

Opinnäytetyö AMK

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutusohjelma

Talonrakennustekniikka

2019

Eetu Jäntti

MAANALAISEN PAALULAATTAPERUSTUKSEN SUUNNITTELU

– ABC Nummela / CarWash

Eetu Jänntti

MAANALAISEN PAALULAATTAPERUSTUKSEN SUUNNITTELU

– ABC Nummela / CarWash

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella kantava teräsbetoninen paalulaattaperustus ABC Nummela CarWash -autopesuhalliin ja tavoitteena oli laatia paalulaatan rakentamiseen tarvittavat rakennepiirustukset urakkalaskentaa varten. Pesuhalli rakennetaan Nummelan Prisman pysäköintialueelle Naaranpajuntien ja rautatien väliselle tontille. Tontti sijaitsee Nummelanharjun pohjavesialueen läheisyydessä, joten kemikaalien pääsy pohjaveteen tulee estää rakennuksen alle asennettavalla HDPE-muovikalvolla. Kohteessa käytettävät teräsputkipaalut eivät saa läpäistä kalvoa, joten paalulaatta tulee sijoittaa kalvon alle, jolloin se jää kokonaisuudessaan maan alle.

Työn tilaajana oli Suur-Seudun Osuuskauppa ja toimeksiantajana Sweco Rakennetekniikka Oy. Kohteesta on tehty pohjatutkimukset ja laadittu arkkitehtipiirustukset, joita yhdessä mallikohteen ABC Halikon piirustuksien kanssa käytettiin suunnittelun lähtötietoina. Rakennus koostuu kantavasta teräsrungosta, ThermiSol seinä- ja kattoelementeistä, maanvaraisesta betonilattiasta, peruspalkeista ja kantavasta paalulaatasta, jonka suunnittelua tarkastellaan tässä työssä. Kohde mallinnettiin ja piirustukset tuotettiin Tekla Structures 2018i -3D-tietomallinnusohjelmalla.

Paalulaatta suunniteltiin eurokoodien mukaisesti mitoitus- ja laskentaohjelmia apuna käyttäen. Työssä esitellään yleistä tietoa paalulaattaperustuksista, rakennesuunnitteluun ja paalulaatan mitoitukseen liittyvää teoriaa, suunnittelun vaiheet ja tulokset ja lopussa vertaillaan mitoitus- ja laskentaohjelmista saatujen raudoitustietojen ja taivutusmomenttien arvoja. Työn tuloksena saatiin suunniteltua paalulaatta sekä tuotettua tarvittavat piirustukset.

ASIASANAT:

paalulaatta, perustus, pohjavesialue, rakennesuunnittelu, rakennetekniikka, teräsbetonirakenteet

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Civil Engineering / Structural Engineering

2019 | 39 pages, 36 pages in appendices

Eetu Jäntti

DESIGNING AN UNDERGROUND PILE SLAB FOUNDATION

– ABC Nummela / CarWash

The object of this thesis was to design a load bearing reinforced concrete pile slab foundation for ABC Nummela CarWash and produce the necessary drawings for the contract calculation phase. The car wash will be built on the parking lot of Prisma Nummela, between street Naaranpajuntie and the railway. The lot is located near Nummelanharju groundwater area, so the leaking of chemicals produced by car washing must be prevented with an underground HDPE plastic film. The piles of the foundation are made of steel and they are not allowed to penetrate the plastic film, so the pile slab must be built underground under the plastic film.

The design task was ordered by Suur-Seudun Osuuskauppa and this thesis was commissioned by Sweco Rakennetekniikka Oy. The structural designing was based on the architectural plans of the construction project, the geotechnical examination of the building lot and the structural drawings of a similar construction project ABC Halikko. The building will consist of a steel frame, ThermiSol façade and roof elements, concrete floor and beams, and the underground load bearing pile slab. The building was modeled and the drawings were produced by using Tekla Structures 2018i building information modeling (BIM) software.

The pile slab was designed according to the Eurocodes using different calculation software programs. This thesis includes general information about pile slabs, a theoretical section of structural designing in general, designing of the pile slab and at the end of the thesis, there is a comparison of the software calculation results. As the result of this thesis, the pile slab was designed successfully, and the necessary drawings were produced.

KEYWORDS:

foundation, groundwater area, pile slab, reinforced concrete structures, structural design, structural engineering

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	7
2 TYÖN LÄHTÖTIEDOT	8
2.1 Pesuhalli	8
2.2 Pohjaolosuhteet	9
2.3 Perustukset	9
3 PAALULAATTA	11
3.1 Teräspaalut	11
3.2 Laattatyypit	12
3.2.1 Tasapaksu laatta	12
3.2.2 Sienilaatta	12
3.2.3 Palkkilaatta	13
4 TYÖN SUUNNITTELUPERUSTEET	14
4.1 Seuraamusluokat	14
4.2 Käyttöikäsuunnittelu	14
4.3 Betonipeite	15
4.4 Kuormat	15
4.5 Rajatilamitoitus	16
4.5.1 Murtorajatila	17
4.5.2 Käyttörajatila	17
4.6 Teräsbetonirakenteet	18
4.6.1 Lujuudet	18
4.6.2 Raudoitus	19
4.6.3 Laatan lävistysmurtuma	21
4.6.4 Halkeamaleveyden rajoittaminen	21
5 OPINNÄYTETYÖN TARKOITUS JA TAVOITTEET	23
6 TYÖN TOTEUTUS	24
6.1 Paalulaatan suunnittelun vaiheet	24
6.2 Suunnitteluluokitukset ja rakennetiedot	24
6.3 Paalulaatan tyyppi ja mitat	25
6.4 Kuormat ja paalut	26

6.5 Lävistysmitoitus	27
6.6 Mitoituksessa käytettävät voimasuureet	28
6.7 Palkkikaistan raudoitus	29
6.7.1 Taivutusraudoitus	29
6.7.2 Leikkausraudoitus	30
6.8 Laatan raudoitus	31
7 SUUNNITTELUN YHTEENVETO JA TULOSTEN VERTAILU	33
7.1 Rakennepiirustukset	33
7.2 Paalulaatan raudoitus	33
7.3 Taivutusmomentit	35
8 LOPUKSI	37
LÄHTEET	39

LIITTEET

- Liite 1. Tuotetut rakennepiirustukset.
- Liite 2. Arkkitehdin pääpiirustukset.
- Liite 3. Kuormat.
- Liite 4. FEM-Design 17 voimasuureet.
- Liite 5. FEM-Design 17 automaattinen raudoitus.
- Liite 6. Laatan lävistysmitoitus.
- Liite 7. Laatan raudoituksen laskenta.
- Liite 8. Palkkikaistan raudoituksen laskenta.
- Liite 9. PupaX5 palkkikaistan rasitukset.
- Liite 10. PupaX5 laatan rasitukset.
- Liite 11. Rasitusluokan ja betonipeitteen määrittely.

KAAVAT

Kaava 1. Betonin puristuslujuuden mitoitusarvo.	18
Kaava 2. Teräksen lujuuden mitoitusarvo.	19
Kaava 3. Raudoituksen mitoitus murtorajatilassa.	20

KUVAT

Kuva 1. Tekla Structures -tietomallin 3D-näkymä pesuhallista.	9
Kuva 2. ABC Halikon alapohjaleikkaus.	10
Kuva 3. Tehollinen korkeus ja muodonmuutos- ja jännityskuviot murtorajatilassa.	20
Kuva 4. Suunnitteluluokitukset ja rakenneosataulukko.	24
Kuva 5. Rakennuksen alapohjaleikkaus a – a.	26
Kuva 6. Paalutuspiirustus vasen yläkulma.	27
Kuva 7. Paalulaatan tasopiirustus vasen yläkulma.	28
Kuva 8. Palkkikaistan momenttikuvio.	30
Kuva 9. Palkkikaistan leikkausvoimakuvio.	31
Kuva 10. Paalulaatan raudoitus.	32

TAULUKOT

Taulukko 1. Seuraamus- ja luotettavuusluokat ja kuormakertoimet.	14
Taulukko 2. Esimerkkejä kuormien luokituksesta.	16
Taulukko 3. Yhdistelykertoimien suositusarvot rakennuksille.	16
Taulukko 4. Kuormien yhdistely murtorajatilassa.	17
Taulukko 5. Kuormien yhdistely käyttörajatilassa.	18
Taulukko 6. Halkeamaleveyden suositusarvot.	22
Taulukko 7. Paalulaatan raudoitukset.	34
Taulukko 8. Taivutusmomenttien huippuarvot.	35

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön aihe on maanalaisen paalulaattaperustuksen suunnittelu ABC Nummela CarWash -autopesuhalliin. Kohteessa käytettävät paalut ovat teräspuikipaaluja ja laatta rakennetaan raudoitettusta betonista. Kohteen rakennuttaja ja suunnittelun tilaaja on Suur-Seudun Osuuskauppa. Kohteen rakennesuunnittelija ja tämän opinnäytetyön toimeksiantaja ja on Sweco Rakennetekniikka Oy.

Aihe valikoitui tilaajan ja toimeksiantajan tarpeesta ja se sopi hyvin koulutusohjelmani opinnäytetyön aiheeksi laajuudeltaan ja haastavuudeltaan. Rakennesuunnittelijan työnkuva sisältää paljon erilaisten rakenteiden suunnittelua tietokoneohjelmia apuna käyttäen, joten aihe oli hyödyllinen, mielenkiintoinen ja hyvä tilaisuus oppia rakennesuunnittelua käytännössä.

Opinnäytetyön alkupuolella esitellään työn lähtötiedot sekä yleistä tietoa paaluista, paalulaatoista ja laattatyypeistä. Teoriaosuuteen on pyritty kokoamaan sopiva määrä rakennesuunnittelun perusteoriaa sekä paalulaatan suunnitteluun tarvittavaa teoriaa. Teoriaosuuden jälkeen esitellään työn tarkoitus, tavoitteet sekä suunnittelua ohjailevat kysymykset, minkä jälkeen esitellään työn toteutus. Loppupuolella esitellään suunnittelun yhteenveto ja tehdään vertailua mitoituksessa käytettyjen tietokoneohjelmien tuloksista.

Tässä opinnäytetyössä paalulaatta suunnitellaan annettujen lähtötietojen perusteella eurokoodien eli kantavien rakenteiden suunnittelustandardien mukaisesti mitoitus- ja laskentaohjelmia apuna käyttäen. Työssä ei perehdytä tarkemmin laskujen vaiheisiin eikä teoriaan niiden takana, vaan laskut sijaitsevat liitteissä.

Opinnäytetyön teoreettiseen viitekehykseen valikoitui pääasiassa eurokoodistandardeja, suunnitteluohjeita, oppikirjoja ja suunnitteluoppaita. Niistä löytyi hyvin tietoa yleisesti rakennesuunnitteluun liittyen sekä betonirakenteiden mitoittamisesta, mutta varsinaista tietoa talonrakennushankkeiden paalulaattojen suunnittelusta oli vaikea löytää. Tietoa paalulaatoista jouduttiin keräämään eri lähteistä ja soveltaa muun muassa Liikenneviraston ohjeita paalulaattojen suunnitteluun infrarakentamisessa.

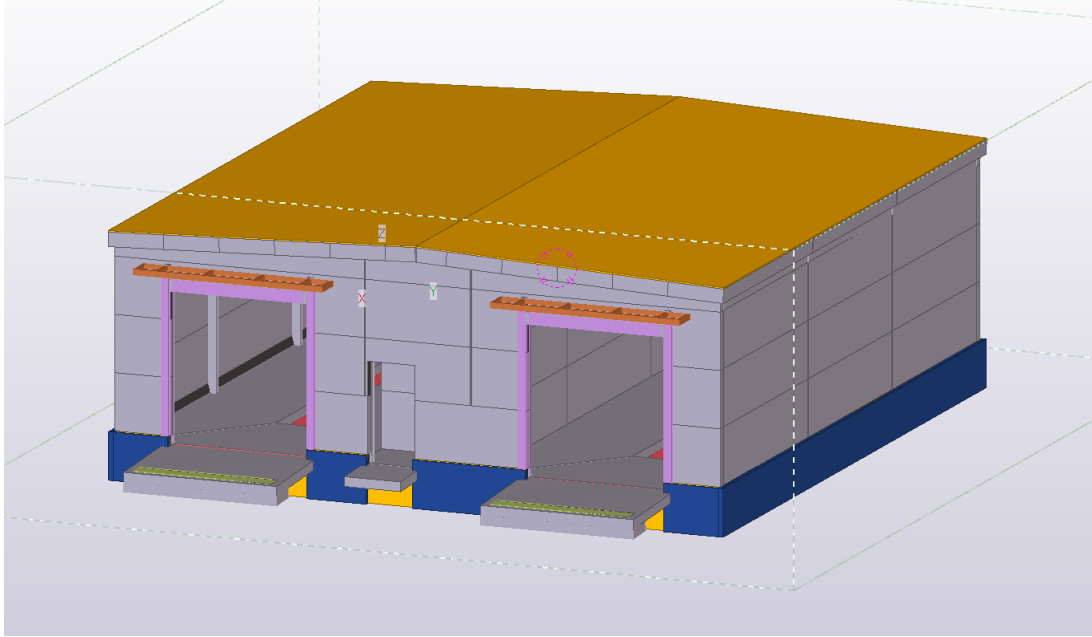
Rakennesuunnittelun apuna käytettiin seuraavia tietokoneohjelmia: AutoCAD, Tekla Structures 2018i, MathCAD, FEM-Design 17, PupaX5 ja Excel.

2 TYÖN LÄHTÖTIEDOT

ABC Nummela CarWash -autopesuhalli rakennetaan vuoden 2019 aikana Vihdin kuntaan, Nummelan keskustaan, vuonna 1999 rakennetun Prisman pysäköintialueelle Naaranpajuntien ja rautatien väliselle tontille. Rakennesuunnittelun pohjana käytetään Sweco Rakennetekniikka Oy:n loppuvuodesta 2016 tekemää vastaavan pesuhallin ABC Halikon tietomallia ja rakennesuunnitelmia. Molemmissa kohteissa tilaajana toimii Suur-Seudun Osuuskauppa sekä arkkitehtinä ja pääsuunnittelijana Arkkitehtitoimisto Jarmo Saarinen Oy. Lisäksi hankkeessa on mukana myös muita erikoisalojen suunnittelijoita, kuten pohja-, LVI- ja HDPE-kalvotuksen suunnittelijoita. Alkuperäinen rakennetietomalli on tehty 3D-tietomalliohjelmistolla Tekla Structures 21 ja se käännettiin viimeisimpään Tekla Structures 2018i -versioon. Tässä luvussa esitetyt työn lähtötiedot on saatu sähköpostitse, suullisesti sekä suunnitelmien ja raporttien muodossa työn toimeksiantajalta, kohteen tilaajalta, arkkitehdiltä sekä muilta hankkeessa mukana olleilta erikoisalojen suunnittelijoilta.

2.1 Pesuhalli

Pesuhalli on suorakaiteen muotoinen ja ulkomitoiltaan 14,1 x 13,3 metriä. Rakennuksessa on kaksi autopesulinjaa ja keskellä huone tekniikkaa ja työntekijöitä varten. Rakennuksen runko koostuu kantavista teräspilareista ja -palkeista. Julkisivut ja katto koostuvat tehtaalla esivalmistettavista ThermiSol-elementeistä, joissa on EPS-polystyreenimuovista valmistettu ydin ja molemmin puolin liimaamalla kiinnitetyt teräslevyt. Rakennusta kiertää 100 x 1 000 mm:n teräsbetonisokkeli. Rakennuksessa on loiva harjakatto ja räystäskorkeus on noin 4 metriä. Rakennuksen kummassakin päädyssä on kaksi ovea autoja varten ja yksi ovi ihmisten kulkua varten. Arkkitehti on laatinut rakennuksen pääpiirustukset, jotka toimivat rakennesuunnittelun lähtötietoina. Pääpiirustukset löytyvät liitteestä 2. Kuvassa 1 on esitetty vanhan tietomallin pohjalta viimeisimpään Tekla Structures 2018i -versioon siirretyn mallin 3D-näkymä ennen paalulaatan suunnittelua. Mallista poistettiin vanhat paalut ja laattavahvistukset.



Kuva 1. Tekla Structures -tietomallin 3D-näkymä pesuhallista.

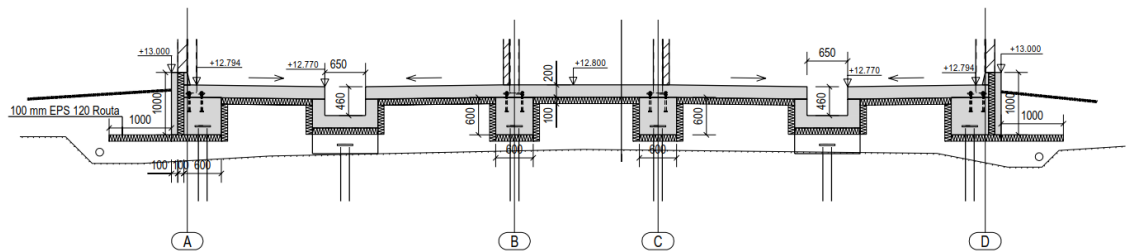
2.2 Pohjaolosuhteet

Tontilla on tehty pintavaaitus, pohjatutkimus ja perustamistapalausunto Ramboll Finland Oy:n toimesta vuoden 2016 aikana Nummelan Prismen laajennusta varten. Pesuhallin rakennuspaikan kohdalla maanpinta on tasolla +61,6...+61,8, jonka alla on noin metrin paksuinen kerros rakennekerroksia, 4–6 metrin savikerros ja noin 10 metrin verran siltti- ja hiekkakerroksia. Siltti- ja hiekkakerrosten alla on kova moreenipohja. Tontti sijaitsee vedenhankintaa varten tärkeän Nummelanharjun pohjavesialueen läheisyydessä. Tästä johtuen pesuhallin kemikaalien imeytyminen rakennekerrosten läpi pohjaveteen tulee estää. Kohteessa käytetään 2 mm paksua HDPE-muovikalvoa, joka asennetaan rakennuksen alle ja viemäroidään. Rakennus perustetaan saven läpi moreeniin asennettavia tukipaaluja käyttäen. Paalut eivät voi kuitenkaan lävistää suojakalvoa, sillä silloin kalvo voi vuotaa kemikaaleja pohjaveteen, joten kalvon alapuolelle on rakennettava erillinen kantava paalulaatta.

2.3 Perustukset

Rakennuksen alapohja, eli suojakalvon yläpuolinen perustus, toteutetaan muuten samanlaisena kuin vastaavassa kohteessa ABC Halikossa, mutta ilman paaluja ja paalujen

laattavahvistuksia. Lisäksi hiekanerotuskaivojen syvennyksiä kasvatetaan 460 mm:stä 590 mm:iin. Rakennuksen ulkoreunoilla ja keskellä seinälinjojen kohdalla on 600 x 600 mm:n teräsbetonipalkit, joiden päälle tulee pesulinjojen keskelle hiekanerotuskaivoihin kallistettu 200 mm:n teräsbetonilaatta. Hiekanerotuskaivojen kohdalle tulee laattaan 650 x 590 mm:n syvennys, joka on pohjaltaan ja seinämiltään laatan paksuinen. Ovien kohdille tulee teräsbetoniset siirtymälaatat. Alapohjarakenteiden alapintaan tulee 100 mm paksu EPS-eriste. Kuvassa 2 on esitetty mallikohteen ABC Halikon alapohjajaleikkaus, jota käytettiin suunnittelun pohjana.



Kuva 2. ABC Halikon alapohjajaleikkaus.

Erikoissuunnittelijoiden mukaan HDPE-kalvon kaadot ja viemäroinnit sekä muu LVI-tekniikka vaatii tilaa alapohjan alimmasta pisteestä kalvoon vähintään 450 mm korkeussuunnassa ja kalvon alapuolelle vähintään 300 mm. Kalvon ylä- ja alapuolelle tulee asennushiekka ja muu maatyttö on tiivistettyä salaojasoraa. Suojakalvon alapuolelle tulee kantava paalutettu teräsbetonilaatta, jonka suunnittelua tarkastellaan tässä opinnäytetyössä.

3 PAALULAATTA

Paalulaatta on heikosti kantavilla maapohjilla käytetty maata vasten valettava laatta, joka mitoitetaan kantavana teräsbetonirakenteena. Maapohjan mahdollista kuormankantokykyä ei huomioida paalulaatan suunnittelussa. (Suomen Betoniyhdistys ry 2018, 11.)

Paaluperustuksia käytetään silloin, kun rakenteen tai rakennuksen perustaminen maan varaan ei ole mahdollista. Syytä tähän on esimerkiksi pehmeästä maaperästä johtuvat liian suuret painumat, siirtymät, kiertymät tai muut syyt, kuten ympäristössä olevien rakennusten sijainti tai perustamistapa. (Jääskeläinen 2009a, 52.)

Paalut jaotellaan kolmeen ryhmään niiden kuormansiirto-ominaisuuksien mukaan. Näitä ovat tukipaalut, kitkapaalut ja koheesiopaalut. Kitka- ja koheesiopaaluissa kantokyky perustuu paalun vaipan ja maakerroksen väliseen kitkaan tai adheesioon. Tukipaalut ovat talonrakentamisessa yleisimmin käytettyjä ja niiden toiminta perustuu kuorman siirtämiseen paalun kärjen välityksellä kallioon tai tiivisrakenteiseen maakerrokseen. Tukipaalun kantavuudella tarkoitetaan paalun pystysuuntaista kantavuutta, joka määritellään joko paalun geoteknisellä kantavuudella maapohjan kestävyuden mukaan tai rakenteellisella kantavuudella paalun kestävyuden mukaan. Paaluja valmistetaan teräsbetonista, puusta ja teräksestä. (Jääskeläinen 2009a, 52–54.)

3.1 Teräspaalut

Teräsputkipaalut ovat yleisimpiä pienpaaluja ja ne asennetaan yleensä lyömällä (Jääskeläinen 2009a, 107). Pieniläpimittaisten teräspaalujen alapäähän asennetaan paalukärki, jonka tyyppi riippuu maalajista, johon paalu tukeutuu. Paalun yläpäähän asennetaan yleensä paaluhattu, jonka tehtävä on siirtää ylärakenteiden kuormat paalulle. Paaluhattujen koot vaihtelevat 150 x 150 x 15 mm:n ja 500 x 500 x 40 mm:n välillä. (SSAB 2018, 6, 12.)

Paalun ja yläpuolisen rakenteen liitos mitoitetaan yleensä nivelenä, jolloin paalut katkaistaan siten, että paalun yläpää ulottuu vähintään 50 mm yläpuoliseen betonirakenteeseen, ellei rakenteen suunnittelu tai paalujen kiinnittäminen muuta edellytä. Tällä tavalla liitettäessä paaluhattua ei ole tarpeen kiinnittää hitsaamalla paaluputkeen. Lyhyet, alle 3

metrin paalut yleensä kiinnitetään yläpuoliseen rakenteeseen jäykästi, jolloin paalun pää on vähintään 200 mm betonin sisällä. (SSAB 2018, 26.)

Teräspaalujen keskinäinen etäisyys pitää olla vähintään 800–2 400 mm, riippuen paalun koosta. Paalun yläpuolisen rakenteen etäisyys lähimmän paalun ulkopinnasta tai paaluhatun reunasta tulee normaalissa tapauksessa olla vähintään puolet paalun halkaisijasta tai paaluhatun sivumitasta. Suunnitteluvaiheessa anturan tai muun yläpuolisen rakenteen mitoissa tulee ottaa huomioon paalujen sallitut sijaintipoikkeamat. Paalun sallittu sijaintipoikkeama riippuu muun muassa paalujen koosta, määrästä ja kaltevuudesta ja se ilmoitetaan paalutuspiirustuksessa. (SSAB 2018, 26–27.)

3.2 Laattatyypit

Yleisimmät paikalla valetut paalulaatat ovat tyypiltään tasapaksu laatta, sienilaatta ja palkkilaatta. Paalulaatta on hyvä suunnitella tehtäväksi yhtenäisenä valuna. Valu voidaan myös suunnitella tehtäväksi vaiheittain, jolloin eri aikaan valettujen osien toiminta liittorakenteena on varmistettava. (Patjas ym. 2014, 13.)

3.2.1 Tasapaksu laatta

Tasapaksu laatta on yksinkertaisin rakentaa ja se sallii paremmin paalujen sijaintipoikkeamaa kuin muut laattatyypit. Tasapaksu laatta on kuitenkin poikkileikkaukseltaan massiivisempi kuin sieni- tai palkkilaatta. Tasapaksun laatan paksuus valitaan etenkin leikkausraudoittamattomissa laatoissa useimmiten paalun läpileikkautumisen mukaan. Tasapaksu laatta voidaan suunnitella joko leikkausraudoituksella tai ilman leikkausraudoitusta. (Patjas ym. 2014, 13.)

3.2.2 Sienilaatta

Suomessa yleisimmin käytetty paalulaattatyyppe on sienilaatta. Sienilaatassa paalujen kohdalle valmistetaan nelikulmaiset vahvistukset. Sienilaatan muoto on rakenteellisesti tasapaksua laattaa edullisempi ja se on rakenteellisen kapasiteetin kannalta lähellä optimia. Sen heikkouksia ovat työläs valmistaminen ja herkkyys paalun sijainti- ja mitta-poikkeamille. (Patjas ym. 2014, 13.)

3.2.3 Palkkilaatta

Palkkilaatassa paalujen kohdalle tulee palkkikaistat, jotka voidaan rakentaa joko muotien avulla tai muotoilemalla palkkiosa työalustaan. Palkkilaatan rakenteellinen toiminta perustuu palkkiosan palkkien suuntaiseen ja laattaosan palkkeja vastaan kohtisuoraan pääraudoitukseen. Palkkilaatta mahdollistaa suurempien paalukokojen hyödyntämisen, sen rakenteellinen mallinnus on selkeä ja siinä voidaan saavuttaa säästöjä raudoitusmäärissä. Palkkilaatan heikkouksia ovat herkkyys paalujen sijaintipoikkeamalle kohtisuorassa palkkikaistaa vastaan sekä sienilaattaa suurempi betonimenekki. (Patjas ym. 2014, 13.)

4 TYÖN SUUNNITTELUPERUSTEET

Rakenteet tulee suunnitella ja toteuttaa siten, että ne säilyttävät tarvittavat luotettavuus- tasonsa suunnitellun käyttöikänsä ajan, kestävät kaikki todennäköisesti esiintyvät kuor- mat ja vaikutukset sekä säilyttävät käyttökelpoisuutensa vaadittuun tarkoitukseen. Li- säksi rakenteella tulee olla riittävä kestävyys, käyttökelpoisuus ja säilyvyys. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2017, 25.)

4.1 Seuraamusluokat

Rakennukset ja rakenteet jaotellaan seuraamusluokkiin, jotka määrittelevät luotettavuus- luokan ja kuormakertoimen K_{FI} . Seuraamusluokka valitaan rakenneosan vaurioitumi- sesta aiheutuvien seuraamusten mukaisesti. (Kukka 2014, 10.) Mitoituksessa seura- amusluokat otetaan huomioon taulukon 1 mukaisesti kuormakertoimen K_{FI} avulla (Nykyri 2013, 23).

Taulukko 1. Seuraamus- ja luotettavuusluokat ja kuormakertoimet (Nykyri 2013, 23; Suo- men Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2017, 26).

Seuraamusluokka (CC)	Seuraamus	Luotetta- vuusluokka	Kuormakerroin K_{FI}
CC3	Suuret seuraamukset ihmishen- kien menetysten tai hyvin suurten taloudellisten, sosiaalisten tai ym- päristövahinkojen takia	RC3	$K_{FI} = 1,1$
CC2	Keskisuuret seuraamukset	RC2	$K_{FI} = 1,0$
CC1	Vähäiset seuraamukset	RC1	$K_{FI} = 0,9$

4.2 Käyttöikäsuunnittelu

Rakenteiden kestävyys säilyvyyden osalta varmistetaan käyttöikäsuunnittelulla, missä otetaan huomioon rakennuksen materiaali- ja rakennetietojen lisäksi ympäristöolosuh- teet sekä suunnittelukäyttöikä. Käyttöikäsuunnittelussa suunnittelija valitsee rasitusluo- kat, joihin rakenne joutuu sekä ajan, jonka rakenteen tulisi kestää kyseisissä olosuh- teissa. Rasitusluokkia ovat XC, joka liittyy karbonatisoitumisen aiheuttamaan teräskor- roosioon ja XD sekä XF, jotka liittyvät kloridien aiheuttamaan teräskorroosioon.

Rasitusluokkien perässä on numero, mikä kertoo rasituksen vakavuudesta. Suunnittelija määrittelee kohteeseen sopivan rasitusluokkayhdistelmän, joka kuvaa parhaiten rakenteen olosuhteita. Normaalit rasitusluokkayhdistelmät on esitetty liitteen 11 taulukossa 9. Tavallisesti betonirakenteet mitoitetaan 50–200 vuoden käyttöiälle ja jossain erikoistapauksissa 25 vuoden käyttöiälle. (Suomen Betoniyhdistys ry 2016, 8–9, 12.)

4.3 Betonipeite

Teräsbetonirakenteiden rauditus suunnitellaan suojaavan betonipeitteen nimellisarvoa käyttäen. Rakennepiirustuksiin on merkittynä betonipeitteen nimellisarvo ja sallittu mittapoikkeama. Nimellisarvolla tarkoitetaan raudituksen teoreettista sijaintia, joka saadaan lisäämällä vähimmäisarvoon sallittu mittapoikkeama. Nimellisarvoa käytetään lujuuslaskelmissa ja halkeamatarkasteluissa. Vähimmäisarvo riippuu rakenteen rasitusluokasta, suunnittelusta käyttöiästä sekä vesi-sementtisuhteesta, ja se määritetään joko taulukkomitoituksella tai laskennallisella mitoituksella. Betonipeitteen mittapoikkeama on normaalisti 10 mm. Hallituissa olosuhteissa voidaan käyttää pienempää poikkeamaa, mutta ei kuitenkaan pienempää kuin 5 mm. Maata vasten valettaessa betonirakenteen alapinnan betonipeitteen nimellisarvo on pääsääntöisesti 50 mm ja sallittu mittapoikkeama 30 mm. Kovaa eristettä tai tasausbetonia käytettäessä voidaan kuitenkin pienentää betonipeitteen nimellisarvoa ja mittapoikkeamaa vastaamaan mitoituksen määrittämiä arvoja. (Suomen Betoniyhdistys ry 2016, 34–35; Suomen Betoniyhdistys ry 2018, 36.)

4.4 Kuormat

Rakenteet mitoitetaan oletetuille kuormille, jotka kohdistuvat rakenteeseen sen käyttöiän aikana. Tulevaisuudessa syntyvien kuormitustilanteiden tarkka määrittely suunnitteluvaiheessa on mahdotonta, joten kuormien suuruudet ja niiden esiintyminen samanaikaisesti määritellään tilastomatemattisin keinoin. (Nykyri 2013, 26.)

