

Rantamuurirakenne merivesiolosuhteissa



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka insinöörikoulutus, Hämeenlinnan

korkeakoulukeskus

Kevät 2021

Tommi Palm

TIIVISTELMÄ

Rantarakentamisen yleiseksi ratkaisuksi rannoille on valittu luonnonkiviverhoillut rantamuurit. Rantamuri on rantaan tehty paalu-, elementti- tai luonnonkiviperusteinen rakenne, joka erottaa ja tukee rannan maamassoja ja meren vesimassoja. Tämän opinnäytetyön tavoitteena on kertoa rantamuurirakenteen toteutuksesta ja meriveden vaikutuksesta rantamuurin rakentamisessa ja rantamuurin rakenteissa. Aiempaa yhtenäistä tietoa rantamuurirakenteista on vaikea löytää, vaan tietoa on kerätty porapaalutusohjeista, materiaalivalmistajien ohjeistuksista ja työsuunnitelmista.

Case-kohteena käytetään Helsingin Verkkosaarella GRK Infra Oy:n urakoimaa Verkkosaaren pohjoisosan rakentaminen urakkaa. Urakka on alkanut 2019 syksyllä ja jatkuu 2021 asti. Työssä perehdyttiin rantamuurirakentamisen työvaiheita ja työmenetelmiä koskeviin suunnitelmiin ja ohjeistuksiin. Lisäksi työssä käytettiin työmaalla tehtyjä havaintoja, kuvia ja raportointeja.

Opinnäytetyössä kerättiin tietoa rantamuurirakenteen toteutuksesta ja meren vaikutuksesta työskentelyyn. Työhön saatiin aikaan myös muistilista vastaavien urakoiden varalle. Työssä todettiin, että rantamuurirakenne on monivaiheinen ja vaativa työ sekä sen työvaiheet vaativat tarkkaa suunnittelua. Lisäksi havaittiin, että erityisesti paalutuksella on suuret vaikutukset ympäristön maaperään etenkin rantarakentamisessa.

Avainsanat Rantamuri, porapaalut, merivesi, betoni, työsilta

Sivut 43 sivua ja liitteitä 6 sivua

Author Tommi Palm

Year 2021

Subject Beach wall structure under sea water conditions

Supervisors Hannu Elväs, Antti Värri

ABSTRACT

Natural stone-clad beach walls are usually chosen as the general solution for beach construction. Beach wall is a pile, element or natural stone-based structure made on the shore that separates and supports shore land masses and sea water masses. The aim of this thesis is to describe the implementation of the beach wall structure and the effect of seawater in the construction of the beach wall and the structures of the beach wall. Previous uniform information on beach wall structures is difficult to find, but information has been collected from drilling piling instructions and work reports.

The case construction site used in this thesis is located in Helsinki Verkkosaari and the site is managed by GRK Infra Oy for the construction of the northern part of the Verkkosaari. The contract has started in the fall of 2019 and will continue until 2021. The thesis focused on the plans and guidelines for the work phases and the working methods of beach wall construction. In addition, observations and reports made on site were used in this work.

In the thesis, information was collected on the implementation of the beach wall structure and the impact of the sea on the construction work. A checklist for similar contracts is provided in the work. It was found out that building the beach wall structure is multi-stage and demanding work, and its work stages require careful planning. In addition, it was found out that piling has a major impact on the surrounding soil, especially in beach construction.

Keywords Beach wall, drill piles, seawater, concrete, work bridge

Pages 43 pages and appendices 6 pages

Sisällysluettelo

1	Johdanto	1
2	Rantamuurirakenteet	1
2.1	Paalu- ja ponttiperusteinen rantamuri	2
2.2	Elementtirantamuri.....	4
2.3	Perinteinen luonnonkivirantamuri	5
3	Rantamuurirakenteen työvaiheet	6
3.1	Ruoppaus	7
3.2	Työsilta	7
3.3	Rantamuurin porapaalutus	8
3.3.1	Paalujen valmistelu ja asennus	9
3.3.2	Paalujen jatkaminen ja katkaisu.....	11
3.3.3	Sallitut sijaintipoikkeamat ja toleranssit	12
3.4	Vinopaalujen ankkurointi ja jännitys	13
3.5	Paalujen raudoitus	14
3.6	Paalujen betonointi.....	15
3.7	Rantamuurirakenne luonnonverhouselementillä	16
3.8	Rantamuurirakenne paikallavaluna	17
3.9	Verhouskivien asennus	18
3.10	Kansikiven ja kaiteen asennus	19
4	Merivesi	20
4.1	Merivesiolosuhteiden vaikutus työskentelyyn ja ympäristöön	21
4.2	Betonin vaatimukset	21
4.3	Rantamuurirakenteiden vaatimukset	23
5	Case: Verkkosaaren pohjoisosan rakentaminen	24
5.1	Verkkosaarenrannan ja Verkkoneulan rantamuurin rakentaminen.....	25
5.2	Verkkosaarenkadun rantamuurin rakentaminen	35
5.3	Meriveden vaikutus Verkkosaassa	39
6	Pohdintaa.....	40
7	Yhteenveto	41
	Lähteet.....	42

Kuvat, taulukot ja kaavat

Kuva 1. RD-paaluseinä rakenne kallioon porattuna. (SSAB, 2021)	3
Kuva 2. Rantamuri liittyy ponttiseinäan ja paalulaataan.	4
Kuva 3. Rantamurielementti. (Eloranta, 2018)	5
Kuva 4. Porauskalustojen periaatteet (Tiehallinto, 2001).....	9
Kuva 5. Vinopaalujen porausta työsillalla.	11
Kuva 6. Porapaalujen sallitut sijaintipoikkeamat (Tiehallinto, 2001).....	13
Kuva 7. RD600-pystypaalujen raudoitus.	15
Kuva 8. Rantamuuripalkki valmiina valuun.	17
Kuva 9. Rantamuurin kivien- ja muotin asennus käynnissä.	18
Kuva 10. Verhouskivien kiinnitys. (suunnitellut FCG).....	19
Kuva 11. Rantamuurin kansikivi ja kaide. (suunnitellut Sitowise).....	20
Kuva 12. Paaluihin hitsataan RM/RF- lukkoprofiilit.....	27
Kuva 13. Paalujen putsausta paineilman avulla.	28
Kuva 14. Porapaaluseinäan hitsatut työtasokonsolit toimivat palkin muotin pohjana. .29	
Kuva 15. Ankkuroidun vinopaalun rakenne. (suunnitellut Sitowise)	31
Kuva 16. Rantamuurin taustatäyttö käynnissä.....	32
Kuva 17. Verhouselementin ja rantamuurin palkin liitos. (suunnitellut WSP).....	34
Kuva 18. Paalujen ja ponttien yhdistelmän perusta rantamuurille. Paalulaataan on jätetty tartuntarivat muuriin.....	36
Kuva 19. Ponttiseinäan on asennettu paineentasausputket ja raudoitusyö aloitettu. .37	
Kuva 20. Verhouskivet hitsataan raudoitukseen injektoitujen haponkestävien harjaterästankojen avulla.	38
Kuva 21. Muurin kivet asennettu ja muotitus aloitettu.	39
Taulukko 1. Betonin vaadittavia rasitusluokkia rantamuurin betonirakenteissa. (Rudus, Hannu Timonen-Nissi, 2019)	22
Taulukko 2. Aallon nousukorkeuksia rannan jyrkkyyden ja ulapan pituuden funktiona (Helsingin kaupunki, 2009)	24

Liitteet

Liite 1	Rantamuurin toteutuksen muistilista
---------	-------------------------------------

1 Johdanto

Rantarakentaminen on yleistymässä ja merinäköala houkuttelee asukkaita entistä enemmän rannan läheisyyteen. Merenrantarakentamisessa rakentaja kohtaa kuitenkin haasteita, etenkin maan kantavuuden ja vaativien työolosuhteiden takia.

Tämä opinnäytetyö toteutettiin GRK Infra Oy:n toimeksiannosta. GRK Infra Oy on osa GRK-konsernia, joka on erikoistunut vaativien infrarakennushankkeiden toteutukseen, suurien hankkeiden projektinjohtoon ja laaja-alaiseen raiderakennusosaamiseen. GRK-konserni toimii Suomessa, Virossa ja Ruotsissa ja sen asiakkaisiin kuuluu valtionhallinto, kunnat ja kaupungit sekä yksityinen sektori. Konsernin liikevaihto vuonna 2019 oli lähes 300 miljoonaa euroa. (GRK Infra Oy, 2019a)

Verkkosaaren pohjoisosan rakentaminen-urakassa päätoteuttajana toimii GRK Infra Oy. Urakan tilaajana toimii Helsingin kaupunki. Urakkaan kuuluvat Verkkosaaren laajamittaiset esirakennustyöt. Esirakennustöihin kuuluvat muun muassa katujen ja kunnallistekniikan rakentaminen, rantamuurin rakennustyöt sekä laajamittaiset maanrakennustyöt sisältäen pilaantuneiden maiden massanvaihdon ja rannan ruoppauksen.

Tässä opinnäytetyössä käsitellään Helsingin Verkkosaareen rakennettavia rantamuureja. Opinnäytetyön tavoitteena on dokumentoida Verkkosaaren rantamuurien rakentamisen työvaiheet ja sen toteutustavat. Lisäksi tavoitteena on dokumentoida rantamuurin rakentaminen työnjohtajan näkökulmasta, mitä voidaan hyödyntää myöhemmin vastaavissa hankkeissa. Opinnäytetyön tutkimusmenetelmä on kvalitatiivinen, koska työn sisältö on pyritty kertomaan perusteellisesti ja yksityiskohtaisesti. Työ on rajattu käsittelemään rantamuureja, ja työvaiheet sekä työmenetelmät on pyritty esittämään tämä huomioiden.

2 Rantamuurirakenteet

Rantamuuuri on merenrannoilla, kanaaleissa, jokisuissa ja satamissa käytetty rantarakenne, joka toimii veden ja maamassojen erottajana ja tukee rannalta tulevaa kuormitusta ja estää rannan maamassojen lossaamisen mereen tukimuurien tavoin. Rantamuurit tuovat rantoihin

etenkin yleistä ilmettä, näyttävyyttä ja turvallisuutta. Rantamuureilla mahdollistetaan etenkin isompien veneiden ja lauttojen rantautuminen muurin viereen ja oleskelu aivan veden äärellä.

Rantamuurirakenteet eroavat toisistaan etenkin perustuksiensa ja toteutustapojensa osalta. Rantamuurirakenteita toteutetaan pohjaolosuhteiltaan erilaisiin ympäristöihin, kuten savimaihin, täytettyihin merenrantoihin tai kallioon. Eri perustamisolosuhteet vaativat rakenteilta erilaisia ominaisuuksia. Rantamuurin tulee kestää sään ja veden rasitus ja vastaanottaa kovienkin myrskyjen ja jäiden aiheuttamaa kuormaa. Rantamuurirakenne voi myös liittyä eri rakenteisiin kuten paalulaattoihin.

Rantamuureissa käytetään verhouskivinä yleensä luonnonkiviä kuten graniittia. Kivet ovat useimmiten joko säännöllisen muotoisia sahattuja, lohkottuja kiviä tai mahdollisesti luonnollisen pyöreitä riippuen kohteesta. Kivet voidaan asentaa suoraan rantamuriin elementteinä tai kiviverhous voidaan tehdä kiinnittämällä ne raudoitukseen tai perinteisemmin latoa kivet päällekkäin laastilla tai ilman.

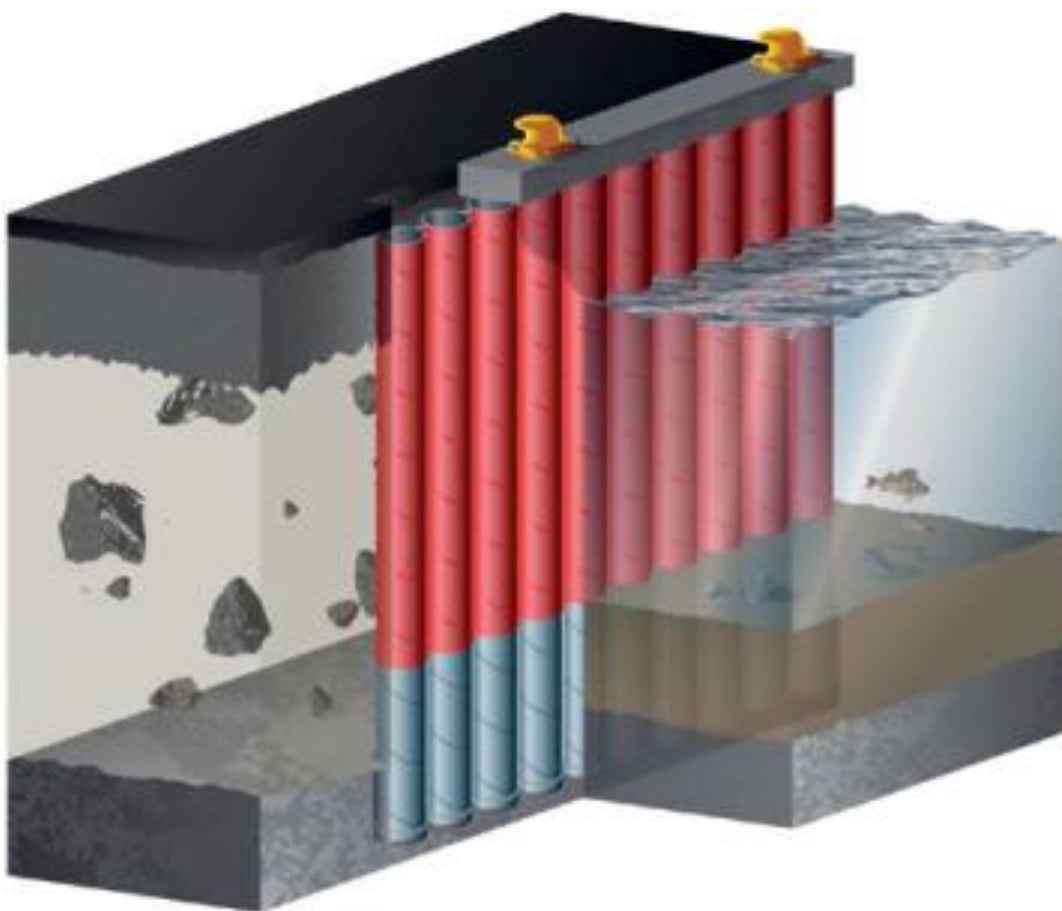
2.1 Paalu- ja ponttiperusteinen rantamuri

