

Tuulikki Maanpää

# Timbesys-rakennejärjestelmällä toteutetun rungon jäykkyys

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikka

Insinöörityö

15.11.2014

Tekijä Otsikko	Tuulikki Maanpää Timbesys-rakennejärjestelmällä toteutetun rungon jäykkyys
Sivumäärä Aika	43 sivua 15.11.2014
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Rakennustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Rakennetekniikka
Ohjaajat	Toimitusjohtaja Jari Salminen Lehtori Timo Leppänen
<p>Insinööriyössä tutkittiin Timbesys-rakennejärjestelmän rungon toimintaa. Lisäksi tutkittiin puukerrostaloja ja niiden eri runkojärjestelmäratkaisuja. Insinööriyön tavoitteena oli saada selville, toimiiko Timbesys-rakennejärjestelmällä toteutettu runko toivotulla tavalla asennusvaiheessa ja lopullisessa tilanteessa.</p> <p>Timbesys-rakennejärjestelmän rungon toimintaa tutkittiin luomalla rakennejärjestelmän elementit Autodesk Revit -ohjelmalla ja viemällä luotu malli Autodesk Robot Structural Analysis Professional -laskentaohjelmaan rakenneanalyysia varten. Laskenta-analyysin avulla haluttiin saada selville voidaanko Timbesys-rakennejärjestelmän runkoa asentaa kaksi kerrosta kerrallaan ilman jäykistystä.</p> <p>Insinööriyön lopputuloksena saatiin Autodesk Revit -ohjelmaan valmiit elementit Timbesys-rakennejärjestelmän toteuttamiselle. Lisäksi saatiin selville Autodesk Revit ja Autodesk Robot Structural Analysis Professional -ohjelmien yhteistoimintaa. Laskentamalleista saatiin tuloksena, että Timbesys-rakennejärjestelmällä toteutettu runko kestää rakennusajana ja lopullisessa tilanteessa, kun asennetaan kaksi kerrosta kerrallaan ilman jäykistystä.</p>	
Avainsanat	Timbesys-rakennejärjestelmä, tietomallinnus, runkojärjestelmät

Author Title	Tuulikki Maanpää the Frame Stiffness of Timbesys Structural System
Number of Pages Date	43 pages 15 November 2014
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Specialisation option	Structural Engineering
Instructors	Jari Salminen, Chief Executive Officer Timo Leppänen, Senior Lecturer
<p>In this thesis, the function of frame structure of Timbesys structural system was researched. In addition, the wooden block of flats and their different frame systems were also studied. The aim of this thesis was to research if Timbesys structural system works as expected during construction and as a completed structure.</p> <p>The study was made by designing elements of Timbesys structural system using software <i>Autodesk Revit</i> and exporting the created model to <i>Autodesk Robot Structural Analysis Professional</i> for structural analysis. The aim of the structural analysis was to study if Timbesys structural system works without bracing when you assemble two floors at once.</p> <p>As a result of the work, elements of the Timbesys structural system were created with <i>Autodesk Revit</i>. Besides, interoperability of <i>Autodesk Revit</i> and <i>Autodesk Robot Structural Analysis Professional</i> was studied. From the models analysis, we come to learn that Timbesys structural system works during construction and as a complete structure without bracing when you assemble two floors at once.</p>	
Keywords	Timbesys structural system, information modeling, framed system

## Sisällys

### Käsitteitä

1	Johdanto	1
2	Puukerrostalorakentaminen Suomessa	2
2.1	RunkoPES	4
3	Puukerrostalojen runkojärjestelmäratkaisut	5
3.1	Kantavat seinät -järjestelmä	5
3.2	Pilari-palkkijärjestelmä	6
3.3	Rungon elementointi	7
3.4	Yhdistelmärakenteet	9
4	Timbesys-rakennejärjestelmä	10
5	Tietomallinnus	16
5.1	Tietomallintamisen hyödyntäminen Timbesys-rakennejärjestelmässä	16
5.2	Insinööriyössä käytetyt ohjelmat	16
5.3	Työnkulku	17
5.4	<i>Robot Structural Analysis Link</i> -toiminnossa huomioitavia asioita	20
6	Rungon jäykkyys eri asennusvaiheissa	22
6.1	Vaikuttavat kuormitukset	24
6.2	Rungon jäykkyys kaksikerroksisena pilari-palkkirunkona	25
6.3	Rungon jäykkyys 2-kerroksisena jäykistävien rakenteiden kanssa	29
6.4	Rungon jäykkyys 4-kerroksisena ilman ylempien kerroksien jäykistäviä rakenteita	32
6.5	Rungon lopullinen jäykkyys	36
6.6	Runko onnettomuustilanteessa	40
6.7	Johtopäätökset	42
7	Yhteenveto	43
	Lähteet	44
	Liitteet	
	Liite 1. Kuormien laskenta	
	Liite 2. Kaksikerroksisen Timbesys-koestusmallin rakennepiirustukset	

## Käsitteitä

Autodesk Revit	Tietomallipohjaiseen suunnitteluun perustuva ohjelma, jolla luodaan kolmiulotteinen malli.
Autodesk Revit Family	Autodesk Revit -mallinnusohjelman graafinen objektieditori, jolla voidaan muokata tai luoda uusia objekteja Revit-ohjelmaan.
Autodesk Robot Structural Analysis Professional	FEM-menetelmään perustuva ohjelma, jolla voidaan tehdä rakenneanalyysyjä.
Eurokoodi	Eurooppalainen suunnittelustandardi.
FEM-laskenta	<i>Finite Element Method</i> , Elementtimenetelmään perustuva numeerinen laskentamenetelmä.
Kertopuu	Viilupuun kaupp nimi. Kertopuu on havupuuviiluista liimamalla valmistettu teollinen puutuote.
Liimapuu	Puisista lamelleista tai laudoita yhteenliimaamalla valmistettu elementti.
Robot Structural Analysis Link	Autodesk Revit -ohjelman käsky, joka linkittää Revit-ohjelmalla luodun analyttisen mallin Autodesk Revit -ohjelmasta Autodesk Robot Structural Analysis Professional -ohjelmaan.
Runko-PES	Puelementtirakentamisen teollisuusstandardi, joka sisältää yhtenäisiä periaatteita ja suosituksia puurakenteiden suunnittelulle.

Tietomalli	Rakennuksen tietojen kokonaisuus digitaalisessa muodossa, englanniksi <i>Building Information Model</i> (BIM).
Tietomallintaminen	Suunnittelutyön toimintatapa rakentamisen ja rakennuksen tietojen hallitsemiseksi digitaalisessa muodossa. Tietomallintamiseen liittyy myös rakennuksen geometrian määrittäminen ja kolmiulotteisuus.
Timbesys-rakennejärjestelmä	Pilari-palkkirunkoinen puuelementtirakentamiseen perustuva järjestelmä nopeaan ja tehokkaaseen puurakentamiseen.
Timbesys	Tuotemerkki, jonka omistaa Jari Salminen ja Yrjö Suonto.

## 1 Johdanto

Tässä insinööriyössä tutkitaan, miten Timbesys-rakennejärjestelmällä toteutettu korkeintaan nelikerroksisen rakennuksen runko toimii asennuksen eri vaiheissa ja lopullisena rakenteena. Tutkimukseen kuuluu myös rakennejärjestelmän elementtien mallintaminen Autodesk Revit -mallinnusohjelmalla. Timbesys-rakennejärjestelmän rungon jäykkyyttä tutkitaan Autodesk Robot Structural Analysis Professional -laskentaohjelman avulla. Laskentaohjelmalla saatuja tuloksia verrataan toisiinsa ja niillä selvitetään rungon toiminta asennusaikana ja lopullisena rakenteena. Lisäksi rakennejärjestelmää tutkitaan onnettomuustilanteessa.

Insinööritoimisto Kimmo Kaitila Oy on rakennesuunnitteluun erikoistunut yritys, joka tekee julkisten-, liikerakennusten ja teollisuusrakennusten rakennesuunnittelua. Yritys on ollut mukana kehittämässä Timbesys-rakennejärjestelmää, joka on esivalmisteisten liimapuutuotteiden käyttöön perustuva rakentamismenetelmä. Rakennejärjestelmä perustuu RunkoPES, puuelementtirakentamisen teollisuusstandardiin ja siinä hyödynnetään tietomallipohjaista suunnittelu- ja rakentamistapaa.

## 2 Puukerrostalorakentaminen Suomessa

Puukerrostalojen rakentaminen on aloitettu Suomessa 1990-luvulla. Suomen ensimmäinen puukerrostalo on rakennettu Ylöjärvelle vuonna 1996. Kiinteistö Oy Ylöjärven vuokratalot -kohteessa on kolme 2 - 3 -kerroksista puukerrostaloa ja sen pystyrunko on rakennettu viilupuisista pilareista ja palkeista. Rakennusten kantavat linjat sijaitsevat rakennuksen päädyissä ja huoneistojen välisten seinien kohdilla. Kuvassa 1 näkyy yksi kolmesta kohteen rakennuksista. [1.]



Kuva 1. Kiinteistö Oy Ylöjärven vuokratalot [1].

Seuraavana vuonna Suomeen rakennettiin neljä puukerrostalokohdetta, jotka koostuvat yhteensä 15 talosta. Rakennusten korkeudet vaihtelevat kahdesta neljään kerrokseen ja ne sijaitsevat Helsingissä (Kiinteistö Oy Viikinmansio), Oulussa (Kiinteistö Oy Puukotka), Tuusulassa (Tuusulan Hyrylän puukerrostalot) ja Raisiossa (Raision asuntomessujen 1997 puukerrostalot). Yhteensä Suomeen on rakennettu 39 asuinpuukerrostaloa ja neljä toimistupuukerrostaloa (6.11.2014). Viimeisin puukerrostalorakenteinen työpaikkarakennus on Suomen Luontokeskus Haltia, joka on Espoon Nuuksioon 2013 rakennettu 3300 neliömetrin kokoinen luontokeskus. Haltia on rakennettu Stora



Enson ja sen tytäryhtiön Eridomic Oy:n CLT-tekniikalla suurelementeistä. Haltia on ensimmäinen Suomessa rakennettu julkinen rakennus, jossa on käytetty CLT-puuelementtitekniikkaa. [1, 2.]

Suomen korkeimpia puukerrostaloja on Seinäjoella sijaitseva 6-kerroksinen puulevyistä ja tilaelementeistä rakennettu asuinkerrostalo. Kuvassa 2 on esitetty kyseinen kohde vastavalmistuuneena. Toiseksi korkein puukerrostalo on Asunto Oy Heinolan Puumera, joka on vuonna 2011 valmistunut 5-kerroksinen asuinpuukerrostalo. Keväällä 2014 oli suunnitteilla 32 uutta puukerrostalomiljö - kohdetta, joista useissa oli suunnitteilla jo 8-kerroksisia taloja. Tällä hetkellä Jyväskylään rakennetaan 8-kerroksista puukerrostaloa, joka saavutti harjakorkeuden syyskuussa 2014. [1, 3.]



Kuva 2. Seinäjoen Lintuviita [4].

Puukerrostalon yhtenä suurimmista etuuksista verrattuna kivitälöön pidetään rungon keveyttä. Puukerrostalon omapaino on noin puolet kivitälöön painosta. Muita etuuksia verrattuna kivitälöön on ekologisuus, kotimaisuus ja työstettävyys. Myös kylmäsiltojen eliminoiminen on helpompaa puurakenteissa, joissa runko itsessään ei aiheuta kylmäsiltaa. Keveän rakenteen ansiosta voidaan esimerkiksi säästää perustamiskustannuksissa ja helpottaa työstettävyyttä. Puukerrostalorakentaminen tuo

kuitenkin myös ongelmia, sillä materiaalissa on muun muassa otettava huomioon palosuojaus ja lahoaminen. [5, 6.]

## 2.1 RunkoPES

Rungon puuelementtistandardi eli RunkoPES on avoin puuelementtirakentamisen teollisuusstandardi. RunkoPES sisältää yhteinisiä periaatteita ja suosituksia suunnittelulle ottamatta kantaa rakennuksen toteuttajaan tai siihen kenen ratkaisuja tullaan käyttämään. Standardin periaatteina on, että tilaaja voi kilpailuttaa eri ratkaisutarjoajat ja runkojärjestelmät vertailukelpoisesti ja että toimittajat pystyvät tarjoamaan kohteen tasarvoisesti ja kustannustehokkaasti. [7, s. 34, 8, s. 2.]

Rungon puuelementtistandardin tarkoituksena on muun muassa

- tehdä puurakentamisen tuotantoprosessia sujuvammaksi ja yhdenmukaiseksi
- helpottaa tarvittavien viranomaishyväksyntöjen saamista
- antaa yhteiset pelisäännöt puuelementtien toimitussisältöihin ja sopimusehtoihin
- luoda yhtenäiset kriteerit puuelementtirakentamisen suunnittelun ja toteutuksen laadulle.

RunkoPES sisältää myös esimerkkejä rakennetyypeistä ja liittymädetaljeista. Standardissa on pyritty mahdollisimman joustavaan järjestelmään ja se vakioi ainoastaan elementtien reunojen muodon, kiinnitys- ja tiivistysperiaatteet sekä moduliviivojen aseman suhteessa rakenteeseen. Järjestelmä antaa myös suosituksia esimerkiksi rakennepaksuuksista, jännemitoista ja kerroskorkeudesta. [7, s. 37-38, 8, s. 2.]

### 3 Puukerrostalojen runkojärjestelmäratkaisut

Puukerrostalossa käytetty runkojärjestelmä vaikuttaa rakennuksen tilojen, muodon ja aukotuksen suunnitteluun. Rakentamisjärjestelmän valinta määrittää myös asuntojen muunneltavuutta ja yhdistettävyyttä sekä vaikuttaa rungon pystytykseen ja jäykistykseen.

Puukerrostalojen rakentamisessa ollaan koko ajan siirtymässä enemmän teolliseen rakentamiseen. Yhä useammissa järjestelmissä on pitkälle viety teollinen esivalmistus ja rakenteiden elementointia. Teollisen rakentamistavan etuja ovat esimerkiksi mittatarkkuus, rakenteen nopeampi kokoaminen ja materiaalihukan väheneminen. [7, s. 30 ja 32.]

Puukerrostaloissa käytetyt rakennejärjestelmät jaetaan eri luokkiin niiden runkoratkaisujen ja järjestelmissä käytettyjen rakenteiden elementoinnin mukaan. Runkoratkaisujen mukaisessa jaottelussa rakennejärjestelmät jaetaan kantavaseinäisiin ja pilari-palkkirakenteisiin ja rakenteiden elementoinnin mukaisessa jaottelussa taso- ja tilaelementtijärjestelmiin. Puukerrostaloissa käytettyjä runkojärjestelmiä ovat kantavat seinät -järjestelmä, pilari-palkkijärjestelmä, kantavan rungon sekajärjestelmät ja rungon elementointi. [7, s. 30.]

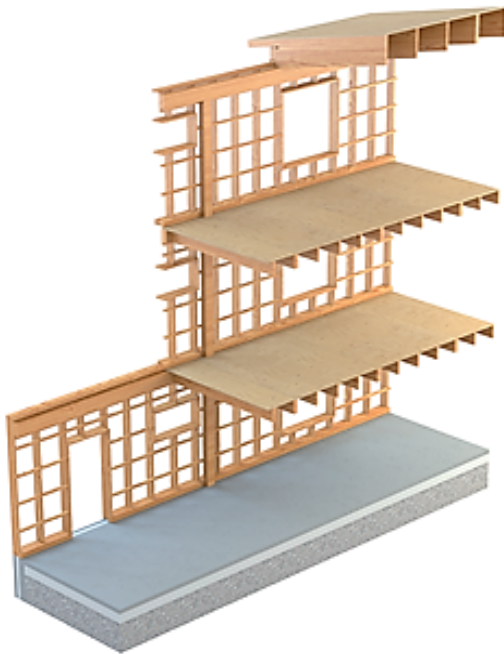
#### 3.1 Kantavat seinät -järjestelmä

Kantavat seinät -järjestelmä on tällä hetkellä yleisimmin käytetty puukerrostalojen runkojärjestelmä. Järjestelmässä kantavina rakenteina toimivat usein ulkoseinät ja osa väliseinistä. Järjestelmän jäykistykseenä toimivat rakenteen seinät. [7, s. 39.]

Kantavat seinät -järjestelmä toimii hyvin lyhyen jännemitan rakennuksiin (4 - 6 m), kuten asuinrakennuksiin. Kantavat seinät voidaan toteuttaa joko kevyellä rankarakenteella tai massiivipuisella levyrakenteella. Huoneistojen sisäisissä kantavissa seinissä tulisi ottaa muunneltavuus ja yhdistettävyyden huomioon jo suunnitteluvaiheessa, sillä jäykistäviin rakenteisiin tapahtuvat muutostyöt voivat aiheuttaa muun muassa rungon liikkumista tai epätasaista painumista. [7, s. 39.]

### 3.2 Pilari-palkkijärjestelmä

Pilari-palkkijärjestelmässä kantavina rakenteina toimivat liima- tai kertopuiset pilarit ja palkit, joiden varaan väli- ja yläpohjatasot sekä seinät tukeutuvat. Pilarit ja palkit sijoitetaan usein tiettyyn moduliverkostoon, jonka mukaan määritellään käytettävien elementtien koko. Pilari-palkkijärjestelmässä välipohjat rakennetaan valmiista tasoelementeistä tai nykyään yleisimmin käytettyistä ripalaattavälipohjajaelementeistä. Kuvassa 3 on esimerkki pilari-palkkijärjestelmällä toteutetusta rakenteesta.



Kuva 3. Pilari-palkkijärjestelmällä toteutettu runko [ 9].

Pilari-palkkijärjestelmässä pilarien ja palkkien kiinnitykset toteutetaan teräslevyjä ja pultteja käyttämällä. Pilari-palkkirunkoisen rakennuksen jäykistämiseen käytetään usein mastopilareita ja vinositeitä sekä palkkien ja pilarien välisiä jäykkiä liitoksia. Jäykkyyttä voidaan parantaa myös esimerkiksi levyjäykistyksin. [7, s. 46 - 47.]

Pilari-palkkijärjestelmän etuja ovat muun muassa suunnittelu- ja muuntojoustavuus sekä rungon helppo ja nopea pystytys. Järjestelmällä voidaan saavuttaa avoin tila ja suuret aukotukset julkisivuissa ovat mahdollisia. Pilari-palkkirunkoiset rakennukset ovat myös ääniteknisesti hyviä, sillä seinät ja yläpohja voidaan erottaa kantavasta rakenteesta joustavilla liitoksilla. Rakenteen yhdenmittaisten pystyrakenteiden ansiosta rakennuksessa ei esiinny painumia. [7, s. 47.]

### 3.3 Rungon elementointi

Rungon elementoinnissa rakennus kootaan erillisistä tehtaalla valmistetuista osista. Rungon elementointi voidaan toteuttaa pienelementein, suurelementein tai tilaelementein. [7.]

Pienelementit ovat pääasiassa miesvoimin siirrettäviä ja asennettavia elementtejä. Pienelementtien enimmäisleveys on 1800 mm ja niitä käytetään muun muassa ulkoseinissä, välipohjissa ja väliseinissä. Ikkunat ja ovet voidaan asentaa elementteihin valmiiksi tiivistettyinä ja heloitettuina tai asentaa työmaalla elementtien asennuksen jälkeen. Pienelementtejä on käytetty jo pitkään omakoti- ja rivitaloasuntotuotannossa, mutta se soveltuu hyvin myös puukerrostalorakentamiseen. [7.]

Suurelementit ovat pienelementtejä suurempia ja pidemmälle esivalmistettuja. Kuvassa 4 on esimerkki suurelementeillä toteutetusta rakenteesta. Suurelementeistä tehdyt välipohjaelementit ovat 1800 - 2400 mm leveitä ja enimmäispituus on 12 - 14 metriä. Toisin kuin pienelementtien, suurelementtien nostoissa tarvitaan nostokalustoa. Nostokalustona voidaan käyttää esimerkiksi autonosturia tai kurottajaa. [7.]



Kuva 4. Rankarunkoinen suurelementti [9].

Tilaelementit ovat itsenäisiä valmiin rakennuksen osia, joissa on yleensä valmis lattia, seinät ja katto. Tilaelementteihin laitetaan usein valmiina myös ikkunat, ovet ja LVIS-asennukset. Asuntorakentamisessa tilaelementeistä tehdään tavallisesti wc-, kylpyhuone- tai saunaelementit. Tilaelementeillä voidaan kuitenkin koota myös koko rakennus. Tilaelementeistä rakennettavan puukerrostalon valmiusaste elementtien tultua työmaalle voi parhaimmillaan olla jopa 90 prosenttia. [7.]

Tilaelementeistä tehdyt rakennuksen ovat äänieristykseltään hyviä, sillä huoneistojen väliset välipohja- ja väliseinäelementit muodostuvat rakennustavassa automaattisesti kaksirunkoisiksi. Tilaelementtejä käytettäessä on oltava erityisen huolellinen pohjaratkaisujen ja elementtien liittymien suunnittelussa sekä kuljetus- ja asennusaikaisen jäykkyyden kanssa. Kuvassa 5 on tehtaalta otettu kuva tilaelementistä. Kyseisissä tilaelementissä ei ole asennettuna ovia tai ikkunoita. [7.]



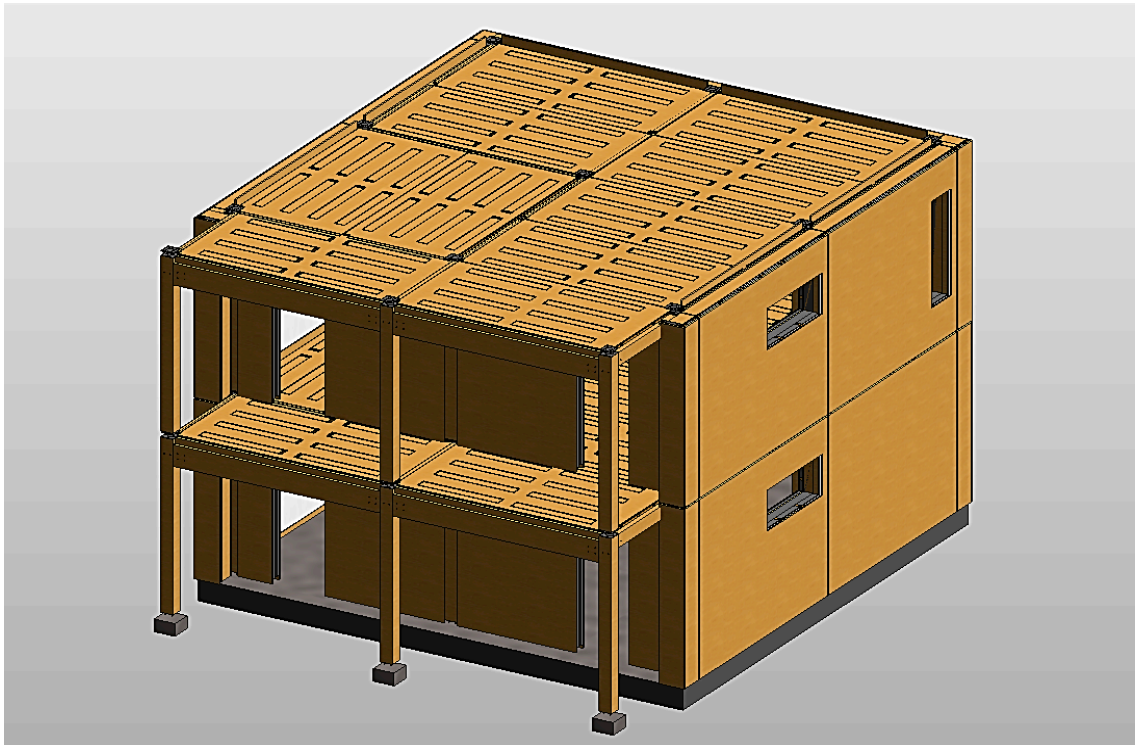
Kuva 5. Tilaelementti [9].

### 3.4 Yhdistelmärakenteet

Kantavan rungon sekajärjestelmissä rakennuksen runkoa ei toteuteta vain yhden rakennejärjestelmän mukaan, vaan yhdistämällä eri materiaalien hyviä ominaisuuksia saaden ominaisuuksiltaan parempia ja kestävämpiä rakenteita. Esimerkiksi puukerrostaloissa parannetaan ääneneristävyyttä lisäämällä niiden välipohjiin tarvittavaa massaa betoni- tai kipsivalun avulla. [7.]

Sekajärjestelmiä käytettäessä vaaditaan suunnittelijalta erityistä tarkkuutta liitosten suunnittelussa. Esimerkiksi rungon epätasainen painuminen koituu ongelmaksi, jos liittymäkohtia ei ole suunnitella huolellisesti. [7.]

#### 4 Timbesys-rakennejärjestelmä

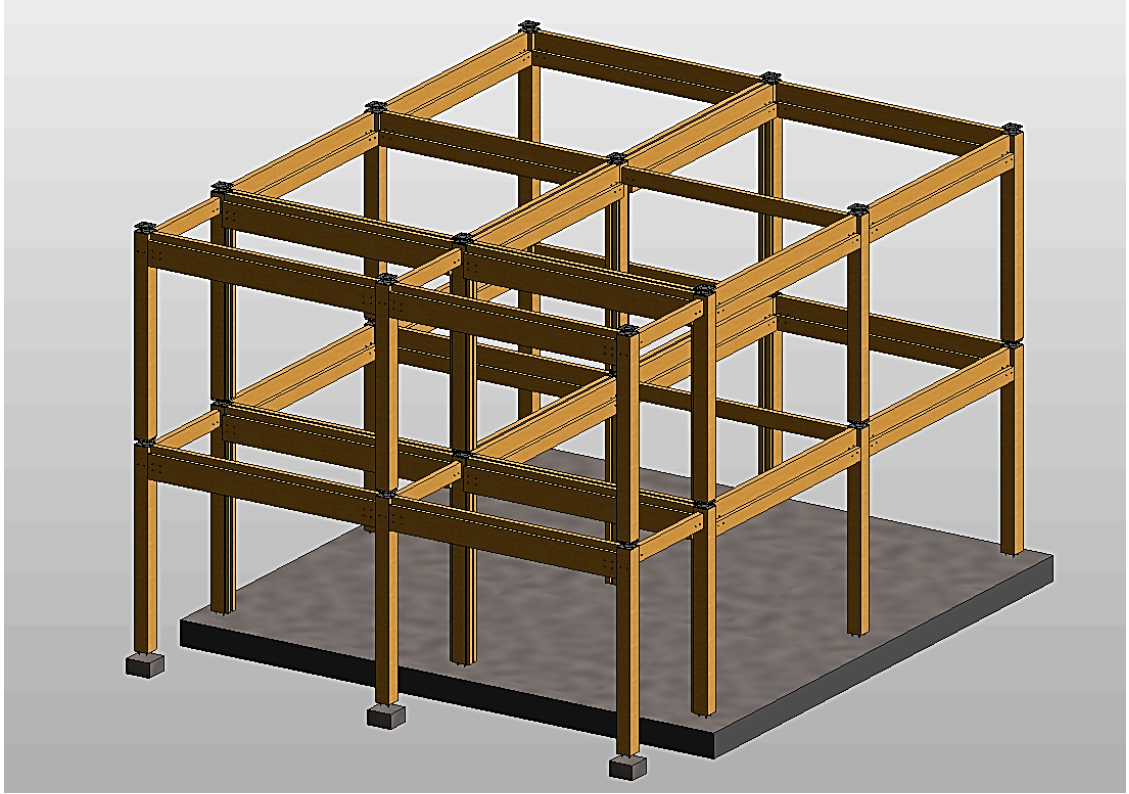


Kuva 6. Timbesys-rakennejärjestelmän koestusrakenne

Timbesys-rakennejärjestelmä on puuelementtirakentamiseen perustuva järjestelmä, joka on kehitetty nopeaan ja tehokkaaseen puurakentamiseen. Kuvassa 6 on näytetty Autodesk Revit -mallinnusohjelmalla suunniteltu kaksikerroksinen Timbesys-rakenne. Rakenne on suunniteltu koestuskäyttöön ja siihen on pyritty saamaan mahdollisimman monta erilaista liitosta ja rakennetta.

