



Rafael Raadla

Kevennetyn betonilaatan vertailu perinteiseen paikallavalulaattaan

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennetekniikka

Insinöörityö

31.10.2024

Tiivistelmä

Tekijä:	Rafael Raadla
Otsikko:	Kevennetyn betonilaatan vertailu perinteiseen paikallavalulaattaan
Sivumäärä:	41 sivua + 4 liitettä
Aika:	31.10.2024
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Rakennustekniikan insinööri
Ammatillinen pääaine:	Rakennetekniikka
Ohjaajat:	Toimitusjohtaja, Ronald Sulin Lehtori, Jenni Pellinen

Tämä opinnäytetyö tehtiin Insinööritoimisto Sulin Oy:lle. Sulin on erikoistunut rakennusmateriaalien maahantuontiin, sekä suunnittelun auttamiseen.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli luoda vertailu perinteisen paikallavalulaatan ja Unidome-elementtien avulla kevennetyn paikallavalulaatan eroista. Tavoitteena oli saada tuloksia, miten paljon Unidome-elementtien avulla voidaan säästää betonia ja raudotteita ja minkälaisissa rakenteissa sen hyödyt tulevat parhaiten esiin. Työssä käsiteltiin aihetta teoreettisten tulosten avulla, Pasilan tornitalon ja kuvitteellisen kohteen avulla. Ympäristö ja vihreä rakentaminen ovat myös iso osa tätä opinnäytetyötä. Siksi tässä työssä tuotiin myös keventeen tuomat ympäristöhyödyt esiin.

Vertailussa otettiin huomioon rakennepiirustuksia sekä tietomalleja kohteesta. Myös tuotteen kehittäjän tekemät tutkimukset auttoivat selvittämään säästöjä. Vertailu vaati paljon erilaisia laskelmia betonin määrästä, jotta saataisiin laskettua mahdollinen säästö.

Pilarilaattarungossa ja korkeissa rakennuksissa Unidome-elementtien hyödyt tulevat parhaiten esille. Niissä elementtejä saadaan sijoiteltua parhaiten, koska sijoittelussa tulee ottaa huomioon kantavat rakenteet. Liian lähelle kantavia rakenteita sijoitetut elementit vaikuttavat merkittävästi rakenteen kantavuuteen. Korkeissa pilarilaattarunkorakenteissa, kuten Pasilan tornitalossa betonin väheneminen laatassa tuo merkittäviä säästöjä betonissa ja raudotteissa. Unidome-elementti ei ole vaikuttanut rakenteen stabiilisuuteen, eikä se vaikuta rakenteen elinkaareen.

Avainsanat: Unidome, paikallavalulaatta, ympäristöpäästöt, vihreä rakentaminen

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

Abstract

Author: Rafael Raadla
Title: Comparison of lightweight concrete slab to traditional cast-in-place slab
Number of Pages: 41 pages + 4 appendices
Date: 31 October 2024

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Civil Engineering
Professional Major: Structural Engineering
Supervisors: Ronald Sulin, CEO
Jenni Pellinen, Lecturer

This graduate study was conducted for Insinööritoimisto Sulin Oy, a company specializing in the import of construction materials and helping designers.

The purpose of the thesis was to create a comparison between a traditional cast-in-place slab and a slab lightened using Unidome elements. The goal was to determine how much concrete, and reinforcement can be saved by Unidome elements and to identify the types of structures where these benefits are most evident. The study addresses the subject through theoretical results, using the Pasila tower and a hypothetical project as case studies. Environmental impact and green building are also key aspects of this thesis, so the environmental benefits of the lightweight elements are highlighted.

The comparison considered structural drawings and building information models from the case study. The investigation conducted by the product developer also assisted in identifying potential savings. The comparison required numerous calculations to estimate the amount of concrete saved.

The benefits of Unidome elements are most apparent in pillar-slab frames and high-rise buildings, where the elements can be positioned most effectively, considering the load-bearing structures. Placing elements too close to load-bearing components significantly affects the structure's load-bearing capacity. In high-rise pillar-slab frames, such as the Pasila tower, the reduction of concrete in the slab results in significant savings in both concrete and reinforcement. The Unidome elements did not compromise the stability of the structure nor its lifecycle.

Keywords: Unidome, cast-in-place slab, environmental emissions, green building

Sisällys

Lyhenteet ja termit

1	Johdanto	1
1.1	Tutkimuksen taustaa	1
1.2	Tutkimuksen tavoitteet ja rajaukset	1
1.3	Menetelmät	2
2	Vihreä rakentaminen	2
2.1	Vihreä siirtymä	2
2.2	Teräsbetoninrakentamisen vaikutus ympäristöön	3
2.2.1	Betonin valmistuksen vaikutus ympäristöön	3
2.2.2	Teräksen valmistuksen vaikutus ympäristöön	4
3	Kevennetty paikallavalulaatta	5
3.1	Unidome-laatan suunnittelu	6
3.2	Unidome-elementtien asentaminen	7
3.3	Teoreettisia tuloksia	8
4	Perinteinen paikallavalulaatta	17
4.1	Miksi valita paikallavalulaatta	17
4.2	Päämittojen valinta	18
4.3	Suunnittelu	21
5	Paikallavalulaattojen vertailu	22
5.1	Raudoitusten vertailu	24
5.2	Betonin määrän vertailu	31
6	Keventeen vaikutukset rakenteeseen	32
6.1	Pasilan Keskitornin perustietoja	32
6.2	Pasilan tornitalon suunnittelu	33
6.3	Kerroksien betonimäärät	34
6.4	Vaikutukset ympäristöön	39
7	Yhteenveto	40

Liitteet

Liite 1: Paikallavalulaattojen taivutusraudoitukset

Liite 2: Betonipilarien raudoitusten mitoitukset

Liite 3: Pasilan tornitalon rakennesuunnittelijan haastattelu

Liite 4: Pasilan tornitalon Unidome-elementtien pinta-alat laskettuna IFC-mallin mukaan

Lyhenteet ja termit

- GWP: GWP tulee englannin kielestä Global warming potential eli lämmityspotentiaali. Lämmityspotentiaali ilmaisee tuotteen kasvihuonepäästöjen aiheuttaman lämmitys-vaikutuksen.
- Unidome-elementti: Kierrätetystä muovista valmistettu elementti, joka asennetaan betonilaatan ylä- ja alapinnan raudoitteiden väliin syrjäyttämään betonia ja keventämään rakennetta.

1 Johdanto

Betoni on yleinen raaka-aine rakentamisessa. Sen avulla saadaan luotua helposti suuriakin rakennuksia ja sillä on hyvät lujuusominaisuudet esimerkiksi puuhun verrattuna. Betoni on myös suhteellisen halpa materiaali isoissa rakennuksissa, missä kerroksia ja kuormia on paljon. Betoni kuitenkin kuormittaa ympäristöä, etenkin sementin valmistus. Tässä opinnäytetyössä käsitellään yhtä tapaa säästää ympäristöä.

1.1 Tutkimuksen taustaa

Rakennusala tuottaa Suomessa suuren osan päästöistä ja tätä pitäisi saada laskettua meidän maapallomme takia. Suomi haluaa vähentää päästöjään 60 % vuoteen 2030 mennessä ja vuoteen 2050 mennessä 95 %, kun verrataan vuoteen 1990. (Valtionneuvosto.)

Päästötavoitteiden vuoksi uudenlaiset ideat rakentamisessa ovat tarpeen. Rakentaminen ja etenkin betonissa oleva sementti ja kuljettaminen tuottavat suuret määrät hiilidioksidia ja tätä pitäisi pystyä vähentämään, jos halutaan päästä asetettuihin tavoitteisiin.

Insinööritoimisto Sulin Oy tuo markkinoille uusia rakennustuotteita ja markkinoi niitä ja auttaa suunnittelijoita. Heillä on tuote nimeltään Unidome XS, mikä on kierrätetystä muovista valmistettu elementti, mikä laitetaan leikkaus- ja veto-raudoitusten väliin korvaamaan betonia.

1.2 Tutkimuksen tavoitteet ja rajaukset

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää, paljonko pystytään säästämään betonia Pasilan tornitalossa ja tätä kautta laskemaan ympäristöpäästöjen vähentyminen, kun käytetään Unidome-elementtiä välipohjissa. Työssä ei kuitenkaan lasketa Pasilan tornitalon raudotteita, vaan sitä varten olen luonut pienen

toimistotalon. Työssä ei käsitellä jälkijännitetyjä laattoja eikä syvennyttä muihin runkojärjestelmiin.

1.3 Menetelmät

Työn tutkimusmenetelminä käytetään kirjallisuutta, suomalaisia ja ulkomaalaisia kirjallisuuden lähteitä, sekä Pasilan tornitalon projektipankkia. Haastatteluja tullaan myös järjestämään niin etänä, kuin lähihaastatteluina. Etähaastatteluihin kuuluu sähköpostin, puhelimen ja videokameran kautta tehdyt haastattelut. Tuotevalmistaja tulee tarjoamaan minulle paljon tietoa tuotteesta ja sen hyödyistä heidän nettisivujen ja tutkimusten kautta.

2 Vihreä rakentaminen

Vihreä rakentaminen on suuri trendi tällä hetkellä etenkin Suomessa ja muissa Euroopan maissa, koska halutaan hidastaa ilmaston lämpenemistä ja ilmastonmuutosta. Vihreä rakentaminen on laaja käsite, mikä kattaa allensa rakentamisen ja asumisen uusiutuvalla ja vähäpäästöisellä energialla ja itse materiaalit ovat energiatehokkaita ja vähähiilisiä, ja ne ovat tai niitä voidaan kierrättää. (YIT Suomi Oy, 2021.)

Vihreässä rakentamisessa tulee ottaa huomioon materiaalien elinkaari, ekologisuus, sekä kestävyys. Vaikka tuote ei tuottaisi suurta määrää hiilidioksidipäästöjä sen tuottamisen aikana, niin sen vaihtaminen voi tuottaa, etenkin jos se on jonkin rakenteen sisällä. (Rakennusteollisuus RT ry, C.)

2.1 Vihreä siirtymä

Rakennetulla ympäristöllä ja rakentamisella on suuri vastuu, kun siirrytään ympäristön kannalta kestävämpään talouteen, missä ei käytetä liikaa luonnonvaroja. Näin ollen rakennusala on sitoutunut Suomen ilmastotavoitteisiin. (Rakennusteollisuus rt ry, A.)

Itse rakentaminen tuottaa Suomessa 6 prosenttiyksikköä koko Suomen kasvihuonepäästöistä. Tämän vähentämiseksi tarvitaan uusia tapoja vähentää päästöjä ja uusiokäyttää rakennusmateriaaleja. (Rakennusteollisuus ry, B.)

2.2 Teräsbetoninrakentamisen vaikutus ympäristöön

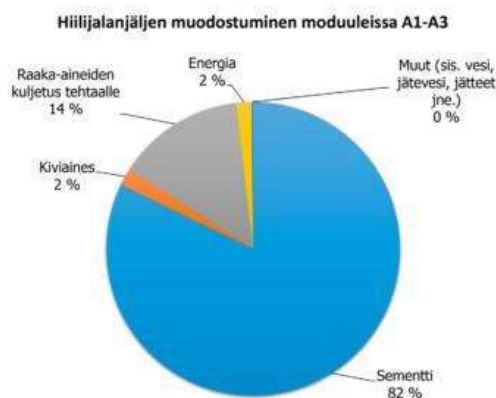
Betonia käytetään ympäri maailmaa rakennusmateriaalina sen helppouden ja ominaisuuksien vuoksi. Betonin käyttö vähentää rakentamisen jälkeen tulevia hiilidioksidipäästöjä sillä se sitoo hiilidioksidia sen käytön aikana. (Betoniteollisuus ry, A.) Betonin suurimmat ympäristöpäästöt syntyvätkin sen valmistuksesta ja etenkin sementin valmistus. Toinen suuri ympäristöpäästöjen aiheuttaja betonirakentamisessa on teräs.

2.2.1 Betonin valmistuksen vaikutus ympäristöön

Betonissa suurin kasvihuonepäästö on sementti ja sen valmistaminen. Suomessa sementin tuottaminen tuottaa melkein miljoona tonnia hiilidioksidipäästöjä. Suomen vuotuiset hiilidioksidipäästöt ovat noin 50 miljoonan tonnin luokkaa eli melkein 2 % Suomen hiilidioksidipäästöistä syntyy pelkästään sementin tuotannosta. (Betoniteollisuus ry, B.)

NORMAALI RAKENNEBETONI C30/37

A1-A3 päästöt (GWP): **268 kg CO₂ eq./betoni-m³**



Kuva 1: Kuvasta nähdään eri betonin ainesosien aiheuttamat hiilidioksidipäästöt. (Betoniteollisuus ry, C)

Valmisbetonin tuotannossa sementti tuottaa jopa 82 % hiilidioksidipäästöitä. Kuten kuvasta 1 nähdään yhden kuution tekeminen normaalia C30/37 betonia tuottaa 268 kg hiilidioksidia.

Sementti on siis suurin hiilidioksidipäästöjä aiheuttava komponentti betonirakentamisessa. Sementti valmistetaan pääosin kalkkikivestä. Sementtiä valmistessa uunin lämpötila on noin +1450 °C, mikä nostaa päästöjä. (Anttila Vesa.)

2.2.2 Teräksen valmistuksen vaikutus ympäristöön

Paikallavaluvaluotoissa toinen käytetty materiaali on teräs. Terästä käytetään betonivaluvaluotoissa tuomaan sille lisää kantavuutta. Teräs tuottaa sementin jälkeen eniten ilmastopäästöjä betonirakentamisessa. Raakateräksen valmistus, eli niin sanotun neitseellisen teräksen valmistus tuottaa 85–95 % sen koko ilmastopäästöistä. Teräs tuotanto vaatii rautamalmikaivoksia, sekä kaivetun malmin rikastamista, jotta siitä saadaan käyttökelpoinen raudoite työmaalla käytettäväksi. Rikastusprosessi tuottaa jätettä ja käyttää suuren määrän energiaa. Teräksen tuottaminen myös tuottaa kasvihuonepäästöjä, etenkin hiilidioksidipäästöjä. Tällä hetkellä Ruotsiin ollaan rakentamassa ensimmäistä hiilineutraalia terästehdasta, mikä tulee osittain vähentämään betonivaluvaluotojen ympäristövaikutuksia. (Betoniteollisuus ry, D.)

Teräs on kuitenkin 100 % kierrätettävä materiaali. Tässä tutkimuksessa vertailuna käytetään Suomessa yleisesti käytettyä kierrätettyä terästä. Yli 80 % teräsromusta palautuu tehtaille ja niistä voidaan tehdä uusioterästä. Romupohjainen harjateräs tuottaa 400 kg kasvihuonepäästöjä jokaista 1000 kg kohti. Kirsi Vuorisen tekemän artikkelin mukaan vuonna 2019 terästuotanto aiheutti 7–9 prosenttia maailman kaikista kasvihuonepäästöistä ja 28 % kaikesta teollisuuden päästöistä. (Kirsi Vuorinen, 2022.)

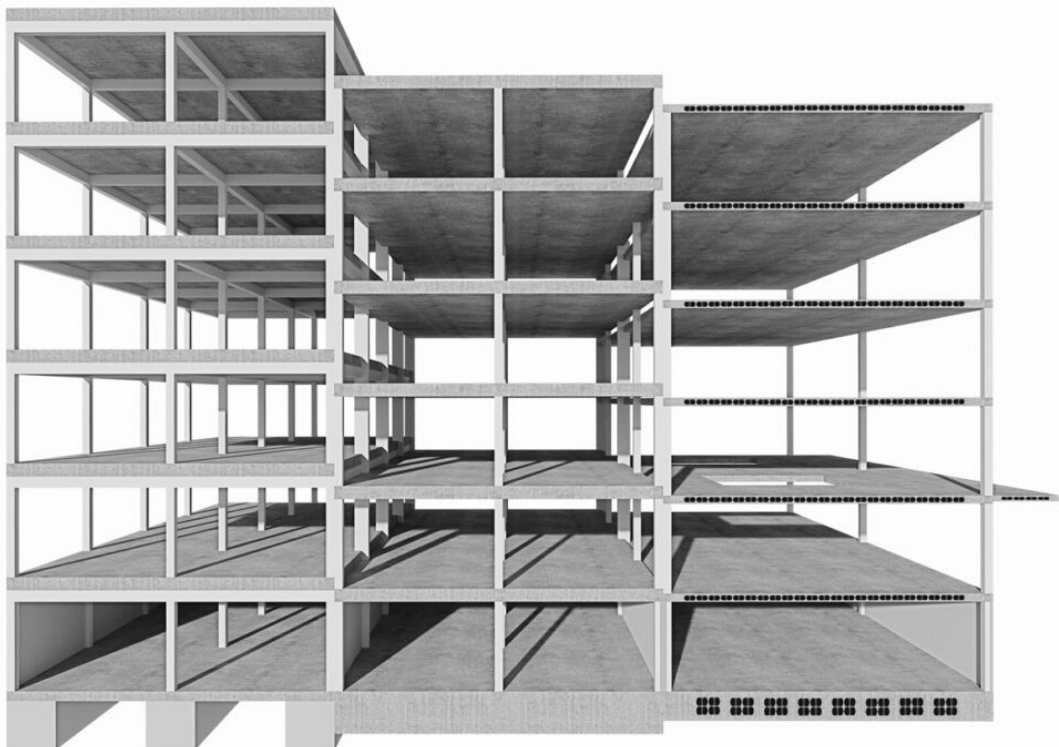
3 Kevennetty paikallavalulaatta

Unidome on saksalainen keksintö, jonka on suunnitellut ja kehittänyt rakennustekniikan tohtori Karsten Pfeffer. Unidome on 100 % kierrätetystä muovista valmistettu elementti paikallavalulaatan sisälle ylä- ja alapinnan raudoitusten väliin. Kuvassa 2 on kyseinen elementti. Se siis syrjäyttää betonia tai luo niin sanotun tyhjiön laatan sisään ja samalla toimii välikkeenä raudoituksille. Unidome mitoitetaan aina laatan koon mukaan. (Unidome Deutschland GmbH, B.)