Rantamuurien perustusvaihtoehtona voidaan käyttää suurpaaluilla perustettua yhtenäistä RD-paaluseinää. RD-paaluseinä soveltuu etenkin pysyviin rakenteisiin perustusvaihtoehdoksi, jossa vaaditaan suurta pysty- ja vaakakuorman kestävyyttä. RD-paaluseinä on hyvä vaihtoehto etenkin haastavissa olosuhteissa ja ratkaisulla on mahdollista tehdä merkittäviä taloudellisia ja aikataulullisia säästöjä. Paaluperustus on valittu rantamuureihin perustamistavaksi etenkin huonon maan stabiliteetin ja kantavuuden takia. RD-paaluseinä perustetaan porattavien suurpaalujen varaan ja on kantavuudeltaan vakaa ja hyvin kuormia vastaanottava rakenne. Paaluperusteinen rantamuri on erityisesti saviseen maaperään hyvä perustusratkaisu. Käyttämällä rakenteessa sekä pysty- että vinopaalujen yhdistelmää saadaan rakenteesta jäykkä ja vakaa etenkin merenrasitusta vastaanottava rakenne. (SSAB, 2021)

Ankkuroidun paaluseinän päälle valetaan palkki, joka toimii mahdollisesti luonnonkiviverhouselementin perustana. Paaluseinästä saadaan yhtenäinen rakenne

hitsaamalla paaluihin lukkoprofiilit, joiden avulla paalut saadaan lukittua toisiinsa tiiviisti. Injektoimalla lukkoprofiilien injektointikanava on rakenteesta mahdollista saada vesitiivis. Lukitulla rakenteella mahdollistetaan rannan täyttäminen maa-aineksella paaluseinää vasten. Paaluseinästä saadaan ankkuroitu porapaaluseinä ankkuroimalla se kallioon. Paaluseinä saadaan ankkuroimalla kestävämmän mahdollisesti maa-aineksen tai liikenteen aiheuttama rasitus (kuva 1). Ankkurointi voidaan toteuttaa esimerkiksi vinopaalujen kautta poratulla punosjänneankuroinnilla tai kallion injektoiduilla pitkillä harjaterästangoilla.

Kuva 1. RD-paaluseinä rakenne kallioon porattuna. (SSAB, 2021)



Ns. combi-seinä on paalujen ja teräsponttien yhdistelmä, jossa kallioon lyödyt teräspontkipaalut yhdistetään toisiinsa väliin lyötävillä teräsponteilla. Combi-seinä voi myös olla yhdistelmä yhtenäistä ponttiseinää, missä paalut asennetaan ponttien uomien väleihin, jolloin vastaava kantavuus saadaan valamalla betonipalkki niiden ympärille. Combi-seinä rantamuuri on mahdollisesti osa useamman rakenteen kokonaisuutta. Combi-seinä voi olla liitetty esimerkiksi paalulaattaan, joka toimii rantamuurin perustana yhdessä combi-

seinän kanssa, kuten kuvassa 2 on toteutettu. Combi- seinä toimii tällöin rantamuurirakenteessa esimerkiksi maamassan tukena satamakanavassa ja estämällä veden sekoittumasta maamassoihin. (WSP Finland Oy/ Sami Niemelä, Mikko Junnila, 2008)

Kuva 2. Rantamuuuri liittyy ponttiseinään ja paalulaataan.



2.2 Elementtirantamuuuri

Rantamuuuri voidaan toteuttaa käyttämällä ns. rantamuurielementtejä. Elementtien avulla saadaan rakennettua rakennetun ympäristön ja vesistön väliin pystysuora rantaviiva, mikä estää rannan reunan pettämisen ja luiskauksen. Rantamuurielementit ovat pohjalaatallisia tukimuurielementtejä vastaavia elementtejä, jotka tuetaan täyttämällä pohjalaatan päälliset maamassoilla. Elementtirantamuurissa käytetään myös pohjalaatattomia elementtejä, jotka tukeutuvat pohjalaatallisiin elementteihin. Elementeissä on tartuntateräksiset yläpuolisia rakenteita varten, johon tulevaisuudessa rakennetaan luonnonkiviverhous. Rantamuurielementit perustetaan maanvaraisesti. (Eloranta, 2018, ss. 4-6)

Elementit on mahdollista rakentaa paikallavaluna työmaalla (kuva 3). Elementtien tuotantoon työmaalla kuuluu elementtien muottien rakentaminen, raudoitustyöt, betonointi ja verhouskivien asennus. Elementit ovat valmiita asennettavaksi, kun verhouskivet on saumattu. (Eloranta, 2018, ss. 4-6)

Kuva 3. Rantamuurielementti. (Eloranta, 2018)



2.3 Perinteinen luonnonkivirantamuri

Perinteisen luonnonkivirantamuurin kivet ladotaan usein ilman laastia niin, että mahdollisimman iso pinta-ala kivistä koskettaa toisiaan. Suuremmalla kosketuspinnalla saavutetaan suurempi kantavuus. Perinteisessä luonnonkivirantamuurissa käytetään kolmea erilaista toteutustapaa. Ne ovat kylmä-, valu- ja harkkokivimuri. Muurien laatu vaihtelee kiven limitystapojen ja kiven koon ja laadun perusteella. (Helenius, 2016, ss. 5-6)

Kylmätukimuurissa kivet on ladottu limittäin ilman laastia pyrkien siihen, että kivet saavat mahdollisimman suuren kosketuspinnan toisiinsa. Ladonnassa suuremmat kivet asennetaan alemmaksi ja pienet ylemmäksi. Kiviä joudutaan työstämään voimakkaasti oikeaan muotoon. Valumuurilla tarkoitetaan laastimuuria. Valumuuri aloitetaan kokoamalla muurin ulkoreunat kiviladelmilla, josta muodostuu muurin runko. Reunaladelmien eli kuorimuurien latomisen jälkeen valetaan muurin keskiosaan kiviä ja laastia. Sydänosa täytetään laastilla ja kivillä niin, että laasti pursuaa kuorikivien välistä ulos. Harkkomuuri tehdään säännöllisistä suorakaiteen muotoisista kivistä latomalla tai muuraamalla. Kivipinnassa on jatkuvat vaakasaumat ja pystysaumot limitetään säännön mukaisesti esimerkiksi ½- kiven tai 1/3-kiven limityksellä. (Helenius, 2016, ss. 5-6)

3 Rantamuurirakenteen työvaiheet

Rantamuurin rakentaminen sisältää paljon erilaisia vaativia vaiheita. Rantamuurin rakentamisessa on otettava huomioon niin meriveden, sään kuin töiden aikataulun tuomat haasteet. Töiden hyvällä aikatauluttamisella ja töiden ketjuttamisella pystytään merkittävästi vaikuttamaan töiden aikatauluun ja laatuun. Talvella työvaiheisiin kuluu enemmän aikaa ja rahaa, koska lumi ja jää vaikeuttavat ja tuovat ylimääräisiä työvaiheita. Kesällä työ sujuu nopeammin parempien olosuhteiden takia. Vaativat työtehtävät olisi hyvä ajoittaa kesälle, vaikka se ei aina olisikaan mahdollista.

Rantamuurin keskeisimpiä työvaiheita ovat:

- Ruoppaus, massanvaihto, täytöt
- Tarvittavan työsillan rakentaminen
- Perustustyöt, ankkurointi
- Palkin rakentaminen, raudoitustyöt, betonointityöt
- Kivien/elementtien asennus, saumaus
- Rantamuurin varusteiden asennus

3.1 Ruoppaus

Ruoppauksella tarkoitetaan maa-aineksen ja lietteen koneellista poistamista vesialueen pohjasta. Ruoppaustoimenpiteet tulee aina suunnitella ja toteuttaa huolellisesti, jotta mahdollisilta ympäristöhaitoilta vältytään. (ELY-keskus, 2019)

Rantamuurin rakentamisen aloittamiseksi rannalta on poistettava ylimääräiset ja mahdollisesti pilaantuneet maat. Merenpohja ruopataan vaaditulle tasolle suunnitelma-asiakirjojen mukaan. Mikäli ruoppausmassat sisältävät pilaantuneita maita, ne tulee kuljettaa välivarastoon. Ruoppaustyöt suoritetaan pitkäpuomisella kaivinkoneella niin, että rantaa saadaan ruopattua riittävältä syvyydeltä ja etäisyydeltä. Kaivuumaat kuljetetaan välivarastoon dumperilla.

3.2 Työsilta

Työsilta on väliaikainen rakenne, jonka tarkoituksena on toimia rantamuurin rakentamisen mahdollistavana tekijänä ja työalustana eriävien työvaiheiden toteutuksessa. Työsillan tulee olla riittävän pitkä ja leveä niin, että siinä mahtuu työskentelemään paalutuskoneilla ja siirtokalustolla. Työsillan tulee kestää painavia kuormia kuten autonostureita ja paalutuskalustoa, jotka voivat painaa satoja tonneja eikä jatkuva liikkuminen sillalla saa aiheuttaa työsillalla vaurioita. Työsilta vaatii vankan perustuksen ja tarkat rasislaskelmat.

Yleisimpänä perusratkaisuna työsilloissa käytetään yleensä halkaisijaltaan alle 300 mm pienpaaluja. Yleisin käytetty materiaali on teräs, mutta työsillassa on mahdollista käyttää myös puu- ja betonipaaluja. Geo- ja rakennesuunnittelija määrittää käytettävien paalujen koon ja seinämävahvuuden. Työsilta perustetaan lyötävillä tai porattavilla paaluilla riippuen kohteesta ja perustamisolosuhteista. (Sillanpää, 2019, ss. 2-6)

Asennettujen paalujen yläpään hitsataan teräksinen HEB-palkki. Palkki kulkee paalurivin kaikkien paalujen päällä. HEB-palkin koon määrittää rakennesuunnittelija. Paaluja asennetaan suunnitelmien mukainen määrä riveihin vaaditulla etenemällä. Paalut tuetaan poikittaispalkkeihin vinosidonnalla eli reivauksella, jotta paalujen nurjahdus pystytään estämään. Vaakasuuntainen rasitus estetään myös reivaamalla vaakasuuntaiset paalurivit

toisiinsa. Kun vaakarivejä on tehty useampi, kiinnitetään pitkittäispalkit paaluihin ja poikkipalkkiin hitsaamalla. Pitkittäispalkit ovat poikkitaipalkkeja pienempää kokoluokkaa, mutta niitä asennetaan tiheämmin. Työsillan kansi tehdään puutavarasta kuten 150 x 200 mm pelkkahirrestä. (Sillanpää, 2019, ss. 2-6)

3.3 Rantamuurin porapaalutus

Suomessa paalujen poraus suoritetaan yleensä käyttämällä iskeviä porausmenetelmiä.

Iskevät porausmenetelmät perustuvat neljään pääkomponenttiin:

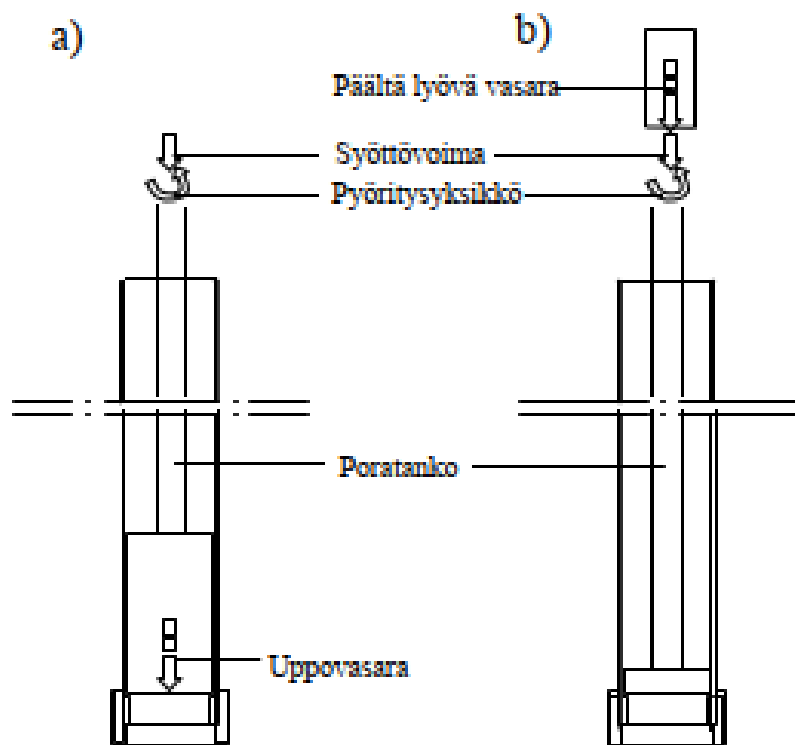
- Syöttövoima
- Pyöritys
- Isku
- Huuhtelu

Käytettävä porauskalusto on joko päältä lyövää kalustoa tai uppoporakalustoa. Päältä lyövällä kalustolla voidaan porata noin 200 mm poraputkea, kun taas uppoporakalustolla voidaan suurimmillaan porata noin 800 mm – 1000 mm porausputkea. Päältä lyövässä kalustossa voi olla joko pneumaattinen tai hydraulinen pora. Uppoporakalusto on usein pneumaattinen. Uppoporauskaluston etuna on parempi hyötysuhde, koska iskuenergia saadaan tehokkaammin käyttöön kuin päältä iskevässä kalustossa. Kuvassa 4 esitetään erilaisten porauskalustojen toimintaperiaatteet. Putken poraukseen on kaksi erilaista menetelmää: epäkeskinen ja keskinen porausmenetelmä. (Tiehallinto, 2001)

Epäkeskisen porausmenetelmän kalusto koostuu pilottikruunusta ja epäkeskisestä avarrinkruunusta. Epäkeskisessä porausmenetelmässä voidaan käyttää sekä päältä lyövää kalustoa, että uppoporakalustoa. Poraus tapahtuu epäkeskisen avarrinkruunun avartaessa pilottikruunun tekemän porausreiän hieman suuremmaksi kuin putken halkaisija. Porausputkea vedetään porakruunulla samanaikaisesti maahan. Poiskulkeva maa kulkeutuu huuhteluaineen puhaltaessa maa-aineksen poraputkea pitkin ulos. Poratanko nostetaan pois putkesta kiertämällä poratanko vastakkaiseen poraussuuntaan tavoitesyvyyden saavutettua. (Tiehallinto, 2001)

Keskisen porausmenetelmän kalusto koostuu pilottikruunusta ja keskeisestä avarrinkruunusta. Keskeisessä porausmenetelmässä voidaan käyttää sekä päältä lyövä että uppoporauskalustoa. Porausputken alapäähän kiinnitetään avarrinkruunu, joka kuitenkin pääsee pyörimään ilman, että porausputki pyörii. Porauksen aikana avarrinkruunu on lukittuna pilottikruunuun. Tavoitesyvyyden saavutettua pilottikruunu irrotetaan avarrinkruunusta ja nostetaan ylös. (Tiehallinto, 2001)

Kuva 4. Porauskalustojen periaatteet (Tiehallinto, 2001)



Kuva 14 Porauskalustojen periaate a) uppoporakalusto b) päältälyövä kalusto

3.3.1 Paalujen valmistelu ja asennus

Maakenkä kiinnitetään paaluihin hitsaamalla RD-paaluputken ohjeiden mukaisesti. Paalut pyritään katkaisemaan oikean mittaisiksi suunnitelmien mukaan, jotta hukalta ja paalun katkaisuun kuluvalta ajalta säästytään. Paalut kuljetetaan porauskohteen läheisyyteen.