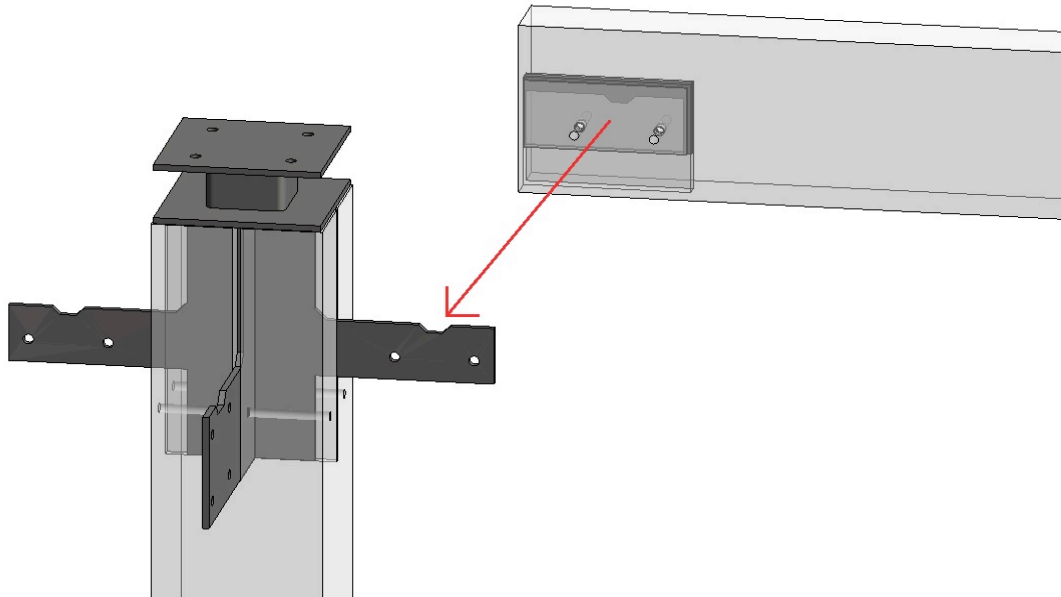
Timbesys-järjestelmän runkorakennejärjestelmänä toimii pilari-palkkirunko. Pilari-palkkirungolla on pyritty helpottamaan rakenteiden muuntojoustavuutta kohteiden välillä. Timbesys-rakennejärjestelmällä toteutettu runko tehdään erillisenä kehärakenteena, jonka jäykistämiseen käytetään levymäisiä huoneväliseinä- ja julkisivuelementtejä. Kuvassa 7 näkyy kuvan 6 rakenne ilman jäykistäviä seiniä ja laattoja. Järjestelmässä on vakiomittaiset liimapuuelementit, joita on helppo käyttää kerrostaloissa, omakotitaloissa tai julkisissa rakennuksissa. [10.]



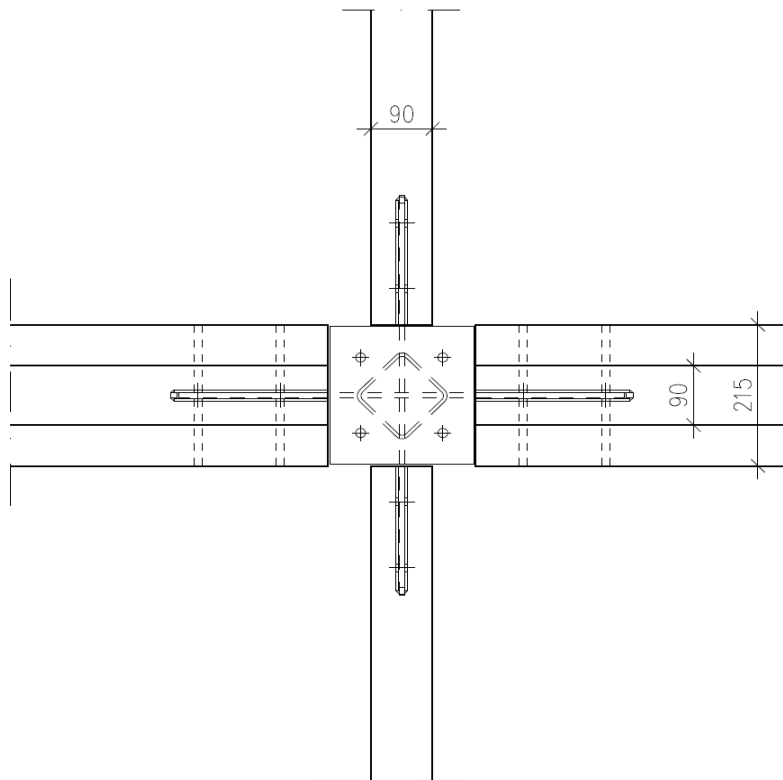


Kuva 7. Timbesys-rakennejärjestelmä ilman jäykistäviä seiniä ja laattoja


Timbesys-rakennejärjestelmän tavoitteina on rakentaa monikerroksisia puutaloja nopeasti ja tehokkaasti. Tähän on pyritty muun muassa tekemällä komponenteista pienikokoisia ja kevyitä, jotta rungon voi pystyttää kevyellä nostokalustolla ja miesvoimin. Rakennejärjestelmän painavin pilari on 85 kg ja painavin palkki 204 kg. Myös liitosten teräsosat on suunniteltu nopeaan rungon pystytykseen ohjaamalla rakennekomponentit sijoittumaan oikeisiin asentoihin. Seuraavalla sivulla olevassa kuvassa 8 on esitetty yksi järjestelmän perusliitoksista ja se miten teräsosat sekä liitososassa että palkissa on muotoiltu sopimaan kohdilleen. Kuvassa 9 on esitetty liitos ylhäältäpäin. Rakenteen kaikki osat kiinnitetään toisiinsa joko teräsruuvein tai teräsvaaroin. Kuvassa 10 on rakennedetailit kahdesta rakennejärjestelmän perusliitoksesta.

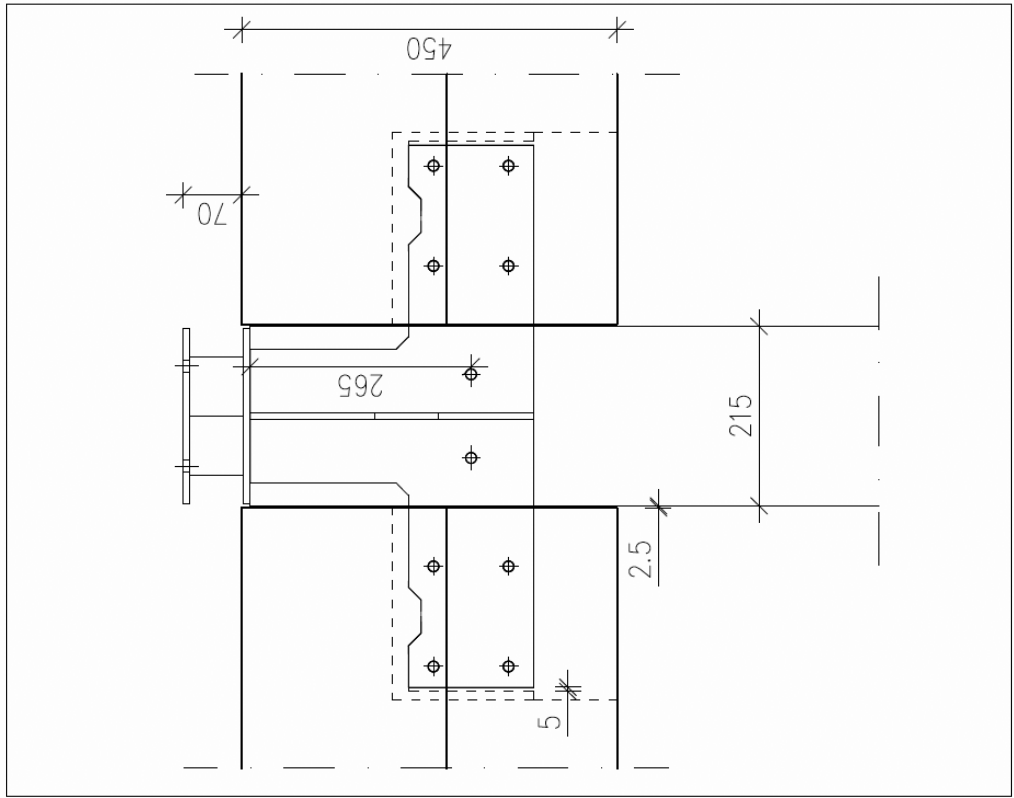



Kuva 8. Timbesys-rakennesjärjestelmällä toteutettu liitos

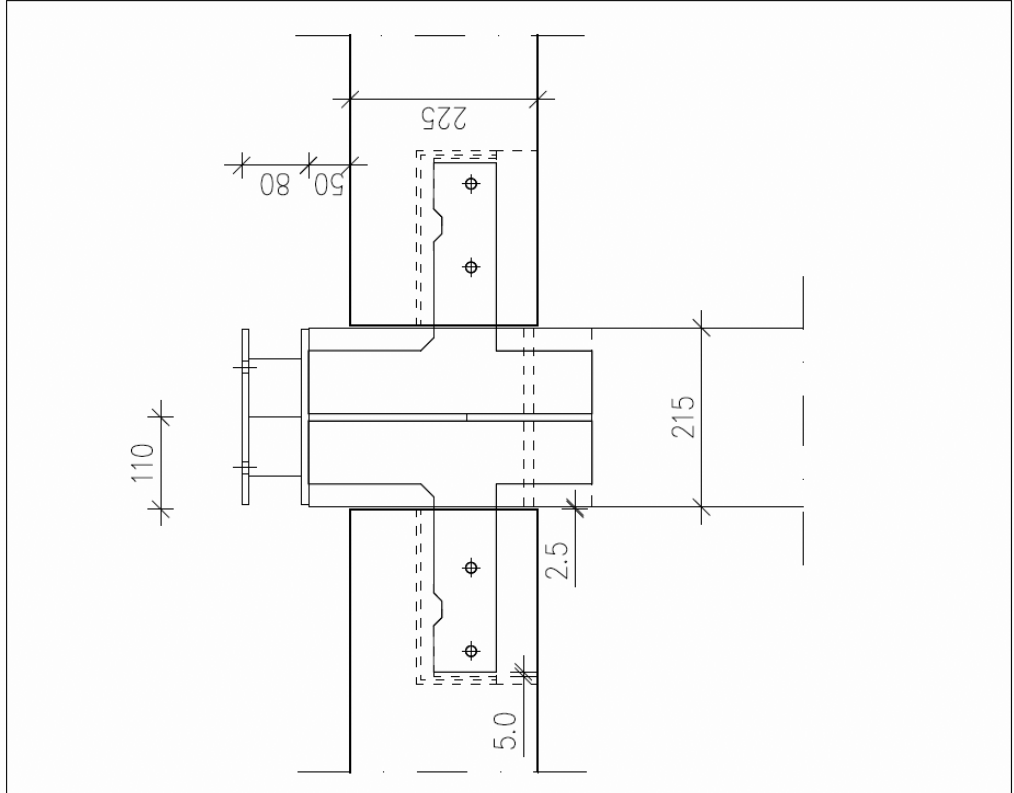


Kuva 9. Timbesys-rakennesjärjestelmän perusliitos ylhäältäpäin

Rakennuskohteen nimi ja osoite		Pitustuksen sähäät		Mittakaava
<b>Timbesys</b> Koestusmalli		Pilaripalkkilaitos		1:5
Suunnittelija		Työ nro	Tekijä	<b>DET 2</b>
 INENORITTOIMISTO KIMMO KAITILA OY Palmmerenkatu 4, 00720 Helsinki		1301	TM	
puh. 010 289 3800 fax. 010 289 3810 instakoht@kai.fi		Päiväys		
		21.03.2013		

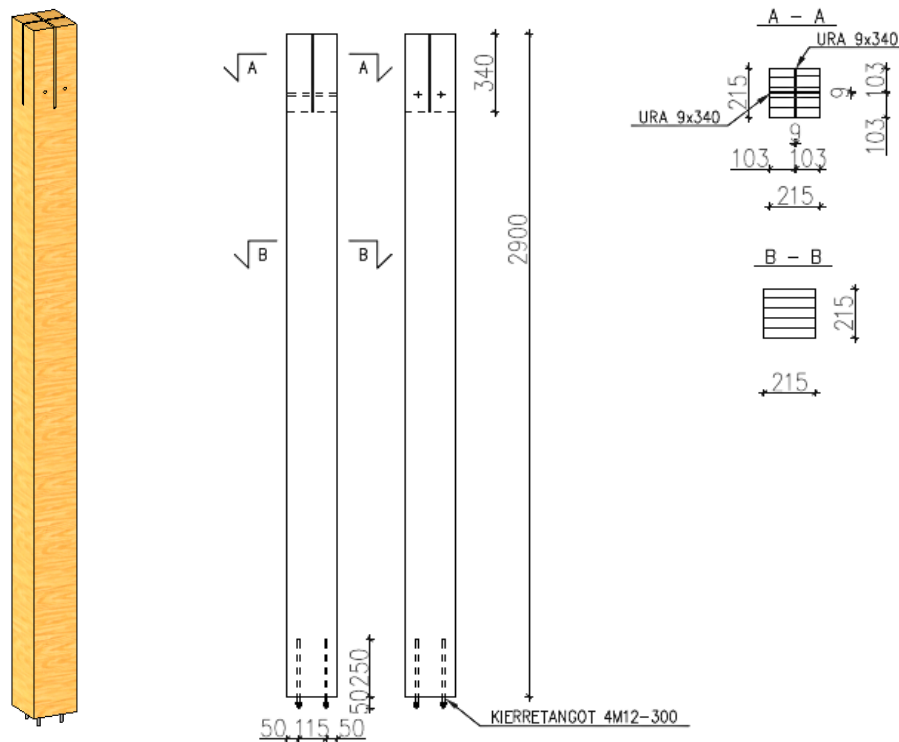


Rakennuskohteen nimi ja osoite		Pitustuksen sähäät		Mittakaava
<b>Timbesys</b> Koestusmalli		Pilaripalkkilaitos		1:5
Suunnittelija		Työ nro	Tekijä	<b>DET 1</b>
 INENORITTOIMISTO KIMMO KAITILA OY Palmmerenkatu 4, 00720 Helsinki		1301	TM	
puh. 010 289 3800 fax. 010 289 3810 instakoht@kai.fi		Päiväys		
		21.03.2013		



Kuva 10. Timbesys-rakennejärjestelmän perusliitoksien detaljit

Rakennejärjestelmässä pilarit ja palkit ovat elementtejä, jotka liitetään toisiinsa teräslitoksien. 1 - 3 -kerroksisissa rakennuksissa käytetään liimapuurakenteisia kantavia rakenteita. Kuvassa 11 näkyy Timbesys-rakennejärjestelmän peruspilari. Yli kolmikerroksisissa rakenteissa alimpien kerrosten liimapuupilareita vahvistetaan teräsputkiprofiililla, joka liimataan onton liimapuupilarin sisään. Peruspilareissa joissa ei ole teräsputkiprofiilia, ovat yhtenäisiä liimapuupilareita. Kaikki järjestelmän teräsosat on sijoitettu puurakenteen sisään, jolloin puu toimii teräksen palosuojana.



Kuva 11. Timbesys-rakennejärjestelmän peruspilari

Seinä- ja julkisivuelementit toimivat järjestelmän jäykistävinä rakenteina. Rungon ollessa erillinen rakenne, on vaippaelementtien lämmöneriste- ja pintaratkaisut helppo muuntaa kunkin kohteen vaatimuksien mukaisiksi. Lisäksi julkisivut voi tarvittaessa vaihtaa uusin ja vanhat rakenteet kierrättää. Erillinen kehärakenne sallii myös vaipassa ja välipohjissa tapahtuvan muuntelun rakennuksen koko elinkaaren ajan. Seuraavalla sivulla olevassa kuvassa 12 näkyy Timbesys-rakennejärjestelmän tyypillinen seinäelementti. [10.]



## 5 Tietomallinnus

Tietomallintamisella (englanniksi *Building Information Modelling*, BIM) tarkoitetaan suunnittelun toimintatapaa rakentamisen ja rakennuksen tietojen hallitsemiseksi digitaalisessa muodossa. Tietomallipohjaisessa suunnittelussa mallinnetaan rakennuksen tarkka rakenne kolmiulotteisessa muodossa. Tavoitteena on koota kaikki tieto yhteen, jolloin saadaan parannettua laatua ja vähennettyä suunnitteluvirheitä. Tietomalli palvelee rakennustiedon vaihtoa ja visualisointia rakennusprojektin eri osapuolten kesken. Tietomallinnusohjelmia ovat esimerkiksi Autodesk Revit, Tekla Structure ja ArchiCAD. [11, 12, s.15.]

Tietomallintamista hyödynnetään myös mallin analysointiin laskentaohjelmia käyttämällä. Yleisimmin käytettyjä laskentaohjelmia ovat Autodeskin Robot Structures, Rfem ja FEM-Design. Laskentaohjelmilla analysoidaan rakenteiden kestävyyttä lähtien voimasuureista ja voidaan edelleen laskea rakenteen siirtymiä ja taipumia. Laskentaohjelmilla voidaan tutkia myös rakenteen yksittäisten osien kestävyyttä eri kuormitustapauksissa. [13.]

### 5.1 Tietomallintamisen hyödyntäminen Timbesys-rakennejärjestelmässä

Timbesys-rakennejärjestelmässä käytetään tietomallintamisen tuomia hyötyjä mallintamalla rakennejärjestelmän elementit valmiina objekteina Autodesk Revit -mallinnusohjelmaan. Tällä pyritään elementtien nopeaan ja helppoon hyödyntämiseen todellisissa kohteissa. Kun rakennejärjestelmää käytetään todellisissa kohteissa, yhteen sovitetaan olemassa olevat objektit kunkin kohteen mukaisiksi. Elementtien ollessa helposti ja nopeasti käytettävissä, tietomallista saadaan materiaalitietoja ja kustannustietoja jo suunnittelun alkuvaiheessa. [10.]

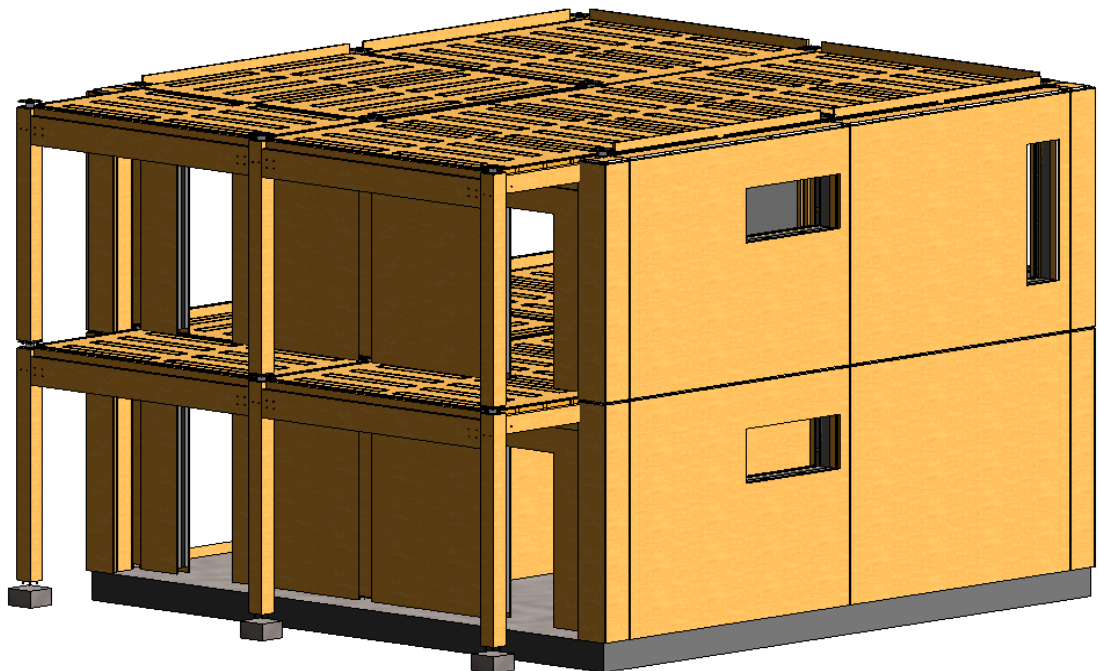
### 5.2 Insinööriyössä käytetyt ohjelmat

Insinööriyössä käytettiin kahta eri ohjelmistoa; Autodesk Revit 2013 ja Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2013 -ohjelmia. Autodesk Revit Structures perustuu tietomallintamiseen ja Autodesk Robot Structural Analysis FEM -pohjaiseen laskentaan. [13, s. 10.]

Insinööriyössä tutkittiin Timbesys-rakennejärjestelmällä toteutetun rungon toimintaa asennusaikana ja lopullisena rakenteena. Tutkimus toteutettiin luomalla rakennejärjestelmän elementit Autodesk Revit -mallinnusohjelmalla ja analysoimalla rakennejärjestelmän rungon toimintaa eri asennusvaiheissa Autodesk Robot Structural Analysis Professional -ohjelmalla.

### 5.3 Työnkulku

Projektissa tutkittiin koestusmalli-nimistä rakennetta. Projekti on kaksikerroksinen Timbesys-puukerrostalo-projekti, jolla on tarkoitus tutkia rakennejärjestelmän toimivuutta ja kestävyyttä. Koestusmalliin on tuotu mahdollisimman monta erilaista liitosta ja elementtiä. Projektin yhden kerroksen runko koostuu yhteensä viidestä erilaisesta pilarista, seitsemästä erilaisesta palkista ja yhdeksästä erilaisesta teräслиitoksesta. Lisäksi kerroksessa on kahdeksan ulkoseinäelementtiä, viisi väliseinäelementtiä ja kuusi välipohjajaelementtiä. Yhteensä kohteessa on 130 elementtiä. Kaikki elementit ovat puurakenteisia ja liitososat teräksisiä. Kuvassa 13 on esitetty Timbesys-rakennejärjestelmän elementeistä valmiiksi koottu kohde.



Kuva 13. Timbesys-rakennejärjestelmä, Koestusmalli

Rakennejärjestelmän mallintaminen aloitettiin luomalla kantavan rungon osat Revit -ohjelman Family-toiminnon avulla. Family-toiminto (suomeksi perhe) on ryhmä elementtejä, joilla on yhteisiä ominaisuuksia. Family-ryhmään kuuluvat elementit voivat olla erikokoisia, muotoisia ja eri materiaalista, mutta niiden graafinen ulkoasu sekä parametrit ovat samoja. Uutta Family-ryhmää luodessa voi valita miten paljon samoja ominaisuuksia kullakin Family-ryhmällä on.

Autodesk tarjoaa Autodesk Revit -ohjelmaan myös valmiita Family-kirjastoja, joissa on esimerkiksi ryhmä ovia, ikkunoita, pilareita ja palkkeja valmiiksi määriteltyjen ominaisuuksien kanssa. Koestusmallissa käytetyt rakenneosat ovat Timbesys-rakennejärjestelmän omia osia, joten elementit luotiin alusta lähtien järjestelmän mukaisiksi. Pilareihin, palkkeihin ja liitososiin määriteltiin Family-toiminnon avulla materiaalit, päämitat, rakenteen tyyppi (pilari/palkki), rakenteellinen toiminta (arkkitehtoninen/rakenteellinen), reikien paikat ja mahdolliset teräslitososat. Seinäelementteihin ja välipohjaelementteihin mallinnettiin korkeus, leveys, pituus ja materiaalit (puurakenteet, levyrakenteet ja eristeet). Lisäksi elementeille määriteltiin alapinnan korko kerroskorkeuteen verraten.

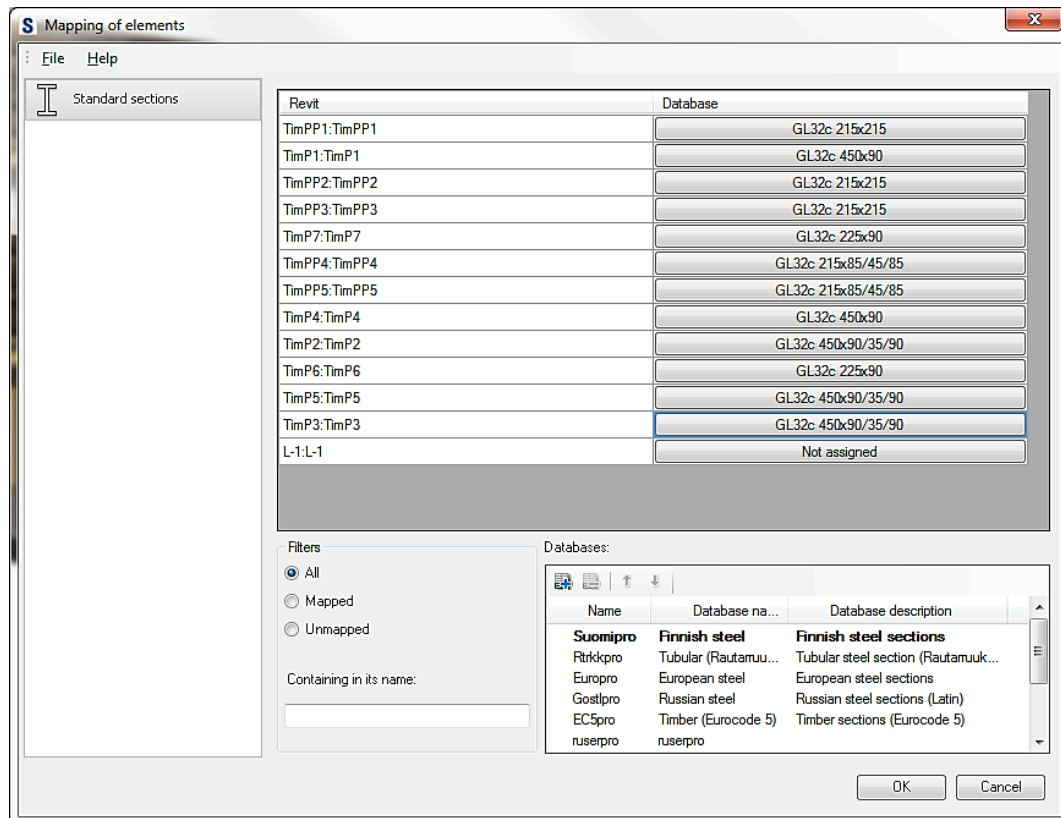
Kun rakenteet on mallinnettu, ladataan ne haluttuun projektiin. Ennen Family-ryhmien lataamista on projektiin hyvä olla määritelty moduuliverkosto, kerroskorkeus sekä perusasetukset, kuten käytetyt mitta-asetukset. Asetukset ja moduulit voidaan määritellä myös sen jälkeen kun Family-ryhmä on ladattu projektiin. Jos projektiin haluaa ryhmästä vain yhden elementin, se on helppo ladata suoraan olemassa olevaan moduuliverkostoon sen sijaan että lataisi koko Family-ryhmää projektiin ennen moduliverkostoa.

