

Lasse Røyhkiö

LYÖNTIPAALUTUKSEN KUSTANNUSTEN OPTIMOINTI

LYÖNTIPAALUTUKSEN KUSTANNUSTEN OPTIMOINTI

Lasse Røyhkiö
Opinnäytetyö
Kevät 2024
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä(t): Lasse Røyhkiö

Opinnäytetyön nimi: Lyöntipaaluksen kustannusten optimointi

Opinnäytetyön englanninkielinen nimi: Optimization of Piling Costs

Työn ohjaaja(t): Hanna Rasi-Koskinen

Työn valmistuslukuksi ja -vuosi: Kevät 2024

Sivumäärä: 50 + 12 liitettä

Paalutus on nykyisin yleinen tapa perustaa rakennuksia tai rakennelmia heikosti kantavien maapohjien käyttöönoton myötä. Lyöntipaalutus on paalutusmenetelmistä yksi, joka on hyvin kilpailukykyinen muiden paalutusmenetelmien kanssa, ja kaikenlaisia paaluja lyödäänkin Suomessa noin 2000 kilometriä vuodessa. Tämä tarkoittaa myös suurta määrää betonia, terästä ja muita paaluissa käytettäviä materiaaleja ja ennen kaikkea paalutukseen liittyviä suuria kustannuksia.

Opinnäytetyön aiheena oli tutkia kolmea toteutettua lyöntipaalutustyömaata ja kuinka niillä saatiin paalutuksen kustannuksia optimoitua. Tulosten perusteella opinnäytetyön jatkona luodaan urakoitsijalle yleisen tason ohjeistus koepaalutuksen suunnitteluun, jotta kustannuksissa pystyttäisiin tehokkaasti säästämään. Työn teoriaosuudessa perehdyttiin paalutukseen liittyviin perusteisiin ja soveltava osuus toteutettiin tutkimalla kolmea lyöntipaalutustyömaata. Ensin perehdyttiin työmaiden lähtötietoihin. Seuraavaksi tutkittiin työmaiden paalutuksen vaiheita ja niiden tuloksia. Viimeisenä tarkasteltiin paalujen materiaaleihin, pituuksiin ja suunnitelmiin tehtyjä muutoksia, sekä muutosten vaikutusta kustannuksiin ja hiilidioksidipäästöihin.

Työn tuloksena havaittiin, että paksuissa kitkamaakerroksissa paalun ja maan välille syntyvä vaippakitka voi olla niin suuri, että paalupituuksia voidaan lyhentää alun perin tukipaaluina mitoitetuista paaluista. Paalujen kuormitusasteet huomioon ottamalla puristuskestävyyden vaatimuksia määrittäessä voidaan paalujen pituuksia saada lyhennettyä. Paalujen kuormitusasteen ja vaippakitkan ominaisuuksien hyödyntäminen vaatii koepaalutukseen enemmän aikaa ja puristuskestävyyden mittauksia, kuin pelkkä paalujen puristuskestävyyden toteaminen lyöntityön yhteydessä. Paalumateriaalin vaihtaminen teräksestä sitä halvempaan teräsbetoniin voi myös tuoda merkittäviä säästöjä, vaikka aiheuttaisikin ylimääräistä työtä. Myös paalutehtaalle täytyy jäädä aikaa reagoida mahdollisiin muutoksiin. Näiden tulosten perusteella luodaan opinnäytetyön pohjalta urakoitsijalle ohjeistus koepaalutuksen suunnitteluun.

Työmaakohteiden tuloksista on havaittavissa, että pienemmät työmaat joutuvat punnitsemaan vaippakitkan ja kuormitusasteiden käytön hyödyt ja haitat hyvin, ennen kuin siihen kannattaa ryhtyä. Suuremmilla työmailla edut ovat huomattavampia. On kuitenkin muistettava, että vastaava pohjarakennesuunnittelija tekee lopulta päätöksen, saako suunniteltua perustamistapaa muuttaa vai ei. Asia kannattaa siis tiedustella suunnittelijalta jo ennen työhön ryhtymistä.

Asiasanat: Lyöntipaalu, koekuormitus, kustannukset, aika, päästöt, säästöt, maaperä.

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in civil engineering, Option of house building

Author(s):

Title of thesis: Optimization of Piling Costs

Supervisor(s): Hanna Rasi-Koskinen

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2024

Number of pages: 50 + 12 appendices

Piling is nowadays a common way of setting up buildings or structures when building on poorly load-bearing soils. Driven piles are one of the piling methods that is very competitive with other piling methods, and nearly 2000 kilometers of all types of piles are driven in Finland per year. This also means a large amount of concrete, steel and other materials used in piles, and most of all, big costs in piling.

The topic of the thesis was to study three piling sites and how the costs of piling could be optimized. Based on the results, general instructions will be created to the contractor concerning test piling to efficiently reduce costs. The theory part was carried out by examining the basics concerning piling and the applied part of the work was carried out by studying three piling sites. First the initial data of construction sites was studied. Next, the stages of piling at construction sites and their results were studied. Finally, the changes to the materials, pile lengths and plans were examined and their effects on the costs and carbon dioxide emissions were also examined.

As a result of the work, it was discovered that in thick layers of friction soil, the friction between the pile and soil can be so great that the pile lengths can be shortened from those lengths originally designed as support piles. By taking into account the load rates of piles when determining the load-bearing capacity requirements, pile lengths can also be shortened. Using these properties required more time and load bearing capacity measurements for test piling than simply verifying the load bearing capacity of piles during piling. Switching pile material from steel to cheaper reinforced concrete can also bring significant savings, even if it causes extra work. The pile factory also must have time to react to these changes. Based on these results, general instructions will be created for the contractor on the planning of test piling.

From the results can be seen that smaller construction sites need to weigh the pros and cons of using sheet friction and load rates well before considering using them. On larger sites the benefits are more noticeable. It must be remembered that the foundation structure designer will make the final decision whether the planned foundations can be changed or not. It is advisable to ask the designer about the matter before starting to work.

Keywords: Driven pile, load capacity measuring, costs, time, emissions, cost savings, soil

SISÄLLYS

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | JOHDANTO | 6 |
| 2 | PAALUPERUSTUKSET | 7 |
| 2.1 | Pohjaolosuhteet..... | 7 |
| 2.2 | Geotekniset luokat ja seuraamusluokat..... | 8 |
| 2.3 | Paalutustyöluokat | 8 |
| 2.4 | Lyöntipaalutus | 9 |
| 2.4.1 | Koepaalutus..... | 10 |
| 2.4.2 | Teräsbetonipaalut | 11 |
| 2.4.3 | Teräsbetonipaalujen puristuskestävyys | 12 |
| 3 | PAALUPITUUDEN OPTIMOINNIN VAIKUTUKSET | 16 |
| 3.1 | Ajalliset säästöt | 16 |
| 3.2 | Paalumetriä säästäminen | 17 |
| 3.3 | Hiilipäästöt..... | 18 |
| 4 | TUTKITUT KOHTEET | 20 |
| 4.1 | Työmaiden lähtötiedot | 20 |
| 4.2 | Työmaiden paalutustyöt | 25 |
| 4.2.1 | Santalahden työmaan lyöntipaalutus | 25 |
| 4.2.2 | Työmaan 2 lyöntipaalutus | 28 |
| 4.2.3 | Näsisaaren työmaan lyöntipaalutus | 31 |
| 4.3 | Tulokset ja niiden analysointi..... | 33 |
| 4.3.1 | Santalahden työmaa | 33 |
| 4.3.2 | Työmaa 2..... | 36 |
| 4.3.3 | Näsisaaren työmaa | 39 |
| 4.4 | Pohdintaa kustannus- ja hiilidioksidipäästöjen määrittämisestä | 41 |
| 5 | YHTEENVETO | 45 |
| | LÄHTEET..... | 47 |
| | LIITTEET | 50 |

1 JOHDANTO

Paalutusta käytetään nykyään hyvin usein rakennusten perustamisessa, kun rakennuksia joudutaan rakentamaan entistä huonommin kantaville maapohjille kasvukeskusten taajamien kasvaessa ja levitessä. Myös silloin, kun väyliä rakennetaan heikoille maapohjille, paalulaatat ovat melko yleinen keino väylien pohjarakenteiden vahvistamiseksi. Paalulaatoille perustettavat muutaman sadan metrin tieosuudet saattavat sisältää useita satoja paaluja. Paaluja käytetään myös hyvin usein siltojen perustamisessa. Lyöntipaalut ovat porapaaluja suosituimpia niiden huomattavasti halvemman hinnan ja nopeamman asentamisen takia.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tutkia, miten paalutuksen kustannuksia pystytään minimoimaan hyödyntämällä lyötävien paalujen ominaisuuksia. Kolmen työkohteen tuloksiin perustuvien havaintojen perusteella opinnäytetyön jatkona on tarkoitus luoda urakoitsijalle yleinen ohjeistus asioista, joihin kannattaa kiinnittää huomiota paalutuksen ja varsinkin koepaalutuksen suunnittelussa.

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan kolmea jo toteutettua työmaata, kerrotaan niiden lähtökohdat ja miten ennen työmaata ja työmaan aikana teräsbetonipaalujen puristuskestävyyksiä tutkittiin ja tutkimusten perusteella tehtiin muutoksia suunnitelmiin. Myös paalumateriaalin vaihtaminen ja työmenetelmän muokkaaminen pohjaolosuhteisiin sopivaksi tutkittiin. Näiden havaintojen perusteella luodaan opinnäytetyön pohjalta yleinen ohjeistus asioista, joihin kannattaa kiinnittää huomiota paalutusta suunniteltaessa, jotta paalutuksen kustannuksia saataisiin minimoitua.

Opinnäytetyö rajataan koskemaan ainoastaan lyötäviä teräsbetonipaaluja. Lyötävät puu- ja teräspalkkipaalut ja muut paalujen asennustavat rajataan pois. Koekuormitusmenetelmänä tämän opinnäytetyön esimerkkityömailla on käytetty dynaamista koekuormitusta. Suomessa harvemmin käytetty staattinen koekuormitus rajataan pois. Toimeksiantajan pyynnöstä yhden projektin nimi ja sijainti on jätetty pois ja kyseistä esimerkkityömaata käsitellään nimellä Työmaa 2.

2 PAALUPERUSTUKSET

Paaluperustusten eurokoodien mukaiseen suunnitteluun ja varsinaiseen paalutustyöhön liittyy monia tekijöitä pohjaolosuhteista käytettäviin materiaaleihin. Myös paalujen varaan tulevien rakenteiden sallitut painumat ja rakenteilta paaluille aiheutuvat kuormat vaikuttavat suunnitteluratkaisuihin. Suunnittelijan täytyy olla perehtynyt suunnittelemaan paaluperustuksia. (1, s. 31–34.) Rakenteiden suunnittelutehtäville on annettu myös eri vaativuusluokkia, jotka määräytyvät tulevan rakennuksen tai rakenteen mukaan (2). Pohjarakenteiden työnjohtajaltakin voidaan edellyttää tiettyjä pätevyyskysä ollakseen kelvollinen johtamaan tiettyä pohjarakennustyömaata (3).

2.1 Pohjaolosuhteet

Pohjaolosuhteet ovat perustamistavan valinnassa ja pohjarakenteiden suunnittelussa merkittävässä roolissa. Pohjatutkimusten avulla havaitaan maaperän kerrosrakenteet, kivisyys, lujuus- ja muodonmuutosominaisuudet, pohjavesiolosuhteet ja mahdollinen pohjamaan aggressiivisuus, joka voi johtua esimerkiksi pilaantuneista maalajeista tai sulfidimaan esiintymisestä. Edellä mainitut asiat vaikuttavat paaluperustusten suunnitteluun, asennettavuuteen ja säilyvyyteen. Yleisimpiä käytettyjä pohjatutkimusmenetelmiä ovat painokairaus, heijarikairaus, puristinheijarikairaus ja porakonekairaus. Siipikairausta käytetään pehmeillä ja hienorakeisilla mailla maan suljetun leikkauslujuuden määrittämiseksi paalun nurjahdustarkastelua varten. Laboratoriokokeitakin voidaan tehdä maan lujuus- ja muodonmuutosominaisuuksien selvittämiseksi. (1, s. 35–43.)

Pohjaolosuhdetietojen perusteella suunnittelija määrittelee pohjarakenteiden eurokoodien mukaisen geoteknisen luokan ja käytettävät perustamistavat ja mahdollisesti paalutyypit ja arvioi paalupituudet ja tarvittavat rasiitusluokat. Pohjatutkimuksia yleensä tehdään lisää tai täydennetään suunnittelun edetessä, jolloin myös tiedot pohjaolosuhteista täydentyvät ja tarkentuvat hankkeen edetessä. (1, s. 35–43.)

2.2 Geotekniset luokat ja seuraamusluokat

Kohteet jaetaan eurokoodien mukaan kolmeen geotekniseen luokkaan kohteen vaativuuden perusteella. Luokan valintaan vaikuttavat esimerkiksi maaperän kerrostumat ja pohjavesiolosuhteet. GL1-luokkaan kuuluvat helpot kohteet, joissa perustusten suunnitteluun ja rakentamiseen voidaan käyttää rutiinimenetelmiä. Myöskään vesipinta ei saa aiheuttaa ongelmia kaivuutasossa. GL2-luokkaan kuuluvat vaativat kohteet, joihin kuuluvat rakennukset, joissa on pysyvään asuin- tai työskentelykäyttöön tarkoitettuja tiloja ja rakennukset on perustettu paaluille tai perustettaessa esiintyy vaativia rakenteita. GL3-luokkaan kuuluvat erittäin vaativat kohteet, joissa on esimerkiksi erittäin suuria ja epätavallisia rakenteita, normaalista poikkeavia riskejä tai poikkeuksellisen vaikeita kuormitus- ja pohjaolosuhteita. Myös pohjavedenpinnan ja naapurirakennusten perustusten alapuolelle sijoittuvat tilat kuuluvat tähän luokkaan. (1, s. 29, 30, 36–40.)

Rakennukset ja rakenteet luokitellaan vaurion seuraamusten perusteella seuraamusluokkiin. Seuraamusluokkia on kolme ja ne määräytyvät pääasiassa rakenteen koon ja käyttötarkoituksen mukaan. CC1-luokassa on vähäisiä seurauksia hengenmenetysten tai pienten sosiaalisten, taloudellisten tai ympäristövahinkojen takia. Tähän kuuluvat esimerkiksi varastorakennukset. CC2-luokassa seuraamukset ovat keskisuuria hengenmenetysten tai merkittäviä sosiaalisten, taloudellisten tai ympäristövahinkojen takia. Tähän luokkaan kuuluvat esimerkiksi liike- ja asuinrakennukset. CC3-luokassa seuraamukset ovat suuret hengenmenetysten tai hyvin suuret sosiaalisten, taloudellisten tai ympäristövahinkojen takia. Tähän luokkaan kuuluvat esimerkiksi suuria katsomoita sisältävät rakennukset. (4, s. 136.)

2.3 Paalutustyöluokat

Paalutusluokkia on myös kolme. Paalutustyöluokka huomioi paalutuksen toteutuksen ja tavanomaiset rasitus- ja kuormitustilat, jotka määräävät paalun rakenteen. Myös kohteen ominaisuudet huomioivat geotekninen luokka ja seuraamusluokka vaikuttavat paalutustyöluokan valintaan ja paalun rakenteeseen. Huomioitavaa on myös, että paalutustyöluokassa PTL3-loppulyöntiehdot tulee aina varmistaa dynaamisilla koekuormituksilla. (1, s. 101, 217.) Geoteknisen luokan ja seuraamusluokan vaikutukset paalutustyöluokkaan näkyvät taulukossa 1.

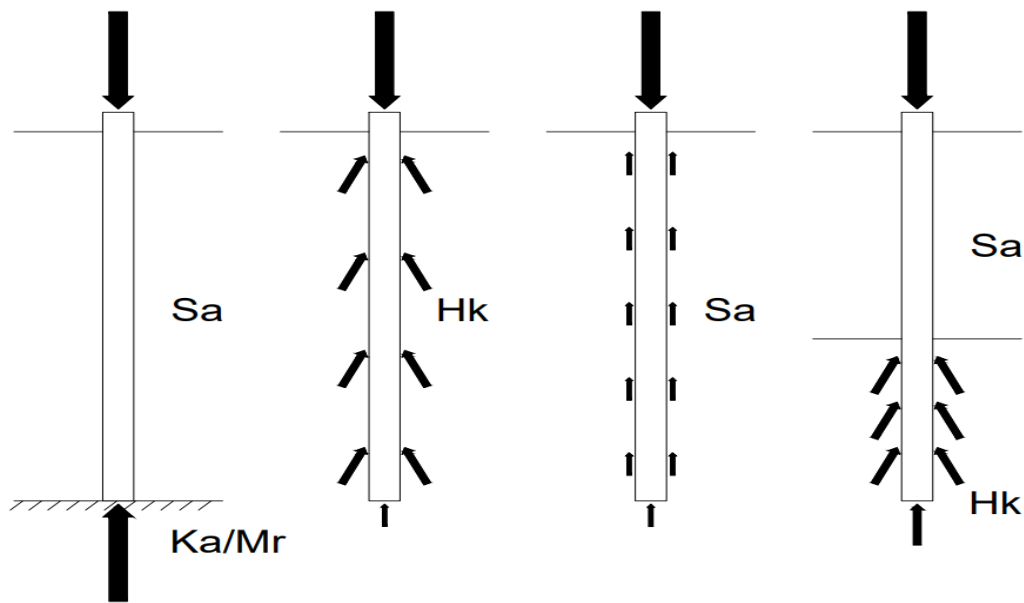
TAULUKKO 1. Paalutustyöluokat tavanomaisessa rakentamisessa (1, s. 102)

| 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 |

2.4 Lyöntipaalutus

Kun maaperä koostuu huonosti kantavista maalajeista, esimerkiksi savesta, paalutus on usein esimerkiksi massanvaihtoa halvempi ja nopeampi ratkaisu rakennuksen perustamiseksi. Paalut voivat olla maata syrjäyttäviä tai maata syrjäyttämättömiä paaluja. Lyöntipaalut ovat maata syrjäyttäviä paaluja. (1, s. 15.) Lyöntipaalutus on myös huomattavasti edullisempi ja nopeampi vaihtoehto kuin porapaalutus. Lyöntipaalutuksessa voidaan myös hyödyntää maaperän ominaisuuksia paremmin, kuin pääsääntöisesti kallioon asti porattavissa porapaaluissa. (5, s. 52–54.) Tässä opinnäytetyössä käsitellään vain lyömällä asennettavia teräsbetonipaaluja.

Lyöntipaalut jaetaan toimintatapansa perusteella tukipaaluihin, kitkapaaluihin ja koheesiopaaluihin. On olemassa myös välimuotopaalu, joka yhdistelee näiden toimintatapoja. Tukipaalussa suurin osa kuormasta siirtyy kärjen välityksellä kantavaan pohjaan. Tukipaalu on yleisimmin käytetty vaihtoehto talonrakennuksessa. Kitkapaalussa suurin osa kuormasta siirtyy vaippapinnalla vaikuttavan kitkan välityksellä kitkamaakerrokseen. Kitkapaaluja yleensä harkitaan, kun kova pohja on syvällä kitkamaakerrosten alla. Koheesiopaaluissa kuormat siirtyvät paalun vaippapinnalla syntyvän adheesion välityksellä koheesiomaakerrokseen. Koheesiopaalua voidaan käyttää rakenteille, joille voidaan sallia suuriakin painumia. (5, s. 53.) Paalujen toimintaa on havainnollistettu kuvassa 1.



KUVA 1. Tukipaalun, kitkapaalun, koheesiopaalun ja välimuotopaalun toimintaperiaate. Kuvaa muokattu (5, s. 53)

2.4.1 Koepaalutus

Koepaalutus on lyöntipaalutuksen tärkeimpiä osa-alueita. Sillä saadaan selville, onko pohjatutkimusten perusteella arvioitu paalujen tunkeutumistaso tai tavoitetaso oikea. Jos paalu ei pysähdykään arvioituun tasoon, paalujen pituutta voi olla tarpeen kasvattaa. Vastaavasti, jos paaluja ei saada lyötyä tavoitetasoon asti, paalupituutta voidaan pystyä lyhentämään. Koepaalutuksessa voidaan myös todeta maaperän soveltuvuus lyöntipaalutukseen. (5, s. 83, 84, 89.)

Yleensä koepaalutuksen yhteydessä tehdään myös koekuormituksia paalujen puristuskestävyyden toteamiseksi. Samalla saadaan tietoa myös paalujen ehjyyksistä. Koepaalutusta voidaan myös käyttää yhdessä koekuormitusten kanssa paalun vaippakitkan kehityksen tutkimiseen ja paalun pituuden optimointiin. Usein urakkasopimuksessa määrätään, montako prosenttia tai kappaletta työmaan paaluista pitää koekuormittaa. Paalutustyöluokassa 3 koekuormitetaan lähtökohtaisesti 5 prosenttia työmaan paaluista, jollei suunnitelmissa vaadita suurempaa määrää. (1, s. 55.)

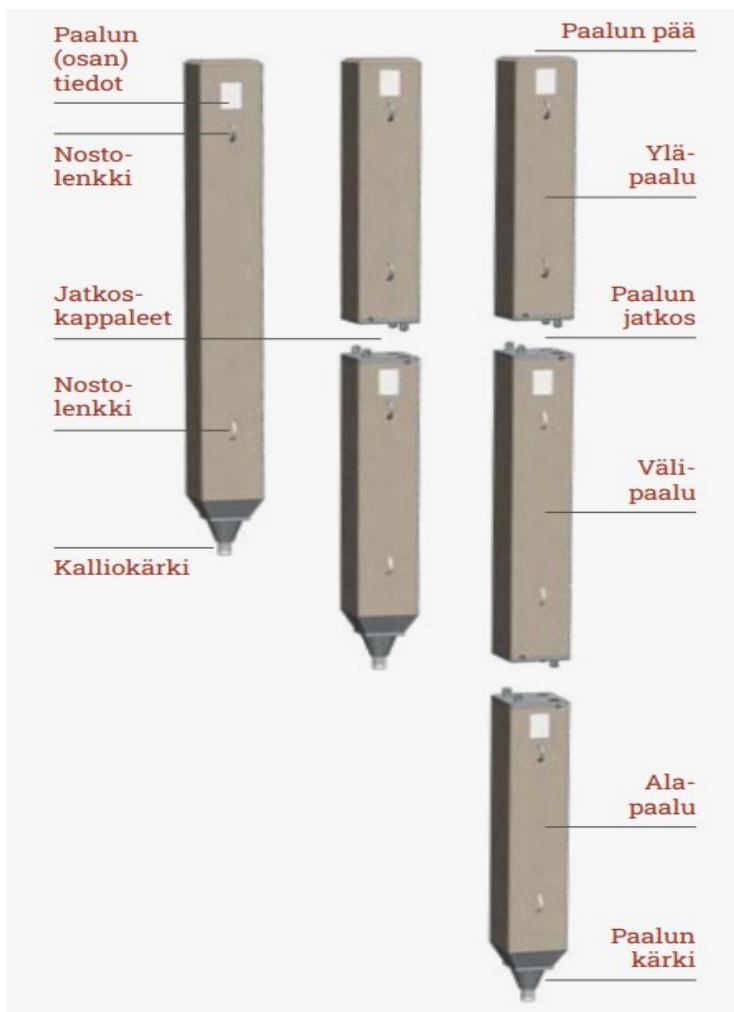
2.4.2 Teräsbetonipaalut

Teräsbetonipaaluilla on hyvä puristus- ja nurjahduskestävyys, ja ne ovat hinnaltaan huomattavasti kilpailukykyisempiä esimerkiksi vastaavan puristuskestävyyden teräsputkiin verrattuna. Paalut mitoitetaan yleensä vähintään 100 vuoden käyttöiälle ja betonia lisäaineistamalla saadaan käyttöikä vielä nostettua. (6, s. 4.) Suomessa käytettävät teräsbetonipaalukoot on esitetty taulukossa 2.

TAULUKKO 2. Teräsbetonipaalujen perustiedot (6, s. 7)

| Paalutyyppi | Sivumitta [mm] | | Paino [kg/m] | Poikkileikkauksen ala [mm ²] | Vaipan ala [m ² /m] | Betonin lujuus [MPa] |
|-------------|-------------------|-----|-----------------|---|-----------------------------------|-------------------------|
| RTB-250-16 | 250 | +15 | 156 | 62 500 | 1,00 | C40/50 |
| RTB-300-16 | 300 | | 225 | 90 000 | 1,20 | C40/50 |
| RTC-300-16 | 300 | -10 | 225 | 90 000 | 1,20 | C45/55 |
| RTC-350-16 | 350 | | 307 | 122 500 | 1,40 | C45/55 |

Teräsbetonipaaluja voidaan myös jatkaa helposti paaluihin valettujen jäykkien jatkosojien avulla. Tämä mahdollistaa pitkienkin paalujen tekemisen nopeasti ja vaivattomasti. Paalun osat ovat esitettyinä kuvassa 2.



KUVA 2. Teräsbetonipaalun osien nimitykset (6, s. 5)

2.4.3 Teräsbetonipaalujen puristuskestävyys

Teräsbetonipaalun puristuskestävyys määritellään kahdesta vaihtoehdosta. Teräsbetonipaalun rakenteellinen puristuskestävyys tarkoittaa kuormaa, jossa paalun rakenne pettää. Teräsbetonipaalun geotekninen puristuskestävyys puolestaan tarkoittaa kuormaa, jossa maaperä antaa periksi. Korrelaatiokertoimet ja osavarmuusluvut ovat myös paalutuksessa tarvittavia tietoja, joiden avulla huomioidaan laskennan varmuutta puristuskestävyyden mitoituksessa. Niiden avulla suunnittelija voi esimerkiksi määrittää paalun geoteknisen puristuskestävyyden pohjatutkimusten perusteella tai paaluilta koekuormituksissa vaadittavat puristuskestävyysarvot laskennallisten paaluille tulevien kuormien kautta. Eurokoodin mukaisia korrelaatiokerroimia on taulukoitu esimerkiksi staattisille ja

dynaamisille koekuormituksille ja pohjatutkimustulosten kautta määritettävälle geotekniselle puristuskestävyydelle. (1, s. 59–84.) Eurokoodin mukaiset puristuskestävyyden osavarmuusluvut on esitetty taulukossa 3 ja dynaamisten koekuormitusten korrelaatiokertoimet taulukossa 4.

TAULUKKO 3. Kaivettavien, porattavien ja maata syrjäyttävien paalujen kestävyysosavarmuusluvut puristukselle (1, s. 61)

| Kestävyys | Merkintä | Kerroin |
|----------------------|------------|---------|
| Kärki | γ_b | 1,20 |
| Vaippa | γ_s | 1,20 |
| Kokonais-/yhdistetty | γ_t | 1,20 |

TAULUKKO 4. Korrelaatiokertoimet dynaamisille koekuormituksille. Termi n tarkoittaa paalujen koekuormitusten lukumäärää tai prosenttiosuutta paalujen kokonaismäärästä (1, s. 75)

| n | 2–4 / 1–4 % | 5–9 / 5–39 % | 10–14 / 40–64 % | 15–19 / 65–89 % | ≥ 20 / 90–100 % |
|---------|-------------|--------------|-----------------|-----------------|----------------------|
| ξ_5 | 1,60 | 1,50 | 1,45 | 1,42 | 1,40 |
| ξ_6 | 1,50 | 1,35 | 1,30 | 1,25 | 1,25 |

Lukumäärä n tarkoittaa paalujen koekuormitusten lukumäärää tai prosenttiosuutta paalujen kokonaismäärästä. Koekuormitukset on täytynyt tehdä geoteknisen kestävyysosavarmuuden kannalta samanlaisissa pohjaolosuhteissa. Prosenttiosuuden tai kappalemäärän perusteella valitaan se, jonka perusteella saadaan korrelaatiokertoimeksi pienempi arvo. (1, s. 75.)