Paalutus aloitetaan asemoimalla paalu tarkasti paikoilleen ja varmistetaan vatupassilla paalun pystyysuus ja kaltevuus. Paalun sijainti ja kaltevuus tarkistetaan vielä paalun

asennuksen alkuvaiheessa, kun paalun pää on porautunut jo hieman maahan. Paalussa, jossa sijaintipoikkeama on arvioitu liian suureksi, voidaan sitä yrittää suoristaa pienillä liikkeillä tai aloittaa asennus uudestaan nostamalla paalu ylös. RD-paalujen poraamisessa noudatetaan vasaran ja porakruunuvalmistajan ohjeita ja suosituksia. (SSAB, 2020)

Porauksen aikana syöttövoiman aiheuttama paine pilottikruunun alla on pienempi kuin σ tai lohcareiden kohdalla syöttövoima pidetään pienenä ja pyöritysnopeutta nostetaan. Tämä vähentää riskiä paalun liialliselle siirtymiselle, kallistumiselle tai käyristymiselle. Mikäli on mahdollista, että paalu kohtaa maaperässä puuainesta, on suositeltavaa käyttää porauksessa erikoiskruunua läpäisemisen onnistumiseksi. Porauksen huuhteluaineena voidaan käyttää ilmaa, vettä, polymeerejä tai sementtilaastia. Huuhteluaineen mukana poistuvan maaperän tulisi olla pienempi tai enintään sama kuin porattavan RD-paalun tilavuus. (SSAB, 2020)

Paalut porataan kallioon suunnitelman mukaisesti. Kallioporausvaiheessa tulee kallion laadun arvioimiseksi kiinnittää huomiota poralietteen väriin, porauksen tunkeutumisenopeuteen ja huuhteluveden ylösvirtaukseen. Kallioon porautuvat RD-paalut tarkastuslyödään aina poratankojen ja pilottikruunun ylösnoston jälkeen lyömällä poravasarella tarkastuslyönnit paalun yläpään. RD-paalujen porauksen aikana tarkkaillaan porauksen vaikutusta ympäröivään maaperään ja haitalliset vaikutukset otetaan huomioon asennuksessa. Poraus voi aiheuttaa maaperässä häiriintymistä, huokosvedenpaineen kasvua sekä maaperän löyhentymistä. (SSAB, 2020)

Kuva 5. Vinopaalujen porausta työsillalla.



3.3.2 Paalujen jatkaminen ja katkaisu

Porapaalut jatketaan suunnitelma-asiakirjojen tai paaluvalmistajien ohjeiden mukaisesti. Porapaalut jatketaan hitsaamalla tai mekaanisella jatkoksella. Paalujen hitsaus tehdään ulkopuolelta, jolloin railon muodon pitää olla sellainen, että riittävä läpihitsautuminen ja tasainen juuren kupu sisäpuolelle varmistetaan. Paalujen hitsauksessa on suositeltavaa käyttää juuritukea railon sisäpuolella. Alle 10 asteen lämpötilassa paalujen päät esilämmitetään 5–100 celsiusasteisiksi ennen hitsauksen aloittamista (SSAB, 2020) (132450.3, 2010).

Paalujen päiden on oltava sisä- ja ulkopuolelta puhtaat liasta, rasvasta, kosteudesta ja ruosteesta 50 mm railon molemmilta puolilta hitsausvirheiden välttämiseksi. Paalujen päät

keskitetään ja sovitetaan niin, että jatkettavat paalut ovat sisäpinnoiltaan kohdakkain ja niiden väliin jää tarvittava rako. Kun paalut on saatu kohdalleen, silloitetaan paalut kiinni lyhyillä siltahitseillä. Täyttöpalot hitsataan 3,2 mm:n puikolla (SSAB, 2020).

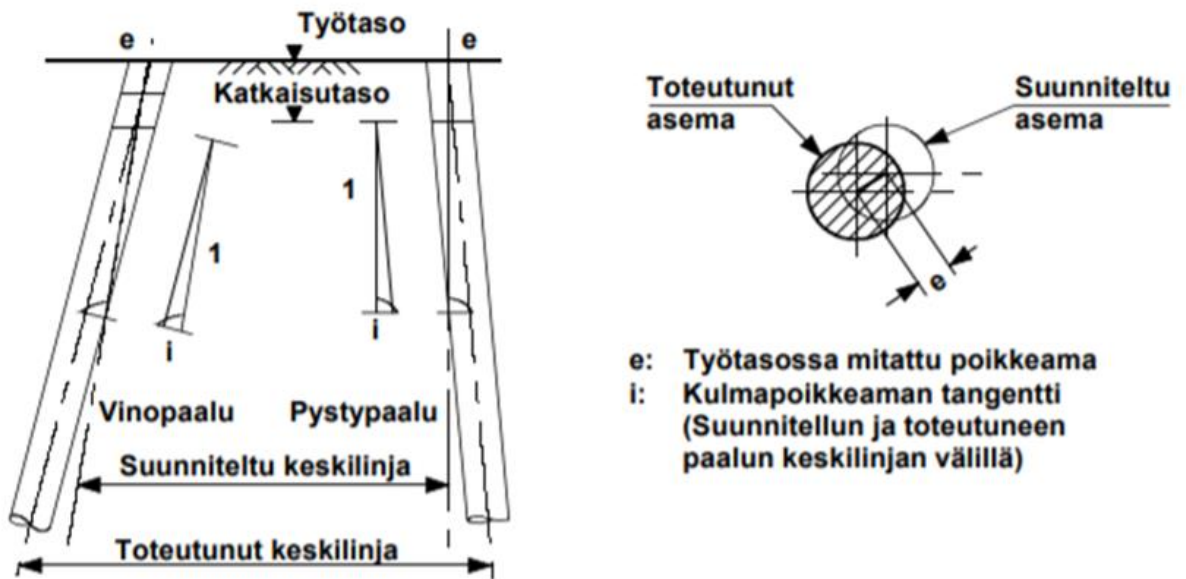
Paalut katkaistaan suunnitelma-asiakirjojen mukaisesta katkaisukorkeudesta kohtisuoraan paalun akselin kohtisuoruuteen nähden, ellei suunnitelma-asiakirjoissa toisin mainita. Paalujen katkaisu tapahtuu polttohitsaamalla mittamiehen antamasta katkaisukorosta. Teräspaalujen päät pitää mahdollisuuksien mukaan sulkea heti katkaisun jälkeen turvallisuussyistä. (132450.3, 2010)

3.3.3 Sallitut sijaintipoikkeamat ja toleranssit

Porapaalujen sallitut sijaintipoikkeamat ovat kohteen vaativuusluokan mukaisia (Tiehallinto, 2001).

- a) paikalleen mittaus ± 5 mm
- b) pysty- ja vinopaalut ja niiden asema vaakatasossa työtasolta mitattuna
 - $e=50$ mm, helpossa luokassa
 - $e=25$ mm, vaativassa luokassa
 - $e=15$ mm, hyvin vaativassa luokassa
- c) pysty- ja vinopaalut, joiden kaltevuus on jyrkempi kuin 15:1
 - paalun suunnittelun ja toteutuneen keskilinjan välisen kulman tangentti
 - $i < 0,03 < 30$ mm/m), helpossa luokassa
 - $i < 0,02 < 20$ mm/m), vaativassa luokassa
 - $i < 0,01 < 10$ mm/m), hyvin vaativassa luokassa
- d) vinopaalut, joiden kaltevuus on 4:1...15:1
 - paalun suunnittelun ja toteutuneen keskilinjan välisen kulman tangentti
 - $i < 0,05 < 50$ mm/m), helpossa luokassa
 - $i < 0,035 < 35$ mm/m), vaativassa luokassa
 - $i < 0,02 < 20$ mm/m), hyvin vaativassa luokassa

Kuva 6. Porapaalujen sallitut sijaintipoikkeamat (Tiehallinto, 2001)



3.4 Vinopaalujen ankkurointi ja jännitys

Kallioankkureiden tehtävä on välittää yläpuoliin rakenteisiin kohdistuvat vetokuormitukset peruskallioon. Kallioankkurin rakenne muodostuu venymäosuudesta ja tartuntaosuudesta. Ankkuri injektoidaan tartuntaosuudeltaan kallioon, ja tartuntaosuudelta ankkuriin kohdistuvat voimat siirtyvät kallioon. Venymäosuudeksi kutsutaan etäisyyttä tartuntaosuuden päästä ankkurin päähän. Kallioankkureina käytetään joko punosankkureita, putkiankkureita tai pora-ankkureita. Kallioankkureiden käytettävät materiaalit ovat korkealujuuksia punosvajereita, terästankoja tai teräsputkiä. (Ahomies, 2016, ss. 23-24)

Vinopaalujen porauksessa käytetään vastaavanlaista kalustoa ja porausmenetelmää kuin pystypaalujen asennuksessa. Vinopaalujen porauksessa tulee ottaa huomioon toleranssit ja porauskulmat. Vinopaaluihin asennetaan rauditus ja kallioankkurin porausputki. Porausputki asennetaan keskeisesti. Porausputkeen on hitsattu harjaterästankoa keskittämään porausputki paalussa. Paalu betonoidaan vedenalaisena valuna itsetiivistyvällä massalla. Paaluihin on asennettu valmiiksi valuputki, jotta betonivalu saadaan täytettyä pohjaan saakka mahdollisimman vähäisellä betonin erottumisella. Kun paalu on valettu, katkaistaan ylimääräinen osa valuputkesta ja porausputkesta ja siistitään paalun pää

ylimääräisestä betonista. Paalun päälle asennetaan jännitystyötä varten teräslevy. (Helsingin kaupunki, 2019)

Ankkureille vaadittu reikä kallioon porataan vinopaaluun asennetun porausputken läpi. Kallion ehjyys tutkitaan vesimenekikokeella jokaisen ankkurin kohdalta. Mikäli kallio on rikkoutunut, se injektoidaan InfraRYL:in kohdan 15100 mukaan. Vedenmenekin tulee olla alle 1 l/min/m. Käytettävä paine on 0,1 MPa suhteessa pohjaveden paineeseen. Mikäli kalliota on jouduttu injektoimaan, porataan reikä auki uudestaan ja varmistetaan ehjyys uudestaan vesimenekikokeella. (Helsingin kaupunki, 2019)

Kun kallion ehjyys on varmistettu, injektoidaan kallioankkuri kallioon ja suojataan jänteet vapaalla pituudella jännemenetelmän mukaan. Ankkurit ovat vapaalla pituudella varustettuja jännitettäviä punosankkureita. Ankkurit ovat pysyviä ja niissä käytetään kaksinkertaista korroosiosuojausta, joka täyttää SFS- EN 1537:n vaatimukset. (Helsingin kaupunki, 2019)

Kaikille ankkureiden koekuormitus tehdään ohjeen Esijännitettyjen maa- ja kallioankkureiden koestus (LO 30/2015) mukaan. Kallioankkurit voidaan koekuormittaa, kun paalun betoni ja ankkurin alapuolinen injektointi on saavuttanut lujuuden vaaditun lujuuden. Porapaaluseinän yläpuolisen palkin alaosan tulee olla valettu tai vinopaalujen yläpäähän tulee olla muutoin tuettu sivusuunnassa. (Helsingin kaupunki, 2019)

3.5 Paalujen rauditus

Paalujen raudoituksessa noudatetaan Suurpaalutusohjeessa (SPO-2001) annettuja ohjeita. Paalujen raudoituksessa käytetään valmiiksi koottuja raudituskehikoita. Raudituskehikko koostuu suorista raudoitangoista, jotka on kiinnitetty spiraalimaiseen raudoite kerään (kuva 7). Paalujen raudoitteet nostetaan paikoilleen hiab-autoa apuna käyttäen. Raudoitteet asennetaan koko paalun pituudelta ja niistä jätetään tartunnat näkyviin yläpuolisia palkkeja varten. Raudoitteet hitsataan kiinni paaluihin, jotta ne eivät pääse nousemaan valun aikana betonin aiheuttaman paineen aiheuttamana. Raudoitteen asennuksessa tarvitaan ainakin yksi jalkamies ohjailemaan raudoitushäkkiä oikealle paikalleen. (Tiehallinto, 2001)

Kuva 7. RD600-pystypaalujen raudoitus.