Kun rakenteet on mallinnettu Autodesk Revit -ohjelman avulla, voidaan malli linkittää Autodesk Robot Structural Analysis -laskentaohjelmaan analysoitavaksi *Robot Structural Analysis Link* -käskyn avulla. Käsky on Autodesk Revit -ohjelman toiminto, joka vaatii sen, että molemmat ohjelmat on ladattu samalle tietokoneelle. Linkityksessä rakenteellisiksi määritetyt elementit lähetetään Revit-ohjelmasta Robot-ohjelmaan. Peruselementtejä käytettäessä ohjelma määrittelee automaattisesti elementtien koon, materiaalin ja pituuden sekä materiaalivahvuuden. Koestusmalli-projektissa on käytetty erikseen luotuja elementtejä, joita ei ole Autodesk Revit tai Autodesk Robot Structural Analysis -ohjelmissa valmiina. Tästä syystä tulee ne mallintaa molempiin ohjelmiin ennen



linkitystä. Elementtejä voi joutua yksinkertaistamaan huomattavastikin, jotta Autodesk Robot Structural Analysis -ohjelma pystyy ne analysoimaan.

Linkityksen aikana ohjelma pyytää määrittelemään tuntemattomat elementit, jotka tässä tapauksessa ovat Timbesys-rakennejärjestelmän pilarit ja palkit. Linkityksessä elementit etsitään kirjastosta kunkin elementin kohdalle erikseen. Elementtejä määriteltäessä kannattaa luoda uusi projekti Autodesk Robot -ohjelmaan. Kyseisen projektin tulee olla päällä linkityksen aikana, jotta elementit on löydettävissä. Kuvassa 14 on ote linkityksen vaiheesta, jossa määritellään Timbesys-rakennejärjestelmän elementtejä Robot-ohjelmaan. Linkityksen jälkeen mallin mahdolliset virheet korjataan, rakenteeseen lisätään tuet ja rakenteeseen mallinnetaan kuormat.



Kuva 14. Robot Structural Analysis Link -käskyn vaihe, jossa määritellään Timbesys-rakennejärjestelmän elementtejä Robot - ohjelmaan.

Jäykistävät seinät ja laatat luotiin Autodesk Robot -ohjelmassa pilari-palkkirungon päälle. Kunkin asennusvaiheen kohdalla päivitettiin myös rakenteen kuormat.

Malleista selvitettiin rakenteen siirtymätila ja taipumat, momenttipinnat ja muut voimasuureet. Lopullista rakennetta tutkittiin myös jatkuvan sortumisen kannalta.

#### 5.4 *Robot Structural Analysis Link* -toiminnossa huomioitavia asioita

Robot Structural Analysis Link -käsäkä käytettäessä on tiettyjä asioita, jotka on hyvä tietää ennen mallin luontia ja linkityksen aloittamista. Työnkulku ja kumpaa ohjelmaa käytetään minkäkin asian mallintamiseen, on tehtävä itselle selväksi jo varhaisessa vaiheessa. Mallintaminen voidaan aloittaa joko luomalla dokumenttimalli Revit-ohjelmalla tai analyttinen malli Robot-ohjelmalla. Ohjelmat tukevat molempia työskentelytapoja. Tiettyjä etuja kuitenkin saadaan, kun mallintaminen aloitetaan Revit-ohjelmalla Robot-ohjelman sijaan. Revit-ohjelmalla mallintaessa saadaan sekä fyysinen malli alustaviin piirustuksiin ja dokumentointiin, että yksinkertainen analyttinen malli nopeaa kestävyystarkistusta varten. [14, s. 2, 15, s. 3.]

Mallintaminen aloitetaan luomalla rakennemalli olemassaolevan arkkitehtimallin tai arkkitehtipiirustusten pohjalta. Malliin määritellään materiaalit ja profiilit. Autodesk suosittelee käyttämään kullekin materiaalille luotuja lisäosia helpottamaan mallintamista ja tarkemman analyttisen mallin luomista. Lisäosilla voidaan helpottaa muun muassa rakenteen analysointia, raudoitusten mallintamista, ja rakenneteknisten piirustusten tekoa. Jos elementtejä tehdään itse, tulee ne luoda Revit - ohjelman *Metric Structural* - Familyeditorin kanssa. Tämän toiminnon kanssa luodut elementit Robot-ohjelma ymmärtää rakenteellisiksi ja ottaa ne laskennassa huomioon. [15, s. 5.]

Rakenteiden luomisen jälkeen malli lähetetään Autodesk Revit -ohjelmasta Robot Structural Analysis Professional -ohjelmaan. Robot-ohjelmassa kohteeseen mallinnetaan kuormat ja sille tehdään rakenneanalyysi. Tuloksien perusteella voidaan päivittää analyttistä mallia, esimerkiksi muuttamalla rakenteen profiileja, jos se on tarpeellista. Muutokset päivitetään Revit - ohjelmaan, jossa tehdyt muutokset voidaan joko hyväksyä tai hylätä. Mallia päivitetään Revit ja Robot -ohjelmien välillä niin monta kertaa kuin se kohteessa on tarpeellista. [15, s. 5.]

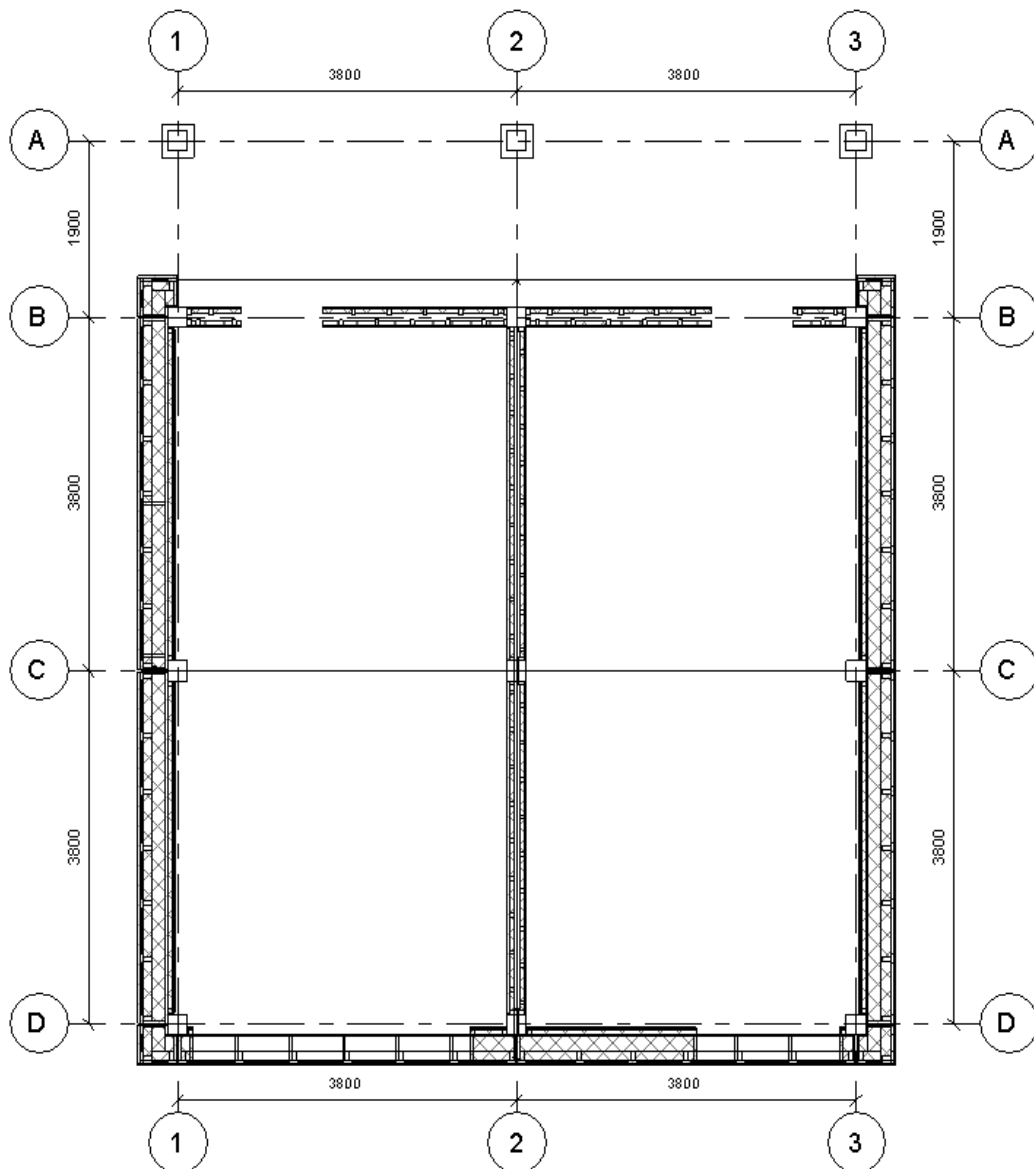
Revit-mallista voidaan halutessa tuoda Robot-ohjelmaan valittuja rakenneosia rakenneanalyysia varten. Esimerkiksi rakenteelliset teräs- ja teräsbetonirakenteet voidaan erottaa mallin muista rakenteista ja tuoda Robot-ohjelmaan erillistä tarkastelua varten.

Rakenteesta voidaan myös erotella tietty osa rakennusaikaista analyysia varten. [15, s. 6.]

Tarkempaa analyysia varten mallia voi joutua määrittelemään yksityiskohtaisemmin. Analyyttistä mallia määriteltäessä joitain asioita on helpompi mallintaa Robot-ohjelmalla. Esimerkiksi kuormat, nurkkien vapausasteen ja reunaehdot on usein helpompi määritellä Robot Structural Analysis Professional -ohjelman kuin Revit-ohjelman avulla. [15, s. 6.]

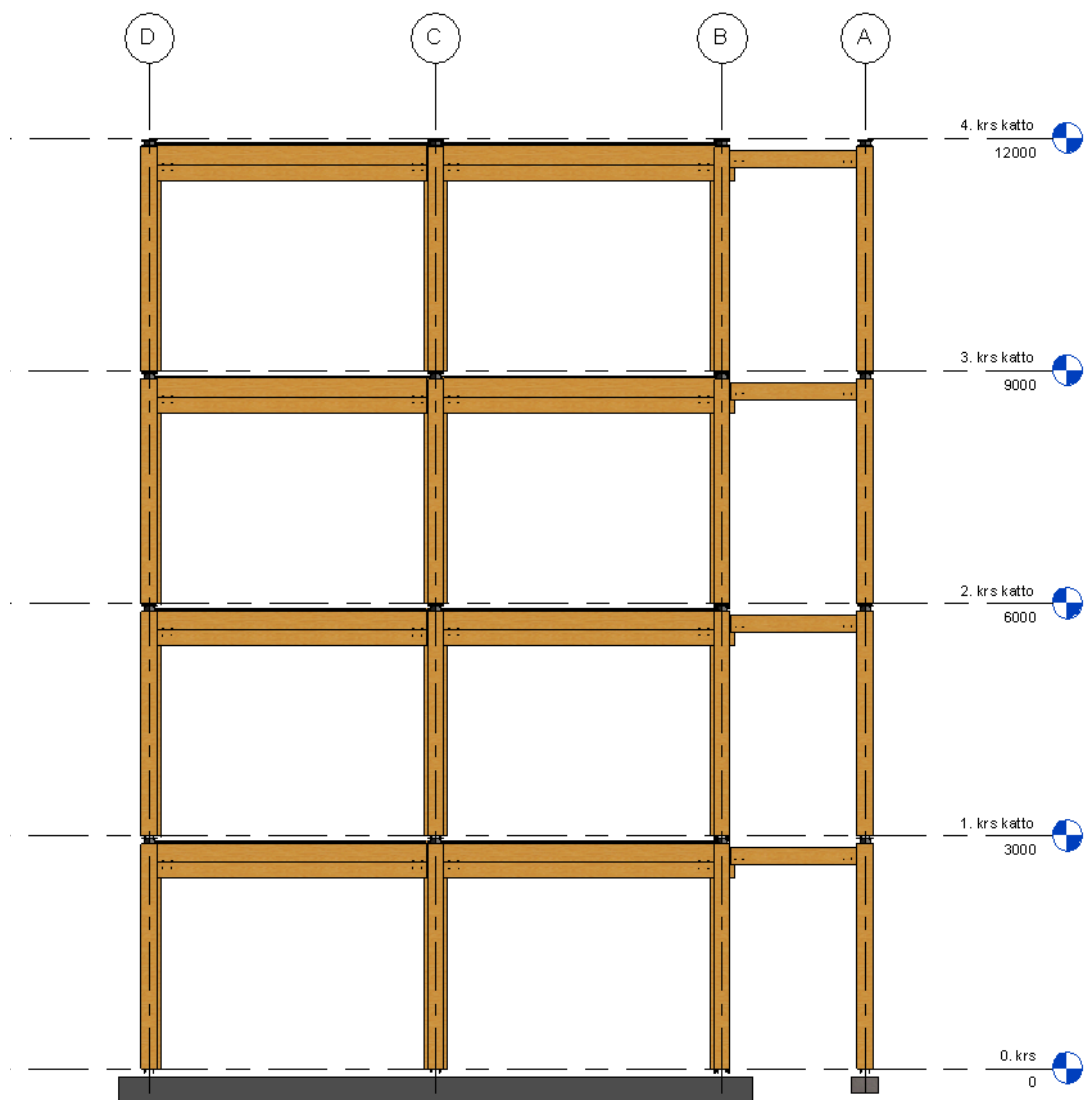
## 6 Rungon jäykkyys eri asennusvaiheissa

Koestusmallista tutkittiin rungon jäykkyyttä eri asennusvaiheissa sekä rakennuksen lopullista jäykkyyttä. Jäykistämisen tarkoituksena on taata rungon riittävä vakavuus eli stabiilius ja siirtää vaakakuormat pystyrakenteiden kautta perustuksille. Jäykistämisen ollessa puutteellista, tuloksena voi olla hallitsemattomia muodonmuutoksia, jopa kaatuminen tai liukuminen, jotka johtavat rakenteen murtotilaan. Koestusmallin rungon jäykkyyttä tutkittiin taivutusjäykkyyden, momenttipintojen ja voimasuurepintojen avulla.



Kuva 15. Koestusmallin pohjakuva

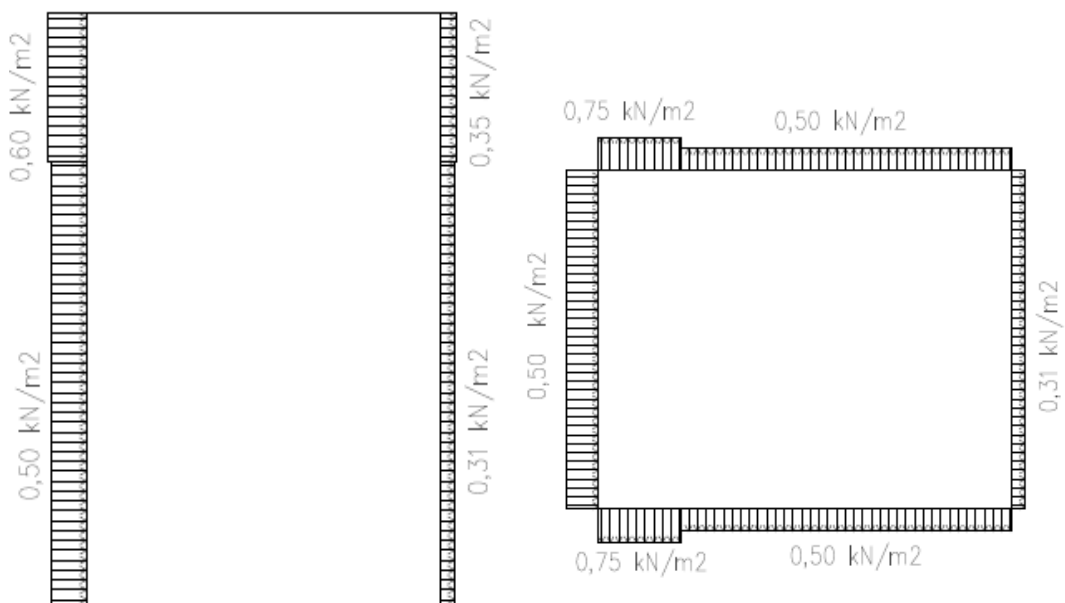
Koestusmallissa tutkitaan korkeintaan nelikerroksisen rakenteen jäykkyyttä. Rakenne on 12 metriä korkea ja leveysmitat ovat 7,6 metriä ja 9,5 metriä. Kuvassa 15 on esitetty rakenteen pohjakuva ja kuvassa 16 rakenteen leikkaus. Ensin tutkitaan rakenteen jäykkyys kaksikerroksisena pilari-palkkirunkona. Tämän jälkeen kahteen ensimmäiseen kerrokseen asennetaan rakennetta jäykistävät seinät ja laatat. Seuraavassa tapauksessa rakenteen kahden ensimmäisen kerroksen päälle asennetaan kolmannen ja neljännen kerroksen pilarit ja palkit. Tässä vaiheessa rakenteen asentamisessa käytetään sääsuojaa, josta aiheutuu rakenteelle lumikuorma talvella. Rakenteen lopullisessa tilanteessa järjestelmällä on neljän kerroksen pilarit, palkit ja jäykistävät rakenteet.



Kuva 16. Koestusmallin leikkaus

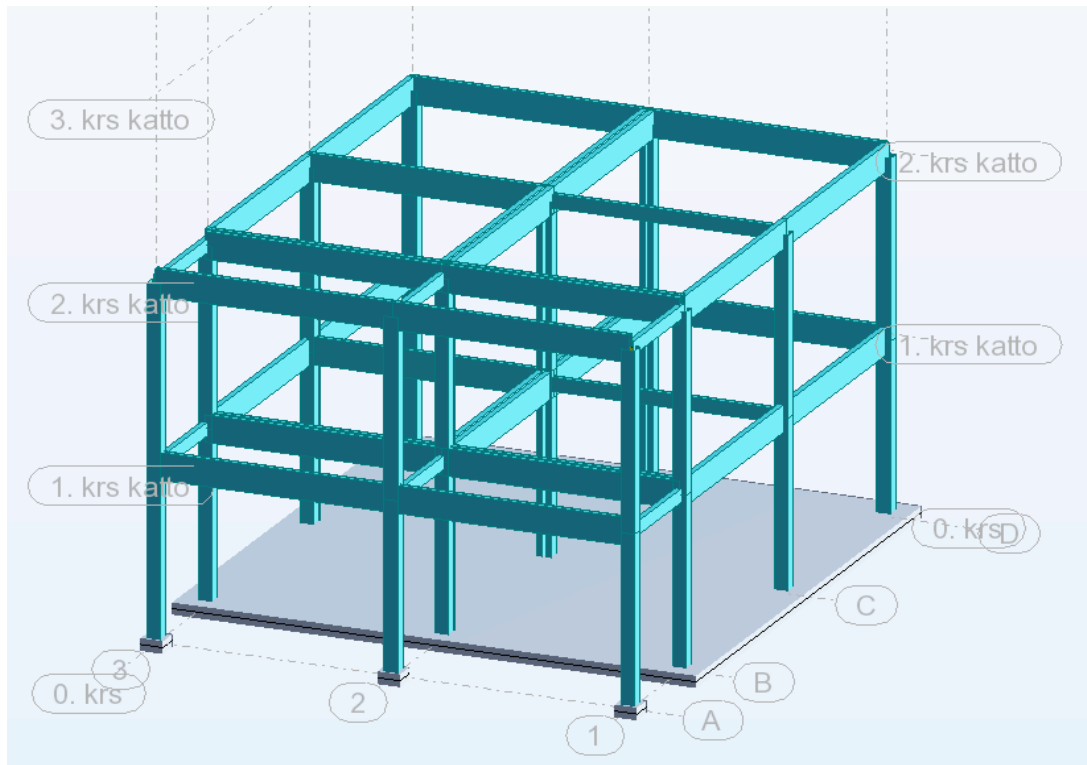
## 6.1 Vaikuttavat kuormitukset

Kuormat on määritelty Eurokoodien ja niiden kansallisten liitteiden mukaan. Mallien laskennassa otettiin huomioon omapaino, hyötykuorma, tuulikuorma ja lumikuorma. Kohteen onnettomuustilannetta on tutkittu erikseen ottamalla lopullisesta mallista yksittäisiä pilareita pois ja selvittämällä rakenteen taivutusjäykkyys ja liitoksen voimasuureet. Hyötykuormana käytetään asuinkerrostalon hyötykuormaa  $2 \text{ kN/m}^2$  (RIL 205-1-2007). Tuulikuorma on laskettu painekerroinmenettelyllä lyhennetyin suunnitteluohjeen (RIL 201-2-2011) mukaan, joka perustuu SFS-EN 1991-1-4 standardiin. Tuulikuormassa otetaan huomioon kukin asennusaikainen tilanne. Kuvassa 17 on esitetty kohteen lasketut tuulikuormat lopullisessa tilanteessa. Kuvasta näkyy, että rakennus on sen verran korkea, että kohteen yläosassa on suurempi tuulikuorma kuin kohteen alaosassa. Kohteen rakennuspaikaksi on valittu Jyväskylä, jolloin lumikuormaksi tasakatolla on saatu  $2 \text{ kN/m}^2$ . Liitteessä 1 on esitetty kuormien laskenta.



Kuva 17. Koestusmallin tuulikuormat nelikerroksisessa kohteessa

## 6.2 Rungon jäykkyys kaksikerroksisena pilari-palkkirunkona



Kuva 18. Kaksikerroksinen pilari-palkkirunko

Koestusmallista tutkittiin ensin kaksikerroksisen rungon jäykkyys ilman jäykistäviä seinä. Runko koostuu rakennejärjestelmän pilareista ja palkeista. Kuvasta 18 näkee millainen rakenne on Autodesk Robot Structural Analysis ohjelmassa. Pilarit ja palkit on mallinnettu Autodesk Revit -ohjelman avulla, jotka on tuotu Autodesk Robot Structural Analysis -ohjelmaan. Tämän jälkeen rakenteelle on määritelty kuormat ja tehty rakenteenanalyysi.

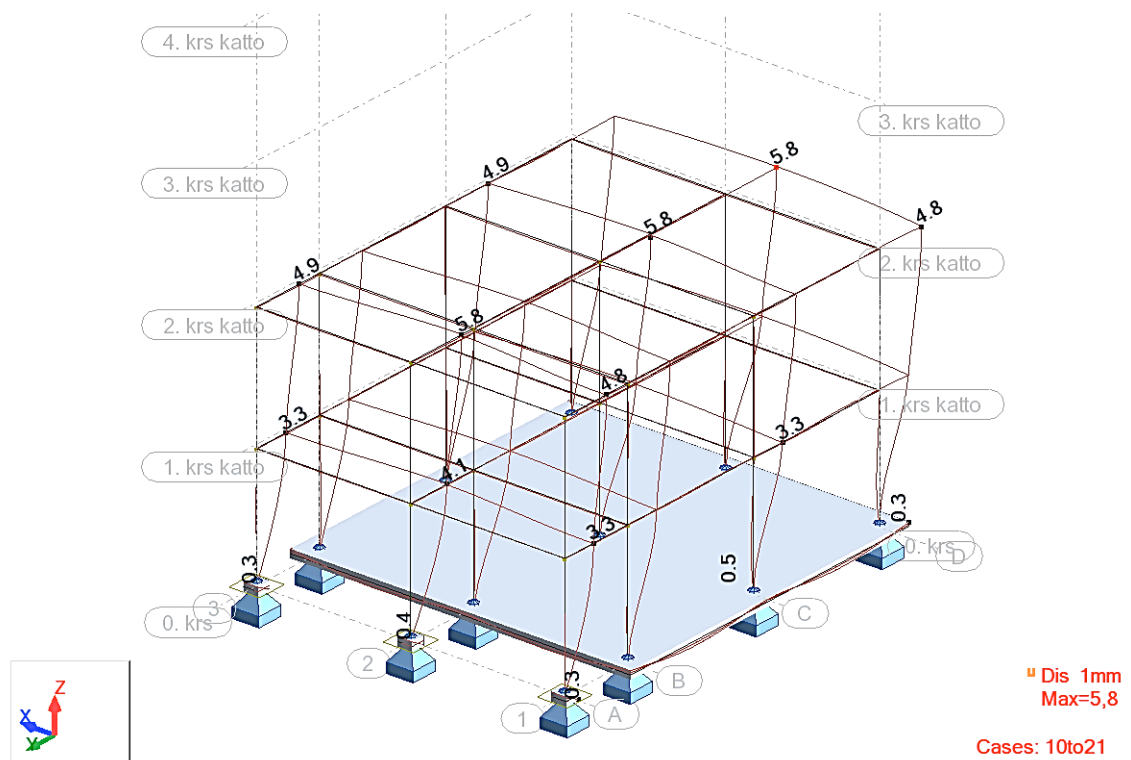
1 - 2 kerroksien seinille laskettu tuulikuorma on  $0,7 \text{ kN/m}^2$ . Yksittäiselle palkille tuulikuorma on  $0,26 \text{ kN/m}$  ja pilarille  $0,13 \text{ kN/m}$ . Hyötykuorma yksittäisellä palkilla on  $0,45 \text{ kN/m}$ .

Rakenteen suurin sivusiirtymä on  $5,8 \text{ mm}$  (y-suunta) ja suurin taipuma on  $1,0 \text{ mm}$  (keskipalkki). Palkkien suurin sallittu taipuma on  $12 \text{ mm}$  ( $L/300$ ) ja rakenteen suurin sallittu siirtymä on  $20 \text{ mm}$  ( $L/300$ ). Rakenteelle ei näin ollen tapahdu hallitsemattomia siirtymiä, vaan se toimii kaksikerroksisena rakenteena ilman jäykistystä. Taulukossa 1

on esitetty rakenteen erisuuntien suurimmat siirtymät ja kuvassa 19 rakenteen siirtymät.

