



Paalutettavan teräspalkkiperustuksen ominaisuuksien hyödyntäminen rakentamisessa

Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, rakennusmestari
Kevätlukukausi 2024
Virpi Seppä

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, rakennusmestari	Tiivistelmä
Tekijä Virpi Seppä	Vuosi 2024
Työn nimi Paalutettavan teräspalkkiperustuksen ominaisuuksien hyödyntäminen rakentamisessa	
Ohjaaja Elis Kivi (HAMK), Hannu Vesämäki (Kankareen Paalutus Oy)	

Opinnäytetyön tavoitteena on kehittää Kankareen Paalutus Oy:n toimintaa, paalutettavaa teräspalkkiperustuksen osalta. Opinnäytetyössä tutkitaan paalutettavan teräspalkkiperustuksen työvaiheita ja niiden eroavaisuuksia tavanomaiseen paalutettavaan betonisokkeliin aikataulun ja kustannuksen osalta.

Paalutettava teräspalkkiperustus on vieras perustustapa rakennuttajille, sekä monille urakoitsijoille. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selventää perustustapaa ja sen työvaiheita opinnäytetyössä laaditun prosessikuvauksen avulla. Prosessikuvauksen avulla pystyttiin myös tekemään vertailua tavanomaisemman paaluperustuksen työvaiheisiin. Opinnäytetyössä käsiteltiin paalutettavan teräspalkkiperustustavan työvaiheita ja niiden vaatimia huomioita, jotka mahdollistavat perustustavan toteuttamisen parhaalla mahdollisella tavalla.

Paalutettavia teräspalkkiperustuksia on tehty tähän asti ainoastaan kunnallisiin väistötiloihin. Paalutettava teräspalkkiperustus voi olla vaihtoehtoinen ratkaisu tavanomaiselle paalutettavalle betoniperustukselle, mikäli hankkeessa on aikataulurajoitteita. Teräspalkkiperustuksen erityispiirteet kulmineituvat perustustavan rakentamisvaiheessa. Se mahdollistaa työvaiheiden toteuttamisen alusta loppuun kerralla, ilman toisen työvaiheen odottamista. Perustus tehdään kokonaisuudessaan teräksestä, joka on kierrätettävä materiaali ja sen esivalmistusasteen vuoksi nopeuttaa rakennusprosessia.

Opinnäytetyön vertailussa päästiin lopputulokseen, jossa kustannukset eivät juuri eroa perustustapojen välillä. Aikataulullisesti ero oli kuitenkin huomattava. Paalutettava teräspalkkiperustus oli 12 työpäivää nopeammin valmis seuraaville työvaiheille, kuin perinteisempi paalutettava betoniperustus.

Avainsanat paaluperustus, teräspalkkiperustus, prosessikuvaus, teräs
Sivut 24 sivua ja liitteitä 3 sivua

The aim of the thesis is to develop the operations of Kankareen Paalutus Oy, to develop a piled steel beam foundation. The thesis examines the working stages of a piled steel beam foundation and their differences to a conventional piled concrete plinth in terms of schedule and cost.

A piled steel beam foundation is a foreign foundation method for builders and many contractors. The purpose of this thesis is to clarify the basic method and its working steps with the help of the process description prepared in the thesis. With the help of the process description, it was also possible to make a comparison with the working steps of a more conventional pile foundation. The thesis discussed the working stages of the piled steel beam foundation method and the considerations they require, which enable the implementation of the foundation in the best possible way.

Up until now, piled steel beam foundations have only been made for municipal shelters. A piled steel beam foundation can be an alternative solution to a conventional piled concrete foundation if the project has schedule constraints. The special features of the steel beam foundation culminate in the construction phase of the foundation. It makes it possible to carry out work phases from start to finish at once, without waiting for another work phase. The foundation is made entirely of steel, which is a recyclable material and speeds up the construction process due to its degree of pre-fabrication.

In the comparison section of the thesis, the result was reached, where the costs do not really differ between the basic methods. In terms of schedule, however, the difference was considerable. The piled steel beam foundation was ready for the next work phases 12 working days faster than the more traditional piled concrete foundation.

Keywords pile foundation, steel beam foundation, process description, steel

Pages 24 pages and appendices 3 pages

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Teräspalkkiperustus	2
2.1	Hankkeen suunnittelu	3
2.2	Pohjarakentaminen	4
2.3	Paalu- ja teräspalkkityö	7
2.4	Laadunvarmistus	8
3	Aikataulun ja kustannuksen laatiminen	9
4	Toteutuksen laskenta	9
4.1	Aikataulu	10
4.2	Kustannuslaskelma	12
5	Perustustapojen vertailu	14
5.1	Paalutettavan teräspalkkiperustuksen prosessi	14
5.1.1	Rakentamisen aikataulu	14
5.1.2	Rakentamisen kustannus	15
5.1.3	Rakentamisen prosessikuvaus	15
5.2	Paalutettavan teräspalkkiperustuksen kierrätettävyys	17
5.3	Paalutettavan betoniperustuksen prosessi	18
5.3.1	Rakentamisen aikataulu	18
5.3.2	Rakentamisen kustannus	19
5.3.3	Rakentamisen prosessikuvaus	20
5.4	Betonisen perustuksen kierrätettävyys	21
6	Vertailun tulokset	21
7	Johtopäätökset ja pohdinta	22
	Lähteet	25

Kuvat, taulukot ja kaavat

Kuva 1. Paalutettavan teräspalkkiperustuksen leikkauskuva	2
Kuva 2. Aikataulun vaikutus työmaahan	4
Kuva 3. Roudaton perustamissyvyys silttimaalajilla	5

Kuva 4. Perinteisen paalutettavan betoniperustuksen ulkotäyttövaihe, Punkalaitumen päiväkoti	6
Kuva 5. Kaarinan, Lastentalon paaluperusteinen teräspalkkiperustus.....	7
Kuva 6. Teräspalkkien pulttiliitos, Lastentalo Kaarina.....	8
Kuva 7. Paalutettavan teräspalkkiperustuksen rakentamisen prosessikuvaus	16
Kuva 8. Maalajien syövyttävyys	17
Kuva 9. Paalutettavan betoniperustuksen rakentamisen prosessikuvaus.....	20
Taulukko 1. Aikatauluun huomioidut työvaiheet ja resurssit.	10
Taulukko 2. Kustannus laskennassa käytetyt työ- ja materiaali määrät.	13
Taulukko 3. Paalutettava teräspalkkiperustuksen rakentamisen jana-aikataulu.	14
Taulukko 4. Paalutettavan teräspalkkiperustuksen rakentamisen kustannukset.....	15
Taulukko 5. Paalutettavan betoniperustuksen rakentamisen jana-aikataulu.....	18
Taulukko 6. Paalutettavan betoniperustuksen rakentamisen kustannukset.	19

Liitteet

- Liite 1. Paalutettavan teräspalkkiperustuksen rakentamisen prosessikuvaus
- Liite 2. Paalutettavan betoniperustuksen rakentamisen prosessikuvaus
- Liite 3. Kustannusvertailu

1 Johdanto

Opinnäytetyön tarkoituksena on tukea Kankareen Paalutus Oy:n kehitystä. Kankareen Paalutus on Oripäässä sijaitseva yritys, joka on perustettu 2004. Siitä lähtien yritys on tehnyt monipuolisia paalutusurakoita, niin ammattirakentajille kuin yksityisillekin, ympäri Suomen. Paalutustoiminnan lisäksi, yrityksellä on käytössään sertifioitu tuotannon laadunvalvontajärjestelmä, joka oikeuttaa standardiin EN1090-mukaisiin teräsrakenteisiin, tuoteluokissa EXC1 ja EXC2. Näin ollen yritys voi itse toteuttaa teräspalkkiperustuksen alusta loppuun, esivalmistamalla palkiston, paaluttamalla, asentamalla palkiston sekä sokkelilevyt.

Teräspalkkiperustus paalukohteisiin mahdollistaa parhaimmillaan työvaiheiden taukoamattoman jatkumon, niin että perustuksen työvaiheet saadaan kerrasta päätökseen, ilman toisen työvaiheen odottamista. Tähän asti teräspalkkiperustusta on käytetty enimmäkseen kunnallisiin väistöiloihin, kuten esimerkiksi sijaiskouluihin.

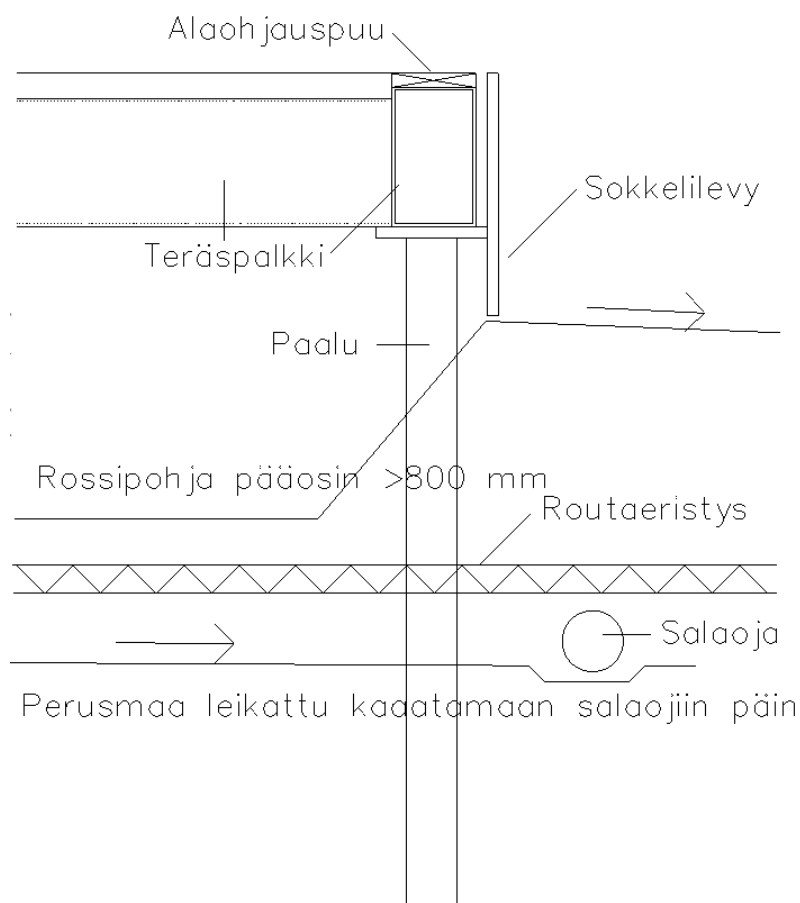
Tavoitteena opinnäytetyössä on tutkia, paalutettavan teräspalkkiperustuksen työvaiheita ja niiden eroavaisuuksia tavanomaisempaan paalutettavaan betoniseen perustukseen. Perustustapoja tarkastellaan prosessikuvauksen avulla, mikä selvittää perustustapojen eri vaiheita. Prosessikuvauksen lisäksi perustustavoista laaditaan aikataulu- sekä prosentuaalinen kustannusvertailu.

