



TAMPEREEN  
AMMATTIKORKEAKOULU

# TÄYTTÖMAISSA KÄYTETTÄVIEN PAALU- TYYPPIEN VERTAILU

Antti Isomäki

Opinnäytetyö  
Huhtikuu 2016  
Rakennustekniikka  
Infrarakentaminen



## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Rakennustekniikka  
Infrarakentaminen

ISOMÄKI ANTTI:

Täyttömaissa käytettävien paalutyyppeiden vertailu

Opinnäytetyö 63 sivua, joista liitteitä 8 sivua  
Huhtikuu 2016

---

Opinnäytetyön toimeksiantaja oli YIT Rakennus Oy:n pohja- ja vesirakentamisen yksikkö. Työssä esiteltiin ja vertailtiin kolmea paalutyyppiä ja niiden kustannuksia. Paalutyyppeiden vertailussa käytettiin teräsbetoni-, teräs- ja porapaaluja sekä mikropaaluja.

Työ toteutettiin, koska rakentaminen täyttömaille sekä paalutus ovat yleistyneet viime vuosikymmeninä. Työsuunnitelmissa esiintyy usein ristiriitaisuuksia paalukokojen ja -materiaalien välillä. Tavoitteena oli selvittää paalutyyppeiden hyvät ja huonot puolet, käytettävyys erilaisiin pohja- ja ympäristöolosuhteisiin sekä kustannusten muodostuminen.

Opinnäytetyössä hyödynnettiin paalutukseen liittyvää rakennusalan kirjallisuutta. Lisäksi tutustuttiin neljään työmaahan sekä niiden suunnitelma-asiakirjoihin ja urakka-aineistoihin. Haastatteleamalla paalutustyönjohtajia sekä projekti-insinööriä saatiin näkemystä myös käytännön paalutustyöstä.

Työn tuloksena saatiin hyvä kokonaiskuva paalutustyöstä ja paalutuksen kustannuksien muodostumisesta eri paalutypeilla. Kustannuksien suora vertailu keskenään oli melko hankalaa, koska paalutyypit suunnitellaan usein erilaisiin pohjamaihin. Kustannusvertailut tehtiin suhteellisin kertoimin. Tarkemmat kustannustiedot on esitetty työn salassa pidettävässä liitteessä.

---

Asiasanat: paalutus, lyöntipaalutus, porapaalutus, pohjatutkimus, louhetäyttö

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree programme in Construction Engineering  
Option of Civil Engineering

**ISOMÄKI ANTTI:**  
Comparison of Pile Types Used on Fill Soils

Bachelor's thesis 63 pages, appendices 8 pages  
April 2016

---

Employer of this bachelor's thesis was Finnish YIT Construction Ltd, foundation and water engineering unit. Thesis was made to explain three pile types and how their costs consist. Pile types were reinforced concrete pile, driven and drilled steel pipe piles and micropile.

This thesis was made because construction on fill soils and piling have become common in last decades. There are incoherences in working plans additionally between pile sizes and materials. Aim of this thesis was to find good and bad things about pile types, to research usability of pile types on different soil and environment conditions and to make clear costs of them.

Literature of piling was exploited and also got to know to working plans of four construction sites. Piling foremen and project engineer were interviewed and vision of convention piling was gotten.

Good general view about piling and costs of different pile types were gotten by result of thesis. It was pretty hard to compare costs direct because pile types are usually planned to different soil conditions. Comparing of costs was made with factors.

---

Key words: piling, driven piles, drilled piles, ground surveying, blasted stone fill

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
1.1	Työn taustaa.....	6
1.2	Rajaukset ja tavoitteet.....	6
2	PAALUTYYPIT JA -PERUSTUKSET.....	8
2.1	Paaluista yleisesti.....	8
2.2	Paalujen käyttökohteet ja asennusmenetelmät.....	9
2.2.1	Lyöntipaalut.....	9
2.2.2	Porapaalut.....	15
2.2.3	Mikropaalut.....	19
3	PAALUJEN VALINTA.....	22
3.1	Ympäristön ja maaperän vaikutus.....	22
3.1.1	Pohjatutkimukset.....	24
3.1.2	Ympäristön huomioiminen.....	25
3.1.3	Geotekniset luokat.....	26
3.1.4	Paalutustyöluokat.....	27
3.2	Perustamistavan valinta.....	28
3.3	Paalutustyössä ilmenevät ongelmat.....	29
3.4	Työn suunnittelu ja rakentamisvaihe.....	30
3.4.1	Koepaalutus.....	31
3.4.2	Lyöntipaalut.....	32
3.4.3	Porapaalut.....	32
3.4.4	Mikropaalut.....	33
3.4.5	Mittaukset ja koekuormitukset.....	34
4	KOHDETYÖMAAT.....	38
4.1	Jätkäsaari.....	38
4.1.1	Alueesta yleisesti.....	39
4.1.2	Pohjaolosuhteet.....	40
4.2	Kalasadama.....	42
4.2.1	Pohjaolosuhteet.....	42
4.2.2	Paalutustyö.....	43
4.3	Ranta-Tampella.....	44
4.3.1	Pohjatutkimukset.....	44
4.3.2	Perustukset.....	45
4.4	Tuomarila.....	46
4.4.1	Pohjatutkimukset.....	46
4.4.2	Perustukset.....	47

5	KUSTANNUSVERTAILU .....	48
5.1	Paalutyypin kustannusten muodostuminen .....	48
5.2	Kustannusvertailu .....	48
6	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA .....	51
	LÄHTEET .....	53
	LIITTEET .....	55
	Liite 1. Jätkäsaaren kairausdiagrammi .....	56
	Liite 2: 1(4) Kalasataman pohjarakennuskartta.....	57
	Liite 2: 2(4) Pohjarakennusleikkaus .....	58
	Liite 2: 3(4) Pohjarakennusleikkaus .....	59
	Liite 2: 4(4) Pohjarakennusleikkaus .....	60
	Liite 3: 1(3) Tuomarilan tutkimuskartta.....	61
	Liite 3: 2(3) Pohjarakennusleikkaus .....	62
	Liite 3: 3(3) Pohjarakennusleikkaus .....	63

# 1 JOHDANTO

YIT Rakennus Oy on Suomen suurimpia rakennusyhtiöitä. Sillä on osaamista lähes kaikilla rakentamisen tuotantoon liittyvillä sektoreilla. IPV eli pohja- ja vesirakentamisen yksikkö tekee erilaisia pohjanvahvistustoimenpiteitä, kuten tukiseinien tekoa, suihkuinjektioita, stabilointeja sekä paalutuksia.

## 1.1 Työn taustaa

Rakentaminen täyttömmaille sekä paalutus ovat yleistyneet viime vuosina. Helsingin Jätkäsaareen rakennetaan tulevina vuosina täyttömaalle monipuolinen asumisen ja vapaa-ajan keskus. Tampereen Ranta-Tampellaan tullaan rakentamaan kerrostaloja louhetäyttöön, joka rakennetaan Rantatunnelin louhinnoista saadulla louheella. Ranta-Tampellan rakentaminen aloitetaan, kun tunneli on pääosin saatu valmiiksi. YIT toteuttaa hankkeen omaperusteisena rakentamisena.

Kustannukset ovat iso ja tärkeä osa rakentamista. Kustannussäästöjä yritetään tehdä, jotta yrityksiä ja yleisesti maarakentamisen tuottavuus paranisi. Paalutyypin valinnalla ja pohjaolosuhteilla on oleellisesti merkitystä kustannuksiin, joten rakennuskohteeseen tulisi pyrkiä valitsemaan sopivin ja kustannustehokkain vaihtoehto. Kustannustehokkuus voi olla säästöä materiaaleissa, resursseissa sekä ajassa.

## 1.2 Rajaukset ja tavoitteet

Kullakin paalutyypillä on omat etunsa ja ongelmansa. Jokaiseen rakennuskohteeseen tulisi etsiä toimiva vaihtoehto, jolla myös kustannuksia voidaan hallita. Muuttuvat tai puutteelliset suunnitelmat sekä haastavat pohjaolosuhteet aiheuttavat haasteita ja työn hidastumista paalutustyömaalla.

Työn tarkoitus on vertailla kolmea eri paalutyyppiä, niiden etuja ja soveltuvuutta erilaisiin täyttömaihin sekä niistä aiheutuvia kustannuksia. Työn tavoite on löytää kokonais-

taloudellisesti edullisin ja optimaalisin vaihtoehto erilaisiin täyttöihin. Täyttötöiden tekemiseen ei tässä opinnäytetyössä juurikaan keskitytä.

## 2 PAALUTYYPIT JA -PERUSTUKSET

### 2.1 Paaluista yleisesti

Suomessa pohjarakentaminen on muuttunut oleellisesti vaativammaksi viimeisen 50 vuoden aikana. Painuma-arat teräsbetoni- ja tiilirakennukset ovat korvanneet puurakennukset ja kivijalkaperustukset. Kaupunkien kasvaessa joudutaan rakentamaan myös heikommille maapohjille. Samalla pohjarakennussuunnittelun taso on noussut laatutasoon ja kilpailun lisääntymisen vuoksi. (Jääskeläinen, 2009, 9)

Paalujen jaottelu eri ryhmiin ja paalutusta koskevat ohjeet ovat muuttuneet voimakkaasti viime vuosien aikana. Eurokoodijärjestelmä on korvannut kansalliset ohjeet, jolloin paalujen suunnittelutyö on muuttunut. Paalut jaetaan yleensä tuki- ja kitkapaaluihin, joista tukipaaluja käytetään yleisemmin. Kitkapaaluja käytetään kitkamaalajeihin, jos kallion tai tiiviin moreenin pinta on syvällä. (Jääskeläinen, 2009, 52)

Paalutustyöstä on tullut entistä nopeampaa ja taloudellisempaa paalutuskoneiden, paalu-teollisuuden ja työtekniikoiden kehittymisen myötä. Paalujen käyttö on yleistynyt jatkuvasti. Paalutus on tullut vaihtoehdoksi sielläkin, missä työ voitaisiin toteuttaa ilman paalutusta. Tähän on vaikuttanut myös henkilötyökustannusten nousu. (Jääskeläinen, 2009, 52)

Paalutus on muuttunut oleellisesti vuosien varrella. Puupaaluja käytetään entistä vähemmän ja ne on korvattu suurimmaksi osaksi teräsbetonisilla tai teräksisillä lyöntipaaluilla sekä porapaaluilla. Teräspaalujen käyttö kasvaa voimakkaasti, koska niillä saavutetaan monia etuja. Esimerkiksi porapaalujen asennustarkkuus on parempi kuin lyöntipaalujen. Teräsputkipaalujen käyttö on voimakkaasti lisääntynyt erityisesti asunto-, toimitila- ja teollisuusrakentamisessa vaikeissa pohjaolosuhteissa sekä rakenteissa, joihin kohdistuu suuria keskittyneitä kuormia. (Jääskeläinen, 2009, 106–107; RR- ja RRs-paalu, 2012, 4)

Teräsbetoniset lyöntipaalut ovat tällä hetkellä käytetyimpiä tavanomaisessa rakentamisessa. Niiden vuosittainen käyttö on noin 1500 kilometriä vuodessa (vuonna 2009). Aikaisemmin yleisin teräsbetonipaalun poikkileikkauksen koko oli 250\*250 mm, mutta



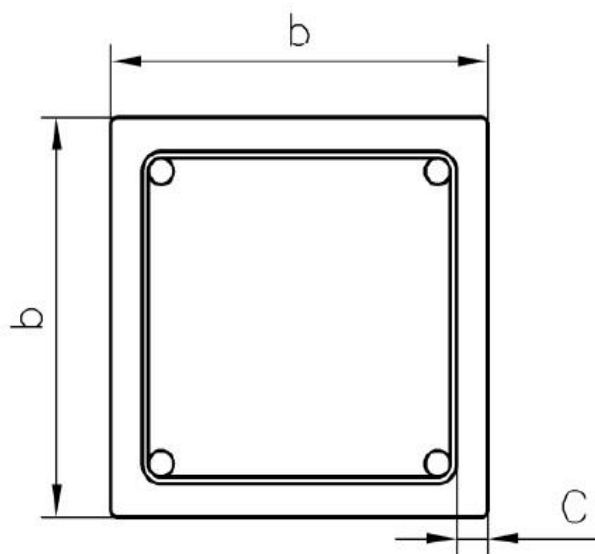
nykyään 300\*300 mm kokoinen paalu muodostaa noin 70 prosenttia paalujen käytöstä. Suurpaaluiksi lasketaan yli 300 mm läpimitaltaan tai yli 1500 kN kantavuudeltaan olevat teräsbetonipaalut. Suurpaaluja käytetään lähinnä silta-, teollisuus- ja liikerakennuskohteissa. Pora- ja teräsputkipaaluissa suurpaaluiksi lasketaan yli 300 mm läpimitaltaan olevat paalut. (Jääskeläinen, 2009, 53)

## 2.2 Paalujen käyttökohteet ja asennusmenetelmät

### 2.2.1 Lyöntipaalut

Lyöntipaalujen materiaaleina käytetään teräsbetonia, terästä ja puuta. Teräsbetonipaaluja on Suomessa saatavilla kolmea kokoa: 250\*250 mm, 300\*300mm sekä 350\*350 mm. Tyypillisiä käyttökohteita ovat teollisuus- ja asuinrakentaminen sekä liikenne- ja väylärakentaminen. Teräsbetonipaalu sopii hyvin energiateollisuuden perustuksiin esimerkiksi tuulivoimaloihin. Paalujen suunniteltu käyttöikä rasitusluokassa XC2 on 100 vuotta. (Paalutuotelehti RT2011, 2011, 4)

Paaluissa käytetään yleensä C35/45- tai C40/50-lujuusluokan betonia. Raudoitteissa käytetään pääteräksinä standardien SF 1215 tai SF 1216 mukaisia harjateräksiä (KUVA 1).



KUVA 1. Teräsbetonipaalun peruspoikkileikkaus (Paalutuotelehti RT2011, 4)

Paalukokojen 250\*250 mm ja 300\*300 mm suurin valmistuspituus on 15 metriä (TB250a ja TB300a 12 m) ja paalun 350\*350 mm 14 metriä. Paaluun tehdään jatkos (KUVA 2) tehtaalla, jos paalupisteen syvyys on suurempi kuin yhden paaluelementin vakiopituus. (Paalutuotelehti RT2011, 2011, 4-5)



KUVA 2. Paalujatkos 350'350 mm teräsbetonipaaluissa

Paalun päähän asennetaan yleensä maa- tai kalliokärki (KUVA 3) ennen asennusta. Maakärkeä käytetään, kun maapohjan kivet tai lohkareet ovat pienempiä kuin 200 mm ja paalun kärki ei oletettavasti osu kallioon. Paalu varustetaan kalliokärjellä, kun paalu pyritään lyömään kallioon tai kiviseen tai lohkareiseen maakerrokseen. (Paalutuotelehti RT2011, 2011, 6)



KUVA 3. Kalliokärki

Teräsbetonipaalut asennetaan maahan yleensä lyöntipaalutuskoneella (KUVA 4), jonka lyöntilaitteena käytetään pudotus- tai hydraulijärkälettä. Isoissa lyöntipaalutuskoneissa yleisin on pudotusjärkäle, joka on vaijeriripusteinen. Tavallisissa paalutuksissa käytetään yleensä hydraulijärkälettä. Hydraulijärkäleet ovat joko yksi- tai kaksitoimisia. Yksitoiminen järkäle nostetaan ylös hydraulisesti ja pudotetaan vapaasti alas paalun päällä olevaan iskutyynyyn. Kaksitoiminen järkäle toimii muuten kuten edellä mainittu, mutta järkälettä kiihdytetään pudotuksen aikana. Myös paineilmalla toimivia paalutuskoneita käytetään. (Jääskeläinen, 2009, 79; Paalutusohje 2011, 2011, 196)



KUVA 4. Junttan PM 20LC varustettuna 5tn vaijeriripusteisella pudotusjärkeleellä

Järkeleessä oleva iskutyyny vähentää paaluun kohdistuvia lyönnin aikana tapahtuvia rasiuksia. Yleensä käytetään muovisia tai puisia iskutyynyjä. Iskutyyny tulee vaihtaa, kun se on painunut kasaan 40 % alkuperäisestä paksuudestaan, koska se voi syttyä palamaan paalun lyönnissä syntyvän lämpöenergian vuoksi. (Illinois department of transportation, 2012, 16)

Teräsbetonipaalulla on hyvä korroosionkestävyys verrattuna teräspaaluun. Näin ollen se soveltuu teräspaalua paremmin olosuhteisiin, joissa pohjavedenvaihtelut ovat suuria tai pohjamaa muuten aiheuttaa korroosiota. Teräsbetonipaaluilla on erittäin kilpailukykyinen hinta ja niiden asentaminen on nopeaa suotuisissa olosuhteissa. Teräsbetonipaalu soveltuu parhaiten helposti läpäistäviin pohjamaihin kuten savikoihin. Paalujen saataavuus on hyvä koko maassa. (Paalutuotelehti RT2011, 2011, 3)

