



Asuinkerrostalon rakennesuunnittelu

Teemu Saarikko

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2020

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Talorakennustekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Talonrakennustekniikka

SAARIKKO, TEEMU:
Asuinkerrostalon rakennesuunnittelu

Opinnäytetyö 64 sivua, joista liitteitä 12 sivua
Toukokuu 2020

Tämän opinnäytetyön aiheena on elementtirakenteisen asuinkerrostalokohteen rakennesuunnittelu. Työn tavoitteena oli tehdä rakennesuunnitelmat 7-kerroksiin pääkaupunkiseudulla sijaitsevaan asuinkerrostaloon. Työ tehtiin insinööri-toimisto A-Insinöörit Suunnittelu Oy:n toimeksiannosta heidän ohjelmistoillaan ja ohjauksellaan. Opinnäytetyössä esitellään suunnittelun asuinkerrostalokohteen keskeisimmät rakenteet ja niiden suunnittelu.

Opinnäytetyössä tutustutaan lisäksi rakennesuunnittelijan tehtäviin asuinkerrostalon suunnitteluprosessin eri vaiheissa, luonnossuunnitteluvaiheesta aina kohteen valmistumiseen asti. Asuinkerrostalojen käydessä koko ajan monimuotoisemmiksi, kasvaa rakennesuunnittelussa erityisesti luonnosvaiheen suunnittelun merkitys. Hyvällä luonnosvaiheen suunnittelulla voidaan karsia pois monta ongelmakohtaa myöhemmiltä suunnitteluvaiheilta ja työmaalta.

Suunnittelutyö pitää sisällään paljon erilaisia kokouksia ja palavereita hankkeen muiden osapuolten kanssa. Näissä tilanteissa hyvät vuorovaikutustaidot nousevat esiin. Hyvältä rakennesuunnittelijalta vaaditaan monen eri teknisen asian osaamisen lisäksi asiakaspalveluhenkeä ja hyviä sosiaalisia taitoja.

Kohteen suunnittelun yhteydessä huomattiin kantavien rakenteiden suunnittelustandardissa, Eurokoodissa, lieviä puutteita. Raudoittamattomien seinäelementtien hoikkuuden ylärajaa ei ole Eurokoodissa määritelty, kun taas paikallavaletuille raudoittamattomille seinille hoikkuuden yläraja on annettu. Tämä asia vaatisi vielä jatkotutkimuksia.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Construction Engineering
Building Construction

SAARIKKO, TEEMU:
Structural Design of an Apartment house

Bachelor's thesis 64 pages, appendices 12 pages
May 2020

The subject of this thesis is the structural design of a prefabricated apartment house. The aim of the thesis was to make structural plans for a 7-storey apartment house, which is located in the Helsinki metropolitan area. The thesis was commissioned by the engineering firm A-Insinöörit Suunnittelu Oy and it was conducted using their software and under their guidance. The thesis presents the main structures of this apartment house and their design.

The thesis also introduces the tasks of a structural designer in different stages of the designing process of an apartment house, from the sketch design stage to the completion of the project. As apartment houses become more and more multi-form all the time, the importance of sketch design especially in structural design is growing. With good design phase planning, many problems can be eliminated from later design stages and the construction site.

The design work includes many different meetings and conferences with other participants in the project. In these situations, good interaction skills play a significant role. In addition to knowledge of many different technical matters, a good structural designer is required to have a customer service spirit and good social skills.

Over the design of the site, minor deficiencies were noted in the design standard for load-bearing structures, the Eurocode. The upper limit of slenderness of non-reinforced wall elements is not defined in the Eurocode, while the upper limit of slenderness is given for non-reinforced cast on site walls. This issue would require further investigation.

Key words: apartment house, structural design, structural designer

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
2	RAKENNESUUNNITTELUPROSESSIN ERI VAIHEET	7
	2.1 Luonnosvaihe.....	7
	2.2 Erikoissuunnittelun vaihe.....	11
	2.2.1 Urakkalaskentasuunnitelmat ja työpiirustukset.....	11
	2.2.2 Lähtötiedot.....	12
	2.2.3 Kuormien laskenta ja perustukset.....	13
	2.2.4 Tasopiirustukset	14
	2.2.5 Vesikatto.....	14
	2.2.6 Yhteensovitus.....	14
	2.2.7 Reikäpiirustukset	15
	2.3 Erikoissuunnittelun jälkeen.....	15
3	PERUSTUKSET JA ALAPOHJA.....	17
	3.1 Kuormien laskeminen.....	17
	3.2 Perustukset	18
	3.3 Alapohja	23
4	VÄLIPOHJA	30
5	YLÄPOHJA	37
6	SEINÄT	43
	6.1 Kellarin ulkoseinät.....	43
	6.2 Kerrosten ulkoseinät	45
	6.3 Väliseinät.....	49
7	YHTEENVETO.....	50
	LÄHTEET	52
	LIITTEET.....	53
	Liite 1. Seinäkuormien laskentapohja, ulkoseinä	53
	Liite 2. Seinäkuormien laskentapohja, väliseinä	54
	Liite 3. Laskentatuloste Eurocode Service -laskentaohjelmasta, kellarin maanpainesinä.....	55
	Liite 4. Laskentatuloste Eurocode Service -laskentaohjelmasta, kellarin väliseinä	59
	Liite 5. Yleisleikkaus.....	63
	Liite 6. Peruskerroksen tasopiirustus	64

1 JOHDANTO

Työ on tehty insinööritoimisto A-Insinöörit Oy:n palveluksessa. Työn tavoitteena oli tehdä rakennesuunnitelmat pääkaupunkiseudulla sijaitsevaan tavanomaiseen asuinkerrostaloon.

Työssä käydään aluksi yleisesti läpi rakennesuunnittelijan tehtäviä ja roolia normaalissa asuinkerrostalohankkeen suunnitteluprosessissa. Työn jälkimmäisessä osassa kerrotaan tarkemmin suunnitellun asuinkerrostalokohteen keskeisten runkorakenteiden suunnittelusta ja rakenneratkaisuista.



KUVA 1. Kuva suunnitellusta kohteesta

Suunniteltavana kohteena oli pääkaupunkiseudulle rakennettava, kellarin ja seitsemän asuinkerrosta käsittävä asuinkerrostalo. Liitteessä 5 on havainnollistava yleisleikkaus kohteesta ja liitteessä 6 on kohteen peruskerroksen tasopiirustus. Kohde on tyypiltään pistetalo, eli rakennuksessa keskellä on yksi porraskäytävä, jonka ympärille asunnot sijoittuvat. Rakennus on perustettu lyötävien teräsbetonipaalujen varaan ja siinä on kantava alapohja. Alapohja on kellarin maanpäällisessä osassa, eristetyillä ontelolaatoilla tehty, tuulettuva alapohja. Kellarikerroksen maan alle jäävässä osassa alapohja on maanvastainen, 260 mm vahva, teräsbetoni-laatta. Asuntojen väliset välipohjat ovat 370 mm vahvoja ontelolaattavälipohjia ja porrashuoneissa on 260 mm paksut massiivilaattaelementit. Rakennuksen yläpohjan kantavana rakenteena on 270 mm vahva ontelolaatta, jonka päällä on kevytsorarakenteinen vesikatto. Vesikatolle on sijoitettu rakennuksen IV-konehuone, joka tähän kohteeseen tuli valmiina elementtinä iv-konehuoneisiin erikoistuneelta valmistajalta. Rakennuksen kantavat seinät ovat betonielementtejä, joiden pintakäsittelynä kellarikerroksen näkyvillä osilla on uritettu väribetoni ja ylemmissä kerroksissa pintakäsittelynä on eristerappaus. Parvekkeiden taustaseinät ovat betonisandwich -elementtejä, joissa pintakäsittelynä on maalaus. Parvekelaatat ovat teräsbetonielementtejä, jotka tuetaan pila-reilla perustuksista ja teräspuilla rakennuksen rungosta. Rakennuksessa ei ollut omaa väestönsuojaa, sillä viereiseen rakennukseen tehty väestönsuoja palvelee myös tämän kohteen käyttäjiä.

2 RAKENNESUUNNITTELUPROSESSIN ERI VAIHEET

Tämän otsikon alla on kuvattu yleisesti asuinkerrostalon eri suunnitteluvaiheita ja etenkin rakennesuunnittelijan tehtäviä ja roolia näissä vaiheissa.

2.1 Luonnosvaihe

Kohteen tilaajalla on yleensä olemassa suunnitteluohje ja alustava näkemys siitä, minkälaisilla rakenneratkaisuilla ja rakennetyypeillä kohdetta aletaan suunnitella. Näiden ohjeiden ja toiveiden pohjalta arkkitehti on kohteesta luonnostellut erilaisten kerrosten tasokuvat, julkisivut ja muutaman yleisleikkauksen. Näihin luonnoksiin tutustumisella alkaa varsinainen rakennesuunnittelu.

Ensimmäisenä arkkitehdin luonnoksista tutkitaan rakennuksen ”peruskerros”, eli kerros, joka yleensä toistuu samanlaisena useamman kerroksen verran. Peruskerroksesta tutkitaan ensinnäkin, että kantavien välipohjien eli holvien, jänneväliit eivät ole liian pitkiä, jotta välipohjarakenne on toteutettavissa halutulla rakennetyypillä. Toisin sanoen tarkistetaan, että kantavia seinälinjoja on riittävästi.

Peruskerroksen aukotus, eli ovi- ja ikkuna-aukot tulee tutkia tarkasti. Ovi- ja ikkuna-aukkojen väleissä ja aukkojen pielissä saattaa arkkitehdin suunnitelmissa olla liian kapeita betonipieliä, jotka eivät sellaisenaan kestäisi niille tulevia kuormia tai ovat hoikkuutensa vuoksi hankalia toteuttaa elementtinä. Tällaisissa kohdissa ikkunan tai oven pienellä siirrolla selvitetään jo luonnosvaiheessa monta ongelmakohtaa myöhemmältä suunnittelulta. Aukkojen korkeus ja leveys on myös tarkistettava, jotta aukkojen päälle jää riittävästi korkeutta aukkopalkille, ja että aukot eivät ole liian leveitä palkin korkeuteen nähden. Etenkin parvekeseinillä, joissa monesti sijaitsee leveitä ovi-ikkuna -yhdistelmiä, palkkien kestävyys kannattaa tarkistaa huolellisesti jo luonnosvaiheessa.

Talotekniikan tarvitsemien hormien koot ja sijainnit olisi jo luonnosvaiheessa hyvä olla tiedossa, jotta niiden sijoitteluun pääsee vaikuttamaan hyvissä ajoin. Hormien sijainti ei välttämättä vaikuta kriittisesti rakenteiden kestävyuteen,

mutta pienellä sijainnin säätämällä saatetaan päästä eroon esimerkiksi ontelo-laattakannakkeen käytöstä, mikä lisäisi kustannuksia ja toisi ylimääräistä työtä työmaalle.

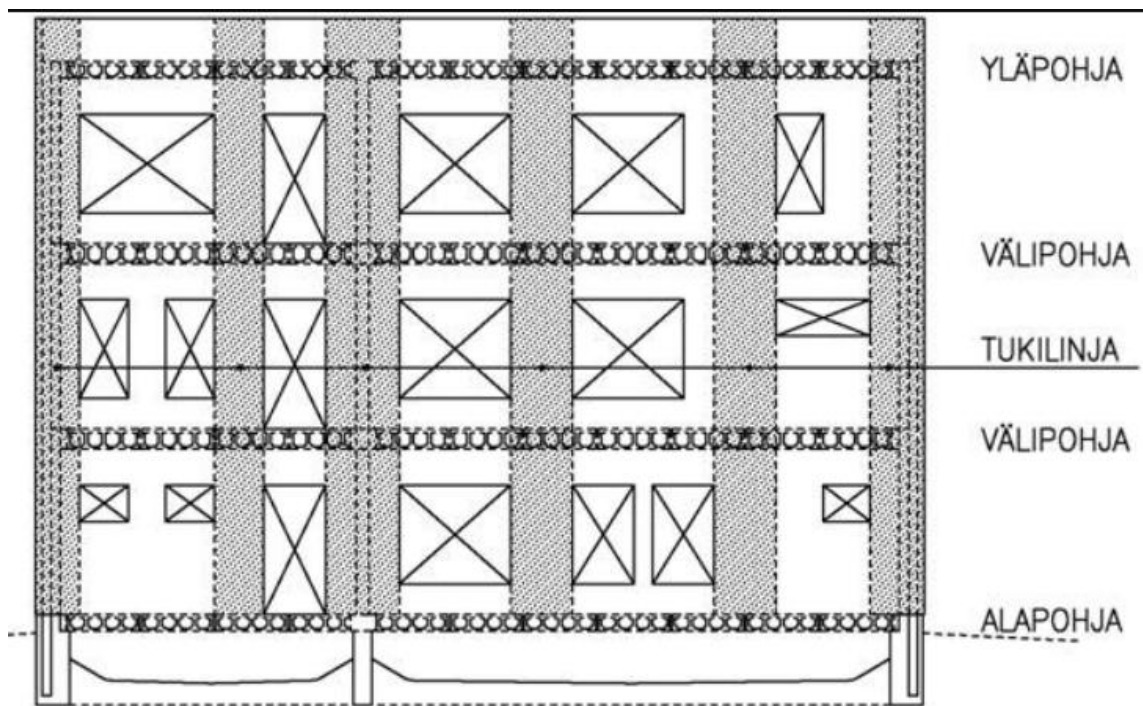
Kun peruskerros on tutkittu, tehdään samalainen tarkastelu ylemmille kerroksille, jos ne joltain osin poikkeavat peruskerroksesta. Ylimpiin kerroksiin halutaan monesti hieman korkeatasoisempia tai isompia ja avarampia asuntoja, mikä yleensä tarkoittaa vähemmän kantavia seinälinjoja ja pidempiä jännevälejä holveille. Tästä syystä ylemmätkin kerrokset täytyy tutkia huolellisesti, jotta ne ovat tehtävissä lähestulkoon samoilla rakenneratkaisuilla kuin alemmatkin kerrokset. Kantavien seinälinjojen tulisi lähtökohtaisesti olla kohdakkain peruskerroksen kantavien linjojen kanssa. Jos näin ei ole, tulee tutkia, miten rakenteet saadaan kestäväksi ja kuormat siirrettyä sujuvasti alemmille kantaville rakenteille.

Kun kaikki erilaiset ylemmät kerrokset on tutkittu, siirrytään alimpiin kerroksiin, joissa yleensä sijaitsee rakennuksen yleisiä tiloja, kuten irtaimistovarastot, väestösuoja ja talotekniset tilat. Alimpiin kerroksiin saattaa olla sijoitettuna myös liiketiloja, jotka yleensä halutaan toteuttaa mahdollisimman avarina, mahdollisimman vähin kantavin pystyrakentein. Näin suunniteltuna liiketila pysyy mahdollisimman muuntojoustavana ja palvelee erilaisia toimijoita ja toimintoja.

Alimmasta kerroksesta tarkistetaan ensinnäkin, että kantavat seinälinjat ovat kohdakkain yläpuolisten kerrosten kantavien linjojen kanssa. Jos jostain syystä näin ei ole ja seinän lisääminen samalle kohdalle on hankalaa, on tutkittava, kuinka yläpuolisilta seiniltä tulevat kuormat saadaan siirrettyä järkevästi perustuksille. Yleensä tässä tilanteessa alimpaan kerrokseen lisätään puuttuvan seinän tilalle pilareita ja ylemmän kerroksen seinä mitoitetaan seinäpalkkina. Luonnosvaiheessa kannattaa myös jo alustavasti laskea alimpien kerroksen rakenteille tulevia kuormia ja näin varmistaa, että rakennevahvuudet ovat riittäviä.

Myös alimman kerroksen ikkuna- ja oviaukot tulee tarkastaa, että ne ovat kutakuinkin kohdakkain ylempien kerrosten kanssa. Monesti, ainakin ulkoseinillä, alimman kerroksen aukotus poikkeaa ylempien kerrosten aukotuksista kooltaan ja sijainniltaan. Tällöin voi tulla tilanteita, että ylempien kerrosten kuormalinjat

sattuvatkin alimmaisessa kerroksessa suoraan aukon päälle, mikä on rakenteellisesti haastava tilanne. Tällaisessa tapauksessa kannattaa ensisijaisesti ehdottaa arkkitehdille alimman aukon uudelleen sijoittelua. Kuvassa 2 on havainnollistettu aukkojen sijoittelua julkisivussa. Kuvasta nähdään, kuinka aukkojen väleistä tulee selkeitä tukilinjoja alas asti, joita pitkin kuormat tuodaan alas perustuksille. Tällaiset suorat reitit ovat voimien siirtämisen kannalta tehokkaimpia ja taloudellisia (elementtisuunnittelu.fi, Julkisivuelementtien suunnittelu).



KUVA 2. Esimerkki aukkojen sijoittelusta julkisivulla (elementtisuunnittelu.fi, Julkisivuelementtien suunnittelu, aukotus, kuva 2. suositus kantavien sisäkuorien aukotuksesta)

Rakennuksen runkoa tutkiessa saattaa tulla vastaan haastavan oloisia kohtia, joista ei välittömästi tiedä, kuinka ne tulisi rakenteellisesti toteuttaa. Tällaisia kohtia saattavat olla esimerkiksi ylimpien kerrosten kattoterassit tai alimmissa kerroksissa joskus tarvittavat pilari - palkki/seinäpalkki ratkaisut. Hankaluuksia tulevaan suunnitteluun saattavat tuoda myös haasteelliset vedeneristysratkaisut. Näistä kohdista on tärkeää tehdä heti kohteen luonnosteluvaiheessa tarkempi tutkimus, jotta niihin löytyy järkevä ja helposti suunniteltava rakenneratkaisu. Yksinkertainen ja helposti suunniteltava rakenneratkaisu on yleensä

myös työmaalla melko yksinkertainen toteuttaa. Hankalien paikkojen tutkimisessa kannattaa kysyä myös kollegoiden ja kokeneempien suunnittelijoiden mielipidettä, sillä heillä saattaa olla jo kokemusta vastaavanlaisista paikoista ja näkemystä siihen, kuinka jokin kohta kannattaa tai ei kannata toteuttaa.

Luonnostelun yhteydessä tulee huomioida myös rakennuksen jäykistys ja kokonaisstabiiliteetti. Normaalissa asuinkerrostalossa rungon jäykistys harvoin aiheuttaa suuria ongelmia. Rakennuksen kerrosmäärän kasvaessa ja esimerkiksi suurissa toispuoleisen maanpaineen tapauksissa on syytä kuitenkin varmistua, että riittävä stabiiliteetti saavutetaan myös rakentamisvaiheessa. Asuinkerrostalot, etenkin pistetalot, ovat jäykistävien rakenneosien suhteen yleensä melko symmetrisiä, jolloin rungon kiertymistä ja sen aiheuttamia lisähaasteita ei tarvitse erikseen tarkastella.

Kun rakennuksen runko on luonnosteltu ja vaikeat paikat tarkasteltu, laitetaan arkkitehdille ja muille tarvittaville osapuolille kommentit rakenteista. Kommentteissa esitetään korjaus- ja muutosehdotukset kantaviin rakenteisiin, hormien sijoitteluun ja muihin luonnostelun yhteydessä esiin nousseisiin asioihin. Nämä muutokset arkkitehti sitten muuttaa suunnitelmiinsa tai ehdottaa jotain uutta ratkaisua. Tällaista rakennesuunnittelijan ja arkkitehdin välistä "vuoropuhelua" käydään monesti jonkin aikaa ja useampi kommenttikierros, ennen kuin kerrosten pohjat ovat valmiita. Luonnosvaiheen suunnittelussa ovat omalta osaltaan mukana myös muiden suunnittelualojen edustajat. Etenkin talotekniikan suunnittelijoiden kommentteja tarvitaan, jotta heidänkin tilatarpeensa ja riittävät tilavaraukset osataan huomioida. Talotekniikan kanavien reittejä on hyvä miettiä jo luonnosvaiheessa, jotta ne eivät kulje kriittisimpien ja kuormitetuimpien kantavien rakenteiden läpi.

Tärkeintä luonnosvaiheen suunnittelussa on siis tutkia rakennus ja sen kantava runko huolellisesti ja etsiä hankaliin paikkoihin toteutuskelpoiset ja mahdollisimman yksinkertaiset rakenneratkaistut. Luonnosvaiheessa esimerkiksi kantavien seinien ja pilarien lisääminen tai jonkin haastavan kohdan muuttaminen rakenteellisesti helpommaksi onnistuu vielä suhteellisen helposti ja helpottaa huomattavasti tulevaa suunnittelua. Etenkin verrattuna siihen, että kyseiset ongelmat, esimerkiksi kantavan seinälinjan lisääminen, tulisivat vastaan vasta suunnittelun

myöhemmässä vaiheessa, jolloin arkkitehdin pohjat on jo lyöty lukkoon ja osa asunnoista saattaisi olla jopa myytyjä. Tässä vaiheessa suurien muutosten tekeminen on todella hankalaa ja vaikuttaa monen eri suunnittelijan työhön, aiheuttaen turhaa lisätyötä ja kustannuksia. Hyvällä luonnostelulla voidaan löytää myös kohtia, joissa pienillä muutoksilla saadaan rakentamiskustannuksia pienennettyä. Tällaisista asioista kohteen tilaaja ja urakoitsija ovat usein tyytyväisiä.

2.2 Erikoissuunnittelun vaihe

2.2.1 Urakkalaskentasuunnitelmat ja työpiirustukset

Luonnosvaiheen suunnittelun jälkeen kohteen arkkitehtisuunnitelmat ovat siinä valmiudessa, että kohteen rakennuslupahakemus jätetään yleensä sisään ja varsinainen erikoissuunnittelu alkaa. Rakennesuunnittelun erikoissuunnitteluvaihe voidaan karkeasti jakaa kahteen eri vaiheeseen. Ensimmäisessä vaiheessa tehdään urakkalaskentasuunnitelmat ja toisessa vaiheessa urakkalaskentasuunnitelmat jalostetaan yhteensovituksen ja muun kommentoinnin jälkeen varsinaisiksi työpiirustuksiksi. Kohteen tilaaja tarvitsee urakkalaskentasuunnitelmia kohteen kustannusten laskentaan ja urakoitsijoiden sekä elementtitehtaiden kanssa käytäviin urakkaneuvotteluihin, joissa selvitetään kohteen taloudellinen kannattavuus. Suunnittelijoiden kesken urakkasuunnitelmia käytetään usein suunnitelmien yhteensovitukseen. Yhteensovituspalavereissa suunnitelmia tarkastellaan ja vertaillaan, jotta suunnitelmat olisivat keskenään yhteeneväiset. Tämä tarkoittaa esimerkiksi sitä, että sähkökaapelit ja LVI-putket eivät törmäile keskenään tai että ikkuna- ja oviaukot ovat kaikkien suunnitelmissa samoilla kohdilla.