Kuva 2: Unidome XS -elementti. (Unidome Deutschland GmbH, A)

Unidome-elementit tarjoavat pidemmät jännevälit, ohuempat laatat, vähemmän pilareita ja palkkeja, niin sanottu kuollut kuormitus pienentyy, eli laatan keskellä olevan betonimassan määrä vähenee, raudoitusten vähenemisen ja hiilidioksidipäästöjen vähenemisen. (Sulin Oy, B.) Kuva 3 esittää Unidome-elementtien tuomia mahdollisuuksia paikallavalu rakentamisessa. Oikealla puolella oleva rakennus on matalampi samoilla kerroskorkeuksilla Unidome-elementtien ansiosta. Välipohjat ovat ohuempia, yksi pilaririvikin on saatu poistettua kuormitusten vähentymisen seurauksesta. Vasemmalla on palkkien avulla kannateltu laatta ja keskellä perinteinen laatta.



Kuva 3: Havainnekuva välipohjistaratkaisuista. (Unidome Deutschland GmbH, B)

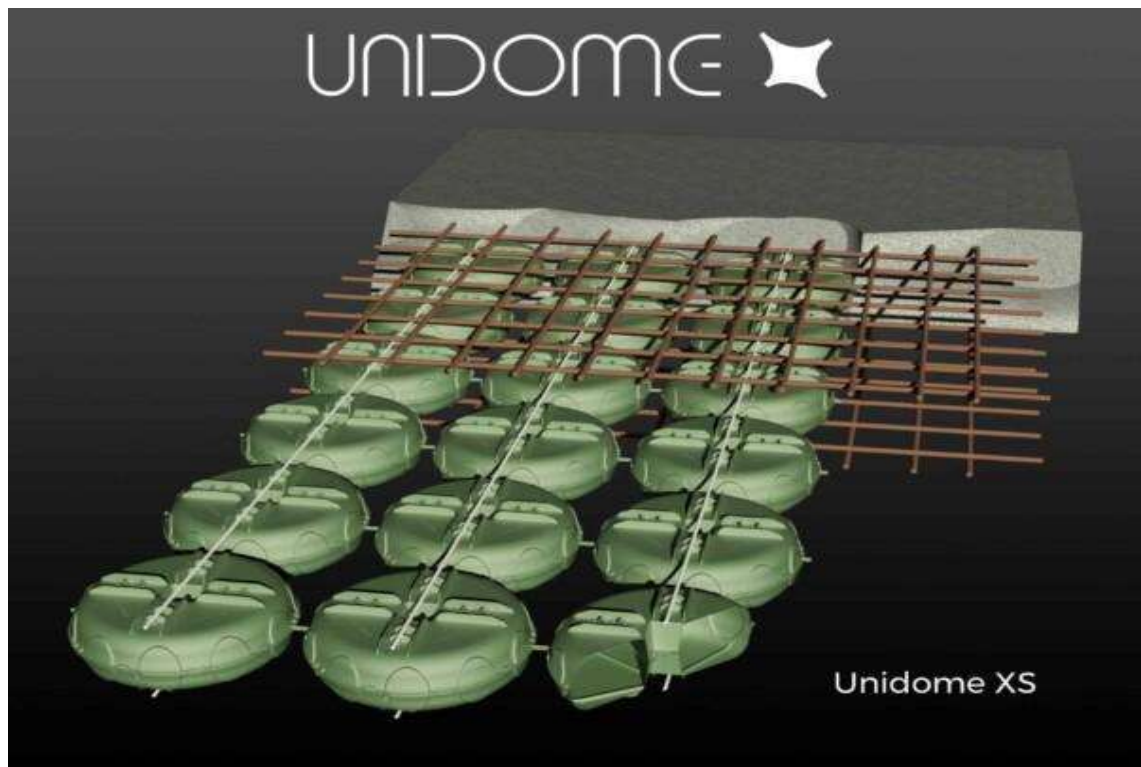
3.1 Unidome-laatan suunnittelu

Laatta voidaan heti alusta lähtien suunnitella kevennetyksi, tai ensin suunnitella betonilaatta perinteiseen tapaan ja tämän jälkeen suunnitella se kevennettynä. Unidome-elementit suunnitellaan niin, että ne ovat laatan keskellä, missä

yleisesti ottaen betonilla ei ole kuormia kantavia tekijöitä. Reunoihin ja pilareiden kohdalla kevennettä ei laiteta, koska se tuottaisi ongelmia kantavuuden ja betonin halkeilun kanssa. Kevennyksiä tulee noin 65 % laatan kokonaispinta-alalle ja korvaa jopa 35 % betonia ja 20 % raudoitteista. Mitä korkeampi rakennus kyseessä, niin sitä merkittävämpi betonin vähennys on, sillä paino kertaantuu ja kantavien rakenteiden kuormitus putoaa jopa kolmanneksella. (Sulin Oy, B.)

3.2 Unidome-elementtien asentaminen

Unidome-elementti toimii itsestään jo rauditusvälkkeenä antaen oikean etäisyyden ylä- ja alapinnan raudotteille, jolloin erilaisia välkkeitä ei tarvita, kuten kuvassa 4 näkyy. Tämä antaa myös turvaa, sillä raudoitukset eivät voi olla liian kaukana tai liian lähellä toisiaan. Toinen etu tulee, kun yläpinnan betonipeite tulee varmasti oikeaan korkoon.



Kuva 4: Kuva näyttää, miten Unidome XS -elementti asennetaan ylä- ja alapinnan raudoitteiden väliin. (Sulin Oy, A)

3.3 Teoreettisia tuloksia

Kun Unidome-elementtejä sijoitetaan laattaan, niin korvatus betonin määrä muuttuu betonilaatan paksuuden mukaan. Mitä paksumpi betonilaatta on kyseessä, niin sitä enemmän Unidome luo niin sanottuja tyhjiöitä laatan sisälle. Kuvassa 5 oleva kuvaaja näyttää graafisesti miten eri paksuisissa laatoissa GWP eroaa perinteisen laatan ja kevennetyn laatan välillä. GWP tulee englannin kielestä Global warming potential eli lämmityspotentiaali. Lämmityspotentiaali ilmaisee tuotteen kasvihuonepäästöjen aiheuttaman lämmitysvaikutuksen. (Tieteen termipankki, 2014.)

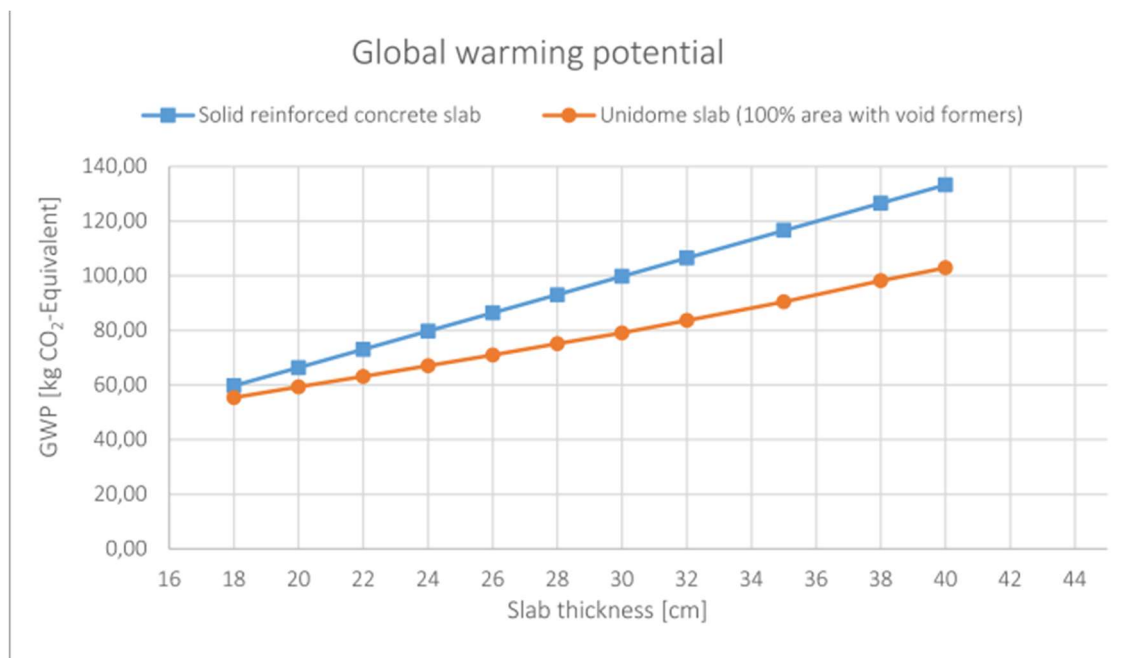


Figure 1.: Savings of global warming potential.

Kuva 5: Unidome-laatan ja perinteisen laatan erot lämmityspotentiaalissa. (Simon Eric, 2021)

Kuvaajasta voidaan nähdä selvästi, että perinteinen teräsbetonilaatan lämmityspotentiaali kasvaa jyrkemmin, kun laatan paksuus kasvaa. 18 cm paksussa laattassa kasvihuonepäästöissä on 7 % ero ja 40 cm paksuisessa laattassa ero on jo 22 %. Tuloksessa pitää ottaa huomioon, että kuvaaja on tehty niin, että Unidome-elementtejä on koko laatan pinta-alalla.

Otsoni

Kuvassa 6 oleva kuvaaja näyttää Unidome-laatan ja perinteisen teräsbetonilaatan erot otsonikerroksen ohentamispotentiaalin avulla. Otsonikerroksen ohentamispotentiaali mittaa tässä tapauksessa betonilaattojen vaikutusta otsonikerroksen hajoamiseen.

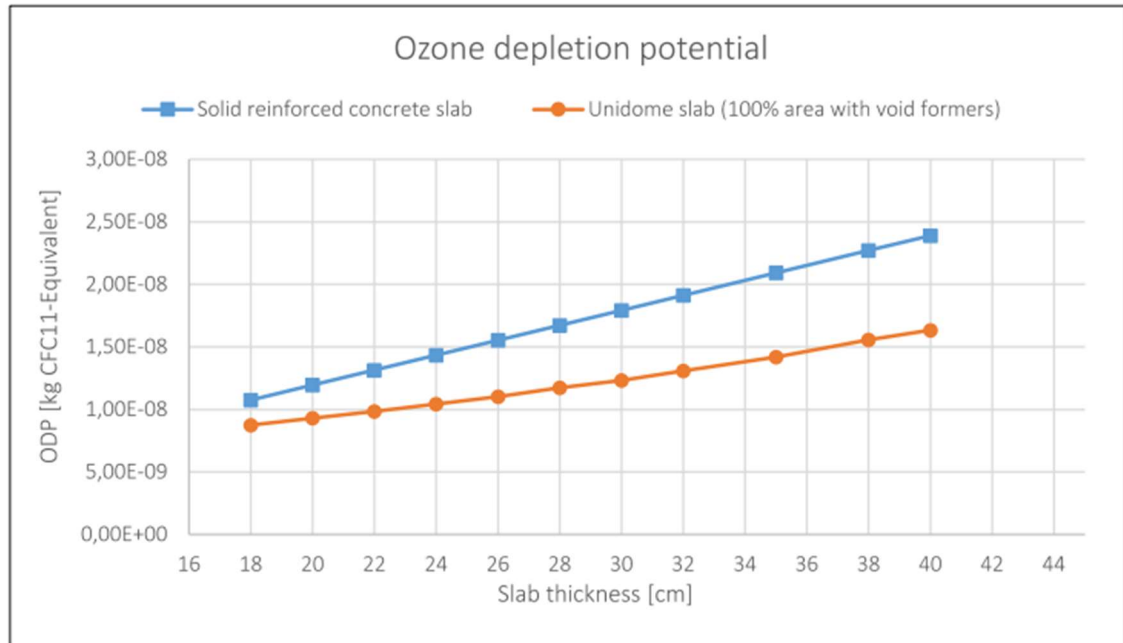


Figure 2: Savings of the released ozone depletion potential.

Kuva 6: Kuvaajasta voidaan lukea, että otsonikerroksen ohentamispotentiaali tippuu 18 cm paksuisessa laaatassa 19 % ja 40 cm paksuisessa laaatassa 32 %. (Simon Eric, 2021)

Otsonin muodostamispotentiaali kertoo aineen kyvystä edistää otsonin muodostumista troposfäärissä eli maanpinna lähellä olevassa ilmakehässä. Troposfäärin otsoni on merkittävä ilmansaaste, mikä vaikuttaa haitallisesti ihmisiin, eläimiin ja ympäristöön. (Ilmasto-opas.) Kuvassa 7 oleva kuvaaja näyttää meille näiden kahden laatan erot.

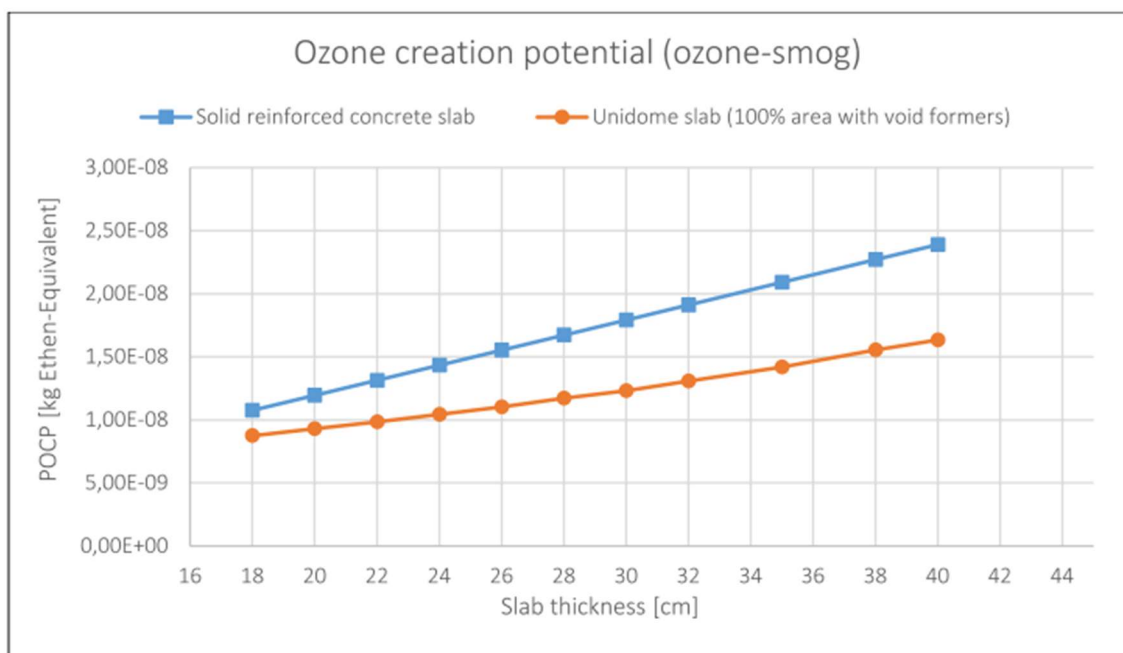


Figure 3.: Savings of the photochemical ozone creation potential (ozone-smog).

Kuva 7: Kuvaajasta nähdään, että 18 cm paksuisissa laatoissa Unidome vähentää otsonin muodostumispotentiaalia 11,5 % ja 40 cm betonilaatassa 24 % (Simon Eric, 2021)

Happamoituminen

Happamoitumispotentiaali kuvaa aineen kykyä edistää ympäristön happamoitumista, erityisesti maaperässä ja vesistöissä. Happamoitumispotentiaali mittaa rikkioksidin, typpioksidin ja ammoniakkin aiheuttamaa happamoitumista. (Suomen ympäristökeskus 2022.) Kuvassa 8 oleva kuvaaja kertoo, miten Unidome-kevenneillä tehty laatta eroaa perinteisestä paikallavalulaatasta happamoitumisen suhteen.

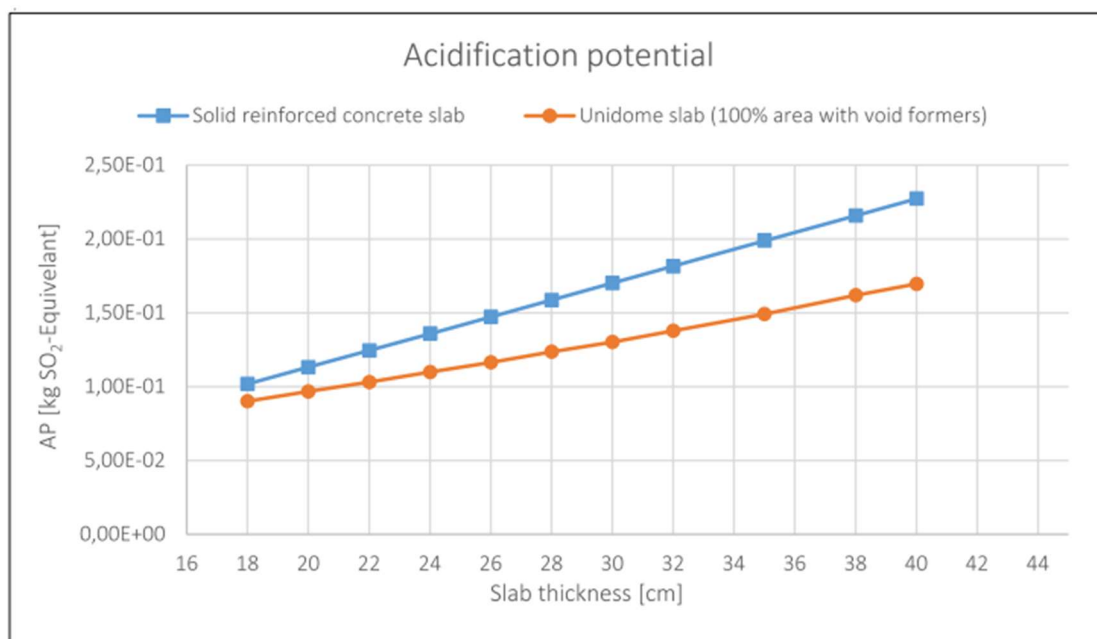


Figure 4: Savings of the acidification potential.