Teräsputkipaaluja käytetään samoihin käyttökohteisiin kuin teräsbetonisia lyöntipaaluja, mutta kaluston valintamahdollisuudet ovat paremmat. Suomessa teräsputkipaaluissa käytettävät teräslajit ovat S355J2H, S440J2H, S550J2H, X60 tai X70. Pienpaalut jatketaan joko hitsaamalla tai mekaanisella jatkoksella, suurpaalut hitsaamalla. Valitsemalla vahvempi teräslaji voidaan paalun seinämäpaksuutta pienentää ja paalujen kokonaisuutena mahdollisesti vähentää. 220 mm ja mahdollisimman paksuseinäminen teräsputkipaalu vastaa kantavuudeltaan suunnilleen 350\*350 mm teräsbetonipaalu. (Jääskeläinen 2009, 107; RR- ja RRs-paalu, 2012, 6)

Yksi suurimmista ja perinteisimmistä suuriläpimittaisten teräsputkipaalujen käyttökohteista on satamarakentaminen. Suurpaaluiksi lasketaan läpimitaltaan yli 300 mm teräs- ja porapaalut. Suuria teräsputkipaaluja käytetään myös paljon sillanrakennuksessa. (RR- ja RRs-paalu, 2012, 5)

Teräsputkipaalut varustetaan yleensä kalliokärjellä, koska paalut pyritään lyömään joko kallioon tai tiiviiseen moreenikerrokseen. Myös maakärkeä voidaan käyttää, jos pohjarakennesuunnittelija arvioi, että asennussyvyys ei ulotu kallion pintaan asti ja maaperä ei ole kivinen. Yleensä paalun yläpäähän asennetaan paaluhattu (KUVA 5), jonka avulla yläpuolisten rakenteiden kuormat siirretään paaluille. Paalut voidaan mitoittaa rakenteellisesti joko teräsrakenteena tai teräksen ja betonin liittorakenteena. Mikäli paalu täytetään sekä betonilla että teräksellä, paalun rakenteellinen kantavuus paranee. (RR- ja RRs-paalu, 2012, 6-7)



KUVA 5. Paaluhattuja

Teräsputkipaalujen asentamisessa voidaan käyttää monipuolista asennuskalustoa kohteen olosuhteet ja vaatimukset huomioiden. Pieniläpimittaisilla paaluilla voidaan kalustona käyttää esimerkiksi kevyitä tela-alustaisia ja mataliin tiloihin mahtuvia paalutuskohteita. Usein pientalokohteet paalutetaan tela-alustaisiin kaivinkoneisiin liitetyillä paalutuskoneilla. Suuriläpimittaiset paalut lyödään maahan perinteisillä raskailla paalutuskohteilla. (RR- ja RRs-paalu, 2012, 14)

Teräsputkipaaluja käyttämällä saadaan asentamisesta aiheutuvat värinät ja siirtymät minimoitua lyöntipaalukohteissa. Teräspaaluja käytetään paljon perustusten vahvistamiseen, koska lyhyitä paaluelementtejä käyttämällä paalut on mahdollista asentaa ahtaisiin tiloihin. Katkaistuja teräspaaluosia voidaan käyttää paalujatkoksissa seuraavissa paaluissa, joten ongelmallinen hukka saadaan pienennettyä. Teräsputkipaalut sopivat samanlaisiin maaperiin kuin teräsbetonipaalut maaperän korroosiovaikutus huomioon ottaen. Maaperässä ei saa olla isoja kiviä tai lohkareita. (RR- ja RRs-paalu, 2012, 13)

Lyöntipaalujen asentamisen helpottamiseksi vaikeasti läpäistävään maahan voidaan paaluille tehdä esireiät. Esireikiä joudutaan tekemään esimerkiksi routaiseen tai tiiviiseen pintamaahan. Esireikiä tekemällä saadaan paalun lyönnistä aiheutuvaa värinää pienennettyä.

Loppulyönneissä käytetään vastaavan pohjarakennesuunnittelijan hyväksymiä tai määrittelmiä pudotuskorkeuksia. Lisäksi lyönninaikaisten jännitysten tulee pysyä materiaalista riippuen sallituissa rajoissa. Mikäli lyöntipaalu kohtaa kallion tai lohkaraisen kerroksen, tulee normaali asennus ja loppulyönnit keskeyttää ja pienentää iskunpituutta. (Paalutusohje 2011, 2011, 203-204)

### **2.2.2 Porapaalut**

Porapaalut jaetaan Paalutusohje 2011:n mukaan kahteen ryhmään: porattaviin teräsputkipaaluihin sekä sydänteräspaaluihin. Poraamalla asennettu paalu saadaan asennettua tarkemmin kuin lyöntipaalu. Porapaalut asennetaan yleensä tukipaaluiksi, jolloin niiden rakenteellinen kestävyys voidaan täysin hyödyntää. Paalua voidaan vahvistaa joko betonilla tai sekä teräksellä että betonilla. Tällöin paalu kestää paremmin leikkausvoimia sekä taivutus-/vääntömomenttia ja paalun nurjahdusvaara on pienempi. Ratkaisevaa tukipaaluissa on kuitenkin yleensä paalun poikkileikkauksen teräsosan puristuskestävyys. (Jääskeläinen, 2009, 112, 115)

Porapaalujen asennuksessa käytetään joko päältälyövää vasaraa tai uppovasaraa (KUVA 6). Pääältälyövää vasaraa käytetään yleensä alle 220 mm halkaisijaltaan ja alle 30 m pituudeltaan olevissa paaluissa, käytännössä kuitenkin noin 90 prosenttia porapaaluista tehdään uppovasaralla. Uppovasaralaitteissa käytetään yleensä paineilmaa putken huuhdeltuun ja vasaran iskuun, mutta vedenpainetta voidaan käyttää herkissä olosuhteissa. Kokemuksen mukaan uppovasaralla asennetut paalut ovat yleensä hieman suurempia kuin päältälyöväällä vasaralla asennetut paalut. Porapaaluja on asennettu jopa 70 metrin syvyyteen asti. (Paalutusohje 2011, 2011, 198; RD- ja RDs-paalu, 2012, 14)



KUVA 6. Porapaalutuskalustoa. Uppovasara ja keskinen porausmenetelmä

Porausmenetelminä käytetään epäkeskistä tai keskistä menetelmää . Kummassakin menetelmässä voidaan käyttää upposaraan tai päältälyövään vasaraan perustuvia laitteita. Avarrinkruunu (KUVA 7) ja/tai maakenkä valitaan porausmenetelmän mukaan ja ne jäävät osaksi paalun kantavaa rakennetta. Erikoiskruunuja on saatavilla erittäin vaikeisiin olosuhteisiin. (RD- ja RDs-paalu, 2012, 14)





KUVA 7. Avarrinkruunu paaluun hitsattuna

Epäkeskisessä menetelmässä käytetään pilottikruunua ja siihen liittyvää epäkeskistä avarrinkruunua. Porauksessa avarrinkruunu avartaa pilottikruunun tekemän porareian hieman suuremmaksi kuin porausputken halkaisija. Porausputki vedetään maahan porakruunun ja maakengän avulla. Huuhdeltavasta maa-aineksesta osa kulkeutuu porausputken ulkopintaa pitkin ja osa kulkeutuu porausputken sisällä maan pinnalle. Epäkeskistä menetelmää käytettäessä tulee erityisesti varmistaa porausputken tukeutuminen luotettavasti kallioon. (Paalutusohje 2011, 2011, 200, 208)

Keskisessä menetelmässä porausputken alapäähän maakenkään kiinnitetään avarrinkruunu, joka on lukittuna pilottikruunuun (KUVA 8) porauksen aikana. Porausputki ei pyöri porauksen aikana. Porauksen päätyttyä pilottikruunu irrotetaan avarrinkruunusta ja nostetaan ylös. Keskistä porausmenetelmää on yleisemmin käytetty porapaalutuksessa. Kallioon tukeutuvat porapaalut tarkastuslyödään aina poratankojen ja pilottikruunun ylösnoston jälkeen esimerkiksi lyömällä poravasarella porausputken yläpäähän. Kruunujen, rengasterien ja vasaroiden valmistajat lupaavat valmistamilleen osille juoksumetrimäärän, jonka osan pitäisi kestää. (Paalutusohje 2011, 2011, 201, 208)



KUVA 8. Pilottikruunu kiinnitettynä uppovasaraan

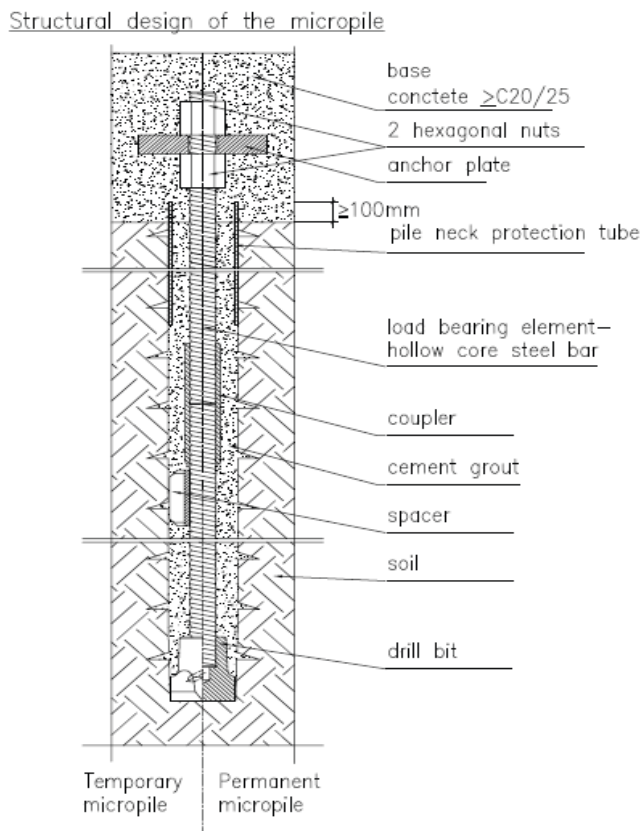
Sydänteräspaaluissa käytetään ohutta maaputkea, joka huuhdellaan ja täytetään betonilla, kun suunniteltuun poraussyvyyteen on päästy. Tämän jälkeen putkeen asennetaan keskittäjällä varustettu pyöröterästanko, joka toimii paalun kantavana rakenteena. Sydänteräspaalujen kantavuus on väliltä 400 – 1500 kN ja niissä on noin 40 prosenttia enemmän terästä kuin tavanomaisessa porapaalussa, joten sen teräskustannukset ovat suuremmat. Sydänteräspaaluja voidaan käyttää, jos paalu on ankkuroitava kallioon tai paalujen pystykuormitus on suhteellisen pieni, tai kun teräsosa halutaan suojata paremmin betonilla esimerkiksi korroosion takia. (Jääskeläinen, 2009, 113; Styrud, 2016)

Porattavat teräsputki- ja porapaalut huuhdellaan ja mahdollisesti raudoitetaan ennen betonin pumppausta. Yleensä teräsputki- ja porapaalut raudoitetaan, jos paalun läpimitta on yli 320 mm. Kantavuus vaihtelee välillä 200 – 1800 kN. Ennen betonointia pitää varmistua, että paalu on varmasti puhdas ja tyhjä vedestä. (Jääskeläinen, 2009, 112; Kesonen, 2016)

Porapaalu syrjäyttää vähän maata ja aiheuttaa maaperään vähemmän tärinää ja liikkeitä kuin perinteinen teräsbetoninen lyöntipaalu. Koneet ovat usein pienempiä kuin lyöntipaalutuksessa, joten porapaalutus sopii paremmin ahtaisiin ja mataliin tiloihin. Porapaaluja käytetään paljon vaikeasti läpäistävissä maissa, kuten louhetäytöissä tai, kun paalut halutaan varmasti päättää kallioon. Porapaalu on yleinen paalutyyppe sillanrakennuksessa sekä paaluseinissä (KUVA 10), joissa vaaditaan hyvää asennustarkkuutta sekä hyvää vaak- ja pystykuormien sietoa. (Jääskeläinen, 2009, 115)

### 2.2.3 Mikropaalut

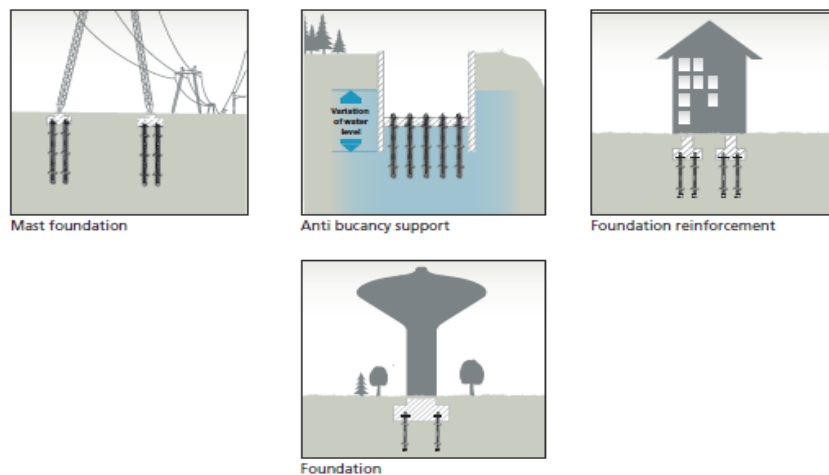
Mikropaalut (KUVA 8) ovat kierrepintaisia terästankoja, joita käytetään sekä paaluina että ankkureina esimerkiksi tukiseinissä. Mikropaalujen käyttö on Suomessa melko vähäistä kalliin hinnan ja saatavuuden vuoksi. Mikropaalut injektoidaan pysyvissä rakenteissa niiden geoteknisen kantavuuden parantamiseksi. Mikropaaluja voidaan käyttää myös rakenteen väliaikaisena vahvistuksena. (Jääskeläinen, 2009, 116-118)



KUVA 8. Mikropaalun osat (Minova MAI SDA self drilling anchors, 2012, 42)

Injektoidut paalut soveltuvat parhaiten karkearakeiseen maahan. Kantavuus on väliltä 200 kN – 800 kN riippuen teräsputken halkaisijasta ja seinämävahvuudesta sekä injektointin onnistumisesta. Mikropaalut soveltuvat parhaiten kohteisiin, joissa tilat ovat ahtaat. Niitä käytetään lisäksi paljon vanhojen perustusten vahvistamiseen (KUVA 9). Paalutankoja on helppo jatkaa kierreltiitoksen vuoksi. Perusmateriaalin teräslaji on esimerkiksi S460NH. (Jääskeläinen, 2009, 116, 118)

Figure 17. Examples for applications of micropiles.



KUVA 9. Mikropaalujen käyttökohteita (Minova MAI SDA self drilling anchors, 2012, 23)

Mikropaalut asennetaan yleensä poraamalla. Teräsputki tai reiällinen tanko toimii poratankona porauksen aikana. Lisäksi alaosa varustetaan avartimella tai kauluksella, joka muodostaa maahan onkalon, johon injektointiaine tai juotoslaasti tunkeutuu. Porattava mikropaalu varustetaan porakruunuilla tai muilla kärkiosilla, joissa on injektointi- tai huuhtelureiät sekä tarvittaessa kovametallinastat, jos paalu lyödään kiveen tai kallioon. Kruunut kiinnitetään paaluun joko hitsaamalla tai kierteen välityksellä. (Jääskeläinen, 2009, 116-117; Paalutusohje 2011, 2011, 166, 202)

Injektointiaessa sementtiä syötetään upotuksen aikana, jolloin syntyy keskeisesti raudoitettu rakenne vaippasuojuksen kanssa. Tärkeää on sopiva injektointitekniikka, jolla saadaan hyvä kontakti pohjamaahan. Injektointiaineen pumppauskaluston siirtokyvyn tulee olla sellainen, että paalun ympärille muodostuu ominaisuuksiltaan riittävä pilari. Painestettuna injektointiaine tiivistyy ja tunkeutuu paremmin ympäröivään maahan kuin

pelkästään iskuilla paineistettu laasti. (Jääskeläinen, 2009, 118; Paalutusohje 2011, 2011, 202)

Injektoinnin onnistuessa paalu toimii myös kitkapaaluna, mikäli läpäistävä maakerros on sopiva. Kitkapaalun sallittu kuorma tulee tarkistaa koekuormituksin. Haastavinta mikropaalujen asentamisessa on injektoinnin onnistuminen. (Jääskeläinen, 2009, 117)

### 3 PAALUJEN VALINTA

#### 3.1 Ympäristön ja maaperän vaikutus

Maaperällä on suuri vaikutus paalutyypin valintaan. Valintaan voivat vaikuttaa mm. maaperän kivisyys tai lohkaraisuus, kallionpinnan korkeus, maaperän häiriintymisherkkyys, löyhät maakerrokset tai pohjavesi. Täten paalutyypillä ja -koolla on vaikutusta paalutustyön suoritukseen ja kestoon sekä työmaalla esiintyviin ongelmiin.