3.6 Paalujen betonointi

Ennen betonoinnin aloittamista on tarkistettava, että porausputki on puhdas. Putki on mahdollisesti puhdistettava ennen betonointia käyttämällä paineilmaa tai lietepumppua. Betonointi suoritetaan vedenalaisena valuna Suurpaalutusohjeen (SPO-2001) mukaisesti, mikäli paalua ei pystytä pitämään kuivana. (Tiehallinto, 2001)

Paalujen betonoinnissa suositellaan käyttämään apuna valuputkea, jonka avulla betonointi saadaan aloitettua paalun pohjalta. Paalu valetaan hiljalleen täyteen pienellä paineella, jotta vältetään betonin liiallisesta erottumisesta. Pitkän valuputken nostelussa käytetään apuna hiab tai mobiilinosturia. Paalujen valussa käytetään suunnitelmien mukaista itsestään tiivistyvää (IT) betonia.

Vinopaaluihin asennetaan valmiiksi valuputket. Valuputken avulla paalu saadaan pohjalta tasaisesti täytettyä kerralla. Valuputki hitsataan raudoitteeseen kiinni, jottei se irtoa

pumppauksen voimasta. Betonipumppu saadaan liitettyä suoraan valuputkeen lukon ja tiivisteet avulla.

3.7 Rantamuurirakenne luonnonverhouselementillä

Toteutettaessa rantamuuuri erillisillä luonnonverhousbetonielementeillä, perustuksen päälle valetaan palkki. Palkki toimii kuormaa jakavana rakenteena ja verhouselementtien asennuksen tukena. Palkki rakennetaan kahdessa osassa. Porapaalun raudoitus ja betonointitöiden jälkeen rakennetaan palkin alaosa. Palkin alaosan varassa tehdään palkin kallioankkureiden jännittämistyö. Näiden töiden jälkeen rakennetaan palkin yläosa (kuva 8). Valuosien välinen työsauma on laadultaan InfraRYL kohdan 42020.3.4.5 mukainen pesty työsauma. (Helsingin kaupunki, 2009)

Rantamuurien verhouselementteinä käytetään teräsbetonisia elementtejä, joihin on tehtaalla asennettu verhouskivet. Verhouselementit asennetaan palkkiin suunnitelmien mukaisella kiinnitysratkaisulla. Elementtien nostelussa käytetään apuna mobiilinosturia. Elementtien varastointiin tulee kiinnittää työmaalla huomiota, ettei elementteihin asennettuja teräsosia vaurioiteta. Elementit on nostettava ja varastoitava pystyasennossa. (Helsingin kaupunki, 2019)

Kuva 8. Rantamuuripalkki valmiina valuun.



3.8 Rantamuurirakenne paikallavaluna

Rantamuurirakenne toteutetaan paikallavaluna, jossa kiviverhous valetaan yhdessä palkin kanssa perustuksen päälle. Asennus aloitetaan raudoittamalla seinämä koko muurin korkeudelta. Raudoitus saadaan tuettua ponttiseinään hitsattujen kierretankojen avulla, mitkä toimivat myös muotin ankkuroinnissa. Liikuntasauvojen välit erotetaan finfoam-kaistalla. Muurissa valetaan ensin alaosa. Alaosa kiinnittää ja tukee raudoitusta ja antaa kiville asennusalustan ja koron. Kivien asennus aloitetaan alajuoksulta ja jatketaan asennusta ylös saakka (kuva 9). Kivet kiinnitetään injektoimalla kierretangot kivien porattuihin reikiin ja hitsaamalla kierretangot raudoitukseen, kun kivet on saatu oikeaan korkoon.

Kun kiviverhous on saatu asennettua, tehdään sen ympärille muotti. Muotti tulee tukea ja surrata hyvin, jotta se kestää korkean seinän valupaineen. Raudoituksen tukemiseksi voidaan käyttää apuna liinoja, jotka voi esimerkiksi ankkuroida paalulaattaan. Kiviverhouksen tausta valetaan yhtenäisenä kokonaisuutena.

Kuva 9. Rantamuurin kivien- ja muotin asennus käynnissä.

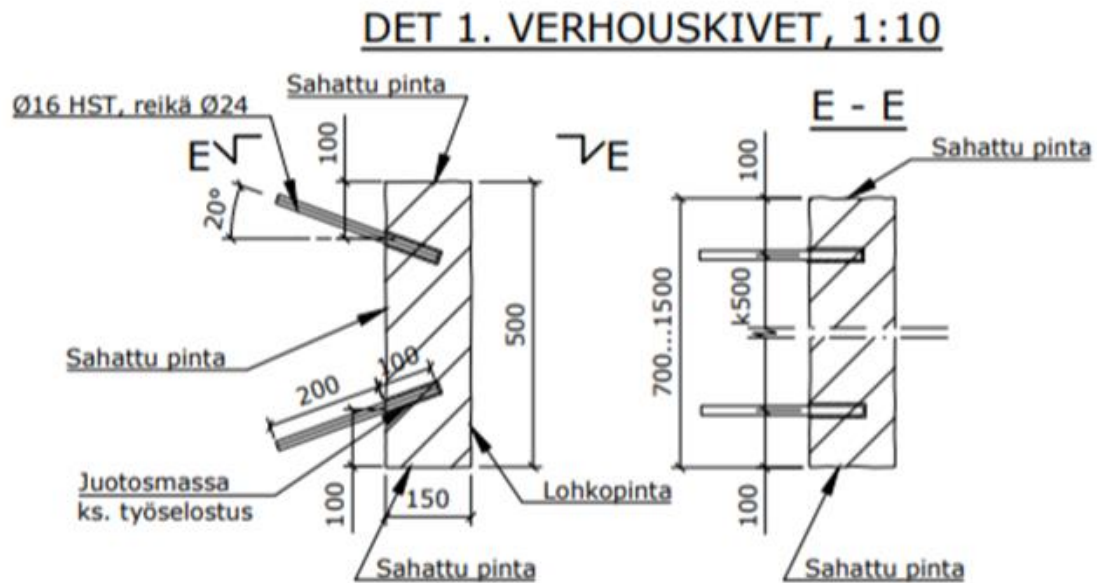


3.9 Verhouskivien asennus

Verhouskivien asennus aloitetaan, kun muurin raudoitus on saatu valmiiksi. Kivien nostelussa käytetään apuna esimerkiksi hiab-autoa. Kivet nostetaan paikalleen liinalla, joka asetetaan kiven ympärille niin, että kivi saadaan suoraan nostettua paikalleen. Kivien saamiseksi korkoon käytetään eri paksuisia kiiloja. Kiilat asetetaan kivien alle ennen kivien nostoa. Kivien asennus aloitetaan alimman juoksun kivistä. Koron määrittämiseksi käytetään apuna linjalankaa. Kun kivet on saatu korkoon ja oikeaan linjaa aloitetaan kivien kiinnitys. Kivissä on valmiiksi porattu neljä reikää, johon injektoidaan haponkestävät harjatankotapit (kuva 10). Tappeja taivutetaan oikeaan muotoon, jotta se saadaan hitsattua riittävästä muurin raudoitukseen. Kun ensimmäinen juoksu kivistä on hitsattu, aloitetaan seuraavan juoksun asennus vastaavalla tavalla. Kiilat poistetaan kiven välistä ennen valua.

Kivien saumoihin asennetaan valun ajaksi saumanauhat. Saumanauhojen tehtävä on estää betonin pursuaminen kivien välistä ja jättää riittävästä tilaa kivien saumaukselle. Kivet saumataan suunnitelmien mukaisella saumausaineella, kun muotti on purettu.

Kuva 10. Verhouskivien kiinnitys. (suunnitellut FCG)

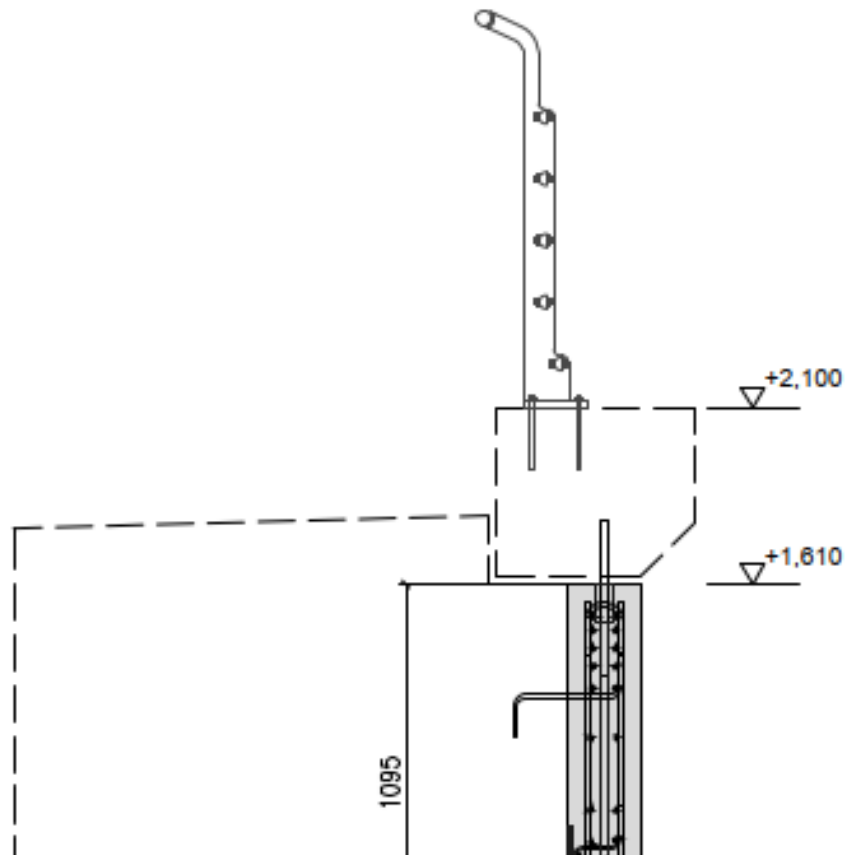


3.10 Kansikiven ja kaiteen asennus

Koko rantamuurin matkalle asennetaan luonnonkivinen kansikivi (kuva 13). Kansikivet ovat muotoiltuja lipallisia kiviä, joiden pintakäsittely näkyvillä sivuilla on poltettu. Kansikivi asennetaan injektoimalla kivi muuriin. Kansikivessä on vastaavanlaiset valmiiksi poratut reiät kuten verhouskivissäkin. Niiden kiinnitys muuriin tapahtuu injektoimalla kierretankotappi kiveen ja muuriin. Apuna käytetään asennuskiiloja. Kansikiven ja muurin väliin tehdään sementtilaastilla. (Helsingin kaupunki, 2019)

Rantamuurin reunaan asennetaan kevyenliikenteen kaide (kuva 11). Kaide kiinnitetään kansikiveen suunnitelmien mukaisesti.

Kuva 11. Rantamuurin kansikivi ja kaide. (suunnitellut Sitowise)



4 Merivesi

Merivesi antaa työskentelylle omat haasteensa ja sen huomioiminen on syytä ottaa huomioon jo suunnitteluvaiheessa. Meriveden suolaisuus ja vedenpinnan korkeuden vaihtelu luovat omat haasteensa työvaiheiden läpi viemiseksi. Erityisesti rakenteissa ja materiaalivalinnoissa pitää huomioida meriveden suolaisuus ja merenkäynnin rasitukset. Rantamuurirakenteiden mitoituksessa on otettava huomioon erityisesti meriveden aiheuttamat korroosiovaikutukset.

Rakennettaessa meren rannalle poiketaan ns. normaalista rakentamisesta ja suuremmat tuulikuormat sekä maaperäolosuhteiden mahdollinen haasteellisuus ja vaihtelevuus aiheuttavat haasteita rakentamiseen. Helsingin edustalla meren läheisyydessä lukuiset alueet omaavat savipohjaiset maaperäolosuhteet. Entisten kaatopaikkojen ja vanhojen venesatamien ja teollisuusalueiden takia maaperä voi alueilla olla myös erittäin pilaantunutta ja aiheuttaa tarvittavia toimenpiteitä rakentamisessa.

Rantarakentamisessa on jollain alueilla tehty virheitä, jotka ovat johtaneet poikkeuksellisista olosuhteista vaurioihin ja kalliisiin toimenpiteisiin. Rantamuurien rakentamisessa on otettava huomioon, että niiden perustukset viedään riittävän syväälle, jotta muurin taustan täyttö ei kulkeudu veden virtauksen mukana mereen. Rantamuurin etupinnan muotoilun suunnittelussa on kiinnitettävä huomiota siihen, että roiskuva vesi suuntautuisi takaisin merelle päin ja siihen, että ylimääräinen vesi pääsee muurin takaa poistumaan. (Helsingin kaupunki, 2009)

4.1 Merivesiolosuhteiden vaikutus työskentelyyn ja ympäristöön

Meriveden läheisyydessä työskentely aiheuttaa ongelmia eikä merta vastaan pysty taistelemaan. Tärkeää on kuitenkin ennakoida ja seurata meriveden pinnan korkeutta ja ajoittaa matalan meriveden työt niihin hetkiin, kun merivesi on alimmillaan. Meren läheisyydessä on syytä kiinnittää huomiota myös kovaan puuskittaiseen tuuleen, joka voi saada aikaan tavaroiden lentelyä ja suuria vahinkoja. Työturvallisuuteen on meriveden ääressä työskennellessä kiinnitettävä erityistä huomiota.

Merenrantojen läheisyydessä etenkin paalujenporaustyöt voivat aiheuttavat liikettä epästabiilissa maaperässä. Porauksen seurauksena rantojen maamassat voivat alkaa vajoamaan merelle päin, etenkin jos rannan maamassat sisältävät täytemaata. Maan vajoamisesta voi seurata vaaratilanteita ja rahallista vahinkoa. Maan liikkeitä tulisi seurata porauksen aikana aktiivisesti.

4.2 Betonin vaatimukset

Vesirakenteiden (rantamuurit, tukimuurin, padot jne.) betonirakenteiden osalta voidaan noudattaa merivedessä olevien tukirakenteiden ohjeita tukirakenteiden tasojen NW-1 ja HW +2 välissä. Rantamuureissa suunniteltu käyttöikä 200 vuotta. (Helsingin kaupungin rakennusvirasto, 2017)

- Betonirakenteissa on käytettävä C55/67 betonia, jonka P-luku on P50.

- Pintarauoituksena käytetään rosteri betoniteräksiä ja lisätään tavanomaisten raudoitteiden betonipeitettä 50 mm tai käytetään erillistä suojaverhousta.