Opinnäytetyön lopputuloksena tilaajalle toimitetaan prosessikuvaukset perustustavoista. Prosessikuvauksen tarkoituksena on selvittää rakennuttajalle ja urakoitsijalle perustustapojen eroavaisuudet niin työvaiheiden, aikataulun, sekä kustannuksien kannalta.

2 Teräspalkkiperustus

Teräspalkkiperustus on erilainen perustustapa, jota on käytetty tähän asti väistöiloissa, esimerkiksi sijaiskouluissa. Teräspalkkiperustus muodostuu teräspaaluista, teräspalkistosta ja perustus verhoillaan sokkelilevyllä Kuvan 1 mukaisesti. Teräspalkkisto kiinnitetään paalujen päälle hitsaamalla sekä pulttiliitoksin.

Kuva 1. Paalutettavan teräspalkkiperustuksen leikkauskuva.



Teräspalkkiperustustavan erityispiirteinä voidaan pitää sen työvaiheiden nopeutta, perustustavan monipuolista joustavuutta erilaisiin ratkaisuihin, sekä sen kierrätettävyyttä. Perustustavasta tekee aikataulullisesti tehokkaan se, että maanrakennustyöt pystytään saattamaan alusta loppuun keskeytyksettä, sillä rakennuksen pohjaa ei tarvitse täyttää tuulettuvan alapohjan ansiosta. Ulkopuoliset täytöt pystytään tekemään viimeisiä pintoja vaille valmiiksi sokkelilevyjen ansiosta. Perustustavassa ei myöskään käytetä teräsbetonia, jolloin aikataulussa ei tarvitse huomioida kuivumisaikoja tai betoniperustuksen vaatimia muottitöitä. Työmaalla tehtävää työtä voidaan myös vähentää sillä, että teräspalkit tehdään suunnitelmien mukaan valmiiseen mittaan jo ennen työmaalle siirtämistä. Opinnäytetyöhön

on haastateltu kahta henkilöä, jotka ovat olleet toteuttamassa teräspalkkiperustusta, toinen heistä on Kankareen Paalutuksen toimitusjohtajaa Hannu Vesamäkeä. (Hannu Vesamäki, henkilökohtainen tiedonanto, haastattelu, 23.5.2023)

2.1 Hankkeen suunnittelu

Hankkeen aloittaminen edellyttää rakennusluvan hyväksymistä, johon sisältyy rakennushankkeen pääpiirustukset. Rakennusluvan mukana hyväksytyjen pääpiirustusten pohjalta tehdään muut suunnitelmat, kuten työpiirustukset, joiden mukaan eri työvaiheet toteutetaan. Työpiirustuksia ovat esimerkiksi talotekniikan suunnitelmat, eli LVISA-suunnitelmat ja perustussuunnitelmat. (RT 103397, 2021, s.1)

Teräspalkkiperustuksella voidaan saada työt valmiiksi keskeytyksettä, mutta se edellyttää kaikkien työsuunnitelmien valmiutta ennen hankkeen aloittamista. LVISA-suunnitelmien sekä paalukartan yhteen sopivuus tulee tarkastaa, jotta voidaan varmistua, ettei päällekkäisyyksiä tule, jotta LVISA-putket ja kaapelit voidaan asentaa paalupohjan kaivuun yhteydessä, ennen paalutusta, mikä on toteutustavan kulmakivi.

Nykyaikaiset mittausjärjestelmät edesauttavat toteutustapaa. Kun urakoitsijalla on 3D-koneohjausjärjestelmä käytössään, kaikkine työmaan toteutusmalleineen pystytään pohjan tekovaiheessa tarkastamaan paalujen ja kanaalien konkreettiset sijainnit ja tekemään mahdollisia muutoksia. 3D koneohjauksen avulla pystytään myös ottamaan tarkkeet esimerkiksi viemäriinjasta, mikäli esimerkiksi paalutukseen tulee muutoksia, voidaan sitä verrata olemassa oleviin tarkkeisiin, jotta linja pysyy ehjänä. (RT 10-11078, 2012, s.7)

Teräspalkkiperustus mahdollistaa erilaisten varausten ja muutoksien toteuttamisen siltä osin, mitä paalujen päällä oleva teräspalkkikehikko antaa myöden. Minkä vuoksi erilaisia varauksia kannattaa tehdä etukäteen. Esimerkiksi tilaaja voi olla jo suunnitellut tulevaisuuden varalle ulkorakennuksen, johon voidaan varauksena viedä esimerkiksi sähköputket tai vesijohto.

Rakennustapa vaatii huolellista työ- ja aikataulusuunnittelua töiden edetessä, jotta lopputulos saadaan parhaaksi mahdolliseksi. Esimerkiksi kuvassa 2 näkyy aikataulun vaikutus työmaahan. Maanrakennustyöt ovat jääneet kesken rakennuksen ulkopuolelta, jotta perustukset on saatu valmiiksi. Tässä tapauksessa maanrakennustöitä jatketaan vielä kuvaustilanteen jälkeen. Aikataulu olisi voitu suunnitella alusta alkaen niin, ettei tällaista tilannetta olisi työmaalle syntynyt ja maanrakennus työryhmä olisi saanut työnsä valmiiksi ennen paalutusta. Tällöin säästetään aikaa, kun jokainen työryhmä saa tehdä kerralla työnsä

päätökseen. Työmaa pysyy siistimmässä kunnossa, kun työmaalla ei ole montaa työryhmää kerralla. (Hannu Vesamäki, henkilökohtainen tiedonanto, haastattelu, 23.5.2023)

Kuva 2. Aikataulun vaikutus työmaahan (Henkilökohtainen tiedonanto, sähköposti, Hannu Vesamäki. 10.1.2024).



2.2 Pohjarakentaminen

Rakennuksen pohjarakentaminen sisältää työvaiheet, jotka tehdään ennen maanpinnalle jääviä rakenteita. Pohjarakentaminen on välttämätön osa rakennusprosessia. Hyvällä pohjarakentamisella taataan rakennuksen vakaus ja kestävyys. Pohjarakentaminen on paitsi maamassojen vaihtoa, myös paalutusta sekä putkitöitä. (YIT. n.d.)

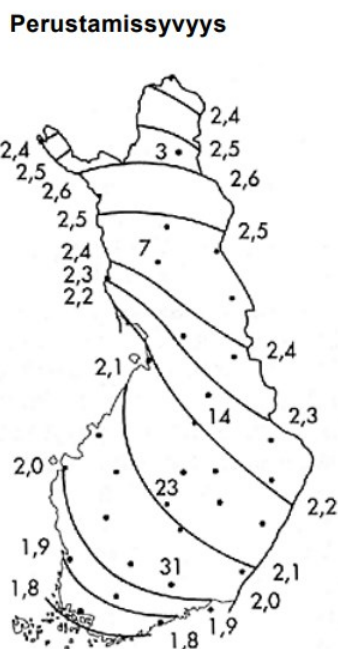
Pohjarakentamisen toteutus perustuu maaperän ominaisuuksiin, ja nämä tulee tutkia rakennusalueelta. Maaperä tutkitaan pohjatutkimuksella. Pohjatutkimus tehdään rakennusalueelle, sekä sen ympäristöön. Pohjatutkimuksessa selvitetään esimerkiksi maanpinnan korkeusmuutokset, kantavien maakerrosten, kallion ja pohjaveden syvyyksiä. Pohjatutkimuksessa osoitetaan myös mahdollinen olemassa oleva tekniikka, kuten maakaapelit sekä yhdyskuntatekniikka. (RIL 263-2014 s.21) Maaperän kantavien kerrosten syvyys määrittää perustustavan ja kuinka pohjarakentaminen toteutetaan. Pehmeikölle rakennettaessa voidaan rakennus perustaa paalujen tai massanvaihdon varaan. Massan vaihdolla tarkoitetaan menetelmää, jossa kantamaton maa-aines vaihdetaan kantavaan kiviainekseen, täytön syvyyden mukaan voidaan käyttää erilaisia täyttö materiaaleja, kuten

louhetta tai kalliomursketta. Rakennus on kannattavaa perustaa paalujen varaan, kun massanvaihto rakennuksen pohjalla ulottuu liian syvälle, jolloin massanvaihdosta tulee paalutusta kalliimpi ratkaisu. (Rantamäki & Tammirinne, 2002, s.43)

Pohjarakentamiseen kuuluu keskeisenä osana myös vesien hallinta, jotta rakennuksen rakenteet voidaan pitää kuivana. Kuivana pitoa edesauttaa jo itsessään rakennuksen ulkopuoliset kaadot pois rakennuksesta, sekä käytettävät täyttömateriaalit, kuten sepeli, joka on materiaali, joka ei ime vettä itseensä vaan päästää kosteuden lävitseen. Rakennus tulee lisäksi yleensä salaojittaa, jotta rakennuksen pohjalle imeytynyt vesi voidaan poistaa salaojitusjärjestelmän avulla. (RT 81-11000, 2010, s.4)

Routasuojaus vaikuttaa myös rakennuksen kestävyys, jolloin se on myös osa pohjarakentamista. Routa voi aiheuttaa painumia sekä nousuja, jolloin maa elää roudan mukana. Eri maaperäolosuhteissa on erilainen roudan vaikutus. Märkä maaperä ei roudi niin syvälle kuin kuiva maaperä. Mikäli perustukset eivät yllä routimattomaan syvyyteen ja maaperä routii perustusten rakenteiden alla, tulee rakenteet eristää. Kuvassa kolme roudattomat perustussyvyudet Suomen alueella. (RT 81-10590, 1995, s.3)

Kuva 3. Roudaton perustamissyvyys silttimaalajilla (RT 81-10590, 1995, s.2).