Tärinän kannalta helppoja ovat rakennuskohteet, joissa ei ole tiiviitä pinta- ja välikerroksia, ja joissa tiiviit kerrokset paalun tunkeutumistasossa pehmeiden savikerrosten alla ovat ohuita. Suurinta tärinä on tiiviissä, karkearakeisessa maaperässä. Tärinää voidaan pienentää esimerkiksi paalutyypin ja paalutuskaluston valinnalla, pienentämällä lyöntipaalun poikkileikkauspinta-alaa sekä tekemällä esireiät lyöntipaaluille. (Paalutusohje 2011, 2011, 188)

Koska lyötävät teräsbetoni- ja teräsputkipaalut uppoavat huonosti kiviseen ja lohkaraiseen maahan, tulee niiden käyttöä tällaisissa kohteissa välttää. Maata syrjäyttävinä paaluina ne voivat aiheuttaa maaperän häiriintymistä ja huokosvedenpaineen nousua. Maata poistamalla paalun kohdalta voidaan pienentää maan siirtymiä. Huokosvedenpaineen nousua ja maan häiriintymistä voidaan vähentää pienentämällä paalukokoa, varustamalla lyöntipaalu pystyjanauhalla tai suunnittelemalla työjärjestys siten, että huokosvedenpaine pysyy tasaisena. Jyrkkien luiskien läheisyydessä lyöntipaalujen asennus voi aiheuttaa luiskan sortumisen (KUVA 10). (Paalutusohje 2011, 2011, 183-185)



KUVA 10. Luiska sortunut paalun kohdalta. Vieressä porapaaluseinä

Maata syrjäyttämättöminä paaluina porapaalut sopivat hyvin kohteisiin, joissa maan siirtyminen ja syrjäytyminen sekä huokosvedenpaineen nousu tulee ottaa huomioon. Porapaalut voidaan asentaa kiviseen ja lohkareiseen maahan. Porapaalujen sekä teräsputkipaalujen mitoituksessa ja suunnittelussa tulee huomioida korroosio, joka otetaan huomioon lisäämällä paalun seinämän paksuutta. Tavanomaisissa olosuhteissa keskimääräinen korroosio on 1,2 mm ja tiivistämättömissä kivennäismaatäytöissä 2,2 mm 100 vuodessa paalun ulkopuolista syöpyvää pintaa kohti (TAULUKKO 1). Korroosionopeudet tiivistetyissä täytöissä ovat pienempiä kuin tiivistämättömissä. Rakenteen suunnitteluikä vaikuttaa korroosiovaraana. (Paalutusohje 2011, 2011, 114)

TAULUKKO 1. Korrosio erilaisissa pohjaolosuhteissa (Paalutusohje 2011, 2011, 114)

Tavoite käyttöikä	5 vuotta	25 vuotta	50 vuotta	75 vuotta	100 vuotta
<b>Tavanomaiset olosuhteet</b>					
Häiriintymättömät luonnonmaat '(hiekk, siltti, savi...)	0,00	0,30	0,60	0,90	1,20
Tiivistämättömät ei-aggressiiviset kivennäismaatäytöt (savi, hiekk, siltti...)	0,18	0,70	1,20	1,70	2,20
<b>Tavanomaisesta poikkeavat tai aggressiiviset olosuhteet</b>					
Saastuneet luonnonmaat ja teollisuusalueiden maa-alueet	0,15	0,75	1,50	2,25	3,00
Aggressiiviset luonnonmaat (suo, räme, turve...)	0,20	1,00	1,75	2,50	3,25
Tiivistämättömät, aggressiiviset täytöt (tuhka, kuona...)	0,50	2,00	3,25	4,50	5,75

Aggressiivisissa olosuhteissa korrosio voi olla jopa 6 mm 100 vuodessa. Aggressiiviksi olosuhteiksi katsotaan esimerkiksi runsaasti orgaanista ainesta sisältävät maapohjat, sulfidimaakerrokset, pilaantuneet maapohjat sekä löyhät täytöt, joihin merivesi pääsee tunkeutumaan. Betonia syövyttävät erityisesti hapot ja sulfaattisuolat sekä sulfidisuolat varsinkin silloin, kun ne sijaitsevat pohjavedenpinnan yläpuolella. Korrosioriskiä voidaan arvioida maanäytteistä tehtävillä analyyseillä tai erilaisten ominaismittausten avulla. (Paalutusohje 2011, 2011, 41, 42, 114)

### 3.1.1 Pohjatutkimukset

Pohjatutkimuksissa tulee selvittää rakentamispaikan pinnanmuodot, kalliopinnan sijainti, maakerrosten ja kallion ominaisuudet sekä pohjavesiolosuhteet. Tavanomaisissa kohteissa voidaan tyytyä aiempiin pohjatutkimuksiin, mikäli pohjatutkimustietoa on tarpeeksi saatavilla. Tästä päättää pohjarakennussuunnittelija. Pohjatutkimuksia ohjelmoitaessa tulee myös huomioida työn aikana syntyvät tilanteet sekä se, ettei ympäristölle ja naapurirakenteille aiheuteta vahinkoa. (Jääskeläinen, 2009, 13)

Pohjarakennussuunnittelija ratkaisee käytettävät perustusmenetelmät ja pohjarakennustyötavat sekä vastaa pohjatutkimuksien ohjelmoinnista. Käytäntö on osoittanut, että perustustöissä työn aikana on tehty usein muutoksia, joita ei ole kirjattu asiakirjoihin. Tämän vuoksi suunnittelijan tulee lähteä siitä, että töiden käynnistyttyä jokainen suunnitelmapuutteesta tai virheestä johtuva työseisokki voi muodostua kalliiksi. (Jääskeläinen, 2009, 14)

Pohjatutkimus on ulotettava niin syvälle ja laajalle alueelle, että tunnistetaan kaikki maapohjan muodostumat ja kerrostumat sekä tunnetaan maan lujuus- ja muodonmuu-



tosominaisuudet, joilla voi olla vaikutusta paalutustyöhön. Pohjatutkimusten laajuutta suunniteltaessa huomioidaan kokemus vastaavasta perustustyöstä samanlaisissa pohjaolosuhteissa tai työmaan läheisyydessä. Pohjatutkimusta täydennetään ennen rakennustöiden aloitusta, mikäli se ei ole riittävä. (Paalutusohje 2011, 2011, 35)

Pohjatutkimuksen valmistuttua geotekniset tiedot kootaan pohjatutkimusraporttiin. Raportissa mainitaan tarvittaessa tulosten tunnetut rajoitukset sekä perustellaan aikaisemman tutkimuksen lisäksi lisätyön tarve kenttä- ja laboratoriotutkimuksiin. Näistä tutkimuksista tehdään yksityiskohtainen ohjelma. Vastaava pohjarakennesuunnittelija tarkastaa, että pohjatutkimusraportti on riittävä ja sisältää tarvittavat tiedot kohteen vaatimuksien huomioon. (Paalutusohje 2011, 2011, 42-43)

Mitä enemmän pohjatutkimuksia tehdään, sitä paremmin saadaan työnopeus yleensä arvioitua. Huonot pohjatutkimukset voivat aiheuttaa työn viivästymistä, koska joskus joudutaan tilamaan erilaisia paaluja suunniteltujen tilalle ja näin paalujen toimitus voi kestää. Halvempaa on tehdä hyvät pohjatutkimukset kuin arvata paalujen pituuksia. (Nurmela & Kiiski, 2016)

Pohjatutkimuksiin tulisi siis panostaa varsinkin epävarmoilla maa-alueilla. Tällöin voidaan mahdollisesti kustannuksia pienentää ja aikataulua nopeuttaa rakentamisen aikana, koska pohjamaa tunnetaan hyvin ja pohjatutkimusten puutteista johtuvia työn keskeytyksiä tulee vähemmän.

### **3.1.2 Ympäristön huomioiminen**

Tärinäherkät rakenteet ja laitteet selvitetään paalutustyön suunnittelua varten. Selvitysalueen laajuus on yleensä 30 - 50 metriä tärinälähteestä. Sallitut tärinärajat selvitetään ja tärinälle herkät laitteet luetteloidaan sekä lisäksi tutkitaan mahdollisuudet laitteiden tärinävaimennukselle. Tärinää seurataan työn aikana, ja mikäli tärinä on liian suurta, muutetaan valittu työmenetelmä. Työaikoja koskevat rajoitukset selvitetään suunnittelun aikana. (Paalutusohje 2011, 2011, 35)

Lähellä olevat rakenteet tai rakennusten perustukset voivat oleellisesti vaikuttaa paalutustyön suoritukseen. Paalujen ulottuessa aiemmin rakennettujen rakenteiden perustus-

tason alapuolelle, tulee arvioida paalutuksen aiheuttamat painumat ja siirtymät ympäröiviin rakenteisiin. Erityistä huomiota siirtymiin ja painumiin on kiinnitettävä perustusten vahvistamiskohteissa, joissa vahvistettava rakennus on usein herkkä siirtymille ja tärinöille. Asennettujen paalujen läheisyydessä työskenneltäessä tulee varmistua, että toimenpiteet eivät vaurioita paaluja. (Paalutusohje 2011, 2011, 183)

Johtojen ja kaapelien sekä putkien sijainnit selvitetään ennen työn aloittamista. Työmaan olosuhteet ja rajoitukset, jotka voivat vaikuttaa paalutustyön suoritukseen, selvitetään. Tällaisia voivat olla esimerkiksi työmaan koko, maanpinnan viettosuhteet, lähellä olevat epästabiilit luiskat tai työmaan kulkutiet. Mahdolliset aiemmat kokemukset paalutuksesta työmaalla tai sen läheisyydessä tulisi ottaa huomioon. Pohjatutkimusraportin tulee olla käytettävissä paalutusta suunnitellessa. (Paalutusohje 2011, 2011, 169-170)

Paalutustyö aiheuttaa aina melua kaluston vuoksi. Melutasojen ylärajoissa noudatetaan viranomaisen antamia rajoituksia. Työmaan läheisyydessä saattaa olla toimintoja, jotka rajaavat melutason normaalia alhaisemmaksi. Asennuskaluston ja paalutyypin valinnalla on vaikutusta melutasoon. Melulähteen eristämällä sekä valitsemalla lyöntipaaluille iskutyynyyn sopiva jousto-osa, voidaan melutasoa pienentää. (Paalutusohje 2011, 2011, 189)

### **3.1.3 Geotekniset luokat**

Pohjarakennuskohteet jaetaan kolmeen geotekniseen luokkaan: helpot kohteet (GL1), vaativat kohteet (GL2) ja erittäin vaativat kohteet (GL3). 1-luokan rakennuspaikka on tyypillisesti kallio- tai moreenialueella tai karkearakeisten maalajien alueella. 2-luokkaa käytetään, jos paaluilla perustetaan rakennuksia, joissa on pysyvään asumiseen tai työskentelyyn tarkoitettuja rakenteita tai perustettaessa vaativia rakenteita. Luokkaan 3 kuuluvat mm. erittäin suuret, riskialttiit tai epätavalliset rakenteet, vanhojen perustusten vahvistaminen tai poikkeuksellisen vaikeat pohjaolosuhteet, kuten eloperäinen tai aggressiivinen maaperä. Vastaava pohjarakennesuunnittelija valitsee sovellettavan geoteknisen luokan. (Paalutusohje 2011, 2011, 28, 36)

Geoteknisestä luokasta sekä paalutyypistä riippuen valitaan pohjatutkimuksen kairausmenetelmät. Helppoissa kohteissa voidaan paino- tai porakonekairauksia tehdä vähintään

rakennuksen nurkkapisteiden tai yksittäisten rakenteiden kohdalla maastokatselmuksen lisäksi. Helppoissa kohteissa pohjaolosuhteet ovat riittävän yksinkertaiset ja vertailukelpoista kokemusta maaperästä ja aiemmin rakennetuista rakenteista on saatavilla. (Paalutusohje 2011, 2011, 36)

Vaativissa kohteissa suositellaan käytettäväksi vähintään kahta eri kairausmenetelmää, jotka on valittava siten, että päästään vähintään 1-2 metriä paalun oletetun tunkeutumistasen alapuolelle. Tutkimuspisteitä sijoitetaan rakenteen jokaiseen nurkkaan ja 5-15 metrin välein. Porakonekairausten tulisi ulottua vähintään 3 metriä kallioon ja 2 metriä paalun kärjen alapuolelle. Rakennuspaikalle tai sen välittömään läheisyyteen asennetaan vähintään yksi pohjaveden havaintoputki, jolla tarkkaillaan pohjaveden korkeusasemaa ja virtaussuuntia. Suositeltavaa on lisäksi ottaa maanäytteitä, joilla selvitetään mm. koonpuristuvuus- ja/tai lujuusominaisuudet laboratorio-olosuhteissa. (Paalutusohje 2011, 2011, 37)

Erittäin vaativissa kohteissa tehdään samat pohjatutkimukset kuin 2-luokan kohteissa, mutta laajemmin. Pohjatutkimus tehdään jokaisen perustuksen kohdalta sekä suurten perustusten paaluanturoiden jokaiselta nurkalta. Pohjavedenpinnan painetaso on mitattava, mikäli rakennuspaikalla arvioidaan olevan paineellista pohjavettä. Maalajit ja niiden kerrosrajat määritetään ottamalla riittävästi näytteitä sekä kallion päällä olevien maakerrosten ominaisuudet selvitetään. (Paalutusohje 2011, 2011, 38)

### **3.1.4 Paalutustyöluokat**

Paalutustyöluokkia on kolme: PTL1, PTL2 ja PTL3, joista PTL3 on haastavin. Paalutustyöluokka on toteutuksen huomioiva luokitus, jossa paalun rakenne määräytyy tavanomaiset kuormitus- ja rasiustilat huomioiden. Paalutustyöluokkaa valittaessa otetaan huomioon kohteen seuraamus- ja geotekninen luokka (TAULUKKO 2). Paalutustyöluokassa määritellään mm. paalutuskaluston ominaisuuksia sekä tarvittavat henkilöstön ammattitaito ja pätevyudet. (Paalutusohje 2011, 2011, 99)

TAULUKKO 2. Geoteknisen luokan ja seuraamusluokan vaikutus paalutustyöluokkaan (Paalutusohje 2011, 2011, 100)

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

Paalutustyöluokissa määrätään paalun lyönnin- ja momentinkestävyydelle raja-arvot. Paalun valmistaja tai maahantuojaa varmistaa ja nimeää paalulle rakenteellisen lyönninkestävyyden, suurimman geoteknisen kestävyuden ominaisarvon sekä ylimmän paalutustyöluokan, johon paalua voidaan käyttää. Paalun nurjahdusriski ja alkukäyryys voivat pienentää geoteknisen kestävyuden arvoa. Lisäksi käyttötilan kestävyyttä rajoittavia arvoja ovat lyönninaikainen puristuskestävyys sekä paalun ja sen varusteiden vetojännityksen kestävyys. (Paalutusohje 2011, 2011, 102-103)

Paalun rakenteellinen kestävyys on mitoitusarvo, jossa huomioidaan paalun rakenteellinen murtuminen sekä paalun sallitut muodonmuutokset. Geotekninen kantavuus on mitoitusarvo, jossa otetaan huomioon sekä varmuus maapohjan murtumisesta vastaan että sallitut painumat. Paalun kantavuutta mitoittaessa eurokoodistandardien mukaan otetaan huomioon kummatkin mitoitusarvot. (Jääskeläinen, 2009, 52)

Seuraamusluokat jaetaan eurokoodin mukaan kolmeen luokkaan. Seuraamusluokka määritellään ihmisille ja ympäristölle työstä ja rakenteista aiheutuvan riskin perusteella. Seuraamusluokat ovat CC1, CC2 ja CC3, joista CC3:lla on suurimmat seuraamukset. CC3-luokkaan voivat kuulua esimerkiksi työt asutuskeskuksen läheisyydessä, missä voi syntyä suuret taloudelliset, sosiaaliset tai ympäristövahingot tai ihmishenkien menetys on riski. CC1-luokassa on vähäiset seuraamukset. (Liikennevirasto, 2013, 16)

### 3.2 Perustamistavan valinta

Perustamistavan valinta riippuu pohjaolosuhteista. Muun muassa maaperän kantavuus ja pohjavedenpinta vaikuttavat valintaan. Lähistöllä ja samanlaisessa maaperässä sijaitsevien rakennusten tai rakenteiden perustamistapaan on syytä tutustua, mikäli tietoa on dokumentoidusti saatavilla. Pohjatutkimuksilla selvitetään perustamisolosuhteet perus-

tamistavan valitsemiseksi sekä perustuksien mitoittamiseksi ja laaditaan perustamistapa-lausunto. (Rakentaja, 2012)

Paaluperustusta käytetään silloin, kun maaperän kantavuus ei riitä kannattamaan raken-teista aiheutuvia kuormia. Paaluperustuksessa kuormat välitetään paaluanturoiden tai -laattojen kautta kantavaan kerrokseen. Perustusten suunnitteluratkaisuilla voidaan vai-kuttaa paalujen mitoitukseen ja määrään. Mitä laajemmalle perustuksen kuorma jakau-tuu maaperään, sitä vähemmän paaluja todennäköisesti tarvitaan. (Rakentaja, 2012)