Urakkasuunnitelmien taso verrattuna lopullisiin työpiirustuksiin määritetään tilaajan toimesta ja yleensä suurin vaikuttava tekijä urakkasuunnitelmien tasolle on tilaajan laatima aikataulu. Monesti tämä aikataulu on melko tiukka, jolloin tilaajalle riittää urakkalaskentaan hieman ”karkeampi” taso. Tämä tarkoittaa, että urakkalaskentasuunnitelmissa esitetään tarkemmin vain eniten kohteen kustannuksiin vaikuttavat asiat. Rakennesuunnittelun näkökulmasta nämä osa-

alueet ovat rakennuksen perustukset, kerrosten tasopiirustukset, vesikatto ja elementtiurakka-aineisto. Tasopiirustuksista ilmenee rakennetyypin mukaan, joko ontelolaattojen määrät tai paikallavaluholvien raudoitusmäärät. Elementtien urakka-aineistosta selviävät elementtien määrät ja elementtityypit, sekä elementtien raudoitusmäärät ja elementtien muu varustelu. Pienemmät kokonaisuudet, kuten tarkemmat detaljit tai sisääntulokatokset ynnä muut voivat urakalaskentavaiheessa jäädä vähemmälle huomiolle.

Aikataulun mahdollinen tiukkuus ja urakalaskentasuunnitelmien taso on syytä tehdä aikataulua laadittaessa tilaajan suuntaan selväksi. Viimeistään lopullisten työpiirustusten tekemiseen on varattava aikatauluun riittävästi aikaa, jotta suunnitelmat ovat oikeasti valmiita ja riittävän selkeitä, kun niitä aletaan käyttämään. Näin elementtisuunnittelu ja tekeminen työmaalla sujuvat jouhevasti. Ihannetilanteessa jo urakalaskentaan lähtisivät kaikin puolin valmiit suunnitelmat, joihin ei työpiirustusvaiheessa tarvitsisi juuri muutoksia tehdä.

2.2.2 Lähtötiedot

Ennen erikoissuunnittelun aloittamista tulee lähtötiedot käydä läpi ja varmistaa, että kaikki tarvittavat lähtötiedot ovat kunnossa ja niin sanotusti lukittuja, jolloin niihin ei tehdä enää muutoksia. Tällaisia lähtötietoja ovat muun muassa arkkitehdin tasopiirustukset ja geo-suunnittelijan perustamistapalausunto sekä tilaajan suunnitteluohjeen asiat. Jos lähtötiedoissa on puutteita tai epäselvyyksiä, tulee puutteisiin reagoida heti ja hoitaa lähtötiedot kuntoon, jotta suunnittelu näiltä osin on sujuvaa. Mikäli jo lukittuihin lähtötietoihin tulee muutoksia, on sovittava muutoksen mukaan joko aikataulumuutoksista tai lisätyöpalkkioista. Mikäli kohteelle on jo suunnitteluvaiheessa tiedossa vastaava työnjohtaja, kannattaa hänen olla ehdottomasti yhteydessä ja keskustella rakenneratkaisuista ja työtaivoista hänenkin kanssa.

2.2.3 Kuormien laskenta ja perustukset

Hyvin toteutetun luonnosvaiheen jälkeen ensimmäisiä suurempia tehtäviä rakennesuunnittelijalla on kuormien laskenta ja perustusten suunnittelu. Kohteen geo-suunnittelija on tehnyt maaperästä tehtyihin tutkimuksiin perustuen perustamistapalausunnon, jossa kerrotaan rakennuspaikan ominaisuudet ja perustamistapa, eli perustetaanko rakennus maanvaraisesti vai paalujen varaan. Perustamistapalausunto ottaa myös kantaa rakennuspaikan kuivatukseen ja radonin esiintymiseen.

Kuormien laskeminen tehdään hyvin usein tavanomaisessa kerrostalohankkeessa "käsin", esimerkiksi kuormien laskentaan tehtyä Excel-laskentapohjaa apuna käyttäen. Korkeissa tai muuten vaativimmissa kohteissa rakennuksesta tehdään lähestulkoon aina FEM-laskentamalli, jossa rakennuksen stabiliteetti ja siirtymät saadaan tarkemmin tarkasteltua. Kuormien laskemisen jälkeen rakennesuunnittelija, riippuen perustamistavasta, joko mitoittaa maanvaraisten anturoiden koot ja raudoitukset annetun maaperän kantokestävyyden mukaan tai paalutettavassa kohteessa sijoittelee riittävän määrän paaluja seinälinjojen alle. Tämän lisäksi rakennesuunnittelija määrittää perustusten korkoaseman, mikä ei ole aina selkeää, vaan monesti monen muuttujan kompromissi. Rakennuksen alapohjan lattiakoroissa tai maanpinnoissa rakennuksen ympärillä saattaa olla tasoeroja, mikä yleensä johtaa myös perustusten tasoeroihin. Rakennuksen ympärillä saattaa olla myös jo rakennettuja rakennuksia, joiden perustusten korkeusasema on otettava huomioon suunnittelussa. Lähtökohtaisesti perustukset kannattaa kuitenkin pyrkiä tekemään yhteen tasoon tai ainakin mahdollisimman vähin tasoeroin. Tällöin suunnittelu, maanrakennus ja muut perustustyö pysyvät yksinkertaisina.

Perustuksista suunnittelija tuottaa tasokuvan lisäksi myös tarvittavan määrän perustusleikkauksia, joissa esitetään mm. perustusten korkeusasema, raudoitukset, vedeneristys ja liittymät sokkeliin ja alapohjaan.

2.2.4 Tasopiirustukset

Rakennuksen eri kerroksista, sekä ala- että yläpohjasta suunnittelija tuottaa tasopiirustukset, joissa näytetään kerroksen kantavat pysty- ja vaakarakenteet, aukotukset ja rakenteiden kuormat. Holvien osalta rakennesuunnittelijan tehtävät ovat rakennetyypistä riippuen erilaisia. Ontelolaattakohteessa suunnittelija määrittää tasokuvaan laattajaot ja kuormat, sekä tarvittavat rengas- ja saumateräksiset ja mahdolliset ontelolaattakannakkeet. Näiden pohjalta ontelolaattojen punossuunnittelija mitoittaa ja tekee elementtitehtaalle yksittäisten laattojen tuotantopiirustukset. Kohteessa, jossa on paikallavalettavat holvit, suunnittelija laskee holvien rasitukset useimmiten FEM -ohjelmaa käyttäen, jonka jälkeen holvin raudoituspiirustukseen määritetään tarvittavien terästen koko ja jako. Erillisiä leikkauspiirustuksia peruskerrosten osalta ei juurikaan tarvita, vaan tarvittavat asiat määritetään elementtien liitosdetaljeissa. Kellarin ja 1.kerroksen holveista saatetaan leikkauspiirustuksia tarvita ja toki muualtakin, jos rakennuksessa on leikkauspiirustuksia vaativia erikoispaikkoja.

2.2.5 Vesikatto

Kerrosten tasopiirustusten jälkeen on jäljellä rakennuksen vesikaton suunnittelu. Normaalin asuinkerrostalon tyypillisimmät vesikaton rakenneratkaisut ovat kevytsorakatto tai puurakenteinen katto. Oli rakennetyyppi kumpi hyvänsä, rakennesuunnittelijan tehtävä on varmistaa, että katolle päätyvä vesi löytää tiensä kaivoihin ja että vedeneristysdetaljit ovat kunnossa ja työmaalla yksinkertaisesti toteutettavia. Oman lisänsä vesikaton suunnitteluun tuovat kohteessa mahdollisesti olevat kattoterassit. Etenkin näissä kohdin huolellinen vedeneristysdetaljien suunnittelu korostuu. Vesikatosta rakennesuunnittelija tuottaa tasopiirustuksen lisäksi tarvittavan määrän vesikaton rakenneleikkauksia ja detaljeja.

2.2.6 Yhteensovitus

Kuten jo aiemmin todettiin, erikoissuunnittelun ollessa jokaisen suunnittelualan osalta lähes valmis, järjestetään suunnittelijoiden kesken yhteensovituspalaveri. Yhteensovituksessa viimeisetkin ristiriidat ja törmäilyt suunnitelmissa pyritään

löytämään ja hiomaan yhtenäisiksi. Tämän jälkeen suunnitelmiin tehdään viimeiset viilaukset ja täydennykset, jonka jälkeen suunnitelmat ovat valmiita työpiirustuksia.

2.2.7 Reikäpiirustukset

Yhteensovituksen jälkeen tulee vielä yksi oleellinen suunnitteluvaihe, joka on reikäpiirustukset. Talotekniikan suunnittelijat määrittävät kantaviin rakenteisiin tarvittavat reikävaraukset, joista talotekniikan kaapelit ja kanavat menevät läpi. Rakennesuunnittelijan tehtävänä on tarkistaa näiden reikien sijainti, jotta ne lävistävät rakenteet sellaisista kohdin, josta ei ole rakenteellista haittaa tai vaikutusta. Jos jokin reikä sattuu kohtaan, joka on erityisen kuormitettu, eikä kestä reiittämistä, niin rakennesuunnittelija ehdottaa reiän siirtoa toiseen paikkaan tai pyytää talotekniikan suunnittelijaa etsimään kokonaan uuden reitin kanavalle.

Reikäkuvavaihe voi olla hyvinkin haasteellinen ja aikaa vievä, jos siirrettäviä reikiä on paljon ja uudelleensijoittelukin on hankalaa. Tätäkin vaihetta helpottaa paljon, jos jo luonnosvaiheessa on huomioitu talotekniikan tarvitsemat kanavareitit. Kun reiät ovat kaikkia suunnittelualoja miellyttävässä sijainnissa, niistä koostetaan reikäpiirustukset, jotka toimivat lähtötietoina elementtisuunnittelussa ja työmaalla.

2.3 Erikoissuunnittelun jälkeen

Kun erikoissuunnittelu ja reikäkiertokin on valmis, alkaa kohteen elementtien suunnittelu. Tässä vaiheessa rakennesuunnittelijan tehtävänä on toimia elementtisuunnittelijan tukena ja käydä tämän kanssa läpi etenkin hankalat paikat ja elementtien vaatimat raudoitukset.

Elementtisuunnittelun vielä ollessa käynnissä ylimpien kerrosten osalta alkaa yleensä rakennushankkeen työmaavaihe, jossa rakennesuunnittelija on myös aktiivisesti mukana. Työmaalta saattaa tulla tarkentavia kysymyksiä suunnitelmiin liittyen tai pienimuotoisia muutosehdotuksia, joihin suunnittelija vastaa parhaansa mukaan. Työmaalla käydään tekemässä myös tarkastuksia. Yleensä tarkastamassa käydään ainakin perustusten raudoitukset, väestönsuojan raudoitukset ja

ainakin ensimmäisen holvin rauditus. Myös vesikattorakenteet käydään tarkistamassa ja kun rakennuksen runko on kokonaan ylhäällä, käydään tekemässä runkokatselmus. Kohteen työmaavaihe on rakennesuunnittelijalle suhteellisen yksinkertainen, mikäli suunnitelmat on suunnitteluvaiheessa hyvin tehty ja selkeät sekä työmaaorganisaatio tehtäviensä tasalla.

Kohteen asuntoja myydään kohteen rakentumisen aikana ja joskus ostajaehdokailta saattaa tulla muutostoiveita asuntoihinsa. Monesti nämä muutokset koskevat pintamateriaalien ja kodinkoneiden tyyppien vaihtamista, mikä ei juurikaan rakennesuunnittelijaa koske. Jotkut asukasmuutokset saattavat vaikuttaa reikävarauksiin, jolloin rakennesuunnittelijan tehtävä on selvittää, voiko jotakin reikää siirtää haluttuun sijaintiin kantavassa rakenteessa. Asunnon ostaja saattaa myös esimerkiksi haluta kattoterassilleen kylpyammeen, johon ei alkuperäisessä suunnitelmassa ollut varauduttu. Tällöin rakennesuunnittelijan tulee selvittää, kestääkö holvi sellaisenaan ammeesta aiheutuvan lisäkuorman tai minkälaisia toimenpiteitä vaatii, että kylpyamme voidaan kattoterassille sijoittaa.

3 PERUSTUKSET JA ALAPOHJA

3.1 Kuormien laskeminen

Projektin aloituspalaverin ja kohteeseen tutustumisen jälkeen ensimmäinen tehtävä oli kuormien laskenta. Kuormien laskemiseen käytettiin siihen tarkoitettua Excel -pohjaa, jolla seinälinjojen kuormat saa yksinkertaisesti laskettua. Laskentapohjaan syötetään kerroslukumäärä, holvien neliökuomat ja kuormitusleveydet, jonka jälkeen taulukosta näkee seinälinjan kuormitukset anturan tasossa. Laskentapohjassa näkyvät myös seinien kuormitukset eri kerroksissa, mikä helpottaa myöhemmin seinien mitoituksessa. Laskelmissa käytetyt kuormien ominaisarvot on esitetty taulukossa 1. Työn liitteissä 1 ja 2 on esimerkit laskentapohjasta ulko- ja väliseinän kohdilta.

Taulukko 1. Laskennassa käytettyjen kuormien ominaisarvot

Alapohjan omapaino	6,5 kN/m ²
Alapohjan pintarakenteet + kevyet väliseinät	1,0 kN/m ²
Välipohjan omapaino	5,1 k/m ² (OL37 saumattuna)
Välipohjien pintarakenteet + kevyet väliseinät	1,5 kN/m ²
KPH-elementit	5 kN/m ²
Yläpohjan ontelolaatta	3,8 kN/m ² (OL27 saumattuna)
Vesikattorakenteet	6,0 kN/m ² (Kevytsora, vedeneristeet, pintalaatta)
Hyötykuorma asunnoissa	2,0 kN/m ²
Hyötykuorma porrashuoneissa	2,5 kN/m ²
Hyötykuorma parvekkeilla	2,5 kN/m ²
Lumikuorma	2,2 kN/m ²
Lumikuorma kinostuva	5,0...2,2 kN/m ² , kinostumispituus 6m

Vaikka kuormien laskemisessa käytettäisiin apuna laskentapohjia, kannattaa laskelmien oikeellisuus ja kuormien suuruusluokka tarkistaa välillä itse käsin laskemalla. Näin saadaan varmuus siitä, että laskentapohja toimii oikein.

3.2 Perustukset

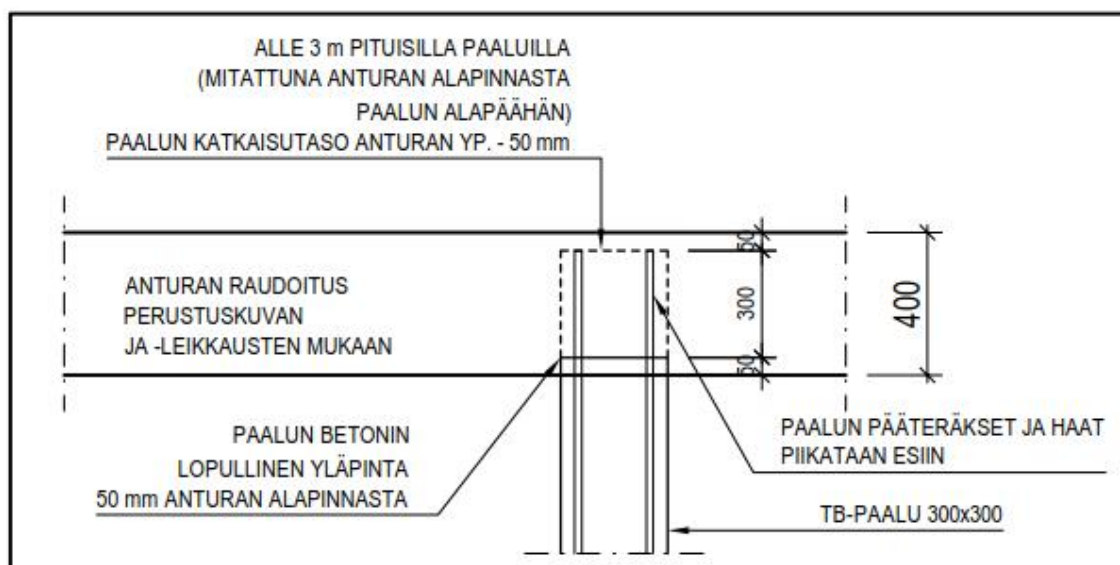
Kuormien laskemisen jälkeen vuorossa oli perustusten ja alapohjan suunnittelu. Kohteen geo -suunnittelija kertoi perustamistapalausunnossaan tontilla tekemiensä maaperätutkimusten perusteella, että rakennus tulee perustaa lyötävien tb-300x300b teräsbetonipaalujen varaan ja, että alapohjan on oltava kantava.

Perustusten osalta työmaaorganisaatio toivoi perustukset tehtäväksi mahdollisuuksien mukaan yhteen tasoon. Täysin yhteen tasoon tekeminen ei kuitenkaan ollut kannattavaa. Tuulettuvassa alapohjassa olevan 1200 mm korkean

ryömintätilan vuoksi anturoita jouduttiin tuulettuvan alapohjan alueella laske-
maan paljon alemmaksi verrattuna maanvastaisen alapohjan alueella olevaan
anturatasoon. Tästä syystä anturat päädyttiin tekemään kahteen tasoon kor-
koeron ollessa samalla kohtaa, missä alapohjan rakennetyyppikin vaihtuu.

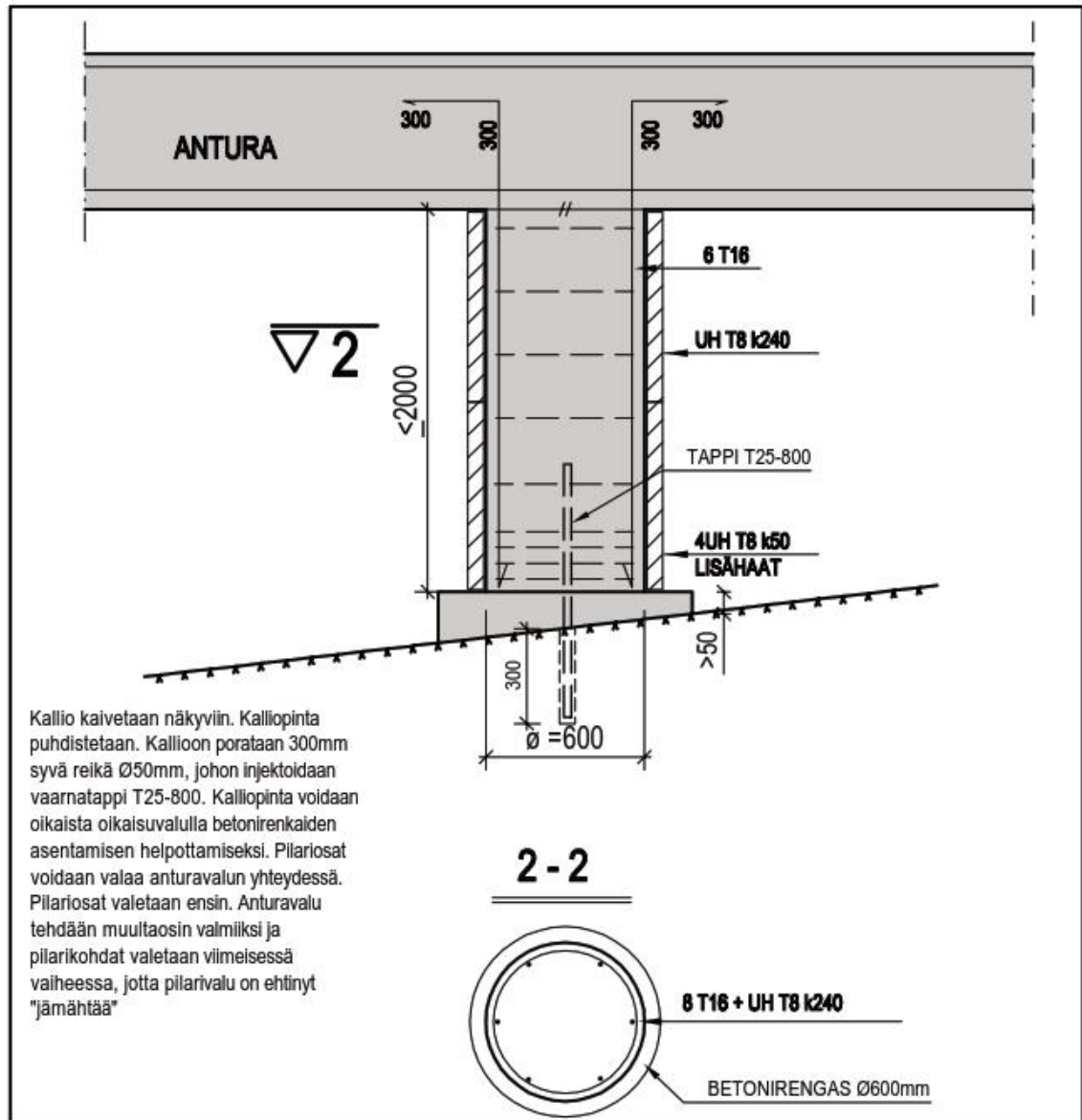
Geo -suunnittelijan tekemistä maaperälaikkauksista voitiin todeta, että kallion-
pinta sijaitsee rakennuksen alla pääsääntöisesti noin 4 – 7 metrin päässä paalu-
tustasosta. Rakennuksen lounaiskulmalla kallionpinta kuitenkin hieman nousee,
sijaiten noin kolmen metrin päässä paalutustasosta. Kallionpinnan sijaitessa
näinkin lähellä tulevaa perustamistasoa, mietittiin kohteessa hetken aikaa myös
massanvaihtoa. Massanvaihto olisi tarkoittanut huonosti kantavan maa-ainek-
sen kaivamista pois kallion päältä, jonka jälkeen kallion päälle olisi tuotu murs-
ketta. Murskearinan päälle rakennuksen anturat olisi voitu tehdä maanvaraisina.
Tämä vaihtoehto kuitenkin hylättiin, koska se olisi ollut kalliimpi ja työläämpi
kuin paaluperustus.

