

Opinnäytetyö (AMK)

Rakennustekniikka

Infratekniikka

2017

Ilmari Lipasti

PARAINEN-NAUVO-  
LAUTTASATAMAN  
KASUUNIPERUSTAINEN  
TIHTAALI

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennustekniikka | Infratekniikka

2017 | 33 + 11

Ohjaaja: DI Pirjo Oksanen

Ilmari Lipasti

# PARAINEN–NAUVO-LAUTTASATAMAN KASUUNIPERUSTAINEN TIHTAALI

Opinnäytetyön tavoitteena oli antaa ymmärrys yleisesti satamarakenteisiin lukeutuvan tihtaalin käyttötarkoituksesta ja niistä asioista, jotka vaikuttavat rakenteen valintaan. Työssä kerrotaan miksi Parainen–Nauvo-lauttasatamassa päädyttiin kasuuniperustukseen, jota käytetään pääsääntöisesti laitureissa sekä majakoiden ja vesialueella olevien tuulimyllyjen perustuksessa. Yksittäisissä tihtaaleissa kyseinen rakenne on harvinainen, työmäärältään suurempi ja haasteellisempi kuin esim. paaluperustus.

Opinnäytetyön ensimmäisessä osiossa kerrotaan yleisesti tihtaaleista ja kasuunirakenteesta yksittäisen tihtaalin perustuksena sekä rakenteeseen kohdistuvista kuormitustekijöistä. Toisessa osiossa kerrotaan Parainen–Nauvo-lauttasatamaan rakennettujen kasuuniperustuksien ja kansirakenteen rakennusvaiheista sekä tihtaalien käyttötarkoituksesta. Tämä insinööri työ tehtiin Terramare Oy:lle.

Yleisesti vesirakenteet ovat vaativia rakenteita, ja ne toimivat vaikeissa olosuhteissa. Satamarakenteet joutuvat kestäämään erittäin suuria käyttö- ja ympäristökuormia, ja niiden ymmärtäminen sekä oikea arviointi mitoituksen kannalta on ratkaisevaa. Vesirakentamisesta on vain vähän kirjoitettua tietoa ja tästä syystä vaaditaan suunnittelussa ja rakentamisessa vahvaa kokemuseräistä asiantuntijuutta ja ammattitaitoa, jotta osataan arvioida oikeat rakennustekniset ratkaisut.

Parainen–Nauvo-lauttasatamassa kasuunirakenteeseen päädyttiin pohjatutkimuksien perusteella. Maaperä osoittautui otolliseksi kasuunirakenteelle, ja kustannuksiltaan rakenne tuli edullisemmaksi vaihtoehdoksi verrattuna paaluperustukseen. Yrityksen omat resurssit kasuunien rakentamiseen vaikuttivat myös suuresti kustannuksiin.

ASIASANAT:

vesirakentaminen, tihtaali, kasuuni, satama

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Civil Engineering | Community Infrastructure Engineering

2017 | 33 + 11

Instructor: Pirjo Oksanen, M.Sc.

Ilmari Lipasti

## PARAINEN–NAUVO FERRY BERTH CAISSON FOUNDATION ON A MOORING DOLPHIN

The purpose of the thesis was to give the reader a general understanding of the use of the mooring dolphins in port facilities, the issues affecting the choice of structure and why in the Parainen–Nauvo ferry port they ended up with a caisson foundation, which is used mainly in the docks, lighthouses and windmills in the water. In individual mooring dolphin this structure is unusual, the work load is larger and more challenging than, for example, in the pile foundation.

The first part of the thesis describes the use of the mooring dolphins and the caisson foundation in a single structure and the load factors affecting the structure. The second section explains the construction phases of the Parainen–Nauvo ferry port and the use of mooring dolphins. This thesis was made to Terramare Oy.

Generally, water structures are demanding structures and operate under difficult conditions. Port facilities have to withstand very high operating and environmental loads and their understanding and correct evaluation of dimensioning is crucial. There is little written information about water construction, and therefore, in design and construction, strong experience-based expertise and professional skills are required in order to be able to evaluate the correct building technical solutions.

In the Parainen–Nauvo ferry port, the caisson foundation structure was based on a geotechnical analysis. The soil proved to be a good fit for the caisson structure, and in terms of cost the structure became the most advantageous option compared to the pile foundation. The company's own resources for the construction of the caissons also contributed greatly to the costs.

### KEYWORDS:

marine construction, mooring dolphin, caisson, harbor

# SISÄLTÖ

<b>1 JOHDANTO</b>	<b>7</b>
<b>2 TIHTAALIRAKENTEET</b>	<b>9</b>
2.1 Paalurakenne	9
2.2 Gravitaatorakenne	10
2.3 Pilarirakenne	11
2.4 Siilorakenne	12
2.5 Tihtaalien kansirakenne ja varusteet	12
2.5.1 Kansirakenne	12
2.5.2 Pollari	13
2.5.3 Fenderi	13
2.5.4 Pelastautumistikkaat	14
2.5.5 Huoltosilta	14
2.5.6 Merkkivalot	14
<b>3 KASUUNIPERUSTAINEN TIHTAALI</b>	<b>15</b>
3.1 Kasuunirakenne	15
3.1 Geotekninen mitoitus	16
3.2 Vedenpaine ja veden noste	16
3.3 Jääkuormat	18
3.4 Aluskuormat	18
3.4.1 Pollarikuorma	18
3.4.2 Fenderikuorma	19
<b>4 PARAINEN–NAUVO-LAUTTASATAMA</b>	<b>21</b>
4.1 Yleistä	21
4.2 Pohjatutkimus ja ruoppaus	21
4.3 Kasuunien rakennustyö	22
4.4 Siirto työmaalle	24
4.4.1 Nosto	24
4.4.2 Kuljetus	25
4.4.3 Laskutyö	26
4.5 Mursketäyttö	27
4.6 Kansirakenne	27

4.7 Eroosiolaatta	29
4.8 Varusteet	29
<b>5 JOHTOPÄÄTÖKSET</b>	<b>31</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>33</b>

## **LIITTEET**

- Liite 1. Tutkimuskartat Parainen ja Nauvo
- Liite 2. Kairaustulokset Paraisilla
- Liite 3. Kairaustulokset Nauvossa

## **KAAVAT**

Kaava 1. Uivan kappaleen vakavuus.	15
Kaava 2. Liike-energian kaava.	20

## **KUVAT**

Kuva 1. Paaluperustainen tihtaali.	9
Kuva 2. Kasuunirakenne.	11
Kuva 3. Pilarirakenteinen tihtaali.	11
Kuva 4. Siilorakenne.	12
Kuva 5. Pollari.	13
Kuva 6. Suuri fenderirakenne.	14
Kuva 7. Veden paineiden määrittäminen.	17
Kuva 8. Köysivoimien suunnat.	19
Kuva 9. Kauharuoppaaja.	22
Kuva 10. Valmiit kasuunirakenteet.	24
Kuva 11. Nostolautta.	25
Kuva 12. Kasuunien kuljetus.	25
Kuva 13. Kasuunin lasku. Mittausinsinööri taka-alalla.	26
Kuva 14. Laskutyön jälkitarkistus.	27
Kuva 15. Kansirakenteen betonivalutyö.	28
Kuva 16. Valmis tihtaali ilman varusteita.	29
Kuva 17. Tihtaali varusteineen. Virranottotorni toimii hybridilautan latauspisteenä.	30

## TAULUKOT

Taulukko 1. Alusten kiinnityskuormia.	19
Taulukko 2. Aluksien fenderi- ja tukikuormia.	20

# 1 JOHDANTO

Tihtaali on satamissa tai vesiväylillä oleva rakenne, joka voi toimia rakenteesta riippuen laivojen ja alusten kiinnitykseen käytettävänä kiinnitysrakenteena, ohjaus- sekä johderakenteena esim. kapeilla kanavaväylillä ja satamissa liikennöivien alusten suojarakenteena. Alusten kiinnitykseen käytettävää rakennetta lukuun ottamatta on rakenteen pysyttävä omalla joustollaan sekä törmäyssuojien eli fenderien avulla vaimentamaan niitä vastaan ajautuvan tai ajavan aluksen liike-energia ilman, että rakenne tai alus vaurioituu. (M. Saarelma, henkilökohtainen tiedonanto 2016.) Rakenteena se voi liittyä olennaisena osana satamalaituriin tai ne voivat toimia yksittäisenä rakenteena, esim. alusta ohjaavana ja tukevana lisärakenteena. Esimerkiksi yhteysaluslaitureissa esiintyy erillisiä tihtaaleita, jotka sijaitsevat vesialueella laituria vastapäätä. Niiden tarkoituksena on ohjata yhteysalus laituriin ja estää aluksen joutumista esimerkiksi tuulen vaikutuksesta satamaltaan sivussa olevaan matalikkoon ja mahdollisesti toimia tarvittaessa aluksen tukipisteinä. (Liikennevirasto 2016, 22.)

Laiturirakenteissa voidaan tihtaalin avulla jatkaa laiturin pituutta, jolloin aluksen lastaus-toiminta tapahtuu laiturin kiinteällä osuudella, ja tihtaali toimii aluksen kiinnitysrakenteena. Tällöin ne varustetaan pollareilla ja fendereillä sekä yhdistetään kulkusilloilla laiturirakenteeseen. Laiturien jatkaminen tihtaaleilla ja laiturin mahdollinen rakentaminen pelkästään näillä säästää myös rakennuskustannuksia. Esimerkiksi pistolaiturin toimies- saan öljylaiturina, jossa kiinteää kappaletavaralastausta ei tapahdu, voidaan laituri rakentaa kauttaaltaan tihtaalirakenteisena jotka yhdistetään kevyillä huoltosilloilla, johderakenteilla ja tarvittavilla putkilinjoilla. (M. Saarelma, henkilökohtainen tiedonanto 2016.)

Yleisesti vesirakenteet ovat vaativia rakenteita, ja ne toimivat vaikeissa olosuhteissa. Satamarakenteiden ja vesiväylien suunnittelu, toteutus ja ylläpito edellyttävät vahvaa asiantuntijuutta. Satamarakenteet joutuvat kestäämään erittäin suuria käyttö- ja ympäris- tökuormia, ja niiden ymmärtäminen sekä oikea arviointi mitoituksen kannalta on ratkai- sevaa. Merkittävimmät mitoitustekijät ovat aluskoko, rakenteen oma paino, maanpaineet (sekä staattinen paine että virtauspaineet), vedenpaine, aaltovoimat, jään noste- ja pys- tykuormat, jään horisontaalipaineet, lämpötilavaihteluiden aiheuttama kutistuminen, hii- puminen, kimmoisuudet ja plastiset muodonmuutokset rakenteissa. Myös rakenteen pin- nalla olevat nosturit sekä työkonet aiheuttavat rakenteisiin kuormituksia, jotka tulee huomioida mitoituksessa. (RIL 165-2-2006, 538.) Rakenteet kuitenkin mitoitetaan aina

hankekohtaisesti, jolloin kaikkia vaikuttavia kuormitustekijöitä ei välttämättä huomioida suunnittelussa. Tihtaalien rakentamisessa sovelletaan laiturirakenteiden suunnitteluohjeita. Suomessa mitoitukset tehdään euronormien mukaan ja Liikenneviraston ohjeita noudattaen. (M. Saarelma, henkilökohtainen tiedonanto 2016.)

