

Tuukka Parta

Luja-elementtiperustusjärjestelmän kehittäminen

Opinnäytetyö
Rakennustekniikka

Toukokuu 2016



KYAMK
University of Applied Sciences

Tekijä (tekijät)	Tutkinto	Aika
Tuukka Parta	Insinööri (AMK)	Toukokuu 2016
Opinnäytetyön nimi Luja-elementtiperustusjärjestelmän kehittäminen		41 sivua
Toimeksiantaja Lujabetoni Oy		
Ohjaaja Juha Karvonen		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli Lujabetoni Oy:n perustuselementtijärjestelmän kehitystyö. Sen lähtötietona opinnäytetyön toimeksiantaja esitteli elementtien asennustyössä esiintyviä ongelmakohtia joihin toivottiin hyviä soveltuvia ratkaisuja. Kehitystyöhön liittyen tarkoituksena oli esittää järjestelmään muutosehdotuksia. Tähän kuului olemassa olevien elementtien ulkomittojen ja muotojen tarkistaminen vaihtoehtoisten ratkaisujen avulla sekä uuden ns. paikkoelementin suunnittelu.</p> <p>Opinnäytetyön lähdemateriaali koostuu rakentamisen ammattilaisille suunnatusta ohjeistuksesta, alan kirjallisuudesta ja eri verkkolähteistä löytyvästä materiaalista ja artikkeleista. Myös lähtötietoina saatuja Lujabetonin perustuselementtijärjestelmän ohjemateriaalia sekä jo rakennettujen kohteiden suunnitteluasiakirjoja ja piirustuksia on käytetty hyväksi. Työn tekemisen yhteydessä tutustuttiin Lujabetonin Haapajärvellä sijaitsevaan elementtitehtaaseen ja sen elementtien tuotantoon, jossa saatiin muun muassa lopullinen tieto siitä, missä rajoissa elementtejä voidaan muokata.</p> <p>Opinnäytetyössä saatiin suunniteltua muutamia ratkaisuja elementtijärjestelmän kehittämiseksi. Yksi muutosehdotuksista koski anturaelementin keventämistä elementin dimensiota pienentämällä. Toisessa ehdotuksessa esitettiin muutos juotosvalureikien muodolle ja sijainnille, jolloin elementin asennus työmaalla tulee helpottumaan. Kolmas kehitysehdotus koski mahdollisen vaurioituneen paalun kohdalle tarvittavaa paikkoelementtiä ja sen suunnitelmat on esitetty työssä. Tämän paikkoelementin avulla vältetään työmaalla aikaa vaativat mahdolliset paikalla-valutyöt. Opinnäytetyössä esitetään myös elementtijärjestelmään sisältyvälle sokkelipalkille pää- ja leikkausraudoituksen mitoituslaskelmat.</p> <p>On syytä korostaa että kehityskohtien ratkaisuun ja elementtien optimointiin ei ole yhtä oikeaa ratkaisua. Työssä on siis esitetty vaihtoehtoja, joita voidaan mahdollisesti ottaa käyttöön sellaisenaan tai edelleen parannettuna. Hyvienkin tuotteiden kilpailukyky voidaan ylläpitää vain jatkuvalla kehitystyöllä.</p>		
<p>Asiasanat Paalutus, elementtiperustusjärjestelmä, perustukset, paaluperustus</p>		



KYAMK

University of Applied Sciences

Author (authors) Tuukka Parta	Degree Bachelor of Constructi- on engineering	Time May 2014
Thesis Title Development of the Luja-foundationalelementsysteem		41 pages
Commissioned by Lujabetoni Oy		
Supervisor Juha Karvonen, Senior Lecturer		
Abstract <p>The purpose of this thesis was the improvement work of the Lujabetoni's prefabricated foundation system, Luja. First, the principal demonstrated such problems that appear in the installation work where good and suitable solutions were sought. The purpose was to present suggestions to the improvement work. This included reviewing shapes and outside dimensions of the already existing structural units and design work of the new replacement unit.</p> <p>The source material consisted of guide documents for construction professionals, literature and articles from internet. Also guides of the prefabricated foundation system Luja were used as source material. The construction drawings and design documents that were already available and built were also used. In the process of the thesis project, Lujabetoni's concrete factory in Haapajärvi was visited, and the production process of the prefabricated concrete units studies. This also gave the final information on how much a unit can be modified.</p> <p>Several solutions to improve the system were designed. One of these solutions was to get the sole somewhat lighter by changing outside dimensions of the sole. In the second solution changes were introduced of the casting hole, which makes the installation easier on the site. The third solution suggestion was about replacement unit, which is used when the pile is broken. The designs of the replacement unit were presented in this document. This replacement unit enables avoiding the casting works on site. The thesis presents the sizing chart for the main reinforcements and steelhooks of the plinthbar.</p> <p>It should be underlined that there is not only one solution for the optimization of the units and developments. Therefore this document presents choices which could possibly be adopted in the process as such or further refined. Even well designed products demand continuous development to maintain competitiveness.</p>		
Keywords Piling, prefabricated foundation, foundation, pilingfoundation		

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
2	TEORIA	6
2.1	Paaluperustus.....	6
2.2	Paalu	9
2.3	Paaluryhmä	17
2.4	Paaluantura	19
2.5	Paalutustyön laadunvalvonta ja mittaukset.....	19
2.6	Paaluperustuksien suunnittelusta ja mitoituksesta.....	21
3	LUJA-ELEMENTTIPERUSTUSJÄRJESTELMÄ.....	23
3.1	Tietoa Luja-elementtiperustusjärjestelmästä ja soveltuvuudesta.....	23
3.2	Elementtien valmistaminen.....	24
3.3	Elementin asennus	27
3.4	Luja-elementtiperustusjärjestelmän edut verrattuna paikallavaluperustuksiin	28
4	LUJA-ELEMENTTIPERUSTUSJÄRJESTELMÄN KEHITYSKOHDAT JA RATKAISUVAIHTOEHDOT	29
5	YHTEENVETO	39
6	LÄHTEET	40

LIITTEET

1 JOHDANTO

Rakennustuotteiden kilpailukyky ja menestyminen markkinoilla perustuu jatkuvan tuotteiden kehitystyöhön. Myös hyviäkin tuotteita on parannettava, mikäli se on vain mahdollista. Opinnäytetyön aihe on peräisin Lujabetoni Oy:n tarpeesta kehittää Luja-elementtiperustusjärjestelmää vieläkin toimivammaksi kokonaisuudeksi. Luja-elementtiperustusjärjestelmän kanssa työskenteleviltä ihmisiltä on tullut toiveita muutamiin kohtiin, joihin tässä opinnäytetyössä on tarkoitus perehtyä ja kehitellä vaihtoehtoisia ratkaisumalleja. Kehityskohtia ovat lähinnä anturaelementin ja sokkelielementin optimaaliset dimensiot, niiden keskinäinen liitoksen tekeminen työmaalla ja tapaus, jossa paalu rikkoutuu lyötäessä maahan, mikä johtaa korvaavien paalujen lyömiseen ja paikkoelementin asentamiseen.

Opinnäytetyössä perehdytään aluksi lyötävien teräsbetonipaalujen ja teräsputkipaalujen teoriaan. Työstä on rajattu pois porapaalut ja injektioaalut, koska Luja-perustuselementtijärjestelmä perustuu lyötäviin paaluihin. Perusteorian jälkeen on esitelty Luja-elementtiperustusjärjestelmän tuotteet, niiden valmistus ja asennus. Opinnäytetyön päätavoite, Luja-elementtiperustusjärjestelmän kehitysideat on lisätty teoriaosuuksien jälkeeseen osaan. Kehitysideoista voidaan mahdollisesti saada tarkemmalla mitoittamisella ja kehitystyön jatkamisella toimivia ratkaisuja elementtiperustusjärjestelmään, jolloin asennettavuus, nopeus ja toimintavarmuus parantuisivat. Myös työmaalla esiin tuleviin ongelmiin olisi vaihtoehtoinen ratkaisu heti saatavilla lähinnä viitaten paalun rikkoutumista paalutustyössä ja korvaavien paalujen liittäminen ylempiin rakenneseisiin valmiita elementtejä käyttäen.

2 TEORIA

2.1 Paaluperustus

Jos pohjatutkimuksissa ilmenee, että rakennukselle tai rakenteelle lasketuille kuormille maanvarainen perustaminen ei ole mahdollista tai järkevissä rakennekokonaisuuksissa kohtuullista, käytetään paaluperustuksia. Syitä voi olla kuormituksen aiheuttama liiallinen painuminen, kiertyminen tai siirtyminen. Myös maapohjan murtuminen tai ympäröivät rakenteet voivat olla syinä paaluperustamiselle. Kun rakennuksen tai rakenteen kohdalla pohjaolosuhteet ovat huonot, koostuen esim. löyhistä savi, siltti tai hieta kerroksista, käytetään myös yleensä paaluperustusta.(1;6;16)

Paalutuskohteen oikeaan ratkaisuun johtavan suunnittelun ja edelleen myös toteutuksen varmistamiseksi pohjatutkimusmenetelmä ja sen laajuus sekä syvyys on valittava kohteen vaativuuden mukaan. Maakerrokseen tukeutuvien paalujen pohjatutkimukset on ulotettava paalun tavoitesyvyyden alapuolelle, jotta varmistetaan siitä, että paalu tulee kantamaan sille tulevat kuormat. Perustusten siirtymät on myös pidettävä annettujen raja-arvojen sisässä. Haasteellisemmissä kohteissa on hyvä suorittaa koepaalutuksia, jotta varmistetaan paalun kantavuudesta ja pohjaolosuhteista.(1.)

Yleisimmät paalutyypit ovat teräsputkipaalu, teräsbetonipaalu ja puupaalu. Puu on aikaisemmin käytetty paalumateriaali, mutta sen rajallisen kantavuuden ja mahdollisen lahoamisen takia vuosikymmenien aikana ovat tulleet teräsputkipaalut ja teräsbetonipaalut puupaalujen tilalle. Teräsbetonipaaluja käytetään tavanomaisemmissa kohteissa, joissa kuormat ovat tavanomaisia ja pääosin pystysuoria. Suuria teräsputkipaaluja käytetään hieman haastavammissa kohteissa, joissa kuormat ovat suuria ja niistä tulee suuria sivuttaiskuormia ja taivutuksia tai maapohja paalutusolosuhteiltaan haastava. Teräsputkipaaluja käytetään myös, jos on tarvetta tehdä maanpainesiniä, esimerkiksi parkkihalleja maatasen alapuolelle. Teräsputkipaaluista saadaan tällaisessa tapauksessa vesitiiviitä ja kestäviä esimerkiksi pontitetuilla paaluilla. Teräsputkipaaluja voidaan myös käyttää paremmin vetopaaluissa teräksen vetolujuuden ansiosta. Hyvän vetolujuuden lisäksi teräs kestää hyvin myös taivu-

tusta ja puristusta. Teräsputkipaalu voidaan toteuttaa sekä avonaisena tai umpinaisena vaihtoehtoja. Kärjestä levytetyt ovat yleisesti tukipaaluja ja avonaisena lyötävät paalut toimivat kitkapaaluina. (2;3;16;18.)

Paalujen asennustapoja on myös erilaisia, mikä jakaa myös paalut eri kategoriaihin. Näitä eri paalutyyppejä ovat porattavat, lyötävät ja injektoidut sekä kaivinpaalut. (2;21;15.)

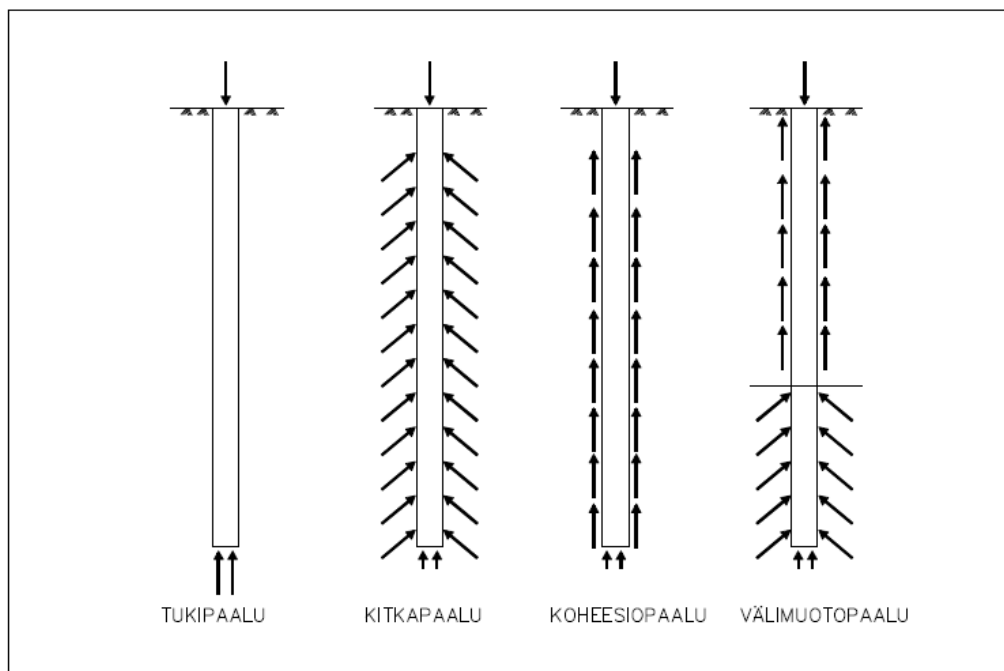
Porapaalut ovat maahan porattavia teräsputkipaaluja. Niihin voidaan lisätä sisälle raudoitus ja täyttää betonilla tai valaa betonia täyteen. Ne voivat olla myös läpi-injektoitavia porapaaluja tai sydänteräsporapaaluja. Pääosin porapaalut porataan kantavaan kallioon saakka. Porapaaluja käytetään kohteissa joissa viereiset rakennukset eivät kestä tarinää, rakennuspaikalla on vaikeasti läpäistäviä täyttöjä, rakenteista tulee paalulle suuria pistekuormia, paalulle tulee vetojäännityksiä tai kalliopinta on voimakkaasti viettävä. (2;21;15.)

Lyötävät paalut ovat yleinen ja paljon käytetty menetelmä. Lyötävät paalut ovat teräsbetonisia tai teräsputkipaaluja. Lyötäviin paaluihin sisältyvät paalut, jotka upotetaan maahan hydraulijärkäläellä lyöden, täryttämällä tai painamalla. Lyöntipaalut soveltuvat hyvin pehmeämpään ja vaihtelevaan maapohjaan, mutta niitä voidaan myös käyttää kivisessä maassa. Tällöin on paalussa oltava kalliokärki, joka syrjäyttää kiviä paalun edetessä maahan. Injektiopaalut ovat suihkuinjektiolla suoritettava paalutusmenetelmä, jossa injektointikärki porataan haluttuun syvyyteen ja maahan suihkuinjektoidaan sementtisuspensiota ja samanaikaisesti poraa nostetaan ylöspäin. Sementtimassan kuivuttua se muodostaa betonisen pilarin, joka yhdessä maa-aineksen kanssa toimii maabetonipilarina. Suihkutuksen nopeudella ja paineella, sekä sementtisuspension laadulla päästään vaikuttamaan paalun lujuuksiin ja muihin ominaisuuksiin. Suihkuinjektointia käytetään usein vanhojen perustusten vahvistamiseen tai painuneisiin perustuksiin, koska se ei vahingoita jo paikalla olevia perustuksia. Pilareiden lisäksi suihkuinjektoinnilla pystytään myös tekemään seinä- ja laattamaisia rakenteita. (2;21;15.)

