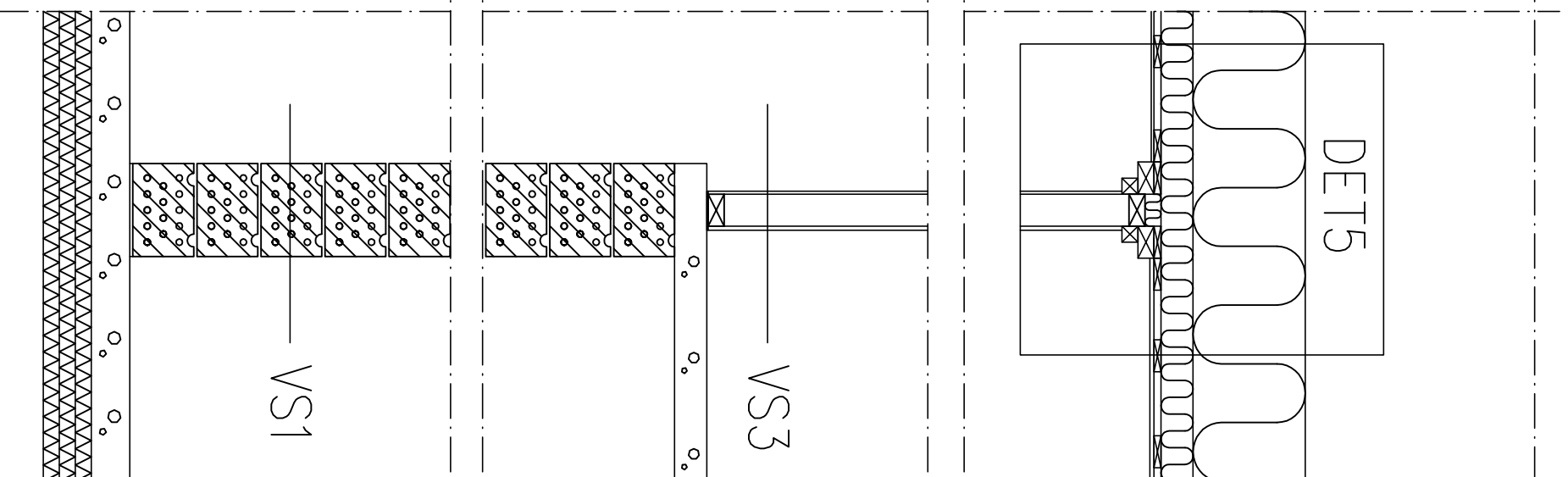
Piir. no	Muutos	Sivu	Mittakaava
		1(3)	1:20



DET1

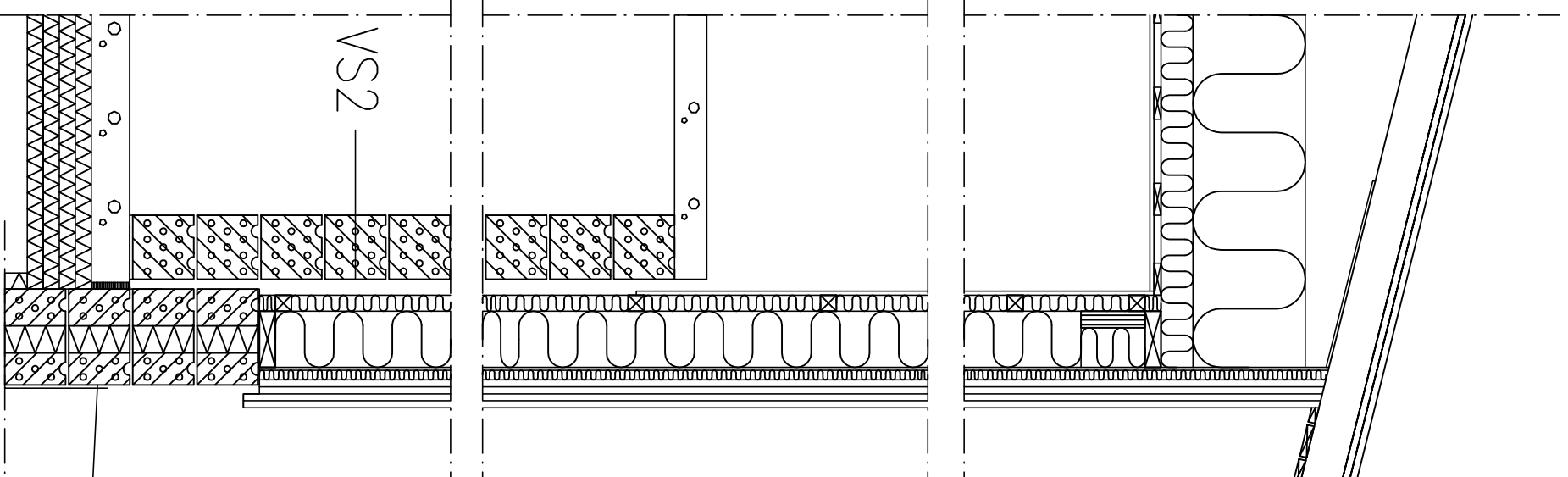
1:4

DET2



DET5

VS1



VS2

VS3

▽5.136

▽4.500

▽4.513

▽2.500

▽0.400

▽0.355

▽-0.100

▽+0.000

RAKENNELLEIKKAUS B-B 1:20

Rakennuskohde:
AUTOHALLI

Piirustuksen sisältö:

RAKENNELLEIKKAUS B-B

B-B

Tunnus

Piir. no

Muutos

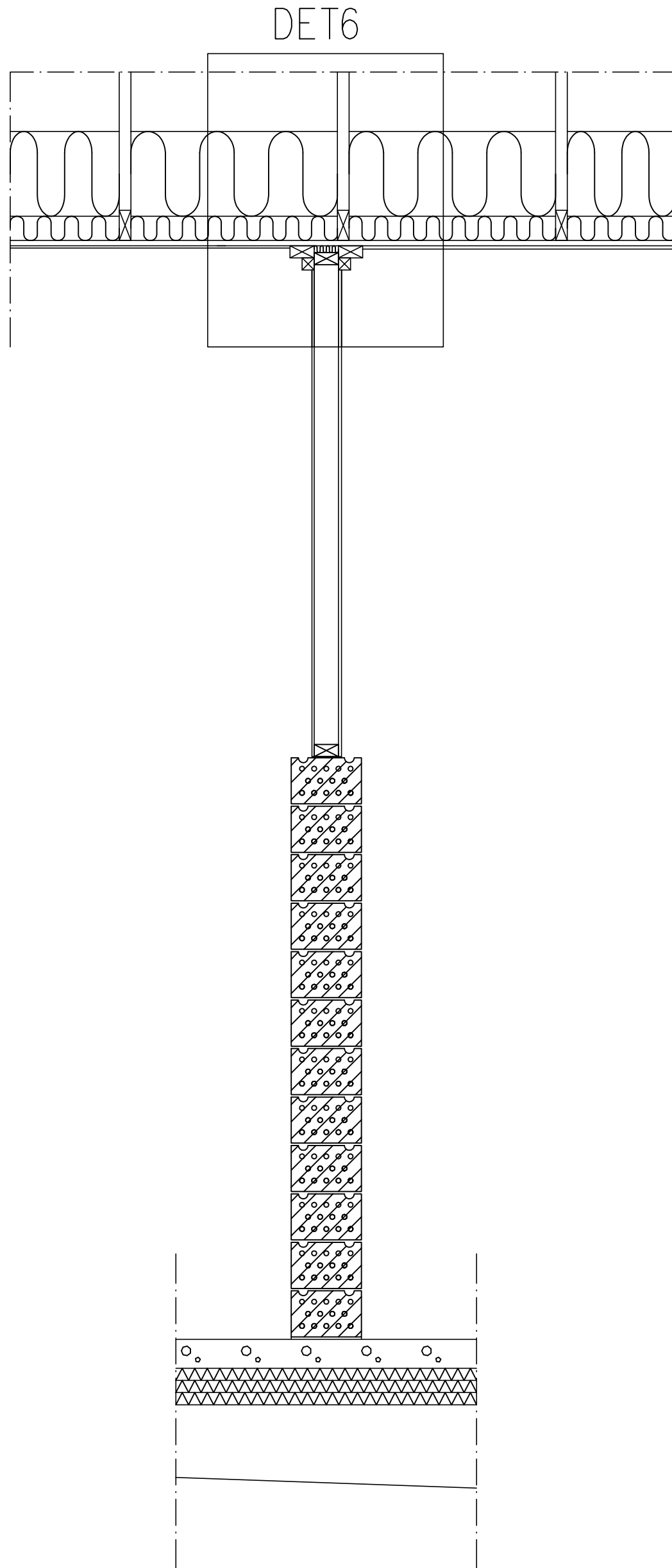
Sivu

Mittakaava

2(3)

1:20

RAKENNELEIKKAUS D-D 1:20

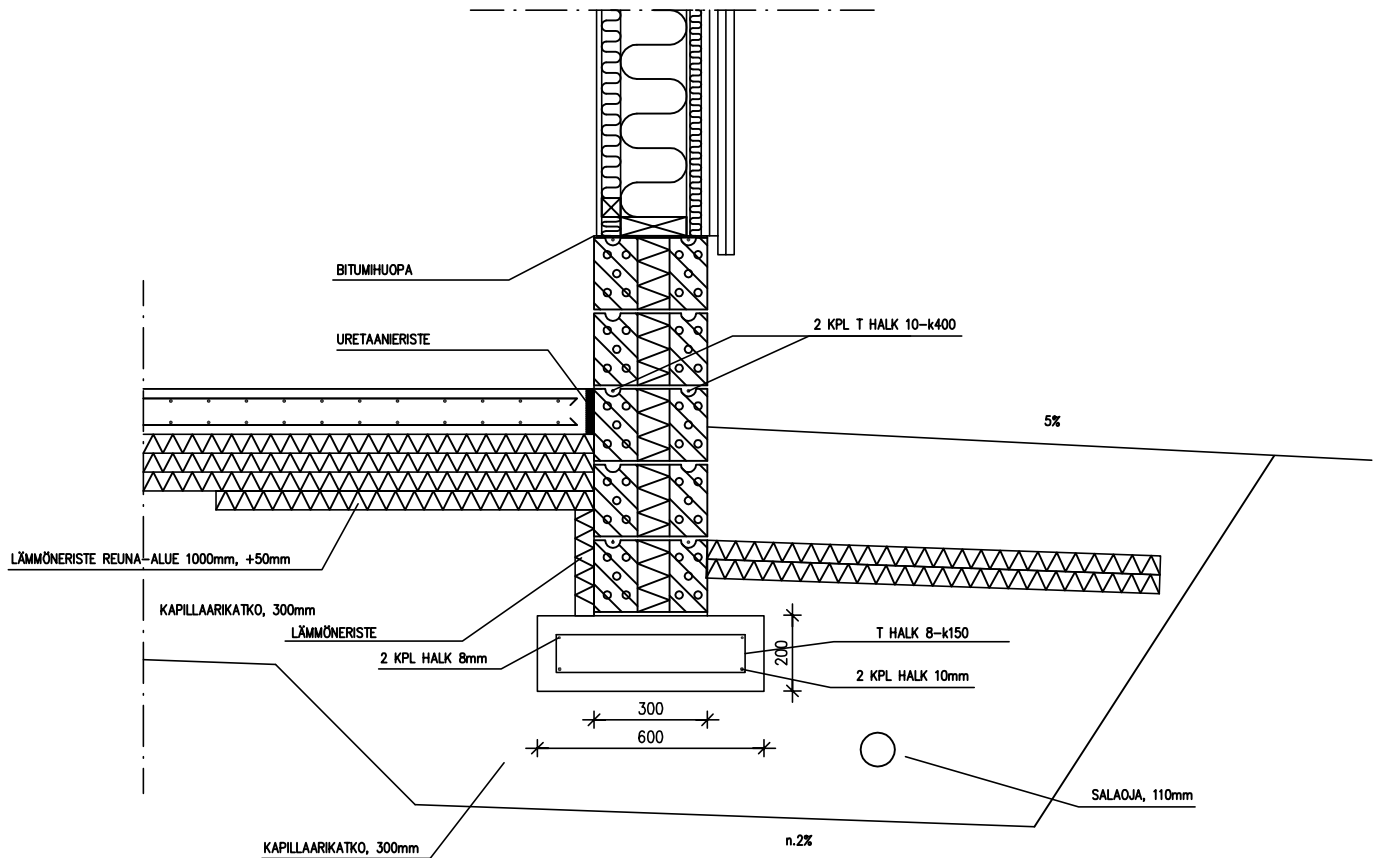


Rakennuskohde:
AUTOHALLI

Piirustuksen sisältö	Tunnus
RAKENNELEIKKAUS D-D	D-D

Piir. no	Muutos	Sivu	Mittakaava
		3(3)	1:20

PL1



Rakennuskohde:
AUTOHALLI

Piirustuksen sisältö

PERUSTUSLEIKKAUS

Tunnus

PL1

Piir. no

Muutos

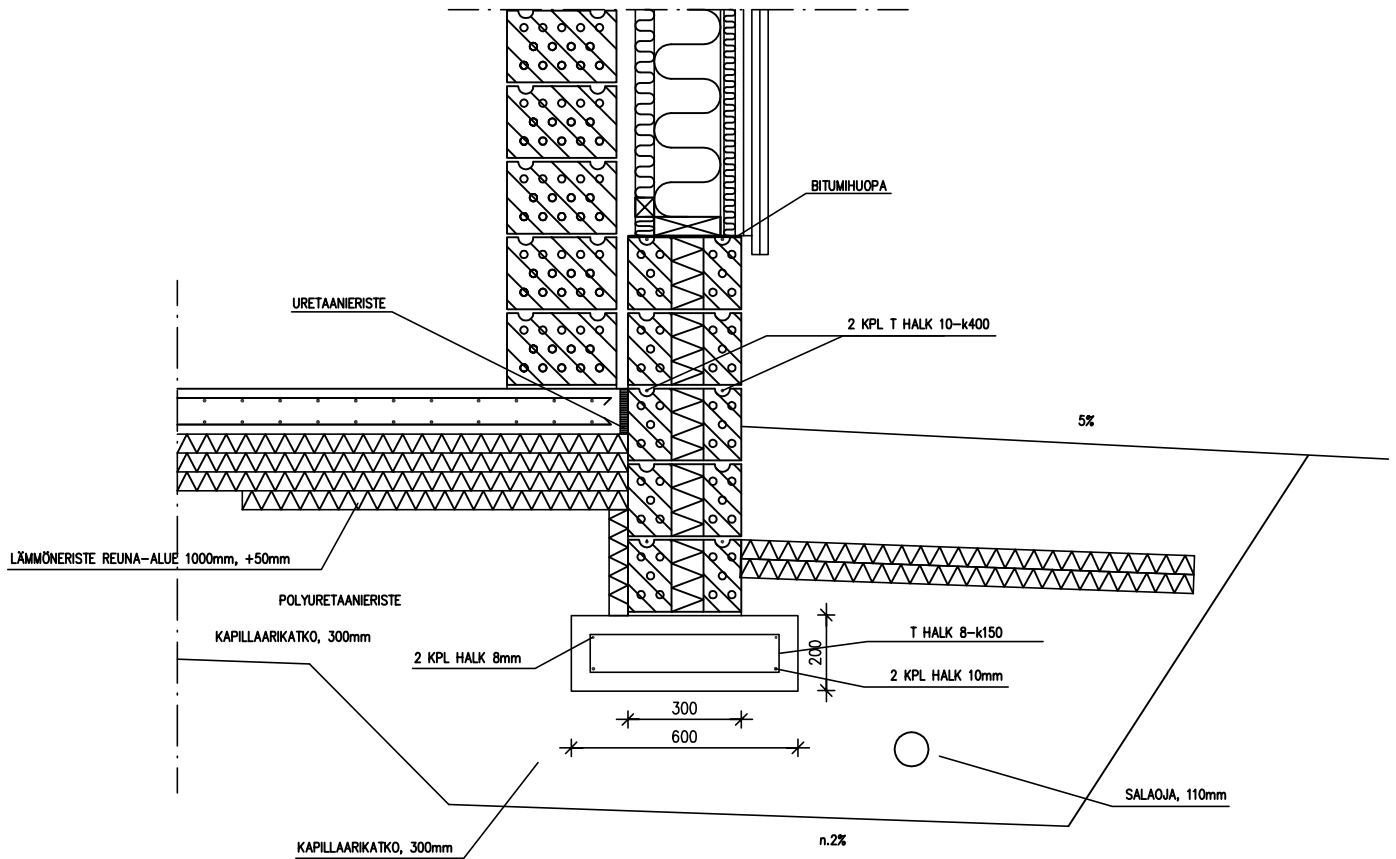
Sivu

Mittakaava

1(5)

1:20

PL2



Rakennuskohde:
AUTOHALLI

Piirustuksen sisältö

PERUSTUSLEIKKAUS

Tunnus

PL2

Piir. no

Muutos

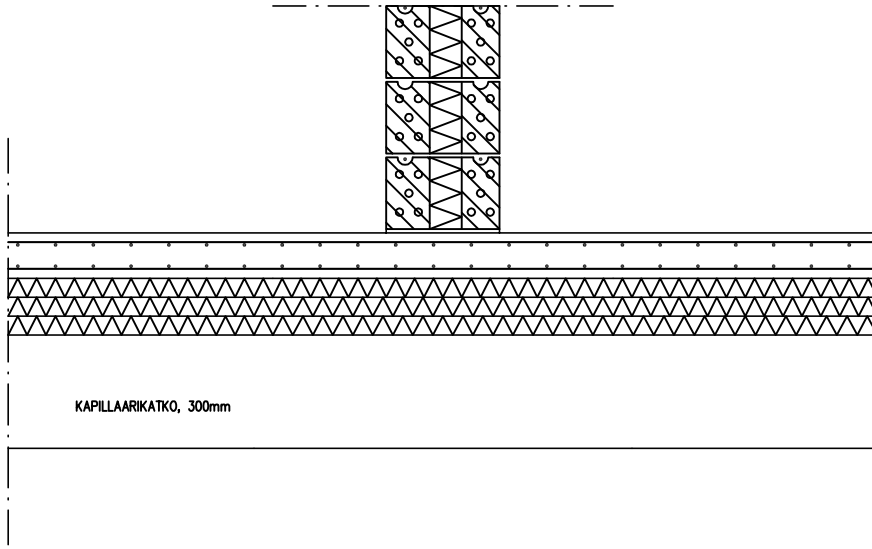
Sivu

Mittakaava

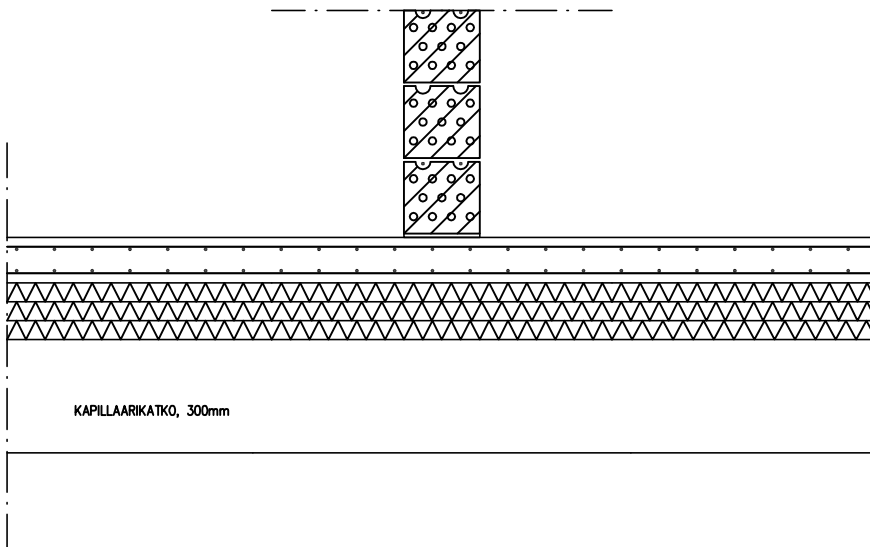
2(5)

1:20

PL3



PL4

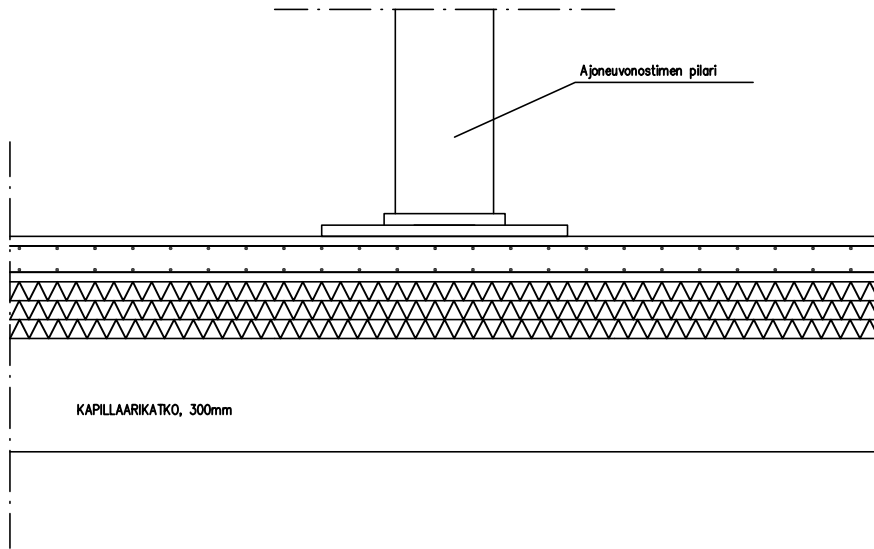


Rakennuskohde:
AUTOHALLI

Piirustuksen sisältö	Tunnus
PERUSTUSLEIKKAUS	PL3,4

Piir. no	Muutos	Sivu	Mittakaava
		3(5)	1:20

PL5

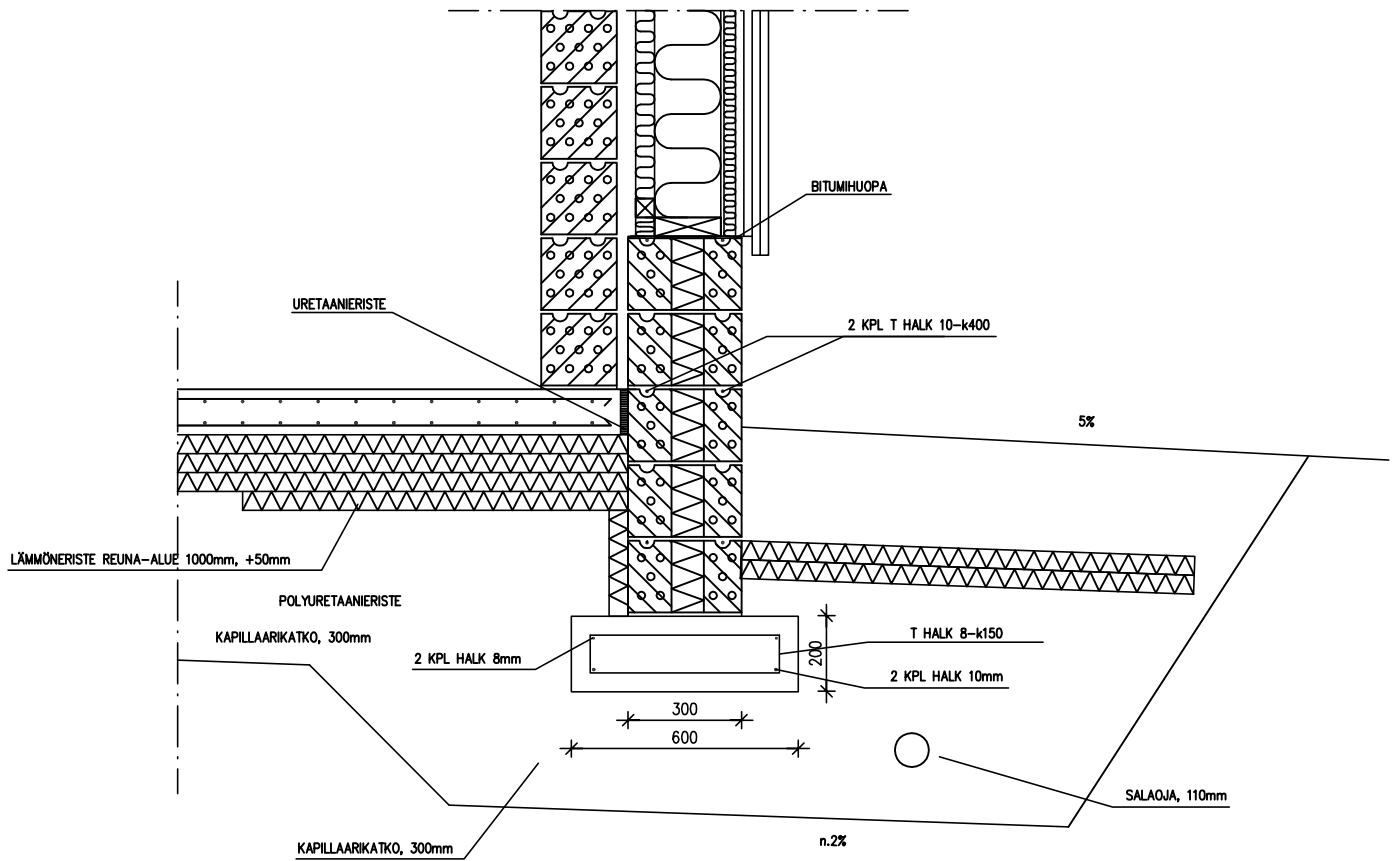


Rakennuskohde:
AUTOHALLI

Piirustuksen sisältö	Tunnus
PERUSTUSLEIKKAUS	PL5

Piir. no	Muutos	Sivu	Mittakaava
		4(5)	1:20

PL6



Rakennuskohde:
AUTOHALLI

Piirustuksen sisältö

PERUSTUSLEIKKAUS

Tunnus

PL6

Piir. no

Muutos

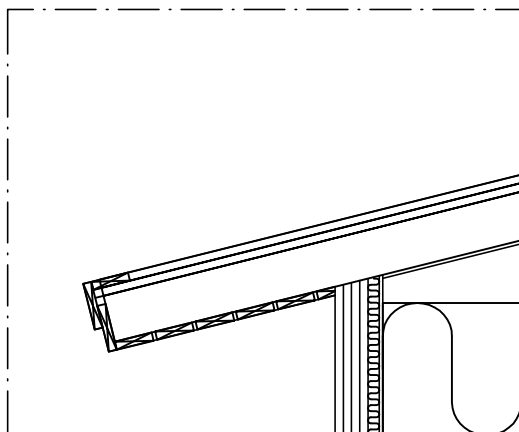
Sivu

Mittakaava

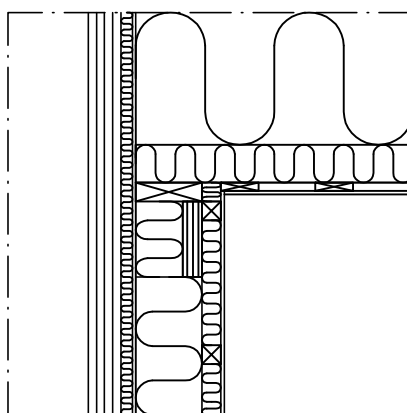
5(5)

1:20

DET1



DET2



Rakennuskohde:
AUTOHALLI

Piirustuksen sisältö

RAKENNEDETALJIT

Tunnus

DET1,2

Piir. no

Muutos

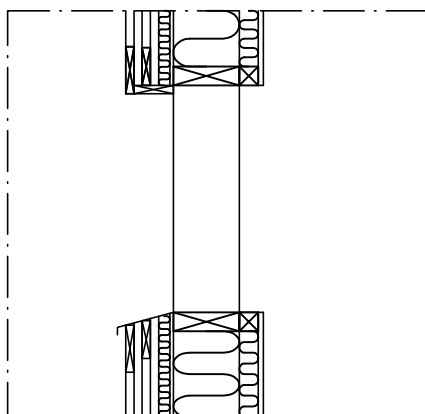
Sivu

Mittakaava

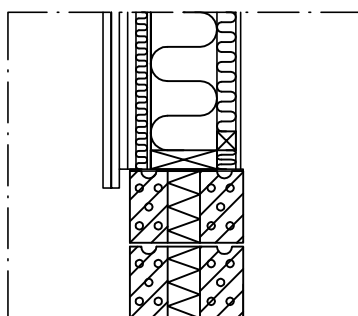
1(3)