Paalutukset käsitellään yleensä laskennollisesti paaluryhminä, -riveinä tai -kenttinä. Paaluryhmä voi koostua pysty- ja vinopaaluista. Pystypaalut ottavat vastaan pystysuun-taisia kuormia ja vinopaaluilla voidaan estää rakenteen kiertymiä sekä hallita rakentee-seen kohdistuvia vaakakuormia. Paaluryhmien mitoitukseen ja sijoitukseen vaikuttaa esimerkiksi se, onko perustus jatkuva antura vai pilariantura tai laatta. (Liikennevirasto, 2013, 57)

### **3.3 Paalutustyössä ilmenevät ongelmat**

Lyöntipaalutuksessa yleisin ongelma on kivinen maaperä ja routainen pintamaa, jos paalutustyötä tehdään talvella. Kivinen tai routainen maaperä aiheuttaa ongelmia paalun tunkeutumiseen ja voi aiheuttaa vaurioita paaluihin. Kulkuteiden puuttuminen ja huono kantavuus ovat ongelmia, koska iso ja raskas paalutuskone vaatii tasaisen ja kantavan alustan. Yleensä maapohjan päälle tehdään murskepeti kantavuuden ja tasaisuuden varmistamiseksi. Erittäin heikon kantavuuden omaavilla pohjamailla, kuten märillä turve-mailla, voidaan joutua käyttämään puusta tehtyjä alustoja koneen kuorman jakamiseksi laajemmalle alueelle. (Nurmela & Kiiski, 2016)

Ahtaat tilat ja paikat aiheuttavat ongelmia. Iso paalutuskone vaatii tilaa toimiakseen täydellä työteholla. Matalalla kulkevat ilmajohdot voivat aiheuttaa ongelmia. Koska varastotilatkin paaluille ovat yleensä rajalliset, paalut joudutaan tilaamaan työmaalle erissä. Tämä lisää logistiikkakustannuksia sekä mahdollisesti myös työseisokkeja. (Nurmela & Kiiski, 2016)

Yleisimpiä ongelmia porapaalutuksessa ovat huono työalusta, vasaroiden tukkeutumisesta sekä konerikot. Vasarat voivat tukkeutua esimerkiksi vedenpaineen vaikutuksesta, mikä voi aiheuttaa harmillisia työseisokkeja ja työn viivästymistä. Konerikkoja pyritään välttämään huoltamalla koneet hyvin. Heikko työsuunnittelu sekä -valvonta luovat myös ongelmia paalutukseen. Kovalla pakkasella paalutustyötä ei voida suorittaa letkurikkoriskin vuoksi. Pakkasraja on yleensä  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Porapaalutuskoneiden huoltokustannukset ovat suuremmat kuin lyöntipaalutuskoneiden. (Kaikkonen & Lammassaari, 2016)

Erikokoisten ja -laatuisten porapaalujen asennus työmaalla tuo haasteita työn suoritukseen. Paalut voivat sekoittua keskenään, jos paalujen ulkohalkaisijat ovat samat. Lisäksi pilottikruunu joudutaan vaihtamaan paalukoon muuttuessa, mikä vähentää työsaavutusta. Paalujen asennusjärjestyksen ja varastoinnin suunnittelu on hyvin tärkeää tällaisissa tapauksissa työn sujumisen kannalta. (Kesonen, 2016)

Suunnitelmapuutteet ovat erittäin yleisiä. Virheitä löytyy usein paalutusluokista sekä paalujen materiaaleista. Esimerkiksi teräspaalujen teräslajit voivat olla eriäviä eri suunnitelmien välillä. Eri paalutusohjeiden mukaisissa suunnitelmissa saattaa esiintyä ristiriitoja. Varsinkin isoissa paalutusurakoissa suunnitelmat muuttuvat työn edetessä lähes poikkeuksetta. Rakennesuunnittelija saattaa muuttaa ylempiä rakenteita, jolloin voidaan tarvita lisäpaaluja. Kallion pinta voi joskus olla suunniteltua korkeammalla, jolloin paaluja voi jäädä pois, ja perustaminen toteutetaan kaivonrenkailla tai porapaaluilla. (Nurmela & Kiiski, 2016; Kesonen, 2016)

Geosuunnittelu ja rakennesuunnittelu tulevat usein eri yrityksistä, jolloin suunnitelmien ristiriitaisuudet kasvavat. Paaluluetteloissa paalumerkinnät sekä paalujen arvioitu pituus ovat yleensä epäselvästi ilmoitettu, koska arvioitu pituus –kohdassa ei ilmoiteta, onko paalupituus laskettu kallioon porauksen kanssa. (Kesonen, 2016)

### **3.4 Työn suunnittelu ja rakentamisvaihe**

Ennen työn alkua suoritetaan katselmuksia. Koska paalutus aiheuttaa aina tärinää, tulee naapurirakenteiden kunto arvioida ennen paalutustyötä ja tämän jälkeen valita paalutyyppi. Tärinää voidaan seurata tärinämittareilla työn aikana. Lisäksi teräsbetonisten lyöntipaalujen asennus syrjäyttää maata, ja jos tällainen vaara on ilmeinen, määritellään

jo suunnitteluvaiheessa tarvittavat toimenpiteet. Myös kaapelien ja johtojen sijainnit tarkistetaan. (Paalutusohje 2011 2011, 169-170)

Pohjatutkimuksiin tulee paneutua ennen paalutustyön aloitusta. Lisäksi tulee varmistaa, että työ suoritetaan uusimmilla suunnitelmissa. Paalutustyön suorittaja laatii kohdekohtaisen työ- ja laatusuunnitelman ennen työn aloitusta ja luovuttaa sen rakennuttajalle. Mitä enemmän kokeita ja mittauksia tehdään, sitä parempi on yleensä paalutuksen lopputulos. Kun paalut tulevat työmaalle, niiden kunto ja varusteet tarkastetaan välittömästi, jotta voidaan todeta, että paalut eivät ole rikkoutuneet urakoitsijan käsittelyssä. Paalut tulee varastoida asiallisesti, jotta niiden vaurioituminen estetään. (Paalutusohje 2011 2011, 191, 203)

Työjärjestys ja töiden yhteensovittaminen muiden työvaiheiden kanssa tulee suunnitella hyvin, jotta vältytään töiden päällekkäisyyksiltä. Jos paalutus ei esimerkiksi haastavien pohjaolosuhteiden takia onnistu, joudutaan miettimään uutta, kustannustehokkainta vaihtoehtoa korvaamaan suunnitellut paalut. Pienien työmaiden sulava ketjuttaminen aiheuttaa omat haasteensa resurssien hallitsemisen vuoksi. (Nurmela & Kiiski, 2016)

Jokaisesta paalusta pidetään paalutuspöytäkirjaa, jossa mainitaan mm. paalun numero, koko, loppulyöntipainumat ja sijaintipoikkeamat sekä paalutuksen aikana tehdyt havainnot. Paalutuspöytäkirjoja säilytetään vähintään viisi vuotta töiden valmistumisen jälkeen. Paalujen sijaintipiirustukset kootaan paalutustöiden valmistuttua ja niitä säilytetään rakentamisasiakirjojen kanssa. (Paalutusohje 2011, 2011, 235-236)

### **3.4.1 Koepaalutus**

Koepaalujen määrä tulee valita pohjaolosuhteiden, geoteknisen luokan, aikaisempien dokumentoitujen kokemusten sekä perustussuunnittelussa käytettävien paalutyypin ja paalujen kokonaismäärän mukaan. Koepaalutus tehdään paalutuskohteen eri osiin, jotta saadaan tietoa pohjamaasta, ja näin ollen voidaan paalutilaukseen tehdä mahdolliset muutokset koepaalutusten perusteella. (Nurmela & Kiiski, 2016)

Koepaalujen tulee olla samanlaisia ja ne asennetaan samalla kalustolla kuin rakentamiseen suunnitellut paalut. Koepaaluja voidaan lyödä suunniteltuihin paalupisteisiin tai

niiden ulkopuolelle. Koepaaluja lyömällä voidaan hukan määrää mahdollisesti vähentää. Koepaaluutusvaiheessa paaluja on edullista lyödä eri loppulyöntiehoilla, jolloin voidaan koekuormitustilanteessa valita riittävä loppulyöntiehto varsinaiseen paalutustyöhön. (Paalutusohje 2011, 2011, 204; Illinois department of transportation 2012, 27)

### **3.4.2 Lyöntipaalut**

Lyöntipaaluissa työteho vaihtelee melko paljon pohjaolosuhteiden ja eri paalutyypin välillä. Löysissä savimaissa voidaan teräsbetonipaaluja asentaa jopa 500 metriä työpäivässä. Kivisissä ja kitkamaissa teho voi jäädä 200 metriin päivässä. Paalujen jatkaminen hidastaa työtehoa. Teräsputkipaaluja lyödessä tehoon vaikuttaa hitsausaumojen määrä. (Nurmela & Kiiski 2016)

Teräspaalujen asennettavuus ja asennuskaluston valinta ovat keskeisessä osassa paalujen suunnittelussa. Kalustovalinnassa on varmistettava, että paalut kyetään lyömään tavoitetasoon ja kalustolla pystytään mittamaan vaadittu kantavuus dynaamisessa koekuormituksessa. Myös erillistä koekuormitusjärkettä voidaan käyttää. (RR- ja RRs-paalu, 2012, 16)

Lähes jokaisessa urakassa tarvitaan lisäpaaluja. Niitä tarvitaan, jos paalu katkeaa tai toleranssit ylittyvät. Maaperässä olevat kivet tai lohkarit voivat vaurioittaa paalun kärkeä tai vääntää paalun poikki. Kivet aiheuttavat myös paalun sijaintipoikkeamia, jolloin lisäpaaluja tarvitaan kantavuuden varmistamiseksi. Suunnitelmamuutoksien myötä tarvitaan usein lisäpaaluja. Lisäpaaluissa joudutaan mahdollisesti vaihtamaan paalutyyppi esimerkiksi kivisessä maaperässä porapaaluun. (Nurmela & Kiiski, 2016)

### **3.4.3 Porapaalut**

Porapaalujen asennustehoon vaikuttavat mm. jatkosten määrä, paaluelementin ja porakaluston syöttöpituus, tilan vapaakorkeus sekä pohjaolosuhteet. Kivet ja muut esteet, kuten puu ja tiili sekä kalliopintojen korkeusaseman jatkuva vaihtelu heikentävät työsaavutusta. Jos paalut asennetaan kaltevasti maahan, hidastaa se osaltaan työsaavutusta. Isoilla koneilla paalutettaessa paras tilanne on, kun porataan aina pystysuoraan 12



metrin paaluelementtejä. Mitä lyhempiä paalut ovat, sitä pienempi työteho on. (Kaikkonen & Lammassaari, 2016)

Isoilla koneilla voidaan porata jopa 40 metrin paaluelementtejä, keskikokoisilla 10 metrin ja pienillä koneilla alle metrin mittaisia paaluelementtejä. Koneen koko vaikuttaa jonkin verran porausnopeuteen. Pienillä koneilla joudutaan poraamaan lyhempiä paaluelementtejä, jolloin jatkoksien määrä kasvaa. (Kaikkonen & Lammassaari, 2016)

Keskisen ja epäkeskisen menetelmän valinta on tapauskohtaista. Keskinen menetelmä on varma ja helppotoiminen ja se ei ole herkkä kallion epätasaisuudelle. Epäkeskinen menetelmä on edullinen vaihtoehto, mutta pilottikruunu jää usein jumiin maakenkään sekä kalliokontaktin saaminen on vaikeampaa. (Kaikkonen & Lammassaari, 2016)

Usein suunnitelmat ovat myöhässä varsinkin nopeissa työn aloituksissa. Paalutuksen rajapintoihin tulee joskus muutoksia. Jos työmaalla on louhintaa, louhintaraja varmistuu vasta, kun kaivuu on tehty. Porapaaluilla lisäpaaluja ei yleensä tarvita, koska paalujen asennustarkkuus on hyvä. Pitkillä ja hoikilla paaluilla on taipumariski, ja mikäli paalu taipuu liikaa, tulee se korvata uudella paalulla. (Kaikkonen & Lammassaari 2016)

Koska porapaalutustyömaa on usein karkearakeista ja kantavaa pohjamaata, murskepeitiä ei tarvitse tehdä, jos työalusta on riittävän tasainen. Paalutuskoneen lisäksi työssä tarvitaan usein apukaivinkone, joka lisää porakankeen paaluelementtejä pitkiä paaluja asennettaessa. Lisäksi paalutustyössä tarvitaan apumies sekä hitsaaja, mikä lisää porapaalutuksen kustannuksia. Työsaavutus on yleensä pienempi tavanomaiseen lyöntipaalutukseen verrattuna. (Kaikkonen & Lammassaari, 2016)

#### **3.4.4 Mikropaalut**

Mikropaaluja asennettaessa tulee vettä olla saatavilla, mikäli paalu injektoidaan. Injektointimenetelmän valinnassa kannattaa miettiä, halutaanko injektointiaine syöttää paineistettuna vai paineistamattomana iskujen välityksellä. Paineistavalla kalustolla injektointiaine tunkeutuu paremmin ympäröivään maahan, jolloin saavutettu geotekninen kantavuus on suurempi. Syöttöpainetta voidaan säädellä halutun suuruiseksi ja maape-

rään sopivaksi. Syöttöpaine on yleensä vähintään 2 MPa eli 20 baaria. (Paalutusohje 2011 2011, 202)

Paineilma- ja hydraulivasarat ovat yleensä edullisia injektoitujen lyöntipaalujen asentamisessa. Paalun kärkiosa eli porakruunu valitaan pohjaolosuhteiden ja halutun vaipan leveyden mukaan. Mekaanisten jatkosten riittävään kiristymiseen tulee kiinnittää huomiota. (Paalutusohje 2011 2011, 210)

Mikropaalujen asentaminen voi olla hieman hitaampaa teräs- ja porapaaluihin verrattuna injektointin vuoksi. Injektointikalusto ja –työntekijä lisäävät kustannuksia ja injektointiainetta voi kulua huomattava määrä maaperään. Paalujen kantavuuden arviointi, jos koekuormituksia ei tehdä, on haastavampaa tavanomaisiin paaluihin verrattuna.

#### **3.4.5 Mittaukset ja koekuormitukset**

Paalutustyötä tarkkaillaan seuranta- ja mittaustarkkailun avulla (KUVA 11). Kun paalut on asennettu, niille tehdään erilaisia mittauksia paalutusluokasta ja työn onnistumisesta riippuen. Mittausten ja koekuormitusten laajuus määritellään suunnitelma-asiakirjoissa ja niiden määrää voidaan lisätä, jos paalutustyö ei ole onnistunut suunnitellusti. (Paalutusohje 2011, 2011, 240)



KUVA 11. Lyöntipaalutus koneen seurantanäyttö, josta ilmenee esimerkiksi lyöntien määrä ja paalun painuminen

Paalutustyön laadun varmistamiseksi tehdään paaluille koekuormituksia, jotka toteutetaan joko dynaamisesti tai staattisesti. Koekuormituksilla voidaan määrittää paalun geotekninen kantavuus. Koekuormituksia tulee tehdä, jos paalutyypistä tai asennusmenetelmästä ei ole vertailukelpoista kokemusta, kun paaluja ei ole aiemmin koekuormitettu vastaavissa pohjaolosuhteissa tai, kun paalutuksen aikana tehdyt havainnot eivät vastaa pohjatutkimuksessa oletettua paalun käyttäytymistä. Jos tehdään yksi koekuormitus, tulisi se tehdä paikassa, jossa uskotaan olevan epäedullisimmat pohjaolosuhteet. Varmistettuun ja ehjään kallioon tukeutuvia porapaaluja ei yleensä tarvitse koekuormittaa. (Paalutusohje 2011, 2011, 54-55)

Yksi vaihtoehto kantavuuden määrittämiseen on PDA-mittaus, jolla paalusta mitataan kiihtyvyys ja voima lyönnin aikana. Menetelmällä saadaan tietoa paalun ehjyydestä, lyönnin aikana tapahtuvista jännityksistä, lyönnin epäkeskisyydestä sekä paalutuskoneen lyöntilaitteen tehokkuudesta. PDA-mittausten avulla kullekin paalutuskoneelle voidaan määrittää omat kohdekohtaiset loppulyönnit. Menetelmää käytettäessä koepaa-

lutuksessa päästään selville kohteeseen sopivasta paalutyypistä, joka kestää lyönnin-  
kaiset rasitukset. Mittaus voidaan suorittaa sekä teräs- että teräsbetonipaaluille. Mittaus-  
tulokset voidaan siirtää tietokoneelle myöhempää tarkastelua varten. (Paalutusohje  
2011, 2011, 104; Inspecta, 2013)