Paalutettavan teräspalkkiperustustavan maanrakennustyöt pohjarakennusvaiheessa, eivät juurikaan eroa tavanomaisemmasta paalutettavasta betonianturaperustuksesta, johon tehdään betonisokkeli. Molemmissa perustuksissa pystytään hyvällä suunnittelulla asentamaan kaikki tekniikka ja rakenteet rakennuksen pohjaan ennen paalutusta, mutta kun tavanomainen betoniperustus on valettu, kuivunut sekä muotit poistettu, tulee sokkelin routa-, sekä vesieristys asentaa ja tehdä sokkelin vierustäyttötöyt (Kuva 4). (RT 81-10590, 1995, s.2)

Kuva 4. Perinteisen paalutettavan betoniperustuksen ulkotäyttövaihe, Punkalaitumen päiväkot.



Tavanomaisesta paalutettavasta betoniperustuksesta poiketen, teräspalkkiperustuksessa routaeristys asennetaan jo ennen paalutusta. Teräspalkkiperustuksessa routa siirtyy rakennuksen rakenteisiin paalun vaippaa pitkin. Perustus voidaan eristää kuin kuvassa 2, mutta joissain tilanteissa routasuojaus on jätetty pois, perustussyvyyden tai muun vaikuttavan tekijän vuoksi. Kuvassa 5 Kaarinan lastentalon sijaisrakennuksen pohjaa ei ole eristetty. Kun routasuojaus tehdään, tehdään se suunnitelmien mukaan, yleensä perustuslinjoihin, mutta mikäli paalujen väli on esimerkiksi neljä metriä ja eristettävä alue

kaksi metriä paalusta, tarkoittaa se käytännössä koko pohjan eristämistä. Kuvassa 2 koko rakennuksen pohja on eristetty. (RT 81-10590, 1995, s1-3)

Kuva 5. Kaarinan, Lastentalon paaluperusteinen teräspalkkiperustus.



2.3 Paalu- ja teräspalkkityö

Paalun tehtävä perustuksessa on siirtää rakennuksen kuormat kantavaan maaperään. Yleisesti ottaen paalut ovat pystypaaluja, mutta vinopaaluja käytetään vaakasuuntaisten kuormien ohjaamisessa rakennuksen perustuksissa. Tämä lisää paaluperustuksen vakautta. Rakennuksen kuormien suuruus ja maaperän lujuus määrittävät paalujen koon sekä määrän rakennuksen perustuksessa. Paalujen paikat merkitään paalukartan mukaisille paikoille ennen paalutuksen aloittamista. Teräspalkkiperustustavassa käytetään lyömällä asennettavia RR- pienpaaluja, jotka jatketaan mekaanisilla jatkoilla. Paalut lyödään paalutuskoneella ja niitä jatketaan tarpeen mukaan. Kun uskotaan että paalun kärki on saavuttanut tavoitetun kantavuuden maaperässä, varmistetaan se paalun loppulyönneillä. Paalut katkaistaan suunnitellulta korkeudelta ja paalujen päihin asennetaan paaluhatut, jotka siirtävät yläpuolen rakenteiden kuormat paaluille. (Henkilökohtainen tiedonanto, Opetusmateriaali ”Paaluperustukset”, Elis Kivi, maaliskuu 2023)

Teräspalkkien asennus paalujen päälle tapahtuu mahdollisuuksien mukaan suoraan auton kyydistä, mikäli samanaikainen toimitus työmaalle onnistuu. Vaihtoehtoisesti palkit tuodaan jo aiemmin työmaalle ja ne asennetaan paikalleen käänteisessä järjestyksessä. Palkit asennetaan asennussuunnitelman mukaisesti. Esimerkiksi aloittaen rakennuksen toisesta

päästä ja asentamalla palkit järjestyksessä niin ettei kahden palkin väliin tarvitse asentaa palkkia, helpottaa asennustyötä. (Ratu TT 5.1, 2021, s.1–2) Palkit kiinnitetään hitsaus- sekä pulttiliitoksilla ja pulttiliitoksissa käytetään liitoskappaleita (Kuva 6). (Ratu 0391, 2012, s.10)

Kuva 6. Teräspalkkien pulttiliitos, Lastentalo Kaarina.



2.4 Laadunvarmistus

Laadunvarmistusta tulee tehdä koko rakennusprosessin ajan. Laatuvaatimukset tulee näkyä jo suunnitelmissa ja sopimuksia tehdessä. Maanrakennusurakoitsijaa valittaessa, tulee ottaa huomioon, että urakoitsija ymmärtää millaisessa aikataulussa ja kuinka perustukset tehdään, paitsi suunnitelmien, myös toteutuksen kannalta. (Rakennustöiden laatu, 2017, s.14)

Rakennusvaiheessa urakoitsijan tulee suorittaa laadunvarmistusta ja siihen liittyvää dokumentointia itsenäisesti. Näitä toimia ovat esimerkiksi, paalutuspöytäkirja, työvaiheiden kuvaaminen ja tarkkeiden ottaminen esimerkiksi kaivinkoneen 3D-laitteiston avulla. (Rakennustöiden laatu, 2017, s.14, 18) Paaluperustuksessa riskinä on putkien rikkoutuminen paalutuksessa. Perustuksen ollessa paalutettu, on hyvä varmistaa putkilinjojen eheys esimerkiksi kuvaamalla ne. (YSE, 1998, s.6)

Rakennustuoteasetuksessa 305/2011 säädetään, että kaikilla pysyvillä rakennustuotteilla tulee olla CE-merkintä. (RT 20-11125, 2013, s.2)

3 Aikataulun ja kustannuksen laatiminen

Aikataulu on työmaan yhteinen tavoite, se muodostuu eri työvaiheista työmaan kuluessa. Aikatauluja saattaa olla työmaan aikana useita, niitä korjataan ja muutetaan tilanteen mukaan. Aikataulun perustana on työmaan suunnitelmien perusteellinen tuntemus ja erityispiirteiden huomiointi, jolloin aikataulu on yksilöllistetty vain tiettyyn kohteeseen, tietyillä resursseilla. Näin ollen puhutaan toteutuskelpoisesta aikataulusta. Aikataulun tavoitteet asettaa tilaaja. Aikataulun laatimiseen vaikuttaa työn tavoite laadun näkökulmasta. Kun laatukriteerit ovat tiedossa, voidaan aikataulu laskea laatuun perustuvilla työsaavutuksilla. Aikatauluun tulisi huomioida myös työn häiriötekijöitä ja mahdollisuus suunnitelmien muutokseen. Aikatauluun vaikuttavia tekijöitä varsinkin maanrakennusvaiheessa on huomattavasti ja ne tulee huomioida jo suunnittelu vaiheessa. Kaikkia riskejä ei pystytä poistamaan, mutta ne voidaan minimoida hyvän tehtäväsuunnittelun avulla. (Aikataulukirja. 2024 s.8)

Rakennuksen tilaaja määrittää hankkeen kustannustason jo varhaisessa suunnittelun vaiheessa. Rakennushankkeen suuruus ja laatu vaikuttavat kustannukseen, samoin kuin erilaiset rakenteet. Rakennevaihtoehtoja mietittäessä, rakennuttajan tulee olla tietoinen eri rakennusmenetelmien kustannusten muodostumisesta, sekä niihin vaikuttavista tekijöistä. Rakennuttajan tulee määrittää kustannustavoite, jonka perusteella ohjaa hankkeen etenemistä. (RT 10-112226, 2016, s.1–2)

Kustannuslaskelma perustuu rakennushankkeen suunnitelmiin. Suunnitelmista pystytään laskemaan määrät eri materiaaleille. Suunnitelmat perustuvat rakennustapamääräyksiin sekä laatuvaatimuksiin.

4 Toteutuksen laskenta

Opinnäytetyössä tehdään vertailua paalutettavan teräspalkkiperustuksen ja paalutettavan betoniperustuksen välillä rakennustyön keston ja kustannusten osalta. Vertailua varten käytetään hypoteettista esimerkkikohdetta. johon voidaan laskea sekä paalutettava teräspalkkiperustus että paalutettava betoniperustus.

Kohteeksi valikoitui 850 m² rakennuksen perustukset, jossa on kantava alapohja. Betonisen sokkelin ulkokierto 350/170 x 1200 eli sokkelin korkeus 1200 mm yläreunan leveys 170 mm. Sokkelissa piilo antura, joka on 350 mm leveä ja 700 mm korkea. Sisäpuoliset perustuslinjat 300/700, tarkoittaa 300 mm leveä ja 700 mm korkea. Teräspalkkiperustuksessa käytetään 150 mm x 200 mm palkkia. Molempien perustustapojen perustuslinjat ovat samat; ulkokierto ja kolme pitkittäistä sisälinjaa. Laskentaan on huomioitu teräsmaalut 60 pisteeseen 10/m piste. Maanrakennusurakka rajattiin laskelman yksinkertaistamiseksi 2000 mm ulos perustuslinjasta, koska laskelmissa tarkastellaan pelkästään perustusvaihtoja ja muu pihalue on laskennan ulkopuolella. Laskelmissa on oletettu, että rakennuksen paikka on optimaalinen, tasaisella tontilla, sekä rakennusolosuhteet optimaaliset, kesäaikaan.

4.1 Aikataulu

Opinnäytetyön aikataulumuodoksi valikoitui jana-aikataulu. Opinnäytetyön esimerkkilaskelman aikataulu pysyy muutaman viikon sisällä. Mikäli aikataulu kattaisi monta kuukautta, ei aikataulua voisi esittää näin tarkkana jana-aikatauluna. Jana-aikataulu kuvaa yhdessä paikassa tehtävää työtä kronologisesti. Jana-aikataulu koostuu eri työvaiheista ja niihin lasketuista työmääristä. Aikatauluihin on merkitty kaikki työvaiheet omina janoinaan, jotta aikataulu olisi helppolukuinen ja ymmärrettävä. Tämän opinnäytetyön esimerkki aikatauluissa työpäivien kesto 10 h. Taulukossa 1 esitetty työvaiheet ja resurssi.