Kuva 8: Kuvaajasta voidaan lukea, että 18 cm paksuisissa laatoissa ero on noin 11,5 % ja 40 cm paksuisissa laatoissa ero on karkeasti 25 %. (Simon Eric, 2021)

Rehevöityminen

Rehevöityminen tarkoittaa ravinteiden, kuten typen ja fosforin ylimääräistä kertymistä vesistöihin ja maaperään (WWF Suomi). Kuvassa 9 oleva kuvaaja näyttää, kuinka suuri rehevöitymispotentiaali on Unidome-laatalalla ja perinteisellä teräsbetonilaatalalla.

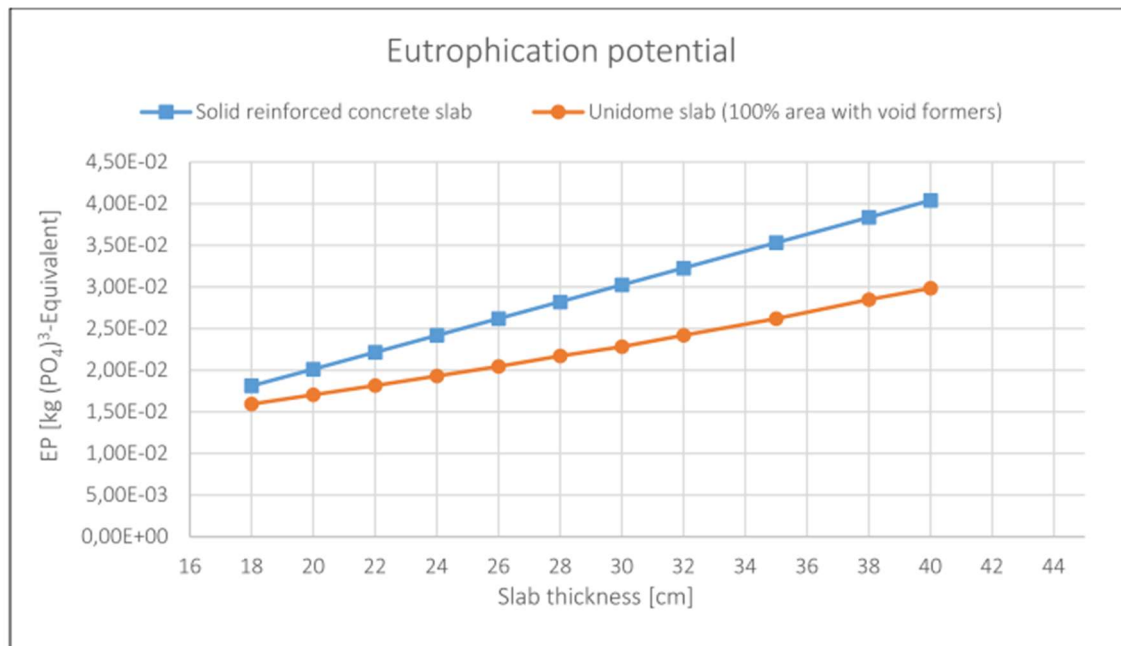


Figure.5.: Savings of the Eutrophication potential.

Kuva 9: Kuvaajasta voidaan nähdä, että Unidome-laatta vähentää rehevöitymis-potentiaalia 12 %, kun kyseessä on 18 cm paksuinen laatta ja se vähentää jopa 26 % rehevöitymis-potentiaalia 40 cm paksuisessa laatussa (Simon Eric, 2021)

Energia

Rakentaminen vaatii energiaa. Energian ympäristöystävällisyys riippuu, miten sitä tuotetaan. Kuvassa 10 oleva kuvaaja kertoo, kuinka paljon kumpikin laatta vaatii energiaa sen tuottamiseen. Kuvaajassa mainitaan PERT ja PE. PERT viittaa uusiutuviin energianlähteisiin ja PE viittaa kaikkiin mukaan lukien uusiutuvat ja uusiutumattomat energianlähteet. (Simon Eric, 2021.)

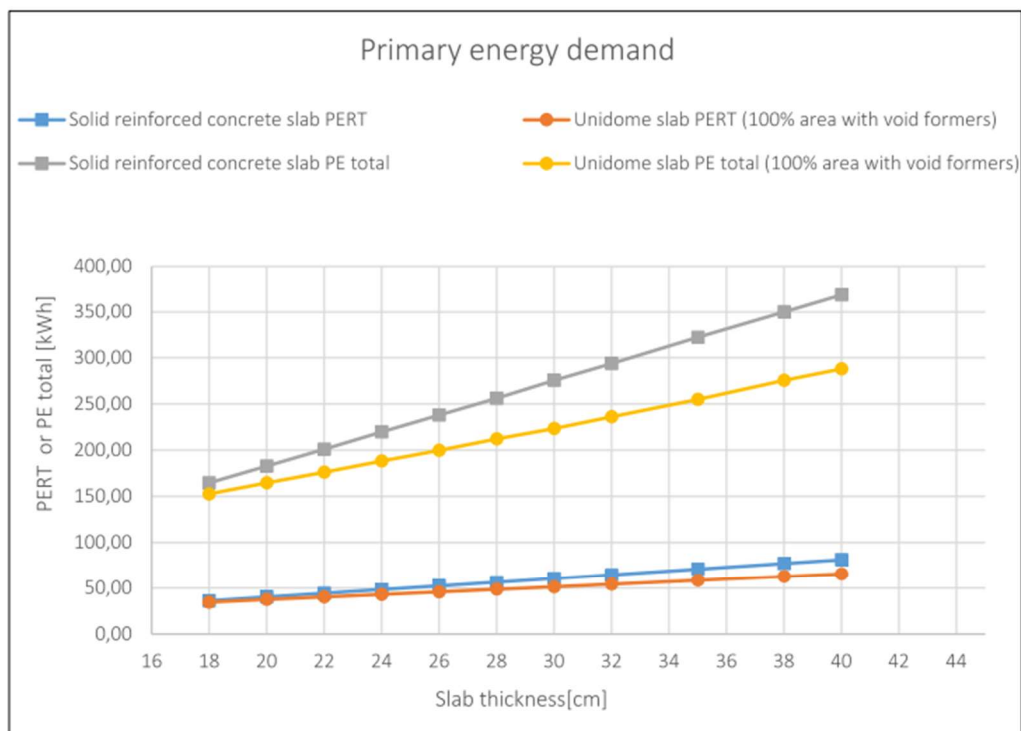


Figure 6: Savings of the Primary energy demand (PERT) and total (PE total).

Kuva 10: Kuvaajasta nähdään, että Unidome-laatta vaatii vähemmän energiaa. PE energianlähteistä ero on 4,5–19 % ja PERT energianlähteistä ero on 7–22 % riippuen laatan paksuudesta (Simon Eric, 2021)

Kokonaisvaikutus

Kun kaikki yllä olevat taulukot otetaan huomioon, niin voidaan katsoa kokonaisvaikutusta ympäristöön. Kokonaisvaikutukseen on siis otettu huomioon energian tarve, rehevöityminen, happamoituminen, otsoni, sekä lämmityspotentiaali. Kuvassa 11 oleva kuvaaja on siis yhdistelmä aiemmista kuvaajista.

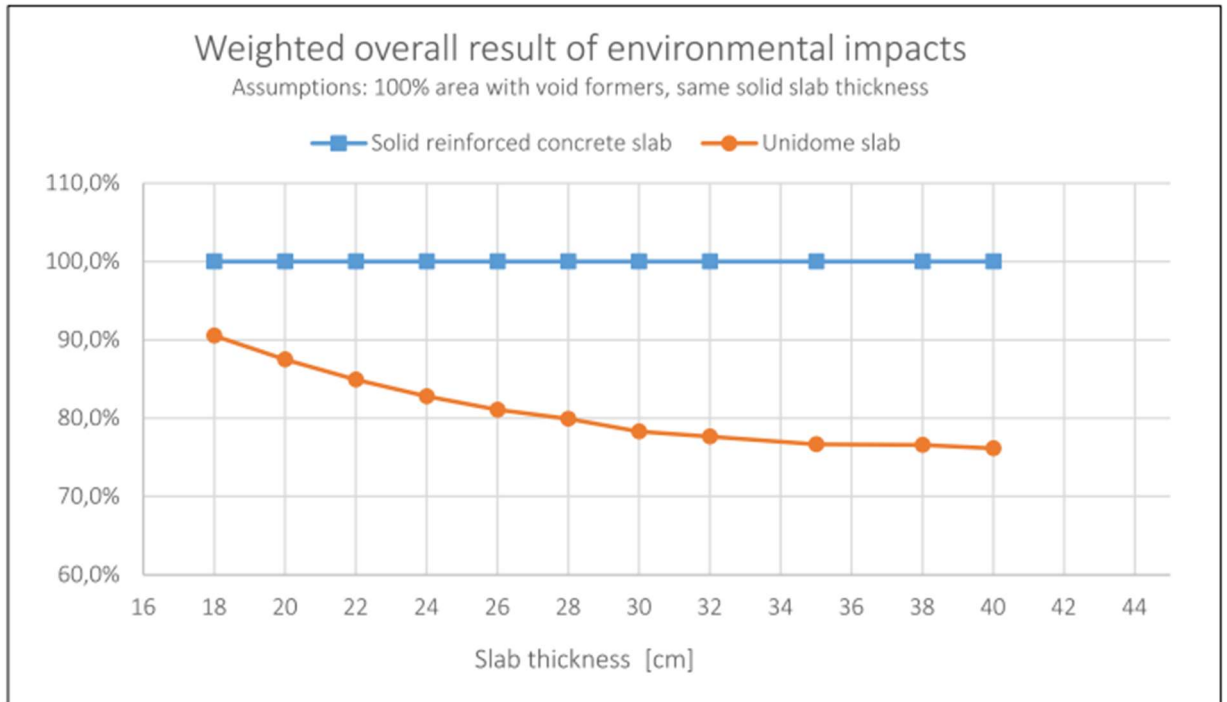


Figure 7: Weighted overall results.

Kuva 11: Kuvaajasta nähdään, että 18 cm paksuisissa laatoissa ero on 10 %, mutta 40 cm paksuissa laatoissa ero on jopa 24 % (Simon Eric, 2021)

Kuten aiemmin todettiin, että yksi Unidome-laatan eduista on se, että siitä voidaan tehdä ohuempi samoilla kuormituksilla ja kestävyydellä. Kuvissa 12 ja 13 olevat kaksi kuvaajaa kertovat tarkemmin tästä. Kuvassa 12 verrataan lämmityspotentiaalia.

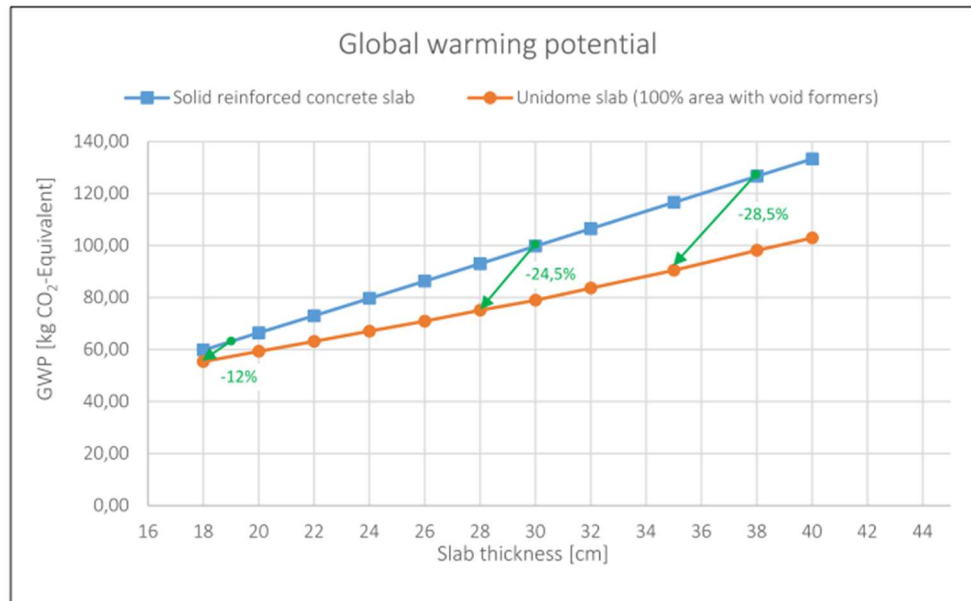


Figure 8: Further greenhouse gas (GWP) savings as a result of a reduction in slab thickness.

Kuva 12: Lämmityspotentiaalien erot, jos laatasta tehdään pienempi. (Simon Eric, 2021)

Kuvassa 12 oleva kuvaaja osoittaa, että lämmityspotentiaali on pienempi, kuin suora vertaus laattojen paksuuksilla. Vaikka Unidome muodostaa tyhjiön laatan sisälle ja näin ollen tarvitaan vähemmän betonia, mutta se myös vähentää betonia tekemällä laatasta ohuemman. Esimerkiksi 38 cm paksu perinteinen teräs-betonilaatta muutettuna Unidome-laataksi onkin vain 35 cm paksu. 38 cm paksujen laattojen lämmityspotentiaali arvot erosivat reilu 20 %. Laatan ohennuksen jälkeen ero onkin 28,5 %.

Kuvassa 13 oleva kuvaaja kertoo meille kokonaisvaikutuksesta, kun Unidome-elementtejä on 65 % laatan kokonaispinta-alasta. Erot ovat pienemmät, jos elementtejä tulisi vähemmän ja välttämättä ei voitaisi pienentää laattaa. Nämä jäävät rakennesuunnittelijan päätettäväksi. Kuvaajassa on otettu huomioon laatan tekeminen ohuemmaksi myös.

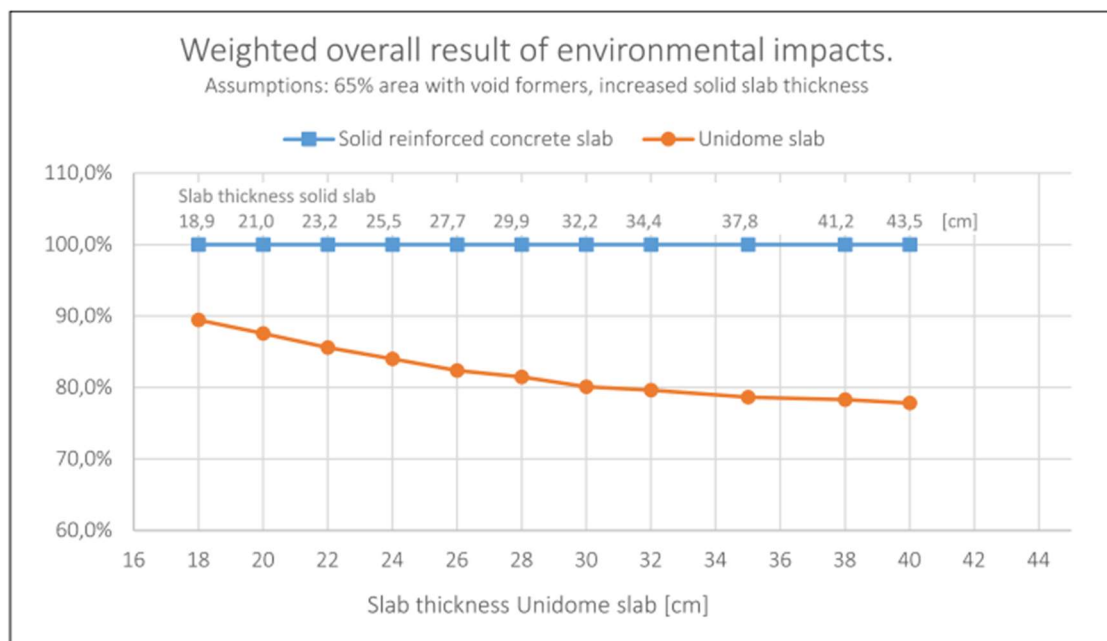


Figure 9: Weighted overall result for a mean coverage by void formers and a slab thickness reduction.

Kuva 13: Kokonaisvaikutus kevennetyllä ja perinteisellä laattalla. Prosenttiosuuksista nähdään prosentuaalinen muutos ympäristöpäästöihin, jos käytetään Unidome-elementtejä 65 % alueella ja pienennetään laattaa (Simon Eric, 2021)

Kuten kuvaajasta voidaan, niin 18,9 cm paksuisesta laatasta voidaan vähentää 0,9 cm paksuudesta, sekä Unidome-laattalla on hieman yli 10 % vähemmän vaikutusta ympäristöön. 43,5 cm paksuinen laatta voidaan tehdä 40 cm laattana, jolloin kavennusta on tapahtunut jo 3,5 cm ja vaikutus ympäristöön on vähentynyt yli 20 %.

4 Perinteinen paikallavalulaatta

Betonirakentamisessa voidaan valita, tehdäänkö runko elementeistä vai toteutaanko se paikallavaluna. Monissa tapauksissa voidaan yhdistää näitä. Useimmissa rakennuksissa perustukset tehdään paikallavaluna. Käydään nyt hieman läpi paikallavalulaatan suunnitteluperiaatteita.

4.1 Miksi valita paikallavalulaatta

Perinteinen paikallavalulaatta on hyvä ja nopea tapa rakentaa oikein tehtynä. Erityisesti korkeissa rakennuksissa paikallavaluettu runko on elementtirakennusta tehokkaampi ja helpompi jäykistystarpeiden vuoksi. Tämä helpottaa materiaalien nostoja, sillä ei tarvitse nostaa suuria elementtejä tai ontelolaattoja sadan metrin korkeuteen. Pilarilaattarunko vähentää myös kantavien seinien tarvetta, jolloin rakenteen oma paino vähenee ja materiaalia kuluu vähemmän, jolloin myös ympäristöpäästöt vähenevät. (Suomen Betoniyhdistys ry, A.)