Geo -suunnittelijan ohjeistuksen mukaan alle kolmen metrin pituiset paalut tuli
kiinnittää jäykästi anturaan. Paalun jäykkä kiinnitys tarkoittaa, että paalu kat-
kaistaan terästen tartuntapituuden verran yli katkaisutason ja paalun katkaisun
jälkeen paalun teräkset paljastetaan tartuntapituuden verran (RIL 254-2016
Paalutusohje 2016, 176). Kuvassa 3 on esitetty paalun kiinnittäminen jäykästi
anturaan.



KUVA 3. Paalun kiinnittäminen jäykästi anturaan

Paalupituuden jäädessä alle 1,5 metrin, tuli paalun tilalla käyttää niin sanottua kaivonrengasperustusta. Kaivonrengasperustuksessa maa kaivetaan paalun kohdalta pois kalliioon asti ja paalu korvataan kaivonrenkailla, jotka valetaan täyteen betonia ja kiinnitetään anturaan tartuntateräksin. Kuvassa 4 on esitetty kaivonrengasperustuksen periaate.



KUVA 4. Kaivonrengasperustuksen periaate

Paalujen sijoittelussa tulee huomioida riittävä paalujen välinen etäisyys toisiinsa nähden, jotta vierekkäiset paalut eivät vaikuta heikentävästi toistensa kantavuuteen. Paaluja lyötäessä ne eivät myöskään saa vahingoittaa toisiaan. Mikäli paalu katkeaa tai se joudutaan jostain muusta syystä korvaamaan, suositellaan

korvaava paalu asennettavaksi minimissään 2d keskiöetäisyydelle korvattavasta paalusta. Keskiöetäisyyden arvoja tarkasteltaessa d on teräsbetonipaalun sivumitta (RIL 254-2016 Paalutusohje 2016, 179). Taulukosta 2 voidaan todeta, että tämän kohteen paalujen minimikeskiöetäisyytenä voitiin käyttää 3d, eli $3 \times 300 \text{ mm} = 900 \text{ mm}$.

TAULUKKO 2. Paalujen keskiöetäisyyden vähimmäisarvot. (RIL 254-2016 taulukko 4.1. 179)

Paalun pituus (m)	Pyöreä	Neliömäinen
10	2,7d	3d
10-25	Väliarvot interpoloidaan	Väliarvot interpoloidaan
25	3,5d	4d

Tuki- ja kitkapaaluilla ei kuitenkaan tulisi alittaa 800 mm keskiöetäisyyttä (RIL 254-2016 Paalutusohje 2016, 179).

Geo -suunnittelija oli perustamistapalausunnossaan antanut TB300b paalun murtorajatilan kestävyuden arvoksi $R_{d,max} = 850 \text{ kN}$. Näillä lähtötiedoilla paaluja sijoitetaan seinälinjojen alle riittävä määrä sopivin keskiöetäisyyksin kuormien laskennassa saatuihin kuormiin nähden. Aivan paalun kestävyuden maksimiarvoon $R_{d,max} = 850 \text{ kN}$ ei kannata tähdätä, sillä paalut eivät välttämättä maaperän kivisyyden vuoksi osu aivan suunniteltuihin sijainteihin tai paalu voi paalutustyön aikana katketa. Tällaisissa tapauksissa tulee usein tarvetta lisäpaalujen lyömiselle. Paalut tulee sijoittaa mahdollisimman hyvin kuormalinjojen alle, mikä tarkoittaa esimerkiksi ulkoseinälinjoilla aukotuksen huomioimista paalujen sijoittelussa. Paalut sijoitetaan aukkojen välisten linjojen alle, jota pitkin kuormatkin tulevat alas. Leveän aukon alle sijoitettu paalu on melko tehoton, varsinkin kun kohteen sokkelit olivat melko matalat, jolloin kuormat eivät ehdi juurikaan sokkelin korkeuden matkalla jakautumaan. Umpiseiniä alla olevilla paaluilla jäykän seinän voidaan olettaa jakavan kuormat melko tasaisesti kullekin paalulle.

Paalutustyön jälkeen paaluista toimitetaan rakennesuunnittelijalle tarketiedot, joista ilmenee paalujen toteutuneet sijainnit. Rakennesuunnittelija tarkastaa nämä paalutarkkeet ja tekee tarvittavat anturoiden levennykset ja raudoitusli-

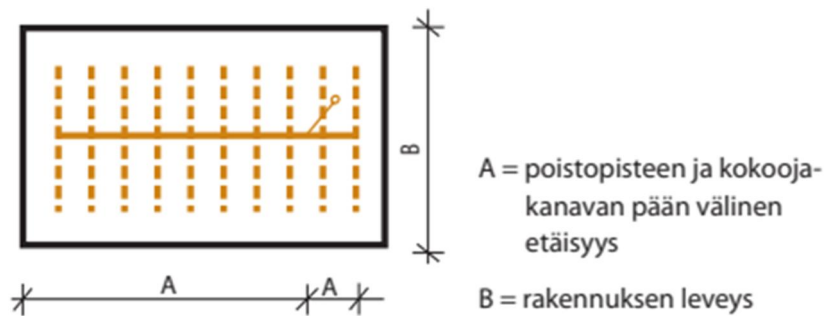
säykset, mikäli paalujen toteutuneissa sijainneissa on heittoja suunniteltuihin sijainteihin nähden. Merkittävien sijaintiheittojen tai muiden paalutusongelmien kohdalla, paaluttajan tulee olla yhteydessä rakennesuunnittelijaan heti ongelmien ilmetessä. Tämän kohteen paalut osuivat hyvin suunniteltuihin sijainteihin, vain muutamaa anturaa jouduttiin hieman leventämään. Sen sijaan lounaiskulmalla, jossa kallionpinnan oletettiin nousevan, useita paaluja jäi alle 1,5 metrin pituisiksi. Näistä paaluista paaluttaja otti yhteyttä heti ongelman ilmettyä ja työmaata ohjeistettiin korvaamaan paalut kaivonrengasperustuksella (kuva 4).

Paalujen sijaintien ja anturakorkojen suunnittelun jälkeen perustussuunnitelmiin täytyy suunnitella vielä salaojitus ja radonkanavisto. Salaojituksen suunnittelua varten tarvitaan LVI-suunnittelijalta perusvesikaivon paikka, johon salaojat puretaan. Salaojituksella kierretään koko rakennus ulkoseinälinjojen mukaisesti. Rakennuksen nurkille ja anturoiden tasoerojen kohdille sijoitetaan salaojan tarkastuskaivot. Perusmuurin ulkopuolisten salaojien vähimmäiskaltevuus 0,5%, 1:200 (RT 81-1100 Rakennuspohjan ja tonttialueen kuivatus).

Radonkanaviston suunnittelua varten tarvitaan LVI-suunnittelijalta tieto, mihin hormiin sijoitetaan radonpoistokanava. Tämän jälkeen taulukon 3 mukaan määritetään kokoojakanavien ja imukanavien nimelliskoot.

TAULUKKO 3 Monihaaraisen imukanaviston mitoitus, (RT 103123, Radonin torjunta, taulukko 2, 12)

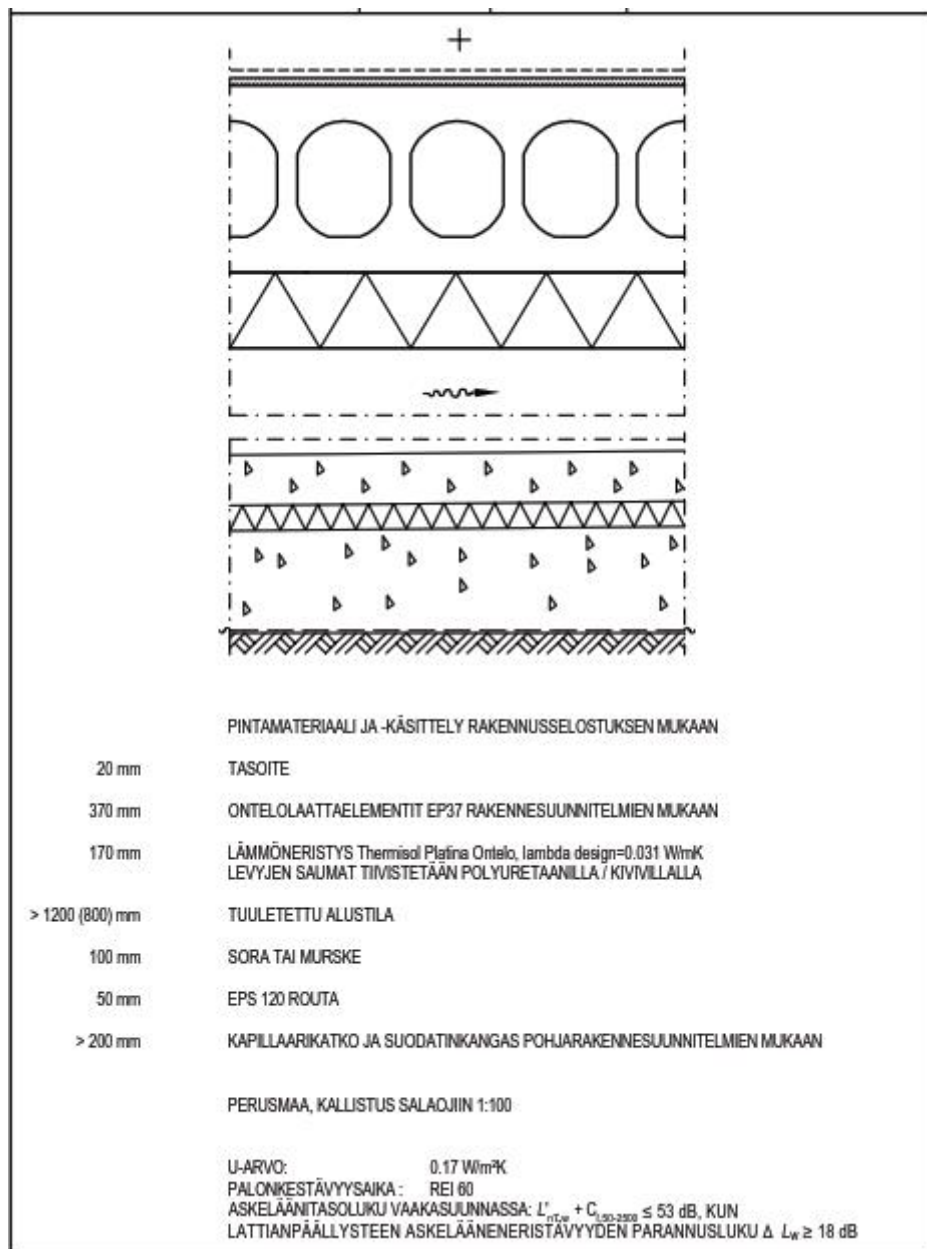
Poistopisteen ja kokoojakanavan pään välinen suurin etäisyys A m	Kokoojakanavan nimelliskoko \varnothing mm
$A \leq 15$ *	≥ 100
$15 < A \leq 30$	≥ 160
Rakennuksen leveys B m	Imukanavan nimelliskoko \varnothing mm
$B \leq 10$	≥ 65
$10 < B \leq 15$	≥ 80
* ensisijainen suunnittelumitta	



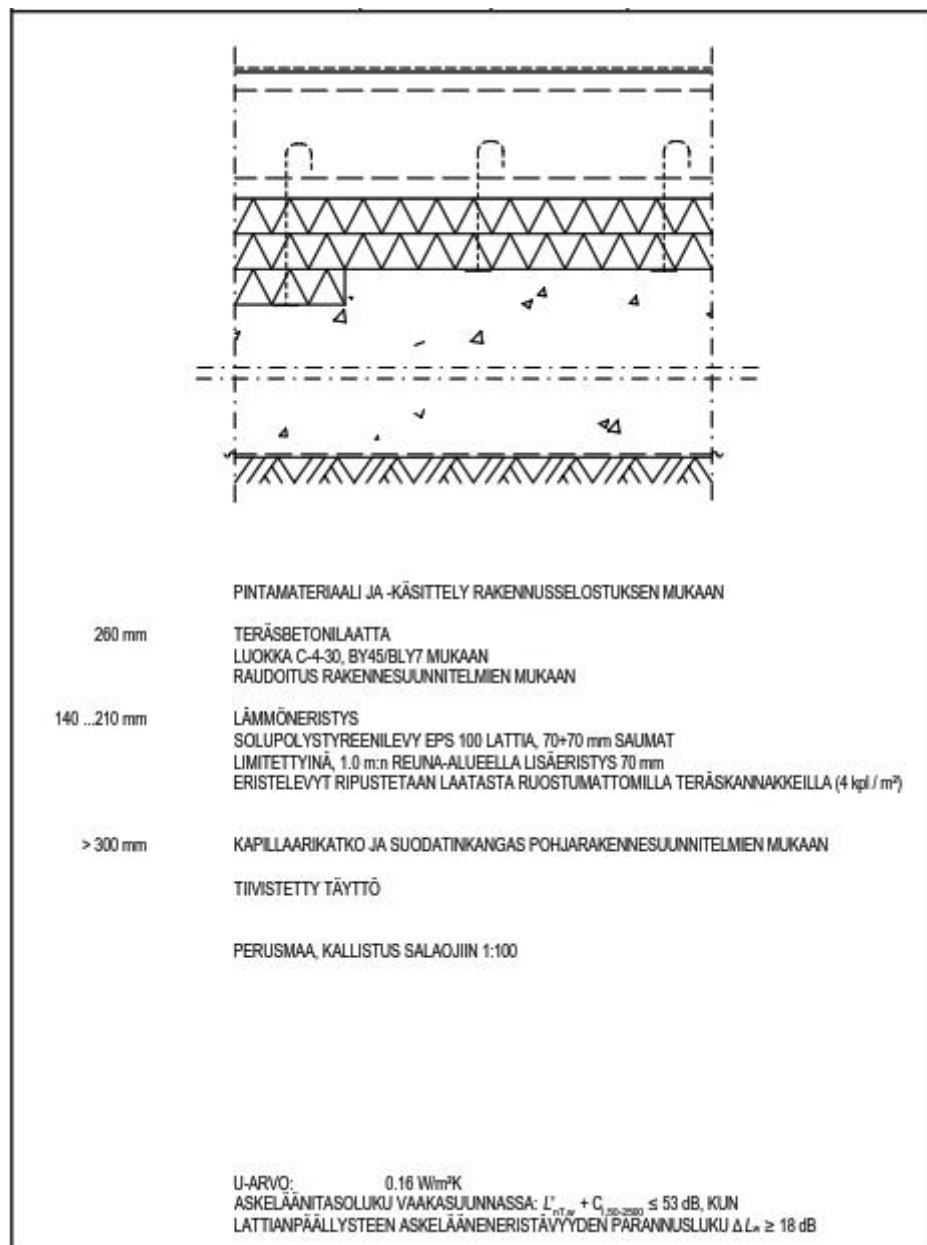
Taulukosta 3 saadaan kohteen kokoojakanavan halkaisijaksi 100mm ja imukanavan nimelliskooksi 80mm.

3.3 Alapohja

Tilaajan suunnitteluohjeessa kantavat alapohjat toivottiin tekemään tuulettuvina. Maanpinta nousee kuitenkin rakennuksen ympärillä siten, että puolet rakennukset kellarikerroksesta sijaitsee kokonaan maanpinnan alapuolella. Maanalaiseen kellarikerrokseen tuulettuvan alapohjan tekeminen ei ole oikein järkevää, joten kohteessa päädyttiin tekemään kellarin maanpäällisiin osiin tuulettuva alapohja, jonka rakennetyyppi on kuvassa 5. Maanpinnan noustessa alapohja vaihdettiin kantavaksi maanvastaiseksi laataksi, jonka rakennetyyppi on kuvassa 6.

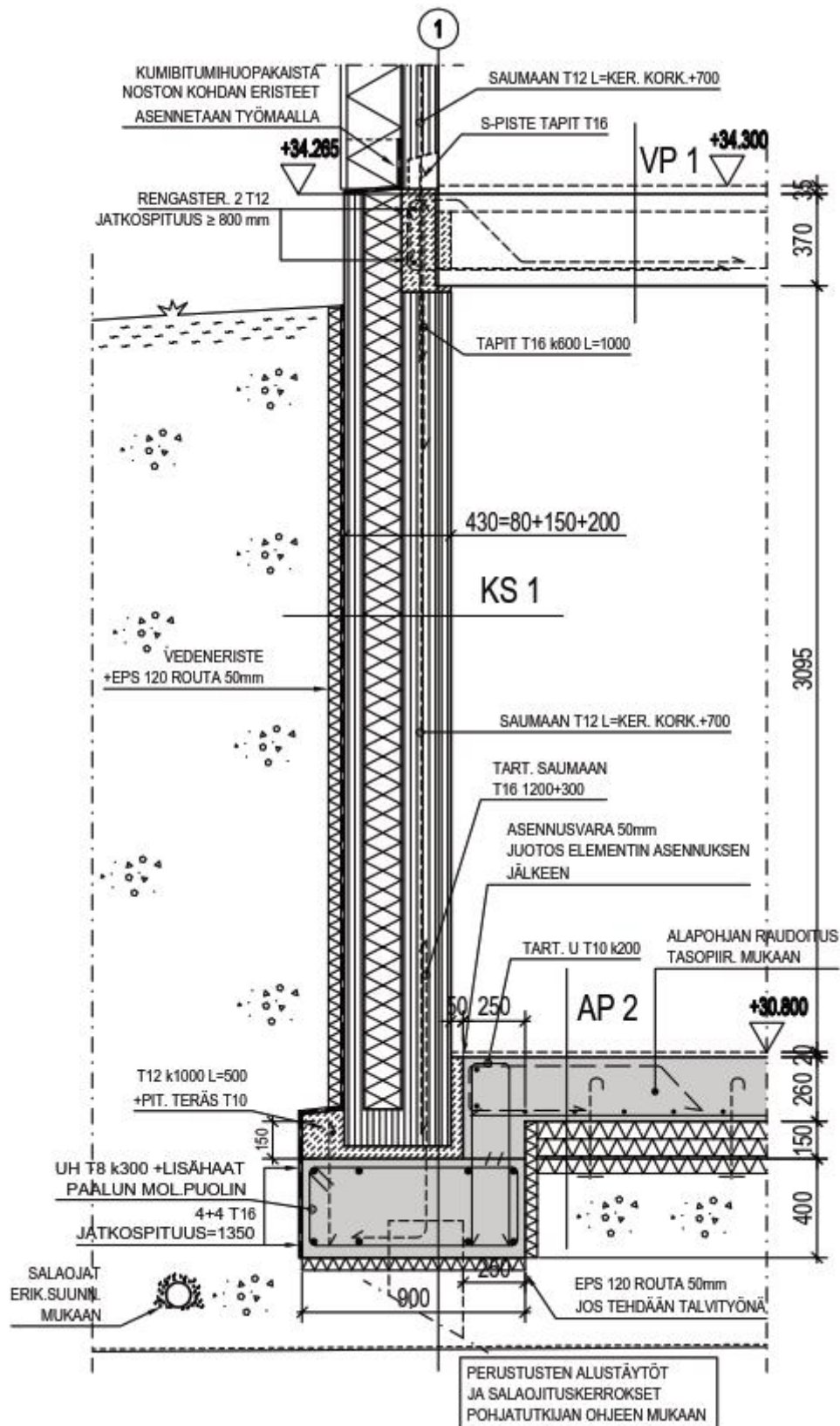


KUVA 5. Tuulettuvan alapohjan rakennetyyppi



KUVA 6 Maanvastaisen kantavan alapohjan rakennetyyppi

Maanvastaisen kantavan laatan vahvuus on 260mm ja se tukeutuu nostoilla ulko- ja väliseinien anturoiden varaan, kuten kuvan 7 perustusleikkauksissa on esitetty.



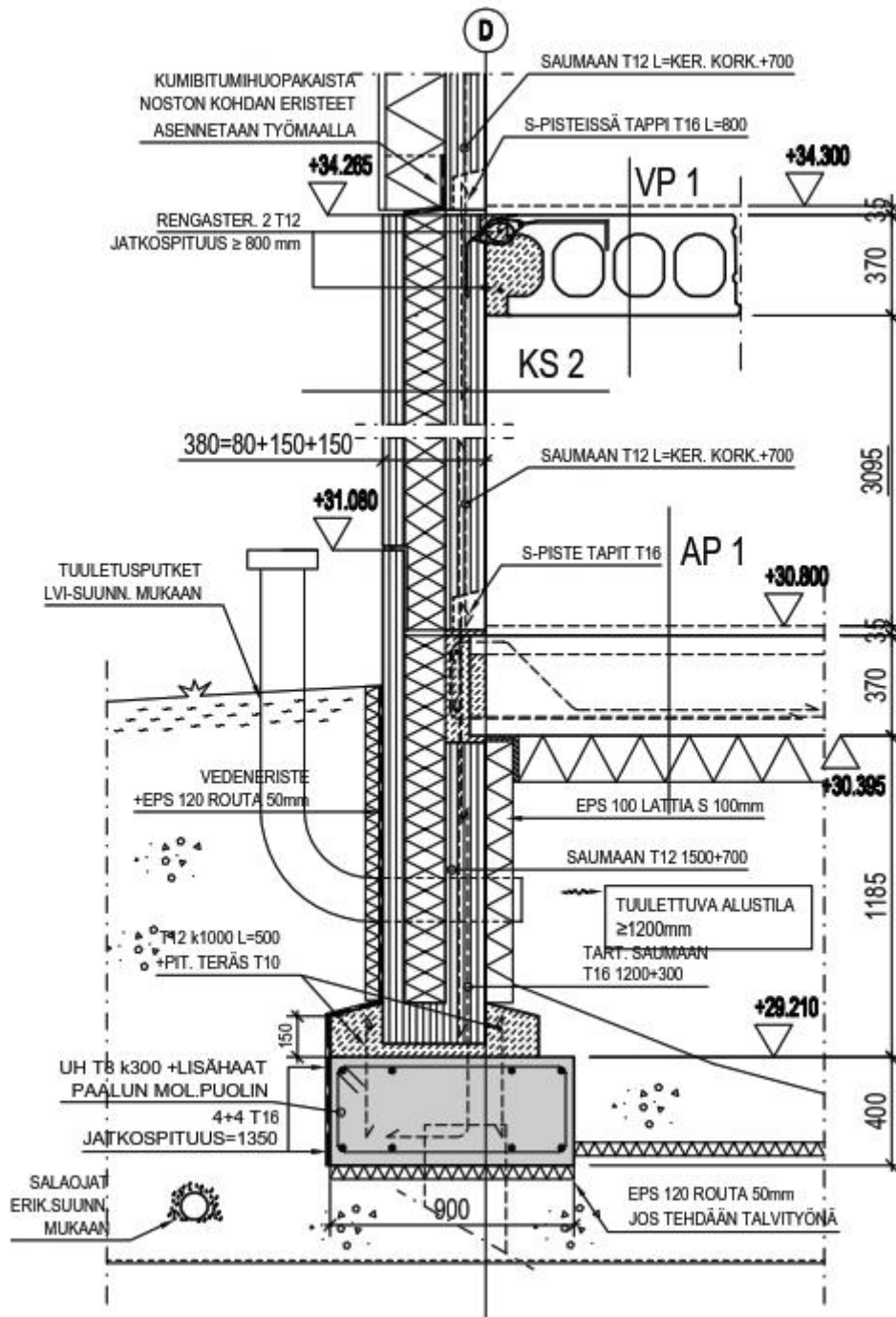
KUVA 7. Perustusleikkaus kellarin maanalaiselta osalta

Työmaan tahto oli valaa maavastainen alapohja ennen kellarin ulkoseinien asennusta. Tämä oli hyvä idea, sillä tällöin kellarin elementit saatiin tuettua ele-

menttituilla alapohjan päältä ilman, että tukia tarvitsi siirrellä alapohjan valun yhteydessä. Tämän lisäksi elementin alareunaan saatiin hyvä tuki kellarin seiniin aiheutuvaa maanpainetta vastaan. Alapohjavalun ja kellarin seinän väliin tuli kuitenkin huomioida vähintään 50mm asennusvara, joka sitten elementtien asennuksen jälkeen juotettiin umpeen.