Taulukko 1. Aikatauluun huomioidut työvaiheet ja resurssit.

Maanrakennus Paalutettava teräspalkkiperustus		
Rakennusalan kaivuu	25 t kaivinkone	1 Rakennusmies
Suodatinkankaan asennus	25 t kaivinkone	1 Rakennusmies
Viemäreiden, vesijohtojen, sähköputkien ja muun tekniikan sisään tuonti rakennukseen	25 t kaivinkone	1 Rakennusmies
kapilaarisepelitäyttö ja tiivistys	25 t kaivinkone	1 Rakennusmies
Salaojat ja sadevesiputket	25 t kaivinkone	1 Rakennusmies
Routaeristyksen asentaminen	25 t kaivinkone	2Rakennusmies
Pohjan täyttö perustuskorkeuteen	25 t kaivinkone	1 Rakennusmies
Ulkoreunojen täyttö	25 t kaivinkone	1 Rakennusmies
Tarkemittaukset ja dokumentointi eri työvaiheissa	25 t kaivinkone	1 Rakennusmies
Paalutus		
Paalujen merkkäminen	Paalutuskone	1 apumies
Teräsmaalujen asennus paalutuskoneella (sisältää paalujen jatkamisen ja katkaisemisen)	Paalutuskone	1 apumies
Paaluhattujen asennus		1 apumies
Paalujen tarkemittaus	Mittamies	

Teräspalkisto		
Teräspalkkien asennus	Nosturi	2 asentajaa
Liitoksien tekeminen	Nosturi	2 asentajaa
Palkkien tarkemittaukset	Mittamies	
Sokkelilevy		
Asennus		2 asentajaa
Maanrakennus paalutettava betoniperustus		
Rakennusalan kaivuu	25 t kaivinkone	1 Rakennusmies
Suodatinkankaan asennus	25 t kaivinkone	1 Rakennusmies
Viemäreiden, vesijohtojen, sähköputkien ja muun tekniikan sisään tuonti rakennukseen	25 t kaivinkone	1 Rakennusmies
kapilaarisepelitäyttö ja tiivistys	25 t kaivinkone	1 Rakennusmies
Salaojat ja sadevesiputket	25 t kaivinkone	1 Rakennusmies
Pohjan täyttö perustuskorkeuteen	25 t kaivinkone	1 Rakennusmies
Tarkemittaukset ja dokumentointi eri työvaiheissa	25 t kaivinkone	1 Rakennusmies
Vesieristys, eli patolevyn asentaminen	25 t kaivinkone	1 Rakennusmies
Routaeristuksen asentaminen	25 t kaivinkone	1 Rakennusmies
Ulkotäyttö sepelillä ja murskeella	25 t kaivinkone	1 Rakennusmies
Toteutuksessa tulee myös huomioida rakennuksen pohjan korkeuden tarkempi tasaaminen muottityötä varten, jotta muotit ovat tiiviisti maata vasten. Teräspalkkiperustuksessa ei tule maata vasten kuin teräsputki paalut.		
Paalutus		
Paalujen merkkäminen	Paalutuskone	1 apumies
Teräspaalujen asennus paalutuskoneella (sisältää paalujen jatkamisen ja katkaisemisen)	Paalutuskone	1 apumies
Paaluhattujen asennus		1 apumies
Paalujen tarkemittaus	Mittamies	
Paalutettava betoniperustus		
Raudoituksen asentaminen		3 Rakennusmiestä
muottien asentaminen		2 Rakennusmiestä
Ristimitan tarkastaminen		2 Rakennusmiestä
Raudoituksen tarkastaminen	1 työnjohtaja	
betonin valaminen	Pumppuauto	2 Rakennusmiestä
Betonin tiivistäminen ja tasaus		1 Rakennusmies
Kuivumisaika		
Muottien purku		2 Rakennusmiestä

Työmaan suuruuteen nähden 25 t kaivinkoneen työteho on riittävä. Mikäli haluttaisiin nopeuttaa maanrakennustyön etenemistä, voisi työmaalle lisätä resurssia esimerkiksi aloitusvaiheessa, kun rakennuksen pohjaa leikataan perustuskorkeuteen. Silloin työmaalla voisi olla esimerkiksi toinen 25 t kaivinkone ottamassa vastaan pohjan täyttöä eli sepeliä. Mikäli työmaalla olisi alusta loppuun kaksi kaivinkonetta, olisi työmaalla myös hyvä olla toinen rakennusmies kokoaikaisesti. Eristysvaiheessa kuitenkin on hyvä olla kaksi rakennusmiestä, jotta työ etenee jouhevasti, ja kaivinkoneelle riittää koko ajan työtä. Maa-aines ajetaan työmaalta neljäkselisellä kuorma-autolla ja kiviaines työmaalle kasetti yhdistelmä ajoneuvolla. Maanrakennuksen toteutuksen laskenta perustuu osittain myös

maanrakennusurakoitsijan haastatteluun. (henkilökohtainen tiedonanto, haastattelu, maanrakennusurakoitsija Ismo Seppä. 13.2.2024)

Perustuksen muotit kootaan valmiista muoteista. Muotit ja raudoitusraudat toimitetaan työmaalle ennen töiden aloitusta ja sijoitetaan rakennuksen pohjalle siirtomatkan minimoimiseksi. Raudoitusraudat ovat osittain valmiita elementtejä, niin että niitä kuitenkin voidaan siirrellä käsin. Betonivalu toteutetaan pumppuautolla, jotta valu voidaan tehdä yhdestä paikasta. Kun pohja on valmis, tulee maanrakennustyöryhmän tehdä pumppuautolle kantava murskepeti.

4.2 Kustannuslaskelma

Opinnäytetyön kustannukset on laskettu ajankohtaisten tarjousten perusteella. Lähteenä hinnoittelulle on ollut maanrakennusurakoitsija, joka on ollut toteuttamassa kyseisiä perustusmuotoja. Hänellä on ollut myös ajankohtaista tietoa kiviaineksen, sekä muiden rakennusmateriaalien hinnoista. Paalutuksen ja palkkien osuudessa lähteenä oli Kankareen Paalutus.

Koska opinnäytetyön on julkinen, ei kustannuksia ole eritelty euroina. Taulukossa 2 kustannuksille perusteet.

Taulukko 2. Kustannus laskennassa käytetyt työ- ja materiaali määrät.

Maanrakennus Paalutettava teräspalkkiperustus		
Konetyö	200	h
Miestyö	200	h
Maanajo	570	t
Kiviainekset	670	t
Eristys	975	m ²
Suodatinkangas	1000	m ²
Eri putkitarvikkeet	360	m
Paalutus		
Paalumäärä	60	kpl
Paalupituus	10	m/piste
Teräspalkkisto		
Materiaali	9500	kg
Pintakäsittely	Lähteestä saatu ainoastaan kokonaiskustannukset	
Valmistus		
Asennus	50	h
Sokkelilevy		
Asennus	10	h
Maanrakennus perinteinen perustustapa		
Konetyö	225	h
Miestyö	250	h
Maanajo	600	t
Kiviainekset	830	t
Eristys	160	m ²
Suodatinkangas	1000	m ²
Eri putkitarvikkeet	360	m
Paalutus		
Paalumäärä	60	kpl
Paalupituus	10	m/piste
Paalutettava betoniperustus		
Ulkokierto valu	43	m ³
Sisäsokkelit valu	29	m ³
Raudoitus rauta	4388	kg
Miestyö	680	h
Yllä mainittujen lisäksi molempiin ratkaisuihin on laskettu työkaluston mobilisaation ja erinäisten suunnitelmien mallinnoksien kustannukset.		

asentamiseen suhteessa niin vähän aikaa, että työvaiheiden sujuvoittamiseksi on helpompi tehdä pohja valmiiksi ennen paalutusta.

5.1.2 Rakentamisen kustannus

Taulukon 3, laskelmassa on eriteltynä prosenttiosuudet erityövaiheiden kustannukset paalutettavassa teräspalkkiperustuksessa. Maanrakennusosuus 42 %, josta työn osuus 17 % ja muut tarvikkeet 25 %. Teräspaalaus 19 %, jolloin yksi paalu 0,32 % kokonaiskustannuksesta. Teräspalkisto 33 %, josta suurin kustannus itse materiaalilla. Viimeisenä kustannuseränä perustustavassa on sokkelilevy 6 %. Valmisperustus 100 %.

Taulukko 4. Paalutettavan teräspalkkiperustuksen rakentamisen kustannukset.

PAALUTETTAVA TERÄSPALKKI PERUSTUS			
Maanrakennus		42	%
	Työn osuus	17	%
	Kiviaines ja maan ajo	9	%
	Tarvikkeet	2	%
	Eristys (työ + materiaali)	13	%
Teräspaalus		19	%
	60 pistettä, 10 m / piste	1 piste 0,32	%
Teräspalkit		33	%
	Materiaali 9500 kg	13	%
	Pintakäsittely	7	%
	Valmistus	6	%
	Asennus	7	%
Sokkelilevyt		6	%
	YHT:	100	%