Rakennusten kuormat luokitellaan niiden ajallisten vaihtelun mukaan. Kuormat jaetaan tyypillisesti pysyviin ja muuttuviin kuormiin. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2017, 31.) Pysyviä kuormia ovat muun muassa rakennuksen oma paino sekä maatyön paino, jotka lasketaan nimellismittojen ja tilavuuspainojen perusteella. Muuttuvia kuormia ovat esimerkiksi hyötykuorma ja lumikuorma (Suomen Standardisoimisliitto SFS ry 2002, 18). Taulukossa 2 on esitetty lisää esimerkkejä kuormien luokituksesta.

Taulukko 2. Esimerkkejä kuormien luokituksesta (Nykyri 2013, 27).

Pysyvä kuorma	Muuttuva kuorma	Onnettomuuskuorma
oma paino	hyötykuorma	räjähdys
esijännitysvoima	lumikuorma	tulipalo
veden ja maan paino	tuulikuorma	ajoneuvon törmäys
perustusten painuminen (epäsuora kuorma)	lämpötilakuorma (epäsuora kuorma)	

4.5 Rajatilamitoitus

Rakenteiden mitoitus perustuu rajatilamitoitukseen, jossa tarkastellaan rakenteen käyttäytymistä erilaisissa rajatiloissa käyttäen osavarmuuslukumenetelmää. Rajatiloja ovat murtorajatilat ja käyttörajatilat. Rajatiloissa yhdistellään sellaisten kuormien vaikutukset, jotka voivat esiintyä samanaikaisesti käyttäen kuormaosavarmuuslukua γ_F ja yhdistelykertoimia ψ . Näitä kutsutaan kuormitusyhdistelyiksi. Materiaalin lujuutta pienennetään materiaaliosavarmuusluvulla γ_m . (Nykyri 2013, 20–21, 27.) Taulukossa 3 on esitelty muuttuvan kuorman yhdistelykertoimien arvot, joita käytetään kuormitusyhdistelyissä.

Taulukko 3. Yhdistelykertoimien suositusarvot rakennuksille (Suomen Standardisoimisliitto SFS ry 2006, 86).

Kuorma	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Hyötykuormat rakennuksissa, luokka (ks. EN 1991-1-1)			
Luokka A: asuintilat	0,7	0,5	0,3
Luokka B: toimistotilat	0,7	0,5	0,3
Luokka C: kokoontumistilat	0,7	0,7	0,6
Luokka D: myymälätilat	0,7	0,7	0,6
Luokka E: varastotilat	1,0	0,9	0,8
Luokka F: liikennöitävät tilat, ajoneuvon paino ≤ 30 kN	0,7	0,7	0,6
Luokka G: liikennöitävät tilat, 30 kN < ajoneuvon paino ≤ 160 kN	0,7	0,5	0,3
Luokka H: vesikatot	0	0	0
Rakennusten lumikuormat (ks. EN 1991-1-3) ^{*)}			
Suomi, Islanti, Norja, Ruotsi	0,70	0,50	0,20
Muut CENin jäsenmaat, kun sijaintikorkeus on $H > 1000$ m merenpinnan yläpuolella.	0,70	0,50	0,20
Muut CENin jäsenmaat, kun sijaintikorkeus on $H \leq 1000$ m merenpinnan yläpuolella.	0,50	0,20	0
Rakennusten tuulikuormat (ks. EN 1991-1-4)	0,6	0,2	0
Rakennusten sisäinen lämpötila (ei tulipalossa) (ks. EN 1991-1-5)	0,6	0,5	0
HUOM. Kertoimien ψ arvot voidaan määrittellä kansallisessa liitteessä.			
*) Mikäli maata ei ole mainittu, kyseiset paikalliset olosuhteet selvitetään erikseen.			

4.5.1 Murtorajatila

Murtorajatila liittyy ihmisten turvallisuuteen tai rakenteiden varmuuteen. Tällaisia tiloja ovat rakenteen tasapainon menetys, vaurioituminen tai murtuminen. Betonirakenteille tyypillisiä murtorajatiloja ovat palkkien ja laattojen taivutus- ja leikkausmurto sekä pilarien nurjahdusmurto. (Nykyri 2013, 21; Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2017, 29.)

Betonirakenteita koskee murtorajatilassa kaksi rajatilaa: staattisen tasapainon rajatila (EQU) ja kestävyuden rajatila (STR). Kestävyuden rajatilassa valitaan kahdesta yhdistelmästä suuremman kuorman antava yhdistely. Taulukossa 4 on esitetty murtorajatilan kuormitusyhdistelmiä, jossa kuormaosavarmuusluku on esitetty suoraan numeraalisessa muodossa. (Nykyri 2013, 27.)

Taulukko 4. Kuormien yhdistely murtorajatilassa (Nykyri 2013, 27).

Kuormitusyhdistelmä	Kuormien kertoimet		
	Pysyvä	1. muuttuva	Muut muuttuvat
EQU	1,10 K_{FI} tai 0,9	1,5 K_{FI}	1,5 $K_{FI} \psi_0$
STR 1	1,15 K_{FI} tai 0,9	1,5 K_{FI}	1,5 $K_{FI} \psi_0$
STR 2	1,35 K_{FI}	0	0

4.5.2 Käyttörajatila

Käyttörajatila liittyy rakenteen tai rakenneosien toimintaan normaalikäytössä sekä ihmisten mukavuuteen tai rakennuskohteen ulkonäköön. Betonirakenteille tyypillisiä käyttörajatiloja ovat palkkien ja laattojen halkeamaleveysrajatila ja taipumarajatila. (Nykyri 2013, 20; Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2017, 30.)

Käyttörajatilassa on kolme kuormitusyhdistelmää (taulukko 5), joista valitaan sopiva yhdistelmä tarkasteltavan rajatilan perusteella (Nykyri 2013, 30–31):

- ominaisyhdistelmä, jota käytetään palautumattomille rajatiloille, kuten jännitysrajatilat ja halkeaman muodostusrajatila
- tavallinen yhdistelmä, jota käytetään palautuville rajatiloille, kuten tartunta- ja ankkurijännerakenteiden halkeilu- ja halkeamaleveysrajatila

- pitkäaikainen yhdistelmä, jota käytetään pitkäaikaisille vaikutuksille ja ulkonäköseikoille, kuten teräsbetonirakenteiden halkeamaleveysrajatila ja taipumarajatila.

Taulukko 5. Kuormien yhdistely käyttörajatilassa (Nykyri 2013, 31).

Kuormitusyhdistelmä	Kuormien kertoimet		
	Pysyvä	1. muuttuva	Muut muuttuvat
Ominaisyhdistelmä	1,0	1,0	ψ_0
Tavallinen yhdistelmä	1,0	ψ_1	ψ_2
Pitkäaikainen yhdistelmä	1,0	ψ_2	ψ_2

4.6 Teräsbetonirakenteet

Betoni ja raudoitus yhdessä muodostavat yhdistelmäateriaalin, jota kutsutaan teräsbetoniksi. Teräsbetonin toiminta perustuu betonin hyvälle puristuskestävyydelle ja raudoituksen hyvälle veto- ja taivutuskestävyydelle. Lisäksi betoni suojaa raudoitusta korroosiolta ja palolta. (Nykyri 2013, 56.)

4.6.1 Lujuudet

Betonin tärkein ominaisuus on suuri puristuslujuus ja betoni luokitellaan puristuslujuuden perusteella lujuusluokkiin. Lujuusluokissa ilmoitetaan kaksi lukua, joista ensimmäinen on betonin lieriölujuus f_{ck} ja toinen on betonin kuutiolujuus $f_{ck,cube}$, esimerkiksi C20/25. Lujuuden yksikkö on MPa eli N/mm². Betonin lujuutta testataan puristuskokeilla, mutta ne ovat hyvin lyhytkestoisia verrattuna todelliseen kuormitusaikaan, joten rakenteessa toimivaa lujuutta alennetaan kertoimella α_{cc} , jonka arvoksi on suomessa valittu 0,85. Puristuslujuuden mitoitusarvo saadaan betonin materiaaliosavarmuusluvun γ_c avulla kaavasta 1. (Nykyri 2013, 36–38.)

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \frac{f_{ck}}{\gamma_c},$$

Kaava 1. Betonin puristuslujuuden mitoitusarvo (Nykyri 2013, 38).

Betoniteräkset luokitellaan teräksen myötölujuuden ominaisarvon f_{yk} perusteella, joka vaihtelee välillä 400–700 MPa ja sitkeysluokan A, B tai C avulla, esimerkiksi B500B. Teräksen lujuuden mitoitusarvo saadaan teräksen materiaaliosavarmuusluvun γ_s avulla kaavasta 2. (Nykyri 2013, 50–54.)

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s},$$

Kaava 2. Teräksen lujuuden mitoitusarvo (Nykyri 2013, 52).

4.6.2 Raudoitus

Teräsbetonirakenteissa betoniin asetetaan raudoitusta sellaisille alueille, joihin oletetaan syntyvät vetorasituksia. Raudoitusta käytetään vahvistamaan myös puristusrasitettua betonia esimerkiksi pilareissa, seinissä ja joissain palkkirakenteista. (Nykyri 2013, 55.)

Palkkien raudoitus

Palkeissa käytetään tyypillisesti pituussuuntaista raudoitusta ja poikittaissuuntaisia hakoja. Palkin pituussuuntainen raudoitus toimii taivutusraudoituksena ja se asennetaan lähelle vetorasitettua pintaa taivutusmomentin mukaisesti. Tyypillinen pääraudoituksen tankopaksuus on 12–32 mm. Palkin leikkausraudoituksena käytetään hakoja, jotka ovat pääsääntöisesti kohtisuorassa palkin pituusakseliin nähden. Leikkausvoima esiintyy yleensä taivutusmomentin kanssa ja se on suurimmillaan tukien läheisyydessä. Erityisesti jatkuvilla tuilla esiintyy suuri leikkausvoima. Jatkuvan kuorman rasittaman palkin leikkausraudoituksessa käytetään mitoittavaa leikkausvoimaa V_{Ed} , mikä on leikkausvoima palkin d-mitan etäisyydeltä tuelta. (Nykyri 2013, 56, 131, 153.)

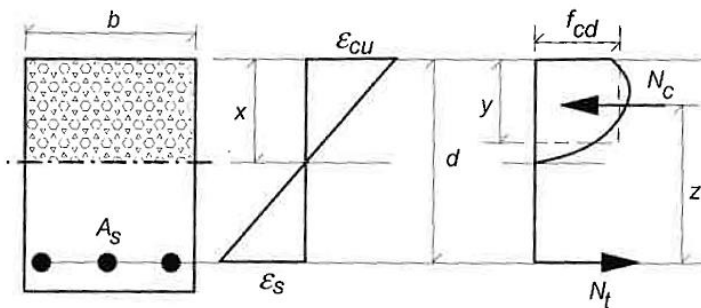
Laatan raudoitus

Laatta raudoitetaan taivutusmomenttien mukaisesti samalla periaatteella kuin palkit. Laatoissa raudoitus asennetaan kuitenkin kahdessa suunnassa, eikä leikkausraudoitusta yleensä tarvita. Laatan taivutusraudoitus mitoitetään suurimpien taivutusmomenttien mukaan. Yhteen suuntaan kantavilla laatoilla vain toiseen suuntaan tulee taivutusmomenttien mukainen pääraudoitus ja poikittaissuuntainen raudoitus on jakoraudoitus,

jonka määrän tulee olla vähintään 20 % pääraudoituksesta. Laatan vapaa reuna raudoitetaan pitkittäisraudoituksella ja poikittäisraudoituksella, jonka jakoväli on enintään pienempi arvoista $4 \cdot h$ (h = laatan paksuus) tai 600 mm. (Nykyri 2013, 57; Nykyri 2014, 79–81, 85.)

Tehollinen korkeus

Betonirakenteiden mitoituksessa käytetään todellisen korkeuden h sijasta tehollista korkeutta eli hyötykorkeutta d , joka on mitta puristetusta reunasta raudoituksen keskipisteeseen kuvan 3 mukaisesti (Leskelä 2008, 200).



Kuva 3. Tehollinen korkeus ja muodonmuutos- ja jännityskuviot murtorajatilassa (Leskelä 2008, 200).

Kuvan 3 mukaisen palkin tai yhteen suuntaan kantavan laatan vetoraudoituksen vaadittu raudoitusal A_s [mm^2 tai mm^2/m] voidaan murtorajatilassa laskea esimerkiksi kaavasta 3, jonka jälkeen voidaan valita raudoitustangot vaaditun raudoitusalan mukaan.

$$A_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot f_{yd}}$$

jossa

M_{Ed} taivutusmomentin mitoitusarvo

$z = d \cdot \left(1 - \frac{\beta}{2}\right)$ sisäinen momenttivarso

$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2\mu}$ tehollisen puristusvyöhykkeen suhteellinen korkeus

$\mu = \frac{M_{Ed}}{f_{cd} \cdot b \cdot d^2}$ suhteellinen momentti.

Kaava 3. Raudoituksen mitoitus murtorajatilassa (Nykyri 2013, 101).

4.6.3 Laatan lävistysmurtuma

Lävistysmurtolla tarkoitetaan laattarakenteissa pistemäisen kuorman aiheuttavaa paikallista murtumista. Lävistysmurtumassa laatta leikkautuu kuorman ympäristössä kartiomaisesti ja menettää kantavuutensa. Lävistysmurtuma on tyypillinen murtumistapa esimerkiksi pilarilaatoilla pilarien läheisyydessä ja lävistysmurtomekanismiin vaikuttaa muun muassa laatan paksuus. Murtuminen etenee tyypillisesti taivutushalkeamista, joita syntyy ensin pilarin juureen. Yläpinnan taivutusraudoituksesta johtuen syntyy taivutushalkeamia etäämmälle pilarista. Laatat pyritään yleensä tekemään ilman leikkausraudoitusta. (Nykyri 2014, 64.)

4.6.4 Halkeamaleveyden rajoittaminen

Vetojännityksen ylittäessä betonin vetolujuuden betonirakenne halkeaa. Vetojännitys johtuu joko ulkoisesta kuormituksesta tai sisäisistä pakkovoimista. Kuormien aiheuttamaa halkeilua voidaan tarkastella laskennallisesti ja halkeilua voidaan rajoittaa laskelmien perusteella. Pakkovoimien aiheuttamaa halkeilua pyritään hallitsemaan betonimassan koostumuksen ja huolellisen jälkihoidon avulla. Halkeilu nopeuttaa betonin karbonatisoitumista ja raudoituksen korroosion käynnistämistä, joten halkeamaleveyttä tulee rajoittaa rakenteen säilyvyyden ja jossain tapauksissa rakenteen ulkonäön takia. (Nykyri 2013, 210–211.)

Halkeamaleveyttä voidaan rajoittaa taulukkomitoituksella tai laskennallisella mitoituksella. Laskennallisessa mitoituksessa lasketaan tehollisen korkeuden ja rauditusalan avulla halkeaman toteutuva leveys. Taulukkomitoituksessa halkeamaleveyttä tarkastellaan likimääräisesti valmiiksi laskettujen taulukoiden avulla, joissa rajoitetaan tankokokoja tai tankojakoa. (Nykyri 2013, 215–219.) Halkeamaleveyden w_{max} suositusarvot eri rasisluokissa näkyvät taulukossa 6.

Taulukko 6. Halkeamaleveyden suositusarvot (Suomen Standardisoimisliitto SFS ry 1992, 118).

Rasitusluokka	Teräsbetonirakenteet ja tartunnattomat ankkurijännerakenteet	Tartuntajännerakenteet ja injektoidut ankkurijännerakenteet
	Pitkäaikainen kuormayhdistelmä	Tavallinen kuormayhdistelmä
X0, XC1	0,4 ¹	0,2
XC2, XC3, XC4	0,3	0,2 ²
XD1, XD2, AC > XD3 < AC , XS1, XS2, XS3		Vetojännityksetön tila
HUOM. 1 Rasitusluokkien X0 ja XC1 yhteydessä halkeamaleveydellä ei ole vaikutusta säilyvyyteen, ja tämä raja on asetettu, jotta tavallisesti saavutetaan kelvollinen ulkonäkö. Jos ulkonäköehtoja ei aseteta, tätä rajaa voidaan väljentää.		
HUOM. 2 Näiden rasitusluokkien yhteydessä tarkistetaan myös, ettei vetojännitystä esiinny kuormien pitkäaikaisen yhdistelmän vallitessa.		

Rasitusluokassa XC2 pitkäaikaisen kuormayhdistelmän suurin sallittu halkeamaleveys on $w_{max} = 0,3 \text{ mm}$ ja tavallisen kuormayhdistelmän $w_{max} = 0,2 \text{ mm}$.

5 OPINNÄYTETYÖN TARKOITUS JA TAVOITTEET

Tämän opinnäytetyön tarkoitus oli suunnitella tilaajan pyynnöstä ABC Nummela Car-Wash -autopesuhalliin maanalainen kantava paalulaattaperustus, joka kestää siihen kohdistuvat kuormat sille suunnitellun käyttöajan. Työlle annettiin tarkka aikataulu, johon mennessä suunnittelun tulisi olla valmis. Tavoitteena oli tuottaa annetussa aikataulussa sellaiset rakennepiirustukset urakkalaskentaa varten, joiden mukaan paalulaatta voidaan rakentaa ja joiden toteuttaminen käytännössä olisi mahdollisimman taloudellista ja helppoa. Lisäksi tavoitteena oli saada toimeksiantajayritykselle lisää FEM-laskentaa ja teräsbetonirakenteiden mitoittamiseen kykeneviä työntekijöitä. Tarvittavien rakennesuunnitelmien sisällön ohjeistus tuli toimeksiantajalta, tilaajalta sekä muilta erikoisalojen suunnittelijoilta.

Seuraavaksi luetellaan opinnäytetyön tavoitteena olevat rakennepiirustukset ja niiden suunnittelua ohjaavat kysymykset:

- Paalutuspiirustus, jossa esitetään paalujen asentamiseen tarvittavat tiedot, kuten esimerkiksi paalujen sijainti ja numerointi, paalujen korkeusasema sekä paalutyyppi. Kysymykset: Kuinka paljon paaluja tarvitaan kestämään yläpuoliset kuormat ja miten ne olisi järkevä sijoittaa?
- Paalulaatan tasopiirustus, jossa esitetään paalulaatan rakentamiseen tarvittavat tiedot, kuten esimerkiksi paalulaatan ja mahdollisten vahvistusten mitat, suunnitteluluokitukset ja käytettävän betonin luokitukset. Kysymykset: Mikä laattatyyppi sopisi kohteeseen taloudellisuuden ja käytännöllisyyden kannalta? Minkä kokoisia paalulaatan ja mahdollisten vahvistusten tulisi olla?
- Alapohjaleikkaus, jossa esitetään muun muassa paalulaatan sijainti yläpuolisiin rakenteisiin nähden, sekä täyttö- ja eristemateriaalit. Kysymykset: Kuinka saadaan mahtumaan tarvittava LVI-tekniikka ja HDPE-kalvo viemäreineen paalulaatan ja rakennuksen väliin ilman liian suuria maatäytön kuormia ja kaivuukustannuksia? Mitä materiaaleja ja eristeitä käytetään ja missä?
- Paalulaatan terästyspiirustus, jossa esitetään paalulaatan raudoitukseen tarvittavat tiedot. Kysymykset: Kuinka paljon terästä tarvitaan kestämään kuormat? Miten raudoitukset sijoitetaan ja optimoidaan, jotta ei laiteta turhaan ylimääräistä terästä, josta syntyy työ- ja materiaalikustannuksia? Onko raudoitus mahdollista toteuttaa käytännössä?

6 TYÖN TOTEUTUS

6.1 Paalulaatan suunnittelun vaiheet

Aluksi määriteltiin suunnitteluluokitukset, suunnittelukäyttöikä ja rakenteen tiedot. Tämän jälkeen määriteltiin paalulaatan koko ja sijainti rakennuksen alapohjan suhteen sekä käytettävät materiaalit. Seuraavaksi laskettiin paalulaatalle kohdistuvat kuormat, jonka jälkeen tehtiin sopiva paalujako paalun kestävyuden mukaan. Kun paalujako ja paalujen sijoittelu oli määritelty ja tiedettiin yksittäisen paalun vastaanottama kuorma, laskettiin laatan lävistyskapasiteetti ja mahdollisten laattavahvistuksien koko, sekä määriteltiin laattatyyppi.

Kun paalulaatan suunnittelussa oli päästy siihen vaiheeseen, että laatan, laattavahvistusten sekä paalujen koko ja sijainti olivat selvillä, voitiin laskea laatan voimasuureet siihen soveltuvalla ohjelmalla. Tässä vaiheessa paalujen ja laattavahvistusten sijaintia optimoitiin, jotta laatan kenttien momentit olisivat mahdollisimman yhtäläiset joka paikassa. Lopuksi määriteltiin laatan ja palkkikaistojen raudoitukset käyttäen Sweco Rakennetekniikka Oy:n omia Excel-laskentapohjia.

6.2 Suunnitteluluokitukset ja rakennetiedot

Kuvassa 4 esitetään kohteeseen liittyvät suunnitteluluokitukset, kuten seuraamusluokka, luotettavuusluokka sekä luotettavuusluokan kuormakerroin K_{Fi} . Lisäksi esitetään betoni-rakenteiden tiedot ja suunnittelukäyttöikä.

KÄYTETTY SUUNNITTELUNORMISTO: EUROKODI-STANDARDIT					
KANSALLISINE LIITTEINEEN					
Rakenteiden suunnittelussa käytetään seuraamusluokkaa CC2 ja luotettavuusluokkaa RC2					
Luotettavuusluokan kuormakerroin $K_{Fi}=1.0$					
Toteutusluokka 2					
Kuormaluokka tasopiirustusten mukaan					
Betonirakenteiden suunnittelukäyttöikä : 50 vuotta, jolloin suunnittelukäyttöiän luokka on 4					
Betonin muut koostumusvaatimukset by 65 kohdan 3.1.1 mukaan					
Terästen betonipeitteen sallittu mittapoikkeama : 10 mm					
RAKENNEOSA	RASITUSLK.	BETONI	TERÄS	BETONIPEITE	MAX.RAEKOKO
Paalulaatta	xc2	C35/45	B500B	35 mm	16...32 mm

Kuva 4. Suunnitteluluokitukset ja rakenneosataulukko (liite 1).

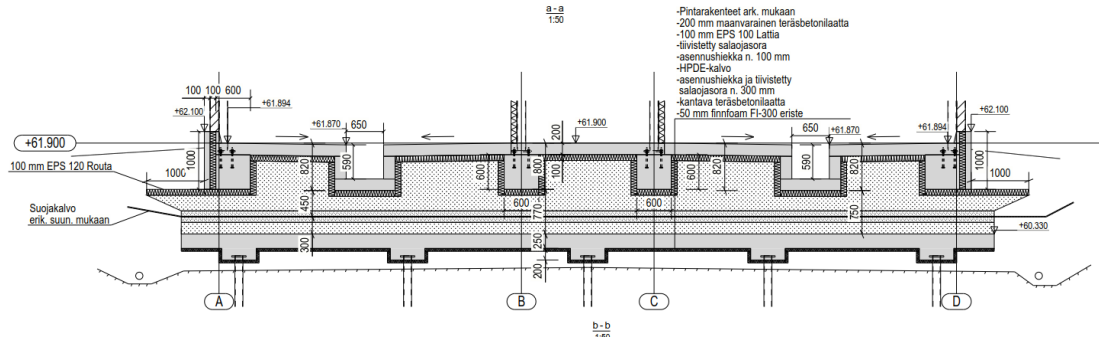
Tässä kohteessa seuraamusluokka valikoitui keskisuurten seuraamusten mukaan CC2:ksi, jolloin taulukon 1 mukaisesti luotettavuusluokaksi määräytyy RC2 ja kuormakertoimeksi $K_{FI} = 1,0$. Betonirakenteiden suunnittelukäyttöikäksi valittiin 50 vuotta. Tämän kohteen paalulaatta on maanalainen perustusrakenne, joten rasitusluokka on XC2 ja betonipeitteen nimellisarvoksi saatiin 35 mm. Rasitusluokan ja betonipeitteen määrittely on tehty liitteen 11 taulukoiden 9 ja 16 mukaan.

Betonin lujuusluokka on C35/45 ja teräksen lujuusluokka B500B, jolloin kaavojen 1 ja 2 avulla saatiin raudoituslaskuissa käytetyt lujuuksien mitoitusarvot f_{cd} ja f_{yd} .

6.3 Paalulaatan tyyppi ja mitat

Kohteessa päädyttiin käyttämään paalulaattatyyppinä palkkilaattaa, toimeksiantajayrityksessä työskentelevien rakennesuunnittelijoiden neuvojen sekä luvussa 3.2.3 mainittujen ominaisuuksien, kuten hyvän lävistyskapasiteetin, rakenteellisen selkeyden sekä kohtuullisten kustannusten ja työmäärän perusteella. Laatan tulisi olla ulkomi-toiltaan rakennusta suurempi, jotta rakennuksen kuormat kohdistuvat maakerrosten kautta paalulaatalle. Kuormien voidaan olettaa jakautuvan likimääräismenetelmän mukaan rakenteen reunasta 2:1 suhteessa maahan (Jääskeläinen 2009b, 145). Paalulaatan ulkomi-toiksi valittiin 14,9 x 14,1 metriä, jolloin paalulaatta ulottuu 0,4 metriä rakennuksen ulko-reunojen yli ja laattaosuuden paksuudeksi valittiin 250 mm. Paalulaatan alapinnassa käytetään 50 mm paksua Finnfoam FI-300 -polystereenieristettä, jolloin laattaa ei tarvitse valaa suoraan maata vasten. Tämän ansiosta, luvun 4.3 mukaisesti, laatan alapinnan betonipeitettä voitiin pienentää 50 mm:stä 35 mm:n, jolloin kaavan 3 mukaisesti laatan tehollinen korkeus d ja sisäinen momentti varsi z kasvaa, mahdollistaen kevyemmän ja taloudellisemman raudoituksen.

Paalulaatta sijoitetaan erikoissuunnittelijoiden minimivaatimusten mukaan 750 mm rakennuksen alimman pisteen, eli hiekanerotuskaivojen alapinnasta alaspäin. Välissä oleva maatyttö on tiivistettyä salaojasoraa ja HDPE-kalvon molemmin puolin käytetään asennushiekkaa. Kohde mallinnettiin ja rakennepiirustukset tuotettiin 3D-tietomalliohjelmiston Tekla Structures viimeisimmällä 2018i -versiolla. Kuvassa 5 on esitetty rakennuksen alapohjaleikkaus a – a, josta ilmenee edellä mainitut asiat.

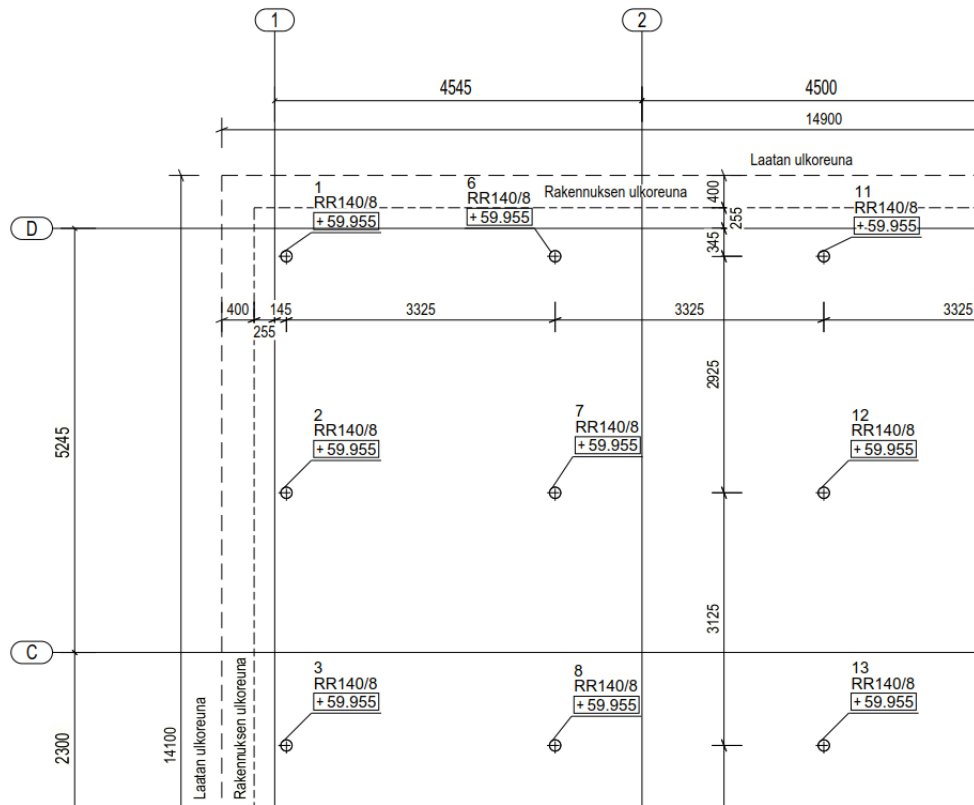


Kuva 5. Rakennuksen alapohjaleikkaus a - a (liite 1).

6.4 Kuormat ja paalut

Paaluina käytetään kohteen pohjatutkijan määrittelemää, lyömällä asennettavaa RR140/8 teräspuutkipaaluja, jonka kestävyudeksi, eli pystysuuntaisen kuorman vastaanottokapasiteetiksi pohjatutkija on määritellyt $R_{c,d} = 594 \text{ kN}$. Paaluille kohdistuvat pysyvät kuormat eli paalulaatan, maatyön ja rakennuksen kuormat laskettiin rakenneosien mittojen ja materiaalien tilavuuspainojen avulla. Lisäksi paaluihin kohdistuu muuttuvia kuormia eli katon lumikuorma sekä rakennuksessa oleva hyötykuorma. Pysyviksi kuormiksi saatiin yhteensä $g_{k,tot} = 36,176 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$ ja muuttuviksi kuormiksi yhteensä $q_{k,tot} = 7,2 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$.