Alapohjalaatan mitoituksessa käytettiin FemDesign -laskentaohjelmaa, jolla määritettiin laatan rasiukset. Näiden rasiusten mukaisesti laattaan määritettiin riittävä määrä terästä. Kantavan maanvastaisen alapohjan alla on sijoitettuna LVI-kanavia, jotka täytyy tarpeen tullen päästä huoltamaan ja vaihtamaan. Tämä tarkoittaisi, että huoltotyön yhteydessä alapohja pitäisi piikata pois ja huoltotyön jälkeen raudoittaa ja valaa uudelleen, mikä olisi todella työlästä ja kallista. Asia ratkaistiin siten, että LVI-suunnittelija määritteli alapohjaan alueet, miltä osin laatta täytyy tarvittaessa olla avattavissa. Nämä alueet otettiin fem-laskelmissa huomioon ja laatta raudoitettiin siten, että se kestää rei'itettynäkin, jos alapohja joskus tarvitsee avata putkien huollon tai vaihdon vuoksi.

Tuulettuvan alapohjan ontelolaattojen suunnittelu on hyvin samanlaista kuin välipohjissakin, josta kerrotaan luvussa 5. Kuvassa 5 olevassa tuulettuvan alapohjan rakennetyypissä ja kuvan 8 perustusleikkauksessa, maapohjassa oleva 50 mm:n EPS eriste herättää usein, ja herätti tässäkin kohteessa, kysymyksen tuon eristeen tarpeellisuudesta.



KUVA 8. Perustusleikkaus tuulettuvan alapohjan osalta

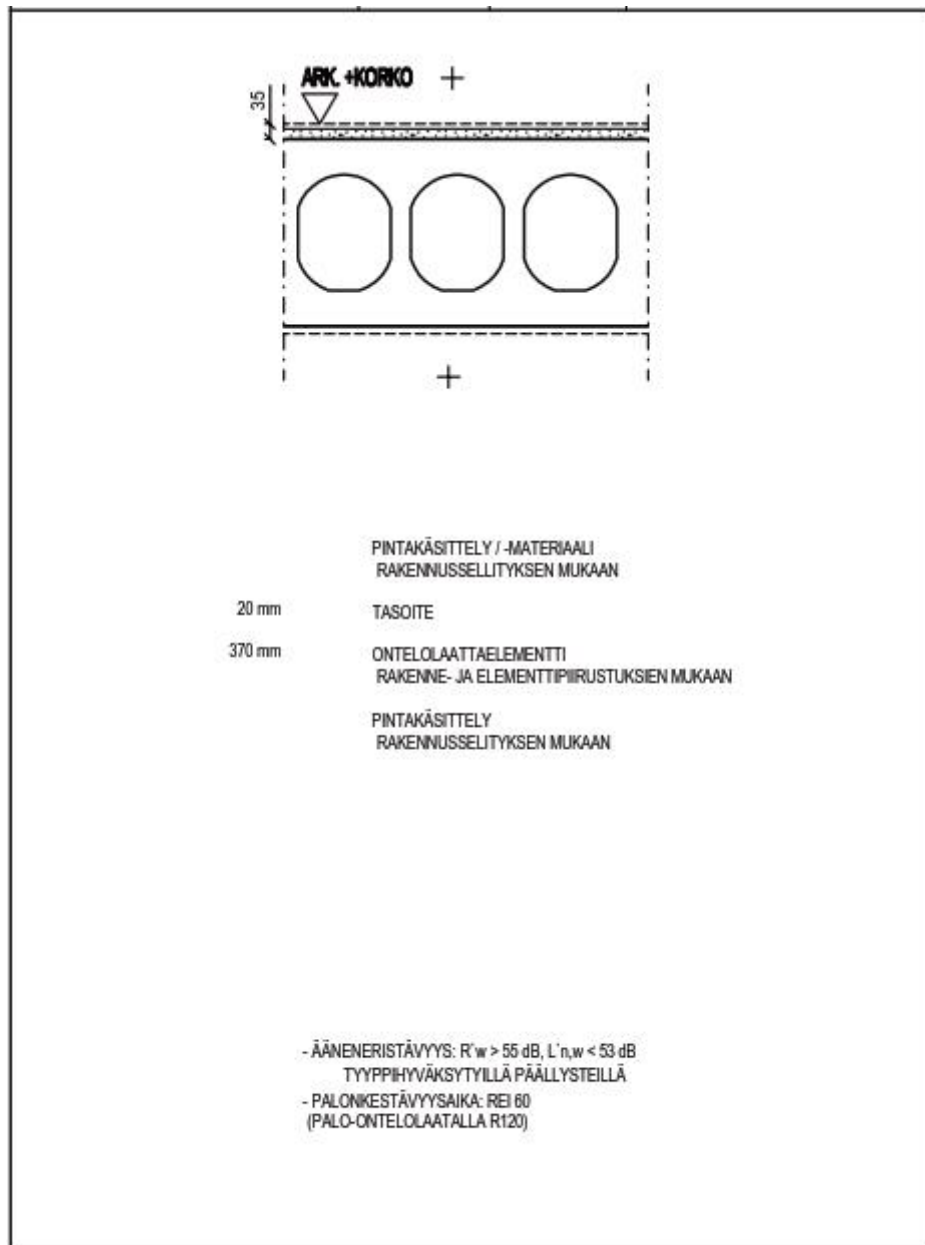
Eristeen tehtävänä on pitää tuulettuva alustila kuivempana ja sitä myöden rakenne terveellisempänä. Etenkin keväisin, jolloin alustilan ilma on ulkoilmaa kylmempää, ulkoa tuleva lämpimämpi ja kosteampi jäähtyy ja tiivistyy alapohjarakenteiden pintoihin, mikä muodostaa kosteusriskin. Eristeen asennus nostaa tuuletustilan lämpötilaa, jolloin tiivistymistä ei pääse tapahtumaan tai se ainakin olennaisesti vähenee. Eristelevy myös estää maasta vesihöyrynä nousevaa

kosteutta päätyvästä tuuletustilaan. Vesihöyryn nousua tapahtuu, kun maaperän lämpötila on korkeampi kuin tuuletustilan lämpötila (Finnfoam, rossipohjan kosteuskäyttäytymisen teoriaa n.d.).

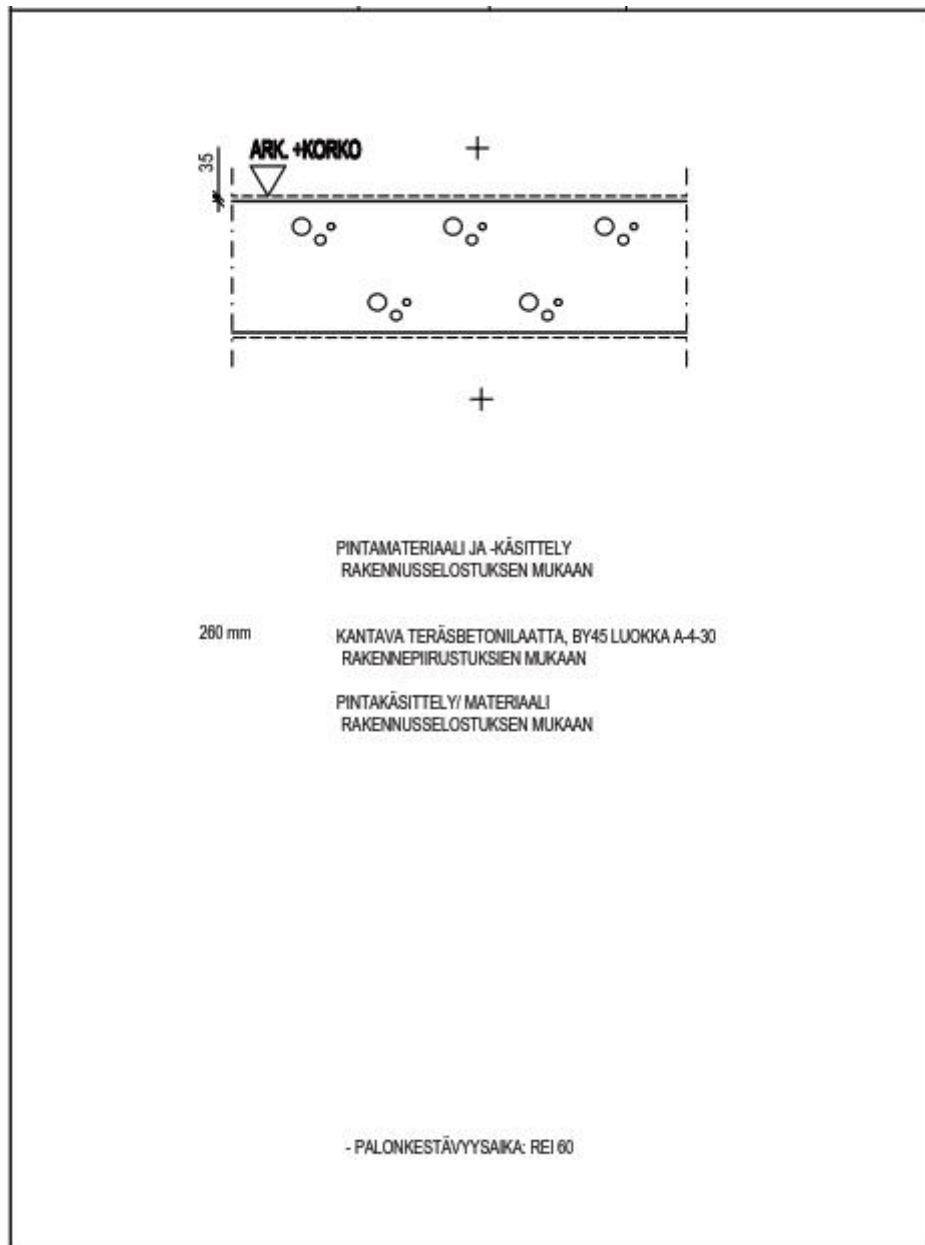
4 VÄLIPOHJA

Kohteen asuntojen väliset välipohjat toteutettiin kuvan 9 mukaisella rakennetyypillä. Rakennetyypissä kantavana rakenteena on 370mm vahva ontelolaatta, jonka päälle tulee pumpputasoite, lattian valmiin pinnan alusmateriaali ja valmis lattiapinta esimerkiksi laminaatti. Tällainen rakennetyyppi täyttää asuinkerrosta-lon ääneneristysvaatimukset ilmaääneneristävyuden ja askeläänieristävyuden suhteen (Parman ontelolaatatot suunnitteluohje, 2018, 39 40). Ilmaääneneristävyys tarkoittaa rakenteen kykyä vaimentaa ilmassa siirtyvää ääntä, kuten puhetta. Asuntojen välisen rakenteen ilmaääneneristävyuden arvon $R'w$ tulee olla suurempi tai yhtä suuri kuin 55 dB. Askelääneneristävyydellä kuvataan runkoäänien, esimerkiksi kävelystä tai esineiden putoilusta aiheutuvien iskujen, siirtymistä tilojen välillä. Askeläänitasoluvun L'_{nw} tulee olla pienempi tai yhtä pieni kuin 53 dB.

Käytävillä rakennetyypinä on kuvan 10 mukainen rakennetyyppi, eli 260 mm vahva teräsbetoninen massiivilaatta, jonka valmiina pintana on muovimatto.



KUVA 9. Välipohjan rakennetyppi asuntojen välillä.

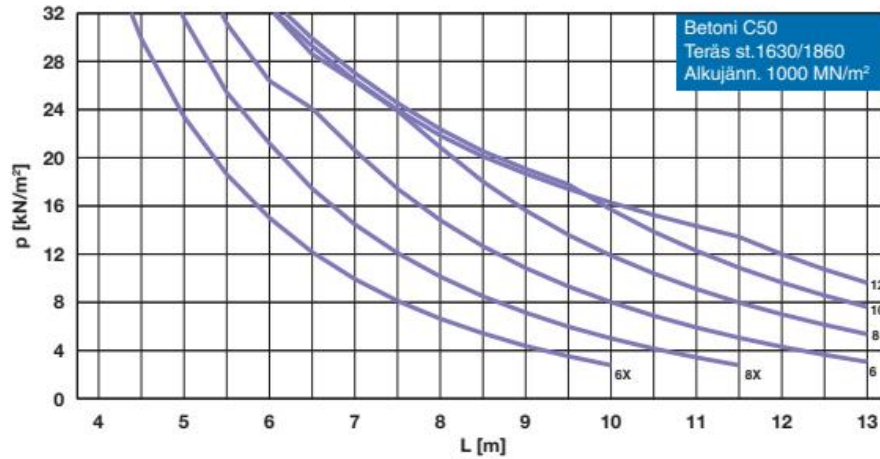


KUVA 10. Käytävän rakennetyyppi

Ontelolaattojen alustavasta mitoitustaulukosta (taulukko 4) voidaan todeta, että 370 mm vahvalla ontelolaatalla päästäisiin maksimissaan aina 13 metrin jänneväliin asti. Mitoituskäyrissä on esitetty reiättömien ontelolaattojen kantokyky sallittuna kuormana ilman kuormien osavarmuuskertoimia. Pysyvän kuorman osuus käytettävästä kuormasta on 15%, eikä ontelolaatan omaa painoa tarvitse huomioida mitoituskäyriä tarkasteltaessa (Parman ontelolaatatot suunniteluohje, joulukuu 2018, 10). Kohteessa pisimmät laatat olivat n. 9,5 metriä pitkiä, joten jännevälien kanssa ei lähtökohtaisesti ollut ongelmia.

TAULUKKO 4. 370 mm vahvan ontelolaatan kantokyky (Parman ontelolaatatot suunnitteluohje, joulukuu 2018, 59)

KANTOKYKY P37 – asunnot, toimistot, lumikuorma



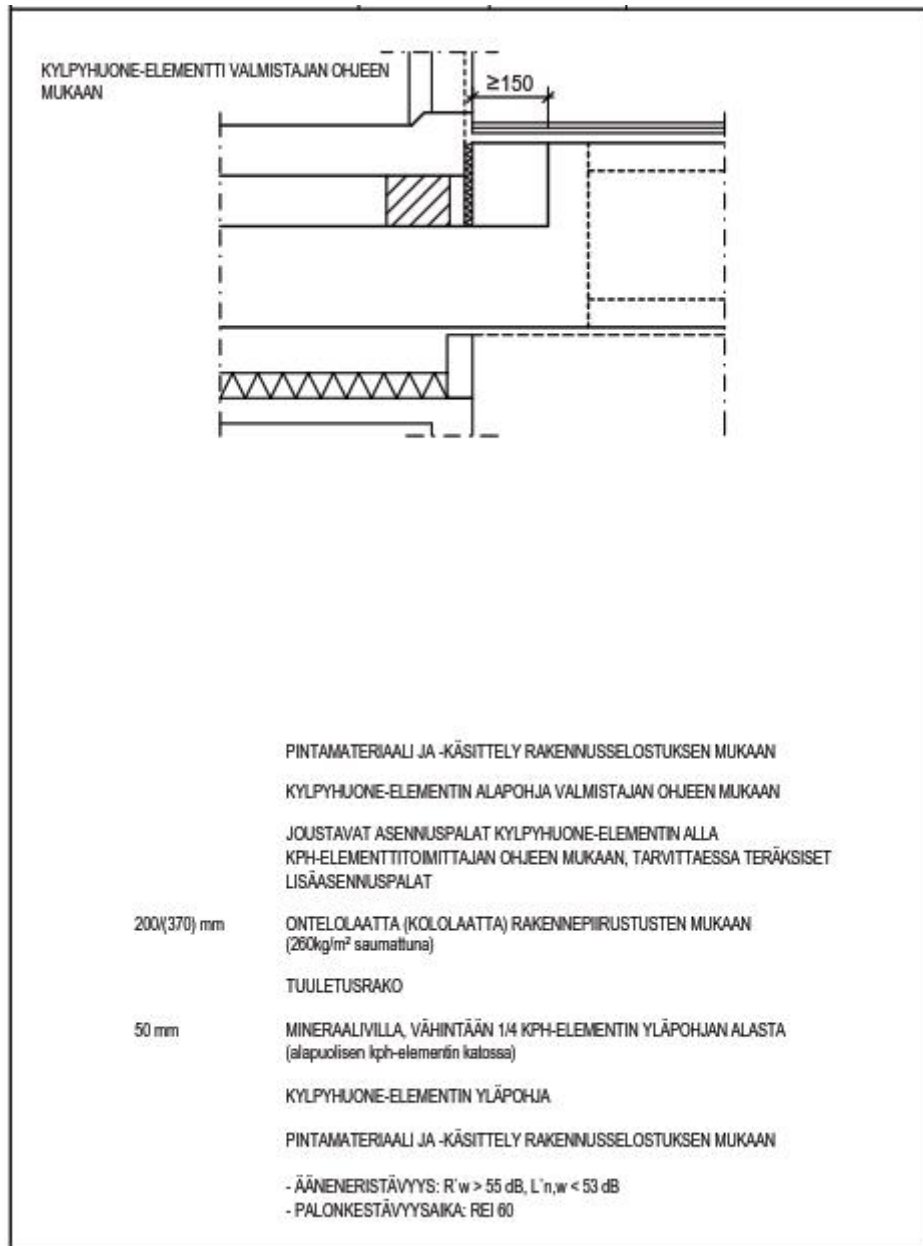
Kohteen kylpyhuoneet toteutettiin kylpyhuone-elementeillä, joiden kohdalle tarvitaan ontelolaattojen yläpintaan syvennys. Rakennetyyppi kylpyhuoneen kohdalla on esitetty kuvassa 11. Kylpyhuoneiden ja muiden märkätilojen vaatimia varauksia varten on kehitetty kylpyhuoneontelolaatta, jossa märkätilan kohdalla ontelolaatta on tampattu matalaksi umpibetonilaataksi. O37 -laattalla tuon umpiosan paksuus on 200mm, jolloin elementtikylpyhuoneelle jää 170 mm varaus, johon kylpyhuone-elementti työmaalla asennetaan. Kylpyhuonesyvennys heikentää merkittävästi ontelolaatan kestävyttä, etenkin jos syvennys on keskellä laattaa. Tällöin laattatyyppiin O37K, eli 370 mm kylpyhuonelaatan, maksimijänneväli on 9 metriä (taulukko 5).

TAULUKKO 5 Kylpyhuonelaattojen maksimijännevälit (elementtisuunnittelu.fi, taulukko 7.3 Kylpyhuonelaattojen perustyyppit ja maksimijännteet)

TYYPPI	KORKEUS [mm]	SYV. KORKEUS [mm]	POHJAN KORKEUS [mm]	MAKSIMIJÄNNE SYVENNYS 3m LAATAN PÄÄSSÄ [m]	MAKSIMIJÄNNE SYVENNYS 3m LAATAN KESKELLÄ [m]
O27K	265	90	175	9,0	8,0
O32K	320	120	200	11,0	9,0
O37K	370	170	200	11,0	9,0

Kohteessa pisimmät kylpyhuonelaattojen jännevälit olivat 9,5 metriä, mutta näissä tilanteissa kylpyhuonesyvennys sijaitsi laatan päässä, joten näistä ei aiheutunut ongelmia.

Kylpyhuonevarauksia tasokuviin määrittäessä tulee olla tarkkana, sillä märkätilojen koko ja sijainti saattaa ainakin ylemmissä kerroksissa hieman muuttua.