Kaivinpaalut ovat raudoitettuja betonipaaluja, jotka asennetaan työputken avulla. Ensin työputki porataan maahan ja yleensä kallioon saakka. Työputken sisään lisätään raudoitus ja valetaan putki. Valun jälkeen työputki poistetaan ja betoni täyttää putken poistosta aiheutuvan tyhjän tilan. Kaivinpaaluista pystytään myös tekemään järeitä pysyviä tukiseiniä ja tarpeen tullen myös vesitii-

viitä. Kaivinpaalut soveltuvat hyvin pehmeisiin maapohjiin heikon kivenläpäisyn johdosta. Kaivinpaaluja käytetään tyypillisesti, kun paalun on kestävä erittäin suuret kuormat. Kuormat voi nousta kovalla moreeni- tai kalliopohjalla jopa 1–10 MN saakka. (2;21;15.)

Geoteknisen toimintatapansa perusteella paalut jaetaan neljään ryhmään. Ne ovat tukipaalu, kitkapaalu, koheesiopaalu ja välimuotopaalu, riippuen siitä kuinka paalu välittää kuormat maahan ja näitä kuvaava kuva löytyy kappaleen lopusta. Tukipaalu siirtää perustuksilta tulevat kuormat pääasiassa kärjen välityksellä kallioon tai maakerrokseen joka on riittävän tiivis. Kitkapaalu välittää kuormat vaippapinnan ja maakerroksen väliin syntyvän kitkan välityksellä maahan. Kitkapaalussa pieni osa kuormasta voi välittyä myös paalun kärjen kantavuuden välityksellä. Koheesiopaalun kuormat siirtyvät koheesiomaakerroksen ja paalun vaippapinnan väliin syntyvän adheesion välityksellä maakerrokseen, joka on useimmissa tapauksissa savi. Välimuotopaalu on yhdistelmä edellä mainituista paalutyypeistä, esimerkiksi kohteessa, jossa maakerros vaihtuu kesken paalun. Välimuotopaalua on hyvä myös osata käyttää hyödyksi, jotta säästetään materiaaleissa. Jossain tilanteissa myös vedettyjä paaluja käytetään kun paaluun kohdistuu vetoa enemmän kuin paalun tehollinen massa. Paalu mitoitetaan silloin sallituille vetorasituksille ja paalutuksessa on otettava selvää maan ja paalun välisestä adheesiovoimasta. Teräsputkipaalut ovat parempi vaihtoehto vetorasitetuissa paaluissa kuin teräsbetoninen paalu. (2;4;16;17.)



Kuva1 :
Paalu-
lu-
tyypit

kuormanvälitystavan mukaan. (1.)

Paalutyypeistä tukipaalu on yleisin ja varmin vaihtoehto ja teräsputkipaalujen lujuuden hyöty voidaan parhaiten hyödyntää tukipaaluissa. Koheesiopaalujen käyttö rajautuu kohteisiin joissa sallitaan pieniä painumia, mutta halutaan estää maapohjan murtuminen. Esimerkiksi teräsbetoni- ja tiilirakenteissa ei päästä koheesiopaalulla vaadittujen painumarajojen sisään. Kitkapaaluja käytetään kun kova pohjamaakerros on syvällä löyhien maakerrosten alla. (2,18.)

2.2 Yksittäinen paalu

Paalut jaetaan rakennustavan mukaan kahteen ryhmään, lyöntipaaluihin ja erikoispaaluihin. Erikoispaalut ovat paaluja, jotka valmistetaan usein kokonaan työmaalla ja niiden koko, muoto, rakenne ja valmistustapa eroavat paljon toisistaan. Lyöntipaalut jaetaan neljään ryhmään toimintatavan mukaan, jotka on jo aikaisemmassa kappaleessa mainittu, eli tuki-, kitka-, koheesio- ja välimuotopaalu. (2;5.)

Paalutukseen liittyvissä ohjeissa paalutustyöluokitus huomioi toteutuksen ja kohteen vaativuuden. Luokituksella varmistutaan, että paalutuskalusto on asianmukainen, paalutuksen suorittaja on riittävän perehtynyt asiaan ja laatuvaatimukset ovat riittävän korkeat. Lyöntipaalutusohjeessa PO-2011 lyöntipaalutusluokkia on kolme (PTL1-PTL3). Paalutusluokkaa 3 käytetään, kun paalulle tulevat kuormat ovat pieniä ja kyseessä on pieni paalutuskohde tai suoritus paalutustyössä ei täytä paalutustyöluokan 2 vaatimuksia. Luokka 2 on yleisin ja tavanomaisin paalutustyöluokka, jonka tunnusmerkit ja vaatimukset ovat hieman kireämmät kuin luokassa 3. Paalutustyöluokka 1 on jaoteltu vielä luokkiin 1A ja 1B. 1A on erityisluokka, jonka vaatimukset on vielä kiristetty luokasta 1B suunnittelijan ohjeiden mukaisesti. Kaikissa paalutusluokissa suunnittelijalta vaaditaan vähintään vaativa-luokan pätevyys. Paalutuskohteissa tarvitaan erittäin vaativaan suunnitteluluokkaan, jos olosuhteet ovat paljon normaalia haasteellisemmat. Näitä syitä voi olla mm. paalutus vesialueelle, maakerros on häiriintymisherkkä, paalutusalueella on yli 3m paksuja täyttöjä tai paaluihin tulee kohdistumaan jatkuvia veto- tai vaakakuormia. Paalutustyö-

luokkaa valittaessa on myös otettava huomioon SFS-EN 1990 standardien mukaiset seuraamusluokat (CC1-CC3). (2;3;5.)

Seuraamusluokkien määrittely (SFS-EN 1990):

- CC3 Suuret seuraamukset ihmishenkien menetysten tai erittäin suurien taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia.
- CC2 Keskisuuret seuraamukset ihmishenkien menetysten tai merkittävien taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristönvahinkojen takia.
- CC1 Vähäiset seuraamukset ihmishenkien menetysten tai pienten tai merkityksettömien taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia.

CC1-luokkaan kuuluvat suurimmilta osin kohteet ja rakennukset, joissa oleskelee ihmisiä vain tilapäisesti ja jotka ovat korkeintaan kaksikerroksisia. Tällaisia ovat esimerkiksi varastot. CC3 luokkaan kuuluvat suuret kohteet ja rakennukset, jotka ovat esimerkiksi 8-kerroksia, teattereita, konserttitaloja tai katsomoita. Loput rakenteet ja rakennukset kuuluvat seuraamusluokkaan CC2. (7.)

Geotekninen luokka	Seuraamusluokka		
	CC1	CC2	CC3
GL1	PTL1...PTL3	PTL2...PTL3	PTL2...PTL3
GL2	PTL1...PTL3	PTL2...PTL3	PTL3
GL3	PTL2...PTL3	PTL2...PTL3	PTL3

Kuva2: Paalutustyöluokan valitseminen seuraamusluokan ja geoteknisen luokan mukaan

Edellä nähtävässä taulukossa on esitetty geotekniset luokat GL1–GL3. Geotekninen luokka määräytyy kohteen rakenteiden ja pohjaolosuhteiden haastavuudesta. (3;8.)

Luokkaan 1 kuuluvat helpot kohteet, joiden rakenne on yksinkertainen, maapohja kalliota tai kitkamaata, vakavuudessa ja siirtymissä ei ole riskejä. Pohjatutkimuksia on tehtävä geoteknisessä luokassa 1 vähintään pienemmissä kohteissa paino- tai porakairaus rakennuksen jokaiselle nurkalle ja riittävä maastonkatselmus. (3;8.)

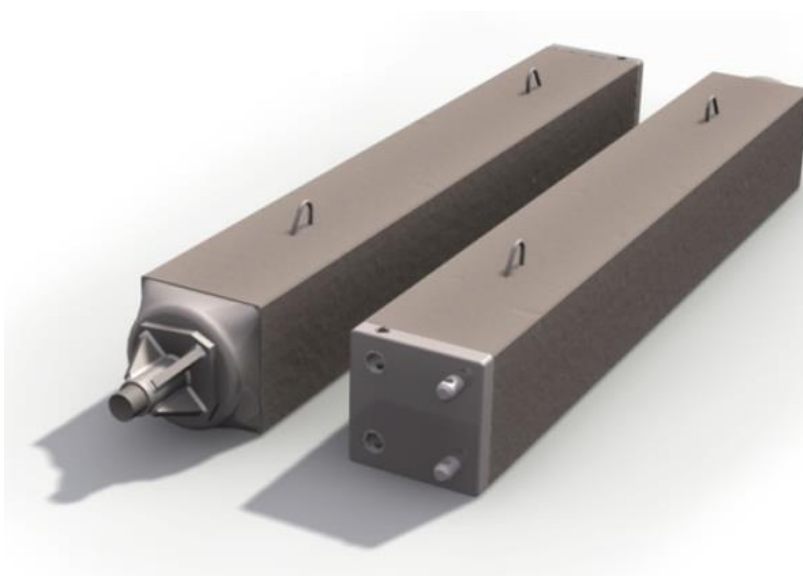
Luokkaan 2 kuuluu tavanomaisimmat rakenteet ja rakennukset, joiden pohjamaahan ei liity tavallisuudesta poikkeavia riskejä. Tyypillisiä rakenteita ovat mm. rakennusten maanvaraiset anturaperustukset, paaluperustukset, tukiseinät ja muut leikkaukset sekä penkereet. Myös vettä ja maata pidättävät rakenteet ovat luokassa 2. (3;8.)

Luokkaan 3 kuuluu haastavimmat rakenteet. Tällaisia rakenteita ovat esimerkiksi kohteet joihin liittyy normaalista poikkeavia riskejä tai joissa on erittäin suuret tai epätavalliset rakenteet, epätavallisen haastavat pohjaolosuhteet tai suuret kuormitukset. Myös Liikenneviraston hankkeissa tulee ottaa huomioon rakenteen tai rakennuksen vaikutus ympäristöön. Mikäli ympäristövaikutukset ovat merkittäviä, tulee sen olla geoteknisessä luokassa 3. Tällainen syy voisi olla esimerkiksi pohjaveden pysyvä alentuminen rakennustyön seurauksena. (3;8.)

Paalujen valmistajalla tulee olla ympäristöministeriön hyväksymän toimielimen varmentama laadunhallintajärjestelmä, tuotteiden ja niihin käytettyjen materi-

aalien pitää olla CE-merkittyjä heinäkuusta 2013 lähtien. Paalun valmistuksessa on paaluun kiinnitettävä lappu tai jokin muu merkintä, josta ilmenee paalun tyyppi, pituus, paino, valupäivä, valmistaja ja tarkastetun valmistuksen toimielimen merkki. Tiedot helpottavat työmaalla paalun oikean käytön varmistamista. (9;2.)

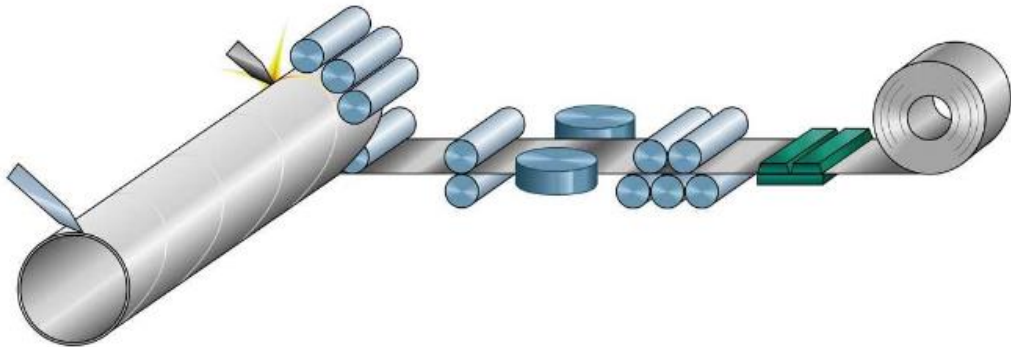
Teräsbetonipaalut ovat nykyään lähes aina tehdasvalmisteisia ja yleensä normaalipaaluja, jolloin ne on mitoitettu paalutustyön iskuja, kuljetuksia ja nostoja kestäviksi. Jos mitoituksessa ilmenee teräsbetonipaalulle tulevia taivutus- tai leikkauskuormia, on paalut ja raudoitukset kuitenkin vielä mitoitettava erikseen Suomen rakennusmääräyskokoelman betonirakenteita koskevien ohjeiden mukaan näille taivutus ja leikkausrasituksille. Paalun pääraudoitukseksi tulee aina kuitenkin vähintään 4 terästankoa. Pääterästen yhteenlasketulle vähimmäispinta-alalle on eri vaatimuksia riippuen paalutustyöluokasta. Paaluihin tulee aina myös leikkausta ja halkeilua estävät hakateräkset. Yleisesti hakaterästen jako on tiheämpi paalun molemmissa päissä, jotta estytään iskuista aiheutuvien halkeiluiden aiheutumista. Paaluun tulee myös nostolenkit, jotka ovat yleensä myös teräksestä. Nostolenkkien ja varastotientojen paikat tulee olla 0,2x paalun pituuden verran paalun päistä +-400mm. Pystyynnostokohta tulee olla 0,3x paalun pituuden verran paalun päästä. (2,4)



Kuva3: Kalliojärjellinen teräsbetonipaalu ja jatkospaalu nostolenkkeineen (22.)