Paalun käyttäytyminen todellisen kuorman alla voidaan tutkia staattisella kuormitusko-  
keella (KUVA 12), joka on yleensä kallista ja hidasta. Kokeessa käytetään esimerkiksi  
kaivinkonetta ja vastapainojärjestelmiä. Menetelmä on hyvin luotettava geoteknisen  
kestävyyden mittaamiseen. Menetelmä on melko hidas ja kallis. Koepaaluilla kuormi-  
tuksen tulee olla sellainen, että paalun murtokuormasta voidaan myös tehdä johtopää-  
töksiä. Koekuormituksen suorituksen jälkeen tulee rakennuttajalle luovuttaa viivytyk-  
settä raportti, jossa on koekuormituksen tulokset sekä yksityiskohtaiset tiedot koekuor-  
mitetuista paaluista ja maaperäolosuhteista. (Paalutusohje 2011, 2011, 55, 244; Inspec-  
ta, 2014)



KUVA 12. Koekuormitustunkki nosturin alla. Kuormituksen alaisena mikropaalu  
(Arend Oudman, 2015)

Paalun ehjyyttä voidaan mitata dynaamisella ehjyyskokeella tai ultraäänimittauksella.  
Ehjiysmittauksia suositellaan tehtäväksi paaluille, joiden painumat tai kallistumat poik-

keavat muista kohteen paaluista. Ehjyysmittauksella havaitaan vain suuret vauriot. Paalusta voidaan ottaa betoninäytteitä, joista voidaan tutkia betonin lujuusominaisuuksia. Inklinometrilaitteiston avulla saadaan selville paalun pystysuoruus, kaltevuus sekä taipuma. (Paalutusohje 2011, 2011, 241, 246)

Paalujen sijainti, korkeusasemat ja kaltevuus mitataan ja dokumentoidaan loppulyöntien jälkeen ja paalu katkaistaan suunnitelma-asiakirjojen mukaisesti perustukseen liitettäväksi. Sijaintipoikkeamat mitataan paalujen katkaisutasossa. Jos paalujen sijaintipoikkeamat ovat suuremmat kuin suunnitelmissa on sallittu, vastaava pohjarakennesuunnittelija tarkistaa, vaikuttaako sijaintipoikkeaman ylitys paaluihin ja ylärakenteisiin syntyviin rasituksiin. Rakenne voidaan hyväksyä sellaisenaan, tai siihen voidaan joutua lisäämään lisäpaaluja tai –rakenteita. Asennettujen paalujen siirtymiä seurataan asennustyön aikana. (Paalutusohje 2011, 2011, 239)

Teräspaalujen suoruus tarkastetaan ja dokumentoidaan asennuksen jälkeen. Paaluputkeen lasketaan taskulamppu mittanauhan varassa, jolloin valon katoamissyvyyden perusteella voidaan arvioida paalun suoruus. Mikäli paalu alittaa suoruusvaatimuksen, tulee tästä ilmoittaa vastaavalle pohjarakennesuunnittelijalle, joka päättää jatkotoimenpiteistä. (Paalutusohje 2011, 2011, 238)

## 4 KOHDETYÖMAAT

### 4.1 Jätkäsaari

Jätkäsaaren alueen koko on noin 1\*1 neliökilometriä. Alueella on tehty koepaalutuksia tulevaa rakentamista varten. Koepaalutusalue on täyttöpenger, johon on ajettu tunnelilouhetta Länsimetron työmaalta Helsingin ja Espoon alueilta. Alueelle on tehty koepaalutuksia eri paalutyypeillä ja tehty näille koekuormituksia eri paalujen kantavuuksien vertailemiseksi. Pohjatutkimuksia on tehty puristinheijari-, paino- ja porakonekairauksilla sekä vedenpintaa on tarkkailtu. (Jätkäsaaren koeinjektioinnin loppuraporttiluonnos, 2016, 1)

Kokeessa maahan asennettiin 6 metrin pituisia 140/10 porapaaluja, 9 metrin pituisia 73/45 mikropaaluja sekä 12 metrin pituisia 73/53 mikropaaluja. Mikropaaluissa yhden paaluelementin pituus oli 3 metriä. Paaluina käytettiin 6 kappaletta tavanomaisia porapaaluja sekä 5 kappaletta porattavia mikropaaluja. Kaikki paalut injektointiin, mutta tavanomaisissa porapaaluissa injektointi epäonnistui. Injektioinnin ja koekuormitusten jälkeen paalut kaivettiin ja vedettiin ylös, jolloin tarkistettiin injektioinnin onnistuminen (KUVA 13). Tutkimuksen tilaajana oli HKR eli Helsingin kaupungin rakennusvirasto. (Jätkäsaaren koeinjektioinnin loppuraporttiluonnos, 2016, 3)



KUVA 13. Injektoitu ja ylöskaivettu mikropaalu (Arend Oudman, 2015)

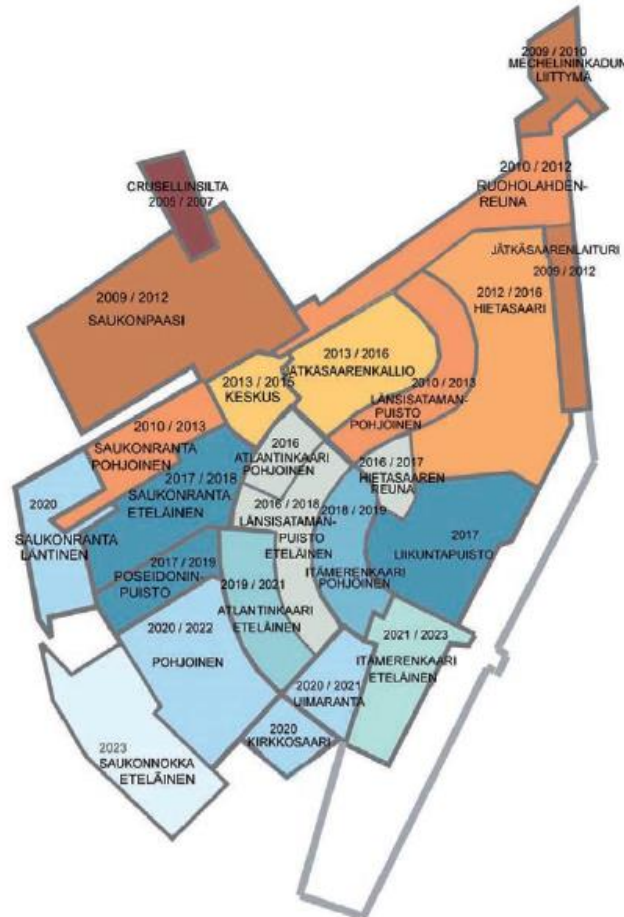
#### 4.1.1 Alueesta yleisesti

Jätkäsaaren alue on aiemmin ollut merialuetta, jossa on ollut saaria kesähuvila- ja virkistyskäytössä. Tavarasataman rakentaminen alueelle alkoi vuonna 1913, jolloin saaret tasattiin ja liitettiin yhteen täyttömailla satama-, teollisuus- ja varastointitarpeisiin. (Helsingin kaupunki 2006, 8)

Entisen tavarasataman alueelle tullaan rakentamaan asuntoja ja toimitiloja Vuosaaren sataman valmistuttua vuonna 2008. Helsingin kaupungin tavoitteena on luoda toiminnallisesti monipuolinen kaupunginosa. Alueelle on tarkoitus sijoittaa toimintoja, jotka palvelevat koko kaupunkiseutua. Tällä hetkellä alueella sijaitsee matkustajasatama, jonka kehittäminen rinnan muun alueen kanssa on erityisen tärkeää. (Helsingin kaupunki 2006, 11-13)

Rakennettavuus on laajalla alueella melko huono täyttömaiden ja louhepenkereiden takia, joten alueella joudutaan tekemään paalutuksia tai syvätiivistyksiä. Osassa aluetta on louhepenkereiden sekä välitäytteiden alla hienorakeisia maakerroksia (LIITE 1). Vanhojen saarien kohdalla kallio on lähellä maanpintaa, joten rakennettavuus näissä paikoissa on hyvä. Alue rakennetaan vaiheittain (KUVA 14). (Helsingin kaupunki 2006, 23)

Alueelle on suunniteltu maanvaraista perustamista kallion tai luonnonmaan varaan, maanvaraista perustamista vahvistetun täytemaan varaan sekä paaluperustuksia. Kalleimmat rakennuspaikat sijaitsevat paksujen louhetäyttöjen alueilla ja edullisinta on rakentaa paikkoihin, joissa voidaan käyttää maanvaraista perustamista ilman pohjanvahvistuksia. Pohjarakennuskustannuksien arvioidaan olevan välillä 35 – 505 euroa kerrosneliömetriltä kerrosten lukumäärästä riippuen. (Helsingin kaupunki 2006, 50)



KUVA 14. Jätkäsaaren suunniteltu rakentamisaikataulu (Helsingin kaupunki, 2006, 62)

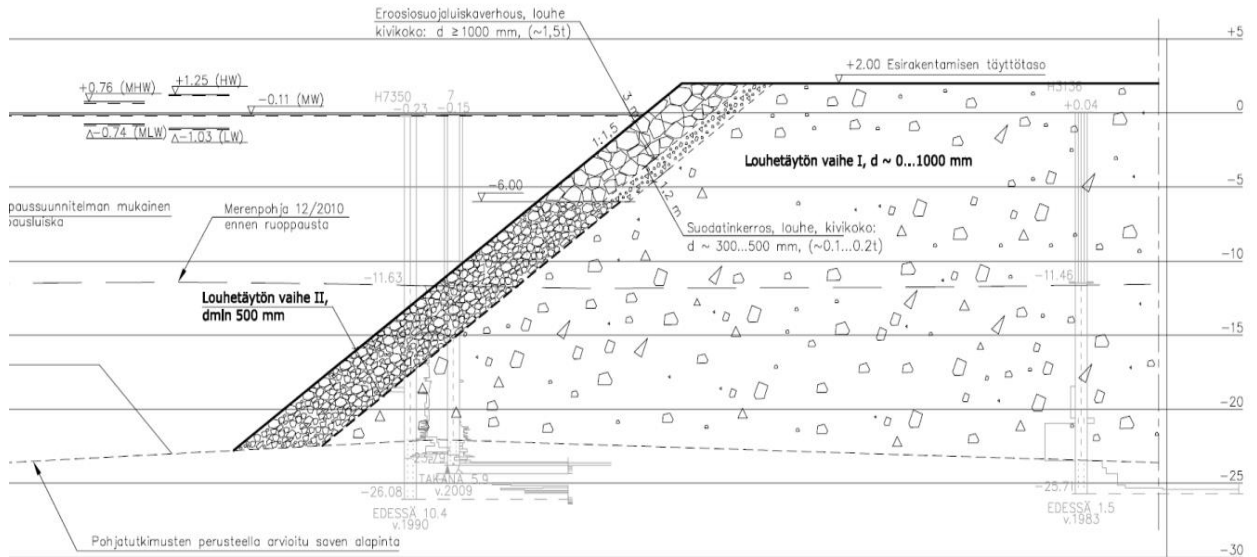
Aikaisempi toiminta on aiheuttanut jonkin verran pilaantumista ja täytemaan mukana alueelle on kulkeutunut haitta-aineita, jotka ovat pääosin raskasmetalleja. Myös orgaanisten aineiden aiheuttamaa pilaantumista on havaittu. Pilaantuminen on pääasiassa pistemäistä, ja eniten sitä on havaittu saarten rannoilla. Maaperää joudutaan kunnostamaan lähes koko alueella. Voimakkaimmin pilaantuneilla alueilla tehdään massanvaihtoja ja eristämistä, lievemmin pilaantuneilla alueilla voidaan mahdollisesti tyytyä maanpinnan nostoon. Merialueen sedimenttien pintaosassa on havaittu paljon orgaanisia tinayhdisteitä, jotka ovat peräisin alusten suojamaaleista. (Helsingin kaupunki 2006, 24)

#### 4.1.2 Pohjaolosuhteet

Tutkimusalue on vanhaa merenpohjaa, josta savi on ruopattu pois ja ruoppaus on pääosin päätetty siltti- ja hiekkakerroksiin. Louheella on tehty pohjaantäyttöpenger, jonka

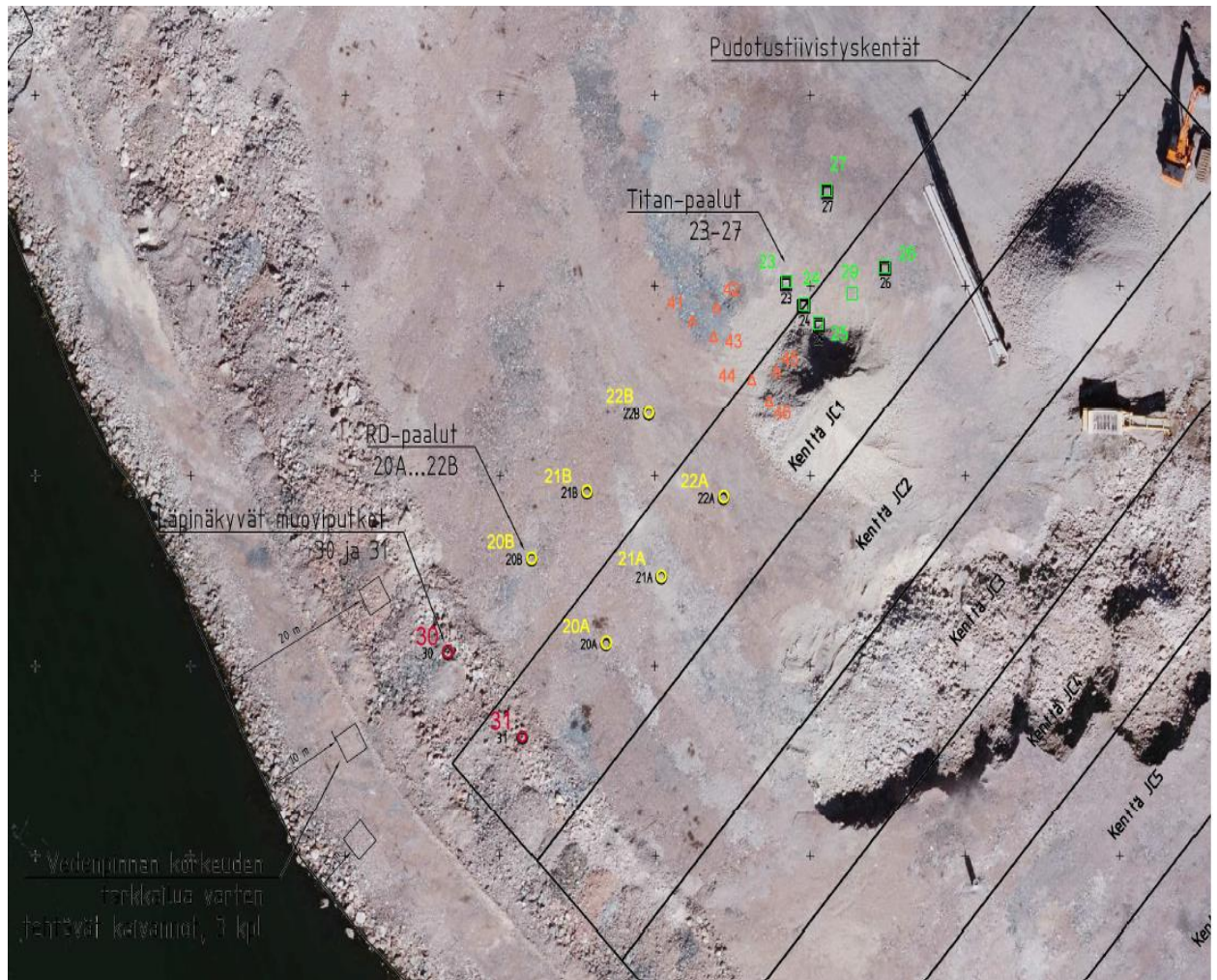


paksuus on enimmillään noin 25 metriä (KUVA 15). Kallionpinta on noin 30 metrin syvyydessä. Alueella on ollut noin 8 metriä korkea murske-/louheylipenger, jolla on pyritty tiivistämään täytekerrosta. (Jätkäsaaren koeinjektioinnin loppuraporttiluonnos, 2016, 2)



KUVA 15. Pohjatutkimusleikkaus likimain koealueen kohdalta (Ramboll, 2015)

Osaan koepaalutusaluetta on tehty syvätiivistyksiä nosturilla ja 20 tonnin pudotuspainolla. Pudotuskorkeus vaihteli 15 metristä 20:een metriin. Syvätiivistyksellä louhepennger painui noin metrin. Syvätiivistys tehtiin ylipenkereen poistamisen jälkeen. Osa koepaaluista asennettiin syvätiivistetylle alueelle ja osa tiivistämättömälle täyttömaalle (KUVA 16). YIT Rakennus Oy suoritti koepaalutuksen. (Jätkäsaaren koeinjektioinnin loppuraporttiluonnos, 2016, 1)



KUVA 16. Paalupisteet ja koekuormituskentät (Ramboll, 2015)

## 4.2 Kalasatama

Työmaan nimi on ATT Dirika-kortteli ja pääurakoitsijana toimii Fira Oy. YIT Rakennus Oy suorittaa alihankintana alueen porapaalutuksen. Kohteen paalutustyöluokka on PTL3. Paaluissa käytettävä teräslaji on pääosin S550J2H ja paalukokoja on neljä: 115/8 (S440J2H), 140/10, 170/10, 170/12,5. Kohteen paalutus on aloitettu tammikuussa 2016 ja paalutuksen pitäisi olla valmis toukokuun lopussa. (Dirika-kortteli, 2016, 3)