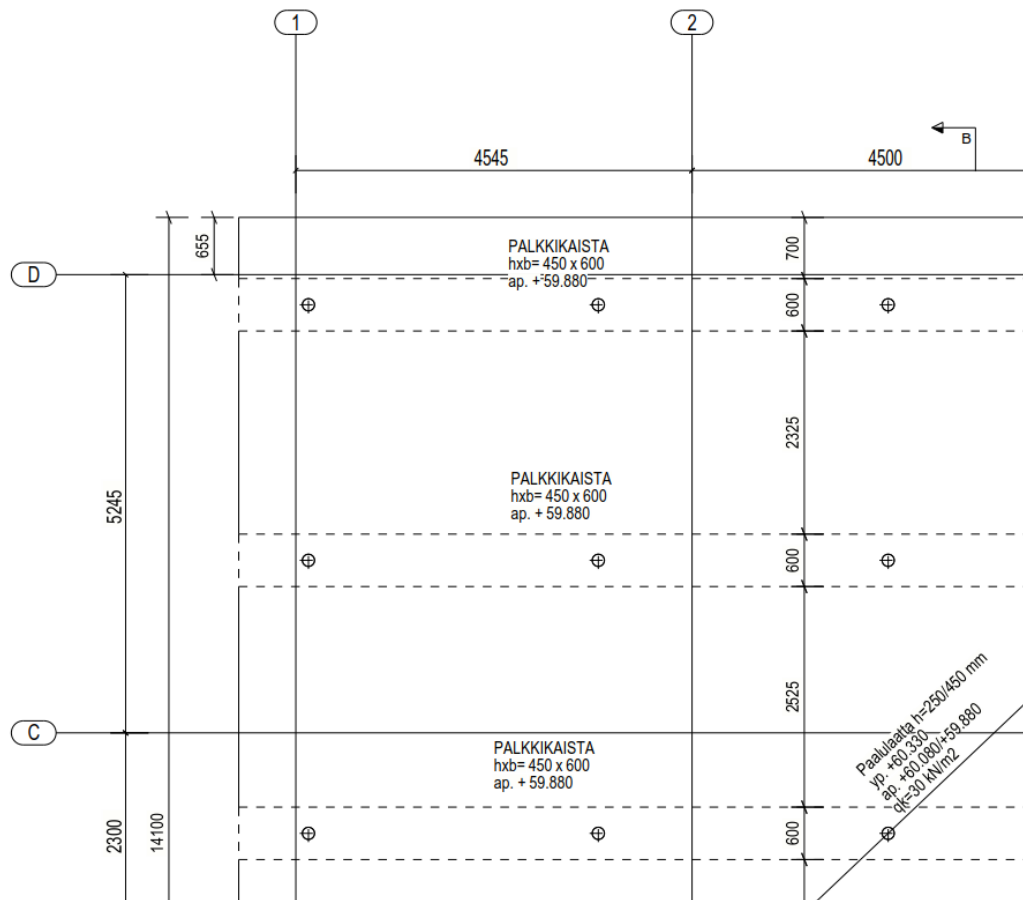
Kuormien perusteella laskettiin paalumäärä ja alustava sijoitus kokeilemalla, millaiselle paalujaolle paalun kestävyys ei ylittyisi. Paaluja tarvittiin 25 kappaletta ja paalujen suurimmiksi jänneväleiksi muodostui 3,125 x 3,325 metriä, jolloin yhden paalun suurin kuormitusala $A_{paalu} = 10,391 \text{ m}^2$. Lopullinen yhdelle paalulle kohdistuva kuorma $F_{Ed} = 544,494 \text{ kN}$ saatiin laskemalla taulukossa 4 esitettyjä murtorajatilan kuormitusyhdistelmiä STR 1 ja STR 2 ja näistä käytettiin suurempaa tulosta. Luotettavuusluokan kuormakerroin $K_{FI} = 1,0$, joten sitä ei tarvinnut erikseen huomioida kuormien laskemisessa. Muuttuvat kuormat, eli lumi- ja hyötykuorma laskettiin yhtenä muuttuvana kuormana, jolloin taulukossa 3 esitettyjä muuttuvien kuormien pienennyskertoimia ei käytetty tässä yhteydessä, tehden laskusta varmemman. Kuormien laskut on esitetty liitteessä 3. Paalut sijoitettiin palkkikaistoille ja kuvassa 6 on esitetty paalutuspiirustuksen 101 vasen yläkulma, josta näkee paalujen sijoittelun, paalunumeron, paalutyypin, paaluhatun korkeusaseman, sekä tärkeimmät mitat. Koko paalutuspiirustus 101 löytyy liitteestä 1.



Kuva 6. Paalutuspiirustus vasen yläkulma (liite 1).

6.5 Lävistysmitoitus

Paalu pyrkii lävistämään laatan luvun 4.6.3 mukaisesti, sillä paalu toimii samalla tavalla lävistävänä pistemäisenä kuormana, kuin pilari. Lävistävä pinta-ala on paaluhatun pinta-ala, jonka standardimitat RR140/8 teräspaalulle ovat 250 x 250 mm ja paksuus 25 mm. Liitteessä 6 esitetyn laskennan tuloksena saatiin palkkikaistan tehollinen korkeus d , eli tässä tapauksessa paaluhatun yläpinnan ja palkkikaistan yläpinnan välinen etäisyys, millä vahvistus kestää paalun läpileikkautumisen. Palkkikaistan paksuudeksi valittiin 450 mm sisältäen laattaosuuden. Palkkikaistan leveydeksi valittiin 600 mm, jolloin sillä on riittävä toleranssi paalun mahdollista sivusiirtymää varten. Kuvassa 7 on esitetty paalulaatan tasopiirustuksen 102 vasen yläkulma, josta näkyy palkkikaistojen koko, alapinnan korkeus ja sijainti laatta- sekä koko paalulaatan paksuus- ja korkeustiedot sekä käytetyt tasokuormat pyöristettynä. Koko tasopiirustus löytyy liitteestä 1.



Kuva 7. Paalulaatan tasopiirustus vasen yläkulma (liite 1).

6.6 Mitoituksessa käytettävät voimasuureet

Tässä työssä paalulaatan voimasuureet on määritelty StruSoft:n elementtimenetelmään perustuvalla FEM-design 17 -ohjelmalla ja ne on esitetty kokonaisuudessaan liitteessä 4. Palkkikaistojen voimasuureet laskettiin erikseen Insinööritoimisto Pauli Närhin kehittämällä palkin laskentaohjelmalla PupaX5 ja näitä käytettiin palkkikaistan raudoituksen mitoitukseen.

Mitoituksessa käytettävät voimasuureet:

- $M_{y,alap.,MRT} (= M_d) = 21 \frac{kN*m}{m}$ (FEM-Design, liite 4)
- $M_{x,alap.,MRT} (= M_d) = 19 \frac{kN*m}{m}$ (FEM-Design, liite 4)
- $M_{y,alap.,KRT} (= M_{dmax}) = 17 \frac{kN*m}{m}$ (FEM-Design, liite 4)
- $M_{y,alap.,pitkäaik.} (= M_{d30\%}) = 15 \frac{kN*m}{m}$ (FEM-Design, liite 4)

- $M_{y,yläp,KRT} (= M_{dmax}) = 94,7 \frac{kN*m}{m}$ (FEM-Design, liite 4)
- $M_{y,yläp,pitkäaik} (= M_{d30\%}) = 83,7 \frac{kN*m}{m}$ (FEM-Design, liite 4)
- $M_{x,palk,alap,MRT} (= M_d) = 133 kN * m$ (PupaX, liite 9)
- $M_{x,palk,yläp,MRT} (= M_d) = 195 kN * m$ (PupaX, liite 9)
- $V_{Ed} = 280 kN$ (PupaX, liite 9)

Voimasuureiden tunnuksissa alaindeksit x ja y tarkoittavat voiman suuntaa paalulaatan koordinaatistossa, jossa x on vaakasuunta ja y on pystysuunta. Alaindeksi $alap$ tarkoittaa rakenteen alapinnassa ja $yläp$ yläpinnassa vaikuttavia voimia. Alaindeksit MRT : murtorajatilalla, KRT : käyttörajatila ja $pitkäaik$: pitkäaikainen kertovat arvon laskemiseen käytetyn kuormitusyhdistelmän. Suluissa oleva tunnus on Excel-laskentapohjissa käytetty tunnus. Mitoituksessa käytetty yläpinnan momenttiarvo $M_{y,yläp,KRT/pitkäaik}$ on FEM-Design -ohjelmasta luetun huippuarvon ja kahden lähimmän arvon laskettu keskiarvo.

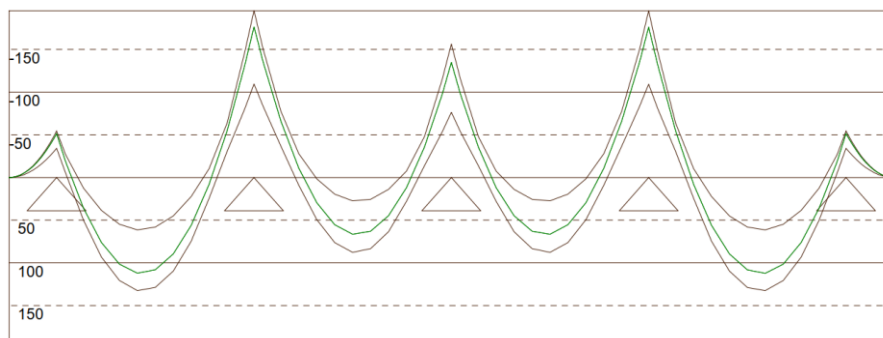
6.7 Palkkikaistan raudoitus

Palkkikaista mitoitettiin teräsbetonipalkkina, jonka korkeus on 450 mm ja leveys 600 mm. Palkkikaista on käytännössä neliaukkoinen ulokkeellinen palkki, jossa paalut toimivat tukina. Palkkikaistan rasitukset laskettiin PupaX5 -ohjelmalla, sillä palkkikaistan oletetaan käyttäytyvän kuten normaalin teräsbetonipalkin. PupaX5 on statiikkaan perustuva palkinlaskentaohjelma, joka sopi tässä työssä paremmin palkin voimasuureiden laskentaan kuin FEM-Design, jossa palkkikaistojen momenttisuureet olivat laatan mitoitukseen tarkoitetussa muodossa $\frac{kN*m}{m}$. Ohjelmaan syötettiin palkin pituustiedot, tukien sijainti ja kuormatiedot, jolloin se antoi tulokseksi momentti- ja leikkausvoimakuviot väli- ja huippuarvoineen. Arvot on esitetty kokonaisuudessaan numeerisesti liitteessä 9.

6.7.1 Taivutusraudoitus

PupaX5-ohjelman antamien tulosten perusteella palkkikaistan suurimmat momentit ovat keskimmaisilla tuilla ja uloimmissa aukoissa ja palkin taivutusraudoitus mitoitettiin näille momenteille. Alapinnan taivutusraudoitus mitoitettiin murtorajatilassa kestäämään koko palkin mitalta alapinnan suurin momentti $M_{x,palk,alap,MRT} (= M_d) = 133 kN * m$. Yläpinnan taivutusraudoitus suunniteltiin niin, että tukien kohdalla on enemmän terästä

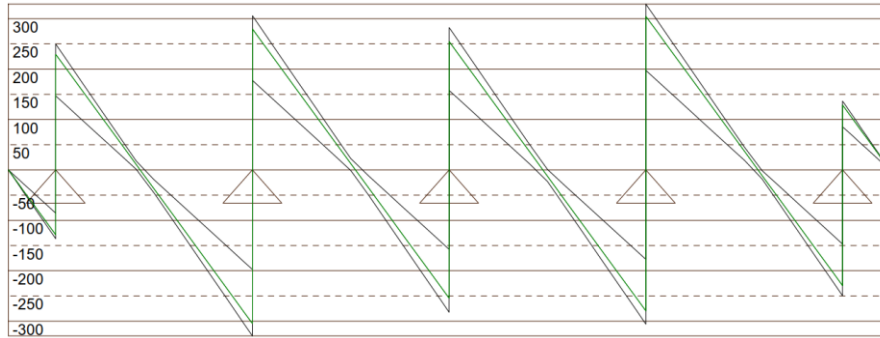
ottamaan vastaan suurimmat momenttipiikit $M_{x,palk,yläp,MRT} (= M_d) = 195 \text{ kN} \cdot \text{m}$ ja aukkojen kohdalla on pienempi terästys. Raudoitus laskettiin Sweco Rakennetekniikan Excel-pohjilla ja laskut on esitetty liitteessä 8. Alapinnan taivutusraudoitukseksi saatiin koko palkin pituudelle 4T16 eli 4 kpl 16 mm halkaisijaltaan olevaa harjaterästä. Yläpintaan saatiin jatkuvaksi raudoitukseksi 4T16 ja paalujen kohdalla lisäraudoitukseksi 2T16. Kuvassa 8 on esitetty palkin Pupax5 -ohjelmalla laskettu palkkikaistan momenttikuvio.



Kuva 8. Palkkikaistan momenttikuvio (liite 9).

6.7.2 Leikkausraudoitus

Kuvassa 9 on esitetty palkkikaistan leikkausvoimakuvio, josta näkyy leikkausvoiman jakautuminen. Liitteessä 8 on taivutusmitoituksen lisäksi myös palkin leikkausmitoitus ja tuloksena saatiin T10 k150 eli halkaisijaltaan 10 mm harjateräksestä taivutettuja hakoja 150 mm välein asennettuna. Tämä kestää mitoittavan leikkausvoiman $V_{Ed} = 280 \text{ kN}$ tukien läheisyydessä, joka määriteltiin luvun 4.6.2 mukaisesti. Kuvan 9 mukaisesti palkin jännevälien keskellä leikkausvoima on kuitenkin huomattavasti pienempi, joten hakauraditusta kevennettiin kasvattamalla hakajakoa 300 mm:n eli T10 k300. Ainoastaan paalujen läheisyyteen laitettiin mitoittavan leikkausvoiman vaatimat lisähaat T10 k150, 3 kpl molemmin puolin paalua.



Kuva 9. Palkkikaistan leikkausvoimakuvio (liite 9).

6.8 Laatan raudoitus

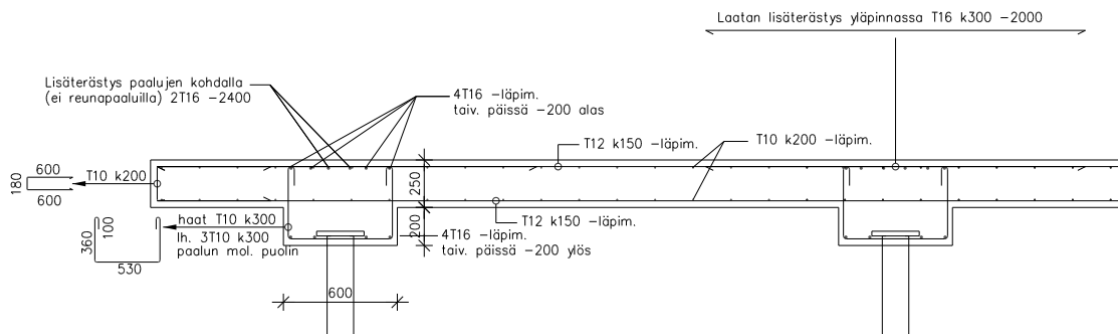
Paalulaatan laattaosuus mitoitettiin yhteen suuntaan kantavana laattana kohtisuoraan palkkeja vastaan. Kohteen laatan rasitusluokka on XC2, joten rakenteen säilyvyys tuli varmistaa käyttörajatilamitoituksella. Mitoittavaksi tekijäksi tuli käyttörajatilassa halkeamaleveyden rajoittaminen ja tämän mukaan suunniteltiin ylä- ja alapinnan pääraudoitus. Laatan voimasuureet laskettiin FEM-Design-ohjelmalla, johon syötettiin eurokoodien mukaiset kuormitusyhdistelyt. Halkeamamitoitus tarkasteltiin kahdella taulukon 5 mukaisella kuormitusyhdistelmällä: ominaisyhdistelmällä ja pitkäaikaisella yhdistelmällä. Yhteen suuntaan kantavan laatan voimasuureet voidaan myös laskea käsin tai siihen soveltuvalla ohjelmalla samalla tavalla kuin palkille, käyttäen 1 000 mm kuormitusleveyttä. (Nykyri 2014, 13). Laatan voimasuureet laskettiin vertailun vuoksi PupaX5 palkinlaskentaohjelmalla ja vertailun tulokset on esitetty luvussa 7.3.

Laatan raudoituksen suunnittelu tehtiin Sweco Rakennetekniikka Oy:n Excel-laskentapohjalla. Aluksi tarkistettiin, minkälaisen raudoituksen laatta vaatii FEM-Design-ohjelman antaman murtorajatilän kuormitusyhdistelmän suurimmalla y-suuntaisella positiivisella momentilla $M_{y,alap,MRT} (= M_d) = 21 \frac{kN*m}{m}$. Tuloksena oli T10 k200 -raudoitus. Seuraavaksi tarkistettiin, mikä kokoisia halkeamia laattaan syntyy kyseisellä raudoituksella käyttäen taulukossa 5 esitettyjen ominaisyhdistelmän ja pitkäaikaisyhdistelmän kuormitusyhdistelmien voimasuureita $M_{y,alap,KRT} (= M_{dmax}) = 17 \frac{kN*m}{m}$ ja $M_{y,alap,pitkäaik.} (= M_{d30\%}) = 15 \frac{kN*m}{m}$. Pitkäaikaisyhdistelmässä on käytetty muuttuvissa kuormissa taulukossa 3 esitettyä pienennyskerrointa $\psi_2 = 0,3$. Tuloksena saatiin $w_{k,pitkäaik.} = 0,39 \text{ mm}$ ja $w_{k,ominaisyhd.} = 0,34 \text{ mm}$. Halkeamien leveydet ylittivät luvussa 4.6.4 esitetyt sallitut

arvot, joten rauditus tuli mitoittaa erikseen halkeamalle. Alapinnan pääterästyksellä T12 k150, saatiin halkeamaleveydet sallittuihin rajoihin $w_{k,pitkäaik.} = 0,17 \text{ mm}$ ja $w_{k,ominaisyhd.} = 0,15 \text{ mm}$.

Yläpinnan rauditus laskettiin suoraan halkeamamitoituksella yläpinnan taivutusmomentin arvoilla $M_{y,yläp,KRT} (= M_{dmax}) = 94,7 \frac{\text{kN}\cdot\text{m}}{\text{m}}$ ja $M_{y,yläp,pitkäaik} (= M_{d30\%}) = 83,7 \frac{\text{kN}\cdot\text{m}}{\text{m}}$. Tulokseksi saatiin T12 k150 ja lisäteräkset palkkikaistojen kohdalla T16 k300, jolloin halkeamaleveydet ovat $w_{k,pitkäaik.} = 0,18 \text{ mm}$ ja $w_{k,ominaisyhd.} = 0,16 \text{ mm}$.

Laatan x-suuntainen rauditus eli jakorauditus suunniteltiin kestävään murtorajatilin suurin x-suuntainen kenttämomentti $M_{x,alap.,MRT} (= M_d) = 19 \frac{\text{kN}\cdot\text{m}}{\text{m}}$. Tuloksena saatiin T10 k200, jota käytetään sekä ylä-, että alapinnan jakoraudituksena. Tämä täyttää myös luvussa 4.6.2 esitetyn säännön, että jakoraudituksen määrän on oltava vähintään 20 % pääraudoituksesta. Laatan vapaa reuna raudoitettiin luvun 4.6.2 mainitun ohjeen mukaisesti. Laskut ja tulokset on esitetty liitteessä 7. Kuvassa 10 on esitetty paalulaatan raudituspiirustuksen 402 osa, josta näkyvät kaikki lasketut rauditukset. Koko raudituskuva löytyy liitteestä 1.



Kuva 10. Paalulaatan rauditus (liite 1).

7 SUUNNITTELUN YHTEENVETO JA TULOSTEN VERTAILU

Tässä luvussa esitellään kertaalleen tuotetut rakennepiirustukset, suunnitellut raudoitukset ja niiden vertailun automatisoituun suunnitteluun. Lisäksi vertaillaan suunnittelussa käytettyjä voimasuureita kahden käytetyn ohjelman välillä.

7.1 Rakennepiirustukset

Urakkalaskentaan lähetetyt paalulaattaa koskevat rakennepiirustukset esitetään liitteissä suuren kokonsa takia. Työssä tuotettiin seuraavat rakennepiirustukset:

- 101: Paalutuspiirustus (liite 1)
- 102: Paalulaatan tasopiirustus (liite 1)
- 103: leikkaus a – a: alapohjaleikkaus (liite 1)
- 402: Paalulaatan terästyspiirustus (liite 1).

7.2 Paalulaatan raudoitus

FEM-Design 17 -ohjelmalla on mahdollista suunnitella voimasuureiden selvittämisen jälkeen suoraan niiden vaatimat raudoitukset. Tein vertailun vuoksi nopean automaattisen raudoitussuunnittelun ohjelmalla, jotta huomataan, kuinka erilaisia tuloksia voidaan saada, jos ei kiinnitetä huomiota yksityiskohtiin. Taulukossa 7 on esitetty Sweco Rakenetekniikka Oy:n Excel-pohjilla tehdyn suunnittelun tulokset sekä FEM-Design -ohjelman automaattisen raudoituksen tulokset. Liitteessä 5 olevissa automaattisen raudoitussuunnittelun FEM-tulosteissa näkyy lisäksi vaadittu raudoitusala alueittain.

Taulukko 7. Paalulaatan raudoitukset.

	Excel-laskentapohjilla suunniteltu raudoitus	FEM-Design automaattinen raudoitus
Laatta h = 250 mm raudoitus		
Alapinta		
y-suunta (pääteräkset)	T12k150 = 754 mm ² /m	T8k150 = 335 mm ² /m
y-suunta (palkkikaistan kohdalla)	ei lisäterästä	ei lisäterästä
x-suunta (jakoteräkset)	T10k200 = 392 mm ² /m	T8k150 = 335 mm ² /m
Yläpinta		
y-suunta (pääteräkset)	T12k150 = 754 mm ² /m	T12k150 = 754 mm ² /m
y-suunta (palkkikaistan kohdalla)	T12k150 + lisäterästä T16k300 = 1424 mm ² /m	T16k150 = 1340 mm ² /m
x-suunta (jakoteräkset)	T10k200 = 392 mm ² /m	T12k150 = 754 mm ² /m
Palkkikaista h = 450 mm raudoitus		
Alapinta		
y-suunta (hakaterästä)	T10k300 + lisähaat T10k300 = 1047 mm ² /m	T8k150 = 335 mm ² /m
x-suunta (pääteräkset)	4T16 = 804 mm ²	T8k150 + lisäterästä T8k150 = 670 mm ² /m
Yläpinta		
y-suunta = laatan yläpintaterästä		T16k150 = 1340 mm ² /m
x-suunta (pääteräkset)	4T16 + lisäterästä 2T16 = 1206 mm ²	T20k150 = 2094 mm ² /m

FEM-Design -ohjelman automaattisen raudoitustyökalun suunnittelemat raudoitukset ovat yhtä poikkeusta lukuun ottamatta jokaisessa kohdassa kevyemmät kuin varsinaisessa suunnittelussa käytettyjen Sweco Rakennetekniikka Oy:n omien Excel-laskentapohjien antamat raudoitukset. Syynä tähän on halkeamaleveyden rajoittaminen mitoittavana tekijänä. Halkeamaleveyksien rajoittaminen vaatii normaalia murtorajatilaa kestävyystarkastelua raskaamman raudoituksen. FEM-Design -ohjelmalla on mahdollista tehdä myös monimutkaisempia tarkasteluita, joissa otetaan halkeaman leveydet huomioon, mutta tämä vaatisi kokeneemman ohjelman käyttäjän. Oman kokemukseni mukaan automaattista raudoitustyökalua käytettäessä on käytettävä erityistä harkintaa ja käyttäjällä tulisi olla vankka kokemus niin ohjelmiston käytöstä kuin rakennesuunnittelusta yleensä.

7.3 Taivutusmomentit

Taulukossa 8 on esitetty taivutusmomenttien huippuarvot ohjelmilla FEM-Design 17 ja PupaX5 saatujen tulosten välillä. Laatan voimasuureet laskettiin PupaX5-ohjelmalla 1 000 mm kuormitusleveydellä. Palkin voimasuureita laskiessa käytettiin todellista kuormitusleveyttä eli paalujen jänneväliä kohtisuoraan palkkeja vastaan 3 125 mm. Mitoituksessa käytetyt arvot on tummennettu ja alleviivattu.

Taulukko 8. Taivutusmomenttien huippuarvot.

	FEM-Design [$\frac{kN \cdot m}{m}$]	PupaX5 [$kN \cdot m$]
Laatta		
$M_{y,alap,MRT}$	<u>21</u>	26,4
$M_{y,yläp,MRT}$ (-)	185	46,0
$M_{y,alap,KRT}$	<u>17</u>	21,0
$M_{y,yläp,KRT}$ (-)	153 (<u>94,7</u>)	37,6
$M_{y,alap,pitkääik}$	<u>15</u>	16,7
$M_{y,yläp,pitkääik}$ (-)	135 (<u>83,7</u>)	32,1
Palkkikaista		
$M_{x,palk,alap,MRT}$	118 (70,8 $kN \cdot m$)	<u>133</u>
$M_{x,palk,yläp,MRT}$ (-)	262 (157,2 $kN \cdot m$)	<u>195</u>

Laatan y-suunnan alapinnan taivutusmomenttien arvot $M_{y,alap,...}$ ovat melko lähellä toisiinsa. FEM-Design-arvot ovat hieman PupaX5-arvoja pienemmät, sillä PupaX5:ssä, ei pysty määrittellä tuen leveyttä, joka on tässä tapauksessa palkkikaistan leveys 600 mm. Laatan vapaa jänneväli on siis todellisuudessa pienempi kuin tukien eli paalujen väli. Tästä syystä FEM-Design-arvojen voidaan olettaa olevan tarkemmat, jonka vuoksi niitä käytettiin mitoituksessa.

Y-suunnan yläpinnan taivutusmomenttien arvot $M_{y,yläp,...}$ ovat FEM-Design:lla laskettuna huomattavasti PupaX5-arvoja suuremmat. Tämä johtuu siitä, että PupaX5-ohjelmalla on laskettu vain 1 000 mm leveä kaista laatasta, jossa tuki on oletettu tasaiseksi, eikä siinä ole huomioitu paaluja ja niiden aiheuttaman pistekuorman luomaa yläpinnan

taivutusmomenttia. Momenttihuippujen tasaamiseksi mitoituksessa on käytetty suluissa olevaa huippuarvon ja kahden lähimmän arvon laskettua keskiarvoa.

Palkkikaistan eli x-suunnan ylä- ja alapinnan taivutusmomenttien arvot $M_{x,palk,...}$ ovat suurin piirtein samaa kokoluokkaa FEM-Design- ja PupaX5-ohjelmilla laskettaessa. Palkkikaistan FEM-Design-arvojen suluissa on esitetty taivutusmomentin arvo kerrottuna palkin leveydellä, eli metrikuormaksi muutettuna. PupaX5-arvot ovat hieman suuremmat, sillä olettamalla palkkikaista erilliseksi palkiksi, sen oletetaan ottavan kaiken taivutusmomentin vastaan, vaikka todellisuudessa myös laatta ottaa taivutusmomenttia vastaan. Mitoituksessa käytettiin kuitenkin näitä arvoja suuremman varmuuden tuottamiseksi.

8 LOPUKSI

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella kantava maanalainen paalulaattape-rustus vuonna 2019 rakennettavan ABC Nummela -autopesuhalliin. Tavoitteena oli tuot-taa urakkalaskentaa varten paalulaatan rakentamiseen tarvittavat rakennepiirustukset, ja saada toimeksiantajayritykselle lisää FEM-laskentaa ja teräsbetonirakenteiden mi-toittamiseen kykeneviä työntekijöitä. Työllä oli melko pikainen aikataulu ja minulla ei ollut juurikaan kokemusta teräsbetoni-laatan mitoittamisesta työelämässä. Otin kuitenkin haasteen vastaan ja kovan työn ja opettelu-n jälkeen tavoitteisiin päästiin.

Urakkalaskentaa varten tilatut rakennepiirustukset saatiin toteutettua ja lähetettyä tilaa-jalle sovitussa aikataulussa. Rakennepiirustusten suunnittelua ohjaaviin kysymyksiin saatiin suurimmalta osin vastattua ja rakennepiirustusten sisältö oli tilaajan ja toimeksi-antajan ohjeiden ja toiveiden mukainen.

Työn tekeminen edellytti nopealla aikataululla paljon uusien asioiden opettelua ja van-hojen asioiden kertaamista, aina kuormien laskemisesta betonirakenteiden raudoituksen suunnitteluun ja optimointiin. Työn tekemisessä tuli opeteltua myös uusia hyödyllisiä ra-kennesuunnittelun apuna käytettyjä ohjelmia, kuten FEM-Design 17, ja vahvistettua osaamista muun muassa Tekla Structures 2018i -ohjelmalla.

Kokonaisuutena suurimpana haasteena työssä oli kiireinen aikataulu ja vähäinen koke-mukseni betonirakenteiden suunnittelusta, jonka vuoksi joitain vaiheita jouduttiin toista-maan useaan otteeseen tehden aikataulusta entistä tiukemman. Esimerkiksi suuren rau-doitusmäärän takia paalulaatan laattaosuuden alkuperäistä paksuutta jouduttiin kasvat-tamaan 150 millimetristä 250 millimetriin, jotta se olisi mahdollista raudoittaa käytän-nössä. Tämän seurauksena laatan omapaino, laatan voimasuureet sekä paaluille koh-distuvat kuormat muuttuivat, joten laskut jouduttiin laskemaan ja tarkistamaan alusta asti uusiksi. Onneksi sain kuitenkin paljon apua kollegoiltani mahdollistaen tavoitteiden to-teutumisen.

Oma osaamiseni rakennesuunnittelijana ja tietämys erityisesti betonirakenteiden suun-nittelusta kasvoi huomattavasti työn aikana ja sain tärkeää kokemusta rakennesuunnit-telun apuna käytettävistä ohjelmista. Eri tietokoneohjelmien käyttö ja vertailu myös aut-toivat ymmärtämään, mitä apuohjelmia kannattaa käyttää ja milloin. Tärkeä oppi oli myös se, että rakennesuunnittelun apuna käytettävien ohjelmien tuloksiin tulee suhtautua

kriittisesti ja, jos mahdollista, varmistaa aina tulokset jollain toisella menetelmällä suunnitteluvirheiden välttämiseksi. Kehityin myös paljon yleisesti tiedonhaussa ja -käsitteilyssä, ja kantavien rakenteiden suunnittelustandardit eli eurokoodit tulivat entistä tutummaksi.

Tämän opinnäytetyön tekemisessä noudatettiin Tutkimuseettisen neuvottelukunnan määrittelemää hyvää tieteellistä käytäntöä. Tutkimuseetiikan näkökulmasta hyvän tieteellisen käytännön keskeisiä periaatteita ovat rehellisyys, yleinen huolellisuus, tarkkuus, eettisesti kestävä tiedonhankinta-, tutkimus- ja arviointimenetelmät, avoimuus ja vastuullisuus, muiden tutkijoiden työn asianmukainen huomiointi ja huolellinen lähdeviitteiden merkintä. (Tutkimuseettinen neuvottelukunta 2012, 6–7.)