Opinnäytetyön tavoitteena on antaa ymmärrys yleisesti satamarakenteisiin lukeutuvan tihtaalin käyttötarkoituksesta ja niistä asioista, jotka vaikuttavat rakenteen valintaan ja miksi Parainen–Nauvo-lauttasatamassa päädyttiin kasuuniperustukseen paaluperustuksen sijasta, joka on työmäärältään suurempi ja haasteellisempi.

Opinnäytetyössä kerrotaan kasuunirakenteesta yksittäisen tihtaalin perustuksena sekä rakenteeseen kohdistuvista kuormitustekijöistä. Case-osuudessa tihtaalin rakennusvaiheisiin ja sen käyttötarkoitukseen Parainen–Nauvo-lauttasatamissa. Yleisesti satamarakentamisesta on vain vähän kirjoitettua tietoa ja pääsääntöisesti RIL- ja Liikenneviraston ohjeita käytetään satamarakenteiden suunnittelussa ja rakentamisessa. Tämä insinööri-työ tehdään Terramare Oy:lle.

Terramare Oy on hollantilaisen Royal Boskalis Westminsterin omistuksessa, joka on yksi maailman suurimmista ruoppausalan urakoitsijoista toimiessaan yli 75 maassa, kuudella eri mantereella. Suomessa yhtiö on erikoistunut ruoppaustöihin, vedenalaiseen louhintaan, satama- ja laiturirakentamiseen, liukuvalukohteisiin sekä ympäristörakentamiseen. Vastuu-alueina ovat Suomen lisäksi Pohjoismaat ja Baltian maat. Terramare työllistää Suomessa 190 henkeä. (Terramare Oy 2016.)



## 2 TIHTAALIRAKENTEET

### 2.1 Paalurakenne

Paaluperustus on yleisin tihtaaleissa käytetty rakenne (kuva 1). Paalut porataan tai lyödään kantavaan peruskallioon tai riittävän syvälle kantavaan maa-ainekseen, jotta saavutetaan riittävä kantavuus tihtaalin kansirakenteelle. Ne porataan tai lyödään sekä pystysuoraan että vinoon, jolloin saavutetaan rakenteelle sekä riittävä jäykkyys ulkoisista kuormista että aluksista aiheutuvista kuormista. Usein ne myös ankkuroidaan kallioon. Kun ne toimivat ohjaus- ja johderakenteena, voidaan paalujen avulla mahdollistaa tarvittava jousto aluksien nojautuessa tihtaaliin. Pienemmissä satamissa tihtaalit voivat myös olla pelkkiä maahan juntattuja joustavia yksittäisiä paaluja tai paaluryhmiä ilman kansirakennetta. (M. Saarelma, henkilökohtainen tiedonanto 2016.)

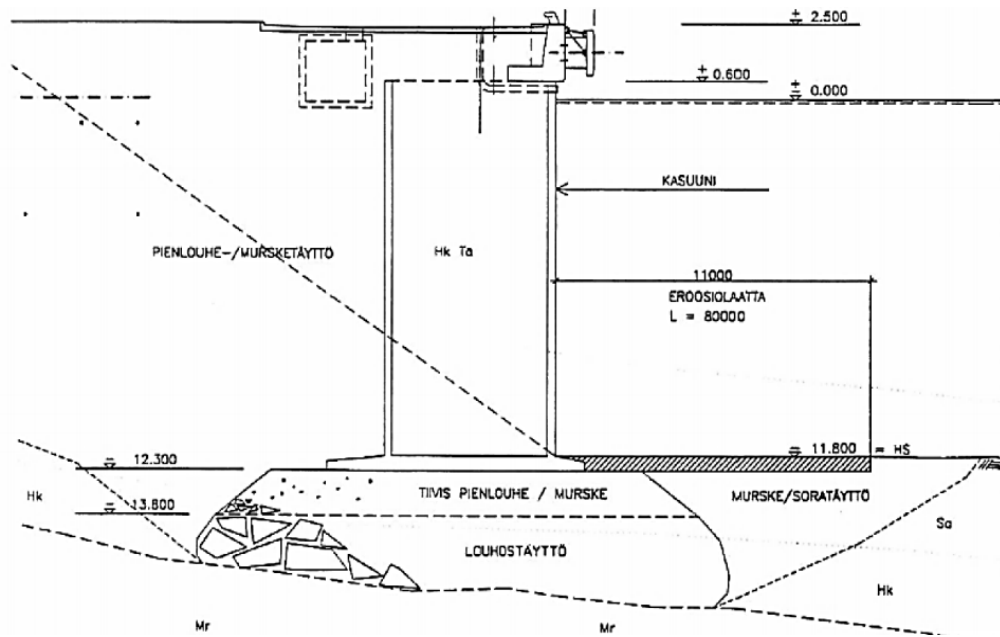


Kuva 1. Paaluperustainen tihtaali (Taylor Marine Construction 2017).

## 2.2 Gravitaatorakenne

Laiturirakenteissa gravitaatorakenne voidaan luokitella arkku-, kasuuni- ja kulmatuki-muurirakenteiksi. Tihtaalien perustuksena voidaan hyödyntää arkku- ja kasuunirakennetta (kuva 2). Rakenteeltaan ne ovat hyvin samankaltaisia, ja kasuunirakennetta kutsutaankin myös nimellä *kasuuniarkku*. Niiden toiminta perustuu samaan asiaan. (RIL 165-2-2006, 546.)

Gravitaation avulla toimiva perustus yksittäisissä tihtaaleissa on harvinainen, mutta mahdollinen. Sen toiminta perustuu suureen massaansa, jonka ansiosta rakenne pysyy paikallaan aluksista aiheutuvista voimista huolimatta. Rakenteeltaan nämä ovat haastavampia kuin esim. paaluperustukset, koska maaperän tulee olla vallitsevalla alueella riittävän kantava. Perustustyöhön liittyy normaalisti löyhän maa-aineksen ruoppaus, massan vaihto ja tarvittaessa pohjan syvätiivistys, jotta saavutetaan riittävä kantavuus pohjamaahan. Myös veden syväys, eli syvyys vedenpinnasta pohjaan, tulee olla kohtuullinen ja kantavan maa-aineksen lähellä suunniteltua rakenteen perustamissyvyyttä, jotta gravitaatorakenne on järkevä vaihtoehto. Erosiosuojaus on tärkeää tällaisessa perustuksessa, jotta vältetään pohjan maa-aineksen poishuuhtoutuminen rakenteen alta, esim. laivoista aiheutuvien potkurivirtojen takia. Pahimmillaan se voi aiheuttaa rakenteen liukumisen tai kaatumisen paikaltaan. Tämän ehkäisemiseksi voidaan rakenteen ympärille esimerkiksi valaa betonilaatta, joka estää eroosion tapahtumisen rakenteen alta ja ympäriltä. Rakenteeltaan gravitaatorakenne on jäykkä, joten se tulee varustaa fendereillä, jotka suojaavat rakennetta ja alusta törmäykseltä, nojaamiselta ja hankauskulumiselta. (M. Saarelma, henkilökohtainen tiedonanto 2016.)



Kuva 2. Kasuunirakenne (Turun AMK, henkilökohtainen tiedonanto 2016).

### 2.3 Pilarirakenne

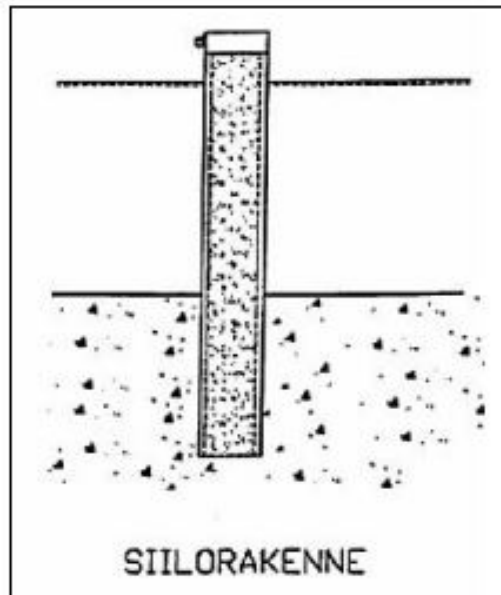
Rakenteeltaan pilarirakenne muistuttavat paljolti paalurakennetta, mutta paalujen tilalla käytetään teräsbetonipilareita (kuva 3), jotka usein ankkuroidaan kallioon kiinni. Kallionpinnan täytyy olla lähellä perustamissyvyyttä, jotta pilari on mahdollista ankkuroida. Kiinnitys tapahtuu poraamalla kallioon ankuri, joka injektoidaan betonilla ja kiinnitetään pilariin. (M. Saarelma, henkilökohtainen tiedonanto 2016.)



Kuva 3. Pilarirakenteinen tihtaali.

## 2.4 Siilorakenne

Rakenne on teräsbetonista tai teräksestä valmistettu siilo, joka kaivetaan satama-altaan pohjaan ja täytetään betonilla tai murskeella, jolloin saavutetaan riittävä massa rakenteelle (kuva 4). Siilorakenteiset tihtaalit ovat hyvin harvinaisia ja kyseistä rakennetta harvoin enää käytetään. (M. Saarelma, henkilökohtainen tiedonanto, 2016.)



Kuva 4. Siilorakenne (Turun AMK, henkilökohtainen tiedonanto 2016).

## 2.5 Tihtaalin kansirakenne ja varusteet

### 2.5.1 Kansirakenne

Tihtaali voi olla rakenteeltaan kansirakenteinen tai kanneton. Kansirakenne on välttämätön, jos sitä käytetään alusten kiinnitysrakenteena, mutta toimiessaan esim. ohjaus- ja johderakenteena voi se olla kanneton. Tihtaalin käyttötarkoitus vaikuttaa pitkälti varustelun laajuuteen. Sen yleisimpiä varusteita ovat pollarit, fenderit, pelastautumistikkaat ja pelastautumisvälineet, huoltosillat sekä merkkivalot. (M. Saarelma, henkilökohtainen tiedonanto 2016.)

### 2.5.2 Pollari

Pollarit ovat laivojen ja muiden vedessä liikkuvien alusten kiinnitysköysille asennettu kiinnityspiste satamarakenteessa (kuva 5). Pollarikuormiin on olemassa valmiita taulukoita, jotka antavat ohjearvoja erilaisten alusten kuormituksista, mutta pääsääntöisesti pollareihin kohdistuvat voimat selvitetään hankekohtaisesti, jotta varmistutaan niiden todellisesta kestävyydestä. (M. Saarelma, henkilökohtainen tiedonanto 2016.)



Kuva 5. Pollari.

### 2.5.3 Fenderi

Fenderit suojaavat laivaa ja satamarakennetta näiden kosketuskohdassa (kuva 6). Fenderien avulla vaimennetaan myös aluksesta aiheutuvaa liike-energiaa. Fenderirakenteen suuruus ja muoto riippuvat vesialueella liikkuvien aluksien suuruuksien mukaan, jolloin niiden mitoitus ja suunnittelu tapahtuu hankekohtaisesti. (RIL 165-2-2006, 546.)



Kuva 6. Suuri fenderirakenne (Trelleborg 2017).

#### 2.5.4 Pelastautumistikkaat

Kun tihtaali toimii alusten kiinnitysrakenteena, tulee se turvallisuusvaatimuksien mukaan varustaa pelastautumistikkailla. Tikkaiden tulee ulottua riittävästi veden pinnan alle, jotta kiipeäminen ylös on helpompaa. Heittoköysillä varustetut pelastusrenkaat asennetaan hankekohtaisesti. (M. Saarelma, henkilökohtainen tiedonanto 2016.)