Edellytyksenä toimivaan paikallavalurakenteeseen voidaan pitää hyvää rakennesuunnittelua, missä ei ylimitoiteta ja pidetään asiat yksinkertaisena ja symmetrisenä. Hyvin suunniteltu paikallavalurakenne antaa arkkitehdeille ja muille suunnittelijoille hyvän pohjan suunnitella toimiva ja upea kokonaisuus. Pilarilaattarakenne antaa myös muotokielelle vapauksia ja ulokkeiden teko onnistuu myös helposti. (Kestävä kivitalo -yhtymä, A.)

Muita hyviä etuja paikallavalurakenteilla verrattuna elementtirakenteisiin on tilojen muokattavuus, rakenteellinen jatkuvuus tukien yli, hyvä ääneneristys, koska ei tule elementtisaumoja, mitkä voivat olla heikkoja kohtia ääneneristävyydelle, sekä aukollisuus. Pilarilaattarakenteessa aukkojen teko on helpompaa ontelolaattoihin verrattuna jatkuvuuden takia. Ylitukien jatkuva kuormien kantokyky on paikallavalurakenteilla parempi, koska tukipisteet ovat yleisesti ne kohdat, mihin esimerkiksi ontelolaatta päättyy ja jatkuu, jolloin siihen tulee sauma. Paikallavalurakenne jatkuu tuen yli ja täten pystyy kantamaan suurempia kuormia.

Jatkuvuuden myötä myöhempi muokattavuus on parempi ja jälkikäteisiä läpivientejä pystytään toteuttamaan paremmin. (Kestävä kivitalo -yritsyhtymä, B.)

4.2 Päämittojen valinta

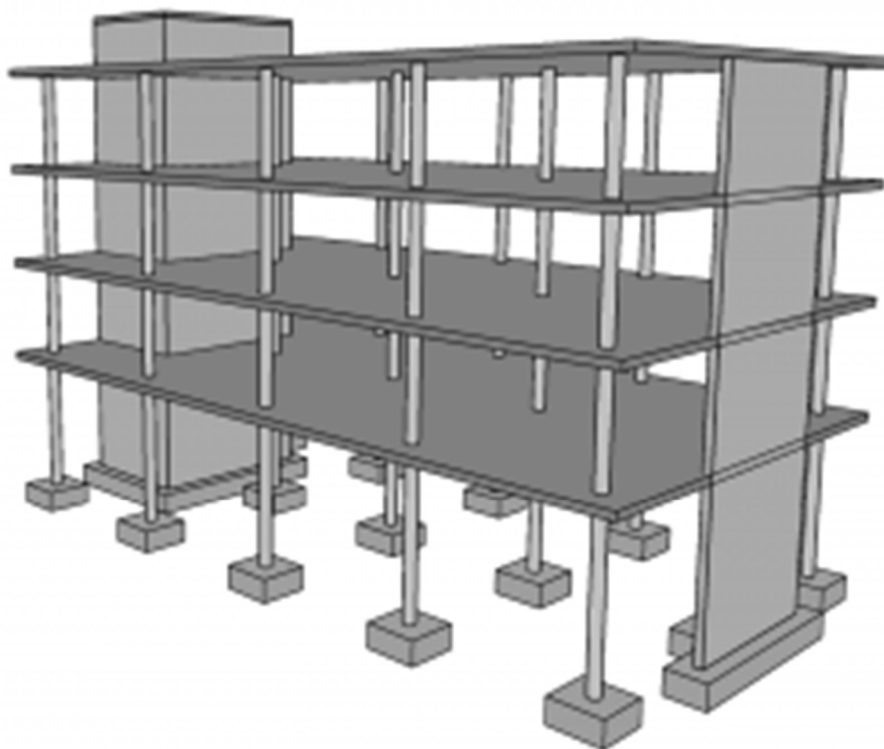
Paikallavalurakenteet tai niiden runko ja kantavat pystyrakenteet voidaan jakaa kolmeen erilaiseen ratkaisuun. Ensimmäinen vaihtoehto on toteuttaa rakenne pelkästään kantavien seinien avulla. Toinen vaihtoehto on toteuttaa rakenne pelkästään kantavien pilareiden avulla ja kolmas vaihtoehto on yhdistää kaksi edellistä vaihtoehtoa. (Kestävä kivitalo -yritsyhtymä, C.)

Kantavien rakenteiden sijainti, oli ne sitten kantavia seiniä tai pilareita, määräytyy rakennuksen tilatarpeiden mukaisesti. Kantavat rakenteet tulisi myös suunnitella varsin symmetrisesti, jotta se olisi toistuvaa ja helposti toteuttavissa. Tämä vähentää myös kustannuksia ja virheitä. Symmetrisyydestä on myös hyötyä jännevälien osalta, sillä jos jännevälit pysyvät samoina, niin ei tarvitse suunnitella erilaisia laattoja eri kohtiin. (Suomen Betoniyhdistys ry, A.)

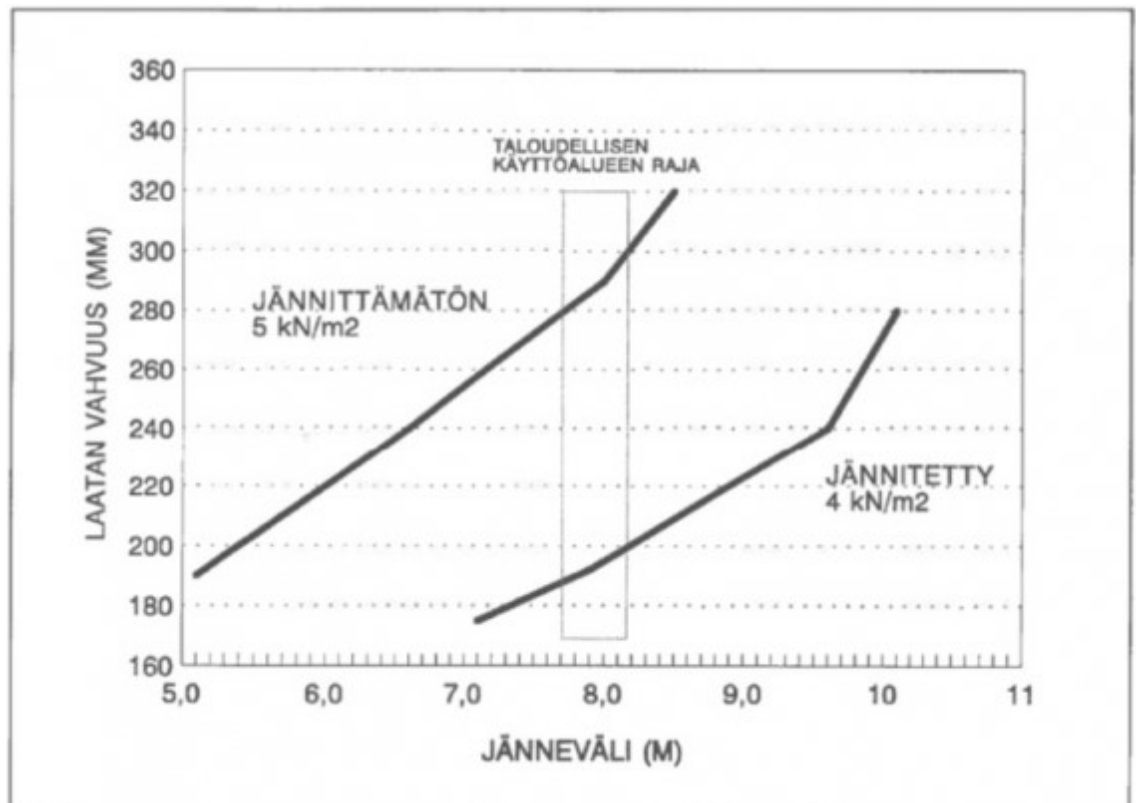
Pilarilaatat ovat suosittuja ja tehokkaita tapoja toteuttaa korkeita rakennuksia ja samalla symmetrisyys säilyy. Pilarilaatta antaa myös arkkitehdeille vapaamman muotoilun sisätilojen ja ulkoseinien mitoille, verrattuna pelkästään kantavilla seinillä tehtäviin rakennuksiin. Näissä rakenteissa pilarit tulisi sijoittaa neliönmuotoiseen ruudukkoon tai suorakaiteenmuotoiseen ruudukkoon. Näin saadaan monoliittinen ja jatkuva rakenne, missä jännevälejä voidaan kasvattaa ja laatan taipuma pienenee. Laatan taipuma määrää jännevälit. (Suomen Betoniyhdistys ry, A.)

Tasapaksuissa pilarilaatoissa jännevälit voivat korkeintaan olla kahdeksan metriä, kun puhutaan 220 mm – 300 mm paksuisista laatoista, muuten taipuma olisi liian suuri. Jälkijännitetyissä laatoissa jännevälit voivat olla jopa 10 metriä. (Kestävä kivitalo -yritsyhtymä, B.)

Pilarilaatta on siis pilareista ja jatkuvista laatoista koostuva rakenne, missä kuormitukset laatoilta siirtyvät suoraan pilareille. Pilarit siirtävät kaikki kuormat ylemmiltä kerroksilta perustuksiin. Kuvassa 14 on esimerkki pilarilaattarungosta.



Kuva 14: Pilarilaattarunko, missä pilareiden lisäksi jäykistys tapahtuu hissikuilun ja mastoseinän avulla (Kestävä kivitalo -yritysyhtymä, A)



Kuva 15: Pilarilaatan ohjeelliset jännevälialueet eri laattapaksuuksilla toimistokuormilla (Suomen Betoniyhdistys ry, A)

Kuvasta 15 nähdään, että jännittämättömän paikallavalulaatan jänneväli voi maksimissaan olla noin 8 metriä, kun puhutaan taloudellisesta käytettävyydestä 5 kN/m² kuormituksissa, mikä on yleinen kuormitus toimistorakennuksissa.

Pilarilaatta voidaan tehdä massiivirakenteena tai tarvittaessa keventää, mikä on tämänkin opinnäytetyön aihe. Pilarilaatoissa laatan reunat ovat vapaasti muo-
toitavissa, kunhan oikeanlainen tuenta pilareilta on varmistettu. (Suomen Betoniyhdistys ry, A.)

4.3 Suunnittelu

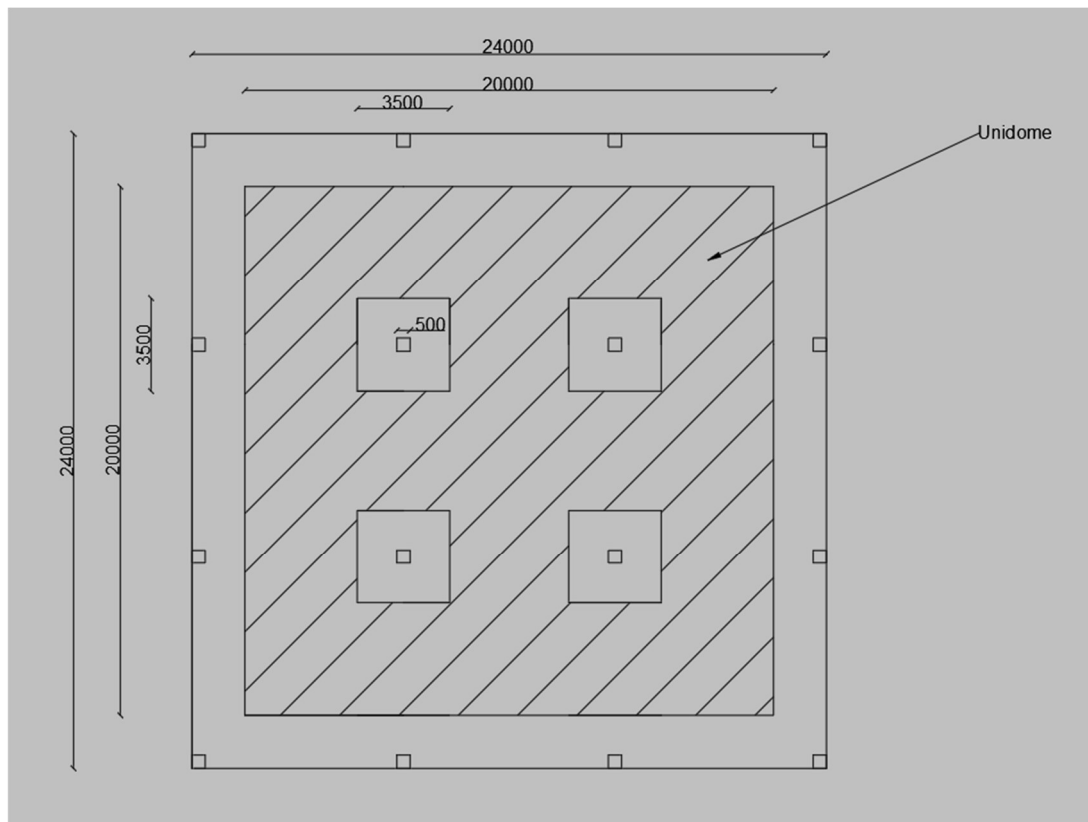
Paikallavalurakenteiden tai kaikkien rakenteiden suunnittelussa pitää ottaa huomioon kantavuuksia, rasituksia, kuormituksia, jännevälejä ja muita asioita, kuten jännevälit.

Suurissa rakennuksissa, kuten tornitaloissa halutaan mahdollisimman tehokkaasti käyttää käytössä oleva pinta-ala. Tornitalojen yksi suurimmista hyödyistä on se, että pienelle tontille saadaan paljon asuntoja tai liiketilaa rakentamalla ylöspäin. Korkeissa rakennuksissa ongelmaksi tulee kuitenkin kantavat rakenteet, sillä niitä tulisi olla suhteellisen usein. Samalla kun halutaan rakentaa korkealla, halutaan myös avaria tiloja, missä seiniä ei olisi kovin usein. Siksi tornitaloissa pilarilaattarunko on edukseen, sillä ne eivät jaa tiloja samalla tavalla kuin kantavat seinät. Avarioiden tilojen toinen ongelma on jännevälit. Perinteisellä laattalla jänneväli voi olla noin kahdeksan metriä ja jälkijännitetty 10 metriä. (Suomen Betoniyhdistys ry, A.)

Betonin lujuusluokan valitsee rakennesuunnittelija rakenteen kuormitusten mukaan. Suunnittelijan tulee valita betonin lujuus- ja rakenneluokka, rasitusluokat, suojapeitteen paksuudet ja toleranssit. Muita mitkä vaikuttavat betonin valintaan ovat rakenteen käyttöikä. Lujuus- ja rakenneluokka valitaan rakenteen kuormitusten mukaan. (Betoniteollisuus ry, D.) Rasitusluokat määräytyvät ympäristön mukaan, eli altistuuko rakenne karbonatisoitumiselle, klorideille tai kemialliselle rasitukselle, kuten hapoille (Suomen Betoniyhdistys ry, C). Karbonatisoituminen tarkoittaa betonin emäksisyyden laskua. Tämän reaktion aiheuttaa ilman hiilidioksidi. (Betoniteollisuus ry, 2018, s.111.) Muut, jotka vaikuttavat rasitusluokkaan ovat jäädytys-sulatussuolat ja kemialliset ympäristöt. Raudoitteet valitaan eurokoodien mitoitus mukaisesti rakennesuunnittelijan määrittämien rakenteiden ja kuormien mukaisesti.

5 Paikallavalulaattojen vertailu

Vertaillaan kuvitteellista pienen toimistotilan laatan ja pilarin raudoitusta. Lasketaan laatta 270 mm paksuna, C30/37 betonilla ja B500B raudotteilla. Laskelmissa otetaan huomioon 11 välipohjaa. Laatalle tulevat kuormat ovat sen omanpainon lisäksi kuormaluokka B:n mukaiset toimistokuormat, mikä on $2,5 \text{ kN/m}^2$. Laskelmissa ei ole otettu huomioon esimerkiksi julkisivumateriaaleja, lumikuormia, tuulikuormia, eikä yläpohjan vaikutusta rakenteeseen. Liitteessä 1 on pidempi laskelma. Koska perinteinen laatta on 270 mm paksu, voidaan valita Unidome XS-140 (170). Kuvista 18 ja 19 voidaan nähdä, että tämä elementti valittiin rakenteen mukaan. Tämän käyttö tiputtaa kevennetyn laatan paksuutta 2 mm. Se vähentäisi betonin tuomaa kuormitusta $1,88 \text{ kN/m}^3$. Mutta koska emme voi asettaa elementtiä koko pinta-alalle olen laskuihin ottanut mukaan 1 kN/m^3 vähennyksen betonin omaan painoon. Alla havainnekuva laatasta ja pilareiden asettelusta.

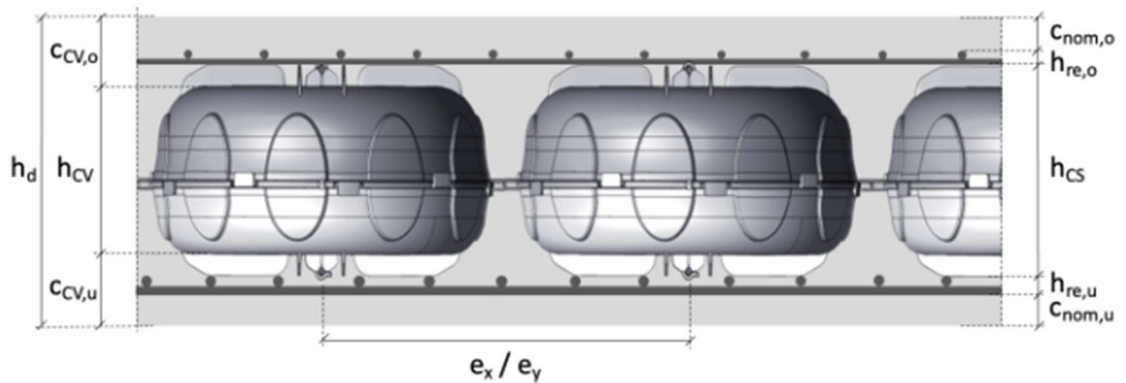


Kuva 16: Havainnekuva välipohjasta.