Opinnäytetyössä käytetyt lähteet olivat suurimmalta osin rakennusalalla ja rakennusalan koulutuksissa yleisesti tunnustettuja ja käytettyjä oppikirjoja, standardeja ja normistoa, ja näistä pyrittiin etsimään uusimmat ja pätevimmät painokset.

Opinnäytetyön tuloksia voidaan lähtökohtaisesti pitää luotettavana, sillä työn aikana tuli konsultoitua tiiviisti Sweco Rakennetekniikka Oy:n kokeneita rakennesuunnittelijoita ja lopulliset tulokset on tarkastanut suunnittelupätevydet omaava rakennesuunnittelija.

LÄHTEET

Jääskeläinen, R. 2009a. Pohjarakennuksen perusteet. Tampere: Tammertekniikka / Amk-Kustannus Oy.

Jääskeläinen, R. 2009b. Geotekniikan perusteet. Tampere: Tammertekniikka / Amk-Kustannus Oy.

Kukka, O. 2014. Rakennesuunnittelun lähtötiedot eurokoodijärjestelmässä. Opinnäytetyö. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Tampere: Tampereen Ammattikorkeakoulu. Viitattu 5.2.2019 https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/71105/Kukka_Olli.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Leskelä, M. 2008. Betonirakenteiden suunnittelu ja mitoitus, BY210. Suomen Betoniyhdistys ry. Helsinki: Suomen Betonitieto Oy.

Nykyri, P. 2013. Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja – osa 1, BY211. Suomen Betoniyhdistys ry. 2. korjattu painos, Tammerprint Oy 2015. Helsinki: BY-koulutus Oy.

Nykyri, P. 2014. Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja – osa 2, BY211. Suomen Betoniyhdistys ry. Helsinki: BY-koulutus Oy.

Patjas, E.; Mantere P.; Elomaa J. & Yläsaari L. 2014. Paalulaattojen ja paaluhatturakenteiden suunnittelu. Pohjarakenteiden suunnitteluohjeet. Liikenneviraston ohjeita 5/2014. Helsinki: Liikennevirasto.

SSAB 2018. RR- ja RD-paalut, suunnittelu- ja asennusohjeet.

Suomen Betoniyhdistys ry 2016. Betonin valinta ja käyttöäsuunnittelu – opas suunnittelijoille, BY68. Helsinki: BY-koulutus Oy.

Suomen Betoniyhdistys ry 2018. Betonilattiat, BY 45. Helsinki: BY-koulutus Oy.

Suomen Standardisoimisliitto SFS ry 2002. SFS-EN 1991-1-1 + AC. Eurocode 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-1: Yleiset kuormat, tilavuuspainot, oma paino ja rakennusten hyötykuormat. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS ry.

Suomen Standardisoimisliitto SFS ry 2006. SFS-EN 1990 + A1 + AC, Eurokoodi. Rakenteiden suunnitteluperusteet. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS ry.

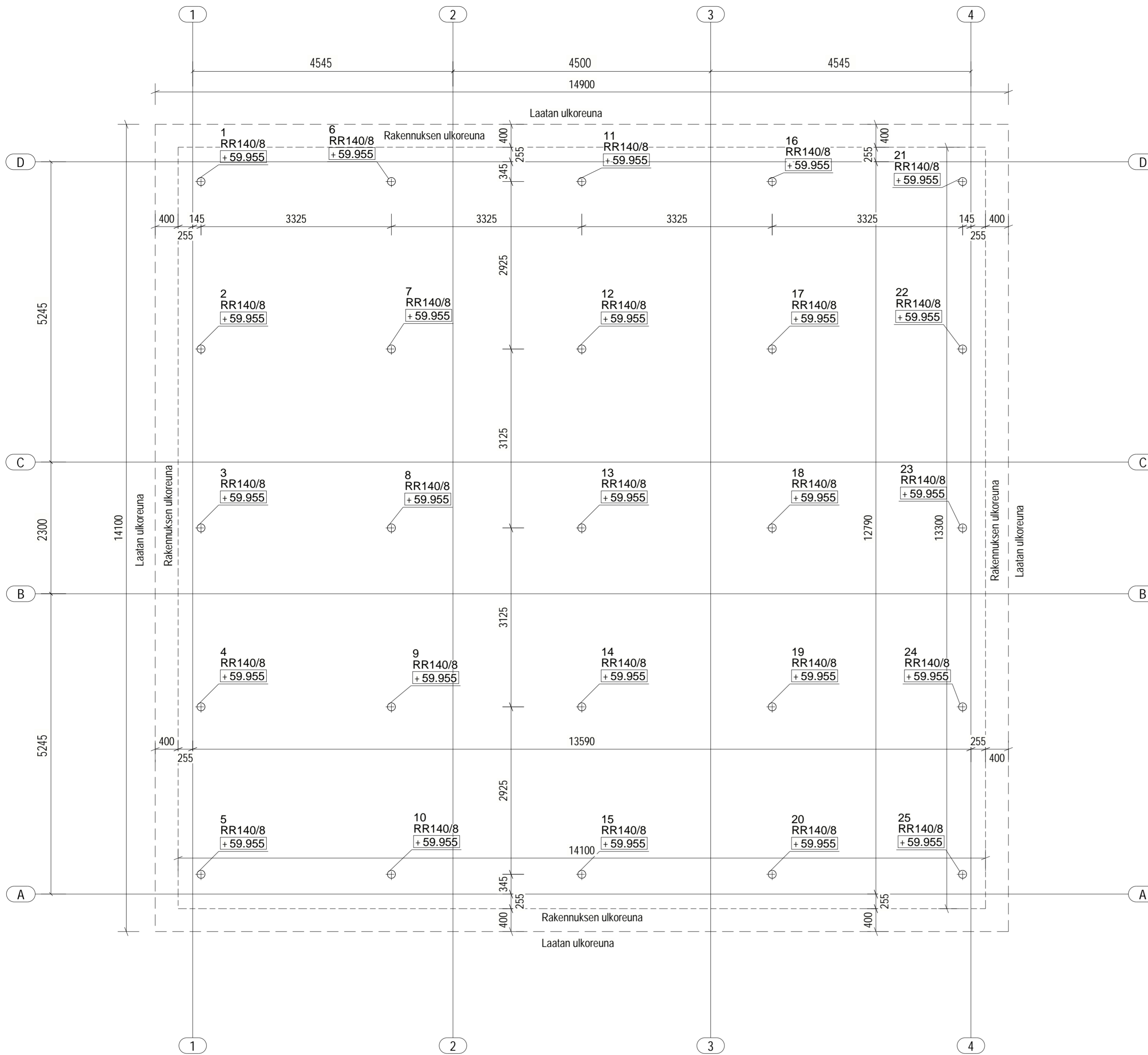
Suomen Standardisoimisliitto SFS ry 2015. SFS-EN 1992-1-1 + A1 + AC, Eurokoodi 2: Betonirakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. 2. painos. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2017. RIL 201-1-2017. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

Tutkimuseettinen neuvottelukunta 2012. Hyvä tieteellinen käytäntö ja sen loukkausepäilyjen käsitteleminen Suomessa. Viitattu 01.03.2019. Saatavilla: <https://www.tenk.fi/sites/tenk.fi/files/HTK>.

Liite 1. Tuotetut rakennepiirustukset

Liite 1 (1)



Rakennus perustetaan teräsraudoilla kovaan pohjaan Ramboll Oy:n pohjarakennustöiden työselityksen mukaan (Nummelan Prisman laajennus)

- Teräsraudoit (PO-2011) :

RR140/8 Yht. 25 kpl
Rd = 594 kN

- Raudoitusluokka PTL2
- Geotekninen luokka GL2
- Teräslaji S440J2H
- Jatkokseksi standardi RR-jatkoshalkki
- Kärki geotekn. suunnittelijan mukaan
- raudoituksen yläpäähän asennetaan standardi raudoitushattu
- Raudoitukseen sisältyy 2.0 mm:n ulkopuolisen korroosiovaran
- Raudoitus työturvallisuuden kovaan pohjaan tarkoin RR-raudoitusohjeen ja PO-2011 mukaan, raudoituskoneella tai paineilmasaralla
- Raudoituksen käyryyden tarkastus työn jälkeen pohjatutkijan ohjeen mukaan
- Raudoituksen yläpäätkätkäistä kohtisuoraan laudalla, tarvittaessa päät tasoitetaan hiomalla
- Raudoituksen sijainnin maksimi poikkeama 80 mm
- Mikäli raudoituksen sijaintipoikkeamat ja mahdolliset kaltevuudet ylittävät sallitun arvon, on näistä aiheutuvat perustusten muutokset sovittava rakennesuunnittelijan kanssa ennen raudoituskoneen poisvientä
- raudoituksen täytterroksen jäävä osa suojataan korroosiota vastaan pohjatutkimuksen mukaisesti
- Raudoitusta on suojeltava työaikaiselta vaakakuormilta
- Lyötäessä raudoitusta on varmistauduttava siitä, että ei vahingoiteta vanhan rakennuksen perustuksia
- Raudoitushattujen yläpinnan korkeudet ilmoitettu raudoituksen vieressä [xx.xxx]

- Raudoituspöytäkirjassa raudoitus on oltava numeroidussa järjestyksessä!

Puuttavat lähtötiedot geosuunnitelmien mukaan (raudoitus tyyppi jne.)

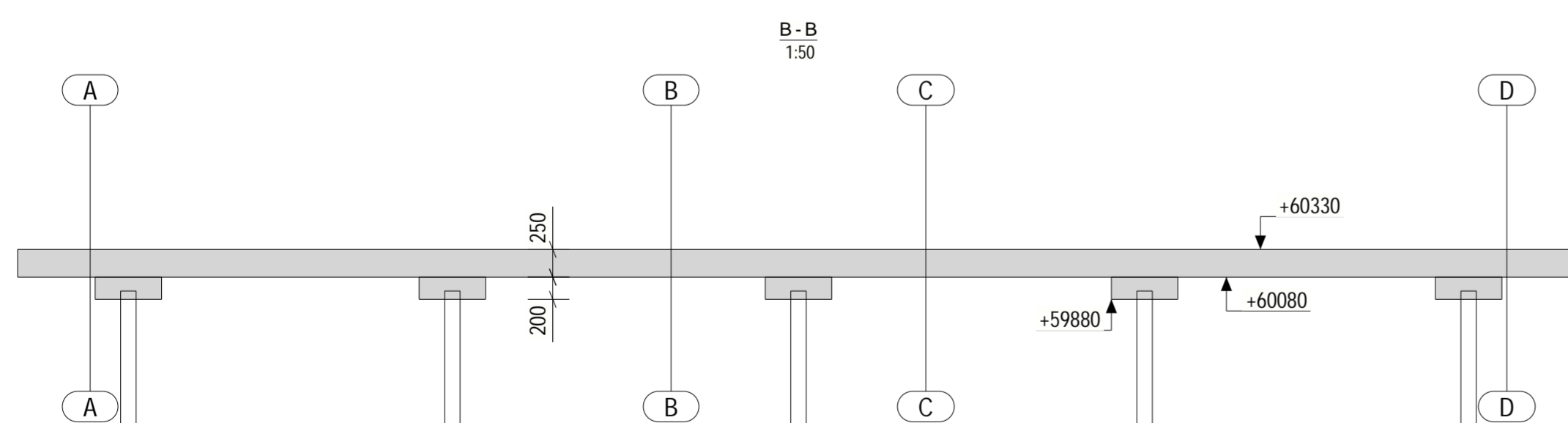
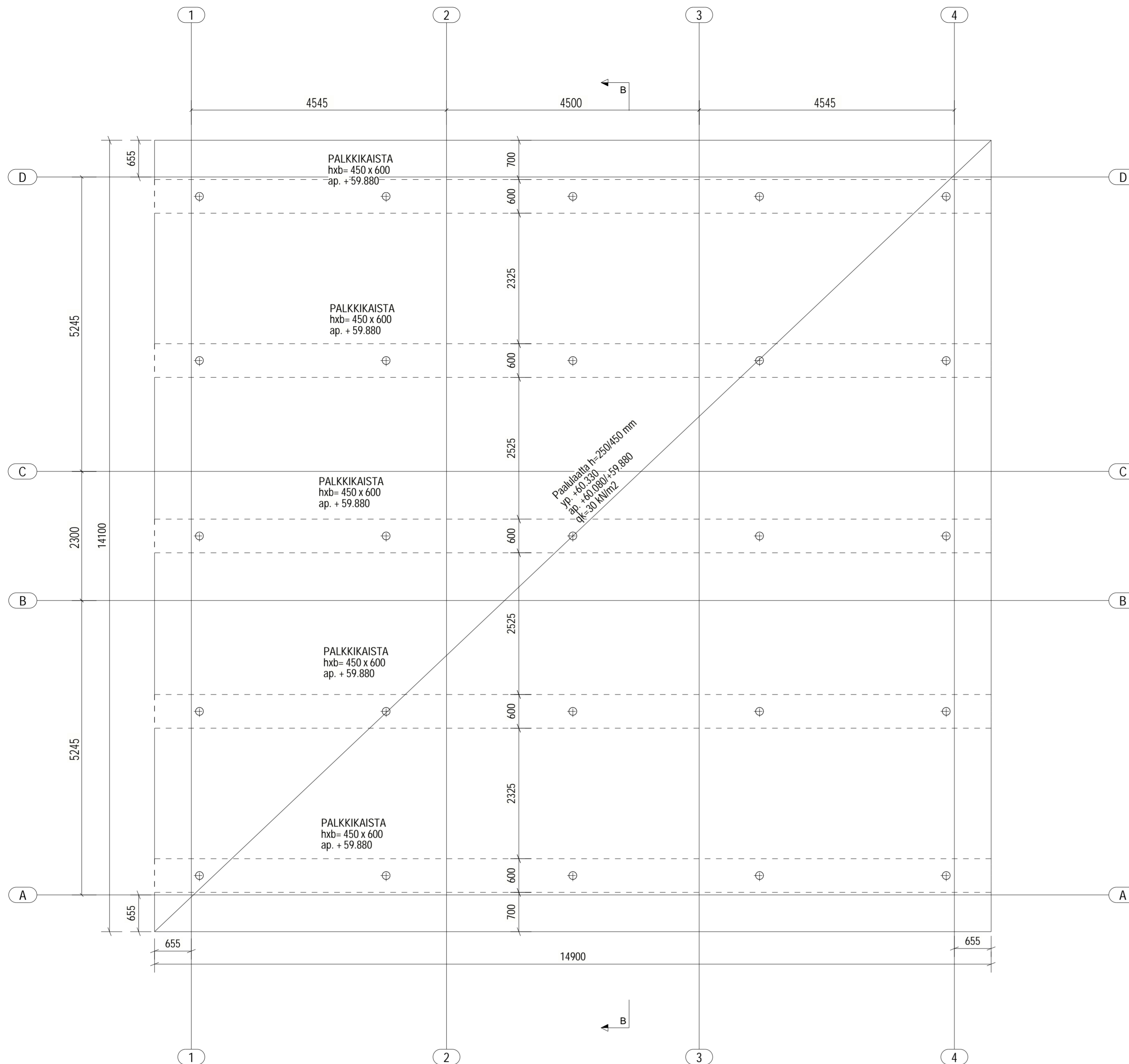
- Vanhojen viemärien ja kaapelien sijainti selvitettävä ennen raudoitustyön alkua

URAKKALASKENTAA VARTEN 14.01.2019

VASTAANRAKENTAJASUUNNITTELIJA (NIMI, TUTKINTO, ALLEKIRJOITUS)				PVM	
Aki Luntamo, RI					
K. OSAKYLA	KORTTELITILA	TONNINRHO	VIRANOMAISTEN ARKISTOMERKINTÖJÄ VARTEN		
HÄRKÖILA	87	1			
RAKENNUKSEN NUMERO/RAKEN**			TASOKOORDINAATTIARJESTELMA/KORKEUS/ARJESTELMA		
RAKENNUS/TOIMENPIDE			PIIRUSTUSLAJI	JUOKSEVA NRO	
UUDISRAKENNUS			RAKENNEPIIRUSTUS	MITTAKAAVAT ENNEN PIEN.	
ABC NUMMELA / CAR-WASH NAARANPAJUNTIE 03100 NUMMELA			PAALUTUSPIIRUSTUS	1:50	
 Sustainable engineering and design		Sweco Rakennetekniikka Oy Pitkämaenkatu 4A 20250 Turku Puh. +358 207 393 000 etunimi.sukunimi@sweco.fi www.sweco.fi	TARKASTAJA Aki Luntamo, RI HPYAKSYJA	SUUNNITTELUALA RAK SUUNN. TYÖN. NRO 6175	
PVM	PIIRTAJA	SUUNNITTELIJA	PIIR.NRO	MUUTOS	
		FIEEJT	101		

Betonirakenteiden suunnittelukäyttöikä : 50 vuotta, jolloin suunnittelukäyttöiän luokka on 4
 Betonin muut koostumusvaatimukset by 65 kohdan 3.1.1 mukaan
 Terästen betonipeitteen sallittu mittapoikkeama : 10 mm

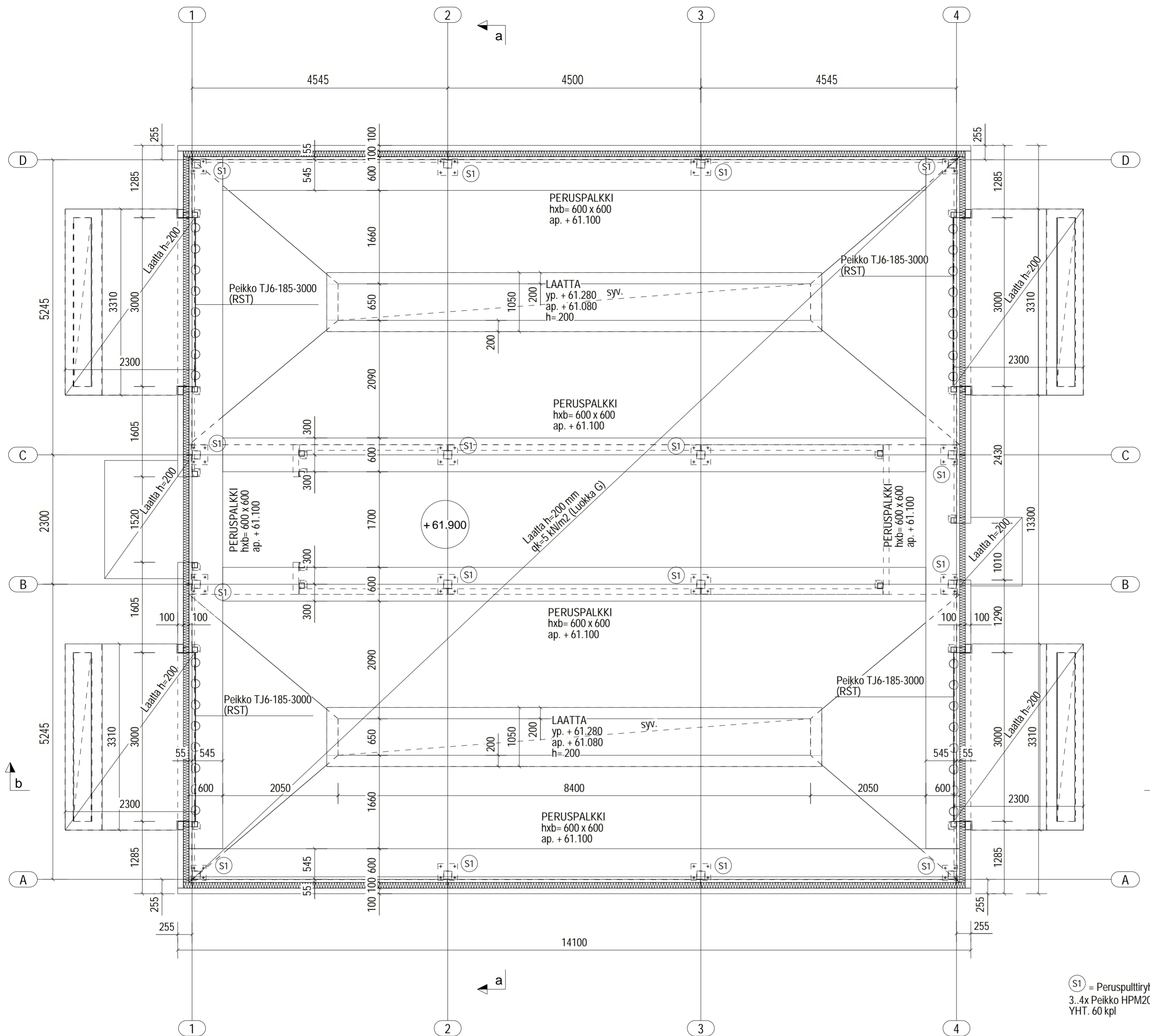
RAKENNEOSA	RASITUSLK.	BETONI	TERÄS	BETONIFEITE	MAX.RAEKOKO
Paalulaatta	xc2	C35/45	B500B	35 mm	16...32 mm



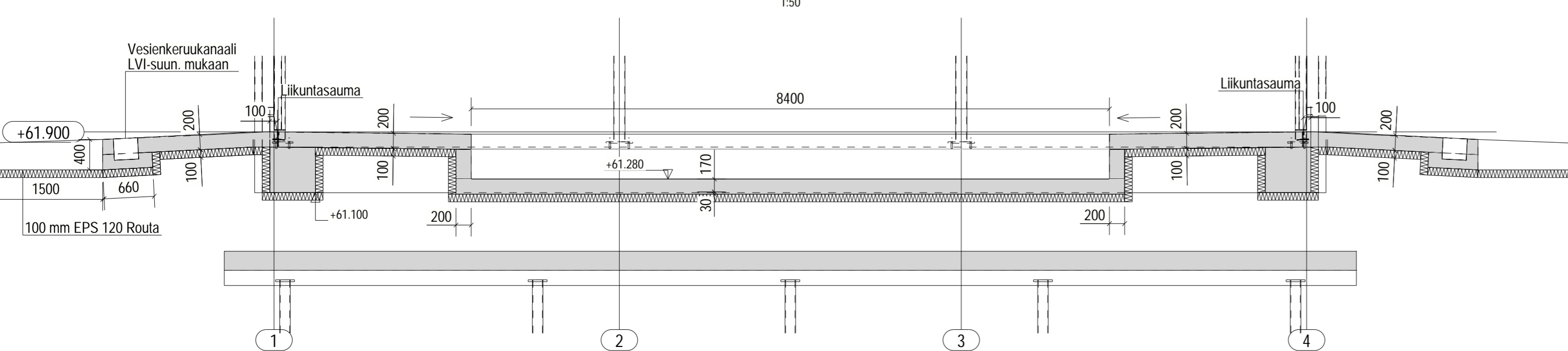
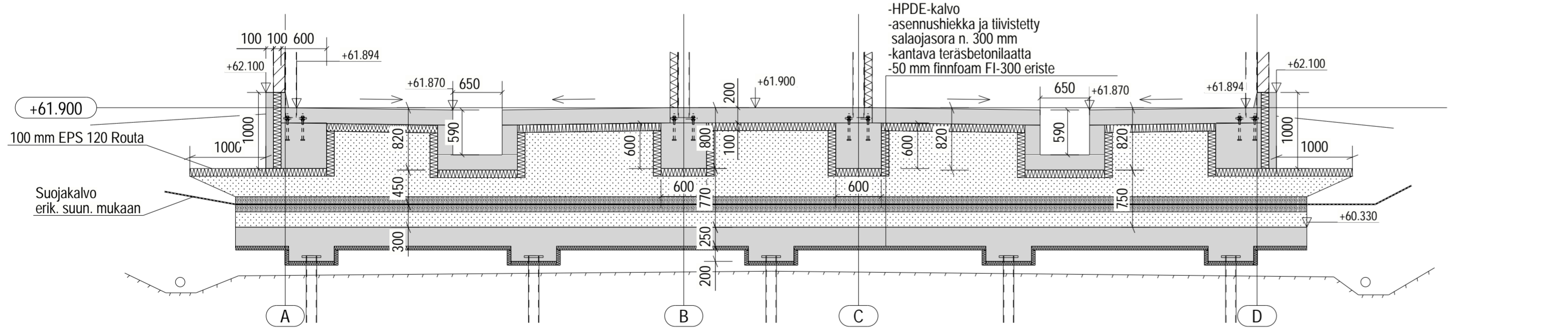
A	MUUTETTU BETONIN RASITUSLUOKKA	FIEEJT	20.03.2019	
REV.	MUUTOS	MUUTTANUT	PÄIVÄMÄÄRÄ	TARK.
	VASTAANVAIKKAVAN SUUNNITTELIJAN (NIMI, TUTKINTO, ALLEKIRJOITUS)			PVM
	Aki Luntamo, RI			
K.O.SAKYLA	KORTTELITILA	TONNINRHO	VIRANOMAISTEN ARKISTOMERKINTOJIA VARTEN	
HÄRKÖILÄ	87	1		
RAKENNUKSEN NUMERO/RAKEN**			TASOKOORDINAATTIJARJESTELMAKORKEUSJÄRJESTELMA	
RAKENNUSLOINENPIDE			PIIRUSTUSLAJI	JUOKSEVA NRO
UUDISRAKENNUS			RAKENNEPIIRUSTUS	
ABC NUMMELA / CAR-WASH NAARANPAJUNTIE 03100 NUMMELA			PAALULAATTA TASOPIIRUSTUS	1:50
SWECO  Sustainable engineering and design			TARKASTAJA Aki Luntamo, RI HYVÄKSYJÄ	SUUNNITTELUALA RAK SUUNN. TYÖN. NRO 6175
PVM	PIIRTAJA	SUUNNITTELIJA	PIIR.NRO	MUUTOS
14.01.2019		FIEEJT	102	A

Betonirakenteiden suunnittelukäyttöikä : 50 vuotta, jolloin suunnittelukäyttöön luokka on 4
 Betonin muut koostumusvaatimukset by 65 kohdan 3.1.1 mukaan
 Terästen betonipeitteen sallittu mittapoikkeama : 10 mm

RAKENNEOSA	RASITUSLK.	BETONI	TERÄS	BETONIPEITE	MAX.RAEKOKO
Reunapalkit	XC2	C25/30	B500B	30 mm	16...32 mm
Sisäpuoliset laatat	XC3, XD3	C35/45	B500B	35 mm	16...32 mm
Ulkorakenteet	XC4, XD3, XF4	C35/45	B500B	35 mm	16...32 mm



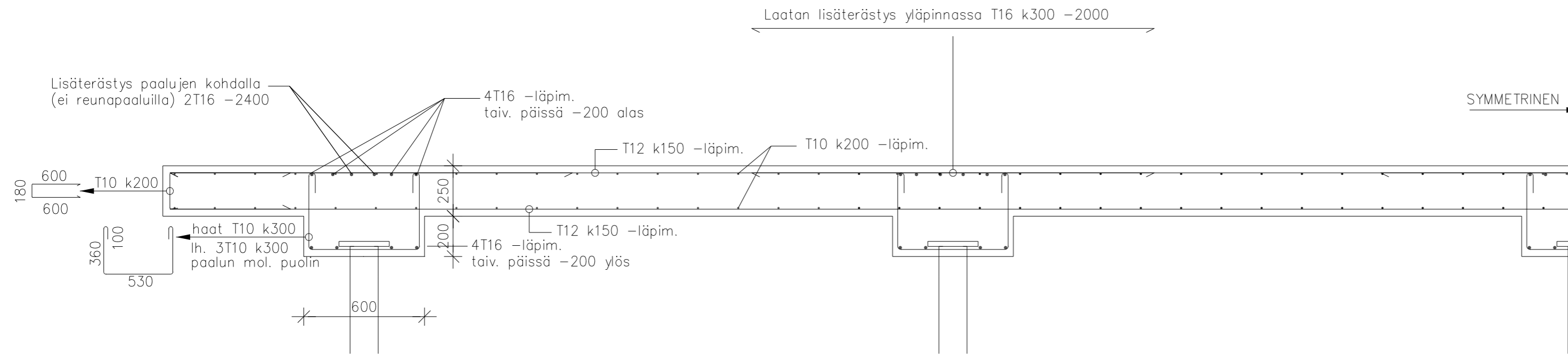
- a-a
1:50
- Pintarakenteet ark. mukaan
 - 200 mm maanvarainen teräsbetonilaatta
 - 100 mm EPS 100 Lattia
 - tiivistetty salaajasora
 - asennushiekka n. 100 mm
 - HPDE-kalvo
 - asennushiekka ja tiivistetty salaajasora n. 300 mm
 - kantava teräsbetonilaatta
 - 50 mm finnfoam FI-300 eriste