Betonin merenkestävyys riippuu käytetystä sementtilaadusta ja betonin läpäisevyydestä. Betonin fysikaalisiin rasitustekijöihin verrattuna meriveden kemiallinen vaikutus meribetonirakenteisiin on vähäinen. Meribetonirakenteet kestävät meriveden kemiallisen rasituksen hyvin. (Salparanta, 1987)

Rakenteissa ja betonin laadussa on suunnittelussa otettava huomioon meriveden vaikutukset. Betonin suunniteltu käyttöikä määritellään kohteen mukaan. Betonin käyttöiällä tarkoitetaan rakenteiden kestävyuden suunnittelua säilyvyyden osalta. Lähtötietona käyttöikäsuunnitteluun tarvitaan ympäristöolosuhteet (rasitusluokat) sekä ajanjakso, jonka rakenteen edellytetään kestävän. Suomi on betonirakenteiden käyttöikäsuunnittelun edelläkävijä. Verkkosaaressa betoneissa käytettiin poikkeuksellisesti 150 vuoden käyttöikää haastavien olosuhteiden takia. (Punkki, 2017)

Taulukko 1. Betonin vaadittavia rasitusluokkia rantamuurin betonirakenteissa. (Rudus, Hannu Timonen-Nissi, 2019)

XC1...XC4	Karbonatisoitumisen aiheuttama korroosio
XS1...XS4	Merivedessä olevien kloridien aiheuttama korroosio
XF1...XF4	Jäätymis- / sulamisrasitus
XA1...XA3	Kemiallinen rasitus
P- LUKU	P-luku betoni on toistuvan jäätymis-sulamisrasituksen ja suolarasituksen aiheuttaman korroosion alaisiin rakenteisiin tarkoitettu betonilaatu.

4.3 Rantamuurirakenteiden vaatimukset

Rantamuurirakenteisiin kohdistuu erilaisia merivesiolosuhteiden aiheuttamia rasituksia verrattuna sisämaan rakentamiseen. Rakenteisiin kohdistuvat kuormat ovat sisämaan rakentamista merkittävämpiä, ja ne on syytä ottaa huomioon rakenteita suunniteltaessa.

Rakenteisiin kohdistuvia kuormia:

- Voimakkaat ja puuskittaiset tuulikuormat
- Vesikuormat
- Jääkuormat
- Viistosateen aiheuttamat kuormat
- Merenpinnan korkeuden vaihtelut

Rakenteiden mitoituksessa on otettava huomioon jään paksuus, liikkeet, kovuus ja nostovoima. Jään paksuus, lämpötila ja vedenpinnan korkeuden vaihtelut vaikuttavat jään nostovoimaan. Jään nostovoima voi jäälauttojen liikkeillään saada rantamuurissa aikaan tuhoa, jos sitä ei ole suunnittelussa huomioitu. (Lönnqvist, 2017, ss. 21-23)

Suunnittelussa pitää huomioida vaihtelevien vedenpinnan vaihtelujen tuomat rasitukset.

Rakenteen tulee kestää vedenpaineen aiheuttamat vaihtelut. Materiaalien on myös kestävä meriveden suolaisuuden aiheuttama korroosio. Korroosioon varaudutaan materiaalien riittävillä korroosiovaroilla ja oikeilla materiaalivalinnoilla. Työvaiheiden suunnittelussa on otettava huomioon vedenpinnan korkeuden äkkinäiset vaihtelut.

Rakenteet on mitoitettava niin, että ne kestävät käyttöaikansa tapahtuvan veden ylimmän ja alimman vedenpinnan vaihtelut. (Lönnqvist, 2017, ss. 21-23)

Meren aaltojen aiheuttama rannan eroosio, aaltojen kuormitus ja kosteusrasitus on otettava huomioon suunniteltaessa rantarakenteita. Aaltojen korkeuteen vaikuttavat rannan syvyys sekä mahdolliset suojaavat saaret sekä matalikot. Mitoituksessa on syytä ottaa huomioon rannan jyrkkyys ja ympäröivä merialue. Voimakkaat tuulet roiskivat ja kastelevat rakenteita ja etenkin rakenteiden kosteudeneristys ja vedenpoisto on huomioitava suunnittelussa. (Lönnqvist, 2017, ss. 21-23)

Taulukko 2. Aallon nousukorkeuksia rannan jyrkkyyden ja ulapan pituuden funktiona (Helsingin kaupunki, 2009)

Ulpain pituus, km	Loiva ranta	1:10	Jyrkkä ranta
1	30 cm		90 cm
2	40 cm		140 cm
5	60 cm		180 cm
10	100 cm		290 cm

5 Case: Verkkosaaren pohjoisosan rakentaminen

Verkkosaaren pohjoisosan rakentaminen on osa Kalasatamaan rakennettavaa kokonaisuutta. Verkkosaari sijaitsee Helsingissä kalasataman alueella, vanhalla teollisuus- ja satama-alueella. Alueelle rakennetaan asuinalue noin 3600 asukkaalle, päiväkotia sekä pienvenesatama. Hankkeeseen kuuluvat alueen esirakennustyöt, jotka sisältävät laajamittaisia kaivu-, louhintaa ja täyttötöitä, Verkkosaaren altaan kunnostustöitä, rantamuurien rakentamisen sekä johto- ja laitesiiroja. Hanke sisältää 13 hehtaarin urakka-alueen, josta poistetaan pilaantuneita maita 250 000 kuution edestä. Rannassa suoritetaan ruoppaustöitä ja rakennetaan 650 m pituinen työsilta rantamuurin rakentamista varten (GRK Infra Oy, 2019b).

Verkkosaarella rakennetaan kahta eri tyyppistä rantamuuria. Verkkosaaren ja Verkkoneulan rantamuri on ankkuroitu porapaaluseinä, jossa luonnonkiviverhous toteutetaan käyttäen porapaaluseinän palkin päälle perustettavia luonnonkiviverhouselementtejä.

Verkkosaarenkadun rantamuuri on combi-seinärakenteinen teräspaalu ja teräsponttiperusteinen paikallavalutukimuurirakenne.

Verkkosaaren alueella on erittäin paksuja savikerroksia ja paksuja täyttöjä. Täyttöjen alle on jäänyt osittain pehmeitä maakerroksia, jotka sisältävät jätteitä ja pilaantuneita maita. Alueen maapohjan stabiliteetti on helposti vaarantuvaa. Alueen vanhaa merenpohjaa on täytetty useissa jaksoissa pitkän ajan kuluessa. Pehmeät maakerrokset vaikuttavat lisätäyttöjen tekemiseen ja vaikeuttavat rakentamista. Maanpinta alueella on matalalla, joten alueella on tulvauhka. (Helsingin kaupunki, 2009)

5.1 Verkkosaarenrannan ja Verkkoneulan rantamuurin rakentaminen

Ankkuroidun porapaaluseinän toteutus aloitettiin ruoppaamalla rantamuurilinjan edustalla merenpohjaa ennen paalutustöiden aloitusta. Rantamuurilinjan edusta ruopattiin vaadittuun ruoppaustasoon -3.3 (N2000). Sallittu toleranssi haraustyölle oli 0...- 0,5 m. Nykyistä rantaa luiskattiin työsillalta, ettei rannalle aiheutettu työkonekuormaa heikon stabiliteetin vuoksi. Ruoppaustyöt suoritettiin pitkäpuomisella kaivinkoneella niin, että rantaa saatiin ruopattua riittävältä syvyydeltä ja etäisyydeltä. Ruoppausmassat kuljetettiin välivarastoon, josta ne lopulta kuljetettiin näytteiden oton jälkeen asianmukaisesti määrättyyn jatkokäsittelypisteeseen.

Ankkuroidun porapaaluseinän toteutuksen mahdollistamiseksi tarvittiin työsilta. Rantamuuri rakennettiin n. 20 m etäisyydelle entisestä rantaviivasta, joten työsilta rakennettiin niin sanotusti mereen. Asennus tapahtui aloittamalla paalujen lyöminen rannalta työsillan päistä ja etenemällä vaihe kerrallaan käyttämällä rakennettua työsiltaa hyväksi.

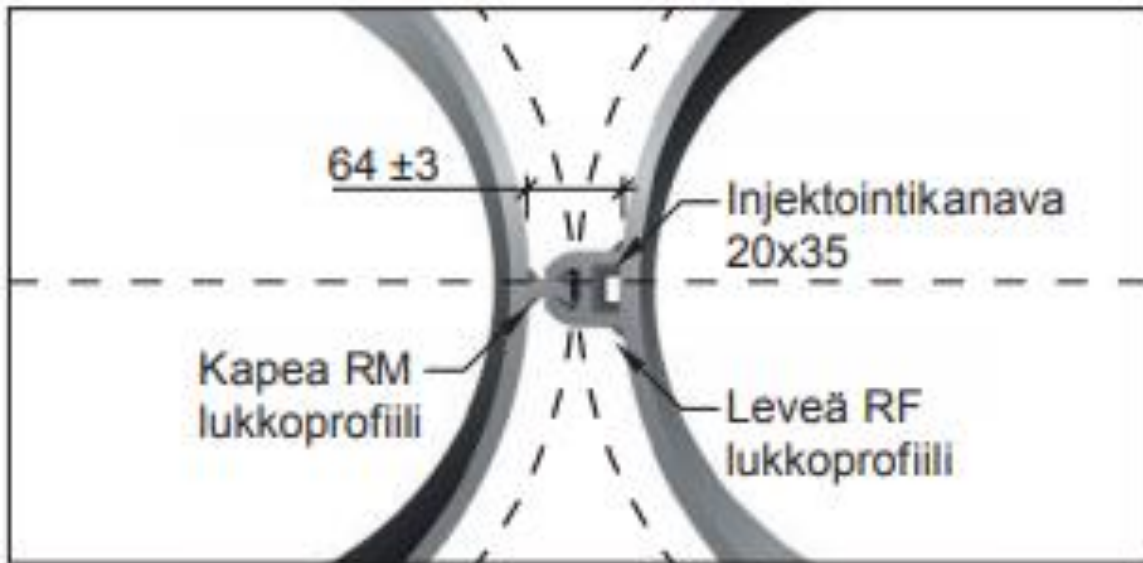
Työsilta perustettiin lyötävillä halkaisijaltaan 323/6.3 teräspaaluilla. Paalujen asennukseen käytettiin movaxilla varustettuja lyöntipaalukoneita. Paalut varustettiin kalliokärjillä ja ne lyötiin kallioon tai kovaan pohjaan. Työsillan toteutus aloitettiin lyömällä kaksi ensimmäistä paalulinjaa, joista toinen on maalla. Paalujen asennuksessa käytettiin apuna laakonkeja. Laakongit ovat pelkkahirrestä kasattuja nippuja, joita voidaan käyttää koneiden jalkojen alla tukena maan ollessa pehmeää. Paalut katkaistiin poikkileikkaamalla oikeaan tasoon työlautalta. Paalujen päälle nostettiin kaivinkoneella tai hiab-autolla poikittaispalkki HEB400,

joka hitsattiin yhteen paalujen kanssa. Vinositeet asennettiin käsityönä alalaipan päälle. Poikkitaipalkkien päälle asennettiin esivalmistellut laakongit varustettuna liukumisen estävillä lukkokynsillä. Pituussuuntaiset HEB300-palkit asennettiin paikoilleen nostosaksilla tai kouralla varustetulla kaivinkoneella. Kun kaikki palkit olivat paikoillaan, ne hitsattiin kiinni poikkitaipalkkiin. Pituussuuntaiset HEB200-palkit asennettiin työlautalta hitsattujen HEB100-poikkitaipalkkien päälle. Työsillan kansi pelkoitettiin koneapua käyttäen koko työsillan leveydeltä. Pelkoista tehtiin viiden kappaleen nippuja sitomalla ne kiinni toisiinsa hitsatuilla tapeilla tai 45x100 mm puu juoksuilla. Poikkitaipalkkien päähän hitsattiin pystytuet ja törmäyspalkit. Törmäyspalkkeihin hitsattiin puukaiteelle tarkoitetut PP-tukiprofiilit. (GRK Infra Oy, 2019c)

Työsillan rakentamista jatkettiin rakennetun työsillan päältä samalla työjärjestyksellä edeten. Työsillalle tehtiin riittävä määrä pistosilloja, jotta työskentely sillalla saatiin tehokkaaksi ja turvalliseksi. Pistosillat tehtiin samalla menetelmällä kiinnittämällä pistosilta olemassa olevaan rantarakenteeseen ja työsillan. Työsillalla tehdyt hitsiliitokset, kansirakenne ja työsillan paalut tarkastettiin asianmukaisesti.

Rantamuurin pystypaalutus suoritettiin porattavilla teräsputkipaaluilla RD600/16. Paaluihin asennettiin RM/RF- lukkoprofiilit (kuva 12). Paalujen poraussyvyys oli kallioon >2440 mm. Paaluissa on korroosiovaraa 8,25 mm. Paalutuksessa käytettiin Enteco -merkkisiä porapaalutuskoneita, jotka käyttävät uppoporausmenetelmää. Paalujen pituudet vaihtelevat 11 m ja 27 m välillä. Paaluraudoitukset nostettiin paaluihin käyttämällä apuna hiab-autoa tai mobiilinosturia. Paaluraudoitteina käytettiin tehtaalla valmistettuja raudituskehikoita. Paaluraudoitusta jatkettiin hitsaamalla syvissä paaluissa, jossa yhden paalukehikon pituus ei riittänyt. Paaluraudoitus asennettiin suunnitelmien mukaiselle syvyydelle ja laskettiin paalun halkaisijaa pidemmän harjaterästangon varaan, josta rauditus saatiin turvallisesti hitsattua paaluun kiinni. (Helsingin kaupunki, 2019)

Kuva 12. Paaluihin hitsataan RM/RF- lukkoprofiilit.