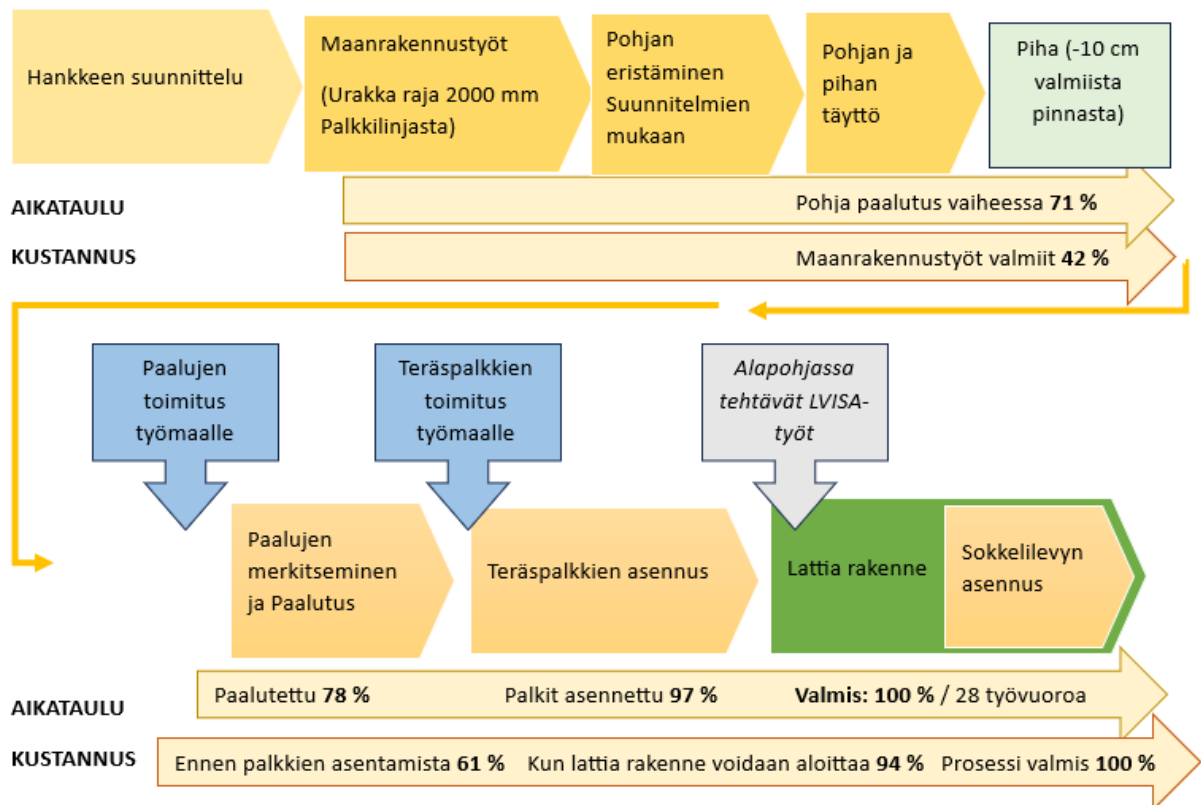
5.1.3 Rakentamisen prosessikuvaus

Prosessin kuvaamisella tarkoitetaan eri prosessien eli tapahtumaketjujen kuvaamista. Prosessikuvaus auttaa havainnollistamaan ja ymmärtämään prosessin eri vaiheet ja sitä kautta pystytään kehittämään prosessin toimintaa. (Arter. 2022)

Rakentamisen aikataulun ja kustannusarvioiden perusteella laadittiin prosessikuvaus (Kuvassa 7, myös liitteessä 1) ja siinä on huomioituna työvaiheet ja niiden järjestys. Työvaiheita maanrakennuksen osalta on hieman yleistetty, jotta kuvaus olisi selkeä.

Kuvauksessa nähdään suurina nuolina työvaiheet rakennushankkeen edetessä. Ensimmäisenä hankkeen suunnittelu, jota seuraa maanrakennustyöiden osuudet. Maanrakennustyövaiheiden jälkeen on ensimmäinen huomio, jolloin pihan täyttö on valmis. Työvaiheet jatkuvat maanrakennustyön jälkeen paalutukseen, jossa työmaalle tulee huomioida paalujen toimitus. Paalutuksen jälkeen teräspalkit toimitetaan työmaalle asennettavaksi. Kun teräspalkit on asennettu, lattiarakenteiden teko voidaan aloittaa. Kun alapohjassa tehtävät työt ovat tehty asennetaan sokkelilevyt, jonka jälkeen perustus on valmis kokonaisuudessaan. Prosessikuvauksessa nähdään aikataulun ja kustannuksen johdonmukainen kasvu. Työn ollessa valmis, aikataulu ja kustannus ovat 100 %. Prosessikuvaus myös liitteessä 1.

Kuva 7. Paalutettavan teräspalkkiperustuksen rakentamisen prosessikuvaus.



5.2 Paalutettavan teräspalkkiperustuksen kierrätettävyys

Teräs on 100 % kierrätettävä materiaali. Katkaistuja paaluja sekä teräspalkkeja voidaan käyttää seuraavissa paalutettavissa kohteissa, jolloin teräksen hävikkiosuus on hyvin pientä. Teräspalkkien esivalmistus suunnitelmien mukaan, ennen työmaalle siirtymistä edesauttaa hukan minimointia. (SSAB n.d. s.12)

Paaluperusteista teräspalkkiperustusta on käytetty tähän asti väliaikaisissa rakennuksissa, kuten kouluissa. Niitä tehdään, jotta opetustilat saadaan siirrettyä esimerkiksi peruskorjauksen ajaksi muualle, tällöin väliaikaisrakennusta tarvitaan ainoastaan ennalta määritetty aika, mikä korjausrakentamisessa kuluu, jonka jälkeen väliaikaisrakennusta ei enää tarvita. Kun rakennus päältä puretaan esimerkiksi tilaelementit, voidaan perustuksen teräspalkisto purkaa ja käyttää uudelleen samankaltaisessa käyttötarkoituksessa. Samaa konseptia voidaan hyödyntää myös elinkaarensa päähän tulleisiin rakennuksiin, joiden perustus on teräspalkein toteutettu. (Hannu Vesämäki, henkilökohtainen tiedonanto, haastattelu, 23.5.2023)

Teräksen käyttöikään vaikuttaa teräksen korroosio. Korroosioon vaikuttavat kosteuden hapen määrä, jotka nopeuttavat korroosiota. Kun maa on tarpeeksi märkää ei happea kuitenkaan pääse rakenteeseen. Korroosioriski on siis suurimmillaan maanpinna tuntumassa, jossa kosteutta ja happea on sopivasti. (TRY 13.6.2012 s.2) Teräsrakenteiden tekeminen sinkitystä teräksestä pidentää käyttöikää ja pienentää korroosion riskiä. Sinkki estää hapen ja kosteuden pääsyn teräksen pinnalle. Maalajin on vaikutus korroosion määrään, on esitetty kuvassa 8. Sinkityn teräksen lisäksi on kuitenkin tärkeä hallita kosteutta myös kosteutta läpäisevillä täyttömateriaaleilla. (TRY n.d. s.1)

Kuva 8. Maalajien syövyttävyys (Hirn. 2020 s.27).

Maalaji	Syövyttävyys
Kalkki, kalkkisavi- ja kalkkiahiekkasaviseokset moreeni	Alhainen
Hiekka, sora	Kohtalainen
Savi, turve, suoperäinen maa, humuspitoinen maa	Korkea

Teräs paaluperustukseen voi yhdistää rakennuksen lämmitys- sekä viilennysmuodon, jolloin puhutaan energiapaaluista. Paalujen sisään laitetaan lämmön keruu putket, jotka keräävät maalämpöä. Tämä lämmitys- sekä viilennysmuoto vähentää kasvihuonekaasuja, sillä maalämpö on uusiutuva luonnonvara ja sitä on saatavilla rajattomasti. (Uponor. n.d.)

5.3 Paalutettavan betoniperustuksen prosessi

Paalutettavaa betoniperustustapaa käydään tässä opinnäytetyön osiossa tarkemmin läpi aiemmin kerrottujen lähtötietojen perusteella, luvussa 4. Luvussa laaditaan rakennusajan aikataulu ja prosentuaalinen kustannus vertailu. Kohdassa on myös huomioitu perustustavan ympäristönäkökulmaa. Luvussa 5.4.3. on koottu rakennusaikainen prosessikuvaus.

5.3.1 Rakentamisen aikataulu

Taulukossa 6, kuvataan perinteisemmän paalutettavan betoniperustuksen aikataulua. Perinteisessä paalutettavassa betoniperustuksessa pohjien tekovaihe on viikon lyhyempi kuin paalutettavassa teräspalkkiperustuksessa. Ulkokierron muottien kasaukseen valmiina olevilla muottilevyillä kuluu viisi työpäivä. Betonivaluun kuluu päivä ja kuivumiseen vähintään kaksi vuorokautta, mutta molemmat valut osuvat tässä aikataulussa loppuviikolle, jolloin betoni saa kuivua viikonlopun yli, ennen muottien purkamista, johon on laskettu kolme päivää. Sokkelityö on kohteessa lohkotettu niin että ensin tehdään ulkokierro ja sen jälkeen sisäsokkelit. Kun ulkokierron muotit on purettu maanrakennustyöryhmä voi aloittaa ulkotäytön tekemistä, johon sisältyy vesi- ja routaeristeiden asennus, sekä perustuskaivannon täyttö. Saman aikaisesti muotti- ja raudoitustyöryhmä tekee sisäsokkeleita, joihin kuluu kokonaisuudessaan 10 työpäivää. Muottien ollessa purettu voidaan aloittaa lattiarakenteiden asennusta.

Taulukko 5. Paalutettavan betoniperustuksen rakentamisen jana-aikataulu.

10h Työvuoro	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53
Maanrakennus	[Orange bar spanning all days]																																																				
Paalutus	[Orange bar]															[Orange bar]		[Orange bar]																																			
Muottityö/Raudoitus	[Orange bar]															[Orange bar]		[Orange bar]																																			
Betonityö	[Orange bar]																						[Orange bar]																														
Betonin kuivumisaika	[Light orange bar]																						[Light orange bar]																														
Muottien purkaminen	[Orange bar]																						[Orange bar]																														
																Pohjan koron varmistus, paalujen merkkauk		Lattia rakenteen työvaiheet voidaan aloittaa																																			
																							Rakennuksen kulmien merkitseminen																														
																							Raudoituksen tarkastaminen																														

5.3.2 Rakentamisen kustannus

Taulukossa 7 paalutettavan betoniperustuksen rakennusaikainen kustannus prosentteina. Taulukossa ensimmäisenä pohjienteko osuus, joka on 28 %. Siihen huomioitu eri kustannukset työn, kiviaineksen ja tarvikkeiden osuudet. Seuraavana teräspaalaus 19 %, jolloin yhden teräspaalun osuus kokonaisuudesta on 0,32 %. Betonisokkelin osuus kokonaiskustannuksesta on 35 %. Viimeisenä perustustavan kustannuseränä ulkotäytön osuus 18 %, josta esimerkiksi työn osuus 10 %. Valmis paalutettava betonisokkeli 100 %.

Taulukko 6. Paalutettavan betoniperustuksen rakentamisen kustannukset.