#### 2.5.5 Huoltosilta

Mahdollisen huoltosillan avulla mahdollistetaan satamatyöntekijöiden ja huoltomiesten pääsy tihtaalin. Huoltosillan päähän asennetaan tarvittaessa lukolliset portit, jotka estävät asiattomien pääsyn rakenteeseen. (M. Saarelma, henkilökohtainen tiedonanto 2016.)

#### 2.5.6 Merkkivalot

Tihtaali varustetaan merkkivaloilla jotka helpottavat havainnointia pimeällä. Merkkivalojen laajuus riippuu sataman suuruudesta ja tihtaalin käyttötarkoituksesta.

## 3 KASUUNIPERUSTAINEN TIHTAALI

### 3.1 Kasuunirakenne

Kasuunirakennetta käytetään pääsääntöisesti laiturirakenteissa, mutta myös yksittäisessä tihtaalissa rakenne harvinainen. Kasuuni voi olla puusta, teräsbetonista tai teräksestä valmistettu yksi- tai useampikennoinen rakenne, joka oman massansa ja sisäosan täytteen painon avulla estää rakennetta liukumasta tai kaatumasta (kuva 2). Pääsääntöisesti kasuunin rakennusmateriaalina käytetään teräsbetonia. Satamarakenteissa se voi olla sylinterin tai laatikon muotoinen elementtirakenne, joka valmistetaan maanpinnalla. Se voi rakenteeltaan olla pohjalaatallinen, pohjalaataton tai pohjaltaan reiällinen, ja se voidaan siirtää rakennuspaikalle joko uittamalla tai ponttonilautan avulla. Pohjalatallinen kasuuni on rakenteeltaan ainoa, joka voidaan uittaa rakennuspaikalle. Tällöin tulee selvittää, kuinka syvällä kasuuni ui ja uiko se vakaasti. Kasuunin uidessa veden pinnalla osa siitä on veden alla, ja tätä osaa kutsutaan *uppoumaksi* eli deplasementiksi. Uppouman suuruisen vesimäärän paino on yhtä suuri kuin kappaleen paino. Kelluvan kasuunin tasapainotila on vakaa eli stabiili, jos siihen vaikuttavat voimat (kappaleen paino ja noste) pyrkivät palauttamaan sen tasapainoon kasuunin kallistuessa esim. kuljetuksen aikana. Tällöin uppouman ja kasuunin painopisteet ovat samalla pystyviivalla. (RIL 187-1990, 25.)

Mitoituksessa voidaan käyttää uivan kappaleen vakavuuden kaavaa:

$$H_m = \frac{\gamma * I_0}{G} - e$$

Kaava 1. Uivan kappaleen vakavuus (RIL 187-1990, 25).

$H_m$  = vaihtokorkeus, (metasentrumin ja painopisteen välinen etäisyys)

$\gamma$  = kappaletta ympäröivän nesteen tilavuuspaino

$I_0$  = kappaleen ja nestepinnan leikkausviivan eli vesiviivan rajoittaman pinnan hitausmomentti kallistumisakselin suhteen

$G$  = kappaleen paino

$e$  = kappaleen ja uppouman painopisteiden etäisyys tasapainoasennossa.

Kasuunin sisäosan täyttö aiheuttaa painetta rakenteeseen, jolloin täytemateriaalina suositetaan pääsääntöisesti kalliomurskettä, joka alhaisen huokoisuuden ansiosta aiheuttaa pienemmän paineen kuin esimerkiksi hiekka. Täytemateriaalina voidaan myös käyttää betonia. Raudoitussuunnitelmassa tulee huomioida täytöstä kohdistuvat paineet rakenteeseen. Tihtaaliin kohdistuvat vertikaaliset voimat jakaantuvat koko kasuunin kennorakenteelle ja sisäosan täytölle, mikä mahdollistaa suuren kantavuuden rakenteen pinnalla. (M. Saarelma, henkilökohtainen tiedonanto 2016.)

### 3.1 Geotekninen mitoitus

Rakennettaessa maanvaraista rakennetta tulee maakerrosten kantavuus ja laatu selvittää kairauksilla ja näytteillä. Tutkimustulosten perusteella tulisi pystyä määrittämään mihin syvyyteen mahdolliset pehmeät pintamaat on poistettava rakenteiden alta. Painokai-raus antaa parhaan kuvan maakerrosten kantavuudesta. Tiiviissä maakerroksissa käytetään lisäksi heijarikairausta. Maanäytteistä tutkitaan rakeisuus, koheesiomaasta lisäksi vesipitoisuus, lujuusluku, hienousluku sekä humuspitoisuus. Tutkimukset tulee ulottaa sellaiselle syvyydelle, että pohjan kantavuus tulee varmistettua. Pintamaan eroosioherkkyys tutkitaan, mikäli se on aiheellista. Hiekka ja siltti ovat herkkiä virtauseroosiolle. (Liikennevirasto 2013, 54.)

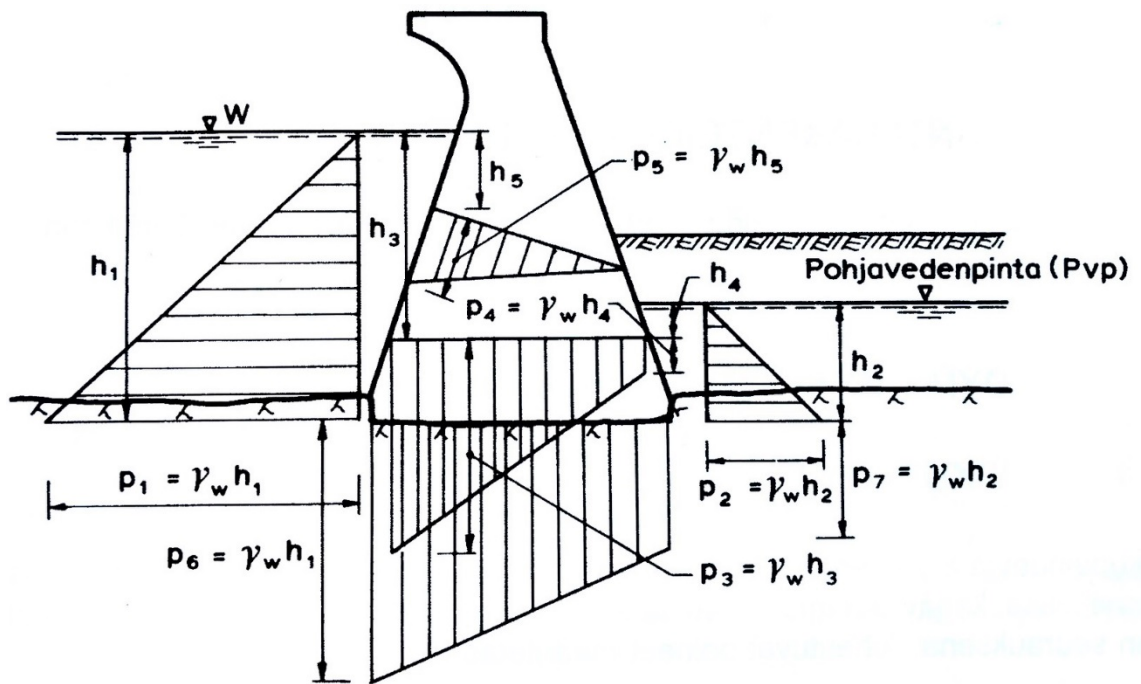
Yksittäisen maanvaraisen gravitaatorakenteen rakenteellinen ja geotekninen mitoitus tehdään pääsääntöisesti lepopaineella. Maanpaineen oletetaan kasvavan suoraviivaisesti syvyyden kasvaessa. Maakerrosten kantokestävyys lasketaan liukupintamenetelmällä tai käytetään kallion syvyyden huomioon ottavaa kaavaa. Rakenteen liukuminen lasketaan samalla tavalla kuin normaalin maanvaraisen perustuksen. (RIL 201-3-2013, 20.)

### 3.2 Vedenpaine ja veden noste

Rakenteeseen kohdistuva vedenpaineen suuruus määräytyy vedenpinnan korkeusase-man vaihtelusta. Mitoituskorkeudeksi voidaan määrittää ylin tai alin vesipinta, jota ei saa ylittää tai alittaa todennäköisyydellä 0,98 rakenteen suunniteltuna käyttöaikana. Vedenpaine pystysuoraa rakennetta vasten voidaan määrittää veden tilavuuspainon ja rakenteen vesisyvyyden tulona. Upoksissa olevaan tai uivaan kiinteään rakenteeseen vaikut-



tava veden noste tulee huomioida, sillä se edesauttaa rakenteen liukumista ja kaatumista. Veden noste määritetään hydrostaattisten paineiden erotuksena. Vedessä tai pohjaveden alla olevaan rakenteeseen vaikuttavat ulkoiset vedenpaineet ja huokosvedenpaineet esitetään kuvassa 7. (RIL 201-3-2013, 70.)



Kuva 7. Veden paineiden määrittäminen (RIL 201-3-2013, 70.)

$p_1, p_2$  = ulkoiset veden paineet

$p_3, p_4, p_5$  = huokosvedenpaineet

$p_6, p_7$  = veden noste

$h_1, h_2$  = etäisyydet veden pintaan

$h_3, h_4, h_5$  = tarkasteltavien leikkauksien etäisyys veden pintaan

$\gamma_w$  = veden tilavuuspaino

$W$  = veden korkeus.

### 3.3 Jääkuormat

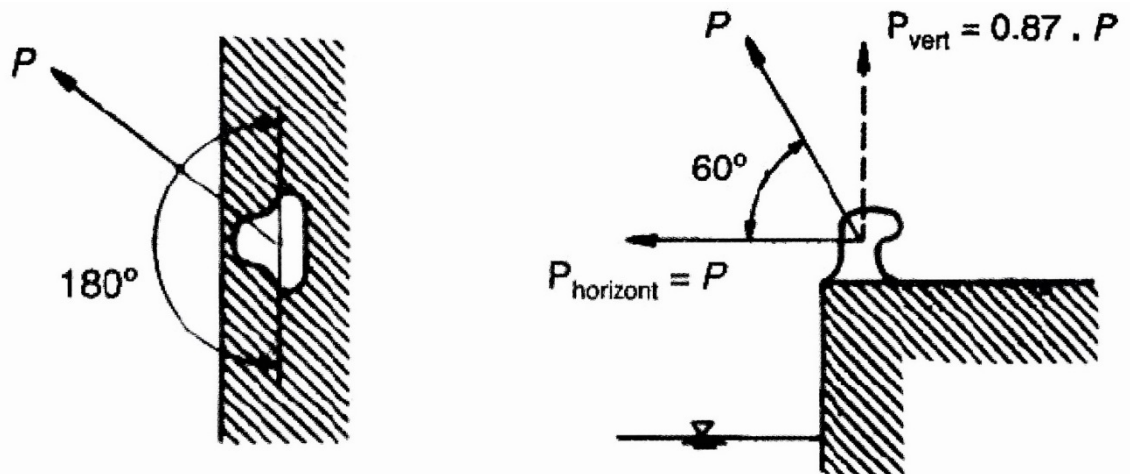
Jääkuorman suuruuteen vaikuttaa rakenteen maantieteellinen sijainti. Jäänpaksuus Suomen vesialueilla vaihtelee etelässä ja pohjoisessa 0,7 m-1,1 m, joten näin ollen jääkuorman mitoitus tapahtuu aina hankekohtaisesti. Kuormien suuruuteen vaikuttaa jään paksuus, lujuus ja sen liikkeet. Jään aiheuttamat kuormat rakenteeseen ovat: pysähtyneestä jääkentästä tai jäälautasta aiheutuvat kuormitukset, liikkuvasta jääkentästä tai jäälautasta aiheutuneet kuormitukset sekä jään aiheuttamat pystysuorat kuormitukset. Kuormat jakaantuvat pääsääntöisesti koko rakenteen pinnalle. (RIL 201-3-2013, 55–61.)