Vinoankkureita varten porattiin porapaaluseinän taustalle vinopaalut RD600/16, S355J2H. Vinopaalut porattiin suunnitelmien mukaisessa järjestyksessä ottaen huomioon porauksen aiheuttama maanperän rasitus. Vinopaalujen porauksessa käytettiin Bayer RTG 15 merkkistä porapaalutuskonetta, joka käyttää uppoporausmenetelmää. Paalut raudoitettiin RD220/12,5 rakenneputkella hiab-auton avustuksella. Raudoiteputki tulpattiin alapäästä, jotta betoni ei pääsisi paaluvalun aikana paalun alakautta rakenneputkeen. Raudoiteputkiin oli työmaalla asennettu valmiiksi keskitysraudat, jotta rakenneputki saatiin keskitettyä paaluun. Vinopaaluihin asennettiin valmiiksi 3 tuuman valuputket valua varten hiab-auton avustuksella ja hitsattiin se paaluun kiinni. (Helsingin kaupunki, 2019)

Pystypaalut puhdistettiin korkeapainehuuhtelulla käyttäen pitkää teräsputkea mobiilinosturin avustuksella, kuten kuvassa 13. Paalun pohjaan työnnettiin suurella paineella ilmaa, joka työnsi paalusta lian ja poralietteen putken kautta suihkuna ulos. Paalua on huuhdeltava siihen asti, että ulostuleva vesi on kirkasta. Kouralla varustettu kaivinkone suuntasi suihkuavan veden oikeaan suuntaan. Pysty- ja vinopaalut betonoitiin vedenalaisena valuna it-betonilla C30/37, XC2, XS2, XF2, XA2 (sulfaatinkestävä), P50 InfraRYL:in 41113.3.4 mukaisesti. Valettaessa vedenalaisena valuna käytettiin 5 MPa lujempaa betonia kuin suunnitelmissa oli esitetty. Paalut valettiin käyttäen pitkää valuputkea, joka laskettiin paalun pohjalle. Valuputken nostelussa käytettiin apuna hiab-autoa tai mobiilinosturia. Paalu valettiin täyteen matalalla paineella niin, että betoni työntää ja syrjäyttää veden pois

paalusta. Paalua valetaan niin kauan, että paalusta pulppuaa puhdasta betonia. Vinopaalut valetaan samalla periaatteella liittämällä betonipumppu suoraan valmiina olevaan valuputkeen. Vinopaalujen valun jälkeen paalun pää putsattiin ja asennettiin juottamalla paalun ja paaluhatun tyhjä väli juotosbetonilla. (Helsingin kaupunki, 2019)

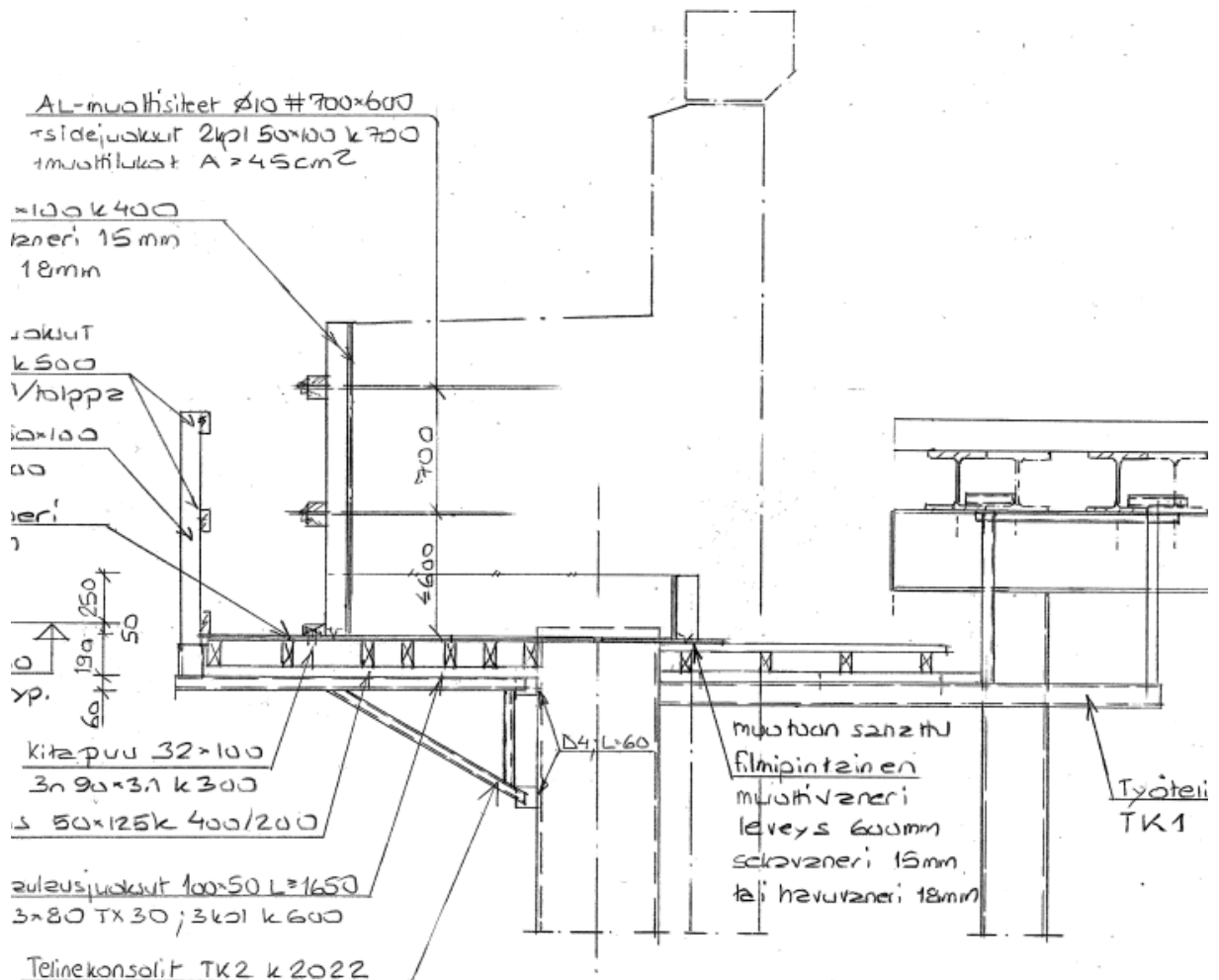
Kuva 13. Paalujen putsausta paineilman avulla.



Rantamuurin palkin rakennus aloitettiin, kun pysty- ja vinopaalut oli saatu valettua. Paalujen ympärille tehtiin vaadittava työtaso, jotta siinä pystyttiin työskentelemään. Paaluihin hitsattiin kiinni ns. työtasokonsolit, paalujen molemmille puolille, kuten kuvassa 14 voidaan havaita. Konsolien päälle tehtiin puusta työtaso, jossa pystyttiin turvallisesti

työskentelemään lähellä meren pintaa. Konsoliin kiinnitettiin puukaide putoamissuojaksi. Konsoli toimi myös samalla palkin pohjan kantavana muottina. Ensiksi rakennettiin palkin pohjan muotti konsolin päälle. Pohjamuotin vaneri leikattiin tarkasti paalujen mukaisesti. Muotti tehtiin konsolin päälle filmivanerista, jotka kiinnitettiin konsolien päälle asennettujen 48x98 mm patikoiden avulla. Palkin muotti aloitettiin rakentamalla ensimmäinen muottipinta. Palkki raudoitettiin ensin pohjarautoihin asti, mistä jätettiin tartunnat ylemmälle osalle. Palkki valettiin kahdessa osassa. Palkin alaosa valettiin 300 mm vahvuudelta, jonka jälkeen voitiin aloittaa vinopaalujen ankkurien jännitys.

Kuva 14. Porapaaluseinään hitsatut työtasokonsolit toimivat palkin muotin pohjana.



Ankkurin reikä porattiin paaluun asennetun rakenneputken kautta kallioon.

Ankkurointipituus on 12 m. Ankkurireiän halkaisija on 165 mm, joka porattiin käyttäen Atlas Copco 722 -merkkistä ankkurointivaunua. Ankkurireikä oli huuhdeltava vedellä ja paineilmalla puhtaaksi, jonka jälkeen poratulle reiälle suoritettiin vesimenekikoe.

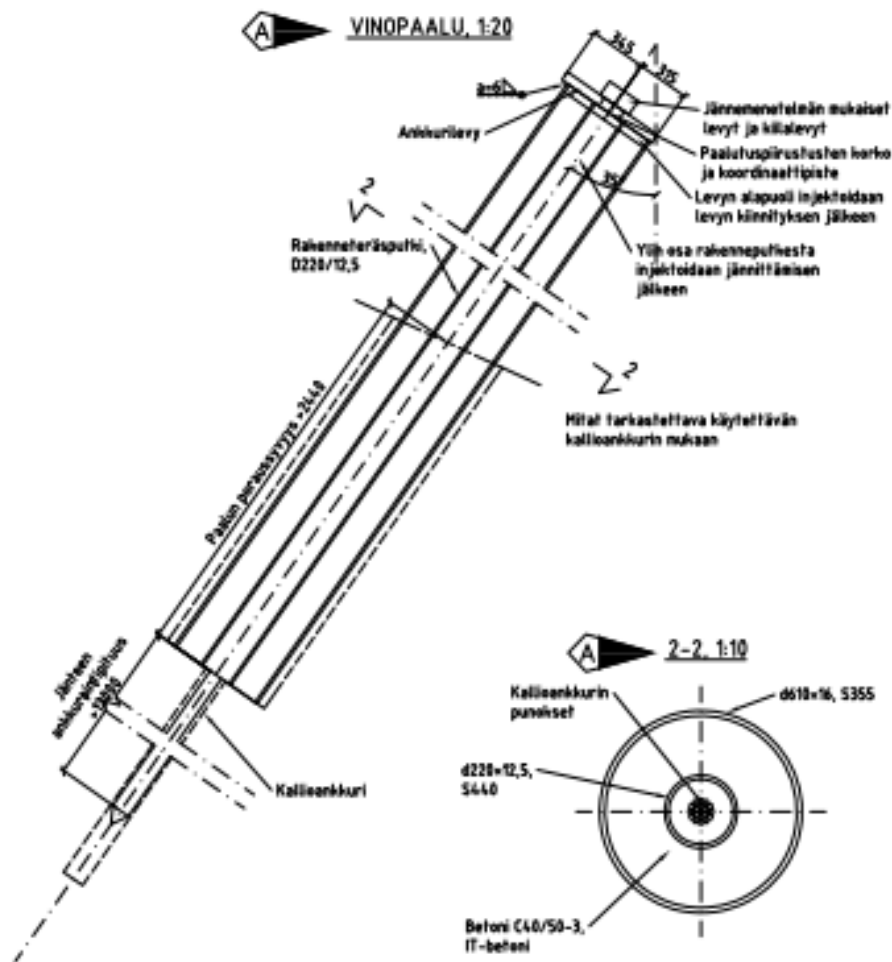
Vesimenekikokeessa käytettävä paine oli 0,1 MPa suhteessa pohjaveden paineeseen. Raja-arvon 1 L /min/m ylittyessä reikä injektoitiin ja suoritettiin reiän aukaisuporaus.

Vesimenekikoe suoritettiin uudelleen ja vaiheet toistettiin, mikäli vaadittavia arvoja ei saavutettu. Jokainen paalu ankkuroitiin numeroidulla määrämittaisella ankkurilla.

Ankkurointireikä täytettiin tarvittavalla määrällä injektointiainetta. Ankkurin asennustyössä käytettiin apuna hiab-autoa tai mobiilinosturia. Ankkuri asennettiin paikoilleen ankkurilevyn varaan, jonka jälkeen RD220-rakenneputken sisäosa betonoitiin ja jätettiin noin 1,5 m vajaan. (GRK Infra Oy, 2020a)

Ankkurit olivat vapaalla pituudella varustettuja jännitettäviä punosankkureita. Yksi ankkuri koostui 19 yksittäisestä jänteestä, jotka oli niputettu korroosionsuojarasvassa muovikuoreen. Ennen jännitystyön aloittamista ankkurilevyn alla oleva tyhjätila täytettiin injektointimassalla. Ankkurilevy laskettiin alas ja jännitystyö suoritettiin. Ankkuroidun vinopaalun rakenne on esitetty kuvassa 15. Ankkurin koevoiman oli $P_p=3,89$ MN, jättövoima $P_0=3,05$ MN. Ankkurin koekuormitus voitiin suorittaa, kun paalun betonin ja kallio-osuuden injektointi oli saavuttanut lujuuden 0,8 fck. (Tensicon Yhtiöt, 2020)

Kuva 15. Ankkuroidun vinopaalun rakenne. (suunnitellut Sitowise)



Vinopaalujen jännityksen jälkeen raudoitettiin palkin yläosa. Ennen palkin yläosan betonointia poistettiin työsaumasta sementtiliima DC110 peittausaineella. Pesuliuoksen levityksessä käytettiin matalapainepesuria. Aineen annettiin vaikuttaa 5 min, jonka jälkeen pinta huuhdeltiin vedellä. Palkkiin mahdollisesti tulevat tartunnat ja läpiviennit piti varmistaa ennen yläosan valua. Kun palkki oli saatu rautaan, valettiin yläosa ja peitettiin se huolellisesti.

Rantamuurin rakentamisessa täytyi tehdä myös vedenalaisia töitä. Rantamuriin liittyvien elementtien paaluseinään liittyvien paineentasausputkien reikien polttoleikkaaminen vaati ammattisukeltajien työtä. Vedenalaisia töitä suorittivat vedenalaisiin töihin erikoistuneet ammattisukeltajat. Paineentasausputkia asennettiin jokaisen elementin kohdalle kaksi kappaletta. Poltetuista rei'istä tullaan elementtien asennuksen jälkeen poraamaan vedenalaisesti reiät timanttiporalla elementtiin paineentasausputkia varten ja putket

asennetaan elementtien taustavalun yhteydessä. Porapaaluseinään tehtiin myös tarvittavat reiät mm. hulevesiputkia varten polttoleikkaamalla. Elementtien asennusta varten paaluseinään meren puolelle hitsattiin HEB-palkit elementtien alapinnan korkoon, jolloin elementit saadaan asennettua helposti oikeaan korkoon ja ne saadaan riittävästi tuettua. Sukeltajat suorittivat tarvittavia töitä myös työtasokonsolien asennuksessa ja irrotuksessa.

Kun rantamuurin palkkia oli saatu valmiiksi riittävä määrä, voitiin aloittaa rantamuurin taustatäyttö. Rantaa täytettiin työsillalta ja rannalta pitkäpuomisella kaivinkoneella (kuva 16). Rantaa täytettiin vaadittuun tasoon ja varmistettiin painumakokeella maa-aineksen tiiveys. Riittävä tiiveys saavutettiin kolmella peräkkäisellä alle 10 mm painumalla. Rantamuurielementtien turvallinen nostelu varmistettiin riittävällä pohjien kantavuudella.