1:20

DET3



DET4



Rakennuskohde:
AUTOHALLI

Piirustuksen sisältö

RAKENNEDETALJIT

Tunnus

DET3,4

Piir. no

Muutos

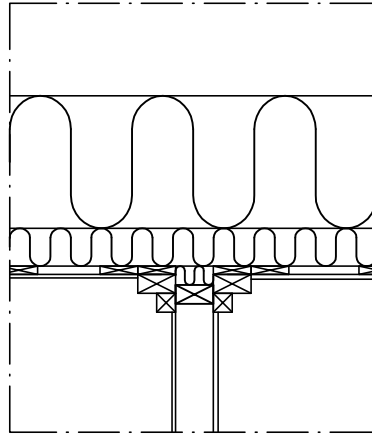
Sivu

Mittakaava

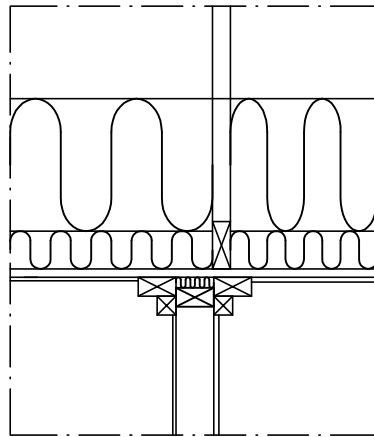
2(3)

1:20

DET5



DET6



Rakennuskohde:
AUTOHALLI

Piirustuksen sisältö

RAKENNEDETALJIT

Tunnus

DET5,6

Piir. no

Muutos

Sivu

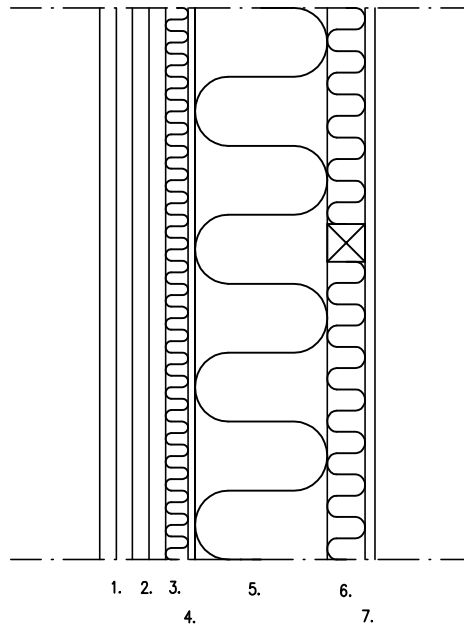
Mittakaava

3(3)

1:20

LIITE 10

US1



- 44 1. ULKOVERHOUS, PYSTYVERHOUS 22x125 + PYSTYRIMA 22x45
44 2. TUULETUSVÄLI, 2x22x50 k600
30 3. TUULENSUOJALEVY
9 4. VANERILEVY, RUNGON JÄYKISTYS
175 5. RUNKOTOLPPA 50x175 k600 + LÄMMÖNERISTE, MINERAALIVILLA
50 6. KOOLAUS 50x50 k600 + LÄMMÖNERISTE, MINERAALIVILLA
7. HÖYRYNSULKUMUOV
13 8. SISÄVERHOUSLEVY, KIPSILEVY

Rakenteen U-arvo: 0,162 W/m²K

Rakennuskohde:
AUTOHALLI

Piirustuksen sisältö

ULKOISEINÄ 1

Tunnus

US1

Piir. no

Muutos

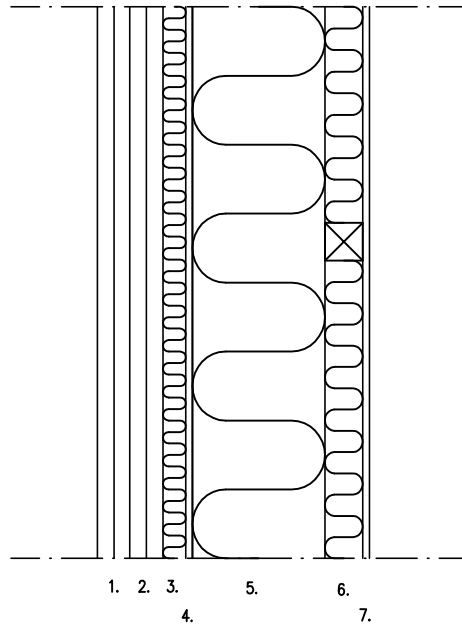
Sivu

Mittakaava

1(7)

1:10

US2



- 44 1. ULKOVERHOUS, PYSTYVERHOUS 22x125 + PYSTYRIMA 22x45
 44 2. TUULETUSVÄLI, 2x22x50 k600
 30 3. TUULENSUOJALEVY
 9 4. VANERILEVY, RUNGON JÄYKISTYS
 175 5. RUNKOTOLPPA 50x175 k600 + LÄMMÖNERISTE, MINERAALIVILLA
 50 6. KOOLAUS 50x50 k600 + LÄMMÖNERISTE, MINERAALIVILLA
 7. HÖYRYNSULKUMUOVI
 9 8. SISÄVERHOUSLEVY, VESIVANERI

Rakenteen U-arvo: 0,162 W/m²K

Rakennuskohde:
 AUTOHALLI

Piirustuksen sisältö

ULKOISEINÄ 2

Tunnus

US2

Piir. no

Muutos

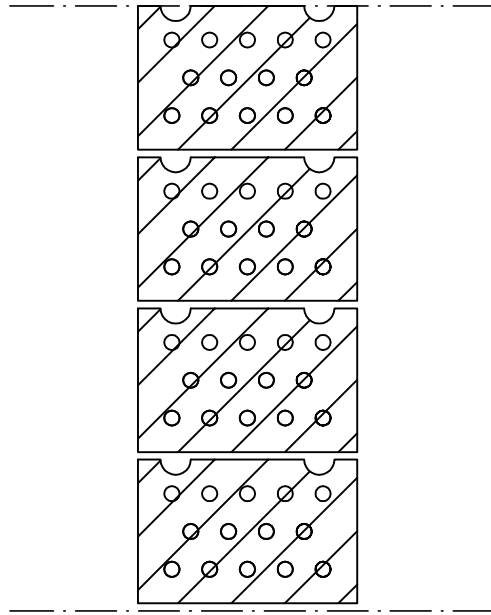
Sivu

Mittakaava

2(7)

1:10

VS1



1.

290 1. RUH-290

Rakennuskohde:
AUTOHALLI

Piirustuksen sisältö

VÄLISEINÄ 1

Tunnus

VS1

Piir. no

Muutos

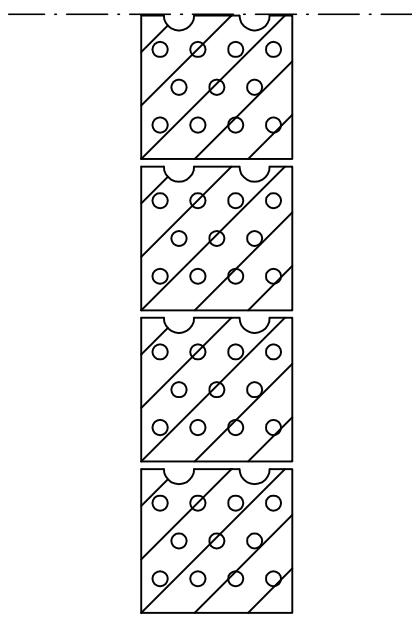
Sivu

Mittakaava

3(7)

1:10

VS2



1.

200 1. RUH-200

Rakennuskohde:
AUTOHALLI

Piirustuksen sisältö

VÄLISEINÄ 2

Tunnus

VS2

Piir. no

Muutos

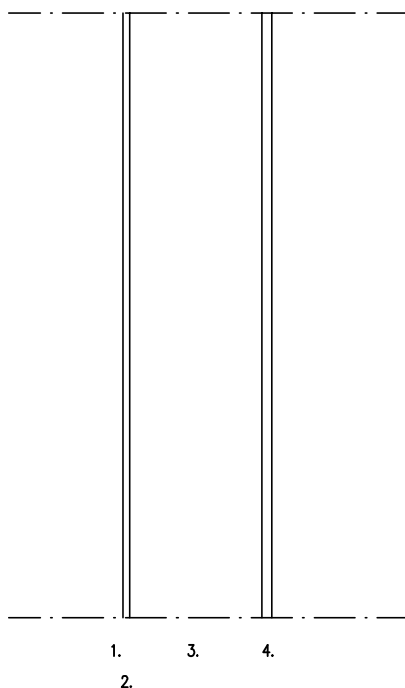
Sivu

Mittakaava

4(7)

1:10

VS3



1. PINTAMATERIAALI, MAALI
13 2. VERHOUSLEVY, KIPSILEVY
175 3. RUNKOTOLPPA 50x175
9 4. VERHOUSLEVY, VESIVANERI

Rakennuskohde:
AUTOHALLI

Piirustuksen sisältö

VÄLISEINÄT 3

Tunnus

VS3

Piir. no

Muutos

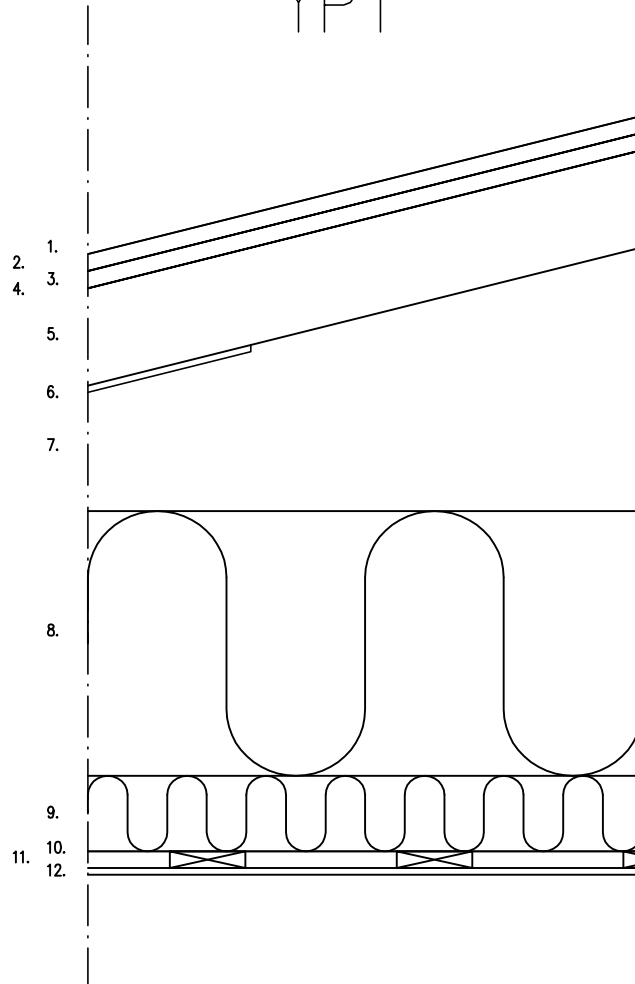
Sivu

Mittakaava

5(7)

1:10

YP1



- 1. VESIKATE, PELTI
- 22 2. RUOTEET 22x100 k300
- 22 3. TUULETUSRIMA 22x50 k600
- 4. ALUSKATE
- 5. KATTOKANNATTAJAT, NR-RISTIKKO
- 9 6. TUULENSUOJALEVY, KIPSILEVY
- 7. TUULETUSTILA
- 350 8. LÄMMÖNERISTE, PUHALLUSVILLA
- 100 9. LÄMMÖNERISTE, MINERAALIVILLA
- 10. HÖYRYNSULKUMUOVI
- 22 11. KOOLAUS 22x100 k300
- 9 12. VERHOUSLEVY, KIPSILEVY

Rakenteen U-arvo: 0,085 W/m²K

Rakennuskohde:
AUTOHALLI

Piirustuksen sisältö

YLÄPOHJA

Tunnus

YP1

Piir. no

Muutos

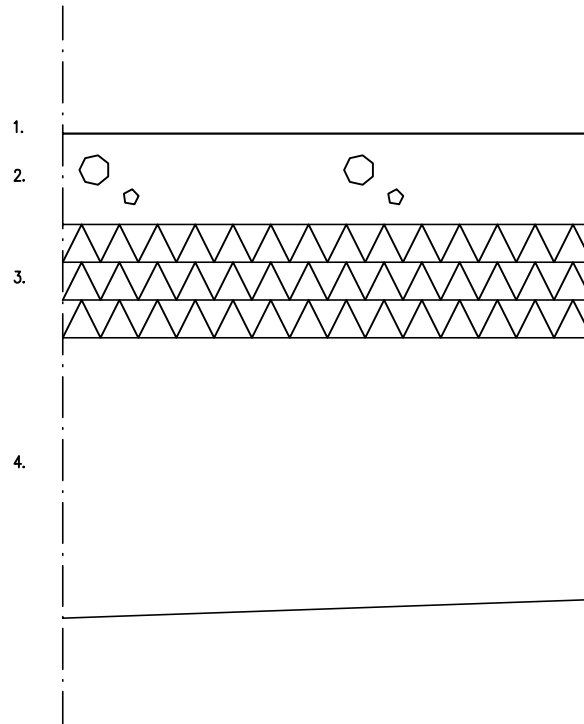
Sivu

Mittakaava

6(7)

1:10

AP1



1. PINTAMATERIAALI, EPOKSIPINNOITE
- 120 2. BETONILAATTA
- 150 3. LÄMMÖNERISTE 50+50+50 (+50 reuna-alue)
- 300 4. KAPILLAARIKATKO

Rakenteen U-arvo: 0,155 W/m²K

Rakennuskohde:
AUTOHALLI

Piirustuksen sisältö
ALAPOHJA

Tunnus
AP1

Piir. no Muutos

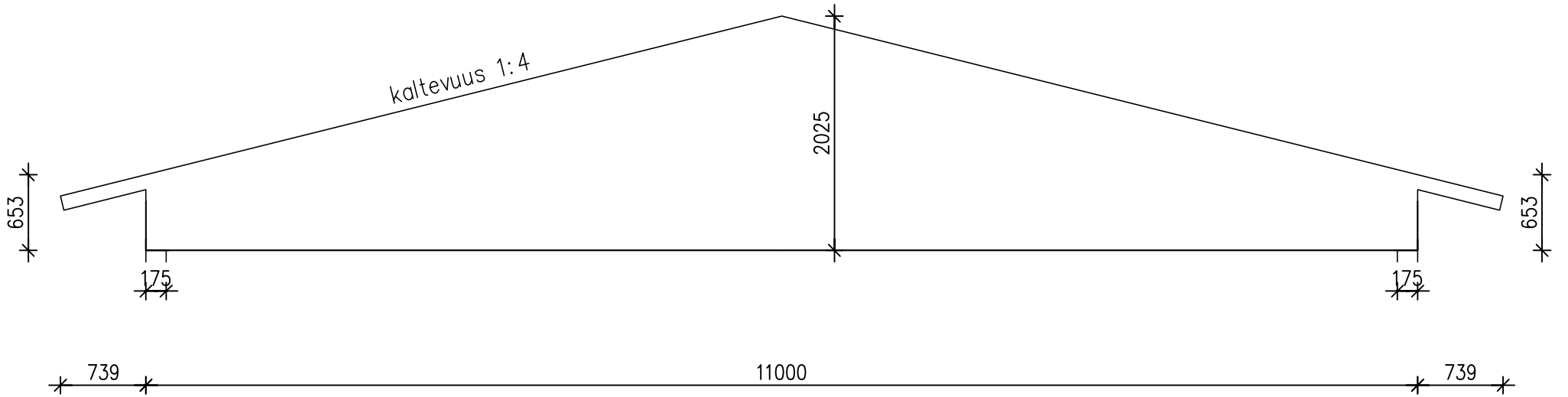
Sivu

Mittakaava

7(7)

1:10

Ristikkokaavio 1:50

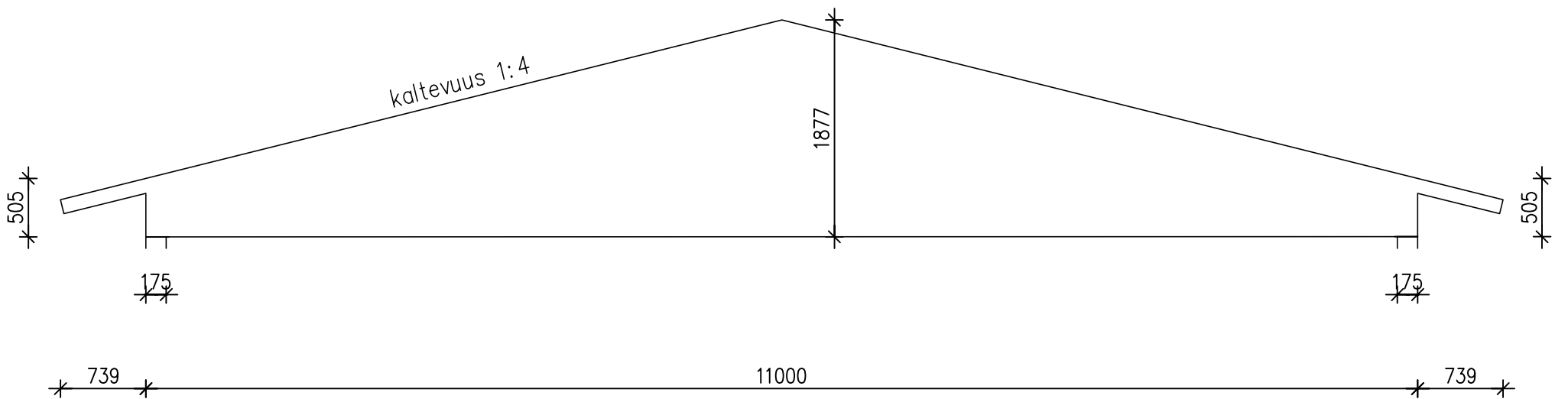


RISTIKKO R1 – 20 KPL

kannatinjako 900 mm
 ruodejako 300 mm
 tukimateriaali puu lappeellaan
 50x175 mm

KOSTEUSLUOKKA 2

kuormitukset	rakenteet	
	- jännteellä	0,56 kN/m
	- räystäällä	0,16
	lumikuorma	
	- jännteellä	1,8
	- räystäällä	1,8
	tuulikuorma	



RISTIKKO R2 – 2 KPL

kannatinjako 900 mm
 ruodejako 300 mm
 tukimateriaali puu lappeellaan
 50x175 mm

KOSTEUSLUOKKA 2

kuormitukset	rakenteet	
	- jännteellä	0,48 kN/m ²
	- räystäällä	0,29
	lumikuorma	
	- jännteellä	1,2
	- räystäällä	1,2
	tuulikuorma	

RUNKOTOLPPA**Materiaali**

Sahatavara C24 (lyhennetty suunnitteluohje - taulukko 3.3)

$f_{c0k} := 21$	N/mm ²	puristus syysuuntaan
$f_{c90k} := 2.5$	N/mm ²	puristus kohtisuoraan syysuuntaa vastaan
$f_{mk} := 24$	N/mm ²	taivutus
$E_{0mean} := 11000$	N/mm ²	kimmomoduuli
$\gamma_m := 1.4$		materiaalin osavarmuusluku (taulukko 2.7)

Kuormat

$g_{k1} := 0.61$	kN/m ²	yläpohja
$g_{k2} := 0.2$		yläpohja räystään kohdalla
$q_{k1} := 2.0$		lumikuorma katolla
$q_{k2} := 2.0$		hyötykuorma
$q_{kh} := 0.6$		tuulen nopeuspaine (taulukko 2.2, kuva 2.4)

Ominaiskuormien aiheuttamat voimasuureet

$L_1 := 10.825$	m	NR-ristikon jänneväli
$L_2 := 0.838$		räystäänpituus
$L_s := 4.130$		runkotolpan pituus
$k_1 := 0.600$		tolpan kuormitusleveys k-jako

pystykuorma tolपालle yläpohjan omapainosta

$$N_{gk} := \frac{L1}{2} \cdot k1 \cdot gk1 + L2 \cdot k1 \cdot gk2$$

$$N_{gk} = 2.082 \quad \text{kN}$$

pystykuorma tolalle lumikuormasta

$$N_{qk} := \frac{L1}{2} \cdot k1 \cdot qk1 + L2 \cdot k1 \cdot qk1$$

$$N_{qk} = 7.501 \quad \text{kN}$$

tolpan taivutusmomentti tuulikuormasta

$$c_{pnet} := 1.4$$

osapinnan nettotuulenpainekerroin (taulukko 2.4)
yksinkertaistettu ei interpoloitu

$$M_{wk} := \frac{(c_{pnet} \cdot q_{kh} \cdot k1) \cdot Ls^2}{8}$$

$$M_{wk} = 1.075 \quad \text{kNm}$$

Tolpan lähtötiedot

$$h := 175$$

tolpan poikkileikkauksen korkeus

$$b := 1 \cdot 50 \quad b = 50$$

tolpan poikkileikkauksen leveys

$$A1 := h \cdot b \quad A1 = 8.75 \times 10^3$$

tolpan poikkileikkausala

Kuormitusyhdistelmät

$$K_{fi} := 1.0$$

(RIL 205-1-2007 taulukko 2.1)

KY1:

kuormitusyhdistelmä murtorajatilassa (pysyvä aikaluokka)

$$1.35 G_{kj} \text{ (omapaino)}$$

(kaava 2.2)

KY2:

kuormitusyhdistelmä murtorajatilassa (keskipitkä aikaluokka)

$$1.15 G_{kj} (\text{omapaino}) + 1.5 Q_{k1} (\text{lumi}) + 1.05 Q_{k2} (\text{hyöty}) \quad (\text{kaava 2.3})$$

ei ole

KY3: ei tätä

kuormitusyhdistelmä murtorajatilassa (keskipitkä aikaluokka)

$$1.15 G_{kj} (\text{omapaino}) + 1.5 Q_{k1} (\text{hyöty}) + 1.05 Q_{k2} (\text{lumi}) \quad (\text{kaava 2.3})$$

ei ole

KY4:

kuormitusyhdistelmä murtorajatilassa (hetkellinen aikaluokka)

$$1.15 G_{kj} (\text{omapaino}) + 1.5 Q_{kt} (\text{tuuli}) + 1.05 Q_{k1} (\text{lumi}) + 1.05 Q_{k2} (\text{hyöty})$$

ei ole (kaava 2.4)

KY5:

kuormitusyhdistelmä murtorajatilassa (hetkellinen aikaluokka)

$$1.15 G_{kj} (\text{omapaino}) + 1.5 Q_{k1} (\text{lumi}) + 1.05 Q_{k2} (\text{hyöty}) + 0.9 Q_{kt} (\text{tuuli})$$

ei ole (kaava 2.4)

KY6: ei tätä

kuormitusyhdistelmä murtorajatilassa (hetkellinen aikaluokka)

$$1.15 G_{kj} (\text{omapaino}) + 1.5 Q_{k1} (\text{hyöty}) + 1.05 Q_{k2} (\text{lumi}) + 0.9 Q_{kt} (\text{tuuli})$$

ei ole (kaava 2.4)

Nurjahduskestävyys (Z-suuntaan) KY1

Maksimi normaalivoima

$$N_d := 1.35 \cdot N_{gk}$$

$$N_d = 2.81 \quad \text{kN}$$

Nurjahduskerroin k_{cy}

$$L_{cz} := 1.0 \cdot L_s \cdot 10^3 \qquad L_{cz} = 4.13 \times 10^3 \text{ mm}$$

$$i_y := \frac{h}{\sqrt{12}} \qquad i_y = 50.518 \text{ mm}$$

$$\lambda_{bd} := \frac{L_{cz}}{i_y} \qquad \lambda_{bd} = 81.753 \qquad \text{(kaava 5.9)}$$

Nurjahduskerroin saadaan kuvasta 5.5 $k_{cy} := 0.3$

Puristusjännitys

$$\sigma_{cd} := \frac{N_d \cdot 10^3}{b \cdot h} \qquad \sigma_{cd} = 0.321 \text{ N/mm}^2$$

Puristuslujuus

$$k_{mod} := 0.6 \qquad \text{(taulukko 3.1)}$$

$$f_{cd} := \frac{f_{ck} \cdot k_{mod}}{\gamma_m} \qquad f_{cd} = 9 \text{ N/mm}^2$$

Mitoitusehto

$$\text{käyttöaste} := \frac{\sigma_{cd}}{k_{cy} \cdot f_{cd}} \leq 1 \qquad \text{(kaava 5.7)}$$

$$\text{käyttöaste} = 0.119$$

nurjahduskestävyys

$$\text{käyttöaste} = 0.119$$

Nurjahduskestävyys (Z-suuntaan) KY2

Maksimi normaalivoima

$$N_d := 1.15 \cdot N_{gk} + 1.5 \cdot N_{qk}$$
$$N_d = 13.645 \text{ kN}$$

Nurjahduskerroin k_{cy}

$$L_{cz} := 1.0 \cdot L_s \cdot 10^3$$
$$L_{cz} = 4.13 \times 10^3 \text{ mm}$$

$$i_y := \frac{h}{\sqrt{12}}$$
$$i_y = 50.518 \text{ mm}$$

$$\lambda_{day} := \frac{L_{cz}}{i_y}$$
$$\lambda_{day} = 81.753 \quad (\text{kaava 5.9})$$

Nurjahduskerroin saadaan kuvasta 5.5 $k_{cy} := 0.3$

Puristusjäännitys

$$\sigma_{c0d} := \frac{N_d \cdot 10^3}{b \cdot h}$$
$$\sigma_{c0d} = 1.559 \text{ N/mm}^2$$

Puristuslujuus

$$k_{mod} := 0.8 \quad (\text{taulukko 3.1})$$

$$f_{c0d} := \frac{f_{c0k} \cdot k_{mod}}{\gamma_m}$$
$$f_{c0d} = 12 \text{ N/mm}^2$$

Mitoitusehto

$$\text{käyttöaste} := \frac{\sigma_{c0d}}{k_{cy} \cdot f_{c0d}} \quad \blacksquare \leq 1 \quad (\text{kaava 5.7})$$

$$\text{käyttöaste} = 0.433$$

Tukipainekestävyys alaohjauspuussa KY2

Tukireaktio

$$A_d := 1.15 \cdot N_{gk} + 1.5 \cdot N_{qk}$$

$$A_d = 13.645 \quad \text{kN}$$

Puristusjännitys alaohjauspuussa

$$l_1 := 1.50 \quad l = 50 \quad \text{tolpan leveys}$$

$$b_2 := 175 \quad \text{tolpan korkeus}$$

$$\sigma_{c90d} := \frac{A_d \cdot 10^3}{b_2 \cdot l} \quad \sigma_{c90d} = 1.559 \quad \text{N/mm}^2$$

Alaohjauspuun puristuslujuus kohtisuoraan syysuuntaan vastaan

$$k_{mod} = 0.8$$

$$f_{c90d} := \frac{f_{c90k} \cdot k_{mod}}{\gamma_m} \quad f_{c90d} = 1.429 \quad \text{N/mm}^2$$

$k_{c,90}$ -kerroin

$$l_1 \geq 2h \quad (\text{kuva 5.2})$$

$$k_{c90} := 1.25 \quad (\text{sahatavara}) \quad (\text{kohta 5.1})$$

Tehollinen kosketuspinnan pituus

$$l_{c90ef} := 30 + 1 + 30$$
$$l_{c90ef} = 110 \quad \text{mm}$$

Tukipainekerroin

$$k_{\text{kkohtisuora}} := \frac{l_{c90ef}}{l} \cdot k_{c90} \quad (\text{kaava 5.2a})$$
$$k_{\text{kkohtisuora}} = 2.75$$

Mitoitusehto

$$\sigma_{c90d} = 1.559$$

$$k_{\text{kkohtisuora}} \cdot f_{c90d} = 3.929$$

$$\sigma_{c90d} \leq k_{\text{kkohtisuora}} \cdot f_{c90d}$$

$$k_{\text{käyttöaste2}} := \frac{\sigma_{c90d}}{k_{\text{kkohtisuora}} \cdot f_{c90d}}$$

$$k_{\text{käyttöaste2}} = 0.397$$

Taipuma KY4

Palkin jäyhyysmomentti

$$b = 50$$

$$h := 175$$

$$I_y := \frac{b \cdot h^3}{12}$$
$$I_y = 2.233 \times 10^7 \quad \text{mm}^4$$

Hetkellinen taipuma tuulikuormasta

$$w_{\text{inst}} := \frac{5 \cdot (k_1 \cdot c_{\text{pnet}} \cdot q_{\text{kh}}) \cdot (L_s \cdot 10^3)^4}{384 \cdot E_{0\text{mean}} \cdot I_y}$$