Korrelaatiokertoimia tarvitaan laskukaavoihin, joilla voidaan johtaa esimerkiksi paalun geoteknisen puristuskestävyyden mitoitusarvo $R_{c,d}$. Dynaamisten koekuormitusten perusteella paalun geoteknisen puristuskestävyyden mitoitusarvo $R_{c,d}$ tulee johtaa kaavalla 1. (1, s. 75.)

KAAVA 1. Paalun geoteknisen puristuskestävyyden mitoitusarvon $R_{c;d}$ laskentakaava

$$R_{c;d} = R_{c;k} / \gamma_t$$

jossa

$$R_{c;k} = \text{Min}\{ (R_{c;m})_{\text{mean}} / \xi_5 ; (R_{c;m})_{\text{min}} / \xi_6 \}$$

$R_{c;d}$ = geoteknisen puristuskestävyyden mitoitusarvo (N)

$R_{c;k}$ = geoteknisen puristuskestävyyden ominaisarvo (N)

$(R_{c;m})_{\text{mean}}$ = mittauksissa saatujen tulosten keskiarvo (N)

$(R_{c;m})_{\text{min}}$ = mittauksissa saatujen tulosten minimiarvo (N)

ξ_5 = mittaustulosten keskiarvon korrelaatiokerroin

ξ_6 = mittaustulosten minimin korrelaatiokerroin

Jos koekuormitetaan kitkapaaluja tai paalupituudet vaihtelevat paljon tai dynaamisista koekuormituksista on vähäisesti vastaavaa kokemusta, niin ξ -arvot kerrotaan mallikertoimella 1,05. Jos mittauksessa käytetään signaalinsovitusta, ξ -arvot voidaan kertoa mallikertoimella 0,9. Jos rakenteet ovat riittävän lujia ja jäykkiä siirtämään kuormia heikommilta paaluilta vahvemmillä paaluille, ξ -kerroimet voidaan jakaa luvulla 1,1. (1, s. 75.)

Teräsbetonipaalujen geoteknisen puristuskestävyyden mitoitusarvo voidaan määrittää lyönninkestävyyden kautta. Tämä vaatii aina dynaamisten koekuormitusten tekemistä puristuskestävyyden varmistamiseksi. Tätä tarkoitusta varten paaluille on taulukoitu maksimiarvot, jotka paaluista voidaan lyöntityön perusteella korkeintaan suunnitella osoitettavaksi. Lyönninkestävyyden kautta saadut arvot tulee kaavan 1 mukaisesti jakaa osavarmuusluvulla ja korrelaatiokertoimella, jotta saadaan lopullinen geoteknisen puristuskestävyyden mitoitusarvo. Mitoitusarvoa laskettaessa on huomioitava, että joissakin tapauksissa paalun rakenteellinen kestävyys voi kuitenkin muodostua määräväkiksi geoteknisen puristuskestävyyden sijaan. (6, s. 20.) Lyönninkestävyyden kautta saatavat maksimiarvot on esitetty taulukossa 5.

TAULUKKO 5. Lyönninkestävyyden kautta määräytyvä paalun geoteknisen puristuskestävyyden maksimiarvo $R_{c,max}$ RT betonipaaluille (6, s. 20)

| Paalutyyppi | $R_{c,max}$ [kN] | | |
|-------------|------------------|------|------|
| | PTL1 | PTL2 | PTL3 |
| RTB-250-16 | 1101 | 1231 | 1395 |
| RTB-300-16 | 1579 | 1765 | 2000 |
| RTC-300-16 | 1811 | 2024 | 2293 |
| RTC-350-16 | 2459 | 2748 | 3114 |

Betonipaaluille on myös taulukoitu rakenteellisten ja geoteknisten puristuskapasiteettien laskennallisia mitoitusarvoja murtorajatilassa. Näistä kahdesta arvosta suunnittelija valitsee paalun puristuskestävyyden mitoitusarvoksi pienemmän arvon, johon sitten vertaa laskennallisia paaluille tulevia kuormia paalun käyttöasteen määrittämiseksi. (6, s. 16.) Arvot on esitetty liitteessä 1.

3 PAALUPITUUDEN OPTIMOINNIN VAIKUTUKSET

Paalutuksen optimoinnilla on monia vaikutuksia. Keskeisimmät niistä ovat taloudellisia ja ajallisia vaikutuksia (7, s. 26, 246). Nykyään kiinnitetään myös koko ajan enemmän huomiota hiilipäästöihin ja jokainen säästetty paalometri pienentää myös hiilipäästöjä (8).

Paalutusurakan kokonaiskustannuksiin vaikuttaa moni asia aina urakkamuodosta kilpailutilanteeeseen. Maaperän kivisyys ja lujuus- ja muodonmuutosominaisuudetkin vaikuttavat paalutuksen kustannuksiin. Paalutuksen kustannukset muodostuvat pääasiassa materiaaleista, kuljetuskustannuksista ja lyöntityöstä. Materiaalia ovat paalut ja niihin liittyvät varusteet. Kuljetuskustannukset tulevat paalujen kuljetuksesta työmaalle. Lyöntityö koostuu koneen kustannuksista ja työntekijöiden ja työnjohdon palkoista ja niihin liittyvistä kuluista. Koekuormitusten tekeminen ja paalujen katkaisu ovat mahdollisia aliurakoita, jotka usein sisällytetään paalutusurakkaan. Koneen kuljetukset työmaalta toiselle voidaan myös luokitella aliurakaksi käytettäessä ulkopuolista kuljetusyritystä. Lisäksi tulevat urakoitsijan yleiskulut. (7, s. 233.)

3.1 Ajalliset säästöt

Pohjaolosuhteet vaikuttavat paalun uppoamiseen ja sitä kautta paalutustyön keston. Pohjatutkimusten perusteella paalutusurakoitsija arvioi, montako paalometriä paalutuskone pystyy tunnissa lyömään. Tätä kautta saadaan paalutusurakan arvioitu kesto ja pystytään arvioimaan työstä aiheutuvat kustannukset. (9, s. 116.) Paalutustyöhön käytetty aika vaikuttaa mahdollisesti myös työmaan käyttökustannuksiin (7, s. 233).

Rakennustieto Oy:n tietoväylältä löytyy eri arvioita eri paalutusolosuhteiden tehollisille ajoille. Rakennustieto Oy:n julkaisema ”Rakennusosien kustannuksia 2023” antaa vain pari aikamenekkiä paalutukselle. Esimerkkinä teräsbetonipaalun paalutus normaaleissa maaperän olosuhteissa kestää 0,11 työntekijätuntia/metri. (7, s. 26.) Rakennustieto Oy:n julkaisema ”Aikataulukirja 2024” antaa suuremman määrän menekkitietoja paalutukselle eri olosuhteissa. Esimerkkinä paalutuskohteen ollessa normaali paalutettava maa ja paalun pituuden ollessa yli 10 metriä, paalutuksen on

arvioitu vievän 0,028 konetuntia/metri. Nämä arvot tulee kertoa työmaakohtaisesti arvioitavalla ker-toimella 1,1–1,3 lopullisen työn kokonaisajan saamiseksi (9, s. 57, 116).

Paalutusryhmän tuntihinta riippuu paalukoneen koosta ja urakoitsijasta, mutta on luokkaa 200–250 euroa/tunti. Paalun lyöntityölle saadaan laskettua kustannus esimerkiksi $1,2 * 0,028$ konetun-tia/metri * 200 euroa/konetunti = 6,72 euroa/metri. Lyöntihinta vaihtelee pohjaolosuhteiden mu-kaan työmaakohtaisesti välillä 5–12 euroa/metri, mahdollisesti enemmänkin. (9, s. 9.)

Paalutukseen liittyviä menekkejä ovat myös paalujen jatkaminen ja katkaisu. Aikataulukirja 2024 arvioi jatkopaalun jatkamisen vievän 0,018 työntekijätuntia/kappale ja teräsbetonipaalun katkaisun 0,11 työntekijätuntia/kappale. Lisäkustannuksia voi aiheutua, jos pohja ei kanna paalukonetta. Täl-löin voidaan joutua käyttämään ajolavoja koneen alla, jotta kone pystyy työskentelemään. Lavojen käyttäminen hidastaa paalutustyötä ja lisää paalutustyön kustannuksia. Aikataulukirja 2024 arvioi paalutuksen työmenekin lisääntyvän 0,030 työntekijätuntia/metri käytettäessä lavoja koneen alla. (9, s. 116.)

3.2 Paalumetrien säästäminen

Paalumetrin hintaan vaikuttavat paalujen määrä, tyyppi, koko, käytettävän betonin lujuus ja vaadit-tavat rasitusluokat. Teräsbetonipaalun tyyppi on B tai C, joista C-paalussa käytetään suuremman lujuusluokan betonia ja sen puristuskestävyys on B-paalua suurempi. Siksi C-paalun hinta on myös kalliimpi. Paalun koko vaikuttaa paaluun tarvittavan betonin määrään ja suurempi paalukoko mak-saa siksi enemmän. Rasitusluokkavaatimukset vaikuttavat betoniin lisättäviin lisäaineisiin ja nosta-vat paalumetrin hintaa. (6, s. 7, 9.)

Rakennusosien kustannuksia 2023 -julkaisusta löytyy esimerkkihintoja eri kokoisille paaluille (7, s. 246). Kalliokärjet ja paalujatkokset kasvattavat myös paalutuksen kustannuksia. Niiden hinta riip-puu paalukoosta. Sulfaattirasituksen kestävyys on yleinen teräsbetonipaaluilta vaadittu ominai-suus, joka aiheuttaa myös lisää kustannuksia paalun hintaan. (10.) Teräsbetonipaalujen ja niiden tarvikkeiden hintoja on esitetty taulukossa 6.

TAULUKKO 6. Teräsbetonipaalujen ja tarvikkeiden hintoja (7, s. 246; 10)

| Nimike | Hinta (euroa) | Yksikkö |
|-----------------------------------|---------------|---------|
| TB250x250 | 22,26 | Metri |
| TB300x300 | 32,70 | Metri |
| TB350x350 | 45,90 | Metri |
| SR-lisä | 1,5–2,5 | Metri |
| Jatkos | 120–200 | Pari |
| Kalliokärki | 80–160 | Kappale |
| Paalun tasakatkaistu, teräsbetoni | 9–15 | Kappale |

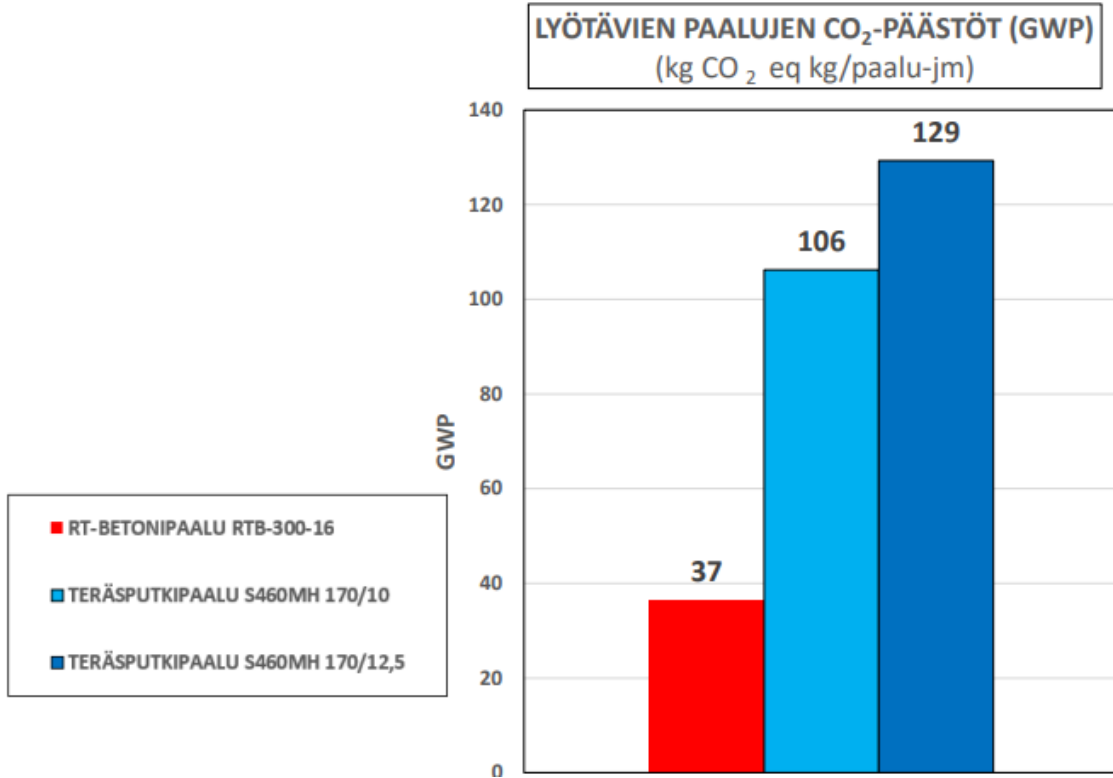
Lyöntityön hinta liikkuu välillä 5–12 euroa/metri ja paalumetrin materiaalin hinta välillä 22–46 euroa/metri. Tästä voidaan laskea, että lyödyn paalun metrihinnasta noin 65–90 prosenttia tulee materiaalista. Paalumetrejä säästämällä voidaan siis saada suuremmat säästöt kuin aikaa säästämällä. Jos paalua pystytään optimoimalla lyhentämään, saattaa myös jatkoksia jäädä pois, mikä lisää säästöjä. (10.)

3.3 Hiilipäästöt

Betonia käytetään maailmassa noin 10 miljardia kuutiometriä vuodessa ja sementin valmistus aiheuttaa 5–8 prosenttia maailman hiilidioksidipäästöistä. Hiilipäästöt ovat ajankohtainen aihe ja rakennuslakeja päivitettäessä hiilipäästöt otetaan entistä paremmin huomioon. Tulevaisuudessa hiilijalanjälki ja -kädenjälki täytyy arvioida rakennuslupaa varten ja rakennuksen elinkaaren aikaisille päästöille asetetaan rajoja. Pohjarakenteille ei toistaiseksi olla asettamassa päästörajoja, mutta tulevaisuudessa sekin on mahdollista. (8.)

Teräsbetonipaaluille on laskettu niiden aiheuttamia hiilidioksidipäästöjä. Päästöt riippuvat paalun koosta, tyypistä ja rasitusluokasta. Teräsbetonipaalu on kuitenkin päästöissä vielä huomattavasti vastaavan puristuskestävyyden teräsputkipaalu ympäristöystävällisempi vaihtoehto. Esimerkiksi

teräsbetonipaalun RTB-300-16 hiilidioksidipäästöt ovat noin 35 prosenttia vastaavan puristuskestävyyden teräspalkkipaalun RR170/10 S460MH päästöistä. (6, s. 27.) Paalumateriaalien hiilidioksidipäästöjen vertailua on esitetty kuvassa 3.



KUVA 3. Lyötävien paalujen CO₂-päästöt (GWP). GWP tarkoittaa Global Warming Potential, kg CO₂ eq tarkoittaa kilogrammaa hiilidioksidiekvivalenttia ja jm on juoksumetri (11, s. 7)

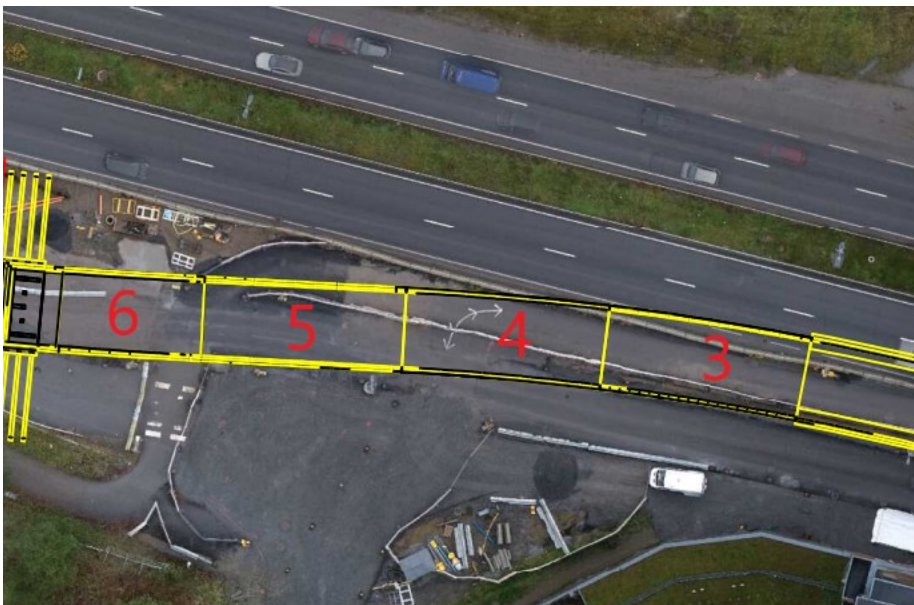
Kuvasta nähdään esimerkkinä, että hiilidioksidipäästöt RTB-300-16 teräsbetonipaalulle ovat 37 kilogrammaa hiilidioksidiekvivalenttia/paalumetri. Lisäksi paalutuksen päästöihin tulee paalujen kuljetuksesta aiheutuvat päästöt. Paalujen kuljetuksesta tulee esimerkiksi 75 kilometrin kuljetusmatkalle päästöjä 2,8 kilogrammaa hiilidioksidiekvivalenttia/paalumetri. Lyöntityöstä aiheutuu dieselmoottorisella yli 40 tonnin paalukoneella 86,8 kilogrammaa hiilidioksidiekvivalenttia/tunti. Se tarkoittaa noin 1,7 kilogrammaa hiilidioksidiekvivalenttia/paalumetri, jos paalukone lyö 50 metriä/tunti. Noin 90 % teräsbetonipaaluilla paalutuksen päästöistä tulee siis materiaalista sementin suurten päästöjen takia. (8, s. 10.)

4 TUTKITUT KOHTEET

Kolmella tutkitulla työmaalla säästöjä haettiin useammalla tavalla. Ensimmäisellä työmaalla yritettiin säästää paalumetrejä hyödyntämällä paalujen vaippakitkan kehitystä kitkamaissa. Toisella työmaalla säästöjä haettiin lyöntipaalujen eri suuruisten kuormitusasteiden kautta määrittämällä teräsbetonipaaluille useampia loppulyöntiehtoja. Kolmannella työmaalla säästöjä haettiin vaihtamalla paalumateriaali teräsputkipaalusta teräsbetonipaaluun, vaikka vaihdos aiheuttikin myös ylimääräistä työtä.

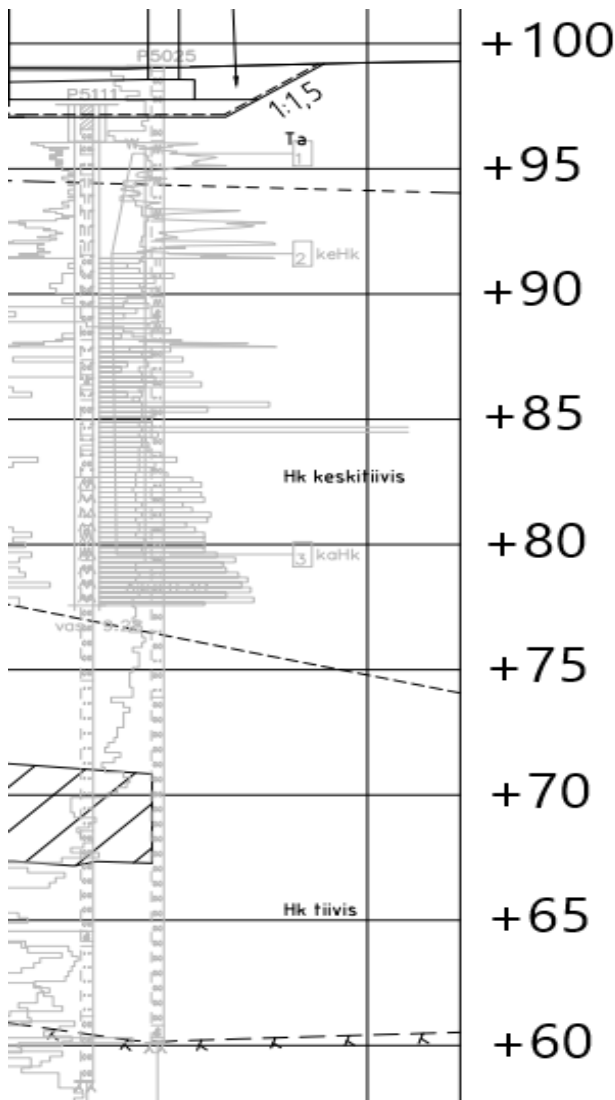
4.1 Työmaiden lähtötiedot

Työmaalla 1 Tampereen Raitiotieallianssissa Santalahdessa lyötiin paalulaattojen paaluja tulevan ratarakenteen pohjan vahvistamiseksi. Raitiotien paalulaatat sijoituivat liikennöidyn tien viereen rakennetulle alueelle. Kohteessa oli neljä paalulaattaa, yhteispituus noin 76 metriä. Paaluja oli yhteensä 160 kappaletta, joista neljä paalua oli lyöty jo aiemmin viereen tulevan sillan maatuen paalutuksen yhteydessä. Työ toteutettiin teräsbetonisilla RTC-300-16 kalliokärjellisillä lyöntipaaluilla. Paalulaatat on esitetty maastoon sijoitettuna kuvassa 4.



KUVA 4. Santalahden työmaan paalulaatat 3, 4, 5 ja 6 maastoon sijoitettuna (12)

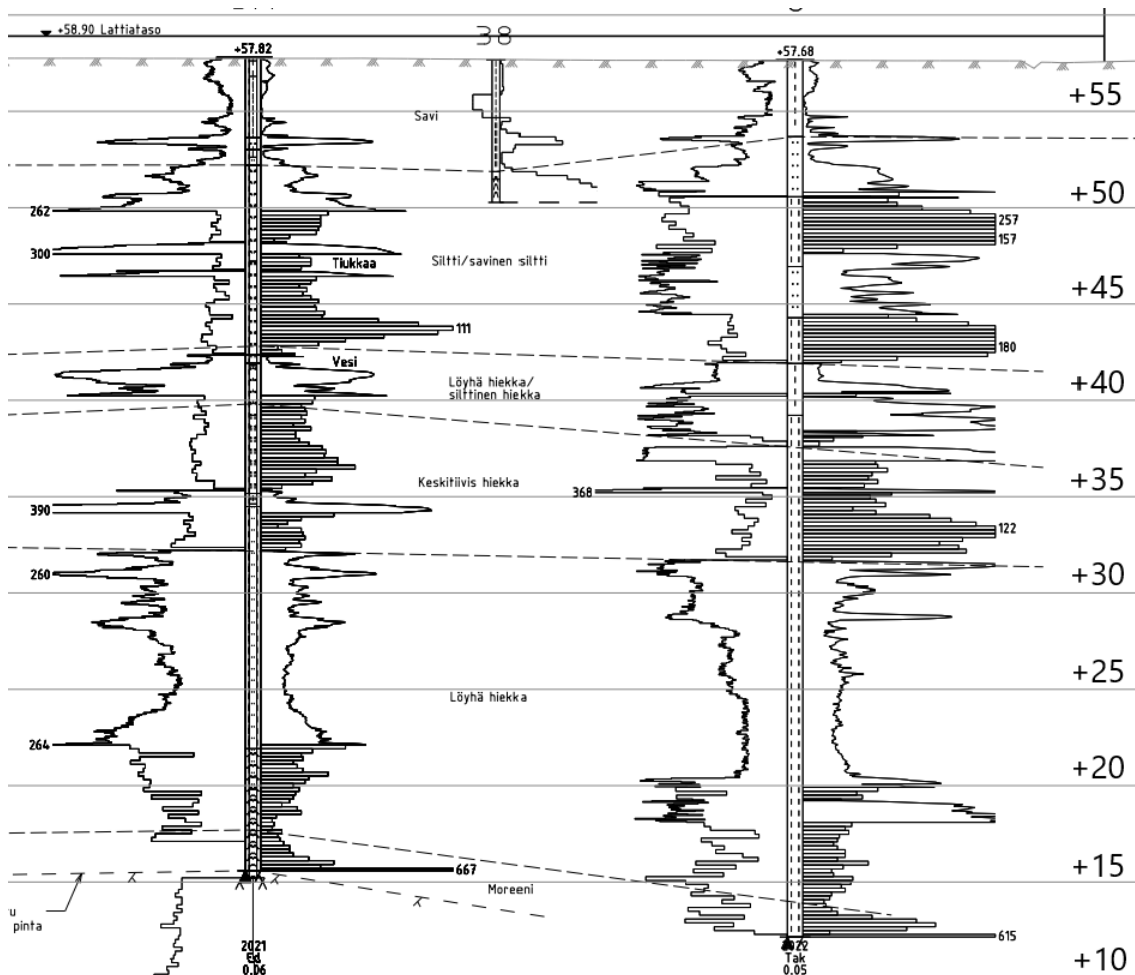
Suunnittelija oli ilmoittanut Santalahden työmaan paalutustyöluokaksi PTL2. Paalutyypiksi oli alustavasti suunniteltu tukipaalu. Paalujen katkaisutaso oli noin +97. Pohjatutkimuksien perusteella oli havaittu, että pintamaan alla oli noin 6–8 metriä savea, jonka jälkeen alkoi paksu keskitiivis hiekkakerros, joka muuttui tiiviiksi hiekkakerrokseksi 20–25 metrin syvyydessä maanpinnasta. Kallionpinta oli määritetty syvyyteen 35–37 metriä maanpinnasta (kuva 5).