Paalutettava betoniperustus			
Maanrakennus		28	%
	Työn osuus	17	%
	Kiviaines ja maan ajo	9	%
	Tarvikkeet	2	%
Teräspaalut		19	%
	60 pistettä, 10 m / piste	yksi piste 0,32	%
Sokkelit		35	%
	yhteensä 126 m	1 m 0,13	%
Ulkotäyttö		18	%
	Työn osuus	10	%
	Kiviaines	5	%
	Tarvikkeet	3	%
	YHT:	100	%

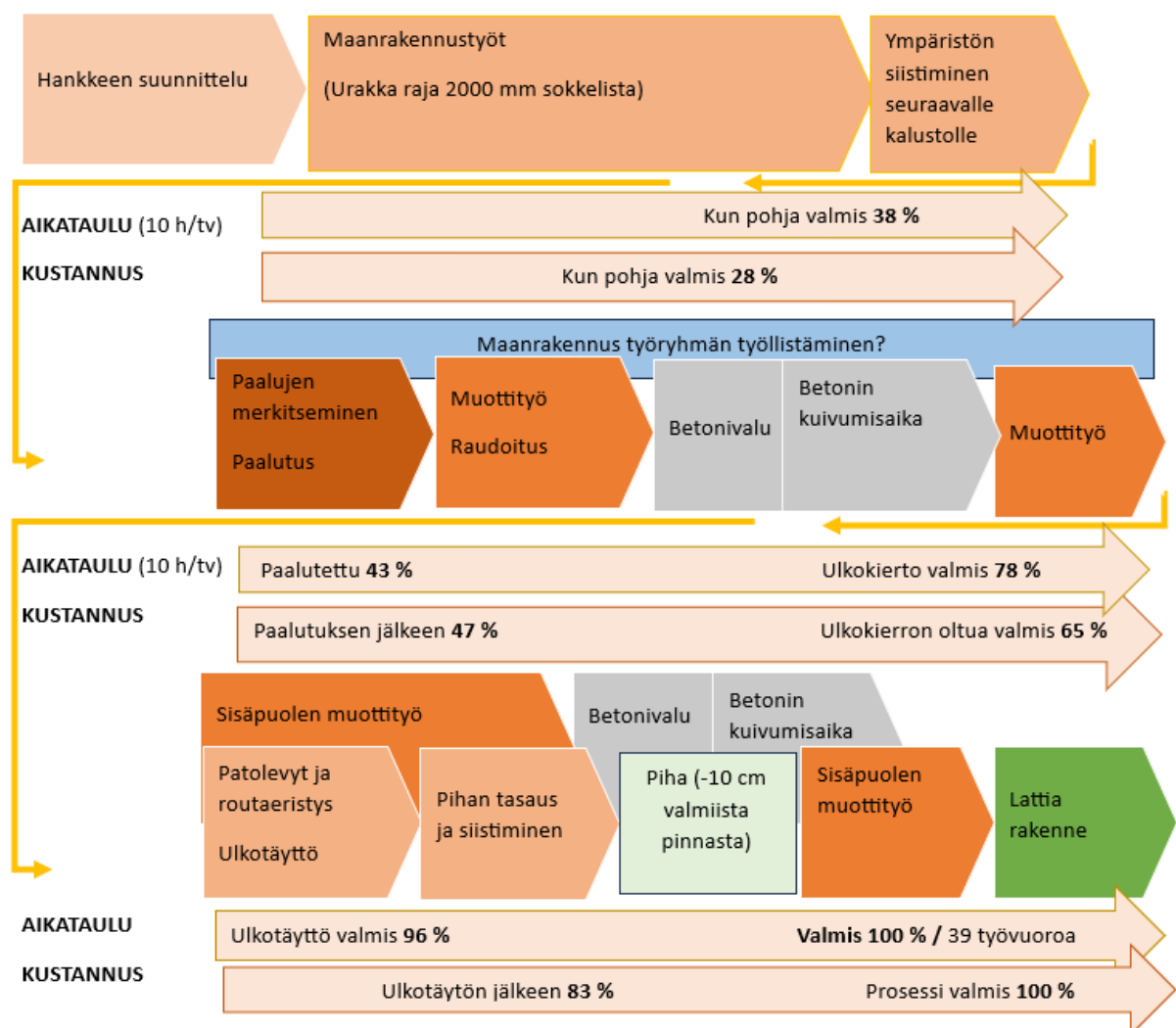
5.3.3 Rakentamisen prosessikuvaus

Paalutettavan betoniperustuksen rakennusaikainen prosessikuvaus kuvassa 9.

Prosessikuvaus hyvin samantyyppinen, kuin aiempi paalutettavan teräspalkkiperustuksen prosessikuvaus. Kuvauksessa perustuksen työvaiheet ja työhön liittyviä huomioita.

Maanrakennus osuus omana nuolenaan ja muut työvaiheet ominaan. Aikataulu ja kustannus etenevät omina nuolinaan työvaiheiden alapuolella. Prosessikuvauksessa kerrotaan luvussa 4 käydyt työvaiheet ja niiden eteneminen, aikataulun mukaisesti. Huomioina prosessikuvaukseen on laitettu esimerkiksi työmaan siistiminen seuraavalle työryhmälle, sekä prosessin valmius lattiarakenteille. Prosessikuvauksessa näkyy myös se, kuinka ulkotäyttöä tehdään saman aikaisesti sisäpuolen sokkelilinjojen kanssa. Betoniperustuksen rakennusajan prosessikuvaus myös liitteessä 2.

Kuva 9. Paalutettavan betoniperustuksen rakentamisen prosessikuvaus.



5.4 Betonisen perustuksen kierrätettävyys

Betonin elinkaareen voidaan vaikuttaa, paitsi sen hyvällä suunnittelulla ja toteutuksella, myös sen ylläpito ja parantamistöillä, näin saadaan betoniperustuksesta pitkäaikainen ratkaisu, minkä käyttöikä voi olla 100 vuotta ja enemmänkin. Ylläpito ja parantamistöillä tarkoitetaan betonisokkelin kohdalla esimerkiksi kuivana pitoa, tähän tarkoitukseen rakennuksen ympärille asennetaan salaojat. Sokkeliin kiinnitetään vesieristys ja asennetaan salaojituskerros. Parantamistöitä voi olla myös sokkelin korjaustyöt, esimerkiksi halkeamien paikkaus. Sokkelin päästessä rapistumaan, vaikuttaa se rakenteen raudoituksen korroosioon, mikä taas heikentää rakenteen kantavuutta. Betonirakenteen tullessa tarpeettomaksi tai elinkaarensa päähän, voidaan betonia kierrättää 80 prosenttisesti. Rakenne puretaan, jonka jälkeen se pulveroidaan, erikokoiset palat hienonnetaan ja poistetaan teräkset. Tämän jälkeen betoni voidaan uusiokäyttää esimerkiksi maanrakennuksessa kiviaineksen korvikkeena. (Betoni n.d.)

6 Vertailun tulokset

Opinnäytetyössä on laadittu rakennusaikainen aikataulu ja prosentuaalinen kustannuslaskelma paalutettavalle teräspalkkiperustukselle ja paalutettavalle betoniperustukselle. Opinnäytetyössä käytiin myös lävitse molempien perustustapojen ympäristönäkökulmaa. Kun opinnäytetyössä esitetyjä laskelmia on verrattu toisiinsa, on tultu seuraaviin lopputuloksiin.

Liitteessä 3 Kustannusvertailu. Kokonaiskustannukset ei juurikaan eroa perustustapojen välillä. Kustannusvertailusta voidaan kuitenkin huomioida kustannusten kertyminen eri tavalla toisiinsa nähden. Tähän vaikuttaa perustustapojen työvaiheiden eroavaisuudet, kuten paalutettavassa betoniperustuksessa työvaiheita on enemmän kuin paalutettavassa teräspalkkiperustuksessa.

Rakennusaikaiset aikataulut esitetty luvuissa 5.1.1 ja 5.3.1. Perustustapojen aikatauluja verrattaessa toisiinsa voitiin huomata, että paalutettava teräspalkkiperustus on 12 työvuorua nopeammin valmis, kuin paalutettava betoniperustus. Aikataulusta voitiin myös huomata, että paalutettavassa teräspalkkiperustuksessa on vähemmän työvaiheita, kuin paalutettavassa betoniperustuksessa.

Ympäristön kannalta vertailua ei voida tehdä kovin perusteellisesti tämän opinnäytetyön perusteella. Voidaan kuitenkin todeta, että molempien materiaalien, teräksen ja betonin kierrätysprosentit ovat hyviä. Teräspalkkiperustus kuitenkin kokonaisuutena antaa

mahdollisuuden uudelleen käyttää koko teräspalkkiperustuksen. Betonin uusiokäyttö vaatii väistämättä prosessointia, jotta sitä voidaan käyttää uudelleen esimerkiksi betonimurskeena, luonnon kiviaineksen tilalla.

7 Johtopäätökset ja pohdinta

Opinnäytetyössä esitettyjen hanketietojen perusteella laadittiin perustusten rakentamisvaiheen aikataulu sekä kustannuslaskelma 850 m² hypoteettisesta työmaasta. Laadituista rakentamisen aikataulusta ja kustannuslaskelmasta voitiin koostaa prosessikuvaukset paalutettavalle teräspalkkiperustukselle, sekä perinteisemmälle paalutettavalle betoniperustukselle. Prosessikuvaukset tehtiin selventämään opinnäytetyössä käsiteltyjen perustusten eroavaisuuksia, esimerkiksi urakoitsijalle tai rakennushanketta suunnittelevalle tilaajalle. Prosessikuvauksesta nähdään helposti, sen enempää opiskelematta, perustusten pääkohtia ja eroavaisuuksia. Eroavaisuudet kulminoituivat tämän työn osalta rakennusaikaiseen aikatauluun, jossa on huomattavampi ero kuin kustannuksessa. Prosessikuvaukset, sekä yhtenäinen prosentuaalinen kustannusvertailu opinnäytetyön liitteissä, toimitetaan opinnäytetyön tilaajalle, Kankareen Paalutukselle. Esimerkiksi maanrakennusurakoitsijalle voidaan havainnollistaa työvaiheita tämän opinnäytetyön pohjalta tehdyn prosessikuvauksen avulla, missä työvaiheet ja tavoitteet kronologisessa järjestyksessä.