URAKKALASKENTAA VARTEN 14.01.2019

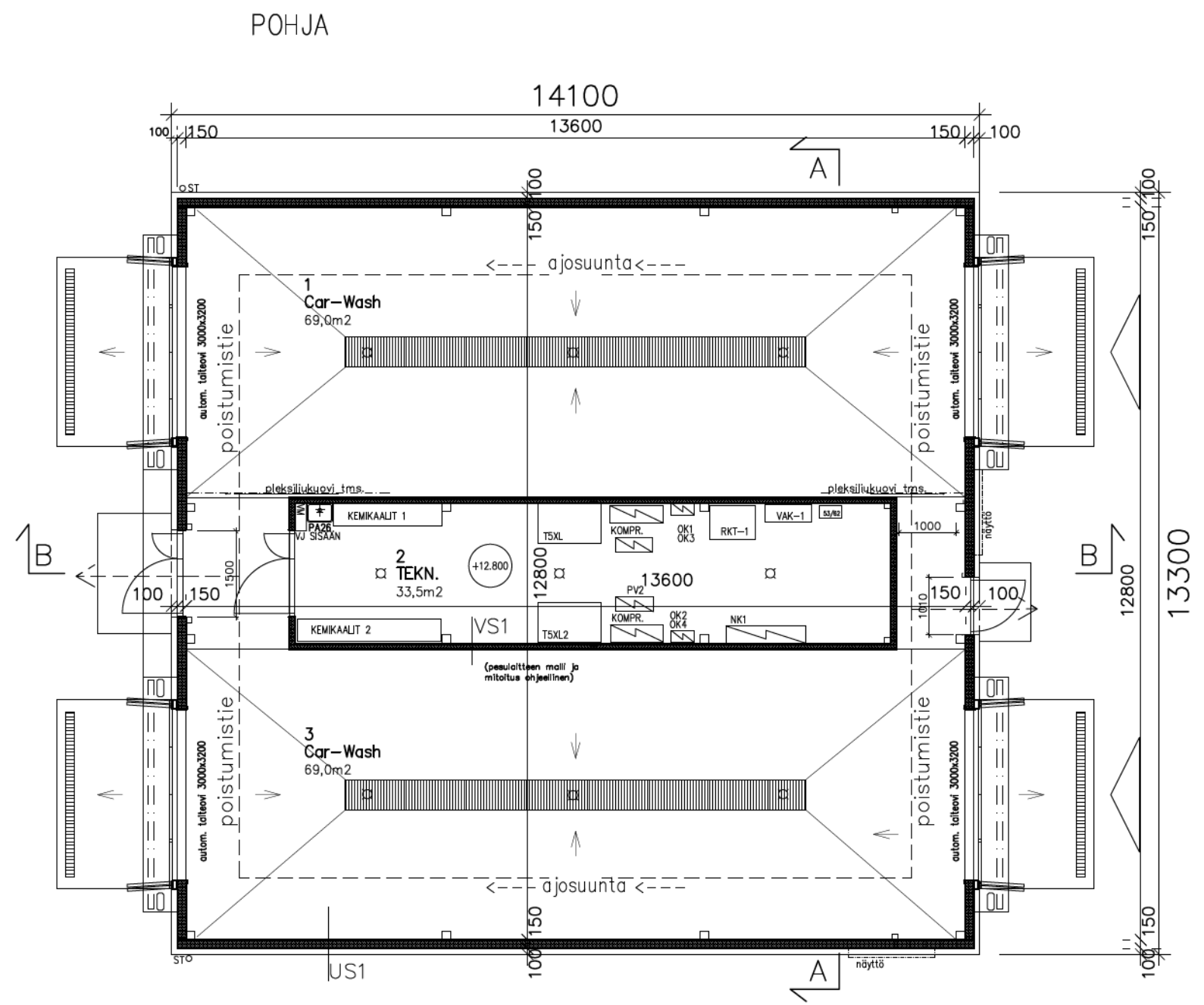
VASTAANV. RAKENNESUUNNITTELIJA (NIMI, TUTKINTO, ALLEKIRJOITUS)			PVM
Aki Luntamo, RI			
K. OSAKYLA	KORTTELITILA	TONTTINRO	VIRANOMAISTEN ARKISTOMERKINTÖJÄ VARTEN
HÄRKÖILA	87	1	
RAKENNUKSEN NUMERO/RAKEN			TASOKOORDINAATTIJARJESTELMAKORKEUSJÄRJESTELMA
RAKENNUSMÄÄRÄYKSIKÄ			PIIRUSTUSLAI
UUDISRAKENNUS			RAKENNEPIIRUSTUS
			JUOKSEVA NRO
ABC NUMMELA / CAR-WASH			MITTAKAAVAT ENNEN PIEN.
NAARANPAJUNTIE			1:50
03100 NUMMELA			TASOPIIRUSTUS
SWECO 		Sweco Rakennetekniikka Oy Pitkämaenkatu 4A 20250 Turku Puh. +358 207 393 000 etunimi.sukunimi@sweco.fi www.sweco.fi	TÄRKEÄT Aki Luntamo, RI HPYAKSYJA
PVM		SUUNNITTELIJA	SUUNNITTELUALA
PIIRTAJA		FIEEJT	RAK
			SUUNN. TYÖN. NRO
			6175
			MUUTOS
			103

BETONI TASOPIIR. 102 MUKAAN
 BETONITERÄS T=B500B
 SB. 35 mm



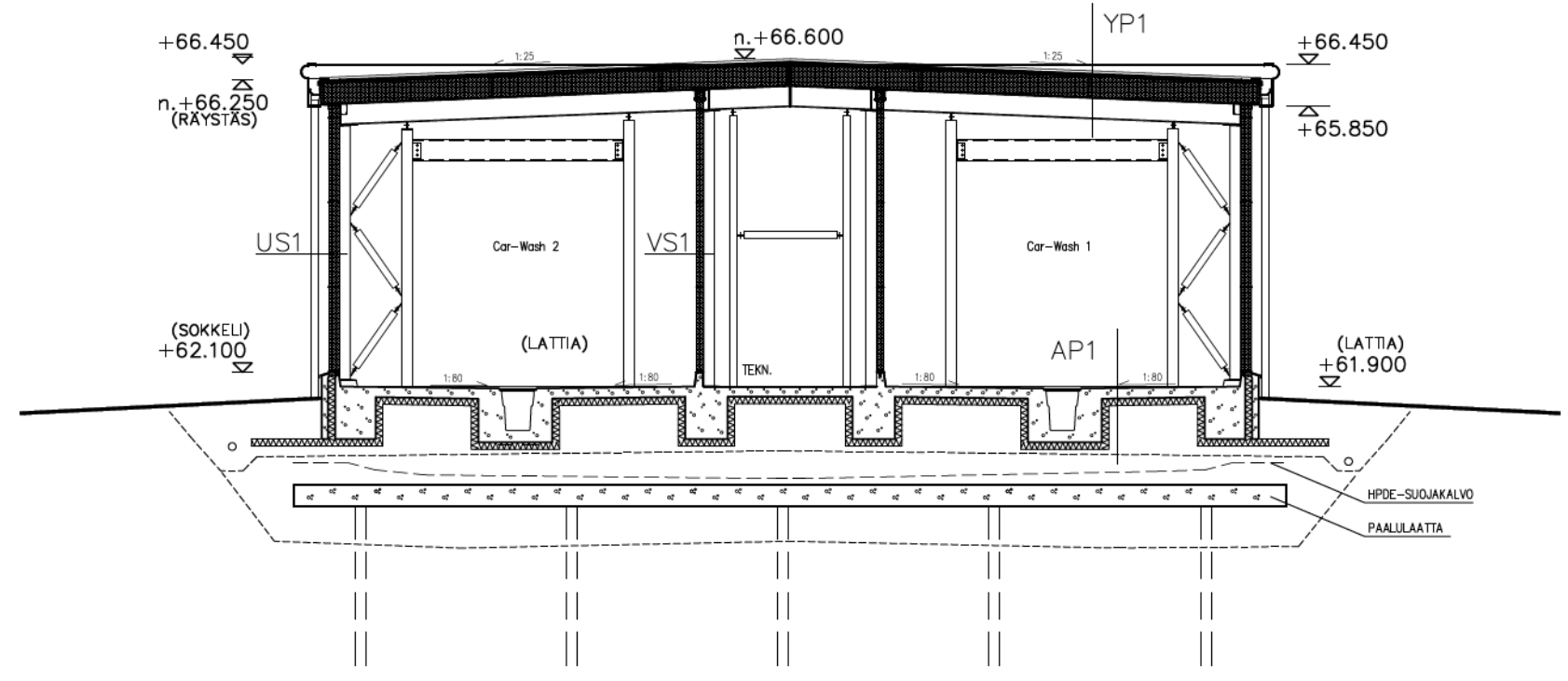
URAKKALASKENTAA VARTEN 14.01.2019

VASTAAVA RAKENNESUUNNITTELUJA (NIMI, TUTKINTO, ALLEKIRJOITUS)		PVM	
Aki Luntamo, RI			
K.OSAKYLÄ	KORTTELITILA	TONTTI/NRO	VIRANOMAISTEN ARKISTOMERKINTÖJÄ VARTEN
HÄRKÖILÄ	87	1	
RAKENNUKSEN NUMERO/RAKEN***		TASOKOORDINAATTIJÄRJESTELMÄ/KORKEUSJÄRJESTELMÄ	
RAKENNUSTOIMENPIDE		PIIRUSTUSLAJI	JUOKSEVA NRO
UUDISRAKENNUS		RAKENNEPIIRUSTUS	
ABC NUMMELA / CAR-WASH NAARANPAJUNTIE 03100 NUMMELA		PAALULAATAN TERÄSTYS	MITTAKAAVAT ENNEN PIEN. 1:20
 Sustainable engineering and design	Sweco Rakennetekniikka Oy Pitkämäenkatu 4A 20250 Turku Puh. +358 207 393 000 etunimi.sukunimi@sweco.fi www.sweco.fi		TARKASTAJA
			Aki Luntamo, RI
		SUUNNITTELUALA	
		RAK	
		SUUNN. TYÖN. NRO	
		6175	
PVM	PIIRTAJA	SUUNNITTELUJA	PIIR.NRO
		FIEEJT	402
			MUUTOS

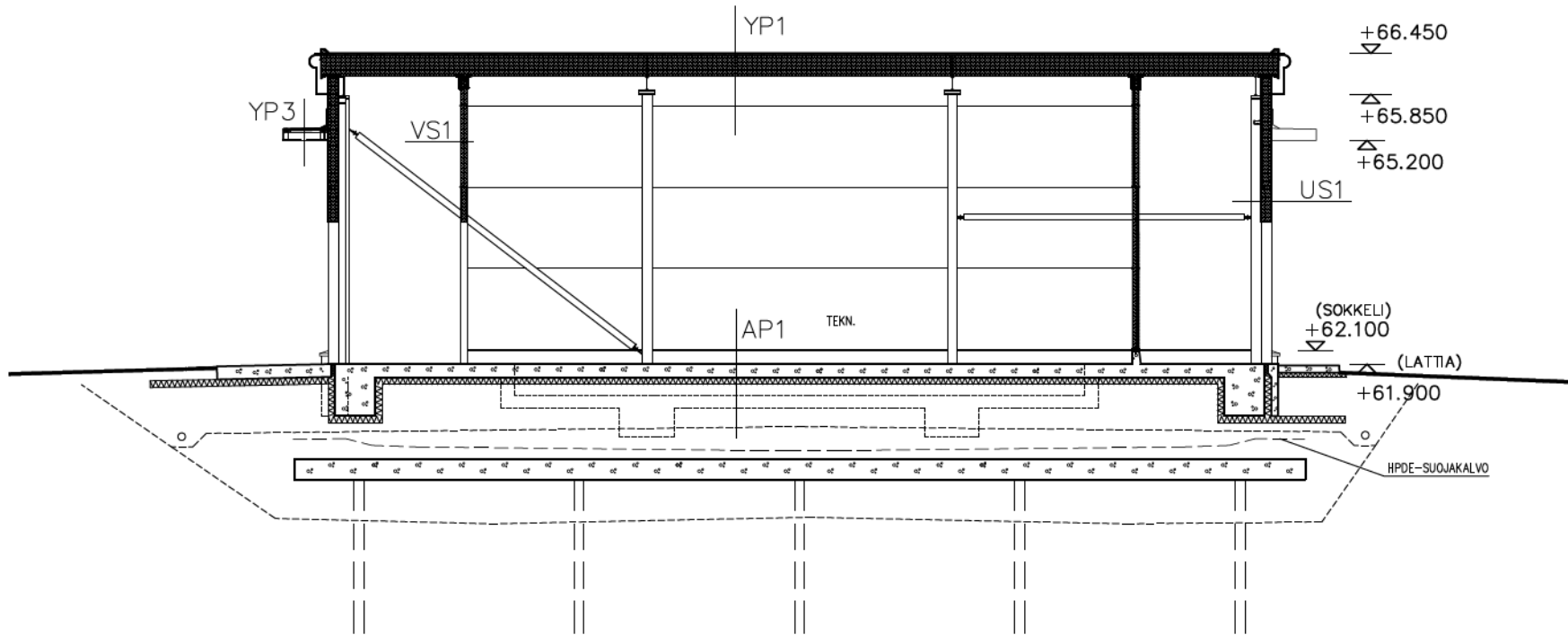


kerrosala / kokonaisala 182 km²/brm²
rakennustilavuus 870 m³

lämmän lattia- ja kattopinta-ala 174 m²
lämmän imetilavuus (4,12x174)= 717 m³
ulkoseinän pinta-ala 214,3 m², josta ovet 46,2 m²
=> us-netto 168,1 m²



LEIKKAUS A - A



LEIKKAUS B - B

AP1 U = 0,24 W/m2K

- 1 Pintamateriaali
 - 2 Kantava teräsbetoni-laatta n. 180mm (rak.suunn. mukaan)
 - 3 Lämmäneriste polystyreeni n. 140mm
 - 4 Kapillaarikatko KaM 8-16
 - 5 Kalvon suojaheikkakerros, saajajitus
 - 6 HDPE -kalvo, 1,0 mm
 - 7 Suojaheikkakerros, kalvon kaivo ja viemärinti
 - 8 Mursketäyttö
 - 9 Suodatinkangas
 - 10 Perusmaa
- (kokonaispaksuus n. 320mm)

YP1 U = 0,12 W/m2K

- 1 Kumibitumikermikate VE-80
 - 2 Laakerointikerros, kova mineraalivilla (pintalevyt) tai vastaava
 - 3 ThermiSol-seinäelementti Micro W3MM-300
 - 4 Kantava teräsrakenne
- (kokonaispaksuus n. 340mm)

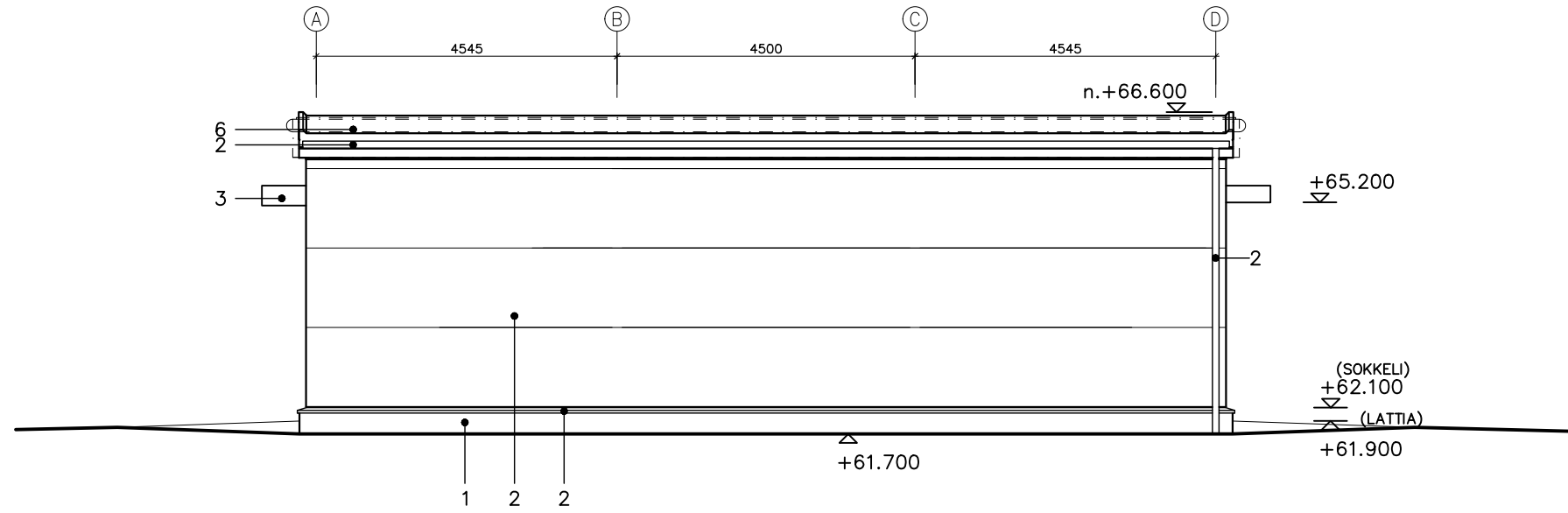
US1 U = 0,23 W/m2K

ThermiSol-seinäelementti Micro W3MM-150

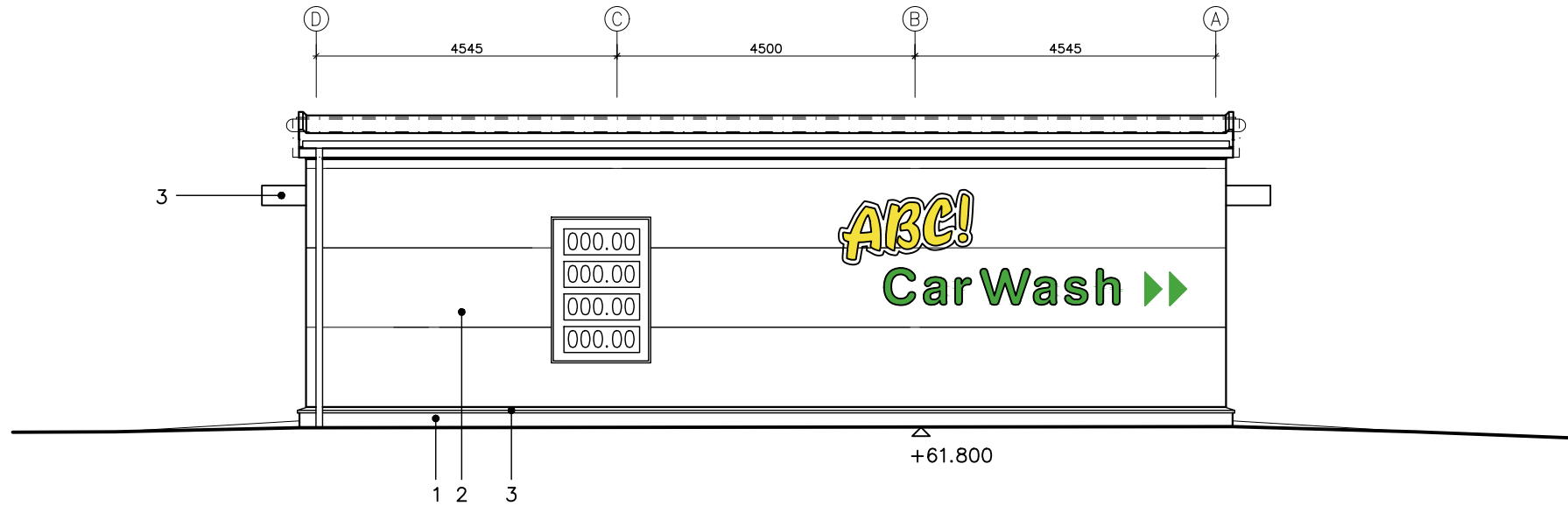
VS1

ThermiSol-seinäelementti Micro W3MM-100

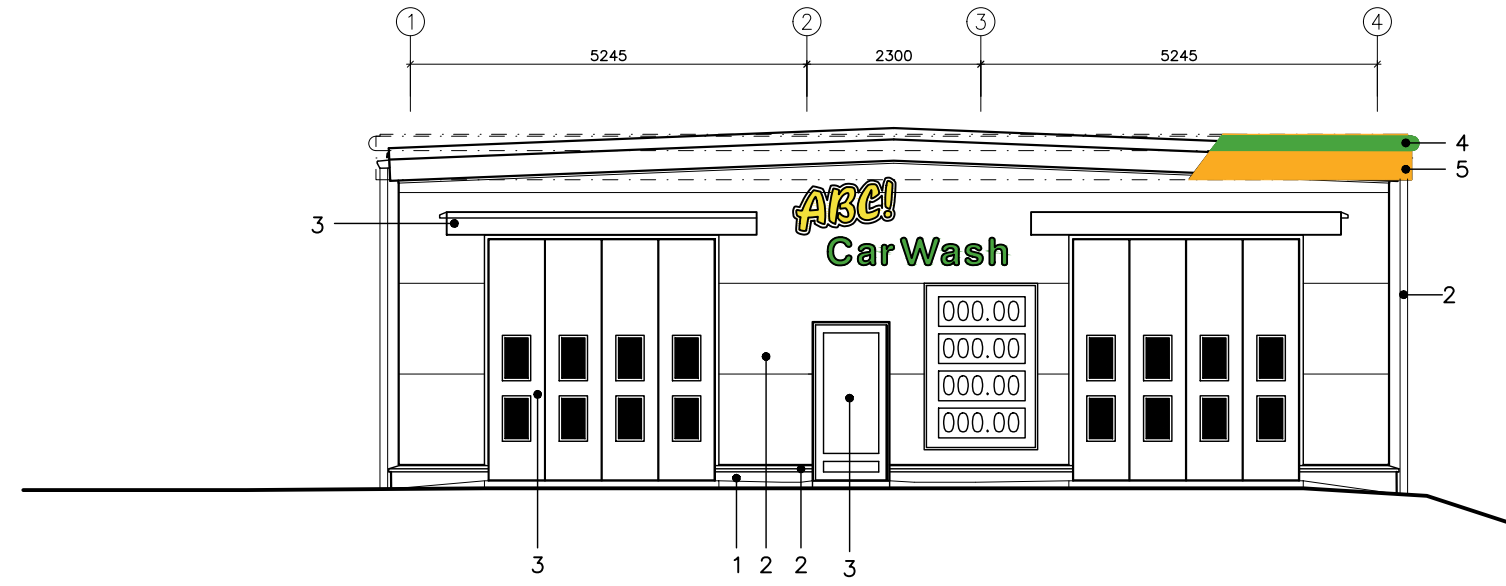
k.osa/kyä	kortteli/tila	tontti/r.no	viranomaisten arkistomerkintöjä
Härköilä	87	1	
rakennustoimenpide UUDISRAKENNUS			piirustuslaji
omistaja Suur-Seudun Osuuskauppa - SSO			PÄÄPIIRUSTUS
rakennuskohteen nimi ja osoite			juoks. no
ABC Nummela / CarWash			2
NAARANPAJUNTIE, 03100 NUMMELA			mittakaavat
pöivöys 14.01.2019			POHJA
arkkitehtitoimisto jarmo saarinen oy			LEIKKAUS A-A ja B-B
käsityöläiskatu 5 B, 20100 TURKU			1:100
02-233 0900, telefax 02-233 3551			tiedosto 1003 POHJA + LEIKKAUS + JST (14012019).DWG
etunimi.sukunimi@arkkitehtitoimistosaarinen.fi			suunn.alo
jarmo saarinen, arkkitehti			tark.
ark			piirt.
työ.no piir.n:o muutos			tl
1003 502			



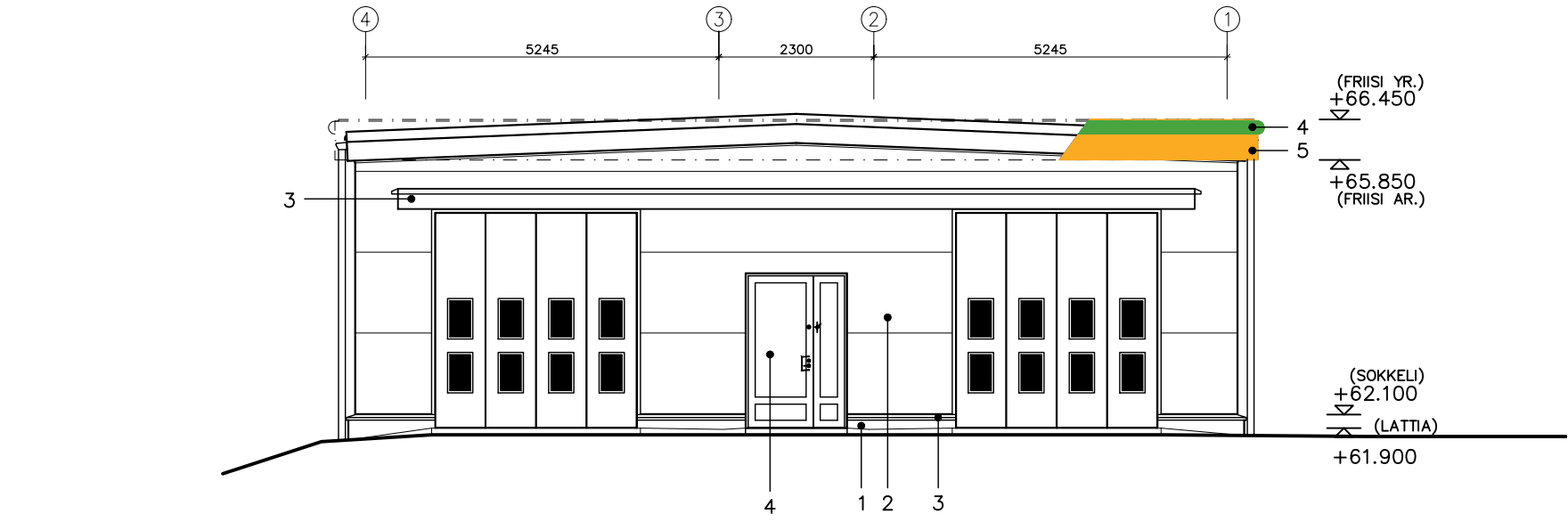
SIVU LUOTEeseen



SIVU KAAKKOON



PÄÄTY KOILLISEEN



PÄÄTY LOUNAASEEN

- MATERIAALIT:
1. LUONNONVÄRINEN BETONI (säievalu) (sokkeli)
 2. MUOVIPINNOITETTU TERÄSOHUTLEVY (tumma harmaa RR23) (elementti + saumalistat, räystäät ja vesipellit, sv-varusteet)
 3. MAALATTU TERÄS TAI ALUMIINI (tumma harmaa RAL7024) (ulko-ovet)
 4. MAALATTU TERÄSOHUTLEVY (vihreä, RAL 6018)
 5. MAALATTU TERÄSOHUTLEVY (keltainen, RAL 1018)
 6. BITUMIHUOPAKATE (garafiitinharmaa)



k.osa/kylä	kortteli/tila	tontti/r.no	viranomaisten arkistomerkintöjä
Härköilä	87	1	
rakennustoimenpide	UUDISRAKENNUS		
omistaja	Suur-Seudun Osuuskauppa - SSO		piirustuslaji juoks. no
rakennuskohteen nimi ja osoite	ABC Nummela / CarWash		PÄÄPIIRUSTUS 3
			piirustuksen sisältö mittakaavat
			JULKISIVUJA 1:100
NAARANPAJUNTIE, 03100 NUMMELA		tiedosto	1003 POHJA + LEIKKAUS + JST (14012019).DWG
päiväys 14.01.2019	suunn.ala	tark.	piirt. tl
arkkitehtitoimisto jarmo saarinen oy			
käsityöläiskatu 5 B, 20100 TURKU			
02-233 0900, telefax 02-233 3551			
etunimi.sukunimi@arkkitehtitoimistosaarinen.fi			
		työ.no	piir.n:o muutos
		1003	503

Liite 3. Kuormat

ABC Nummela / Car-wash
kuormat
Rakennuksen päämitat

$$L := 14.1 \text{ m}$$

$$B := 13.3 \text{ m}$$

$$A := L \cdot B = 187.53 \text{ m}^2$$

Paalulaatan mitat

$$L_1 := 14.9 \text{ m}$$

$$B_1 := 14.1 \text{ m}$$

$$A_1 := L_1 \cdot B_1 = 210.09 \text{ m}^2$$

Kuormat

$$g_{k.rak} := 1.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Edellisessä kohteessa laskettu yläpohja
+teräsrunko+ripustus

Maanvarainen laatta

Pesuhallin alapohjana toimii 200mm
maatavasten valettu teräsbetonilaatta

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

$$\gamma_{\text{betoni}} := 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$g_{k.ap.1} := h \cdot \gamma_{\text{betoni}} = 5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Paalulaatta palkkikaistoilla

$$h_1 := 250 \text{ mm}$$

Laatan paksuus

$$h_2 := 450 \text{ mm}$$

Palkkikaistojen korkeus

$$b_2 := 600 \text{ mm}$$

Palkkikaistojen leveys

$$n := 5$$

Palkkikaistojen määrä

$$b_1 := B_1 - n \cdot b_2 = 11.1 \text{ m}$$

Laattaosuuden leveys

$$g_{k.ap.2} := \frac{L_1 \cdot \gamma_{\text{betoni}} \cdot (b_1 \cdot h_1 + n \cdot b_2 \cdot h_2)}{A_1} = 7.314 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Paalulaatan kokonaiskuorma

Maatäyttö

$$\gamma_{\text{maa}} := 18 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$h_1 := 590 \text{ mm}$$

$$A_{\text{maa.1}} := 125.33 \text{ m}^2$$

$$g_{\text{k.maa.1}} := \frac{h_1 \cdot \gamma_{\text{maa}} \cdot A_{\text{maa.1}}}{A_1} = 6.335 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$h_2 := 650 \text{ mm}$$

$$g_{\text{k.maa.2}} := h_2 \cdot \gamma_{\text{maa}} = 11.7 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$g_{\text{k.maa.tot}} := g_{\text{k.maa.1}} + g_{\text{k.maa.2}} = 18.035 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Reuna- ja keskipalkit

$$h_p := 600 \text{ mm}$$

$$b_p := 600 \text{ mm}$$

$$l_p := 75.8 \text{ m}$$

$$g_{\text{k.palkit}} := \frac{h_p \cdot b_p \cdot l_p \cdot \gamma_{\text{betoni}}}{A} = 3.638 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Seinät

$$p_{\text{seinä}} := 1.7 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$l_{\text{seinä}} := 76 \text{ m}$$

$$g_{\text{k.seinät}} := \frac{p_{\text{seinä}} \cdot l_{\text{seinä}}}{A} = 0.689 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Maatäytön tilavuuspaino
RIL201-1-2017 s.83

Palkkien ja kourujen välisen
maatäytön korkeus ja pinta-
ala (laskettu mallista)

Hallin alapohjan ja paalulaatan
välisen maatäytön korkeus

Maatäytön kokonaiskuorma
paalulaatalle

Palkkien yhteispituus
metreinä (malli)
Palkkien kok. paino jaettuna
rakennuksen pinta-alalla

Seinän metrikuorma
(edellinen kohde)
Seinien yhteispituus (malli)

Seinien kok. paino jaettuna
rakennuksen pinta-alalla

Maatäyttö jakaa seinien ja palkkien kuormat tasaisesti paalulaatalle

Muuttuvat kuormat

$$s_k := 2.75 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Lumikuorman ominaisarvo Vihti

$$\mu := 0.8$$

Kattokaltevuuden huomiointikerroin
RIL201-1-2017 s.100

$$q_{k.lumi} := \mu \cdot s_k = 2.2 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$q_{k.hyöty} := 5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

G luokan hyötykuorma
RIL201-1-2017 s.72

Paalujen suurimmat jännevälit

25 paalua, paalutuspiirustus

$$l_{paalu} := 3125 \text{ mm}$$

$$b_{paalu} := 3325 \text{ mm}$$

$$A_{paalu} := l_{paalu} \cdot b_{paalu} = 10.391 \text{ m}^2$$

Yhden paalun kuormitusala

Pysyvät kuormat yhteensä

$$g_{k.tot} := g_{k.rak} + g_{k.ap.1} + g_{k.ap.2} + g_{k.maa.tot} + g_{k.palkit} + g_{k.seinät} = 36.176 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Muuttuvat kuormat yhteensä

$$q_{k.tot} := q_{k.lumi} + q_{k.hyöty} = 7.2 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