$w_{\text{inst}} = 7.773 \quad \text{mm}$

Lopputaipuma

$$k_{\text{def}} := 0.6 \quad (\text{taulukko 3.2})$$

$$w_{\text{fin}} := (1 + k_{\text{def}}) \cdot w_{\text{inst}}$$

$w_{\text{fin}} = 12.436 \quad \text{mm} \quad (\text{kaava 2.8})$

Mitoitusehto

$$L_s = 4.13 \quad \text{tolpan pituus}$$

$$w_{\text{fin}} \leq \frac{L_s \cdot 10^3}{300} \quad (\text{taulukko 4.1})$$

$$w_{\text{fin}} = 12.436 \quad \text{taipumaraja} := \frac{L_s \cdot 10^3}{300} \quad \text{mm}$$

$$\text{taipumaraja} = 13.767$$

$$\text{käyttöaste3} := \frac{w_{\text{fin}}}{\text{taipumaraja}}$$

$$\text{käyttöaste3} = 0.903$$

Mitoitustulosten tarkastelu

Runkotolpan dimensioksi saatiin C24 50x175

nurjahduskestävyys

tukipainekestävyys
alaohjauspuussa

taipuma

$$\text{käyttöaste} = 0.433$$

$$\text{käyttöaste2} = 0.397$$

$$\text{käyttöaste3} = 0.903$$

Nurjahduskestävyys (Z-suuntaan) KY4

Maksimi normaalivoima

$$N_d := 1.15 \cdot N_{gk} + 1.05 \cdot N_{qk}$$
$$N_d = 10.269 \text{ kN}$$

Nurjahduskerroin k_{cy}

$$L_{cz} := 1.0 \cdot L_s \cdot 10^3$$
$$L_{cz} = 4.13 \times 10^3 \text{ mm}$$

$$i_y := \frac{h}{\sqrt{12}}$$
$$i_y = 50.518 \text{ mm}$$

$$\lambda_{bd} := \frac{L_{cz}}{i_y}$$
$$\lambda_{bd} = 81.753 \quad (\text{kaava 5.9})$$

Nurjahduskerroin saadaan kuvasta 5.5 $k_{cy} := 0.3$

Puristusjäännitys

$$\sigma_{c0d} := \frac{N_d \cdot 10^3}{b \cdot h}$$
$$\sigma_{c0d} = 1.174 \text{ N/mm}^2$$

Puristuslujuus

$$k_{mod} := 1.1 \quad (\text{taulukko 3.1})$$

$$f_{c0d} := \frac{f_{c0k} \cdot k_{mod}}{\gamma_m}$$
$$f_{c0d} = 16.5 \text{ N/mm}^2$$

Mitoitusehto

$$\text{käyttöaste} := \frac{\sigma_{c0d}}{k_{cy} \cdot f_{c0d}} \quad \blacksquare \leq 1 \quad (\text{kaava 5.7})$$

$$\text{käyttöaste} = 0.237$$

Maksimi taivutusmomentti

$$M_d := 1.5 \cdot M_{wk}$$

$$M_d = 1.612 \quad \text{kNm}$$

Taivutusjännitys

$$\sigma_{myd} := \frac{6 \cdot M_d \cdot 10^6}{b \cdot h^2}$$

$$\sigma_{myd} = 6.316 \quad \text{N/mm}^2$$

Taivutuslujuus

$$f_{myd} := \frac{f_{mk} \cdot k_{mod}}{\gamma_m}$$

$$f_{myd} = 18.857 \quad \text{N/mm}^2$$

Mitoitusehto

$$\text{käyttöaste2} := \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + \frac{\sigma_{c0d}}{k_{cy} \cdot f_{c0d}} \quad \blacksquare \leq 1 \quad (\text{kaava 5.7})$$

$$\text{käyttöaste2} = 0.572$$

nurjahdukestävyys

taivutuskestävyys

$$\text{käyttöaste} = 0.237$$

$$\text{käyttöaste2} = 0.572$$

Nurjahduskestävyys (Z-suuntaan) KY5

Maksimi normaalivoima

$$N_d := 1.15 \cdot N_{gk} + 1.5 \cdot N_{qk}$$

$$N_d = 13.645 \text{ kN}$$

Nurjahduskerroin k_{cy}

$$L_{cz} := 1.0 \cdot L_s \cdot 10^3 \qquad L_{cz} = 4.13 \times 10^3 \text{ mm}$$

$$i_y := \frac{h}{\sqrt{12}} \qquad i_y = 50.518 \text{ mm}$$

$$\lambda_{bd} := \frac{L_{cz}}{i_y} \qquad \lambda_{bd} = 81.753 \qquad \text{(kaava 5.9)}$$

Nurjahduskerroin saadaan kuvasta 5.5 $k_{cy} := 0.3$

Puristusjännitys

$$\sigma_{c0d} := \frac{N_d \cdot 10^3}{b \cdot h} \qquad \sigma_{c0d} = 1.559 \text{ N/mm}^2$$

Puristuslujuus

$$k_{mod} := 1.1 \qquad \text{(taulukko 3.1)}$$

$$f_{c0d} := \frac{f_{c0k} \cdot k_{mod}}{\gamma_m} \qquad f_{c0d} = 16.5 \text{ N/mm}^2$$

Mitoitusehto

$$\text{käyttöaste} := \frac{\sigma_{c0d}}{k_{cy} \cdot f_{c0d}} \quad \blacksquare \leq 1 \quad (\text{kaava 5.7})$$

$$\text{käyttöaste} = 0.315$$

Maksimi taivutusmomentti

$$M_d := 0.9 \cdot M_{wk}$$

$$M_d = 0.967 \quad \text{kNm}$$

Taivutusjännitys

$$\sigma_{myd} := \frac{6 \cdot M_d \cdot 10^6}{b \cdot h^2}$$

$$\sigma_{myd} = 3.79 \quad \text{N/mm}^2$$

Taivutuslujuus

$$f_{myd} := \frac{f_{mk} \cdot k_{mod}}{\gamma_m}$$

$$f_{myd} = 18.857 \quad \text{N/mm}^2$$

Mitoitusehto

$$\text{käyttöaste2} := \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + \frac{\sigma_{c0d}}{k_{cy} \cdot f_{c0d}} \quad \blacksquare \leq 1 \quad (\text{kaava 5.7})$$

$$\text{käyttöaste2} = 0.516$$

nurjahdukestävyys

taivutuskestävyys

$$\text{käyttöaste} = 0.315$$

$$\text{käyttöaste2} = 0.516$$

RUNKOTOLPPA IKKUNA-AUKON REUNASSA**Materiaali**

Sahatavara C24 (lyhennetty suunnitteluohje - taulukko 3.3)

$f_{c0k} := 21$	N/mm ²	puristus syysuuntaan
$f_{c90k} := 2.5$	N/mm ²	puristus kohtisuoraan syysuuntaa vastaan
$f_{mk} := 24$	N/mm ²	taivutus
$E_{0mean} := 11000$	N/mm ²	kimmomoduuli
$\gamma_m := 1.4$		materiaalin osavarmuusluku (taulukko 2.7)

Kuormat

$g_{k1} := 0.61$	kN/m ²	yläpohja
$g_{k2} := 0.2$		yläpohja räystään kohdalla
$q_{k1} := 2.0$		lumikuorma katolla
$q_{k2} := 2.0$	ei ole	hyötykuorma
$q_{kh} := 0.6$		tuulen nopeuspaine (taulukko 2.2, kuva 2.4)

Ominaiskuormien aiheuttamat voimasuureet

$L_1 := 10.825$	m	NR-ristikon jänneväli
$L_2 := 0.838$		räystänpituus
$L_s := 4.130$		runkotolpan pituus
$k_1 := 1.4$		kuormitusleveys aukon pielitolpalle

pystykuorma tolपालle yläpohjan omapainosta

$$N_{gk} := \frac{L1}{2} \cdot k1 \cdot gk1 + L2 \cdot k1 \cdot gk2$$

$$N_{gk} = 4.857 \quad \text{kN}$$

pystykuorma tolalle lumikuormasta

$$N_{qk} := \frac{L1}{2} \cdot k1 \cdot qk1 + L2 \cdot k1 \cdot qk1$$

$$N_{qk} = 17.501 \quad \text{kN}$$

tolpan taivutusmomentti tuulikuormasta

$$c_{pnet} := 1.4$$

osapinnan nettotuulenpainekerroin (taulukko 2.4)
yksinkertaistettu ei interpoloitu

$$M_{wk} := \frac{(c_{pnet} \cdot q_{kh} \cdot k1) \cdot Ls^2}{8}$$

$$M_{wk} = 2.507 \quad \text{kNm}$$

Tolpan lähtötiedot

$$h := 175$$

tolpan poikkileikkauksen korkeus

$$b := 3 \cdot 50 \quad b = 150$$

tolpan poikkileikkauksen leveys

$$A1 := h \cdot b \quad A1 = 2.625 \times 10^4$$

tolpan poikkileikkausala

Kuormitusyhdistelmät

$$K_{fi} := 1.0$$

(RIL 205-1-2007 taulukko 2.1)

KY1:

kuormitusyhdistelmä murtorajatilassa (pysyvä aikaluokka)

$$1.35 G_{kj} \text{ (omapaino)}$$

(kaava 2.2)

KY2:

kuormitusyhdistelmä murtorajatilassa (keskipitkä aikaluokka)

$$1.15 G_{kj} (\text{omapaino}) + 1.5 Q_{k1} (\text{lumi}) + 1.05 Q_{k2} (\text{hyöty}) \quad (\text{kaava 2.3})$$

ei ole

KY3: ei tätä

kuormitusyhdistelmä murtorajatilassa (keskipitkä aikaluokka)

$$1.15 G_{kj} (\text{omapaino}) + 1.5 Q_{k1} (\text{hyöty}) + 1.05 Q_{k2} (\text{lumi}) \quad (\text{kaava 2.3})$$

ei ole

KY4:

kuormitusyhdistelmä murtorajatilassa (hetkellinen aikaluokka)

$$1.15 G_{kj} (\text{omapaino}) + 1.5 Q_{kt} (\text{tuuli}) + 1.05 Q_{k1} (\text{lumi}) + 1.05 Q_{k2} (\text{hyöty})$$

ei ole (kaava 2.4)

KY5:

kuormitusyhdistelmä murtorajatilassa (hetkellinen aikaluokka)

$$1.15 G_{kj} (\text{omapaino}) + 1.5 Q_{k1} (\text{lumi}) + 1.05 Q_{k2} (\text{hyöty}) + 0.9 Q_{kt} (\text{tuuli})$$

ei ole (kaava 2.4)

KY6: ei tätä

kuormitusyhdistelmä murtorajatilassa (hetkellinen aikaluokka)

$$1.15 G_{kj} (\text{omapaino}) + 1.5 Q_{k1} (\text{hyöty}) + 1.05 Q_{k2} (\text{lumi}) + 0.9 Q_{kt} (\text{tuuli})$$

ei ole (kaava 2.4)

Nurjahduskestävyys (Z-suuntaan) KY1

Maksimi normaalivoima

$$N_d := 1.35 \cdot N_{gk}$$

$$N_d = 6.557 \quad \text{kN}$$

Nurjahduskerroin k_{cy}

$$L_{cz} := 1.0 \cdot L_s \cdot 10^3 \qquad L_{cz} = 4.13 \times 10^3 \text{ mm}$$

$$i_y := \frac{h}{\sqrt{12}} \qquad i_y = 50.518 \text{ mm}$$

$$\lambda_{bd} := \frac{L_{cz}}{i_y} \qquad \lambda_{bd} = 81.753 \qquad \text{(kaava 5.9)}$$

Nurjahduskerroin saadaan kuvasta 5.5 $k_{cy} := 0.3$

Puristusjännitys

$$\sigma_{cd} := \frac{N_d \cdot 10^3}{b \cdot h} \qquad \sigma_{cd} = 0.25 \text{ N/mm}^2$$

Puristuslujuus

$$k_{mod} := 0.6 \qquad \text{(taulukko 3.1)}$$

$$f_{cd} := \frac{f_{ck} \cdot k_{mod}}{\gamma_m} \qquad f_{cd} = 9 \text{ N/mm}^2$$

Mitoitusehto

$$\text{käyttöaste} := \frac{\sigma_{cd}}{k_{cy} \cdot f_{cd}} \quad \blacksquare \leq 1 \qquad \text{(kaava 5.7)}$$

$$\text{käyttöaste} = 0.093$$

nurjahduskestävyys

$$\text{käyttöaste} = 0.093$$

Nurjahduskestävyys (Z-suuntaan) KY2

Maksimi normaalivoima

$$N_d := 1.15 \cdot N_{gk} + 1.5 \cdot N_{qk}$$
$$N_d = 31.838 \text{ kN}$$

Nurjahduskerroin k_{cy}

$$L_{cz} := 1.0 \cdot L_s \cdot 10^3$$
$$L_{cz} = 4.13 \times 10^3 \text{ mm}$$

$$i_y := \frac{h}{\sqrt{12}}$$
$$i_y = 50.518 \text{ mm}$$

$$\lambda_{day} := \frac{L_{cz}}{i_y}$$
$$\lambda_{day} = 81.753 \quad (\text{kaava 5.9})$$

Nurjahduskerroin saadaan kuvasta 5.5 $k_{cy} := 0.3$

Puristusjäännitys

$$\sigma_{c0d} := \frac{N_d \cdot 10^3}{b \cdot h}$$
$$\sigma_{c0d} = 1.213 \text{ N/mm}^2$$

Puristuslujuus

$$k_{mod} := 0.8 \quad (\text{taulukko 3.1})$$

$$f_{c0d} := \frac{f_{c0k} \cdot k_{mod}}{\gamma_m}$$
$$f_{c0d} = 12 \text{ N/mm}^2$$

Mitoitusehto

$$\text{käyttöaste} := \frac{\sigma_{c0d}}{k_{cy} \cdot f_{c0d}} \quad \blacksquare \leq 1 \quad (\text{kaava 5.7})$$

$$\text{käyttöaste} = 0.337$$

Tukipainekestävyys alaohjauspuussa KY2

Tukireaktio

$$A_d := 1.15 \cdot N_{gk} + 1.5 \cdot N_{qk}$$
$$A_d = 31.838 \quad \text{kN}$$

Puristusjännitys alaohjauspuussa

$$l_1 := 2.50 \quad l = 100$$

$$b_2 := 175$$

$$\sigma_{c90d} := \frac{A_d \cdot 10^3}{b_2 \cdot l}$$
$$\sigma_{c90d} = 1.819 \quad \text{N/mm}^2$$

Alaohjauspuun puristuslujuus kohtisuoraan syysuuntaan vastaan

$$k_{mod} = 0.8$$

$$f_{c90d} := \frac{f_{c90k} \cdot k_{mod}}{\gamma_m}$$
$$f_{c90d} = 1.429 \quad \text{N/mm}^2$$

$k_{c,90}$ -kerroin

$$l_1 \geq 2h \quad (\text{kuva 5.2})$$

$$k_{c90} := 1.25 \quad (\text{sahatavara}) \quad (\text{kohta 5.1})$$

Tehollinen kosketuspinnan pituus

$$l_{c90ef} := 30 + 1 + 30$$

$$l_{c90ef} = 160 \quad \text{mm}$$

Tukipainekerroin

$$k_{c90} := \frac{l_{c90ef}}{l} \cdot k_{c90} \quad (\text{kaava 5.2a})$$

$$k_{c90} = 2$$

Mitoitusehto

$$\sigma_{c90d} \leq k_{c90} \cdot f_{c90d}$$

$$\sigma_{c90d} = 1.819 \quad k_{c90} \cdot f_{c90d} = 2.857$$

$$k_{\text{käyttöaste2}} := \frac{\sigma_{c90d}}{k_{c90} \cdot f_{c90d}}$$

$$k_{\text{käyttöaste2}} = 0.637$$

Taipuma KY4 (kaksi tolppaa vierekkäin)

Palkin jäyhyysmomentti

$$b = 150 \quad 50+50+50 \text{ 3 tolppaa vierekkäin}$$

$$h = 175$$

$$I_y := \frac{b \cdot h^3}{12}$$

$$I_y = 6.699 \times 10^7 \quad \text{mm}^4$$

Hetkellinen taipuma tuulikuormasta

$$w_{\text{inst}} := \frac{5 \cdot (k_1 \cdot c_{pnet} \cdot q_{kh}) \cdot (L_s \cdot 10^3)^4}{384 \cdot E_{0mean} \cdot I_y}$$

$$w_{\text{inst}} = 6.045 \quad \text{mm}$$

Lopputaipuma

$$k_{\text{def}} := 0.6 \quad (\text{taulukko 3.2})$$

$$w_{fin} := (1 + k_{def}) \cdot w_{inst} \quad w_{fin} = 9.673 \quad \text{mm} \quad (\text{kaava 2.8})$$

Mitoitusehto

$L_s := 4.130$ tolpan pituus

$$w_{fin} \leq \frac{L_s \cdot 10^3}{300} \quad (\text{taulukko 4.1})$$

$$w_{fin} = 9.673 \quad \text{taipumaraja} := \frac{L_s \cdot 10^3}{300} \quad \text{mm}$$

$$\text{taipumaraja} = 13.767$$

$$\text{käyttöaste3} := \frac{w_{fin}}{\text{taipumaraja}}$$

$$\text{käyttöaste3} = 0.703$$

Mitoitustulosten tarkastelu

Ikkunan pielitolpan dimensioksi saatiin C24 50x175; 3 kpl vierekkäin

nurjahduskestävyys	tukipainekestävyys alaohjauspuussa	taipuma
käyttöaste = 0.337	käyttöaste2 = 0.637	käyttöaste3 = 0.703

Nurjahduskestävyys (Z-suuntaan) KY4

Maksimi normaalivoima

$$N_d := 1.15 \cdot N_{gk} + 1.05 \cdot N_{qk}$$

$$N_d = 23.962 \text{ kN}$$

Nurjahduskerroin k_{cy}

$$L_{cz} := 1.0 \cdot L_s \cdot 10^3 \qquad L_{cz} = 4.13 \times 10^3 \text{ mm}$$

$$i_y := \frac{h}{\sqrt{12}} \qquad i_y = 50.518 \text{ mm}$$

$$\lambda_{bd} := \frac{L_{cz}}{i_y} \qquad \lambda_{bd} = 81.753 \qquad \text{(kaava 5.9)}$$

Nurjahduskerroin saadaan kuvasta 5.5 $k_{cy} := 0.3$

Puristusjäännitys

$$\sigma_{c0d} := \frac{N_d \cdot 10^3}{b \cdot h} \qquad \sigma_{c0d} = 0.913 \text{ N/mm}^2$$

Puristuslujuus

$$k_{mod} := 1.1 \qquad \text{(taulukko 3.1)}$$

$$f_{c0d} := \frac{f_{c0k} \cdot k_{mod}}{\gamma_m} \qquad f_{c0d} = 16.5 \text{ N/mm}^2$$

Mitoitusehto

$$\text{käyttöaste} := \frac{\sigma_{c0d}}{k_{cy} \cdot f_{c0d}} \quad \blacksquare \leq 1 \quad (\text{kaava 5.7})$$

$$\text{käyttöaste} = 0.184$$

Maksimi taivutusmomentti

$$M_d := 1.5 \cdot M_{wk}$$

$$M_d = 3.761 \quad \text{kNm}$$

Taivutusjännitys

$$\sigma_{myd} := \frac{6 \cdot M_d \cdot 10^6}{b \cdot h^2}$$

$$\sigma_{myd} = 4.912 \quad \text{N/mm}^2$$

Taivutuslujuus

$$f_{myd} := \frac{f_{mk} \cdot k_{mod}}{\gamma_m}$$

$$f_{myd} = 18.857 \quad \text{N/mm}^2$$

Mitoitusehto

$$\text{käyttöaste2} := \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + \frac{\sigma_{c0d}}{k_{cy} \cdot f_{c0d}} \quad \blacksquare \leq 1 \quad (\text{kaava 5.7})$$

$$\text{käyttöaste2} = 0.445$$

nurjahdukestävyys

taivutuskestävyys

$$\text{käyttöaste} = 0.184$$

$$\text{käyttöaste2} = 0.445$$

Nurjahduskestävyys (Z-suuntaan) KY5

Maksimi normaalivoima

$$N_d := 1.15 \cdot N_{gk} + 1.5 \cdot N_{qk}$$

$$N_d = 31.838 \text{ kN}$$

Nurjahduskerroin k_{cy}

$$L_{cz} := 1.0 \cdot L_s \cdot 10^3 \qquad L_{cz} = 4.13 \times 10^3 \text{ mm}$$

$$i_y := \frac{h}{\sqrt{12}} \qquad i_y = 50.518 \text{ mm}$$

$$\lambda_{bd} := \frac{L_{cz}}{i_y} \qquad \lambda_{bd} = 81.753 \qquad \text{(kaava 5.9)}$$

Nurjahduskerroin saadaan kuvasta 5.5 $k_{cy} := 0.3$

Puristusjäännitys

$$\sigma_{c0d} := \frac{N_d \cdot 10^3}{b \cdot h} \qquad \sigma_{c0d} = 1.213 \text{ N/mm}^2$$

Puristuslujuus

$k_{mod} := 1.1$ (taulukko 3.1)

$$f_{c0d} := \frac{f_{c0k} \cdot k_{mod}}{\gamma_m} \qquad f_{c0d} = 16.5 \text{ N/mm}^2$$

Mitoitusehto

$$\text{käyttöaste} := \frac{\sigma_{c0d}}{k_{cy} \cdot f_{c0d}} \quad \blacksquare \leq 1 \quad (\text{kaava 5.7})$$

$$\text{käyttöaste} = 0.245$$

Maksimi taivutusmomentti

$$M_d := 0.9 \cdot M_{wk}$$

$$M_d = 2.257 \quad \text{kNm}$$

Taivutusjännitys

$$\sigma_{myd} := \frac{6 \cdot M_d \cdot 10^6}{b \cdot h^2}$$

$$\sigma_{myd} = 2.947 \quad \text{N/mm}^2$$

Taivutuslujuus

$$f_{myd} := \frac{f_{mk} \cdot k_{mod}}{\gamma_m}$$

$$f_{myd} = 18.857 \quad \text{N/mm}^2$$

Mitoitusehto

$$\text{käyttöaste2} := \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + \frac{\sigma_{c0d}}{k_{cy} \cdot f_{c0d}} \quad \blacksquare \leq 1 \quad (\text{kaava 5.7})$$

$$\text{käyttöaste2} = 0.401$$

nurjahdukkestävyys

taivutuskestävyys

$$\text{käyttöaste} = 0.245$$

$$\text{käyttöaste2} = 0.401$$

NR-ristikoiden kannatuspalkki

rungon kohdalla

Materiaali

Kerto-S (lyhennetty suunnitteluohje - taulukko 3.3)

$f_{mk} := 44$	N/mm^2	taivutus syrjällään
$f_{vk} := 4.1$	N/mm^2	leikkaus syrjällään
$f_{c90edgek} := 6.0$	N/mm^2	puristus poikittain syrjällään
$E_{0mean} := 13800$	N/mm^2	kimmomoduuli
$\gamma_m := 1.2$		materiaalin osavarmuusluku (taulukko 2.7)

Kuormat

$g_{k1} := 0.61$	kN/m^2	yläpohja
$g_{k2} := 0.2$		yläpohja räystään kohdalla
$q_{k1} := 2.0$		lumikuorma katolla

Ominaiskuormien aiheuttamat voimasuureet

$\overset{\text{ww}}{L} := 10.825$	m	NR-ristikon jänneväli
$L_1 := 0.6$		rungon k-jako
$k := 0.838$		räystään pituus
$\overset{\text{ww}}{s} := 0.9$		ristikkojako

Ristikon tukireaktio yläpohjan omapainosta

$$F_{gk} := \frac{L}{2} \cdot s \cdot g_{k1} + k \cdot s \cdot g_{k2}$$

$$F_{gk} = 3.122 \quad \text{kN}$$

Ristikön tukireaktio lumikuormasta

$$F_{qk} := \left(\frac{L}{2} + k \right) \cdot s \cdot q_{k1}$$

$$F_{qk} = 11.251 \quad \text{kN}$$

Palkin tukireaktiot yläpohjan omapainosta

$$B_{gk} := \frac{F_{gk}}{2}$$

$$B_{gk} = 1.561 \quad \text{kN}$$

$$A_{gk} := B_{gk}$$

$$A_{gk} = 1.561 \quad \text{kN}$$

Palkin tukireaktiot lumikuormasta

$$B_{qk} := \frac{F_{qk}}{2}$$

$$B_{qk} = 5.625 \quad \text{kN}$$

$$A_{qk} := B_{qk}$$

$$A_{qk} = 5.625 \quad \text{kN}$$

Maksimimomentti yläpohjan omapainosta

$$M_{gk} := \frac{B_{gk} \cdot L_1}{4}$$

$$M_{gk} = 0.234 \quad \text{kNm}$$

Maksimimomentti lumikuormasta

$$M_{qk} := \frac{B_{qk} \cdot L_1}{4}$$

$$M_{qk} = 0.844 \quad \text{kNm}$$

Maksimi leikkausvoima yläpohjan omapainosta

$$V_{gk} := A_{gk} \qquad V_{gk} = 1.561 \qquad \text{kN}$$

Maksimi leikkausvoima lumikuormasta

$$V_{qk} := A_{qk} \qquad V_{qk} = 5.625 \qquad \text{kN}$$

Palkin lähtötiedot

$$h := 200 \quad \text{mm} \qquad \text{palkin korkeus}$$
$$b := 51 \qquad \text{palkin leveys}$$

Kuormitusyhdistelmät

$$K_{fi} := 1.0 \qquad (\text{RIL 205-1-2007 taulukko 2.1})$$

KY1:

kuormitusyhdistelmä käyttörajatilassa (pysyvä aikaluokka)

$$G_{kj} \text{ (omapaino)}$$

kuormitusyhdistelmä murtorajatilassa (pysyvä aikaluokka)

$$1.35 G_{kj} \text{ (omapaino)} \qquad \text{(kaava 2.2)}$$

KY2:

kuormitusyhdistelmä käyttörajatilassa (keskipitkä aikaluokka)

$$G_{kj} \text{ (omapaino)} + Q_{k1} \text{ (lumi)}$$

kuormitusyhdistelmä murtorajatilassa (keskipitkä aikaluokka)

1.15 G_{kj} (omapaino) + 1.5 Q_{k1} (lumi)

(kaava 2.3)

Taivutuskestävyys KY1

Maksimi taivutusmomentti

$$M_d := 1.35 \cdot M_{gk}$$

$$M_d = 0.316 \quad \text{kNm}$$

Taivutusjännitys

$$\sigma_{myd} := \frac{6 \cdot M_d \cdot 10^6}{b \cdot h^2}$$

$$\sigma_{myd} = 0.93 \quad \text{N /mm}^2$$

kh -kerroin

Kertopuupalkin korkeus $h \leq 300$ mm, joten taivutuslujuutta ei tarvitse pienentää kertoimella kh.

Taivutuslujuus

$$k_{mod} := 0.6$$

(taulukko 3.1)

$$f_{md} := \frac{f_{mk} \cdot k_{mod}}{\gamma_m}$$

$$f_{md} = 22 \quad \text{N /mm}^2$$

Mitoitusehto

$$\sigma_{myd} \leq f_{md}$$

$$\sigma_{myd} = 0.93 \quad f_{md} = 22$$

$$\text{käyttöaste} := \frac{\sigma_{myd}}{f_{md}}$$

$$\text{käyttöaste} = 0.042$$

Leikkausvoima kestävyys KY1

Maksimi leikkausvoima

$$V_d := 1.35 \cdot V_{gk}$$
$$V_d = 2.108 \quad \text{kN}$$

Leikkausjännitys

Palkki on kertopuuta

$$b_{ef} := b \quad b_{ef} = 51 \quad (\text{kohta 5.2})$$

$$\tau_d := \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d \cdot 10^3}{b_{ef} \cdot h}$$
$$\tau_d = 0.31 \quad \text{N /mm}^2$$

Leikkauslujuus

$$k_{mod} = 0.6 \quad (\text{taulukko 3.1})$$

$$f_{vd} := \frac{f_{vk} \cdot k_{mod}}{\gamma_m}$$
$$f_{vd} = 2.05 \quad \text{N /mm}^2$$

Mitoitusehto

$$\tau_d \leq f_{vd}$$

$$\tau_d = 0.31 \quad f_{vd} = 2.05$$

$$\text{käyttöaste2} := \frac{\tau_d}{f_{vd}}$$

$$\text{käyttöaste2} = 0.151$$

Tukipainekestävyys palkissa KY1

Tukireaktio

$$F_d := 1.35 \cdot F_{gk}$$
$$F_d = 4.215 \quad \text{kN}$$

Puristusjännitys palkissa

$$l := 48 \quad \text{mm} \quad \text{ristikon leveys (tukipinta)}$$

$$\sigma_{c90d} := \frac{F_d \cdot 10^3}{b \cdot l}$$

$$\sigma_{c90d} = 1.722 \quad \text{N /mm}^2$$

Palkin puristuslujuus syysuuntaa vastaan

$$k_{mod} = 0.6 \quad (\text{taulukko 3.1})$$

$$f_{c90edged} := \frac{f_{c90edgek} \cdot k_{mod}}{\gamma_m}$$

$$f_{c90edged} = 3 \quad \text{N /mm}^2$$

kc90 -kerroin (kohta 5.1)

$$l_1 \geq 2h$$

$$k_{c90} := 1.0 \quad (\text{kerto-S})$$

Tehollinen kosketuspinnan pituus (kohta 5.1)

$$l = 48 \quad \text{mm}$$

$$l_{c90ef} := 30 + l + 30$$

$$l_{c90ef} = 108 \quad \text{mm}$$

Tukipainekerroin

$$k_{kkohtisuora} := \frac{l_{c90ef}}{l} \cdot k_{c90}$$

$$k_{kkohtisuora} = 2.25 \quad (\text{kaava 5.2a})$$

Mitoitusehto

$$\sigma_{c90d} \leq k_{kkohtisuora} \cdot f_{c90edged} \quad (\text{kaava 5.2})$$

$$\sigma_{c90d} = 1.722 \quad k_{kkohtisuora} \cdot f_{c90edged} = 6.75$$

$$\text{käyttöaste3} := \frac{\sigma_{c90d}}{k_{kkohtisuora} \cdot f_{c90edged}}$$

$$\text{käyttöaste3} = 0.255$$

Palkki kerto-S

$$h = 200 \quad \text{mm}$$

$$b = 51$$

taivutuskestävyys

$$\text{käyttöaste} = 0.042$$

leikkausvoimakestävyys

$$\text{käyttöaste2} = 0.151$$

palkintukipainekestävyys

$$\text{käyttöaste3} = 0.255$$

Taivutuskestävyys KY2

Maksimi taivutusmomentti

$$M_d := 1.15 \cdot M_{gk} + 1.5 \cdot M_{qk}$$

$$M_d = 1.535 \quad \text{kNm}$$

Taivutusjännitys

$$\sigma_{\text{myd}} := \frac{6 \cdot M_d \cdot 10^6}{b \cdot h^2}$$

$$\sigma_{\text{myd}} = 4.515 \quad \text{N/mm}^2$$

kh -kerroin

Kertopuupalkin korkeus $h \leq 300$ mm, joten taivutuslujuutta ei tarvitse pienentää kertoimella kh.