Taulukko 1. Rakenteen siirtymien maksimi- ja minimiarvot

Rakenteen suurimpien taipumien/ siirtymien arvot				Sallitut taipumat/ siirtymät (L/300)		
	UX (mm)	UY (mm)	UZ (mm)	UX (mm)	UY (mm)	UZ (mm)
<b>MAX</b>	0,0	0,0	0,4	20 mm	20 mm	12 mm
<b>nurkka</b>	42	44	70			
<b>MIN</b>	- 0,0	- 5,8	- 0,9	- 20 mm	- 20 mm	- 12 mm
<b>nurkka</b>	51	46	1325			



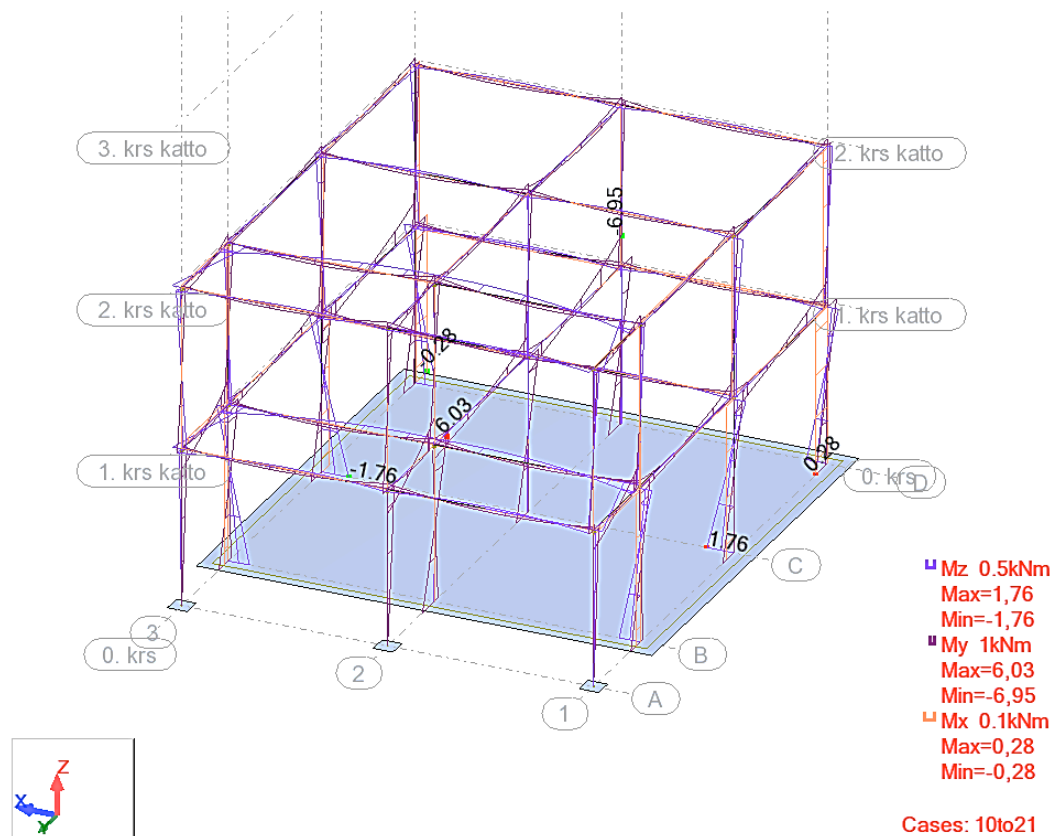
Kuva 19. Kaksikerroksisen rakenteen siirtymät ilman jäykistäviä rakenteita

Rakenteen suurin momenttirasitus on 7 kNm moduulien 2/D risteilykohdassa. Suurin leikkausvoima on 22,5 kN moduulien 2/B pilarin alapäässä. Rakenteen perusliitoksen leikkausvoiman ottaa vastaan 4 kappaletta M12 pulttia, jotka kestävät 361 kN suuruisen leikkausvoiman. Näin ollen rakenteen liitokset kestävät jäykistämättömän rakenteen leikkausvoimia. Seuraavalla sivulla olevassa taulukossa 2 on esitetty rakenteen eri suuntien suurimmat leikkausvoimat ja momentit. Seuraavilla sivuilla olevissa kuvissa 20 ja 21 on esitetty rakenteen momenttipinnat ja leikkausvoimapinnat.

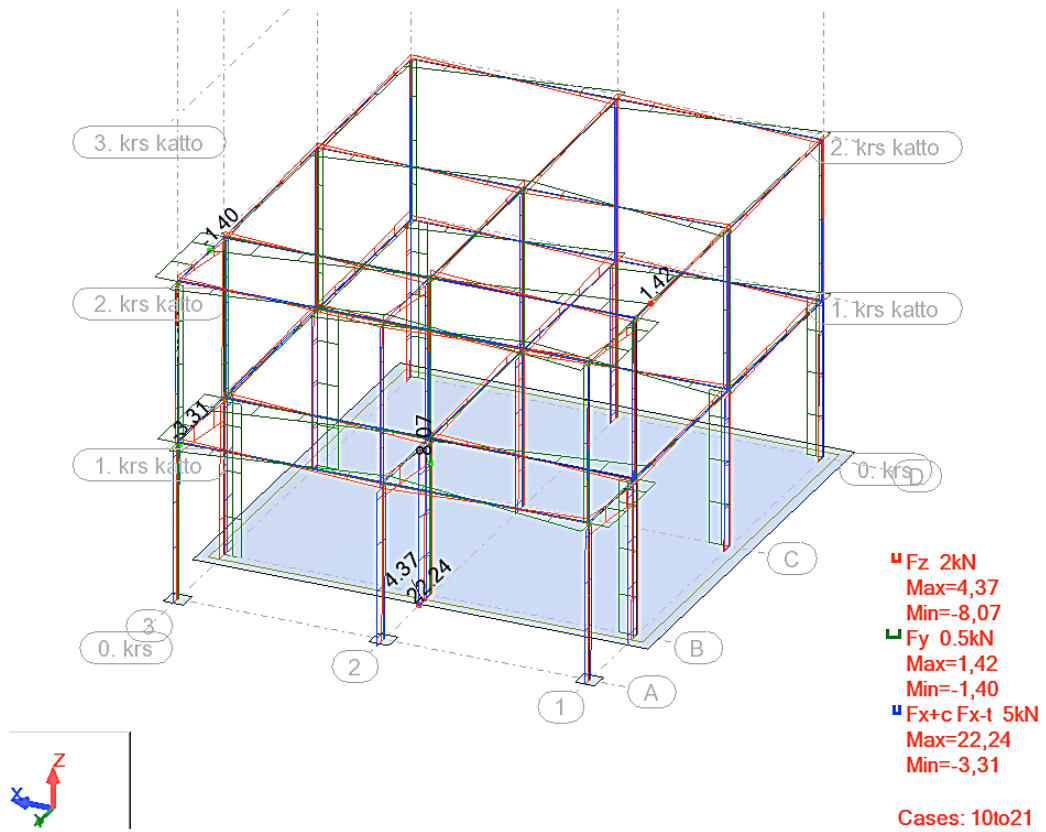


Taulukko 2. Rakenteen voimasuureet

Rakenteen suurimmat leikkausvoimien ja momenttien arvot						
	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)
<b>MAX</b>	22,24	1,42	4,37	0,28	5,45	1,76
<b>sauva</b>	44	27	44	47	11	46
<b>nurkka</b>	11	36	11	19	4	17
<b>MIN</b>	- 5,10	- 1,40	- 8,07	- 0,28	- 6,95	- 1,76
<b>sauva</b>	40	34	11	48	15	49
<b>nurkka</b>	3	37	12	21	26	23

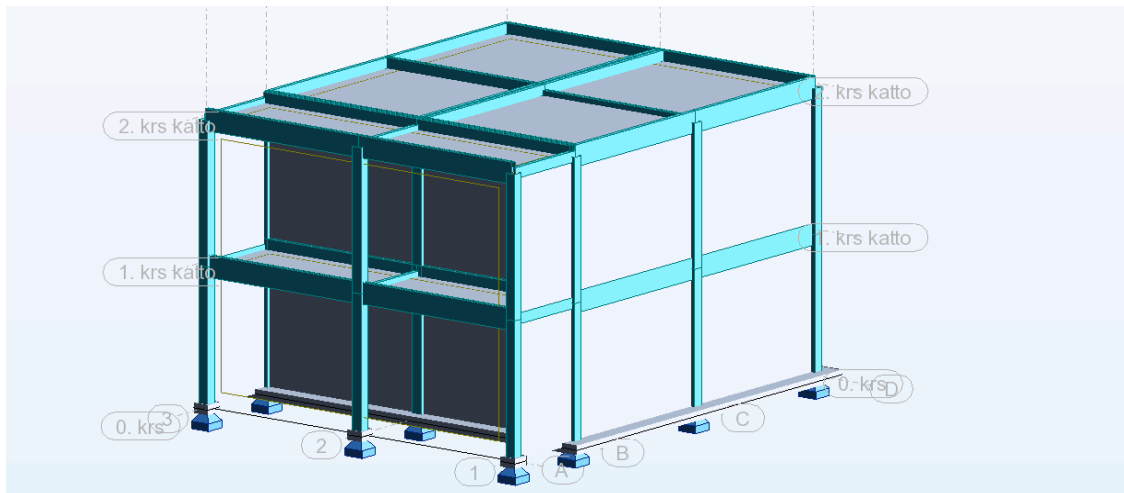


Kuva 20. Kaksikerroksisen rakenteen momenttipinnat



Kuva 21. Kaksikerroksisen rakenteen leikkausvoimapinnat

### 6.3 Rungon jäykkyys 2-kerroksisena jäykistävien rakenteiden kanssa



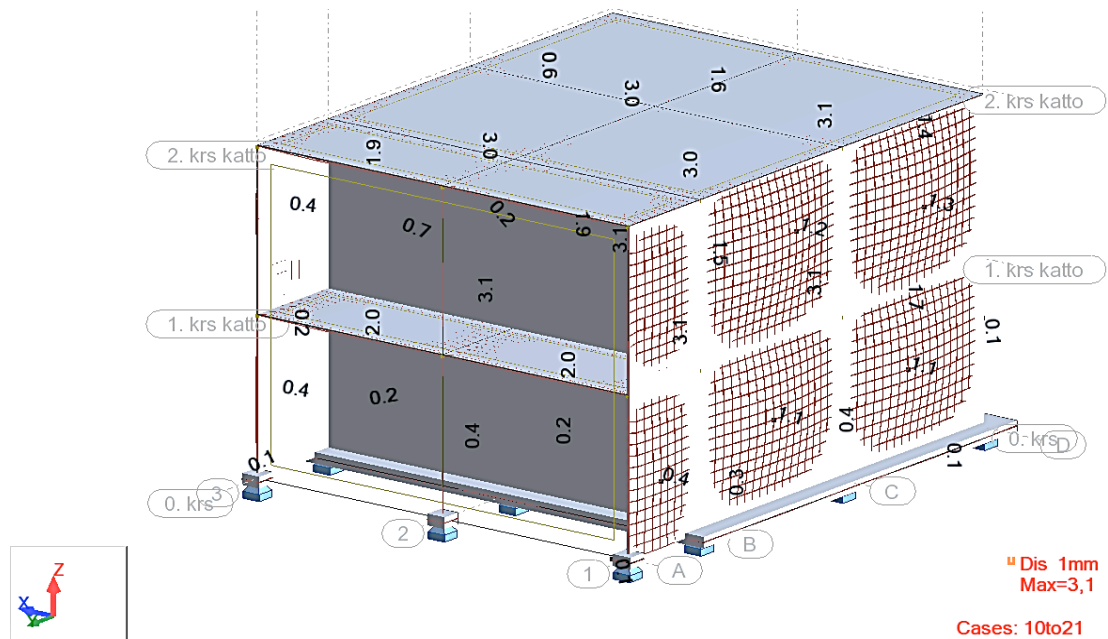
Kuva 22. Kaksikerroksinen rakenne jäykistävien rakenteiden kanssa

Rungon jäykkyys kaksikerroksisena jäykistettynä rakenteena tutkittiin lisäämällä kaksikerroksiseen pilari-palkkirunkoon jäykistävät seinät ja laatat Autodesk Robot Structural Analysis -ohjelman avulla. Yläpuolella olevassa kuvassa 22 on esitetty kohteen kyseinen asennusvaihe. Lisäksi päivitettiin kohteen hyöty-, tuuli- ja lumikuormat vastaamaan tätä tilannetta. Tuulikuorma on  $0,7 \text{ kN/m}^2$ , hyötykuorma on  $2 \text{ kN/m}^2$  ja lumikuorma on  $2 \text{ kN/m}^2$ .

Jäykistetyn rakenteen suurin taipuma on  $3,1 \text{ mm}$  ylimmän kerroksen laattarakenteessa. Suurin siirtymä on  $1,3 \text{ mm}$  x-suunnassa. Rakenteen taipumat ja siirtymät ovat siis pienempiä jäykistetyllä kuin jäykistämättömällä rakenteella, kuten kuuluukin olla. Taulukossa 3 on esitetty rakenteen erisuuntien maksimisiirtymät. Seuraavalla sivulla olevassa kuvassa 23 on esitetty rakenteen siirtymät.

Taulukko 3. Jäykistetyn rakenteen siirtymien maksimi- ja minimiarvot

Rakenteen suurimpien taipumien/ siirtymien arvot				Sallitut taipumat/ siirtymät (L/300)		
	UX (mm)	UY (mm)	UZ (mm)	UX (mm)	UY (mm)	UZ (mm)
<b>MAX</b>	1,3	0,1	0,1	20 mm	20 mm	12 mm
<b>nurkka</b>	7988	7135	10269			
<b>MIN</b>	- 1,3	- 0,7	- 3,1	- 20 mm	- 20 mm	- 12 mm
<b>nurkka</b>	4883	7315	11818			

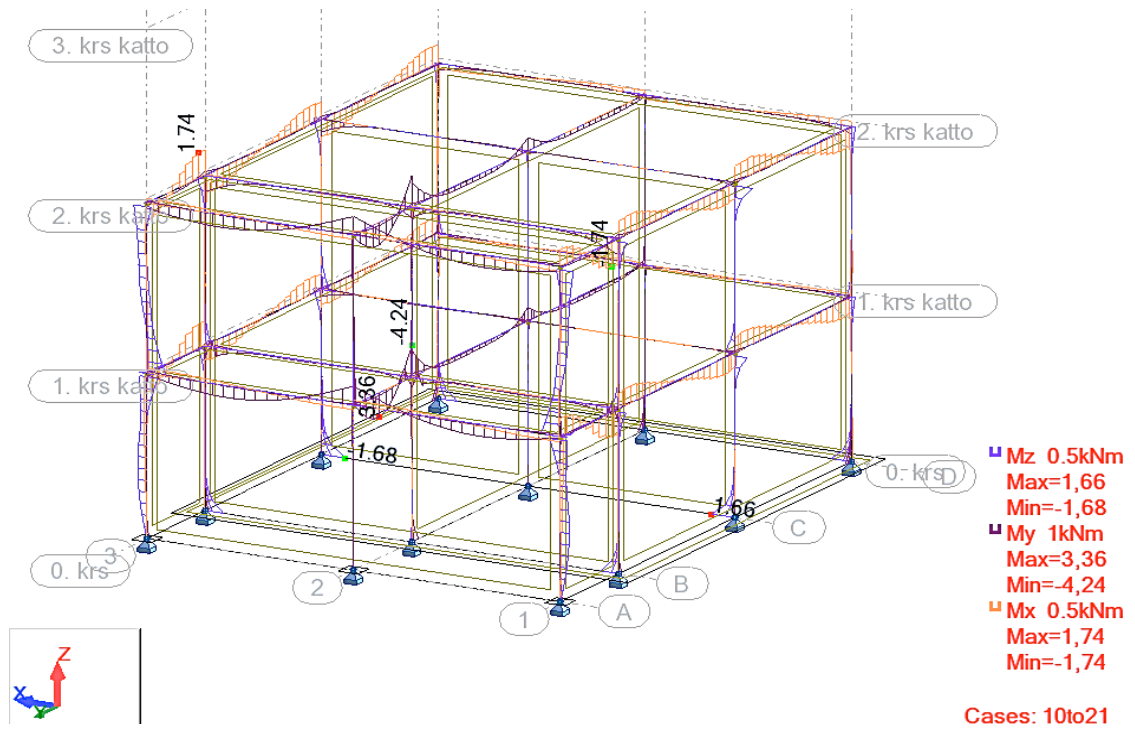


Kuva 23. Kaksikerroksisen jäykistetyn rakenteen siirtymät

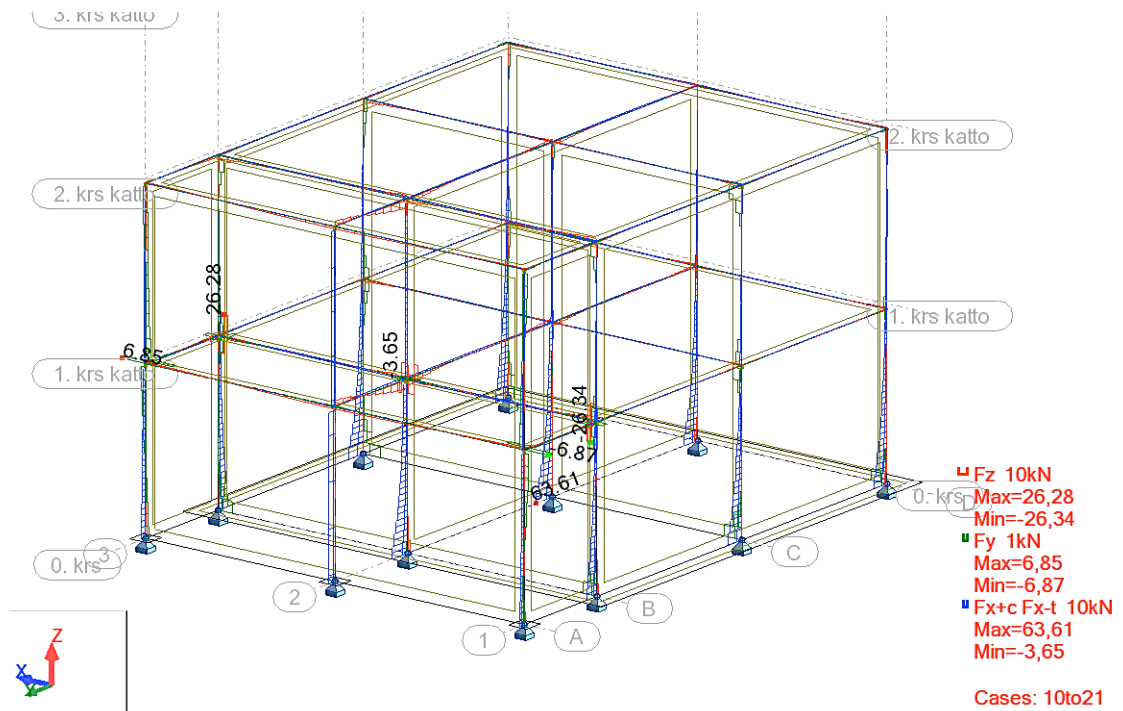
Rakenteen suurin momenttirasitus on 4,5 kNm ja suurin leikkausvoima 64 kN. Jäykistetyn rakenteen momenttirasitus pysyy lähes samana kuin jäykistämättömällä rakenteella, mutta leikkausvoiman maksimiarvo kasvaa kolminkertaiseksi. Rakenteen liitokset kestävät kyseiset rasitukset. Alla olevassa taulukossa 4 on esitetty kunkin suunnan suurimmat leikkausvoimat ja momentit. Seuraavalla sivulla olevista kuvista 24 ja 25 näkyy rakenteen momenttipinnat ja leikkausvoimapinnat.

Taulukko 4. Jäykistetyn rakenteen voimasuureet

Rakenteen suurimmat leikkausvoimien ja momenttien arvot						
	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)
<b>MAX</b>	63,61	6,85	20,38	1,74	2,25	1,66
<b>sauva</b>	45	12	10	29	27	46
<b>nurkka</b>	15	6	8	37	36	17
<b>MIN</b>	- 3,65	- 6,87	- 20,32	- 1,74	- 4,24	- 1,68
<b>sauva</b>	17	3	17	20	11	49
<b>nurkka</b>	12	2	10	36	12	23

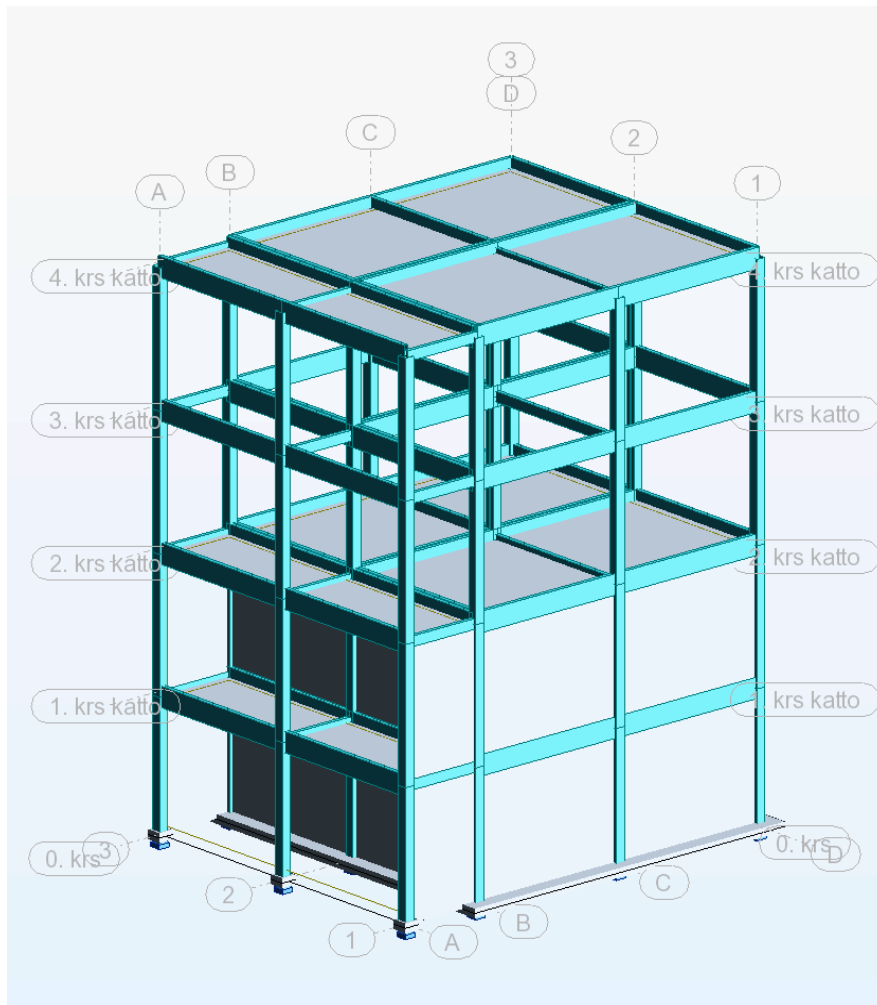


Kuva 24. Kaksikerroksisen jäykistetyn rakenteen momenttipinnat



Kuva 25. Kaksikerroksisen jäykistetyn rakenteen leikkausvoimapinnat

#### 6.4 Rungon jäykkyys 4-kerroksisena ilman ylempien kerroksien jäykistäviä rakenteita



Kuva 26. Kohde kun kaksi alempaa kerrosta jäykistetty ja kahden seuraavan kerroksen pilarit ja palkit asennettu

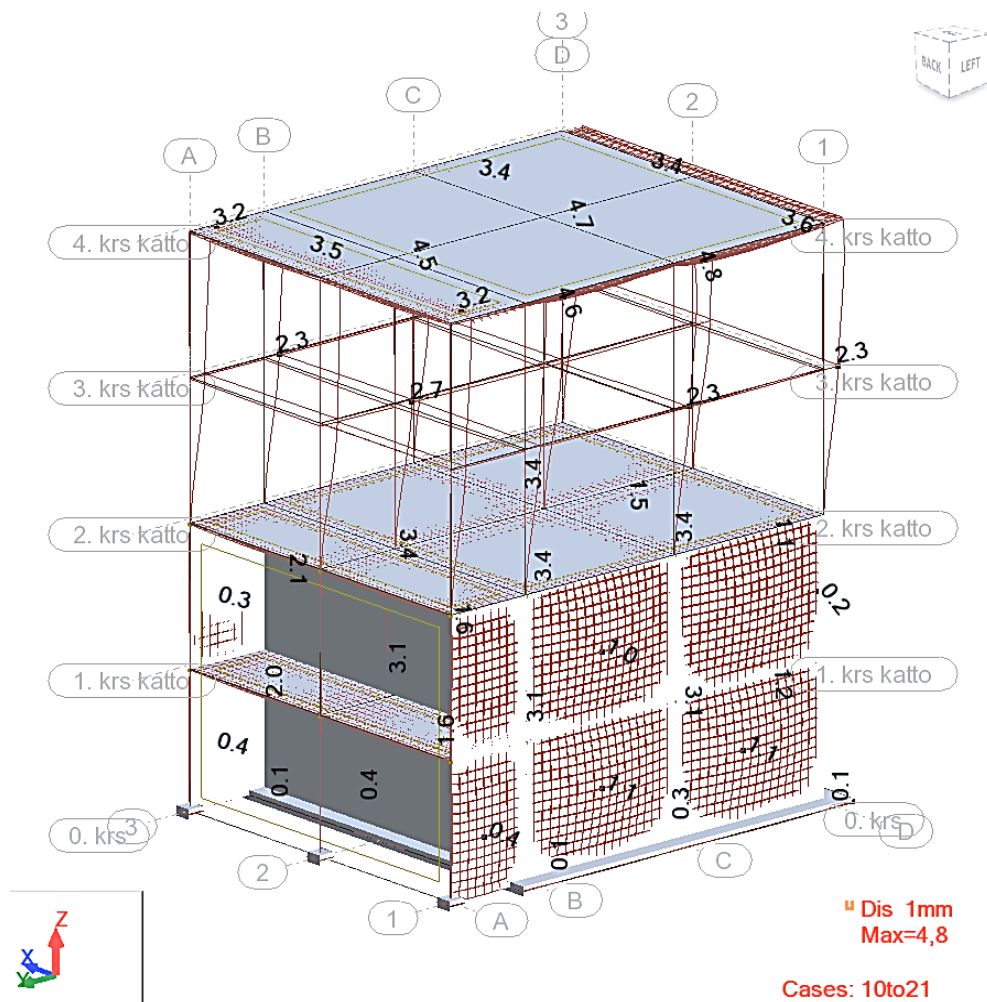
Kohteen seuraavassa asennusvaiheessa rakenteeseen lisätään 3 - 4 kerroksen pilarit ja palkit sääsuojan alla. Kuvassa 26 näkyy rakenteen peruseriaate. Sääsuoja aiheuttaa rakenteen yläpään kerrokseen talvisin lumikuorman. Lisäksi kolmannen kerroksen palkeille tulee hyötykuorma 0,45 kN/m. Tuulikuorma lasketaan 1 - 2 kerroksilla kantaan seiniin vaikuttavana ja 3 - 4 kerroksissa palkeille ja pilareille vaikuttavana. Ylempien kerroksien palkeille tuulikuorma on 0,26 kN/m ja pilareille 0,13 kN/m.

Rakenteen suurin taipuma on 4,8 mm ja suurin siirtymä 3,2 mm y-suuntaan. Rakenteen siirtymät on sallittujen rajojen sisällä eikä rakenteessa tapahdu liian suurta siirty-

mistä. Kuvassa 27 on esitetty rakenteen siirtymät ja taulukossa 5 rakenteen erisuuntien maksimisiirtymät.