KUVA 5. Yksi Santalahden työmaan pohjatutkimuksista (13)

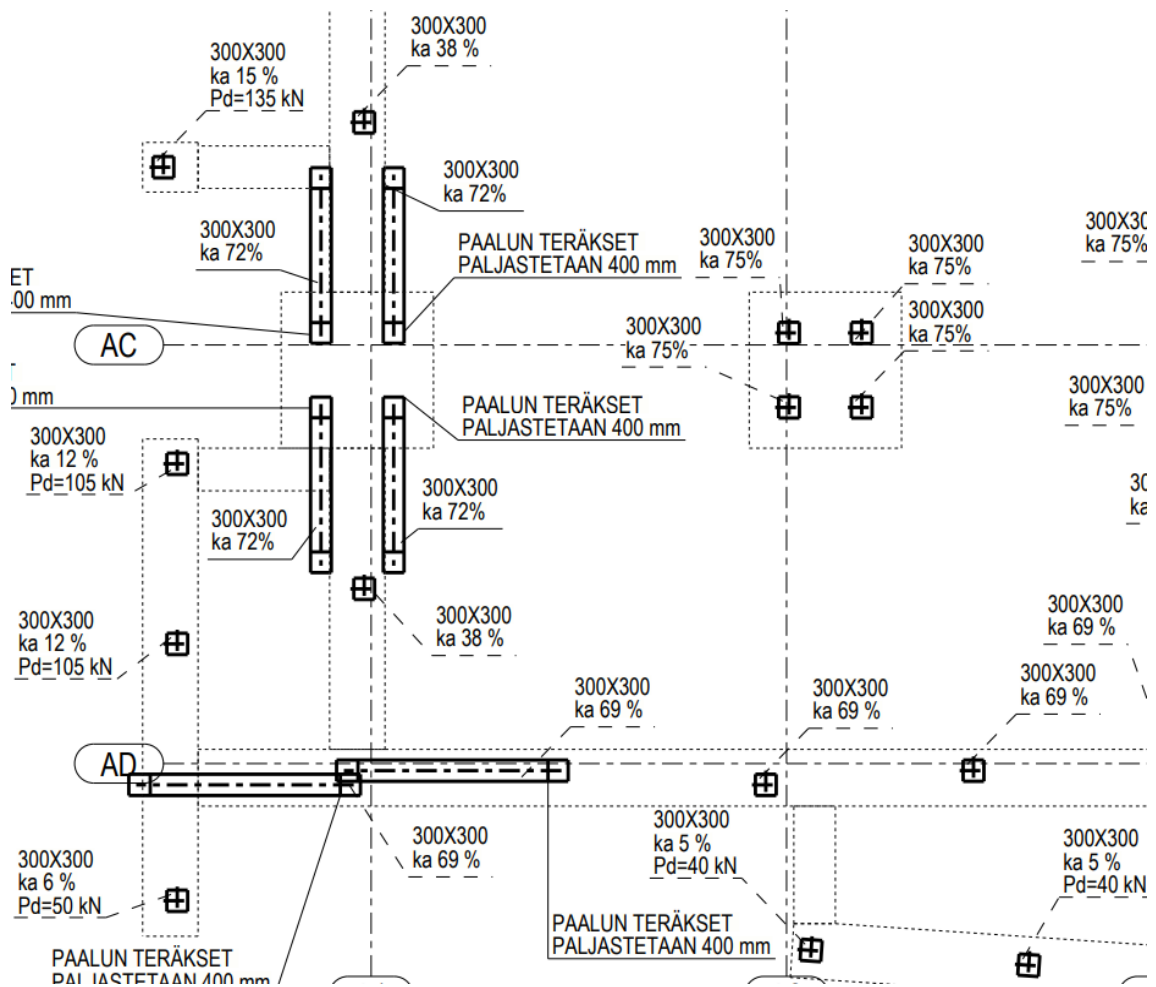
Santalahren työmaan paalujen pituudet oli paaluluettelon mukaan alustavasti arvioitu välille 28–34 metriä, eli paalujen kärjet pysähtyisivät tiiviiseen hiekkakerrokseen, joka näkyy kuvan 5 alaosassa. 31-metriset ja pidemmät paalut olisivat olleet kahden jatkoksen paaluja, 30-metriset ja lyhyemmät yhden jatkoksen paaluja.

Toimeksiantajan pyynnöstä Työmaan 2 projektin nimi ja sijainti on jätetty pois. Työmaalla 2 löytiin paaluja suuren rakennuksen perustuksien alle. Paaluja työmaalla oli yhteensä 603 kappaletta. Työ toteutettiin teräsbetonisilla RTB-300-16-lyöntipaaluilla. Työmaan paalukartta on esitetty liitteessä 2. Pohjatutkimusten mukaan työmaan alueella oli ensin 0,5–1,5 metriä pintamaita, jotka olivat osin humuspitoisia. Seuraavaksi oli noin 3–5 metriä savea, jonka jälkeen maalaji muuttui silttipitoisemmaksi. Silttisen maakerroksen alapuolella alkoivat hiekkapitoisemmat maakerrokset, joissa oli keskitiivistä hiekkaa ja löyhää hiekkaa. Pohjalla oli 1–3 metrin paksuinen moreenikerros. Kallionpinta oli parissa pisteessä varmistettu porakonekairauksella ja sen arvioitiin olevan työmaan alueella noin 40–46 metrin syvyydessä maanpinnasta. Paalujen katkaisutaso oli noin +56. Alueen pohjatutkimuksia on esitetty kuvassa 6.



KUVA 6. Osa Työmaan 2 pohjatutkimuksien tuloksista (14)

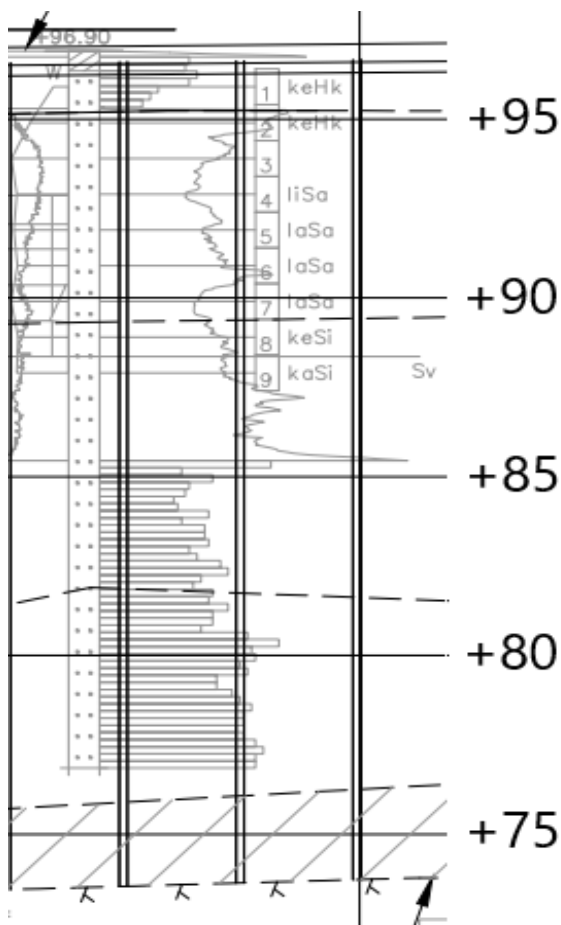
Työmaan 2 paalutustyöluokaksi oli määritetty PTL2. Paalutyypiksi oli alustavassa perustamistapa-lausunnossa määritetty teräsbetoninen tukipaalu. Alustavassa urakkalaskennassa paalujen pituudet laskettiin tämän mukaan. Paalujen pituudeksi oli arvioitu 41–45 metriä. Paalua oli arvioitu me-nevän kokonaisuudessaan 23 551 metriä. Suunnittelun ja paaluille tulevien kuormien tarkentuessa pienemmän kuormitusasteen paaluja päätettiin yrittää lyödä kitkapaaluina paalumetriensä säästä-miseksi. Suunnittelija antoi yhden elementin kitkapaaluille puristuskestävyysvaatimukseksi 180 ki-lonewtonia, kahden elementin kitkapaaluille 510 kilonewtonia ja pitkille tukipaaluille 881 kilonewto-nia. Kuvassa 7 on esitetty otos paalukartasta, jossa näkyy kuormitusasteiden vaihteluita.



KUVA 7. Osa Työmaan 2 paalukartasta, jossa paalujen kuormitusasteet näkyvät (15)

Työmaalla 3 Tampereen Raitiotieallianssissa Näsisaarella lyötiin paalulaattojen paaluja tulevan ratarakenteen pohjan vahvistamiseksi. Kohteessa oli kaksi suurta paalulaatta, jotka on esitetty liitteessä 3. Paalutustyöluokaksi oli määrätty PTL2. Paalut oli suunniteltu tukipaaluiksi ja niitä oli 261 kappaletta. Työ oli alustavasti suunniteltu toteutettavaksi lyötävillä 220/12.5 teräspalkkipaaluilla, koska alueella oli paksuja louhetäyttöjä. Työ kuitenkin toteutettiin teräsbetonisilla RTC-350-16 kallojärjellisillä lyöntipaaluilla. Paaluille tehtiin teräspiikillä täryttämällä esireiät louheen läpi teräsbetonipaalun rikkoutumisen estämiseksi.

Näsisaaren alueen pohjatutkimuksissa näkyy pinnassa oleva louhekerros, jonka paksuus oli noin 2–6 metriä. Seuraavaksi oli noin kymmenen metriä hienoainesmaalajeja. Hiekkakerroksia oli noin 12 metrin syvyydestä noin 20 metrin syvyyteen maanpinnasta. Hiekkakerroksen ja kallionpinnan välissä oli noin pari metriä moreenia. Kallionpinnan oli arvioitu olevan noin 24–27 metrin syvyydessä maanpinnasta. Kuvassa 8 on esitetty alueella tehty pohjatutkimus.

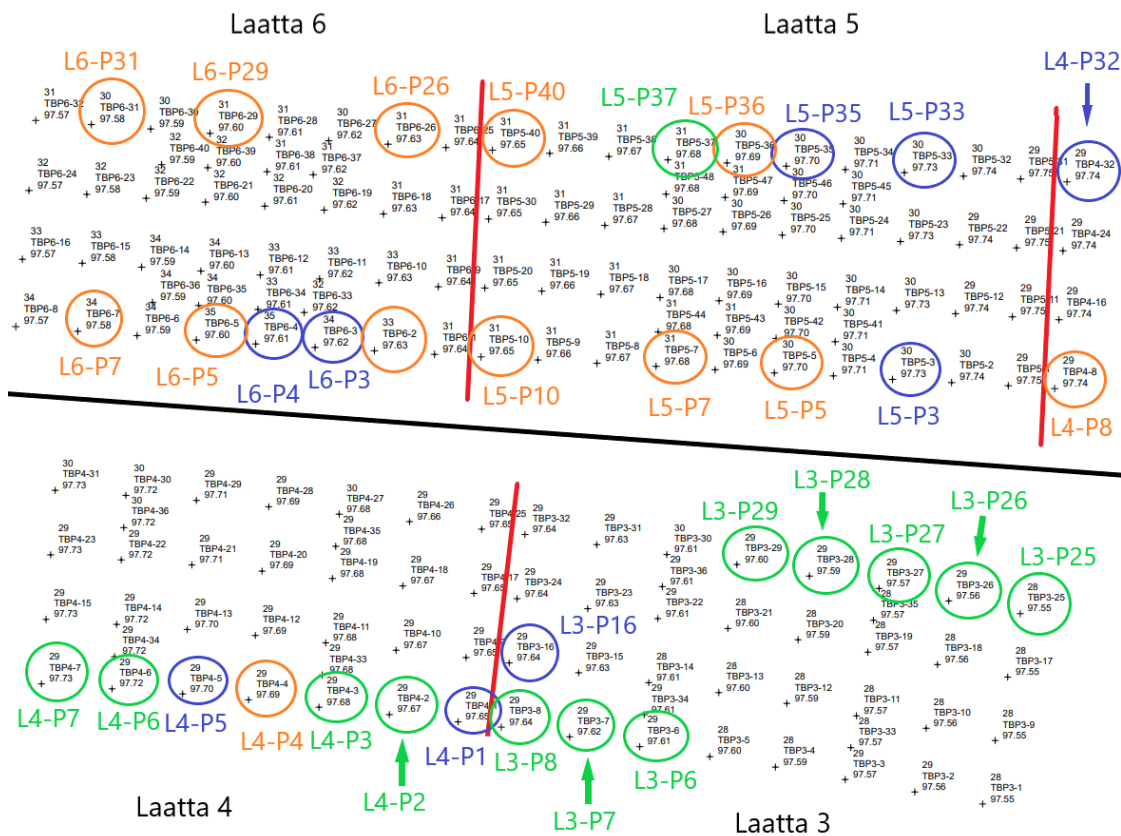


KUVA 8. Yksi Näsisaaren työmaan pohjatutkimuksista (16)

4.2 Työmaiden paalutustyöt

4.2.1 Santalahden työmaan lyöntipaaluutus

Pohjatutkimusten perusteella havaittiin paksujen kitkamaakerroksien olemassaolo savikerroksen alapuolella. Koepaalutuksessa päätettiin kokeilla hyödyntää paalujen vaippakitkankehitystä paalujen lyhentämiseksi. Koepaalutusta suoritettiin kahtena eri ajankohtana ja paaluja koekuormitettiin kolmena päivänä. Ensimmäinen koepaalutus suoritettiin 21.–22.9.2022 ja paalut koekuormitettiin 29.9.2022. Toinen koepaalutus suoritettiin 8.–11.11.2022. Paaluja koekuormitettiin toisen kerran 9.11.2022 ja kolmannen kerran 14.11.2022. Kuvassa 9 on esitetty Santalahden työmaan paalukartta, johon on merkitty eri ajanjaksoina koekuormitetut koepaalut.



KUVA 9. Alueen paalukartta, johon on punaisella merkitty laattarajat, sinisellä ympyröity ensimmäisellä kerralla koekuormitetut koepaalut, oranssilla ympyröity toisella kerralla koekuormitetut koepaalut ja vihreällä ympyröity kolmannella kerralla koekuormitetut koepaalut (17)

Ensimmäisellä koepaalutuskerralla 21.–22.9.2022 lyötiin yhdeksän paalua. Paalu L3-P16 lyötiin 35 metrisenä ja paalut L5-P35 ja L6-P4 36 metrisinä syväälle tiiviiseen hiekkaan. Paalut L3-P16 ja L6-P4 jätettiin hieman loppulyöntiehtoja löyhempään, jotta loppulyöntiehtoja voitaisiin optimoida, jos koekuormitusten perusteella edelleen päädyttäisiin tukipaaluun. Paalu L5-P35 täytti loppulyöntiehdot jo noin kolme metriä ylempänä kuin kaksi muuta paalua. Loput kuusi paalua lyötiin 26 metrisinä loppupainumasta välittämättä vähintään metri paalua näkyville jättäen, jotta paaluille pystyttiin tekemään koekuormitukset. Huomattavaa koepaalutuksessa oli, että kaksi 26 metrisistä paaluista täytti jo tukipaalun loppulyöntiehdot ja toinen niistä, L5-P33, ei mennyt aiottuun syvyyteen. Sen arveltiin jääneen lyöntivaiheessa kivien päälle. Paalun L4-P5 arveltiin menneen jo lyöntivaiheessa rikki. Nämä vihjasivat maaperän sisältävän myös kiviä.

Ensimmäisellä koekuormituskerralla 29.9.2022 koekuormitetut 21.–22.9.2022 lyödyt paalut on esitetty kuvassa 9. Kaikki paalut täyttivät puristuskestävyysvaatimukset rikkinäiseksi todettua paalua L4-P5 lukuun ottamatta. Dynaamisista koekuormituksista tietokoneelle saatujen iskuvaatimusten perusteella todettiin suuren osan paalujen geoteknisestä puristuskestävyydestä tulevan paalun vai-palta. Ensimmäisen mittauskerran kokonaistulokset on esitetty liitteessä 4. Saaduilla tuloksilla ja suunnittelijan hyväksynnällä paalun pituus saatiin jo pudotettua 24 metriin, kun otettiin huomioon, että sen hetkinen lyöntitaso oli noin kaksi metriä paalujen katkaisutason yläpuolella. Lyhyemmät paalupituudet laitettiin heti tehtaalle tilaukseen, että tehdas ehti valmistaa riittävästi paaluja työ-maan tarpeisiin ennen varsinaisen paalutuksen alkamista. Onnekasta tilanteesta oli myös se, että jättämällä alkuperäisistä yli 30-metrisistä kolmen komponentin paaluista välipaalu pois, saatiin jo valetuista paalujen komponenteista uusille loppulyöntiehdoille sopivamman pituisia kahden komponentin paaluja. Uudet loppulyöntiehdot olivat koepaalujen koekuormitusten perusteella alle 90 millimetriä/10 iskua kärjen ollessa samassa syvyydessä vastaavissa maakerroksissa.

Toisen kerran koepaalutusta toteutettiin 8.–11.11.2022. 8.11. lyötiin 12 kappaletta lisää uuden pi-tuuden mukaisia 24 metrisiä koepaaluja tavoitesyvyyteen painumasta välittämättä. 9.11.2022 lyö-tiin vielä yksi 24 metrinen paalu, joka upotettiin maahan vain noin 18 metriä ja jätettiin suureen 117 millimetrin loppulyöntipainumaan. Tällä haluttiin tutkia vielä lyhyemmän paalun käyttömahdollisuutta. Koepaalutuksessa huomattavaa oli, että paalut L6-P2 ja L6-P31 eivät menneet määräsy-vyyteen vaan jäivät oletettavasti kivien päälle. Kyseiset paalut olivat tukipaalun loppulyöntipainu-missa, joten lyönti lopetettiin. Muiden paalujen käyttäytymisessä ei havaittu mitään poikkeavaa.

Toisella koekuormituskerralla 9.11.2022 koekuormitetut 8.–9.11.2022 lyödyt paalut on esitetty kuvassa 9. Tällä kerralla koekuormitetut paalut olivat olleet maassa maksimissaan vain vuorokauden ja saadut geoteknisen puristuskestävyyden tulokset olivat pienempiä, kuin ensimmäisellä kerralla 29.9.2022 koekuormitetuilla paaluilla. Geoteknisen puristuskestävyyden vaatimuksetkin olivat hieman nousseet, koska vaadittavat puristuskestävyyden arvot täytyi kertoa vielä korrelaatiokertoimella 1,05, joka on kitkapaaluja koekuormitettaessa käytettävä eurokoodin mukainen mallikerroin. Melkein kaikki paalut kuitenkin jo täyttivät puristuskestävyydelle asetetut vaatimukset. Ainoastaan 18 metriin lyöty ja suureen painumaan jätetty paalu L4-P4 ei täyttänyt vaatimuksia. Tässä huomioitavaa oli, että paalu oli lyöty samana päivänä kuin koekuormitukset suoritettiin, joten kitkaa ei ollut vielä ehtinyt kehittymään. Toisen koekuormituskerran kokonaistulokset on esitetty liitteessä 5. Toisen koekuormituskerran tulosten perusteella uusiksi loppulyöntiehdoksi esitettiin alle 140 millimetrin painumaa 10 lyönnin sarjalla ja 20 senttimetrin pudotuskorkeudella paalun kärjen ollessa samassa syvyydessä. Suunnittelija hyväksyi uudet loppulyöntiehdot.

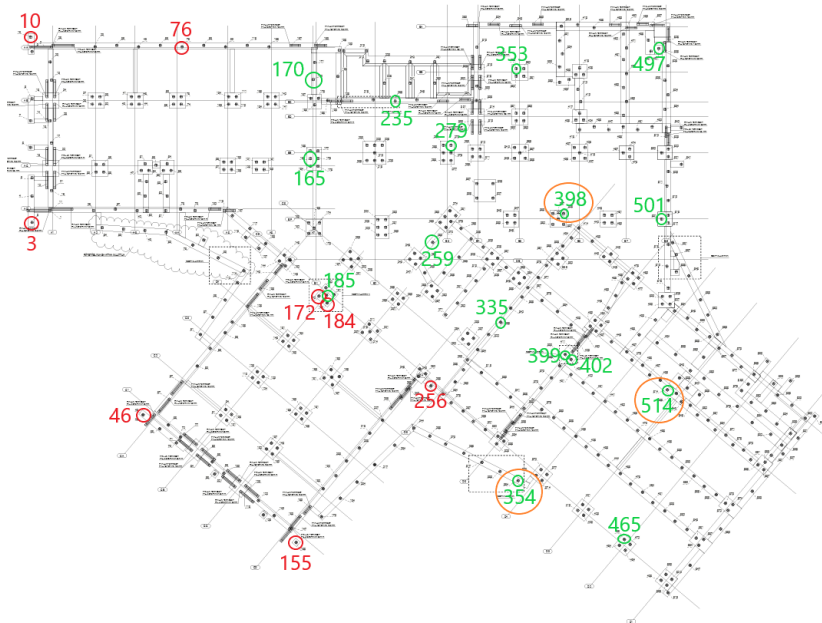
Toisen koekuormituksen jälkeen koepaaluja lyötiin vielä 13 kappaletta lisää välillä 9.-11.11.2022. Suuri osa paaluista lyötiin laatan 3 alueelle. Laatan 3 alueella pehmeiden maakerrosten todettiin olevan hieman ohuempia, joten sinne lyötiin kaksi koepaaluja vain 15 metrin mittaisina. Loput 11 paaluja lyötiin 24 metrisinä loppupainumasta välittämättä ja osa paaluista jätettiin vielä pari metriä aiempaa ylemmälle tasolle. Koepaaluksessa huomioitavaa oli, että laatan 3 paalut täyttivät tukipaalun loppulyöntiehdot tai olivat ainakin hyvin lähellä tukipaalun vaadittua painumaa. Paalujen käyttäytymisessä ei havaittu muuta poikkeavaa.

Kolmannella koekuormituskerralla 14.11.2022 koekuormitetut 9.–11.11.2022 lyödyt paalut on esitetty kuvassa 9. Paalut olivat silloin olleet maassa 3–6 päivää. Aamulla 9.11.2022 lyöty ja koekuormitettu paalu L4-P4 koekuormitettiin nyt uudestaan. Myös lähimpänä minimivaatimusta olleet 8.11.2022 lyödyt ja 9.11.2022 koekuormitetut paalut L6-P5 ja L6-P29 koekuormitettiin uudestaan. Kaikki paalut täyttivät vaatimukset. Paalujen L4-P4, L6-P5 ja L6-P29 puristuskestävyys oli noussut huomattavasti edellisestä 9.11.2022 suoritetusta koekuormituksesta. Iskuaaltokuvaajien perusteella suuren osan paalujen geoteknisestä puristuskestävyydestä nähtiin tulevan paalujen vaipalta. Kolmannen koekuormituskerran kokonaistulokset on esitetty liitteessä 6. Viimeisten koekuormitusten jälkeen loppulyöntiehdoksi ehdotettiin, että paalut lyödään 22 metrisinä samaan syvyyteen ilman painumaehtoja. Suunnittelija hyväksyi loppulyöntiehdot.

Koepaalutuksen ja koekuormitusten valmistuttua alue paalutettiin loppuun. Viimeiset paalut lyötiin 28.11.2022. Alkuun 21.–23.9.2022 koepaalutukseen käytettiin kolme työvuoroa. Sitten kone seiso kolme työvuoroa ja koekuormituksiin 29.9.2022 käytettiin yksi työvuoro. Tämän jälkeen paalutus pysähtyi odottamaan uusien paalujen valamista 27 työvuoron ajaksi. Odotusaikana paalutuskohteen pohja leikattiin kaivuutasoon ja paalutusalue tehtiin valmiiksi. Paalutustyöhön käytettiin 15 työvuoroa välillä 8.–28.11.2022 Yhteensä töitä tehtiin 19 työvuoroa, joka on 152 tuntia. Työmaalla lyötiin yhteensä 3875 metriä teräsbetonipaalua. Työmaalla rikkoutui yksi ainoa paalu, joka meni rikki jo koepaalutusvaiheessa.

4.2.2 Työmaan 2 lyöntipaalutus

Työmaan 2 alueen koepaalutus suoritettiin kolmena ajankohtana. Ensimmäinen koepaalutus Ta pahtui 22.–23.7.2021, toinen koepaalutus 26.–29.7.2021 ja viimeiset koekuormitukset tehtiin varsinaisen paalutustyön ohessa 6.9.2021. Paaluja lyötiin eri syvyyksiin ja eri loppulyöntipainumilla loppulyöntiehtojen selvittämiseksi. Kaikki paalut lyötiin jatkoksellisina, jotta niitä pystyttäisiin tarvittaessa jatkamaan, eikä paaluja menisi hukkaan, jos tulokset eivät olisi olleet riittävän hyviä ylemissä kerroksissa. Lyötyjen koepaalujen sijainnit on esitetty kuvassa 10.



KUVA 10. Työmaalla 2 lyödyt koepaalut. Punaisella 22.–23.7.2021 lyödyt koepaalut, vihreällä 26.–29.7.2021 lyödyt koepaalut ja oranssilla ympyröity 6.9.2021 uudelleen koekuormitetut paalut (15)

Ensimmäisellä kerralla 22.7–23.7.2021 lyötiin 8 paalua, joille tehtiin koekuormitukset heti. Paalu numero 46 jatkettiin pidemmäksi ja lyötiin syvemmälle parempien tuloksien saamiseksi. 26.7–29.7.2021 lyötiin 16 kappaletta lisää paaluja ja paalut koekuormitettiin. Ensimmäisellä kerralla lyödyt ja koekuormitetut paalut 3, 10, 46_1, 155, 184, 256 ja 354 koekuormitettiin nyt uudestaan, kun ne olivat olleet maassa 3–7 vuorokautta vaippakitkankehityksen tutkimiseksi. Osa paaluista myös jatkettiin pidemmäksi ja lyötiin syvemmälle parempien tulosten saamiseksi ja ne koekuormitettiin uudelleen. Koepaalutuksen yhteydessä osan paaluista arveltiin pysähtyneen kivien päälle loppulyöntiehtojen täytyessä. Maaperä oli myös todella tiukkaa ja 40 metrisen paalun upottaminen vei noin 1,5 tuntia. Kahden ensimmäisen koekuormituskerran tulokset on esitetty liitteessä 7.

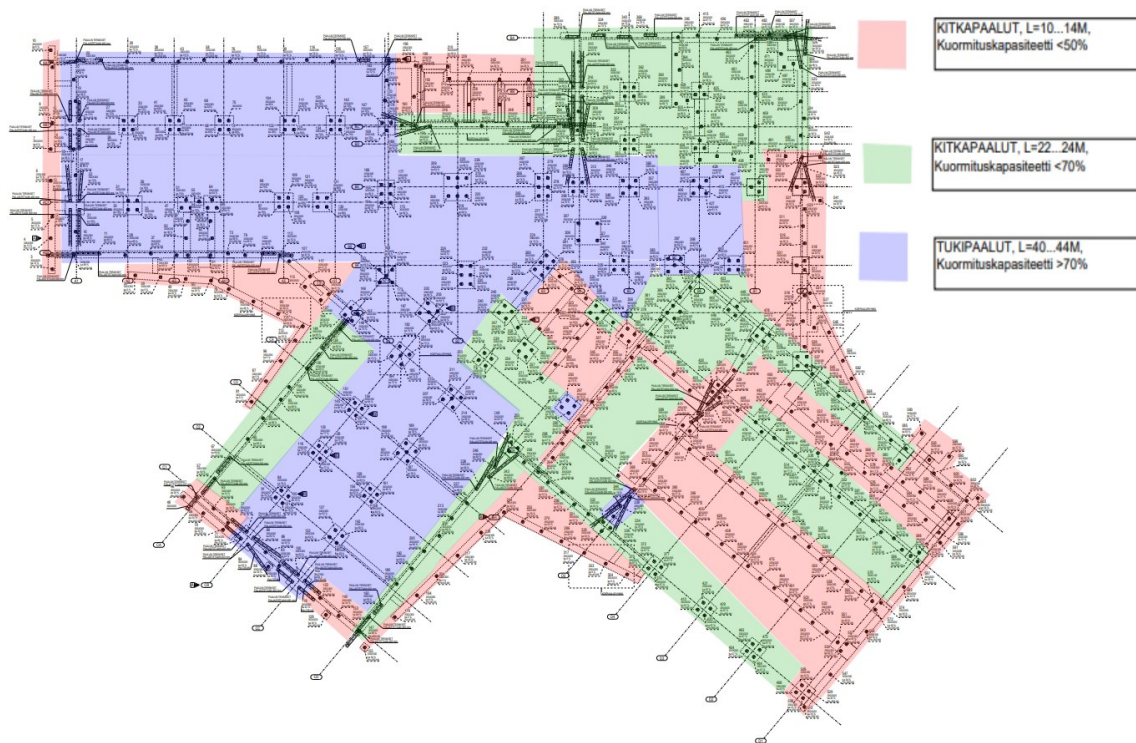
Koekuormitusten iskuaaltokuvaajia tulkitsemalla nähtiin, että paalut eivät juurikaan olleet kehittäneet vaippakitkaa paria paalua lukuun ottamatta. Syvään pohjaan tukipaaluina lyödyille paaluille 10 ja 256 oli kuvaajien perusteella kehittynyt vaippakitkaa paalujen alaosaan. Paalun 46_1 kasvaneen puristuskestävyyden todettiin iskuaaltokuvaajien perusteella tulevan paalun kärjeltä. Syyksi oletettiin mahdollisen maan häiriintymisen palautuminen tai kärjen alla nousseen huokosvedenpaineen tasaantuminen. Paalun vaipalle kuvaaja ei näyttänyt juurikaan muutoksia aiempaan. Muiden paalujen todettiin käyttäytyvän tukipaalun tavoin.