Taivutuslujuus

$$k_{\text{mod}} := 0.8$$

(taulukko 3.1)

$$f_{\text{md}} := \frac{f_{\text{mk}} \cdot k_{\text{mod}}}{\gamma_{\text{m}}}$$

$$f_{\text{md}} = 29.333 \quad \text{N/mm}^2$$

Mitoitusehto

$$\sigma_{\text{myd}} \leq f_{\text{md}}$$

$$\sigma_{\text{myd}} = 4.515 \quad f_{\text{md}} = 29.333$$

$$\text{käyttöaste} := \frac{\sigma_{\text{myd}}}{f_{\text{md}}}$$

$$\text{käyttöaste} = 0.154$$

Leikkausvoima kestävyys KY2

Maksimi leikkausvoima

$$V_d := 1.15 \cdot V_{gk} + 1.5 \cdot V_{qk}$$

$$V_d = 10.233 \quad \text{kN}$$

Leikkausjännitys

Palkki on kertopuuta

$$b_{ef} := b \quad b_{ef} = 51$$

(kohta 5.2)

$$\tau_d := \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d \cdot 10^3}{b_{ef} \cdot h}$$

$$\tau_d = 1.505 \quad \text{N /mm}^2$$

Leikkauslujuus

$$k_{mod} = 0.8$$

(taulukko 3.1)

$$f_{vd} := \frac{f_{vk} \cdot k_{mod}}{\gamma_m}$$

$$f_{vd} = 2.733 \quad \text{N /mm}^2$$

Mitoitusehto

$$\tau_d \leq f_{vd}$$

$$\tau_d = 1.505 \quad f_{vd} = 2.733$$

$$\text{käyttöaste2} := \frac{\tau_d}{f_{vd}}$$

$$\text{käyttöaste2} = 0.551$$

Tukipainekestävyys palkissa KY2

Tukireaktio

$$F_d := 1.15 \cdot F_{gk} + 1.5 \cdot F_{qk}$$

$$F_d = 20.467 \quad \text{kN}$$

Puristusjännitys palkissa

$$l := 48 \quad \text{mm} \quad \text{ristikon leveys (tukipinta)}$$

$$\sigma_{c90d} := \frac{F_d \cdot 10^3}{b \cdot l}$$

$$\sigma_{c90d} = 8.361 \quad \text{N /mm}^2$$

Palkin puristuslujuus syysuuntaa vastaan

$$k_{mod} = 0.8 \quad (\text{taulukko 3.1})$$

$$f_{c90edged} := \frac{f_{c90edgek} \cdot k_{mod}}{\gamma_m}$$

$$f_{c90edged} = 4 \quad \text{N /mm}^2$$

kc90 -kerroin (kohta 5.1)

$$l_1 \geq 2h$$

$$k_{c90} := 1.0 \quad (\text{kerto-S})$$

Tehollinen kosketuspinnan pituus (kohta 5.1)

$$l = 48 \quad \text{mm}$$

$$l_{c90ef} := 30 + l + 30$$

$$l_{c90ef} = 108 \quad \text{mm}$$

Tukipainekerroin

$$k_{kkohtisuora} := \frac{l_{c90ef}}{l} \cdot k_{c90}$$

$$k_{kkohtisuora} = 2.25$$

(kaava 5.2a)

Mitoitusehto

$$\sigma_{c90d} \leq k_{kkohtisuora} \cdot f_{c90edged} \quad (\text{kaava 5.2})$$

$$\sigma_{c90d} = 8.361 \quad k_{kkohtisuora} \cdot f_{c90edged} = 9$$

$$\text{käyttöaste3} := \frac{\sigma_{c90d}}{k_{kkohtisuora} \cdot f_{c90edged}}$$

$$\text{käyttöaste3} = 0.929$$

Taipuma KY2

Hetkellinen taipuma pistekuormista

$$F_k := F_{gk} + F_{qk}$$

$$F_k = 14.373 \quad \text{kN}$$

Palkin jäyhyysmomentti

$$b := 51$$

$$h = 200$$

$$I_y := \frac{b \cdot h^3}{12}$$

$$I_y = 3.4 \times 10^7 \quad \text{mm}^4$$

$$E_{0\text{mean}} = 1.38 \times 10^4$$

$$L_p := 600 \quad \text{mm} \quad \text{ylityspalkin pituus}$$

$$\text{winst} := \frac{(F_k \cdot 10^3) \cdot L_p^3}{48 \cdot E_{0\text{mean}} \cdot I_y}$$

$$\text{winst} = 0.138 \quad \text{mm}$$

$$F_{gk} = 3.122$$

$$F_k = 14.373$$

$$\text{winstg} := \text{winst} \cdot \frac{F_{gk}}{F_k}$$

$$\text{winstg} = 0.03 \quad \text{mm}$$

$$F_{qk} = 11.251$$

$$\text{winstq} := \text{winst} \cdot \frac{F_{qk}}{F_k}$$

$$\text{winstq} = 0.108 \quad \text{mm}$$

Lopputaipuma

$$k_{\text{def}} := 0.8$$

(taulukko 3.2)

$$\text{wnetfin} := (1 + k_{\text{def}}) \cdot \text{winstg} + (1 + 0.3 + k_{\text{def}}) \cdot \text{winstq}$$

(kaava 2.8)

$$\text{wnetfin} = 0.281 \quad \text{mm}$$

Mitoitusehto

taipumaraja $L/300$

(taulukko 4.1)

$L_p = 600$ palkin pituus

$$w_{netfin} \leq \frac{L_p}{300}$$

$$w_{netfin} = 0.281 \quad \text{taipumaraja} := \frac{L_p}{300}$$

$$\text{taipumaraja} = 2 \quad \text{mm}$$

$$\text{käyttöaste4} := \frac{w_{netfin}}{\text{taipumaraja}}$$

$$\text{käyttöaste4} = 0.14$$

Palkki kerto-S

$$h = 200 \quad \text{mm}$$

$$b = 51$$

taivutuskestävyys

$$\text{käyttöaste} = 0.154$$

leikkausvoimakestävyys

$$\text{käyttöaste2} = 0.551$$

palkin tukipainekestävyys

$$\text{käyttöaste3} = 0.929$$

taipuma

$$\text{käyttöaste4} = 0.14$$

NR-ristikoiden kannatuspalkki

Ikkuna-aukon kohdalla

Materiaali

Kerto-S (lyhennetty suunnitteluohje - taulukko 3.3)

$f_{mk} := 44$	N/mm^2	taivutus syrjällä
$f_{vk} := 4.1$	N/mm^2	leikkaus syrjällä
$f_{c90edgek} := 6.0$	N/mm^2	puristus poikittain syrjällä
$E_{0mean} := 13800$	N/mm^2	kimmomoduuli
$\gamma_m := 1.2$		materiaalin osavarmuusluku (taulukko 2.7)

Kuormat

$g_{k1} := 0.61$	kN/m^2	yläpohja
$g_{k2} := 0.2$		yläpohja räystään kohdalla
$q_{k1} := 2.0$		lumikuorma katolla

Ominaiskuormien aiheuttamat voimasuureet

$\overset{\text{ww}}{L} := 10.825$	m	NR-ristikon jänneväli
$L_1 := 2.25$		ristikoiden kannatuspalkin jänneväli
$k := 0.838$		räystään kuormitusleveys
$\overset{\text{ww}}{s} := 0.9$		ristikkojako
$s_3 := 0.675$		pistekuorman etäisyys tuelta

Ristikon tukireaktio yläpohjan omapainosta

$$F_{gk} := \frac{L}{2} \cdot s \cdot g_{k1} + k \cdot s \cdot g_{k2}$$

$$F_{gk} = 3.122 \quad \text{kN}$$

Ristikön tukireaktio lumikuormasta

$$F_{qk} := \left(\frac{L}{2} + k \right) \cdot s \cdot q_{k1}$$

$$F_{qk} = 11.251 \quad \text{kN}$$

Palkin tukireaktiot yläpohjan omapainosta

$$B_{gk} := F_{gk}$$

$$B_{gk} = 3.122 \quad \text{kN}$$

$$A_{gk} := B_{gk}$$

$$A_{gk} = 3.122 \quad \text{kN}$$

Palkin tukireaktiot lumikuormasta

$$B_{qk} := F_{qk}$$

$$B_{qk} = 11.251 \quad \text{kN}$$

$$A_{qk} := B_{qk}$$

$$A_{qk} = 11.251 \quad \text{kN}$$

Maksimimomentti yläpohjan omapainosta

$$M_{gk} := B_{gk} \cdot s^3$$

$$M_{gk} = 2.108 \quad \text{kNm}$$

Maksimimomentti lumikuormasta

$$M_{qk} := B_{qk} \cdot s^3$$

$$M_{qk} = 7.594 \quad \text{kNm}$$

Maksimi leikkausvoima yläpohjan omapainosta

$$V_{gk} := A_{gk}$$

$$V_{gk} = 3.122 \quad \text{kN}$$

Maksimi leikkausvoima lumikuormasta

$$V_{qk} := A_{qk}$$

$$V_{qk} = 11.251 \quad \text{kN}$$

Palkin lähtötiedot

$$h := 260 \quad \text{mm}$$

palkin korkeus

$$b := 75$$

palkin leveys

Kuormitusyhdistelmät

$$K_{fi} := 1.0 \quad (\text{RIL 205-1-2007 taulukko 2.1})$$

KY1:

kuormitusyhdistelmä käyttörajatilassa (pysyvä aikaluokka)

$$G_{kj} \text{ (omapaino)}$$

kuormitusyhdistelmä murtorajatilassa (pysyvä aikaluokka)

$$1.35 G_{kj} \text{ (omapaino)}$$

(kaava 2.2)

KY2:

kuormitusyhdistelmä käyttörajatilassa (keskipitkä aikaluokka)

Gkj (omapaino) + Qk1 (lumi)

kuormitusyhdistelmä murtorajatilassa (keskipitkä aikaluokka)

1.15 Gkj (omapaino) + 1.5 Qk1 (lumi)

(kaava 2.3)

Taivutuskestävyys KY1

Maksimi taivutusmomentti

$$M_d := 1.35 \cdot M_{gk}$$

$$M_d = 2.845 \quad \text{kNm}$$

Taivutusjännitys

$$\sigma_{myd} := \frac{6 \cdot M_d \cdot 10^6}{b \cdot h^2}$$

$$\sigma_{myd} = 3.367 \quad \text{N /mm}^2$$

kh -kerroin

Kertopuupalkin korkeus $h \leq 300$ mm, joten taivutuslujuutta ei tarvitse pienentää kertoimella kh.

Taivutuslujuus

$$k_{mod} := 0.6$$

(taulukko 3.1)

$$f_{md} := \frac{f_{mk} \cdot k_{mod}}{\gamma_m}$$

$$f_{md} = 22 \quad \text{N /mm}^2$$

Mitoitusehto

$$\sigma_{myd} \leq f_{md}$$

$$\sigma_{myd} = 3.367 \quad f_{md} = 22$$

$$\text{käyttöaste} := \frac{\sigma_{myd}}{f_{md}}$$

$$\text{käyttöaste} = 0.153$$

Palkin taivutuslujuus kiepahdus huomioiden

$$h = 260 \quad \text{mm} \quad \text{palkin korkeus}$$

$$a := L1 \cdot 10^3 \quad \text{sauvan puristetun reunan poikittaistuentaväli} \\ = \text{palkin jänneväli}$$

$$a = 2.25 \times 10^3 \quad \text{mm}$$

tehollinen kiepahduspituus

$$l_{ef} := a + 2 \cdot h$$

$$l_{ef} = 2.77 \times 10^3 \quad \text{mm}$$

tehollisen pituuden suhde palkin leveyteen

$$b = 75 \quad \text{mm} \quad \text{palkin leveys}$$

$$\frac{l_{ef}}{b} = 36.933$$

Kuva 5.4. Lyhennetty suunnitteluohje

$$\text{---> } \quad k_{crit} := 0.925$$

Palkin taivutuslujuus kiepahdus huomioiden

$$f_{md2} := k_{crit} \cdot f_{md}$$

$$f_{md2} = 20.35 \quad \text{N/mm}^2$$

mitoitusehto

$$\sigma_{myd} \leq f_{md2}$$

$$\text{käyttöaste2} := \frac{\sigma_{myd}}{f_{md2}}$$

$$\text{käyttöaste2} = 0.165$$

Leikkausvoima kestävyys KY1

Maksimi leikkausvoima

$$V_d := 1.35 \cdot V_{gk} \\ V_d = 4.215 \quad \text{kN}$$

Leikkausjännitys

Palkki on kertopuuta

$$b_{ef} := b \quad b_{ef} = 75 \quad (\text{kohta 5.2})$$

$$\tau_d := \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d \cdot 10^3}{b_{ef} \cdot h} \\ \tau_d = 0.324 \quad \text{N /mm}^2$$

Leikkauslujuus

$$k_{mod} = 0.6 \quad (\text{taulukko 3.1})$$

$$f_{vd} := \frac{f_{vk} \cdot k_{mod}}{\gamma_m} \\ f_{vd} = 2.05 \quad \text{N /mm}^2$$

Mitoitusehto

$$\tau_d \leq f_{vd}$$

$$\tau_d = 0.324 \quad f_{vd} = 2.05$$

$$\text{käyttöaste3} := \frac{\tau_d}{f_{vd}}$$

$$\text{käyttöaste3} = 0.158$$

Tukipainekestävyys palkissa KY1

Tukireaktio

$$F_d := 1.35 \cdot F_{gk} \\ F_d = 4.215 \quad \text{kN}$$

Puristusjännitys palkissa

$$l := 48 \quad \text{mm} \quad \text{ristikon leveys (tukipinta)}$$

$$\sigma_{c90d} := \frac{F_d \cdot 10^3}{b \cdot l}$$

$$\sigma_{c90d} = 1.171 \quad \text{N /mm}^2$$

Palkin puristuslujuus syysuuntaa vastaan

$$k_{mod} = 0.6 \quad (\text{taulukko 3.1})$$

$$f_{c90edged} := \frac{f_{c90edgek} \cdot k_{mod}}{\gamma_m}$$

$$f_{c90edged} = 3 \quad \text{N /mm}^2$$

kc90 -kerroin (kohta 5.1)

$$l_1 \geq 2h$$

$$k_{c90} := 1.0 \quad (\text{kerto-S})$$

Tehollinen kosketuspinnan pituus (kohta 5.1)

$$l = 48 \quad \text{mm}$$

$$l_{c90ef} := 30 + l + 30$$

$$l_{c90ef} = 108 \quad \text{mm}$$

Tukipainekerroin

$$k_{kkohtisuora} := \frac{l_{c90ef}}{l} \cdot k_{c90}$$

$$k_{kkohtisuora} = 2.25 \quad (\text{kaava 5.2a})$$

Mitoitusehto

$$\sigma_{c90d} \leq k_{kkohtisuora} \cdot f_{c90edged} \quad (\text{kaava 5.2})$$

$$\sigma_{c90d} = 1.171 \quad k_{kkohtisuora} \cdot f_{c90edged} = 6.75$$

$$\text{käyttöaste}_4 := \frac{\sigma_{c90d}}{k_{kkohtisuora} \cdot f_{c90edged}}$$

$$\text{käyttöaste}_4 = 0.173$$

Palkki kerto-S h = 260 mm
 b = 75

taivutuskestävyys

käyttöaste = 0.153

taivutuskestävyys kiepahdus huomioiden

käyttöaste2 = 0.165

leikkausvoimakestävyys

käyttöaste3 = 0.158

tukipainekestävyys palkissa

käyttöaste4 = 0.173

Taivutuskestävyys KY2

Maksimi taivutusmomentti

$$M_d := 1.15 \cdot M_{gk} + 1.5 \cdot M_{qk}$$

$$M_d = 13.815 \text{ kNm}$$

Taivutusjännitys

$$\sigma_{myd} := \frac{6 \cdot M_d \cdot 10^6}{b \cdot h^2}$$

$$\sigma_{myd} = 16.349 \text{ N/mm}^2$$

kh -kerroin

Kertopuupalkin korkeus $h \leq 300$ mm, joten taivutuslujuutta ei tarvitse pienentää kertoimella kh.

Taivutuslujuus

$$k_{mod} := 0.8$$

(taulukko 3.1)

$$f_{md} := \frac{f_{mk} \cdot k_{mod}}{\gamma_m}$$

$$f_{md} = 29.333 \text{ N/mm}^2$$

Mitoitusehto

$$\sigma_{myd} \leq f_{md}$$

$$\sigma_{myd} = 16.349 \quad f_{md} = 29.333$$

$$\text{käyttöaste} := \frac{\sigma_{myd}}{f_{md}}$$

$$\text{käyttöaste} = 0.557$$

Palkin taivutuslujuus kiepahdus huomioiden

$$h = 260 \text{ mm} \quad \text{palkin korkeus}$$

$$a := L1 \cdot 10^3 \quad \text{palkin jänneväli}$$

$$a = 2.25 \times 10^3$$

tehollinen kiepahduspituus

$$l_{ef} := a + 2 \cdot h$$

$$l_{ef} = 2.77 \times 10^3 \text{ mm}$$

tehollisen pituuden suhde palkin leveyteen

$$b = 75 \text{ mm}$$

$$\frac{l_{ef}}{b} = 36.933$$

Kuva 5.4. lyhennetty suunnitteluohje

$$\text{---> } k_{crit} := 0.925$$

Palkin taivutuslujuus kiepahdus huomioiden

$$f_{md2} := k_{crit} \cdot f_{md}$$

$$f_{md2} = 27.133 \text{ N/mm}^2$$

mitoitusehto

$$\sigma_{myd} \leq f_{md2}$$

$$\text{käyttöaste22} := \frac{\sigma_{myd}}{f_{md2}}$$

$$\text{käyttöaste22} = 0.603$$

Leikkausvoima kestävyys KY2

Maksimi leikkausvoima

$$V_d := 1.15 \cdot V_{gk} + 1.5 \cdot V_{qk}$$

$$V_d = 20.467 \text{ kN}$$

Leikkausjännitys

Palkki on kertopuuta

$$b_{ef} := b \quad b_{ef} = 75$$

(kohta 5.2)

$$\tau_d := \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d \cdot 10^3}{b_{ef} \cdot h}$$

$\tau_d = 1.574 \quad \text{N /mm}^2$

Leikkauslujuus

$k_{mod} = 0.8$ (taulukko 3.1)

$$f_{vd} := \frac{f_{vk} \cdot k_{mod}}{\gamma_m}$$

$f_{vd} = 2.733 \quad \text{N /mm}^2$

Mitoitusehto

$$\tau_d \leq f_{vd}$$

$\tau_d = 1.574 \quad f_{vd} = 2.733$

$$\text{käyttöaste2} := \frac{\tau_d}{f_{vd}}$$

$\text{käyttöaste2} = 0.576$

Tukipainekestävyys palkissa KY2

Tukireaktio

$$F_d := 1.15 \cdot F_{gk} + 1.5 \cdot F_{qk}$$

$F_d = 20.467 \quad \text{kN}$

Puristusjäännitys palkissa

$l := 48 \quad \text{mm}$ ristikon leveys (tukipinta)

$$\sigma_{c90d} := \frac{F_d \cdot 10^3}{b \cdot l}$$

$\sigma_{c90d} = 5.685 \quad \text{N /mm}^2$

Palkin puristuslujuus syysuuntaa vastaan

$k_{mod} = 0.8$ (taulukko 3.1)

$$f_{c90edged} := \frac{f_{c90edgek} \cdot k_{mod}}{\gamma_m}$$

$$f_{c90edged} = 4 \quad \text{N/mm}^2$$

kc90 -kerroin

(kohta 5.1)

$$l_1 \geq 2h$$

$$k_{c90} := 1.0 \quad (\text{kerto-S})$$

Tehollinen kosketuspinnan pituus

(kohta 5.1)

$$l = 48 \quad \text{mm}$$

$$l_{c90ef} := 30 + l + 30$$

$$l_{c90ef} = 108 \quad \text{mm}$$

Tukipainekerroin

$$k_{kkohtisuora} := \frac{l_{c90ef}}{l} \cdot k_{c90}$$

(kaava 5.2a)

$$k_{kkohtisuora} = 2.25$$

Mitoitusehto

$$\sigma_{c90d} \leq k_{kkohtisuora} \cdot f_{c90edged}$$

(kaava 5.2)

$$\sigma_{c90d} = 5.685 \quad k_{kkohtisuora} \cdot f_{c90edged} = 9$$

$$k_{\text{käyttöaste3}} := \frac{\sigma_{c90d}}{k_{kkohtisuora} \cdot f_{c90edged}}$$

$$k_{\text{käyttöaste3}} = 0.632$$

Taipuma KY2

Hetkellinen taipuma pistekuormista

$$F_k := F_{gk} + F_{qk}$$

$$F_k = 14.373 \quad \text{kN}$$

Palkin jäyhyysmomentti

$$b = 75$$

$$h = 260$$

$$I_y := \frac{b \cdot h^3}{12}$$

$$I_y = 1.099 \times 10^8 \quad \text{mm}^4$$

$$E_{0\text{mean}} = 1.38 \times 10^4$$

$$a := 650 \quad \text{mm} \quad \text{pistekuorman etäisyys tuelta}$$

$$L_p := 2200 \quad \text{mm} \quad \text{ylityspalkin pituus}$$

$$\text{winst} := \frac{(F_k \cdot 10^3) \cdot a}{24 \cdot E_{0\text{mean}} \cdot I_y} \cdot (3 \cdot L_p^2 - 4 \cdot a^2)$$

$$\text{winst} = 3.295 \quad \text{mm}$$

$$F_{gk} = 3.122$$

$$F_k = 14.373$$

$$\text{winstg} := \text{winst} \cdot \frac{F_{gk}}{F_k}$$

$$\text{winstg} = 0.716 \quad \text{mm}$$

$$F_{qk} = 11.251$$

$$\text{winstq} := \text{winst} \cdot \frac{F_{qk}}{F_k}$$

$$\text{winstq} = 2.579 \quad \text{mm}$$

Lopputaipuma

$$k_{\text{def}} := 0.8 \quad \text{liimapuu käyttöluokka 2} \quad (\text{taulukko 3.2})$$

$$w_{\text{netfin}} := (1 + k_{\text{def}}) \cdot \text{winstg} + (1 + 0.3 + k_{\text{def}}) \cdot \text{winstq} \quad (\text{kaava 2.8})$$

$$w_{\text{netfin}} = 6.704 \quad \text{mm}$$

Mitoitusehto

$$\text{taipumaraja } L/300 \quad (\text{taulukko 4.1})$$

$L_p = 2.2 \times 10^3$ palkin pituus

$$w_{netfin} \leq \frac{L_p}{300}$$

$$w_{netfin} = 6.704 \quad \text{taipumaraja} := \frac{L_p}{300}$$

$$\text{taipumaraja} = 7.333$$

$$\text{käyttöaste4} := \frac{w_{netfin}}{\text{taipumaraja}}$$

$$\text{käyttöaste4} = 0.914$$

Palkki kerto-S $h = 260$ mm

$$b = 75$$

taivutuskestävyys

$$\text{käyttöaste} = 0.557$$

taivutuskestävyys kiepahdus huomioiden

$$\text{käyttöaste22} = 0.603$$

leikkausvoimakestävyys

$$\text{käyttöaste2} = 0.576$$

tukipainekestävyys palkissa

$$\text{käyttöaste3} = 0.632$$

taipuma

$$\text{käyttöaste4} = 0.914$$

Levyjäykistys - Päätyseinä ovi

Jäykisteseinät mitoitetaan hetkellisessä aikaluokassa

Jäykisteseinän runkomateriaali

Sahatavara C24 (taulukko 3.3)

$f_{c0k} := 21$	N /mm ²	puristus syysuuntaan
$f_{mk} := 24$	N /mm ²	taivutus
$\rho_k := 350$	kg /m ³	ominaistiheys
$\gamma_m := 1.4$		materiaalin osavarmuusluku (taulukko 2.7)

Kuormat

$q_{kh} := 0.6$	kN /m ²	nopeuspaine (taulukko 2.2, kuva 2.4)
$c_f := 1.3$		voimakerroin (taulukko 2.3)

Ominaiskuormien aiheuttamat voimasuureet

$a := 2.070$	m	yläpohjan projektion korkeus
$c_{\text{MW}} := 0.500$		perusmuurin korkeus
$h := 4.130$		huonekorkeus puisen runkotolpan pituus
$H_{\text{MW}} := 6.705$		rakennuksen korkeus
$L_{\text{MW}} := 19$		rakennuksen pidemmän sivun mitta

Yläpohjatasoon kohdistuva viivakuorma **käyttörajatilassa** (taso korkeudella 4.630 m maasta)

$$w_{k2} := 1.25 \cdot c_f \cdot q_{kh} \cdot \left(a + \frac{h}{2} \right)$$

$$w_{k2} = 4.032 \quad \text{kN /m}$$

Jäykisteseinän kuorma **murtorajatilassa**

$$Fd2 := 1.5 \cdot wk2 \cdot \frac{L}{2}$$

$$Fd2 = 57.451 \quad \text{kN}$$

Jäykisteseinän lähtötiedot

Seinän ulkopinnan vanerit kiinnitetään runkotolppiin pyöreillä konenauloilla 2.1x50

$t := 9$ mm vanerin paksuus

$d := 2.5$ naulan halkaisija

seinälohkon minimileveys $b_i = h/4$ eli tässä tapauksessa levyjäykisteeksi voidaan huomioida seinälohkot, joiden leveys $b_i =$ vähintään 1057.5 mm

Naulan leikkauskestävyys

korjauskerroin k_p

(kaava 6.7)

$$k_p := \sqrt{\frac{\rho_k}{350}}$$

$$k_p = 1$$

korjauskerroin k_l

(kaava 6.9)

$$k_l := \left(0.5 + \frac{t}{12 \cdot d} \right) \cdot k_p$$

$$k_l = 0.8$$

$n_p := 50$ naulan pituus

edellyttäen, että $t \geq 2d$ ja $d \leq 5$ mm

$$t = 9 \quad d = 2.5$$

$$2d = 5$$

rajoituksena pyöreällä naulalla $k_l \leq 1.2k_p$

$$1.2k_p = 1.2$$

$$k_l = 0.8$$

$$t_2 := n_p - t \qquad t_2 = 41 \qquad \text{tartuntapituus}$$

$$12d = 30$$

tunkeuman t_2 tulee olla kuitenkin vähintään 8d

$$8d = 20$$

Naulan leikkauskestävyys

$$k_{mod} := 1.1 \qquad (\text{taulukko 3.1})$$

Naulan tartuntapituus $>12d$, joten leikkauskestävyyttä ei tarvitse pienentää

$$R_d := \frac{k_{mod}}{\gamma_m} \cdot k_l \cdot 120 \cdot d^{1.7} \qquad (\text{kaava 6.8})$$

$$R_d = 358.124 \quad \text{N}$$

Naulan leikkauskestävyys jäykistävässä levyssä

Naulan leikkauskestävyyttä saadaan korottaa kertoimella 1.2 (luku 7.3)

$$F_f R_d := 1.2 \cdot R_d$$

$$F_f R_d = 429.749 \quad \text{N}$$

Seinän vaakaleikkausvoimakestävyys

Seinälohkon 1 leikkausvoimakestävyys

$$s := 30 \quad \text{mm} \quad \text{liitinväli}$$

$$b_1 := 1200 \quad \text{lohkon leveys}$$

$$c_1 := \frac{2 \cdot b_1}{h \cdot 10^3} \qquad (\text{kaava 7.7})$$

$$c_1 = 0.581$$

$$F_{1vRd} := \frac{F_f R_d \cdot b_1 \cdot c_1}{s}$$

$$F_{1vRd} = 9.989 \times 10^3 \quad \text{N}$$

Seinän leikkausvoimakestävyys

$$F_{vRd} = \Sigma F_{ivRd} \quad (\text{kaava 7.5})$$

$$F_{vRd} := 6 \cdot F_{1vRd} \quad F_{vRd} = 5.994 \times 10^4 \text{ N}$$

Mitoitusehto

$$F_{d2} \leq F_{vRd}$$

$$F_{d2} = 57.451 \text{ kN} \quad F_{vRd} = 5.994 \times 10^4 \text{ N}$$

$$\text{Käyttöaste} := \frac{F_{d2}}{F_{vRd}}$$

$$\text{Käyttöaste} = 9.585 \times 10^{-4}$$

$$\text{Käyttöaste} := \text{Käyttöaste} \cdot 10^3$$

$$\text{Käyttöaste} = 0.959$$

Seinälohkojen ulkoiset pystyvoimat

Seinälohko 1

$$F_{1vEd} := \frac{F_{1vRd}}{F_{vRd}} \cdot F_{d2} \quad F_{1vEd} = 9.575 \text{ kN}$$

$$F_{1cEd} = F_{1tEd} := \frac{F_{1vEd} \cdot (h \cdot 10^3)}{b_1} \quad F_{1tEd} = 32.954 \text{ kN}$$

$$F_{1cEd} := F_{1tEd} \quad F_{1cEd} = 32.954 \text{ kN}$$

Mitoitustulosten tarkastelu

Tuulensuojalevytyksen (havuvaneri 9mm) jäykistyskapasiteetti on riittävä. Jäykistävät levyt kiinnitetään konenauloilla 2.5x50. Kiinnitys tehdään kaikilta levyn reunoilta ja lisäksi levyn keskialueelta, mikäli keskialueella on tolppia. Jäykistävässä seinässä liitinjako levyn reunoilla on 30 mm ja levyn keskialueella enintään 60 mm. Jokaisen jäykistävän osaseinän nurkat ankkuroidaan vetovoimalle, joka vastaa ko. osaseinän lohkojen suurinta pystyvoimaa $F_{i,t,Ed}$. Lisäksi jäykistävät seinät kiinnitetään vaakavoimille F_{d2} ja F_{d1} .