KUVA 11. Rakennetyyppi kylpyhuone-elementin kohdalta

Ontelolaattojen palonkestävyys ilman erillisiä toimenpiteitä on REI60. Kohteen kantavan rungon palonkestoluokka oli REI60, joten asuinkerroksissa ei palonkeston suhteen tarvittu toimenpiteitä. Kellarikerroksessa sijaitsivat rakennuksen irtaimistovarastot, joiden osastointiraja oli EI90, jolloin kellarin ja 1. kerroksen väliseltä holvilta vaaditaan palonkestoluokka REI120. Palonkestoluokka REI120 onnistuu ontelolaatalla ilman erillistä palosuojausta, mutta tasokuvaan nämä

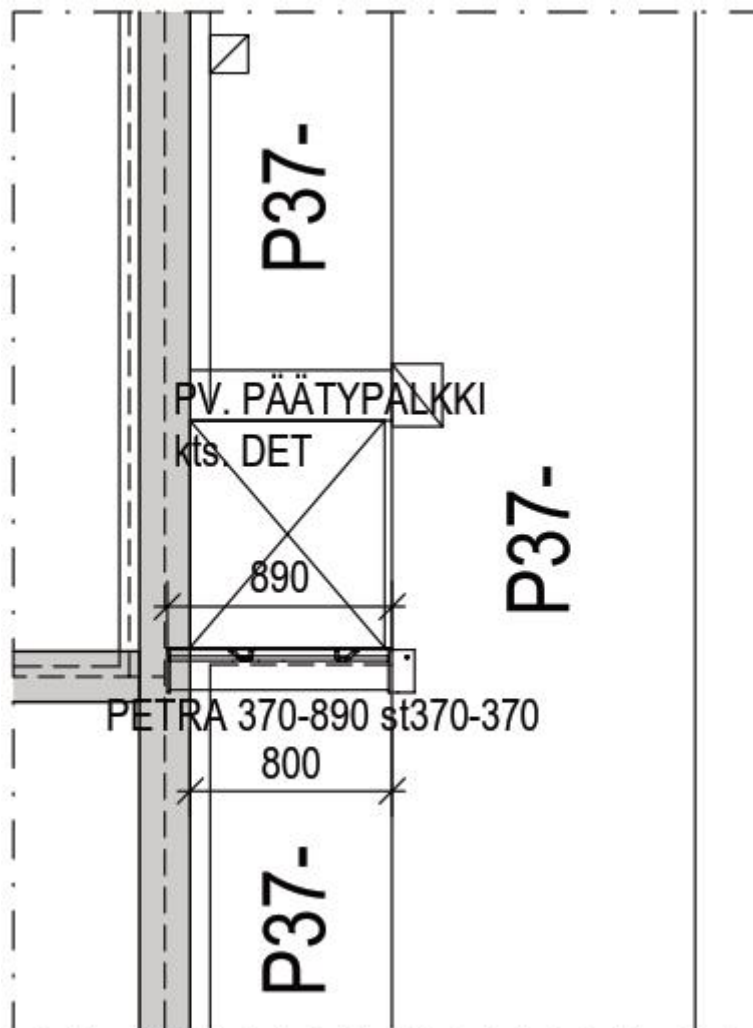
laatat on merkittävä omalla tunnuksellaan 2037 (Parman ontelolaatatot suunnitteluohje, joulukuu 2018, 15).

Ontelolaattoja koskevat tarkat ohjeet siitä, mihin kohtiin ja minkä kokoisia reikiä laattoihin voi tehdä siten, että laatat saadaan kestävämmän niille tulevat kuormat. Nämä reikäsäännöt on määritetty esimerkiksi Betoniteollisuus ry:n julkaisemassa Ontelolaatatoston suunnitteluohjeessa. Näitä reikäsääntöjä noudattamalla rakennesuunnittelija sijoittelee laatat laattakenttiin, joihin talotekniikan suunnittelijat ovat määrittäneet talotekniikan vaatimat reikävaraukset.

Jotta ontelolaatatot olisivat mahdollisimman kustannustehokkaita ja rakentaminen työmaalla sujuvaa, tulisi suurin osa ontelolaatoista olla täysleiveitä eli leveydeltään 1200 mm. Tämän lisäksi paikallavalukaistojen koko tulisi minimoida, sillä kaistojen muotittamiseen kuluu työmaalla aikaa ja tietenkin valaessa betonia. Kustannustehokkuuden vuoksi myös katkaistujen laattojen määrää ja näin ollen erillisten ontelolaattakannakkeiden määrä tulisi minimoida. Jotta tähän päästäisiin tulisi arkkitehdin osata huomioida ontelolaatat jo asuntopohjiin hormeja ja kylpyhuoneita sijoitellessaan. Toimivien asuntopohjien suunnittelu on varmasti kuitenkin tärkeämpää, kuin elementtien täydellinen istuvuus runkomiin, etenkin jos tilaaja ei asiaa suunnitteluohjeessaan erikseen painota.

Jos ontelolaattoja joudutaan esimerkiksi hormireikien vuoksi katkaisemaan, täytyy katkaistava laatta tukea viereisiin laattoihin teräksistä ontelolaattakannaketta käyttämällä. Teräksisiä ontelolaattakannakkeita valmistaa esimerkiksi Peikko Oy. He myös vastaavat osan mitoituksista, kunhan rakennesuunnittelija on osan tasokuvaan määrittänyt. Teräksisen ontelolaattakannakkeen käytössä tulee kuitenkin muistaa, että sen teräksinen alalaippa ei saa jäädä näkyviin alapuoliseen asuntoon. Tästä syystä täytyy tarkistaa, että ontelolaattakannake jää alapuolisessa asunnossa piiloon esimerkiksi alakattoon tai kiintokalusteen taakse. Jos näin ei ole ja laatta tarvitsee hormin vuoksi katkaista, niin katkaistu ontelolaatta täytyy tukea viereisiin ontelolaattoihin paikallavalettavaa päätypalkkia käyttämällä. Paikallavalettava päätypalkki on työmaa-asennuksen kannalta kuitenkin työläämpi vaihtoehto, sillä siinä katkaistu laatta tarvitsee asennusajaksi tukea ja päätypalkki raudoittaa. Kuvassa 12 on tähän aiheeseen hyvä esimerkki työssä suunnitellusta kohteesta. Hormin molemmiin puoliin jouduttiin

kapeat laatat katkaisemaan. Hormin alapuolella voitiin käyttää katkaistun laatan tukemiseen Peikon Petra ontelolaattakannaketta, sillä alapuolella oli eteisen alakatto, mutta hormin yläpuolinen laatta jouduttiin kannattelemaan saumavalun yhteydessä valettavalla päätypalkilla, sillä Petran alalaippa olisi jäänyt näkyviin alapuoliseen makuuhuoneeseen.

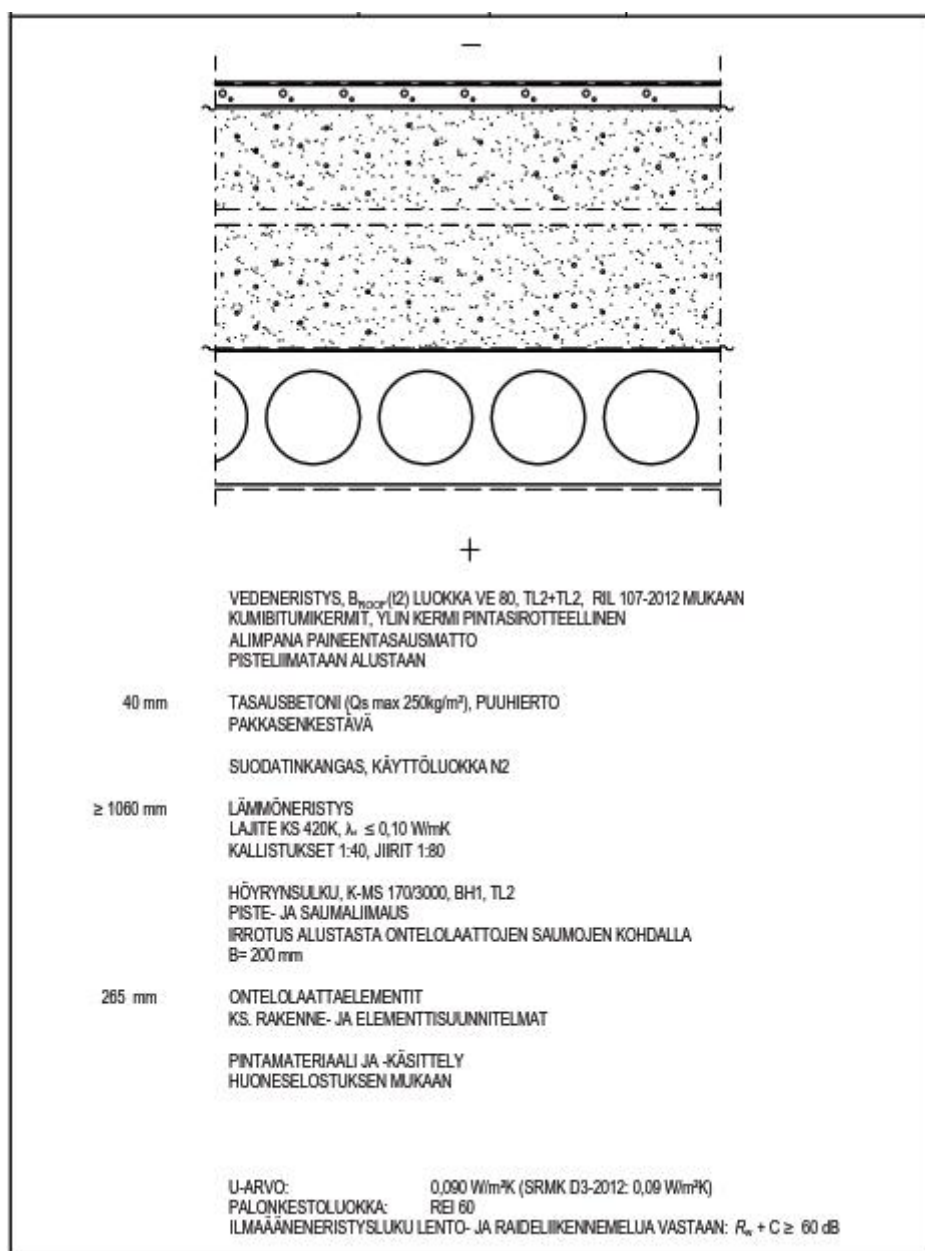


KUVA 12. Esimerkki ontelolaattakannakkeista

Ontelolaattojen sijoittelu, huomioiden reikäsäännöt ja kustannustehokkuus, oli tässäkin kohteessa melko haastavaa, kuten kuvan 12 tilanteestakin voi huomata. Lopulta kuitenkin laatat saatiin paikoilleen tarvittavine sauma- ja rengasteräksineen. Lopullisen ontelolaattojen mitoituksen ja tuotantokuvat laatoista tekee elementtitehtaalla siihen erikoistunut punossuunnittelija.

5 YLÄPOHJA

Kuvassa 13 on esitetty yläpohjan rakennetyyppi. Ylimmän kerroksen katon ja yläpohjarakenteen kantavana rakenteena toimi 270 mm vahva ontelolaatta, joka on 370 mm vahvan laatan tavoin viisionteloinen ontelolaatta.



KUVA 13. Yläpohjan rakennetyyppi

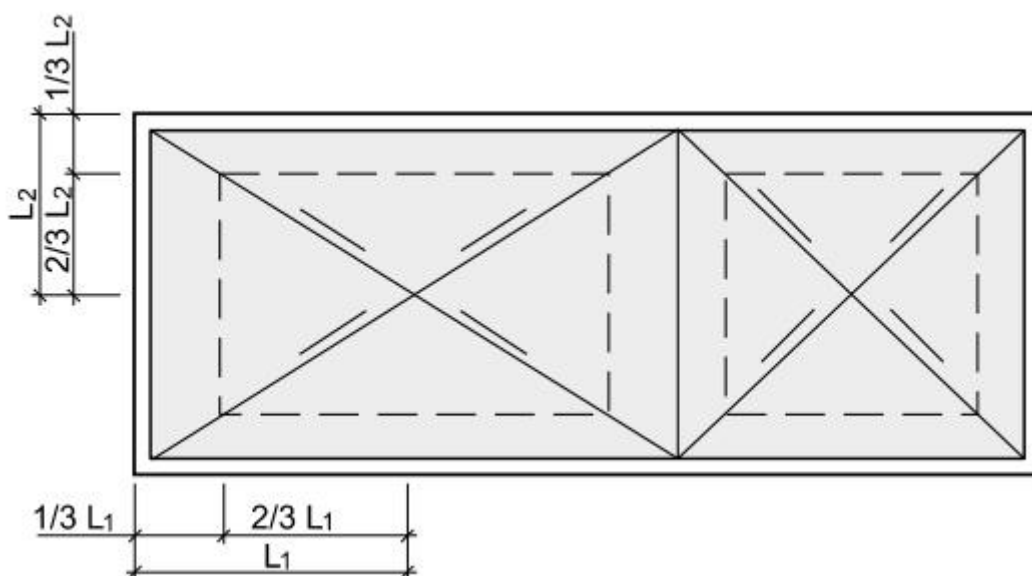
Tästä on se etu, että laatoille pätevät samat reikäsäännöt, joten yläpohjan ontelolaattakentät pysyvät laattajoiltaan lähestulkoon samanlaisina kuin peruserrokk-

sen kentät. Tässä kohteessa myös ylimmän kerroksen asunnot pysyivät peruskerrosten kanssa samanlaisina, joten yläpohjan ontelolaattojen laattajaot saatiin lähestulkoon kopioimalla alemmista kerroksista.

Yläpohjan ontelolaattojen kuormat erosivat merkittävästi peruskerrosten kuormista, sillä pysyviä kuormia tuli enemmän vesikattorakenteen omasta painosta ja IV-konehuoneen rakenteista. Myös muuttuvaa kuormaa, vesikaton tapauksessa lumikuormaa, tuli välipohjien muuttuvaa kuormaa enemmän, lumen kinostuessa iv-konehuonetta vasten. Tässä kohdin punossuunnittelijalta varmistettiin muutamien kuormitetuimman ja pisimmän laatan kestävyudet jo suunnittelun alkuvaiheessa.

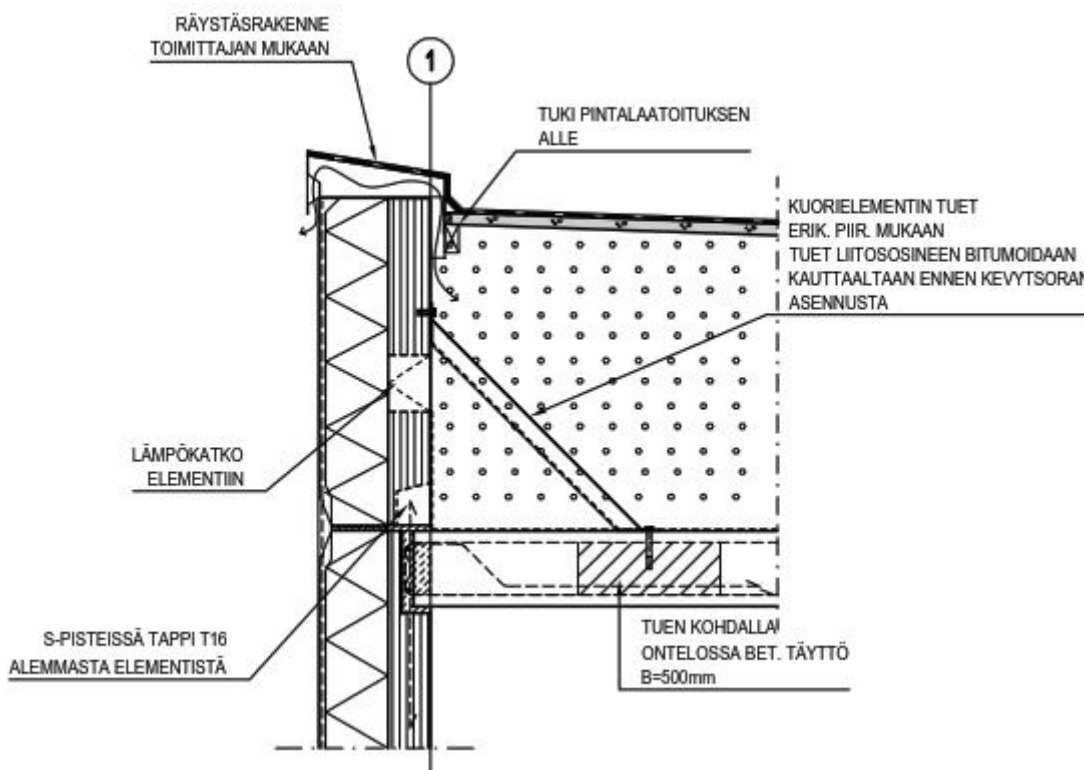
Yläpohjan ontelolaatan päälle tuli höyrynsulkuksi kumibitumikermi koko yläpohjan aleelle. Määräykset sallivat höyrynsulkukermin asentamisen vain ontelolaatta-saumojen kohdille ja tässä kohden jotkut työmaat haluavat hieman säästää höyrynsulkumateriaalissa ja asentavat höyrynsulun vain saumojen kohdalle. Osa työmaista on kuitenkin sitä mieltä, että höyrynsulku kannattaa asentaa koko yläpohjan alueelle. Näin se toimii rakentamisen aikaisena vedeneristeenä siihen asti, kunnes varsinainen vedeneriste on asennettu. Jos jostain syystä, esimerkiksi räystäältä, pääsee pieni määrä kosteutta yläpohjarakenteeseen, niin koko laataston alueelle asennettu höyrynsulkukermi pidättää kosteutta sen aikaa, että kosteus ehtii yläpohjan tuuletuksen mukana rakenteesta poistumaan, eikä kosteusvauriota pääse syntymään.

Lämmöneristeenä yläpohjassa toimii kevytsora, jota tarvitaan keskimäärin noin 1060 mm paksu kerros, jotta rakenne saavuttaa tarvittavan U-arvon. Keskipaksuus määritellään 1/3 lapeleveyden etäisyydeltä räystäältä, kuten kuvassa 14 on esitetty. Kevytsoran kerrospaksuus voi paikoitellen, esim. kaivojen kohdalla, olla 20% keskipaksuutta pienempi (Leca kevytsorakatot suunnitteluohjeet 5-10 /1.9.2016, 7).



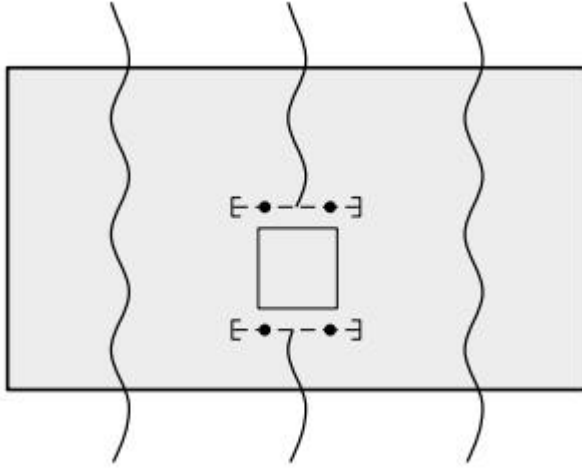
KUVA 14. Kevytsorakerroksen keskipaksuuden määrittäminen (Leca kevytsorakatot suunnitteluohjeet 5-10 /1.9.2016, 8)

Kevytsoratilan tuuletus hoidettiin vastakkaisten sivujen tuuletusraolisilla räystääillä, kahden muun sivun räystääiden ollessa suljettuina tuuletukselta. Kuvassa 15 on vesikaton rakenneleikkaus tuulettuvalta räystäältä.



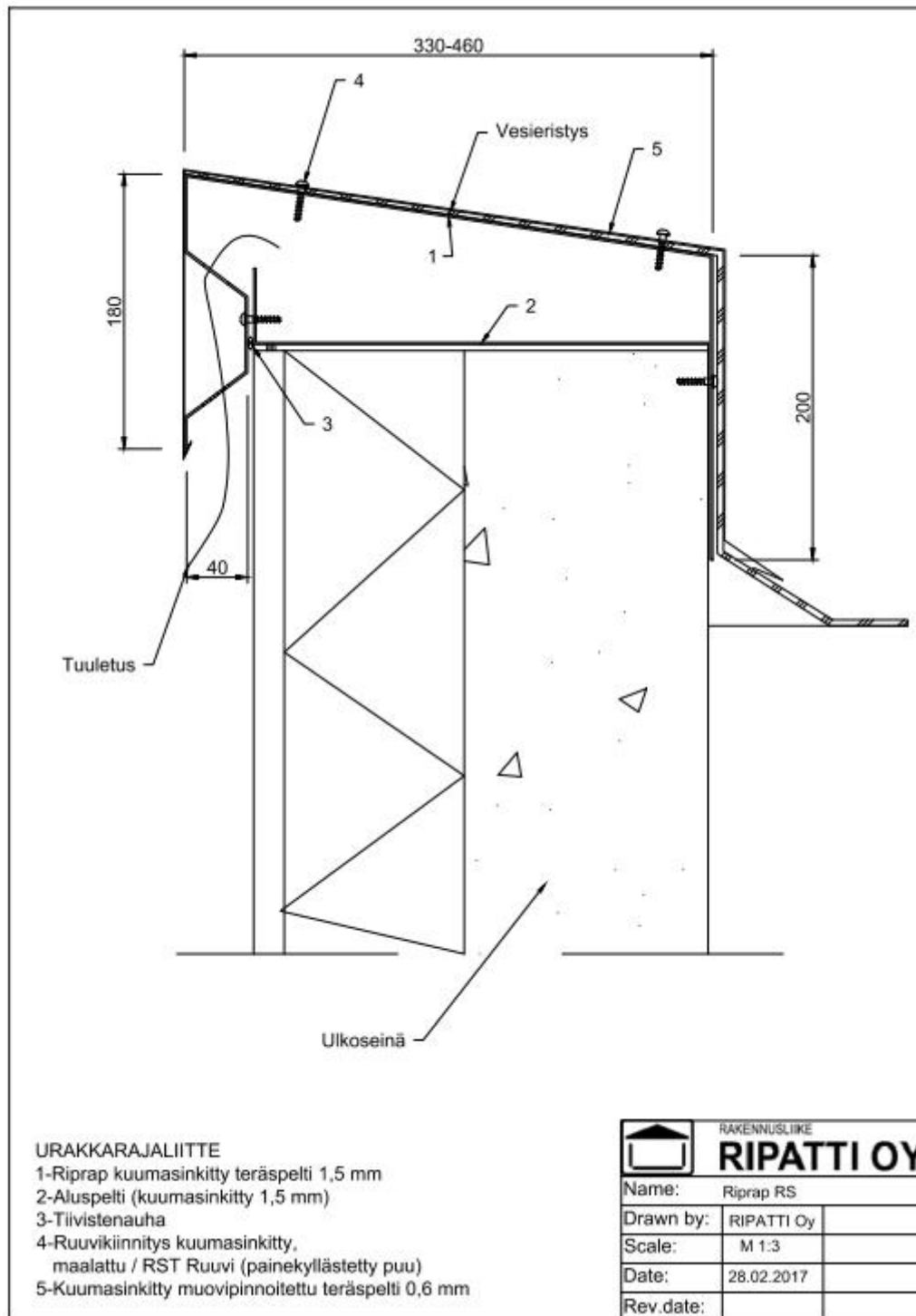
KUVA 15. Vesikaton rakenneleikkaus tuulettuvalta räystäältä

Katolla oleva IV-konehuone katkaisee tuuletuksen suoran yhteyden räystäältä räystäälle, joten IV- konehuoneen seinustoille täytyi laittaa alipainetuulettimia kuvan 16 periaatteella (Leca kevytsorakatot suunnitteluohjeet 5-10 /1.9.2016, 15).