### 3.4 Aluskuormat

Aluksista aiheutuvat kuormitukset rakenteeseen ovat pollareihin ja fendereihin kohdistuvat kuormitukset, jotka tulee huomioida rakenteen mitoituksessa. Pollareiden ja fendereiden sijoittelu rakenteessa ja kuormien suuruudet on määritettävä hankekohtaisesti sataman liikennöinnin mukaisesti. (RIL 201-3-2013, 40.)

#### 3.4.1 Pollarikuorma

Pollariin kohdistuvat voimat aiheutuvat pääsääntöisesti alukseen kohdistuvasta tuulesta, virtauksesta ja aluksen korkeusaseman vaihtelusta kiinnityksen yhteydessä. Pollarit mitoitetaan normaalisti köysivoimille, jotka vaikuttavat vaakatasoon nähden 60°:een kulmassa sekä rakenteen pituussuunnassa 180°:een kulmassa (kuva 8). (RIL 201-3-2013, 41.)



Kuva 8. Köysivoimien suunnat (RIL 201-3-2013, 41.)

Aluksista aiheutuvista kiinnityskuormista on laadittu taulukko joka antaa ohjearvoja alusten kiinnityksille laiturirakenteeseen (taulukko 1). Rakennesuunnittelussa tulee kuitenkin aina hankekohtaisesti määrittää todelliset vaikutuskulmat sekä kuormitukset. (RIL 201-3-2013, 40–41.)

Taulukko 1. Alusten kiinnityskuormia. (mukailtu RIL 201-3-2013, 41.)

	Pollari-kuorma P	Pollareiden arvioitu etäisyys (noin)	Viivakuorma laituria vastaan kohtisuoraan	Viivakuorma laiturin suuntaisesti
Satamalaiturit, erittäin raskaat kuljetukset	1200 kN	30 m	50 kN/m	30 kN/m
Satamalaiturit, raskaat kuljetukset	900 kN	30 m	40 kN/m	25 kN/m
Satamalaiturit, muutoin	700 kN	25 m	35 kN/m	20 kN/m
Matkustajalaiva- ja autolauttalaiturit	1500 kN	25 m	50 kN/m	30 kN/m
Yhteysaluslaiturit	500 kN	20 m	25 kN/m	15 kN/m
Pienlaiturit	200 kN	20 m	20 kN/m	15 kN/m

### 3.4.2 Fenderikuorma

Aluksista aiheutuu vaaka- ja pystysuuntaisia kuormituksia rakenteeseen joita ovat aluksesta aiheutuva törmäyskuorma tai kokoonpuristuvan fenderin reaktivoima. Rakenne varustetaan pääsääntöisesti kumifendereillä, joilla vaimennetaan aluksen liike-energiaa.

Aluksesta aiheutuva liike-energia on tunnettava ja se voidaan laskea liike-energian kaavalla (kaava 2), jotta rakenne fenderikuormien osalta voidaan mitoittaa oikein.

$$E_k = \frac{1}{2} * m * v^2$$

Kaava 2. Liike-energian kaava (Maol taulukot 2006, 128).

$E_k$  = liike-energia [J]

$M$  = aluksen massa [kg]

$v$  = aluksen tulonopeus [m/s].

Pienemmissä satamissa fendereinä voidaan käyttää esim. puisia suojarrauja tai autonrenkaita joiden kyky vaimentaa aluksesta aiheutuvaa liike-energiaa on vähäinen. Niiden tarkoitus on lähinnä pitää alus irti rakenteesta, jolloin rakenteeseen voi helposti kohdistua suuriakin kuormia. Fenderi- ja tukikuormista on laadittu taulukko, joka antaa ohjearvoja kuormien suuruuksista rakenteeseen (taulukko 2). Fenderiin kohdistuvat kuormitukset on kuitenkin rakennesuunnittelussa määritettävä hankekohtaisesti. (RIL 201-3-2013, 42.)

Taulukko 2. Aluksien fenderi- ja tukikuormia (mukailtu RIL 201-3-2013, 42.)

	Fenderikuorma, pistekuorma alalle 0,5 m <sup>2</sup>	Viivakuorma laituria vastaan kohtisuoraan	Viivakuorma laiturin suuntaisesti
Satamalaiturit, erittäin raskaat kuljetukset	1800 kN	40 kN/m	30 kN/m
Satamalaiturit, raskaat kuljetukset	1400 kN	30 kN/m	25 kN/m
Satamalaiturit, muutoin	1000 kN	25 kN/m	20 kN/m
Matkustajalaiva- ja autolauttalaiturit	1500 kN	40 kN/m	30 kN/m
Yhteysaluslaiturit	300 kN	15 kN/m	15 kN/m
Pienlaiturit	100 kN	10 kN/m	10 kN/m

## 4 PARAINEN–NAUVO-LAUTTASATAMA

### 4.1 Yleistä

Parainen–Nauvo-lauttasatamassa alkaa liikennöidä uusi hybridilautta vuonna 2017. Tämän takia maatuet uusittiin ja molempiin lauttasatamiin rakennettiin lähes identtiset kasuuniperustaiset tihtaalit (liite 1). Ne toimivat uuden hybridilautan tuki- ja kiinnitysrakenteena, joista myös tapahtuu hybridilautan akkujen lataus satamassa olon aikana. Työ alkoi huhtikuussa 2016, ja urakan luovutus tapahtui tammikuussa 2017.

### 4.2 Pohjatutkimus ja ruoppaus

Rakennusurakan suunnitteluvaiheessa rakennettaville alueille tehtiin sekä painokairauksia että heijarikairauksia. Näiden avulla saatiin selvitettyä vallitseva maa-aines sekä kallionpinta. Paraisten puolella arvioitu kallionpinta sijaitsi pahimmillaan yli -35 metrin syvyydessä, ja se vietti jyrkästi merelle päin. Vallitseva maa-aines kairaustulosten perusteella oli sora-moreenia (liite 2). Nauvon puolella kallionpinta sijaitsi jo -7 metrin syvyydessä (liite 3). Koska kallionpinta sijaitsi Nauvon puolella riittävän lähellä ja Paraisten puolella maa-aines oli soramoreenia sekä veden syväys -6 ja -8 metrin välillä, mahdollisti tämä kasuuniperustuksen tihtaaleissa. Maaperästä ja kalliosta tutkittiin maa-aineen rakeisuus sekä kallion laatu.

Ruoppaukset käynnistettiin kauharuoppaajalla Paraisten puolella (kuva 9). Pohjasta ruopattiin löyhät maa-ainekset 2-3 metrin syvyydeltä, noin 180 neliömetrin suuruiselta alueelta, ja ne kuljetettiin meriteitse proomujen avulla Nauvon puolelle. Massat kuljetettiin kuorma-autoilla läjitysalueelle Nauvossa. Ruopatun maa-aineen tilalle levitettiin mursketta, joka tasattiin ja tiivistettiin murskepatjaksi oikeaan korkoon kasuuneita varten. Korko tarkistettiin takymetrin avulla, jotta varmistuttiin suunnitelmien mukaisista mitoista.

Nauvon puolella laajaa ruoppaustyötä ei tarvinnut suorittaa, koska pohja oli kalliota. Ainoastaan kallionpinta puhdistettiin irtokivistä tulevaa teräsbetoni-laattaa varten. Pohja tasattiin teräsbetoni-laattalla kasuuneita varten. Sukeltajien avulla pohjaan rakennettiin raudoituskehikko ja suoritettiin betonivalutyö. Vedenalaisessa valutyössä käytettiin uppobetonია, joka on koostumusominaisuuksiltaan koossa pysyvää, sitkeää ja erottumatonta, eli näin ollen se kestää hyvin veden huuhtelevaa vaikutusta.



Kuva 9. Kauharuoppaja.

#### 4.3 Kasuunien rakennustyö

Kasuunit rakennettiin Turussa yrityksen varikkoalueella Pansiossa. Ne suunniteltiin pohjaltaan reiällisinä, ja niiden kuljetus tapahtui kuljetuslautan avulla rakennuskohteelle. Tämän mahdollisti yrityksen nosto- ja kuljetuskaluston saatavuus. Rakennustöiden esityönä oikaistiin rakennusalueena toimiva kenttä, jotta maata vasten valettavien kasuunien pohjalaatat olisivat suorassa. Kentälle levitettiin murskettä, joka tasattiin pyöräkuormaajalla ja tiivistettiin täryttimillä. Murskeen avulla saatiin myös karhennettua kasuunirakenteen pohjaa, jotta pinnasta ei tulisi liian sileä. Kentän pinnan taso tarkistettiin tasonlaserilla. Kentän oikaisutyön jälkeen alkoi kasuunien pohjalaattojen rakennustyö.

Pohjalaattojen rakennustyö aloitettiin muotti- ja raudoitustyöllä. Työtä tulee valvoa hyvin, jotta esim. suojaetäisyydet raudoitteen pinnasta muotin pintaan ovat riittävät sekä raudoitusten määrä vastaa suunnitelman määriä. Työn valvonta on erityisen tärkeää, koska rakenteeseen kohdistuvat kuormitukset vesirakenteissa ovat laajat, ja näin ollen valvonnan laiminlyönti voi aiheuttaa vakavia rakenteellisia vaurioita ajan mittaan. Raudoitustyö tehtiin raudoituspöytäsuunnitelman mukaisesti. Rakenteen kokonaisuutta varten pohjalaattojen sivuihin asennettiin raudoitussuunnitelman mukaiset tartuntaraudat tulevaa

eroosiolaattaa varten ja pintaan tartuntaraudat kasuunin seinärakenteille. Muotti- ja raudoitustöiden valmistuttua valettiin pohjalaatat kokonaisuudessaan kerralla valmiiksi. Pohjalaatan jälkihoitotyötä suoritettiin viikon ajan betonivalun jälkeen ja pohjalaatan lämpötilaa seurattiin asennettujen lämpötila-antureiden avulla. Näin varmistuttiin betonin lujuuskehityksestä. Pohjalaattojen valmistuttua alkoivat kasuunin seinien rakennustyöt.