Levyjäykistys - Päätyseinä

Jäykisteseinät mitoitetaan hetkellisessä aikaluokassa

Jäykisteseinän runkomateriaali

Sahatavara C24 (taulukko 3.3)

$f_{c0k} := 21$	N /mm ²	puristus syysuuntaan
$f_{mk} := 24$	N /mm ²	taivutus
$\rho_k := 350$	kg /m ³	ominaistiheys
$\gamma_m := 1.4$		materiaalin osavarmuusluku (taulukko 2.7)

Kuormat

$q_{kh} := 0.6$	kN /m ²	nopeuspaine (taulukko 2.2, kuva 2.4)
$c_f := 1.3$		voimakerroin (taulukko 2.3)

Ominaiskuormien aiheuttamat voimasuureet

$a := 2.070$	m	yläpohjan projektion korkeus
$c := 0.500$		perusmuurin korkeus
$h := 4.130$		huonekorkeus
$H := 6.705$		rakennuksen korkeus
$L := 19$		rakennuksen pidemmän sivun mitta

Yläpohjatasoon kohdistuva viivakuorma **käyttörajatilassa** (taso korkeudella 4.630 m maasta)

$$w_{k2} := 1.25 \cdot c_f \cdot q_{kh} \cdot \left(a + \frac{h}{2} \right)$$

$$w_{k2} = 4.032 \quad \text{kN /m}$$

Jäykisteseinän kuorma **murtorajatilassa**

$$F_{d2} := 1.5 \cdot w_k \cdot \frac{L}{2}$$

$$F_{d2} = 57.451 \quad \text{kN}$$

Jäykisteseinän lähtötiedot

Seinän ulkopinnan vanerit kiinnitetään runkotolppiin pyöreillä konenauloilla 2.1x50

$t := 9$ mm vanerin paksuus

$d := 2.5$ naulan halkaisija

seinälohkon minimileveys $b_i = h/4$ eli tässä tapauksessa levyjäykisteeksi voidaan huomioida seinälohkot, joiden leveys $b_i =$ vähintään

$$b_i := \frac{h \cdot 10^3}{4}$$

$$b_i = 1.032 \times 10^3 \quad \text{mm}$$

Naulan leikkauskestävyys

korjauskerroin k_p

(kaava 6.7)

$$k_p := \sqrt{\frac{\rho_k}{350}}$$

$$k_p = 1$$

korjauskerroin k_l

(kaava 6.9)

$$k_l := \left(0.5 + \frac{t}{12 \cdot d} \right) \cdot k_p$$

$$k_l = 0.8$$

$n_p := 50$ mm naulan pituus

edellyttäen, että $t \geq 2d$ ja $d \leq 5$ mm

$$t = 9$$

$$d = 2.5$$

$$2d = 5$$

rajoituksena pyöreällä naulalla $kl \leq 1.2k_p$

$$kl = 0.8 \quad 1.2k_p = 1.2$$

$$t_2 := n_p - t$$

$$t_2 = 41$$

naulan tartuntapituus

$$12d = 30$$

tunkeuman t_2 tulee olla kuitenkin vähintään $8d$

$$8d = 20$$

Naulan leikkauskestävyys

$$k_{mod} := 1.1 \quad (\text{taulukko 3.1})$$

Naulan tartuntapituus $> 12d$, joten leikkauskestävyyttä ei tarvitse pienentää

$$R_d := \frac{k_{mod}}{\gamma_m} \cdot kl \cdot 120 \cdot d^{1.7} \quad (\text{kaava 6.8})$$

$$R_d = 358.124 \quad \text{N}$$

Naulan leikkauskestävyys jäykistävässä levyssä

Naulan leikkauskestävyyttä saadaan korottaa kertoimella 1.2 (luku 7.3)

$$F_f R_d := 1.2 \cdot R_d$$

$$F_f R_d = 429.749 \quad \text{N}$$

Seinän vaakaleikkausvoimakestävyys

Seinälohkon 1 leikkausvoimakestävyys

Levyn liitinväli saa olla reunoilla enintään 150mm, kun liittimet ovat nauvoja, ja 200mm, kun liittimet ovat ruuveja. Välitolpilla suurin liitinväli saa olla enintään reunojen liitinväli kaksinkertaisena tai 300mm, sen mukaan, kumpi on pienempi.

$s := 30$ mm liitinväli

$b1 := 1200$ lohkon leveys

$$c1 := \frac{2 \cdot b1}{h \cdot 10^3} \quad (kaava 7.7)$$

$c1 = 0.581$

$$F1vRd := \frac{FfRd \cdot b1 \cdot c1}{s}$$

$F1vRd = 9.989 \times 10^3 \text{ N}$

Seinän leikkausvoimakestävyys

$$FvRd = \Sigma FivRd \quad (kaava 7.5)$$

$$FvRd := 7 \cdot F1vRd$$

$$FvRd = 6.993 \times 10^4 \text{ N}$$

Mitoitusehto

$$Fd2 \leq FvRd$$

$$Fd2 = 57.451 \text{ kN} \quad FvRd = 6.993 \times 10^4 \text{ N}$$

$$\text{Käyttöaste} := \frac{Fd2}{FvRd}$$

$$\text{Käyttöaste} = 8.216 \times 10^{-4}$$

$$\text{Käyttöaste} := \text{Käyttöaste} \cdot 10^3$$

$$\text{Käyttöaste} = 0.822$$

Seinälohkojen ulkoiset pystyvoimat

Seinälohko 1

$$F_{1vEd} := \frac{F_{1vRd}}{F_{vRd}} \cdot F_{d2}$$

$$F_{1vEd} = 8.207 \quad \text{kN}$$

$$F_{1cEd} = F_{1tEd} := \frac{F_{1vEd} \cdot (h \cdot 10^3)}{b_1}$$

$$F_{1tEd} = 28.247 \quad \text{kN}$$

$$F_{1cEd} := F_{1tEd}$$

$$F_{1cEd} = 28.247 \quad \text{kN}$$

Mitoitustulosten tarkastelu

Tuulensuojalevytyksen (havuvaneri 9mm) jäykistyskapasiteetti on riittävä. Jäykistävät levyt kiinnitetään konenauloilla 2.5x50. Kiinnitys tehdään kaikilta levyn reunoilta ja lisäksi levyn keskialueelta, mikäli keskialueella on tolppia. Jäykistävässä seinässä liitinjako levyn reunoilla on 30 mm ja levyn keskialueella enintään 60 mm. Jokaisen jäykistävän osaseinän nurkat ankkuroidaan vetovoimalle, joka vastaa ko. osaseinän lohkojen suurinta pystyvoimaa $F_{i,t,Ed}$. Lisäksi jäykistävät seinät kiinnitetään vaakavoimille F_{d2} ja F_{d1} .

Levyjäykistys - pitkät seinät

Jäykisteseinät mitoitetaan hetkellisessä aikaluokassa

Jäykisteseinän runkomateriaali

Sahatavara C24 (taulukko 3.3)

$f_{c0k} := 21$	N /mm ²	puristus syysuuntaan
$f_{mk} := 24$	N /mm ²	taivutus
$\rho_k := 350$	kg /m ³	ominaistiheys
$\gamma_m := 1.4$		materiaalin osavarmuusluku (taulukko 2.7)

Kuormat

$q_{kh} := 0.6$	kN /m ²	nopeuspaine (taulukko 2.2, kuva 2.4)
$c_f := 1.3$		voimakerroin (taulukko 2.3)

Ominaiskuormien aiheuttamat voimasuureet

$a := 2.070$	m	yläpohjan projektion korkeus
$c := 0.500$		perusmuurin korkeus
$h := 4.130$		huonekorkeus
$H := 6.705$		rakennuksen korkeus
$L := 11$		rakennuksen lyhyemmän sivun mitta

Yläpohjatasoon kohdistuva viivakuorma **käyttörajallassa** (taso korkeudella 4.630 m maasta)

$$w_{k2} := 1.25 \cdot c_f \cdot q_{kh} \cdot \left(a + \frac{h}{2} \right)$$

$$w_{k2} = 4.032 \quad \text{kN /m}$$

Jäykisteseinän kuorma **murtorajatilassa**

$$F_{d2} := 1.5 \cdot w_{k2} \cdot \frac{L}{2}$$

$$F_{d2} = 33.261 \quad \text{kN}$$

Jäykisteseinän lähtötiedot

Seinän ulkopinnan vanerit kiinnitetään runkotolppiin pyöreillä konenauhoilla 2.1x50

t := 9 mm vanerin paksuus

d := 2.5 naulan halkaisija

seinälohkon minimileveys $b_i = h/4$ eli tässä tapauksessa levyjäykisteeksi voidaan huomioida seinälohkot, joiden leveys $b_i =$ vähintään 1057.5 mm

Naulan leikkauskestävyys

korjauskerroin k_p

(kaava 6.7)

$$k_p := \sqrt{\frac{\rho_k}{350}}$$

$$k_p = 1$$

korjauskerroin k_l

(kaava 6.9)

$$k_l := \left(0.5 + \frac{t}{12 \cdot d} \right) \cdot k_p$$

$$k_l = 0.8$$

$n_p := 50$ naulan pituus

edellyttäen, että $t \geq 2d$ ja $d \leq 5$ mm

$$t = 9$$

$$d = 2.5$$

$$2d = 5$$

rajoituksena pyöreällä naulalla $k_l \leq 1.2k_p$

$$1.2k_p = 1.2$$

$$k_l = 0.8$$

$$t_2 := n_p - t$$

$$t_2 = 41$$

tartuntapituus

$$12d = 30$$

tunkeuman t_2 tulee olla kuitenkin vähintään 8d

$$8d = 20$$

Naulan leikkauskestävyys

$$k_{mod} := 1.1 \quad (\text{taulukko 3.1})$$

Naulan tartuntapituus $>12d$, joten leikkauskestävyyttä ei tarvitse pienentää

$$R_d := \frac{k_{mod}}{\gamma_m} \cdot k_l \cdot 120 \cdot d^{1.7} \quad (\text{kaava 6.8})$$

$$R_d = 358.124 \quad \text{N}$$

Naulan leikkauskestävyys jäykistävässä levyssä

Naulan leikkauskestävyyttä saadaan korottaa kertoimella 1.2 (luku 7.3)

$$F_f R_d := 1.2 \cdot R_d$$

$$F_f R_d = 429.749 \quad \text{N}$$

Seinän vaakaleikkausvoimakestävyys

Seinälohkon 1 leikkausvoimakestävyys

Levyn liitinväli saa olla reunoilla enintään 150mm, kun liittimet ovat nauvoja, ja 200mm, kun liittimet ovat ruuveja. Välitolpilla suurin liitinväli saa olla enintään reunojen liitinväli kaksinkertaisena tai 300mm, sen mukaan, kumpi on pienempi.

$$s_w := 80 \quad \text{mm} \quad \text{liitinväli}$$

$b1 := 1200$ lohkon leveys

$$c1 := \frac{2 \cdot b1}{h \cdot 10^3} \quad (\text{kaava 7.7})$$

$c1 = 0.581$

$$F1vRd := \frac{FfRd \cdot b1 \cdot c1}{s}$$

$F1vRd = 3.746 \times 10^3 \text{ N}$

Seinän leikkausvoimakestävyys

$$FvRd = \Sigma FivRd \quad (\text{kaava 7.5})$$

$$FvRd := 9 \cdot F1vRd$$

$$FvRd = 3.371 \times 10^4 \text{ N}$$

Mitoitusehto

$$Fd2 \leq FvRd$$

$$Fd2 = 33.261 \text{ kN} \quad FvRd = 3.371 \times 10^4 \text{ N}$$

$$\text{Käyttöaste} := \frac{Fd2}{FvRd}$$

$$\text{Käyttöaste} = 9.866 \times 10^{-4}$$

$$\text{Käyttöaste} := \text{Käyttöaste} \cdot 10^3$$

$$\text{Käyttöaste} = 0.987$$

Seinälohkojen ulkoiset pystyvoimat

Seinälohko 1

$$F1vEd := \frac{F1vRd}{FvRd} \cdot Fd2$$

$F1vEd = 3.696 \text{ kN}$

$$F1cEd = F1tEd := \frac{F1vEd \cdot (h \cdot 10^3)}{b1}$$

$F1tEd = 12.719 \text{ kN}$

$$F1cEd := F1tEd$$

$F1cEd = 12.719 \text{ kN}$

Mitoitustulosten tarkastelu

Tuulensuojalevytyksen (havuvanerit 9mm) jäykistyskapasiteetti on riittävä. Jäykistävät levyt kiinnitetään konenauhoilla 2.3x50. Kiinnitys tehdään kaikilta levyn reunoilta ja lisäksi levyn keskialueelta, mikäli keskialueella on tolppia. Jäykistävässä seinässä liitinjako levyn reunoilla on 80 mm ja levyn keskialueella enintään 160 mm. Jokaisen jäykistävän osaseinän nurkat ankkuroidaan vetovoimalle, joka vastaa ko. osaseinän lohkojen suurinta pystyvoimaa $F_{i,t,Ed}$. Lisäksi jäykistävät seinät kiinnitetään vaakavoimille F_{d2} ja F_{d1} .

Polttoainevaraston harkkoseinä

mitoitus hakkeen aiheuttamalle paineelle

$L1 := 5.990$	m	seinän pituus
$z := 2.3$	m	täyttökorkeus
$t := 290$	mm	seinän paksuus

Muurin mitoituslujuudet

kevytsoraharkko, RUH-290

$\gamma_m := 1.8$		kevytsoraharkon varmuusluku
$f_b := 4$	N /mm ²	puristetun osan normalisoitu puristuslujuus vaakasauman suunnassa
$f_m := 10$	N /mm ²	laasti M10

laskennassa f_m voi olla korkeintaan $2 f_b$

$$\underline{f_m} := 2 \cdot f_b$$

Muurin puristuslujuuden ominaisarvo kohtisuoraan harkon päätä vastaan taivutuksessa

$$f_k := 0.6 \cdot (f_b)^{0.65} \cdot (f_m)^{0.25}$$

$$f_k = 2.485 \quad \text{N /mm}^2$$

Muurin puristuslujuuden mitoitusarvo kohtisuoraan harkon päätä vastaan taivutuksessa

$$f_d := \frac{f_k}{\gamma_m}$$

$$f_d = 1.38 \quad \text{N /mm}^2$$

Muurin taivutusvetolujuuden ominaisarvo vaakasaumoja vastaan kohtisuorassa murtotasossa

$$f_{xk2} := 0.1 \cdot f_b$$

$$f_{xk2} = 0.4 \quad \text{N /mm}^2$$

Taivutusvetolujuuden mitoitusarvo

$$f_{xd2} := \frac{f_{xk2}}{\gamma_m}$$

$$f_{xd2} = 0.222 \quad \text{N /mm}^2$$

Raudoitusteräs

A500HW

$$f_{yk} := 500 \quad \text{N /mm}^2$$

teräksen ominaislujuus

$$\gamma_s := 1.15$$

varmuusluku

Teräksen lujuuden mitoitusarvo

$$f_{yd} := \frac{f_{yk}}{\gamma_s}$$

$$f_{yd} = 434.783 \quad \text{N /mm}^2$$

Raudoituksen tartuntalujuuden ominaisarvo

$$f_{bok} := 1.8 \quad \text{N /mm}^2$$

Raudoituksen tartuntalujuuden mitoitusarvo

$$f_{bod} := \frac{f_{bok}}{\gamma_m}$$

$$f_{bod} = 1 \quad \text{N /mm}^2$$

Harkon tehollinen korkeus d ja seinän tehollinen jännemitta L_{ef}

$$d := t - 50$$

$$d = 240 \quad \text{mm}$$

$$t := t \cdot 10^{-3}$$

$$t = 0.29 \quad \text{m}$$

$$L_{ef} := L_1 - t$$

$$L_{ef} = 5.7 \quad \text{m}$$

Tarkastetaan jännemittojen raja-arvot

tarkastetaan onko L_{ef} / t suosituksen mukainen

rakenne vapaasti tuettu, ehto $L_{ef}/t \leq 25$

jos ehto ei täyty ---> levennä poikkileikkausta tai tee käyttörajatilatarkastelu

$$\frac{L_{ef}}{t} = 19.655 \quad \text{ei tarvita käyttörajatilatarkastelua (taipuma, halkeilu)}$$

Kuormien mitoitusarvot

Ominaiskuormat

seinän vierustäyttö hake m^3

Kuormien ominaisarvot

$\rho_{hake} := 2.85$	kN / m^3	hakkeen tiheys
$z = 2.3$		kuormituskorkeus
$P_{ahp} := \rho_{hake} \cdot z$		hakkeen paino
	$P_{ahp} = 6.555$	kN / m^2

aktiivipaine

$\varphi := 32$ hakkeen kitkakulma ???

$$k_a := \left(\tan \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right) \right)^2$$

$$k_a = 0.787$$

Lepopaine P_0

$$k_0 := 1 - \sin(\varphi)$$

$$k_0 = 0.449$$

$$P_{02} := (\rho_{hake} \cdot z) \cdot [(1 + k_0) \cdot ka]$$

$$P_{02} = 7.473 \quad \text{kN /m}^2$$

muutetaan kolmiokuorma ---> suorakaidekuormaksi

$$P_{d1} := \frac{2}{3} \cdot P_{02}$$

$$P_{d1} = 4.982 \quad \text{kN /m}^2$$

Kuormayhdistelmät (metrin levyinen kaista)

$$P_{d3} := P_{d1} \cdot 1$$

$$P_{d3} = 4.982 \quad \text{kN /m}$$

Poikkileikkauksen taivutusmitoitus

Momentti kulmissa

$$M_{kul} := \frac{P_{d3} \cdot L_{ef}^2}{12}$$

$$M_{kul} = 13.489 \quad \text{kNm}$$

Momentti keskellä

$$M_{kes} := \frac{P_{d3} \cdot L_{ef}^2}{24}$$

$$M_{kes} = 6.744 \quad \text{kNm}$$

$$b := 1000 \quad \text{mm}$$

poikkileikkauksen leveys

$$d = 240 \quad \text{mm}$$

poikkileikkauksen tehollinen korkeus

$$\mu := \frac{M_{kul} \cdot 10^6}{b \cdot d^2 \cdot f_d} \quad \text{suhteellinen momentti}$$

$$\mu = 0.17$$

Tarkastetaan että suhteellinen momentti $\mu < \mu_{max}$

$$\mu_{max} := 0.300$$

$$\text{käyttöaste} := \frac{\mu}{\mu_{max}}$$

$$\text{käyttöaste} = 0.566$$

$$\beta := 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \mu} \quad \text{puristuspuunnan suhteellinen korkeus}$$

$$\beta = 0.187$$

$$z := d \cdot \left(1 - \frac{\beta}{2}\right) \quad \text{sisäinen momenttivarsi}$$

$$z = 217.54$$

Vaadittava teräsmäärä

$$A_s := \frac{M_{kul} \cdot 10^6}{z \cdot f_{yd}} \quad A_s = 142.616 \quad \text{mm}^2$$

Valitaan tankokoko ja jako

$$\phi := 10 \quad \text{mm}$$

$$k := 400$$

$$A_{svalittu} := \frac{b}{k} \cdot \pi \cdot \left(\frac{\phi}{2}\right)^2 \quad A_{svalittu} = 196.35 \quad \text{mm}^2$$

Tarkastetaan vähimmäisraudoitus pinta-ala yhdessä pinnassa

$$A_{smin} := \frac{0.03 \cdot b \cdot d}{2}$$

$$A_{smin} = 3.6 \times 10^3$$

$$A_{smin} := A_{smin} \cdot 10^{-2}$$

$$A_{smin} = 36 \quad \text{mm}^2$$

Leikkausmitoitus

Leikkausvoima d/2 etäisyydellä tuenreunasta (=d:n etäisyydellä tuen keskeltä)

$$d := d \cdot 10^{-3}$$

$$d = 0.24 \quad \text{m}$$

$$V_{Ed3} := 0.5 \cdot P_{d1} \cdot L_{ef} - P_{d1} \cdot d$$

d:n etäisyydellä tuen keskeltä

$$V_{Ed3} = 13.003 \quad \text{kN}$$

Leikkauskestävyys

$$\beta_1 := 0.4$$

reikäharkko

$$V_{Rd} := \beta_1 \cdot f_{xd2} \cdot b \cdot d$$

$$V_{Rd} = 21.333 \quad \text{kN}$$

$$\text{käyttöaste2} := \frac{V_{Ed3}}{V_{Rd}}$$

$$\text{käyttöaste2} = 0.61$$

Terästen ankkurointi

ankkurontipituus

$$l_b := \frac{\phi \cdot f_{yd}}{4 \cdot f_{bod}}$$

$$l_b = 1.087 \times 10^3 \quad \text{mm}$$

$$lb2 := lb \cdot 10^{-3}$$

$$lb2 = 1.087 \quad m$$

jatkospituus

$$l_{jp} := 1.4 \cdot lb$$

$$l_{jp} = 1.522 \times 10^3 \quad mm$$

$$l_{jp} := l_{jp} \cdot 10^{-3}$$

$$l_{jp} = 1.522 \quad m$$

taivutusmitoitus

$$k\ddot{a}ytt\ddot{o}aste = 0.566$$

leikkausmitoitus

$$k\ddot{a}ytt\ddot{o}aste2 = 0.61$$

jännemittojen raja-arvot

$$k\ddot{a}ytt\ddot{o}aste3 := \frac{\frac{L_{ef}}{t}}{25}$$

$$k\ddot{a}ytt\ddot{o}aste3 = 0.786$$

---> ei tarvita
käyttöraajatilatarkastelua
(taipuma, halkeilu)

Mitoitustarkastelu

Rakenteen kumpaankin pintaan sijoitetaan sama halk.10 raudoitus jatkuvana k400 eli joka toiseen harkkokerrokseen

Kattilahuoneen yläpohjalaatta

Ristiin kantava laatta

betoni C25/30 $f_{ck} := 25 \quad \text{MN /m}^2$

teräs A500HW $f_{sk} := 500$

$\alpha_{cc} := 0.85$

$\gamma_c := 1.5$ betonin materiaaliosavarmuusluku

$\gamma_s := 1.15$ raudituksen materiaaliosavarmuusluku

$$f_{cd2} := \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

$$f_{sd2} := \frac{f_{sk}}{\gamma_s}$$

$$f_{cd2} = 14.167 \quad \text{MN /m}^2$$

$$f_{sd2} = 434.783$$

kuormat

laatan omapaino

$g_{klaat} := h_{laat} \cdot \rho_b \cdot 1$

$g_{klaat} = 2.5 \quad \text{kN /m}^2 \quad \text{kN /m}$

hyötykuorma

$q_{klaat} := 2.0 \cdot 1 \quad \text{kN /m}^2 \quad \text{kN /m}$

kuormitusyhdistelmä

$P_d := 1.15 \cdot g_{klaat} + 1.5 \cdot q_{klaat}$

$P_d = 5.875 \quad \text{kN /m}^2 \quad \text{kN /m}$

$L_x := 2.990 \quad \text{m} \quad \text{lyhyempi jännemitta}$

$L_y := 4.810 \quad \text{pidempi jännemitta}$

kentän sivusuhte

$$\frac{L_y}{L_x} = 1.609$$

perustapausten momentit, $M = \alpha \cdot P_d \cdot l_x^2$

laatta kaikilta 4 sivulta vapaasti tuettu ---> vain kenttämomentit

momenttikertoimet

$$\alpha_{yf} := 0.0508 \quad \text{pidempi sivu}$$

$$\alpha_{xf} := 0.0894 \quad \text{lyhyempi sivu}$$

kenttämomentit M_f

pidempään suuntaan

$$M_{yf} := \alpha_{yf} \cdot P_d \cdot L_x^2$$

$$M_{yf} = 2.668 \quad \text{kNm / m}$$

lyhyempään suuntaan

$$M_{xf} := \alpha_{xf} \cdot P_d \cdot L_x^2$$

$$M_{xf} = 4.696 \quad \text{kNm / m}$$

Laatan raudoitus

$$b_2 := 1 \quad \text{m} \quad \text{laatan leveys = per metri}$$

$$h_2 := 0.1 \quad \text{laatan korkeus}$$

$$c_2 := 0.02 \quad \text{suojabetonipeite}$$

$$\phi_{aa} := 0.008 \quad \text{alapinnan alimman raudoituksen halkaisija (pääsuunta)}$$

$$\phi_{ay} := 0.008 \quad \text{alapinnan ylimmän raudoituksen halkaisija (sekundäärisuunta)}$$

$$d_{aa} := h_2 - c_2 - \frac{\phi_{aa}}{2}$$

$$d_{ay} := h_2 - c_2 - \phi_{aa} - \frac{\phi_{ay}}{2}$$

daa = 0.076 m alapinnan alimman kerroksen hyötykorkeus (pääsuunta)

day = 0.068 alapinnan ylimmän kerroksen hyötykorkeus (sekundäärisuunta)

lyhyemmän suunnan raudoitus (pää)

$$\mu_x := \frac{M_{xf} \cdot 10^{-3}}{b^2 \cdot daa^2 \cdot f_{cd2}}$$

$$\mu_x = 0.057$$

$$\beta_x := 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \mu_x}$$

$$\beta_x = 0.059$$

$$\omega_x := \beta_x$$

$$Asvaadx := \omega_x \cdot (b^2 \cdot 10^3) \cdot (daa \cdot 10^3) \cdot \frac{f_{cd2}}{f_{sd2}}$$

$$Asvaadx = 146.432 \quad \text{mm}^2 / \text{m}$$

---> halk 8 - k250 <---> 201 mm²/m

pidemmän suunnan raudoitus (sekundääri)

$$\mu_y := \frac{M_{yf} \cdot 10^{-3}}{b^2 \cdot day^2 \cdot f_{cd2}}$$

$$\mu_y = 0.041$$

$$\beta_y := 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \mu_y}$$

$$\beta_y = 0.042$$

$$\omega_y := \beta_y$$

$$Asvaady := \omega_y \cdot (b^2 \cdot 10^3) \cdot (day \cdot 10^3) \cdot \frac{f_{cd2}}{f_{sd2}}$$

$$Asvaady = 92.164 \quad \text{mm}^2 / \text{m}$$

---> halk 8 - k300 <---> 168 mm²/m

Seinille jakautuvat kuormat

myötöviivakuviosta

pinta-ala, lyhyt sivu

$$A_{\text{lyhyt}} := \frac{1.495 \cdot 1.495}{2} \cdot 2$$

$$A_{\text{lyhyt}} = 2.235 \quad \text{m}^2$$

pinta-ala, pitkä sivu

$$A_{\text{pitkä}} := \frac{1.495 \cdot 1.495}{2} \cdot 2 + 1.495 \cdot 1.820$$

$$A_{\text{pitkä}} = 4.956 \quad \text{m}^2$$

pinta-alalta tulevat kuormat

$$P_d = 5.875 \quad \text{kN /m}^2$$

lyhyempi sivu

$$\text{seinälyhyt} := \frac{A_{\text{lyhyt}} \cdot P_d}{L_x}$$

$$\text{seinälyhyt} = 4.392 \quad \text{kN /m}$$

pidempi sivu

$$\text{seinäpitkä} := \frac{A_{\text{pitkä}} \cdot P_d}{L_y}$$

$$\text{seinäpitkä} = 6.053 \quad \text{kN /m}$$

Perustukset

Anturan raudoituksen mitoitus

Pääraudoitus

Betoni	C25/30
Teräs	A500HW

$\rho_{\text{betoni}} := 25$	kN /m ³	betonin tiheys
$f_{\text{ck}} := 25$	N /mm ²	betonin ominaispuristuslujuus
$f_{\text{sk}} := 500$	MPa	teräksen ominaisvetolujuus
$\gamma_{\text{c}} := 1.5$		betonin osavarmuuskerroin
$\gamma_{\text{s}} := 1.15$		teräksen osavarmuuskerroin
$\alpha_{\text{cc}} := 0.85$		lujuuden alennuskerroin, joka huomioi puristuslujuuden pitkäaikais ja muut epäedulliset tekijät. Suomessa =
$f_{\text{cd}} := \frac{\alpha_{\text{cc}} \cdot f_{\text{ck}}}{\gamma_{\text{c}}}$		
$f_{\text{cd}} = 14.167$	MN /m ²	betonin mitoituspuristuslujuus
$f_{\text{sd}} := \frac{f_{\text{sk}}}{\gamma_{\text{s}}}$		
$f_{\text{sd}} = 434.783$		raudoitusteräksen mitoitusvetolujuus
$h_{\text{a}} := 0.2$	m	anturan korkeus
$b_{\text{a}} := 0.6$		anturan leveys
$l_{\text{a}} := 1$		anturan pituus = laskentaleveys
$b_{\text{perusmuuri}} := 0.3$		perusmuurin leveys