Unidome XS käyttödata		XS-60 (90)	XS-80 (110)	XS-100 (130)	XS-120 (150)	XS-140 (170)	XS-160 (190)	XS-180 (210)	XS-200 (230)	XS-220 (250)	XS-240 (270)	XS-260 (290)
Lisätietoja löydät teknisistä tietolevyistä tai käyttämällä Unidome Pro -ohjelmistotyökalua osoitteessa www.unidome.de .												
laatan minimi paksuus	cm	18	20	22	24	26	28	30	32	35	38	40
ontelon korkeus	cm	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26
keventeiden kokonaiskorkeus	cm	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29
tilavuuden siirto	m ³ /m ²	0,0335	0,0443	0,0551	0,0652	0,0753	0,0837	0,0938	0,1010	0,1123	0,1195	0,1265
painon vähennys (betoni 25 kN/m ³)	kN/m ²	0,84	1,11	1,38	1,63	1,88	2,09	2,35	2,53	2,81	2,99	3,16

Kuva 17: Unidome XS -elementtien eri koot, sekä paljonko ne syrjäyttävät betonia. (Sulin Oy, B)

Kuvassa 17 voidaan nähdä, minkä kokoisina elementteinä Unidome XS -elementtejä saa, minkä kokosiin laattoihin niitä voidaan käyttää, sekä esimerkiksi se, miten paljon elementti syrjäyttää betonia neliötä kohden. Suuremmissa laatoissa betonia syrjäytyy luonnostaan enemmän, koska elementit ovat suurempia.



Kuva 18: Kuvassa näkyy, miten elementti asettuu raudoitusten väliin ja erilaisia mittatietoja, mitkä näkyvät seuraavassa kuvassa. (Unidome Deutschland GmbH, D)

Unidome Product	XS 140 (170)
slab thickness h_d	26,80 [cm]
concrete cover to the cavity below $C_{CV,u}$	6,40 [cm]
concrete cover to the cavity above $C_{CV,o}$	6,40 [cm]
cavity height h_{CV}	14,00 [cm]
height of concrete shaper h_{CS}	17,00 [cm]
concrete cover to lower reinforcement $c_{nom,u}$	2,50 [cm]
concrete cover to top reinforcement $c_{nom,o}$	2,50 [cm]
depth of lower reinforcement layers $h_{re,u}$	2,40 [cm]
depth of top reinforcement layers $h_{re,o}$	2,40 [cm]
<hr/>	
slab thickness, check h_d , kontrolle	26,80 [cm]

Kuva 19: Kohteen mittoja, minkä perusteella elementit on valittu (Unidome Deutschland GmbH, D)

Unidome pro ohjelmalla katsottu oikea elementti kohteeseen ja samalla se kertoo laatan paksuuden, jotta voidaan optimoida rakenne ilman lisäraudoituksia. Kuvasta nähdään, miten elementit asennetaan ylä- ja alapinnan raudoitteiden väliin, sekä voimme katsoa tarvittavia mittoja, kuten betonipeitettä, raudoitteiden välistä etäisyyttä, sekä elementin kokoa. 2 mm ero ei tuo suurta muutosta betonin määrään, mutta se auttaa pitämään betonipeitteet oikeana samalla kun elementti toimi raudoitevälikkeenä. Tämä on mitoitettu 12 mm raudoitteilla ylä- ja alapinnassa.

5.1 Raudoitusten vertailu

Seuraavaksi esitän liite 1 löytyvät kuormituslaskelmat laatoille. Ensimmäisenä perinteisen laatan kuormitukset ja toisena kevennetyn laatan kuormitukset. Kuormituksina perinteisessä laataassa on toimistokuormat, sekä betonin omapaino.

Kuormat

$$g_{betoni} := 25 \frac{kN}{m^3} \quad g_{hyötty} := 2.5 \frac{kN}{m^2}$$

$$g_{vp} := g_{betoni} \cdot h = 6.75 \frac{kN}{m^2}$$

$$g_{k.vp} := g_{vp} \cdot 1 \text{ m} = 6.75 \frac{kN}{m}$$

$$g_{k.vp} := (g_{vp} + g_{hyötty}) \cdot 1 \text{ m} = 9.25 \frac{kN}{m}$$

Kuva 20: Perinteisen laatan kuormitukset (Liite 1)

Kuormat

$$g_{betoni} := 24 \frac{kN}{m^3} \quad g_{hyötty} := 2.5 \frac{kN}{m^2}$$

$$g_{vp} := g_{betoni} \cdot h = 6.432 \frac{kN}{m^2}$$

$$g_{k.vp} := g_{vp} \cdot 1 \text{ m} = 6.432 \frac{kN}{m}$$

$$g_{k.vp} := (g_{vp} + g_{hyötty}) \cdot 1 \text{ m} = 8.932 \frac{kN}{m}$$

Kuva 21: Kevennetyn laatan kuormitukset. Betonin omapaino tippunut keventeen ansiosta. (Liite 1)

Kun tarkastellaan laatan kuormituksia metrin alueella huomataan, että pieni muutos laatan paksuudessa ja betonin omassa painossa tuottaa pienen eron kuormituksissa. Tarkastellaan seuraavaksi, miten se vaikuttaa momentteihin.

$$M_{Ed.ap} := -0.1 \cdot g_{k.vp} \cdot (8 \text{ m})^2 = -59.2 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{Ed.ypp} := 0.08 \cdot g_{k.vp} \cdot (8 \text{ m})^2 = 47.36 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{Ed.ypp} := 47.36 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad M_{Ed.ap} := 59.2 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Taivutusmitoitus:

$$\mu_{yp} := \frac{M_{Ed.ypp}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = 0.058$$

$$\mu_{ap} := \frac{M_{Ed.ap}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = 0.072$$

$$\beta_{yp} := 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \mu_{yp}} = 0.059$$

$$\beta_{ap} := 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \mu_{ap}} = 0.075$$

$$z_{yp} := d \cdot \left(1 - \frac{\beta_{yp}}{2}\right) = 213.475 \text{ mm}$$

$$z_{ap} := d \cdot \left(1 - \frac{\beta_{ap}}{2}\right) = 211.778 \text{ mm}$$

$$A_{s.ypp} := \frac{M_{Ed.ypp}}{z_{yp} \cdot f_{yd}} = 510.261 \text{ mm}^2$$

$$A_{s.ap} := \frac{M_{Ed.ap}}{z_{ap} \cdot f_{yd}} = 642.936 \text{ mm}^2$$

Kuva 22: Perinteiden laatan tarvittava taivutusraudoitusmäärä. (Liite 1)

Kuvassa oleva laskenta kertoo meille tuilla olevat taivutusmomentit, sekä vaadittavat raudoitemäärät ylä- ja alapinnassa perinteisen laatan kuormituksilla.

$$M_{Ed.ap} := -0.1 \cdot g_{k.vp} \cdot (8 \text{ m})^2 = -57.165 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{Ed.ypp} := 0.08 \cdot g_{k.vp} \cdot (8 \text{ m})^2 = 45.732 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{Ed.ypp} := 45.732 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad M_{Ed.ap} := 57.165 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Taivutusmitoitus:

$$\mu_{yp} := \frac{M_{Ed.ypp}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = 0.057$$

$$\mu_{ap} := \frac{M_{Ed.ap}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = 0.071$$

$$\beta_{yp} := 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \mu_{yp}} = 0.058$$

$$\beta_{ap} := 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \mu_{ap}} = 0.073$$

$$z_{yp} := d \cdot \left(1 - \frac{\beta_{yp}}{2}\right) = 211.645 \text{ mm}$$

$$z_{ap} := d \cdot \left(1 - \frac{\beta_{ap}}{2}\right) = 209.993 \text{ mm}$$

$$A_{s.ypp} := \frac{M_{Ed.ypp}}{z_{yp} \cdot f_{yd}} = 496.982 \text{ mm}^2$$

$$A_{s.ap} := \frac{M_{Ed.ap}}{z_{ap} \cdot f_{yd}} = 626.112 \text{ mm}^2$$

Kuva 23: Kevennetyn laatan tarvittava taivutusraudoitukset. (Liite 1)

Kevennetyn laatan kuormitukset ja vaadittava raudoitusala ovat hieman pienempiä niin ylä-, kuin alapinnassa. Kun tarkastellaan näitä molempia laskuja, voidaan todeta, että momentit putosivat noin 2 kN*m ja tämä vaikutti meidän tarvittavaan raudoitusmäärään. $A_{s.ypp}$ ja $A_{s.ap}$ kertovat meille tarvittavat raudoitusmäärät ylä- ja alapinnassa. Molempien pintojen raudoitteiden vaatimus väheni hieman alle 3 %.

Liite 1 löytyy koko laskelma näistä, mutta tuo nuo raudoitemäärät tarkoittavat sitä, että perinteisessä laatassa yläpinnassa 12 mm raudoitteiden etäisyys toisistaan tulee olla alle 221 mm ja alapinnassa etäisyys toisistaan saa olla 175 mm. Raudoituspiirustuksiin laittaisin yläpinnan etäisyydeksi 220 mm ja alapinnan raudoitteiden väliseksi etäisyydeksi 175 mm. Kevennetyssä laatassa taas

vastaavat tulokset ovat, että yläpinnassa raudotteiden välinen etäisyys saisi olla 227 mm ja alapinnassa se saisi olla 180 mm. Raudituspiirustuksiin etäisyyksiksi tulisi 220 mm yläpinnassa ja 180 mm alapinnassa, jolloin tuo ero ei olisi kovin suuri. Pienet erot taas voivat tuoda suuriakin eroja suurissa pinta-aloissa ja projekteissa.

Pilareiksi valitsin 500x500 mm pilarin ja ne ovat 4,5 m korkeita. Pilareissa betoni ja raudotteet ovat samaa lujuusluokkaa kuin laatussa, eli betoni on C30/37, sekä raudotteet B500B.

Ensimmäiseksi tarkastellaan perinteistä laattaa kannattelevia pilareita ja nämä kuormitukset näkyvät kuvassa 24. Jokainen pilari ottaa noin 64 m² alueelta kuormituksia ja lasketaan pilarille kuormitukset 10 kerroksesta. Kuvassa 25 nähdään kevennetyn laatan tuomat kuormitukset pilareille.

Rasitukset:

Pilarille tulee kuormat kaikista kerroksista

$$g_{betoni} := 25 \frac{kN}{m^3} \quad q_{toimisto} := 2.5 \frac{kN}{m^2} \quad h_{laatta} := 270 \text{ mm}$$

$$g_{vp} := g_{betoni} \cdot h_{laatta} = 6.75 \frac{kN}{m^2}$$

$$g_{k.vp} := (g_{vp} + q_{toimisto}) \cdot 1 \text{ m} = 9.25 \frac{kN}{m}$$

$$g_{k.vp} := (1.15 \cdot g_{vp} + 1.5 \cdot q_{toimisto}) = 11.513 \frac{kN}{m^2}$$

$$g_{pilari} := g_{betoni} \cdot h \cdot b \cdot L = 28.125 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} := ((g_{k.vp}) \cdot 8 \text{ m} \cdot 8 \text{ m} + g_{pilari}) \cdot 10 = 7649.25 \text{ kN}$$

Kuva 24: Perinteistä laattaa kannattelevien pilareiden kuormitukset. (Liite 2)

Rasitukset Unidome:

Pilarille tulee kuormat kaikista kymmenestä kerroksosta

$$g_{betoni} := 25 \frac{kN}{m^3} \quad q_{toimisto} := 2.5 \frac{kN}{m^2} \quad g_{unidomebetoni} := 24 \frac{kN}{m^3}$$

$$g_{vp} := g_{unidomebetoni} \cdot h_{laatta} = 6.432 \frac{kN}{m^2} \quad h_{laatta} := 268 \text{ mm}$$

$$g_{k.vp} := (g_{vp} + q_{toimisto}) \cdot 1 \text{ m} = 8.932 \frac{kN}{m}$$

$$g_{k.vp} := (1.15 \cdot g_{vp} + 1.5 \cdot q_{toimisto}) = 11.147 \frac{kN}{m^2}$$

$$g_{pilari} := g_{betoni} \cdot h \cdot b \cdot L = 28.125 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} := ((g_{k.vp}) \cdot 8 \text{ m} \cdot 8 \text{ m} + g_{pilari}) \cdot 10 = 7415.202 \text{ kN}$$

Kuva 25: Kevennetyn laatan kuormitukset pilareille. Huomataan jo pientä eroa kuormituksissa. (Liite 2)

Rasituksissa huomataan eroa ja suurin ero on pilarin puristusvoimassa, missä tulee yli 200 kN ero, kun laattaa on kevennetty. Mitä enemmän kerroksia on, niin sitä suuremmaksi ero kasvaa. Tästä voidaan todeta, että tässä tapauksessa jokainen lisäkerros toisi 20 kN lisäeron pilariin kohdistuvaan voimaan. Kuvassa 26 tarkastellaan perinteisen laatan pilarien raudoitustarvetta ja kuvassa 27 tarkastellaan kevennetyn laatan pilarien raudoitusta.

Lasketaan vaadittu rauditusala:

$$A_{s.vaad} := \omega \cdot b \cdot h \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 8895.25 \text{ mm}^2$$

Valitaan tangot:

T32: $\frac{A_{s.vaad}}{\pi \cdot \frac{(32 \text{ mm})^2}{4}} = 11.06$ $T32 := \pi \cdot \frac{(32 \text{ mm})^2}{4} = 804.248 \text{ mm}^2$

Käyttöaste

+

$$\frac{A_{s.vaad}}{12 \cdot T32} = 92.169\%$$

Kuva 26: Perinteisen laatan pilarien vaadittava rauditus. (Liite 2)

Lasketaan vaadittu rauditusala:

$$A_{s.vaad} := \omega \cdot b \cdot h \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 8308.75 \text{ mm}^2$$

Valitaan tangot:

T30: $\frac{A_{s.vaad}}{\pi \cdot \frac{(30 \text{ mm})^2}{4}} = 11.754$ $T30 := \pi \cdot \frac{(30 \text{ mm})^2}{4} = 706.858 \text{ mm}^2$

Käyttöaste

$$\frac{A_{s.vaad}}{12 \cdot T30} = 97.954\%$$

Kuva 27: Kevennetyn laatan pilareiden vaadittu rauditus. Eroja on havaittavissa perinteisen laatan pilareihin. (Liite 2)

Pilarien välillä syntyä eroja, sekä pystyin pienentämään raudoituskokoa kevennetyn laatan pilareissa. Vaadittu raudoitusmäärä tippui 586,5 mm². Tämä on melkein 7 % vähennys tarvittavassa raudoituksessa. Kuten käyttöasteista nähdään kevennetyn laatan pilareiden käyttöaste, on hieman korkeampi. Kun otetaan huomioon tuo, että perinteisen laatan pilareissa on 12 kappaletta 32 mm raudoitetta ja kevennetyn laatan pilareissa on 12 kappaletta 30 mm teräksiä saadaan eroksi 12 %. Kuvassa 28 vertaillaan raudoitemääriä.

$$T_{30} := \pi \cdot \frac{(30 \text{ mm})^2}{4} = 706.858 \text{ mm}^2$$

$$T_{32} := \pi \cdot \frac{(32 \text{ mm})^2}{4} = 804.248 \text{ mm}^2$$

$$\frac{12 \cdot T_{30}}{12 \cdot T_{32}} = 0.879$$

Kuva 28: Raudoitteiden vertailu perinteisen ja kevennetyn laatan pilarien välillä. (Liite 2)

5.2 Betonin määrän vertailu

Toimistorakennuksen yhden kerroksen pinta-ala on noin 576 m². Se on 24 m * 24 m. Unidome elementtejä ei voida sijoittaa kuin 1,5 m päähän tuesta ja reunoista. Unidome-elementtejä voidaan siis sijoittaa 351 m² alueelle, mikä on noin 61 % kokonaispinta-alasta.

Perinteisessä laatussa betonin kulutus olisi 103,68 kuutiota ja Unidome-laamalla betonia tarvittaisiin 11 kuutiota vähemmän, mikä on melkein 11 % vähennys betonissa. Tästä nähdään se, että mitä korkeampi rakennus, niin sitä enemmän saadaan säästettyä raudoitteissa verrattuna samankokoiseen perinteiseen paikallavalurunkoon nähden. Pilareissa betonin määrä ei vähentynyt, sillä niihin ei voida sijoittaa kevennyselementtejä ilman kantavuuden menetystä.

6 Keventeen vaikutukset rakenteeseen

Nyt kun olemme käyneet teoreettisia vaihtoehtoja läpi, niin katsomme, miten laatan kevennys tapahtuu käytännössä. Referenssikohteena käytän Pasilan Keskitornia, mikä on Suomen ensimmäinen ja vielä ainut suunnitteilla oleva rakennus Unidome-laattakeventeillä. Rakennuksen rakentaminen on tarkoitus aloittaa loppuvuonna 2024 ja ensimmäinen Unidome-laatta valetaan vuoden 2025 loppupuolella.

6.1 Pasilan Keskitornin perustietoja

Pasilan keskitornissa tulee olemaan 32 kerrosta ja se tulee olemaan 130 metriä korkea. Valmistuminen on ajoitettu vuoden 2027 loppuun. Projektin luonteen vuoksi en voi tässä opinnäytetyössä näyttää kohteen piirustuksia, mutta esittelen pelkistettyjä kuvia projektista, sekä selitän niistä tämän jälkeen sanallisesti. Keskitornin rakenne jakautuu kahteen osaan, toisessa osassa on käytetty laattakeventeitä ja toisessa ei olla käytetty. Tässä tutkimuksessa vertaillaan sitä puolta, missä on käytetty laattakeventeitä, jottei vertailusta tule liian pitkä. Seuraavassa kuvassa nähdään molemmat puolet tornitalosta. Pinta-ala on laskettu vain korkeamman tornin pinta-alan mukaan ja tähän tullaan vertaamaan sitä kuinka paljon Unidome-elementtiä, on käytetty prosentuaalisesti.