Myös teräsputkipaalut ovat tehdasvalmisteisia ja suurimman läpimitan teräspaalut valmistetaan yleensä kierresaumahitsauksella. Pienemmät teräsputki-

paalut ovat pääosin SSAB Oyj:n valmistamia RR-paaluja. Kylmämuovattut RR-paalut valmistetaan pituussaumahitsaamalla kuumavalssatusta teräsnauhasta. Myös teräsputkipaalut mitoitetaan samoille kuormille kuin teräsbetonipaalut, mutta teräsputkipaalu kestää paremmin taivutusta, vetoa ja vaakakuormia kuin teräsbetoninen paalu. Teräsputkipaalun etuja on myös kuljetuksen, säilytyksen, siirtojen ja asennuksen aikaisten kuormien parempi kestävyys. (18)

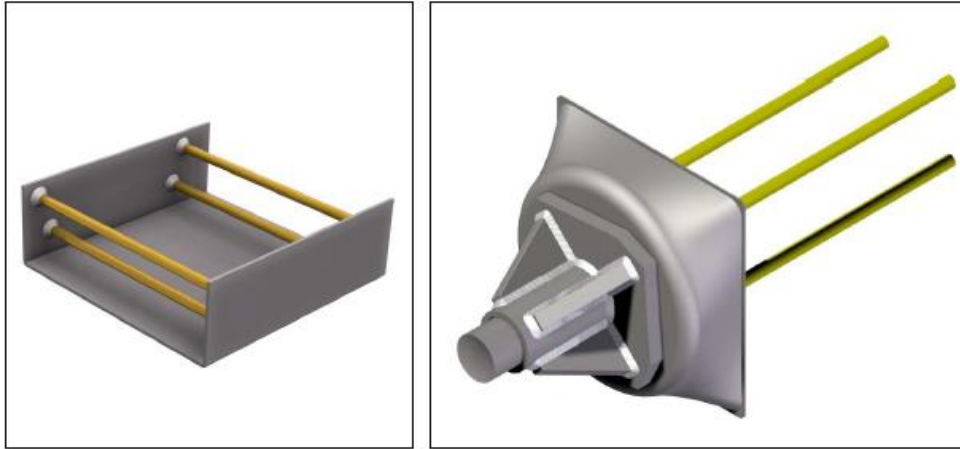


Kuva4: Kierresaumahitsauksen valmistusmenetelmä teräsputkipaalussa (23.)

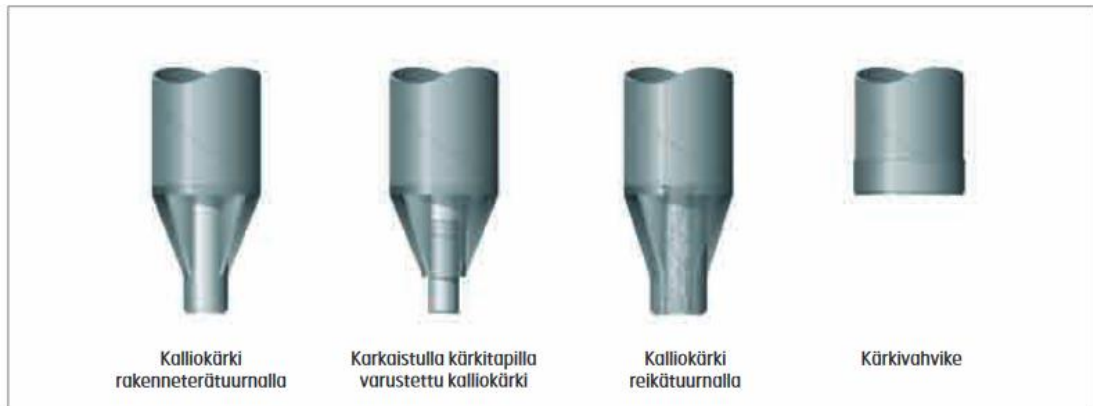
Paalujen vakio-osia ovat kalliokärki, maakärki, jatkoskappale, iskutyyny ja paaluhattu. Teräsputkipaaluilla jatkoskappaleita on kahta mallia eli sisäpuolinen jatkos ja ulkopuolinen jatkos. Suurilla teräsbetonipaaluilla vähimmäisvaatimus paalun kärjessä on maakärki, joka on muodoltaan laatikkomainen ja materiaaliltaan terästä, kun taas teräsputkipaaluilla pohjaan hitsataan pohjalevy. Pieniläpimittaisilla teräsbetonipaaluilla ei maakärkeä aina tarvita. Maakärkeä tai pohjalevyä käytetään teräsbetoni- ja teräsputkipaaluissa, kun paalu lyödään kantavaan maapohjaan eikä maapohja ole lohkareista tai kivistä eikä paalu tukeudu kaltevaan kallioon. Maakärki valetaan paalun valmistusvaiheessa paalun kärkeen kun taas pohjalevy teräsputkipaaluissa kiinnitetään hitsaamalla. Pienemmissä paaluissa, esimerkiksi Luja-pienpaaluissa, ei maakärkeä tarvita pienempien kuormien vuoksi. (2;4;7.)

Kalliokärkeä käytetään kun paalu tukeutuu kallioon tai paalua lyödään kiviin tai lohkareiseen maahan. Kallioon lyötäessä kalliokärki pureutuu kallioon ja estää paalun sivuliukumisen kallion pinnan ollessa kalteva. Kiviseen maahan lyötäessä kalliokärki estää paalun rikkoutumisen syrjäyttämällä isoja kiviä

ja lohkareita. Kalliokärjen kärkitappi tulee olla erikoisterästä, jonka sisäosa on pysyttävä sitkeänä ja pinta tulee karkaista. (2;4;7.)



Kuva5: Teräsbetonipaalun maakärki ja kalliokärki (24.)

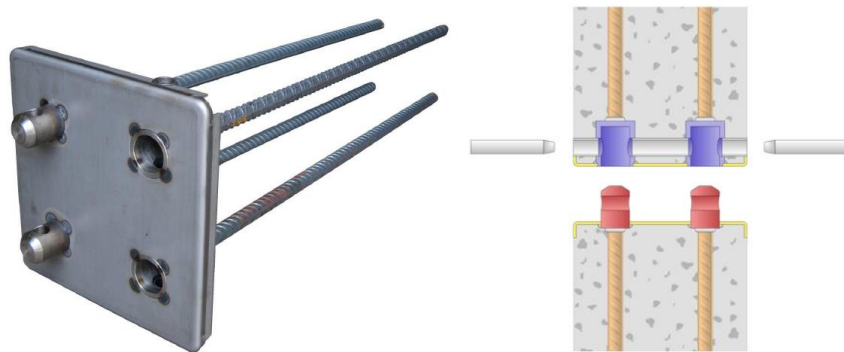


Kuva6: Teräspuutkipaalun paalukärjet (25.)

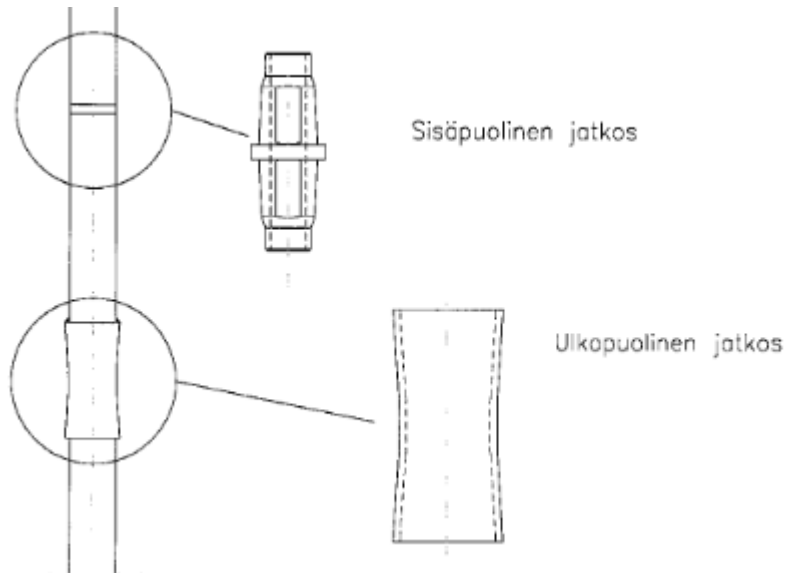
Paaluja myös joudutaan jatkamaan, jos vaadittavan mittaista paalua ei ole mahdollista valmistaa, kuljettaa tai jos paalutustyö suoritetaan ahtaassa paikassa. Teräsbetonipaaluja kuitenkin joudutaan hyvin usein jatkamaan, ja paaluun tulee aina jatkos jos paalulta vaaditaan yli 15 metrin pituutta. Tilanteissa joissa paalua joudutaan jatkamaan, paaluun on jo tehtaalla valettu jatkoskappale tai se vaihtoehtoisesti kiinnitetään työmaalla. Jatkoskappaleet ovat hylsyjatkoksia tai ns. jäykkäjatkoksia. Hylsyjatkosta käytettäessä on paalun sallittua kuormasta vähennettävä 20%. Hylsyjatkoksen tekemisessä käytetään bitumia täyttämään jatkettavan ja jatkospaalun välisen tilan hylsyn sisässä. Hylsyjatkokset ovat nykyisin melko harvinaisia ja suositellaan jäykkiä jatkoksia. Jäykkäjatkokset ovat suunniteltu niin, että ne eivät heikennä paalun ominai-

suuksia tai sallittuja kuormia. Jäykkäjatkoksen osien tulee olla tyyppihyväksytyjä. (2;4;7;10;18;19;20.)

Suuremmat teräspuolipaalut jatketaan hitsaamalla, ja hitsauksen laadulle on tarkat vaatimukset. Laatuvaatimukseen sisältyvät muun muassa hitsaustyöntekijän pätevyys, olosuhteet, hitsausaineet ja hitsausmenetelmät. Hitsaustyöt luokitellaan myös hitsiluokkiin rakenteen vaativuuden ja dynaamisten sekä staattisten kuormien mukaan. Rakenteen käyttöolosuhteet ja mahdolliset vaurioista aiheutuvat seuraukset vaikuttavat myös hitsiluokan valitsemiseen. Pienemmät teräksiset RR-paalut jatketaan kitkaan perustuvalla, joko sisäpuolisella tai ulkopuolisella jatkoksella ja jatkosten on täytettävä niille asetetut vaatimukset. Pienemmän halkaisijamitan (60-115mm) RR-paalut jatketaan ulkopuolisella kaksoiskartioidulla holkkijatkoksella, jonka kiinnitys lyönnin aikana varmistetaan hitsaamalla. Keskikokoiset (140-170mm) RR-paalut voidaan jatkaa joko sisä- tai ulkopuolisella jatkoksella. Suuret RR-paalut (170-220mm) jatketaan aina sisäpuolisella jatkoksella. (2;4;7;10;18;19;20.)



Kuva 7: Teräsbetonipaalujaatkos ja jatkoksten kiinnitys (24.)

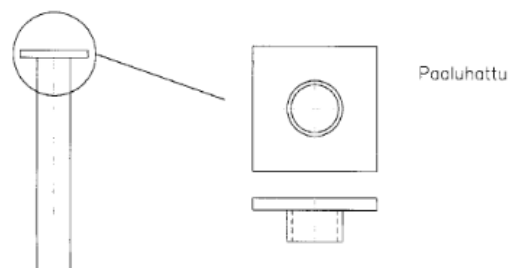


Kuva8: RR-paalun jatkokset (25.)

Iskutyyny ovat yleensä muovista tai metallista valmistettuja kappaleita, jotka tulevat paalutussyön aikana paalun päähän. Iskutyyny jakaa iskun tasaisesti koko paalun päädyn alueelle sekä suojaa paalun jatkoskappaleen lukkokaroja. Iskutyyny lukitaan paalun päähän irtoamista estävällä lukitussokalla. Iskutyyny myös poistaa paaluun tulevaa jännityshuippua ja venyttää iskun kestoja kappaleen puristumisen ja venymisen kautta. RR-paaluihin kiinnitetään paaluhattu paalun ollessa oikealla syvyydellä ja mitassaan. Paaluhattu kiinnitetään keskitetysti paalun päähän hitsaamalla ja paaluhattu tehtävä on jakaa paalulle tuleva kuorma tasaisesti. (1;2;10;20.)



Kuva 9: Muovinen iskutyyny (24.)



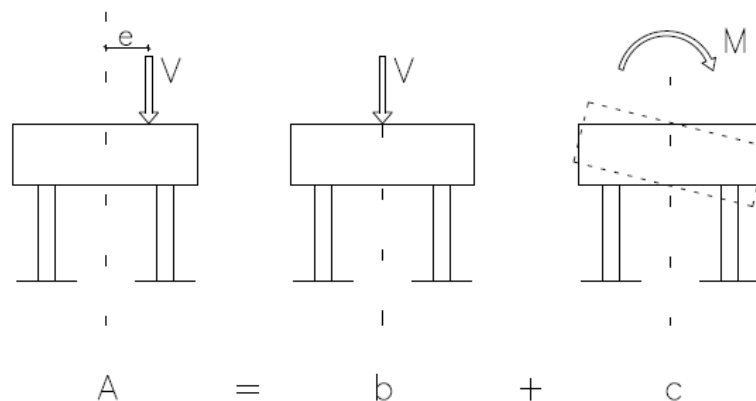
Kuva 10:RR-paalun paaluhattu (25.)

2.3 Paaluryhmä

Paaluryhmää käytetään, kun yksittäiset paalut eivät riitä ottamaan vastaan perustuksille tulevia kuormia. Syynä voi myös olla anturoille tuleva sivuttaiskuorma, jota pystytään hallitsemaan paaluryhmässä olevilla vinottaispaaluilla. Paaluryhmän paalut sidotaan toisiinsa jäykkäliitoksella paaluanturalla. Paaluryhmä mitoitetetaan rakenteellisesti pilarilaattana. Paaluantura on mitoittettava siten, että se kestää paalujen sijaintipoikkeaman aiheuttamat kuormat paaluille ja paaluanturalle. Antura on myös routasuojattava, jotta routa ei aiheuta anturaan haitallista siirtymistä. (1;2;3.)

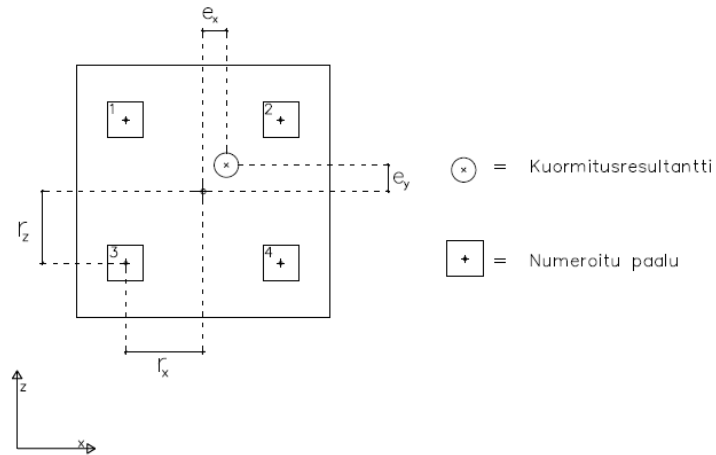
Paaluryhmiä mitoitetetaan pystysuorana paaluryhmänä, kun paaluja kuormitaan vain paalunsuuntaisilla voimilla. Paalut on hyvä sijoittaa siten, että kuormitus paaluryhmälle on keskeinen. (1;2.)

Usein on kuitenkin tilanne, jossa kuormitusresultantti ei ole paaluille keskeinen ja kuormat jakautuvat epätasaisesti paaluille. Resultantti aiheuttaa paaluryhmään momenttia. Kuvassa alla on havainnollistettu, kuinka epäkeskeinen kuormitus vaikuttaa paaluryhmään. Paaluryhmän oikeanpuoleisille paaluille tulee siis puristusrasitusta ja vasemmanpuoleisille paaluille vetorasitusta. (4.)