Kuva 16. Rantamuurin taustatäyttö käynnissä.



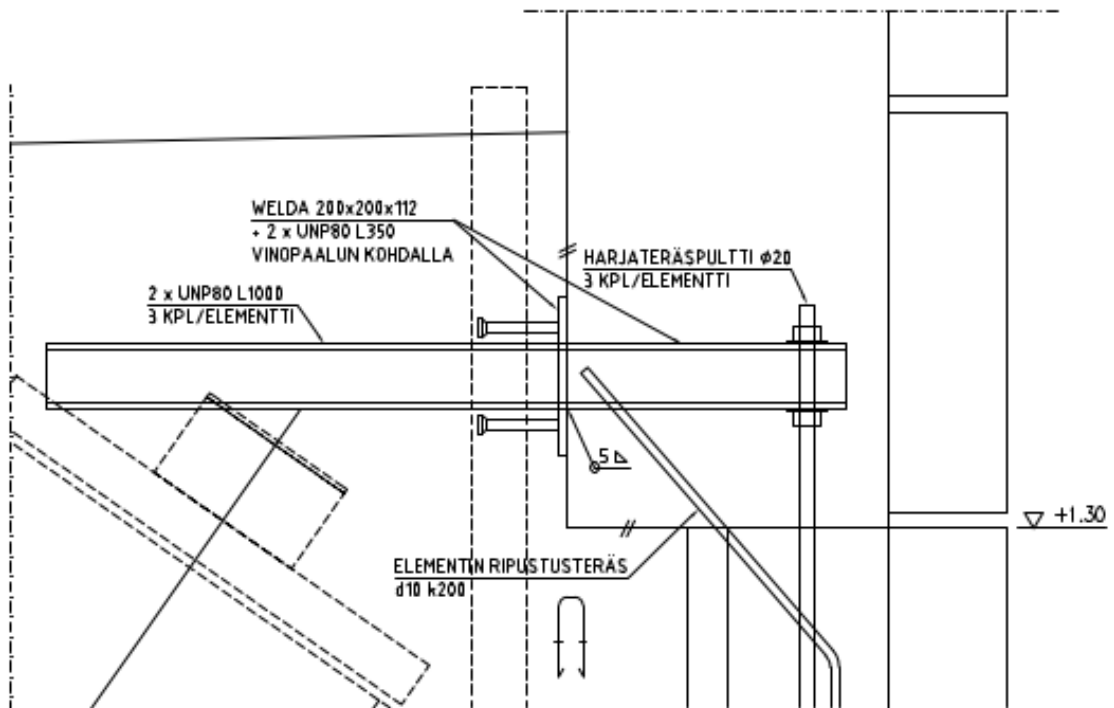
Rantamuriin liittyviä elementtejä oli kahta perustyyppiä. Verkkosaarenrannalla verhoillulla osalla elementit olivat teräsbetonielementtejä, joihin oli kiinnitetty luonnonverhous. Verkkosaaren matalalla osalla Verkkoneulalla elementit olivat teräsbetonisia elementtejä. Verhouselementtien raudoituksena käytettiin harjateräksiä, materiaalina EN 1.4462 tai

vastaava. Verhouselementtien betonin luokka on RO16, R4, C50/60-3, P50. Betonin suunniteltu käyttöikä on 150 vuotta. Verhouselementteihin asennettiin varusteet ja nostolenkit asennuksen aikaista kiinnittämistä varten. (Helsingin kaupunki, 2019)

Elementit kuljetettiin ja varastoitiin rantamuurin läheisyyteen lähelle työpistettä.

Elementtien nostelussa käytettiin mobiilinosturia. Elementtejä ei saanut milloinkaan nostaa vaakatasossa vaan niitä oli aina siirrettävä pystysuorassa. Elementti nostettiin varovasti kiinnittämällä nostoketjut elementteihin asennettuihin nostolenkkeihin. Elementti asetettiin suunnitelman mukaisella paikalleen ohjaamalla se porapaaluseinään hitsatun HEA260 palkin päälle. Elementtien ohjauksessa käytettiin apuna elementtiin kiinnitettyä ohjausliinaa. Elementti kiinnitettiin pulttiliitoksella palkkiin asennettuun UNP80-teräspalkkiin (kuva 17). Elementin alapään liitos tapahtui porapaaluseinään hitsatun HEA260-palkin päälle. HEA260-palkkeja oli hitsattu kiinni joka toiseen paaluun. Elementin alapäässä oleva Welda 150x150x110 mm levy hitsattiin kiinni HEA260-palkkiin. Welda-levyjä elementissä oli kaksi kappaletta. Kivettömän elementin yläpää hitsattiin elementin welda-levystä palkin UMP140-teräspalkkiin. Elementtien tausta betonoitiin kahdessa osassa. Pumppaus suoritettiin rantamuurin palkkiin asennettujen varausputkien kautta.

Kuva 17. Verhouselementin ja rantamuurin palkin liitos. (suunnitellut WSP)



Verkkosaarenrannan rantamuriin rakennettiin luonnonkivinen verhous sen korkealle osalle. Verhouselementtien kiverhous kattoi rantamuurin verhouksen alaosan, ja muurin verhouksen yläosa toteutettiin elementin asennuksen jälkeen. Verhouskiven värinä oli Mäntsälän punainen. Kivet olivat näkyvältä pinnaltaan lohkoituja. Verhouskivet asennettiin valuun ja varustettiin haponkestävästä teräksestä (en 1.4547) valmistetuilla kiinnikkeillä. Kiinnikkeet asennettiin kiviin porattuihin reikiin juotosmassalla tai soveltuvalla kemiallisella massalla. Kiinnikkeet hitsattiin kiinni raudoitukseen. Kivisauman leveys oli 20 mm. Sauma jätettiin vajaaksi 5 mm. Saumaan asennettiin kiven asennuksen jälkeen saumanauhat, joiden avulla saatiin jätettyä sauma vajaaksi ja estettyä betonin valuminen kiven välistä. Verhouskivien saumojen loppusaumauksen sävy täytyi olla mahdollisimman lähelle verhouskivien väriä. Koko näkyvä osuus saumattiin samanaikaisesti Masteremaco S5400:lla. Saumaukseen voi suorittaa vastaavalla Silko-hyväksytyllä pakkasenkestävällä sementtilaastilla. Koko rantamuurin osalle asennettiin luonnonkivinen kansikivi. Rantamuurin reunaan asennettiin kevyenliikenteen kaide suunnitelmien mukaan. (Helsingin kaupunki, 2019)

5.2 Verkkosaarenkadun rantamuurin rakentaminen

Verkkosaarenkadun kanaali kaivettiin rantamuurilinjan osalta kallioon asti puhtaaksi ja kuljetettiin mahdolliset pilaantuneet maa-ainekset välivarastoon. Rantamuurilinjalla suoritettiin tarvittavat louhintatyöt. Kanaali täytettiin riittävälle tasolle, jotta rantamuurin pontitus- ja paalutustyöt voitiin toteuttaa.

Verkkosaarenkadun rantamuurin toteutus aloitettiin asentamalla teräsponttiseinä. Ponttiseinä asennettiin InfraRYL 16320:n mukaisesti sekä kohdan 1630 mukaisesti. Pontit asennettiin mittamiehen osoittamaan sijaintiin ottamalla huomioon maapohjan ominaisuudet. Ponttiprofiilit upotettiin maahan ponttiin lyötynä pohjaan saakka. Teräspontti upotettiin maahan täryttämällä käyttämällä movaxilla varustettua kaivinkonetta. Rantamuurin osuudelle (plv 152–170) ei asennettu teräspontteja vaan muuri ankkuroitiin suoraan kalliolle. Tartunta suoritettiin kallioon poratuilla kuumasinkityillä harjaterästangoilla. Tartuntateräkset injektoitiin kallioon. Ponttien asennuksen jälkeen tehtiin vaadittavat täytöt paalutustyötä varten. (Helsingin kaupunki, 2019)

Paalutus aloitettiin ponttien asennuksen jälkeen. Rantamuurin paalut asennettiin toteutuneen pontituksen mukaan ponttiseinän meren puolelle. Rantamuurin paaluina käytettiin 220x12,5 mm teräsputkipaaluja. Paalut porattiin kallioon > 1,0 m. Paalut katkaistiin suunnitelmien mukaiselta tasolta ja valettiin täyteen itsetiivistyvistä betonista C30/37, XC2, XS2, XF2, P50. Paalut betonoitiin vedenalaisena valuna laskemalla mahdollisimman pitkä pumppausletku lähelle paalun pohjaa ja hiljalleen syrjäyttäen vesi pois betonilla. Rantamuurin teräsputkipaalujen yläpään asennettiin teräsrakenteinen vakiomallinen reiällinen paaluhattu, johon oli hitsattu 2 T10 tartuntaterästä. (Helsingin kaupunki, 2019)

Teräsponttiseinä ankkuroitiin yläpäästään kiinni paalulaattaan. Ankkurointi tapahtui 1,2 m välein pontteihin asennetuilla M30-kierretangoilla, josta tartuntaosuus jäi paalulaattaan. Kierretanko oli pultattu pontin uomaan porattuun reikään paikallavalun sisään jäävien mutterien ja aluslevyjen 100x100x15 mm välityksellä. Verkkosaarenkadun paalulaatat valettiin ja niihin asennettiin tartuntateräkset muurin ripoja varten (kuva 18). (Helsingin kaupunki, 2019)

Kuva 18. Paalujen ja ponttien yhdistelmän perusta rantamuurille. Paalulaattaan on jätetty tartuntarivat muuriin.



Ponttilinjan edusta kaivettiin auki kanaalin puolelta, jotta voitiin aloittaa muurin raudoitustyöt. Ponttiseinä pestiin liasta ja ylimääräinen maa-aines siivottiin pois ponttien uomista. Muurin pohjalle tehtiin sepelitäyttö. Ponttiseinään hitsattiin joka toiseen ponttiin kierretanko muurin muotin kiinnitystä varten, kuten kuvasta 19 voidaan havaita. Kierretankoon saatiin myös surrattua muurin raudoitus kiinni. Ponttiseinään porattiin reiät paineentasausputkia varten. Paineentasausputkien teräsosat hitsattiin merenpuolelta reikien kohdalle. Paineentasausputkia asennettiin joka toisen pontin välein. Hitsiliitosten hitsausluokka oli WC standardin SFS-EN-25817 mukainen. Raudoitus toteutettiin suunnitelmien mukaisesti tarvittavilta osin ensimmäistä betonointia varten. (Helsingin kaupunki, 2019)

Raudoitustöiden jälkeen rantamuurin alaosa muotitettiin ja valettiin muuri kiviverhouksen alapintaan asti noin 1,5 m korkeudelta. Muotti tehtiin tarvittavilta osin valmiiksi muurin alaosa varten teline- ja muottisuunnitelman mukaisesti. Kun ensimmäinen betonointi oli suoritettu, raudoitettiin muurin yläosa ja rivat suunnitelmien mukaisesti valmiiksi ja aloitettiin muurin ja ripojen ensimmäisen muottipinnan rakentaminen. Muotitus tehtiin pääosin raakaponttilaudasta. Muotti tuettiin koolingeilla ja surrattiin alumiinisurreilla. Raudoitus tuettiin tarvittaessa liinalla paalulaattaan, jotta raudoitus ei päässyt valun ja muotituksen aikana liikkumaan pois paikaltaan. Raudoitus tuettiin muottiin välikkeillä. Muurin liikuntasaumot erotettiin finfoam-kaistalla. (GRK Infra Oy, 2020b)

Kuva 19. Ponttiseinään on asennettu paineentasausputket ja raudoitustyö aloitettu.



Muotituksen yhteydessä aloitettiin verhoukivien asentaminen. Verhoukivien väri oli Mäntsälän punainen. Kivet olivat näkyvältä pinnaltaan lohkottuja. Verhoukivet asennettiin valuun ja varustettiin haponkestävästä teräksestä (en 1.4547) valmistetuilla kiinnikkeillä d16 L250 mm. Kivien nostelussa käytettiin apuna hiab-nosturia. Kiinnikkeet asennettiin kiviin porattuihin reikiin juotosmassalla tai soveltuvalla kemiallisella massalla. Kiinnikkeet hitsattiin kiinni raudoitukseen (kuva 20). Kivisauman leveys oli 20 mm. Sauma jätettiin vajaaksi 5 mm. Saumaan asennettiin kivien asennuksen jälkeen saumanauhat, joiden avulla saatiin jätettyä

sauma vajaaksi ja estettyä betonin valuminen kivien välistä. Verhouskivien saumojen loppusaumauksen sävy täytyi olla mahdollisimman lähelle verhouskivien väriä. Koko näkyvä osuus saumattiin samanaikaisesti Masteremaco S5400:lla. Saumaukseen voi suorittaa vastaavalla Silko-hyväksytyllä pakkasenkestävällä sementtilaastilla. (Helsingin kaupunki, 2019)

Kuva 20. Verhouskivet hitsataan raudoitukseen injektoitujen haponkestävien harjaterästankojen avulla.



Muotin toinen pinta rakennettiin teline- ja muottisuunnitelman mukaan. Muotin kiinnityksessä käytettiin apuna pontteihin hitsattuja kierretankoja. Kivien saumoihin asetettiin kolmion muotoiset puurimat painamaan kivien saumoihin asennettuja saumanauhoja (kuva 21). Puurimat tuettiin ristiin asennettujen koolinkien avulla. Muotti surrattiin pulttaamalla koolingit ponttien korkeudelta kierretangoilla. Yläosassa muottia käytettiin alumiinisurritankoja. Muotti valettiin täyteen hiljalleen nostamalla. Nousunopeus oli maksimissaan 0,5 m/h. Huomioon otettiin mahdolliset talviolosuhteet. Muotti suojattiin huolellisesti ja huolehdittiin tarvittaessa lämmityksestä. Koko rantamuurin osalle asennettiin

luonnonkivinen kansikivi. Rantamuurin reunaan asennettiin kevyenliikenteen kaide suunnitelmien mukaan. Maanvastaiset betonipinnat kosteuseristettiin Plastimul 1k super plus- tuotetta käyttäen. (GRK Infra Oy, 2020b)

Kuva 21. Muurin kivet asennettu ja muotitus aloitettu.