Kuva 30: Havainnekuva tulevasta tornista (Varma, 2022)

6.2 Pasilan tornitalon suunnittelu

Haastattelin Pasilan tornitalon suunnittelijaa liittyen kevennykseen ja itse projektiin ja kävimme mielenkiintoisia keskusteluja aiheesta. Haastattelukysymykset ja vastaukset löytyvät liitteestä 3. Kohde on alusta lähtien suunniteltu Unidome-elementtien avulla ja rakenteet on optimoitu kevennysten avulla. Tämä kohde onkin insinööritieteiden taidonnäyte ja siinä on ajateltu ympäristöä. Suunnittelulla saatiin poistettua 24 MN kuormitusta perustuksista. Kohteessa on paalupeustus ja kuormituksen vähentäminen vähensi paaluja kuulemma merkittävästi. Paalujen lisäksi kantavia pilareita optimoitiin myös. Kaikki tämä saavutettiin vähentämällä laattojen kuollutta kuormaa, eli betonia laatan keskellä, millä ei ole kuormaa kantavia ominaisuuksia.

Mainitsin aikaisemmin, että Unidome-elementtien yksi etu on saavuttaa pidempiä jännevälejä ja sitäkin etua on tässä projektissa käytetty, nyt suurin jänneväli on 10 metriä, kun ilman Unidome-elementtejä se olisi ollut vain 8 metriä. Tämä on vapauttanut arkkitehtisuunnitelmia, sekä samalla vähentänyt vielä

entisestään raudoitteiden määrää. Haastattelun perusteella raudoitteiden määrä on vähentynyt 7–8 % koko rakennuksessa, kun otetaan paalut, pilarit ja seinät huomioon.

6.3 Kerroksien betonimäärät

Kaikki kerrokset ovat keskenään samankokoisia, eroja tulee läpivientien kohdalla ja tämä vaikuttaa Unidome-elementtien mitoittamiseen rakenteeseen, koska elementin läpi ei voida viedä läpivientiä. Kaikki kerrokset, missä Unidome-keventeitä on ovat noin 1363 m² kokoisia, ja kun poistetaan rakennuksen keskellä olevat hissikuilut ja tekniikkatilat, niin saadaan lattiapinta-alaksi noin 1063 m². Kaikissa kerroksissa laatat ovat 28 cm paksuja ja niissä käytetään elementtiä nimeltä XS-140 (170), mikä kertoo sen, että keventeiden ontelot ovat 14 cm korkeita ja koko elementti on 17 cm korkea. Kuvassa 31 havainnekuva elementistä.

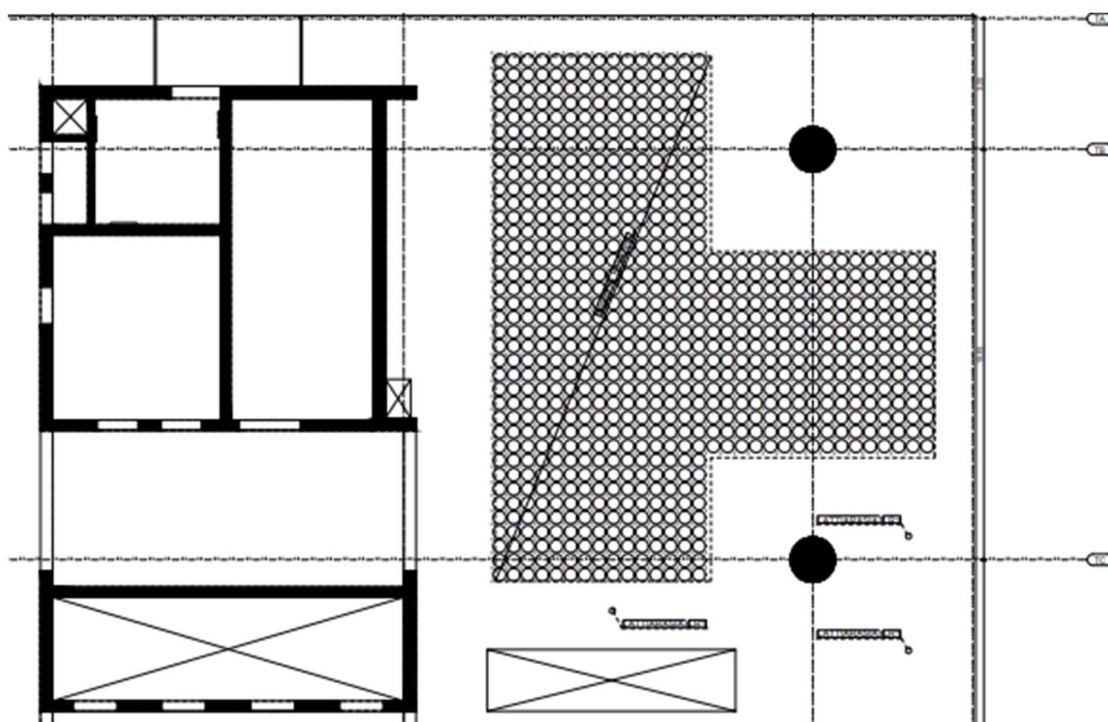


Kuva 31: Esimerkkikuva Unidome XS -elementeistä. (Unidome Deutschland GmbH, A)

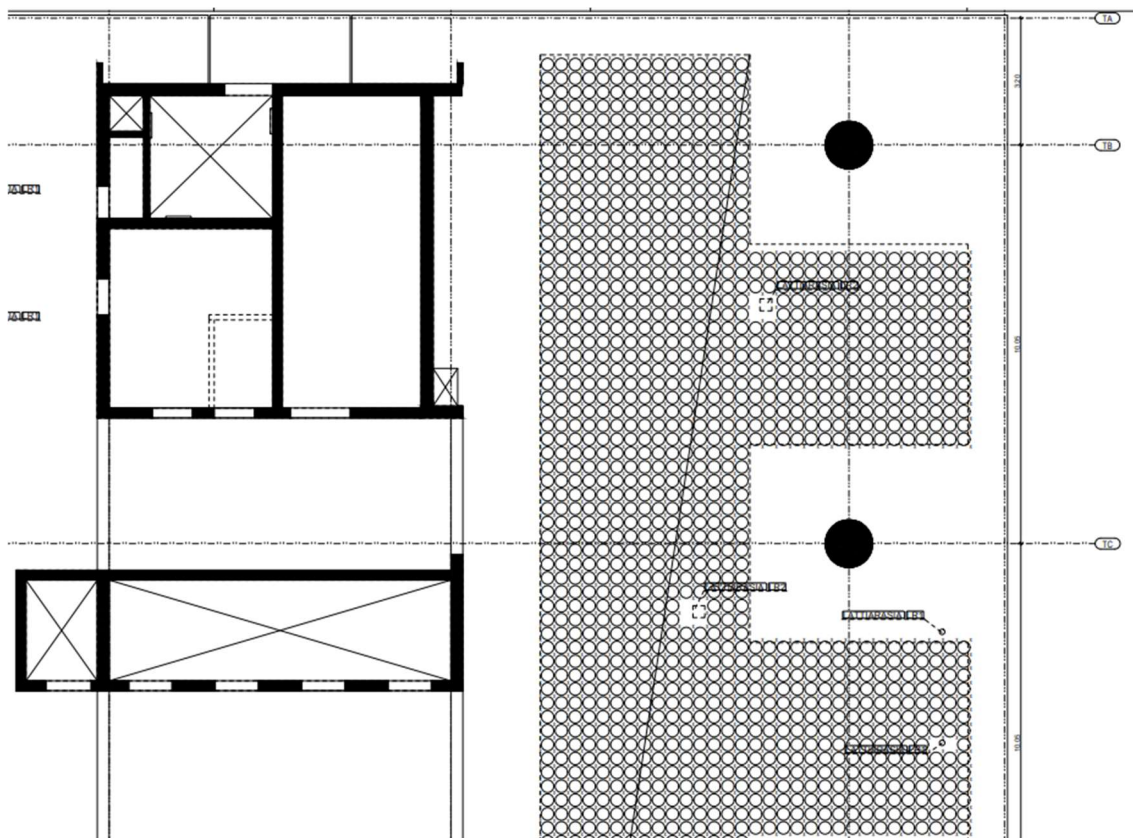
Kerros	Pinta-ala
1	0
2	266,89 m2
3	266,89 m2
4	532,88 m2
5	533,78 m2
6	440,39 m2
7	504,49 m2
8	494,54 m2
9	495,77 m2
10	504,49 m2
11	476,51 m2
12	504,49 m2
13	533,78 m2
14	533,78 m2
15	533,78 m2
16	533,78 m2
17	533,78 m2
18	533,78 m2
19	533,78 m2
20	533,78 m2
21	533,78 m2
22	533,78 m2
23	533,78 m2
24	533,78 m2
25	533,78 m2
26	533,78 m2
27	533,78 m2
28	0 m2
29	0
30	0
31	0
32	0
	13027,82

Kuva 32: Unidome-elementtien pinta-alat kerroksittain, laskettu ifc-mallin mukaan. (Liite 4)

Kuten edellisestä kuvasta nähdään, niin yhteensä Unidome-elementtejä tullaan asentamaan 13562 m²:n verran. Pieniä eroavaisuuksia tulee ensimmäisten kerrosten Unidome-elementtien määrissä. Tämä johtuu yleisesti ottaen rasioiden, läpivientien ja esimerkiksi porraskokkojen sijainnista. Kuvassa 33 havainnekuva kerroksen 11 elementtien sijoittelusta ja kuvassa 34 havainnekuva samasta kohtaa toisesta kerroksesta. Kuvista voidaan nähdä hyvin erot, joita syntyy läpivientien takia.



Kuva 33: Havainnekuva kerroksesta 11, kuvassa nähdään miten Unidome-elementtejä ei sijoiteta pilareiden läheisyyteen, jotta raudoitusten kanssa ei tule ongelmia, eikä lähelle läpivientejä samasta syystä. (Pasilan tornitalon projekti-pankki)



Kuva 34: Havainnekuvasssa nähdään miten kerroksessa 6 Unidome-elementit tulevat. (Pasilan tornitalon projektipankki)

Kuvasta 34 nähdään havainnekuva samasta kohtaan kuin edellisessä havainnekuvassta, mutta eri kerroksesta. Huomataan, että ilman läpivientiä tai aukkoa Unidome-elementtejä saadaan sijoitettua paljon enemmän, koska läpiviennin kohdalla elementtejä ei saa olla 1,5 metrin säteellä. Yksi neliö Unidome XS-140 (170) elementtiä syrjäyttää noin 0,075 kuutiota betonia. Seuraavaksi kuva 35 kerrosten betonimäärien säästöistä.

Kerros	Säästetty betoni kuutiossa
1	
2	20,01675
3	20,01675
4	39,966
5	40,0335
6	33,02925
7	37,83675
8	37,0905
9	37,18275
10	37,83675
11	35,73825
12	37,83675
13	40,0335
14	40,0335
15	40,0335
16	40,0335
17	40,0335
18	40,0335
19	40,0335
20	40,0335
21	40,0335
22	40,0335
23	40,0335
24	40,0335
25	40,0335
26	40,0335
27	40,0335
28	0
Yhteenä	977,0865

Kuva 35: Unidome-elementtien ansiosta säästetty betoni. (Liite 4)

Elementtejä tullaan käyttämään 26 kerroksessa ja betonia tullaan säästämään noin 977,09 m³. Tämä pelkästään vähentää rakenteen omaa painoa 2 442 725 kg, mikä vastaa 24000 kN kuormitusta. Tämä kuormitus on kokonaan pois kantavilta pilareilta ja perustuksista.

6.4 Vaikutukset ympäristöön

Betonin määrä on vähentynyt melkein 1000 m³ ja sen vaikutukset ympäristöön ovat suuret. Perinteisellä C30/37 betonilla A1-A3 päästöt (GWP) hiilidioksidin määrä vähenee Unidome-elementeillä 261 860,12 kg, verrattuna siihen, jos Pasilan tornitalo olisi tehty massiivirakenteena. Pasilan tornitalossa käytetään kuitenkin betonilaatua C50/60, jolloin GWP onkin 340 kg/m³. Tämä tarkoittaakin 332 210,6 kg hiilidioksidipäästövähennyksiä. (Suomen Betoniyhdistys ry, B.)

Vertailun vuoksi, että jos ajoneuvo kuluttaa seitsemän litraa bensiiniä 100 kilometrillä, niin hän tuottaa hiilidioksidipäästöjä 165 g/km, jolloin hänen täytyisi ajaa kaksi miljoonaa kilometriä, jotta kuluttaisi tuon säästetyn hiilidioksidimäärän.

7 Yhteenveto

Opinnäytetyössä tutkittiin yhtä tapaa vähentää betonirakentamisen hiilidioksidipäästöjä, eli Unidome-elementtien käyttöä paikallavalurakenteissa. Työtä rajattiin laattaan ja siihen, miten kevenne vaikuttaa betonin ja raudotteiden määrään. Mallikohde oli todella yksinkertaistettu versio, mikä toivottavasti antaisi monille osviittaa Unidome-elementtien mahdollisuuksista. Pasilan tornitalo on todella mielenkiintoinen kohde ja toivottavasti kevennystekniikkaa käytettäisiin jatkossakin korkeissa rakennuksissa. Pelkkä kevennyksen käyttö ei toki tuo kaikkia etuja, sillä rakenteiden raudotteet tulisi myös laskea uudelleen kuorman pudottua. Se olisi kestävä, edullisempaa ja se näyttäisi mihin loppuun mietityllä rakennesuunnittelulla voitaisiin saada aikaiseksi.

Kehitysideoita työstä tuli muutamakin. Työtä voisi viedä pidemmälle vertailemalla kantavien rakenteiden muutosta, kun rakennetta kevennetään tai miten työmaalla työvaiheet muuttuvat ja hankaloittaako kevenne työmaatoimintaa. Unidome-elementtien käyttö työmaalla alkaa loppuvuodesta 2025. Parvekkeet ovat myös paikkoja missä kevenne voisi tuoda suuriakin etuja raudotteisiin. Ulokeraudotteet kannattelevat koko parveke-elementtiä, eli mitä enemmän betonia parvekkeessa on, niin sitä vahvemman tai useamman kiinnikkeen tarvitsemme. Unidome-elementtien avulla voitaisiin vähentää tai pienentää kiinnikkeitä. Jos ajatellaan tätä laajemmin, niin tästä voisi kehittää suunnitteluohjeen tutkimalla mikä olisi kaikista vähähiilisin tapa rakentaa. Olisiko Unidome-elementtien käyttö jälkijännitetyissä laatoissa ja käyttäen vähähiilistä betonia?

Lähteet

Anttila Vesa. Puhtaampaa betonia. Ruskonbetonietela.fi, viitattu 9.8.2024 osoitteesta: <https://www.ruskonbetonietela.fi/puhtaampaa-betonia-osa-1-betoniteollisuuden-hiilidioksidipaastot/>

Betoniteollisuus ry, A. Betonilla on keskeinen rooli hiilineutraalisuustavoitteiden saavuttamisessa. Betoni.com, viitattu 20.10.2024 osoitteesta: <https://betoni.com/lehti/nakokulmat/betonilla-on-keskeinen-rooli-hiilineutraalisuustavoitteiden-saavuttamisessa/>

Betoniteollisuus ry, B. Sementti ja kasvihuonepäästöt. Betoni.com, viitattu 8.8.2024 osoitteesta: <https://betoni.com/tietoa-betonista/betoni-rakennusmateriaalina/sementti-seosaineiden-kaytto/>

Betoniteollisuus ry, C. Ympäristöselosteet. Betoni.com, viitattu 8.8.2024 osoitteesta: <https://betoni.com/betoni-ja-ymparisto/ymparistoselosteet/valmisbetonit/>

Betoniteollisuus ry, D. Raudoitteet. Betoni.com, viitattu 8.8.2024 osoitteesta: <https://betoni.com/tietoa-betonista/betoni-rakennusmateriaalina/raudoitteet/>

Betoniteollisuus ry, E. Betonityypit. Betoni.com, viitattu 8.8.2024 osoitteesta: <https://betoni.com/koti-betonista/rakennustapavaihtoehdot/paikallavalu/betonityypit-ja-oikean-betonin-valinta/>

Ilmasto-opas. Otsoni kasvihuonekaasuna. Ilmasto-opas.fi, viitattu 6.6.2024 osoitteesta: <https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/otsoni>

Kestävä kivitalo -yritysyhtymä, A. Pilarilaatta rakenteena, mitoitus ja raudoitusohjeita. Kivitalo.fi, viitattu 8.9.2024 osoitteesta: <https://www.kivitalo.fi/betonirakenteet/pilarilaatta-rakenteena-mitoitus-raudoitusohjeita/>

Kestävä kivitalo -yrittäjäyhtymä, B. Rakenneosien ja päämittojen valinta. Kivitalo.fi, viitattu 8.9.2024 osoitteesta: <https://www.kivitalo.fi/betonirakenteet/rakenneosien-paamittojen-valinta/>

Kestävä kivitalo -yrittäjäyhtymä, C. Runkojärjestelmät. Kivitalo.fi, viitattu 8.9.2024 osoitteesta: <https://www.kivitalo.fi/betonirakenteet/runkojarjestelmat/>

Pasilan tornitalon projektipankki.

Simon Eric, 2021. Life cycle analysis and expert report about environmental impact of biaxial reinforcement concrete slabs with integrated void formers type UNIDOME XS. Sulino.fi, viitattu 6.6.2024 osoitteesta: https://sulino.fi/wp-content/uploads/2024/10/Report-new-ES_Unidome-2021-01-final_signed_druck.pdf

Sulin Oy, A. Unidome – kevennetty laattaratkaisu. Sulino.fi, viitattu 9.9.2024 osoitteesta: <https://sulino.fi/tuote/unidome-kevennetty-laattaratkaisu/>

Sulin Oy, B. Unidome – Kestävän rakentamisen tulevaisuuden muotoilu. Sulino.fi, viitattu 9.9.2024 osoitteesta: https://sulino.fi/wp-content/uploads/2024/07/Unidome_fi_web.pdf

Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, Betonitekniikan oppikirja by 2021.