KUVA 16. Periaate, kevytsorakerroksen tuuletus alipainetuulettimilla tuuletusessteen kohdalla (Leca kevytsorakatot suunnitteluohjeet 5-10 /1.9.2016, 15)

Räystäsrakenteena urakoitsija halusi käyttää Rakennusliike Ripatti Oy:n kehittämää, ohutmetallista tehtyä Riprap-räystäselementtiä (kuva 17), perinteisen kes-topuusta tehdyn räystäsrakenteen sijaan. Valmista räystäselementtiä käyttämällä saatiin vesikaton rakentamisaikaa hieman nopeutettua, eikä elementtiräystään asennus tahdistanut vesikaton muita töitä samalla tavalla kuin puinen räystä. Riprap -räystäselementeissä on räystäään muodon antava aluspellitys, jonka päälle katolta tuleva vedeneristyskermi asennetaan. Vedeneristeen päälle valmiiksi pinnaksi ja vedeneristeen suojaksi asennetaan pinta- ja juuri pellit. Tuuletuvissa räystäissä pellitykseen on tehty tuuletuksen vaatimat rei'itykset.



KUVA 17. Periaatekuva RipRap -räystäselementistä rapatulla julkisivulla (Rakennusliike Ripatti Oy)

Vesikatolle suunniteltiin kaivojen sijainnit siten, että katolle tuleva vesi päätyy kaivoon, eikä lammikoidu muualle. Kallistuksen tulee kaatoalueen jirissä olla vähintään 1:80. Tuota kaatoa ei kannata kuitenkaan suunnitella ihan minimin mukaan ”luilleen”, jotta työmaallakin jää riittävästi asennustoleranssia. Arkkitehti suunnittelee kaivojen sijainnit vesikatolle ja monesti ne ovatkin ihan järkevissä paikoissa.

Rakennesuunnittelijan tehtävä on kuitenkin tarkistaa kaivojen sijainnit ja tarvittaessa lisätä katolle kaivoja. Esimerkiksi tilanteessa, jossa näyttää siltä, että kaivoalueiden jireistä tulee niin pitkiä, että eristeenä olevan kevytsorakerroksen paksuus ei enää riitä täyttämään U-arvovaatimusta, kannattaa katolle lisätä kaivo. Kaivojen lisäksi sisäpuolisella vedenpoistolla varustetulla katolla tulisi olla vähintään yksi ulosheittäjä, joka kaivon tai kaivojen tukkeutuessa poistaa katolla tulivän veden hallitusti (Toimivat katot 2019, Kattoliitto ry., 36).

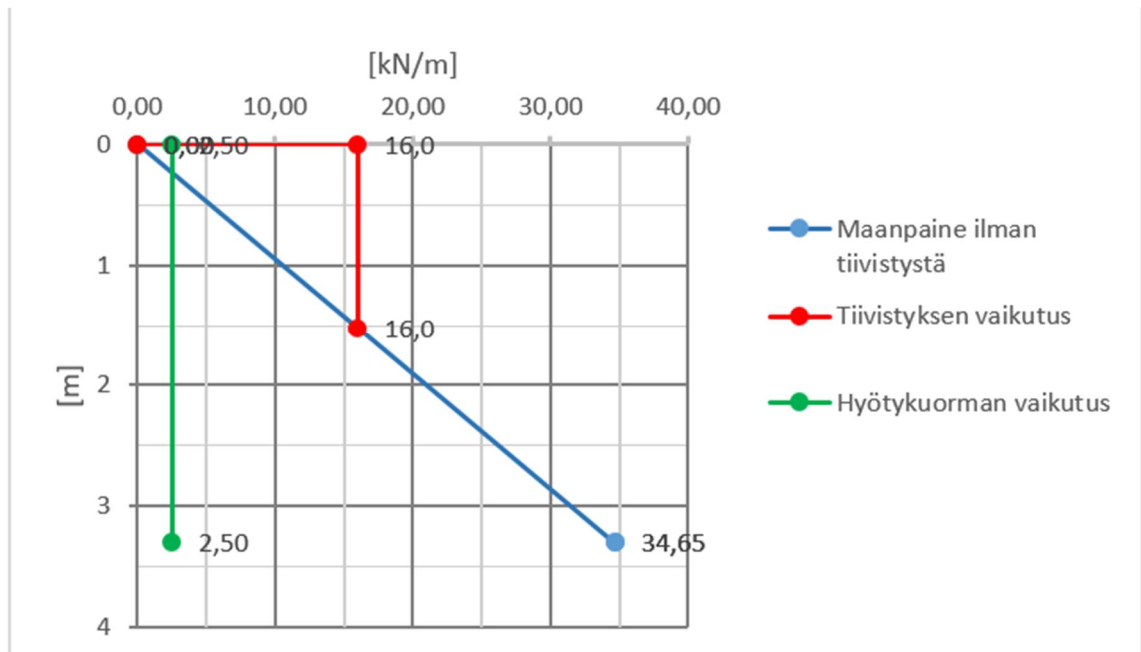
Yläpohjan rakennetyypin mukaan kevytsoran päälle valetaan ohut, 40 mm vahvuinen betonilaatta. Laatan sementtimäärän tulee olla alle 250 kg/m^3 , jolla pyritään pitämään laatan kutistuminen mahdollisimman vähäisenä. Laattaan ei siis tehdä erikseen kutistumissaumoja, vaan johtuen laatan alhaisesta lujuudesta, se halkeilee pieniin osalaattoihin. Tällöin lämpötilasta ja kosteudesta aiheutuvat liikkeet jakautuvat tasaisemmin koko katon alueelle, eikä laattaan synny vain tiettyihin kohtiin leveämpiä halkeamia, jotka saattaisivat repiä myös vedeneristettä. Laatta on irrotettava muista rakenteista, esimerkiksi räystäistä, n. 20 mm vahvalla irrotuskaistalla, joka voi olla esimerkiksi mineraalivillaa (Toimivat katot 2019, Kattoliitto ry., 26).

6 SEINÄT

6.1 Kellarin ulkoseinät

Kohteen maanalaisen kellarin seinät toteutettiin betonisandwich-elementeillä, joissa ulkokuoren pintakäsittelynä on luonnollisesti muottipinta. Maan alla olevien seinien kestävyttä mitoitettaessa oli huomioitava melkein koko kellarikerroksen korkuinen maanpaine, mikä aiheuttaa pystykuormien lisäksi seinälle merkittävän vaakakuorman (kuva 7). Kellarin kerroskorkeus on 3500mm, eli 500mm korkeampi kuin peruskerroksissa, mikä myös on epäedullinen tekijä seinän kestävyyskannalta. Maanpaineen vuoksi, kellarin maan alaisen osan elementtien sisäkuoret vahvennettiin 200mm paksuiksi.

Seinien mitoitus tehtiin Eurocode Service -ohjelmalla, josta on liitteenä esimerkkilaskelma (liite 3). Esimerkkinä olevan seinälinjan pystykuormat on laskettu Excel -pohjalla (liite 1). Liitteenä olevan laskelman mukainen mitoitustilanne on tilanteesta, kun rakennuksen runko on kokonaisuudessaan valmis ja holveilta muodostuu kellarin seinälle täydet kuormat, eli täysi pysyvä kuorma $g_k = 355\text{kN/m}$ ja hyötykuorma $q_k = 60\text{ kN/m}$. Pystykuormien lisäksi seinälle aiheutuu maanpaineesta kolmiomainen vaakakuorma, jonka alkupiste maanpinnalla on $0,0\text{ kN/m}^2$ ja maksimiarvo seinän alapäässä on 35 kN/m^2 . Maan tiivistyksestä aiheutuu seinään 1,5 metrin syvyyteen asti ulottuva, tiivistyislisän vaakakuorma $16,0\text{ kN/m}^2$. Maanpinnan hyötykuormana on käytetty $5,0\text{ kN/m}^2$, josta aiheutuu seinälle $2,5\text{ kN/m}^2$ vaakakuorma. Maanpaineesta aiheutuvat kuorma esitetty kuvassa 18, jossa seinä on koordinaatistossa vasemmalla y- akselina.

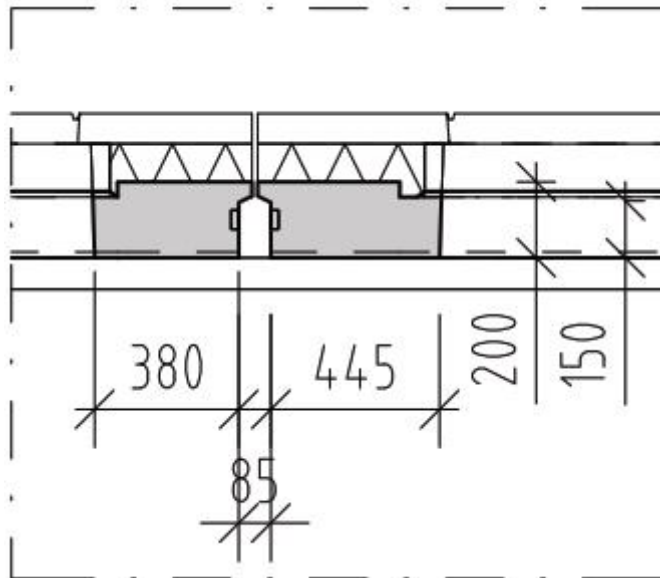


KUVA 18. Maanpaineesta aiheutuvat kuormat

Laskelmasta nähdään, että lopputilanteessa täysillä pysty- ja vaakakuormilla, seinässä riittäisi verkkoraudoitus T10 #150 molemmissa pinnoissa. Seinälle saattaa tulla kuitenkin rakentamisen ja käytön aikana erilaisia kuormitustilanteita, mikä tulee ottaa mitoituksessa huomioon. Seinän kestävyys ja raudoitus tarkistettiin esimerkiksi rakentamisen aikaisessa tilanteessa, jossa kellarin elementit on asennettu ja ulkopuolinen täyttö tehty, mutta kellarikerroksen päälle ei ole asennettu muita elementtejä. Tällöin pystykuormia ei siis juurikaan ole, eikä niistä näin ollen tule stabiloivaa vaikutusta vaakakuormia vastaan. Tällaisessa rakentamisen aikaisessa tilanteessa seinän käyttöaste meni murtorajatilassa hieman yli 100 %, joten elementin raudoitukseen lisättiin verkkojen lisäksi pystyteräksät T12 k300. Edellä kuvailtua mitoitusilannetta työmaalla tuskin olisi ikinä tullut, mutta kaikkien on syytä varautua. Muutaman teräskilon lisääminen on varmasti halvempi ratkaisu, kuin vioittuneen seinäelementin vaihtaminen tai korjaaminen.

Kellarin maanpäällisen osan sandwich -elementtien sisäkuoren vahvuus on 150 mm ja irtaimistovarastojen kohdalla paloluokasta REI120 johtuen 160mm. Näiden seinien mitoituksen perusteella raudoitukseksi laitettiin verkkoraudoite T10 #150 molempiin pintoihin.

Kellarikerroksessa sijaitsi myös liike -/monitoimitila, johon arkkitehti oli halunnut yläpuolisia kerroksia leveämmät ikkunat. Näiden ikkunoiden väliin jäi melko kapea, noin 900mm betonipieli, joka jakaantui vielä elementtisauman takia kahteen osaan (kuva 19).



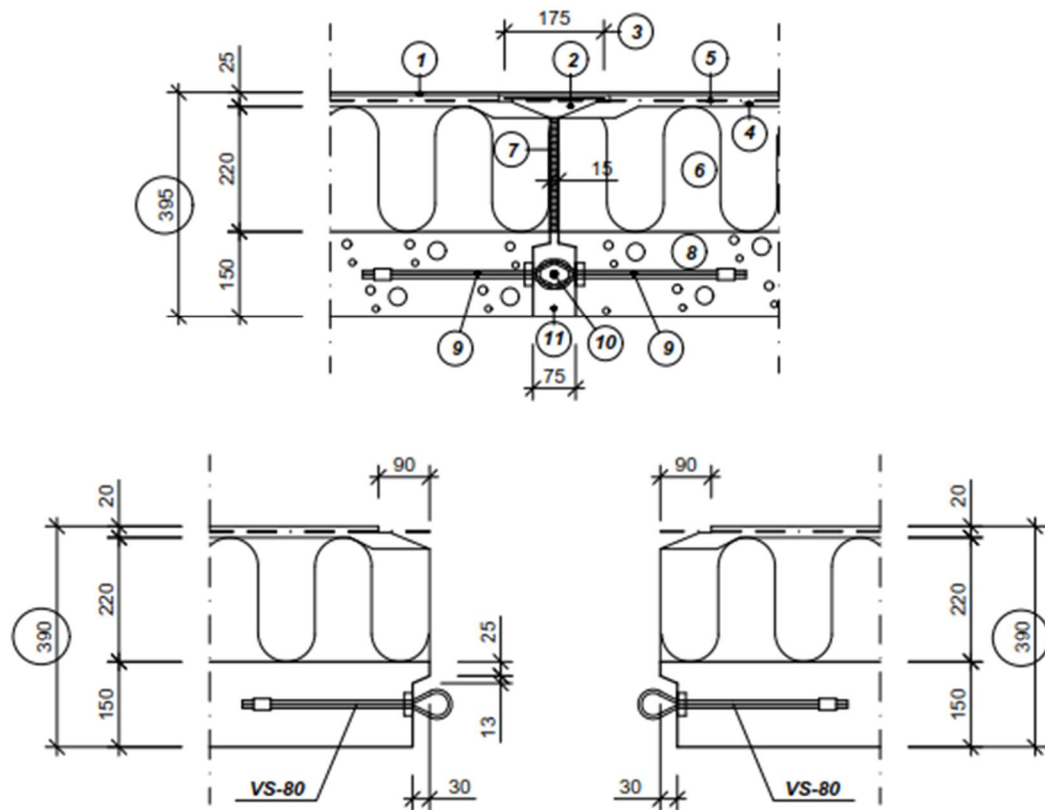
KUVA 19. Kellarikerroksen vahvennetut ikkunapielet

Tällaiset kapeat pielet, joiden suuremman poikkileikkausmitan suhde pienempään on suurempi tai yhtä suuri kuin 4, mitoitetaan seinän sijaan pilarin tavoin. 150 mm vahoina pilareina pielet eivät olisi kestäneet niille tulevaa pystykuormaa. Tässä tilanteessa ei lähdetty ehdottamaan arkkitehdille ikkunoiden siirtämistä, vaan elementteihin tehtiin pielten kohdalle 50 mm vahvennos, eli pielen kohdalla elementin vahvuus oli 200mm. Vahventamisella ja pilariraudoituksella pielle saatiin riittävä kapasiteetti. Vahvennos tehtiin lämmöneristeen puolelle, jolloin seinän sisäpintaan ei tullut näkyviä patteja. Lämmöneristeen vahvuus ei siis paikallisesti täytä rakenteelle määrättyä U-arvoa $0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$, mutta vahvennetun pielen kohta on kokonaisuudessaan nähden niin pieni, ettei tämä ole ongelma. Samainen vahvennos tehtiin myös kellarin seinän alla olevaan sokkelielementtiin.

6.2 Kerrosten ulkoseinät

Ylempien kerrosten ulkoseinäelementtien pintakäsittelynä on paksurappaus. Elementit toteutettiin Parman kehittämällä PARMArappaus -menetelmällä, jossa 150

mm vahvan sisäkuoren päälle tulee 220mm, jäykkä ja palamaton mineraalivilla. Villan päälle tehdään jo elementtitehtaalla kuumasinkityllä teräsverkolla lujitettu pohjarappaus. Työmaalla tehtäväksi jää ainoastaan elementtisaumojen täyttörappaukset ja lopullisen pinnan tuova pintarappaus. Näin ollen moni haastava työvaihe siirtyy työmaalta, tehdasolosuhteisiin ja elementtien lämmöneristeet ovat suojassa rakentamisen aikana (PARMArappaus Julkisivu, joka pitää pintansa n.d.). Parma on luonut PARMArappaus -järjestelmää varten myös kattavan detaljinipun rakenne- ja elementtisuunnittelijoiden avuksi. Kuvassa 20 on esimerkkidetali rappauselementtien pystysaumasta.



- 1) Värillinen silikonihartsipinnoite, ruiskutetaan työmaalla, 5 mm.
- 2) Elementtien väliset saumat täytetään kuituvahvistetulla kalkkisementtilaastilla
- 3) Kuumasinkitty rappausverkkokaista, Ø1 mm, #20 mm, leveys 175 mm.
- 4) Pohjarappaus kuituvahvistettu kalkkisementtilaasti, 20 mm, rapataan tehtaalla
- 5) Kuumasinkitty rappausverkko, Ø1 mm, #20 mm, limitys 3 silmäväliä
- 6) OL-E mineraalivillaeriste 220 mm + rst siteet 2-leikkeiset, min 3 kpl/m² (rakenteen u-arvo <0,17)
- 7) Saumavilla, asennus elementtiasennuksen yhteydessä
- 8) Teräsbetoninen kantava sisäkuori, rakennesuunnitelmien mukaan
- 9) Vaijerilenkki, elementistä ulostuleva osuus 80 mm, 3 kpl / elementin pää
- 10) Saumateräs rakennesuunnitelmien mukaan
- 11) Juotosbetoni rakennesuunnitelmien mukaan, pystysaumot pumppusaumas

KUVA 20. Esimerkki PARMArappausdetaljista (PARMARappaus, detaljit 220mm eristeelle 20.9.2018)

Detaljista näkee, kuinka elementtien saumassa rappausverkkoa jätetään pohjarappauksesta näkyviin. Tähän saumaan asennetaan työmaalla rappausverkkokaista ja sauma rapataan täyteen. Pintarappauksen vahvuus on noin 5 mm ja siihen on valittavana lukuisia eri väri- ja roiske- ja hierontopinta- vaihtoehtoja.

Elementtisuunnittelijan on oltava tarkkana, että hän valitsee oikeanlaisen liittymädetaljin kuhunkin rappauselementin saumaan, jolloin työmaalla sauma- ja pintarappauksen teko on sujuvaa. Vääränlaisella liittymädetaljivalinnalla aiheutuu paljon ylimääräistä työtä ja kustannuksia, jos pohjarappaus joudutaan työmaalla piikkaamaan auki rappausverkon esiin saamiseksi.

Parvekkeiden taustaseinät toteutettiin betonisandwich -elementteinä. Parvekkeen taustaseinän ulkopinnan pintakäsittelyn täytyy kestää hieman erilaista käytönaikaista kuormitusta ja kulutusta, joten tästä syystä ne monesti tehdään betonipintaisina, vaikka muut seinät olisivatkin rapattuja.

Kuten kellarin seinätkin, ylempien kerrosten tarvitsemat raudoitukset, mitoitettiin Eurocode Service -ohjelmalla. Ylöspäin mentäessä elementtien raudoitusta pystyttiin keventämään pystykuormienkin vähetessä. Raudoituksen määrällä on suuri vaikutus elementtien hintaan, joten jokainen tarpeeton teräskilo kannattaa elementeistä ottaa pois. Kolmannesta kerroksesta ylöspäin suurin osa seinistä tehtiin raudoittamattomina. Tämä tarkoittaa, että elementteihin ei tullut verkko-raudoitteita, vaan elementeissä on pelkät pieliteräkset. Kapeat pielet ja ikkunapalkit on kuitenkin raudoitettava asianmukaisesti.

Pystyrakenteiden lisäksi betonielementeistä täytyy tarkistaa aukkopalkkien kestävyys. Normaalissa asuinkerrostalossa, kuten tässäkin kohteessa, kerroskorkeus on 3 metriä ja hyvin usein ikkunan yläreunan korkeus valmiista lattiapinnasta on noin 2300 mm. Tällöin seinille, joihin 370 mm vahva ontelolaatta tulee tuelle jää aukkopalkille korkeudeksi vain noin 260 mm. Varsinkin pitkien jänneväliden ja leveimpien aukkojen kohdalla näin matalalla aukkopalkilla tulee jo luonnosvaiheessa olla hereillä ja tarvittaessa ohjeistaa arkkitehtia aukkojen suunnittelussa, jotta aukkopalkit saadaan elementtejä suunniteltaessa kestäväksi. Elementissä olevan ikkunapalkin voi mitoittaa päistään jäykästi kiinnitettynä palkkina, mikä hieman auttaa hillitsemään palkin taipumaa ja palkin kenttämomenttia verrattuna niveltuilla mitoitettuun palkkiin. ”Varmalla puolella” kuitenkin ollaan, jos palkin saa kestäväksi nivelisenä ja määritettyä raudoituksen sen mukaan. Tässä tulee kuitenkin muistaa, että elementin ikkunapalkki on ainakin jossain määrin jäykästi tuettu päistään, joten tukimomentin vuoksi palkin yläpintaankin on raudoitus laitettava.

Tämän kohteen aukkojen leveydet olivat kuitenkin maltillisia, leveimpien aukkojen ollessa kantavilla seinillä vain vajaa kaksi metriä, joten palkkien kestävyysien kanssa ei ollut ongelmia ja raudoitusmäärätkin pysyivät maltillisina.

6.3 Väliseinät

Kohteen kantavat väliseinät toteutettiin 200 mm vahvoilla betonielementeillä, mikä on asuinkerrostalossa yleisin kantavien väliseinien rakennetyyppi, sillä massiivinen betoniseinä täyttää parhaiten asuntojen väliset ääneneristävyysvaatimukset. Normaalisissa asuinkerrostalossa 200 mm vahvat väliseinät pystytään usein toteuttamaan raudoittamattomina betoniseinäinä, sillä niiden puristuskestävyys on niin suuri. Seinien kestävyys tulee tarkistaa, etenkin alemmissa kerroksissa, joissa pystykuormat ovat suurimmat ja seiiniin saattaa kohdistua vaakakuormia maanpaineesta tai rungon jäykistyksestä.