Suunnittelija totesi tulosten olevan hyväksyttäviä. Suunnittelija totesi myös paalujen päälle tulevien rakenteiden olevan riittävän jäykkiä siirtämään kuormia heikoilta paaluilta kantavammille paaluille, jolloin mittauksista vaadittavia geoteknisiä puristuskestävyyksiä pystyttiin hiukan pienentämään. Uudet paalupituudet laitettiin tehtaalle tilaukseen. Paalukone vietiin 16 työvuoron odotusajaksi toiselle työmaalle työskentelemään.

Työmaan varsinainen paalutus käynnistyi 23.8.2021 ja paalutus aloitettiin lyömällä pitkiä tukipaaluja. Työmaalla tehtiin vielä koekuormituksia 6.9.2021. Tällä kertaa koekuormitettiin uudestaan lyhyemmät paalut 354, 398 ja 514, koska haluttiin tutkia kitkankehitystä pidemmältä ajalta. Paaluja kokeiltiin myös mittauksen yhteydessä upottaa lisää. Koekuormitusten tulokset on esitetty liitteessä 8.

Paalut eivät uponneet mittauksen yhteydessä merkittävästi lisää. Paaluille ei ollut kehittynyt merkittävästi lisää vaippavastusta, vaan paalut toimivat edelleen tukipaalun tavoin. Näiden ja aiemmin

tehtyjen koekuormitusten perusteella suunnittelija päätti loppulyöntiehdot. Alle 50 prosentin kuormitusasteella oleville yhden elementin paaluille loppulyöntiehdot olivat, että paalu saavuttaa tavoitesyvyyden tai täyttää PTL2 mukaiset loppulyöntiehdot ennen tavoitetasoa +42...+45. 50–70 prosentin kuormitusasteella oleville kahden elementin paaluille loppulyöntiehdot olivat, että paalu saavuttaa tavoitesyvyyden tai täyttää PTL2 mukaiset loppulyöntiehdot ennen tavoitetasoa +32...+34. Yli 70 prosentin kuormitusasteen paalut tuli lyödä tukipaaluina PTL2 mukaiset loppulyöntiehdot täyttäen. Näiden ehtojen perusteella suunnittelija piirsi kartan, jossa oli eri väreillä ilmaistu lyötävien paalujen pituus. Paalukartta on esitetty kuvassa 11.



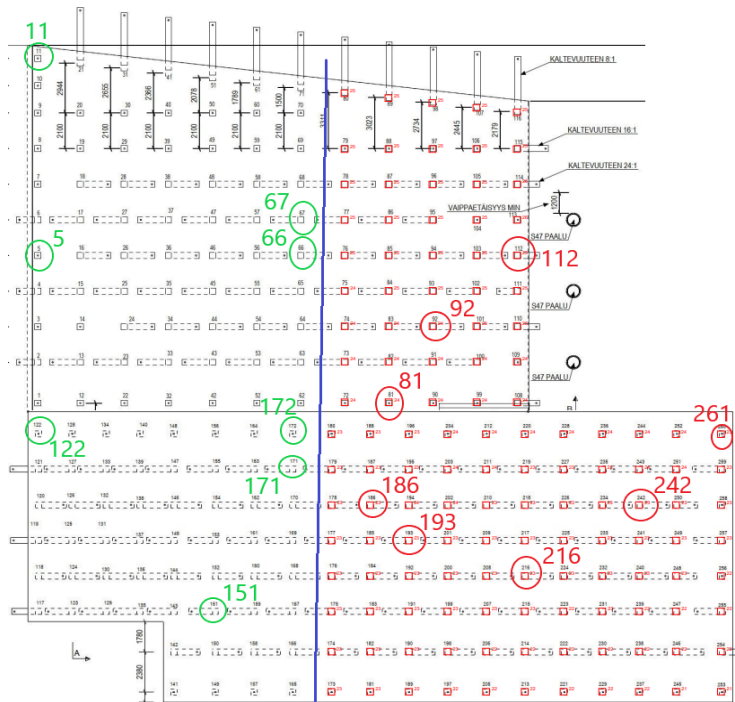
KUVA 11. Paalukartassa paalujen pituudet väreillä ilmaistuna (18)

Varsinainen paalutus aloitettiin 23.8.2021 ja viimeiset paalut lyötiin 19.11.2021. Paaluja lyötiin 1–3 paalukoneella muiden työmaiden aikataulujen salliessa koneiden käyttämisen työmaalla. Paalua lyötiin yhteensä 17 707 metriä. Lyöntimäärät paaluilla olivat suuria. Syvimmälle lyötyn tukipaalu-
jen lyöntimäärät olivat korkeimmillaan yli 6000 lyöntiä. Paalujen lyömiseen käytettiin yhteensä 65 työvuoroa keskimäärin kahdella koneella työskennellen. Tästä laskettuna paalua lyötiin työmaalla noin 34 metriä/tunti kahdella koneella. Työmaan aikana rikkoutui 52 paalua. Oletettavasti syynä olivat suuret lyöntimäärät ja kiviä sisältävä maaperä.

4.2.3 Näsisaaren työmaan lyöntipaalutus

Työteknisistä syistä Näsisaaren työmaan paalulaatat paalutettiin kahdessa osassa. Ensimmäisellä kerralla lyötiin 134 paalua. Noin 60 tonnin poravaunu oli tekemässä esireikiä louheen läpi. Reikiä tehtiin useampia kerralla yhdelle alueelle ja kaivinkone täytti reiät hiekalla heti reiän teon jälkeen. Tällä estettiin louhetta pyörimästä takaisin reikään ja tukkimasta sitä. Reikien täyttäminen oli myös tarpeellista työmaan turvallisuuden kannalta, ettei kukaan kävele reikiin. Seuraavaksi poravaunu siirtyi toiselle reunalle työmaata tekemään esireikiä ja paalukone siirtyi lyömään teräsbetonipaaluja jo tehtyjen esireikien läpi. Koneet pystyivät työskentelemään yhtä aikaa suurimman osan ajasta.

Työmaan paalutus aloitettiin 31.5.2023 ja ensimmäiset koekuormitukset tehtiin 13.6.2023. Tällä työmaalla koekuormituksilla vain varmistettiin paalujen puristuskestävyys ja loppulyöntiehtojen soveltuvuus pohjaolosuhteille. Ensimmäisellä kerralla paaluja koekuormitettiin 8 kappaletta. Koekuormitetut paalut on esitetty kuvassa 12. Kaikki paalut täyttivät puristuskestävyysvaatimukset. Ensimmäisten koekuormitusten tulokset on esitetty liitteessä 9.



KUVA 12. Näsisaaren työmaan koepaalut. Sinisen viivan oikea puoli lyötiin ensimmäisellä kerralla 31.5–16.6.2023 ja vasen puoli toisella kerralla 15.11.–1.12.2023. Punaisella ympyröity 13.6.2023 koekuormitetut paalut ja vihreällä 21.11.2023 koekuormitetut paalut (19)

Ensimmäisen osan paalutus suoritettiin loppuun koekuormitusten jälkeen. Viimeiset paalut lyötiin 16.6.2023. Töitä tehtiin 13 työvuorota. Poravaunu sai esireiät aiemmin valmiiksi ja odotti viimeiset pari työvuorota työmaan reunalla siltä varalta, jos paaluja olisi katkennut ja korvaaville paaluille olisi pitänyt tehdä esireikiä.

Työmaan toisen osan paalutus aloitettiin 15.11.2023 ja koekuormituksia suoritettiin 21.11.2023. Tällä kerralla paaluja koekuormitettiin 8 kappaletta. Kaikki paalut täyttivät puristuskestävyysvaatimukset. Näiden koekuormitusten tulokset on esitetty liitteessä 9.

Työmaan koekuormitukset oli nyt saatu tehtyä ja paalutusta jatkettiin. Noin puolet nyt paalutetusta alueesta sijaitsi louhetäyttöalueen ulkopuolella ja koepaalujen lyömisen yhteydessä havaittiin, että kyseisellä alueella ei ollut tarvetta tehdä esireikiä. Esireikiä vaativa alue tehtiin ensin valmiiksi, jonka jälkeen esireikiä tehnyt poravaunu vietiin pois työmaalta 24.11.2023. Lyöntipaalukone jatkoi työskentelyä työmaan loppuun ja löi viimeiset paalut 1.12.2023. Toisella kerralla 15.11–1.12.2023 työmaalla lyötiin 127 paalua. Esireikiä tehnyt kone työskenteli 8 työvuorota ja lyöntipaalukone 13 työvuorota.

Esireikiä tehnyt kone työskenteli yhteensä 21 työvuorota ja lyöntipaalukone 26 työvuorota. Työmaan aikana meni rikki 9 paalua, joissa meni hukkaan 216 metriä paalua. Teräsbetonipaalua lyötiin yhteensä 6465 metriä. Tästä laskettuna paalukoneen tehoiksi tulee noin 32 metriä/tunti. Paalut eivät menneet kalliioon asti. Paalujen kärjen tunkeutumistaso vaihteli vierekkäisillä paaluilla jonkin verran, koska oletettavasti maaperässä oli kivisempi kerros, johon paalut pysähtyivät vaihteleviin korkeuksiin. Paaluja lyödessä 12 paalua jäi hieman lyhyeksi ja niiden päät menivät katkaisutason alapuolelle. Näihin paaluihin olisi tarvittu lisäpituutta yhteensä 5,73 metriä. Paalujen metrimäärät on esitetty tarkemmin liitteessä 10.

4.3 Tulokset ja niiden analysointi

4.3.1 Santalahden työmaa

Alustavan suunnitelman mukaan työmaalle oli arvioitu menevän 4761 metriä paalua. Paalujen vaipakitkaa hyödyntämällä säästettiin 886 metriä paalua. Paalujen lyhentymisen myötä paalujen jatkoksia jäi pois 37 kappaletta. Laskelmat on esitetty tarkemmin liitteessä 11.

Ajallisen säästön arvioiminen oli hieman epätarkempaa, koska se perustui osittain olettamukseen siitä, kuinka nopeasti paalu maahan uppoaisi. Kohteen maaperässä oli kiviä, jotka vaikuttivat paalujen uppoamiseen. Osa paaluista pysähtyi jo ennen määräsyvyyttä oletettavasti kiviin. Kiviin pysähtyneet paalut eivät olisi menneet syvemmälle, vaikka ne olisi lyöty pidempinäkin. Tässä arvioinnissa oletettiin, että kaikki säästetyt metrit olisi pystytty lyömään. Työmaan toteutuneilla tehoilla laskettuna ajallisiksi säästöiksi 886 metrille muodostui noin 35 tuntia. Työvuoroissa laskettuna noin 4,5 työvuoroa. Optimoinnista syntyneet säästöt on esitetty taulukossa 7.

TAULUKKO 7. Optimoinnin kustannussäästöt Santalahdessa kohtien 3.1 ja 3.2 esimerkkihinnoilla

| Nimike | Määrä | Hinta | Summa |
|------------|---------------|---------------|------------|
| TB300x300 | 886 metriä | 32,70 €/metri | 28 972,2 € |
| Jatkos 300 | 37 kappaletta | 160 €/pari | 5 920,0 € |
| Työaika | 35 tuntia | 200 €/tunti | 7 000,0 € |
| Yhteensä | | | 41 892,2 € |

Laskelmasta voi huomata, että materiaalin osuus säästöistä oli huomattavan suuri. Prosentteina laskettuna materiaalin osuus säästöistä oli noin 83 prosenttia. Vertailun vuoksi taulukossa 8 on laskettu paalutusurakan hinta-arvio ilman optimointia kohtien 3.1 ja 3.2 esimerkkihintoja ja toteutuneita tehoja käyttäen.

TAULUKKO 8. Santalahden työmaan kustannusarvio ilman optimointia kohtien 3.1 ja 3.2 esimerkkihinnoina ja toteutuneilla tehoilla 25,5 metriä/tunti laskettuna

| Nimike | Määrä | Hinta | Summa |
|----------------------|----------------|---------------|-------------|
| TB300x300 | 4761 metriä | 32,70 €/metri | 155 684,7 € |
| Jatkos 300 | 201 kappaletta | 160 €/pari | 32 160,0 € |
| Kalliokärjet | 160 kappaletta | 120 €/kappale | 19 200,0 € |
| Paalun tasakatkaistu | 160 kappaletta | 12 €/kappale | 1 920,0 € |
| Työaika | 187 tuntia | 200 €/tunti | 37 400,0 € |
| Yhteensä | | | 246 364,7 € |

Kokonaissäästö oli myös suuri verrattuna paalutusurakan kokoluokkaan, joka alkuperäisen suunnitelman pituuksilla esimerkkihinnoina laskettuna oli 246 364,7 euroa. Säästöt olivat siis noin 17 prosenttia koko paalutusurakan kustannusarviosta. Laskelmassa ei ole huomioitu mahdollisia odotuskustannuksia ja työmaan käyttökustannuksia.

Paalumetriä ja ajan säästäminen vähentää myös työmaan hiilipäästöjä. Paalujen kuljetusmatka oli lähes kohdan 3.3 esimerkin kuljetusmatka 75 km. Lyödyistä kokonaismetreistä ja niiden lyömiseen käytetystä ajasta laskettuna koneen työsaavutus oli noin 25,5 metriä/tunti. Kyseisellä työtehoilla koneen päästöiksi tulee noin 3,4 kilogrammaa hiilidioksidiekvivalenttia/paalumetri. Kohdan 3.3 esimerkkiarvoilla lasketut hiilipäästöjen vähennykset on esitetty taulukossa 9.

TAULUKKO 9. Hiilidioksidipäästöjen säästöt Santalahdessa

| Päästölähde | Määrä (metri) | Päästöt (kilogrammaa hiilidioksidi ekvivalenttia/paalometri) | Summa (kilogrammaa hiilidioksidi ekvivalenttia) |
|-------------|------------------|--|---|
| Paalometri | 886 | 37 | 32 782,0 |
| Kuljetus | 886 | 2,8 | 2 480,8 |
| Paalukone | 886 | 3,4 | 3 012,4 |
| Yhteensä | | | 38 275,2 |

Päästöjenkin tapauksessa suurin osa säästöistä tuli materiaalista ja sen kuljetuksista. Materiaalien ja niiden kuljetuksen osuus oli noin 92 prosenttia. Vertailun vuoksi taulukossa 10 on laskettu paalutusurakan hiilidioksidipäästöt ilman optimointia.

TAULUKKO 10. Hiilidioksidipäästöt Santalahdessa ilman optimointia

| Päästölähde | Määrä (metri) | Päästöt (kilogrammaa hiilidioksidi ekvivalenttia/paalometri) | Summa (kilogrammaa hiilidioksidi ekvivalenttia) |
|-------------|------------------|--|---|
| Paalometri | 4 761 | 37 | 176 157,0 |
| Kuljetus | 4 761 | 2,8 | 13 330,8 |
| Paalukone | 4 761 | 3,4 | 16 187,4 |
| Yhteensä | | | 205 675,2 |

Hiilidioksidipäästöjen säästöt olivat siis noin 19 prosentin luokkaa. Luvuista voidaan myös huomata, että paalutuksen päästöt ovat varsin suuria. Nykyaikaisen keskikokoisen polttomoottoriauton päästöt ovat noin 120 grammaa hiilidioksidia/kilometri. Tästä laskettuna kyseisellä autolla saisi ajaa noin

320 000 kilometriä samat säästetyt päästöt tuottaakseen. Jos autolla ajettaisiin 20 tuhatta kilometriä vuodessa, niin tämä vastaisi 16 auton vuosittaisia päästöjä.

4.3.2 Työmaa 2

Alustavan suunnitelman mukaan työmaalle oli arvioitu menevän 23 551 metriä paalua. Paalujen kuormitusasteita hyödyntämällä säästettiin 5 844 metriä paalua. Paalujen lyhentymisen myötä paalujen jatkoksia jäi pois 416 kappaletta. Laskelmat on esitetty tarkemmin liitteessä 12.

Kuten Santalahden työmaan tapauksessa, myös työmaan 2 tapauksessa ajallisen säästön arvioiminen on hieman epätarkempaa. Osa paaluista pysähtyi jo ennen määräsyvyyttä oletettavasti kiviin. Kiviin pysähtyneet paalut eivät olisi menneet syvemmälle, vaikka ne olisi lyöty pidempinäkin. Tässä arvioinnissa oletettiin, että kaikki säästetyt metrit olisi pystytty lyömään. Työmaan toteutuneilla tehoilla laskettuna ajallisiksi säästöiksi 5 844 metrille muodostui noin 172 tuntia kahdelle koneelle. Työvuoroissa laskettuna noin 21,5 työvuoroa. Optimoinnista syntyneet säästöt on esitetty taulukossa 11.

TAULUKKO 11. Optimoinnin kustannussäästöt Työmaalla 2 kohtien 3.1 ja 3.2 esimerkkihinnoilla

| Nimike | Määrä | Hinta | Summa |
|------------|----------------|-----------------|-------------|
| TB300x300 | 5 844 metriä | 32,70 €/metri | 191 098,8 € |
| Jatkos 300 | 416 kappaletta | 160 €/kappale | 66 560,0 € |
| Työaika | 172 tuntia | 2 x 200 €/tunti | 68 800,0 € |
| Yhteensä | | | 326 458,8 € |

Tämänkin työmaan kohdalla materiaalien osuus säästöistä oli suuri. Prosentteina laskettuna materiaalin osuus oli noin 79 prosenttia säästöistä. Vertailun vuoksi taulukossa 12 on laskettu paalutusurakan hinta-arvio ilman optimointia kohtien 3.1 ja 3.2 esimerkkihintoja ja toteutuneita tehoja käyttäen.

TAULUKKO 12. Työmaan 2 kustannusarvio ilman optimointia kohtien 3.1 ja 3.2 esimerkkihinnoilla ja toteutuneilla tehoilla 34 metriä/tunti kahdella koneella

| Nimike | Määrä | Hinta | Summa |
|----------------------|------------------|-----------------|---------------|
| TB300x300 | 23 551 metriä | 32,70 €/metri | 770 117,7 € |
| Jatkos 300 | 1 206 kappaletta | 160 €/pari | 192 960,0 € |
| Kalliokärjet | 603 kappaletta | 120 €/kappale | 72 360,0 € |
| Paalun tasakatkaistu | 603 kappaletta | 12 €/kappale | 7236,0 € |
| Työaika | 693 tuntia | 2 x 200 €/tunti | 277 200,0 € |
| Yhteensä | | | 1 319 873,7 € |

Säästö on merkittävä paalutusurakan alkuperäisillä pituuksilla esimerkkihinnoilla laskettuun hintaarvioon verrattuna. Kustannuksissa syntyi siis säästöä arviolta noin 25 prosenttia paalutusurakan alkuperäisestä kokonaishinnasta. Laskelmassa ei ole huomioitu mahdollisia odotuskustannuksia tai työmaan käyttökustannuksia.

Hiilipäästöt vähenivät myös huomattavasti. Paalujen kuljetusmatka työmaalle oli alle 10 kilometriä, joten päästöt kuljetuksen osalta jäivät noin 0,5 kilogrammaan hiilidioksidiekvivalenttia/metri. Lyödyistä kokonaismetreistä ja niiden lyömiseen käytetystä ajasta laskettuna kahden koneen työsaavutus oli noin 34 metriä/tunti. Kyseisellä työteholla kahden koneen päästöiksi tulee noin 5,1 kilogrammaa hiilidioksidiekvivalenttia/paalumetri. Työmaan 2 hiilipäästöjen vähennykset on esitetty taulukossa 13.

TAULUKKO 13. Hiilidioksidipäästöjen säästöt Työmaalla 2

| Päästölähde | Määrä (metriä) | Päästöt (kilogrammaa hiilidioksidi ekvivalenttia/paalumetri) | Summa (kilogrammaa hiilidioksidi ekvivalenttia) |
|-------------|-------------------|--|---|
| Paalumetri | 5 844 | 37 | 216 228,0 |
| Kuljetus | 5 844 | 0,5 | 2 922,0 |
| Paalukone | 5 844 | 5,1 | 29 804,4 |
| Yhteensä | | | 248 954,4 |

Tiukassa maaperässä paalukoneen aiheuttamien päästöjen osuus paalutuksen kokonaispäästöistä kasvaa. Materiaalien ja niiden kuljetuksen osuus oli kuitenkin vielä suuri, noin 88 prosenttia. Vertailun vuoksi taulukossa 14 on laskettu Työmaan 2 paalutusurakan päästöt ilman optimointia.

TAULUKKO 14. Hiilidioksidipäästöt Työmaalla 2 ilman optimointia

| Päästölähde | Määrä (metriä) | Päästöt (kilogrammaa hiilidioksidi ekvivalenttia/paalumetri) | Summa (kilogrammaa hiilidioksidi ekvivalenttia) |
|-------------|-------------------|--|---|
| Paalumetri | 23 551 | 37 | 871 387,0 |
| Kuljetus | 23 551 | 0,5 | 11 775,5 |
| Paalukone | 23 551 | 5,1 | 120 110,1 |
| Yhteensä | | | 1 003 272,6 |

Tällä työmaalla hiilidioksidipäästöjen kokonaissäästöt olivat noin 25 prosentin luokkaa. Suuren paalutustyömaan päästöt ovat varsin suuria. Noin 120 grammaa hiilidioksidia/kilometri päästöjä

aiheuttavalla henkilöautolla pitäisi ajaa noin 2,1 miljoonaa kilometriä samat säästetyt päästöt tuotakseen. Jos autolla ajettaisiin 20 tuhatta kilometriä vuodessa, niin tämä vastaisi 105 auton vuosittaisia päästöjä.

4.3.3 Näsisaaren työmaa

Alustavan suunnitelman mukaan työmaa oli suunniteltu lyötäväksi 220/12,5 teräsputkipaaluilla. Näille paaluille ei ollut annettu alkuperäisiä arvioituja pituuksia tarkemmin kuin arviolta 23–25 metriä. Teräsbetonipaalujen metrit on laskettu lyötyinä pituuksina. Teräsputkipaalujen metrimäärä 6044,97 metriä laskettiin tässä vertailussa teräsbetonipaalujen hyötypituuksista, koska teräsputkipaaluilla kaikki metrit voidaan käyttää hyödyksi, jos paalun saa katkaistua heti lyönnin jälkeen oikeasta tasosta. Tällä työmaalla työskentelytaso oli noin 30 senttimetriä katkaisutason alapuolella, joten putkipaalut olisi ollut mahdollista katkaista heti oikeasta tasosta. Putkipaalujen metreihin lisättiin myös syvälle menneistä paaluista tulleet 5,73 metriä, koska putkipaalujen päät eivät mene katkaisutason alapuolelle, kun putken lyönnin päättyessä, se katkaistaan oikeasta tasosta. Loppulokseksi tuli, että teräsputkipaaluilla lyötynä metrejä olisi mennyt 6050,7 metriä.

Esireikiä tehneen poravaunun tuntihinta oli noin 250 euro/tunti. 220/12,5 teräsputkipaalun hinta arvioitiin olevan noin 110 euroa/metri. Poravaunu oli työmaalla yhteensä 21 työvuoroa eli 168 tuntia. 350x350 teräsbetonipaalulle käytettiin kohdan 3.2 esimerkkihintaa 45,90 euro/metri. Kustannusten erot on esitetty taulukossa 15.

TAULUKKO 15. Näsisaaren kustannusten vertailu

| Nimike | Määrä | Hinta | Summa |
|------------|---------------|---------------|--------------|
| RR220/12,5 | 6050,7 metriä | 110,0 €/metri | 665 577,0 € |
| TB350x350 | 6465 metriä | 45,9 €/metri | -296 743,5 € |
| Poravaunu | 168 tuntia | 250 €/tunti | -42 000,0 € |
| Erotus | | | 326 833,5 € |

Erotuksesta voi huomata, että materiaalin vaihtaminen halvempaan oli huomattavan kannattavaa, vaikka se teetikin ylimääräistä työtä toisella koneella, jonka tuntiveloitus on melko suuri. Laskelmasta nähdään myös, että materiaalin osuus kuluista oli vaihdoksen jälkeenkin edelleen erittäin suuri. Laskelmassa ei ole huomioitu rikkoutuneita paaluja, joista aiheutui noin 12 000 euroa materiaalikustannuksia. Vertailun vuoksi taulukossa 16 on laskettu paalutusurakan hinta-arvio ilman optimointia kohtien 3.1 ja 3.2 esimerkkihintoja ja toteutuneita tehoja käyttäen. Lisäksi teräsputkipaalun kärjen on arvioitu maksavan 160 euroa/kappale ja teräsputkipaalun katkaisun 20 euroa/kappale.

TAULUKKO 16. Näsisaaren kustannusarvio ilman optimointia kohtien 3.1 ja 3.2 esimerkkihinnoilla ja toteutuneilla tehoilla 32 metriä/tunti.

| Nimike | Määrä | Hinta | Summa |
|----------------------|----------------|---------------|-------------|
| RR220/12,5 | 6 050,7 metriä | 110 €/metri | 665 577,0 € |
| Kalliokärjet | 261 kappaletta | 160 €/kappale | 41 760,0 € |
| Paalun tasakatkaistu | 261 kappaletta | 20 €/kappale | 5 220,0 € |
| Työaika | 189 tuntia | 200 €/tunti | 37 800,0 € |
| Yhteensä | | | 750 357,0 € |

Kokonaissäästö oli merkittävän suuri verrattuna esimerkkihinnoilla laskettuun alkuperäisen suunnitelman mukaisen paalutusurakan hinta-arvioon. Kokonaissäästö oli noin 44 prosentin luokkaa.

Paalumateriaalin vaihtaminen halvempaan vaikutti myös paalutuksen hiilidioksidipäästöihin. 220/12,5 teräsputkipaalun päästöt olivat laskelmassa 158 kilogrammaa hiilidioksidiekvivalenttia/paalumetri. 60 tonnisen poravaunun hiilidioksidipäästönä käytettiin vastaavan kokoluokan lyöntipaalukoneen päästöjä 86,8 kilogrammaa hiilidioksidiekvivalenttia/tunti. Paalujen kuljetuksissa teräsbetonipaalut jäivät tappiolle suuremman metripainon takia. Teräsputkipaalut olisivat mahtuneet 11 kuormaan, koska kuormaan mahtuu noin 550 metriä. Tällöin teräsputkipaalumetriä kohti päästöjä tulisi noin 0,7 kilogrammaa hiilidioksidiekvivalenttia/paalumetri 75 kilometrin kuljetusmatkalle.