### 4.2.1 Pohjaolosuhteet

Helsingin kaupungin kiinteistöviraston Geotekninen osasto on teettänyt kohteen pohjatutkimukset (LIITE 2) ja laatinut niiden perusteella pohjarakennussuunnitelman. Kohde

oli suunniteltu perustettavaksi lyöntipaaluilla, mutta lyöntipaalut on vaihdettu porapaaluihin. Tontti on mereen tehtyä täyttömaata, joka on pääosin hiekkaa ja soraa, mutta seassa on myös kiviä, lohkareita, puuta, tiiltä yms. rakennusjätettä. Täytön paksuus vaihtelee 4 – 10,5 metrin välillä. Täytön alla on 1 – 4 metrin savikerrostuma, jonka alapuolella on kitkamaakerros. Kallion korkeus laskee pohjoisesta etelään. Pohjavedenpinta vaihtelee meriveden pinnan mukana. Pohjarakennuskartta sekä leikkauskuvat on esitetty liitteessä 3. (Dirika-kortteli, 2016, 3)

Tontin ympäristön esirakentaminen on aloitettu syyskuussa 2009. Tonttialueen pohjoisosassa on ollut painopenger kaksi vuotta 2009 ja 2011 välisenä aikana. Tontin eteläosassa on tehty syvätiivistystä täyttökerrokseen. Rakennettavat alueet on pääosin kunnostettu kunnostustavoitteiden mukaiselle tasolle syksyllä 2015. Alueella on ollut pilaantuneita maita. Tontilla ja sen läheisyydessä sijaitsee kaapeleita, joita on varottava työn aikana. Piha-alueet perustetaan maanvaraisesti ja rakennukset paaluperustuksilla. (Dirika-kortteli, 2016, 3)

Paaluja kuormittaa negatiivinen vaippahankaus, jonka vuoksi paaluihin on tehty kantavuusvähennys, joka on 90 kN/paalu. Paalujen korroosiovaraksi on laskettu 4 mm ja paalut täytetään betonilla sisäpuolisen korroosion estämiseksi. (Dirika-kortteli, 2016, 3)

#### **4.2.2 Paalutustyö**

Porapaaluja on suunniteltu asennettavaksi noin 15 000 metriä. Käytössä on ollut YIT Rakennus Oy:n omaa porapaalutuskalustoa. Paalutuksesta on pidetty työsaavutuspyytäkirjaa. Paalujen pituus vaihtelee 10 metristä 22:een metriin ja paalujen keskimääräinen pituus on 14,5 metriä.

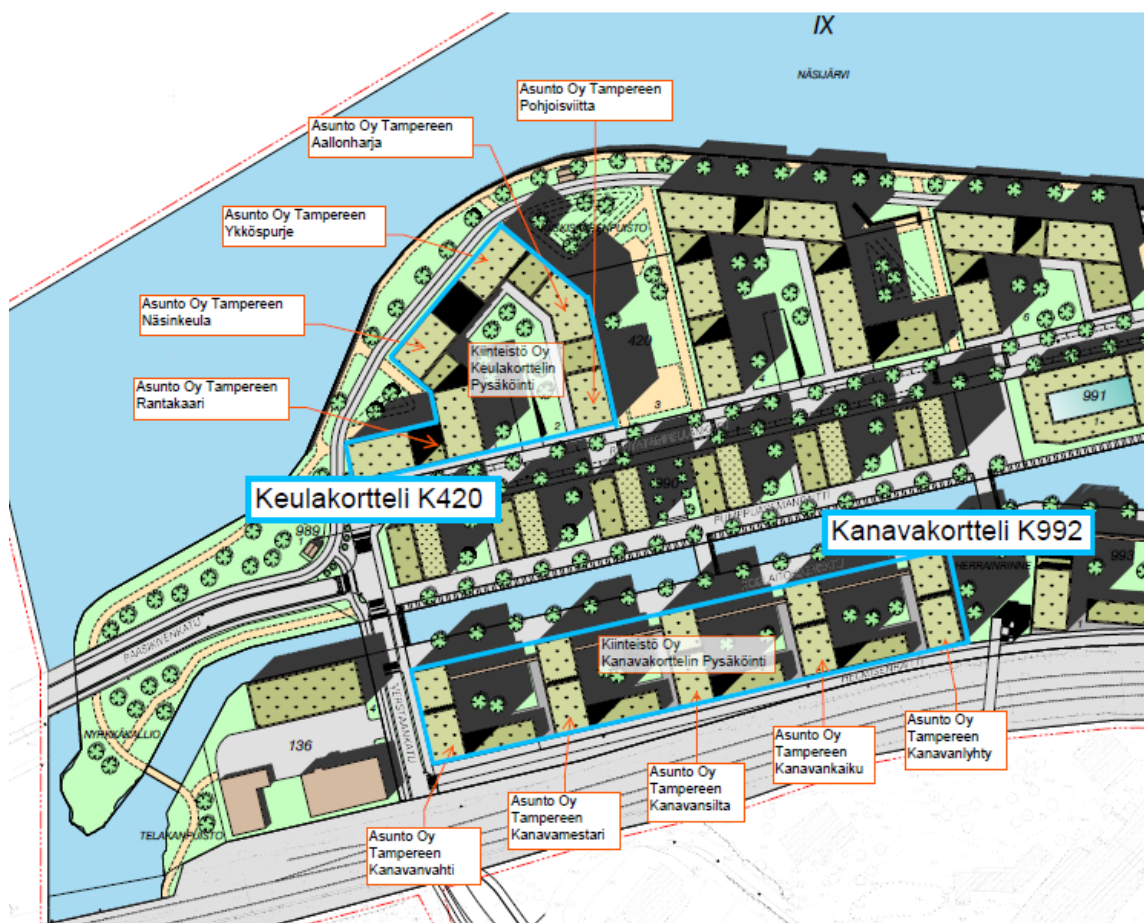
Paalutustyö on keskeytynyt neljänä päivänä pakkasen vuoksi. Lisäksi koneiden letkuri-  
kot ovat hidastaneet työsaavutusta. Alueen täytöissä on ollut puuta ja muuta rakennus-  
materiaalia, minkä vuoksi porauksessa on ollut ongelmia. Lisäksi maaperä on häiriinty-  
nyt porauksen vaikutuksesta, jolloin paalujen ympärille on muodostunut kuoppia.

### 4.3 Ranta-Tampella

YIT Rakennus Oy toteuttaa kohteen perustajaurakointina. Paalutustyöluokka on PTL3, geotekninen luokka GL2 ja kohteen seuraamusluokka CC3. Alueen paalutustyö on tarkoitus aloittaa kesällä 2016. (AS Oy Tampereen Kanavanvahti, 2015, 4)

#### 4.3.1 Pohjatutkimukset

Ramboll Finland Oy on tehnyt pohjatutkimuksia Ranta-Tampellan Keulakorttelin (KUVVA 17) alueella kesäkuussa 2014. Tutkimuksiin sisältyi porakone- ja puristinheijarikairauksia sekä maaperänäytteiden ottoa. Lisäksi alueelta oli aikaisemmin tehty pohjatutkimuksia ja otettu häiriintyneitä maaperänäytteitä. Pohjavedenpinnan korkeustasoa on tarkkailtu vuonna 2010 asennetuista pohjavesiputkista. (Keulakorttelin pysäköinti, 2016, 1)



KUVA 17. Ranta-Tampellan alue (Ramboll, 2016)

Pohjamaa koostuu alueella pääosin vanhoista täyttömassoista, joissa on teollisuuden tuhkaa ja rakennusjätteitä, kuten tiiltä ja betonimursketta, sekä osittain karkearakeisista materiaaleista koostuvia puhtaita täyttömaakerroksia. Täyttömaakerroksen paksuus vaihtelee tontin länsiosassa 3,1 – 5,7 metrin välillä. Pohjatutkimusten perusteella täytön alla on paikoittain luonnollinen liejuisesta siltistä koostuva maakerros. Täyttömaakerroksen paksuus kasvaa tontin itäosaan mentäessä. Päälimmäisenä kerroksena itäosassa on paikoittain hienorakeisempaa täyttömaata, jonka alla on soraa sekä kiviä. Alueen pohjavedenpinnan voidaan olettaa olevan lähellä Näsijärven pintaa pohjatutkimusten perusteella. Kallionpinta laskee porakonekairausten perusteella tontin pohjoisosaan mentäessä. (Keulakorttelin pysäköinti, 2016, 1)

Ranta-Tampellan Kanavanvahdin ja pysäköintitalon pohjatutkimuksen on tehnyt Sito Oy. Kanavanvahdin alueelle on tehty 11 porakonekairausta ja yksi puristinheijarikairaus sekä otettu yksi häiriintynyt maanäyte. Kaikkiaan koko kortteliin on tehty 29 porakonekairausta, seitsemän puristinheijarikairausta sekä kolmesta tutkimuspisteestä on otettu maanäytteet. Kohteessa on sijainnut teollisuushalli, joka on purettu. Pilaantuneen maan puhdistustöitä on tehty vuosina 2014 – 2015. (AS Oy Tampereen Kanavanvahti, 2016, 3)

#### **4.3.2 Perustukset**

Rakenteet suositellaan perustettavaksi porapaaluilla sekalaisesta ja kivisestä täytöstä koostuvan pohjamaan takia. Rakennusten alapohjat tehdään maanvaraisina ja pilarit sekä anturat perustetaan porapaaluilla. Paalut ulotetaan metrin verran ehjään ja varmistettuun kallioon. Tuhkatäyttöjen vuoksi paalujen korroosiovara on 6 mm. Paalujen teräslaatu on pääosin S550J2H. Paalut täytetään betonilla sisäpuolisen korroosion estämiseksi. Rakenteiden suunnittelukäyttöikä on 100 vuotta. (AS Oy Tampereen Kanavanvahti, 2015, 4)

AS Oy Näsinkeulan (KUVA 17) kohdalla paalupituus on keskimäärin arviolta 15 metriä. Keulakorttelin pysäköintitalon kohdalla paalupituus vaihtelee 5 metristä 16:een metriin porakonekairausten perusteella. Paalukokoja on pohjatutkimus- ja perustamistapa-lausunnossa esitetty kolme: RDs140/10, RDs170/10, RDs170/12,5. Paalujen puristus-

kestävyyksien mitoitusarvot ovat 700 kN, 890 kN ja 1300 kN. (Keulakorttelin pysäköinti, 2016, 2)

AS Oy Tampereen Kanavavahdin kohdalla paalupituus vaihtelee 1,3 - 4,2 metriin paalu-  
luettelon perusteella. Paalujen kooksi on suunniteltu 170/12,5 ja 220/12,5. Koska paalut  
ovat lyhyitä, voidaan työ suorittaa kevyellä porauskalustolla kustannusten pienentä-  
miseksi.

#### **4.4 Tuomarila**

Työmaa sijaitsee Espoon Tuomarilassa. Rakennuttajana toimii AS Oy Espoon Kastikka  
ja kortteli on 40355. Tontille on suunniteltu rakennettavaksi kolme 6-kerroksista asuin-  
kerrostaloa. Kohteen geotekninen luokka on GL2 ja paalutustyöluokka on PTL2. Paa-  
luina voidaan käyttää porapaaluja, teräsbetonipaaluja tai teräsputkipaaluja. (AS Oy Es-  
poon Kastikka, 2015, 1-2)

##### **4.4.1 Pohjatutkimukset**

Geotek Oy on tehnyt tontilla 3 pohjatutkimuksen ja tehnyt sen perusteella perustamista-  
palausunnon. Tutkimuksessa tehtiin 13 puristinheijarikairausta, 10 porakonekairausta  
sekä otettiin yksi maanäytesarja, josta määritettiin silmämääräisesti maalaji ja vesipitoi-  
suus. Geo-Juva Oy on tehnyt alueella pohjatutkimuksia vuonna 2010, jolloin tehtiin  
tontille pintavaaitus, 36 painokairausta sekä otettiin kaksi maanäytesarjaa. Näitä tutki-  
muksia on hyödynnetty Geotek Oy:n pohjatutkimuksessa. (AS Oy Espoon Kastikka,  
2015, 1)

Kallio on laajasti näkyvissä tontin pohjois- ja luoteisosassa. Peitteisillä alueilla maan-  
pinnassa on humuskerros ja sen alla on löyhästä siltistä ja hiekasta koostuva kitkamaa-  
kerros. Tontin eteläosassa kerroksen paksuus on noin 1,0 – 1,5 metriä ja pohjoisosassa  
alle 0,5 metriä. (AS Oy Espoon Kastikka, 2015, 1)

Tontin läntisimmässä osassa tontin alueelle ulottuu savista silttiä sisältävä pehmeäkö  
kerros, joka kiilamaisesti ohentuen ulottuu tontin alueelle. Kerroksen paksuus on suu-

rimmillaan noin 3,5 metriä ja se ohenee nousevan maan- ja kallionpinnan suuntaan mentäessä. Vesipitoisuus on suurimmillaan 37 % maa-aineksen kuivapainosta. (AS Oy Espoon Kastikka, 2015, 1)

Alimpana sijaitsee kallionpintaa peittävä, tiiviydeltään vaihteleva silttiä ja hiekkaa sisältävä kerrostuma. Kallionpinnan oletetaan olevan lähellä kairausten päättymistasoa tai lähellä sitä. Kairausdiagrammit ovat liitteessä. Pohjavedenpintaa ei tutkimuksissa löydetty, mutta sen tason voidaan olettaa sijaitsevan tulevan talon perustusten alapuolella. (AS Oy Espoon Kastikka, 2015, 2)

#### **4.4.2 Perustukset**

Talon 1 länsipäässä savikerroksen esiintymisalueella kantavat rakenteet perustetaan paaluilla. Jyrkkäpiirteisen kallionpinnan alueella tulee käyttää porapaaluja hyvän kallio-kontaktin saamiseksi ja muualla voidaan käyttää lyöntipaaluja kalliojärjillä varustettuna. Talot 2 ja 3 esitetään perustettavaksi maanvaraisin anturaperustuksin kitkamaan tai louhittavan kallion päälle. Talojen alin lattiataso tulee tasolle +22.0. Paalutettavan talon alapohja tulee tehdä kantavana ja maanvaraisesti perustettujen talojen alapohjat voidaan tehdä maanvaraisena. Piha-alueet perustetaan maanvaraisesti. (AS Oy Espoon Kastikka, 2015, 2)

TB300b-teräsbetonipaalujen geoteknisenä puristuskestävyyden mitoitusarvona voidaan käyttää arvoa 850 kN ja TB250b-paaluilla mitoitusarvo on 580 kN. Lyötäville teräsputkipaaluille RR140/8 ja RR170/10 puristuskestävyyden mitoitusarvoina käytetään 590 kN ja 890 kN. Teräsputki- ja porapaalujen korroosiovara on 2 mm. Paalujen nurjahdusmitoituksessa saven leikkauslujuutena voidaan käyttää arvoa 15 kPa. (AS Oy Espoon Kastikka, 2015, 2-3)

## 5 KUSTANNUSVERTAILU

### 5.1 Paalutyypin kustannusten muodostuminen

Lyöntipaalujen kustannukset muodostuvat lähinnä paalutuskoneesta ja sen kuljettajasta, apumiehestä ja materiaalista. Materiaaliin sisältyy paalun hinta, maa- tai kalliokärjet ja mahdolliset jatkokset. Jos käytetään teräspaaluja, kustannuksia kasvattavat teräksen hinta, hitsaaja, mikäli mekaanisia kierreholkki-jatkoksia ei käytetä sekä paalun betonointi ja mahdollinen sisäpuolinen raudoitus suurpaaluissa.

Porapaalujen kustannuksiin vaikuttavat paalutuskone ja sen kuljettaja, apumies, apukone, hitsaaja, materiaali ja paaluihin liittyvät tarvikkeet, kuten rengasterät, pilottikruunu ja vasara. Lisäksi paalutustyössä tarvitaan vettä sekä kompressori vasaran toimintaa varten. Paalujen betonointi lisää myös kustannuksia. Koneerikot ovat yleisempiä porapaalutuksessa verrattuna lyöntipaaluihin. Koneen koolla on myös vaikutusta paalutuksesta aiheutuviin kustannuksiin. Apukonetta ei välttämättä tarvita, jos porataan lyhyitä paaluelementtejä.

Injektoitavien mikropaalujen kustannukset muodostuvat porauskalustosta, apumiehestä, materiaalista, paaluihin liittyvistä tarvikkeista, kuten jatkosholkeista, keskittimistä ja porakuurunusta, kompressorista sekä injektointikalustosta, -aineesta sekä injektointityöntekijästä. Maaperän ominaisuuksien vuoksi injektointiainetta voi kulua paljon enemmän kuin on suunniteltu, mikä lisää kustannuksia.