Kustannuksien osalta paalutettavan teräspalkkiperustuksen ja paaluperusteisen betoniperustuksen eroa ei juurikaan ole. Merkittävää eroa syntyy ainoastaan siinä tilanteessa, jos eristystä ei laiteta esimerkiksi väistötiloissa tai vaihtoehtoisesti laitetaan vain esimerkiksi ulkokiertoon, saadaan parin prosentin ero. Kustannukset koostuvat muutenkin hyvin samalla periaatteella molemmissa perustustavoissa. Maanrakennusosuus on suurin kustannus, teräspalkkiperustuksessa 42 % kun taas perinteisessä sen yhteenlaskettu osuus on 46 %. Siitä seuraavaksi suurin on sokkelin ja teräspelkkien osuus, betonisokkeli 35 % ja teräspalkisto 33 %, jos tähän vaiheeseen liittyy myös sokkeliverhouksen niin osuus on 39 % teräspalkkiperustuksessa. Halvimmaksi osuudeksi jää paalutus, joka on 19 % molemmissa perustustavoissa.

Aikataulullisesti kuitenkin eroa on huomattavasti. Siinä missä teräspalkkiperustus on valmis lattiarakenteiden aloittamiseen, 27 työpäivän jälkeen, on perinteisen paalutettavan betoniperustuksen ulkokierto valmis ulkotäyttöä varten, jolloin ero on 12 työpäivää. 12 päivää ei kuulosta kovinkaan pitkältä ajalta. Kun mietitään olosuhteita ja parasta aikaa vuodesta rakentaa Suomessa, eli kesää, joka ei kuitenkaan kestä muutamaa kuukautta pidempään, on 12 työpäivää kohtuullisen pitkäaika, yli puoli kuukautta. Näin ollen päästään

johtopäätökseen, jossa täytetään johdannossa ilmi tuotu oletus. Paalutettava teräspalkkiperus on nopeampi toteuttaa, verraten perinteisempään betoniperustukseen.

Perinteisessä perustustavassa tulee myös huomioida aika, jolloin betonisokkelin työvaiheita tehdään. Mitä maanrakennustyöryhmä silloin tekee? Urakassa, jollaista opinnäytetyökin käsittelee eli urakkaraja rajautuu rakennuksen pohjaan/välittömään läheisyyteen, ei maanrakennustyöryhmällä ole mitään tehtävää työmaalla. Lähteekö maanrakennustyöryhmä muulle työmaalle täksi ajaksi? Saadaanko työryhmä takaisin heti kun työmaalla on heille työtä tehtävänä? Näistä seikoista kertyy helposti lisäkustannuksia ja riski aikataulun venymiseen. Jos työmaan maanrakennusurakka olisi laajempi, esimerkiksi koko tontin kattava. Voitaisiin työ suunnitella niin että piha-alueita tehdään tänä aikana. Mikäli se on mahdollista, huomioiden tontin suuruuden ja tarvittavan työskentelytilan, niin perustustyöryhmälle, kuin maanrakennustyöryhmällekin. Asiaan voisi tässä kohtaa vaikuttaa, lohkoaminen, eli työmaan jakaminen erilaisesti. Paalutustyöryhmä voisi aloittaa rakennuksen toisesta päästä samalla kun maanrakennustyöryhmä työstää vielä toista päätä. Paaluttaminen kuitenkin vie suhteessa paljon vähemmän aikaa kuin maanrakennusvaihe, jolloin tästä ei niinkään ole samanlaista hyötyä kuin maanvaraisessa perustuksessa, jossa paalutus työvaiheena jää kokonaan pois ja muottityötä voidaan aloittaa heti maanrakennusvaiheen jälkeen.

Prosessikuvauksen, sekä jana-aikataulujen perusteella voidaan myös todeta, että työvaiheita on paalutettavassa teräspäerustuksessa huomattavasti vähemmän eri työryhmien välillä. Tämä edesauttaa esimerkiksi työaikataulun suunnittelussa, kun työryhmiä on vähemmän. Työvaiheet myös ovat hyvin erilaisia lukuun ottamatta maanrakennus osuutta ja paalutusta. On myös huomioitava, että työmaan siisteyteen voidaan vaikuttaa enemmän paalutettavassa teräspäerustuksessa. Työryhmiä on vähemmän, kuin perinteisessä perustustavassa ja työskentelyaika lyhyempi, mitään työvaiheita ei tarvitse tehdä samaan aikaan eri työryhmien kanssa, jolloin työmaalla on tilaa yleensä toimia.

Prosessikuvauksesta voidaan myös huomata, että kustannuksien kertymisessä on hieman eroa. Paalutettavassa teräspäerustuksessa kustannus nousee nopeammin työvaiheiden edetessä. Paalutuksen jälkeen, ennen palkkien asentamista teräspäerustuksen kustannukset ovat 61 %, kun taas perinteisessä perustustavassa paalutuksen jälkeen kustannukset ovat 47 %. Tämä johtuu ulkotäytön vaikutuksesta kustannukseen vasta perustusprosessin loppupuolella.

Perustustapojen kierrätettävyydet eroavat toisistaan. Teräksinen perustustapa voidaan lähestulkoon kokonaan käyttää samaan käyttötarkoitukseen uudelleen, mikäli teräksen kunto

sen sallii, jos taas näin ei ole, on teräs 100 % kierrätettävä materiaali ja se voidaan käyttää muussa käyttötarkoituksessa esimerkiksi sulattaa ja muotoilla uudelleen teräkseksi, uuteen tarkoitukseen. Betonin kierrätettävyys on myös vahvaa, mutta se vaatii enemmän työvaiheita, betoni tulee purkaa, hienontaa ja jaotella teräkset, jonka jälkeen se vasta voidaan uudelleen hyödyntää raaka-aineena. Molempiin perustustapoihin voidaan liittää lämmitys ja viilennys muoto, jolloin voidaan lisätä rakennuksen energiatehokkuutta.

Lähteet

Arter. (23.5.2022) *Prosessin kuvaaminen kolmisivutekniikalla*
<https://www.arter.fi/prosessien-kuvaaminen-kolmisivutekniikalla/>

Betoni (n.d.) *Betonin kierrätys ja uudelleen käyttö*
<https://betoni.com/betoni-ja-ymparisto/kiertotalous/>

Hirn, A (2020) *Kuumasinkityskäsikirja* https://www.aurajoki.fi/aj/wp-content/uploads/2020/08/NG_Kuumasinkitysk%C3%A4sikirja_2020.pdf

Kankareen Paalutus. (n.d.). *Kankareen Peelutus Oy ja Teräsrakenteet ja teräspäälutukset*. <https://www.kankareenpaalutus.fi/palvelut-teraspaalutus-terasrakenteet/terasrakenteet-ja-teraspaalutukset/>

Laitinen, K. (13.6.2012) *Korroosio Teräsrakenneyhdistys*
<https://www.terasrakenneyhdistys.fi/document/1/151/8ac778e/korroosio.pdf>

Motiva (20.10.2023) *Työkoneet*
https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kestavat_julkiset_hankinnat/tietopankki/tyokoneet

Novatron (n.d.) *Mitä on koneohjaus?* <https://novatron.fi/mita-on-koneohjaus/>

Rantamäki, M. Tamminne, M. (2002). *Pohjarakennus*. Otatieto

Ratu (2024). *Aikataulukirja*. Rakiennustieto Oy. <https://kortistotezp-rakennustieto-fi.ezproxy.hamk.fi/resource/juha/content/27394#page=1>

Ratu TT 5.11. (2020). *Elementtien asennussuunnitelma*. Rakennustieto Oy.
<https://kortistotezp-rakennustieto-fi.ezproxy.hamk.fi/resource/juha/content/25997#page=1>

Ratu 0391 (2012). *Pilari- ja palkkielementtityö*. Rakennustieto Oy.

Ratu S-1198 (2002). *Perustukset*. Rakennustieto Oy. <https://kortistotezp-rakennustieto-fi.ezproxy.hamk.fi/resource/juha/content/17816#page=1>

Ratu (2017) *Rakennustöiden laatu*. Talonrakennusteollisuus ry. <https://kortistotezp-rakennustieto-fi.ezproxy.hamk.fi/resource/juha/content/22013#page=1>

RIL 263-214. *Kaivanto ohje*. Suomen Rakennusinsinööri Liitto RIL ry.

RT 10-11078. (2012). *Osa 13. Tietomallien hyödyntäminen rakentamisessa. Yleiset tietomallivaatimukset*. Rakennustieto Oy. <https://kortistotezp-rakennustieto-fi.ezproxy.hamk.fi/resource/juha/content/10217#page=1>

RT 103397 (2021). *Pääpiirustusten laatiminen*. Rakennustieto Oy. <https://kortistotezp-rakennustieto-fi.ezproxy.hamk.fi/resource/juha/content/26699#page=1>

RT 10-11226 (2016). *Talonrakennushankkeen kulku*. Rakennustieto Oy. <https://kortistotezp-rakennustieto-fi.ezproxy.hamk.fi/resource/juha/content/22777#page=1>

RT 16-10660 (1998). *Rakennusurakan yleiset sopimusehdot*. Rakennustieto Oy. <https://kortistotezp-rakennustieto-fi.ezproxy.hamk.fi/resource/juha/content/6902#page=1>

RT 20-11125 (2013). *Rakennustuotteiden CE-merkintä ja muut tuotehyväksyntämenettelyt*. Rakennustieto Oy. <https://kortistotezp-rakennustieto-fi.ezproxy.hamk.fi/resource/juha/content/6866#page=1>

RT 81-10590 (1995). *Routasuojusrakenteet*. Rakennustieto Oy. <https://kortistotezp-rakennustieto-fi.ezproxy.hamk.fi/resource/juha/content/7117#page=1>

RT 81-11000 (2010). *Rakennuspohjan ja tonttialueen kuivatus*. Rakennustieto Oy. <https://kortistotezp-rakennustieto-fi.ezproxy.hamk.fi/resource/juha/content/6748#page=1>