Teräsbetonipaalujen tuomiseksi työmaalle vaadittiin 65 kuormaa, koska 350x350 teräsbetonipaalu mahtuu kuormaan vain 100 metriä. Tästä laskettuna teräsbetonipaaluille tuli hiilipäästöiksi noin 3,9 kilogrammaa hiilidioksidiekvivalenttia/paalumetri. Hiilipäästöjen erot on esitetty taulukossa 17.

TAULUKKO 17. Näsisaaren hiilidioksidipäästöjen vähennys

| Päästölähde | Määrä (metriä) | Päästöt (kilogrammaa hiilidioksidi ekvivalenttia/metri) | Summa (kilogrammaa hiilidioksidi ekvivalenttia) |
|---------------------|-------------------|---|---|
| 220/12,5 putkipaalu | 6 050,7 | 158 | 956 010,6 |
| 220/12,5 kuljetus | 6050,7 | 0,7 | 4 235,5 |
| RTC-350C-16 | 6465 | 52,1 | -336 826,5 |
| 350x350 kuljetus | 6465 | 3,9 | -25 213,5 |
| Poravaunu | 168 | 86,8 | -14 582,4 |
| Yhteensä | | | 583 623,7 |

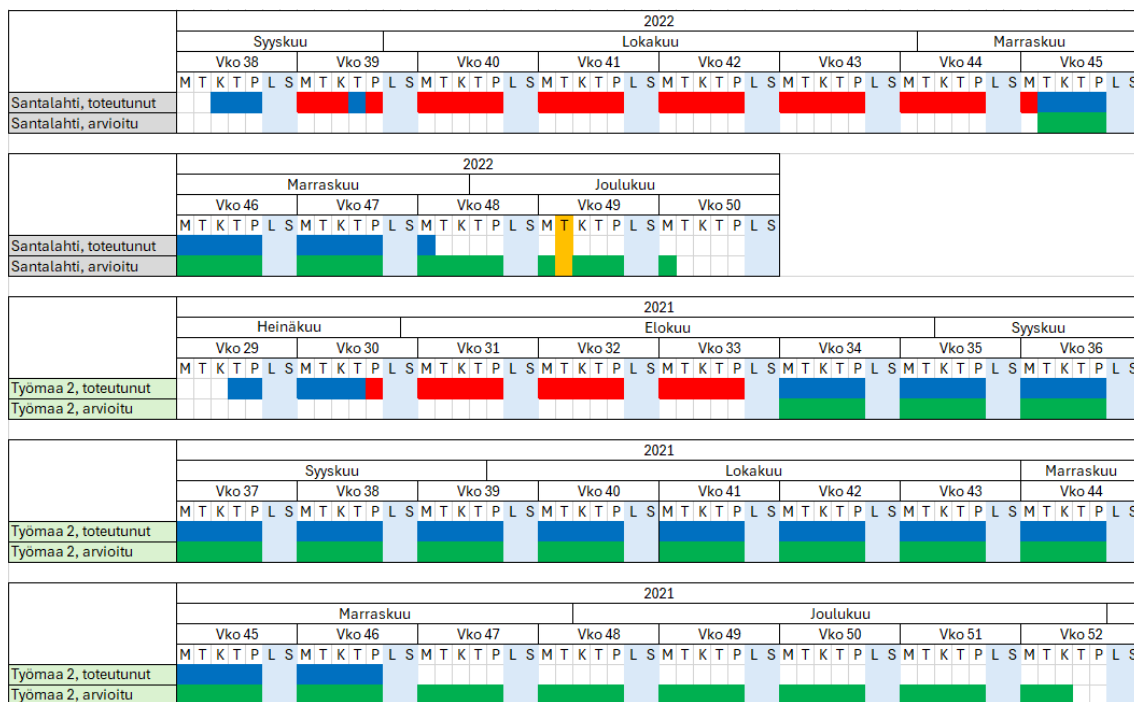
Suuripäästöisen teräspankkipaalun vaihtaminen teräsbetonipaaluun pienensi hiilipäästöjä noin 61 prosenttia, vaikka sitä varten pitikin ottaa toinen suuri työkone työskentelemään kohteeseen. Laskelmista nähtiin, että materiaalin osuus päästöistä on tässäkin tapauksessa todella suuri. Paalun materiaali vaihtamalla säästettiin yhteensä noin 243 henkilöauton vuosipäästöt, jos auto päästää 120 grammaa hiilidioksidia/kilometri ja sillä ajetaan noin 20 tuhatta kilometriä vuodessa.

4.4 Pohdintaa kustannus- ja hiilidioksidipäästöjen määrittämisestä

Huomioitavaa laskelmissa on se, että niihin ei ole laskettu mitään kustannuksia koepaalutuksen ja varsinaisen paalutuksen väliseltä odotusajalta. Santalahden tapauksessa, jos kone seisoi työmaalla odottamassa kaikki 30 työvoroa koepaalutusten ja varsinaisen paalutuksen välissä ja koneen kustannukset huomioitaisiin esimerkin tuntihinnalla, tulisi seisonta-ajan kustannuksiksi 48 000 euroa, joka kuluttaisi koko säästön. Harvoin kone näin pitkiä aikoja seisoo vain tietyn työmaan takia odottamassa, vaan yleensä kone vie välillä muualle käyttöön esimerkiksi 30.9.–

7.11.2022 väliseksi 27 työvuoron odotusajaksi, jolloin odotusajan kustannuksia saataisiin minimoida. Tällöin odotusajaksi olisi jäänyt 3 työvuoroa, joiden kustannukset olisivat olleet esimerkkihinnoilla 4800 euroa. Koneen ylimääräisistä siirroistakin muodostuisi kuitenkin kustannuksia, jotka saattavat olla 1000–3000 euroa matkan pituuden mukaan. Nämä kustannukset huomioiden lopullinen säästö olisi Santalahden tapauksessa jäänyt 33 000–35 000 euroon riippuen kuljetuskustannuksista. Työmaan 2 tapauksessa kone vietiin työmaalta pois koepaalutusten ja varsinaisen paalutuksen alkamisen väliseksi 16 työvuoron ajaksi, joten koneelle ei aiheutunut ylimääräisiä odotuskustannuksia. Siirrosta tosin aiheutui ylimääräisiä kuljetuskustannuksia, mutta ne veivät vain prosentti verran nyt lasketuista säästöistä.

Toinen laskelmissa huomioimatta jäänyt asia ovat työmaan käyttökustannukset. Käyttökustannukset riippuvat työmaan koosta. Suuremmalla työmaalla käyttökustannukset jakautuvat usein useammalle käynnissä olevalle työvaiheelle ja yksittäinen työvaihe ei välttämättä jarruta koko työmaata. Puolestaan pienempi työmaa voi seisoa odottamassa yhtä työvaihetta kuten esimerkiksi paalutusta. Tällöin työmaan käyttökustannuksetkin kasvavat koko ajalta, jonka työmaa odottaa paalutuksen valmistumista. Jos Santalahden työmaan käyttökustannukset olisivat olleet esimerkiksi 1500 euroa/päivä, niin 30 päivän odotus olisi maksanut 45 000 euroa, joka olisi ollut enemmän kuin optimoimalla saadut säästöt. Työmaan 2 tapauksessa, vaikka käyttökustannukset olisivat olleet 10 000 euroa/päivä, 16 työvuoron odotus olisi maksanut työmaalle 160 000 euroa. Silti säästöjä olisi jäänyt vielä yli 160 000 euroa. Santalahden työmaan ja Työmaan 2 toteutuneet aikataulut ja ilman optimointia samoilla tehoilla lasketut aikataulut on esitetty kuvassa 13.



KUVA 13. Santalahden ja työmaan 2 aikataulut, joissa tummansinisellä tehdyt työvuorot, tummanvihreällä ilman optimointia lasketut työvuorot, keltaisella arkipyhä, vaaleansinisellä viikonloput ja punaisella odotusajat, joilta odotus- ja käyttökustannuksia voi muodostua

Kuvan 13 aikatauluista voidaan havaita, että pienen työmaan paalutuksen kokonaiskesto jopa pieneni, jos odotusajat otetaan huomioon. Vaikka odotusaika koepaalutuksen ja varsinaisen paalutuksen välissä olisi ollut vain 2 viikkoa, paalutukseen käytetty kokonaisaika olisi silti ollut pidempi kuin ilman optimointia. Suuren työmaan osalta paalutuksen kokonaisaika lyheni vielä hieman, vaikka odotusaikakin otettaisiin huomioon. Punaisella merkittyjen odotusaikojen kustannukset voivat olla suuressa roolissa siinä, kannattaako paalutuksen optimointia yrittää.

Todennäköistä on, että Santalahdessa ja Työmaalla 2 säästyttiin muutamalta rikkinäiseltä paalulta, kun paaluja ei väkisin lyöty kovaan pohjaan asti. Tämän materiaalisäästön arvioiminen on kuitenkin mahdotonta, koska rikkoutuvien paalujen määrää ei voi ennustaa. Näsisäaren tapauksessa rikkoutuneiden paalujen määrä todennäköisesti kasvoi vaihdettaessa teräsputkipaalut teräsbetonipaaluhiin, joita työmaalla hajosi 9 kappaletta. Teräsputkipaalujakin hajoo joskus, mutta huomattavasti harvemmin kuin teräsbetonipaaluja.

Toinen mahdollinen säästö määrämittäisinä lyödyistä paaluista tuli siitä, että paaluista jäi todennäköisesti vähemmän hukkametrejä pois kuljetettavaksi katkaisun jälkeen. Tukipaaluja lyötäessä paalusta yleensä jää hiukan hukkaa varsinkin kohteissa, joissa maaperä on kivistä ja loppulyöntiehdot täyttyvät vaihtelevissa korkeuksissa. Määräsyvyyteen lyötävissä paaluissa paalujen päät voidaan lyödä mahdollisimman lähelle katkaisukorkoa hukkan minimoimiseksi.

Näsisaaren kohdalla huomioitavaa on myös, että teräsputkipaalu yleensä uppoaa syvemmälle maahan kuin vastaavan puristuskestävyyden teräsbetonipaalu, jos paalut eivät pysähdy kallioon. Tämä todennäköisesti johtuu teräsputkipaalun pienemmästä poikkipinta-alasta ja tiukemmista loppulyöntivaatimuksista. Joten Näsisaaren tapauksessa teräsputkipaalia olisi todennäköisesti mennyt enemmän, kuin nyt laskennassa käytetty määrä. Lisääntynyt teräsputkipaalumäärä olisi myös kasvattanut kustannuseroa entisestään.

5 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia lyöntipaalutuksen kustannuksiin vaikuttavia asioita ja havaintojen perusteella luoda opinnäytetyön pohjalta urakoitsijalle yleismallinen ohjeistus lyöntipaalutuksen ja koepaalutuksen suunnitteluun. Työn teoriaosuudessa käytiin läpi lyöntipaalutukseen liittyviä perusteita ja käytännön osuudessa tutkittiin kolmea jo toteutunutta työmaata ja niiden koepaalutus- ja koekuormitusvaiheita. Lopputuloksena saatiin tietoa paalun käyttäytymisestä maaperässä ja havaittiin, että erityyppisten paalujen ominaisuuksia ja kuormitusasteita hyödyntämällä paalutuksessa voidaan säästää rahaa, aikaa ja ympäristöä.

Tulokset olivat kustannusten ja hiilidioksidipäästöjen pienenemisen suhteen erittäin positiivisia. Hiilidioksidipäästöjen osalta päästiin 19–61 prosentin säästöihin optimoimalla lyöntipaalutusta. Kustannusten osalta päästiin 17–44 prosentin säästöihin. Ongelmalliseksi asiassa muodostuu se, että paalujen pituuksia optimoimaan ryhdyttäessä paalujen puristuskestävyyden varmistaminen vie aikaa ja koepaalutusvaiheeseen pitää varata aikaa viikko tai kaksi. Lisäksi pitää varata myös paalu-tehtaalle aikaa reagoida mahdollisesti muuttuneisiin paalujen pituuksiin 2–6 viikkoa riippuen, kuinka ruuhkainen hetki tehtaalla on paaluvarauksien kanssa. Myös vaihdettaessa paalun materiaali teräsputkesta teräsbetoniin pitää varmistua, että tehtaalta löytyy tarvittavia teräsbetonipaaluja varastosta tai tehdas ehtii niitä valmistamaan.

Suurilla pitkäkestoisilla työmailla, joissa koepaalutus voidaan tehdä jo ennen varsinaista maanrakennusvaihetta ja pohjien tekoa, koepaalutuksen ja varsinaisen paalutuksen välinen odotusaika ei ole niin suuri ongelma. Koepaalutukseen käytetyn ylimääräisen ajan saa takaisin lyhyempien paalumittojen nopeamman paalutuksen yhteydessä. Pienemmillä työmailla paalutuksessa säästetty aika todennäköisesti jää pienemmäksi, kuin koepaalutukseen käytetty aika. Pienemmillä työmailla pitääkin miettiä ennen paalujen pituuksien optimoimiseen ryhtymistä, onko mahdollisen paalumateriaalin säästämisen kautta saatu rahallinen säästö arvokkaampi kuin koepaalutukseen käytetty ylimääräinen aika. Puntarissa on myös se vaihtoehto, että paalujen pituuksien optimoiminen ei välttämättä aina onnistu, jolloin kaikki koepaalutukseen käytetty ylimääräinen aika menee hukkaan.

Ennen kitkankehityksen hyödyntämisen yrittämistä kannattaa asiaa tiedustella myös kohteen pohjarakennesuunnittelijalta. Suunnittelija tekee sen viimeisen päätöksen, hyväksyykö mahdollisten

koekuormitusten tulosten perusteella loppulyöntiehtojen muuttamisen ja kitkapaalun käytön tuki-paalun sijaan vai ei.

Muistettavaa on myös se, että paalujen pituuksien optimoiminen vaatii paksuja kitkamaakerroksia, joihin paalu uppoaa kitkaa kehittämään. Suomessa pääosin hienorakeisten maakerrosten alapuo-lella ei ole hyödynnettävissä olevia paksuja kitkamaakerroksia. Jos paalut pysähtyvät kallioon tai moreeniin nopeasti savikerroksen jälkeen, paalun pituutta tuskin pystytään lyhentämään. Ongel-maksi voi muodostua myös se, jos paksujen kitkamaakerroksien alapuolella on vielä hienorakeisia pehmeitä maakerroksia. Paalumateriaalin vaihtaminenkaan ei välttämättä aina onnistu, jos maa-perän on esimerkiksi todettu olevan niin kivinen koko paalun upotusmatkalta, ettei teräsbetonipaalu sovellu lyötäväksi maaperään. Siksi paalun materiaalin vaihtaminen ja paalutustyön toteutus täytyy aina arvioida tapauskohtaisesti. Pohjatutkimusmenetelmien luotettavuus ja määrä ovat suuressa roolissa, kun paalutuksen optimointia ryhdytään harkitsemaan.

Santalahdessa paalut kehittivät vaippakitkaa ja suuri osa paalujen geoteknisestä puristuskestävyydestä tuli paalujen vaipalta. Työmaalla 2 vaippakitkaa ei havaittu muodostuvan merkittävästi, vaikka osa paaluista oli pidempiä ja syvemmällä kitkamaakerroksissa kuin Santalahdessa. Jatko-tutkimuksena voitaisiin selvittää vaadittavien kitkamaakerrosten koostumusta ja paksuutta, joka riit-tävän vaippakitkan kehittymiseksi vaaditaan, jotta vaippakitkaa pystyttäisiin hyödyntämään lyönti-paalutuksessa.

LÄHTEET

1. RIL 254-2016 Paalutusohje PO-2016 2016. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
2. Ympäristöministeriö 2015. Ympäristöministeriön ohje rakentamisen suunnittelutehtävien vaativuusluokista YM1/601/2015. Hakupäivä 10.1.2024. https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Ymparistoministerion-ohje-rakentamisen-suunnittelutehtavien-vaativuusluokista-A7E116C5_7DAE_430D_8924_A6155D78B461-109187.pdf/5f086d96-51a5-a0e3-8e35-486e62251c60/Ymparistoministerion-ohje-rakentamisen-suunnittelutehtavien-vaativuusluokista-A7E116C5_7DAE_430D_8924_A6155D78B461-109187.pdf?t=1600745630090.
3. FISE Oy 2024. Pätevyyspalvelu. Hakupäivä 1.5.2024. <https://www.patevyyspalvelu.fi/>.
4. SFS-EN 1990+A1+AC 2006. Eurokoodi. Rakenteiden suunnitteluperusteet. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Hakupäivä 10.1.2024. <https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/1/150857.html.stx>. Vaatii käyttöoikeuden.
5. Jääskeläinen, Raimo 2016. Pohjarakennuksen perusteet. 4. painos. Tammertekniikka/Amk-Kustannus Oy.
6. RT Rakennusteollisuus 2022. RT betonipaalut tuotelehti PO-2016. Hakupäivä 10.1.2024. <https://betoni.com/wp-content/uploads/2022/11/RT-Betonipaalut-Tuotelehti-17-11-2022.pdf>.
7. Rakennustieto Oy 2023. ROK 2023 rakennusosien kustannuksia. Hakupäivä 20.2.2024. <https://verkkojulkaisut.rakennustieto.fi/pdfjs/web/viewer.aspx?file=REJJZD1ST0syM-DlzJmltZz1ST0syMDIzLnBkZiZjPTE5MDM0NTgw#page=30>. Vaatii käyttöoikeuden.
8. Punkki, Jouni 2023. Ympäristövaatimusten vaikutukset paalutoimialaan. Betoniteollisuus ry:n paaluseminaari 2023. Hakupäivä 10.1.2024. <https://betoni.com/wp-content/uploads/2023/11/5.-Ymparistovaatimusten-vaikutukset-paalutoimialaan-Jouni-Punkki.pdf>.

9. Rakennustieto Oy 2019. Aikataulukirja 2024. Hakupäivä 29.2.2024. <https://kortistot.rakennustieto.fi/api/content/27394#page=1>. Vaatii käyttöoikeuden.
10. Urakkalaskenta 2022. Laskenta-asiakirjat. Sisäinen lähde. Vaatii käyttöoikeuden.
11. Mantila, Ari & Punkki, Jouni 2022. Paalujen ympäristövaikutukset. Betoniteollisuus ry:n paaluseminaari 2022. Hakupäivä 29.2.2024. <https://betoni.com/wp-content/uploads/2022/11/4.-Paalujen-ymparistovaikutukset-A-Mantila.pdf>.
12. Raitiotieallianssi 2022. Kuvakaappaus. Ilmakuva työmaasta. Sisäinen lähde. vaatii käyttöoikeuden.
13. Raitiotieallianssi 2022. Kuvakaappaus. Geosuunnitelma tukimuuri T46 lohko 6. Sisäinen lähde. Vaatii käyttöoikeuden.
14. Heinonen, P 2021. Kuvakaappaus. Pohjatutkimusleikkaus B-B. Sipti Infra Oy. Sisäinen lähde. Vaatii käyttöoikeuden.
15. Hänninen, K 2021. Kuvakaappaus. Paalukartta kaikki lohkot. Sweco Rakennetekniikka Oy. Sisäinen lähde. Vaatii käyttöoikeuden.
16. Raitiotieallianssi 2020. Kuvakaappaus. Pituusleikkaus PL 1. Sisäinen lähde. Vaatii käyttöoikeuden.
17. Raitiotieallianssi 2022. Kuvakaappaus. Paalukartta tukimuuri T46 lohko 6. Sisäinen lähde. Vaatii käyttöoikeuden.
18. Hänninen, K 2021. Kuvakaappaus. Paalukartta revisio F. Sweco Rakennetekniikka Oy. Sisäinen lähde. Vaatii käyttöoikeuden.
19. Portaankorva, S 2020. Kuvakaappaus. Paalukartta PL 1. Sisäinen lähde. Vaatii käyttöoikeuden
20. Virta, Tanja-Maija 2022. PDA-raportti 29.9.2022. Junttan Oy. Sisäinen lähde. Vaatii käyttöoikeuden.

21. Virta, Tanja-Maija 2022. PDA-raportti 10.11.2022. Junttan Oy. Sisäinen lähde. Vaatii käyttöoikeuden.
22. Virta, Tanja-Maija 2022. PDA-raportti 15.11.2022. Junttan Oy. Sisäinen lähde. Vaatii käyttöoikeuden.
23. Repo, Teemu 2021. Mittausraportti 30.7.2021. Kiwa Inspecta Oy. Sisäinen lähde. Vaatii käyttöoikeuden.
24. Repo, Teemu 2021. Mittausraportti 6.9.2021. Kiwa Inspecta Oy. Sisäinen lähde. Vaatii käyttöoikeuden.
25. Kirsilä, Sami 2023. PDA-raportti 13.6.2023. Junttan Oy. Sisäinen lähde. Vaatii käyttöoikeuden.
26. Taubert, Carl-Gustaf 2023. PDA-raportti 22.11.2023. TauCons Oy. Sisäinen lähde. Vaatii käyttöoikeuden.

LIITTEET

Liite 1 Betonipaalujen laskennalliset rakenteelliset ja geotekniset puristuskapasiteetit

Liite 2 Työmaan 2 paalukartta

Liite 3 Näsisaaaren paalulaatat

Liite 4 Santalahden PDA-mittauksien tulokset 29.9.2022

Liite 5 Santalahden PDA-mittauksien tulokset 9.11.2022

Liite 6 Santalahden PDA-mittauksien tulokset 14.11.2022

Liite 7 Työmaan 2 PDA-mittauksien tulokset 23.7.-29.7.2022

Liite 8 Työmaan 2 PDA-mittauksien tulokset 6.9.2022

Liite 9 Näsisaaaren PDA-mittauksien tulokset 13.6. 2023 ja 21.11.2023

Liite 10 Näsisaaaren paalujen pituudet

Liite 11 Santalahden materiaalien säästölaskelmat

Liite 12 Työmaan 2 materiaalien säästölaskelmat

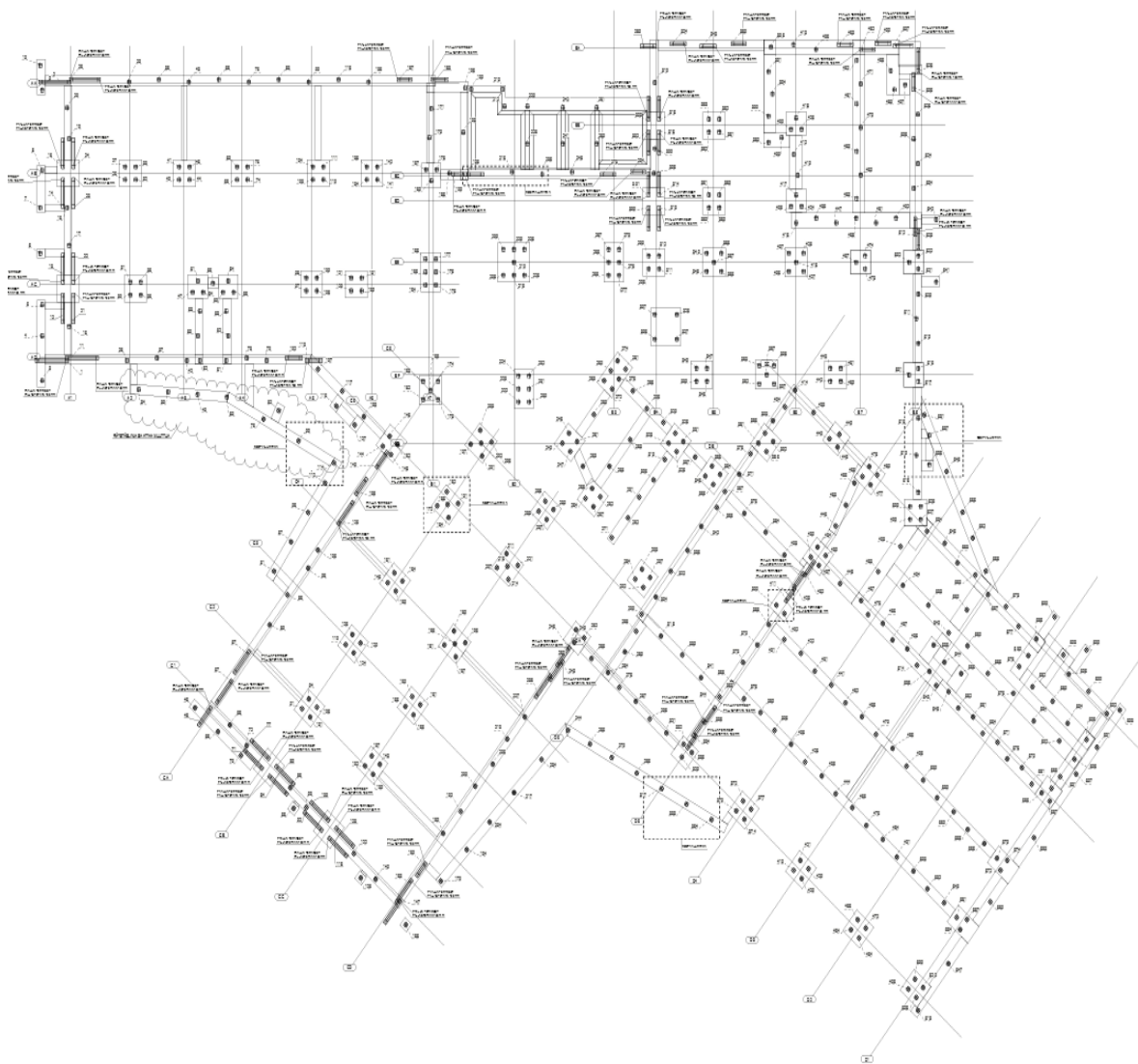
TERÄSBETONIPAALUJEN LASKENNALLISET RAKENTEELLISET JA
GEOTEKNISET PURISTUSKAPASITEETIT