Taulukko 5. Rakenteen siirtymien maksimi- ja minimiarvot

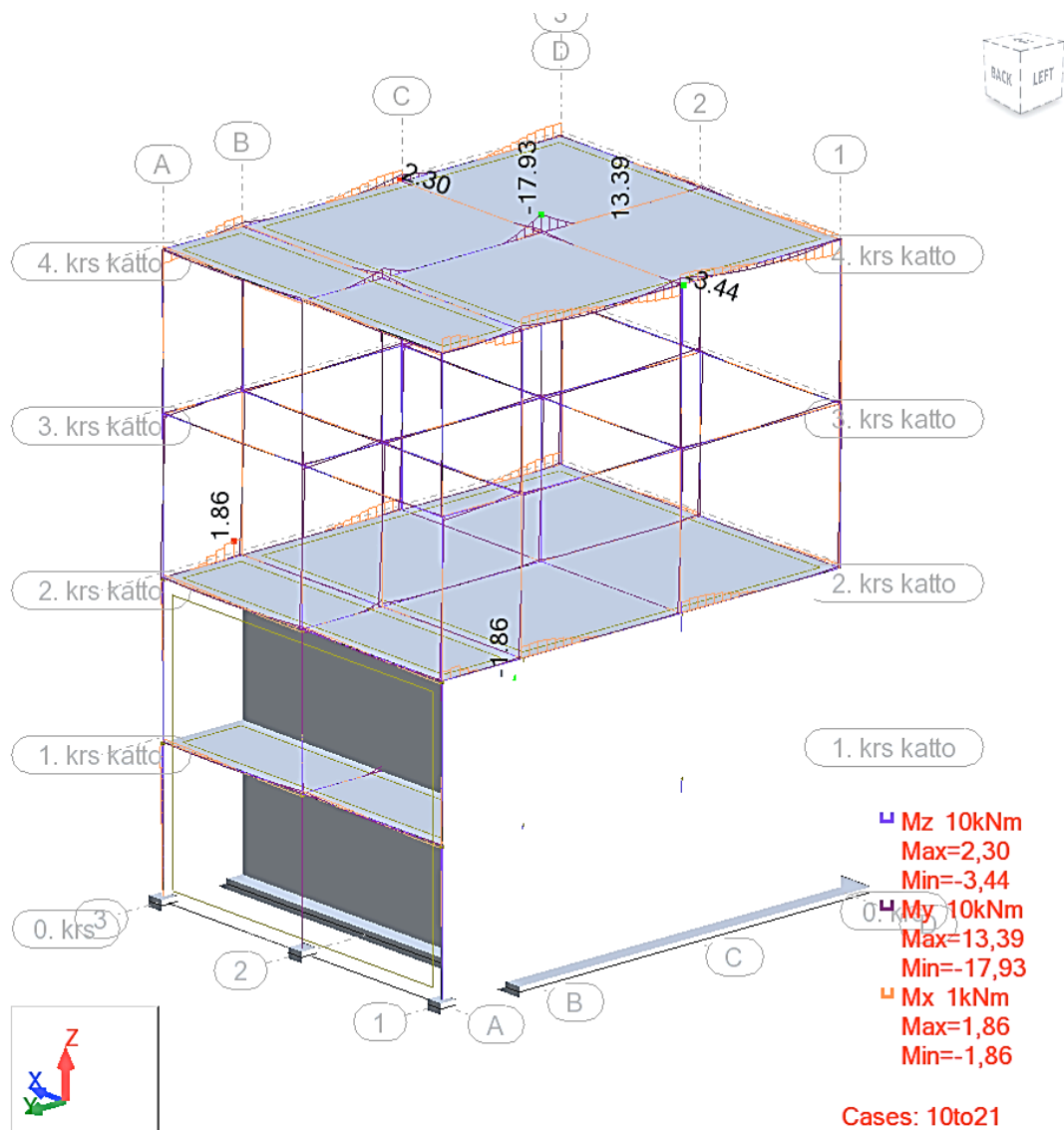
Rakenteen suurimpien taipumien/ siirtymien arvot			Sallitut taipumat/ siirtymät (L/300)			
	UX (mm)	UY (mm)	UZ (mm)	UX (mm)	UY (mm)	UZ (mm)
MAX	1,1	0,1	0,1	40 mm	40 mm	12 mm
nurkka	8437	7520	11236			
MIN	- 1,1	- 3,2	- 4,8	- 40 mm	- 40 mm	- 12 mm
nurkka	5369	2041	15364			



Kuva 27. Rakenteen siirtymät

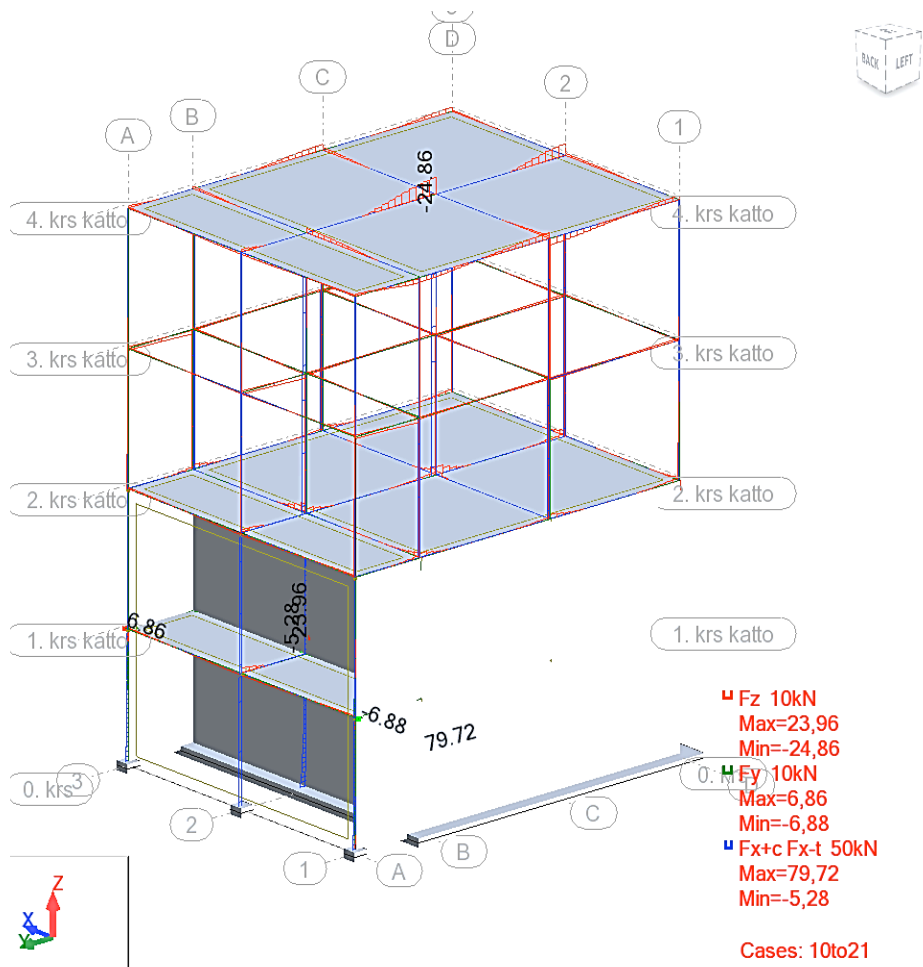
Rakenteen suurin momenttirasitus on 18 kNm ja suurin leikkaisuvoima 80 kN. Alla olevassa kuvassa 28 näkyy momenttipinnat. Seuraavalla sivulla olevassa kuvassa 29 on

esitetty leikkausvoimapinnat ja taulukossa 6 on esitetty kunkin suunnan suurimmat leikkausvoimat ja momentit.



Kuva 28. Rakenteen momenttipinnat



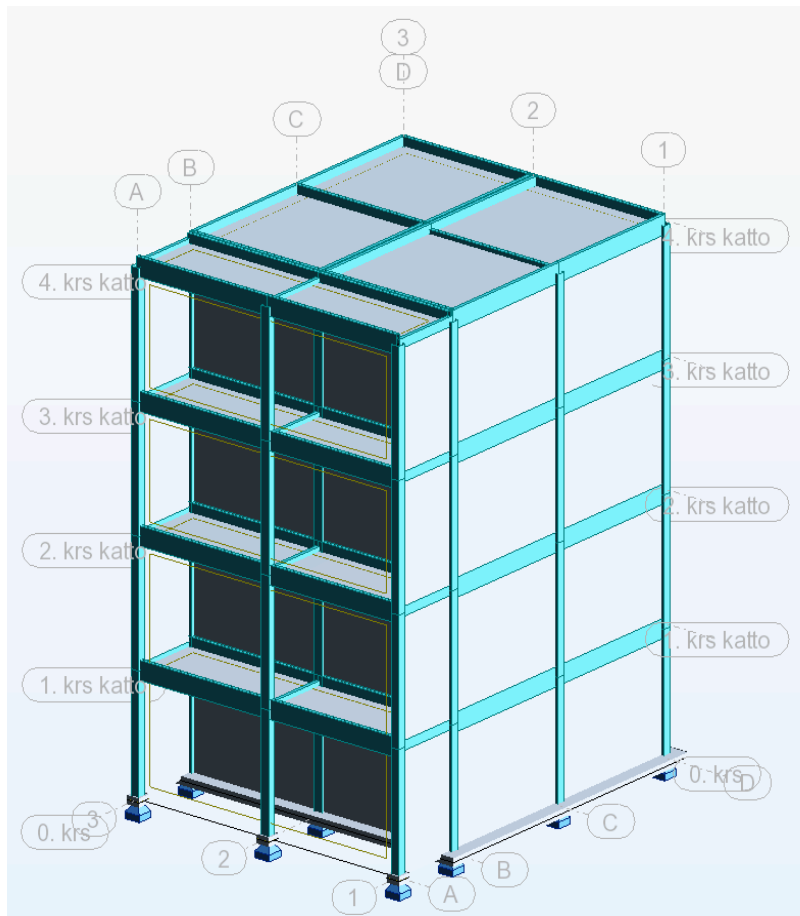


Kuva 29. Rakenteen leikkausvoimapinnat

Taulukko 6. Rakenteen voimasuureet

Rakenteen suurimmat leikkausvoimien ja momenttien arvot						
	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)
<b>MAX</b>	79,72	6,86	22,81	1,89	4,74	2,30
<b>sauva</b>	45	12	133	29	27	119
<b>nurkka</b>	15	6	1204	37	38	1212
<b>MIN</b>	- 6,32	- 6,88	- 24,86	- 1,89	- 17,93	- 3,44
<b>sauva</b>	39	3	132	20	132	116
<b>nurkka</b>	1	2	1204	36	1204	1207

## 6.5 Rungon lopullinen jäykkyys



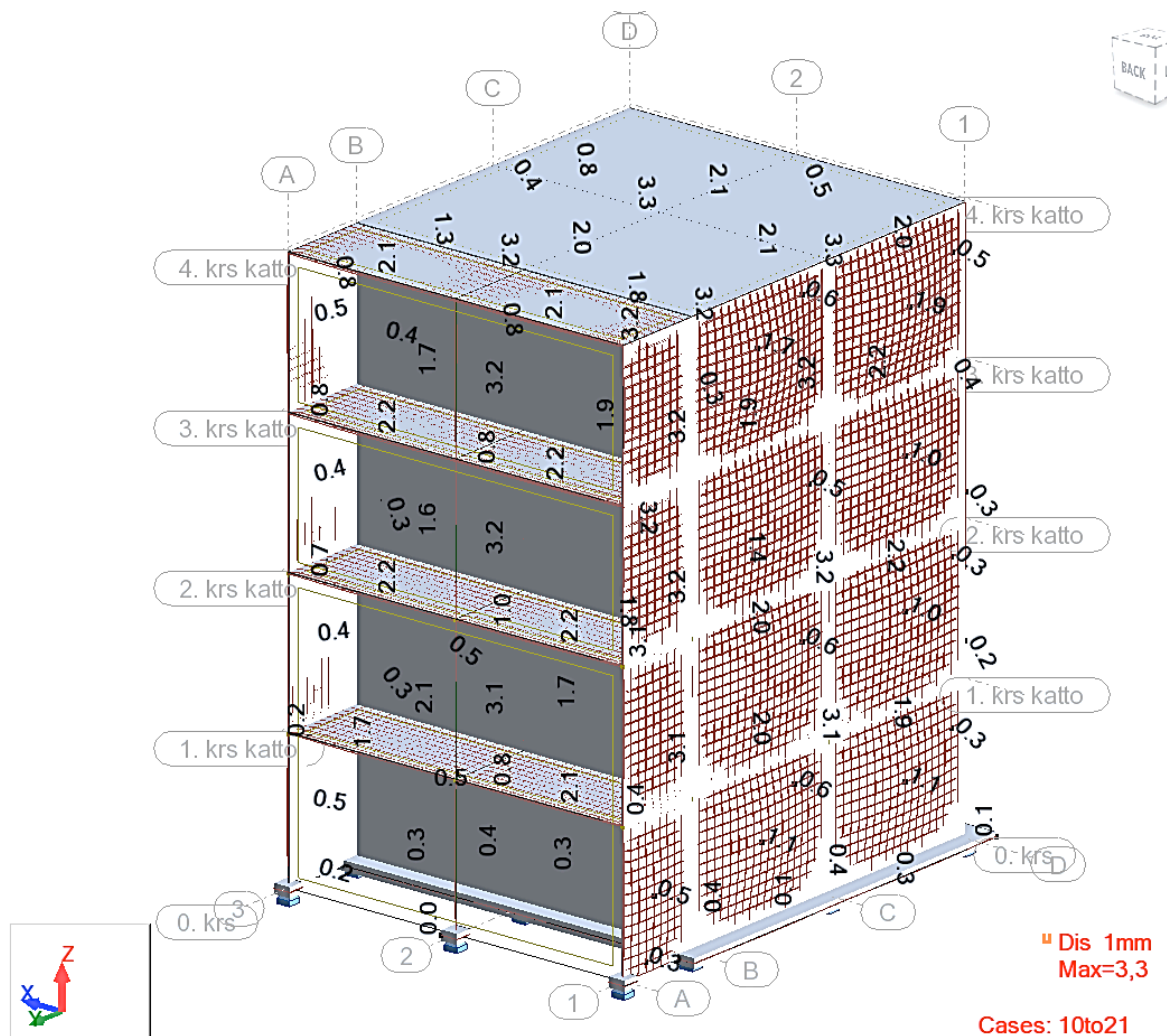
Kuva 30. Kohteen runko valmiina

Rungon lopullisen jäykkyyden tarkastelussa tutkitaan tilannetta, jossa on 4-kerroksisen kerrostalon pilarit ja palkit sekä jäykistävät rakenteet. Rakenne on esitetty kuvassa 30. Rakenteen tuulikuorma on suurempi ylimmässä kerroksessa johtuen rakenteen leveyden suhteesta korkeuteen.

Rakenteen suurin taipuma on 3,3 mm ja suurin siirtymä on 1,9 mm x-suuntaan. Jäykistetyin rakenteen suurimmat taipumat ovat siis 60 - 70 % verrattuna jäykistämättömän rakenteen siirtymiin. Seuraavalla sivulla olevassa taulukossa 7 on esitetty rakenteen eri suuntien suurimmat siirtymät ja kuvassa 31 rakenteen siirtymät.

Taulukko 7. Lopullisen rakenteen siirtymien maksimi- ja minimiarvot

Rakenteen suurimpien taipumien/ siirtymien arvot			Sallitut taipumat/ siirtymät (L/300)			
	UX (mm)	UY (mm)	UZ (mm)	UX (mm)	UY (mm)	UZ (mm)
<b>MAX</b>	1,9	0,1	0,1	40 mm	40 mm	12 mm
<b>nurkka</b>	21308	26184	12302			
<b>MIN</b>	- 1,9	- 1,0	- 3,3	- 40 mm	- 40 mm	- 12 mm
<b>nurkka</b>	26540	26023	16466			



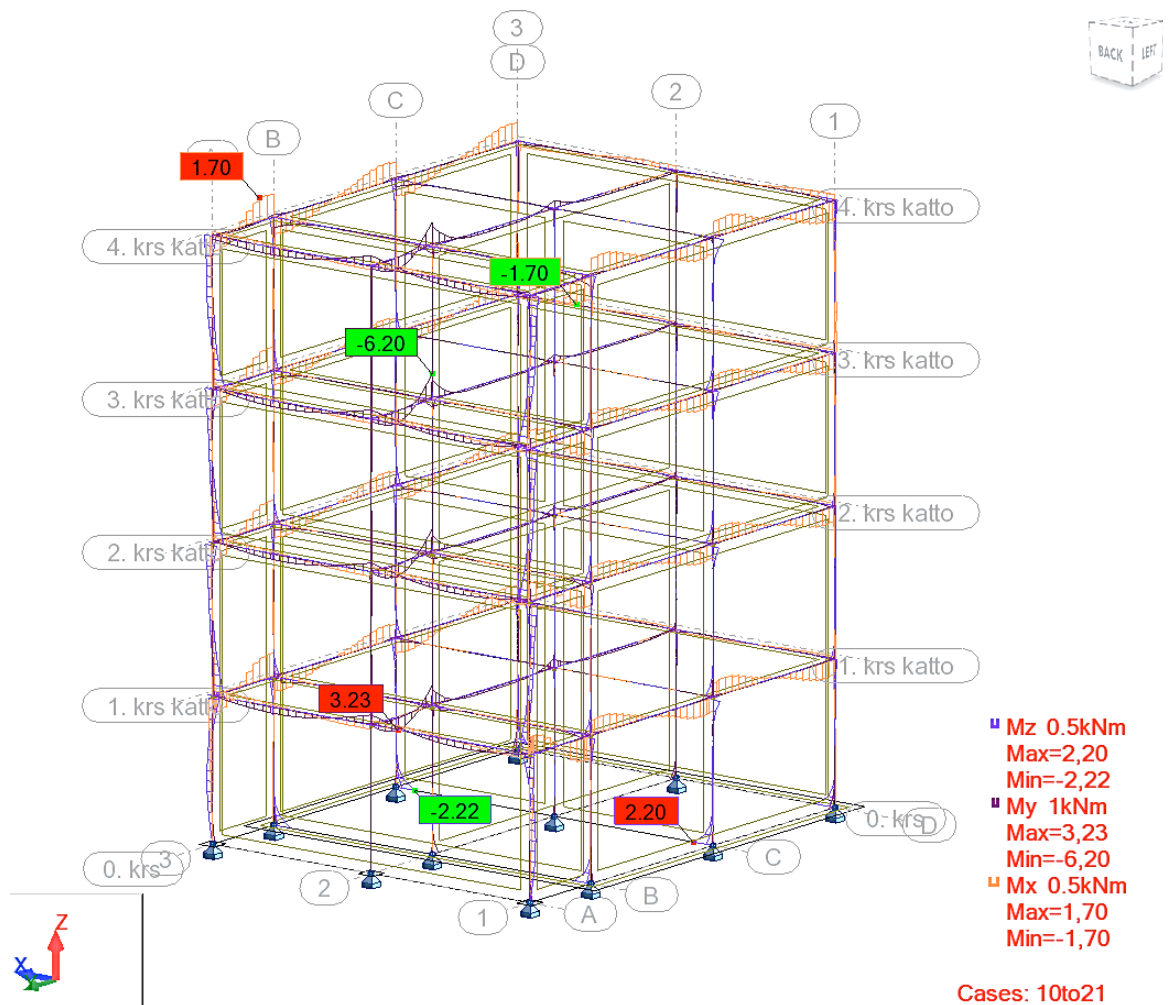
Kuva 31. Lopullisen rakenteen siirtymät

Rakenteen suurin momenttiarvo on 6,2 kNm ja suurin leikkausvoima 86 kN. Rakenteen liitokset kestävät kyseiset voimat ja rakenne kestää lopullisessakin vaiheessa. Rakenteen suurin leikkausrasitus kohdistuu rakenteen alimpaan pilariliitokseen. Alla olevissa

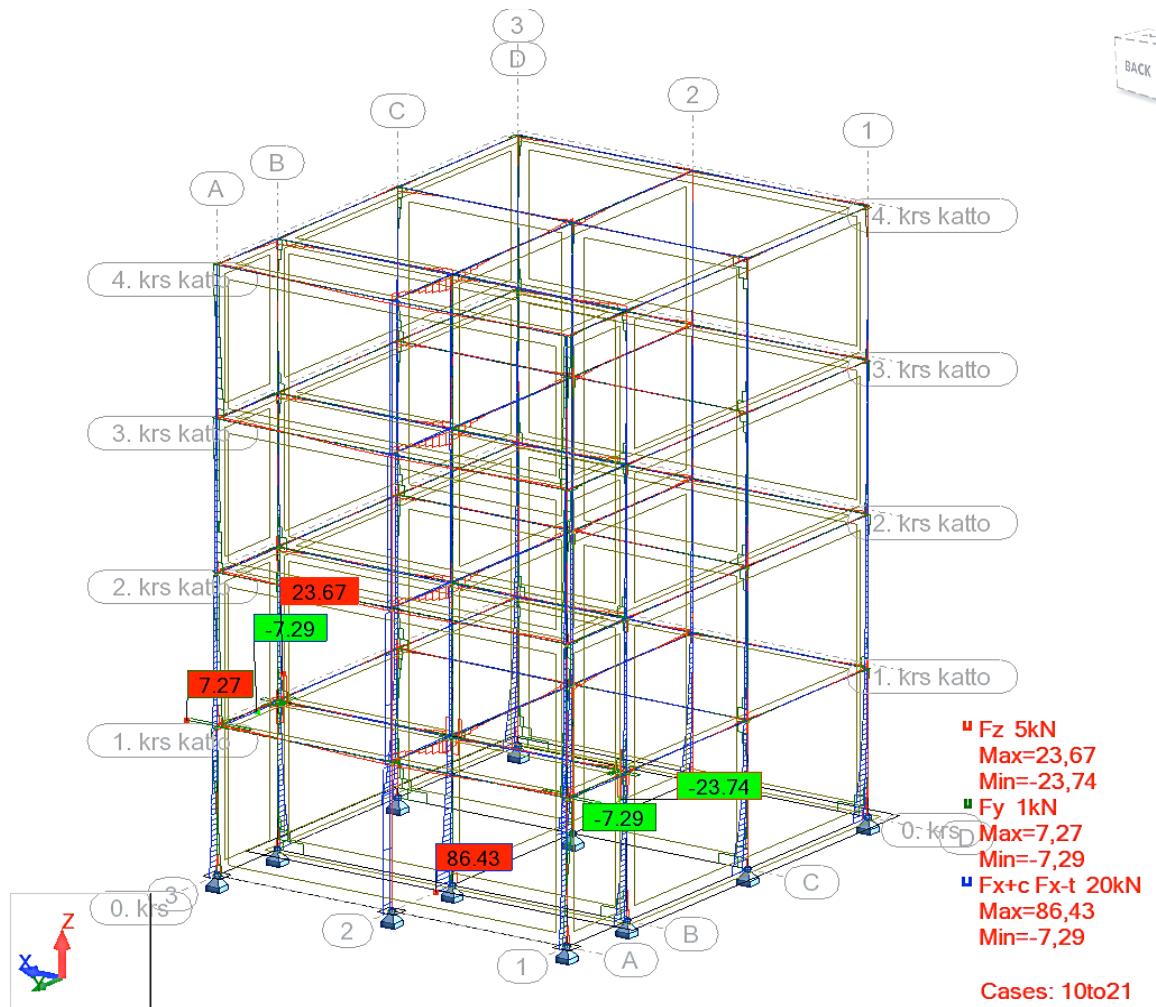
kuvissa 32 ja 33 on esitetty momenttipinnat ja leikkausvoimapinnat, sekä taulukko 8, jossa on esitetty kunkin suunnan suurimmat leikkausvoimat ja momentit.