Suomen Betoniyhdistys ry, A. Runkorakenteet. Betonitieto.fi, viitattu 8.8.2024 osoitteesta: <https://www.betonitieto.fi/suunnittelijat/arkkitehdit/runkorakenteet.html>

Suomen Betoniyhdistys ry, B. By-vähähiilisyysluokitus. Vahahiilinenbetoni.fi, viitattu 8.9.2024 osoitteesta: <https://vahahiilinenbetoni.fi/>

Suomen Betoniyhdistys ry, B. Rasitusluokka. Betonitieto.fi, viitattu 20.10.2024 osoitteesta: <https://www.betonitieto.fi/kirjasto-ja-sanasto/betonisanasto/rasitusluokka.html>

Suomen ympäristökeskus 2022. Haitalliset päästöt ilmaan vähenevät. Ympäristö.fi, viitattu 6.6.2024 osoitteesta: <https://www.ymparisto.fi/fi/ympariston-tila/terve-ymparisto/paastot-ilmaan>

Tieteen termipankki, 2014. Lämmityspotentiaali. Tieteentermipankki.fi, viitattu 6.10.2024 osoitteesta: <https://tieteentermipankki.fi/wiki/Geofyysiikka:l%C3%A4mmityspotentiaali>

Unidome Deutschland GmbH, A. Products. Unidome.de, viitattu 7.7.2024 osoitteesta: <https://unidome.de/products/?lang=en>

Unidome Deutschland GmbH, B. Technology. Unidome.de, viitattu 7.7.2024 osoitteesta: <https://unidome.de/technology/?lang=en>

Unidome Deutschland GmbH, C. Unidome XS. Unidome.de, viitattu 7.7.2024 osoitteesta: <https://unidome.de/unidome-xs/?lang=en>

Unidome Deutschland GmbH, D. Unidome Pro. Unidome.de, viitattu 7.7.2024 osoitteesta: <https://unidome.de/unidome-pro/?lang=en>

Valtionneuvosto. Suomen kansallinen ilmastopolitiikka. Ym.fi, viitattu 4.6.2024 osoitteesta: <https://ym.fi/suomen-kansallinen-ilmastopolitiikka>

Varma, 2022. Varma suunnittelee Pasilan tornialueelle yhtä suurimmista toimitushankkeistaan – päävuokralaiseksi Elisa. Varma.fi, viitattu 7.7.2024 osoitteesta: <https://www.varma.fi/ajankohtaista/uutiset-ja-artikkelit/uutiset/2022-q1/varma-suunnittelee-pasilan-tornialueelle-yhta-suurimmista-toimitushankkeistaan---paavuokralaiseksi-elisa/>

Vuorinen, K., 2022. Terästeollisuudella keskeinen rooli ilmastokriisin ratkaisemisessa. Wwf.fi, viitattu 6.6.2024 osoitteesta: <https://wwf.fi/uutiset/2022/11/teras-teollisuudella-keskeinen-rooli-ilmastokriisin-ratkaisemisessa-vahahiiliseen-tuotantoon-investoitava-merkittavasti-jo-talla-vuosikymmenella/>

Rakennusteollisuus RT ry A. Vihreä siirtymä. Rt.fi, viitattu 7.6.2024 osoitteesta: <https://rt.fi/vaikuttaminen/vihrea-siirtyma/>

Rakennusteollisuus RT ry B. Vähähiilisyys. Rt.fi, viitattu 7.6.2024 osoitteesta: <https://rt.fi/vaikuttaminen/vihrea-siirtyma/vahahiilisyys/>

Rakennusteollisuus RT ry C. Vähähiilisyys. Rt.fi, viitattu 7.6.2024 osoitteesta: <https://rt.fi/tietoa-alasta/ymparisto-ja-ilmasto/kestava-rakentaminen/>

YIT Suomi Oy, 2021. Kestävä kehitys ja vihreä rakentaminen. Yit.fi, viitattu 5.6.2024 osoitteesta: <https://www.yit.fi/ytimessa/vastauksia-vihreasta-rakentamisesta>

WWF Suomi. Itämeren rehevöityminen. Wwf.fi, viitattu 6.6.2024 osoitteesta: <https://wwf.fi/elinymparistot/itameri/rehevoityminen/>

Paikallavalulaattojen taivutusraudoitukset

Tässä liitteessä käydään molempien laattojen taivutusraudoitusten mitoitukset läpi. Käsitellään ensin perinteisen laatan taivutusraudoitus

Lähtötietoja:

Betoni C30/37, laatta on 270 mm paksu ja kuormitukset tarkastellaan 1 m leveydeltä.

Yhteen suuntaan kantavan laatan mitoitus:

11 kerroksinen toimistorakennus

SFS-EN 1991-1-1, kuormaluokka B, toimistokuormat

välipohjille tuleva kuorma on $2,5 \text{ kN/m}^2$

Betoni C30/37

$$f_{ck} := 30 \text{ MPa} \quad a_{cc} := 0.85 \quad \gamma_c := 1.5$$

$$f_{cd} := a_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 17 \text{ MPa}$$

$$f_{ctm} := 2 \text{ MPa}$$

$$b := 1000 \text{ mm} \quad h := 270 \text{ mm}$$

$$c_{nom} := 25 \text{ mm}$$

Raudoitteet B500B

$$d := h - 2 \cdot c_{nom} = 220 \text{ mm}$$

$$f_{yk} := 500 \text{ MPa} \quad \gamma_s := 1.15$$

$$f_{yd} := \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 434.783 \text{ MPa}$$


Kuormat

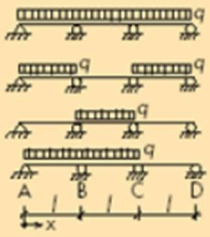
$$g_{betoni} := 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \quad g_{hyöty} := 2.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$g_{vp} := g_{betoni} \cdot h = 6.75 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$g_{k.vp} := g_{vp} \cdot 1 \text{ m} = 6.75 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$g_{k.vp} := (g_{vp} + g_{hyöty}) \cdot 1 \text{ m} = 9.25 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$M = k \cdot q \cdot l^2$ 	Momentti			Tukireaktio			Taipuma		
	M_{AB}	M_B	M_{BC}	R_A	R_B	R_C	w	x	
	0,070	-0,125	0,070	0,375	1,250	0,375	0,540	0,42	
0,096	-0,063	-0,025	0,438	0,625	0,063	0,920	0,47		
	k								

	M_{AB}	M_B	M_{BC}	M_C	M_{CD}	R_A	R_B	R_C	R_D	w	x
	0,080	-0,100	0,025	-0,100	0,080	0,400	0,100	1,100	0,400	0,690	0,45
	0,101	-0,050	-0,050	-0,050	0,101	-0,450	0,550	0,550	0,450	0,990	0,48
-0,025	-0,050	0,075	-0,050	-0,025	-0,050	0,550	0,550	-0,050	0,677	1,50	
-0,072	-0,117	0,053	-0,033	-0,017	-0,383	1,200	0,450	-0,033	0,586	0,43	

$$M_{Ed.ap} := -0.1 \cdot g_{k.vp} \cdot (8 \text{ m})^2 = -59.2 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{Ed.yvp} := 0.08 \cdot g_{k.vp} \cdot (8 \text{ m})^2 = 47.36 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{Ed.yvp} := 47.36 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad M_{Ed.ap} := 59.2 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Taivutusmitoitus:

$$\mu_{yvp} := \frac{M_{Ed.yvp}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = 0.058$$

$$\mu_{ap} := \frac{M_{Ed.ap}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = 0.072$$

$$\beta_{yvp} := 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \mu_{yvp}} = 0.059$$

$$\beta_{ap} := 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \mu_{ap}} = 0.075$$

$$z_{yvp} := d \cdot \left(1 - \frac{\beta_{yvp}}{2}\right) = 213.475 \text{ mm}$$

$$z_{ap} := d \cdot \left(1 - \frac{\beta_{ap}}{2}\right) = 211.778 \text{ mm}$$

$$A_{s.yvp} := \frac{M_{Ed.yvp}}{z_{yvp} \cdot f_{yd}} = 510.261 \text{ mm}^2$$

$$A_{s.ap} := \frac{M_{Ed.ap}}{z_{ap} \cdot f_{yd}} = 642.936 \text{ mm}^2$$

Tarkistetaan minimiraudoitusehdot:

$$A_{s.min} := \max \left(0.0013 \cdot b \cdot d, 0.26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d \right) = 286 \text{ mm}^2$$

Valitaan taivutusraudoitus:

Yläpinnan raudoitus tuilla

$$n_{yp} := \frac{A_{s.yp}}{\pi \cdot \frac{(12 \text{ mm})^2}{4}} = 4.512$$

$$kk_{yp} := \frac{1000 \text{ mm}}{n_{yp}} = 221.646 \text{ mm}$$

Alapinnan raudoitus kentässä

$$n_{ap} := \frac{A_{s.ap}}{\pi \cdot \frac{(12 \text{ mm})^2}{4}} = 5.685$$

$$kk_{ap} := \frac{1000 \text{ mm}}{n_{ap}} = 175.907 \text{ mm}$$

Leikkauskestävyys:

$$A_{sL} := A_{s.ap} \quad \rho_L := \frac{A_{sL}}{b \cdot d} = 0.003 \quad 0.003 \leq 0.02 \text{ OK!}$$

$$k := 1 + \sqrt{\frac{200 \text{ mm}}{d}} = 1.953 \quad 1.953 \leq 2.0 \text{ OK!}$$

$$V_{Rd.c0} := \frac{0.18}{\gamma_c} \cdot d \cdot k \cdot \left(100 \cdot \rho_L \cdot \frac{f_{ck}}{\text{MPa}} \right) \cdot \text{MPa} = 452.143 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$V_{Rd.cmin} := 0.035 \cdot d \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot \sqrt{\frac{f_{ck}}{\text{MPa}}} \cdot \text{MPa} = 115.149 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$V_{Rd.c} := \max(V_{Rd.c0}, V_{Rd.cmin}) = 452.143 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Seuraavaksi kevennetyn laatan taivutusraudoitusten laskelmat. Laatta on 2 mm ohuempi Unidomen suunnittelutyökalun mukaisesti.

Koska XS-140 (170) elementti vähentää betonia 1,88 kN/m³ neliötä kohden ja meidän elementtien määräala on noin 61 %, niin vähennykseksi tulisi 1,1468 kN/m³, mutta otetaan hieman turvallisen puolelle ja mitoitetaan uusi laatta vain 1 kN vähennyksellä.

Yhteen suuntaan kantavan laatan mitoitus:
11 kerroksinen toimistorakennus
SFS-EN 1991-1-1, kuormaluokka B, toimistokuormat
välipohjille tuleva kuorma on 2,5 kN/m²

Betoni C30/37

$$f_{ck} := 30 \text{ MPa} \quad a_{cc} := 0.85 \quad \gamma_c := 1.5$$

$$f_{cd} := a_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 17 \text{ MPa}$$

$$f_{ctm} := 2 \text{ MPa} \quad b := 1000 \text{ mm} \quad h := 268 \text{ mm}$$

Raudoitteet B500B

$$f_{yk} := 500 \text{ MPa} \quad \gamma_s := 1.15 \quad c_{nom} := 25 \text{ mm}$$

$$d := h - 2 \cdot c_{nom} = 218 \text{ mm}$$

$$f_{yd} := \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 434.783 \text{ MPa}$$


Kuormat

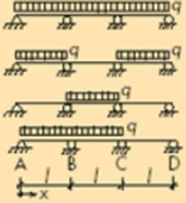
$$g_{betoni} := 24 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \quad g_{hyötty} := 2.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$g_{vp} := g_{betoni} \cdot h = 6.432 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$g_{k.vp} := g_{vp} \cdot 1 \text{ m} = 6.432 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$g_{k.vp} := (g_{vp} + g_{hyötty}) \cdot 1 \text{ m} = 8.932 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$M = k \cdot q \cdot l^2$ 	Momentti			Tukireaktio			Taipuma	
	M_{AB}	M_B	M_{BC}	R_A	R_B	R_C	w	x
	0,070	-0,125	0,070	0,375	1,250	0,375	0,540	0,42
	0,096	-0,063	-0,025	0,438	0,625	0,063	0,920	0,47
	k							

	M_{AB}	M_B	M_{BC}	M_C	M_{CD}	R_A	R_B	R_C	R_D	w	x
		0,080	-0,100	0,025	-0,100	0,080	0,400	0,100	1,100	0,400	0,690
	0,101	-0,050	-0,050	-0,050	0,101	-0,450	0,550	0,550	0,450	0,990	0,48
	-0,025	-0,050	0,075	-0,050	-0,025	-0,050	0,550	0,550	-0,050	0,677	1,50
	-0,072	-0,117	0,053	-0,033	-0,017	-0,383	1,200	0,450	-0,033	0,586	0,43

$$M_{Ed.ap} := -0.1 \cdot g_{k.vp} \cdot (8 \text{ m})^2 = -57.165 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{Ed.ypp} := 0.08 \cdot g_{k.vp} \cdot (8 \text{ m})^2 = 45.732 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{Ed.ypp} := 45.732 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad M_{Ed.ap} := 57.165 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Taivutusmitoitus:

$$\mu_{yp} := \frac{M_{Ed.ypp}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = 0.057$$

$$\mu_{ap} := \frac{M_{Ed.ap}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = 0.071$$

$$\beta_{yp} := 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \mu_{yp}} = 0.058$$

$$\beta_{ap} := 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \mu_{ap}} = 0.073$$

$$z_{yp} := d \cdot \left(1 - \frac{\beta_{yp}}{2}\right) = 211.645 \text{ mm}$$

$$z_{ap} := d \cdot \left(1 - \frac{\beta_{ap}}{2}\right) = 209.993 \text{ mm}$$

$$A_{s.ypp} := \frac{M_{Ed.ypp}}{z_{yp} \cdot f_{yd}} = 496.982 \text{ mm}^2$$

$$A_{s.ap} := \frac{M_{Ed.ap}}{z_{ap} \cdot f_{yd}} = 626.112 \text{ mm}^2$$

Tarkistetaan minimirauhoitusehdot:

$$A_{s.min} := \max\left(0.0013 \cdot b \cdot d, 0.26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d\right) = 283.4 \text{ mm}^2$$

Valitaan taivutusraudoitus:

Yläpinnan raudoitus tuilla

$$n_{yp} := \frac{A_{s,yp}}{\pi \cdot \frac{(12 \text{ mm})^2}{4}} = 4.394$$

$$kk_{yp} := \frac{1000 \text{ mm}}{n_{yp}} = 227.568 \text{ mm}$$

Alapinnan raudoitus kentässä

$$n_{ap} := \frac{A_{s,ap}}{\pi \cdot \frac{(12 \text{ mm})^2}{4}} = 5.536$$

$$kk_{ap} := \frac{1000 \text{ mm}}{n_{ap}} = 180.634 \text{ mm}$$

Leikkauskestävyys:

$$A_{sL} := A_{s,ap} \quad \rho_L := \frac{A_{sL}}{b \cdot d} = 0.003 \quad 0.003 \leq 0.02 \text{ OK!}$$

$$k := 1 + \sqrt{\frac{200 \text{ mm}}{d}} = 1.958 \quad 1.958 \leq 2.0 \text{ OK!}$$

$$V_{Rd.c0} := \frac{0.18}{\gamma_c} \cdot d \cdot k \cdot \left(100 \cdot \rho_L \cdot \frac{f_{ck}}{\text{MPa}} \right) \cdot \text{MPa} = 441.295 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$V_{Rd.cmin} := 0.035 \cdot d \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot \sqrt{\frac{f_{ck}}{\text{MPa}}} \cdot \text{MPa} = 114.484 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$V_{Rd.c} := \max(V_{Rd.c0}, V_{Rd.cmin}) = 441.295 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Betonipilareiden raudoitusten mitoitus

Betonipilareiden raudoitusten mitoitus perinteiselle paikallavalulaatalle ja kevennetylle laatalle. Katsotaan ensimmäiseksi perinteisen laatan pilarien raudoitteet ja sitten kevennetyn laatan pilarien raudoitteet.

Pilarien mitoitus. Pilarit ottavat kuormaa 64m^2 alueelta ja laskenta on suoritettu niin, että pilari ottaa kuormituksia 11 kerroksesta.