LIITE 1/1

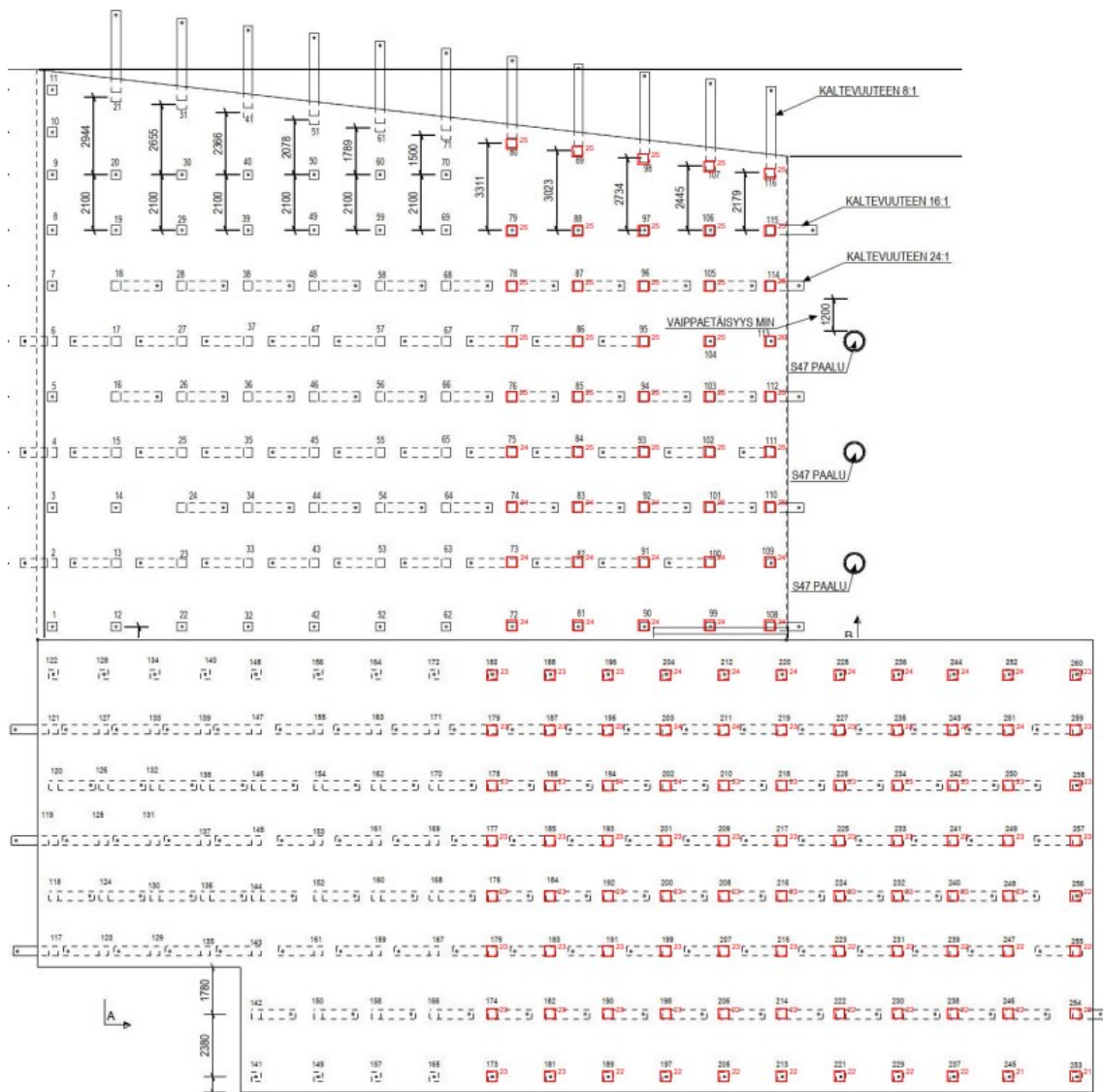
(Puristuskapasiteetit nurjahduksen osalta on tarkasteltu erikseen sekä paalun sivun että diagonaalin suuntaiselle taivutukselle, näistä on on taulukkoon valittu alempi kapasiteetti-arvo).

| Paalutyyppi | R_{dstr} [kN] | | | | | | | R_{dgeo} [kN] *) | | |
|-------------|------------------|-------|-------|------|----------------------------|--------|--------|--------------------|------|--------------------|
| | | P [%] | L [%] | 5 | c_u [kN/m ²] | | | PTL1 | PTL2 | PTL3 ^{*)} |
| | | | | 7 | 10 | 12 | | | | |
| RTB-250-16 | Jatkettu paalu | 100 | 0 | 508 | 613 | 739 | 805 | 624 | 698 | 791 |
| | | 50 | 50 | 636 | 760 | 899 | (947) | | | |
| | | 0 | 100 | 721 | 838 | (947) | (1000) | | | |
| | Jatkamaton paalu | 100 | 0 | 692 | 808 | (927) | | | | |
| | | 50 | 50 | 867 | 990 | (1077) | | | | |
| | | 0 | 100 | 933 | 1017 | (1103) | | | | |
| RTB-300-16 | Jatkettu paalu | 100 | 0 | 733 | 885 | 1063 | 1149 | 895 | 1001 | 1134 |
| | | 50 | 50 | 916 | 1093 | 1282 | (1344) | | | |
| | | 0 | 100 | 1036 | 1204 | (1357) | (1431) | | | |
| | Jatkamaton paalu | 100 | 0 | 995 | 1161 | (1325) | | | | |
| | | 50 | 50 | 1247 | 1415 | (1532) | | | | |
| | | 0 | 100 | 1338 | 1455 | (1574) | | | | |
| RTC-300-16 | Jatkettu paalu | 100 | 0 | 788 | 957 | 1163 | 1277 | 1026 | 1147 | 1300 |
| | | 50 | 50 | 987 | 1184 | 1427 | (1549) | | | |
| | | 0 | 100 | 1121 | 1324 | (1526) | (1622) | | | |
| | Jatkamaton paalu | 100 | 0 | 1087 | 1283 | 1498 | | | | |
| | | 50 | 50 | 1369 | 1595 | (1778) | | | | |
| | | 0 | 100 | 1496 | 1661 | (1821) | | | | |
| RTC-350-16 | Jatkettu paalu | 100 | 0 | 1077 | 1307 | 1589 | 1746 | 1394 | 1558 | 1765 |
| | | 50 | 50 | 1346 | 1616 | 1946 | (2092) | | | |
| | | 0 | 100 | 1529 | 1805 | (2078) | (2209) | | | |
| | Jatkamaton paalu | 100 | 0 | 1484 | 1750 | 2043 | | | | |
| | | 50 | 50 | 1868 | 2174 | (2411) | | | | |
| | | 0 | 100 | 2039 | 2260 | (2478) | | | | |

(6)



(15)



| Laatta | 3 | | 29.syys | | | Koekuormitusisku | | Kestävyys | Vaatus |
|--------|---------|--------|-----------|-------|-----------|------------------|-----------|-----------|--------|
| Numero | L (m) | LE (m) | Pvm. | H (m) | s/10 (mm) | EMX (kNm) | DMX (mm) | RMX (kN) | (kN) |
| L3-P16 | 15+11+9 | 34,2 | 21.9.2022 | 0,3 | 50 | 45,2 | 23 | 2505 | |
| | | | | | | | Rc;m;mean | 2505 | 1480 |
| | | | | | | | Rc;m;min | 2505 | 1340 |

| Laatta | 4 | | 29.syys | | | Koekuormitusisku | | Kestävyys | Vaatus |
|--------|-------|--------|-----------|-------|-----------|------------------|-----------|-----------|--------|
| Numero | L (m) | LE (m) | Pvm. | H (m) | s/10 (mm) | EMX (kNm) | DMX (mm) | RMX (kN) | (kN) |
| L4-P1 | 15+11 | 25 | 21.9.2022 | 0,3 | 26 | 63,7 | 23 | 2308 | |
| L4-P5 | 15+11 | 25,3 | 22.9.2022 | 0,3 | 110 | 70,5 | 57 | poikki | |
| L4-P32 | 15+11 | 25,3 | 23.9.2022 | 0,3 | 19 | 45,3 | 20 | 2699 | |
| | | | | | | | Rc;m;mean | 2504 | 1585 |
| | | | | | | | Rc;m;min | 2308 | 1430 |

| Laatta | 5 | | 29.syys | | | Koekuormitusisku | | Kestävyys | Vaatus |
|--------|----------|--------|-----------|-------|-----------|------------------|-----------|-----------|--------|
| Numero | L (m) | LE (m) | Pvm. | H (m) | s/10 (mm) | EMX (kNm) | DMX (mm) | RMX (kN) | (kN) |
| L5-P3 | 15+11 | 25,2 | 22.9.2022 | 0,25 | 47 | 55 | 21 | 2100 | |
| L5-P33 | 15+11 | 23,4 | 22.9.2022 | 0,25 | 16 | 59,1 | 23 | 2684 | |
| L5-P35 | 15+11+10 | 31,6 | 23.9.2022 | 0,25 | 20 | 46,3 | 20 | 2957 | |
| | | | | | | | Rc;m;mean | 2580 | 1540 |
| | | | | | | | Rc;m;min | 2100 | 1395 |

| Laatta | 6 | | 29.syys | | | Koekuormitusisku | | Kestävyys | Vaatus |
|--------|----------|--------|-----------|-------|-----------|------------------|-----------|-----------|--------|
| Numero | L (m) | LE (m) | Pvm. | H (m) | s/10 (mm) | EMX (kNm) | DMX (mm) | RMX (kN) | (kN) |
| L6-P3 | 15+11 | 25,4 | 22.9.2022 | 0,25 | 90 | 36,2 | 16 | 2174 | |
| L6-P4 | 15+11+10 | 35 | 22.9.2022 | 0,25 | 38 | 58 | 21 | 2447 | |
| | | | | | | | Rc;m;mean | 2311 | 1685 |
| | | | | | | | Rc;m;min | 2174 | 1525 |

L: Paaluelementin pituus

LE: Antureiden etäisyys paalun kärjestä

H: Pudotuskorkeus

s/10: Paalun painuma upotuksen loppuvaiheessa 10 iskun sarjalla

EMX: Paaluun siirtynyt energia

DMX: Suurin siirtymä antureiden kohdalla

RMX: Mobilisoitunut staattinen vastus RMX estimaattia käyttäen

| Laatta | | 4 | | 9.marras | | | | | | |
|--------|-------|--------|--------------|----------|-----------|------------------|----------|-----------|----------|------|
| Paalu | | | Loppulyönnit | | | Koekuormitusisku | | Kestävyys | Vaatusus | |
| Numero | L (m) | LE (m) | Pvm. | H (m) | s/10 (mm) | EMX (kNm) | DMX (mm) | RMX (kN) | (kN) | |
| L4-P4 | 15+9 | 19 | 9.11.2022 | 0,2 | 117 | 32,3 | 24 | 977 | | |
| L4-P8 | 12+12 | 23,3 | 8.11.2022 | 0,2 | 68 | 47,1 | 21 | 1802 | | |
| | | | | | | | | Rc;m;mean | 1390 | 1664 |
| | | | | | | | | Rc;m;min | 977 | 1502 |

| Laatta | | 5 | | 9.marras | | | | | | |
|--------|-------|--------|--------------|----------|-----------|------------------|----------|-----------|----------|------|
| Paalu | | | Loppulyönnit | | | Koekuormitusisku | | Kestävyys | Vaatusus | |
| Numero | L (m) | LE (m) | Pvm. | H (m) | s/10 (mm) | EMX (kNm) | DMX (mm) | RMX (kN) | (kN) | |
| L5-P5 | 15+9 | 23,4 | 8.11.2022 | 0,2 | 70 | 42,5 | 29 | 1785 | | |
| L5-P7 | 12+12 | 23,4 | 8.11.2022 | 0,2 | 136 | 63,8 | 24 | 1737 | | |
| L5-P10 | 15+9 | 23,6 | 8.11.2022 | 0,2 | 108 | 48,5 | 21 | 1898 | | |
| L5-P36 | 15+9 | 23,4 | 8.11.2022 | 0,2 | 58 | 45 | 20 | 1703 | | |
| L5-P40 | 15+9 | 23,4 | 8.11.2022 | 0,2 | 132 | 45,7 | 20 | 1670 | | |
| | | | | | | | | Rc;m;mean | 1759 | 1617 |
| | | | | | | | | Rc;m;min | 1670 | 1465 |

| Laatta | | 6 | | 9.marras | | | | | | |
|--------|-------|--------|--------------|----------|-----------|------------------|----------|-----------|----------|------|
| Paalu | | | Loppulyönnit | | | Koekuormitusisku | | Kestävyys | Vaatusus | |
| Numero | L (m) | LE (m) | Pvm. | H (m) | s/10 (mm) | EMX (kNm) | DMX (mm) | RMX (kN) | (kN) | |
| L6-P2 | 12+12 | 19,2 | 8.11.2022 | 0,2 | 26 | 59,9 | 26 | 1986 | | |
| L6-P5 | 15+9 | 23,4 | 8.11.2022 | 0,2 | 127 | 55,3 | 24 | 1650 | | |
| L6-P7 | 12+12 | 23,4 | 8.11.2022 | 0,2 | 100 | 55 | 22 | 1771 | | |
| L6-P26 | 12+12 | 21,1 | 8.11.2022 | 0,2 | 50 | 33,5 | 17 | 1914 | | |
| L6-P29 | 15+9 | 23,3 | 8.11.2022 | 0,2 | 80 | 53,6 | 23 | 1691 | | |
| L6-P31 | 12+12 | 16,1 | 8.11.2022 | 0,2 | 14 | 54 | 25 | 2015 | | |
| | | | | | | | | Rc;m;mean | 1838 | 1769 |
| | | | | | | | | Rc;m;min | 1650 | 1601 |

L: Paaluelementin pituus

LE: Antureiden etäisyys paalun kärjestä

H: Pudotuskorkeus

s/10: Paalun painuma upotuksen loppuvaiheessa 10 iskun sarjalla

EMX: Paaluun siirtynyt energia

DMX: Suurin siirtymä antureiden kohdalla

RMX: Mobilisoitunut staattinen vastus RMX estimaattia käyttäen

| Laatta | | 3 | | 14.marras | | | | | |
|-----------|-------|--------|--------------|-----------|-----------|------------------|----------|-----------|--------|
| Paalu | | | Loppulyönnit | | | Koekuormitusisku | | Kestävyys | Vaatus |
| Numero | L (m) | LE (m) | Pvm. | H (m) | s/10 (mm) | EMX (kNm) | DMX (mm) | RMX (kN) | (kN) |
| L3-P6 | 12+12 | 21,3 | 10.11.2022 | 0,2 | 10 | 39,2 | 17 | 2470 | |
| L3-P7 | 12+12 | 22,1 | 10.11.2022 | 0,2 | 17 | 48,1 | 18 | 3072 | |
| L3-P8 | 15+9 | 22,3 | 10.11.2022 | 0,2 | 27 | 37,5 | 17 | 2805 | |
| L3-P25 | 15 | 13,9 | 10.11.2022 | 0,25 | 19 | 54,3 | 22 | 2133 | |
| L3-P26 | 15+9 | 20,7 | 10.11.2022 | 0,2 | 40 | 49,5 | 21 | 2373 | |
| L3-P27 | 15 | 14,3 | 10.11.2022 | 0,2 | 27 | 67,3 | 35 | 1577 | |
| L3-P28 | 15+9 | 23,3 | 10.11.2022 | 0,2 | 49 | 44,5 | 18 | 3076 | |
| L3-P29 | 15+9 | 22,3 | 10.11.2022 | 0,2 | 17 | 61,8 | 24 | 2571 | |
| Rc;m;mean | | | | | | | | 2510 | 1554 |
| Rc;m;min | | | | | | | | 1577 | 1407 |

| Laatta | | 4 | | 14.marras | | | | | |
|-----------|-------|--------|--------------|-----------|-----------|------------------|----------|-----------|--------|
| Paalu | | | Loppulyönnit | | | Koekuormitusisku | | Kestävyys | Vaatus |
| Numero | L (m) | LE (m) | Pvm. | H (m) | s/10 (mm) | EMX (kNm) | DMX (mm) | RMX (kN) | (kN) |
| L4-P2 | 15+9 | 22,2 | 10.11.2022 | 0,2 | 89 | 33,9 | 16 | 1980 | |
| L4-P3 | 15+9 | 22,2 | 9.11.2022 | 0,2 | 60 | 53,1 | 22 | 2169 | |
| L4-P4 | 15+9 | 19 | 9.11.2022 | 0,2 | 117 | 54,4 | 24 | 1546 | |
| L4-P6 | 15+9 | 23,4 | 9.11.2022 | 0,2 | 80 | 59,6 | 22 | 2327 | |
| L4-P7 | 15+9 | 23,4 | 9.11.2022 | 0,2 | 39 | 57,7 | 21 | 2152 | |
| Rc;m;mean | | | | | | | | 2035 | 1664 |
| Rc;m;min | | | | | | | | 1546 | 1502 |

| Laatta | | 5 | | 14.marras | | | | | |
|-----------|-------|--------|--------------|-----------|-----------|------------------|----------|-----------|--------|
| Paalu | | | Loppulyönnit | | | Koekuormitusisku | | Kestävyys | Vaatus |
| Numero | L (m) | LE (m) | Pvm. | H (m) | s/10 (mm) | EMX (kNm) | DMX (mm) | RMX (kN) | (kN) |
| L5-P37 | 12+12 | 23 | 11.11.2022 | 0,2 | 15 | 58,2 | 23 | 2435 | |
| Rc;m;mean | | | | | | | | 2435 | 1617 |
| Rc;m;min | | | | | | | | 2435 | 1465 |

| Laatta | | 6 | | 14.marras | | | | | |
|-----------|-------|--------|--------------|-----------|-----------|------------------|----------|-----------|--------|
| Paalu | | | Loppulyönnit | | | Koekuormitusisku | | Kestävyys | Vaatus |
| Numero | L (m) | LE (m) | Pvm. | H (m) | s/10 (mm) | EMX (kNm) | DMX (mm) | RMX (kN) | (kN) |
| L6-P5 | 15+9 | 23,4 | 8.11.2022 | 0,2 | 127 | 43 | 17 | 2213 | |
| L6-P29 | 15+9 | 23,3 | 8.11.2022 | 0,2 | 80 | 35,9 | 16 | 2383 | |
| Rc;m;mean | | | | | | | | 2298 | 1769 |
| Rc;m;min | | | | | | | | 2213 | 1601 |

L: Paaluelementin pituus

LE: Antureiden etäisyys paalun kärjestä

H: Pudotuskorkeus

s/10: Paalun painuma upotuksen loppuvaiheessa 10 iskun sarjalla

EMX: Paaluun siirtynyt energia

DMX: Suurin siirtymä antureiden kohdalla

RMX: Mobilisoitunut staattinen vastus RMX estimaattia käyttäen

| Yksi elementti | | | | | | | | | | |
|----------------|-------|--------|--------------|-------|-----------|------------------|----------|---------------------|------------------|----------|
| Numero | Paalu | | Loppulyönnit | | | Koekuormitusisku | | Kestävyys (kN) | Vaatimus (kN) | |
| | L (m) | LE (m) | Pvm. | H (m) | s/10 (mm) | EMX (kNm) | DMX (mm) | | | RMX (kN) |
| 46 | 15 | 10,8 | 22.7.2021 | 0,2 | 22 | 34,5 | 26 | 1385 | | |
| 76 | 15 | 12,2 | 23.7.2021 | 0,25 | 15-30 | 38,5 | 27 | 1503 | | |
| 76_1 | 15 | 12,2 | 23.7.2021 | 0,25 | 16 | 32,3 | 21 | 2012 | | |
| 155 | 15 | 10,1 | 22.7.2021 | 0,2 | 17 | 37,6 | 23 | 1857 | | |
| 354 | 15 | 11,5 | 26.7.2021 | 0,3 | 21 | 43,5 | 25 | 1853 | | |
| 501 | 15 | 14,1 | 29.7.2021 | 0,2 | 60 | 29,3 | 29 | 1008 | | |
| | | | | | | | | R _{c,mean} | 1603 | 329 |
| | | | | | | | | R _{c,min} | 1008 | 295 |

| Kaksi elementtiä | | | | | | | | | | |
|------------------|-------|--------|--------------|-------|-----------|------------------|----------|---------------------|------------------|----------|
| Numero | Paalu | | Loppulyönnit | | | Koekuormitusisku | | Kestävyys (kN) | Vaatimus (kN) | |
| | L (m) | LE (m) | Pvm. | H (m) | s/10 (mm) | EMX (kNm) | DMX (mm) | | | RMX (kN) |
| 3 | 30 | 23,7 | 23.7.2021 | 0,25 | 32 | 40,2 | 30 | 1605 | | |
| 46_1 | 30 | 23,7 | 22.7.2021 | 0,2 | 15 | 42,8 | 26 | 1979 | | |
| 184 | 30 | 22,3 | 23.7.2021 | 0,2 | 52 | 28,2 | 33 | 954 | | |
| 235 | 30 | 28,7 | 27.7.2021 | 0,3 | 29 | 45 | 26 | 2363 | | |
| 279 | 30 | 22,4 | 27.7.2021 | 0,2 | 49 | 34,3 | 27 | 1390 | | |
| 398 | 30 | 24,3 | 26.7.2021 | 0,3 | 20 | 40,3 | 27 | 2051 | | |
| 514 | 30 | 24,6 | 26.7.2021 | 0,3 | 14 | 53,6 | 27 | 2479 | | |
| 402 | 30 | 21 | 29.7.2021 | 0,3 | 19 | 38,8 | 28 | 1804 | | |
| | | | | | | | | R _{c,mean} | 1828 | 932 |
| | | | | | | | | R _{c,min} | 954 | 836 |

| Yli kaksi elementtiä | | | | | | | | | | |
|----------------------|-------|--------|--------------|-------|-----------|------------------|----------|---------------------|------------------|----------|
| Numero | Paalu | | Loppulyönnit | | | Koekuormitusisku | | Kestävyys (kN) | Vaatimus (kN) | |
| | L (m) | LE (m) | Pvm. | H (m) | s/10 (mm) | EMX (kNm) | DMX (mm) | | | RMX (kN) |
| 10 | 40 | 36,1 | 23.7.2021 | 0,25 | 24 | 30,1 | 24 | 2301 | | |
| 165 | 40 | 39,7 | 27.7.2021 | 0,3 | 21 | 45,9 | 23 | 2541 | | |
| 170 | 40 | 38,7 | 27.7.2021 | 0,3 | 21 | 46,7 | 26 | 2631 | | |
| 172 | 48 | 43 | 23.7.2021 | 0,25 | 25 | 42,8 | 26 | 1971 | | |
| 185 | 40 | 39 | 26.7.2021 | 0,3 | 39 | 46,7 | 29 | 1497 | | |
| 185_1 | 48 | 43,2 | 26.7.2021 | 0,3 | 24 | 43 | 28 | 2201 | | |
| 256 | 50 | 44,7 | 22.7.2021 | 0,2 | 10 | 32,7 | 24 | 2319 | | |
| 259 | 48 | 42,5 | 28.7.2021 | 0,3 | 36 | 48,7 | 31 | 2200 | | |
| 279_1 | 40 | 39,2 | 28.7.2021 | 0,3 | 42 | 46,9 | 25 | 2064 | | |
| 335 | 48 | 44,9 | 28.7.2021 | 0,3 | 20 | 47,9 | 27 | 2743 | | |
| 353 | 40 | 38,5 | 27.7.2021 | 0,25 | 22 | 57,8 | 27 | 2985 | | |
| 399 | 48 | 43 | 28.7.2021 | 0,3 | 14 | 48,7 | 26 | 2808 | | |
| 465 | 48 | 43 | 29.7.2021 | 0,3 | 20 | 47,9 | 26 | 2449 | | |
| 497 | 40 | 38,7 | 27.7.2021 | 0,3 | 23 | 51,5 | 26 | 2883 | | |
| | | | | | | | | R _{c,mean} | 2400 | 1610 |
| | | | | | | | | R _{c,min} | 1497 | 1443 |

| Uudelleen kuormitettu | | | | | | | | | | |
|-----------------------|-------|--------|--------------|-------|-----------|------------------|----------|---------------------|------------------|----------|
| Numero | Paalu | | Loppulyönnit | | | Koekuormitusisku | | Kestävyys (kN) | Vaatimus (kN) | |
| | L (m) | LE (m) | Pvm. | H (m) | s/10 (mm) | EMX (kNm) | DMX (mm) | | | RMX (kN) |
| 3 | 30 | 23,7 | 23.7.2021 | 0,25 | 32 | 39,3 | 25 | 1633 | 836 | |
| 10 | 40 | 36,1 | 23.7.2021 | 0,25 | 24 | 34,8 | 23 | 2535 | 1443 | |
| 46_1 | 30 | 23,7 | 22.7.2021 | 0,2 | 15 | 42,4 | 22 | 2227 | 836 | |
| 155 | 15 | 10,1 | 22.7.2021 | 0,2 | 17 | 45 | 26 | 1866 | 295 | |
| 184 | 30 | 22,3 | 23.7.2021 | 0,2 | 52 | 35,3 | 28 | 1036 | 836 | |
| 256 | 50 | 44,7 | 22.7.2021 | 0,2 | 10 | 64,4 | 32 | 3101 | 1443 | |
| 354 | 15 | 11,5 | 26.7.2021 | 0,3 | 21 | 41,3 | 25 | 1894 | 295 | |
| | | | | | | | | R _{c,mean} | 2042 | |
| | | | | | | | | R _{c,min} | 1036 | |

L: Paaluelementin pituus

LE: Antureiden etäisyys paalun kärjestä

H: Pudotuskorkeus

s/10: Paalun painuma upotuksen loppuvaiheessa 10 iskun sarjalla

EMX: Paaluun siirtynyt energia

DMX: Suurin siirtymä antureiden kohdalla

RMX: Mobilisoitunut staattinen vastus RMX estimaattia käyttäen

| Uudelleen kuormitettu | | | Loppulyönnit | | | Koekuormitusisku | | Kestävyys |
|-----------------------|-------|--------|--------------|---------|-----------|------------------|-----------|-----------|
| Numero | L (m) | LE (m) | Pvm. | H (m) | s/10 (mm) | EMX (kNm) | DMX (mm) | RMX (kN) |
| 354 | 15 | 11,5 | 6.9.2021 | 0,3-0,4 | 18 | 62,1 | 33 | 1973 |
| 398 | 30 | 24 | 6.9.2021 | 0,3-0,4 | 20 | 50,3 | 26 | 2306 |
| 514 | 30 | 24 | 6.9.2021 | 0,3-0,4 | 5 | 43 | 22 | 2533 |
| | | | | | | | Rc;m;mean | 2271 |
| | | | | | | | Rc;m;min | 1973 |

L: Paaluelementin pituus

LE: Antureiden etäisyys paalun kärjestä

H: Pudotuskorkeus

s/10: Paalun painuma upotuksen loppuvaiheessa 10 iskun sarjalla

EMX: Paaluun siirtynyt energia

DMX: Suurin siirtymä antureiden kohdalla

RMX: Mobilisoitunut staattinen vastus RMX estimaattia käyttäen

(24)

13.kesä

| Paalu | | | Loppulyönnit | | | Koekuormitusisku | | Kestävyys | Vaatus |
|-----------|-------|--------|--------------|-------|-----------|------------------|----------|-----------|--------|
| Numero | L (m) | LE (m) | Pvm. | H (m) | s/10 (mm) | EMX (kNm) | DMX (mm) | RMX (kN) | (kN) |
| P81 | 25 | 24,2 | 9.6.2023 | 0,4 | < 20 | 58,5 | 21 | 2812 | |
| P92 | 25 | 24 | 9.6.2023 | 0,4 | < 20 | 64 | 21 | 3236 | |
| P112 | 25 | 22,6 | 8.6.2023 | 0,4 | < 20 | 57,7 | 20 | 3591 | |
| P186 | 25 | 22,3 | 12.6.2023 | 0,4 | < 20 | 70,2 | 25 | 2541 | |
| P193 | 25 | 23,2 | 12.6.2023 | 0,4 | < 20 | 36,5 | 16 | 2825 | |
| P216 | 24 | 21,6 | 12.6.2023 | 0,4 | < 20 | 62,4 | 21 | 3748 | |
| P242 | 24 | 23,2 | 13.6.2023 | 0,4 | < 20 | 65,1 | 25 | 2974 | |
| P261 | 25 | 23,9 | 1.6.2023 | 0,4 | < 20 | 59,5 | 21 | 3487 | |
| Rc;m;mean | | | | | | | | 3152 | 2805 |
| Rc;m;min | | | | | | | | 2541 | 2524 |

Mittauksen suoritti eri urakoitsija, DMX-arvoja ei ollut ilmoitettu.