Kellarin väliseinien kestävyystarkastelussa käytettiin muiden seinien tavoin Eurocode Service -mitoitushjelmaa. Liitteessä 2 on kuormalaskentapohjan tuloste seinälinjalta, joka oli yksi kohteen kuormitetuimmista. Kuormalaskentapohjasta voidaan todeta, että kyseisen seinälinjan kellarin seinän pystykuormat ovat $g_k = 550 \text{ kN/m}$ ja $q_k = 115 \text{ kN/m}$ (liite 2). Kellarin korkeamman kerroskorkeuden vuoksi kellarin väliseinän korkeus on 3200 mm, millä on vaikutusta muun muassa seinän hoikkuuteen. "Paikallavaletun raudoittamattoman seinän hoikkuus saa olla enintään $\lambda = 86$. Eurokoodissa ei ole mainintaa paljonko hoikkuus raudoittamattomassa elementtiseinäessä saa olla." (Teräsbetonirakenteet luentomoniste syksy 2012, 206). Eurokoodi ei siis ota kantaa raudoittamattoman elementtiseinän hoikkuuden ylärajaan. Hoikkuuden ylärajana käytettiin kuitenkin samaa arvoa kuin raudoittamattomalla paikallavaluseinällä. Liitteenä olevasta Eurocode Service -mitoitushjelman laskentatulosteesta (liite 4) voidaan todeta, että kyseisen seinälinjan käyttöaste on raudoittamattomana lähes 100 %. Tästä syystä kohteen kellarin väliseinät tehtiin raudoitettuina betonielementteinä lisäämällä molempiin pintoihin verkot T8 #150, jolloin seinän käyttöaste putosi noin 50 %:iin. Paalutetun kohteen alimpien seinien ja sokkelien tulee muutenkin toimia paaluille kuormaa jakavana rakenteena, joten tästäkin syystä alimpien väliseinien raudoitus oli perusteltua.

7 YHTEENVETO

Kohteen rakennesuunnittelu sujui hyvin ja ilman suurempia ongelmia. Sain tarvittaessa apua ja tukea projektipäälliköltä ja muilta kollegoilta hankalammissa kohdissa. Monesti suunnitteluratkaisuja kannattaakin esitellä esimerkiksi suunnittelutiimin muille jäsenille, sillä heillä saattaa olla aiemmista kohteista kokemuksia, miten jonkin kohta kannattaa tai ei kannata toteuttaa. Lisäksi eri tuoteosavalmistajien esitteitä ja suunnitteluohjeita tutkiessa, huomasin niissä olevan paljon hyödyllistä tietoa ja yleensä tieto on näissä julkaisuissa helposti ymmärrettävässä muodossa.

Suunnittelutyön tuloksena syntyivät kohteen valmiit rakennesuunnitelmat, joilla kerrostalo rakennettiin. Suunnitteluvaiheen jälkeen sain olla projektissa mukana myös työmaavaiheen ajan ja sain vastata yhdessä projektipäällikön kanssa työmaanhoidosta. Myös kohteen työmaavaihe sujui ilman merkittäviä ongelmia, eli kaikin puolin kohteen suunnittelua voidaan pitää onnistuneena.

Kohteen suunnittelussa tuli esiin luonnosvaiheen tärkeys koko muun rakennesuunnitteluprosessin sujumisen kannalta. Hyvin tehty luonnosteluvaihe, jossa on aikaa tutkia ja tiedostaa rakenteellisesti hankalia kohtia rakennuksen rungossa, näyttää suuntaa koko loppuprojektin sujuvuudelle. Hyvällä luonnossuunnittelulla saadaan karsittua hankalia rakenneratkaisuita jo hankkeen alkuvaiheessa, jolloin niiden muuttaminen on vielä yksinkertaista. Yksinkertainen ja helposti suunniteltava rakenne on lähestulkoon aina myös melko yksinkertainen työmaalla toteuttaa.

Vaikka seinien, laattojen, palkkien ja muiden rakenteiden mitoituksessa käytetäänkin monesti apuna erilaisia suunnitteluohjelmia ja laskentapohjia, tulee rakennesuunnittelijan näitä apuna käyttäessään muistaa välillä tarkastaa ja miettiä ohjelmilla saatujen tulosten oikeellisuutta. Välillä onkin hyvä laskea ja tarkastaa ohjelmalla saadun tuloksen suuruusluokka ihan ”käsien” ruutupaperia ja laskinta käyttäen. Ohjelmien käytössä ei saa tulla sokeaksi ohjelman antamien tulosten oikeellisuudesta, vaan muistaa välillä miettiä mitoituskaavoja omassakin päässä.

Seiniä mitoittaessa kävi ilmi, ettei Eurokoodi ota kantaa raudoittamattoman elementtiseinän hoikkuuden ylärajaan. Paikallavaletun raudoittamattoman seinän hoikkuuden yläraja on kuitenkin määritetty. Miksi tuota raudoittamattoman elementtiseinän hoikkuuden yläraja-arvoa ei ole määritetty, ja mikä tuo arvo Eurokoodin mukaan on, olisi hyvä tutkia vielä tarkemmin.

Asuinkerrostalohankkeen läpivieminen, aina luonnosvaiheen suunnittelusta kohteen valmistumiseen ja asiakkaalle luovutukseen saakka, on melko pitkä ja välillä haastavakin prosessi, joka saattaa tavanomaisessakin kerrostalohankkeessa kestää parikin vuotta. Rakennesuunnittelijaa tarvitaan hankkeen lähes tulkoon jokaisessa eri vaiheessa, joten erilaista osaamista tarvitaan paljon. Rakennesuunnittelijan työtehtävä ei ole pelkästään erilaisten teknisten asioiden ja detaljien miettimistä ja piirtämistä, vaan paljon tarvitaan myös asiakaspalveluhenkeä ja vuorovaikutustaitoja hankkeen muiden osapuolten kanssa toimiessa. Sain tämän työn ja projektin pohjalta paljon hyvää rakennesuunnittelukokemusta ja kokemusta rakennesuunnitteluprojektin läpiviemisestä.

LÄHTEET

Betoniteollisuus ry. 2012. Ontelolaataston suunnitteluohje.

elementtisuunnittelu.fi, Julkisivuelementtien suunnittelu 24.3.2010, Aukotus. Luettu 14.5.2020. <https://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/julkisivut/julkisivujarjestelmat/julkisivuelementtien-suunnittelu>

Finfoam Oy. n.d. Tuulettuva alapohja, Rossipohjan kosteuskäyttämisen teoriaa. Luettu 6.5.2020. <https://www.finfoam.fi/kayttokohteet/alapohja/tuulettuva-alapohja>

Kattoliitto ry. 2019. Toimivat katot 2019.

Kerokoski O. & Lindberg R. 2012. Teräsbetonirakenteet. Luentomoniste 2012.

Parma Oy. 2018. Parman ontelolaatastot. Suunnitteluohje joulukuu 2018

Parma Oy. n.d. PARMARappaus. Julkisivu, joka pitää pintansa. Luettu 4.5.2020. <https://parma.fi/tuote/parmarappaus/>

Parma Oy. 2018. PARMARappaus. Detaljit 220mm eristeelle 20.9.2018

Rakennustieto Oy. 2019. RT 103123. Radonin torjunta

Rakennustieto Oy. 2010. RT 81-11000. Rakennuspohjan ja tonttialueen kuivaus

Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy. 2016. Leca kevytsorakatot. Suunnitteluohjeet.

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 2016. RIL 254-2016 Paalutusohje 2016. 1. painos. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry

LIITTEET

Liite 1. Seinäkuormien laskentapohja, ulkoseinä

Seinäkuormien laskenta

Projektin nimi:			Oletuskuormat (kN/m ²):		Kantava
Projektin nro:			Yläpohja	Väli­pohja	Alapohja
			g ₁ = 4,0	5,1	6,0
			g ₂ = 5,0	3,5	1,0
			g ₁₊₂ = 9,0	8,6	7,0
			q ₂ = 2,2	2,0	2,0
			lisäkuormat kN/m		
			n _{sisä} = 0,0	0,0	0,0
			n _{ulko} = 0,0	0,0	0,0

Seinän oletusarvot:			
	Väli­pohja	Alapohja	
Seinän korkeus	h = 3,0	1,0	
Sisäkuori	d ₁ = 0,15	0,2	
Ulkokuori	d ₂ = 0,02	0,07	
betonin paksuus	d ₁₊₂ = 0,17	0,27	

US 4 A-B [kN,m]

Kuormitusleveys kl=	3,50 m	Kerrosten lkm	8	8	Kuormitusleveys kl=	0,00 m
			n _{sisä} = 31,5	n _{ulko} = 36,2		
			n _{sisä} = 7,7	n _{ulko} = 11,6		
			g = 9	q = 2,2		
yläpohjan kl=	3,50		n _{sisä} = 0,0	n _{ulko} = 0,0		yläpohjan kl= 0,00
			Seinän kuormitus kN/m			
			n _{sisä} = 44,3	n _{ulko} = 50,9		
			n _{sisä} = 7,7	n _{ulko} = 11,6		
			n _{sisä} = 52,0	n _{ulko} = 62,4		
			n _{sisä} = 30,1	n _{ulko} = 34,6		
			n _{sisä} = 7,0	n _{ulko} = 10,5		
			g = 8,6	q = 2		
väli­pohjan kl=	3,50		n _{sisä} = 0,0	n _{ulko} = 0,0		väli­pohjan kl= 0,00
			Seinän kuormitus kN/m			
			n _{sisä} = 87,1	n _{ulko} = 100,2		
			n _{sisä} = 14,7	n _{ulko} = 22,1		
			n _{sisä} = 101,8	n _{ulko} = 122,2		
			n _{sisä} = 30,1	n _{ulko} = 34,6		
			n _{sisä} = 7,0	n _{ulko} = 10,5		
			g = 8,6	q = 2		
väli­pohjan kl=	3,50		n _{sisä} = 0,0	n _{ulko} = 0,0		väli­pohjan kl= 0,00
			Seinän kuormitus kN/m			
			n _{sisä} = 130,0	n _{ulko} = 149,4		
			n _{sisä} = 21,7	n _{ulko} = 32,6		
			n _{sisä} = 151,7	n _{ulko} = 182,0		
			n _{sisä} = 30,1	n _{ulko} = 34,6		
			n _{sisä} = 7,0	n _{ulko} = 10,5		
			g = 8,6	q = 2		
väli­pohjan kl=	3,50		n _{sisä} = 0,0	n _{ulko} = 0,0		väli­pohjan kl= 0,00
			Seinän kuormitus kN/m			
			n _{sisä} = 172,8	n _{ulko} = 198,7		
			n _{sisä} = 28,7	n _{ulko} = 43,1		
			n _{sisä} = 201,5	n _{ulko} = 241,8		
			n _{sisä} = 30,1	n _{ulko} = 34,6		
			n _{sisä} = 7,0	n _{ulko} = 10,5		
			g = 8,6	q = 2		
väli­pohjan kl=	3,50		n _{sisä} = 0,0	n _{ulko} = 0,0		väli­pohjan kl= 0,00
			Seinän kuormitus kN/m			
			n _{sisä} = 215,7	n _{ulko} = 248,0		
			n _{sisä} = 35,7	n _{ulko} = 53,6		
			n _{sisä} = 251,4	n _{ulko} = 301,5		
			n _{sisä} = 30,1	n _{ulko} = 34,6		
			n _{sisä} = 7,0	n _{ulko} = 10,5		
			g = 8,6	q = 2		
väli­pohjan kl=	3,50		n _{sisä} = 0,0	n _{ulko} = 0,0		väli­pohjan kl= 0,00
			Seinän kuormitus kN/m			
			n _{sisä} = 258,5	n _{ulko} = 297,3		
			n _{sisä} = 42,7	n _{ulko} = 64,1		
			n _{sisä} = 301,2	n _{ulko} = 361,3		
			n _{sisä} = 30,1	n _{ulko} = 34,6		
			n _{sisä} = 7,0	n _{ulko} = 10,5		
			g = 8,6	q = 2		
väli­pohjan kl=	3,50		n _{sisä} = 0,0	n _{ulko} = 0,0		väli­pohjan kl= 0,00
			Seinän kuormitus kN/m			
			n _{sisä} = 301,4	n _{ulko} = 346,6		
			n _{sisä} = 49,7	n _{ulko} = 74,6		
			n _{sisä} = 351,1	n _{ulko} = 421,1		
			n _{sisä} = 30,1	n _{ulko} = 34,6		
			n _{sisä} = 7,0	n _{ulko} = 10,5		
			g = 8,6	q = 2		
väli­pohjan kl=	3,50		n _{sisä} = 0,0	n _{ulko} = 0,0		väli­pohjan kl= 0,00
			Seinän kuormitus kN/m			
			n _{sisä} = 351,7	n _{ulko} = 404,5		
			n _{sisä} = 56,7	n _{ulko} = 85,1		
			n _{sisä} = 408,4	n _{ulko} = 489,5		
			n _{sisä} = 24,5	n _{ulko} = 28,2		
			n _{sisä} = 7,0	n _{ulko} = 10,5		
			g = 7	q = 2		
alapohjan kl=	3,50		n _{sisä} = 0,0	n _{ulko} = 0,0		alapohjan kl= 0,00
			Kuormitus kN/m anturan y-p:ssä			
			n _{sisä} = 383,0	n _{ulko} = 440,4		
			n _{sisä} = 63,7	n _{ulko} = 95,6		
			n _{sisä} = 446,7	n _{ulko} = 535,9		

Liite 2. Seinäkuormien laskentapohja, väliseinä

Projektin nimi:		Projektin nro:		Oletuskuormat (kN/m ²):				Kantava	
				Yläpohja	Välipohja	Alapohja			
				$g_1 = 4,0$	5,1	6,0			
				$g_2 = 5,0$	3,5	1,0	Osavarm.kert.		
				$g_{1-2} = 9,0$	8,6	7,0	1,15 pysyvä		
				$q_2 = 2,0$	2,0	2,0	1,5 muuttuva		
				lisäkuormat kN/m					
				$n_{pista} = 0,0$	0,0	0,0			
				$n_{kita} = 0,0$	0,0	0,0			
Seinän oletusarvot:		Välipohja	Alapohja						
Seinän korkeus	$h =$	3,0	1,0						
Sisäkuori	$d_1 =$	0,2	0,2						
Ulkokuori	$d_2 =$	0,0	0,0						
betonin paksuus	$d_{1-2} =$	0,2	0,2						
VS C 1-2				[kN.m]					
Kuormitusleveys $k_l =$		2,60 m		Kerrosten lkm		8		Kuormitusleveys $k_t =$ 3,60 m	
				$n_{pa} = 23,4$	$n_{pu} = 26,9$	$n_{pa} = 32,4$	$n_{pu} = 37,3$		
				$n_{ka} = 5,2$	$n_{ku} = 7,8$	$n_{ka} = 7,2$	$n_{ku} = 10,8$		
yläpohjan $k_l =$ 2,60				$g = 9$	$q = 2$	$g = 9$	$q = 2$	välipohjan $k_t =$ 3,60	
				$n_{pista} = 0,0$	$n_{pista} = 0,0$	Seinän kuormitus kN/m			
				Seinän paksuus 0,2		$n_{pista} = 15,0$			
				Seinän korkeus 3					
				$n_{pa} = 70,8$	$n_{pu} = 81,4$				
				$n_{ka} = 12,4$	$n_{ku} = 18,6$				
				$n_{pa} = 83,2$	$n_{pu} = 100,0$				
				$n_{pa} = 31,0$	$n_{pu} = 35,6$				
				$n_{ka} = 7,2$	$n_{ku} = 10,8$				
kerros 7								kerros 7	
välipohjan $k_t =$ 2,60				$g = 8,6$	$q = 2$	$g = 8,6$	$q = 2$	välipohjan $k_t =$ 3,60	
				$n_{pista} = 0,0$	$n_{pista} = 0,0$	Seinän kuormitus kN/m			
				Seinän paksuus 0,2		$n_{pista} = 15,0$			
				Seinän korkeus 3					
				$n_{pa} = 139,1$	$n_{pu} = 160,0$				
				$n_{ka} = 24,8$	$n_{ku} = 37,2$				
				$n_{pa} = 163,9$	$n_{pu} = 197,2$				
				$n_{pa} = 31,0$	$n_{pu} = 35,6$				
				$n_{ka} = 7,2$	$n_{ku} = 10,8$				
kerros 6								kerros 6	
välipohjan $k_t =$ 2,60				$g = 8,6$	$q = 2$	$g = 8,6$	$q = 2$	välipohjan $k_t =$ 3,60	
				$n_{pista} = 0,0$	$n_{pista} = 0,0$	Seinän kuormitus kN/m			
				Seinän paksuus 0,2		$n_{pista} = 15,0$			
				Seinän korkeus 3					
				$n_{pa} = 207,4$	$n_{pu} = 238,6$				
				$n_{ka} = 37,2$	$n_{ku} = 55,8$				
				$n_{pa} = 244,6$	$n_{pu} = 294,4$				
				$n_{pa} = 31,0$	$n_{pu} = 35,6$				
				$n_{ka} = 7,2$	$n_{ku} = 10,8$				
kerros 5								kerros 5	
välipohjan $k_t =$ 2,60				$g = 8,6$	$q = 2$	$g = 8,6$	$q = 2$	välipohjan $k_t =$ 3,60	
				$n_{pista} = 0,0$	$n_{pista} = 0,0$	Seinän kuormitus kN/m			
				Seinän paksuus 0,2		$n_{pista} = 15,0$			
				Seinän korkeus 3					
				$n_{pa} = 275,8$	$n_{pu} = 317,1$				
				$n_{ka} = 49,6$	$n_{ku} = 74,4$				
				$n_{pa} = 325,4$	$n_{pu} = 391,5$				
				$n_{pa} = 31,0$	$n_{pu} = 35,6$				
				$n_{ka} = 7,2$	$n_{ku} = 10,8$				
kerros 4								kerros 4	
välipohjan $k_t =$ 2,60				$g = 8,6$	$q = 2$	$g = 8,6$	$q = 2$	välipohjan $k_t =$ 3,60	
				$n_{pista} = 0,0$	$n_{pista} = 0,0$	Seinän kuormitus kN/m			
				Seinän paksuus 0,2		$n_{pista} = 15,0$			
				Seinän korkeus 3					
				$n_{pa} = 344,1$	$n_{pu} = 395,7$				
				$n_{ka} = 62,0$	$n_{ku} = 93,0$				
				$n_{pa} = 406,1$	$n_{pu} = 488,7$				
				$n_{pa} = 31,0$	$n_{pu} = 35,6$				
				$n_{ka} = 7,2$	$n_{ku} = 10,8$				
kerros 3								kerros 3	
välipohjan $k_t =$ 2,60				$g = 8,6$	$q = 2$	$g = 8,6$	$q = 2$	välipohjan $k_t =$ 3,60	
				$n_{pista} = 0,0$	$n_{pista} = 0,0$	Seinän kuormitus kN/m			
				Seinän paksuus 0,2		$n_{pista} = 15,0$			
				Seinän korkeus 3					
				$n_{pa} = 412,4$	$n_{pu} = 474,3$				
				$n_{ka} = 74,4$	$n_{ku} = 111,6$				
				$n_{pa} = 486,8$	$n_{pu} = 585,9$				
				$n_{pa} = 31,0$	$n_{pu} = 35,6$				
				$n_{ka} = 7,2$	$n_{ku} = 10,8$				
kerros 2								kerros 2	
välipohjan $k_t =$ 2,60				$g = 8,6$	$q = 2$	$g = 8,6$	$q = 2$	välipohjan $k_t =$ 3,60	
				$n_{pista} = 0,0$	$n_{pista} = 0,0$	Seinän kuormitus kN/m			
				Seinän paksuus 0,2		$n_{pista} = 15,0$			
				Seinän korkeus 3					
				$n_{pa} = 480,7$	$n_{pu} = 552,8$				
				$n_{ka} = 86,8$	$n_{ku} = 130,2$				
				$n_{pa} = 567,5$	$n_{pu} = 683,0$				
				$n_{pa} = 31,0$	$n_{pu} = 35,6$				
				$n_{ka} = 7,2$	$n_{ku} = 10,8$				
kerros 1								kerros 1	
välipohjan $k_t =$ 2,60				$g = 8,6$	$q = 2$	$g = 8,6$	$q = 2$	välipohjan $k_t =$ 3,60	
				$n_{pista} = 0,0$	$n_{pista} = 0,0$	Seinän kuormitus kN/m			
				Seinän paksuus 0,2		$n_{pista} = 15,0$			
				Seinän korkeus 3					
				$n_{pa} = 549,0$	$n_{pu} = 631,4$				
				$n_{ka} = 99,2$	$n_{ku} = 148,8$				
				$n_{pa} = 648,2$	$n_{pu} = 780,2$				
				$n_{pa} = 25,2$	$n_{pu} = 29,0$				
				$n_{ka} = 7,2$	$n_{ku} = 10,8$				
kerros KELLARI								kerros KELLARI	
alapohjan $k_t =$ 2,60				$g = 7$	$q = 2$	$g = 7$	$q = 2$	alapohjan $k_t =$ 3,60	
				$n_{pista} = 0,0$	$n_{pista} = 0,0$	Kuormitus kN/m anturan yp:ssä			
				Sokkelin paksuus 0,2		$n_{pista} = 5,0$			
				Sokkelin korkeus 1					
				$n_{pa} = 597,4$	$n_{pu} = 687,1$				
				$n_{ka} = 111,6$	$n_{ku} = 167,4$				
				$n_{pa} = 709,0$	$n_{pu} = 854,5$				

Liite 3. Laskentatuloste Eurocode Service -laskentaohjelmasta, kellarin maanpaineisinä

Eurocode Service Oy - Eurocode Tools

Page 1 of 5

Kohde: TeSaa	Projekti nro: 1	Sivu: 1/4
Katu:	Rakennetyyppi: Teräsbetoniseinä (raudoitettu)	Pvm: 14.5.2020
Postiosoite:	Nimi: mp_seina_kellari	Suunnittaja: TeSaa