Perustuksille tulevat kuormat

pysyvät kuormat (seinä + katto)

katto

$$\text{rakenteetkatto} := 3.57 \quad \text{kN /m}$$

seinä

$$\text{rakenteetseinä} := 2.072 + 2.85 + 3.0 \quad \text{seinä + perusmuuri + antura}$$

$$\text{rakenteetseinä} = 7.922 \quad \text{kN /m}$$

muuttuvat kuormat (lumi + tuuli)

lumi

$$\text{lumikatto} := 13.347 \quad \text{kN /m}$$

Yhteensä

seinän alapään tasossa vaikuttava viivakuorma

$$N_k := \text{rakenteetkatto} + \text{rakenteetseinä} + \text{lumikatto}$$

$$N_k = 24.839 \quad \text{kN /m}$$

$$N_d := 1.2 \cdot (\text{rakenteetkatto} + \text{rakenteetseinä}) + 1.6 \cdot (\text{lumikatto})$$

$$N_d = 35.146 \quad \text{kN /m}$$

Mitoituspohjapaine P_d

$$P_d := \frac{N_d}{b_a}$$

$$P_d = 58.576 \quad \text{kN /m}^2$$

$$\sigma_{gd} := P_d$$

$$\sigma_{gd} = 58.576$$

Anturan raudoitus, kun anturaan liittyy muurattu tai sokkelielementti

$$M2Ed := \frac{\sigma_{gd} \cdot b a^2}{8}$$

anturan mitoittava taivutusmomentti

$$M2Ed = 2.636 \quad \text{kNm / m}$$

$$\mu_2 := \frac{M2Ed}{l_a \cdot (d^2 \cdot 10^{-3}) \cdot f_{cd}}$$

suhteellinen momentti

$$\mu_2 = 8.973 \times 10^{-3}$$

$$\beta_2 := 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \mu_2}$$

jännityssuorakaiteen suhteellinen korkeus

$$\beta_2 = 9.014 \times 10^{-3}$$

$$\omega_2 := \beta_2$$

mekaaninen raudoitussuhde

$$\omega_2 = 9.014 \times 10^{-3}$$

$$As_{vaad2} := \omega_2 \cdot (l_a \cdot 10^3) \cdot d \cdot \left(\frac{f_{cd}}{f_{sd}} \right)$$

vaadittava vetoraudoituksen poikkileikkauksen ala

$$As_{vaad2} = 42.292 \quad \text{mm}^2 / \text{m}$$

yhden 8mm harjateräksen poikkipinta-ala on 50,3mm²

---> Astot = 2 x 8mm terästä = 100,6 mm²/m

anturaan valitaan pituussuuntaan teräkset 2kpl halk. 8mm

Alapohjalaatta**Maanvaraisen laatan laskentakaavat**

betonilattiat 2002 - by45bly7

kuormituspinnan säde

pistekuorman säde r (m)

A = pistekuorman kuormitusala (m²)

$$\overset{\text{A}}{\text{A}} := 0.65 \cdot 0.48$$

$$A = 0.312 \quad \text{m}^2$$

h = betonilaatan paksuus (m)

$$h := 0.12 \quad \text{m}$$

$$r := \sqrt{\frac{A}{\pi}} + \frac{1}{2} \cdot h$$

$$r = 0.375 \quad \text{m}$$

alustaluku k

yhden rakennekerroksen alustaluku k

Em = perusmaan kimmomoduuli (MN/m²)

$$E_m := 30$$

perusmaa = hiekka

 ν_m = perusmaan Poissonin vakio

$$\nu_m := 0.25$$

perusmaa = hiekka

K = betonin nimellislujuus (MN/m²)

$$\overset{\text{K}}{\text{K}} := 25$$

betoni C25/30

Ec = betonin kimmomoduuli

$$E_c := 5000 \cdot \sqrt{K}$$

$$E_c = 2.5 \times 10^4$$

$$k := \frac{0.9 \cdot E_m}{(1 - \nu_m^2) \cdot h} \cdot \sqrt[3]{\frac{E_m}{E_c \cdot (1 - \nu_m^2)}}$$

$$k = 26.058$$

elastinen laatan jäykkyyssäde I_k (m)

$$d = \text{betonilaatan hyötykorkeus (m)} \quad d := 0.120 - 0.025 - \frac{0.010}{2}$$
$$d = 0.09 \quad \text{m}$$

$$D := \frac{E_c \cdot d^3}{12}$$

$$D = 1.519$$

$$I_k := \sqrt[4]{\frac{D}{k}}$$

$$I_k = 0.491 \quad \text{m}$$

suhteellinen kuormitusjakauma a_k

$$a_k := \frac{r}{I_k}$$

$$a_k = 0.763$$

Pistekuormasta aiheutuva taivutusmomentti

$$P = \text{pistekuorma (kN)} \quad P := 20 \quad \text{kN} \quad \text{2-pilarinosturi, yhdeltä pilarilta omapaino + nostokyky}$$

M = maksimi positiivinen tai minimi negatiivinen taivutusmomentti (kNm/m). Positiivinen momentti aiheuttaa vetoa laatan ala- ja negatiivinen laatan yläpintaan

pistekuorman sijainti

tapaus 1. pistekuorma laatan keskellä

$$M_{1\max} := P \cdot (0.056 - 0.211 \cdot \log(a_k))$$

$$M_{1\max} = 1.615 \quad \text{kNm/ m}$$

$$M1_{\min} := -0.02 \cdot P$$

$$M1_{\min} = -0.4 \quad \text{kNm/ m}$$

Laatan alapinnan vetorausoititus pistekuorman aiheuttamasta momentista $M1_{\max}$

$$b := 1.0 \quad \text{m} \quad f_{cd} := 14.2 \quad \text{MN /m}^2$$

$$d = 0.09 \quad \text{m} \quad f_{sd} := 434.8$$

$$\mu := \frac{M1_{\max} \cdot 10^{-3}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} \quad \text{kNm --> MNm}$$

$$\mu = 0.014$$

$$\beta := 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \mu}$$

$$\beta = 0.014$$

$$\omega := \beta$$

$$\omega = 0.014$$

vaadittava vetorausoitituksen poikkileikkauksen ala

$$\text{Asvaad} := \omega \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{sd}}$$

$$\text{Asvaad} = 4.155 \times 10^{-5} \quad \text{m}^2 / \text{m}$$

$$\text{Asvaad11} := \text{Asvaad} \cdot 10^6 \quad \text{m}^2 \text{ --> mm}^2$$

$$\text{Asvaad11} = 41.553 \quad \text{mm}^2 / \text{m}$$

VALITAAN

verkko: #6-k200

Astot: 141 mm² /m

Laatan yläpinnan vetorausoititus pistekuorman aiheuttamasta momentista $M1_{\min}$

$$d2 := 0.03 \quad \text{m}$$

$$\mu_2 := \frac{M1_{\min} \cdot -1 \cdot 10^{-3}}{b \cdot d2^2 \cdot f_{cd}}$$

$$\mu_2 = 0.031$$

$$\beta_2 := 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \mu_2} \quad \beta_2 = 0.032$$

$$\omega_2 := \beta_2 \quad \omega_2 = 0.032$$

vaadittava vetoraudoituksen poikkileikkauksen ala

$$\text{Asvaad2} := \omega_2 \cdot b \cdot d_2 \cdot \frac{f_{cd}}{f_{sd}}$$

$$\text{Asvaad2} = 3.116 \times 10^{-5} \quad \text{m}^2 / \text{m}$$

$$\text{Asvaad22} := \text{Asvaad2} \cdot 10^6$$

$$\text{Asvaad22} = 31.161 \quad \text{mm}^2 / \text{m}$$

VALITAAN

verkko: #6-k200

Astot: 141 mm² /m

Pistekuormasta aiheutuva taipuma ja pohjapaine

tapaus 1. pistekuorma laatan keskellä

taipuma y (m)

$$y := \frac{P \cdot l_k^2}{8 \cdot D} \cdot \left[1 - a k^2 \cdot (0.217 - 0.367 \cdot \log(a k)) \right]$$

$$y = 0.337 \quad \text{m}$$

pohjapaine p₀ (kN/m²)

$$p_0 := \frac{P}{8 \cdot l_k^2} \cdot \left[1 - a k^2 \cdot (0.217 - 0.367 \cdot \log(a k)) \right]$$

$$p_0 = 8.786 \quad \text{kN} / \text{m}^2$$

RAKENTEIDEN PAINOT

$\rho_{kip} := 900$ kg /m^3 kipsilevy

$\rho_{van} := 700$ vaneri

$\rho_{puu} := 450$ puu

Puuseinä polttoainevaraston yläosassa**vaneri**

$h1 := 2.008$ m korkeus

$b1 := 0.009$ paksuus

$l := 1.0$ per metri

$p_{van} := (h1 \cdot b1 \cdot l) \cdot \rho_{van}$

$p_{van} = 12.65$ kg /m

kipsilevy

$h2 := 2.008$

$b2 := 0.013$

$l = 1$

$p_{kip} := (h2 \cdot b2 \cdot l) \cdot \rho_{kip}$

$p_{kip} = 23.494$

ylä- ja alajuoksupu

$h3 := 0.050$

$b3 := 0.175$

$l = 1$

$p_{juo} := (h3 \cdot b3 \cdot l) \cdot \rho_{puu} \cdot 2$

$$p_{juo} = 7.875$$

runkotolpat

$$h_4 := 0.050$$

$$b_4 := 0.175$$

$$l_4 := 1.908$$

$$prun := (h_4 \cdot b_4 \cdot l_4) \cdot \rho_{puu} \cdot \frac{1000}{600}$$

$$prun = 12.521$$

YHTEENSÄ

$$seinä1 := p_{van} + p_{kip} + p_{juo} + prun$$

$$seinä1 = 56.54 \quad \text{kg /m}$$

$$\underline{seinä1} := seinä1 \cdot 10 \cdot 10^{-3}$$

$$seinä1 = 0.565 \quad \text{kN /m}$$

Harkkoseinä RUH290 polttoainevarasto

$$p_{har} := 650 \quad \text{kg /m}^3 \quad \text{kevytsoraharkot muurattuina, 10mm saumat}$$

$$h_5 := 2.4 \quad \text{m} \quad \text{seinän korkeus}$$

$$b_5 := 0.290 \quad \text{paksuus}$$

$$l = 1 \quad \text{per metri}$$

$$seinä2 := (h_5 \cdot b_5 \cdot l) \cdot p_{har}$$

$$seinä2 = 452.4 \quad \text{kg /m}$$

$$\underline{seinä2} := seinä2 \cdot 10 \cdot 10^{-3}$$

$$seinä2 = 4.524 \quad \text{kN /m}$$

Harkkoseinä RUH200 kattilahuone

$$h_6 := 2.4 \quad \text{m} \quad \text{seinän korkeus}$$

$b_6 := 0.2$ seinän paksuus
 $l = 1$ per metri

$\text{seinä}_3 := (h_6 \cdot b_6 \cdot l) \cdot \rho_{\text{har}}$

$\text{seinä}_3 = 312$ kg /m

$\text{seinä}_3 := \text{seinä}_3 \cdot 10 \cdot 10^{-3}$

$\text{seinä}_3 = 3.12$ kN /m

Ulkoseinän paino

ylä- ja alajuoksupu

$h_{\text{juo}} := 0.050$ m juoksupuun korkeus

$b_{\text{juo}} := 0.175$ leveys

$l = 1$ per metri

$p_{\text{juo}_2} := (h_{\text{juo}} \cdot b_{\text{juo}} \cdot l) \cdot \rho_{\text{puu} \cdot 2}$

$p_{\text{juo}_2} = 7.875$ kg /m

$p_{\text{juo}_2} := p_{\text{juo}_2} \cdot 10 \cdot 10^{-3}$

$p_{\text{juo}_2} = 0.079$ kN /m

ristikonkannatuspalkki

$\rho_{\text{ker}} := 480$ kg /m³ ristikon kannatus kertopuupalkki

$h_{\text{ker}} := 0.200$ korkeus

$b_{\text{ker}} := 0.051$ leveys

$l = 1$ per metri

$p_{\text{ker}} := (h_{\text{ker}} \cdot b_{\text{ker}} \cdot l) \cdot \rho_{\text{ker}}$

$p_{\text{ker}} = 4.896$ kg /m

$p_{\text{ker}} := p_{\text{ker}} \cdot 10 \cdot 10^{-3}$

$$p_{ker} = 0.049 \quad \text{kN /m}$$

runkotolppa

$$h_{rt} := 0.050 \quad \text{m} \quad \text{runkotolpan korkeus}$$

$$b_{rt} := 0.175 \quad \text{leveys}$$

$$l_{rt} := 4.030 \quad \text{pituus}$$

$$p_{rt} := (h_{rt} \cdot b_{rt} \cdot l_{rt}) \cdot \rho_{puu} \cdot \frac{1000}{600}$$

$$p_{rt} = 26.447 \quad \text{kg /m}$$

$$\underline{p_{rt}} := p_{rt} \cdot 10 \cdot 10^{-3}$$

$$p_{rt} = 0.264 \quad \text{kN /m}$$

runkokoolaus

$$h_{rk} := 0.050 \quad \text{korkeus}$$

$$b_{rk} := 0.050 \quad \text{leveys}$$

$$l = 1 \quad \text{per metri}$$

8 kpl koolauspuuta ulkoseinässä k600

$$p_{rk} := (h_{rk} \cdot b_{rk} \cdot l) \cdot \rho_{puu} \cdot 8$$

$$p_{rk} = 9 \quad \text{kg /m}$$

$$\underline{p_{rk}} := p_{rk} \cdot 10 \cdot 10^{-3}$$

$$p_{rk} = 0.09 \quad \text{kN /m}$$

vaneri - rungon levyjäykistys

$$h_{van} := 4.130 \quad \text{m} \quad \text{levyn korkeus}$$

$$b_{van} := 0.009 \quad \text{paksuus}$$

$$l = 1 \quad \text{per metri}$$

$$p_{lev} := (h_{van} \cdot b_{van} \cdot l) \cdot \rho_{van}$$

$$p_{lev} = 26.019 \quad \text{kg /m}$$

$$\underline{p_{lev}} := p_{lev} \cdot 10 \cdot 10^{-3}$$

$$p_{lev} = 0.26 \quad \text{kN /m}$$

kipsilevy - sisäpinta

$$h_{kip} := 4.130 \quad \text{m}$$

$$b_{kip} := 0.013$$

$$l = 1$$

$$p_{kipsi} := (h_{kip} \cdot b_{kip} \cdot l) \cdot \rho_{kip}$$

$$p_{kipsi} = 48.321 \quad \text{kg /m}$$

$$\underline{p_{kipsi}} := p_{kipsi} \cdot 10 \cdot 10^{-3}$$

$$p_{kipsi} = 0.483 \quad \text{kN /m}$$

tuulensuojalevy

$$p_{tsuoja} := 70 \quad \text{kg /m}^3 \quad \text{Isover facade } 70 \text{ kg/m}^3$$

$$h_{tsuoja} := 4.130 \quad \text{m}$$

$$b_{tsuoja} := 0.030$$

$$l = 1$$

$$p_{tsuoja} := (h_{tsuoja} \cdot b_{tsuoja} \cdot l) \cdot \rho_{tsuoja}$$

$$p_{tsuoja} = 8.673 \quad \text{kg /m}$$

$$\underline{p_{tsuoja}} := p_{tsuoja} \cdot 10 \cdot 10^{-3}$$

$$p_{tsuoja} = 0.087 \quad \text{kN /m}$$

lämmöneriste - runko + koolaus

$$\rho_{peri} := 30 \quad \text{kg /m}^3$$

$$h_{eri} := 4.030 \quad \text{m}$$

$$b_{eri} := 0.225$$

$$l = 1 \quad \text{per metri}$$

$$p_{eri} := (h_{eri} \cdot b_{eri} \cdot l) \cdot \rho_{eri}$$

$$p_{eri} = 27.203 \quad \text{kg /m}$$

$$\underline{\text{peri}} := \text{peri} \cdot 10 \cdot 10^{-3}$$

$$\text{peri} = 0.272 \quad \text{kN /m}$$

tuuletusrako - pystysuunta

$$\text{htuu} := 0.050 \quad \text{m}$$

$$\text{btuu} := 0.022$$

$$\text{ltuu} := 4.130$$

$$\text{ptuup} := (\text{htuu} \cdot \text{btuu} \cdot \text{ltuu}) \cdot \rho_{\text{puu}} \cdot \frac{1000}{600}$$

$$\text{ptuup} = 3.407 \quad \text{kg /m}$$

$$\underline{\text{ptuup}} := \text{ptuup} \cdot 10 \cdot 10^{-3}$$

$$\text{ptuup} = 0.034 \quad \text{kN /m}$$

tuuletusrako - vaakasuunta

8 kpl koolauksia k600

$$\text{ptuuv} := (\text{htuu} \cdot \text{btuu} \cdot l) \cdot \rho_{\text{puu}} \cdot 8$$

$$\text{ptuuv} = 3.96 \quad \text{kg /m}$$

$$\underline{\text{ptuuv}} := \text{ptuuv} \cdot 10 \cdot 10^{-3}$$

$$\text{ptuuv} = 0.04 \quad \text{kN /m}$$

ulkoverhous - puu

$$\text{hver} := 4.180 \quad \text{m} \quad \text{korkeus}$$

$$\text{bver} := 0.022 \quad \text{paksuus}$$

$$l = 1 \quad \text{per metri}$$

$$\text{pver} := (\text{hver} \cdot \text{bver} \cdot l) \cdot \rho_{\text{puu}}$$

$$\text{pver} = 41.382 \quad \text{kg /m}$$

$$\underline{\text{pver}} := \text{pver} \cdot 10 \cdot 10^{-3}$$

$$p_{ver} = 0.414 \quad \text{kN /m}$$

Ulkoseinä yhteensä

$$\text{ulkoseinä} := p_{juo2} + p_{ker} + p_{rt} + p_{rk} + p_{lev} + p_{kipsi} + p_{eri} + p_{tuup} + p_{tuuv} + p_{ver} + p_{tsuoja}$$

$$\text{ulkoseinä} = 2.072 \quad \text{kN /m}$$

Perusmuurin omapaino

$$\rho_{perusmuuri} := 950 \quad \text{kg /m}^3 \quad \text{eristeharkon tiheys}$$

$$h_{perusmuuri} := 1.0 \quad \text{m} \quad \text{perusmuurin korkeus}$$

$$b_{perusmuuri} := 0.3 \quad \text{leveys}$$

$$l = 1 \quad \text{per metri}$$

$$\text{perusmuuri} := (h_{perusmuuri} \cdot b_{perusmuuri} \cdot l) \cdot \rho_{perusmuuri}$$

$$\text{perusmuuri} = 285 \quad \text{kg /m}$$

$$\text{perusmuuri} := \text{perusmuuri} \cdot 10 \cdot 10^{-3}$$

$$\text{perusmuuri} = 2.85 \quad \text{kN /m}$$

anturan omapaino

$$h_{antura} := 0.2 \quad \text{m} \quad \text{anturan korkeus}$$

$$b_{antura} := 0.6 \quad \text{leveys}$$

$$l = 1 \quad \text{per metri}$$

$$\rho_{betoni} := 25 \quad \text{kN /m}^3 \quad \text{betonin tiheys}$$

$$\text{antura} := (h_{antura} \cdot b_{antura} \cdot l) \cdot \rho_{betoni}$$

$$\text{antura} = 3 \quad \text{kN /m}$$

Perustuksille tulevat kuormat

katolta

pinta-alat

$$\text{Ajänteellä} := 18.825 \cdot 10.825$$

$$\text{Ajänteellä} = 203.781 \quad \text{m}^2$$

$$\text{Aräystäällä} := 20.1 \cdot 12.5 - \text{Ajänteellä}$$

$$\text{Aräystäällä} = 47.469 \quad \text{m}^2$$

Kuormat

lumi

$$\text{Pjänteällälumi} := \text{Ajänteellä} \cdot 2.0$$

$$\text{Pjänteällälumi} = 407.561 \quad \text{kN}$$

$$\text{Präystäällälumi} := \text{Aräystäällä} \cdot 2.0$$

$$\text{Präystäällälumi} = 94.939 \quad \text{kN}$$

yhteensä katolta tuleva lumikuorma (pitkälle seinälle)

$$\text{kattolumi} := \frac{\frac{\text{Pjänteällälumi} + \text{Präystäällälumi}}{2}}{18.825}$$

$$\text{kattolumi} = 13.347 \quad \text{kN /m}$$

rakenteet

$$\text{Pjänteällärakenteet} := \text{Ajänteellä} \cdot 0.613$$

$$\text{Pjänteällärakenteet} = 124.918 \quad \text{kN}$$

$$\text{Präystäällärakenteet} := \text{Aräystäällä} \cdot 0.2$$

$$\text{Präystäällärakenteet} = 9.494 \quad \text{kN}$$

yhteensä katolta rakenteista tuleva kuorma (pitkälle seinälle)

$$\text{kattorakenteet} := \frac{\frac{\text{Pjänteällärakenteet} + \text{Präystäällärakenteet}}{2}}{18.825}$$

$$\text{kattorakenteet} = 3.57 \quad \text{kN /m}$$

Kattorakenteen omapaino kN /m²**Vesikatto****Peltikate**

gp := 0.05 kN /m² profiili peltikate

Ruodelaudat

ruoteet 22x100 k300

b := 0.100 m ruodelaudan leveys

h := 0.022 ruodelaudan korkeus

$\tilde{l} := 1.0$ metrin matkalta

k := 0.300 ruoteen k-jako

$\rho_p := 5$ kN /m³ tiheys sahatavara kuusi/mänty

$gr := \rho_p \cdot \frac{(h \cdot b \cdot l)}{k \cdot l}$
 $gr = 0.037$ kN /m²

Aluskate

paino vähäinen

Kattokannattaja

gkrop := 0.22 kN /m kattoristikon omapaino

lkr := 12.478 m kattoristikon kokonaispituus

kr := 0.9 kattoristikon k-jako

gkr := lkr · gkrop
 $gkr = 2.745$ kN kattoristikon omapaino

$$gop := \frac{(gkr)}{(kr \cdot lkr)}$$

$$gop = 0.244 \quad \text{kN /m}^2$$

Yläpohja

Mineraalivilla

mineraalivilla 100 mm

$$hmv := 0.100 \quad \text{m} \quad \text{villakerroksen paksuus}$$

$$\rho_{mv} := 0.3 \quad \text{kN / m}^3 \quad \text{tiheys mineraalivilla}$$

$$gmv := \rho_{mv} \cdot hmv$$
$$gmv = 0.03 \quad \text{kN /m}^2$$

Puhallusvilla

puhallusvilla 350 mm

$$hpv := 0.350 \quad \text{m} \quad \text{villakerroksen paksuus}$$

$$\rho_{pv} := 0.28 \quad \text{kN /m}^3 \quad \text{tiheys puhallusvilla}$$

$$gpv := \rho_{pv} \cdot hpv$$
$$gpv = 0.098 \quad \text{kN /m}^2$$

Höyrynsulku

paino vähäinen

Koolaus

koolaus 22x100 k300

$$h2 := 0.022 \quad \text{m} \quad \text{puun korkeus}$$

$$b2 := 0.100 \quad \text{puun leveys}$$

$$l2 := 1.0 \quad \text{metrin matkalta}$$

$$k2 := 0.3 \quad \text{k-jako}$$

$$\rho_p = 5 \quad \text{kN /m}^3 \quad \text{sahatavaran tiheys kuusi/mänty}$$

$$g_k := \rho_p \cdot \frac{(h_2 \cdot b_2 \cdot l_2)}{k_2 \cdot l_2}$$

$$g_k = 0.037 \quad \text{kN m}^2$$

Kattoverhous

kipsilevy 13mm

$$h_3 := 0.013 \quad \text{levyn korkeus}$$

$$\rho_{kv} := 9.0 \quad \text{kN /m}^3 \quad \text{levyn tiheys}$$

$$g_{kv} := \rho_{kv} \cdot h_3$$
$$g_{kv} = 0.117 \quad \text{kN /m}^2$$

Kattorakenteen omapaino yhteensä

$$g_{kattok} := g_p + g_r + g_{op} + g_{pv} + g_{mv} + g_k + g_{kv}$$

$$g_{kattok} = 0.613 \quad \text{kN /m}^2$$

---> KATTORAKENTEEN OMAPAINO 0,61 kN /m²

(---> Naulalevykannattimen ohjeellinen vähimmäiskuormitus 0,5 kN / m²)

yleisesti käytettyjä kuormituksia

-peltikatto	50 kg/m ²	0,5 kN/m ²
-tiilikatto	80	0,8

Ristikoiille tulevat kuormat

ljänne := 10.825	m	ristikon jännevälin pituus
lräystäs := 0.838		ristikon räystään pituus
lristikko := 12.5		ristikon kokonaispituus
kristikko := 0.9	m	ristikon kuormitus leveys = (k-jako)
kpäätyräystäs := 0.6		päätyräystään kuormitus leveys

Kuormat

gjänteellä := 0.613	kN /m ²	rakenteiden omapaino jännevälillä
gräystäällä := 0.2		rakenteiden omapaino räystäällä
qlumi := 2.0		lumikuorma katolla