21.marras

| Paalu | | | Loppulyönnit | | | Koekuormitusisku | | Kestävyys | Vaatus |
|-----------|-------|--------|--------------|-------|-----------|------------------|----------|-----------|--------|
| Numero | L (m) | LE (m) | Pvm. | H (m) | s/10 (mm) | EMX (kNm) | DMX (mm) | RMX (kN) | (kN) |
| P5 | 27 | 23,7 | 16.11.2023 | 0,4 | < 20 | 61,6 | - | 4252 | |
| P11 | 27 | 26 | 15.11.2023 | 0,4 | < 20 | 55,6 | - | 3639 | |
| P66 | 25 | 22,7 | 16.11.2023 | 0,4 | < 20 | 48,6 | - | 2807 | |
| P67 | 27 | 25 | 16.11.2023 | 0,4 | < 20 | 33 | - | 2918 | |
| P122 | 27 | 24,3 | 17.11.2023 | 0,4 | < 20 | 52,2 | - | 4383 | |
| P151 | 25 | 21,2 | 20.11.2023 | 0,4 | < 20 | 51 | - | 2565 | |
| P171 | 25 | 24,2 | 16.11.2023 | 0,4 | < 20 | 44,6 | - | 3099 | |
| P172 | 25 | 23 | 16.11.2023 | 0,4 | < 20 | 47,8 | - | 3127 | |
| Rc;m;mean | | | | | | | | 3348 | 2805 |
| Rc;m;min | | | | | | | | 2565 | 2524 |

L: Paaluelementin pituus

LE: Antureiden etäisyys paalun kärjestä

H: Pudotuskorkeus

s/10: Paalun painuma upotuksen loppuvaiheessa 10 iskun sarjalla

EMX: Paaluun siirtynyt energia

DMX: Suurin siirtymä antureiden kohdalla

RMX: Mobilisoitunut staattinen vastus RMX estimaattia käyttäen

(25; 26)

NÄSISAAREN PAALUJEN PITUUDET

LIITE 10/1

| Paalu numero | Pituus lyöty | Pituus hyöty |
|--------------|--------------|--------------|
| 1 | 25 | 23,97 |
| 2 | 25 | 23,62 |
| 3 | 24 | 23,15 |
| 4 | 24 | 22,92 |
| 5 | 27 | 23,1 |
| 6 | 25 | 23,2 |
| 7 | 24 | 23,24 |
| 8 | 24 | 23,75 |
| 9 | 25 | 22,23 |
| 10 | 26 | 22,14 |
| 11 | 27 | 26,77 |
| 12 | 25 | 20,87 |
| 13 | 24 | 22,66 |
| 14 | 24 | 23,13 |
| 15 | 24 | 23,17 |
| 16 | 24 | 23,21 |
| 17 | 24 | 23,04 |
| 18 | 24 | 23,75 |
| 19 | 24 | 23,75 |
| 20 | 25 | 22,86 |
| 21 | 27 | 23,84 |
| 22 | 25 | 23,5 |
| 23 | 24 | 22,16 |
| 24 | 24 | 23,92 |
| 25 | 25 | 23,01 |
| 26 | 24 | 23,72 |
| 27 | 24 | 22,25 |
| 28 | 25 | 22,61 |
| 29 | 25 | 24,48 |
| 30 | 26 | 24,09 |
| 31 | 28 | 26,37 |
| 32 | 25 | 20,07 |
| 33 | 24 | 19,27 |
| 34 | 24 | 23,52 |
| 35 | 24 | 21,46 |
| 36 | 24 | 21,12 |
| 37 | 25 | 23,37 |
| 38 | 25 | 23,64 |
| 39 | 25 | 21,72 |
| 40 | 26 | 24,16 |
| 41 | 26 | 25,59 |
| 42 | 24 | 19,61 |
| 43 | 24 | 23,71 |
| 44 | 24 | 22,03 |
| 45 | 24 | 21,06 |
| yhhteensä | 1115 | 1034,81 |

| Paalu numero | Pituus lyöty | Pituus hyöty |
|--------------|--------------|--------------|
| 46 | 24 | 21,35 |
| 47 | 24 | 23,64 |
| 48 | 25 | 23,42 |
| 49 | 25 | 23,75 |
| 50 | 26 | 24,49 |
| 51 | 26 | 26,01 |
| 52 | 25 | 20,28 |
| 53 | 25 | 24,31 |
| 54 | 25 | 23,82 |
| 55 | 24 | 24 |
| 56 | 24 | 21,35 |
| 57 | 24 | 23,23 |
| 58 | 25 | 23,89 |
| 59 | 25 | 23,59 |
| 60 | 26 | 24,11 |
| 61 | 26 | 26 |
| 62 | 27 | 23,91 |
| 63 | 25 | 24,16 |
| 64 | 25 | 24,01 |
| 65 | 25 | 24 |
| 66 | 25 | 21,87 |
| 67 | 27 | 24,29 |
| 68 | 26 | 24 |
| 69 | 26 | 23,97 |
| 70 | 26 | 24,69 |
| 71 | 28 | 26,27 |
| 72 | 24 | 24 |
| 73 | 25 | 23,94 |
| 74 | 25 | 24,97 |
| 75 | 25 | 23,91 |
| 76 | 26 | 24,04 |
| 77 | 25 | 24,05 |
| 78 | 25 | 24,47 |
| 79 | 25 | 24,46 |
| 80 | 29 | 25,56 |
| 81 | 25 | 24,5 |
| 82 | 25 | 23,95 |
| 83 | 25 | 23,87 |
| 84 | 25 | 22,13 |
| 85 | 25 | 24,26 |
| 86 | 25 | 24,39 |
| 87 | 26 | 24,85 |
| 88 | 25 | 25 |
| 89 | 27 | 24,89 |
| 90 | 24 | 23,02 |
| yhhteensä | 1140 | 1078,67 |

| Paalu numero | Pituus lyöty | Pituus hyöty |
|--------------|--------------|--------------|
| 91 | 24 | 22,95 |
| 92 | 25 | 23,57 |
| 93 | 25 | 24,46 |
| 94 | 25 | 24,23 |
| 95 | 25 | 24,51 |
| 96 | 25 | 24,18 |
| 97 | 26 | 25,02 |
| 98 | 27 | 25,37 |
| 99 | 24 | 22,58 |
| 100 | 24 | 22,54 |
| 101 | 24 | 23,26 |
| 102 | 25 | 23,21 |
| 103 | 24 | 23,76 |
| 104 | 25 | 23,49 |
| 105 | 25 | 24,11 |
| 106 | 26 | 24,78 |
| 107 | 27 | 24,94 |
| 108 | 24 | 22,57 |
| 109 | 24 | 21,7 |
| 110 | 24 | 21,01 |
| 111 | 24 | 23,23 |
| 112 | 25 | 23,05 |
| 113 | 25 | 23,5 |
| 114 | 26 | 24,23 |
| 115 | 27 | 25,21 |
| 116 | 26 | 26 |
| 117 | 27 | 26,29 |
| 118 | 26 | 24,64 |
| 119 | 26 | 24,44 |
| 120 | 26 | 24,54 |
| 121 | 25 | 24,1 |
| 122 | 27 | 23,72 |
| 123 | 26 | 23,45 |
| 124 | 25 | 24,08 |
| 125 | 25 | 22,79 |
| 126 | 25 | 23,67 |
| 127 | 25 | 21,38 |
| 128 | 25 | 23,36 |
| 129 | 25 | 20,66 |
| 130 | 25 | 24,68 |
| 131 | 25 | 21,6 |
| 132 | 25 | 20,2 |
| 133 | 24 | 21,77 |
| 134 | 25 | 20,19 |
| 135 | 25 | 24,97 |
| yhhteensä | 1133 | 1057,99 |

NÄSISAAREN PAALUJEN PITUUDET

LIITE 10/2

| Paalu numero | Pituus lyöty | Pituus hyöty |
|--------------|--------------|--------------|
| 136 | 25 | 23,78 |
| 137 | 25 | 22,15 |
| 138 | 25 | 20,77 |
| 139 | 24 | 20,07 |
| 140 | 25 | 23,2 |
| 141 | 27 | 24,18 |
| 142 | 25 | 24,18 |
| 143 | 25 | 21,51 |
| 144 | 25 | 24,85 |
| 145 | 25 | 24,62 |
| 146 | 25 | 23,46 |
| 147 | 24 | 23,11 |
| 148 | 25 | 23,06 |
| 149 | 25 | 22,31 |
| 150 | 25 | 20,81 |
| 151 | 25 | 20,71 |
| 152 | 25 | 21,16 |
| 153 | 25 | 22,07 |
| 154 | 25 | 21,05 |
| 155 | 25 | 20,16 |
| 156 | 25 | 19,4 |
| 157 | 25 | 23 |
| 158 | 25 | 22,01 |
| 159 | 25 | 24,52 |
| 160 | 25 | 24,68 |
| 161 | 25 | 24,72 |
| 162 | 25 | 21,12 |
| 163 | 25 | 23,38 |
| 164 | 25 | 23,35 |
| 165 | 27 | 26,33 |
| 166 | 25 | 20,4 |
| 167 | 25 | 24,45 |
| 168 | 26 | 22,1 |
| 169 | 25 | 24,84 |
| 170 | 25 | 21,03 |
| 171 | 25 | 23,71 |
| 172 | 25 | 22,32 |
| 173 | 24 | 23,42 |
| 174 | 25 | 22,01 |
| 175 | 25 | 24,66 |
| 176 | 25 | 24 |
| 177 | 24 | 24 |
| 178 | 25 | 24,24 |
| 179 | 25 | 25 |
| 180 | 26 | 24,55 |
| yhteensä | 1127 | 1030,45 |

| Paalu numero | Pituus lyöty | Pituus hyöty |
|--------------|--------------|--------------|
| 181 | 24 | 23,11 |
| 182 | 24 | 24 |
| 183 | 25 | 22,32 |
| 184 | 24 | 21,66 |
| 185 | 25 | 25 |
| 186 | 25 | 21,93 |
| 187 | 25 | 22,4 |
| 188 | 25 | 22,74 |
| 189 | 24 | 22,18 |
| 190 | 24 | 21,86 |
| 191 | 24 | 23,48 |
| 192 | 24 | 23,37 |
| 193 | 25 | 22,79 |
| 194 | 24 | 23,14 |
| 195 | 24 | 21,65 |
| 196 | 24 | 24 |
| 197 | 23 | 23 |
| 198 | 24 | 22,02 |
| 199 | 24 | 23,43 |
| 200 | 24 | 22,86 |
| 201 | 24 | 22,69 |
| 202 | 24 | 23,05 |
| 203 | 24 | 21,93 |
| 204 | 24 | 22,763 |
| 205 | 24 | 22,83 |
| 206 | 24 | 21,69 |
| 207 | 24 | 23,12 |
| 208 | 24 | 23,28 |
| 209 | 24 | 23 |
| 210 | 24 | 22,99 |
| 211 | 24 | 21,27 |
| 212 | 24 | 24 |
| 213 | 24 | 22,5 |
| 214 | 24 | 22,9 |
| 215 | 24 | 22,91 |
| 216 | 24 | 21,04 |
| 217 | 24 | 21,02 |
| 218 | 24 | 20,68 |
| 219 | 24 | 22,41 |
| 220 | 24 | 23,06 |
| 221 | 24 | 22,4 |
| 222 | 24 | 22,63 |
| 223 | 24 | 23,12 |
| 224 | 24 | 23,24 |
| 225 | 24 | 23,24 |
| yhteensä | 1085 | 1020,7 |

| Paalu numero | Pituus lyöty | Pituus hyöty |
|--------------|--------------|--------------|
| 226 | 24 | 22,53 |
| 227 | 24 | 22,74 |
| 228 | 24 | 20,82 |
| 229 | 24 | 23,31 |
| 230 | 23 | 22,97 |
| 231 | 24 | 22,67 |
| 232 | 24 | 22,89 |
| 233 | 24 | 22,08 |
| 234 | 24 | 22,52 |
| 235 | 24 | 23,33 |
| 236 | 24 | 22,89 |
| 237 | 24 | 23,39 |
| 238 | 24 | 22,78 |
| 239 | 24 | 22,71 |
| 240 | 24 | 23,3 |
| 241 | 24 | 22,79 |
| 242 | 24 | 22,64 |
| 243 | 24 | 23,2 |
| 244 | 24 | 21,6 |
| 245 | 24 | 23,04 |
| 246 | 24 | 22,97 |
| 247 | 24 | 23,05 |
| 248 | 24 | 23,35 |
| 249 | 24 | 22,77 |
| 250 | 24 | 22,09 |
| 251 | 24 | 22,74 |
| 252 | 24 | 20,96 |
| 253 | 24 | 23,38 |
| 254 | 23 | 23 |
| 255 | 24 | 23,17 |
| 256 | 25 | 24,43 |
| 257 | 24 | 22,81 |
| 258 | 25 | 24,1 |
| 259 | 24 | 23,07 |
| 260 | 24 | 22,75 |
| 261 | 25 | 23,51 |
| yhteensä | 865 | 822,35 |

| Kaikki yhteensä | Lyöty | Hyöty |
|-----------------|-------|---------|
| | 6465 | 6044,97 |

SANTALAHDEN MATERIAALIEN SÄÄSTÖLASKELMAT

LIITE 11/1

| Paalu | Arvio (m) | Lyöty (m) | Säästö (m) | Jatkos |
|----------|-----------|-----------|------------|--------|
| L3-P1 | 28 | 24 | 4 | |
| L3-P2 | 28 | 24 | 4 | |
| L3-P3 | 28 | 24 | 4 | |
| L3-P4 | 28 | 22 | 6 | |
| L3-P5 | 28 | 22 | 6 | |
| L3-P6 | 28 | 24 | 4 | |
| L3-P7 | 28 | 24 | 4 | |
| L3-P8 | 28 | 24 | 4 | |
| L3-P9 | 28 | 24 | 4 | |
| L3-P10 | 28 | 24 | 4 | |
| L3-P11 | 28 | 24 | 4 | |
| L3-P12 | 28 | 24 | 4 | |
| L3-P13 | 28 | 22 | 6 | |
| L3-P14 | 28 | 24 | 4 | |
| L3-P15 | 28 | 22 | 6 | |
| L3-P16 | 28 | 35 | -7 | 1 |
| L3-P17 | 28 | 24 | 4 | |
| L3-P18 | 28 | 24 | 4 | |
| L3-P19 | 28 | 24 | 4 | |
| L3-P20 | 28 | 24 | 4 | |
| L3-P21 | 28 | 22 | 6 | |
| L3-P22 | 28 | 22 | 6 | |
| L3-P23 | 28 | 22 | 6 | |
| L3-P24 | 28 | 15 | 13 | -1 |
| L3-P25 | 28 | 15 | 13 | -1 |
| L3-P26 | 28 | 24 | 4 | |
| L3-P27 | 28 | 15 | 13 | -1 |
| L3-P28 | 28 | 24 | 4 | |
| L3-P29 | 28 | 24 | 4 | |
| L3-P30 | 29 | 24 | 5 | |
| L3-P31 | 29 | 24 | 5 | |
| L3-P32 | 29 | 24 | 5 | |
| L3-P33 | 28 | 24 | 4 | |
| L3-P34 | 28 | 22 | 6 | |
| L3-P35 | 28 | 24 | 4 | |
| L3-P36 | 29 | 22 | 7 | |
| Yhteensä | 1012 | 830 | 182 | -2 |

| Paalu | Arvio (m) | Lyöty (m) | Säästö (m) | Jatkos |
|----------|-----------|-----------|------------|--------|
| L4-P1 | 28 | 26 | 2 | |
| L4-P2 | 29 | 24 | 5 | |
| L4-P3 | 29 | 24 | 5 | |
| L4-P4 | 29 | 24 | 5 | |
| L4-P5 | 29 | 24 | 5 | |
| L4-P6 | 29 | 24 | 5 | |
| L4-P7 | 29 | 24 | 5 | |
| L4-P8 | 29 | 24 | 5 | |
| L4-P9 | 28 | 24 | 4 | |
| L4-P10 | 28 | 24 | 4 | |
| L4-P11 | 28 | 24 | 4 | |
| L4-P12 | 29 | 24 | 5 | |
| L4-P13 | 29 | 24 | 5 | |
| L4-P14 | 29 | 24 | 5 | |
| L4-P15 | 29 | 24 | 5 | |
| L4-P16 | 29 | 24 | 5 | |
| L4-P17 | 28 | 24 | 4 | |
| L4-P18 | 29 | 24 | 5 | |
| L4-P19 | 29 | 24 | 5 | |
| L4-P20 | 29 | 24 | 5 | |
| L4-P21 | 29 | 24 | 5 | |
| L4-P22 | 29 | 24 | 5 | |
| L4-P23 | 29 | 24 | 5 | |
| L4-P24 | 29 | 24 | 5 | |
| L4-P25 | 29 | 24 | 5 | |
| L4-P26 | 29 | 24 | 5 | |
| L4-P27 | 29 | 24 | 5 | |
| L4-P28 | 29 | 24 | 5 | |
| L4-P29 | 29 | 24 | 5 | |
| L4-P30 | 29 | 24 | 5 | |
| L4-P31 | 29 | 24 | 5 | |
| L4-P32 | 29 | 26 | 3 | |
| L4-P33 | 29 | 24 | 5 | |
| L4-P34 | 29 | 24 | 5 | |
| L4-P35 | 29 | 24 | 5 | |
| L4-P36 | 29 | 24 | 5 | |
| Yhteensä | 1039 | 868 | 171 | 0 |

| Paalu | Arvio (m) | Lyöty (m) | Säästö (m) | Jatkos |
|----------|-----------|-----------|------------|--------|
| L5-P1 | 29 | 24 | 5 | |
| L5-P2 | 29 | 24 | 5 | |
| L5-P3 | 29 | 26 | 3 | |
| L5-P4 | 30 | 24 | 6 | |
| L5-P5 | 30 | 24 | 6 | |
| L5-P6 | 30 | 24 | 6 | |
| L5-P7 | 30 | 24 | 6 | |
| L5-P8 | 30 | 25 | 5 | |
| L5-P9 | 31 | 24 | 7 | -1 |
| L5-P10 | 31 | 24 | 7 | -1 |
| L5-P11 | 29 | 24 | 5 | |
| L5-P12 | 29 | 24 | 5 | |
| L5-P13 | 29 | 24 | 5 | |
| L5-P14 | 30 | 24 | 6 | |
| L5-P15 | 30 | 24 | 6 | |
| L5-P16 | 30 | 24 | 6 | |
| L5-P17 | 30 | 24 | 6 | |
| L5-P18 | 30 | 24 | 6 | |
| L5-P19 | 30 | 25 | 5 | |
| L5-P20 | 31 | 24 | 7 | -1 |
| L5-P21 | 29 | 22 | 7 | |
| L5-P22 | 29 | 22 | 7 | |
| L5-P23 | 29 | 24 | 5 | |
| L5-P24 | 30 | 24 | 6 | |
| L5-P25 | 30 | 24 | 6 | |
| L5-P26 | 30 | 24 | 6 | |
| L5-P27 | 30 | 24 | 6 | |
| L5-P28 | 30 | 24 | 6 | |
| L5-P29 | 30 | 25 | 5 | |
| L5-P30 | 31 | 24 | 7 | -1 |
| L5-P31 | 29 | 22 | 7 | |
| L5-P32 | 29 | 24 | 5 | |
| L5-P33 | 29 | 26 | 3 | |
| L5-P34 | 30 | 24 | 6 | |
| L5-P35 | 30 | 36 | -6 | 1 |
| L5-P36 | 30 | 24 | 6 | |
| L5-P37 | 30 | 24 | 6 | |
| L5-P38 | 30 | 24 | 6 | |
| L5-P39 | 30 | 24 | 6 | |
| L5-P40 | 30 | 24 | 6 | |
| L5-P41 | 29 | 24 | 5 | |
| L5-P42 | 30 | 24 | 6 | |
| L5-P43 | 31 | 24 | 7 | -1 |
| L5-P44 | 31 | 24 | 7 | -1 |
| L5-P45 | 29 | 24 | 5 | |
| L5-P46 | 30 | 24 | 6 | |
| L5-P47 | 31 | 24 | 7 | -1 |
| L5-P48 | 31 | 24 | 7 | -1 |
| Yhteensä | 1434 | 1165 | 269 | -7 |

| Paalu | Arvio (m) | Lyöty (m) | Säästö (m) | Jatkos |
|----------|-----------|-----------|------------|--------|
| L6-P1 | 31 | 24 | 7 | -1 |
| L6-P2 | 33 | 24 | 9 | -1 |
| L6-P3 | 34 | 26 | 8 | -1 |
| L6-P4 | 34 | 36 | -2 | |
| L6-P5 | 34 | 24 | 10 | -1 |
| L6-P6 | 33 | 24 | 9 | -1 |
| L6-P7 | 33 | 24 | 9 | -1 |
| L6-P8 | 33 | 33 | 0 | |
| L6-P9 | 31 | 24 | 7 | -1 |
| L6-P10 | 32 | 24 | 8 | -1 |
| L6-P11 | 33 | 24 | 9 | -1 |
| L6-P12 | 33 | 24 | 9 | -1 |
| L6-P13 | 33 | 24 | 9 | -1 |
| L6-P14 | 33 | 24 | 9 | -1 |
| L6-P15 | 33 | 24 | 9 | -1 |
| L6-P16 | 33 | 35 | -2 | |
| L6-P17 | 31 | 24 | 7 | -1 |
| L6-P18 | 31 | 24 | 7 | -1 |
| L6-P19 | 31 | 24 | 7 | -1 |
| L6-P20 | 31 | 24 | 7 | -1 |
| L6-P21 | 32 | 24 | 8 | -1 |
| L6-P22 | 32 | 24 | 8 | -1 |
| L6-P23 | 32 | 24 | 8 | -1 |
| L6-P24 | 32 | 33 | -1 | |
| L6-P25 | 30 | 24 | 6 | |
| L6-P26 | 30 | 24 | 6 | |
| L6-P27 | 30 | 24 | 6 | |
| L6-P28 | 30 | 24 | 6 | |
| L6-P29 | 30 | 24 | 6 | |
| L6-P30 | 30 | 24 | 6 | |
| L6-P31 | 30 | 24 | 6 | |
| L6-P32 | 31 | 33 | -2 | |
| L6-P33 | 32 | 24 | 8 | -1 |
| L6-P34 | 33 | 24 | 9 | -1 |
| L6-P35 | 34 | 24 | 10 | -1 |
| L6-P36 | 33 | 24 | 9 | -1 |
| L6-P37 | 31 | 24 | 7 | -1 |
| L6-P38 | 31 | 24 | 7 | -1 |
| L6-P39 | 31 | 24 | 7 | -1 |
| L6-P40 | 32 | 24 | 8 | -1 |
| Yhteensä | 1276 | 1012 | 264 | -28 |

| Kaikki | Arvio (m) | Lyöty (m) | Säästö (m) | Jatkos |
|----------|-----------|-----------|------------|--------|
| Yhteensä | 4761 | 3875 | 886 | -37 |

TYÖMAAN 2 MATERIAALIEN SÄÄSTÖLASKELMAT

LIITE 12/1

| | Arvio | Lyöty | Säästö | Jatkos | | Arvio | Lyöty | Säästö | Jatkos | | Arvio | Lyöty | Säästö | Jatkos |
|-------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|
| Paalu | (m) | (m) | (m) | (kpl) | Paalu | (m) | (m) | (m) | (kpl) | Paalu | (m) | (m) | (m) | (kpl) |
| 1 | 36 | 25 | 11 | -1 | 48 | 39 | 41 | -2 | | 95 | 40 | 24 | 16 | -1 |
| 2 | 34 | 26 | 8 | -1 | 49 | 37 | 22 | 15 | -1 | 96 | 40 | 42 | -2 | |
| 3 | 37 | 30 | 7 | -1 | 50 | 37 | 21 | 16 | -1 | 97 | 37 | 37 | 0 | |
| 4 | 36 | 39 | -3 | | 51 | 36 | 36 | 0 | | 98 | 37 | 37 | 0 | |
| 5 | 36 | 35 | 1 | | 52 | 37 | 36 | 1 | | 99 | 36 | 36 | 0 | |
| 6 | 35 | 36 | -1 | | 53 | 37 | 21 | 16 | -1 | 100 | 41 | 45 | -4 | |
| 7 | 35 | 36 | -1 | | 54 | 37 | 36 | 1 | | 101 | 40 | 30 | 10 | -1 |
| 8 | 35 | 39 | -4 | | 55 | 37 | 37 | 0 | | 102 | 39 | 41 | -2 | |
| 9 | 34 | 34 | 0 | | 56 | 39 | 53 | -14 | 1 | 103 | 36 | 38 | -2 | |
| 10 | 34 | 40 | -6 | | 57 | 39 | 25 | 14 | -1 | 104 | 36 | 38 | -2 | |
| 11 | 36 | 26 | 10 | -1 | 58 | 35 | 36 | -1 | | 105 | 40 | 30 | 10 | -1 |
| 12 | 35 | 25 | 10 | -1 | 59 | 37 | 27 | 10 | -1 | 106 | 40 | 24 | 16 | -1 |
| 13 | 35 | 37 | -2 | | 60 | 38 | 40 | -2 | | 107 | 39 | 20 | 19 | -1 |
| 14 | 34 | 38 | -4 | | 61 | 38 | 37 | 1 | | 108 | 37 | 37 | 0 | |
| 15 | 34 | 37 | -3 | | 62 | 37 | 21 | 16 | -1 | 109 | 37 | 37 | 0 | |
| 16 | 36 | 34 | 2 | | 63 | 37 | 22 | 15 | -1 | 110 | 36 | 37 | -1 | |
| 17 | 35 | 36 | -1 | | 64 | 37 | 37 | 0 | | 111 | 36 | 37 | -1 | |
| 18 | 35 | 36 | -1 | | 65 | 40 | 45 | -5 | | 112 | 40 | 42 | -2 | |
| 19 | 34 | 35 | -1 | | 66 | 37 | 13 | 24 | -2 | 113 | 39 | 40 | -1 | |
| 20 | 34 | 34 | 0 | | 67 | 39 | 45 | -6 | | 114 | 40 | 40 | 0 | |
| 21 | 35 | 37 | -2 | | 68 | 35 | 37 | -2 | | 115 | 40 | 20 | 20 | -1 |
| 22 | 35 | 37 | -2 | | 69 | 35 | 37 | -2 | | 116 | 36 | 36 | 0 | |
| 23 | 34 | 37 | -3 | | 70 | 40 | 20 | 20 | -1 | 117 | 39 | 20 | 19 | -1 |
| 24 | 34 | 37 | -3 | | 71 | 40 | 44 | -4 | | 118 | 41 | 30 | 11 | -1 |
| 25 | 34 | 35 | -1 | | 72 | 40 | 28 | 12 | -1 | 119 | 40 | 44 | -4 | |
| 26 | 35 | 30 | 5 | -1 | 73 | 38 | 38 | 0 | | 120 | 37 | 37 | 0 | |
| 27 | 35 | 36 | -1 | | 74 | 35 | 37 | -2 | | 121 | 37 | 37 | 0 | |
| 28 | 36 | 36 | 0 | | 75 | 35 | 38 | -3 | | 122 | 42 | 24 | 18 | -1 |
| 29 | 34 | 37 | -3 | | 76 | 35 | 38 | -3 | | 123 | 41 | 30 | 11 | -1 |
| 30 | 36 | 36 | 0 | | 77 | 40 | 45 | -5 | | 124 | 40 | 30 | 10 | -1 |
| 31 | 35 | 36 | -1 | | 78 | 39 | 23 | 16 | -1 | 125 | 40 | 30 | 10 | -1 |
| 32 | 35 | 15 | 20 | -2 | 79 | 38 | 28 | 10 | -1 | 126 | 40 | 42 | -2 | |
| 33 | 35 | 36 | -1 | | 80 | 40 | 24 | 16 | -1 | 127 | 40 | 20 | 20 | -1 |
| 34 | 37 | 20 | 17 | -1 | 81 | 39 | 28 | 11 | -1 | 128 | 42 | 20 | 22 | -1 |
| 35 | 36 | 26 | 10 | -1 | 82 | 39 | 20 | 19 | -1 | 129 | 40 | 30 | 10 | -1 |
| 36 | 36 | 36 | 0 | | 83 | 35 | 40 | -5 | | 130 | 37 | 38 | -1 | |
| 37 | 37 | 37 | 0 | | 84 | 40 | 40 | 0 | | 131 | 37 | 37 | 0 | |
| 38 | 35 | 36 | -1 | | 85 | 40 | 24 | 16 | -1 | 132 | 41 | 44 | -3 | |
| 39 | 37 | 21 | 16 | -1 | 86 | 41 | 35 | 6 | | 133 | 40 | 20 | 20 | -1 |
| 40 | 35 | 13 | 22 | -2 | 87 | 39 | 40 | -1 | | 134 | 36 | 37 | -1 | |
| 41 | 35 | 36 | -1 | | 88 | 41 | 20 | 21 | -1 | 135 | 36 | 37 | -1 | |
| 42 | 37 | 36 | 1 | | 89 | 40 | 15 | 25 | -2 | 136 | 36 | 36 | 0 | |
| 43 | 35 | 36 | -1 | | 90 | 39 | 15 | 24 | -2 | 137 | 41 | 44 | -3 | |
| 44 | 35 | 37 | -2 | | 91 | 40 | 44 | -4 | | 138 | 40 | 43 | -3 | |
| 45 | 35 | 45 | -10 | | 92 | 41 | 43 | -2 | | 139 | 41 | 44 | -3 | |
| 46 | 39 | 30 | 9 | -1 | 93 | 41 | 44 | -3 | | 140 | 42 | 24 | 18 | -1 |
| 47 | 36 | 36 | 0 | | 94 | 40 | 44 | -4 | | 141 | 36 | 37 | -1 | |
| yht. | 1658 | 1568 | 90 | -14 | yht. | 1795 | 1540 | 255 | -21 | yht. | 1824 | 1603 | 221 | -17 |