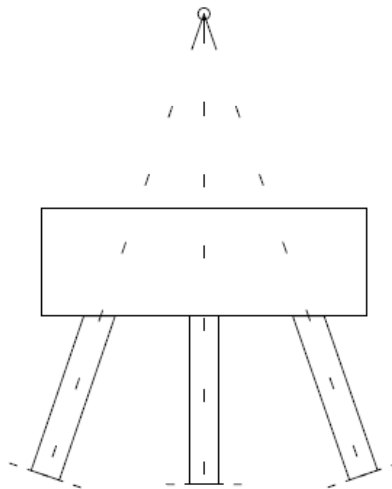
Kuva 11: Pystysuoran epäkeskeisen kuorman aiheuttamien paalukuormien muodostuminen

Kuvan 11 epäkeskeinen resultantti V voidaan siirtää keskeiseksi, kun lisätään samalle perustukselle epäkeskeisyydestä aiheutuva momentti M . Momentti M on epäkeskeinen voima V kertaa etäisyys e paaluryhmän keskeisakselista. Tällöin syntyy kuormitustapaus $B+C$, josta voidaan laskea kuorma yksittäiselle paalulle. (4.)



Kuva 12: Pystysuoran paaluryhmän epäkeskeisen kuormituksen havainnekuva

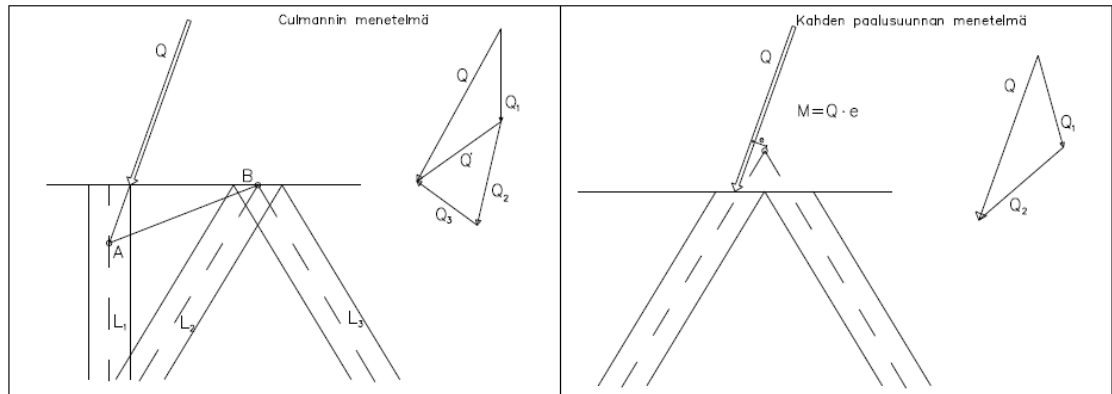
Kun kuormitusresultantti on vino, on paaluja oltava vähintään kahdessa eri suunnassa. Paalutusrivien ollessa erisuuntaiset, on kuitenkin pidettävä huolta, että paalujen kuvitteelliset jatkeet eivät kohtaa samassa pisteessä. Tällöin paaluryhmä on kykenemätön ottamaan vastaan momenttivaikutusta. (4.)



Kuva 13: Erisuuntaisten paalujen sopimaton keskinäinen sijoittelu

Kun paaluryhmän paalujen suunnat ovat vinot, voidaan määrittää alustavasti ja likimääräisesti paalukuormat muutamilla menetelmillä. Jos paaluperustuksessa käytetään vain kahta suuntaa, voidaan suunnat jakaa komponentteihin ja nämä komponentit jaetaan paalumäärillä per suunta. Jos paalutuksessa on kolme suuntaa tai paaluja on vain muutama, voidaan käyttää ns. Culmannin menetelmää. Menetelmien periaatteet selviävät kuvasta 14. Kuitenkin tällaisten

laskentamenetelmien käyttö nykyään on vähäistä, sillä tietokoneavusteiset laskenta- ja mitoitusohjelmat ovat korvanneet käsin laskettavat menetelmät. (4;5.)



Kuva 14: Paalukuormien määrittäminen eri menetelmillä (4,5;)

2.4 Paaluantura

Paaluantura on paalun tai paalujen yläpäässä oleva yleensä betoninen kappale, joka välittää voimia paaluun ja/tai sitoo paaluryhmän paalut yhdeksi jäykäksi rakenteeksi. Paalujen yhteen sitominen edesauttaa epätasaisen kuormituksen jakamista useammalle paalulle. Paalu katkaistaan anturan sisään rakennesuunnittelijan ohjeiden mukaisesti ja katkaisumitta riippuu siitä, onko toivottu nivelellistä vai jäykkää liitosta. Jäykässä liitoksessa paalu katkaistaan ylempää, piikataan paalun raudoitusta esiin ja taivutetaan paaluanturan raudoitusten sekaan. Paalu ei kuitenkaan saa upota liian syvään, lähelle anturan yläpintaa, jotta vältetään paalun leikkautumista anturan läpi. Paaluanturan routiminen estetään routasuojauksella, sijoittamalla antura routimattomaan syvyyteen tai tekemällä massanvaihto routimattomaan massa. (1;2.)

2.5 Paalutustyön laadunvalvonta ja mittaukset

Ennen paalutustyön aloitusta on varmistettava siitä, että paalutustyön toteuttajalla ja valvojalla on riittävät pätevyudet ja riittävä määrä kokemusta paalutuskohteen vaativuuteen verrattuna. Vaativuustaso tulee paalutustyöluokista, joista on kerrottu aikaisemmin tässä opinnäytetyössä. Paalutustyön suorittajan on myös luovutettava rakennuttajalle kohdekohtainen laatu- ja työsuunnitelma

ennen paalutustyön aloitusta. Suunnitelma sisältää muun muassa käytettävän paalutuskaluston, työtavat, sallitut sijaintipoikkeamat, paalutustyöluokan, paalujen sallitut kantavuudet, paalujen laadunvarmistustoimenpiteet, työturvallisuuden, ympäristön asettamat vaatimukset ja muita työhön liittyviä oleellisia asioita. Ennen paalutustyötä on myös tarvittaessa tehtävä katselmuksia naapurirakennusten varalta. Lyöntipaalaus aiheuttaa tärinää ja maan syrjäytymistä, jotka voivat olla haitallisia lähellä sijaitseville rakennuksille. Myös kaapelien ja putkijohtojen sijainnit on syytä varmistaa ennen paalutuksen aloitusta. Varsinaisten paalujen lyöntiä ennen voidaan mahdollisesti suorittaa koepaalutuksia, joissa varmistutaan paalutussyvyydestä ja kantavuudesta sekä paalun ja paalutuskaluston soveltuvuudesta joilla saadaan riittävä kantavuus. (1;2.)

Paalutustyössä paalut lyödään sovitussa järjestyksessä ja paalutuksen edetessä paalutustyönjohtaja täyttää jokaisesta lyödyistä paalusta paalutuspöytäkirjakaavakkeen. Pöytäkirjassa ovat paalutuskaluston tiedot, paalun tiedot, erityisesti paalun loppuvaiheen upotustyön tiedot ja järkäleen pudotuskorkeudet. Paalun yläpää vaaitaan heti lopetuslyöntien jälkeen. Kun paalu saavuttaa tavoitellun syvyyden ja huomataan, että paalun tunkeutuminen lakkaa, aloitetaan loppulyönnit. Loppulyöntisarjoja on yleensä viisi, mutta jos paalun tunkeutuminen maahan pysähtyy selvästi nopeammin, kolme sarjaa riittää mikäli paalutustyöluokka on 1 tai 2. Paalutustyöluokassa 3 loppulyöntisarjoja on aina vähintään viisi. Kun kaikki paalut on lyöty, tarkistetaan paalujen yläpään korkeudet uudelleen. Jos paalu on noussut paalutuksen jälkeen, suoritetaan pohjaan lyönti uudelleen eli ns. jälkipaalutus. Paalujen sijaintipoikkeamat merkitään myös pöytäkirjaan. Pöytäkirjat toimitetaan suunnittelijalle mahdollisesti jo paalutustyön edetessä, jotta korjaaviin toimenpiteisiin kyettäisiin silloin, kun paalutuskone on vielä työmaalla. (1;2.)

Paalutuksen jälkeen paaluja koekuormitetaan ja mitataan eri tavoin ja eri tarkkuudella paalutustyöluokan mukaan. Myös mittausten määrä riippuu paalutustyöluokasta ja on esitetty suunnitelmissa. Paaluja voidaan koekuormittaa useammalla tavalla. PDA-mittaus on ehkä luotettavin keino saada selville paalun ehjyys ja kantavuus. PDA-mittauksessa paalun kylkeen kiinnitetään anturit jotka liitetään sähköiseen tietokonelaitteistoon. Paalua lyötäessä anturit havaitsevat ja piirtävät näyttöpäätteille käyrästä, josta ilmenee paalun mahdollinen rikkoutuminen ja mahdolliset halkeamat. (2.)

PIT-mittaus on nopea ja halpa tapa selvittää, onko paalussa vaurioita. Paalun yläpäähän puristetaan mittari ja paaluun lyödään sopivalla vasaralla. Isku etenee paalussa ja heijastuu takaisin mittariin mikäli paalu on ehjä. Jäykkäjatkokset antavat oman heijastuksensa niin, että jatkoksen jälkeisestä osasta ei saada täyttä selvyyttä. Ehjyysmittaus on tarkkuudeltaan kevyt vaihtoehto PDA-mittaukseen verrattuna, mutta nopea ja helppo tapa selvittää paalun ehjyys ennen virallisia mittauksia. (2.)

2.6 Paaluperustuksien suunnittelusta ja mitoituksista

Paalutussuunnitelmassa osoitetaan, että rakenteesta tai rakennuksesta aiheutuvat kuormat siirtyvät suunnitelmien mukaisella tavalla hallitusti maahan tai kallioon, ja paaluilla sekä paaluperustuksilla on riittävä rakenteellinen ja geotekninen kantavuus koko paalujen käyttöiän ajan. Suunnittelun ja mitoituksen on perustuttava eurokoodijärjestelmän ohjeisiin, joista on tehty RIL Paalutusohje 2011. Rakennusinsinööriliiton paalutusohjeita on useampi, ja ne jakautuvat eri paalutyyppeihin mm. pienpaalut, teräspaalut ja suurpaalut. Paalutuksessa kaksi oleellisinta tekijää ovat *geotekninen* kantavuus eli maaperän kantavuus ja paalun *rakenteellinen* kantavuus. Geoteknisen kantavuuden tarkasteluilla otetaan huomioon maaperän kantavuus ja painumat sekä maaperän muodonmuutokset. Maapohjan muodonmuutoksia voivat olla mm. siirtyminen, syrjäytyminen ja häiriintyminen. Lisäksi maaperässä tapahtuva muutos voi olla huokosvedenpaineen kasvu. Rakenteellinen kantavuus määrittää paalun kantavuuden ja paalun sallitut muodonmuutokset. Paalun kantavuudella tarkoitetaan yleensä paalun pituusakselin suuntaista kantavuutta ja sen tulee olla aina mitoituksessa geoteknisestä tai rakenteellisesta kantavuudesta tuleva pienempi arvo. Paalun rakenteellisessa mitoituksessa on tarkasteltava paalun rakenteellinen kestävyys puristuksesta, vedosta, taivutuksesta ja leikkausrasituksesta sekä nurjahtamisesta, jos maapohjan leikkauslujuus on paalun nurjahtamiselle altis. (2;3;18.)

Tavanomaisen paalutuskohteen suunnitteluvaiheet:

- Lähtötietojen hankinta
- Pohjatutkimusten suunnittelu ja ohjelmointi
- Paalun pituuksien, tyyppin ja poikkileikkauksen alustava valinta
- Teräsputkipaaluissa korroosiovaran valinta
- Rakenteellinen mitoitus, geotekninen mitoitus ja nurjahdusmitoitus
- Mahdollisen koepaalutuksen suunnittelu, valvonta ja tulosten analysointi
- Asennuksesta ja loppulyönneistä lyöntiohjeen laatiminen
- Paalutaulukon laatiminen
- Paalutusjärjestyksen laatiminen
- Laadunvalvonnan suunnittelu
- Lopullisten toteutumapiirustusten vaatimusten esittäminen (18)

Negatiivinen vaippahankaus on myös otettava huomioon kohteissa, joissa on esimerkiksi savisen maan päälle ajettu täytemaata ja paalutustyö suoritetaan täytemaan päällä. Tukipaalujen seisoessaan tukevasti kantavassa maakerroksessa savikerrosten alla, paalut eivät vajoa enää alaspäin. Täyttömaan ja muun kuormituksen johdosta savikerrokset alkavat painua ja puristua kokoon. Savi tarttuu adheesiovaikutuksesta paaluun ja saven kokoonpuristuessa edelleen osa täytemaan kuormasta siirtyy paalulle ja tämä on otettava huomioon paalua mitoittaessa. (2.)

Paalut mitoitetaan kantavana rakenteena, joten se edellyttää sitä, että paalun materiaalien on oltava kantavien rakenteiden määräysten mukaisia. Paaluperustusten on kestettävä rakenteesta ja sen ulkoisista kuormista tulevat kuormitukset sekä maapohjasta aiheutuvat kuormat. Paalun siirtymät on myös saatava mitoituksessa sallittuihin rajoihin. Myös sallitut kiertymät, poikkeamat ja painumat on pysyttävä määritetyissä rajoissa. Joskus paaluihin kohdistuu suuria veto- tai leikkausrasituksia. Silloin on paalu mitoitettava erikseen vedolle ja leikkaukselle ja tällöin rakennetta käsitellään erittäin vaativana pohjarakennuskohteena. Paalun rakenteellisessa mitoituksessa on myös tarkistettava veto-, leikkaus, puristuskestävyyden ja mahdollisesti nurjahdus. Teräsbetonipaalut ovat herkempiä teräsputkipaaluihin verrattuna rikkoutumaan paalutustyössä tapahtuvien mahdollisten käyritysten, kuljetuksista aiheutuvien värinöiden ja nostoista aiheutuvien kuormitusten vaikutuksesta, joten nämä on tarkasteltava paalua mitoittaessa. Kun kyseessä on teräsbetonipaalu, ennen paalun

asentamista on varmistuttava siitä, että paalussa ei ole poikittaisia halkeamia, joiden pituus on yli puolet paalun poikkileikkauksen piiristä. Halkeaman leveys saa olla leveimmillään 0,2mm. Mahdollisissa pituussuuntaisissa halkeamissa on myös varmistuttava siitä, ettei halkeama ole yli 200mm pitkä ja leveimmässä kohdassa 0,2mm leveä. Myöskään lyhempiä halkeamia ei sallita, jos halkeaman leveys on leveimmillään 0,5mm. Mahdolliset halkeamat on korjattava ennen paalun asentamista. (1;2;5.)