Seinämien rakentaminen aloitettiin muotti- ja raudoitustyöllä kuten pohjalaatassa. Kasuunien suunniteltu korkeus oli 6,8 m, joka vaatii nostokalustoa ja rakennustelineitä, jotta muottien asennus- ja raudoitustyö olisi mahdollista. Seinämän paksuus kasuunissa oli kolmelta sivulta 350 mm ja yhdeltä 250 mm. Seinien rakennustyö alkoi sisäpuolisten seinämuottien pystytyksellä, jotta raudoitustyöt saatiin aloitettua. Raudoituksen yhteydessä asennettiin seinien yläpintaan nostokorvat eli nostopisteet, joista kasuuni nostettiin kuljetuslautalle. Raudoitustöiden valmistuttua asennettiin pintapuolen seinämuotit. Seinämuottien pystytystä tulee valvoa tarkasti, jotta mitat ovat suunnitelmien mukaiset. Niiden tulee kestää koviakin paineita joita aiheutuu betonoinnin aikana. Eritoten seinämuottien saumakohdat tulee tarkistaa ennen valua, jotta muottirakenne pysyy kasassa ja mahdollisilta repeämisiltä vältytään. Muotti- ja raudoitustöiden valmistuttua alkoi seinien betonivalu. Kasuunin seinärakenne valettiin yhden päivän aikana. Seinärakenteessa betoni valettiin useissa kerroksissa, jotta paineet muottiin saatiin minimoitua. Betoniautojen oikealla ajoituksella saatiin jo valettu betonikerros jäykistymään riittävästi, jotta seuraava betonikerros ei aiheuttanut liikaa painetta rakenteeseen. Betonivalutöiden päätyttyä suoritettiin jälkihoitoa ja betonin lämpötilan seurausta upotettujen lämpötila-antureiden avulla. Kun betoni saavutti riittävän lujuuden, purettiin muotit ja kasuunit olivat valmiita nostoon (kuva 10).



Kuva 10. Valmiit kasuunirakenteet.

#### 4.4 Siirto työmaalle

##### 4.4.1 Nosto

Kasuunin yläpää tukevoitettiin rautakehikolla, joka hitsattiin nostokorviin kiinni. Rautakehikon tarkoituksena oli estää seinämien mahdollinen murtuminen noston yhteydessä. Kasuunit nostettiin ponttonilautalle yrityksen omalla nostolautalla (kuva 11), jonka nostokapasiteetti on 200 tonnia. Nostotyö tulee suorittaa hyvällä säällä, jotta mahdollisilta onnettomuuksilta vältytään. Noston aikana tulee tarkkailla nostettavan kappaleen kiinnityskohtia ja kuljetuslautan käyttäytymistä siirron jälkeen.





Kuva 11. Nostolautta.

#### 4.4.2 Kuljetus

Kasuunit kuljetettiin rakennuskohteeseen ponttonilautoilla (kuva 12), joita liikutetaan hinaajan avulla. Kuljetuksen tulee tapahtua hyvällä säällä, jotta mahdollinen merenkäynti ei aiheuta ongelmia kuljetuksen aikana. Säätilaa tulee seurata, ja hinaaja-aluksen tulee olla yhteydessä merillä liikkuvien alusten radioliikenteessä. Kasuunien kuljetuksesta meriteitse vastasi raumalainen hinaaja.



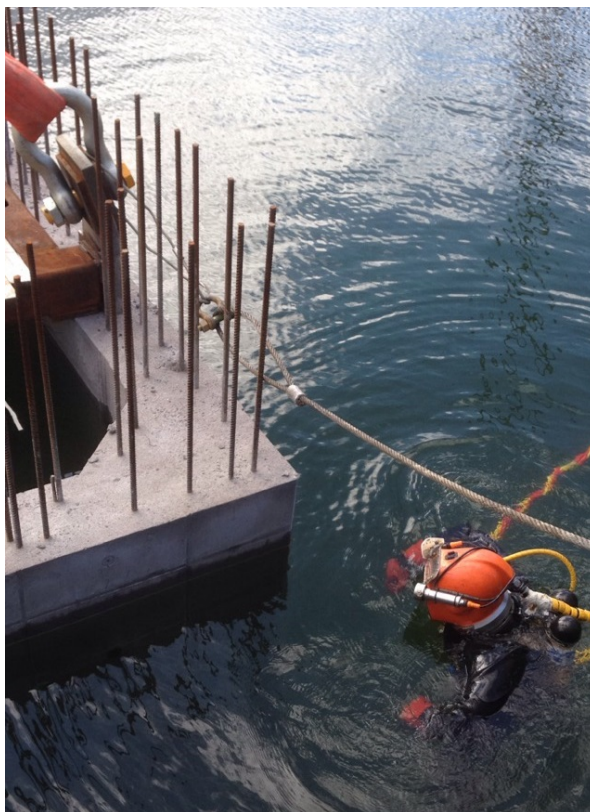
Kuva 12. Kasuunien kuljetus.

#### 4.4.3 Laskutyö

Kasuunin laskutyö (kuva 13) on tarkkaa ja aikaa vievää työtä. Laskutyössä on tehtävä jatkuvaa mittausta takymetrin avulla, jotta kasuunit lasketaan piirustusten mukaiselle paikalle. Mittausinsinöörin on oltava radioyhteydessä laskutyötä suorittavien työntekijöiden kanssa, jotta kasuunit pystytään ohjaamaan oikealle paikalle laskun aikana. Kasuunin yläpintaan kiinnitettävien ohjausvaijerien avulla mahdollistetaan sen liikuttaminen sivuttaissuuntaisesti, jotta se saadaan laskettua oikealle paikalle. Tarvittaessa laskutyön aikana käytetään myös sukeltajaa, joka tarkkailee laskua pinnan alla, jolloin radioyhteys tulee olla myös sukeltajan kanssa. Sukeltajaa käytetään viimeistään laskutyön jälkeen tarkistettaessa kasuunin istuvuus pohjaan ja mahdollisten ohjausvaijerien irrottamisessa (kuva 14).



Kuva 13. Kasuunin lasku. Mittausinsinööri taka-alalla.



Kuva 14. Laskutyön jälkitarkistus.

#### 4.5 Mursketäyttö

Laskutyön jälkeen kasuunien sisäosat täytettiin kalliomurskeella. Koska ne sijaittivat vesialueella, johon ei ollut pääsyä maalta käsin, tuotiin murske meriteitse laivalla. Sen kannella olevalla kaivurilla laskettiin murskeet kasuunien sisäosaan. Kulkuyhteys kasuunien luokse ponttonilauttojen avulla tehtiin vasta kansirakenteen rakennusvaiheessa.

#### 4.6 Kansirakenne

Kansirakenteen rakennustyö aloitettiin muottityöstä. Se rakennetaan kasuunin päälle siten, että kannesta ja pintakuormista aiheutuvat kuormat jakaantuvat kasuunin kennorakenteeseen sekä sisäosan täytölle, mikä mahdollistaa kantavuuden suurillekin kuormille. Muottitöiden edetessä aloitettiin samanaikaisesti raudoitustyö. Rakentamisen aikana asennettiin tarvittavat varaukset pollarien, fenderien ja lautan lataukseen tarvittavien välineiden kiinnitykseen. Pollari- ja fenderikuormien suuruus vaikuttaa raudoituksen laaju-

teen. Muotti- ja raudoitustöiden päätyttyä alkoi kansirakenteen betonivalu. Kansirakenteen valutyö tapahtui kahdessa osassa; ensin valettiin kannen seinämät ja tämän jälkeen kansilaatta. Työ tapahtui ponttonilautoista tehdyn kulkuyhteyden avulla (kuva 15). Valun jälkeen lujuuden kehitystä seurattiin upotettujen lämpötila-antureiden avulla. Kun betoni saavutti riittävän lujuuden, purettiin muotit jonka jälkeen tihtaali oli valmis (kuva 16). Noin kuukauden kuluttua kannesta otetuilla poranäytteillä varmistuttiin betonin riittävästä puristuslujuudesta.



Kuva 15. Kansirakenteen betonivalutyö.



Kuva 16. Valmis tihtaali ilman varusteita.

#### 4.7 Eroosiolaatta

Pohjalaatan ympärille valettiin betonilaatta, jonka tarkoitus on suojata rakennetta mahdolliselta eroosiolta, jota voi aiheutua aluksien potkurivirtauksista. Laatta valettiin rakenteen kolmelle sivulle 5–6 metrin leveydeltä ja sen paksuus vaihtelee 350– 500 mm. Laatta tehtiin vedenalaisena valutyönä, jossa käytettiin uppobetonia, ja sen valoivat sukeltajat.

#### 4.8 Varusteet

Tihtaalin varustuksiin kuului pollarit, fenderit, huoltosilta, pelastautumistikkaat, pelastautumisvälineet ja merkkivalot. Koska rakenteiden toimiessa hybridilautan latauspisteenä, asennettiin tihtaalin kannelle myös kiinnityslevyt lautan automaattista kiinnityslaitteistoa, ja virranottotorneja varten. Varusteet asennettiin tihtaaleihin viimeisenä, jolloin rakenne oli kokonaisuudessaan valmis (kuva 17).



Kuva 17. Tihtaali varusteineen. Virranottotorni toimii hybridilautan latauspisteenä.

## 5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tihtaalit ovat vaatimattoman näköisiä rakenteita satama-alueilla, mutta sitäkin välttämättömiä vesiliikenteelle. Vesirakentamisesta on vain vähän kirjoitettua tietoa, ja tästä syystä vaaditaan suunnittelussa ja rakentamisessa vahvaa kokemusperäistä asiantuntijuutta ja ammattitaitoa, jotta osataan arvioida oikeat rakennustekniset ratkaisut. Kasuunirakennetta käytetään pääsääntöisesti laitureissa sekä majakoiden ja vesialueilla olevien tuulimyllyjen perustuksissa, mutta yksittäisten tihtaalien perustuksissa se on kuitenkin harvinainen. Parainen–Nauvo-lauttasatamassa päädyttiin tihtaaleissa kasuuniperustukseen, koska se oli yksinkertaisesti edullisin vaihtoehto, vaikka niiden rakentaminen on hyvin vaativa ja aikaa vievä prosessi verrattuna esim. paaluperustukseen. Yrityksen varikkoalueen käyttö kasuunien rakennuskenttänä ja oman kaluston käytön mahdollisuus nosto-, siirto- ja laskutyössä vaikutti myös pitkälti kyseisen rakenteen valintaan ja kokonaishintaan. Myös Paraisten puolella vallitseva maa-aines oli ratkaisevana tekijänä gravitaatorakenteen toimivuudesta. Mikäli maa-aines olisi ollut esimerkiksi savea, olisi jouduttu tekemään muita ratkaisuja. Nauvon puolella päädyttiin rakenteeseen yhtäläisyyden vuoksi.

Yksi suurimmista syistä, joka kumosi paaluperustuksen, oli syvyys kalliopintaan ja sen jyrkkyys Paraisten puolella. Paalut olisivat olleet pisimmillään yli 30-metrisiä, jolloin kustannukset olisivat olleet suuret. Myös varmuus niiden päissä olevien kalliokärkien istuvuudesta kalliopintaan Paraisten puolella, joka vietti pahimmillaan yli 45 astetta merelle päin, oli epävarmaa. Väylän syvyys lauttayhteyden välillä on syvimmillään yli 100 metriä ja tästä syystä vieto rannasta on hyvin jyrkkä.

Kasuunirakenne itsessään on hyvin massiivinen rakenne, ja sen rakentamiseen vaaditaan osaamista ja riittävät puitteet. Rakenteen etuja ovat sen oma massa, joka estää rakennetta liukumasta tai kaatumasta ilman, että se pitäisi ankkuroida kiinni kallioon. Etuja ovat myös suurien vertikaalisten kuormien kestävyys, joka johtuu kuormien jakaantumisesta kasuunin kennorakenteelle ja sisäosan täytölle. Tämän takia kasuunirakennetta hyödynnetäänkin pääsääntöisesti kulmatukimuurin lisäksi laiturirakenteissa, jossa pintakuormat voivat olla suuria. Kasuunirakenne kuitenkin vaatii aina riittävän kantavan maapohjan, kohtuullisen syvyyden vesialueella sekä tarvittavat resurssit nosto-, siirto- ja

laskutyössä, jotta kyseinen rakenne olisi mahdollinen vaihtoehto. Yksittäisen tihtailin perustuksena kasuunirakenne ei voita paaluperustusta, joka yksinkertaisuuden ansioista on ensisijainen vaihtoehto, mutta sitä ei kannata poissulkea.