Taulukko 8. Lopullisen rakenteen voimasuureet

Rakenteen suurimmat leikkausvoimien ja momenttien arvot						
	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)
<b>MAX</b>	86,43	7,27	17,74	1,79	2,51	2,20
<b>sauva</b>	44	12	10	129	127	46
<b>nurkka</b>	11	6	8	1186	1184	17
<b>MIN</b>	- 9,42	- 7,29	- 17,68	- 1,79	- 6,20	- 2,22
<b>sauva</b>	39	3	17	114	99	49
<b>nurkka</b>	1	2	10	1184	450	23



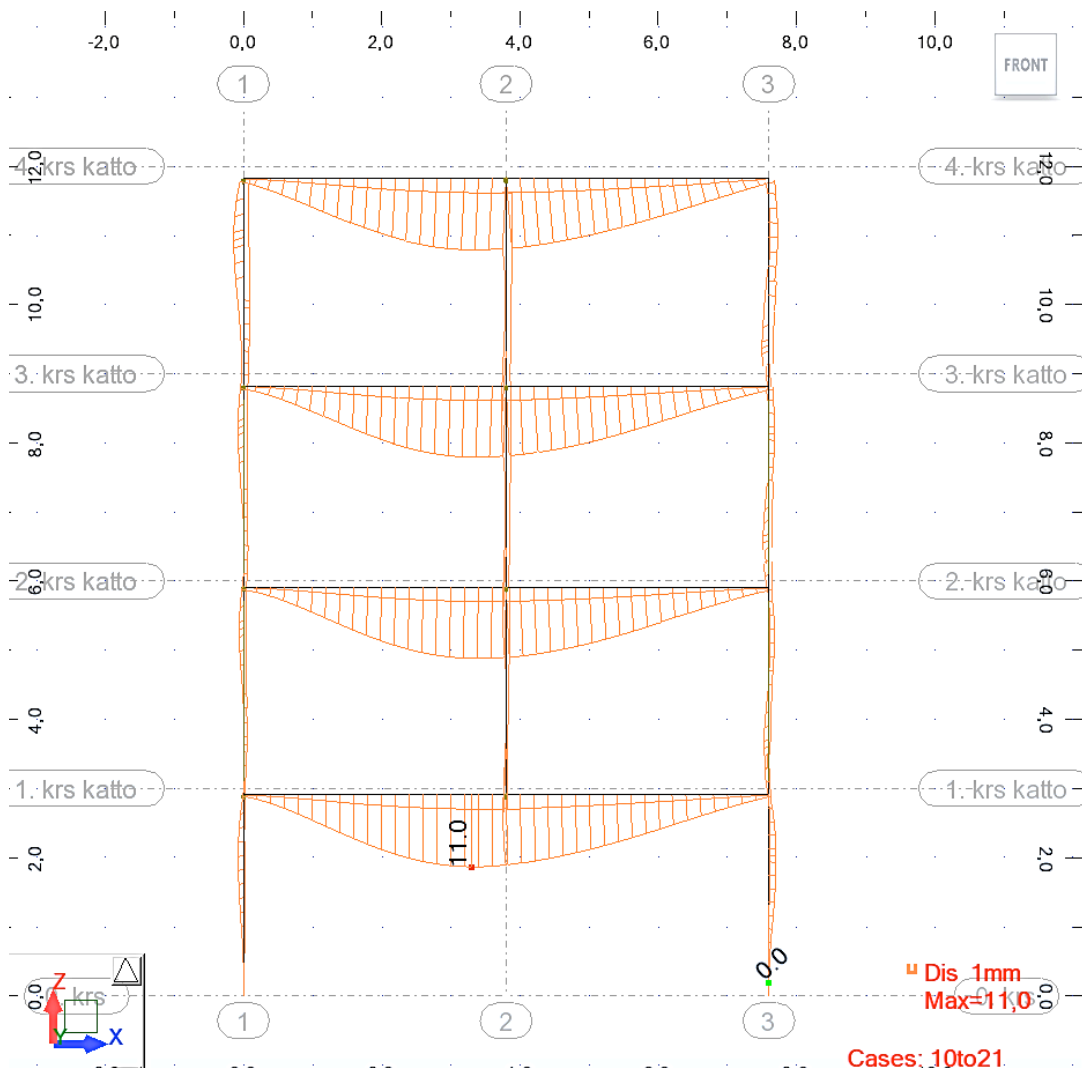
Kuva 32. Lopullisen rakenteen momenttipinnat



Kuva 33. Lopullisen rakenteen leikkausvoimapinnat

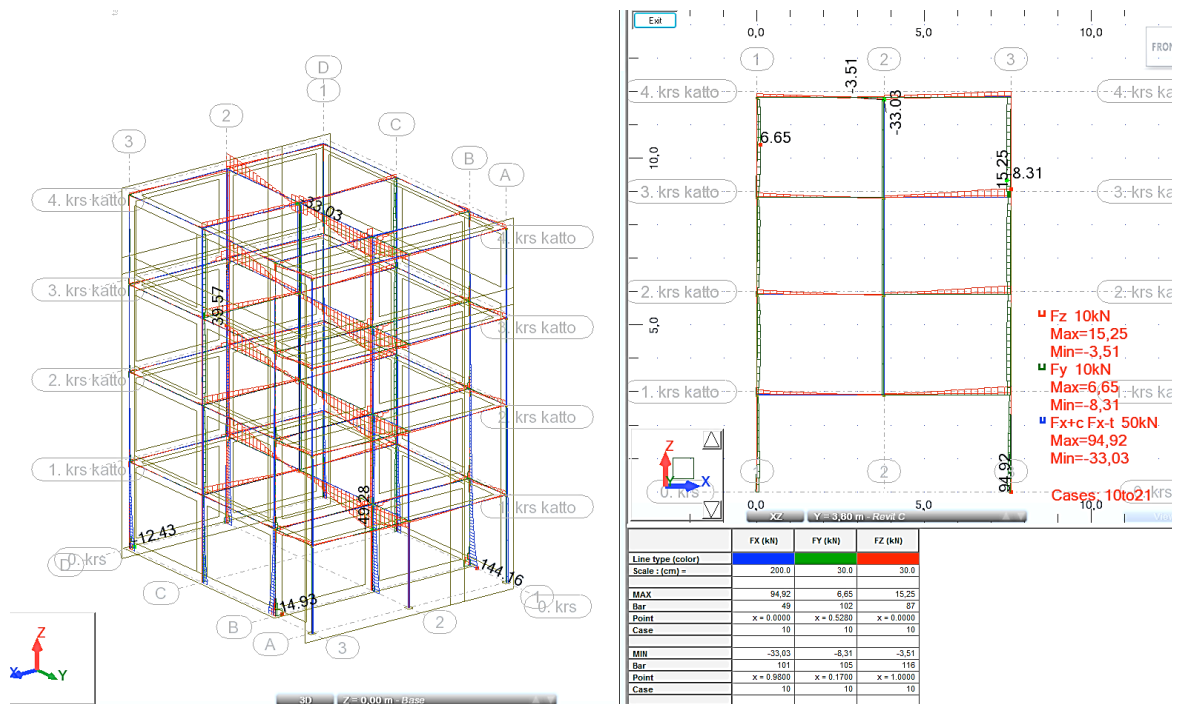
## 6.6 Runko onnettomuustilanteessa

Rungon toimintaa onnettomuustilanteessa testattiin ottamalla lopullisesta mallista pilareita yksitellen pois ja katsomalla kestäkö runko ja sen liitokset. Rakennukset on suunniteltava siten, että jatkuva sortuminen on estetty. Tämä tarkoittaa sitä, että onnettomuustilanteessa yhden rakenneosan sortuessa tai menettäessä kantavuutensa, koko rakenne ei sorsu. Koestusmalli-rakenteesta on kuvattuna tilanne, jossa rakenteen keskipilari on otettu pois. Kuvasta 34 nähdään, että onnettomuustilanteessa rakenteen suurin taipuma on 11 mm. Taipuma ei ole liian suuri, sillä rakenteen suurin sallittu taipuma on 12 mm ( $L/300$ ).



Kuva 34. Koestusmallin taipuma onnettomuustilanteessa.

Vaikka rungon taipuma on sallituissa rajoissa, on myös sen liitoksen kestävyys alhaalla varmistettava. Seuraavalla sivulla olevassa kuvasta 35 nähdään, että keskiliitoksen tulee kestää 34 kN suuruinen voima. Keski-liitos kestää 90 kN eikä ongelmaa näin ollen tule. Pilarin alapään liitos betoniin kestää 361 kN. Näin ollen pilarin alapään liitos kestää myös onnettomuustilanteen sille aiheuttaman 145 kN rasituksen.



Kuva 35. Koestusmallin leikkausvoimat onnettomuustilanteessa.

## 6.7 Johtopäätökset

Koestusmalli-rakenteeseen tehtyjen rakenneanalyysien perusteella Timbesys-rakennejärjestelmällä toteutettu runko kestää asennusaikana, kun pilareita ja palkkeja asennetaan korkeitaan kaksi kerrosta ilman jäykistystä. Taulukossa 9 on koottuna koestusmallin eri asennusvaiheiden ja lopullisen rakenteen taipumat, siirtymät ja maksimi-voimasuureet.

Taulukko 9. Järjestelmän eri vaiheiden tulokset

	taipuma	siirtymä (suunta)	suurin leikkausvoima	suurin momentti
2 kerrosta pilari-palkkirunko	1,0 mm	5,8 mm (UY)	22,5 kN	7 kNm
2 kerrosta jäykistykseen kanssa	3,1 mm	1,3 mm (UX)	64 kN	4,5 kN
2 kerrosta jäykistettynä, 3 - 4 kerrokset pilari-palkkirunkona	4,8 mm	3,2 mm (UY)	80 kN	18 kNm
Lopullinen rakenne	3,3 mm	1,9 mm (UX)	86 kN	6,2 kNm

Taulukosta 9 on nähtävissä, että ilman jäykistäviä rakenteita siirtymät ja taipumat ovat huomattavasti suuremmat kuin jäykistetyillä rakenteilla. Lisäksi momentit pienenevät, kun rakenteeseen lisätään jäykistävät rakenteet. Sen sijaan leikkausvoimat suurenevat aina rakenteen omapainon kasvaessa. Suurimmat leikkausvoimat ovatkin alimpien pilareiden alapäässä, joten pilareiden alaliitoksissa on huomioitava rakenteen mitoittava tilanne.

Koestusmallille tehtyjen onnettomuustilanteen tutkimuksien perusteella saatiin selville, että rakenteen toiminta onnettomuustilanteessa on toivotunlainen eikä jatkuvaa sortumista pääse tapahtumaan.



## 7 Yhteenveto

Insinööriyössä mallinnettiin Timbesys-rakennejärjestelmän elementit Autodesk Revit -ohjelmaan. Elementeistä koottiin koestusmalli, jonka analyttinen malli vietiin Autodesk Robot Structural Analysis Professional -ohjelmaan analysoitavaksi. Koestusmallia testattiin nelikerroksisen puukerrostalon jäykkyys asennusaikana ja lopullisena rakenteena.

Timbesys-rakennejärjestelmälle tehtyjen rakenneanalyysien perusteella rakenne kestää asennusaikana, kun asennetaan korkeintaan kaksi kerrosta ilman jäykistystä. Kahden kerroksen pilarien ja palkkien asennuksen jälkeen asennetaan rakenteen jäykistävät seinät ja laatat. Onnettomuustilanteessa rakenne toimii halutulla tavalla eli jatkuvaa sortumista ei tapahdu.

Mielenkiintoisinta projektissa oli oppia mallintamisessa huomioitavia asioita, kun geometrista kohdetta halutaan tutkia myös analyttisenä mallina laskentaohjelmassa. Projektin aikana on myös oppinut mallintamisen mahdollisuuksia ja sen miten paljon mallintaessa asiaa voi sisällyttää yhteen ainoaan objektiin.

## Lähteet

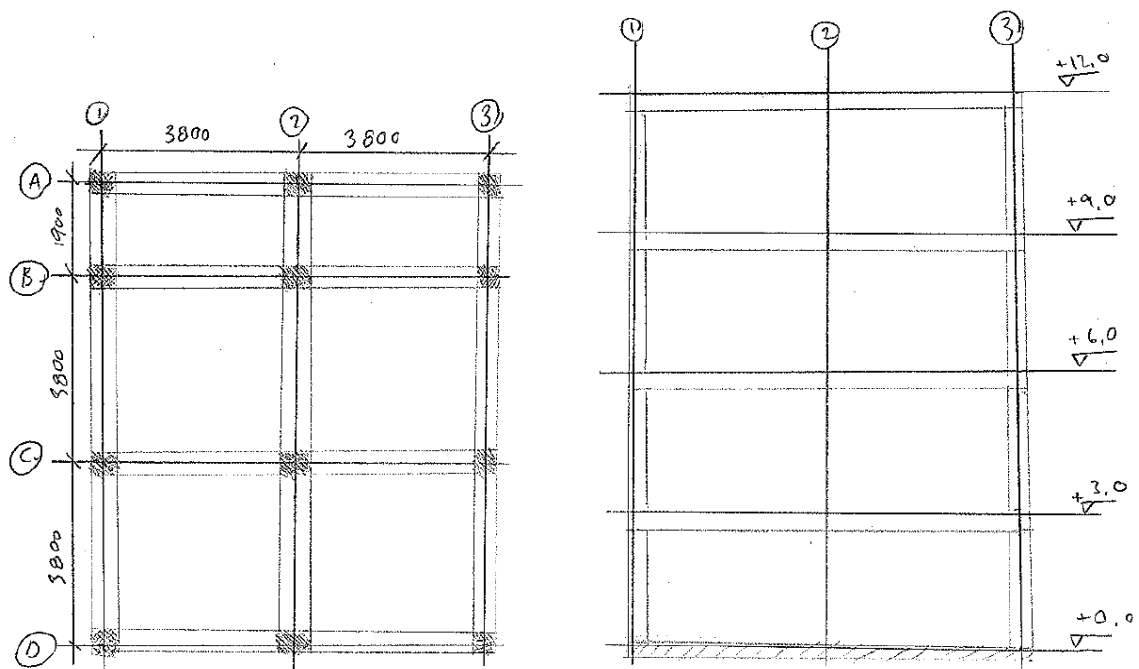
- 1 Puuinfo. Valmistuneet puukerrostalot. Verkkodokumentti. < <http://www.puuinfo.fi/valmistuneet-puukerrostalot> >. Luettu 1.6.2014.
- 2 VisitEspoo. Matkailuopas. Verkkodokumentti. < [http://www.visitespoo.fi/matkailuopas/nae\\_ja\\_koe/nuuksio/haltia](http://www.visitespoo.fi/matkailuopas/nae_ja_koe/nuuksio/haltia) >. Luettu 1.6.2014.
- 3 Rekola, Markku. 2013. Suomen korkein puukerrostalo Seinäjoelle. RIA, 5/2013, s. 28 - 29.
- 4 Salmela, Marja. 2014. Puiset kerrostalot yleistyvät - pula kotimaisista elementeistä pullonkaulana. Helsingin sanomat, 30.1.2014. Verkkodokumentti. < <http://www.hs.fi/kotimaa/a1391052353226> >. Luettu 15.6.2014.
- 5 Karjalainen, Markku. 2002. Suomalainen puukerrostalo puurakentamisen kehittämisen etulinjassa. Arkkitehtuurin osasto, Oulun Yliopisto. Verkkoaineisto. < <http://herkules oulu.fi/isbn9514266188/isbn9514266188.pdf> > Luettu 15.6.2014.
- 6 Puuinfo. Runkojärjestelmien vaikutus arkkitehtisuunnitteluun. Verkkoaineisto. < <http://www.puuinfo.fi/rakentaminen/suunnitteluohjeet/runkojarjestelman-vaikutukset-arkkitehtisuunnitteluun> >. Luettu 29.9.2013.
- 7 Tolppainen, Janne - Karjalainen, Markku - Lahtela, Tero - Viljakainen, Mikko. 2013. Suomalainen puukerrostalo - Rakenteet, suunnittelu ja rakentaminen.
- 8 Finnish Rood Research. RunkoPES 1.0 - Rungon puuelementtistandardi. 2012.
- 9 Woodproducts. Yleisimmät rakennejärjestelmät. Verkkoaineisto. < <http://www.woodproducts.fi/fi/content/yleisimmat-rakennejarjestelmat> >. Luettu 25.6.2014.
- 10 Studio Suonto Oy. Timbeco-rakennejärjestelmä. Verkkoaineisto. < [http://www.studiosuonto.fi/TIMBECO-pdf\\_rakennejarjestelma.pdf](http://www.studiosuonto.fi/TIMBECO-pdf_rakennejarjestelma.pdf) >. Luettu 29.9.2013.
- 11 Tekla. Rakennusalan vaikuttajat vaativat tietomallinnusta. Verkkoaineisto. < <http://www.tekla.com/fi/about-us/news/Pages/rakennusalan-vaikuttajat-vaativat-tietomallinnusta.aspx> >. Luettu 29.9.2013.
- 12 Parkkinen, Timo. 2012. Tietomallipohjainen suunnitteluprosessi. Opinnäytetyö. Savonia-ammattikorkeakoulu.

- 13 Leppinen, Jani. 2011. Teräsrunkoisen hallin laskentamallin luonti. Opinnäytetyö. Tampereen ammattikorkeakoulu.
- 14 Autodesk. Integrating Revit Structure and Robot Structural Analysis Professional. Verkkoaineisto. <  
[http://images.autodesk.com/adsk/files/linking\\_revit\\_structure\\_models\\_with\\_robot\\_structural\\_analysis.pdf](http://images.autodesk.com/adsk/files/linking_revit_structure_models_with_robot_structural_analysis.pdf) >. Luettu 13.10.2013.
- 15 Autodesk. Integrating Autodesk Revit, Revit Structure, and Robot Structural Analysis Professional. Verkkoaineisto. <  
[http://static.autodesk.net/dc/content/dam/autodesk/www/industries/architecture-engineering-construction/structural-engineering/Docs/Linking\\_Autodesk\\_Revit\\_Revit\\_Structure\\_and\\_Robot\\_Structural\\_Analysis\\_Professional-Whitepaper.pdf](http://static.autodesk.net/dc/content/dam/autodesk/www/industries/architecture-engineering-construction/structural-engineering/Docs/Linking_Autodesk_Revit_Revit_Structure_and_Robot_Structural_Analysis_Professional-Whitepaper.pdf) >. Luettu 13.10.2013.
- 16 RIL 201-1-2011, Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Eurokoodi.
- 17 Suomen Standardisoimisliitto SFS. 2006. SFS-EN 1990-1-1 + N.A., Eurocode 1: Rakenteiden suunnitteluperusteet.
- 18 Suomen Standardisoimisliitto SFS. 2011. SFS-EN 1991-1-1 + N.A., Eurocode 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-1: Yleiset kuormat, tilavuuspaino, oma paino ja rakennuksen hyötykuormat.
- 19 Suomen Standardisoimisliitto SFS. 2004. SFS-EN 1991-1-3 + N.A., Eurocode 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-3: Yleiset kuormat. Lumikuormat.
- 20 Suomen Standardisoimisliitto SFS. 2011. SFS-EN 1991-1-4 + N.A., Eurocode 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-4: Yleiset kuormat. Tuulikuormat.

## Liite 1: Kuormien laskenta

### Lähtötiedot

Rakenne on nelikerroksinen liimapuurakenteinen kerrostalo, jonka runko toteutetaan pilari-palkkijärjestelmällä jäykistävien seinien kanssa.



- Pilarit ja palkit ovat liimapuuta GL32c
- seinät ja laatat elementteinä; liimapuurakenteinen eristeineden sekä ovien ja ikkunoiden kanssa.

### Kuormat

#### 1. Omapaino

Liimapuun tiheys $410 \text{ kg/m}^3$	$= 4,022 \text{ kN/m}^3$
Välipohjalaattojen tiheys $60 \text{ kg/m}^3$	$= 0,6 \text{ kN/m}^3$
Seinäelementtien tiheys $50 \text{ kg/m}^3$	$= 0,5 \text{ kN/m}^3$

## 2. Hyötykuorma

Asuinkerrostalon hyötykuorma  $q_k = 2,0 \text{ kN/m}^3$  (RIL 205-1-2007)  
parvekkeilla  $1,5 \text{ kN/m}^2$

## 3. Tuulikuorma

Lasketaan RIL 201-1-2011 painekerroinmenettelyn mukaan

Maastoluokka II

$$b = 9,5 \text{ m}$$

$$h = 12,0 \text{ m}$$

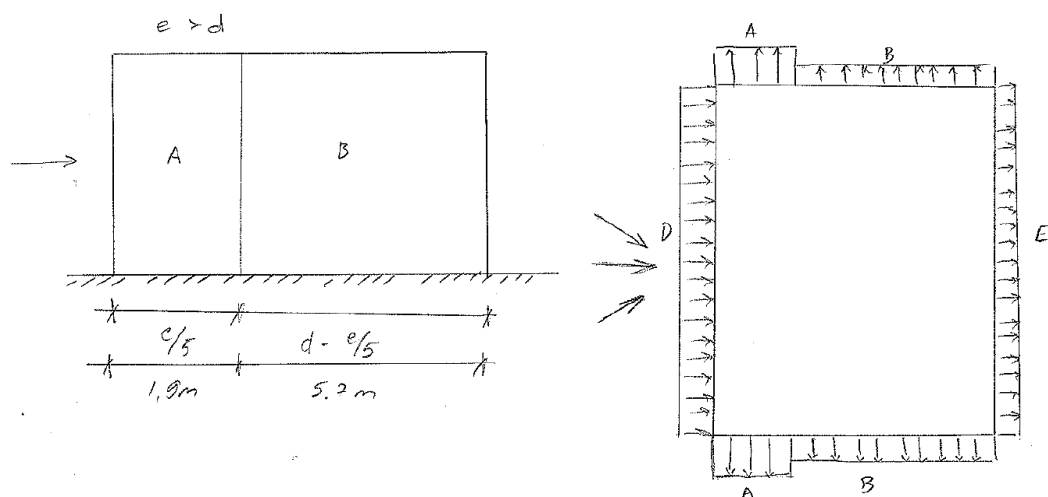
$$d = 7,6 \text{ m}$$

Nopeuspaineen ominaisarvo

$$q_{po}(z) = 0,65 \text{ kN/m}^2 + ((12-10)/(15-10))*(0,72-0,65) \text{ kN/m}^2 = 0,678 \text{ kN/m}^2$$

$$e = \min(b; 2 \cdot h) = \min(9,5\text{m}; 2 \cdot 12\text{m}) = 9,5\text{m}$$

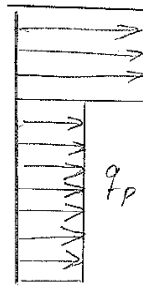
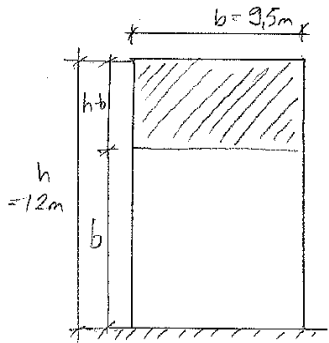
$$e > d$$



$$h/b = 12\text{m} / 7\text{m} = 1,58$$

$$b < h \leq 2b$$

$$b < h \leq 2b$$

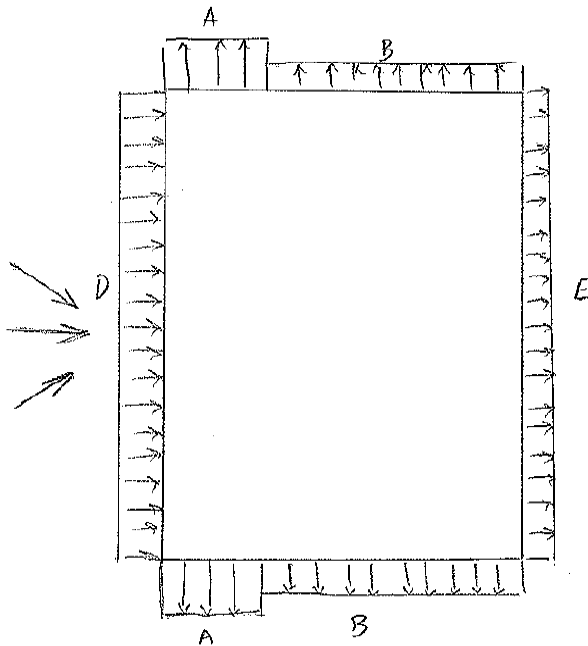


$$q_p(z) = q_p(h) = 0,68 \text{ kN/m}^2$$

$$q_p(z) = q_p(b) = 0,61 + \left( \frac{9,5-8}{10-8} \right) \cdot (0,65 - 0,61) = 0,64 \text{ kN/m}^2$$

### Vyöhykkeiden pintapaine

	yläosa $q_p(h)$	alaosa $q_p(b)$
$w_{e,A} = q_{po}^*(-1,2) =$	$-0,816 \text{ kN/m}^2$	$-0,768 \text{ kN/m}^2$
$w_{e,B} = q_{po}^*(-0,8) =$	$-0,544 \text{ kN/m}^2$	$-0,512 \text{ kN/m}^2$
$w_{e,D} = q_{po}^*(0,8) =$	$0,544 \text{ kN/m}^2$	$0,512 \text{ kN/m}^2$
$w_{e,E} = q_{po}^*(-0,5) =$	$-0,34 \text{ kN/m}^2$	$-0,32 \text{ kN/m}^2$



## 4. Lumikuorma

$$s = \mu_i * C_e * C_t * s_k$$


Rakennuspaikka: Jyväskylä =>  $s_k = 2,5 \text{ kN/m}^2$

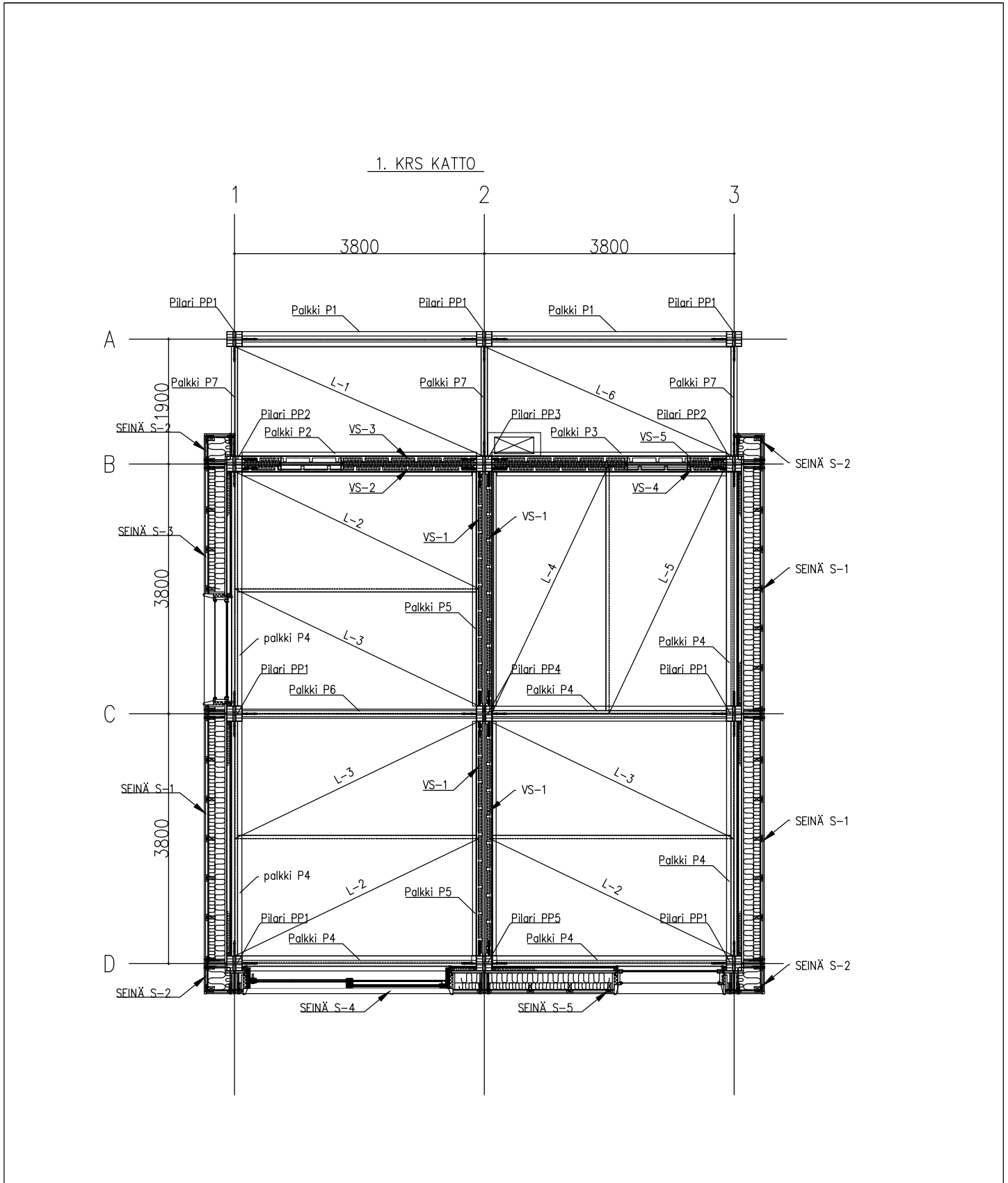
Tasakatto =>  $\mu_i = 0,8$

$$C_e = 1,0$$


$$C_t = 1,0$$

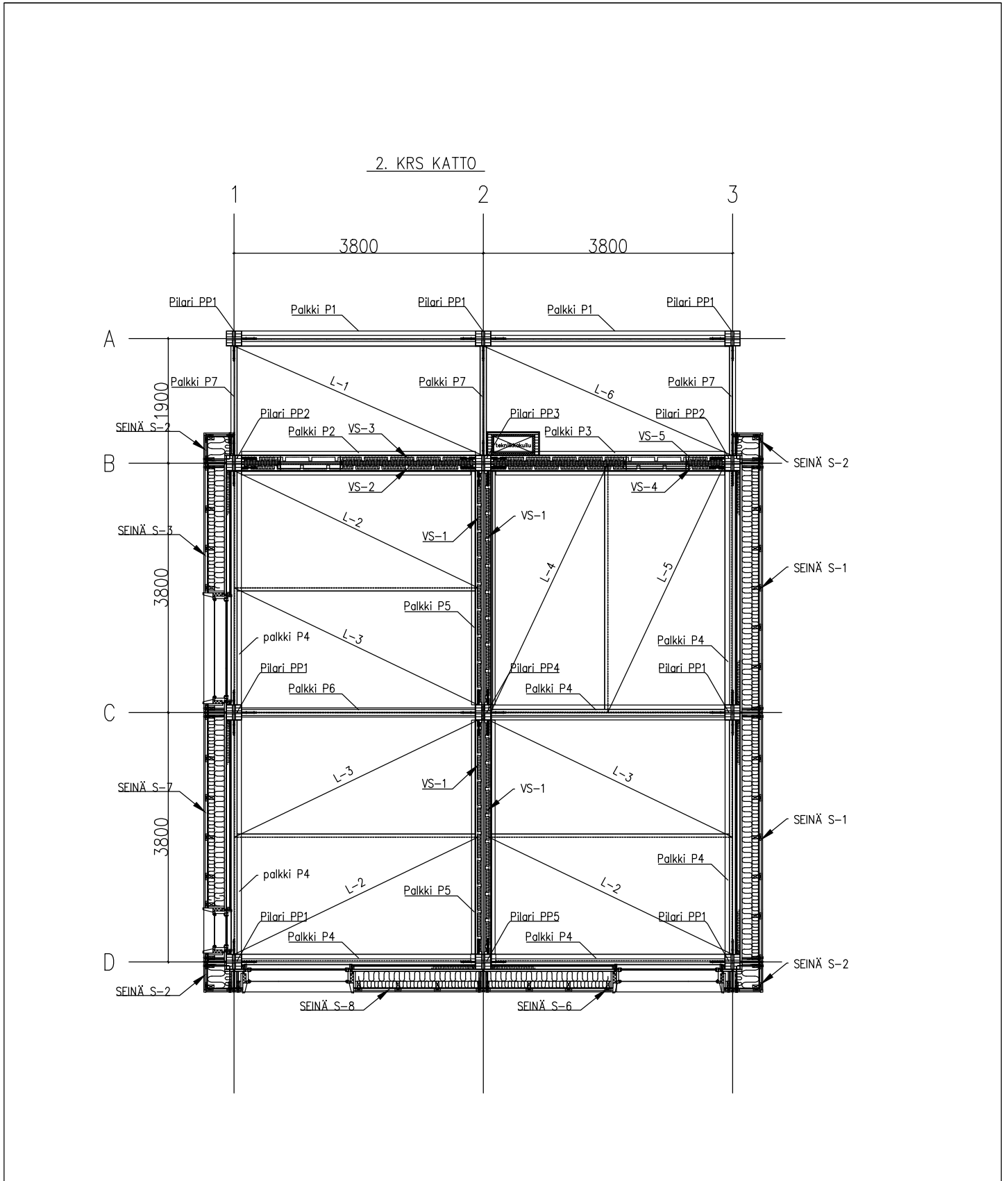
$$s = 0,8 * 1,0 * 1,0 * 2,5 \text{ kN/m}^2 = 2,0 \text{ kN/m}^2$$