3 LUJA-ELEMENTTIPERUSTUSJÄRJESTELMÄ

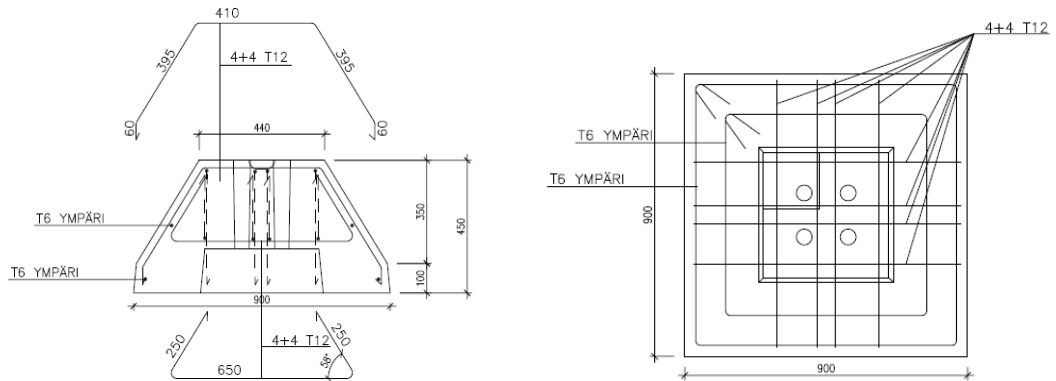
3.1 Tietoa Luja-elementtiperustusjärjestelmästä ja soveltuvuudesta

Luja-elementtiperustusjärjestelmä soveltuu hyvin 1-2-kerroksisiin omakotitalo ja rivitalokohteisiin, pienkerrostaloihin, hoiva- ja päiväkoteihin ja halli- ja liiketiloihin. Luja-elementtiperustusjärjestelmä perustuu pienpaalujen päälle tulevista elementeistä, jossa Luja-pienpaalun päälle tulee JUPA45-paaluanturaelementti ja anturoiden päälle SP268-sokkelipalkki. Kaikki elementit ovat tehdasvalmisteisia ja siten mittatarkkoja. Paalutus toimii Jopiteknologialla, jolloin hukkaa paalutuksessa ei tule lainkaan. Edellisen paalun ylimääräisellä katkaistulla pätkällä voidaan jatkaa seuraavan kohdan paalutusta suoraan. Paalukärki kiinnitetään paalun kärkeen ennen paalutuksen jatkamista, jos paalutuskohteessa sitä vaaditaan. Sopivalla kalustolla voidaan paaluttaa jopa alle metrin pituisia pätkiä. Silloin seuraavaa paalua lähdetään lyömään alle metrin pituinen paalu täysmittaiseen paaluun kiinnitettynä. Paalut ovat läpimitaltaan 180x180mm ja kuuluvat siten pienpaaluihin. (12;13.)

Paalujen päähän tulee paaluanturaelementit, joiden pohjamitta on nykyisin 900x900mm. Paaluanturan pohjassa on valmiiksi paalulle suunniteltu varaus, johon paalun yläpää sijoittuu. Paaluanturoissa ja sokkelipalkeissa on valmiit reiät, joihin asennetaan harjateräkset ja valetaan täyteen juotosbetonia. Sokkelin päälle tulee ontelolaatasto, jonka rengas- ja saumavalu jäykistää lopullisesti rakenteen. Tuulettuvaan alapohjaan päästään Lujabetonin huoltokäytävaelementtien kautta, jotka asennetaan samaan aikaan anturoiden kanssa. (12;13.)

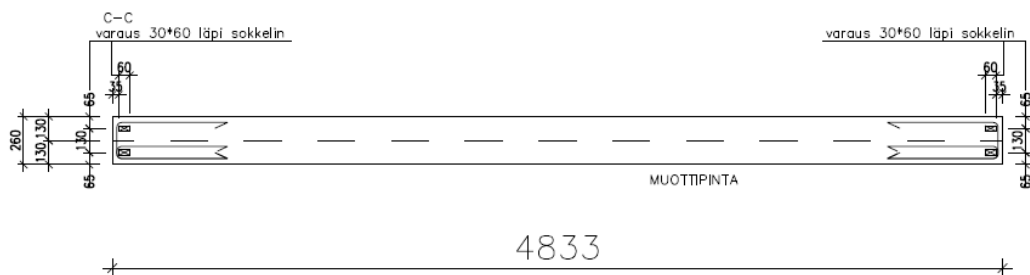
3.2 Elementtien valmistaminen

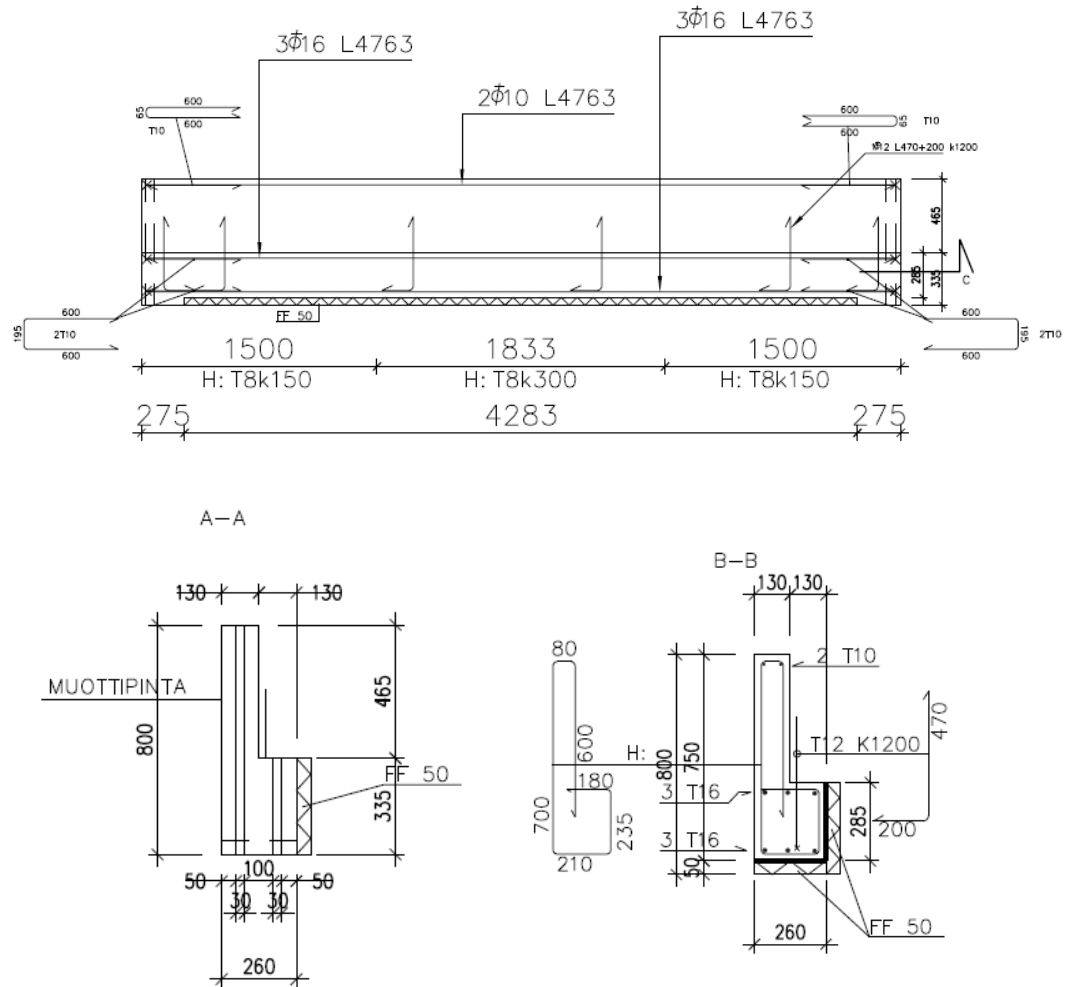
Luja-elementtijärjestelmän paaluantura valmistetaan tärymuotilla, jossa muottiin laitetaan valmis raudoituskehikko ja lasketaan hihnalta betonimassa muottiin. Muotti tärisee hetken, ja massan tiivistyttyä riittävästi kumotaan elementti pohjalevyille, jossa se siirretään sivuun kuivumaan lopulliseen lujuteensa. Raudoitus, massa ja mitat ovat anturassa aina samat.



Kuva15: JUPA45-paaluanturan raudoituskuvat

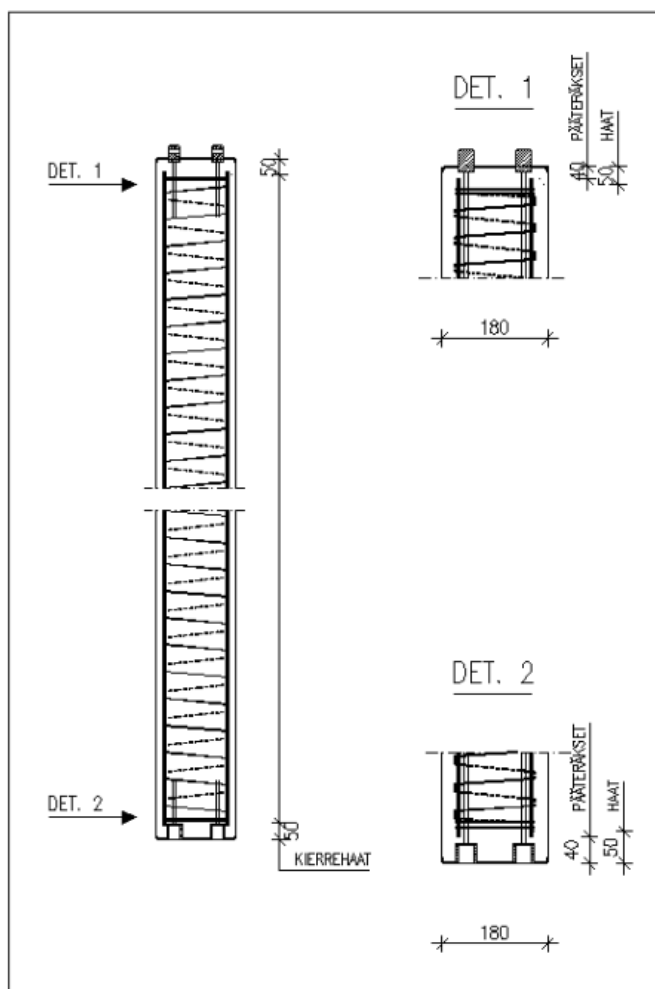
Sokkelielementit valmistetaan elementtipöydällä ensin kasaamalla suunnitelmien mukaiset muotit. Sitten lisätään mitoituksen mukaiset raudoitukset, pätyihin tulevien reikien putket ja lopuksi valetaan muotti. Palkin pituus, korkeus ja raudoitus vaihtelevat aina rakennuskohteiden mukaan. Alla on esimerkkikuvat erään sokkelin mitoista ja raudoituksista.





Kuva16: SP268-sokkelin mitta- ja raudoituskuvat

Luja-pienpaaluja on kolmea eri tyyppiä Lpp1 – Lpp3. Luja-pienpaaluja 3 valmistetaan vain tilauksesta, koska kyseessä on erikoispaalu. Kahta muuta Lpp1 ja Lpp2 paaluja valmistetaan varastoon. Paalujen vakiomitta on 6 metriä, mutta myös lyhyempiä paaluja valmistetaan mahdollisten haastavien paalutuspaikkojen takia. Betoniluokka paaluissa on C40/50 tai C50/60 ja pääterästen lujuusluokka on A500HW tai A700HW, sekä hakateräkset ovat lujuusluokkaa B400. Paaluihin tulee tehtalla aina jatkokset molempiin päihin. Lpp1 paaluihin tulee 1-lukkoiset paalujatkokset ja Lpp2 – Lpp3 paaluissa käytetään 2-lukkoista paalujatkosta. Paalun katkaistuun tai ehjään päähän voidaan tarvittaessa kiinnittää kalliojärki, jos maapohja on kivistä tai jos löysän maapohjan jälkeen tulee kallio vastaan. Paaluihin merkitään tehtaalla oikeat tuentakohdat säilytystä ja kuljetusta varten, sekä nostokohdat nostoja varten.



Kuva17: Luja-pienpaalun raudoitustapa

Paalujen loppulyöntien mitoitus tapahtuu PO 2011:n mukaisesti ja kaikkien paalujen todellinen lyöntien aikainen painuma mitataan. Paalun tulee myös saavuttaa loppulyöntiehdot, jotka näkyvät alla olevista taulukoista eri paalutustyöluokissa. Jos paalua lyötäessä paalun uppoaminen on hyvin hidasta, on alla olevien taulukoiden täytäviä sarjoja lyötävä 3 peräkkäistä. Näin varmistutaan siitä, että paalu on kantavassa maakerroksessa. Jos 10 lyönnin loppulyöntisarjalla painuma on 5 mm tai alle, voidaan todeta, että paalu on saavuttanut lopullisen kantavuutensa. (12.)

Perustussuunnittelijan määrittää paaluille tulevat kuormat eurokoodien kuormitusohjeiden ja osavarmuuskertoimien mukaan, sekä valitsee paalujen oikean määrän ja sijainnit. Luja-pienpaalut on myös määritettävä siten, ettei paaluille tule vetokuormituksia. Paalutustyön jälkeen mitataan työmaalla paalujen mahdolliset sijaintipoikkeamat ja tarkepiirustusten perusteella

suunnittelija laskee paaluille tulevat todelliset kuormat. Mikäli kuormat ylittävät sallitun rajan, on kohteeseen suunniteltava lisäpaalutusta. (12)

LPP1 Loppulyönnit, 10 lyönnin sarjan painuma [m]							
Paalutus- työluokka	Järkäleen loppunopeus [m/s]	Paalun pituudet [m] ≤5	10	15	20	30	40
PTL1	2,8	13	12	12	11	11	11
PTL2	3,0	12	11	11	11	11	10

LPP2 Loppulyönnit, 10 lyönnin sarjan painuma [m]							
Paalutus- työluokka	Järkäleen loppunopeus [m/s]	Paalun pituudet [m] ≤5	10	15	20	30	40
PTL1	3,3	11	10	10	10	10	9
PTL2	3,6	11	11	11	11	10	10
PTL3	3,8	11	10	10	10	10	9

LPP3 Loppulyönnit, 10 lyönnin sarjan painuma [m]							
Paalutus- työluokka	Järkäleen loppunopeus [m/s]	Paalun pituudet [m] ≤5	10	15	20	30	40
PTL1	3,6	12	12	12	12	11	11
PTL2	3,8	12	12	12	12	11	11
PTL3	4,1	11	11	11	10	10	10

Kuva18: Lpp1 – Lpp3 loppulyöntien maksimipainumat eri paalutustyöluokissa.