### 5.2 Kustannusvertailu

Kustannuksia vertailtiin taulukon avulla (TAULUKKO 3). Taulukossa on merkitty x-kirjaimella, mitä kunkin paalutyypin asentamisessa tarvitaan. Vertailussa käytettiin 12 metrin paalupituutta, joten teräs-, pora ja mikropaaluihin tuli yksi jatkos. Vertailtavat paalut olivat 350\*350 mm teräsbetonipaalu, 220/12,5 teräslöyhti- ja porapaalu sekä 103/78 mikropaalu. Teräslaji oli S550J2H teräspaaluissa ja S460 mikropaaluissa. Työmaa on kuviteltu ja paalujen yhteispituus on 2000 metriä, joten paalupisteitä 12 metrin



paalupituudella tuli 167 kappaletta. Vertailussa oletettiin, että maaperä on kitkamaata ja paalujen kärjet saavuttavat kallion.

TAULUKKO 3. Resurssien ja materiaalien vertailutaulukko

Materiaali	Teräsbetoni	S550J2H	S550J2H	S460
Koko (mm)	350x350	220/12,5	220/12,5	103/78
Paalutyyppi	TB-paalu	Teräspaalu	Porapaalu	Mikropaalu
Paaluelementin pituus (m)	12	6	6	6
Paalutuskone	x	x	x	x
Apukone			x	
Materiaali	x	x	x	x
Apumies	x	x	x	x
Hitsaaja		x	x	
Mittamies	x	x	x	x
Tarvikkeet:				
Kalliokärki	x	x		
Rengasterä			x	
Porakruunu			x	x
Vasara			x	x
Jatkosholkit ja keskittimet				x
Kompressori			x	x
Betonointi		x	x	
Injektointi				x

Paalutuksen kustannuksia vertailtiin työsaavutusten kautta. Työsaavutuksena käytettiin lyöntipaaluilla 20 jm/h ja pora- ja mikropaaluilla 10 jm/h. Kaikki yksikköhinnat muutettiin €/paalu-muotoon, jolloin kustannuksia pystyttiin vertailemaan. Lopullinen vertailu tehtiin €/jm-muodossa. Vertailussa keskityttiin paalutuksessa tarvittaviin resursseihin sekä materiaalien ja tarvikkeiden kustannuksiin. Kustannuskertoimet on esitetty taulukossa 4.

TAULUKKO 4. Kustannuskertoimet

	TB-paalu	Teräspaalu	Porapaalu	Mikropaalu
Teho jm/h	20	20	10	10
<b>Kustannuskertoimet</b>	<b>1</b>	<b>1,9</b>	<b>5,0</b>	<b>4,9</b>

Kustannuskertoimet ovat teoreettisia ja suuntaa antavia. Koska pohjaolosuhteet vaikuttavat paalujen asennusnopeuteen paljon, käytännön paalutustyössä kertoimet voivat muuttua hieman. Kokemusten perusteella teräsputkipaalun kustannukset ovat noin 2-3

kertaa suuremmat, ja pora- ja mikroaalun noin 4-5 kertaa suuremmat, kuin teräsbetonipaaluun.

## 6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Täyttömateriaalista tai maaperästä riippuen valitaan kohteeseen sopiva paalutyyppe. Porapaaluja kannattaa käyttää, kun pohjamaa on kivinen tai lohkarainen, tai ympäristö esimerkiksi tärinän vuoksi luo rajoituksia. Lyöntipaaluja tulisi käyttää helposti läpäistävissä ja pehmeissä maissa. Paalutyyppeiden toimivuuden vertailu on melko hankalaa, koska eri paalutyypit suunnitellaan usein erilaisiin pohjaolosuhteisiin, jolloin tiedot eivät ole täysin vertailukelpoisia.

Joissakin tapauksissa joudutaan sulkemaan muut paaluvaihtoehdot pois ja jäljelle jää porapaalu. Kohteissa, joissa on valinnanvaraa, tulee miettiä erilaisia, kustannustehokkaita ratkaisuja.

Vanhoissa täyttömaissa on yleensä rakennusjätettä, kuten rautaa ja puuta, minkä vuoksi paalutuksen kustannukset nousevat. Tämän vuoksi täyttömaan tunteminen on tärkeää paalutustyön suunnittelun ja tilaajalle aiheutuvien lisäkustannusten kannalta. Kalliopinnan korkeusaseman vaihtelu ohjaa käyttämään teräsputki- tai porapaaluja hukan vähentämisen vuoksi.

Etenkin porapaalujen asennuksessa paalukokojen ja teräsmateriaalin yhtenäistäminen voi kasvattaa työsaavutusta, koska pilottikruunuja ja vasaroita ei tarvitse vaihtaa ja paalujen mahdollisuus sekoittua keskenään pienenee. Tällöin myös työnsuunnittelu on helpompaa. Työtekniikoiden ja varastoinnin hyvällä suunnittelulla voidaan säästää aikaa.

Olosuhteissa, joissa voidaan käyttää sekä pora- että lyöntipaaluja, voi olla hyödyllistä käyttää kumpaakin paalutyyppeä kustannusten säästämiseksi. Paalutyyppeiden muuttuminen vaikeuttaa työn suunnittelua. Esimerkiksi porapaaluja voidaan mahdollisesti käyttää lyöntipaaluina, mutta tällöin lyöntipaalujen paalupisteitä tulee olla runsaasti, jotta työ on kannattavaa tehdä lyöntipaaluina koneiden siirtokustannusten vuoksi. Esireikien tekeminen lyöntipaaluille voi tulla halvemmaksi kuin porapaalutus.

Mikropaaluilla voitaisiin mahdollisesti ottaa vastaan vetorasituksia ja korvata vaikeammin asennettavia vinopaaluja. Kustannusvertailun tulosten perusteella mikropaalu olisi halvempi ratkaisu verrattuna porapaaluun. Mikropaaluja tulisi kuitenkin suunnitella

enemmän kuin porapaaluja kantavuuden varmistamiseksi, joten porapaalu on yleensä kokonaistaloudellisesti edullisempi ratkaisu. Pieniin porapaalutuskohteisiin tulisi harkita mikropaaluja kustannusvertailun perusteella.

Paalupituuden ollessa pienempi kuin kaksi metriä voi olla halvempaa perustaa rakennus maan- tai kallionvaraisena. Mikäli kaivettava materiaali on laadultaan riittävää, voidaan sitä mahdollisesti käyttää hyödyksi rakennuskohteessa, jolloin säästetään materiaalien kuljetuskustannuksissa.

Koneohjausjärjestelmien käyttö on vielä paalutuksessa melko vähäistä. Lyöntipaalutuksessa niitä käytetään jonkin verran, mutta porapaalutukseen kyseisiä järjestelmiä ei ole vielä luotu. Koneohjausjärjestelmillä voitaisiin säästää mittauskustannuksissa sekä saataisiin asennettua paalut tarkasti oikealle paikalleen ja tavoitetasoon.

## LÄHTEET

Betoni. Paalut. Paalutuotelehti RT2011. Luettu 15.3.2016

<http://www.betoni.com/elementtirakentaminen/paalut#>

Design guide. Minova MAI SDA self drilling anchors. 2012. Minova MAI GmbH.

Geotek Oy. 2015. AS Oy Espoon Kastikka. Perustamistapalausunto. Espoo.

Helsingin kaupunki. Kaupunkisuunnitteluvirasto. 2006. Jätkäsaari osayleiskaava. 2. painos. Luettu 17.3.2016

<http://www.hel.fi/static/kv/Tilakeskus/jatkasaari/osayleiskaava.pdf>

Illinois department of transportation. 2012. Pile foundation construction inspection. Luettu 23.3.2016 [http://www.idot.illinois.gov/assets/uploads/files/doing-business/manuals-guides-&-hand-](http://www.idot.illinois.gov/assets/uploads/files/doing-business/manuals-guides-&-hand-books/highways/bridges/geotechnical/pile%20foundation%20construction%20inspection.pdf)

[books/highways/bridges/geotechnical/pile%20foundation%20construction%20inspection.pdf](http://www.idot.illinois.gov/assets/uploads/files/doing-business/manuals-guides-&-hand-books/highways/bridges/geotechnical/pile%20foundation%20construction%20inspection.pdf)

Inspecta. Paalumittaukset. Luettu 24.3.2016

<http://www.inspecta.com/fi/Palvelut/Testaus/Paalumittaukset/>

Inspecta. 2014. Teräspaalupäivä 2014. Luettu 22.3.2016

<http://www1.ruukki.fi/~media/Files/News-and-events/Teraspaalupaiva%202014/Suuren%20kantavuuden%20varmistaminen%20pienilapimittaiselle%20RR-paalulle%20-Riihimaki%20-Inspecta%20Tarkastus%20Oy.pdf>

Jääskeläinen, R. 2009. Pohjarakennuksen perusteet. 2. painos. Tampere: Tammertekniikka/Amk-Kustannus Oy.

Kaikkonen, V-P. vastaava työnjohtaja, Lammassaari, M. paalutustyönjohtaja. 2016.

Kysymyksiä porapaalutuksesta. Sähköpostiviesti. [veli-pekka.kaikkonen@yit.fi](mailto:veli-pekka.kaikkonen@yit.fi), [mika-el.lammassaari@yit.fi](mailto:mika-el.lammassaari@yit.fi). Luettu 23.3.2016.

Kesonen, A. projekti-insinööri. 2016. Haastattelu 22.3.2016. Haastattelija Isomäki, A. Litteroitu. Helsinki

Liikennevirasto. 2013. Eurokoodin soveltamisohje. Geotekninen suunnittelu – NCCi 7.

Luettu 17.3.2016. [http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo\\_2013-35\\_ncci7\\_web.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo_2013-35_ncci7_web.pdf)

Nurmela, J. paalutustyönjohtaja, Kiiski, H. vastaava työnjohtaja. 2016. Kysymyksiä

lyöntipaalutuksesta. Sähköpostiviesti. [jonne.nurmela@yit.fi](mailto:jonne.nurmela@yit.fi), [henri.kiiski@yit.fi](mailto:henri.kiiski@yit.fi). Luettu 8.3.2016.

Paalutusohje 2011. RIL 254-2011. 2011. Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry.

Rakentaja. 2012. Maaperän tutkiminen ja perustamistavan valinta. Luettu

25.3.2015. [http://www.rakentaja.fi/artikkelit/9252/6\\_maaperan\\_tutkiminen.htm](http://www.rakentaja.fi/artikkelit/9252/6_maaperan_tutkiminen.htm)

Ramboll Finland Oy. 2016. Jätkäsaaren koeinjektioinnin loppuraportti. Luonnos. Espoo.

Ramboll Finland Oy. 2016. Keulakorttelin pysäköinti. Pohjatutkimus- ja perustamista-palausunto. Tampere.

RD- ja RDs-paalu. Poraamalla asennettava paalu haastaviin olosuhteisiin. 2012. Ruukki. Luettu 1.3.2016.

<http://www1.ruukki.fi/~media/Finland/Files/Infra/Seminaarimateriaalit/Teraspaalupaiva%202012/RD-%20ja%20RDs-paalut.pdf>

RR- ja RRs-paalu. Luotettava ja monipuolinen ratkaisu paaluperustuksiin. 2012. Ruukki. Luettu 29.2.2016.

<http://www1.ruukki.fi/~media/Finland/Files/Infra/Seminaarimateriaalit/Teraspaalupaiva%202012/RR-%20ja%20RRs-paalut.pdf>

Sipti Infra Oy. 2016. Dirika-kortteli. Pohjarakennussuunnitelma. Helsinki.

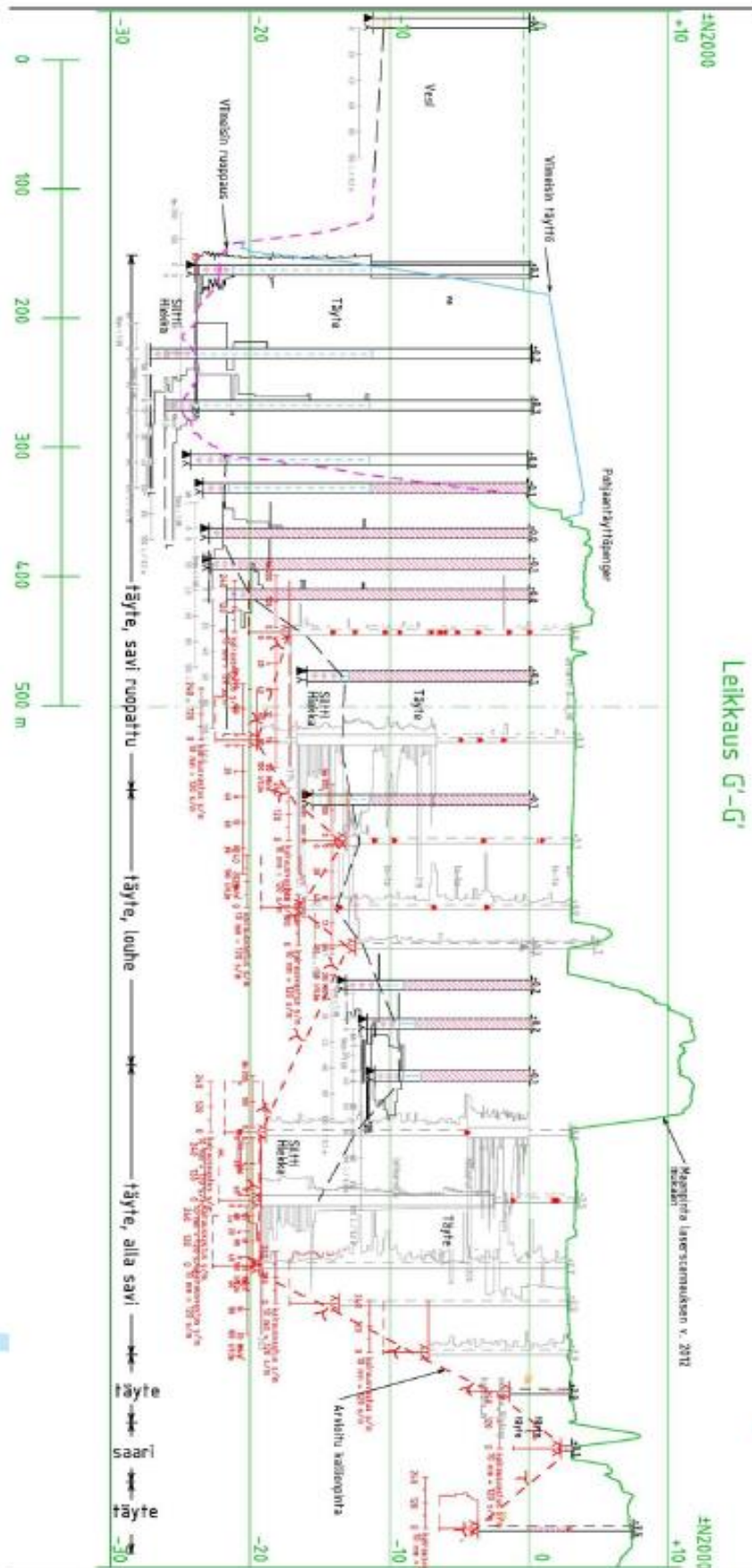
Sito Oy. 2015. AS Oy Tampereen Kanavanvahti. Pohjatutkimus ja perustamistapasuunnitelma. Tampere.

Styrud. 2016. Sydänteräspaalu. Luettu 18.3.2016.