SSAB (n.d.) Teräsmaalut

https://vanha.rakentaja.fi/pdf/ssab/FI_Steel_Pile_Brochure.pdf

Uponor. (n.d.). *Energiajärjestelmät - Maalämpö* <https://www.uponor.com/fi-fi/tuotejarjestelmat/energiajarjestelmat/maalampo>

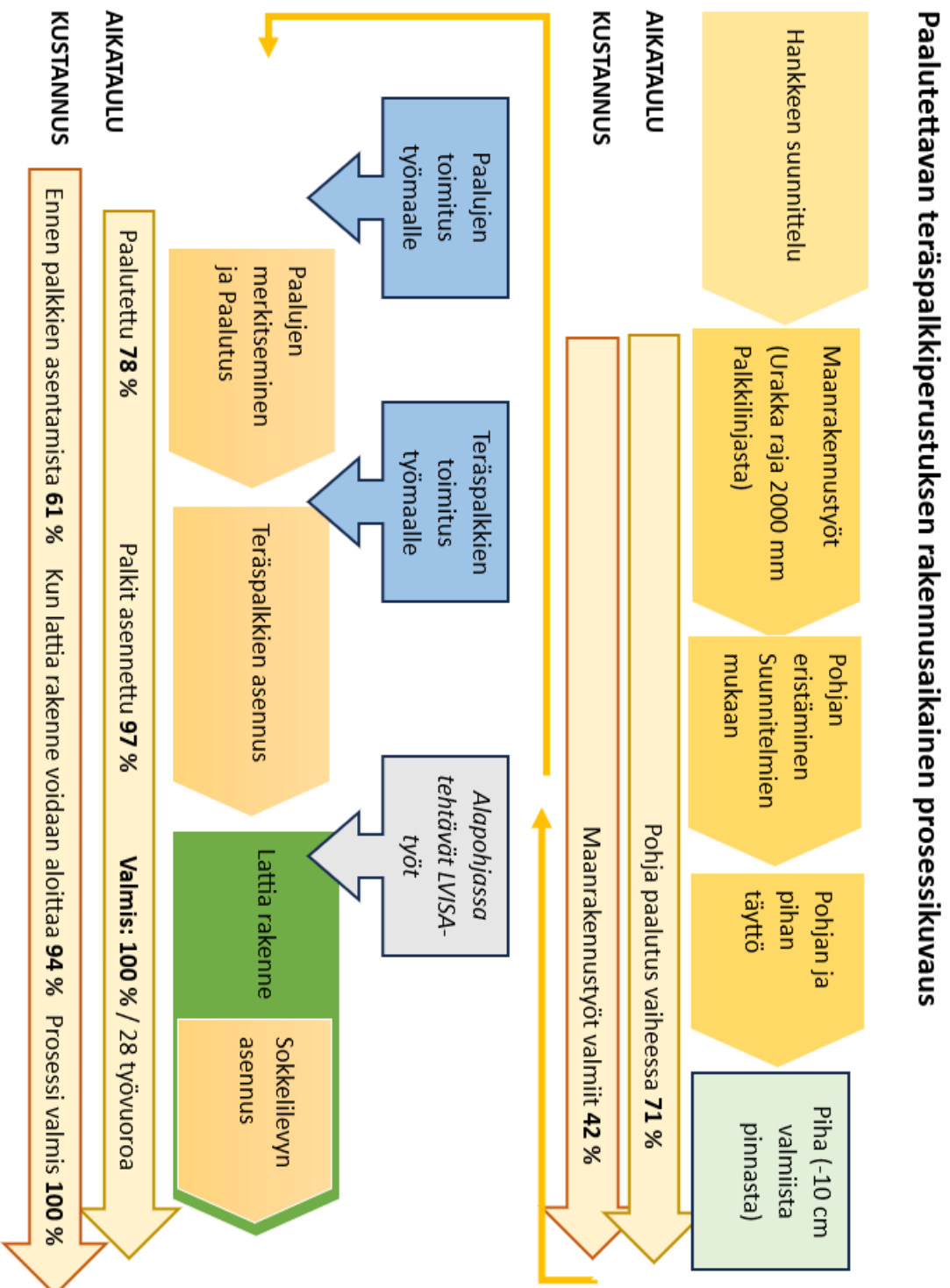
Ylitalo J. (n.d.) *Kuumasinkittyjen teräsrakenteiden käyttöikä* Teräsrakenneyhdistys
https://www.terasrakenneyhdistys.fi/document/1/221/1ba5d4e/Kuumasinkittyjen_terasrakenteiden_kayttoika_2014_09.pdf

YIT (n.d.) *Pohjarakentaminen on kaiken perusta.*
<https://www.yit.fi/ytimessa/pohjarakentaminen-on-kaiken-perusta>

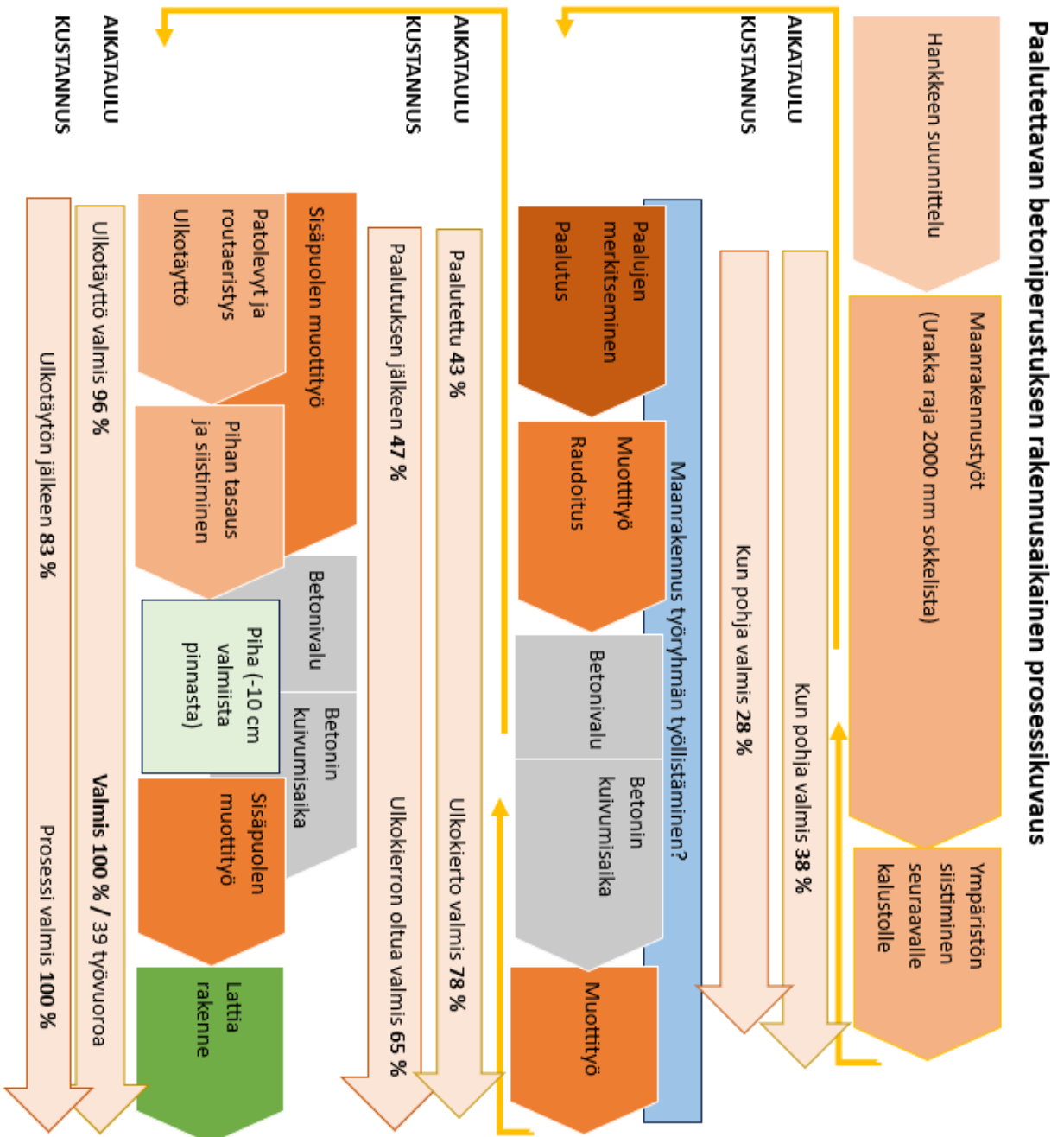
Ympäristön suojelulaki 527/2014 § 118
<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2014/20140527#Pidm46434450950336>

YSE 1998. Rakennusurakan yleiset sopimusehdot. Suomen toimitila- ja rakennuttajaliitto RAKLI ry ja Rakennustieto säätiö RTS. <https://kortistotezp-rakennustieto-fi.ezproxy.hamk.fi/resource/juha/content/6902#page=1>

Liite 1. Paalutettavan teräspalkkiperustuksen rakentamisen prosessikuvaus



Liite 2. Paalutettavan betoniperustuksen rakentamisen prosessikuvaus



Liite 3. Kustannusvertailu

Kustannusvertailu

PAALUTETTAVA TERÄSPALKKI PERUSTUS				PERINTEINEN PAALUTETTAVA BETONISOKKELI PERUSTUS				Vertailu: Teräspalkki perustus 100 %	
Maanrakennus		42	%	Maanrakennus		28	%	28	%
	Työn osuus	17	%		Työn osuus	17	%		
	Kivaines ja maan ajo	9	%		Kivaines ja maan ajo	9	%		
	Tarvikkeet	2	%		Tarvikkeet	2	%		
	Eristys (työ + materiaali)	13	%	Paalut		19	%	19	%
Paalut		19	%		60 pistettä, 10 m / piste	19	%		
	60 pistettä, 10 m / piste	1 piste 0,32	%	Sokkeelit		35	%	35	%
					yhteensä 126 m	1 m 0,13	%		
Teräspalkit		33	%	Ulkoäyttö		18	%	18	%
	Materiaali 9500 kg	13	%		Työn osuus	10	%		
	Pintakäsittely	7	%		Kivaines	5	%		
	Valmistus	6	%		Tarvikkeet	3	%		
	Asennus	7	%						
Sokkelilevyt		6	%						
YHT:		100	%		100	%		100	%