Pilareiden mitoitus:

Pilarin mitat:

$$L := 4.5 \text{ m} \quad b := 500 \text{ mm} \quad h := 500 \text{ mm} \quad c_{nom} := 30 \text{ mm}$$

Betoni C30/37

$$a_{cc} := 0.85$$

$$f_{ck} := 30 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} := a_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 17 \text{ MPa}$$

$$\gamma_c := 1.5$$

Raudoitteet B500B

$$f_{yk} := 500 \text{ MPa}$$

$$\gamma_s := 1.15$$

$$f_{yd} := \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 434.783 \text{ MPa}$$

Rasitukset:

Pilarille tulee kuormat kaikista kerroksista

$$g_{betoni} := 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \quad q_{toimisto} := 2.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$h_{laatta} := 270 \text{ mm}$$

$$g_{vp} := g_{betoni} \cdot h_{laatta} = 6.75 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$g_{k.vp} := (g_{vp} + q_{toimisto}) \cdot 1 \text{ m} = 9.25 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$g_{k.vp} := (1.15 \cdot g_{vp} + 1.5 \cdot q_{toimisto}) = 11.513 \frac{kN}{m^2}$$

$$g_{pilari} := g_{betoni} \cdot h \cdot b \cdot L = 28.125 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} := ((g_{k.vp}) \cdot 8 \text{ m} \cdot 8 \text{ m} + g_{pilari}) \cdot 10 = 7649.25 \text{ kN}$$

1. Kertaluvun momentti Y-suunnassa:

$$M_{ylä} := 0 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Minimimomentti:

$$e_0 := \max\left(\frac{h}{30}, 20 \text{ mm}\right) = 20 \text{ mm}$$

$$M_{0.min} := e_0 \cdot N_{Ed} = 152.985 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Poikkileikkaussuureet:

-Oletetaan päätangot T32

$$\phi_L := 32 \text{ mm}$$

-Oletetaan haat T8

$$\phi_h := 8 \text{ mm}$$

$$d' := c_{nom} + \phi_h + \frac{\phi_L}{2} = 54 \text{ mm}$$

Tehollinen korkeus

$$d := h - d' = 446 \text{ mm}$$

Nurjahduspituus:

Sivusiirtyvä pilari, yläpäässä nivel, alapäässä jäykkä tuki

$$k_1 := \infty \quad (\text{yläpään tuennasta riippuva kerroin})$$

$$k_2 := 0.1 \quad (\text{alapään tuennasta riippuva kerroin})$$

$$\text{Nurjahduspituuskerroin} \quad k_0 := 0.7$$

Nurjahduspituus

$$L_0 := k_0 \cdot L = 3.15 \text{ m}$$

Hoikkuusluku:

Suorakaidepoikkileikkaus

$$i := \frac{h}{\sqrt{12}} = 144.338 \text{ mm}$$

$$\lambda := \frac{L_0}{i} = 21.824$$

Rajahoikkuus:

Suhteellinen normaalivoima

$$n := \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = 1.8$$

$$A := 0.7 \quad B := 1.1 \quad C := 0.7$$

$$\lambda_{lim} := 20 \cdot A \cdot B \cdot C \cdot \frac{1}{\sqrt{n}} = 8.035$$

Rajahoikkuus \ll hoikkuus

--> 2. kertaluvun vaikutukset tulee ottaa huomioon

Tehollinen korkeus

$$d := h - d' = 446 \text{ mm}$$

Nurjahduspituus:

Sivusiirtyvä pilari, yläpäässä nivel, alapäässä jäykkä tuki

$$k_1 := \infty \quad (\text{yläpään tuennasta riippuva kerroin})$$

$$k_2 := 0.1 \quad (\text{alapään tuennasta riippuva kerroin})$$

$$\text{Nurjahduspituuskerroin} \quad k_0 := 0.7$$

Nurjahduspituus

$$L_0 := k_0 \cdot L = 3.15 \text{ m}$$

Hoikkuusluku:

Suorakaidepoikkileikkaus

$$i := \frac{h}{\sqrt{12}} = 144.338 \text{ mm}$$

$$\lambda := \frac{L_0}{i} = 21.824$$

Rajahoikkuus:

Suhteellinen normaalivoima

$$n := \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = 1.8$$

$$A := 0.7 \quad B := 1.1 \quad C := 0.7$$

$$\lambda_{lim} := 20 \cdot A \cdot B \cdot C \cdot \frac{1}{\sqrt{n}} = 8.035$$

Rajahoikkuus \ll hoikkuus

--> 2. kertaluvun vaikutukset tulee ottaa huomioon

Poikkileikkauksen mitoitus:

Käytetään valmiita käyrästöjä

Tarvitaan suhteelliset voimasuureet

$$n = 1.8$$

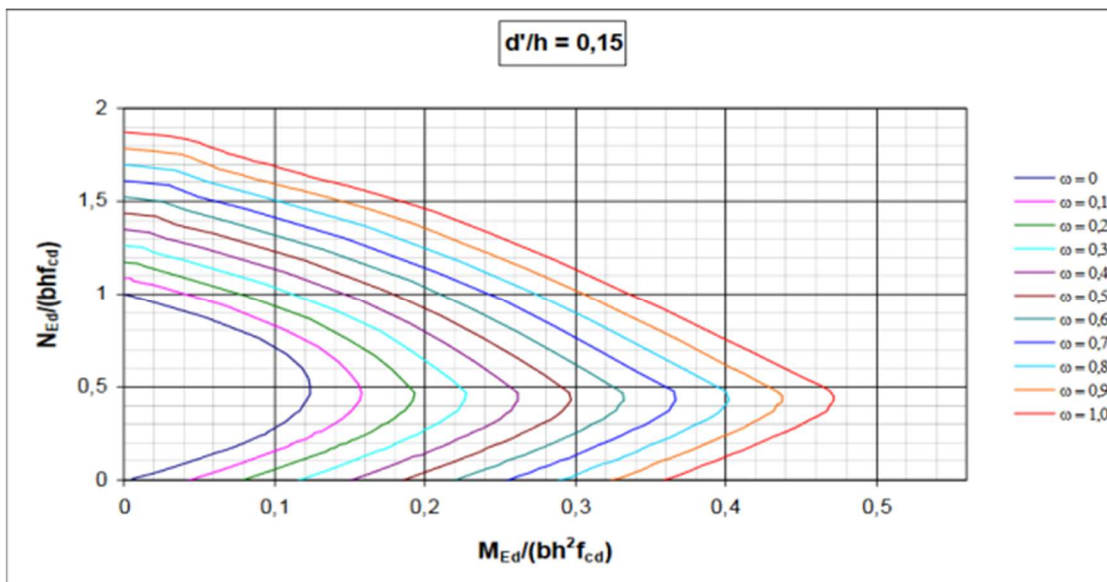
$$\mu := \frac{M_{Ed}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = 0.067$$

Valitaan käyrästö:

$$\frac{d'}{h} = 0.108 \quad \text{--> Käyrästö } 0,10 \text{ ei riitä --> käytetään } 0,15$$

$$\omega := 0.91$$

Käyrästö:



Lasketaan vaadittu rauditusala:

$$A_{s.vaad} := \omega \cdot b \cdot h \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 8895.25 \text{ mm}^2$$

Valitaan tangot:

$$T32: \quad \frac{A_{s.vaad}}{\pi \cdot \frac{(32 \text{ mm})^2}{4}} = 11.06$$

$$T32 := \pi \cdot \frac{(32 \text{ mm})^2}{4} = 804.248 \text{ mm}^2$$

Käyttöaste

+

$$\frac{A_{s.vaad}}{12 \cdot T32} = 92.169\%$$

Tarkastellaan seuraavaksi kevennetyn laatan pilarien raudoituksia.

Pilareiden mitoitus:

Pilarin mitat:

$$L := 4.5 \text{ m} \quad b := 500 \text{ mm} \quad h := 500 \text{ mm} \quad c_{nom} := 30 \text{ mm}$$

Betoni C30/37

$$a_{cc} := 0.85$$

$$\gamma_c := 1.5$$

$$f_{ck} := 30 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} := a_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 17 \text{ MPa}$$

Raudoitteet B500B

$$f_{yk} := 500 \text{ MPa} \quad \gamma_s := 1.15$$

$$f_{yd} := \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 434.783 \text{ MPa}$$

Rasitukset Unidome:

Pilarille tulee kuormat kaikista kymmenestä kerroksosta

$$g_{betoni} := 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \quad q_{toimisto} := 2.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad g_{unidomebetoni} := 24 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$g_{vp} := g_{unidomebetoni} \cdot h_{laatta} = 6.432 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad h_{laatta} := 268 \text{ mm}$$

$$g_{k.vp} := (g_{vp} + q_{toimisto}) \cdot 1 \text{ m} = 8.932 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$g_{k.vp} := (1.15 \cdot g_{vp} + 1.5 \cdot q_{toimisto}) = 11.147 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$g_{pilari} := g_{betoni} \cdot h \cdot b \cdot L = 28.125 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} := ((g_{k.vp}) \cdot 8 \text{ m} \cdot 8 \text{ m} + g_{pilari}) \cdot 10 = 7415.202 \text{ kN}$$

1. Kertaluvun momentti Y-suunnassa:

$$M_{ylä} := 0 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Minimimomentti:

$$e_0 := \max\left(\frac{h}{30}, 20 \text{ mm}\right) = 20 \text{ mm}$$

$$M_{0.min} := e_0 \cdot N_{Ed} = 148.304 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Poikkileikkaussuureet:

-Oletetaan päätangot T30

$$\phi_L := 30 \text{ mm}$$

-Oletetaan haat T8

$$\phi_h := 8 \text{ mm}$$

$$d' := c_{nom} + \phi_h + \frac{\phi_L}{2} = 53 \text{ mm}$$

Tehollinen korkeus

$$d := h - d' = 447 \text{ mm}$$

Nurjahduspituus:

Sivusiirtyvä pilari, yläpäässä nivel, alapäässä jäykkä tuki

$$k_1 := \infty \quad (\text{yläpään tuennasta riippuva kerroin})$$

$$k_2 := 0.1 \quad (\text{alapään tuennasta riippuva kerroin})$$

$$\text{Nurjahduspituuskerroin} \quad k_0 := 0.7$$

Nurjahduspituus

$$L_0 := k_0 \cdot L = 3.15 \text{ m}$$

Hoikkuusluku:

Suorakaidepoikkileikkaus

$$i := \frac{h}{\sqrt{12}} = 144.338 \text{ mm}$$

$$\lambda := \frac{L_0}{i} = 21.824$$

Rajahoikkuus:

Suhteellinen normaalivoima

$$n := \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = 1.745$$

$$A := 0.7 \quad B := 1.1 \quad C := 0.7$$

$$\lambda_{lim} := 20 \cdot A \cdot B \cdot C \cdot \frac{1}{\sqrt{n}} = 8.161$$

Rajahoikkuus << hoikkuus

--> 2. kertaluvun vaikutukset tulee ottaa huomioon

1. kertaluvun mitoitusmomentti:

Rakenteen mittaepätarkkuuksista johtuva lisä

$$a_h := \frac{2}{\sqrt{\frac{L}{m}}} = 0.943$$

$$\theta_0 := \frac{1}{200} \quad a_m := 1$$

$$\theta_i := \theta_0 \cdot a_h \cdot a_m = 0.005$$

$$e_i := \theta_i \cdot \frac{L_0}{2} = 7.425 \text{ mm}$$

--> Rasitetumman pään korjattu momentti

$$M_{02} := e_i \cdot N_{Ed} = 55.055 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Pilarin kriittinen poikkileikkaus on pilarin alapäässä

--> alapään momentti = 1. kertaluvun mitoitusmomentti

$$M_{0Ed} := M_{02} = 55.055 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

2. kertaluvun vaikutusten laskenta:

Käytetään nimellisen kaarevuuden menetelmää

Kaarevuus:

Tasapainomurtoa vastaava kaarevuus

$$\frac{1}{r_0} = \frac{\varepsilon_{yd}}{0.45 \cdot d} = \frac{0.00217}{0.45 \cdot 426 \text{ mm}} = \frac{1}{88.3 \text{ m}}$$

Aluksi käytetään korjauskertoimia

$$K_r := 1$$

$$K_\varphi := 1$$

$$\frac{1}{r} = K_r \cdot K_\varphi \cdot \frac{1}{r_0} = \frac{1}{88.3 \text{ m}}$$

Taipuma:

$$c := 10$$

$$e_2 := \frac{1}{88.3 \text{ m}} \cdot \frac{L_0^2}{c} = 11.237 \text{ mm}$$

2. kertaluvun momentti:

$$M_2 := e_2 \cdot N_{Ed} = 83.327 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Mitoitusmomentti:

$$M_{Ed} := M_{0Ed} + M_2 = 138.382 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Poikkileikkauksen mitoitus:

Käytetään valmiita käyrästöjä

Tarvitaan suhteelliset voimasuureet

$$n = 1.745$$

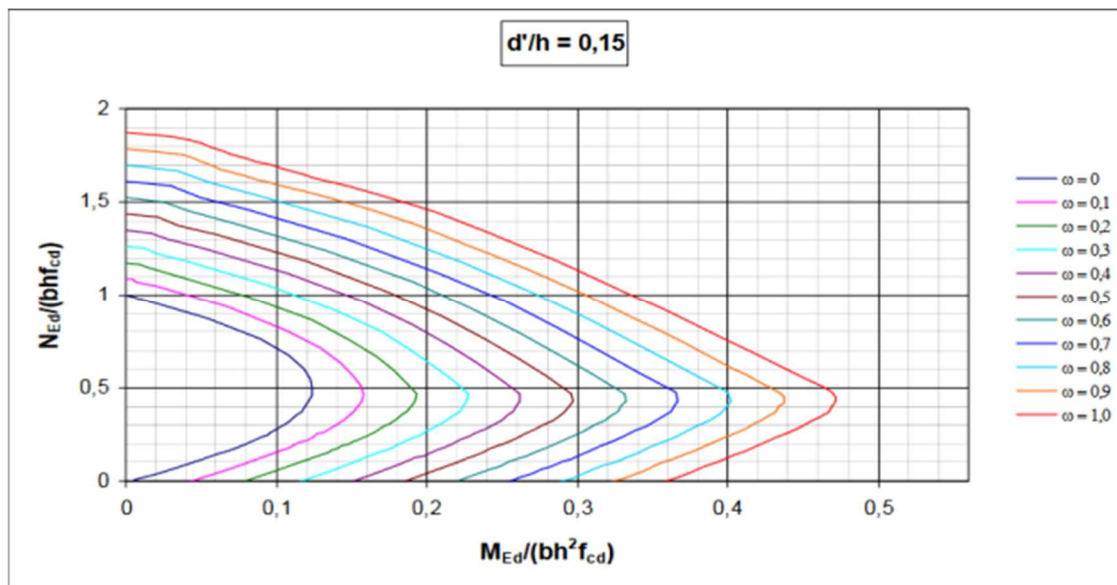
$$\mu := \frac{M_{Ed}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = 0.065$$

Valitaan käyrästö:

$$\frac{d'}{h} = 0.106 \quad \text{--> Käyrästö } 0,10 \text{ ei riitä --> käytetään } 0,15$$

$$\omega := 0.85$$

Käyrästö:



Lasketaan vaadittu rauditusala:

$$A_{s.vaad} := \omega \cdot b \cdot h \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 8308.75 \text{ mm}^2$$

Valitaan tangot:

$$T30: \quad \frac{A_{s.vaad}}{\pi \cdot \frac{(30 \text{ mm})^2}{4}} = 11.754$$
$$T30 := \pi \cdot \frac{(30 \text{ mm})^2}{4} = 706.858 \text{ mm}^2$$

Käyttöaste

$$\frac{A_{s.vaad}}{12 \cdot T30} = 97.954\%$$

$$T30 := \pi \cdot \frac{(30 \text{ mm})^2}{4} = 706.858 \text{ mm}^2$$

$$T32 := \pi \cdot \frac{(32 \text{ mm})^2}{4} = 804.248 \text{ mm}^2$$

$$\frac{12 \cdot T30}{12 \cdot T32} = 0.879$$

Pasilan Tornitalon rakennesuunnittelijan haastattelu

Kysymykset ja vastaukset:

1. Tehtiinkö suunnitelmat ensin ilman keventeitä, vai heti alusta lähtien Unidome-elementeillä?

Alusta lähtien on suunniteltu Unidome-elementtien avulla. Säästettiin tällä tavoin myös aikaa, kun olisi ensin suunniteltu perinteisellä laatala ja tämän jälkeen kevennettynä, mikä olisi johtanut kaikkien rakenteiden uudelleen laskemiseen ja piirtämiseen.

2. Suunnitelmissa laattojen paksuus on 28 cm. Pienentyikö laatan paksuus 30 cm -> 28 cm, niin kuin on mahdollista toteuttaa Unidomen suunnittelijoiden mukaan, vai oliko se jo alusta lähtien 28 cm.

Alusta lähtien menty 28 cm laatala, ilman kevennettä olisi myös mitä luultavammin menty 28 cm laatala, mutta jänneväleissä olisi tullut jotain eroa.

3. Vähentyikö raudoitteiden määrä merkittävästi, vai pysyttiinkö samassa vain vähentäen betonin määrää? Erityisesti laatan raudoitteissa, mutta myös kantavien pilarien ja seinien raudoituksen muutos kiinnostaa.

Koska rakenteet on alusta asti mitoitettu keventeiden kanssa niin ei periaatteessa vähentynyt alkuperäisesti, mutta verrattuna perinteiseen tapaan, niin raudoitteiden määrä väheni 5–8 %, sekä paaluja saatiin vähennettyä.

4. Kun rakennetta kevennettiin, niin tuliko jotain uusia ongelmia esimerkiksi stabiilisuden kanssa?

Ei tullut ongelmia asian suhteen.

5. Pidentyikö jännevälit kevennyksen ansiosta tai saatiinko kevennyksestä muuta hyötyä, kuin ympäristölliset säästöt?

Jänneväli kasvoi periaatteessa 2 m. Perinteisellä laatala jänneväli olisi ollut kahdeksan metriä, mutta nyt se on 10 metriä, mutta luultavasti olisi tehty jälkijännitetty laatta, jolloin olisi päästy samoihin jännemittoihin.

6. Miltä tämäntapainen ratkaisu teidän mielestänne vaikuttaa, olisiko jotain kehitettävää?

Suunnittelija piti tästä tuotteesta ja yrittää suunnitella kaikki rakennukset tämän avulla eikä hänellä tullut mitään kehitysideoita.

Pasilan tornitalon Unidome-elementtien pinta-alat laskettuna IFC-mallin mukaan

Pasilan tornin unidomet

Kerros	Pinta-ala	Kerros	Säästetty betoni kuutiossa
1	0	1	
2	266,89 m2	2	20,01675
3	266,89 m2	3	20,01675
4	532,88 m2	4	39,966
5	533,78 m2	5	40,0335
6	440,39 m2	6	33,02925
7	504,49 m2	7	37,83675
8	494,54 m2	8	37,0905
9	495,77 m2	9	37,18275
10	504,49 m2	10	37,83675
11	476,51 m2	11	35,73825
12	504,49 m2	12	37,83675
13	533,78 m2	13	40,0335
14	533,78 m2	14	40,0335
15	533,78 m2	15	40,0335
16	533,78 m2	16	40,0335
17	533,78 m2	17	40,0335
18	533,78 m2	18	40,0335
19	533,78 m2	19	40,0335
20	533,78 m2	20	40,0335
21	533,78 m2	21	40,0335
22	533,78 m2	22	40,0335
23	533,78 m2	23	40,0335
24	533,78 m2	24	40,0335
25	533,78 m2	25	40,0335
26	533,78 m2	26	40,0335
27	533,78 m2	27	40,0335
28	0 m2	28	0
29	0		
30	0		
31	0		
32	0		
	13027,82		Yhteensä 977,0865
			Käytetty kerrointa 0,075 neliötä kohden