3.3 Elementin asennus

Paaluanturan ja sokkelipalkin asennus alkaa paalutuksen jälkeen paalujen ympäriltä pohjasoran tasauksella, niin että soran pinta jää 1300mm, 20mm:n tarkkuudella sokkelin pinnan alapuolelle, johon sisältyy 50mm eristelevyvaraus. Huoltokäytäväelementin kohdalta sorapatjan tulee olla 1570 millimetrin etäisyydellä sokkelin yläpinnasta. Huoltokäytäväelementin alla tulee olla 100mm eristelevyä. 1200mm x 1200 mm eristelevyt katkaistaan keskeltä ja molempiin tehdään kolo siten, että paalu jää kahden eristelevyvuolikkaan keskelle. Eristelevyihin merkataan 320 mm päähän merkit kohtaan, johon paaluantura tulee. Paaluanturan ulkopinta on siis 320mm ulompana sokkelin ulkopinnasta. Eristelevyn ja paalun välinen sauma tulee tiivistää esimerkiksi poly-

uretaanivaahdolla. Vaahtoa tulee myös levittää eristelevyn päälle 350mm päähän keskikohdasta, jotta varmistutaan paaluanturan ja eristelevyn tiiveydestä ja estytään juotosbetonin vuotamista paaluanturan alta myöhemmässä vaiheessa. Paaluantura tulee asettaa paikoilleen aikaisemmin tehtyjen merkien kohdalle. Samassa työvaiheessa paaluanturoiden paikalleen nostamisen, on hyvä asentaa huoltoluukkuelementit. Ensimmäinen huoltoluukkuelementti tulee sille merkatulle paikalle ”selälleen” siten, että elementin pääty on sokkelin ulkopinnan kanssa samassa tasossa. Toinen huoltoluukkuelementti tulee toisen perään pystyyn sokkelielementtiä vasten. Kun kaikki paaluanturat on asennettu, mitataan niiden korot ja valmistellaan mahdollisten korkeuspoikkeamien kohdalle muoviset korokepalat. Sokkelielementit nostetaan tasopii-rustusten mukaisiin paikkoihin ja tartuntateräkset asennetaan kaikkiin avoimiin reikiin. Teräkset toimitetaan vakiomittaisina, joten sokkelielementin sisäreikään tulevan rauta taivutetaan myöhemmässä vaiheessa suoritettavaan kehä- tai saumavaluun. (11.)

Sokkelipalkkien väliset saumat ja paaluanturan ja sokkelipalkin väliset saumat tulee tiivistää polyuretaanivaahdolla juotosvalua varten. Sokkelipalkkien ulkopinnan saumat voidaan myös tiivistää saumanauhalla, jolloin säästytään vaahdon siistimiseltä myöhemmässä vaiheessa. Seuraavaksi juotosvaletaan paaluanturat sokkelipalkkien rei’istä. Ensin on hyvä käyttää alemmaa sisäpuolen reikää ja lopuksi sokkelipalkin ulompaa ylempänä olevaa reikää. Juotosvalussa on hyvä käyttää valusuppiloa, koska juotosbetoni on todella juoksevaa massaa. Tämän jälkeen asennetaan ontelolaatat paikoilleen ontelolaatta-asennusohjeiden mukaisesti. Seuraavaksi lisätään laataston lisäteräkset ja valetaan rengas- ja saumavalu. Lopuksi asennetaan mahdolliset tuuletusputket, suoritetaan ulkopuolinen täyttö ja saumataan elementtien saumat saumamassalla. (11.)

3.4 Luja-elementtiperustusjärjestelmän edut verrattuna paikallavaluperustuksiin

Koska Luja-elementtiperustusjärjestelmän elementit valmistetaan tehdas oloissa, ne ovat mittatarkkoja, tasalaatuisia ja betonimassa on optimaalinen käyttötarkoitusta ajatellen. Kuivissa sisätiloissa valun suorittaminen on myös suuri etu verrattuna ulkona mahdollisissa huonoissa olosuhteissa suoritettavaan valuun. Tehdasolosuhteiden valumuotit myös optimoivat betonimassan käytön muottien muodolla, joita työmaalla ei pystyttäisi valmistamaan. Teh-

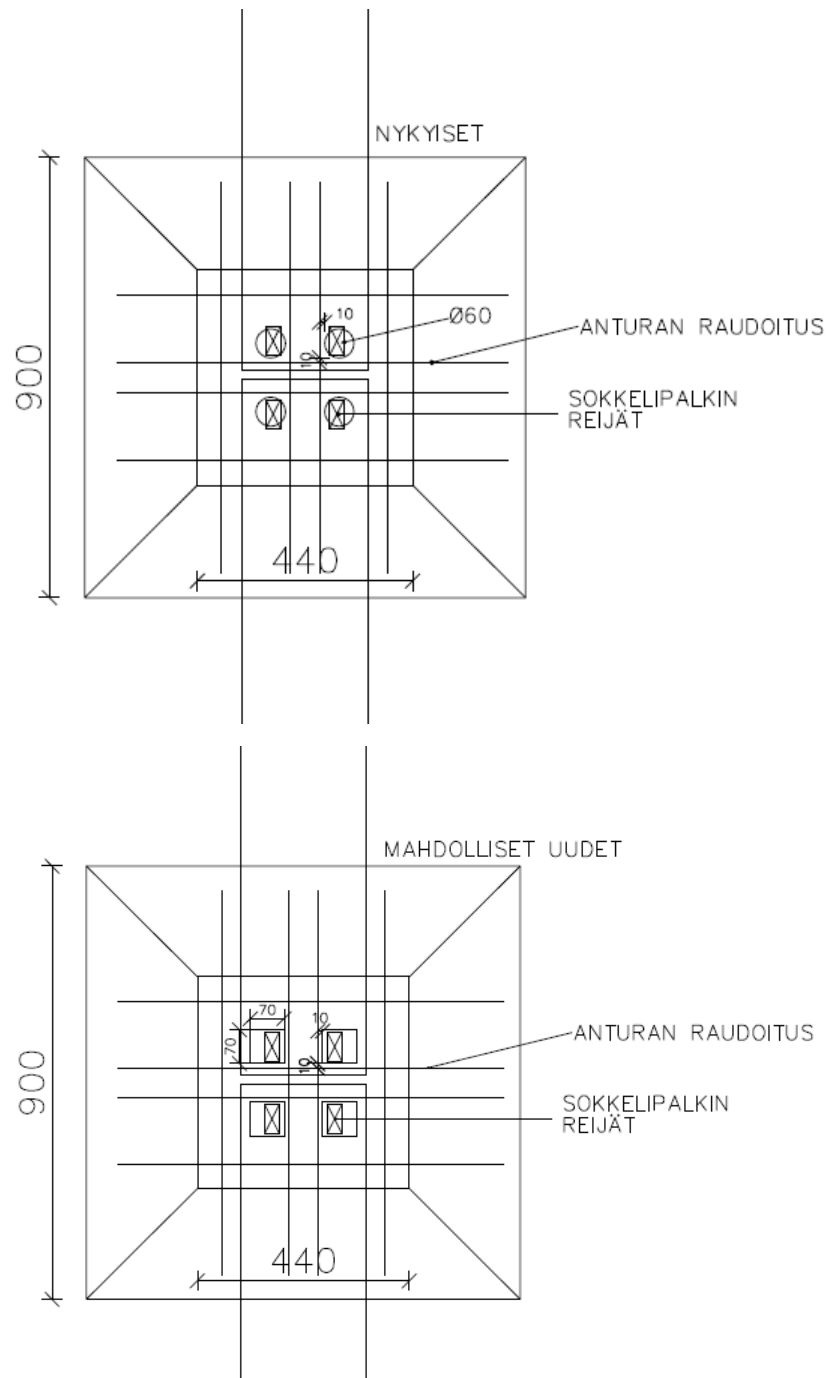
dasvalmisteisilla elementeillä päästään myös siistiin ja tasaiseen lopputulokseen tuotteen pinnassa, tässä tapauksessa sokkelin ulkopinnassa. Jopiteknologialla (Juuri oikean pituinen) tehdyssä paalutuksessa ei paaluista jää hukkaa.

Työmaalla asennus on vaivattomampaa ja ennen kaikkea nopeampaa. Työmaalla säästytään monelta työvaiheelta, kun valutyöt on suoritettu jo tehtaalla. Kun paalut on lyöty maahan ja tarpeelliset mittaukset suoritettu, voidaan anturaelementtien, sokkelielementtien, ontelolaattojen asennukset ja niihin liittyvät valutyöt suorittaa jopa kahdessa päivässä. Pohjamaan tiivistys huolellisesti paalujen ympärillä on myös tärkeää, jotta vältetään anturaelementtien mahdollisesta painumisesta tai kallistumiselta asennusvaiheessa.

4 LUJA-ELEMENTTIPERUSUTSJÄRJESTELMÄN KEHITYSKOHDAT JA RATKAISUVAIHTOEHDOT

Luja-elementtiperustusjärjestelmän käytössä on ilmennyt muutamia kohtia, joihin toivottaisiin saatavan kehitysideoita. Muutamissa tapauksissa haasteita on ilmennyt anturan ja sokkelin päässä sijaitsevien raudoitus-/valamisreikien kohdakkain osuminen asennustilanteessa. Tähän voi olla syynä anturan alla olevan maan huolimaton tiivistäminen, minkä takia antura on kallistunut. Toinen syy voi olla paalun liian suuri sijaintipoikkeama, joka johtaa anturan asentamiseen liian sivuun sokkelilinjasta anturan pohjassa olevan varauksen asennustoleransseista huolimatta.

Yksi vaihtoehtoinen ratkaisu olisi paaluanturaelementissä olevien reikien suurentaminen tai muodon muuttaminen pyöreästä neliskulmaiseksi. Paaluanturan raudoitus on vakio. Se on esitetty aikaisemmin tämän työn elementtien valmistukseen liittyvässä kappaleessa 3.2. Nyt raudoitusterästen etäisyys toisistaan juotosreiän ympärillä on 140mm ja juotosreiät ovat pyöreitä 60mm reikiä. Reikien vaihtoehtoinen muoto voisi olla neliskulmainen kooltaan 70mm x 70mm ja reunaetäisyydeltään sama 10mm raudoituksista. Reikien sivumittaa voi tästäkin suurentaa, mutta suurempi toleranssi ei välttämättä ole tarpeellinen ja suurempi reikä tarvitsee suuremman määrän juotosvalubetonia.

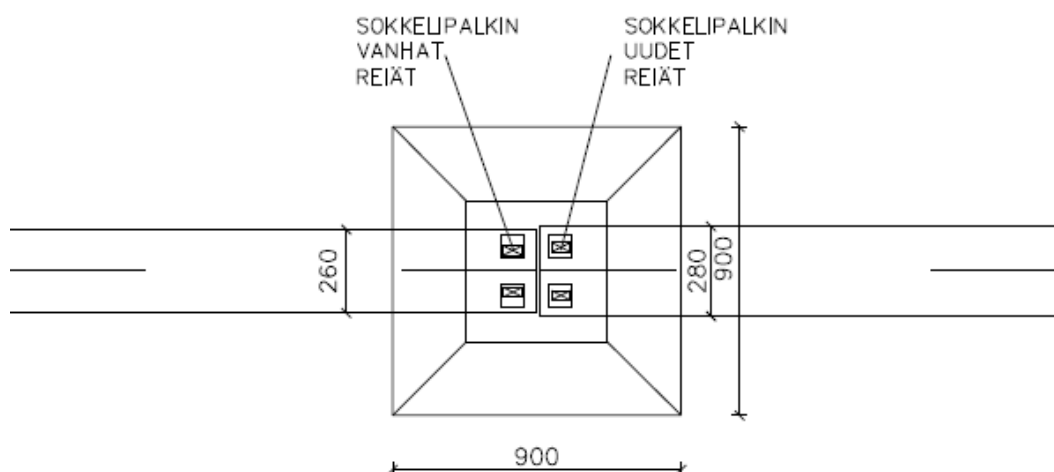


Kuva19: Nykyisen ja vaihtoehtoisen anturaelementin juotosvalureiät.

Pyöreän reiän halkaisijan muuttaminen suuremmaksi samassa pisteessä vaikuttaisi raudoitusten uuteen sijoittamiseen reunabetonin paksuuden jäätyä liian pieneksi. Jos reunabetoniehdon säilyttää ja suurentaa pyöreän reiän halkaisijaa, sekä siirtää reikää lähemmäs raudoitusterästen välistä keskikohtaa, ei reikä ole optimaalisessa kohdassa ajatellen sokkelielementin reikien sijain-

tia asennettaessa sokkeliä keskeisesti anturan päälle. Tämä vaatisi sokkelielementin poikkileikkauksen leventämistä, jotta sokkelielementin valureiät saataisiin kauemmaksi toisiaan ja osumaan paremmin pyöreisiin muutettuihin anturan reikiin.

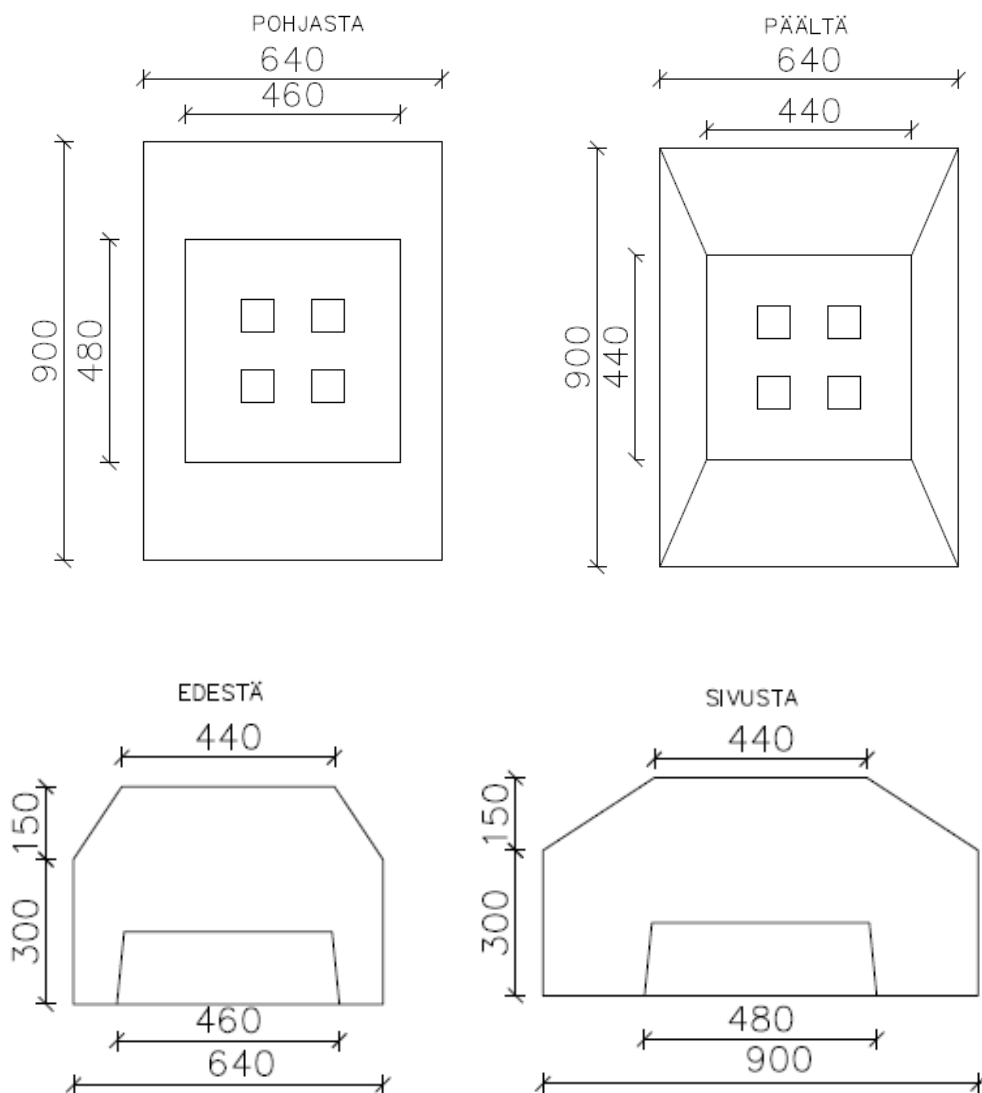
Jos sokkelipalkkielementtiä leventää 20mm, eli 10mm sisä- ja ulkopuolelta saataisiin sokkelipalkkien reikiä paremmille sijoille ajatellen anturaelementin reikien sijaintia. Reikien sijainti olisi siis optimaalilanteessa paremmalla etäisyydellä suhteessa anturaelementin reikiin, ja tätä kautta asennustoleranssia saataisiin laajemmaksi. 20mm:n levennys sokkelipalkissa ei lisäisi betonin kulutusta radikaalisti pitkällä aikavälillä, jos saadaan asennustoleransseja kasvatettua. Asennustoleranssien laajennus vähentäisi työmaalla virheitä ja asennus olisi entistä vaivattomampaa ja nopeampaa.