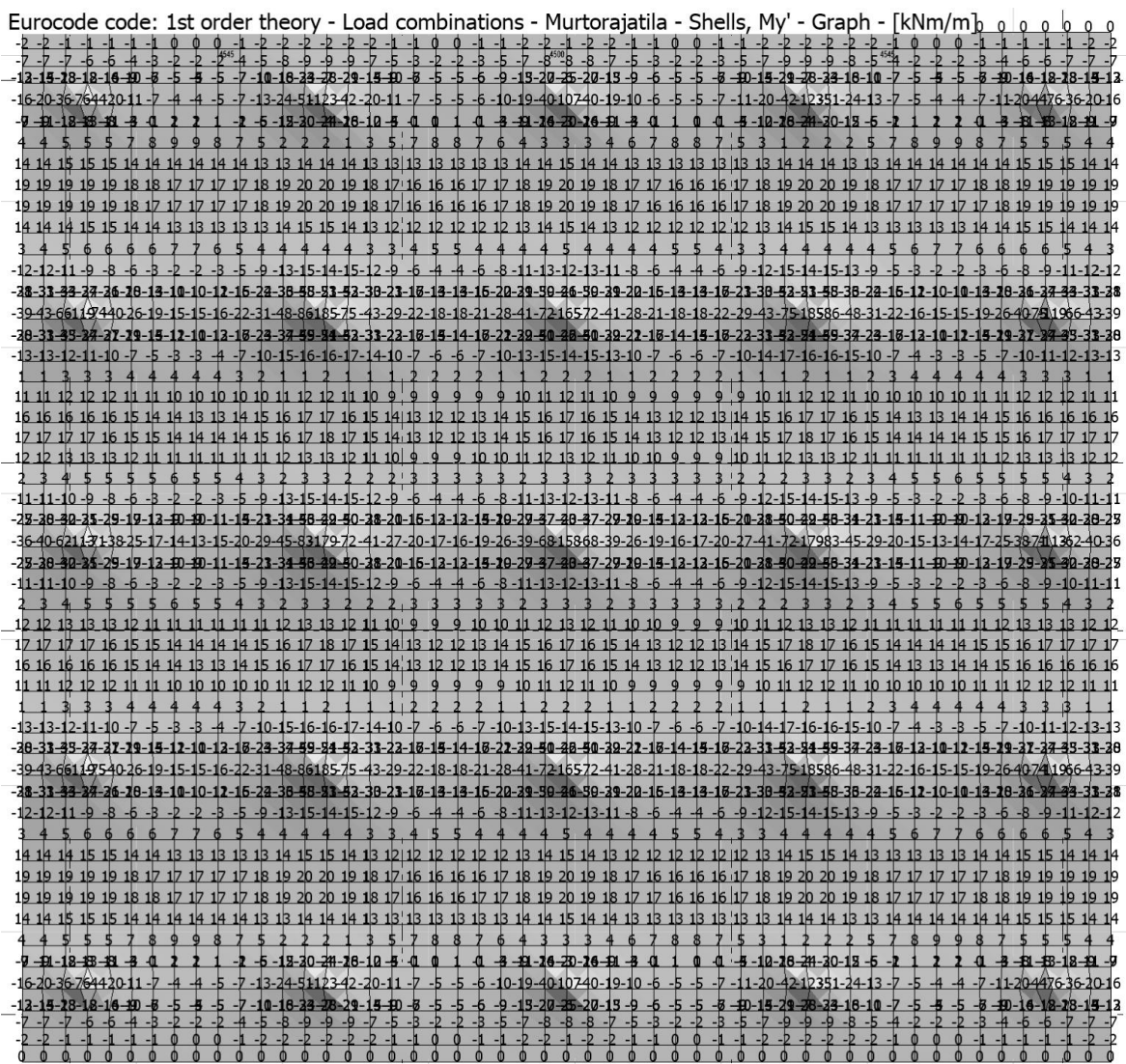
$$F_{Ed.pysyvä} := 1.35 \cdot A_{paalu} \cdot g_{k.tot} = 507.453 \text{ kN}$$

$$F_{Ed.MRT} := A_{paalu} \cdot (1.15 \cdot g_{k.tot} + 1.5 \cdot q_{k.tot}) = 544.494 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} := \max(F_{Ed.pysyvä}, F_{Ed.MRT}) = 544.494 \text{ kN}$$

$$R_{d,max} := 594 \text{ kN} \geq F_{Ed} \quad \text{OK!}$$

Pohjatutkijan määrittelemä
paalun maksimikestävyys

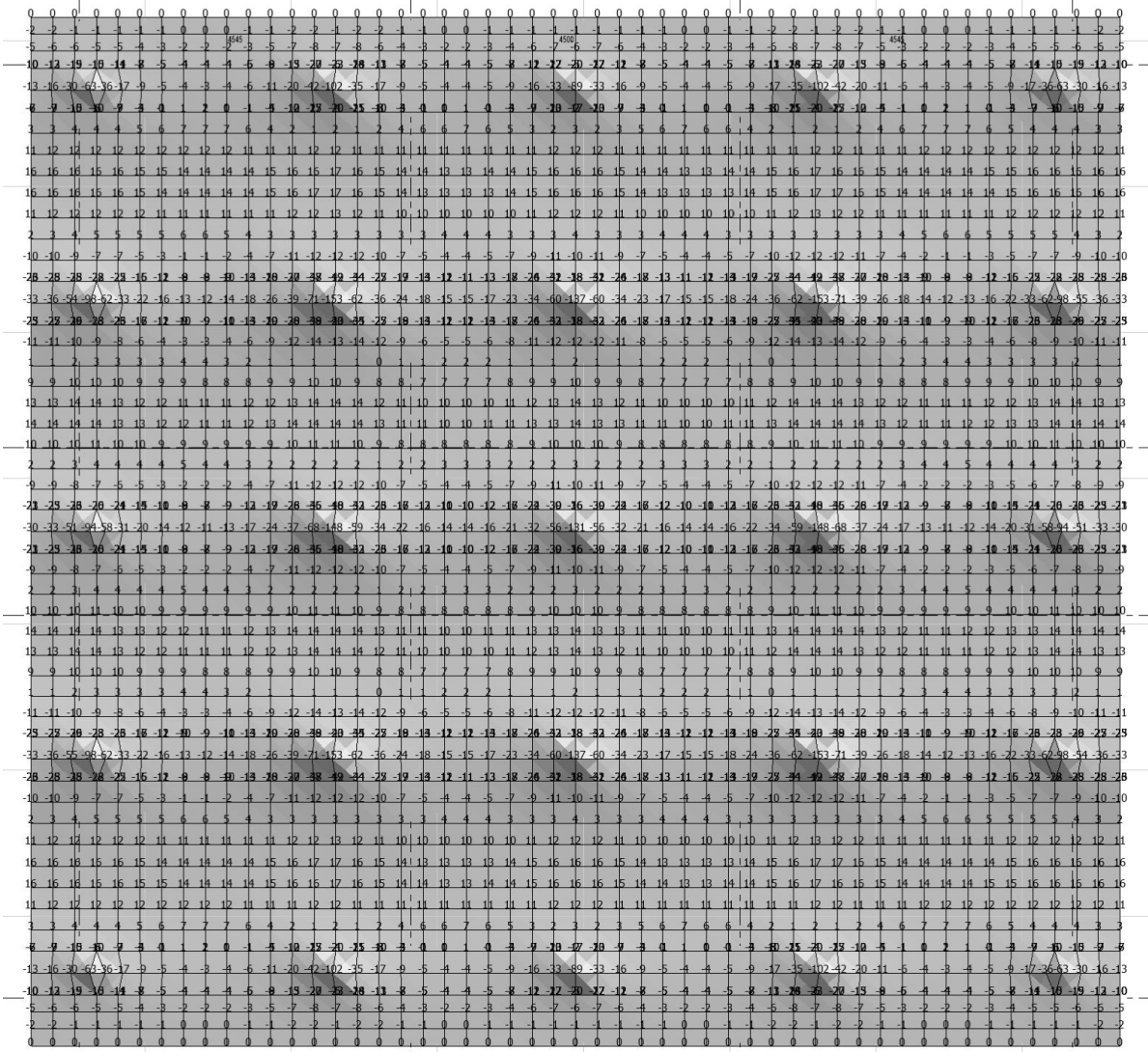


Project	ABC Nummela / Opinnäytetyö	Scale	1 : 100
Description	Paalulaatan voimasuureet	File name	paalulaatta FEM-laskenta.dwg
Designer	Eetu Jäntti	Date/Time	01/29/19 11:00:55
Signature		Comments	
FEM-Design 17 - © StruSoft			page : 1

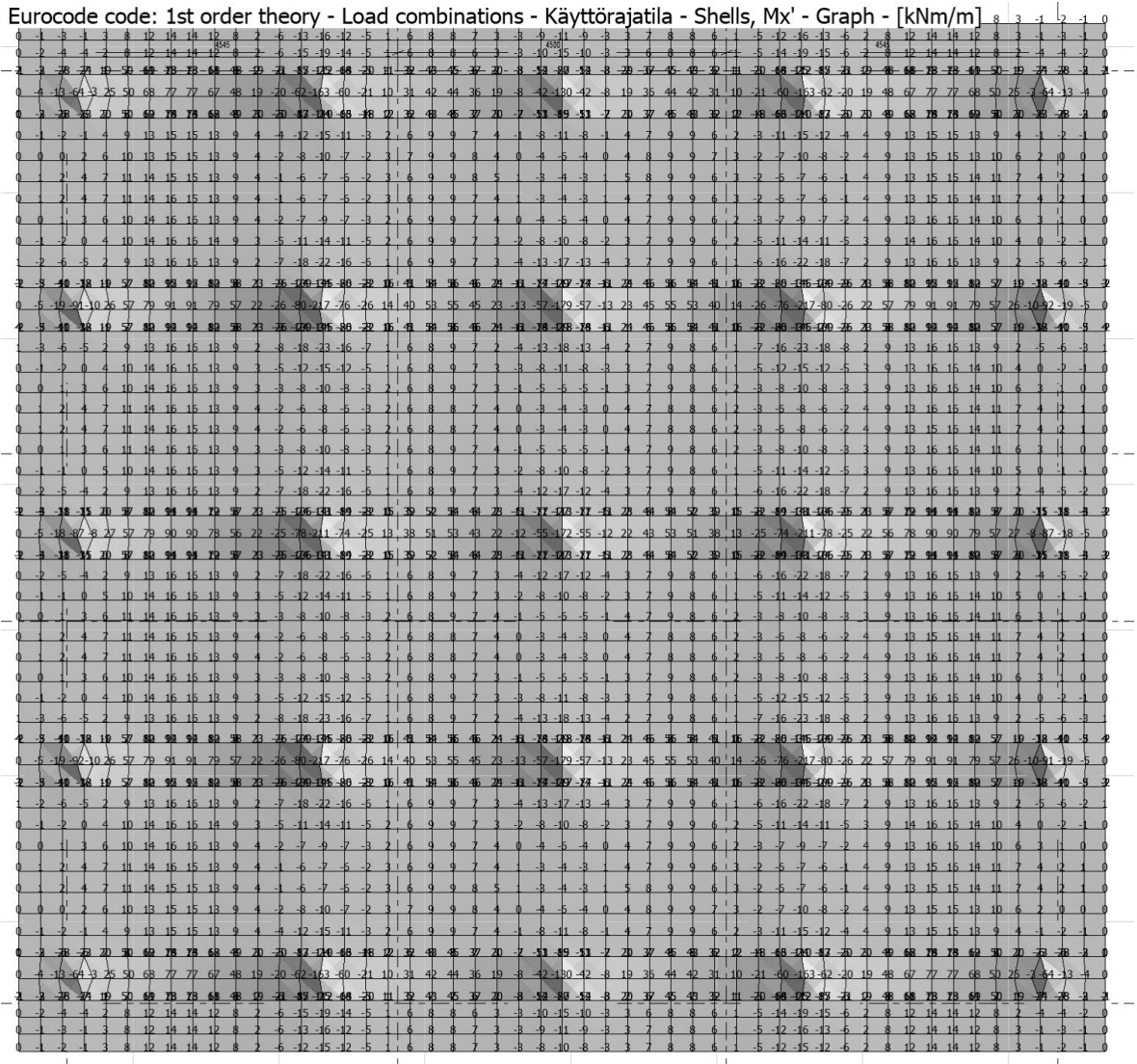
Eurocode code: 1st order theory - Load combinations - Murtorajatila - Shells, Mx' - Graph - [kNm/m]

Project	ABC Nummela / Opinnäytetyö	Scale	1 : 100
Description	Paalulaatan voimasuureet	File name	paalulaatta FEM-laskenta.dwg
Designer	Eetu Jäntti	Date/Time	01/29/19 10:59:55
Signature		Comments	

Eurocode code: 1st order theory - Load combinations - Käyttörajatila - Shells, My' - Graph - [kNm/m]

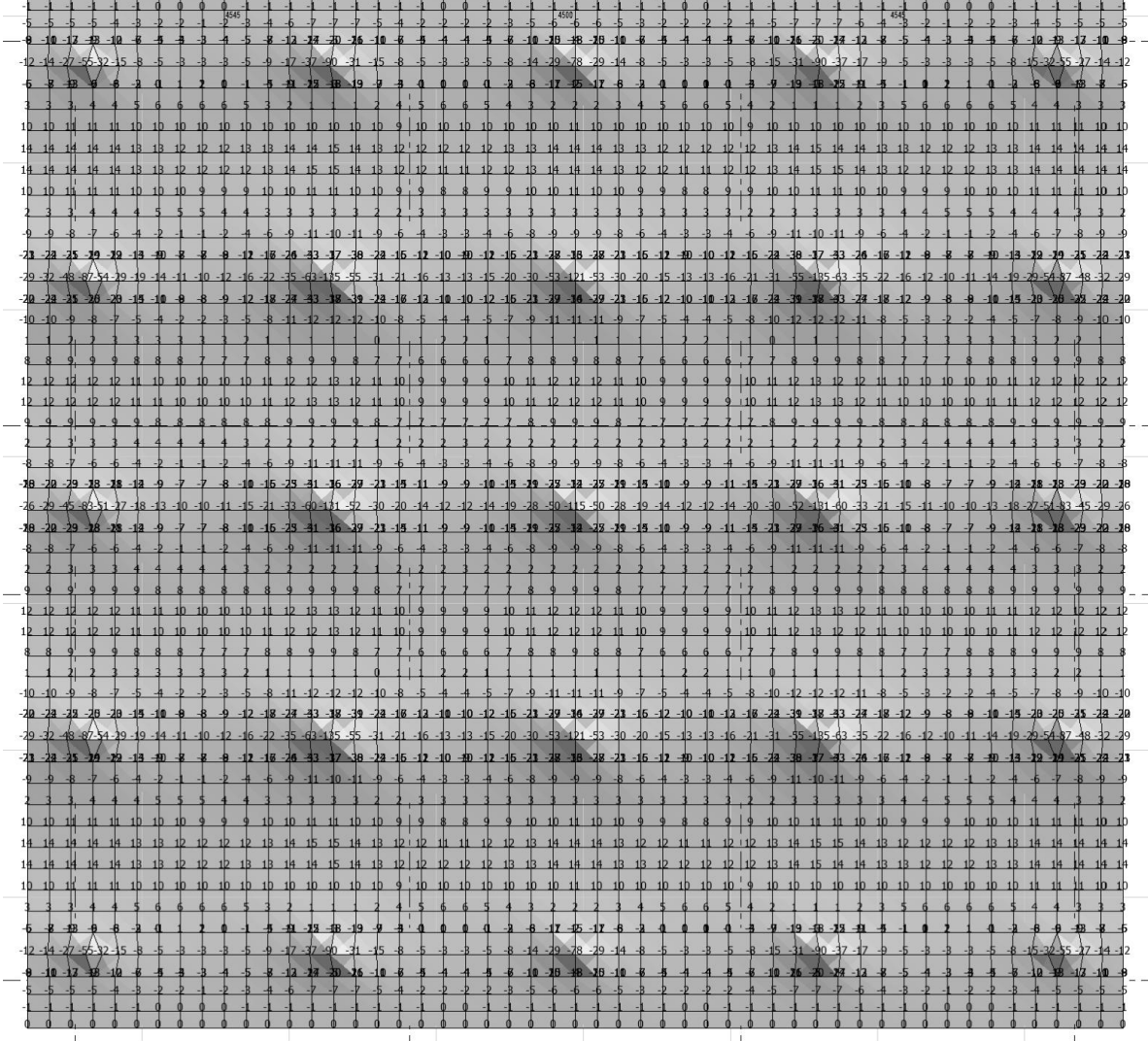


Project	ABC Nummela / Opinnäytetyö	Scale	1 : 100
Description	Paalulaatan voimasuureet	File name	paalulaatta FEM-laskenta.dwg
Designer	Eetu Jäntti	Date/Time	01/29/19 11:03:28
Signature		Comments	
FEM-Design 17 - © StruSoft			page : 1



Project	ABC Nummela / Opinnäytetyö	Scale	1 : 100
Description	Paalulaatan voimasuureet	File name	paalulaatta FEM-laskenta.dwg
Designer	Eetu Jäntti	Date/Time	01/29/19 11:02:39
Signature		Comments	
FEM-Design 17 - © StruSoft			page : 1

Eurocode code: 1st order theory - Load combinations - Pitkäaikaisyhdistely - Shells, My' - Graph - [kNm/m]

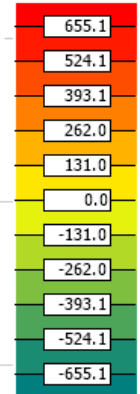


Project	ABC Nummela / Opinnäytetyö	Scale	1 : 100
Description	Paalulaatan voimasuureet	File name	paalulaatta FEM-laskenta.dwg
Designer	Eetu Jäntti	Date/Time	01/29/19 11:05:00
Signature		Comments	

Eurocode code: 1st order theory - Load combinations - Pitkäaikaisyhdistely - Shells, Mx' - Graph - [kNm/m]

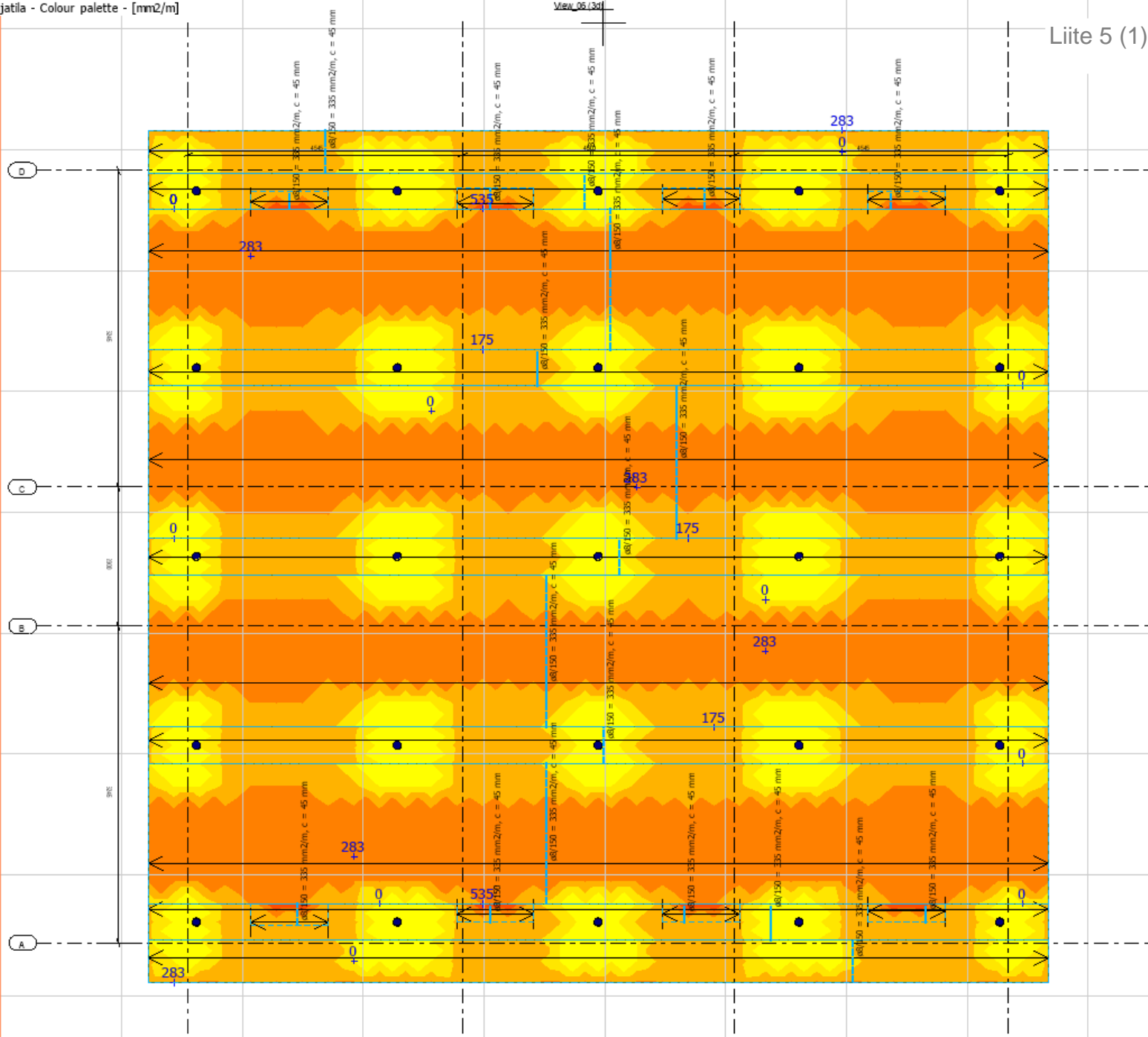
Table with 10 columns and 100 rows of numerical data representing load combinations for Shells, Mx'.

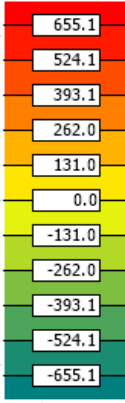
Project	ABC Nummela / Opinnäytetyö	Scale	1 : 100
Description	Paalulaatan voimasuureet	File name	paalulaatta FEM-laskenta.dwg
Designer	Eetu Jäntti	Date/Time	01/29/19 11:04:17
Signature		Comments	
FEM-Design 17 - © StruSoft			page : 1



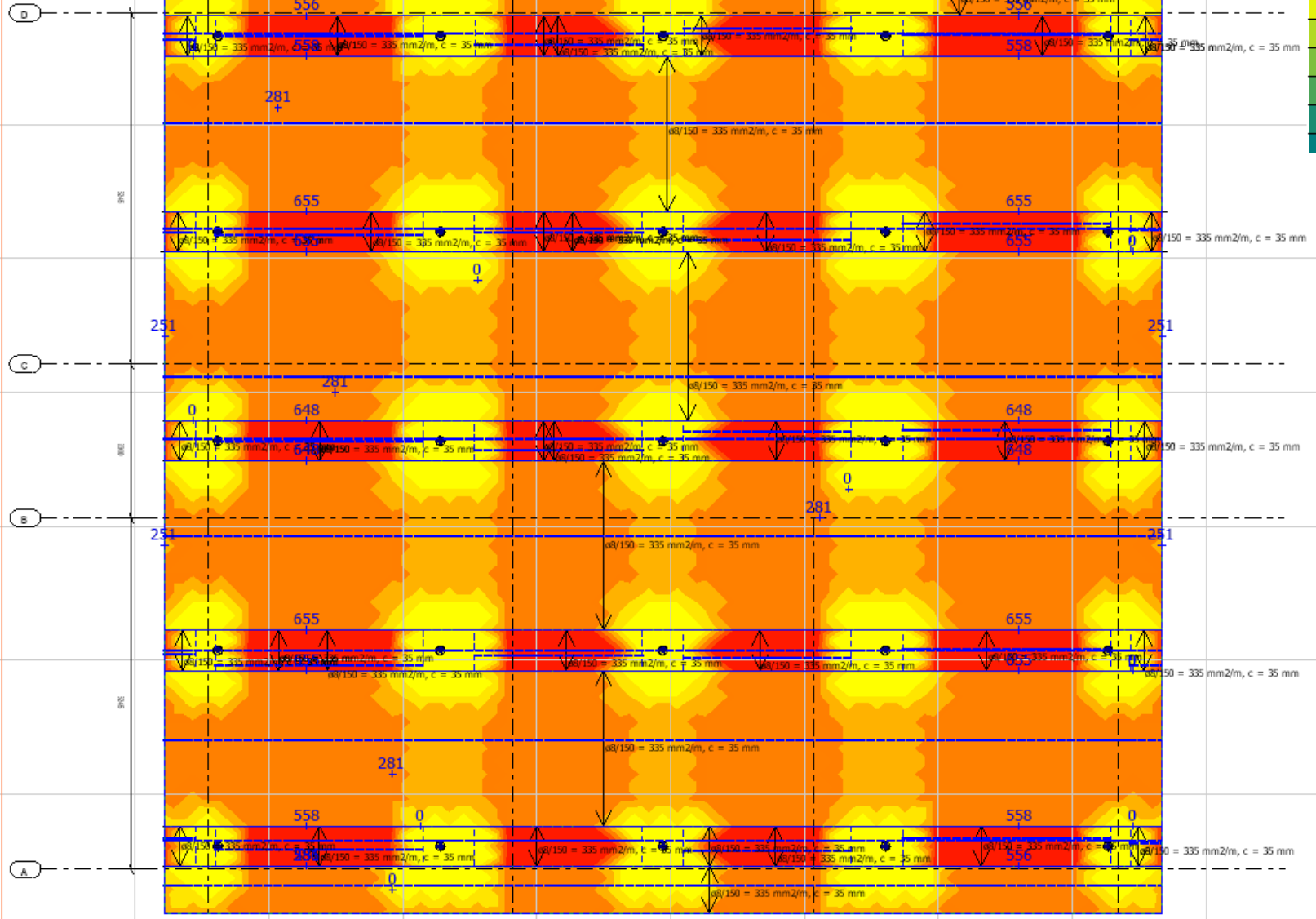
Liite 5. FEM-Design 17 automaattinen raudoitus

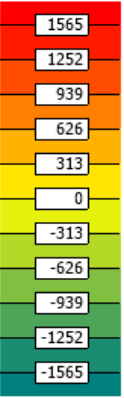
Alapinnan y-suuntainen raudoitus



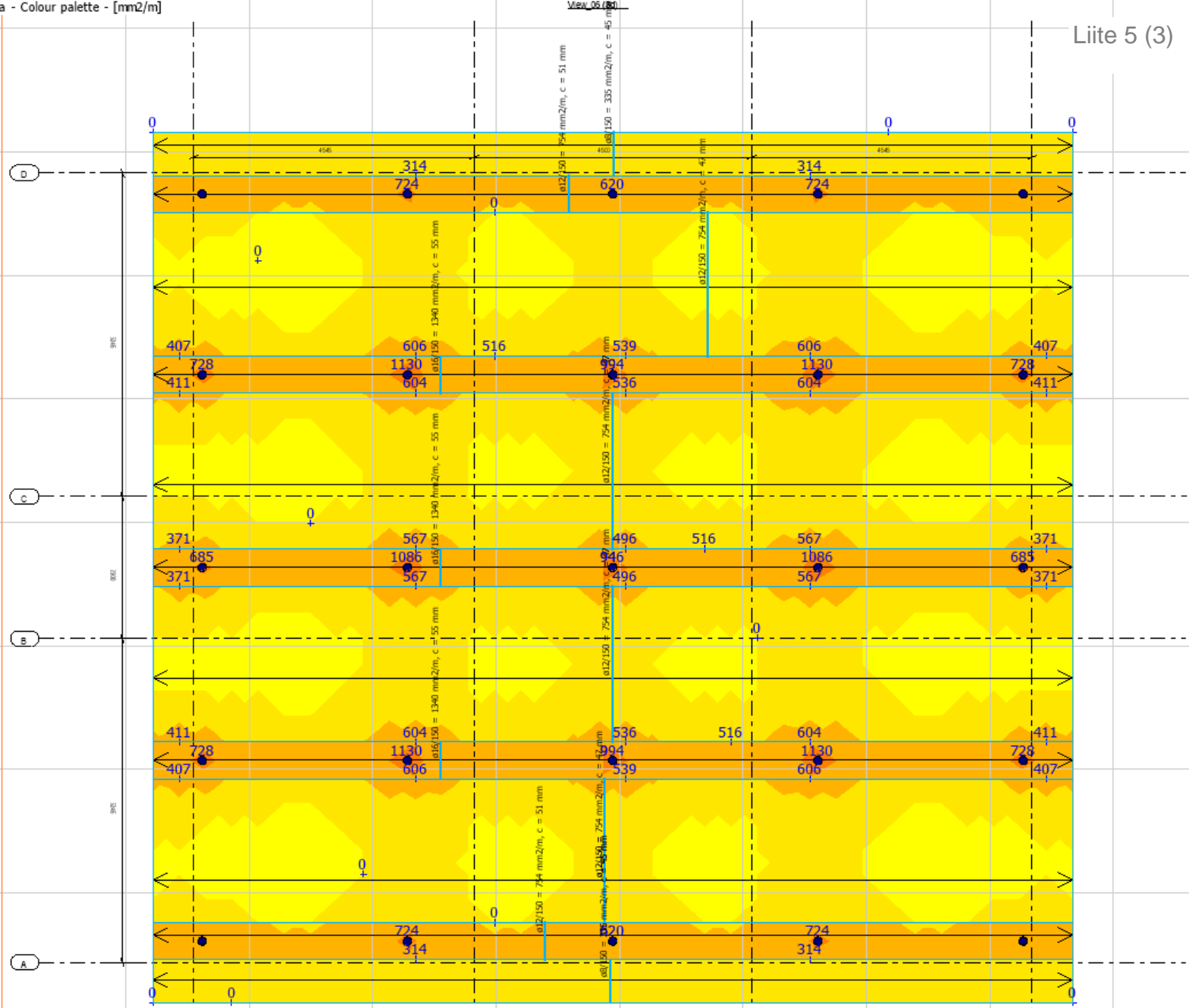


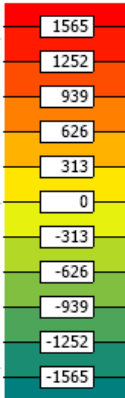
Alapinnan x-suuntainen rauditus



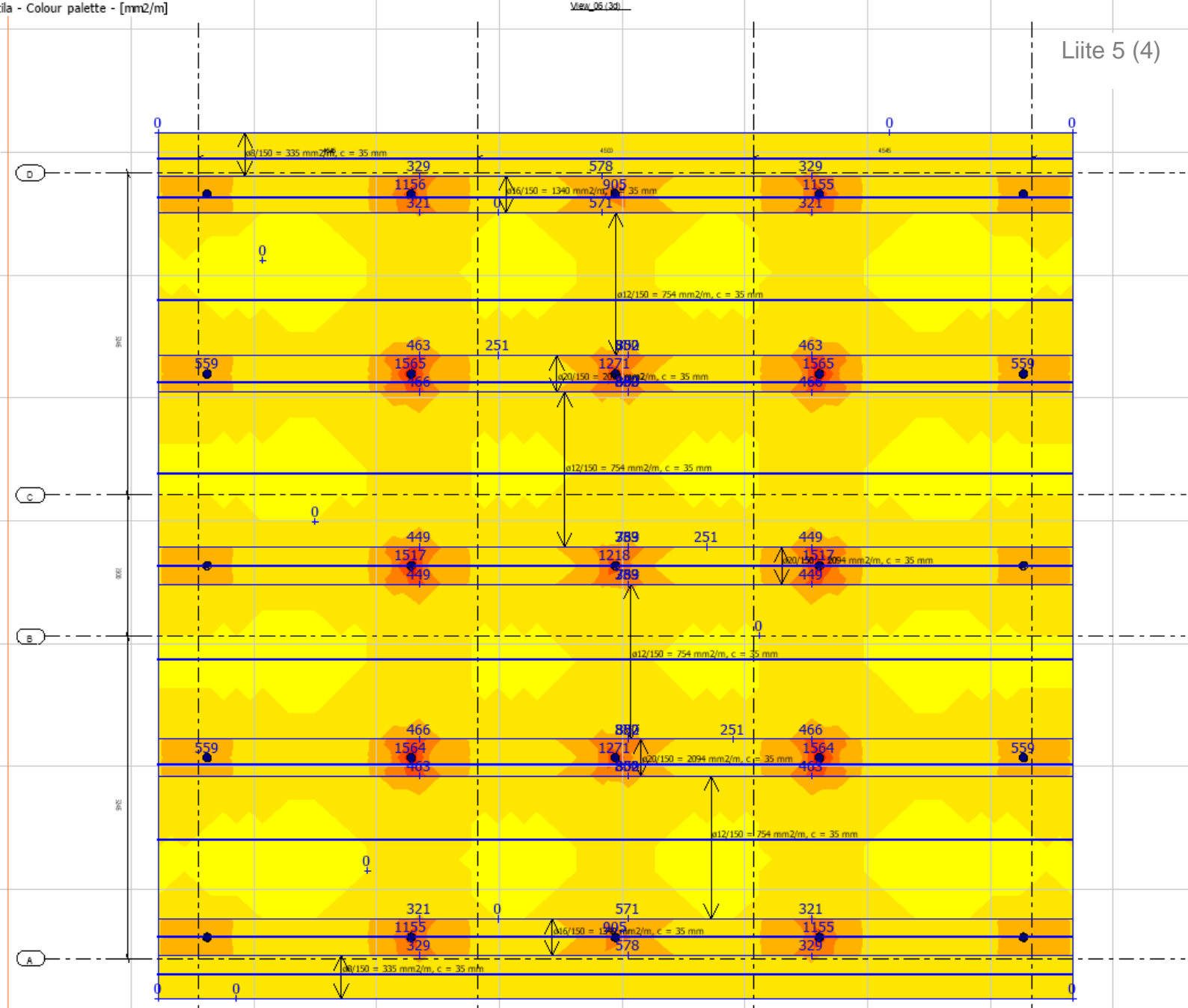


Yläpinnan y-suuntainen raudoitus

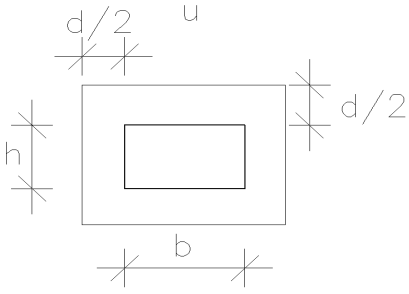




Yläpinnan x-suuntainen raudoitus



Läpileikkaus pilarissa



Kuorma F
 pinta-ala 10 m²
 q= 7,2 kN/m²
 g= 36,2 kN/m²
F= 549,6 kN
 Lisäkuorma: 0 kN
 F 549,6 kN

teräs x	fii	12	k	150	753,98 OK
teräs y	fii	12	k	150	753,98 OK
b				250 mm	
h				250 mm	
d				340 mm	
k				1,26 m	
roo				0,00222	
Beeta				0,3 (kuorma keskeisesti)	
u (leikkautuva piiri)				2360 mm	