Ristikolle R1 tuleva kuorma**rakenteista (omapaino + rakenteet)****Jänteellä**

$$R1jänteellä := ljänne \cdot kristikko \cdot gjänteellä$$

$$R1jänteellä = 5.972 \quad \text{kN}$$

per metri --->

$$R1jänteellä2 := \frac{R1jänteellä}{ljänne}$$

$$R1jänteellä2 = 0.552 \quad \text{kN /m}$$

Räystäällä

$$R1räystäällä := lräystäs \cdot kristikko \cdot gräystäällä$$

$$R1\text{räystäällä} = 0.151 \quad \text{kN}$$

per metri ---->

$$R1\text{räystäällä}2 := \frac{R1\text{räystäällä}}{l\text{räystäs}}$$

$$R1\text{räystäällä}2 = 0.18 \quad \text{kN /m}$$

lumesta

$$R1\text{lumi} := q\text{lumi} \cdot \frac{\text{kristikko}}{1}$$

$$R1\text{lumi} = 1.8 \quad \text{kN /m}$$

yhteensä (rakenteet + lumi)

jänteellä

$$R1\text{jänne} := R1\text{jänteellä}2 + R1\text{lumi}$$

$$R1\text{jänne} = 2.352 \quad \text{kN /m}$$

räystäällä

$$R1\text{räystäs} := R1\text{räystäällä}2 + R1\text{lumi}$$

$$R1\text{räystäs} = 1.98 \quad \text{kN /m}$$

Ristikolle R2 tuleva kuorma (päätyristikot)

vasat räystäältä

$$b\text{vasa} := 0.042 \quad \text{m} \quad \text{räystäs vasan leveys}$$

$$h\text{vasa} := 0.148 \quad \text{korkeus}$$

$$l\text{vasa} := 1.050 \quad \text{pituus}$$

$$k\text{vasat} := 0.6 \quad \text{vasojen k-jako}$$

$$\rho\text{puu} := 5 \quad \text{kN /m}^3 \quad \text{tiheys sahatavara}$$

$$g\text{vasat} := (b\text{vasa} \cdot h\text{vasa} \cdot l\text{vasa}) \cdot \rho\text{puu} \cdot \frac{1}{k\text{vasat}}$$

$$g_{\text{vasat}} = 0.054 \quad \text{kN /m}$$

vasat keskeltä

$$l_{\text{vasa2}} := 0.450 \quad \text{m} \quad \text{vasan pituus hallin puolella}$$

$$g_{\text{vasat2}} := (b_{\text{vasa}} \cdot h_{\text{vasa}} \cdot l_{\text{vasa2}}) \cdot \rho_{\text{puu}} \cdot \frac{1}{k_{\text{vasat}}}$$

$$g_{\text{vasat2}} = 0.023 \quad \text{kN /m}$$

rakenteista (omapaino + rakenteet)

keskeltä

jänteellä

per metri ---->

$$R_{2\text{jänteellä}} := \frac{R_{1\text{jänteellä2}}}{2} + g_{\text{vasat2}}$$

$$R_{2\text{jänteellä}} = 0.299 \quad \text{kN /m}$$

räystäällä

per metri ---->

$$R_{2\text{räystäällä}} := \frac{R_{1\text{räystäällä2}}}{2} + g_{\text{vasat2}}$$

$$R_{2\text{räystäällä}} = 0.113 \quad \text{kN /m}$$

räystäältä

per metri ---->

$$R_{2\text{räystäältä}} := \frac{k_{\text{päätyräystä}} \cdot l_{\text{ristikko}} \cdot (g_{\text{räystäällä}})}{l_{\text{ristikko}}} + g_{\text{vasat}}$$

$$R_{2\text{räystäältä}} = 0.174 \quad \text{kN /m}$$

yhteensä rakenteet

jänteellä

$$R_{2\text{jännerak}} := R_{2\text{jänteellä}} + R_{2\text{räystäältä}}$$

$$R2j\ddot{a}nnerak = 0.474 \quad \text{kN /m}$$

räystäällä

$$R2r\ddot{a}yst\ddot{a}srak := R2r\ddot{a}yst\ddot{a}ällä + R2r\ddot{a}yst\ddot{a}ältä$$

$$R2r\ddot{a}yst\ddot{a}srak = 0.288 \quad \text{kN /m}$$

lumesta

$$R2lumi := qlumi \cdot \frac{\text{kp\ddot{a}\ddot{a}tyr\ddot{a}yst\ddot{a}s}}{1}$$

$$R2lumi = 1.2 \quad \text{kN /m}$$

yhteensä (rakenteet + lumi)

j\ddot{a}nteellä

$$R2j\ddot{a}nne := R2j\ddot{a}nteellä + \frac{R1lumi}{2} + R2r\ddot{a}yst\ddot{a}ältä + R2lumi$$

$$R2j\ddot{a}nne = 2.574 \quad \text{kN /m}$$

r\ddot{a}yst\ddot{a}ällä

$$R2r\ddot{a}yst\ddot{a}s := R2r\ddot{a}yst\ddot{a}ällä + \frac{R1lumi}{2} + R2r\ddot{a}yst\ddot{a}ältä + R2lumi$$

$$R2r\ddot{a}yst\ddot{a}s = 2.388 \quad \text{kN /m}$$

Lämmönläpäisykerroin U

C4 Suomen rakentamismääräyskokoelma lämmöneristys ohjeet 2003

Yläpohjarakennusosan ainekerrokset tasapaksuja ja tasa-aineisia
kaava ei ota huomioon ristikon alapaarretta villan seassa**Pintavastus**R_{si} := 0.10 Sisäpuolinen pintavastus, lämpövirran suunta ylöspäinR_{se} := 0.04 Ulkopuolinen pintavastus

Ainekerros	Lämmönjohtavuus λ W / (m * K)	Arvo	Kerrospaksuus m
Levyvilla	λ _{villa} := 0.035	Isover	dvilla := 0.100
Puhallusvilla	λ _{pvilla} := 0.041	Isover	dpvilla := 0.350
Kipsilevy	λ _{kipsi} := 0.25	gyproc	dkipsi := 0.013

Lämmönvastus R, (m² * K) / W

$$R_{kipsi} := \frac{dkipsi}{\lambda_{kipsi}}$$

R_{kipsi} = 0.052

$$R_{villa} := \frac{dvilla}{\lambda_{villa}}$$

R_{villa} = 2.857

$$R_{pvilla} := \frac{dpvilla}{\lambda_{pvilla}}$$

R_{pvilla} = 8.537

Rilma := 0.16 tuulettumaton ilmakerros 22mm lämpövirran suunta ylöspäin

Rmuovi := 0.04

Rakennusosan kokonaislämmönvastus R_T , (m² * K) / W

$R_t := R_{si} + R_{kipsi} + R_{ilma} + R_{muovi} + R_{villa} + R_{pvilla} + R_{se}$

$R_t = 11.786$

Lämmönläpäisykerroin U , W / (m² * K)

$U := \frac{1}{R_t}$

$U = 0.085$

Lämmönläpäisykerroin U

C4 Suomen rakentamismääräyskokoelma lämmöneristys ohjeet 2003

Seinä

rakennusosan ainekerrokset tasapaksuja ja epätasa-aineisia
kaavassa huomioitu ainekerrosten epätasa-aineisuus

Pintavastus

$R_{si} := 0.13$ Sisäpuolinen pintavastus, lämpövirran suunta vaakasuora

$R_{se} := 0.04$ Ulkopuolinen pintavastus

Ainekerros	Lämmönjohtavuus λ W / (m * k)	Arvo	Kerrospaksuus m
Kipsilevy	$\lambda_{kipsi} := 0.25$	C4	$dkipsi := 0.013$
Levyvilla	$\lambda_{villa2} := 0.032$	Isover KL32	$dvilla2 := 0.050$
Puu, koolaus	$\lambda_{puu2} := 0.12$	C4	$dpuu2 := 0.050$
Levyvilla	$\lambda_{villa1} := 0.032$		$dvilla1 := 0.175$
Puu, runko	$\lambda_{puu1} := 0.12$	C4	$dpuu1 := 0.175$
Vaneri	$\lambda_{vaneri} := 0.13$	C4	$dvaneri := 0.009$
Tuulensuoja	$\lambda_{suoja} := 0.031$	Isover RKL-31	$dtsuoja := 0.030$

Ainekerrokset epätasa-aineisia suhteelliset osuudet

Puun leveys $b := 0.050$

Puun keskeltä keskelle mitta $k := 0.600$

$$f_{\text{puu}} := \frac{b}{k} \quad f_{\text{puu}} = 0.083$$

$$f_{\text{villa}} := \frac{(k - b)}{k} \quad f_{\text{villa}} = 0.917$$

kerros 1

runko

$$R_{\text{puu1}} := \frac{d_{\text{puu1}}}{\lambda_{\text{puu1}}} \quad R_{\text{puu1}} = 1.458$$

$$R_{\text{villa1}} := \frac{d_{\text{villa1}}}{\lambda_{\text{villa1}}} \quad R_{\text{villa1}} = 5.469$$

$$R_{2\text{puu1}} := \frac{f_{\text{puu}}}{R_{\text{puu1}}} \quad R_{2\text{puu1}} = 0.057$$

$$R_{2\text{villa1}} := \frac{f_{\text{villa}}}{R_{\text{villa1}}} \quad R_{2\text{villa1}} = 0.168$$

$$R_2 := R_{2\text{puu1}} + R_{2\text{villa1}} \quad R_2 = 0.225$$

Epätasa-aineisen kerroksen lämmönvastus R , ($\text{m}^2 \cdot \text{K}$) / W

$$R_{j1} := \frac{1}{R_2}$$

$$R_{j1} = 4.449$$

kerros 2

koola

$$R_{\text{puu2}} := \frac{d_{\text{puu2}}}{\lambda_{\text{puu2}}} \quad R_{\text{puu2}} = 0.417$$

$$R_{\text{villa2}} := \frac{d_{\text{villa2}}}{\lambda_{\text{puu2}}} \quad R_{\text{villa2}} = 0.417$$

$$R_{2\text{puu2}} := \frac{f_{\text{puu}}}{R_{\text{puu2}}} \quad R_{2\text{puu2}} = 0.2$$

$$R_{2\text{villa2}} := \frac{f_{\text{villa}}}{R_{\text{villa2}}} \quad R_{2\text{villa2}} = 2.2$$

$$R_{22} := R_{2\text{puu2}} + R_{2\text{villa2}} \quad R_{22} = 2.4$$

Epätasa-aineisen kerroksen lämmönvastus R , ($\text{m}^2 \cdot \text{K}$) / W

$$R_{j2} := \frac{1}{R_{22}}$$

$$R_{j2} = 0.417$$

Lämmönvastus R , ($\text{m}^2 \cdot \text{K}$) / W

$$R_{\text{kipsi}} := \frac{d_{\text{kipsi}}}{\lambda_{\text{kipsi}}} \quad R_{\text{kipsi}} = 0.052$$

$$R_{\text{vaneri}} := \frac{d_{\text{vaneri}}}{\lambda_{\text{vaneri}}} \quad R_{\text{vaneri}} = 0.069$$

$$R_{\text{suoja}} := \frac{d_{\text{suoja}}}{\lambda_{\text{suoja}}} \quad R_{\text{suoja}} = 0.968$$

$$R_{\text{muovi}} := 0.04$$

Rakennusosan kokonaislämmönvastus R_T , ($\text{m}^2 \cdot \text{K}$) / W

$$R_t := R_{\text{si}} + R_{\text{kipsi}} + R_{\text{muovi}} + R_{\text{j2}} + R_{\text{j1}} + R_{\text{vaneri}} + R_{\text{tsuoja}} + R_{\text{se}}$$

$$R_t = 6.165$$

Lämmönläpäisykerroin U , W / ($\text{m}^2 \cdot \text{K}$)

$$U := \frac{1}{R_t}$$

$$U = 0.162$$

Lämmönläpäisykerroin U

LIITE 12

C4 Suomen rakentamismääräyskokoelma lämmöneristys ohjeet 2003

Alapohja

rakennusosan ainekerrokset tasapaksuja ja tasa-aineisia

Pintavastus

$R_{si} := 0.17$ Sisäpuolinen pintavastus, lämpövirran suunta alaspäin
 $R_{se} := 0.04$ Ulkopuolinen pintavastus

Ainekerros	Lämmönjohtavuus λ $W / (m * K)$	Arvo	Kerrospaksuus m
Betoni	$\lambda_{betoni} := 0.17$	C4	$dbetoni := 0.100$
Lämmöneriste	$\lambda_{eriste} := 0.039$	thermisol EPS lattia	$deriste := 0.150$
salaojasora	$\lambda_{sora} := 0.17$	C4	$dsora := 0.300$

Lämmönvastus R, $(m^2 * K) / W$

$$R_{betoni} := \frac{dbetoni}{\lambda_{betoni}}$$

$R_{betoni} = 0.588$

$$R_{eriste} := \frac{deriste}{\lambda_{eriste}}$$

$R_{eriste} = 3.846$

$$R_{sora} := \frac{dsora}{\lambda_{sora}}$$

$R_{sora} = 1.765$

$$R_{muovi} := 0.04$$

Rakennusosan kokonaislämmönvastus R_T , ($m^2 \cdot K$) / W

$$R_t := R_{si} + R_{betoni} + R_{muovi} + R_{eriste} + R_{sora} + R_{se}$$

$$R_t = 6.449$$

Lämmönläpäisykerroin U , W / ($m^2 \cdot K$)

$$U := \frac{1}{R_t}$$

$$U = 0.155$$

ENERGIATODISTUS

D5 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta Ohjeet 2007

4 Rakennuksen tilojen lämpöhäviöenergiat

rakennusosien pinta-alat

Ayläpohja := $18.524 \cdot 10.524$	Ayläpohja = 194.947	m ²
Aalapohja := $18.524 \cdot 10.524$	Aalapohja = 194.947	
Aikkuna := $(0.9 \cdot 0.6) \cdot 12$	Aikkuna = 6.48	
Aovi := $(3.7 \cdot 3.2) + (1.0 \cdot 2.1) + (2.5 \cdot 1.5)$	Aovi = 17.69	
Aulkoseinä := $(2 \cdot 18.524 \cdot 4.535) + (2 \cdot 10.524 \cdot 4.535) - \text{Aikkuna} - \text{Aovi}$	Aulkoseinä = 239.295	

rakennusosien lämmönläpäisykertoimet

Uulkoseinä := 0.162	W /m ² K	
Uyläpohja := 0.085		
Ualapohja := 0.213	tämä poikkeava arvo	C4 mukainen arvo 0,155
Uikkuna := 1.0		

Uovi := 1.0

rakennuksen ilmatilavuus

$V := 4.5 \cdot (18.524 \cdot 10.524)$

$V = 877.26 \quad \text{m}^3$

4.1 Rakenteiden läpi johtuva lämpöenergia

-rakennusosien yhteenlaskettu ominaislämpöhäviö ΣH_{joht}

$H_{johtmuut} := U_{ulkoseinä} \cdot A_{ulkoseinä} + U_{yläpohja} \cdot A_{yläpohja} + U_{ikkuna} \cdot A_{ikkuna} + U_{ovi} \cdot A_{ovi}$

$H_{johtmuut} = 79.506$

$H_{johtalapohja} := U_{alapohja} \cdot A_{alapohja}$

$H_{johtalapohja} = 41.524$

$\Sigma H_{joht} := H_{johtmuut} + H_{johtalapohja}$

kaava 4.2

$\Sigma H_{joht} = 121.03 \quad \text{W /K}$

nyt arvoina kokovuosi !!!

$T_s := 17$ sisäilman lämpötila

$T_u := 2.76$ ulkoilman lämpötila

$\Delta t := 8760 \quad \text{h}$ ajanjakson pituus

1000 kerroin, jolla suoritetaan
laatumuunnos kilowattitunneiksi

-alapohjan alapuolisen maan vuotuinen keskilämpötila $T_{maavuosi}$

alapohjan alapuolisen maan ja ulkoilman vuotuisen keskilämpötilan ero $\Delta T_{maavuosi}$

$\Delta T_{maavuosi} := 5 \quad ^\circ\text{C}$

**ellei maaperästä ole tarkempaa tietoa, voidaan lämpötilaerona käyttää arvoa
5 °C**

ulkoilman vuotuinen keskilämpötila T_{vuosi}

$$T_{\text{vuosi}} := 2.76 \quad ^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{maavuosi}} := T_{\text{vuosi}} + \Delta T_{\text{maavuosi}}$$

kaava 4.3

$$T_{\text{maavuosi}} = 7.76 \quad ^\circ\text{C}$$

rakenteiden läpi johtuva lämpöenergia Q_{joht}

$$Q_{\text{joht}} = \Sigma H_{\text{joht}} \cdot (T_s - T_u) \cdot \Delta t / 1000$$

kaava 4.1

$$Q_{\text{joht}} := \left[H_{\text{johtmuut}} \cdot (T_s - T_u) \cdot \frac{\Delta t}{1000} \right] + \left[H_{\text{johtalapohja}} \cdot (T_s - T_{\text{maavuosi}}) \cdot \frac{\Delta t}{1000} \right]$$

$$Q_{\text{joht}} = 1.328 \times 10^4 \quad \text{kWh}$$

4.2 Vuotoilman lämmityksen tarvitsema energia

-vuotoilmavirta $q_{\text{vuotoilma}}$

rakennuksen vuotoilmakerroin $n_{\text{vuotoilma}}$, kertaa tunnissa, 1/h

$$n_{\text{vuotoilma}} := 0.16$$

vuotoilmakertoimena voidaan käyttää lämmitysenergian tarpeen laskennassa arvoa 0,16 1/h, ellei ilmanpitävyyttä tunneta

$$q_{\text{vuotoilma}} := n_{\text{vuotoilma}} \cdot \frac{V}{3600}$$

kaava 4.7

$$q_{\text{vuotoilma}} = 0.039 \quad \text{m}^3 / \text{s}$$

-Vuotoilman ominaislämpöhäviö

$$\rho_i := 1.2 \quad \text{kg} / \text{m}^3 \quad \text{ilman tiheys}$$

$$c_{\text{pi}} := 1000 \quad \text{Ws} / (\text{kgK}) \quad \text{ilman ominaislämpökapasiteetti}$$

1000 = kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi

$$H_{\text{vuotoilma}} := \rho_i \cdot c_{p,i} \cdot q_{\text{vuotoilma}}$$

kaava 4.6

$$H_{\text{vuotoilma}} = 46.787 \quad \text{W /K}$$

Vuotoilman lämmityksen tarvitsema energia $Q_{\text{vuotoilma}}$

$$Q_{\text{vuotoilma}} := H_{\text{vuotoilma}} \cdot (T_s - T_u) \cdot \frac{\Delta t}{1000}$$

kaava 4.5

$$Q_{\text{vuotoilma}} = 5.836 \times 10^3 \quad \text{kWh}$$

4.3 Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia ja lämmöntalteenotto

$$t_d := \frac{8}{24} \quad \text{h / 24h} \quad \text{ilmanvaihtolaitoksen keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhde}$$

$$t_v := \frac{5}{7} \quad \text{vrk / 7vrk} \quad \text{ilmanvaihtolaitoksen viikoittainen käyntiaikasuhde}$$

$$r := 0.93 \quad \text{muuntokerroin, joka ottaa huomioon ilmanvaihtolaitoksen vuorokautisen käyntiajan}$$

0,93 päiväaikainen käyttö
1,00 ympärivuorokautinen
1,07 yöaikainen

$$\eta_a := 0.51 \quad \text{ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton (LTO) vuosihyötysuhde (tai keskimääräinen hyötysuhde laskentajaksolta)}$$

Arvo η_a
= 0, jos ei LTO:a
= LTO:n vuosihyötysuhde

vuosihyötysuhteena η_a voidaan käyttää valmistajan ilmoittamaa varmennettua vuosihyötysuhdetta

$$\text{Vallox 280se } \eta_a = 0,51$$

-poistoilmavirta q_{vpoisto}

ilmanvaihto mitoitetaan yleensä taulukon poistoilmavirtojen perusteella D2 Liite1 alk. s.27

$$q_{\text{vpoisto}} := 3 \cdot 10^{-3} \cdot 209$$

taulukko 9 s.33

$$q_{\text{vpoisto}} = 0.627 \quad \text{m}^3 / \text{s}$$

autokorjaamo, katsastustilat $3 \text{ (dm}^3/\text{s)/m}^2$

-ilmanvaihdon ominaislämpöehäviö H_{iv}

$$H_{iv} := \rho_i \cdot c_{pi} \cdot q_{vpoisto} \cdot t_d \cdot r \cdot t_v \cdot (1 - \eta_a)$$

kaava 4.10

$$H_{iv} = 81.635 \quad W / K$$

ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia Q_{iv}

$$Q_{iv} := \frac{[H_{iv} \cdot (T_s - T_u) \cdot \Delta t]}{1000}$$

kaava 4.9

$$Q_{iv} = 1.018 \times 10^4 \quad kWh$$

kohta 4.3.3

Jos halutaan erikseen tarkastella ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenottolaitteistolla talteenotettua ja tuloilman lämmityksessä hyödynnettyä energiaa QLTO, voidaan tämä laskea kaavalla (4.12).

ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia ilman LTO:a, lasketaan kaavalla (4.9), kun η_a on 0, kWh

$$H_{iveiLTO} := \rho_i \cdot c_{pi} \cdot q_{vpoisto} \cdot t_d \cdot r \cdot t_v \cdot (1 - 0)$$

kun $\eta_a = 0$

kaava 4.10

$$H_{iveiLTO} = 166.603 \quad W / K$$

-ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia ilman LTO:a $Q_{iveiLTO}$

$$Q_{iveiLTO} := \frac{[H_{iveiLTO} \cdot (T_s - T_u) \cdot \Delta t]}{1000}$$

kaava 4.9

$$Q_{iveiLTO} = 2.078 \times 10^4 \quad kWh$$

lämmöntalteenottolaitteistolla talteenotettu ja tuloilman lämmityksessä hyödynnetty energia QLTO

$$QLTO := Q_{iveiLTO} - Q_{iv}$$

kaava 4.12

$$QLTO = 1.06 \times 10^4 \quad kWh$$

----- EI KOSKE HALLIA - EI LÄMPÖPUMPPUA -----

Jos poistoilman lämmöntalteenotto on toteutettu poistoilmalämpöpumpulla vesivaraajaan, niin talteenotettu lämpöenergia (höyrystinenergia) QLTO, LP lasketaan kaavalla (4.13)

-poistoilmalämpöpumpulla talteenotettu ja tilojen tai käyttöveden lämmityksessä hyödynnetty energia QLTOLP

arvojen tarkistus	$T_s = 17$	$\Delta t = 8.76 \times 10^3$ h	koko vuosi tunteina
	$T_u = 2.76$	$T_{jäte} := 5$ °C	jäteilman lämpötila

$$QLTOLP := \frac{[(T_s - T_{jäte}) \cdot \Delta t]}{[(T_s - T_u) \cdot \Delta t]} \cdot Q_{iveiLTO} \quad \text{kaava 4.13}$$

$$QLTOLP = 1.751 \times 10^4 \quad \text{kWh}$$

-poistoilmalämpöpumpun varaajaan siirtämä ja tilojen tai käyttöveden lämmityksessä hyödynnetty energia

Poistoilmalämpöpumpun vuotuiselle lämpökertoimelle käytetään yleensä valmistajan ilmoittamaa varmennettua lämpökerrointa. Ellei laitteen lämpökerrointa ole käytettävissä, voidaan poistoilmalämpöpumpulle käyttää arvoa 2.

$\epsilon_{LP} := 2$ poistoilmalämpöpumpun vuotuinen lämpökerroin

$$QLP := \frac{\epsilon_{LP}}{(\epsilon_{LP} - 1)} \cdot QLTOLP \quad \text{kaava 4.14}$$

$$QLP = 3.503 \times 10^4 \quad \text{kWh}$$

-tuloilman jälkilämmityspatterin energiankulutus Qlämmitystuloilmapatteri

$q_{vtulo} := q_{vpoisto}$ tuloilmavirta

$$q_{vtulo} = 0.627 \quad \text{m}^3/\text{s}$$

lämmöntalteenoton tuloilman vuotuinen lämpötilasuhde

$R_{ww} := 0.9$ Ilmavirtasuhteena R voidaan käyttää arvoa 0,9, ellei tarkempaa tietoa ole

$$\eta_{ta} := \frac{\eta_a}{R} \quad \text{kaava 4.16}$$

$$\eta_{ta} = 0.567$$

1000 = kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi

$T_{tulo} := 15$ **tuloilman lämpötilan asetusarvo jälkilämmityspatterin jälkeen
(yleensä 15 ... 18 °C)**

$$Q_{\text{lämmitystuloilmapatteri}} := \rho_i \cdot c_{pi} \cdot q_{vtulo} \cdot t_d \cdot r \cdot t_v \cdot [T_{tulo} - T_u - \eta_{ta} \cdot (T_s - T_u)] \cdot \frac{\Delta t}{1000}$$

$$Q_{\text{lämmitystuloilmapatteri}} = 6.087 \times 10^3 \quad \text{kWh}$$

5 Käyttöveden lämmitystarve

Laskelmien lähtötietoina tarvitaan vähintään

rakennuksen bruttopinta-ala
(tai henkilöiden lukumäärä)

rakennuksen bruttopinta-ala

$$A_{br} := 19.0 \cdot 11.0$$

$$A_{br} = 209 \quad \text{brm}^2$$

-Käyttöveden lämmityksen tarvitsema lämpöenergia eli nettoenergiantarve
 $Q_{lkvnetto}$

lämpimän käyttöveden kulutus pinta-alaa kohti D5 taulukko 5.1 s.27

arvio lämpimän käyttöveden kulutuksesta = 20 dm³ / brm²
pääasiassa vettä menee vain käsienpesuun

$V_{lkvomin} := 20$ dm³ / brm² lämpimän käyttöveden ominaiskulutus
vuodessa

$\Delta t_1 := 365$ vrk ajanjakson pituus

365 = kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos vuosikulutuksesta vuorokausikulutukseksi,
vuorokautta / vuosi

1000 = kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kuutiometreiksi, dm³ / m³

-lämpimän käyttöveden kulutus V_{lkv}

$$V_{lkv} := V_{lkv\text{omin}} \cdot \text{Abr} \cdot \frac{\Delta t_1}{365 \cdot 1000}$$

kaava 5.3

$$V_{lkv} = 4.18 \quad \text{m}^3$$

käyttöveden lämmityksen tarvitsema lämpöenergia eli nettoenergiatarve
 $Q_{lkv\text{netto}}$

$\rho_v := 1000$	kg /m ³	veden tiheys
$c_{pv} := 4.2$	kJ /kgK	veden ominaislämpökapasiteetti
$T_{lkv} := 55$	°C	lämpimän käyttöveden lämpötila
$T_{kv} := 5$		kylmän käyttöveden lämpötila

Ellei perustelluista syistä ole tarvetta käyttää muita arvoja, käytetään lämpimän ja kylmän veden lämpötilaeron ($T_{lkv}-T_{kv}$) arvoa 50 °C

3600 = kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi, s/h

$$Q_{lkv\text{netto}} := \rho_v \cdot c_{pv} \cdot V_{lkv} \cdot \frac{(T_{lkv} - T_{kv})}{3600}$$

kaava 5.1

$$Q_{lkv\text{netto}} = 243.833 \quad \text{kWh}$$

6 Lämmitysjärjestelmien lämpöhäviöenergiat

Laskelmien lähtötietoina tarvitaan vähintään

Rakennuksen bruttopinta-ala

laskettu ylempänä

Yleistiedot lämmitysjärjestelmistä:

lämmönkehitystapa

hakekattila

lämmönjakotapa

vesipatterit

lämmönluovuttimet

vesipatterit

lämmönvaraajat

6.1 Tilojen lämmitysjärjestelmä

rakennuksen tilojen lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergia

Qlämmitystilathäviöt

lämpöhäviöenergiat voidaan määrittää käyttämällä D5 taulukon 6.1 s.29 vuotuisia ominaislämpöhäviöitä kerrottuna rakennuksen bruttoalalla, ellei selvityksin toisin osoiteta

-tilojen lämmitysjärjestelmän lämmönkehityslaitteiden, lämmityskattiloiden ja lämmönsiirtimien lämpöhäviöenergia

käytetään arvoa 2 kWh/brm² vuodessa. Kuitenkin vähintään arvoa 2000 kWh vuodessa

Qlämmitystilatkehityshäviöt₁ := 2·209

Qlämmitystilatkehityshäviöt₁ = 418 kWh

---> käytetään arvoa Qlämmitystilatkehityshäviöt := 2000 kWh

Q1 := Qlämmitystilatkehityshäviöt

-tilojen lämmitysjärjestelmän lämmönjakeluverkoston lämpöhäviöenergia

käytetään arvoa 5 kWh/brm² Vesiradiaattorit, 70/40 °C, jakojohdot lämmöneristetty

Qlämmitystilatjakeluhäviöt := 5·209

Qlämmitystilatjakeluhäviöt = 1.045 × 10³ kWh

Q2 := Qlämmitystilatjakeluhäviöt

-tilojen lämmitysjärjestelmän lämmönluovuttimien (radiaattori, lattialämmitys) lämpöhäviöenergia

Qlämmitystilatluovutushäviöt := 4·209

Qlämmitystilatluovutushäviöt = 836 kWh

Q3 := Qlämmitystilatluovutushäviöt

-tilojen lämmitysjärjestelmän säätöjärjestelmästä johtuva lämpöhäviöenergia

Qlämmitystilatsäätöhäviöt := 2·209

Qlämmitystilatsäätöhäviöt = 418 kWh

Q4 := Qlämmitystilatsäätöhäviöt

-----EI KÄYTETÄ, KUN EI OLE ERILLISTÄ VARAAJAA-----

-tilojen lämmitysjärjestelmän erillisen lämmitysvesivaraajan lämpöhäviöenergia

ajanjakso := 365·24 h ajanjakson pituus ?
koko vuosi tunteina?