Parainen–Nauvo-lauttasatamassa olevien tihtaalien rakentamisesta tehty insinööri työ oli hyvin opettavainen. Koska kyseinen perustus tihtaaleissa on harvinainen ja vesirakentamisesta on muutenkin vain vähän kirjoitettua tietoa, oli työn tekeminen välillä hyvinkin haastavaa. Tiedon hankkiminen vaati asiantuntijoiden kanssa keskusteluita, joiden avulla saatiin osa tiedoista hankittua. Tavoitteena oli tehdä mahdollisimman helppolukuisen teos yleisesti tihtaaleista ja Parainen–Nauvo-lauttasataman parannusurakassa rakennetuista tihtaaleista.



## LÄHTEET

Liikennevirasto 2016. Vedenalaisten taitorakenteiden tarkastusohje. Viitattu 10.2.2017 [http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lo\\_2016-26\\_vedenalaisten\\_taitorakenteiden\\_web.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lo_2016-26_vedenalaisten_taitorakenteiden_web.pdf).

Liikennevirasto 2013. Vesiväylätutkimusten yleisohjeet. Viitattu 5.3.2017 [http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo\\_2013-18\\_vesivaylatutkimusten\\_yleisohjeet\\_web.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo_2013-18_vesivaylatutkimusten_yleisohjeet_web.pdf).

Matemaattisten Aineiden Opettajien Liitto MAOL Ry ja Kustannusosakeyhtiö Otava 2012. Maol-  
taulukot. Keuruu: Otavan Kirjapaino Oy.

RIL 165-2-2006. Liikenne ja väylät 2. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL Ry.

RIL 187–1990. Sovellettu hydromekaniikka. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL Ry.

RIL 201-3-2013. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat, Vesirakenteet. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL Ry.

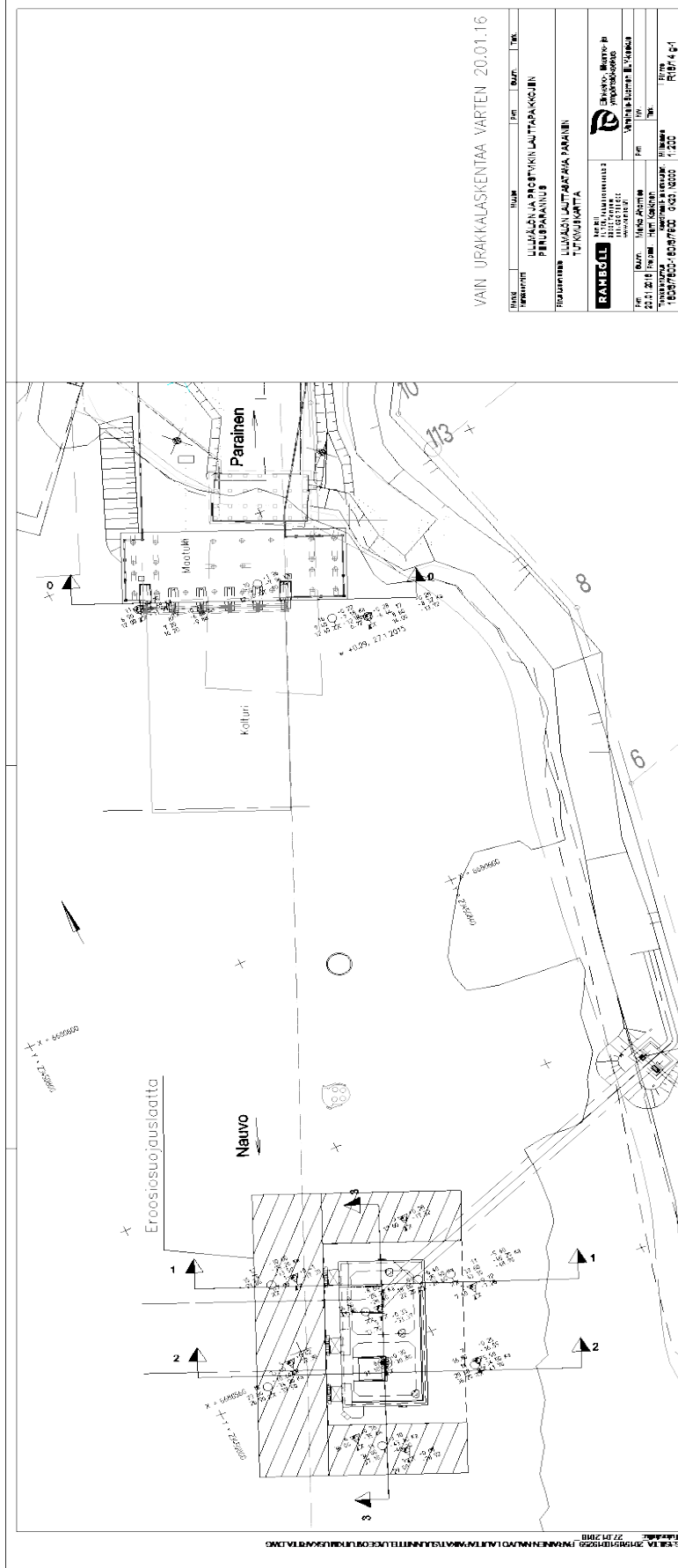
Taylor Marine Construction 2017. Ship Mooring Dolphins. Viitattu 15.3.2017 <http://taylormarine-construction.com/projects/ship-mooring-dolphins/>.

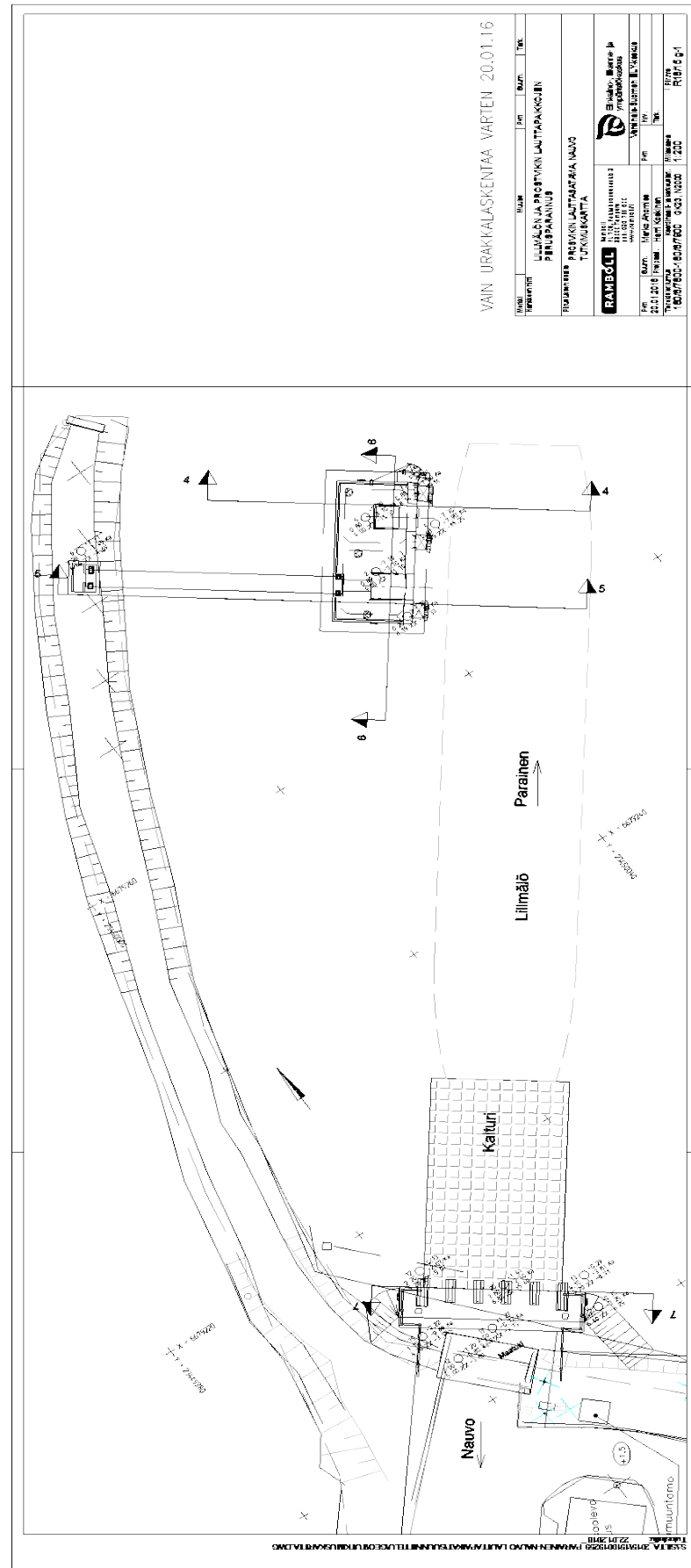
Trelleborg 2017. Super Cone Fenders. Viitattu 15.3.2017 <http://www.trelleborg.com/marine-systems/~media/marine--systems/products--services--and--solutions/listing--images/marine--fenders/rubber--fenders/rubberfenders1024x575.jpg?w=1024>.