$V_c = k \cdot \text{Beeta} \cdot (1 + 50 \cdot \text{roo}) \cdot u \cdot d \cdot f_{ctd} =$ **568,4 kN**
 $F < V_c$ **PUIKKAREITA EI TARVITA**

$V_s = A_{sv} \cdot f_{yd} \cdot \sin(\alpha)$

Haat		8
kulma		60 astetta
kpl		16

Asv = 100,531
Vs = 417,9

$V_d = 0,25 \cdot V_c + V_s$ kuitenkin max 2 x Vc $F < 2x V_c$ **OK**
Vd = 560,0 $F < V_d$ **OK**

Liite 7. Laatan raudoituksen laskenta

VESITIIIVIS RAKENNE

Paalulaatan alapinnan pääterästys

Halkeaman ominaisveveys rakenteen pinnassa

Laskija: FIEEJT

Alkutietoja	Rakenneluokka			
	Betoni (K)		2	
	Teräs		K35	$f_{cd} = 16,33 \text{ N/mm}^2$
	Suojabetoni	c	A500HW	$f_{yd} = 416,67 \text{ N/mm}^2$
		h	35 mm	$f_{ctd} = 1,43 \text{ N/mm}^2$
		b	250 mm	$\rho = 0,086 \%$
		Es	1000 mm	
		kw	200000 N/mm ²	
			0,085	
	Pääteräs	F	12 mm	k 150
	Lisäteräs	F	mm	k 100

d = 209 mm

Laskut

lyhytaikaiset kuormat
täysi hyötykuormapitkäaikaiset kuormat,
30% hyötykuormasta

$$M_{dmax} = 17$$

$$M_{d30\%} = 15$$

3

$$A_s = 754$$

$$A_s = 754$$

$$a_e = \frac{E_s}{5000\sqrt{f_{ck}}}$$

$$\alpha_e = 6,761234$$

$$\alpha_e = 6,761234$$

$$r = \frac{A_s}{bd}$$

$$\rho = 0,003608$$

$$\rho = 0,0036076$$

$$\frac{x}{d} = a_e r \frac{\alpha_e}{\xi} \sqrt{1 + \frac{2}{a_e r}} - 1 \frac{\alpha_e}{\xi}$$

$$x/d = 0,19782$$

$$x/d = 0,1978205$$

$$z = d - \frac{x}{3}$$

$$z = 195,2185$$

$$z = 195,21851$$

$$s_s = \frac{M_d}{zA_s}$$

$$\sigma_s = 115,496$$

$$\sigma_s = 101,90821$$

$$A_{ce} = (c + 7,5f)b$$

$$A_{ce} = 125000$$

$$A_{ce} = 125000$$

$$r_r = \frac{A_s}{A_{ce}}$$

$$\rho_r = 0,006032$$

$$\rho_r = 0,0060319$$

$$e_s = \frac{s_s}{E_s}$$

$$e_s = 0,000577$$

$$e_s = 0,0005095$$

$$w_k = e_s \left(3,5c + k_w \frac{f}{r_r} \right)$$

$$W_k = 0,17 \text{ mm}$$

$$W_k = 0,15 \text{ mm}$$

<0,3 mm
vesitiivis<0,2 mm
vesitiivis

Terästys:

pääteräs 12 mm k 150

VESITIIVIS RAKENNE

Paalulaatan yläpinnan pääterästys

Halkeaman ominaisleveys rakenteen pinnassa

Laskija: FIEEJT

Alkutietoja	Rakenneluokka	2	
	Betoni (K)	K35	$f_{cd} = 16,33 \text{ N/mm}^2$
	Teräs	A500HW	$f_{yd} = 416,67 \text{ N/mm}^2$
	Suojabetoni	c	$f_{ctd} = 1,43 \text{ N/mm}^2$
		h	$\rho = 0,086 \%$
		b	
		Es	
		kw	
	Pääteräs	F	k 150
	Lisäteräs	F	k 300

d = 409 mm

Laskutlyhytaikaiset kuormat
täysi hyötykuormapitkäaikaiset kuormat,
30% hyötykuormasta

$$M_{dmax} = 94,7$$

$$M_{d30\%} = 83,7$$

3

$$A_s = 1424$$

$$A_s = 1424$$

$$a_e = \frac{E_s}{5000\sqrt{f_{ck}}}$$

$$\alpha_e = 6,761234$$

$$\alpha_e = 6,761234$$

$$r = \frac{A_s}{bd}$$

$$\rho = 0,003482$$

$$\rho = 0,0034821$$

$$\frac{x}{d} = a_e r \frac{\alpha_e}{\xi} \sqrt{1 + \frac{2}{a_e r}} - 1 \frac{\alpha_e}{\xi}$$

$$x/d = 0,194725$$

$$x/d = 0,1947252$$

$$z = d - \frac{x}{3}$$

$$z = 382,4525$$

$$z = 382,45247$$

$$s_s = \frac{M_d}{zA_s}$$

$$\sigma_s = 173,8621$$

$$\sigma_s = 153,66695$$

$$A_{ce} = (c + 7,5f)b$$

$$A_{ce} = 125000$$

$$A_{ce} = 125000$$

$$r_r = \frac{A_s}{A_{ce}}$$

$$\rho_r = 0,011394$$

$$\rho_r = 0,0113935$$

$$e_s = \frac{s_s}{E_s}$$

$$e_s = 0,000869$$

$$e_s = 0,0007683$$

$$w_k = e_s \left(3,5c + k_w \frac{f}{r_r} \right)$$

$$W_k = 0,18 \text{ mm}$$

$$W_k = 0,16 \text{ mm}$$

<0,3 mm
vesitiivis<0,2 mm
vesitiivis**Terästys:****pääteräs 12 mm k 150 + lisäteräs 16 mm k 300**

RAUDOITUS

Paalulaatan jakoraidoitus

Laskija: FIEEJT

Alkutietoja

Rakenneluokka	2	
Betoni (fck)	35	$f_{cd} = 19,83 \text{ N/mm}^2$
Teräs	A500HW	$f_{yd} = 434,78 \text{ N/mm}^2$
Paksuus	250 mm	$f_{ctm} = 3,21 \text{ N/mm}^2$
Suojabetoni	47 mm	
Asmin1	257,4 mm^2/m	
Asmin2	330,5 mm^2/m	
Asmin	330,5 mm^2/m	

$$M_d = 19,0 \text{ kNm}$$

$$d = 198 \text{ mm}$$

Betonin
f_{ck} (MPa)
$f_{ck,cube}$ (MPa)
f_{cm} (MPa)
f_{ctm} (MPa)
$f_{ctk,0,05}$ (MPa)

TERÄKSET

$$m = \frac{M_d}{f_{cd} * b * d^2} < m_b = 0,358 \quad m = 0,024$$

$$b = 1 - \sqrt{1 - 2m} \quad b = 0,025$$

$$z = d * \frac{\omega}{\xi} * \left(1 - \frac{b \cdot \omega}{2 \cdot \xi}\right) \quad z = 195,55 \text{ mm}$$

$$A_s = \frac{M_d}{z * f_{yd}} \quad \text{Vaadittu } A_s = 223 \text{ mm}^2/\text{m} \quad \text{OK}$$

Perusraudoitus Teräs **10** Jako, k **200**
Perusraudoitus: 392 mm^2/m

Lisäraudoitus Teräs **0** Jako, k **500**
Lisäraudoitus: ei lisäteräksiä mm^2/m

$$\text{Yhteensä } A_s = 392 \text{ mm}^2/\text{m}$$

<h1>SWECO</h1>		Rakennelaskema	
		Tekijä: Eetu Jäntti	Sivu
		Päiväys: 11.01.2019	
Rakennuskohde:	Työ nro.	Sisältö:	Sijainti:
ABC Nummela / Car-wash		Palkkikaistan pääraudoitus	

Teräsbetonipalkin mitoitus, suorakaide

Lähtöarvot

Vetoraudoitus (arvio)	$\varphi =$	16	mm	$f_{cm} =$	43	N/mm ²
Leikkausraudoitus (arvio)	$\varphi =$	10	mm	$f_{ctm} =$	3,21	N/mm ²
Korkeus	$h =$	450	mm	$f_{cd} =$	19,83	N/mm ²
Leveys	$b =$	600	mm	$f_{ctk} =$	2,25	N/mm ²
Betonipeite	$c_{nom} =$	35	mm	$f_{ctd} =$	1,50	N/mm ²
Mitoitustilanne norm.	Luokka=	2		$f_{yk} =$	500,00	N/mm ²
Teräslaatu		A500HW		$f_{yd} =$	434,78	N/mm ²
Betoinlaatu		C35/45		$E_{cm} =$	34077	N/mm ²
MRT laskentamomentti	$M_d =$	133	kNm	$E_s =$	200000	N/mm ²
MRT Leikkausvoima	$V_{Ed} =$	280	kN	$\lambda =$	0,8	
MRT Vääntövoima	$T_{Ed} =$	0	kNm	$\eta =$	1	
Vetoterästen etäisyys yläreunasta	$d =$	395,2	mm	$\gamma_{c,c} =$	1,5	
Betonin lieriölujuuden ominaisarvo	$f_{ck} =$	35	N/mm ²	$\gamma_{c,s} =$	1,15	

Taivutuslaskenta

Suhteellinen taiv.mom.	$\mu =$	0,0716				
Teh.puristupin. suht.korkeus	$\beta =$	0,0743				
Puristuspinnan korkeus	$y =$	29,37	mm			
Sisäinen mom.varsi	$Z =$	380,51	mm			
Vaadittava teräsmäärä	$A_{s,vaad} =$	804	mm ²	$A_{s,min} =$	395,80	mm ²
Kappalemäärä	$kpl =$	4	0	$A_{s,max} =$	10800	mm ²
Lopullinen teräsmäärä	$A_{s,fin} =$	804	mm ²	$k\text{-jako} =$	90	mm
Mom. kapasiteetti	$M_{rd} =$	133,06	kNm			
Käyttöaste		99,96	%			

Leikkauslaskenta

Puristussauvan kulma	Leikkeet =	2	kpl	$v_1 =$	0,52	
Puristuskomp. kulma	$\alpha =$	90	°	$Z =$	355,68	mm
Hakojen jako	$\cot \theta =$	2,5		$s_{h,max} =$	266,76	mm
	$k\text{-jako} =$	150	mm	$A_{sw,min} =$	151,50	mm ² /m
Haan poik.leik. pinta-ala	$A_{sw} =$	157	mm ² /haka			
Terästen pinta-ala/metri	$A_{sw,tot} =$	1047	mm ² /m			
Leikkausrautojen kestävyys	$V_{Rd,s} =$	404,9	kN			
Poik.leik. leikkauskestävyys	$V_{Rd,max} =$	1171,5	kN			
Lopullinen leikkauskestävyys	$V_{Rd} =$	404,9	kN	Käyttöaste =	69,16	%

SWECO

Rakennelaskema

Tekijä: Eetu Jäntti

Sivu

1

Päiväys: 11.01.2019

Rakennuskohde	Työ nro.	Sisältö:	Sijainti:
ABC Nummela / Car-wash		Palkkikaistan yläpinnan raudoitus	

Teräsbetonipalkin mitoitus, suorakaide

Lähtöarvot

Vetorausdoitus (arvio)	$\varphi =$	16	mm	$f_{cm} =$	43	N/mm ²
Leikkausrudoitus (arvio)	$\varphi =$	10	mm	$f_{ctm} =$	3,21	N/mm ²
Korkeus	$h =$	450	mm	$f_{cd} =$	19,83	N/mm ²
Leveys	$b =$	600	mm	$f_{ctk} =$	2,25	N/mm ²
Betonipeite	$c_{nom} =$	35	mm	$f_{ctd} =$	1,50	N/mm ²
Mitoitustilanne norm.	Luokka =	2		$f_{yk} =$	500,00	N/mm ²
Teräslaatu		A500HW		$f_{yd} =$	434,78	N/mm ²
Betoinlaatu		C35/45		$E_{cm} =$	34077	N/mm ²
MRT laskentamomentti	$M_d =$	195	kNm	$E_s =$	200000	N/mm ²
MRT Leikkausvoima	$V_{Ed} =$	280	kN	$\lambda =$	0,8	
MRT Vääntövoima	$T_{Ed} =$	0	kNm	$\eta =$	1	
Vetoterästen etäisyys yläreunasta	$d =$	395,2	mm	$\gamma_{c,c} =$	1,5	
Betonin lieriölujuuden ominaisarvo	$f_{ck} =$	35	N/mm ²	$\gamma_{c,s} =$	1,15	

Taivutuslaskenta

Suhteellinen taiv.mom.	$\mu =$	0,1049		$A_{s,min} =$	395,80	mm ²
Teh.puristupin. suht.korkeus	$\beta =$	0,1111		$A_{s,max} =$	10800	mm ²
Puristuspuinnan korkeus	$y =$	43,90	mm	$k\text{-jako} =$	60	mm
Sisäinen mom.varsi	$Z =$	373,25	mm			
Vaadittava teräsmäärä	$A_{s,vaad} =$	1202	mm ²			
Kappalemäärä	$kpl =$	6	0			
Lopullinen teräsmäärä	$A_{s,fin} =$	1206	mm ²			
Mom. kapasiteetti	$M_{rd} =$	195,77	kNm			
Käyttöaste		99,61	%			

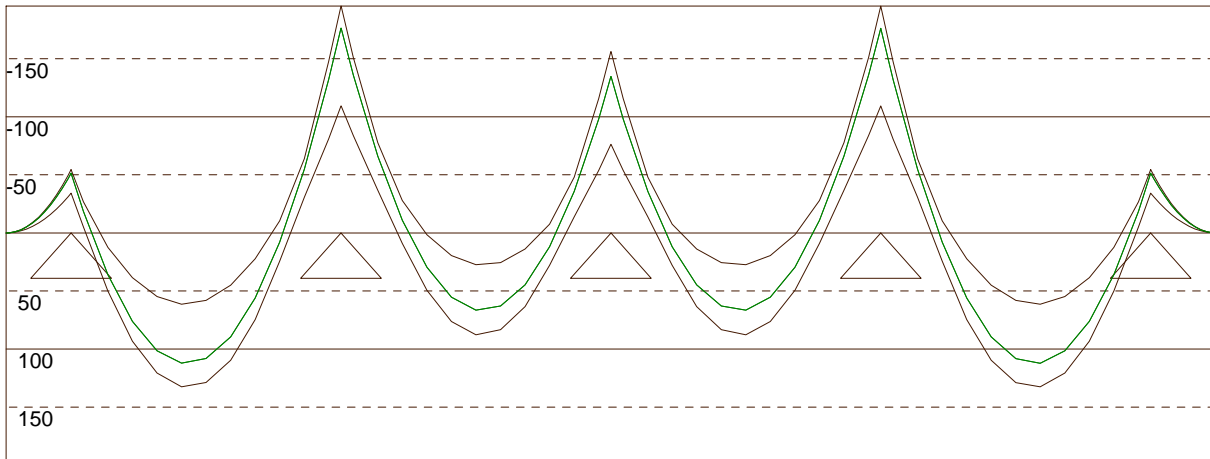
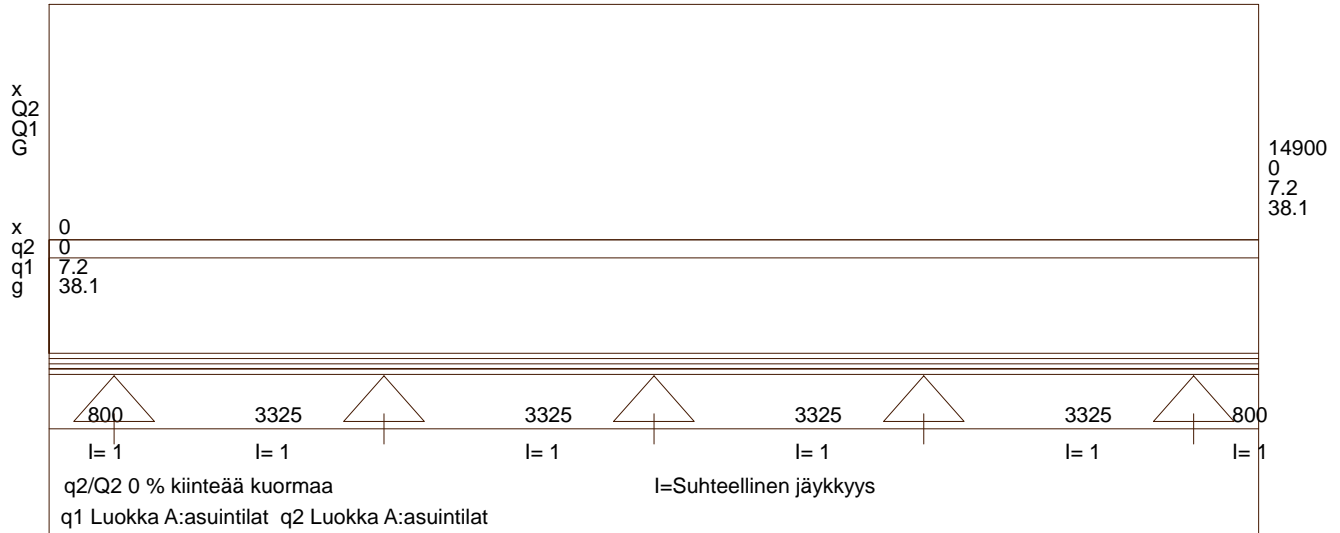
Leikkauslaskenta

Puristussauvan kulma	Leikkeet =	2	kpl	$v_1 =$	0,52	
Puristuskomp. kulma	$\alpha =$	90	°	$Z =$	355,68	mm
Hakojen jako	$\cot \theta =$	2,5		$S_{h,max} =$	266,76	mm
	$k\text{-jako} =$	150	mm	$A_{sw,min} =$	151,50	mm ² /m
Haan poik.leik. pinta-ala	$A_{sw} =$	157	mm ² /haka			
Terästen pinta-ala/metri	$A_{sw,tot} =$	1047	mm ² /m			
Leikkausrautojen kestävyys	$V_{Rd,s} =$	404,9	kN			
Poik.leik. leikkauskestävyys	$V_{Rd,max} =$	1171,5	kN			
Lopullinen leikkauskestävyys	$V_{Rd} =$	404,9	kN	Käyttöaste =	69,16	%

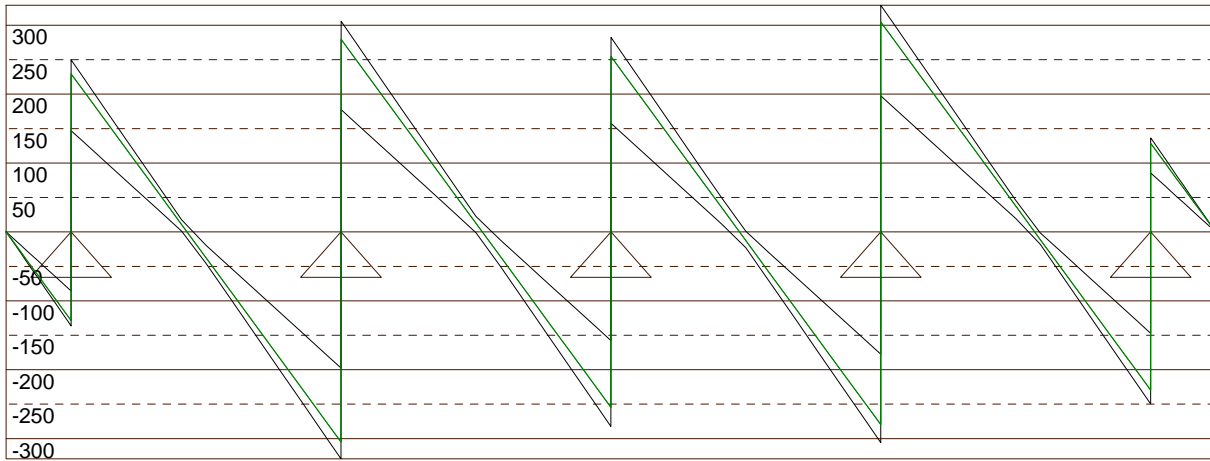
Liite 9. PupaX5 palkkikaistan rasitukset

PupaX5 v.1.22 Laskennan suoritti:

Ohjelman käyttöoikeuden omistaja: Sweco Finland, Structural Engineering



Ohjelman käyttöoikeuden omistaja: Sweco Finland, Structural Engineering



Pysyvän kuorman osavarm kerr= 1.15 Muuttuvan kuorman osavarm kerr= 1.5
 Kuormitusleveys 3.125 [m], jolla yllä esitetyt jatkuvat kuormat on laskennassa kerrottu.
 Max tukivoimat [kN] 386,320 635,233 564,879 635,220 386,325
 Min tukivoimat [kN] 232,724 375,034 315,365 375,025 232,730

Palkin tunnus:

PupaX5v.1.22 Ins tsto Pauli Närhi Laskennan suoritti:

Ohjelman käyttöoikeuden omistaja: Sweco Finland, Structural Engineering

Pys kuorman osavarm kerr= 1,15 Muutt kuorman osav kerr= 1,5

Jatkuvat kuormat (ominaiskuormia)

Piste	pysyvä(g)	muuttuva qk1	muuttuva qk2	kiinteä osa qk2:sta %
0	38,1	7,2	0	0
14900	38,1	7,2	0	0

Pistekuormat (ominaiskuormia)

Piste	pysyvä(G)	muuttuva Qk1	muuttuva Qk2	kiinteä osa Qk2:sta %
-------	-----------	--------------	--------------	-----------------------

Palkin päiden kiinnitykset 0 / 0

Kenttien pituudet

V uloke= 800 1 3325 2 3325 3 3325 4 3325 O uloke= 800

Palkin kenttien suhteelliset jäykkyydet (EI)

Vas uloke 1 1 1 1 1 Oik uloke 1

Palkin kokonaispituus= 14900 Kuormituslev= 3125

Ohjelman käyttöoikeuden omistaja: Sweco Finland, Structural Engineering

Tukir max	Tukir min	Mt max	Mt min	Mk max
386,32	232,72	-34,28	-54,60	
635,23	375,03	-109,47	-195,36	132,55
564,88	315,36	-76,41	-156,37	87,65
635,22	375,02	-109,46	-195,34	87,66
386,33	232,73	-34,22	-54,55	132,56

Momenttien ja leikkausvoimien tulostus

X(mm)	Mxmax(kNm)	Mxmin(kNm)	Vxmax(kN)	Vxmin(kN)
0,08	0,00	0,00	-0,01	-0,01
36,36	-0,07	-0,11	-3,90	-6,21
109,09	-0,64	-1,02	-11,69	-18,62
181,82	-1,77	-2,82	-19,48	-31,03
254,55	-3,47	-5,53	-27,28	-43,44
327,27	-5,74	-9,14	-35,07	-55,86
400,00	-8,57	-13,65	-42,86	-68,27
472,73	-11,97	-19,07	-50,66	-80,68
545,45	-15,94	-25,39	-58,45	-93,09
618,18	-20,47	-32,61	-66,24	-105,51
690,91	-25,58	-40,74	-74,04	-117,92
763,64	-31,24	-49,76	-81,83	-130,33
799,92	-34,28	-54,60	-85,72	-136,52
800,33	-34,22	-54,55	249,80	147,01
951,14	-5,19	-26,91	224,06	130,85
1253,41	50,06	12,43	172,47	98,46
1555,68	93,15	38,54	120,88	66,07
1857,95	120,65	54,86	69,29	33,68
2160,23	132,55	61,39	17,70	1,29
2462,50	128,86	58,13	-19,38	-45,61
2764,77	109,57	45,08	-51,77	-97,20
3067,05	74,69	22,24	-84,16	-148,79
3369,32	24,22	-10,40	-116,55	-200,38
3671,59	-30,68	-63,99	-148,94	-251,97
3973,86	-80,91	-147,64	-181,34	-303,56
4124,67	-109,47	-195,36	-197,49	-329,29
4125,33	-109,48	-195,36	305,94	177,54
4276,14	-83,93	-151,17	280,20	161,38
4578,41	-36,69	-77,62	228,61	128,99
4880,68	8,98	-27,89	177,02	96,60
5182,95	49,45	1,66	125,43	64,21
5485,23	76,34	19,39	73,84	31,82
5787,50	87,65	27,34	22,75	-1,07
6089,77	83,35	25,49	-11,96	-50,34
6392,05	63,47	13,85	-44,35	-101,93
6694,32	27,99	-7,58	-76,74	-153,52
6996,59	-13,83	-48,05	-109,13	-205,11
7298,86	-53,85	-115,71	-141,52	-256,70
7449,67	-76,41	-156,37	-157,68	-282,44
7450,33	-76,41	-156,37	282,44	157,68
7601,14	-53,84	-115,71	256,71	141,52
7903,41	-13,83	-48,05	205,12	109,13
8205,68	27,99	-7,57	153,53	76,74
8507,95	63,47	13,86	101,94	44,35

8810,23	83,36	25,50	50,35	11,96
9112,50	87,66	27,35	1,08	-22,75
9414,77	76,36	19,40	-31,81	-73,84
9717,05	49,46	1,67	-64,20	-125,42
10019,32	9,00	-27,88	-96,59	-177,01
10321,59	-36,68	-77,60	-128,98	-228,60
10623,86	-83,91	-151,15	-161,38	-280,19
10774,67	-109,46	-195,34	-177,53	-305,93
10775,33	-109,46	-195,34	329,29	197,49
10926,14	-80,89	-147,62	303,55	181,33
11228,41	-30,67	-63,97	251,96	148,94
11530,68	24,23	-10,38	200,37	116,55
11832,95	74,71	22,25	148,78	84,16
12135,23	109,58	45,09	97,19	51,77
12437,50	128,87	58,14	45,60	19,38
12739,77	132,56	61,40	-1,29	-17,71
13042,05	120,65	54,87	-33,68	-69,30
13344,32	93,15	38,55	-66,07	-120,88
13646,59	50,06	12,44	-98,46	-172,47
13948,86	-5,19	-26,91	-130,85	-224,06
14099,67	-34,22	-54,55	-147,01	-249,80
14100,08	-34,28	-54,60	136,52	85,72
14136,36	-31,24	-49,76	130,33	81,83
14209,09	-25,58	-40,74	117,92	74,04
14281,82	-20,47	-32,61	105,51	66,24
14354,55	-15,94	-25,39	93,09	58,45
14427,27	-11,97	-19,07	80,68	50,66
14500,00	-8,57	-13,65	68,27	42,86
14572,73	-5,74	-9,14	55,86	35,07
14645,45	-3,47	-5,53	43,44	27,28
14718,18	-1,77	-2,82	31,03	19,48
14790,91	-0,64	-1,02	18,62	11,69
14863,64	-0,07	-0,11	6,21	3,90
14899,92	0,00	0,00	0,01	0,01
14900,00	0,00	0,00	0,01	0,01

Liite 10. PupaX5 laatan rasituksetPys kuorman osavarm kerr= 1,15 Muutt kuorman osav kerr= 1,5 murtorajatila

Jatkuvat kuormat (ominaiskuormia)