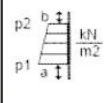
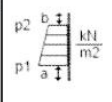
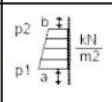
Rakenne ja materiaalit			
Seinän korkeus, H	3300 mm		
Seinän paksuus, T	200 mm		
Seinän leveys, B	6000 mm		
Suojabetonin paksuus, c	25 mm		
Terästen p.p. ulkopinnasta, d'	40 mm		
Poikkil. tehollinen korkeus, d	160 mm		
Nurjahduspituuskerroin, β	1,00		
(päätyjen tuenta + seinän leveys)			
Nurjahduspituus	3300 mm		
Hoikkuusluku λ	57,2		
Suunnitteluvuosi	100 v.		
Seuraamusluokka	CC2		
Toteutusluokka	2		
Toleranssiluokka	1		
Ympäristöluokka	XC1		
Ympäristön suhteellinen kosteus RH	50 %		
Rakenteen kuormitusikä	28 vrk		
Betonin lujuusluokka	C30/37	Betoniteräs	B500B
- Materiaaliosavarmuuskerroin γ_c	1,5	- Materiaaliosavarmuuskerroin γ_s	1,15
- Lieriölujuuden ominaisarvo f_{ck}	30,0 MPa	- Myötölujuuden ominaisarvo f_{yk}	500,0 MPa
- Keskimääräinen vetolujuus f_{ctm}	2,90 MPa	- Myötölujuuden mitoitusarvo f_{yd}	434,8 MPa
- Puristuslujuuden mitoitusarvo f_{cd}	17,0 MPa	- Kimmokertoimen mitoitusarvo E_s	200000 MPa
- Sekanttimoduli E_{cm}	32837 MPa		
- Sementin tyyppi	Tyyppi N		
Säilyvyys / suojapeite			
Ympäristöolosuhteiden vaatima min. betonipeite	10 mm		
Tartunnan vaatima min. betonipeite (pystyraudoitus)	10 mm		
Tartunnan vaatima min. betonipeite (vaakaraudoitus)	10 mm		
Suunniteltu betonipeite (pystyraudoitus)	35 mm		$\geq c_{min} (10 \text{ mm}) - \text{OK}$
Suunniteltu betonipeite (vaakaraudoitus)	25 mm		$\geq c_{min} (10 \text{ mm}) - \text{OK}$

A-Insinöörit Oy | Puutarhakatu 10 | 33210 Tampere | Y-tunnus: 1841818-1

Tulostettu 14.5.2020 19:45 käyttäen Eurocode Service Oy web-palvelua www.eurocode-tools.fi

Kohde:	Projekti nro:	Sivu:
TeSaa	1	2/4
Raku:	Rakennetyyppi:	Pvm:
	Teräsbetoniseinä (raudoitettu)	14.5.2020
Postiosoite:	Nimi:	Suunnittelija:
	mp_seina_kellari	TeSaa

Kuormitukset

	Nimi / Luokka	Yhdistely- kertoimet	N kN/m	e ₀₁ mm	e ₀₂ mm	Vaakakuormat
G0	Omapaino		7,0	0	0	
G1	Pysyvä kuorma		355,0	0	0	 <p>p1 = 16,0 a = 1800 p2 = 16,0 b = 0</p>
						 <p>p1 = 35,0 a = 0 p2 = 16,0 b = 1500</p>
Q1	Muuttuva kuorma 1 Hyötykuorma, Luokka A (asuintilat)	$\psi_0=0,7, \psi_2=0,3$	60,0	0	0	 <p>p1 = 2,5 a = 0 p2 = 2,5 b = 0</p>

Kuormitusyhdistelmät

No.	Yhdistelmä	N _{Ed} kN/m	e ₀ (max) mm	M _{0,Ed} (max) kNm/m
Murtorajatila, A	1,35*(G0+G1)	488,7	75	36,6
Murtorajatila, B	1,15*(G0+G1) + 1,5*Q1	506,3	72	36,3
Murtorajatila, C	0,9*(G0+G1) + 1,5*Q1	415,8	71	29,5
Käyttörajatila, Pitkäaikainen yhd.	G0+G1 + 0,3*Q1	380,0	74	28,2
Käyttörajatila, Ominais yhd.	G0+G1 + Q1	422,0	72	30,5

A-Insinöörit Oy | Puutarhakatu 10 | 33210 Tampere | Y-tunnus: 1841818-1

Tulostettu 14.5.2020 19:45 käyttäen Eurocode Service Oy web-palvelua www.eurocodetools.fi

Kohde:	Projekti no.:	Sivu:
TeSaa	1	3/4
Raku:	Rakennetyyppi:	Pvm:
	Teräsbetoniseinä (raudoitettu)	14.5.2020
Postiosoite:	Nimi:	Suunnittelija:
	mp_seina_kellari	TeSaa

Taivutus/puristuskestävyys - Murtorajatila

Valittu raudoitus

Pystyraudoitus	T10 K150 (molemmissa pinoissa)	
Vaakaraudoitus	T10 K150 (molemmissa pinoissa)	
Todellinen pystyraud.ala $A_{s,tod}$	1047 mm ²	$A_s(tod) \geq A_{s,vaad}$ (676 mm²) - OK
Minimi raud. pinta-ala $A_{s,min}$	400 mm ²	$A_{s,min} \leq A_{s,tod}$ (1047 mm²) - OK
Maksimi raud. pinta-ala $A_{s,max}$	12000 mm ²	$A_{s,max} \geq A_{s,tod}$ (1047 mm²) - OK
Todellinen vaakaraud.ala $A_{sh,tod}$	1047 mm ²	
Vaakaraudoitus, minimi-ala $A_{sh,min}$	262 mm ²	$A_{sh,tod} \geq A_{sh,min}$ - OK

Minimiepäkeskisyyys	20 mm
Virumaluku $\varphi(\infty, t_0)$	2,41
Poikkileikkauksen tehollinen korkeus	160 mm
Kaarevuus $1/r_0$	0,030

Tarkistetut kuormitusyhdistelmät ja tulokset

No.	N_{Ed}	e_1	e_0+e_1	β (5.37)	φ_{ef} (5.19)	K_{φ} (5.37)	K_r	$1/r$	e_2	M_2	h (mit)	$M_{0,tot,Ed}$ (mit)	M_2 (mit)	M_{Ed} (mit)	$A_{s,vaad}$	N_{Rd}	N_{Ed}/N_{Rd}
A	488,7	8	83	0,119	1,85	1,22	1,00	0,0369	40	19,6	1584	40,6	19,6	60,1	676,3	637,9	$0,77 \leq 1,0$ - OK
B	506,3	8	80	0,119	1,87	1,22	1,00	0,0369	40	20,4	1584	40,4	20,3	60,7	657,5	668,1	$0,76 \leq 1,0$ - OK
C	415,8	8	79	0,119	2,30	1,27	1,00	0,0385	42	17,4	1584	32,9	17,4	50,3	491,4	658,4	$0,63 \leq 1,0$ - OK

Normaalivoimat kN/m, Momentit kNm/m, epäkeskisyydet mm.
 $h(mit)$ = Mitoitettava/kriittinen kohta seinän alapäästä. (mit) = mitoitusuureet tässä kohdassa.

A-Insinöörit Oy | Puutarhakatu 10 | 33210 Tampere | Y-tunnus: 1841818-1

Tulostettu 14.5.2020 19:45 käyttäen Eurocode Service Oy web-palvelua www.eurocodetools.fi

Kohde:	Projekti nro:	Sivu:																																							
TeSaa	1	4/4																																							
Raku:	Rakennetyyppi:	Pvm:																																							
	Teräsbetoniseinä (raudoitettu)	14.5.2020																																							
Postiosoite:	Nimi:	Suunnittelija:																																							
	mp_seina_kellari	TeSaa																																							
<p>Seinän puristus/taivutuskestävyys Nrd-Mrd (Murtorajatila)</p> <p>-100-50050100-3000-2000-10000ABC</p> <p>Halkeamatarkastelu - Käyttörajatila</p> <table> <thead> <tr> <th></th> <th>Pitkäaikaisyhdistelmä</th> <th>Ominaisyhdistelmä</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Normaalivoima N (max)</td> <td>380 kN</td> <td>422 kN</td> </tr> <tr> <td>Epäkeskisyyden e_0 (max)</td> <td>74 mm</td> <td>72 mm</td> </tr> <tr> <td>Taivutusmomentti M (max)</td> <td>28 kNm</td> <td>31 kNm</td> </tr> <tr> <td>Virumaluku $\varphi(\infty, t_0)$</td> <td>2,41</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Suurin halkeamaväli (sr,max)</td> <td>186 mm</td> <td>196 mm</td> </tr> <tr> <td>Venymien erotus ($\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$)</td> <td>0,21 ‰</td> <td>0,10 ‰</td> </tr> <tr> <td>Halkeaman leveys (wk)</td> <td>0,04 mm</td> <td>0,02 mm</td> </tr> <tr> <td></td> <td>≤ 0,4 mm - OK</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>Jännitystarkastelu (SLS)</p> <table> <tbody> <tr> <td>Betonijännitys $\sigma_c(\max)$</td> <td>-6,9 MPa</td> <td>-8,7 MPa</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>≤ 0,6*f_{ck} (18,0 MPa) - OK</td> </tr> <tr> <td>Teräsjännitys $\sigma_s(\max)$</td> <td>71,4 MPa</td> <td>34,0 MPa</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>≤ 0,6*f_{yk} (300,0 MPa) - OK</td> </tr> </tbody> </table>				Pitkäaikaisyhdistelmä	Ominaisyhdistelmä	Normaalivoima N (max)	380 kN	422 kN	Epäkeskisyyden e_0 (max)	74 mm	72 mm	Taivutusmomentti M (max)	28 kNm	31 kNm	Virumaluku $\varphi(\infty, t_0)$	2,41	-	Suurin halkeamaväli (sr,max)	186 mm	196 mm	Venymien erotus ($\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$)	0,21 ‰	0,10 ‰	Halkeaman leveys (wk)	0,04 mm	0,02 mm		≤ 0,4 mm - OK		Betonijännitys $\sigma_c(\max)$	-6,9 MPa	-8,7 MPa			≤ 0,6*f_{ck} (18,0 MPa) - OK	Teräsjännitys $\sigma_s(\max)$	71,4 MPa	34,0 MPa			≤ 0,6*f_{yk} (300,0 MPa) - OK
	Pitkäaikaisyhdistelmä	Ominaisyhdistelmä																																							
Normaalivoima N (max)	380 kN	422 kN																																							
Epäkeskisyyden e_0 (max)	74 mm	72 mm																																							
Taivutusmomentti M (max)	28 kNm	31 kNm																																							
Virumaluku $\varphi(\infty, t_0)$	2,41	-																																							
Suurin halkeamaväli (sr,max)	186 mm	196 mm																																							
Venymien erotus ($\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$)	0,21 ‰	0,10 ‰																																							
Halkeaman leveys (wk)	0,04 mm	0,02 mm																																							
	≤ 0,4 mm - OK																																								
Betonijännitys $\sigma_c(\max)$	-6,9 MPa	-8,7 MPa																																							
		≤ 0,6*f_{ck} (18,0 MPa) - OK																																							
Teräsjännitys $\sigma_s(\max)$	71,4 MPa	34,0 MPa																																							
		≤ 0,6*f_{yk} (300,0 MPa) - OK																																							
A-Insinöörit Oy Puutarhakatu 10 33210 Tampere Y-tunnus: 1841818-1																																									

Tulostettu 14.5.2020 19:45 käyttäen Eurocode Service Oy web-palvelua www.eurocodetools.fi

Liite 4. Laskentatuloste Eurocode Service -laskentaohjelmasta, kellarin väli-seinä

Eurocode Service Oy - Eurocode Tools

Page 1 of 5

Kohde: TeSaa	Projekti nro: 1	Sivu: 1/4
Katu:	Rakennetyyppi: Teräsbetoniseinä (raudoitettu)	Pvm: 14.5.2020
Postiosoite:	Nimi: valiseinä	Suunnittelija: TeSaa

Rakenne ja materiaalit			
Seinän korkeus, H	3200 mm		
Seinän paksuus, T	200 mm		
Seinän leveys, B	6000 mm		
Suojabetonin paksuus, c	25 mm		
Terästen p.p. ulkopinnasta, d'	37 mm		
Poikkil. tehollinen korkeus, d	163 mm		
Nurjahduspituuskerroin, β	1,00		
(päätyjen tuenta + seinän leveys)			
Nurjahduspituus	3200 mm		
Hoikkuusluku λ	55,4		
Suunnitteluvuosi	100 v.		
Seuraamusluokka	CC2		
Toteutusluokka	2		
Toleranssiluokka	1		
Ympäristöluokka	XC1		
Ympäristön suhteellinen kosteus RH	50 %		
Rakenteen kuormitusikä	28 vrk		
Betonin lujuusluokka	C30/37	Betoniteräs	B500B
- Materiaaliosavarmuuskerroin γ_c	1,5	- Materiaaliosavarmuuskerroin γ_s	1,15
- Lieriölujuuden ominaisarvo f_{ck}	30,0 MPa	- Myötölujuuden ominaisarvo f_{yk}	500,0 MPa
- Keskimääräinen vetolujuus f_{ctm}	2,90 MPa	- Myötölujuuden mitoitusarvo f_{yd}	434,8 MPa
- Puristuslujuuden mitoitusarvo f_{cd}	17,0 MPa	- Kimmokertoimen mitoitusarvo E_s	200000 MPa
- Sekanttimoduli E_{cm}	32837 MPa		
- Sementin tyyppi	Tyyppi N		
Säilyvyys / suojapeite			
Ympäristöolosuhteiden vaatima min. betonipeite	10 mm		
Tartunnan vaatima min. betonipeite (pystyraudoitus)	8 mm		
Tartunnan vaatima min. betonipeite (vaakaraudoitus)	8 mm		
Suunniteltu betonipeite (pystyraudoitus)	33 mm		$\geq c_{min} (10 \text{ mm}) - \text{OK}$
Suunniteltu betonipeite (vaakaraudoitus)	25 mm		$\geq c_{min} (10 \text{ mm}) - \text{OK}$

A-Insinöörit Oy | Puutarhakatu 10 | 33210 Tampere | Y-tunnus: 1841818-1

Tulostettu 14.5.2020 19:50 käyttäen Eurocode Service Oy web-palvelua www.eurocode-tools.fi

Kohde:	Projekti no.:	Sivu:
TeSaa	1	2/4
Raku:	Rakennetyyppi:	Pvm:
	Teräsbetoniseinä (raudoitettu)	14.5.2020
Postiosoite:	Nimi:	Suunnittelija:
	valiseina	TeSaa

Kuormitukset

	Nimi / Luokka	Yhdistely- kertoimet	N kN/m	e ₀₁ mm	e ₀₂ mm	Vaakakuormat
G0	Omapaino		7,0	0	0	
G1	Pysyvä kuorma		550,0	0	0	
Q1	Muuttuva kuorma 1 Hyötykuorma, Luokka A (asuintilat)	$\psi_0=0,7, \psi_2=0,3$	115,0	0	0	

Kuormitusyhdistelmät

No.	Yhdistelmä	N _{Ed} kN/m	e ₀ (max) mm	M _{0,Ed} (max) kNm/m
Murtorajatila, A	1,35*(G0+G1)	752,0	0	0,0
Murtorajatila, B	1,15*(G0+G1) + 1,5*Q1	813,1	0	0,0
Murtorajatila, C	0,9*(G0+G1) + 1,5*Q1	673,8	0	0,0
Käyttörajatila, Pitkäaikainen yhd.	G0+G1 + 0,3*Q1	591,5	0	0,0
Käyttörajatila, Ominais yhd.	G0+G1 + Q1	672,0	0	0,0

A-Insinöörit Oy | Puutarhakatu 10 | 33210 Tampere | Y-tunnus: 1841818-1

Tulostettu 14.5.2020 19:50 käyttäen Eurocode Service Oy web-palvelua www.eurocodetools.fi

Kohde:	Projekti no.:	Sivu:
TeSaa	1	3/4
Raku:	Rakennetyyppi:	Pvm:
	Teräsbetoniseinä (raudoitettu)	14.5.2020
Postiosoite:	Nimi:	Suunnittelija:
	valiseinä	TeSaa

Taivutus/puristuskestävyys - Murtorajatila

Valittu raudoitus

Pystyraudoitus	T8 K150 (molemmissa pinnoissa)	
Vaakaraudoitus	T8 K150 (molemmissa pinnoissa)	
Todellinen pystyraud.ala $A_{s,tod}$	670 mm ²	As(tod) ≥ As,vaad (0,00 mm²) - OK
Minimi raud. pinta-ala $A_{s,min}$	400 mm ²	As,min ≤ As,tod. (670 mm²) - OK
Maksimi raud. pinta-ala $A_{s,max}$	12000 mm ²	As,max ≥ As,tod. (670 mm²) - OK
Todellinen vaakaraud.ala $A_{sh,tod}$	670 mm ²	
Vaakaraudoitus, minimi-ala $A_{sh,min}$	200 mm ²	Ash,tod. ≥ Ash,min - OK

Minimiepäkeskisyyys	20 mm
Virumaluku $\varphi(\infty, t_0)$	2,41
Poikkileikkauksen tehollinen korkeus	163 mm
Kaarevuus $1/r_0$	0,030

Tarkistetut kuormitusyhdistelmät ja tulokset

No.	N_{Ed}	e_1	e_0+e_1	β (5.37)	φ_{ef} (5.19)	$K\varphi$ (5.37)	K_r	$1/r$	e_2	M_2	h (mit)	$M_{0,tot,Ed}$ (mit)	M_2 (mit)	M_{Ed} (mit)	$A_{s,vaad}$	N_{Rd}	N_{Ed}/N_{Rd}
A	752,0	8	8	0,130	2,41	1,31	1,00	0,0390	40	30,0	1600	15,0	30,0	45,0	0,0	1633,1	$0,46 \leq 1,0$ - OK
B	813,1	8	8	0,130	2,41	1,31	1,00	0,0390	40	32,4	1600	16,3	32,4	48,7	0,0	1633,1	$0,50 \leq 1,0$ - OK
C	673,8	8	8	0,130	2,41	1,31	1,00	0,0390	40	26,9	1600	13,5	26,9	40,4	0,0	1633,1	$0,41 \leq 1,0$ - OK

Normaaliavoimat kN/m, Momentit kNm/m, epäkeskisyydet mm.
 $h(\text{mit})$ = Mitoittava/kriittinen kohta seinän alapäästä. (mit) = mitoitusuureet tässä kohdassa.

A-Insinöörit Oy | Puutarhakatu 10 | 33210 Tampere | Y-tunnus: 1841818-1

Tulostettu 14.5.2020 19:50 käyttäen Eurocode Service Oy web-palvelua www.eurocodetools.fi

Kohde:	Projekti nro:	Sivu:																																	
TeSaa	1	4/4																																	
Katu:	Rakennetyyppi:	Pvm:																																	
	Teräsbetoniseinä (raudoitettu)	14.5.2020																																	
Postiosite:	Nimi:	Stuurinlehti:																																	
	valiseinä	TeSaa																																	
<p>Seinän puristus/taivutuskestävyys Nrd-Mrd (Murtorajatila)</p> <p>-50050-3000-2000-10000ABC</p> <p>Halkeamatarkastelu - Käyttörajatila</p> <table> <thead> <tr> <th></th> <th>Pitkäaikaisyhdistelmä</th> <th>Ominaisyhdistelmä</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Normaalivoima N (max)</td> <td>592 kN</td> <td>672 kN</td> </tr> <tr> <td>Epäkeskisyyden e_0 (max)</td> <td>0 mm</td> <td>0 mm</td> </tr> <tr> <td>Taivutusmomentti M (max)</td> <td>0 kNm</td> <td>0 kNm</td> </tr> <tr> <td>Virumaluku $\varphi(\infty, t_0)$</td> <td>2,41</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Suurin halkeamaväli (sr,max)</td> <td>0 mm</td> <td>0 mm</td> </tr> <tr> <td>Venymien erotus ($\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$)</td> <td>0,00 ‰</td> <td>0,00 ‰</td> </tr> <tr> <td>Halkeaman leveys (wk)</td> <td>0,00 mm</td> <td>0,00 mm</td> </tr> <tr> <td></td> <td>$\leq 0,4$ mm - OK</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>Jännitystarkastelu (SLS)</p> <table> <tbody> <tr> <td>Betonijännitys $\sigma_c(\max)$</td> <td>-2,8 MPa</td> <td>-3,3 MPa $\leq 0,6 \cdot f_{ck}$ (18,0 MPa) - OK</td> </tr> <tr> <td>Teräsjännitys $\sigma_s(\max)$</td> <td>-57,5 MPa</td> <td>-20,1 MPa $\leq 0,6 \cdot f_{yk}$ (300,0 MPa) - OK</td> </tr> </tbody> </table>				Pitkäaikaisyhdistelmä	Ominaisyhdistelmä	Normaalivoima N (max)	592 kN	672 kN	Epäkeskisyyden e_0 (max)	0 mm	0 mm	Taivutusmomentti M (max)	0 kNm	0 kNm	Virumaluku $\varphi(\infty, t_0)$	2,41	-	Suurin halkeamaväli (sr,max)	0 mm	0 mm	Venymien erotus ($\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$)	0,00 ‰	0,00 ‰	Halkeaman leveys (wk)	0,00 mm	0,00 mm		$\leq 0,4$ mm - OK		Betonijännitys $\sigma_c(\max)$	-2,8 MPa	-3,3 MPa $\leq 0,6 \cdot f_{ck}$ (18,0 MPa) - OK	Teräsjännitys $\sigma_s(\max)$	-57,5 MPa	-20,1 MPa $\leq 0,6 \cdot f_{yk}$ (300,0 MPa) - OK
	Pitkäaikaisyhdistelmä	Ominaisyhdistelmä																																	
Normaalivoima N (max)	592 kN	672 kN																																	
Epäkeskisyyden e_0 (max)	0 mm	0 mm																																	
Taivutusmomentti M (max)	0 kNm	0 kNm																																	
Virumaluku $\varphi(\infty, t_0)$	2,41	-																																	
Suurin halkeamaväli (sr,max)	0 mm	0 mm																																	
Venymien erotus ($\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$)	0,00 ‰	0,00 ‰																																	
Halkeaman leveys (wk)	0,00 mm	0,00 mm																																	
	$\leq 0,4$ mm - OK																																		
Betonijännitys $\sigma_c(\max)$	-2,8 MPa	-3,3 MPa $\leq 0,6 \cdot f_{ck}$ (18,0 MPa) - OK																																	
Teräsjännitys $\sigma_s(\max)$	-57,5 MPa	-20,1 MPa $\leq 0,6 \cdot f_{yk}$ (300,0 MPa) - OK																																	
A-Insinöörit Oy Puutarhakatu 10 33210 Tampere Y-tunnus: 1841818-1																																			

Tulostettu 14.5.2020 19:50 käyttäen Eurocode Service Oy web-palvelua www.eurocodetools.fi

Liite 5. Yleisleikkaus

Ei mittakaavassa