Kuva20: Sokkelipalkin vanhat ja vaihtoehtoiset uudet reiät.

Paaluanturan ulkomitat voisivat myös olla hieman pienemmät. Antura on pohjamitoiltaan 900mm x 900mm ja kapenee ylöspäin 100mm jälkeen mittaan 440mm x 440mm. Nyt paaluanturaelementti on neliön mallinen, mutta vaihtoehtoinen toteutus voisi olla suorakaiteen muotoinen pohjamitoiltaan 900mm x 640mm. Tässä säästettäisiin betonin massassa, ja anturan ollessa suorakaide voitaisiin asennus tehdä paalulinjan suuntaisesti tai linjan suhteen poikkisuunnassa, riippuen paalun poikkeamasta. Paaluanturan kantaessa maanvaraisesti ennen juotosvalua, pohjassa olisi vielä kuitenkin kosketuspintaa routaeris-

teen pintaa vasten, joka kantaa paaluanturan ja sokkelipalkin painon ennen kuin juotosvalu on kovettunut. Juotosvalun kovettumisen jälkeen kuormat välittyvät paalulle ja sitä kautta kantavaan maakerrokseen.

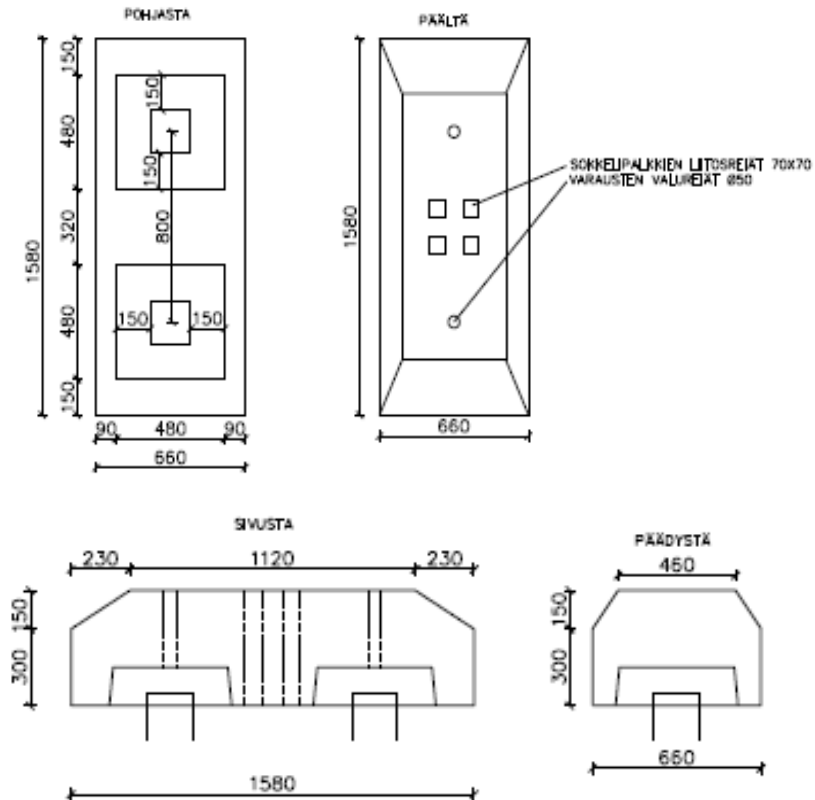


Kuva21: Vaihtoehtoinen kapeampi paaluanturaelementti

Yksi kehityskohta on paalun rikkoutuessa ja korvaavien paalujen lyöminen ja niiden kiinnitys sokkelipalkkiin. Paalun rikkoutuessa joudutaan lyömään korvaavat paalut rikkoutuneen paalun molemmin puolin. Nykyisin korvaavien paalujen päälle rakennetaan yhtenäinen valumuotti, joka valetaan työmaalla paikallavaluna ja johon sokkelipalkkielementit tukeutuvat seuraavassa työvaiheessa. Paikallavalutöistä haluttaisiin päästä eroon. Paikallavalut ovat aika-
taulujen suhteen huono ratkaisu, koska muuten asennustyö alusta loppuun tehdään elementein.

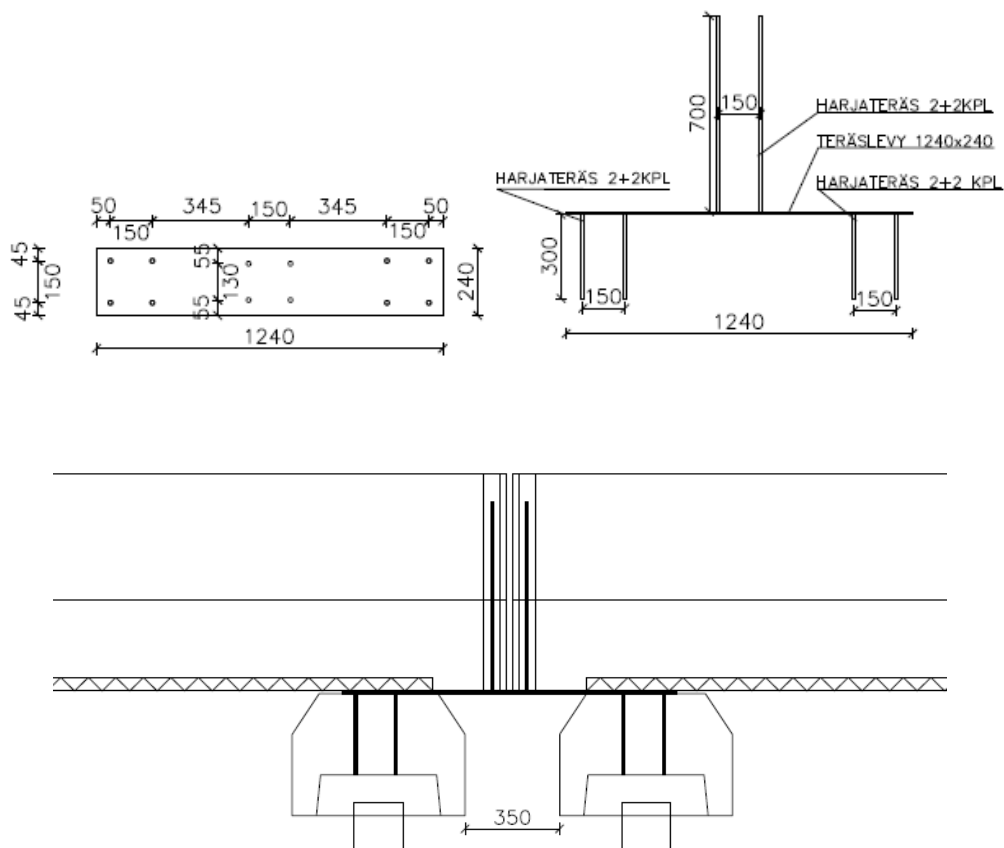
Paikallavalutyölle vaihtoehtoinen ratkaisu olisi laittaa paalujen lyömisen jälkeen korvaavien paalujen päälle ns. paikkoelementti. Elementin pohjassa olisi siis molemmille korvaaville paaluille samantyyppinen varaus kuin yhden paalun anturaelementissä ja näihin varauksiin reiät juotosvalua varten. Paikkoelementin päällä olisi valmiit reiät myös sokkelielementtien ja anturaelementtien väliselle raudoitukselle, josta myös juotosvalu liitoksen jäykistämistä varten tapahtuisi. Paaluvarauksille tulisi omat valureiät varausten keskelle. Korvaavat paalut voitaisiin asentaa joko seinälinjan suuntaisesti tai seinälinjaa kohtisuoraan linjaan ja paikkoelementti sopisi molemmin päin. Riippumatta kummin päin paikkoelementti asennettaisiin, kävisi se sokkelielementtien kanssa yhteen kummassakin tilanteessa. Painoa elementille tulisi noin 900kg ohessa olevien kuvien mittojen mukaan. Asennus tapahtuisi samaan tapaan kuin yhden paalun anturaelementin asennus. Vain jos paikkoelementti tulee seinän suuntaisesti, on paalujen varaukset valettava ennen sokkelielementtien asennusta reikien jäädessä piiloon sokkelipalkkien alle.

Etuja molemmin päin asennettavassa elementissä on esimerkiksi se, jos päätetään korvaavat paalut lyödä linjan suuntaisesti, ja ensimmäinen korvaava paalu menee lyötäessä poikki. Seuraava korvaava paalu saataisiin lyötyä sokkelilinjan viereen ja toinen korvaava paalu toiselle puolelle sokkelilinjan viereen. Tällöin paalut olisivat sokkelilinjaa katsoen kohtisuorassa suunnassa.



Kuva 22: Paikkoelementin mitat

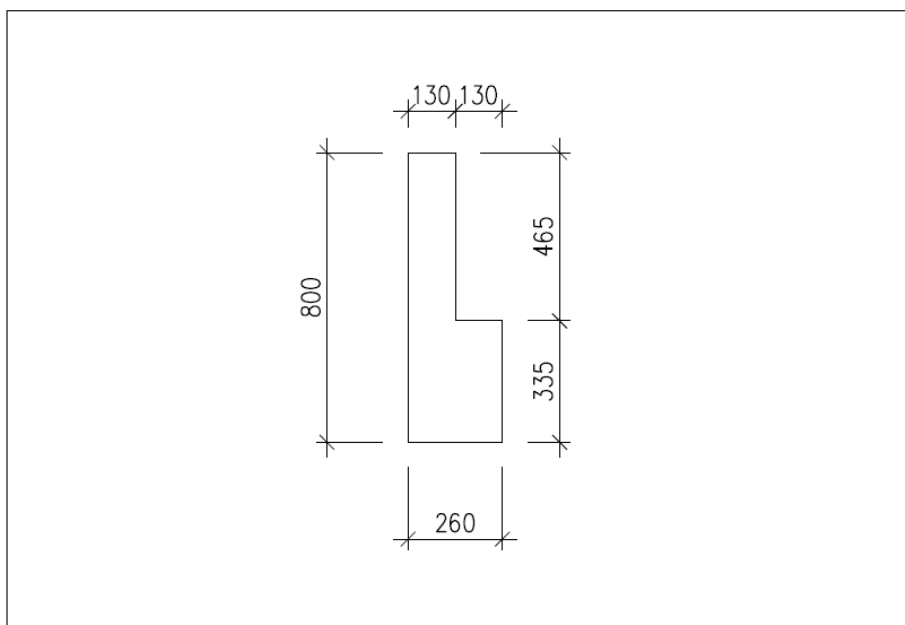
Toinen vaihtoehto paalun mennessä rikki ja lyötäessä korvaavat paalut molemmin puolin, olisi laittaa vakioanturaelementit korvaavien paalujen päähän ja väliin teräksinen jäykistävä valmiskehikko. Tällöin paikkoelementtiä ei tarvittaisi ja anturaelementtiä olisi vain yhtä mallia. Teräskehikko koostuisi anturoiden välisestä riittävän ainevahvuuden omaavasta teräslevystä, johon olisi hitsaamalla liitetty teräksisiä tankoja. Teräslevyn alapuolella tangot sijoittuisivat molempien anturaelementtien juotosvalureikiin ja teräslevyn keskellä oleviin terästankoihin tulisi sokkelipalkkielementit niin, että juotosvalureiät osuisivat terästen ympärille. Lopuksi liitos valettaisiin juotosvalubetonilla.



Kuva 23: Teräskehikon mittakuvat ja toteutusperiaate.

Elementtitehtaalta tuli myös yksi toive, joka olisi sokkelipalkkielementteihin yksinkertainen taulukkomitoitus, josta saisi selville kuormituksen vaatimat raudoitukset sokkelipalkkeihin. Tällä säästettäisiin rahaa ja aikaa suunnitteluissa.