Piste	pysyvä(g)	muuttuva qk1	muuttuva qk2	kiinteä osa qk2:sta %
0	36,2	7,2	0	0
14100	36,2	7,2	0	0

Pistekuormat (ominaiskuormia)

Piste	pysyvä(G)	muuttuva Qk1	muuttuva Qk2	kiinteä osa Qk2:sta %
-------	-----------	--------------	--------------	-----------------------

Palkin päiden kiinnitykset 0 / 0

Kenttien pituudet

V uloke= 1000 1 2925 2 3125 3 3125 4 2925 O uloke= 1000

Palkin kenttien suhteelliset jäykkyydet (EI)

Vas uloke 1 1 1 1 1 Oik uloke 1

Palkin kokonaispituus= 14100 Kuormituslev= 1000

Ohjelman käyttöoikeuden omistaja: Sweco Finland, Structural Engineering

Tukir max	Tukir min	Mt max	Mt min	Mk max
125,32	74,66	-16,29	-26,21	
170,26	96,32	-23,77	-45,96	26,37
169,80	95,49	-23,32	-45,92	25,55
170,26	96,32	-23,77	-45,95	25,56
125,32	74,66	-16,27	-26,20	26,37

Momenttien ja leikkausvoimien tulostus

X(mm)	Mxmax(kNm)	Mxmin(kNm)	Vxmax(kN)	Vxmin(kN)
0,10	0,00	0,00	0,00	-0,01
45,45	-0,03	-0,05	-1,48	-2,38
136,36	-0,30	-0,49	-4,44	-7,15
227,27	-0,84	-1,35	-7,40	-11,92
318,18	-1,65	-2,65	-10,37	-16,68
409,09	-2,73	-4,39	-13,33	-21,45
500,00	-4,07	-6,55	-16,29	-26,22
590,91	-5,69	-9,15	-19,25	-30,98
681,82	-7,57	-12,19	-22,21	-35,75
772,73	-9,73	-15,65	-25,18	-40,51
863,64	-12,15	-19,55	-28,14	-45,28
954,55	-14,84	-23,89	-31,10	-50,05
999,90	-16,29	-26,21	-32,58	-52,42
1000,29	-16,27	-26,20	72,90	42,08
1132,95	-8,92	-19,05	65,94	37,76
1398,86	3,53	-6,93	52,00	29,10
1664,77	14,52	0,64	38,06	20,43
1930,68	22,17	5,54	24,12	11,77
2196,59	26,11	8,14	10,17	3,11
2462,50	26,34	8,43	-0,72	-8,61
2728,41	22,87	6,42	-9,38	-22,55
2994,32	15,69	2,10	-18,04	-36,49
3260,23	4,80	-4,51	-26,71	-50,43
3526,14	-6,85	-16,38	-35,37	-64,37
3792,05	-17,65	-35,11	-44,03	-78,31
3924,71	-23,77	-45,96	-48,36	-85,27
3925,31	-23,77	-45,96	84,99	47,97
4067,05	-17,30	-34,44	77,56	43,35
4351,14	-5,51	-15,32	62,66	34,09
4635,23	6,45	-3,21	47,77	24,84
4919,32	17,05	3,38	32,88	15,58
5203,41	23,42	7,35	17,98	6,33
5487,50	25,55	8,69	3,17	-3,01
5771,59	23,46	7,40	-6,11	-17,89
6055,68	17,13	3,48	-15,36	-32,78
6339,77	6,58	-3,07	-24,62	-47,68
6623,86	-5,33	-15,13	-33,87	-62,57
6907,95	-16,88	-34,42	-43,13	-77,47
7049,69	-23,32	-45,92	-47,75	-84,90
7050,31	-23,32	-45,92	84,90	47,75
7192,05	-16,88	-34,42	77,47	43,13
7476,14	-5,33	-15,13	62,57	33,87
7760,23	6,58	-3,07	47,68	24,62

8044,32	17,14	3,48	32,78	15,36
8328,41	23,46	7,40	17,89	6,11
8612,50	25,56	8,69	3,01	-3,16
8896,59	23,42	7,35	-6,33	-17,98
9180,68	17,05	3,39	-15,58	-32,87
9464,77	6,45	-3,21	-24,84	-47,77
9748,86	-5,50	-15,31	-34,09	-62,66
10032,95	-17,30	-34,43	-43,35	-77,56
10174,69	-23,77	-45,95	-47,97	-84,99
10175,29	-23,77	-45,96	85,27	48,35
10307,95	-17,64	-35,11	78,31	44,03
10573,86	-6,84	-16,38	64,37	35,37
10839,77	4,81	-4,51	50,43	26,71
11105,68	15,69	2,11	36,49	18,04
11371,59	22,87	6,42	22,55	9,38
11637,50	26,35	8,43	8,60	0,72
11903,41	26,11	8,14	-3,11	-10,18
12169,32	22,17	5,54	-11,77	-24,12
12435,23	14,52	0,64	-20,44	-38,06
12701,14	3,53	-6,93	-29,10	-52,00
12967,05	-8,92	-19,05	-37,76	-65,94
13099,71	-16,27	-26,20	-42,09	-72,90
13100,10	-16,29	-26,21	52,42	32,58
13145,45	-14,84	-23,89	50,05	31,10
13236,36	-12,15	-19,55	45,28	28,14
13327,27	-9,73	-15,65	40,51	25,18
13418,18	-7,57	-12,19	35,75	22,21
13509,09	-5,69	-9,15	30,98	19,25
13600,00	-4,07	-6,55	26,22	16,29
13690,91	-2,73	-4,39	21,45	13,33
13781,82	-1,65	-2,65	16,68	10,37
13872,73	-0,84	-1,35	11,92	7,40
13963,64	-0,30	-0,49	7,15	4,44
14054,55	-0,03	-0,05	2,38	1,48
14099,90	0,00	0,00	0,01	0,00
14100,00	0,00	0,00	0,01	0,00

Palkin tunnus: Palkin tunnus: Laatta KRT

PupaX5v.1.22 Ins tsto Pauli Närhi Laskennan suoritti: Palkin mitoittaja: Eetu Jäntti

Ohjelman käyttöoikeuden omistaja: Sweco Finland, Structural Engineering

Pys kuorman osavarm kerr= 1 Muutt kuorman osav kerr= 1

käyttörajatila

Jatkuvat kuormat (ominaiskuormia)

Piste	pysyvä(g)	muuttuva	qk1	muuttuva	qk2	kiinteä	osa	qk2:sta %
0	36,2		7,2		0	0		
14100	36,2		7,2		0	0		

Pistekuormat (ominaiskuormia)

Piste	pysyvä(G)	muuttuva	Qk1	muuttuva	Qk2	kiinteä	osa	Qk2:sta %
-------	-----------	----------	-----	----------	-----	---------	-----	-----------

Palkin päiden kiinnitykset 0 / 0

Kenttien pituudet

V uloke= 1000 1 2925 2 3125 3 3125 4 2925 O uloke= 1000

Palkin kenttien suhteelliset jäykkyydet (EI)

Vas uloke 1 1 1 1 1 Oik uloke 1

Palkin kokonaispituus= 14100 Kuormituslev= 1000

Ohjelman käyttöoikeuden omistaja: Sweco Finland, Structural Engineering

Tukir max	Tukir min	Mt max	Mt min	Mk max
103,42	83,84	-18,10	-21,70	
140,00	109,62	-27,73	-37,57	21,02
139,56	108,85	-27,34	-37,49	20,44
139,99	109,62	-27,72	-37,56	20,44
103,42	83,84	-18,08	-21,69	21,02

Momenttien ja leikkausvoimien tulostus

X(mm)	Mxmax(kNm)	Mxmin(kNm)	Vxmax(kN)	Vxmin(kN)
0,10	0,00	0,00	0,00	0,00
45,45	-0,04	-0,04	-1,65	-1,97
136,36	-0,34	-0,40	-4,94	-5,92
227,27	-0,93	-1,12	-8,23	-9,86
318,18	-1,83	-2,20	-11,52	-13,81
409,09	-3,03	-3,63	-14,81	-17,75
500,00	-4,53	-5,43	-18,10	-21,70
590,91	-6,32	-7,58	-21,39	-25,65
681,82	-8,41	-10,09	-24,68	-29,59
772,73	-10,81	-12,96	-27,97	-33,54
863,64	-13,50	-16,19	-31,26	-37,48
954,55	-16,49	-19,77	-34,55	-41,43
999,90	-18,10	-21,70	-36,20	-43,40
1000,29	-18,08	-21,69	60,02	47,64
1132,95	-10,71	-15,48	54,26	42,84
1398,86	1,77	-4,95	42,72	33,21
1664,77	11,19	3,01	31,18	23,59
1930,68	17,53	8,41	19,64	13,96
2196,59	20,81	11,26	8,10	4,33
2462,50	21,02	11,54	-2,07	-6,66
2728,41	18,16	9,27	-11,69	-18,20
2994,32	12,23	4,43	-21,32	-29,74
3260,23	3,23	-2,96	-30,94	-41,29
3526,14	-8,52	-13,23	-40,57	-52,83
3792,05	-20,75	-28,65	-50,20	-64,37
3924,71	-27,73	-37,57	-55,00	-70,12
3925,31	-27,73	-37,57	69,87	54,63
4067,05	-20,35	-28,10	63,72	49,50
4351,14	-7,22	-12,28	51,39	39,21
4635,23	4,62	-1,59	39,06	28,93
4919,32	13,40	5,74	26,73	18,64
5203,41	18,67	10,14	14,40	8,36
5487,50	20,44	11,62	2,13	-1,98
5771,59	18,71	10,19	-8,16	-14,31
6055,68	13,47	5,83	-18,44	-26,64
6339,77	4,73	-1,45	-28,73	-38,97
6623,86	-7,04	-12,12	-39,01	-51,30
6907,95	-19,99	-28,04	-49,29	-63,63
7049,69	-27,34	-37,49	-54,42	-69,78
7050,31	-27,34	-37,49	69,78	54,43
7192,05	-19,99	-28,04	63,63	49,30
7476,14	-7,04	-12,12	51,30	39,01
7760,23	4,73	-1,45	38,97	28,73

8044,32	13,47	5,83	26,64	18,44
8328,41	18,71	10,19	14,31	8,16
8612,50	20,44	11,63	1,98	-2,13
8896,59	18,67	10,14	-8,36	-14,40
9180,68	13,40	5,74	-18,64	-26,73
9464,77	4,63	-1,59	-28,93	-39,06
9748,86	-7,21	-12,28	-39,21	-51,39
10032,95	-20,34	-28,10	-49,49	-63,72
10174,69	-27,72	-37,56	-54,62	-69,87
10175,29	-27,72	-37,56	70,12	55,00
10307,95	-20,74	-28,64	64,36	50,19
10573,86	-8,52	-13,22	52,82	40,57
10839,77	3,23	-2,96	41,28	30,94
11105,68	12,23	4,44	29,74	21,32
11371,59	18,16	9,27	18,20	11,69
11637,50	21,02	11,55	6,66	2,06
11903,41	20,81	11,26	-4,34	-8,10
12169,32	17,54	8,42	-13,96	-19,64
12435,23	11,19	3,01	-23,59	-31,18
12701,14	1,78	-4,95	-33,21	-42,73
12967,05	-10,71	-15,48	-42,84	-54,27
13099,71	-18,08	-21,69	-47,64	-60,02
13100,10	-18,10	-21,70	43,40	36,20
13145,45	-16,49	-19,77	41,43	34,55
13236,36	-13,50	-16,19	37,48	31,26
13327,27	-10,81	-12,96	33,54	27,97
13418,18	-8,41	-10,09	29,59	24,68
13509,09	-6,32	-7,58	25,65	21,39
13600,00	-4,53	-5,43	21,70	18,10
13690,91	-3,03	-3,63	17,75	14,81
13781,82	-1,83	-2,20	13,81	11,52
13872,73	-0,93	-1,12	9,86	8,23
13963,64	-0,34	-0,40	5,92	4,94
14054,55	-0,04	-0,04	1,97	1,65
14099,90	0,00	0,00	0,00	0,00
14100,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Palkin tunnus:Laatta

PupaX5v.1.22 Ins tsto Pauli Närhi Laskennan suoritti:Eetu Jäntti

Ohjelman käyttöoikeuden omistaja: Sweco Finland, Structural Engineering

Pys kuorman osavarm kerr= 1 Muutt kuorman osav kerr= 1

pitkäaikainen yhdistelmä

Jatkuvat kuormat (ominaiskuormia)

Piste	pysyvä(g)	muuttuva	qk1	muuttuva	qk2	kiinteä	osa	qk2:sta %
0	36,2		2,16		0	0		0
14100	36,2		2,16		0	0		0

Pistekuormat (ominaiskuormia)

Piste	pysyvä(G)	muuttuva	Qk1	muuttuva	Qk2	kiinteä	osa	Qk2:sta %
-------	-----------	----------	-----	----------	-----	---------	-----	-----------

Palkin päiden kiinnitykset 0 / 0

Kenttien pituudet

V uloke= 1000 1 2925 2 3125 3 3125 4 2925 O uloke= 1000

Palkin kenttien suhteelliset jäykkyydet (EI)

Vas uloke 1 1 1 1 1 Oik uloke 1

Palkin kokonaispituus= 14100 Kuormituslev= 1000

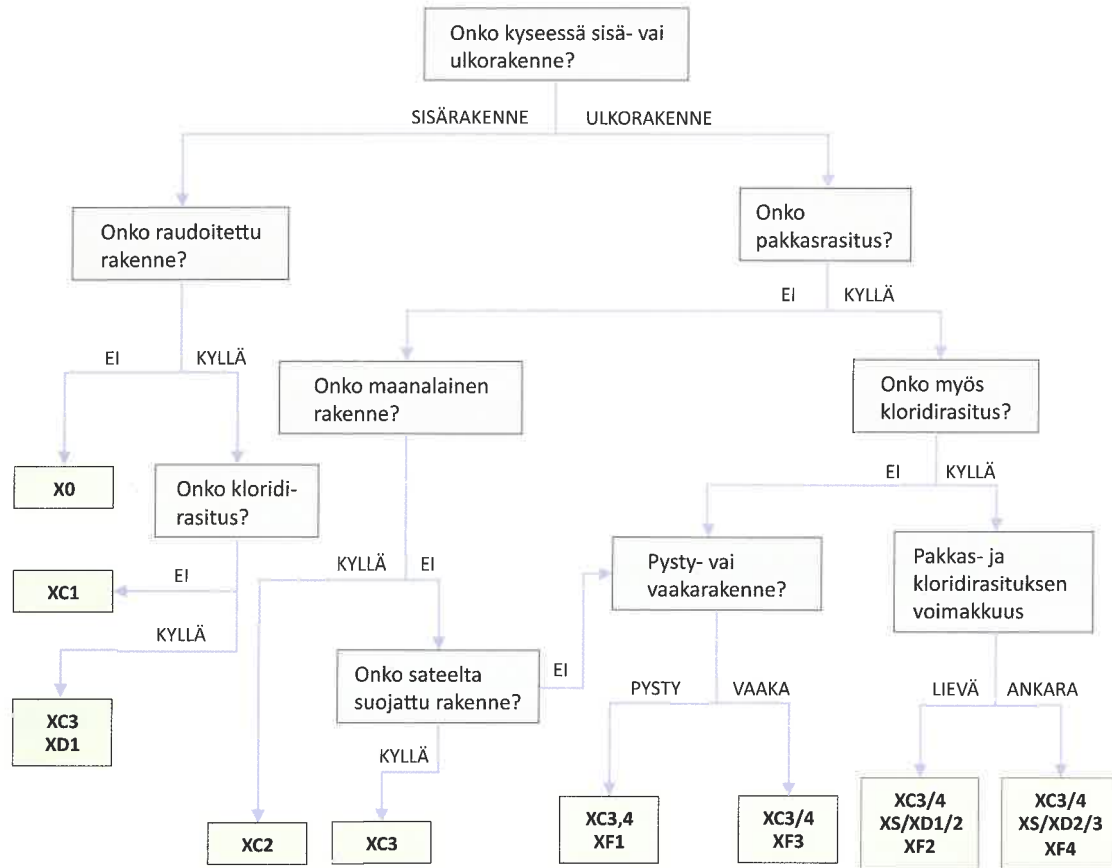
Ohjelman käyttöoikeuden omistaja: Sweco Finland, Structural Engineering

Tukir max	Tukir min	Mt max	Mt min	Mk max
90,64	84,76	-18,10	-19,18	
121,46	112,35	-29,11	-32,06	16,67
120,95	111,73	-28,84	-31,89	16,34
121,46	112,35	-29,10	-32,05	16,34
90,64	84,76	-18,08	-19,17	16,67

Momenttien ja leikkausvoimien tulostus

X(mm)	Mxmax(kNm)	Mxmin(kNm)	Vxmax(kN)	Vxmin(kN)
0,10	0,00	0,00	0,00	0,00
45,45	-0,04	-0,04	-1,65	-1,74
136,36	-0,34	-0,36	-4,94	-5,23
227,27	-0,93	-0,99	-8,23	-8,72
318,18	-1,83	-1,94	-11,52	-12,21
409,09	-3,03	-3,21	-14,81	-15,69
500,00	-4,53	-4,80	-18,10	-19,18
590,91	-6,32	-6,70	-21,39	-22,67
681,82	-8,41	-8,92	-24,68	-26,15
772,73	-10,81	-11,45	-27,97	-29,64
863,64	-13,50	-14,31	-31,26	-33,13
954,55	-16,49	-17,48	-34,55	-36,62
999,90	-18,10	-19,18	-36,20	-38,36
1000,29	-18,08	-19,17	52,28	48,57
1132,95	-11,55	-12,98	47,19	43,76
1398,86	-0,48	-2,50	36,99	34,14
1664,77	7,88	5,42	26,79	24,51
1930,68	13,52	10,78	16,59	14,89
2196,59	16,45	13,59	6,39	5,26
2462,50	16,67	13,83	-3,40	-4,78
2728,41	14,18	11,51	-13,03	-14,98
2994,32	8,97	6,63	-22,65	-25,18
3260,23	1,05	-0,80	-32,28	-35,38
3526,14	-9,48	-10,89	-41,90	-45,58
3792,05	-21,95	-24,32	-51,53	-55,78
3924,71	-29,11	-32,06	-56,33	-60,87
3925,31	-29,10	-32,06	60,59	56,02
4067,05	-21,53	-23,85	55,16	50,89
4351,14	-8,37	-9,89	44,26	40,61
4635,23	2,35	0,49	33,36	30,32
4919,32	10,11	7,81	22,46	20,04
5203,41	14,77	12,21	11,57	9,75
5487,50	16,34	13,69	0,69	-0,55
5771,59	14,81	12,25	-9,60	-11,44
6055,68	10,18	7,89	-19,88	-22,34
6339,77	2,46	0,61	-30,17	-33,24
6623,86	-8,21	-9,74	-40,45	-44,14
6907,95	-21,29	-23,70	-50,74	-55,04
7049,69	-28,84	-31,89	-55,87	-60,47
7050,31	-28,84	-31,89	60,47	55,87
7192,05	-21,29	-23,70	55,04	50,74
7476,14	-8,21	-9,74	44,14	40,45
7760,23	2,47	0,61	33,24	30,17

8044,32	10,19	7,89	22,34	19,88
8328,41	14,81	12,26	11,45	9,60
8612,50	16,34	13,70	0,55	-0,68
8896,59	14,78	12,22	-9,75	-11,56
9180,68	10,11	7,81	-20,04	-22,46
9464,77	2,35	0,49	-30,32	-33,36
9748,86	-8,37	-9,89	-40,60	-44,26
10032,95	-21,52	-23,85	-50,89	-55,16
10174,69	-29,10	-32,05	-56,02	-60,59
10175,29	-29,10	-32,05	60,87	56,33
10307,95	-21,95	-24,32	55,78	51,53
10573,86	-9,48	-10,89	45,58	41,90
10839,77	1,06	-0,80	35,38	32,27
11105,68	8,98	6,64	25,18	22,65
11371,59	14,18	11,51	14,98	13,02
11637,50	16,67	13,83	4,78	3,40
11903,41	16,45	13,59	-5,26	-6,39
12169,32	13,52	10,79	-14,89	-16,59
12435,23	7,88	5,42	-24,51	-26,79
12701,14	-0,48	-2,50	-34,14	-36,99
12967,05	-11,55	-12,98	-43,76	-47,19
13099,71	-18,08	-19,17	-48,57	-52,28
13100,10	-18,10	-19,18	38,36	36,20
13145,45	-16,49	-17,48	36,62	34,55
13236,36	-13,50	-14,31	33,13	31,26
13327,27	-10,81	-11,45	29,64	27,97
13418,18	-8,41	-8,92	26,15	24,68
13509,09	-6,32	-6,70	22,67	21,39
13600,00	-4,53	-4,80	19,18	18,10
13690,91	-3,03	-3,21	15,69	14,81
13781,82	-1,83	-1,94	12,21	11,52
13872,73	-0,93	-0,99	8,72	8,23
13963,64	-0,34	-0,36	5,23	4,94
14054,55	-0,04	-0,04	1,74	1,65
14099,90	0,00	0,00	0,00	0,00
14100,00	0,00	0,00	0,00	0,00



Kuva 8. Rasitusluokkien yksinkertaistettu valinta prosessikaaviona. Kaaviosta puuttuu rasitusluokka XA, mikä on esitetty luvussa 3.5.

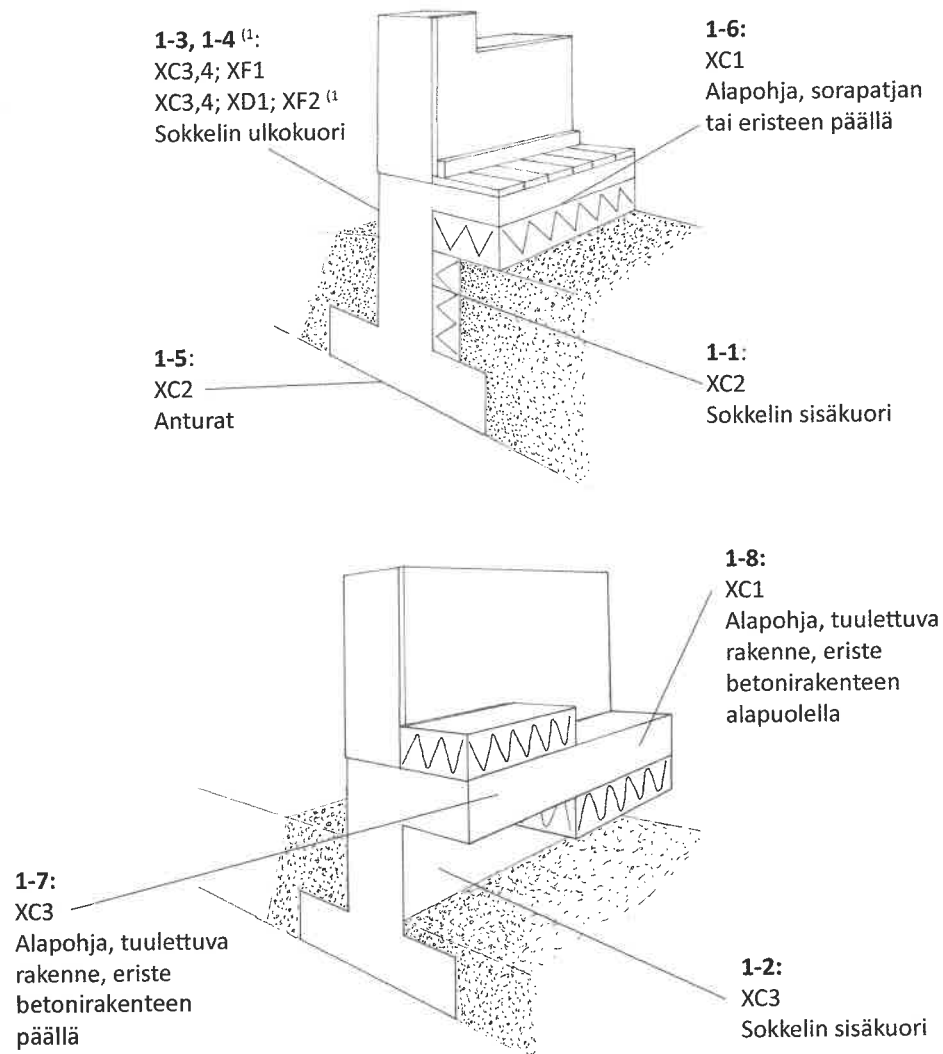
Taulukko 9. Normaalit rasitusluokkayhdistelmät.

Rasitusluokka-yhdistelmä	Selite
X0	Raudoittamattomat rakenteen kuivissa sisätiloissa
XC1	Raudoitettut rakenteet kuivissa sisätiloissa
XC2	Maanalaiset rakenteet, rakenne pysyy erittäin kosteana
XC3	Sateelta suojattu ulkorakenne, ei pakkasrasitusta (kosteuspitoisuus alhainen)
XC3; XF1	Sateelta suojattu pystyrakenne, pakkasrasitus
XC3,4; XF1	Osittain sateelta suojattu pystyrakenne, pakkasrasitus
XC3,4, XF3	Sateelta osittain tai kokonaan suojaamaton vaakarakenne, pakkasrasitus
XC4, XF3	Sateelle altis suojaamaton vaakarakenne, pakkasrasitus
XC3; XD1	Kloridirasitetut rakenteet sisätiloissa
XC3; XF2; XD1	Sateelta suojattu, sateelta suojaamaton tai osittain sateelta suojattu rakenne, kloridirasitus ja lievä pakkas-suolarasitus. XD-luokka on vaativampi kuin XC-luokka ja siten XC-luokalla ei ole merkitystä
XC4; XF2; XD1	Sateelta suojattu, sateelta suojaamaton tai osittain sateelta suojattu rakenne, kloridirasitus ja lievä pakkas-suolarasitus. XD-luokka on vaativampi kuin XC-luokka ja siten XC-luokalla ei ole merkitystä
XC3,4; XF2; XD1	Sateelta suojattu, sateelta suojaamaton tai osittain sateelta suojattu rakenne, kloridirasitus ja lievä pakkas-suolarasitus. XD-luokka on vaativampi kuin XC-luokka ja siten XC-luokalla ei ole merkitystä
XC3; XF4; XD2	Sateelta suojattu, sateelta suojaamaton tai osittain sateelta suojattu rakenne, kloridirasitus ja ankara pakkas-suolarasitus. XD-luokka on vaativampi kuin XC-luokka ja siten XC-luokalla ei ole merkitystä
XC4; XF4; XD2	Sateelta suojattu, sateelta suojaamaton tai osittain sateelta suojattu rakenne, kloridirasitus ja ankara pakkas-suolarasitus. XD-luokka on vaativampi kuin XC-luokka ja siten XC-luokalla ei ole merkitystä
XC3,4; XF4; XD2	Sateelta suojattu, sateelta suojaamaton tai osittain sateelta suojattu rakenne, kloridirasitus ja ankara pakkas-suolarasitus. XD-luokka on vaativampi kuin XC-luokka ja siten XC-luokalla ei ole merkitystä
XC2; XS2	Merivedenalainen rakenne
XC3,4; XF4; XS3	Merenrannalla, roiskevyöhykkeessä oleva rakenne
Erikoistapauksia	
XC1; XF3	Vesialtaan rakenteet vedenpinnan alapuolella
XC2; XD2	Uima-altaiden rakenteet
XC3; XF1; XD1	Kloridirasitus, mutta vain hyvin lievä pakkasrasitus (esim. tunneleissa ja laitureissa)
XC2; XF3; XD2	Ulkona olevan uima-altaan rakenteet

Huom 1. XD-rasitusluokka voi useimmissa tapauksissa korvautua rasitusluokalla XS. Tällöin kloridien lähde on merivesi.

Huom 2. Kemiallinen rasitus (XA) voi liittyä useisiin rasitusluokkayhdistelmiin, XA-tapauksia ei ole listattu taulukkoon.

8.1 ASUINRAKENNUS – PERUSTUSRAKENTEET



1) Sokkelin ulkokuoreen voidaan katsoa kohdistuvan suolarasituksia, kun se sijaitsee suolattavan ajotien välittömässä läheisyydessä (etäisyys tiehen < 2 m). Kuitenkin mikäli kyseessä on jalkakäytävä mitä suolataan, käytetään rasitusluokkaa XC3,4; XF1.

Taulukko 16. Asuinrakennus - Perustusrakenteet.

Betonipeitteen sallittu mittapoikkeama on 10 mm. Mikäli käytetään poikkeavaa arvoa, myös betonipeitteen nimellisarvoa on korjattava. Paikallavalurakenteet on oletettu valmistettavaksi CEM II/B-tyyppin sementillä (esim. FS Plus-sementti) ja elementtirakenteet CEM II/A-tyyppin sementillä (esim. FS Rapid-sementti).

Rakenneosa Rasitusluokkayhdistelmä	Suunnittelukäyttöikä	Raudoitustyyppi	Paikallavalurakenne			Elementtirakenne		
			Lujuusluokka	Betonipeitteen nimellisarvo [mm] (Sall. mittapoikkeama: 10 mm)	Vesi-sementtisuhte	Lujuusluokka	Betonipeitteen nimellisarvo [mm] (Sall. mittapoikkeama: 10 mm)	Vesi-sementtisuhte
1-1, 1-5 XC2	50 v	br jr	C25/30 –	35 ³⁾ –	–	C30/37 C50/60	30 30	–
	100 v	br jr	C25/30 –	40 ³⁾ –	–	C35/45 C50/60	35 30	–
1-2, 1-7 XC3	50 v	br jr	C30/37 –	35 –	–	C30/37 C50/60	35 30	–
	100 v	br jr	C30/37 –	45 –	–	C35/45 C50/60	35 30	–
1-3 XC3,4; XF1	50 v	br jr rst	C30/37 – C30/37	35 – 20 ²⁾	–	C30/37 C50/60 C30/37	35 30 20 ²⁾	–
	100 v	br jr rst	C30/37 – C30/37	40 – 20 ²⁾	–	C30/37 C50/60 C30/37	40 30 20 ²⁾	–
1-4 XC3,4; XF2; XD1	50 v	br	C30/37	40	0,55	C30/37	40	0,55
	100 v	br	C35/45	45	0,50	C35/45	45	0,50
1-6, 1-8 XC1	50 v	br jr	C25/30 –	20 –	–	C25/30 C50/60	20 30	–
	100 v	br jr	C25/30 –	20 –	–	C25/30 C50/60	20 30	–

2) XC-rasitusluokissa ruostumattomia (B600KX) raudotteita käytettäessä betonipeitteen nimellisarvon on oltava vähintään raudoitteen halkaisija.

3) Maata vasten valettaessa betonipeitteen nimellisarvon on kuitenkin oltava vähintään 50 mm ja sallitun mittapoikkeaman vähintään 30 mm.