TYÖMAAN 2 MATERIAALIEN SÄÄSTÖLASKELMAT

LIITE 12/2

| | Arvio | Lyöty | Säästö | Jatkos | | Arvio | Lyöty | Säästö | Jatkos | | Arvio | Lyöty | Säästö | Jatkos |
|-------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|
| Paalu | (m) | (m) | (m) | (kpl) | Paalu | (m) | (m) | (m) | (kpl) | Paalu | (m) | (m) | (m) | (kpl) |
| 142 | 36 | 37 | -1 | | 189 | 41 | 30 | 11 | -1 | 236 | 41 | 23 | 18 | -1 |
| 143 | 41 | 44 | -3 | | 190 | 37 | 24 | 13 | -1 | 237 | 41 | 25 | 16 | -1 |
| 144 | 40 | 28 | 12 | -1 | 191 | 40 | 42 | -2 | | 238 | 42 | 24 | 18 | -1 |
| 145 | 41 | 43 | -2 | | 192 | 42 | 24 | 18 | -1 | 239 | 41 | 24 | 17 | -1 |
| 146 | 40 | 28 | 12 | -1 | 193 | 36 | 21 | 15 | -1 | 240 | 40 | 25 | 15 | -1 |
| 147 | 42 | 35 | 7 | | 194 | 42 | 24 | 18 | -1 | 241 | 38 | 21 | 17 | -1 |
| 148 | 40 | 28 | 12 | -1 | 195 | 41 | 30 | 11 | -1 | 242 | 38 | 21 | 17 | -1 |
| 149 | 40 | 43 | -3 | | 196 | 36 | 21 | 15 | -1 | 243 | 42 | 24 | 18 | -1 |
| 150 | 41 | 44 | -3 | | 197 | 40 | 30 | 10 | -1 | 244 | 42 | 20 | 22 | -1 |
| 151 | 41 | 43 | -2 | | 198 | 37 | 24 | 13 | -1 | 245 | 40 | 23 | 17 | -1 |
| 152 | 40 | 16 | 24 | -1 | 199 | 38 | 21 | 17 | -1 | 246 | 42 | 24 | 18 | -1 |
| 153 | 42 | 24 | 18 | -1 | 200 | 42 | 24 | 18 | -1 | 247 | 40 | 25 | 15 | -1 |
| 154 | 41 | 44 | -3 | | 201 | 40 | 30 | 10 | -1 | 248 | 37 | 23 | 14 | -1 |
| 155 | 42 | 35 | 7 | | 202 | 40 | 30 | 10 | -1 | 249 | 42 | 24 | 18 | -1 |
| 156 | 41 | 44 | -3 | | 203 | 39 | 15 | 24 | -2 | 250 | 42 | 24 | 18 | -1 |
| 157 | 36 | 39 | -3 | | 204 | 42 | 13 | 29 | -2 | 251 | 40 | 25 | 15 | -1 |
| 158 | 41 | 30 | 11 | -1 | 205 | 40 | 15 | 25 | -2 | 252 | 42 | 24 | 18 | -1 |
| 159 | 41 | 30 | 11 | -1 | 206 | 42 | 24 | 18 | -1 | 253 | 41 | 24 | 17 | -1 |
| 160 | 42 | 24 | 18 | -1 | 207 | 41 | 30 | 11 | -1 | 254 | 41 | 24 | 17 | -1 |
| 161 | 41 | 30 | 11 | -1 | 208 | 37 | 38 | -1 | | 255 | 42 | 20 | 22 | -1 |
| 162 | 39 | 40 | -1 | | 209 | 37 | 38 | -1 | | 256 | 43 | 50 | -7 | 1 |
| 163 | 39 | 40 | -1 | | 210 | 38 | 21 | 17 | -1 | 257 | 41 | 24 | 17 | -1 |
| 164 | 37 | 37 | 0 | | 211 | 41 | 30 | 11 | -1 | 258 | 41 | 24 | 17 | -1 |
| 165 | 37 | 40 | -3 | | 212 | 38 | 21 | 17 | -1 | 259 | 40 | 48 | -8 | |
| 166 | 37 | 37 | 0 | | 213 | 42 | 24 | 18 | -1 | 260 | 38 | 21 | 17 | -1 |
| 167 | 36 | 38 | -2 | | 214 | 41 | 30 | 11 | -1 | 261 | 38 | 21 | 17 | -1 |
| 168 | 39 | 39 | 0 | | 215 | 41 | 30 | 11 | -1 | 262 | 41 | 24 | 17 | -1 |
| 169 | 36 | 25 | 11 | -1 | 216 | 37 | 24 | 13 | -1 | 263 | 39 | 40 | -1 | |
| 170 | 36 | 40 | -4 | | 217 | 42 | 20 | 22 | -1 | 264 | 42 | 42 | 0 | |
| 171 | 36 | 37 | -1 | | 218 | 37 | 38 | -1 | | 265 | 38 | 26 | 12 | -1 |
| 172 | 41 | 48 | -7 | | 219 | 37 | 38 | -1 | | 266 | 37 | 28 | 9 | -1 |
| 173 | 39 | 39 | 0 | | 220 | 37 | 38 | -1 | | 267 | 37 | 38 | -1 | |
| 174 | 39 | 39 | 0 | | 221 | 41 | 30 | 11 | -1 | 268 | 41 | 24 | 17 | -1 |
| 175 | 37 | 37 | 0 | | 222 | 39 | 30 | 9 | -1 | 269 | 39 | 40 | -1 | |
| 176 | 37 | 37 | 0 | | 223 | 39 | 29 | 10 | -1 | 270 | 42 | 20 | 22 | -1 |
| 177 | 37 | 37 | 0 | | 224 | 39 | 29 | 10 | -1 | 271 | 42 | 26 | 16 | -1 |
| 178 | 36 | 25 | 11 | -1 | 225 | 37 | 38 | -1 | | 272 | 39 | 40 | -1 | |
| 179 | 42 | 24 | 18 | -1 | 226 | 37 | 38 | -1 | | 273 | 37 | 24 | 13 | -1 |
| 180 | 42 | 24 | 18 | -1 | 227 | 42 | 24 | 18 | -1 | 274 | 39 | 30 | 9 | -1 |
| 181 | 41 | 30 | 11 | -1 | 228 | 38 | 21 | 17 | -1 | 275 | 42 | 42 | 0 | |
| 182 | 40 | 42 | -2 | | 229 | 38 | 21 | 17 | -1 | 276 | 39 | 30 | 9 | -1 |
| 183 | 37 | 40 | -3 | | 230 | 39 | 30 | 9 | -1 | 277 | 38 | 26 | 12 | -1 |
| 184 | 41 | 44 | -3 | | 231 | 39 | 29 | 10 | -1 | 278 | 38 | 38 | 0 | |
| 185 | 40 | 48 | -8 | | 232 | 39 | 29 | 10 | -1 | 279 | 37 | 40 | -3 | |
| 186 | 37 | 30 | 7 | -1 | 233 | 41 | 25 | 16 | -1 | 280 | 42 | 24 | 18 | -1 |
| 187 | 41 | 30 | 11 | -1 | 234 | 42 | 20 | 22 | -1 | 281 | 39 | 25 | 14 | -1 |
| 188 | 41 | 30 | 11 | -1 | 235 | 37 | 40 | -3 | | 282 | 42 | 24 | 18 | -1 |
| yht. | 1849 | 1666 | 183 | -17 | yht. | 1848 | 1295 | 553 | -41 | yht. | 1885 | 1306 | 579 | -36 |

TYÖMAAN 2 MATERIAALIEN SÄÄSTÖLASKELMAT

LIITE 12/3

| | Arvio | Lyöty | Säästö | Jatkos | | Arvio | Lyöty | Säästö | Jatkos | | Arvio | Lyöty | Säästö | Jatkos |
|-------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|
| Paalu | (m) | (m) | (m) | (kpl) | Paalu | (m) | (m) | (m) | (kpl) | Paalu | (m) | (m) | (m) | (kpl) |
| 283 | 41 | 24 | 17 | -1 | 330 | 42 | 26 | 16 | -1 | 377 | 41 | 42 | -1 | |
| 284 | 42 | 37 | 5 | | 331 | 41 | 22 | 19 | -1 | 378 | 40 | 24 | 16 | -1 |
| 285 | 40 | 22 | 18 | -1 | 332 | 42 | 30 | 12 | -1 | 379 | 41 | 24 | 17 | -1 |
| 286 | 42 | 20 | 22 | -1 | 333 | 42 | 20 | 22 | -1 | 380 | 41 | 24 | 17 | -1 |
| 287 | 42 | 42 | 0 | | 334 | 42 | 30 | 12 | -1 | 381 | 39 | 23 | 16 | -1 |
| 288 | 42 | 24 | 18 | -1 | 335 | 43 | 48 | -5 | | 382 | 38 | 30 | 8 | -1 |
| 289 | 36 | 41 | -5 | | 336 | 42 | 32 | 10 | | 383 | 38 | 28 | 10 | -1 |
| 290 | 42 | 24 | 18 | -1 | 337 | 41 | 22 | 19 | -1 | 384 | 40 | 22 | 18 | -1 |
| 291 | 42 | 24 | 18 | -1 | 338 | 42 | 30 | 12 | -1 | 385 | 39 | 24 | 15 | -1 |
| 292 | 42 | 36 | 6 | | 339 | 40 | 40 | 0 | | 386 | 39 | 22 | 17 | -1 |
| 293 | 42 | 36 | 6 | | 340 | 40 | 40 | 0 | | 387 | 38 | 42 | -4 | |
| 294 | 37 | 24 | 13 | -1 | 341 | 42 | 21 | 21 | -1 | 388 | 41 | 24 | 17 | -1 |
| 295 | 40 | 22 | 18 | -1 | 342 | 42 | 24 | 18 | -1 | 389 | 36 | 38 | -2 | |
| 296 | 42 | 44 | -2 | | 343 | 36 | 37 | -1 | | 390 | 36 | 37 | -1 | |
| 297 | 42 | 26 | 16 | -1 | 344 | 42 | 30 | 12 | -1 | 391 | 36 | 38 | -2 | |
| 298 | 38 | 40 | -2 | | 345 | 41 | 21 | 20 | -1 | 392 | 39 | 24 | 15 | -1 |
| 299 | 38 | 28 | 10 | -1 | 346 | 39 | 30 | 9 | -1 | 393 | 39 | 23 | 16 | -1 |
| 300 | 37 | 24 | 13 | -1 | 347 | 39 | 30 | 9 | -1 | 394 | 36 | 36 | 0 | |
| 301 | 37 | 24 | 13 | -1 | 348 | 38 | 28 | 10 | -1 | 395 | 36 | 37 | -1 | |
| 302 | 36 | 24 | 12 | -1 | 349 | 37 | 40 | -3 | | 396 | 41 | 24 | 17 | -1 |
| 303 | 36 | 24 | 12 | -1 | 350 | 37 | 24 | 13 | -1 | 397 | 38 | 42 | -4 | |
| 304 | 42 | 24 | 18 | -1 | 351 | 37 | 26 | 11 | -1 | 398 | 38 | 30 | 8 | -1 |
| 305 | 41 | 24 | 17 | -1 | 352 | 36 | 23 | 13 | -1 | 399 | 41 | 48 | -7 | |
| 306 | 39 | 40 | -1 | | 353 | 36 | 40 | -4 | | 400 | 36 | 38 | -2 | |
| 307 | 39 | 30 | 9 | -1 | 354 | 42 | 15 | 27 | -2 | 401 | 41 | 24 | 17 | -1 |
| 308 | 37 | 24 | 13 | -1 | 355 | 41 | 21 | 20 | -1 | 402 | 41 | 42 | -1 | |
| 309 | 37 | 24 | 13 | -1 | 356 | 41 | 21 | 20 | -1 | 403 | 41 | 22 | 19 | -1 |
| 310 | 36 | 21 | 15 | -1 | 357 | 37 | 28 | 9 | -1 | 404 | 39 | 23 | 16 | -1 |
| 311 | 38 | 40 | -2 | | 358 | 41 | 24 | 17 | -1 | 405 | 41 | 24 | 17 | -1 |
| 312 | 38 | 40 | -2 | | 359 | 37 | 24 | 13 | -1 | 406 | 37 | 40 | -3 | |
| 313 | 37 | 24 | 13 | -1 | 360 | 37 | 25 | 12 | -1 | 407 | 37 | 40 | -3 | |
| 314 | 37 | 24 | 13 | -1 | 361 | 36 | 23 | 13 | -1 | 408 | 37 | 15 | 22 | -2 |
| 315 | 36 | 24 | 12 | -1 | 362 | 36 | 30 | 6 | -1 | 409 | 36 | 25 | 11 | -1 |
| 316 | 36 | 24 | 12 | -1 | 363 | 42 | 30 | 12 | -1 | 410 | 41 | 27 | 14 | -1 |
| 317 | 42 | 20 | 22 | -1 | 364 | 40 | 21 | 19 | -1 | 411 | 41 | 24 | 17 | -1 |
| 318 | 42 | 24 | 18 | -1 | 365 | 37 | 28 | 9 | -1 | 412 | 37 | 13 | 24 | -2 |
| 319 | 41 | 24 | 17 | -1 | 366 | 37 | 28 | 9 | -1 | 413 | 36 | 37 | -1 | |
| 320 | 41 | 22 | 19 | -1 | 367 | 41 | 24 | 17 | -1 | 414 | 39 | 15 | 24 | -2 |
| 321 | 42 | 43 | -1 | | 368 | 41 | 24 | 17 | -1 | 415 | 37 | 40 | -3 | |
| 322 | 43 | 24 | 19 | -1 | 369 | 36 | 39 | -3 | | 416 | 37 | 42 | -5 | |
| 323 | 41 | 24 | 17 | -1 | 370 | 42 | 27 | 15 | -1 | 417 | 37 | 25 | 12 | -1 |
| 324 | 36 | 23 | 13 | -1 | 371 | 40 | 24 | 16 | -1 | 418 | 36 | 38 | -2 | |
| 325 | 41 | 23 | 18 | -1 | 372 | 41 | 30 | 11 | -1 | 419 | 37 | 40 | -3 | |
| 326 | 41 | 22 | 19 | -1 | 373 | 41 | 24 | 17 | -1 | 420 | 41 | 27 | 14 | -1 |
| 327 | 39 | 40 | -1 | | 374 | 41 | 41 | 0 | | 421 | 41 | 21 | 20 | -1 |
| 328 | 39 | 40 | -1 | | 375 | 41 | 24 | 17 | -1 | 422 | 41 | 24 | 17 | -1 |
| 329 | 42 | 43 | -1 | | 376 | 41 | 24 | 17 | -1 | 423 | 41 | 24 | 17 | -1 |
| yht. | 1859 | 1345 | 514 | -33 | yht. | 1868 | 1313 | 555 | -39 | yht. | 1819 | 1396 | 423 | -32 |

TYÖMAAN 2 MATERIAALIEN SÄÄSTÖLASKELMAT

LIITE 12/4

| Paalu | Arvio (m) | Lyöty (m) | Säästö (m) | Jatkos (kpl) | Paalu | Arvio (m) | Lyöty (m) | Säästö (m) | Jatkos (kpl) | Paalu | Arvio (m) | Lyöty (m) | Säästö (m) | Jatkos (kpl) |
|-------|-----------|-----------|------------|--------------|-------|-----------|-----------|------------|--------------|-------|-----------|-----------|------------|--------------|
| 424 | 37 | 28 | 9 | -1 | 471 | 36 | 38 | -2 | | 518 | 39 | 15 | 24 | -2 |
| 425 | 36 | 15 | 21 | -2 | 472 | 41 | 27 | 14 | -1 | 519 | 39 | 42 | -3 | |
| 426 | 41 | 24 | 17 | -1 | 473 | 38 | 24 | 14 | -1 | 520 | 38 | 42 | -4 | |
| 427 | 37 | 28 | 9 | -1 | 474 | 37 | 24 | 13 | -1 | 521 | 38 | 42 | -4 | |
| 428 | 37 | 40 | -3 | | 475 | 41 | 24 | 17 | -1 | 522 | 38 | 42 | -4 | |
| 429 | 41 | 21 | 20 | -1 | 476 | 41 | 25 | 16 | -1 | 523 | 38 | 42 | -4 | |
| 430 | 40 | 22 | 18 | -1 | 477 | 39 | 22 | 17 | -1 | 524 | 37 | 28 | 9 | -1 |
| 431 | 41 | 24 | 17 | -1 | 478 | 39 | 22 | 17 | -1 | 525 | 37 | 39 | -2 | |
| 432 | 41 | 24 | 17 | -1 | 479 | 41 | 24 | 17 | -1 | 526 | 36 | 40 | -4 | |
| 433 | 39 | 24 | 15 | -1 | 480 | 39 | 22 | 17 | -1 | 527 | 40 | 22 | 18 | -1 |
| 434 | 40 | 22 | 18 | -1 | 481 | 37 | 42 | -5 | | 528 | 40 | 23 | 17 | -1 |
| 435 | 37 | 30 | 7 | -1 | 482 | 36 | 27 | 9 | -1 | 529 | 41 | 24 | 17 | -1 |
| 436 | 36 | 23 | 13 | -1 | 483 | 40 | 23 | 17 | -1 | 530 | 41 | 24 | 17 | -1 |
| 437 | 40 | 22 | 18 | -1 | 484 | 41 | 24 | 17 | -1 | 531 | 39 | 21 | 18 | -1 |
| 438 | 41 | 24 | 17 | -1 | 485 | 41 | 25 | 16 | -1 | 532 | 41 | 24 | 17 | -1 |
| 439 | 40 | 22 | 18 | -1 | 486 | 41 | 24 | 17 | -1 | 533 | 41 | 23 | 18 | -1 |
| 440 | 39 | 24 | 15 | -1 | 487 | 41 | 25 | 16 | -1 | 534 | 40 | 23 | 17 | -1 |
| 441 | 41 | 24 | 17 | -1 | 488 | 36 | 38 | -2 | | 535 | 41 | 14 | 27 | -2 |
| 442 | 39 | 42 | -3 | | 489 | 36 | 15 | 21 | -2 | 536 | 40 | 15 | 25 | -2 |
| 443 | 38 | 30 | 8 | -1 | 490 | 36 | 23 | 13 | -1 | 537 | 39 | 21 | 18 | -1 |
| 444 | 41 | 24 | 17 | -1 | 491 | 41 | 24 | 17 | -1 | 538 | 41 | 14 | 27 | -2 |
| 445 | 40 | 22 | 18 | -1 | 492 | 37 | 42 | -5 | | 539 | 41 | 24 | 17 | -1 |
| 446 | 39 | 24 | 15 | -1 | 493 | 40 | 22 | 18 | -1 | 540 | 41 | 25 | 16 | -1 |
| 447 | 37 | 15 | 22 | -2 | 494 | 41 | 22 | 19 | -1 | 541 | 38 | 41 | -3 | |
| 448 | 41 | 22 | 19 | -1 | 495 | 41 | 24 | 17 | -1 | 542 | 37 | 41 | -4 | |
| 449 | 39 | 40 | -1 | | 496 | 41 | 24 | 17 | -1 | 543 | 41 | 24 | 17 | -1 |
| 450 | 39 | 42 | -3 | | 497 | 36 | 40 | -4 | | 544 | 41 | 24 | 17 | -1 |
| 451 | 38 | 30 | 8 | -1 | 498 | 41 | 24 | 17 | -1 | 545 | 40 | 22 | 18 | -1 |
| 452 | 41 | 24 | 17 | -1 | 499 | 40 | 22 | 18 | -1 | 546 | 40 | 15 | 25 | -2 |
| 453 | 40 | 22 | 18 | -1 | 500 | 40 | 22 | 18 | -1 | 547 | 41 | 24 | 17 | -1 |
| 454 | 41 | 27 | 14 | -1 | 501 | 39 | 15 | 24 | -2 | 548 | 41 | 42 | -1 | |
| 455 | 41 | 24 | 17 | -1 | 502 | 38 | 15 | 23 | -2 | 549 | 41 | 24 | 17 | -1 |
| 456 | 40 | 22 | 18 | -1 | 503 | 41 | 24 | 17 | -1 | 550 | 41 | 24 | 17 | -1 |
| 457 | 38 | 24 | 14 | -1 | 504 | 37 | 42 | -5 | | 551 | 41 | 24 | 17 | -1 |
| 458 | 37 | 28 | 9 | -1 | 505 | 37 | 42 | -5 | | 552 | 41 | 24 | 17 | -1 |
| 459 | 37 | 42 | -5 | | 506 | 37 | 27 | 10 | -1 | 553 | 40 | 23 | 17 | -1 |
| 460 | 37 | 40 | -3 | | 507 | 36 | 39 | -3 | | 554 | 41 | 24 | 17 | -1 |
| 461 | 36 | 41 | -5 | | 508 | 41 | 24 | 17 | -1 | 555 | 41 | 25 | 16 | -1 |
| 462 | 36 | 38 | -2 | | 509 | 41 | 24 | 17 | -1 | 556 | 40 | 15 | 25 | -2 |
| 463 | 36 | 39 | -3 | | 510 | 40 | 20 | 20 | -1 | 557 | 41 | 24 | 17 | -1 |
| 464 | 41 | 27 | 14 | -1 | 511 | 38 | 42 | -4 | | 558 | 41 | 24 | 17 | -1 |
| 465 | 41 | 48 | -7 | | 512 | 38 | 15 | 23 | -2 | 559 | 41 | 22 | 19 | -1 |
| 466 | 41 | 24 | 17 | -1 | 513 | 41 | 24 | 17 | -1 | 560 | 41 | 22 | 19 | -1 |
| 467 | 41 | 24 | 17 | -1 | 514 | 41 | 30 | 11 | -1 | 561 | 41 | 24 | 17 | -1 |
| 468 | 39 | 22 | 17 | -1 | 515 | 40 | 22 | 18 | -1 | 562 | 40 | 15 | 25 | -2 |
| 469 | 37 | 30 | 7 | -1 | 516 | 39 | 21 | 18 | -1 | 563 | 41 | 23 | 18 | -1 |
| 470 | 37 | 40 | -3 | | 517 | 39 | 28 | 11 | -1 | 564 | 41 | 24 | 17 | -1 |
| yht. | 1832 | 1318 | 514 | -38 | yht. | 1838 | 1238 | 600 | -42 | yht. | 1878 | 1223 | 655 | -44 |

TYÖMAAN 2 MATERIAALIEN SÄÄSTÖLASKELMAT

LIITE 12/5

| Paalu | Arvio (m) | Lyöty (m) | Säästö (m) | Jatkos (kpl) |
|-------|--------------|--------------|---------------|-----------------|
| 565 | 41 | 24 | 17 | -1 |
| 566 | 41 | 24 | 17 | -1 |
| 567 | 41 | 23 | 18 | -1 |
| 568 | 40 | 15 | 25 | -2 |
| 569 | 41 | 24 | 17 | -1 |
| 570 | 41 | 24 | 17 | -1 |
| 571 | 41 | 24 | 17 | -1 |
| 572 | 41 | 24 | 17 | -1 |
| 573 | 41 | 25 | 16 | -1 |
| 574 | 41 | 24 | 17 | -1 |
| 575 | 41 | 24 | 17 | -1 |
| 576 | 41 | 24 | 17 | -1 |
| 577 | 41 | 24 | 17 | -1 |
| 578 | 41 | 24 | 17 | -1 |
| 579 | 41 | 14 | 27 | -2 |
| 580 | 41 | 24 | 17 | -1 |
| 581 | 41 | 24 | 17 | -1 |
| 582 | 41 | 24 | 17 | -1 |
| 583 | 41 | 24 | 17 | -1 |
| 584 | 41 | 24 | 17 | -1 |
| 585 | 41 | 24 | 17 | -1 |
| 586 | 41 | 21 | 20 | -1 |
| 587 | 41 | 21 | 20 | -1 |
| 588 | 41 | 24 | 17 | -1 |
| 589 | 41 | 24 | 17 | -1 |
| 590 | 41 | 24 | 17 | -1 |
| 591 | 41 | 24 | 17 | -1 |
| 592 | 41 | 14 | 27 | -2 |
| 593 | 41 | 24 | 17 | -1 |
| 594 | 41 | 24 | 17 | -1 |
| 595 | 41 | 22 | 19 | -1 |
| 596 | 41 | 24 | 17 | -1 |
| 597 | 41 | 24 | 17 | -1 |
| 598 | 41 | 24 | 17 | -1 |
| 599 | 41 | 24 | 17 | -1 |
| 600 | 41 | 24 | 17 | -1 |
| 601 | 41 | 24 | 17 | -1 |
| 602 | 41 | 24 | 17 | -1 |
| 603 | 41 | 21 | 20 | -1 |
| yht. | 1598 | 896 | 702 | -42 |

| | Yhteensä |
|------------|----------|
| Arvio | 23551 |
| Toteutunut | 17707 |
| Säästö | 5844 |
| Jatkokset | -416 |