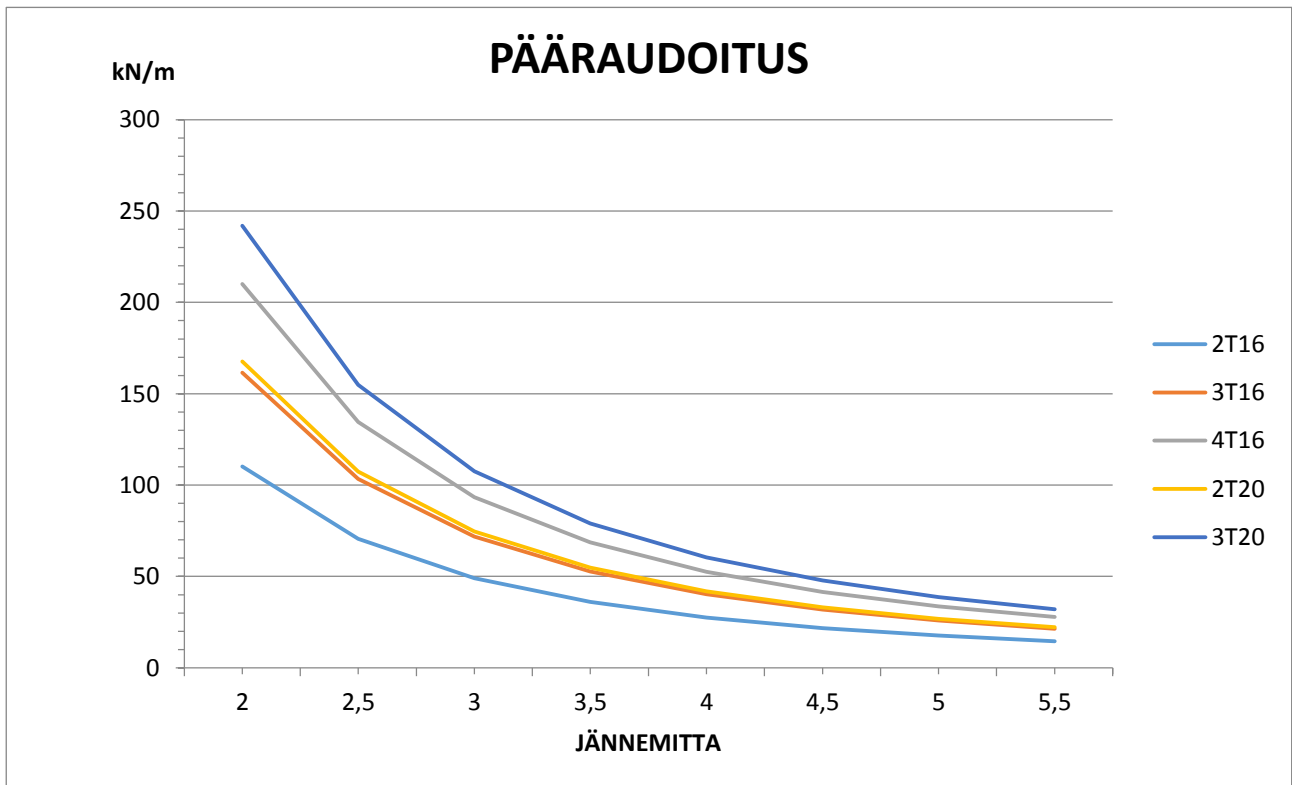
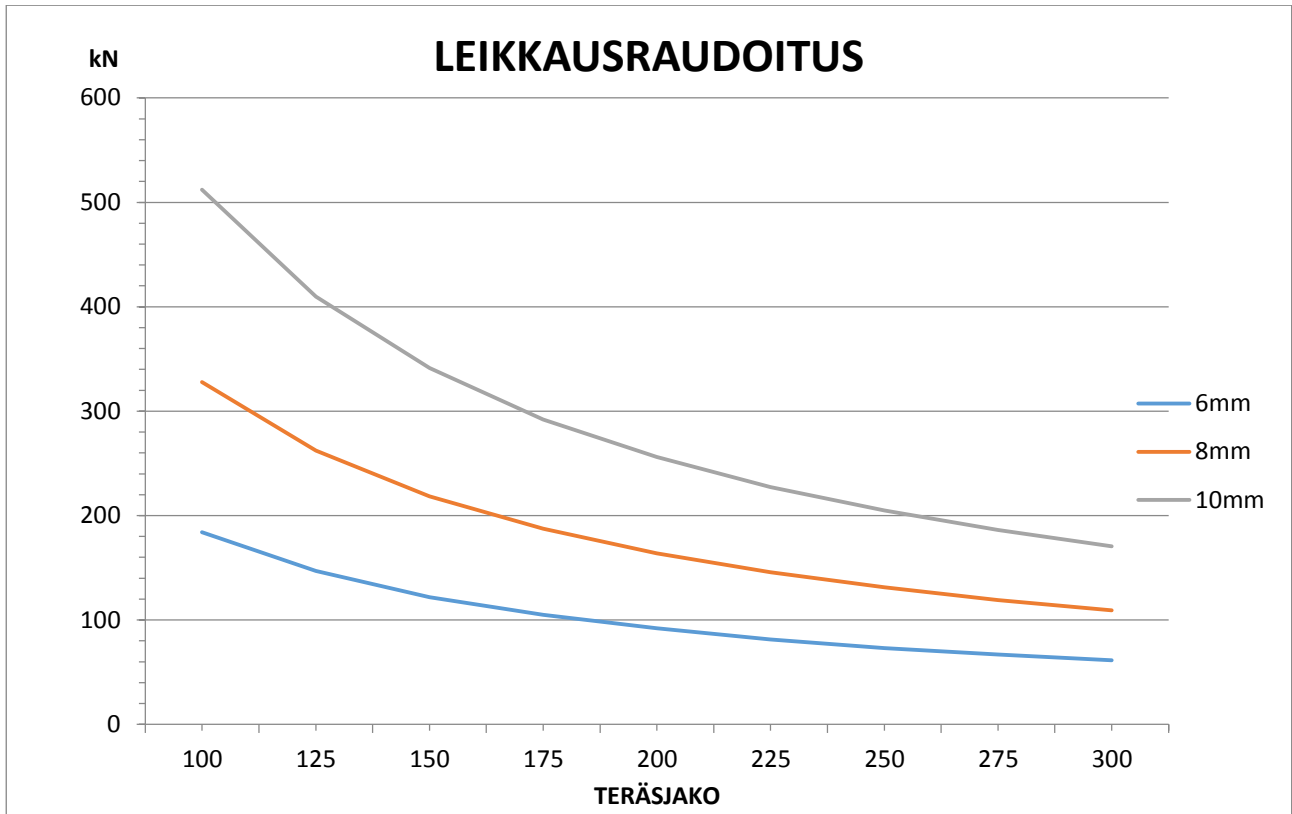
Alla on kaksi taulukkoa. Toisesta näkee sokkelipalkin vaadittavat pääteräkset tietyillä jännemittalla (m) ja sokkelille kohdistuvalla viivakuormalla (kN/m) ja toisesta näkee leikkausvoimalle (kN) vaadittavan hakateräspaksuuden ja hakaajan. Taulukoissa on käytetty SFS-EN-Standardin mukaisia laskukaavoja taivutusmomentille ja leikkausvoimalle laskettaessa. Teräksenä on käytetty hitsattavaa kuumavalssattua A500HW harjaterästä, jonka myötöraja on 500 MPa. Betonilaatuna on käytetty C40, jonka puristuslujuus on 40 MPa. Sokkelin mittoina on käytetty leveytenä 260mm ja korkeutena 335mm ja tehollisena korkeutena 330mm. Yläpuolista kapeampaa osaa ei ole otettu laskennallisesti huomioon.



Kuva24: Mitoitustaulukon betonipoikkileikkaus

Pääraudoitustaulukossa on valittavissa viisi eri raudoitusta kahdella eri halkaisijalla (16mm ja 20mm). Pääterästen määrät vaihtelevat kahdesta neljään. Suurempia raudoituksia ei taulukossa ole, koska rajoittavana tekijänä on palkujen kantavuus, joka rajoittuu murtorajatilassa kantavuuteen 337 kN. Sokkelielementit on mitoitettu yksiaukkoisina ja maksimi jännemittana on käytetty viittä metriä. Pääteräksissä on tarkasteltu myös ankkuroinnin kestävyys ja taulukosta on jätetty pois tilanteet, joissa ankkurointi ei kestäisi. Ankkurointia saataisiin tosin parannettua erilaisilla U-teräksillä tai terästä taivuttaen ylöspäin, jolloin ankkurointi pituus kasvaisi.

Hakateräksien mitoitustaulukossa on käytetty kolmea teräspaksuutta 6, 8, 10 mm. Taulukossa hakajako on määritetty 25mm välein 100mm:stä 300 mm:iin. Taulukko antaa tietyllä hakajaolla ja teräspaksuudella maksimileikkausvoiman (V_{ed}) ja tästä taulukon käyttäjä laskee maksimiviivakuorman sokkelipalkille. Suunnittelijan on hyvä myös optimoida sokkelin hakajaot niin, ettei terästä laiteta liikaa sinne, missä sitä ei tarvita. Suurin leikkausvoimahan on sokkelielementin tukien lähetyvillä, palkin tehollisen korkeuden verran tuen reunasta.



5 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli kehittää Lujabetonin elementtiperustusjärjestelmää entistä toimivammaksi kokonaisuudeksi. Lähtökohtana oli mm. helpottaa asennusta työmaalla. Elementteihin sisältyivät paalut, anturaelementti ja sokkelielementti. Työmaalla yksi haasteellinen kohta on anturaelementin ja sokkelielementin liitos, johon opinnäytetyössä saatiin muutamilla ehdotuksilla lisää toleranssia ja tätä kautta asennusta helpommaksi työmaalla. Myös anturaelementeille kehitettiin vaihtoehtoinen toteutus, jossa säästyy betonia ja voidaan myös säästää kaivutyössä. Korvaaville paaluille kehitettiin myös paikakoelementti, joka korvaa työmaalla suoritettavan paikallavalun ja nopeuttaa asentamista. Paalun rikkoutuessa, on tiedon välityttävä melkein välittömästi tehtaalle, jotta osataan työmaalle lähtevään elementtikuorman lisätä paikakoelementti. Sokkelipalkin raudoituksille määritettiin myös mitoituslaulukot pääraudoitukselle ja leikkausraudoitukselle.

Elementtien mahdolliset muutostyöt uusiin mittoihin ja uuden elementin lisääminen kirjoon vaatii tehtaalta pitkiä keskusteluja ja suunnittelua teknisestä sekä taloudellisesta näkökulmasta. Muutostyöt eivät tule hetkessä ja tehtyjen muutoksien hyöty ei välttämättä näy heti työssä, vaan vasta hetken päästä muutoksen teosta. Muutoksissa on aina otettava myös huomioon taloudellinen puoli, jota tässä opinnäytetyössä ei juurikaan käsitelty. Haastetta kehitysideoihin toi tekijän vähäinen kokemus betonielementtiteollisuudesta ja tätä kautta vaikeus tiedostaa, mikä on järkevä ja kannattava muutos monesta näkökulmasta katsottuna. Vierailu Haapajärven tehtaalla avasi näkemystä elementtien valmistamisesta. Sen jälkeen oli mahdollista paremmin hahmottaa elementtien valmistusprosessia ja miettimään mikä voi olla mahdollista toteuttaa tehtaalla. Voi todeta myös sen, että rakentamisen aikataulujen kiristyessä entisestään, on elementtirakentamisen mutkattomuus etu tässä kilpailussa. Siksi on hyvä kehittää elementtijärjestelmät siihen pisteeseen, että ongelmien ilmetessä työmaalla on varauduttu asiaan ennaltaehkäisevästi ja ongelmaan on aina nopea lisäkuluja aiheuttamaton ratkaisu.

6 LÄHTEET

1. RT RakMK-21228 [Viitattu: 25.1.2016]
2. Jääskeläinen R. Pohjaraken.nuksen perusteet 2009 [Viitattu: 18.3.2016].
3. Karvonen J. luentomateriaali moodle.xamk.fi [Viitattu: 25.1.2016]
4. Rantamäki & Tamminne 1979, Pohjarakennus [Viitattu: 25.1.2016]
5. RIL 223-2005 Lyöntipaalausohje LPO-2005 [Viitattu: 25.1.2016]
6. The Concrete Society.
Saatavissa: <http://www.concrete.org.uk/fingertips-nuggets.asp?cmd=display&id=348> [Viitattu: 3.2.2016]
7. SFS-EN 1990 [Viitattu: 29.1.2016]
8. Eurokoodin soveltamisohje – Geotekninen suunnittelu 7.11.2013 Liikennevirasto
Saatavissa: http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo_2013-35_ncci7_web.pdf [Viitattu: 15.2.2016]
9. Suomen standardisoimisliitto SFS Oy – CE-merkintä esite Saatavissa:
<http://www.sfs.fi/files/307/ce-merkinta2013.pdf> 11/2011 [Viitattu: 30.2.2016]
10. Emeca Oy Saatavissa: www.emeca.fi [Viitattu: 15.2.2016]
11. Yleisohje Jupa45 ja SP130/260-800 asentamisesta, Pekka Pihlajamäki
5.10.2015 [Viitattu: 13.2.2016]
12. Lujapienpaalu ohje Lujabetoni Oy 8.1.2013
Saatavissa :
http://www.lujabetoni.fi/instancedata/prime_product_julkaisu/luja/embeds/lujabetoniwwwstructure/20126_Luja-pienpaaluohje20x.pdf [Viitattu: 13.2.2016]

13. The Constructor, saatavissa:

<http://theconstructor.org/geotechnical/foundations/need-functions-of-pile-foundation/1785/> [Viitattu: 13.2.2016]

14. Lujabetoni pienpaalutus - <http://www.lujapienpaalutus.fi/> [Viitattu: 20.2.2016]

15. Skanska infra – Kaivinpaalujen asiantuntija Saatavissa:

http://www.skanska.fi/cdn-1cff835512557a1/Global/Infrarakentamisen_palvelut/Downloads/Skanska_Infra_pohjarakentaminen_kaivinpaalu.pdf [Viitattu: 21.3.2016]

16. Designing Buildings Wiki saatavissa:

http://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Pile_foundations

17. Slide Share: Pile Foundations, Varanasi Rama Rao 2009 Saatavissa:

http://www.slideshare.net/ved_ram/pile-foundations

18. Hakulinen M. Oppimateriaali, Teräs pohja- ja maarakentamisessa 2009

[Viitattu: 7.3.2016]

19. Teräsputkipaalun jatkaminen hitsaamalla 05/2008 Ruukki.fi Saatavilla:

<http://www1.ruukki.fi/~media/Finland/Files/Infra/Teraspaalut%20esitteet%20ja%20ohjeet/Ruukki-Ter%C3%A4sputkipaalujen-jatkaminen-hitsaamalla.ashx> [Viitattu: 14.3.2016]

20. RR-paalutusohje 01/2010 Ruukki , Saatavissa:

<https://www.houseofbrandon.com/tag/48/calvin-klein> [Viitattu: 14.3.2016]

21. YIT Maa- ja pohjarakentaminen , Saatavissa:

http://www.yit.fi/yit_fi/infrapalvelut/maa--ja-pohjarakentaminen [Viitattu: 21.3.2016]

22. Elementtisuunnittelu.fi Saatavissa:

<http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/runkorakenteet/perustukset-ja-vaestonsuojat/paalut?term=paalu> [Viitattu: 14.3.2016]

23. Rautaruukki.fi Saatavissa:

<http://www1.ruukki.fi/~media/Finland/Files/Infra/Teraspaalut%20esitteet%20ja%20ohjeet/Ruukki-Suuril%C3%A4pimittaiset-ter%C3%A4sputkipaalut-pohjarakentamisessa.pdf> [Viitattu: 14.3.2016]

24. Emeca.fi Saatavissa: <http://www.emeca.fi/tuotteet/getfile.php?file=60> [Viitattu: 14.3.2016]

25. Rautaruukki.fi Saatavissa:

<http://www1.ruukki.fi/~media/Finland/Files/Infra/Teraspaalut%20esitteet%20ja%20ohjeet/Tekninen%20ohje%20EUROCODE%20-%20Ruukin%20terasmaalut%20Suunnittelu%20ja%20Asennusohjeet.ashx>
[Viitattu: 14.3.2016]