Rakennuskohteen nimi ja osoite <b>Timbesys</b> Koestusmalli	Piirustuksen sisältö 1. KRS KATTO	Mittakaava 1:80
Suunnittelija  <b>INSINÖÖRITOIMISTO KIMMO KAITILA OY</b> Pukimäenaukio 4, 00720 Helsinki	Työ nro 1301	
	Päiväys 27.09.2013	Tekijä TM





Rakennuskohteen nimi ja osoite <b>Timbesys</b> Koestusmalli		Piirustuksen sisältö 2. KRS KATTO	Mittakaava 1:80
Suunnittelija  <b>INSINÖÖRITOIMISTO KIMMO KAITILA OY</b> Pukimäenaukio 4, 00720 Helsinki		puh. 010 289 3800 fax. 010 289 3810 ins.tsto@kaitila.fi	Työ nro 1301
		Päiväys 27.09.2013	Tekijä TM



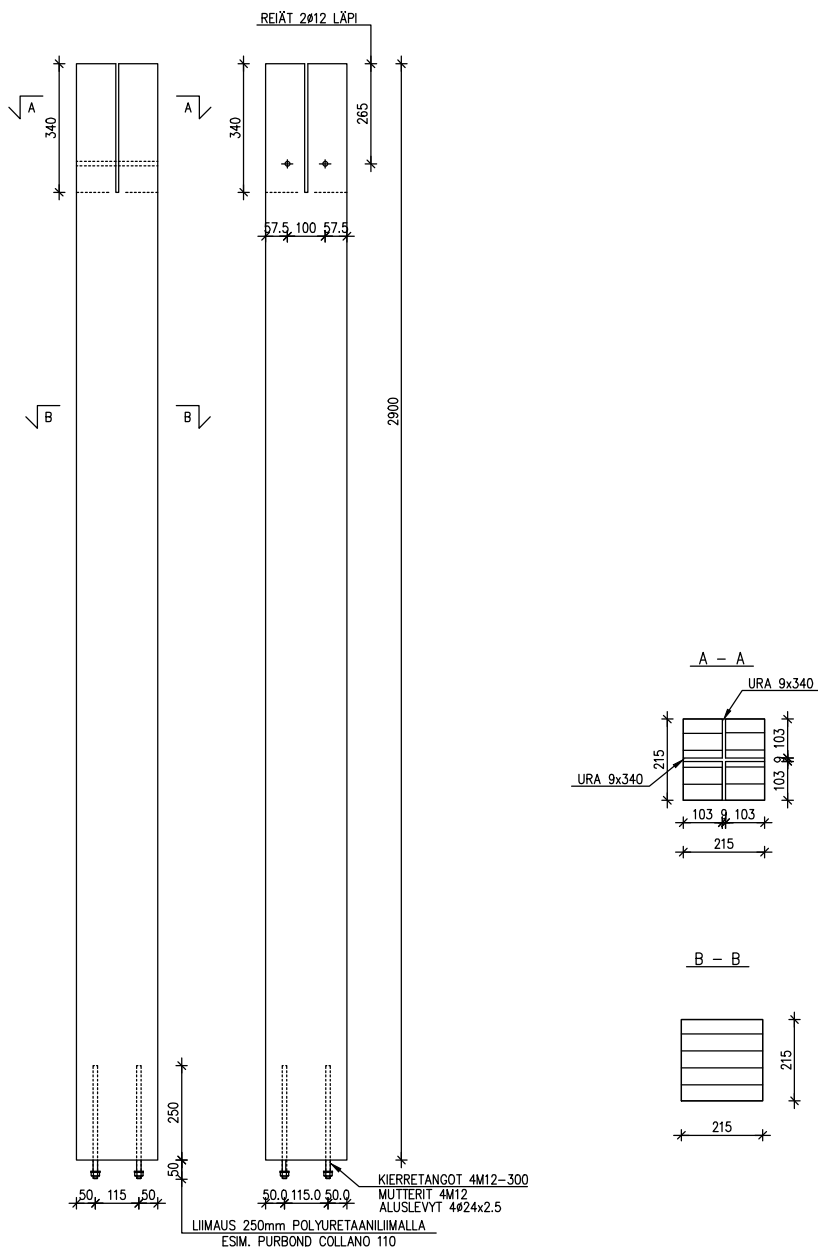


**INSINÖÖRITOIMISTO  
KIMMO KAITILA OY**

Pukinmäenaukio 4, 00720 HELSINKI ins.tsto@kaitila.fi  
Puh. 010 289 3800, Fax. 010 289 3810 etunimi.sukunimi@kaitila.fi

LIMAPUUPILARI, PP 1

1:20





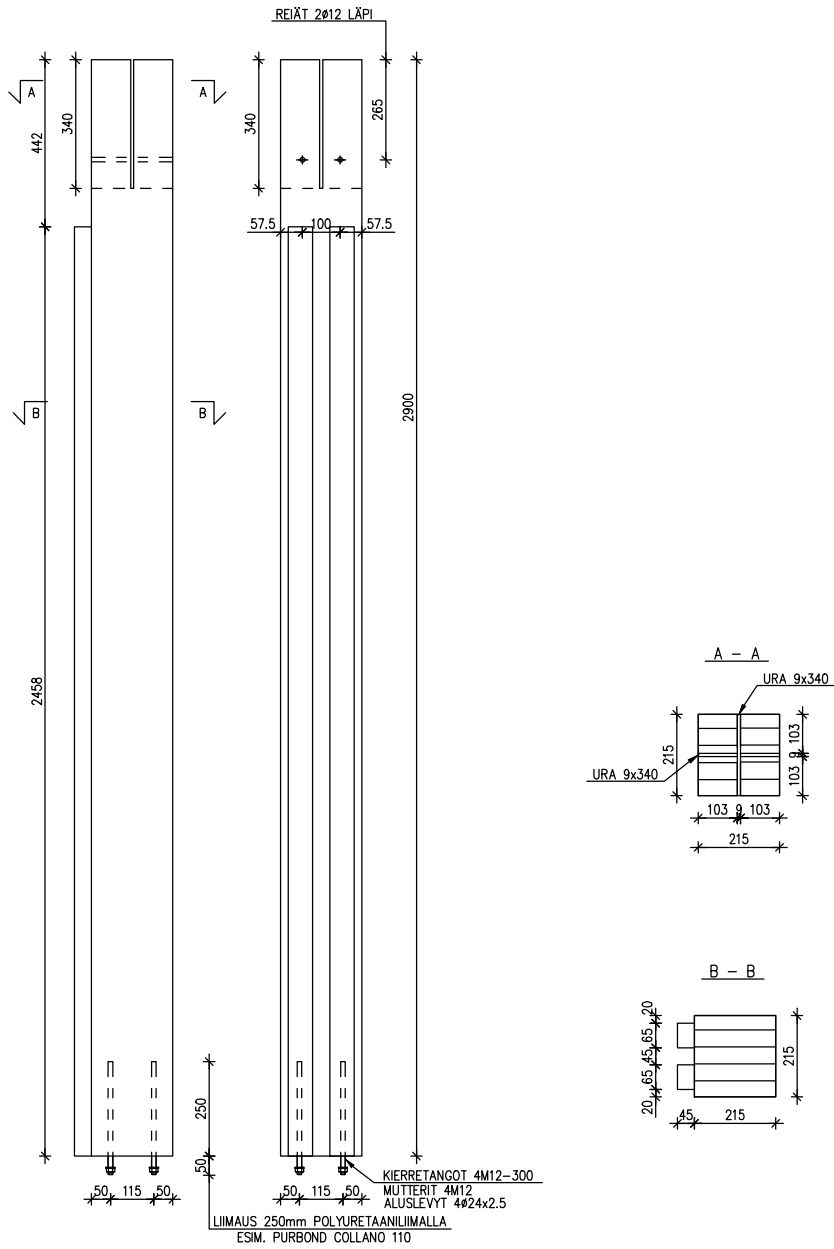
**INSINÖÖRITOIMISTO  
KIMMO KAITILA OY**

Pukinmäenaukio 4, 00720 HELSINKI  
Puh. 010 289 3800, Fax. 010 289 3810

ins.tsto@kaitila.fi  
etunimi.sukunimi@kaitila.fi

LIMAPUUPILARI, PP 2

1:20



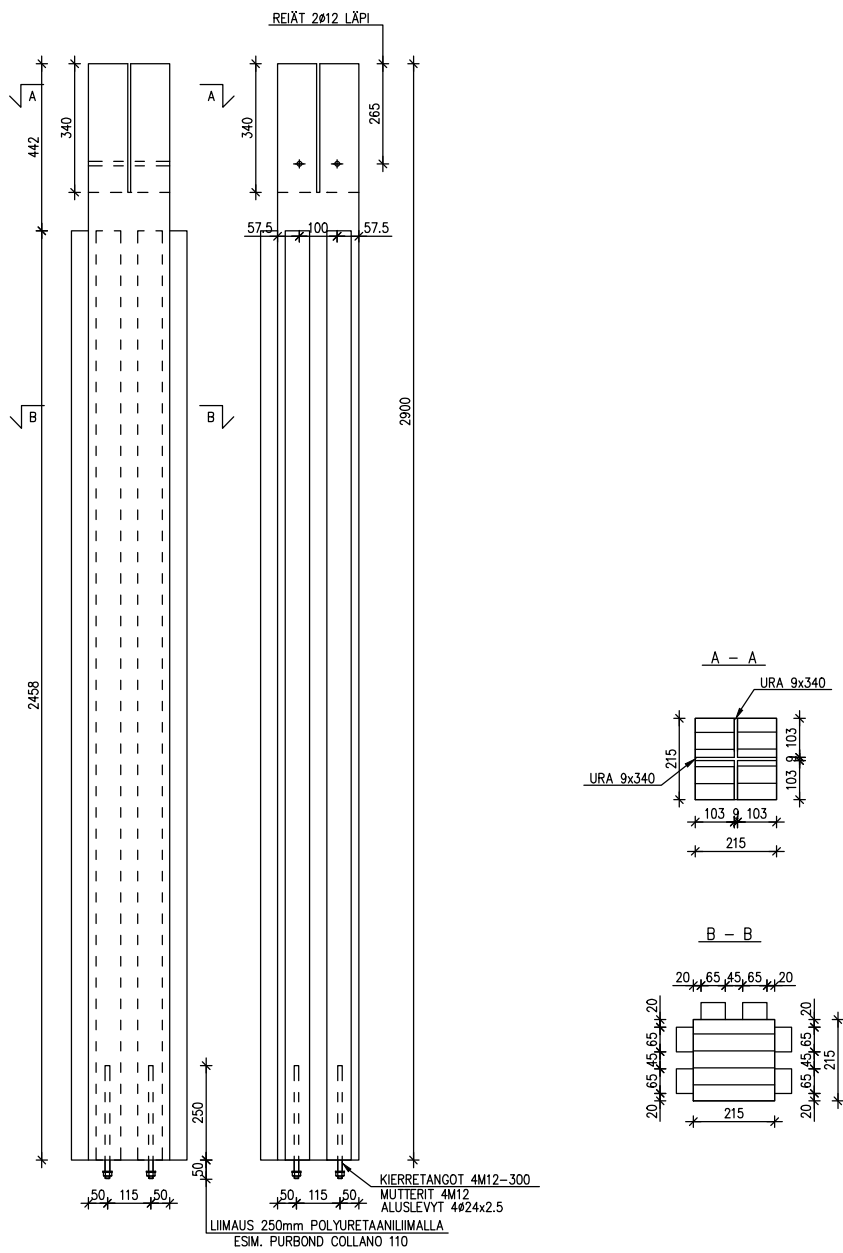


**INSINÖÖRITOIMISTO  
KIMMO KAITILA OY**

Pukimäenaukio 4, 00720 HELSINKI ins.tsto@kaitila.fi  
Puh. 010 289 3800, Fax. 010 289 3810 etunimi.sukunimi@kaitila.fi

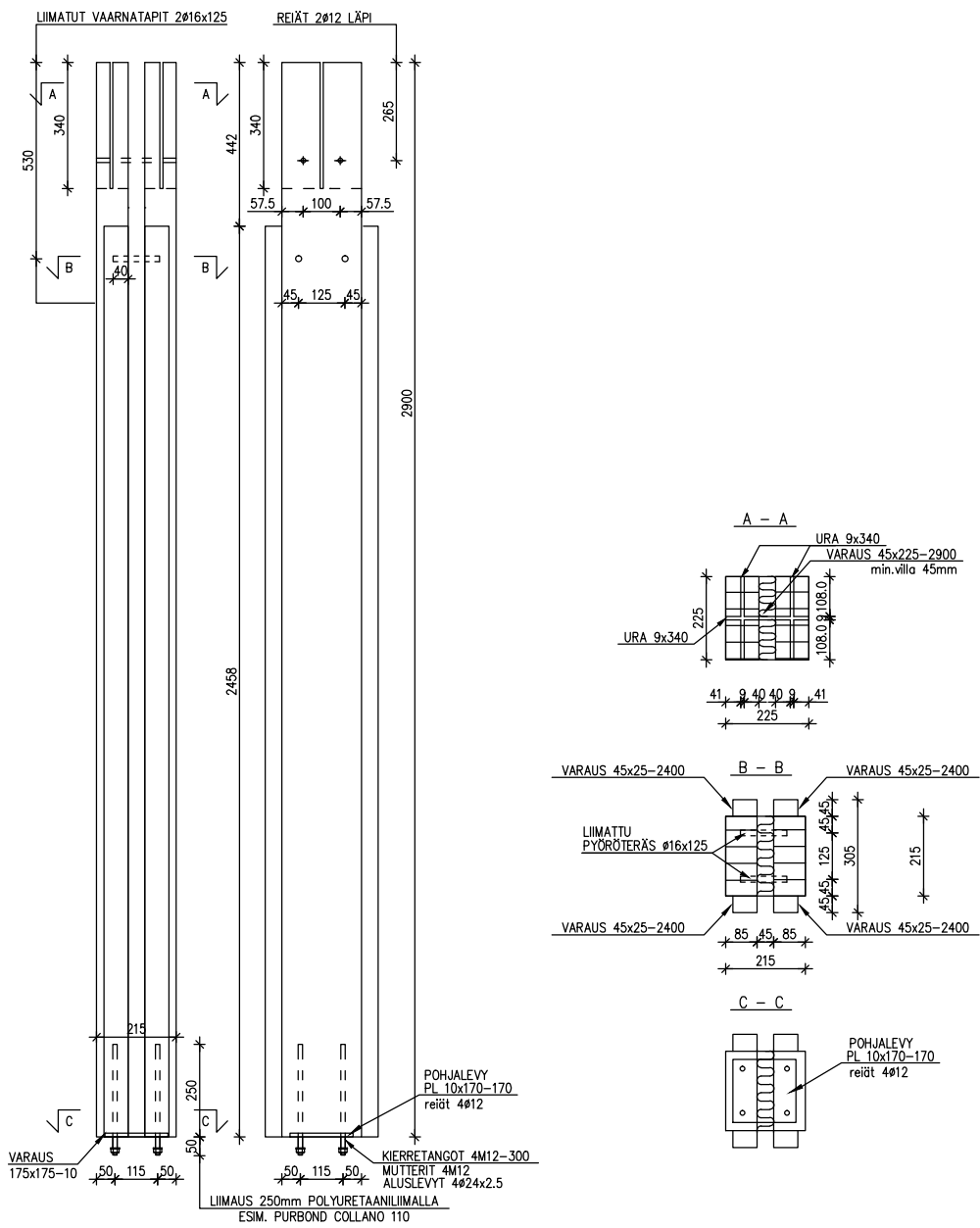
LIMAPUUPILARI, PP 3

1:20



**INSINÖÖRITOIMISTO  
KIMMO KAITILA OY**  
 Pukinmäenaukio 4, 00720 HELSINKI ins.tsto@kaitila.fi  
 Puh. 010 289 3800, Fax. 010 289 3810 etunimi.sukunimi@kaitila.fi

LIMAPUUPILARI, PP 4  
1:20



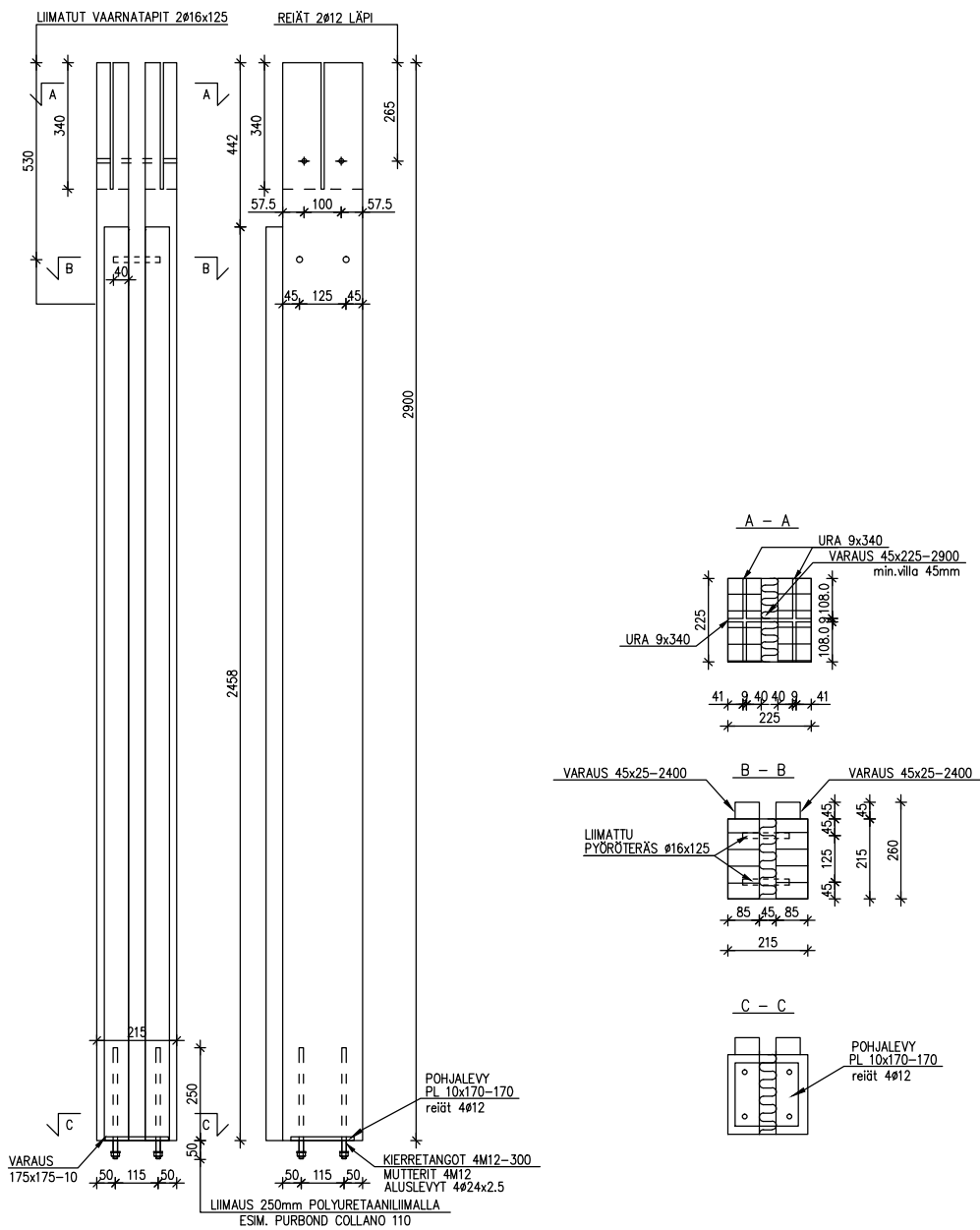


**INSINÖÖRITOIMISTO  
KIMMO KAITILA OY**

Pukinmäenaukio 4, 00720 HELSINKI ins.tsto@kaitila.fi  
Puh. 010 289 3800, Fax. 010 289 3810 etunimi.sukunimi@kaitila.fi

LIMAPUUPILARI, PP 5

1:20



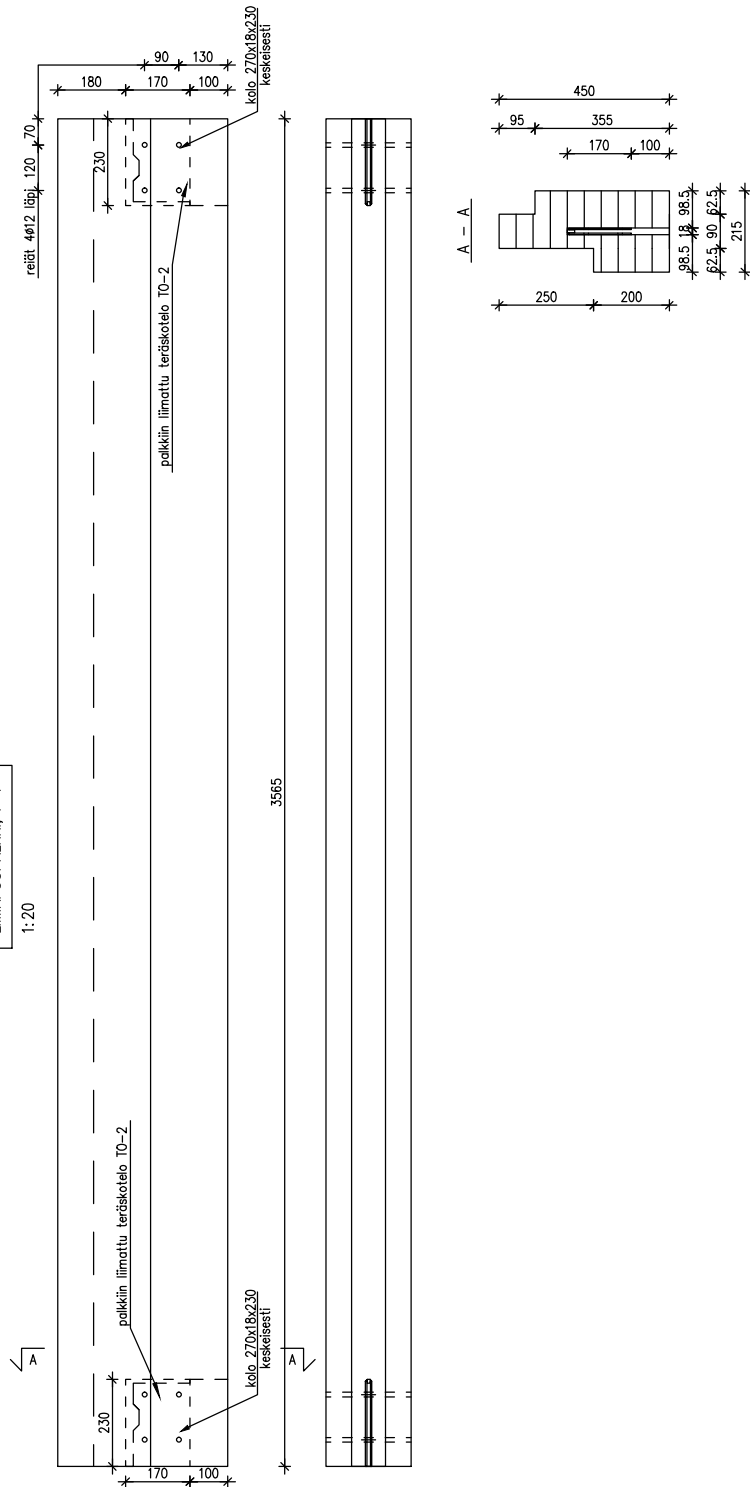


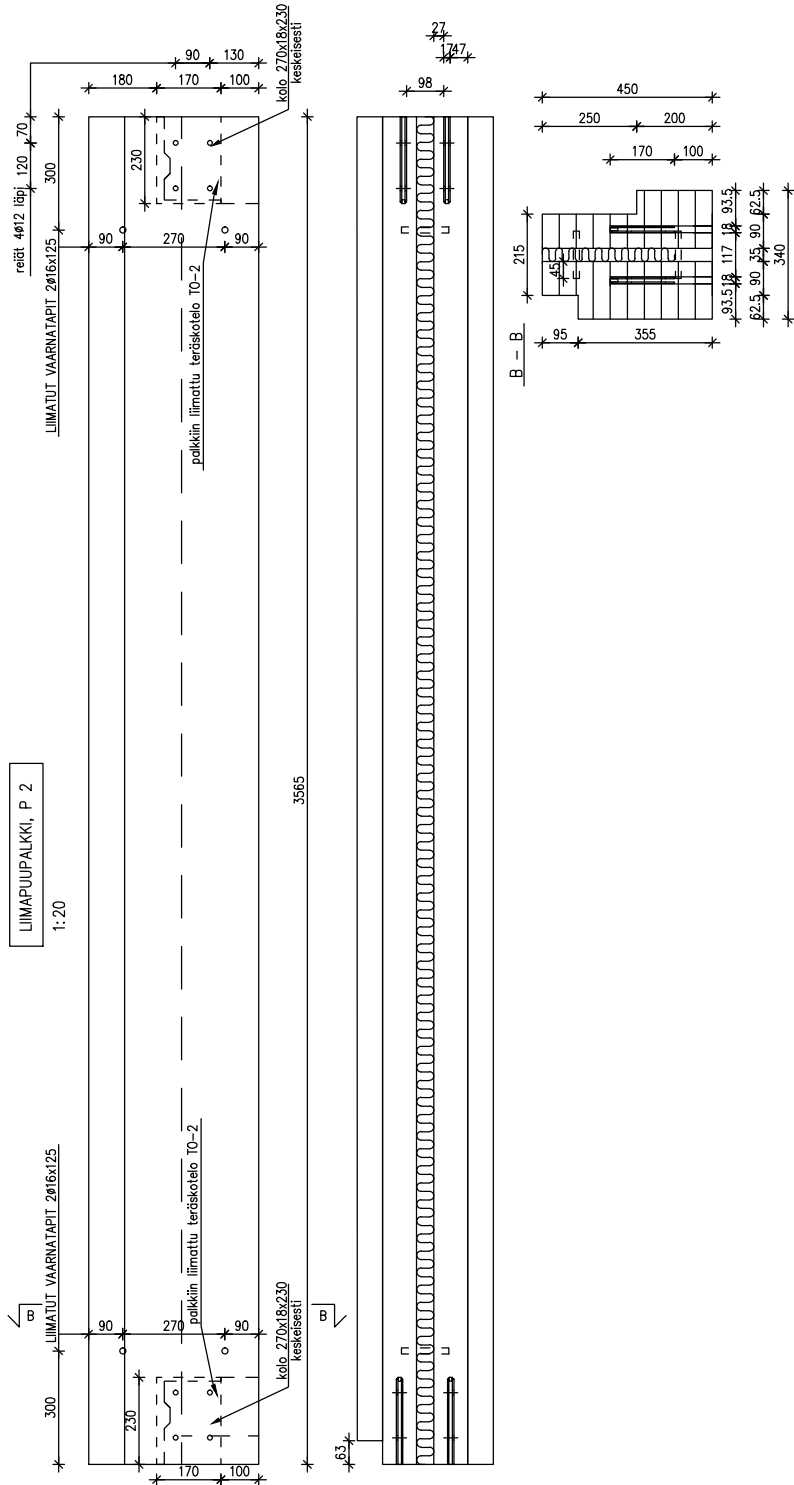
**INSINÖÖRITOIMISTO  
KIMMO KAITILA OY**