Tutkimuskartat Parainen ja Nauvo

Liite 1 (1) Tutkimuskartta Parainen

Liite 1 (2) Tutkimuskartta Nauvo



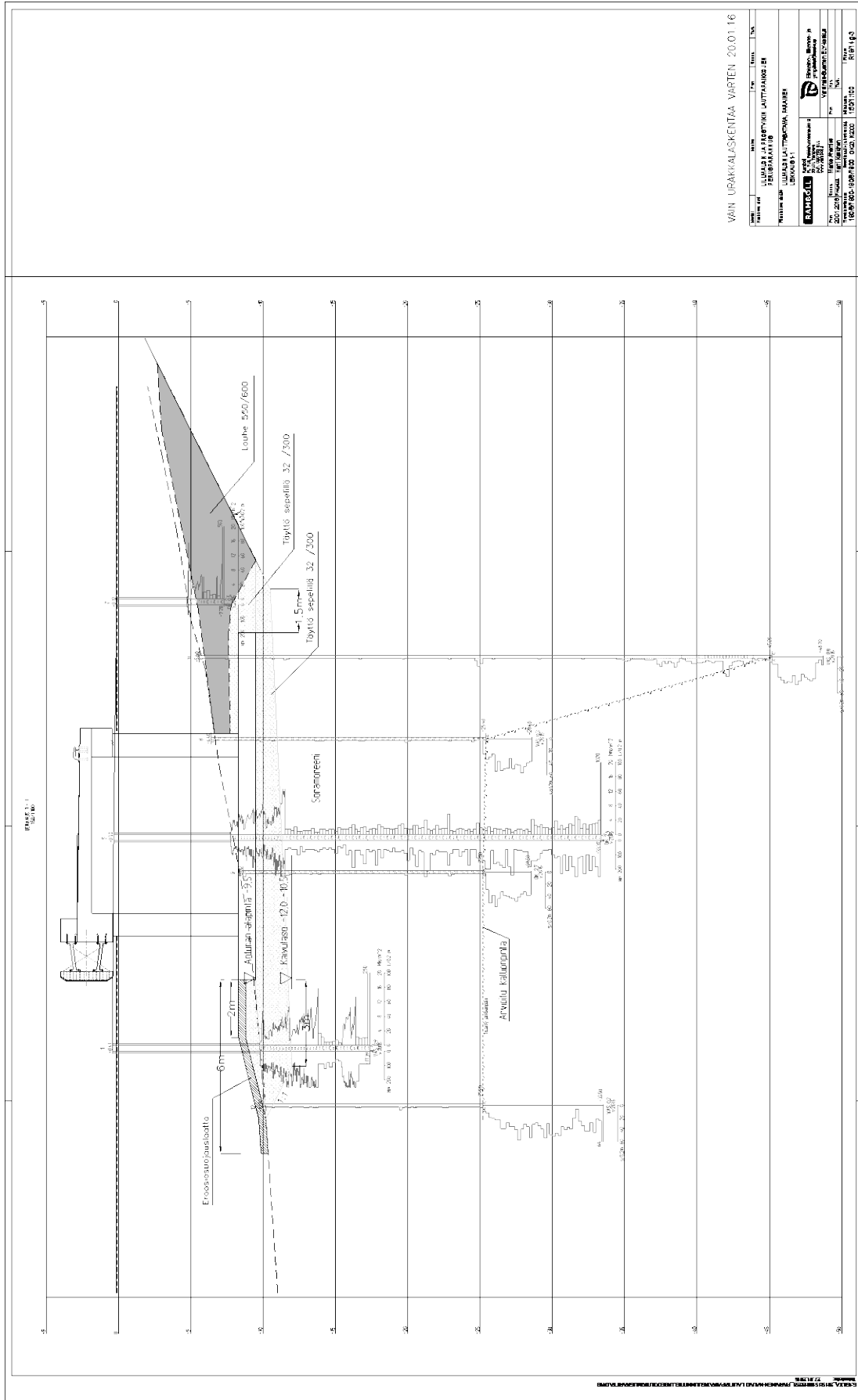


Liite 2 Kairaustulokset Paraisilla

Liite 2 (1) Leikkaus 1-1

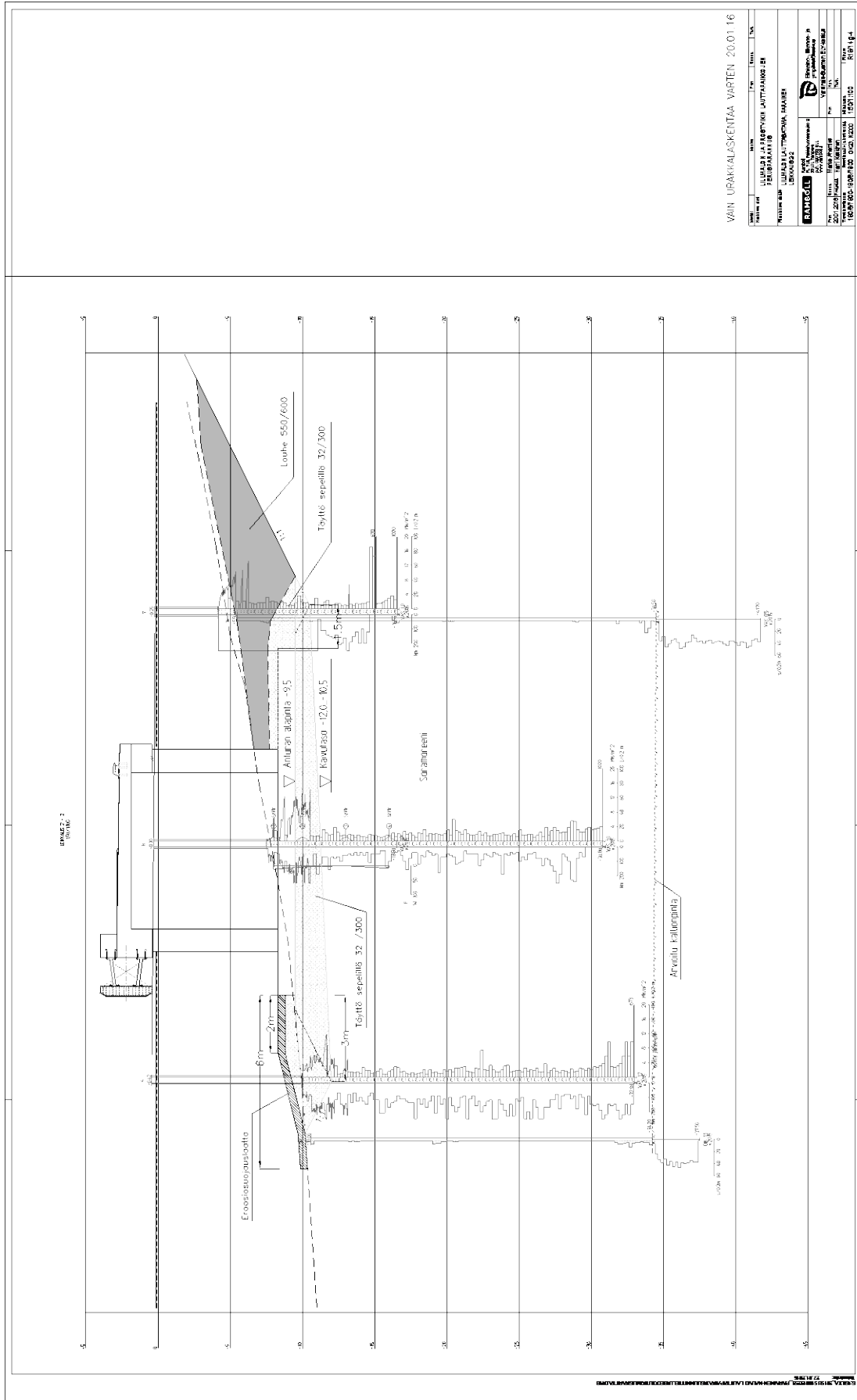
Liite 2 (2) Leikkaus 2-2

Liite 2 (3) Leikkaus 3-3



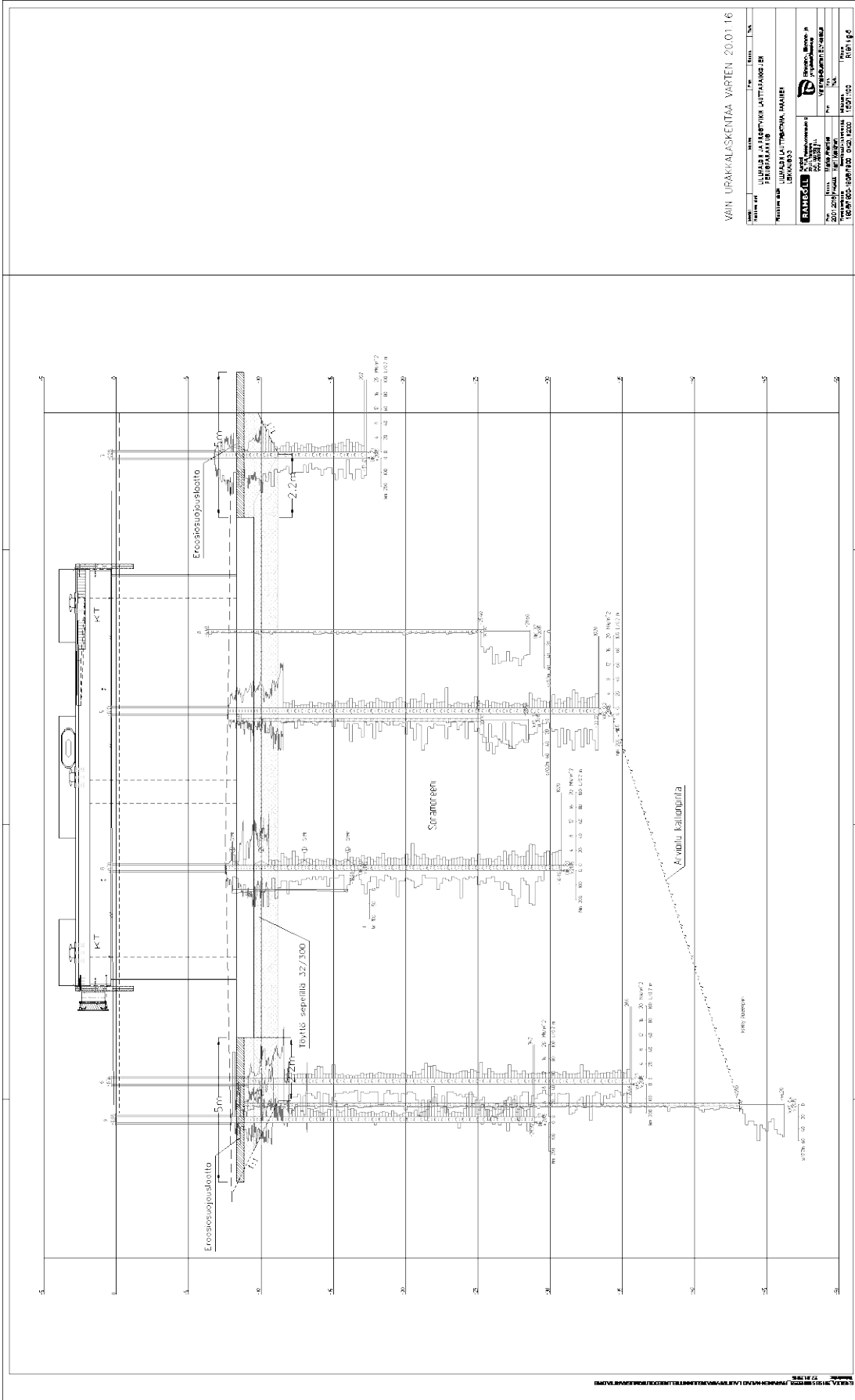
WAIN URAKKALASKENTAA VARTEN 20.01.16

Yhteisö	WAIN	WAIN	WAIN	WAIN
Yhteisön nimi	WAIN OY	WAIN OY	WAIN OY	WAIN OY
Yhteisön osoite	WAIN OY	WAIN OY	WAIN OY	WAIN OY
Yhteisön puhelin	WAIN OY	WAIN OY	WAIN OY	WAIN OY
Yhteisön faksi	WAIN OY	WAIN OY	WAIN OY	WAIN OY
Yhteisön sähköposti	WAIN OY	WAIN OY	WAIN OY	WAIN OY
Yhteisön verkkosivusto	WAIN OY	WAIN OY	WAIN OY	WAIN OY
Yhteisön verkkosivuston osoite	WAIN OY	WAIN OY	WAIN OY	WAIN OY
Yhteisön verkkosivuston nimi	WAIN OY	WAIN OY	WAIN OY	WAIN OY
Yhteisön verkkosivuston osoite	WAIN OY	WAIN OY	WAIN OY	WAIN OY
Yhteisön verkkosivuston nimi	WAIN OY	WAIN OY	WAIN OY	WAIN OY