Qlämmitystilavaraajahäviöt := 0.2·ajanjakso

Qlämmitystilavaraajahäviöt = 1.752×10^3 kWh

Q5 := Qlämmitystilavaraajahäviöt

tilojenlämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergia Qlämmitystilathäviöt

kaava 6.1

Qlämmitystilathäviöt = Qlämmitystilakehityshäviöt + Qlämmitystilatjakeluhäviöt +
Qlämmitystilatuovutushäviöt + Qlämmitystilatsäätöhäviöt + Qlämmitystilavaraajahäviöt

KAAVASTA PUUTTUU Qlämmitystilavaraajahäviöt, KUN EI OLE ERILLISTÄ VARAAJAA !!!

Qlämmitystilathäviöt := Q1 + Q2 + Q3 + Q4

Qlämmitystilathäviöt = 4.299×10^3 kWh

6.2 Käyttöveden lämmitysjärjestelmä

-lämpimän käyttöveden lämmönkehityslaitteiden, lämmityskattiloiden ja lämmönsiirtimien lämpöhäviöenergia

Yleensä lämpimän käyttöveden lämmönkehityslaitteiden lämpöhäviöenergiat Q_{lkvkehityshäviöt} sisältyvät lämmityskaudella tilojen lämmityksen kehityshäviöihin, eikä niitä tarvitse erikseen laskea (kohta 6.1.3)

Q_{lkvkehityshäviöt1} := 1·209

Q_{lkvkehityshäviöt1} = 209 kWh

---> käytetään arvoa Q_{lkvkehityshäviöt} := 1000 kWh

-lämpimän käyttöveden kiertojohtoon lämpöhäviöenergia ja kiertojohtoon liitettyjen lämmityslaitteiden tarvitsema lämpöenergia

Ellei tarkempaa tietoa ole käytettävissä, voidaan käyttää D5 taulukossa 6.2 s.32 esitettyjä kiertojohtoon ominaiskulutuksia kerrottuna rakennuksen bruttoalalla

Qlqvkiertohäviötomin := 7 kWh /brm² vuodessa

Qlqvkiertohäviöt := Qlqvkiertohäviötomin · Abr

Qlqvkiertohäviöt = 1.463×10^3 kWh 1463 kWh

-----EI KÄYTETÄ, KUN EI OLE ERILLISTÄ VARAAJAA-----

-lämpimän käyttöveden varaajan lämpöhäviöenergia

Qlqvvaraajahäviöt := 0.075 · ajanjakso

Qlqvvaraajahäviöt = 657 kWh arvio varaajatilavuus
50 dm³ ???

käyttöveden lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergia Qlqvhäviöt

Qlqvhäviöt = Qlqvkehityshäviöt + Qlqvkiertohäviöt + Qlqvvaraajahäviöt kaava 6.2

KAAVASTA PUUTTUU Qlqvkehityshäviöt, KUN EI TARVITSE ERIKSEEN LASKEA
Qlqvvaraajahäviöt, KUN EI OLE ERILLISTÄ VARAAJAA

Qlqvhäviöt := Qlqvkiertohäviöt

Qlqvhäviöt = 1.463×10^3 kWh

7 Laitesähkönkulutus

Laskennan lähtötietona tarvitaan vähintään

Rakennustyyppi
Rakennuksen bruttopinta-ala

7.1 Laitteiden sähköenergiankulutus

rakennuksen laitteiden sähköenergiankulutus Wlaitesähkö

Wlaitesähkö := **Wvalaistus** + Wilmanvaihto + Wmuutlaitteet kaava 7.1

Laskennassa voidaan käyttää taulukossa 7.1 esitettyjä rakennustyyppikohtaisia ominaissähköenergiankulutuksen arvoja, mikäli rakennuksen pinta-alan lisäksi tarkempia tietoja ei ole käytettävissä. Rakennuksen laitteiden sähköenergiankulutus lasketaan ominaissähköenergiankulutuksen ja

bruttopinta-alan tulona

Arvio rakennuksen laitteiden sähköenergiankulutuksesta = 40 kWh / brm² / vuosi
muut laitteet: paineilmakompressori, ajoneuvonosturit 2kpl, tietokone,

Wlaitesähkömin := 40 kWh / brm² / vuosi

Wlaitesähkö := Wlaitesähkömin · Abr

Wlaitesähkö = 8.36×10^3 kWh

8 Lämpökuormat

Laskelmien lähtötietoina tarvitaan vähintään

Rakennustyyppi
Rakennuksen bruttopinta-ala
Lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergiat (luku 6)
Ikkunoiden pinta-alat ilmansuunnittain
ikkunoiden auringon säteilyn läpäisykerroin
Rakennuksen lämpöhäviöenergiat (luku 4)

8.1 henkilöiden luovuttama lämpöenergia

henkilöiden luovuttama lämpöenergia Q_{henk}

Yhden henkilön keskimääräisenä lämpötehona voidaan käyttää arvoa 70 W
kohta 8.1.3

$\phi_{\text{henk}} := 70$ W yhden henkilön luovuttama keskimääräinen lämpöteho

n := 1 henkilöiden lukumäärä

1000 = kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi

oleskeluaika $\Delta t_{\text{oleskelu}}$

k := 0.60 rakennuksen käytönaikainen käyttöaste, joka kuvaa ihmisten keskimääräistä läsnäoloa rakennuksessa

$\Delta t_2 := 8760 \text{ h}$ laskentajakso
koko vuosi tunteina ???

$\Delta \text{toleskelu} := t_d \cdot t_v \cdot k \cdot \Delta t_2$ kaava 8.2

$\Delta \text{toleskelu} = 1.251 \times 10^3 \text{ h}$

$Q_{\text{henk}} := \phi_{\text{henk}} \cdot n \cdot \frac{\Delta \text{toleskelu}}{1000}$ kaava 8.1

$Q_{\text{henk}} = 87.6 \text{ kWh}$

8.2 lämmityslaitteista vapautuva lämpökuormaenergia

-tilojen lämmitysjärjestelmästä rakennuksen sisälle tuleva lämpökuormaenergia

Ellei tarkempaa tietoa ole, on lämpökuormaksi tuleva osuus laskelmissa 70 % tilojen lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergiasta

$Q_{\text{lämmityskuorma}} := 0.7 \cdot Q_{\text{lämmitystilathäviöt}}$ kaava 8.3

$Q_{\text{lämmityskuorma}} = 3.009 \times 10^3 \text{ kWh}$

-käyttöveden lämmitysjärjestelmästä rakennuksen sisälle tuleva lämpökuormaenergia

Ellei tarkempaa tietoa ole, on lämpökuormaksi tuleva osuus laskelmissa 50 % käyttöveden lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergiasta ja 30 % käyttöveden lämmityksen tarvitsemasta lämpöenergiasta

$Q_{\text{lkvkuorma}} := 0.3 \cdot Q_{\text{lkvnetto}} + 0.5 \cdot Q_{\text{lkvhäviöt}}$ kaava 8.4

$Q_{\text{lkvkuorma}} = 804.65 \text{ kWh}$

-valaistuksesta ja sähkölaitteista vapautuva lämpökuormaenergia

Jos sähköenergiankulutus on määritetty taulukon 7.1 mukaan eikä tarkempaan laskentaan tarvittavia tietoja ole käytettävissä, voidaan käyttää D5 taulukossa 8.3 s.42 esitettyjä arvoja

arvio = 16 kWh / brm² / vuosi

$Q_{\text{sähkomin}} := 16 \text{ kWh/brm}^2 \text{ vuodessa}$

$Q_{s\grave{a}h} := Q_{s\grave{a}hkomin} \cdot Abr$

$Q_{s\grave{a}h} = 3.344 \times 10^3 \quad kWh$

8.4 Ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva auringon säteilyenergia

Auringon kokonaissäteilyenergiat (Gsäteily, vaakapinta ja Gsäteily, pystypinta) ja säteilyenergian muuntokertoimet (Fsuunta) ilmansuunnittain ja kuukausittain eri säävyöhykkeille D5 Liite1 LI.4 s.59 esitetään liitteessä 1

säävyöhyke 3

Auringon kokonaissäteilyenergia vaakatasolle

Gsäteilyvaakapinta := 839 kWh /m²

Auringon kokonaissäteilyenergia pystypinnoille eri ilmansuuntiin

Gsäteilypystypinta1 := 446.7 koillinen kWh /m²

Gsäteilypystypinta2 := 689.2 lounas

Muunnoskerroin Fsuunta, jolla vaakatasolle tuleva auringon kokonaissäteilyenergia muunnetaan pystypinnalle tulevaksi kokonaissäteilyenergiaksi eri ilmansuunnissa

Fsuunta1 := 0.532 koillinen

Fsuunta2 := 0.821 lounas

ikkunaukon pinta-ala (kehys ja karmirakenteineen)

Aikk := 0.9·0.6·6 molempiin suuntiin 6 ikkunaa

Aikk = 3.24 m² kuuden ikkunan yhteispinta-ala

-ikkunan valoaukon kohtisuoran auringonsäteilyn kokonaisläpäisykerroin

arvona käytetään D5 taulukon 8.4 s.43 arvoja

gkohtisuora := 0.55 Eristyslasi, matalaemissiviteettipinnoite + erillislasi (1,0 - 1,4)

valoaukon auringon kokonaissäteilyn läpäisykerroin g

$g := 0.9 \cdot g_{\text{kohtisuora}}$

kaava 8.7

$g = 0.495$

-kehäkerroin

Kehäkertoimena voidaan käyttää arvoa $F_{\text{kehä}} = 0,75$, jos tarkempaa tietoa ei ole

$F_{\text{kehä}} := \frac{\text{Aikkvaloaukko}}{\text{Aikk}}$ ikkunan valoaukon pinta-ala, m²
ikkuna-aukon pinta-ala
(kehys ja karmirakenteineen), m²

$F_{\text{kehä}} := 0.75$

-verhokerroin

D5 Taulukossa 8.5 s.44 esitetään tyypillisiä verhokertoimen F_{verho} arvoja

$F_{\text{verho}} := 1$ ei verhoa

Taulukoissa 8.6 - 8.8 annetaan arvoja varjostusten korjauskertoimille eri ilmansuuntien ja varjostuskulmien mukaan. Varjostuskulmat määritetään ikkunan keskipisteestä varjostavaan rakenteeseen

-ikkunan varjostusten korjauskerroin $F_{\text{varjostus}}$

$F_{\text{ympäristöitä}} := 0.55$ itä keskiarvo koko vuosi

$F_{\text{ympäristölänsi}} := 1.0$ länsi ei varjostusta

Fylävarjostusitä := 1.0 itä ei varjostusta
Fylävarjostuslänsi := 1.0 länsi ei varjostusta

Fsivuvarjostusitä := 1.0 itä ei varjostusta
Fsivuvarjostuslänsi := 1.0 länsi ei varjostusta

Fvarjostusitä := Fympäristöitä · Fylävarjostusitä · Fsivuvarjostusitä
Fvarjostusitä = 0.55

kaava 8.10

Fvarjostuslänsi := Fympäristölänsi · Fylävarjostuslänsi · Fsivuvarjostuslänsi
Fvarjostuslänsi = 1

Fvarjostuskeskiarvo := $\frac{(Fvarjostusitä + Fvarjostuslänsi)}{2}$

Fvarjostuskeskiarvo = 0.775

Fvarjostus := Fvarjostuskeskiarvo

-säteilyn läpäisyn kokonaiskorjauskerroin

Fläpäisy := Fkehä · Fverho · Fvarjostus

kaava 8.8

Fläpäisy = 0.581

ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva auringon säteilyenergia Qaur

$Qaur = \Sigma G_{\text{säteilyvaakapinta}} \cdot F_{\text{suunta}} \cdot Fläpäisy \cdot A_{\text{ikk}} \cdot g = \Sigma G_{\text{säteilypystypinta}} \cdot Fläpäisy \cdot A_{\text{ikk}} \cdot g$

Qaur2 := G_{säteilypystypinta1} · Fläpäisy · A_{ikk} · g koillinen

Qaur22 := G_{säteilypystypinta2} · Fläpäisy · A_{ikk} · g lounas

Qaur2 = 416.418 kWh

Qaur22 = 642.478

Qaur := Qaur2 + Qaur22

Qaur = 1.059×10^3 kWh koko vuosi

8.5 Lämpökuormista hyödynnettävä energia

rakennuksen lämpökuormaenergia $Q_{\text{lämpökuorma}}$

$$Q_{\text{lämpökuorma}} := Q_{\text{henk}} + Q_{\text{lämmityskuorma}} + Q_{\text{lkvkuorma}} + Q_{\text{säh}} + Q_{\text{aur}}$$

kaava 8.11

$$Q_{\text{lämpökuorma}} = 8.304 \times 10^3 \text{ kWh}$$

-rakennuksen lämpöhäviöenergia

$$Q_{\text{lämpöhäviö}} = Q_{\text{joht}} + Q_{\text{vuotoilma}} + Q_{\text{iv}} (- Q_{\text{lämmitystuloilmapatteri)})$$

kaava 8.17

$$Q_{\text{lämpöhäviö}} := Q_{\text{joht}} + Q_{\text{vuotoilma}} + Q_{\text{iv}} - Q_{\text{lämmitystuloilmapatteri}}$$

$$Q_{\text{lämpöhäviö}} = 2.321 \times 10^4 \text{ kWh}$$

Suhdeluku γ

$$\gamma := \frac{Q_{\text{lämpökuorma}}}{Q_{\text{lämpöhäviö}}}$$

kaava 8.16

$$\gamma = 0.358$$

$\gamma < 1$ = perustapaus
 $\gamma = 1$ = erikoistapaus

-rakennuksen ominaislämpöhäviö H

$$T_s = 17 \quad \text{°C} \quad \text{sisäilman lämpötilä}$$

$$T_u = 2.76 \quad \text{ulkoilman lämpötilä}$$

$$\Delta t = 8.76 \times 10^3 \quad \text{h} \quad \text{ajanjakson pituus}$$

1000 = kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos wateiksi

$$H := \frac{Q_{\text{lämpöhäviö}}}{(T_s - T_u) \cdot \Delta t} \cdot 1000$$

kaava 8.19

$$H = 186.077 \quad \text{W /K}$$

-Rakennuksen sisäpuolinen tehollinen lämpökapasiteetti Crak

arvona voidaan käyttää D5 taulukon 8.9 s.49 arvoja Crak omin kerrottuna bruttopinta-alalla, ellei tarkempaa tietoa ole käytettävissä

muut rakennukset ---> sovelletaan taulukon arvoja

---> pientalot - keskiraskas 1 - US, VS, YP kevyitä rankarakenteita, AP betoni

$$\text{Crakomin} := 70 \quad \text{Wh / (brm}^2 \text{ K)}$$

$$\text{Crak} := \text{Crakomin} \cdot \text{Abr}$$

$$\text{Crak} = 1.463 \times 10^4 \quad \text{Wh}$$

aikavakio τ

$$\tau := \frac{\text{Crak}}{H}$$

kaava 8.18

$$\tau = 78.623 \quad \text{rakennuksen aikavakio, h}$$

a on numeerinen parametri, joka riippuu aikavakiosta τ

$$a := 1 + \frac{\tau}{15}$$

kaava 8.15

$$a = 6.242$$

Lämpökuormien lämpöenergian hyödyntämisaste

$$\eta_{\text{lämpö}} := \frac{1 - \gamma^a}{1 - \gamma^{a-1}}$$

kaava 8.13

perustapaus

$$\eta_{\text{lämpö}} = 1.003$$

rakennuksen lämpökuormien lämpöenergia, joka hyödynnetään lämmityksessä Qsislämpö

$$Q_{\text{sislämpö}} := \eta_{\text{lämpö}} \cdot Q_{\text{lämpökuorma}}$$

$$Q_{\text{sislämpö}} = 8.329 \times 10^3 \text{ kWh}$$

3 Lämmitysenergiankulutus

Laskelmien lähtötietoina tarvitaan vähintään

Rakennuksen lämpöhäviöenergiat
Lämmitysjärjestelmien hyötysuhteet
Lämmityksessä hyödynnettävät lämpökuormat
Lämmitysjärjestelmien lämpöhäviöenergiat
Rakennuksen sähköenergiankulutus
Rakennuksen jäähdytysenergian tarve

-rakennuksen laitteiden sähköenergiankulutus

$$W_{\text{laitesähkö}} = 8.36 \times 10^3 \text{ kWh}$$

sähköntuotto ja muuntolaitteen vuosihyötysuhde

Ellei laitteen valmistajan ilmoittamaa varmennettua vuosihyötysuhdetta ole käytettävissä, voidaan käyttää arvoa 1

$$\eta_{\text{sähkö}} := 1$$

-rakennuksen ostettavan laitesähköenergian kulutus

$$W_{\text{laitesähköosto}} := \frac{W_{\text{laitesähkö}}}{\eta_{\text{sähkö}}}$$

kaava 3.4

$$W_{\text{laitesähköosto}} = 8.36 \times 10^3 \text{ kWh}$$

-rakennuksen ostettavan (sähkömittarin kautta tulevan) sähköenergian kokonaiskulutus

kaava 3.1

$W_{\text{sähköosto}} = W_{\text{laitesähköosto}} + W_{\text{lämmityssähköosto}} + W_{\text{jäähdytys­sähköosto}}$

KAAVASTA PUUTTUU $W_{\text{lämmityssähköosto}}$, KUN EI LÄMMITETÄ SÄHKÖLLÄ
 $W_{\text{jäähdytys­sähköosto}}$, KUN EI OLE JÄÄHDYTYSTÄ

$W_{\text{sähköosto}} := W_{\text{laitesähköosto}}$

$W_{\text{sähköosto}} = 8.36 \times 10^3 \quad \text{kWh}$

3.2 Rakennuksen energiankulutus

-rakennuksen tilojen lämmityksen nettoenergiantarve

$Q_{\text{lämmitystilatnetto}} := Q_{\text{joht}} + Q_{\text{vuotoilma}} + Q_{\text{iv}} - Q_{\text{sislämpö}}$ kaava 3.9

$Q_{\text{lämmitystilatnetto}} = 2.097 \times 10^4 \quad \text{kWh}$

-----EI KÄYTETÄ, KUN EI OLE LÄMPÖPUMPPUA-----

-poistoilmalämpöpumpun varaajaan siirtämä ja tilojen lämmityksessä hyödynnetty energia

$Q_{\text{LPtilat}} := Q_{\text{LP}}$ kaava 4.14

$Q_{\text{LPtilat}} = 3.503 \times 10^4 \quad \text{kWh}$

-rakennuksen tilojen lämmitysenergiankulutus

$Q_{\text{lämmitystilat}} = Q_{\text{lämmitystilatnetto}} + Q_{\text{lämmitystilathäviöt}} - Q_{\text{LPtilat}}$ kaava 3.8

KAAVASTA PUUTTUU Q_{LPtilat} , KUN EI OLE LP:A

$Q_{\text{lämmitystilat}} := Q_{\text{lämmitystilatnetto}} + Q_{\text{lämmitystilathäviöt}}$

$Q_{\text{lämmitystilat}} = 2.527 \times 10^4 \quad \text{kWh}$

-käyttöveden lämmityksen energiankulutus

kaava 3.10

$$Q_{lkv} = Q_{lkvnetto} + Q_{lkvhäviöt} - Q_{LPikv}$$

KAAVASTA PUUTTUU Q_{LPikv} , KUN EI OLE LP:A

$$Q_{lkv} := Q_{lkvnetto} + Q_{lkvhäviöt}$$

$$Q_{lkv} = 1.707 \times 10^3 \quad \text{kWh}$$

3.3 Lämmitysenergia

rakennuksen lämmitysenergiankulutus $Q_{lämmitys}$

kaava 3.7

$$Q_{lämmitys} = Q_{lämmitystilat} + Q_{lkv} + Q_{LP/\epsilon LP}$$

KAAVASTA PUUTTUU $Q_{LP} / \epsilon LP$, KUN EI OLE LP:A

$$Q_{lämmitys} := Q_{lämmitystilat} + Q_{lkv}$$

$$Q_{lämmitys} = 2.698 \times 10^4 \quad \text{kWh}$$

3.1 Ostoenergiat

lämmöntuottolaitteen vuosihyötysuhde

ellei laitteen valmistajan ilmoittamaa varmennettua vuosihyötysuhdetta ole käytettävissä, voidaan käyttää D5 taulukossa 3.1 s.14 esitettyjä arvoja

$$\eta_{lämmitys} := 0.80 \quad \text{hakekattilat}$$

-rakennuksen ostettavan lämmitysenergian kulutus

$$Q_{lämmitysosto} := \frac{Q_{lämmitys}}{\eta_{lämmitys}}$$

kaava 3.1

$$Q_{lämmitysosto} = 3.372 \times 10^4 \quad \text{kWh}$$

käytetyn polttoaineen tehollinen lämpöarvo, kWh/polttoaineen mittayksikkö

Polttoaineiden teholliset lämpöarvot D5 taulukko 3.2 s.14

polttohake

$$Q_{\text{polttoaineomin}} := 900 \quad \text{kWh /irto-m}^3$$

-rakennuksen ostettavaa lämmitysenergiaa vastaava polttoainemäärä

$$P_{\text{Alämmitysosto}} := \frac{Q_{\text{lämmitysosto}}}{Q_{\text{polttoaineomin}}} \quad \text{kaava 3.2}$$

$$P_{\text{Alämmitysosto}} = 37.466 \quad \text{irto-m}^3 \quad \text{polttoaineen mittayksikkö}$$

3.2 rakennuksen energiankulutus Erakennus

$$\text{Erakennus} = Q_{\text{lämmitys}} + W_{\text{laitesähkö}} + Q_{\text{jäähdytystilat}} \quad \text{kaava 3.6}$$

PUUTTUU KAAVASTA Q_{jäähdytystilat}, KUN EI OLE JÄÄHDYTYSTÄ

$$\text{Erakennus} := Q_{\text{lämmitys}} + W_{\text{laitesähkö}}$$

$$\text{Erakennus} = 3.534 \times 10^4 \quad \text{kWh}$$

Arvot energiatodistukseen

-Lämmitysenergia

rakennuksen lämmitysenergiankulutus

$$Q_{\text{lämmitys}} = 2.698 \times 10^4$$

TÄMÄ ARVO!

rakennuksen ostettavan lämmitysenergian kulutus

$$Q_{\text{lämmitysosto}} = 3.372 \times 10^4$$

-Sähköenergia

rakennuksen laitteiden sähköenergiankulutus

$$W_{\text{laitesähkö}} = 8.36 \times 10^3$$

TÄMÄ ARVO!

---> arvot samat, kun vuosihyötysuhde $\eta_{\text{sähkö}} = 1$

rakennuksen ostettavan (sähkölaitteiden kautta tulevan)
sähköenergian kokonaiskulutus

$$W_{\text{sähköosto}} = W_{\text{laitesähköosto}} = 5,225 \times 10^3$$

Rakennuksen lämpöhäviön tasauslaskenta

tasauslaskentaopas 2010, ympäristöministeriö

Rakennuksen pinta-alojen ja tilavuuksien määrittäminen

kohta (3.2)

Lämpöhäviöiden tasauslaskelmissa tarvittavat rakennuksen pinta-alat ja tilavuudet

$V := 869.7$	m^3	rakennuksen ilmatilavuus
4,5	m	huonekorkeus
4,985		kerroskorkeus
		julkisivupinta-ala
209	m^2	maanpäällisten kerrosten kerrostasoala
1094,115	m^3	rakennustilavuus

Rakennuksen vaipan lämpöhäviön laskenta

Rakennusosien pinta-alojen määrittäminen

Lämpöhäviöiden tasauslaskelmissa tarvittavat vaipan eri rakennusosien pinta-alat kokonaissisämittojen mukaan

seinän sisämitat

$h := 4.535$ korkeus

$l_{pidempi} := 18.524$ pituus

$l_{lyhempi} := 10.524$

ikkunat	Aikkunat := 12·0.7·0.9	Aikkunat = 7.56	m ²
ovet	ovi1 := 3.2·3.7	hallin nosto-ovi	
	ovi2 := 1.0·2.1	hallin ulko-ovi	
	ovi3 := 2.5·1.5	polttoainevaraston ovi	
	ovi4 := 0	kattilahuoneen ovi	
	Aovet := ovi1 + ovi2 + ovi3 + ovi4		
		Aovet = 17.69	m ²
ulkoseinä	Aulkoseinä := (2·h·lpidempi) + (2·h·llyhempi) – Aikkunat – Aovet		
		Aulkoseinä = 238.215	m ²
yläpohja	Ayläpohja := 10.524·18.524	Ayläpohja = 194.947	m ²
alapohja	Aalapohja := 10.524·18.524	Aalapohja = 194.947	m ²

Rakennuksen vuotoilman lämpöhäviön laskenta

$\rho_i := 1.2$	kg /m ³	ilman tiheys
$c_{pi} := 1000$	Ws /(kgK)	ilman ominaislämpökapasiteetti

kohta (3.3.2)

Jos ilmanpitävyyttä ei osoiteta mittaamalla tai muulla menettelyllä, käytetään rakennuksen suunnitteluratkaisun lämpöhäviön laskennassa rakennuksen vuotoilmakerroinena arvoa $n_{vuotoilma} = 0,16$ 1/h, mikä vastaa ilmanvuotolukua $n_{50} = 4,0$ 1/h

rakennuksen vuotoilmakerroin, kertaa tunnissa, 1/h

$n_{vuotoilma} := 0.16$

vuotoilmavirta

yhtälö (3)

$$q_{vvuotoilma} := n_{vuotoilma} \cdot \frac{V}{3600}$$

$$q_{vvuotoilma} = 0.039 \quad m^3 / s$$

vuotoilman ominaislämpöhäviö

yhtälö (2)

$$H_{vuotoilma} := \rho_i \cdot c_{pi} \cdot q_{vvuotoilma}$$

$$H_{vuotoilma} = 46.384 \quad W / K$$

Ilmanvaihdon lämpöhäviön laskenta

*Rakennuksen energiankulutuksen laskennassa käytetään yleensä ilmanvaihdon ilmavirtana rakennuksen **ilmanvaihtojärjestelmän poistoilmavirtaa**. Ilmanvaihdon tarpeenmukainen käyttö otetaan huomioon laskelmissa käyntiaikatekijöillä. Ilmanvaihdon ilmavirta ja käyntiaika ovat vertailulämpöhäviön ja suunnitteluratkaisun lämpöhäviön laskennassa samoja.*

ilmanvaihdon poistoilmavirta $q_{v,poisto}$ määritetään osan D2 mukaan ilmavirtojen ohjearvoja

$$0,35 \text{ dm}^3/s / m^2$$

asuintilat: varasto s.28

$$3,0$$

työtilat: autokorjaamo, katsastustila s.33

$$0,9$$

moottoriajoneuvosuoja, tila jossa ei työskennellä jatkuvasti s.35

$$q_{vpoisto} := 0.9 \cdot 10^{-3} \cdot 209$$

$$q_{vpoisto} = 0.188 \quad m^3 / s \quad \text{poistoilmavirta}$$

8 tuntia päivässä
5 päivänä viikossa

$$t_d := \frac{8}{24}$$

$$t_d = 0.333$$

ilmanvaihtojärjestelmän keskimääräinen
vuorokautinen käyntiaikasuhde, h/24h

$$t_v := \frac{5}{7}$$

$$t_v = 0.714$$

ilmanvaihtojärjestelmän viikoittainen
käyntiaikasuhde vkr /7vkr

$$r := 0.93$$

muuntokerroin, joka ottaa huomioon
ilmanvaihtojärjestelmän vuorokautisen käyntiajan,
kerroin r = 1.00 ympärivuorokautisessa käytössä
0.93 päiväaikaisessa käytössä
1.07 yöaikaisessa käytössä

ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde η_a , joka on lämmöntalteenottolaitteistolla vuodessa talteenotettavan ja hyödynnettävän energian suhde ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemaan energiaan, kun lämmöntalteenottoa ei ole.

$$\eta_a := 0.51$$

Vallox 280se

$\eta_a = 70\%$
sertifikaatti

$\eta_a = 51\%$ kun keskimääräinen poistoilmavirta $175 \text{ dm}^3 / \text{s}$

Vertailulämpöhäviön laskennassa käytetään ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteena arvoa 45% .

ilmanvaihdon ominaislämpöhäviö

$$H_{iv} := \rho_i \cdot c_{pi} \cdot q_{vpoisto} \cdot t_d \cdot r \cdot t_v \cdot (1 - \eta_a)$$

$$H_{iv} = 24.491 \quad \text{W /K}$$

ilmanvaihdon poistoilmavirta $q_{v,p} \text{ m}^3/\text{s}$

Tasauslaskin 2010 (exel) syötettävä arvo
 $q_{v,p}$ = sisältää käyntiaikatekijät

$$q_{v,p} = q_{vpoisto} \cdot t_d \cdot r \cdot t_v$$

$$q_{v,p} = 0,188 \cdot 0,333 \cdot 0,93 \cdot 0,714$$

$$q_{v,p} = 0,041570308$$