Pukinmäenaukio 4, 00720 HELSINKI  
Puh. 010 289 3800, Fax. 010 289 3810  
ins.tsto@kaitila.fi  
etunimi.sukunimi@kaitila.fi

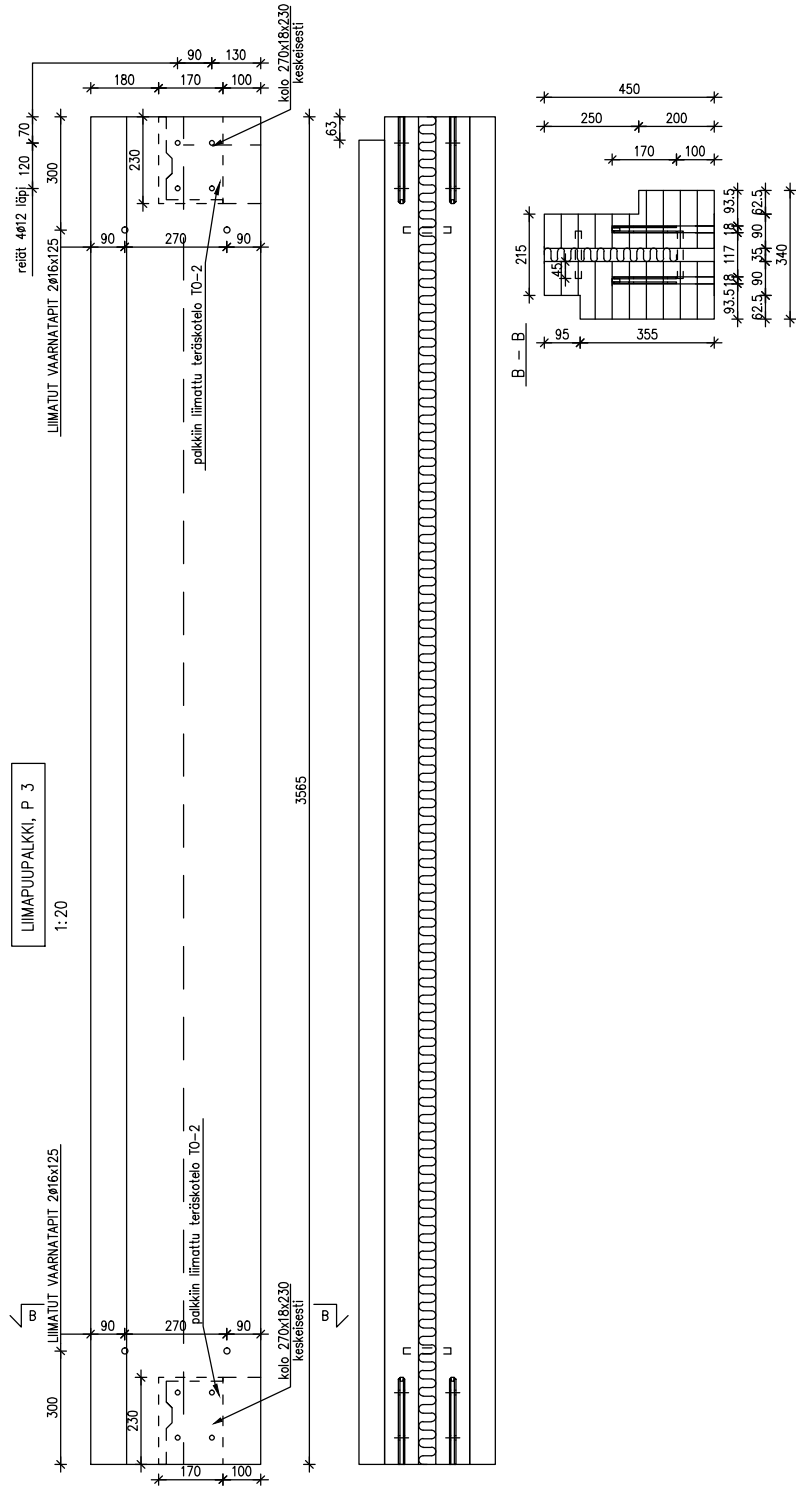
LIMAPUUPALKKI, P 1

1:20





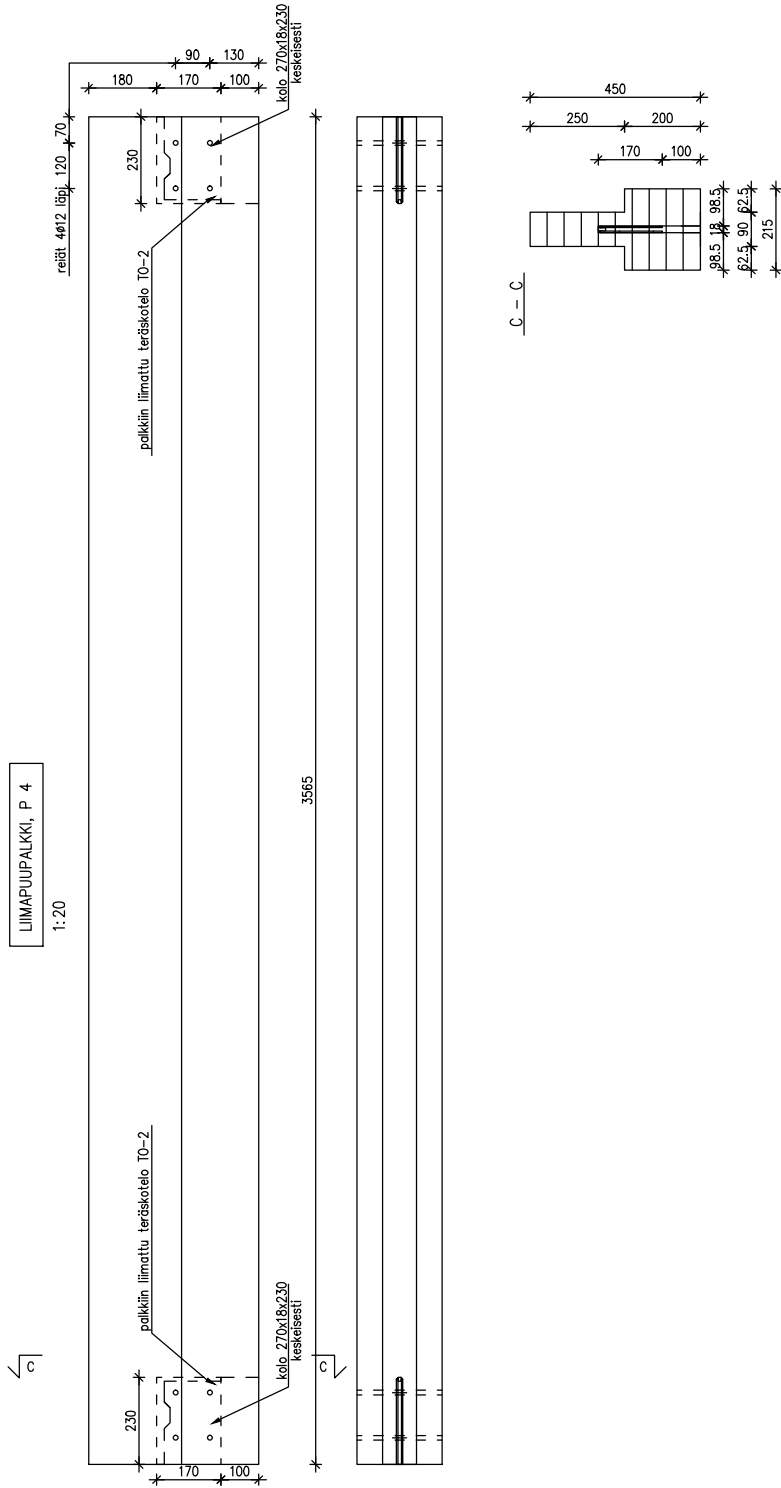






**INSINÖÖRITOIMISTO  
KIMMO KAITILA OY**

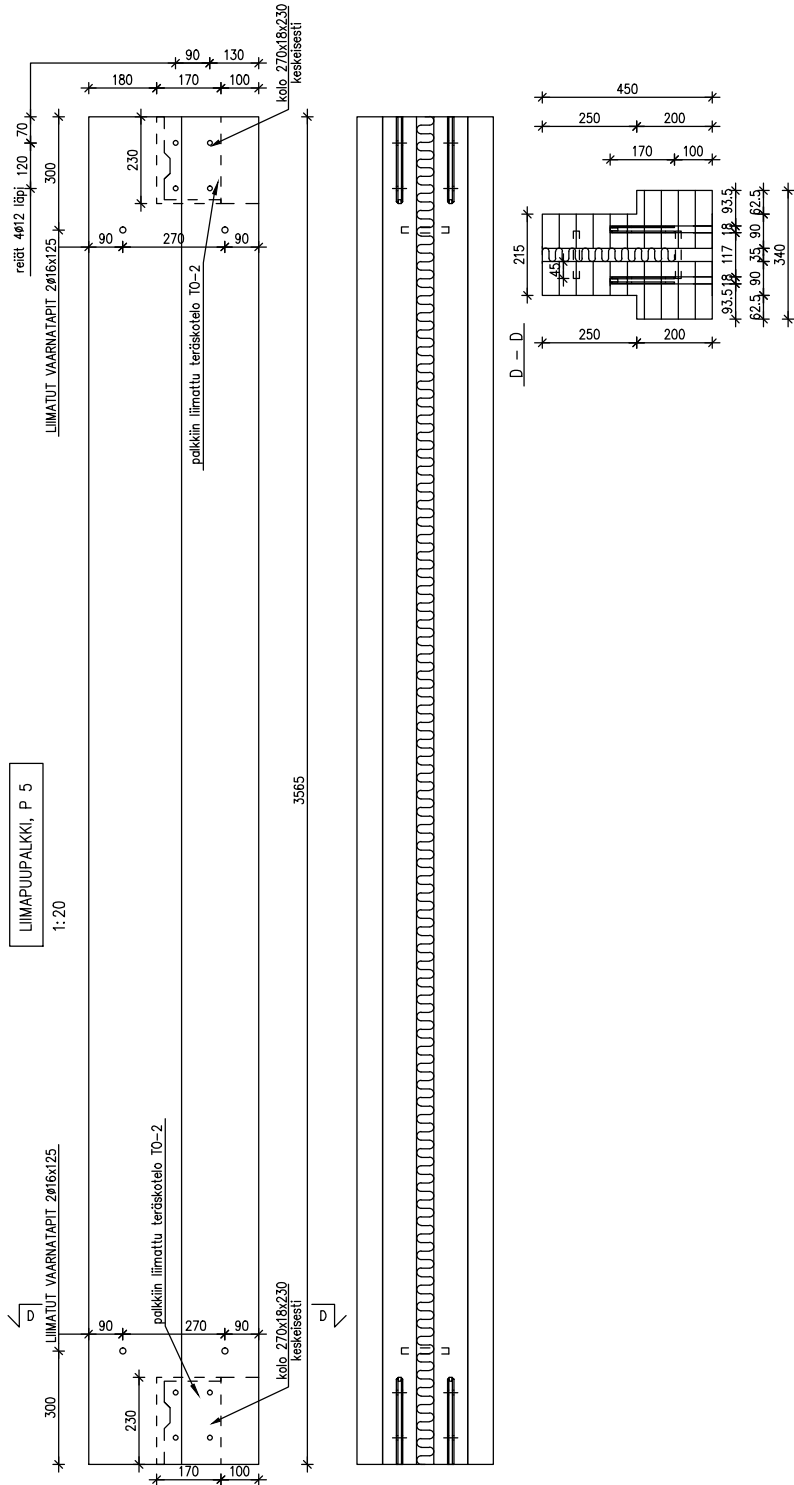
Pukinmäenaukio 4, 00720 HELSINKI  
Puh. 010 289 3800, Fax. 010 289 3810  
ins.tsto@kaitila.fi  
etunimi.sukunimi@kaitila.fi





**INSINÖÖRITOIMISTO  
KIMMO KAITILA OY**

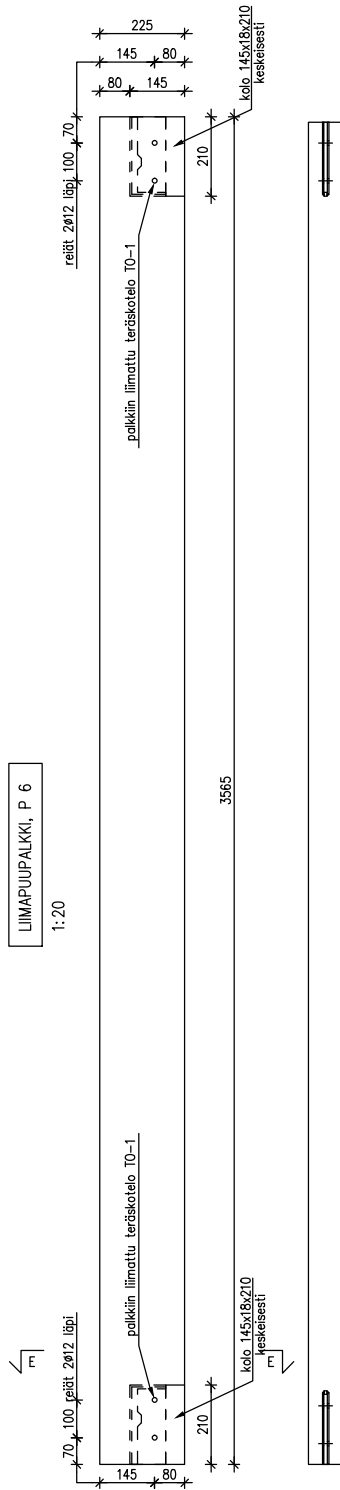
Pukinmäenaukio 4, 00720 HELSINKI  
Puh. 010 289 3800, Fax. 010 289 3810  
ins.tsto@kaitila.fi  
etunimi.sukunimi@kaitila.fi





**INSINÖÖRITOIMISTO  
KIMMO KAITILA OY**

Pukinmäenaukio 4, 00720 HELSINKI  
Puh. 010 289 3800, Fax. 010 289 3810  
ins.tsto@kaitila.fi  
etunimi.sukunimi@kaitila.fi



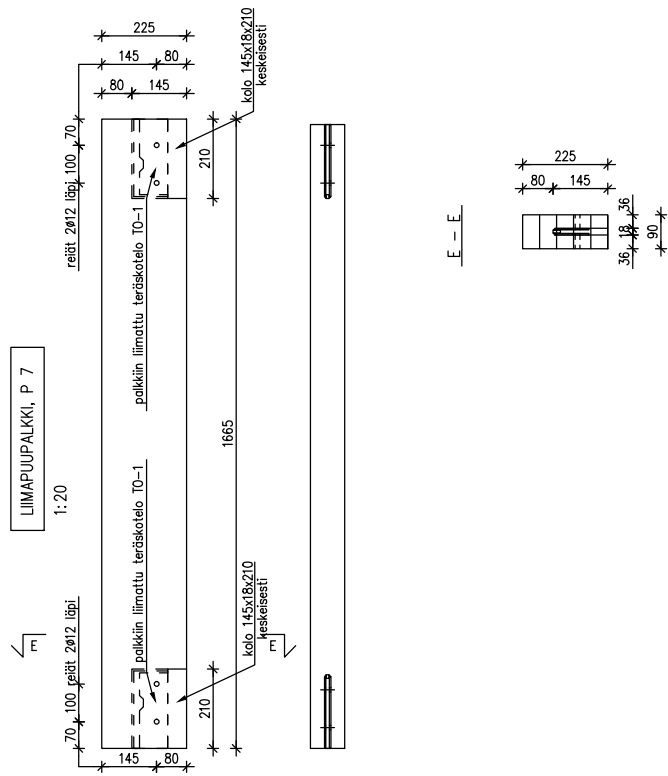
LIMAPUUPALKKI, P 6


1:20

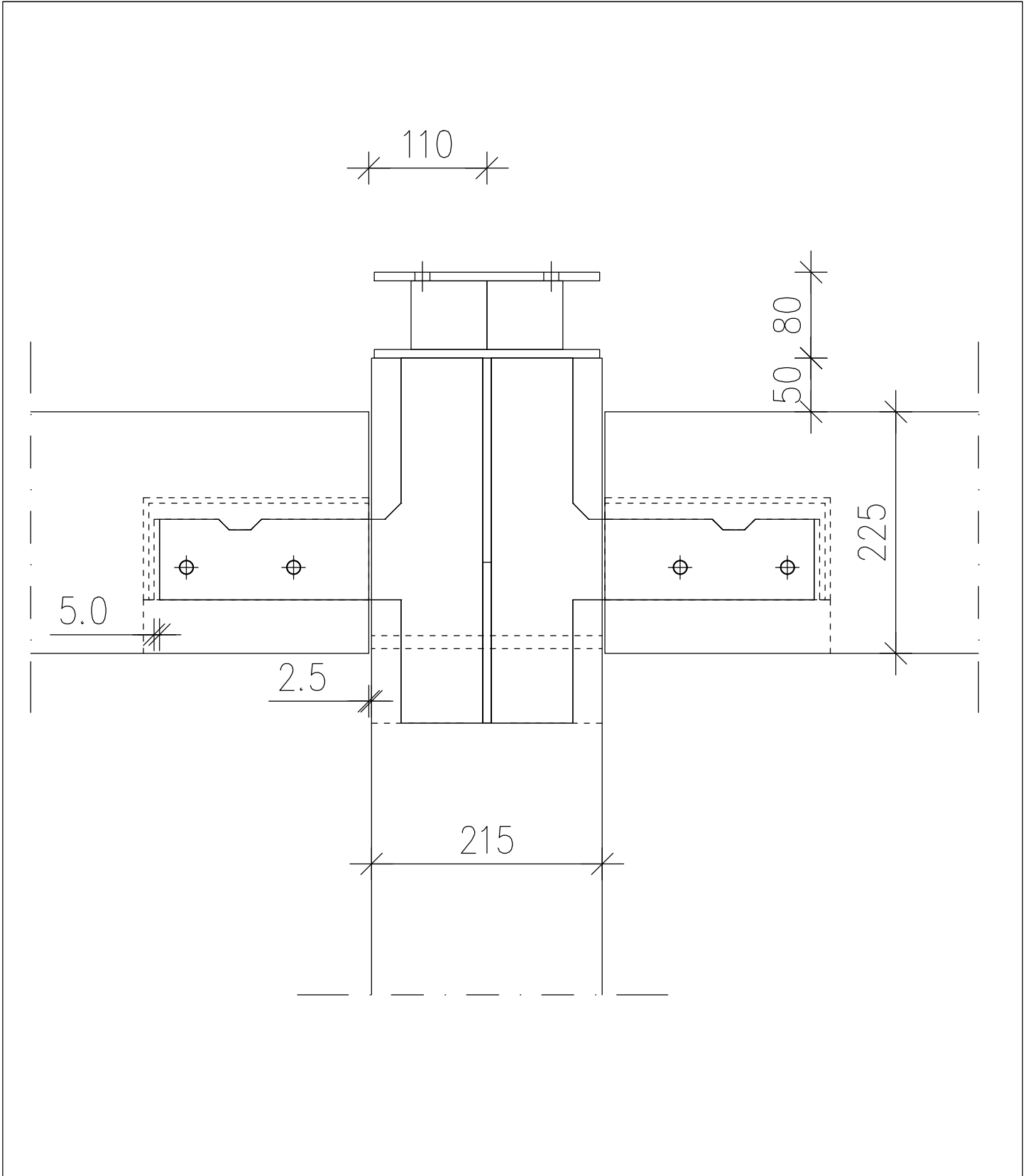



**INSINÖÖRITOIMISTO  
KIMMO KAITILA OY**

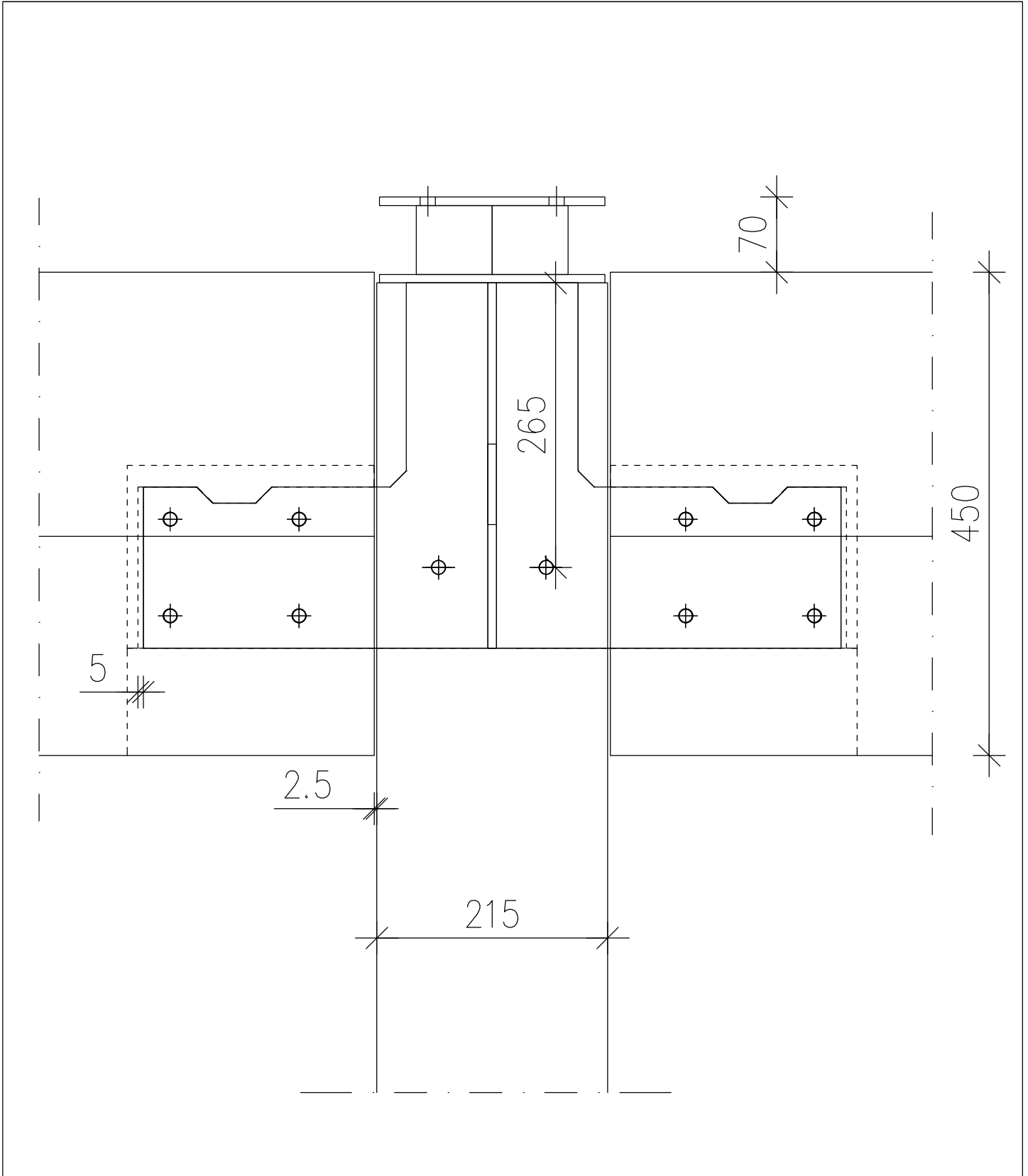
Pukinmäenaukio 4, 00720 HELSINKI  
Puh. 010 289 3800, Fax. 010 289 3810  
ins.tsto@kaitila.fi  
etunimi.sukunimi@kaitila.fi




Rakennuskohteen nimi ja osoite <b>Timbesys</b> Koestusmalli		Piirustuksen sisältö Pilari-palkkiliitos		Mittakaava 1:5
Suunnittelija  <b>INSINÖÖRITOIMISTO KIMMO KAITILA OY</b> Pukinmäenaukio 4, 00720 Helsinki		Työ nro 1301		DET 1
puh. 010 289 3800 fax. 010 289 3810 ins.tsto@kaitila.fi		Päiväys 21.05.2013	Tekijä TM	



Rakennuskohteen nimi ja osoite <b>Timbesys</b> Koestusmalli		Piirustuksen sisältö Pilari-palkkiliitos		Mittakaava 1:5
Suunnittelija  <b>INSINÖÖRITOIMISTO KIMMO KAITILA OY</b> Pukimäenaukio 4, 00720 Helsinki		Työ nro 1301		DET 2
puh. 010 289 3800 fax. 010 289 3810 ins.tsto@kaitila.fi		Päiväys 21.05.2013	Tekijä TM	



Rakennuskohteen nimi ja osoite <b>Timbesys</b> Koestusmalli		Piirustuksen sisältö Pilari-palkkiliitos ylhäältäpäin	Mittakaava 1:5
Suunnittelija  <b>INSINÖÖRITOIMISTO KIMMO KAITILA OY</b> Pukinmäenaukio 4, 00720 Helsinki		Työ nro 1301	DET 3
puh. 010 289 3800 fax. 010 289 3810 ins.tsto@kaitila.fi		Päiväys 21.05.2013	