<http://www.styrudboreal.com/palvelut/porapaalu-ja-urakointi/sydanteraspaalutus>

**LITTEET**

Liite 1. Jätksaaren kairausdiagrammi (Helsingin kaupungin Kiinteistövirasto)

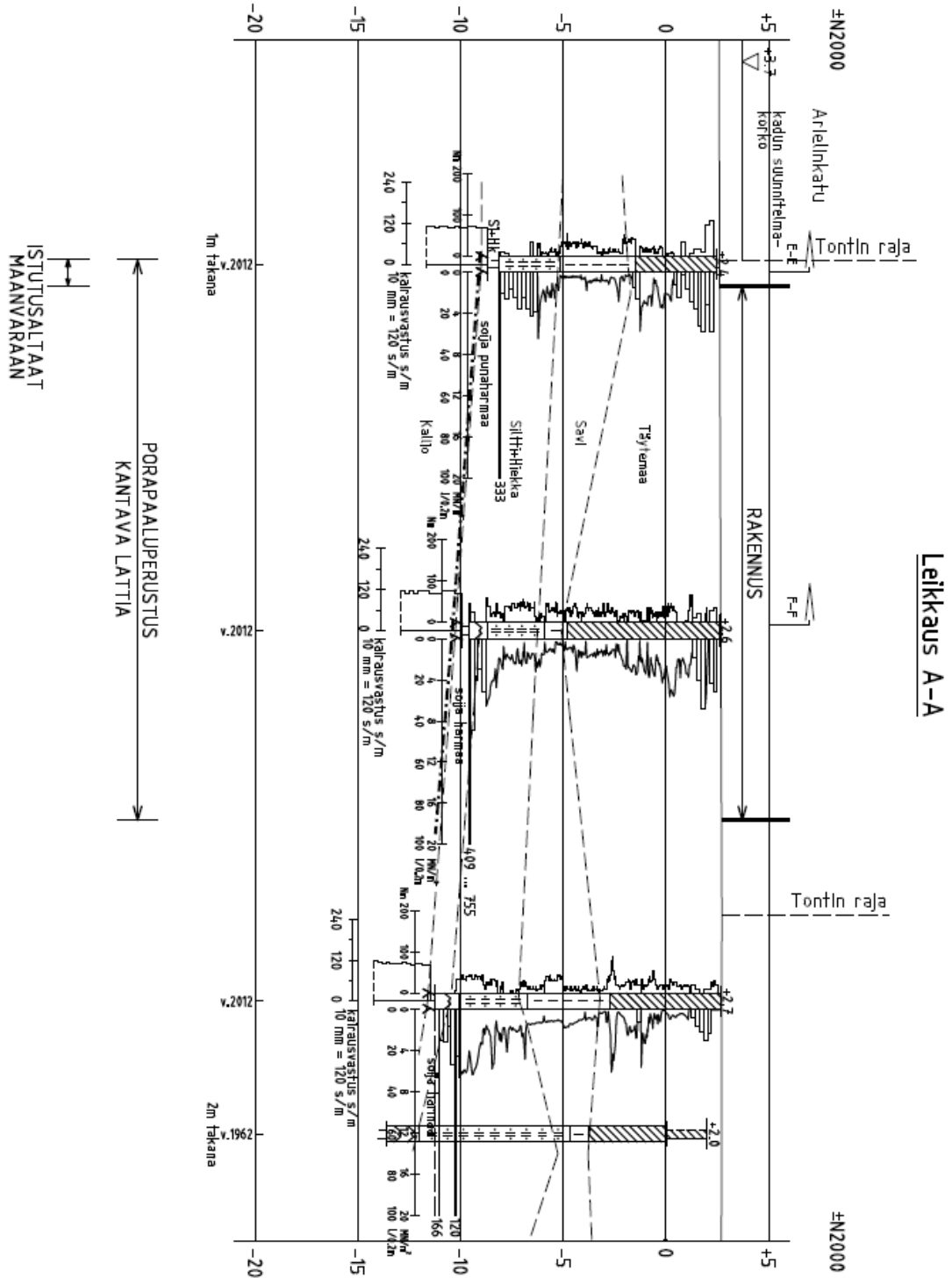




Liite 2. Kalasataman pohjarakennuskartta (Sipti Infra Oy, 2015)

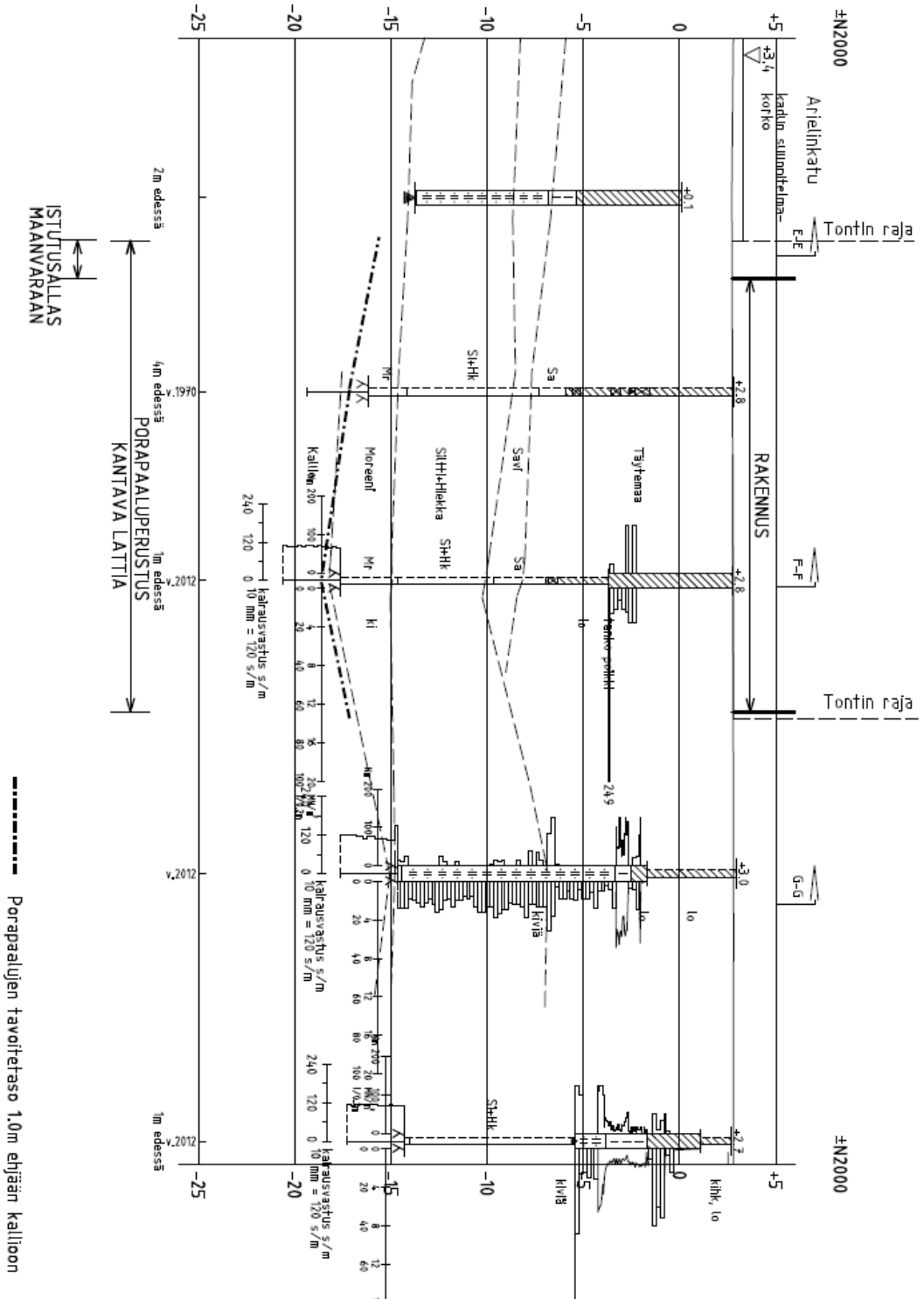


Pohjarakennusleikkaus

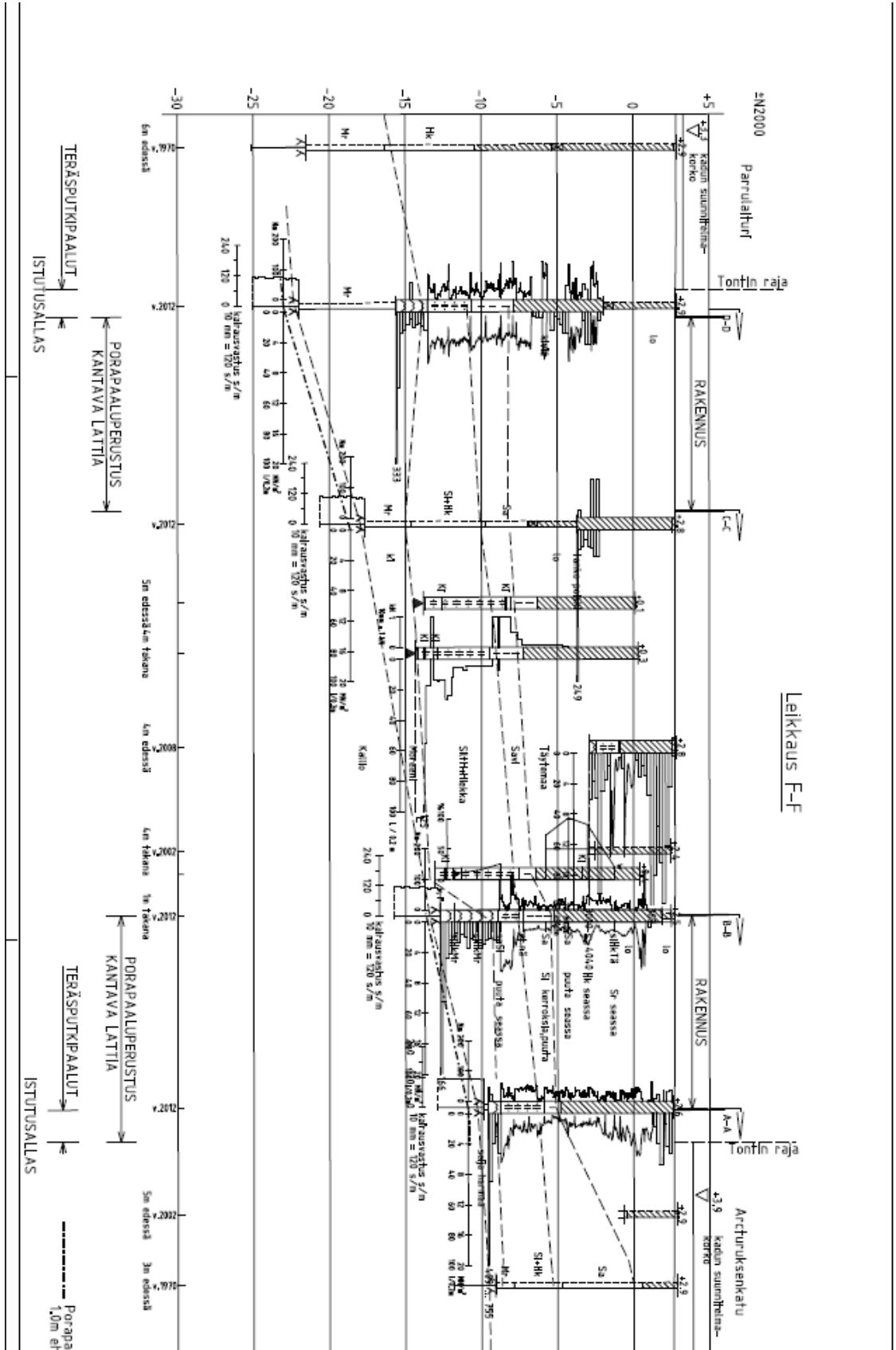


Pohjarakennusleikkaus

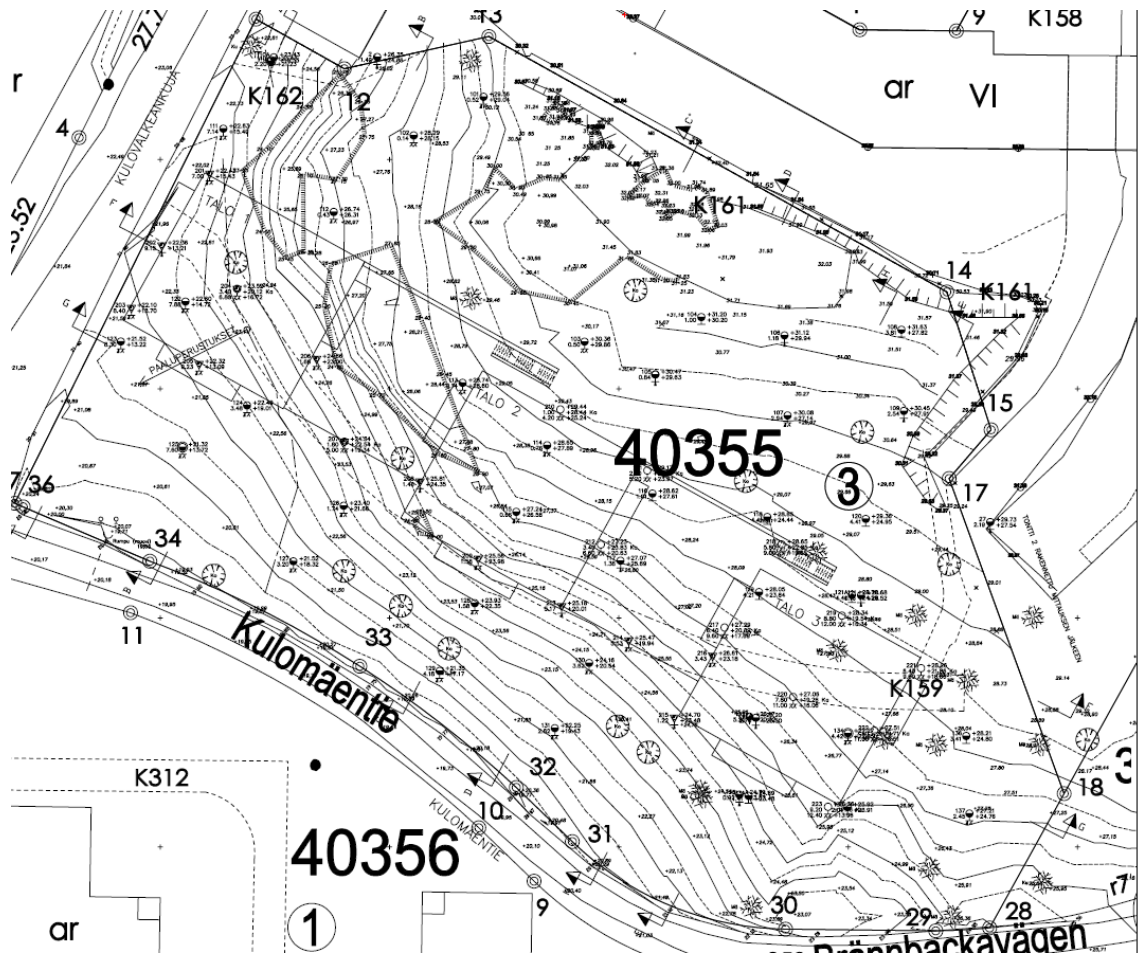
Leikkaus C-C



Pohjarakennusleikkaus

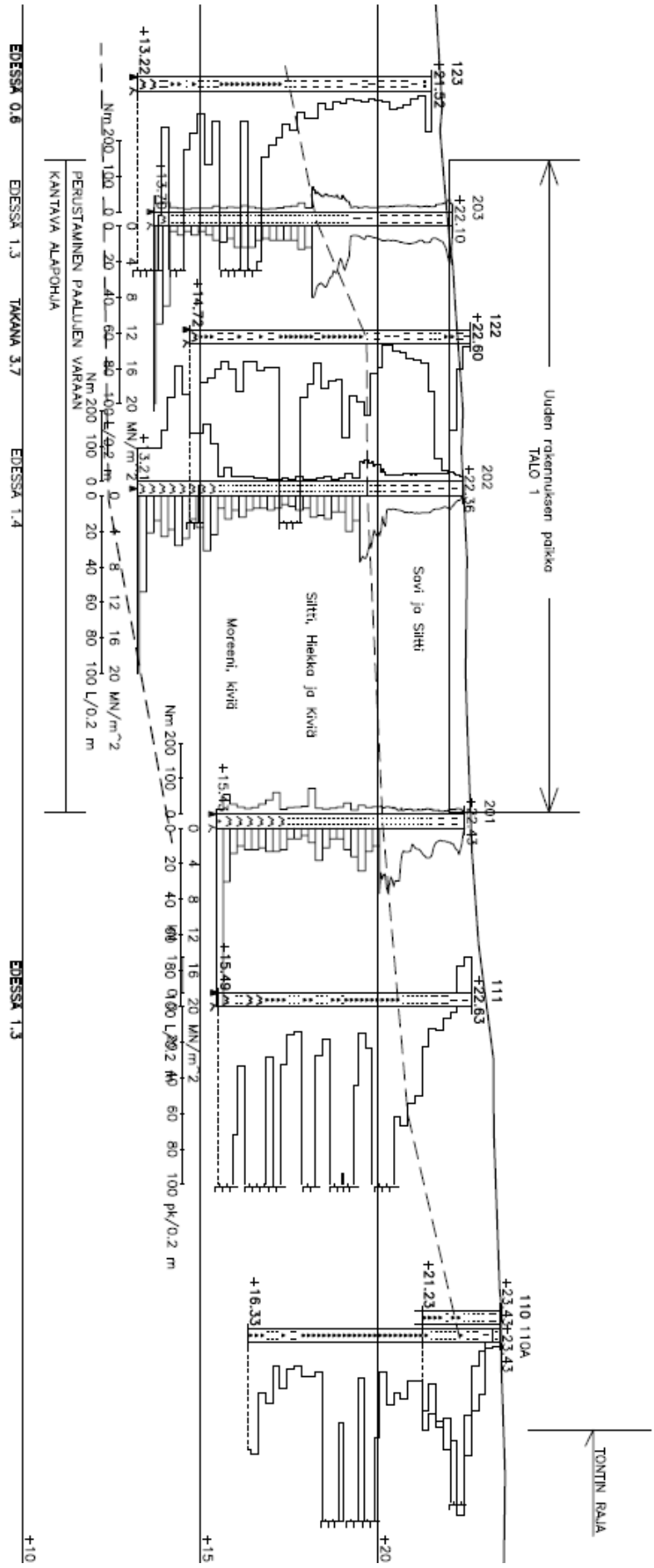


Liite 3. Tuomarilan tutkimuskartta (Geotek Oy, 2015)



Pohjarakennusleikkaus

LEIKKAUS A - A  
1:100/1:100



--- LYONTIPAILIIN ARVIOITU TUNKEUTUMISTASO (=KALLIONPINNAT)

Seur.	Seuraava
A	TÄ

Pohjarakennusleikkaus