MAIN URAKKALASKENTAA VARTEN 20.01.16

Yhtiö	YHTIÖ	YHTIÖ	YHTIÖ	YHTIÖ
Yhtiön nimi	YHTIÖ	YHTIÖ	YHTIÖ	YHTIÖ
Yhtiön osoite	YHTIÖ	YHTIÖ	YHTIÖ	YHTIÖ
Yhtiön puhelin	YHTIÖ	YHTIÖ	YHTIÖ	YHTIÖ
Yhtiön faksi	YHTIÖ	YHTIÖ	YHTIÖ	YHTIÖ
Yhtiön sähköposti	YHTIÖ	YHTIÖ	YHTIÖ	YHTIÖ
Yhtiön verkkosivut	YHTIÖ	YHTIÖ	YHTIÖ	YHTIÖ
Yhtiön johtaja	YHTIÖ	YHTIÖ	YHTIÖ	YHTIÖ
Yhtiön tekninen johtaja	YHTIÖ	YHTIÖ	YHTIÖ	YHTIÖ
Yhtiön suunnittelija	YHTIÖ	YHTIÖ	YHTIÖ	YHTIÖ
Yhtiön tarkastaja	YHTIÖ	YHTIÖ	YHTIÖ	YHTIÖ
Yhtiön lauseke	YHTIÖ	YHTIÖ	YHTIÖ	YHTIÖ
Yhtiön lisähuomioita	YHTIÖ	YHTIÖ	YHTIÖ	YHTIÖ
Yhtiön muuta	YHTIÖ	YHTIÖ	YHTIÖ	YHTIÖ



VAIN URAKKALASKENTAA VARTEN 20.01.16

Yhtiö	YHTIÖ	Kunta	Kunta	Kunta	Kunta
Projekti	UUDEN KAUPUNGIN LAUTTAMON RAKENTAMINEN	Yhtiö	Yhtiö	Yhtiö	Yhtiö
Yhtiön edustaja	LIISA J. LITTONEN, MAALIS	Yhtiön edustaja	Yhtiön edustaja	Yhtiön edustaja	Yhtiön edustaja
Yhtiön nimi	YHTIÖ	Yhtiön nimi	Yhtiön nimi	Yhtiön nimi	Yhtiön nimi
Yhtiön osoite	100000, HELSINKI	Yhtiön osoite	Yhtiön osoite	Yhtiön osoite	Yhtiön osoite
Yhtiön puhelin	09 2515 1000	Yhtiön puhelin	Yhtiön puhelin	Yhtiön puhelin	Yhtiön puhelin
Yhtiön faksi	09 2515 1000	Yhtiön faksi	Yhtiön faksi	Yhtiön faksi	Yhtiön faksi
Yhtiön sähköposti	liisa.j.littonen@yhtiö.fi	Yhtiön sähköposti	Yhtiön sähköposti	Yhtiön sähköposti	Yhtiön sähköposti
Yhtiön verkkosivut	www.yhtiö.fi	Yhtiön verkkosivut	Yhtiön verkkosivut	Yhtiön verkkosivut	Yhtiön verkkosivut
Yhtiön logo		Yhtiön logo	Yhtiön logo	Yhtiön logo	Yhtiön logo



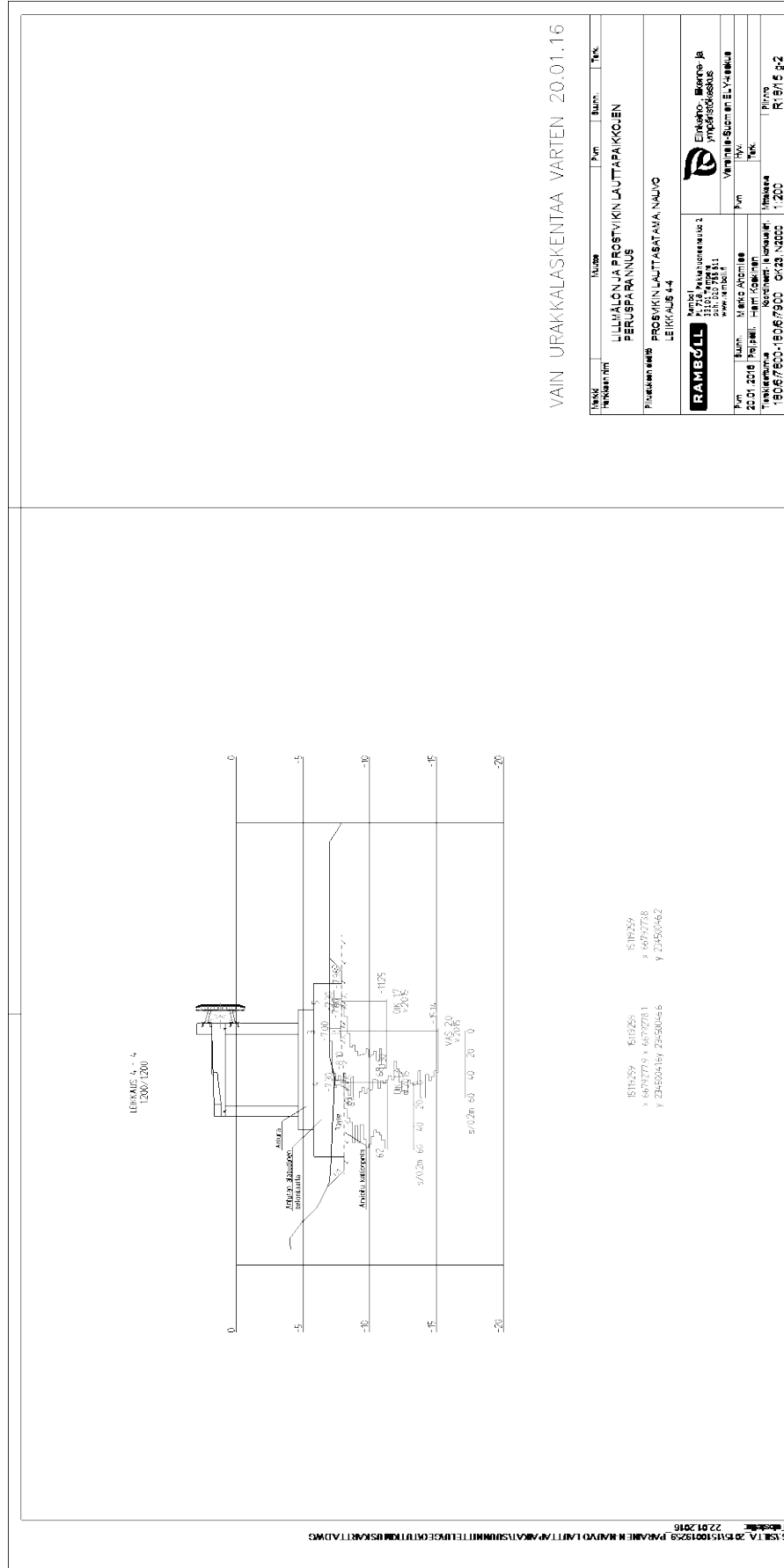
Liite 3 Kairaustulokset Nauvossa

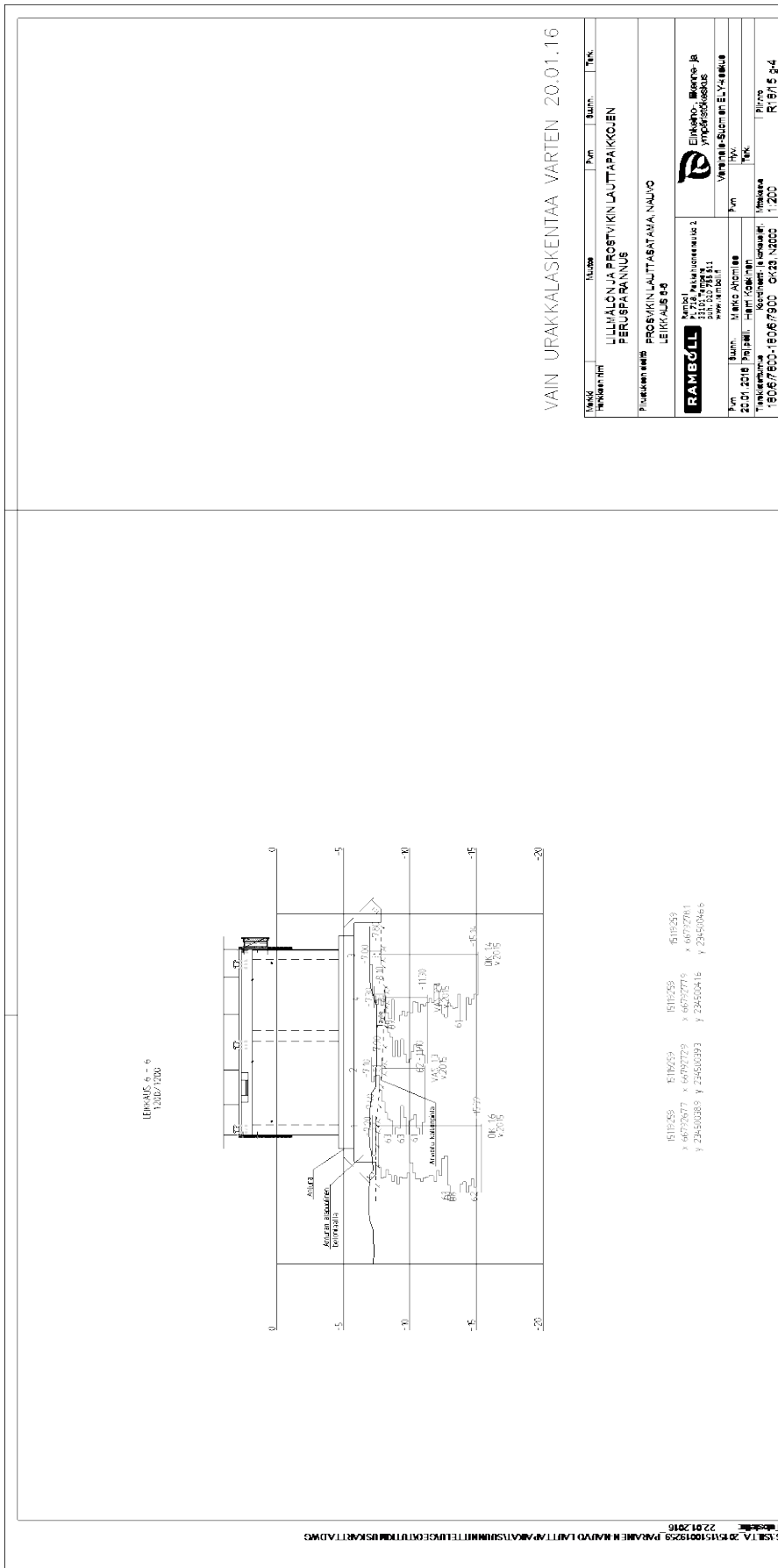
Liite 3 (1) Leikkaus 5-5

Liite 3 (2) Leikkaus 4-4

Liite 3 (3) Leikkaus 6-6







VAIN URAKKALASKENTAA VARTEN 20.01.16

Yhtiö	Nimi	Pun	Siuna	Tuok.
Yhtiö	YLLIÄLÄN JA PROSTVIKIN LAUTTAPOIKKOJEN PERUSPANKKI			
Pankin nimi: PROSTVIKIN LAUTTAPOIKKOJEN LEIKKAUS 5-6				
<b>RAMBOLL</b> Rambo Rakennusosasto 2 01100, Vammalla www.ramboll.fi				
Pun	Siuna	Siuna	Pun	Tuok.
20.01.2016	Proj. nro	15119259	15119259	15119259
Työnumero: 15067600-18067900-0423-N2000 Kassa: 15067600-18067900-0423-N2000 Riipp: R15119259-4				