5.3 Meriveden vaikutus Verkkosaassa

Verkkosaassa etenkin merenpinnan korkeuden vaihtelut toivat haasteita työskentelyyn. Merivesi saattoi päivässä nousta kriittisen pisteen yli, jolloin tiettyjen työvaiheiden toteutus vaikeutui merkittävästi tai muuttui jopa mahdottomaksi. Esimerkiksi rantamuuripalkin alapuolen muotti- ja raudoitustyöt tulisi ajoittaa matalan meriveden hetkeen, koska merivesi nousee parhaimmillaan muotin alapinnan yläpuolelle. Työmaalla vedennousuun varauduttiin suurella määrällä oppopumppuja, mutta toisinaan vesi nousi niin nopeasti, ettei pumpuista ollut hyötyä.

Lumi ja jää etenkin työsilla aiheuttivat haasteita, koska jää työsillan ympärillä täytyi rikkoa, koska työsillalle ei ole laskettu merkittävää jääkuormaa. Työsillan palkkien työalusta oli pakkasella erittäin liukas ja ajoittain merivesi nousi sen yläpuolelle. Työturvallisuuden takia oli erityisen tärkeää, että työalusta saatiin pidettyä puhtaana ylimääräisistä roskista ja työkaluista. Pakkasella ja lumisateen jälkeen muotit jouduttiin höyryttämään, mikä jouduttiin tekemään aina ennen valua.

Paalujen poraustyö sai aikaan Verkkosaaren Verkkoneulan niemessä maan vajoamista. Maan liikkumisen aiheutti useiden paalujen poraus ympäri työmaata. Liikkeisiin varauduttiin seuraamalla rantaan asetettuja liikkeen tunnistimia. Alue oli osittain täytettyä maa-ainesta, joka varmasti aiheutti osittain maanvajoamisen.

6 Pohdintaa

Rantamuurin rakentamista työmaalla seurattuani huomasin, miten merkittävä tekijä hyvällä logistisella suunnittelulla oli. Etenkin pitkien paalujen liikuttelu työmaalla ja niiden varastointi vaati paljon tilaa. Paalujen pitkin olla nopeasti saatavilla niin, ettei siitä aiheudu haittaa muulle työlle ja työmaaliikenteelle. Lisäksi havaitsin, että työsillan pistosiltojen riittävä määrä mahdollisti työsillalla useat samanaikaiset työvaiheet. Toimivilla työmaajärjestelyillä saavutettiin sekä aikataulullisia että työturvallisuuden kannalta merkittäviä hyötyjä.

Tärkeää oli miettiä etenkin Verkkosaarenkadun rantamuurilla timpureille ja raudoittajille vaihtoehtoisia mesteja korkean veden ajalle. Merivesi nousi ajoittain kriittisen pisteen yli, jolloin korkean veden takia rantamuurilla ei pystytty tekemään töitä. Työmaalla olisi hyvä olla vähemmän kiireisiä mesteja korkean veden ajalle, jotta resurssit saadaan hyödynnettyä tehokkaasti.

Nouseva merivesi aiheutti työmaalla ongelmia sähköjen toimivuuteen. Kaapelit kastuivat ja se paukautti sulakkeet. Sähköjen suunnitteluun ja suojaukseen merivesiolosuhteissa on tärkeää kiinnittää enemmän huomiota kuin normaalisti. Sähkökeskukset nostopukkien päälle ja niiden suojaaminen voisi auttaa sähkökatkoksiin. Lisäksi kaapelien liitokset olisi hyvä nostaa ylös maasta, etteivät pääse kosketuksiin veden kanssa. Työmaalla on hyvä varautua

korkeaan veteen ja huonoihin olosuhteisiin myös riittävällä määrällä aggregaatteja ja liikuteltavia generaattoreita.

Esimerkkikohteesta voidaan havaita, että aikataulun ja töiden ketjutuksen saaminen toimivaksi on erittäin tärkeää rantamuurirakentamisessa. Rantamuuri sisältää useita eri työvaiheita, joiden aikatauluttaminen vaatii tarkkaa suunnittelua, jotta resurssit saadaan hyödynnettyä tehokkaasti. Kun rantaviivaa halutaan leventää merelle päin, porapaaluseinä on varmaankin paras mahdollinen vaihtoehto.

Opinnäytetyön aikana opin todella paljon perinteisestä maanrakentamisesta kuin myös vaativien rantamuurirakenteiden rakentamisesta. Työmaalla tehtiin paljon paalutus- ja betonointitöitä ja oli opettavaista saada olla niissä mukana. Työstä saatiin kerättyä paljon opettavaista kokemusta aloittavan rakennusinsinöörin uralle.

7 Yhteenveto

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli kerätä tietoa rantamuurien rakentamisesta ja toteutustavoista ja merivesiolosuhteiden vaikutuksista. Opinnäytetyössä käsiteltiin kahden erityyppisen rantamuurin rakentamista. Työhön saatiin aikaan rantamuurin rakentamisen muistilista, jota voidaan jatkokehittää kattavammaksi vastaamaan yrityksen tarpeita vastaavien urakoiden varalta.

Rantamuurien toteutus on haastava ja monivaiheinen projekti. Etenkin haastavat olosuhteet ja erityislaatuinen kohde olivat mielenkiintoisia. Tiedon löytäminen rantamuurien toteutuksesta oli hankalaa, koska vastaavanlaisia rantamuureja ei ole toteutettu montaa, jos ei yhtään. Vastaavan tyylistä julkaistua tietoa löytyi harmittavan vähän. Työssä käytettiin apuna työvaiheissa havaittuja havaintoja ja työsuunnitelmia, joista saatiin koottua tämä opinnäytetyö. Työstä varmasti uupuu joitakin työvaiheita, mutta sen avulla pääsee varmasti käsiksi rantamuurirakentamisen mielenkiintoiseen maailmaan.

Lähteet

- 132450.3, I. (2010). *Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset*.
- Ahomies, M. (5 2016). Opinnäytetyö. *Kallioon injektointu ja ankkuroitu porapaalu*, s. 23-24. Helsinki: Liikennevirasto.
- Eloranta, V. (2018). Rantamuurielementtien asennus- ja tuotantovertilu. *Opinnäytetyö*, s. 4 - 6. Metropolia.
- ELY-keskus. (12. 8 2019). *Ympäristö.fi*. Rannan ruoppaus: https://www.ymparisto.fi/fi/vesi/vesistöjen_kunnostus/rantojen_kunnostus/rannan_ruoppaus
- GRK Infra Oy. (2019a). *GRK-konsernin vuosi 2019*. <https://www.grk.fi/wp-content/uploads/2020/04/200420-grk-vuosiesite-2019-web-aukeamittain.pdf>
- GRK Infra Oy. (15. 10 2019b). *Helsingin Verkkosaaren pohjoisosan jättiurakka GRK:lle*. <https://www.grk.fi/helsingin-verkkosaaren-pohjoisosan-jattiurakka-grkille/>
- GRK Infra Oy. (2019c). *Teräksinen työsilta, Tekninen työsuunnitelma*.
- GRK Infra Oy. (2020a). *Rantamuri, vinopaalujen ankkurointi, Työ- ja laatusuunnitelma*.
- GRK Infra Oy. (6. 10 2020b). *Verkkosaarenkadun rantamuri. Työ- ja laatusuunnitelma*.
- Helenius, H. (13. 5 2016). Opinnäytetyö. *Perinteisten rantamuurien restaurointi*, s. 5-6. Hämeenlinna: HAMK.
- Helsingin kaupungin rakennusvirasto. (2017). *Taitorakenteet*. Helsinki.
- Helsingin kaupunki. (2019). *Työselostus Verkkosaaren pohjoisosan rakentaminen*. Helsinki: Helsingin kaupunki.
- Helsingin kaupunki, T. j. (2009). *Rakentamisen ohjeisto 2009*. https://www.hel.fi/static/liitteet/kanslia/aluerakentaminen/kehittyvakerrostalo/Julkaisut/rakentamisen_ohjeisto_2009.pdf
- Lönnqvist, P. (2017). Opinnäytetyö. *Rantarakentaminen*, s. 21-23. Raseborg: Yrgeshögskolan Novia.
- Punkki, J. (2017). *Betonirakenteiden käyttösuunnittelu*.
- Rudus, Hannu Timonen-Nissi. (25. 1 2019). *Rasitusluokat*. Rudus.
- Salparanta, L. (1987). *Meriveden kemiallinen vaikutus betoniin 1987*. <https://cris.vtt.fi/en/publications/meriveden-kemiallinen-vaikutus-betoniin>
- Sillanpää, R. (2019). Opinnäytetyö. *Paalutettavien työsiltojen tuotannon kehittäminen*, s. 2-6. Hämeenlinna: HAMK.
- SSAB. (2020). *RR- ja RD- Paalut*. Suunnittelu ja asennusohjeet: <https://www.ssab.fi/tuotteet/terasluokat/infrastruktuuri/tuotteet/steel-piles-large->

diameter-piles?di=discoverED5BD11E27014C96AE404CA30D87042A&accordion=RD-
paalu

SSAB. (2021). *RD-paaluseinä*. SSAB.

Tensicon Yhtiöt. (2020). *Pysyvät punoskallioankkurit, Työselitys*.

Tiehallinto. (2001). *Porapaalutusohje*. Suunnittelu- ja toteutusvaiheen ohjaus:

<https://julkaisut.vayla.fi/sillat/julkaisut/porapaalutusohje01.pdf>

WSP Finland Oy/ Sami Niemelä, Mikko Junnila. (2008). *Kaisaniemenlahden eteläisen rantamuurin yleissuunnitelma*. Helsinki: Helsingin kaupungin rakennusvirasto, katu- ja puisto-osasto.

Rantamuurin toteutuksen muistilista

Sisällys

Muistilistan pohjustus	1
1 Rantamuurin aloittavat työt	1
2 Työskentely olosuhteet	1
3 Massanvaihto ja ruoppaus	1
4 Työsillan rakentaminen	2
5 Rantamuurin perustaminen	2
6 Rantamuurin palkki	3
7 Rantamuurin verhouselementtien asennus.....	3
8 Kiviverhouksen asennus	4
9 Rantamuurin varustelu	4
10 Rantamuurin laadunseuraus ja raportointi	4

Muistilistan pohjustus

Tämä on ankkuroidulla porapaaluseinällä perustetun rantamuurin muistilista siitä, mitä työvaiheita rantamuurin toteutus sisältää ja mitä tulee rantamuurin rakentamisessa ottaa huomioon. Tämä muistilista on luotu auttamaan työnjohtajia rantamuurin toteutuksessa. Muistilistassa on listattu rantamuurin merkittävimmät työvaiheet ja niissä huomioitavat asiat. Muistilistaa voidaan jatkojalostaa vastaamaan paremmin toteutettavaa rakennetta.

1 Rantamuurin aloittavat työt

- Selvitä maaperäolosuhteet
- Varmista, että käytät ajantasaisia suunnitelmia
- Hanki vaadittavat resurssit
- Perehdytä ja opasta työnsuorittajat
- Tarkasta kalusto ja koneet
- Järjestä vaadittavat työskentelyolosuhteet
- Suojaa työympäristö
- Valmistele työpiste
- Varmista, että työntekijöillä on vaadittavat suojaimet mm. (paukkuliivit)

2 Työskentely olosuhteet

- Huomioi vaihtelevien olosuhteet työn suunnittelussa
- Seuraa meriveden korkeutta aktiivisesti
- Järjestä työpisteelle sähkö, vesi ja valot
- Huolehdi työskentely alueen suojauksesta, siisteydestä ja turvallisuudesta
- Poista lume ja jää työpisteeltä

3 Massanvaihto ja ruoppaus

- Hanki maan kaivuu- ja kuljetus kalusto

- Varmista lupa-asiat ja kaivuun aloitusedellytykset
- Varmista oikea ruoppaustaso
- Suorita ruoppaustyö
- Kuljeta pilaantuneet maa-ainekset välivarastoon
- Tutki pilaantuneet maat ja kuljeta ne jatkokäsittelyyn
- Varastoi puhtaat maat erilliseen kasaan
- Ruoppaus suoritettu

4 Työsillan rakentaminen

- Työsillan tarpeen määrittäminen
- Ruoppaustyöt suoritettu
- Selvitä työn aloitusedellytykset
- Hanki työsillan materiaalit
- Asenna RR-paalut, huolehdi asennusalueen kantavuudesta
- Asenna ja hitsaa poikittaispalkit
- Asenna ja hitsaa pitkittäispalkit
- Suorita vinosidontojen, pystytukien ja törmäyspalkkien asennus
- Asenna työsillan kansirakenne
- Tarkista hitsiliitokset
- Työsilta valmis

5 Rantamuurin perustaminen

- Varmista perustamistapa ja hanki porauskalusto
- Hanki perustusmateriaalit
- Suunnittele materiaalien logistiikka mahdollisimman tehokkaaksi
- Varmista perustamisalueen kantavuus
- Hoida työpisteelle tarvittaessa sähkö, vesi ja valot
- Valmistele paalut porauskuntoon
- Selvitä paalunasennukset toleranssit
- Asenna pysty ja vinopaalut
- Raudoita ja suorita paalujen betonointi

- Asenna porapaaluseinään vedentasausputket ja elementtien HEB-palkit sukellustyönä
- Rantamuurin perustus valmis

6 Rantamuurin palkki

- Käy läpi rantamuurin palkin suunnitelmat
- Selvitä, mitä materiaalia ja resursseja tarvitaan ja hoida ne työpisteelle
- Suunnittele timpureille ja raudoittajille vaihtoehtoista mestaa korkean meriveden varalle
- Asenna porapaaluseinään työtasokonsolit
- Rakenna palkin pohjamuotti ja 1. pinta
- Raudoita paalun alaosa
- Betonoi palkin alaosa
- Poraa vinopaalujen reikä kallioankkuri varten ja suorita vesimenekkie
- Asenna ja injektoi kallioankkuri
- Suorita koekuormitus, kun injektoinnin vaadittu lujuus on saavutettu
- Raudoita ja betonoi palkin yläosa
- Rantamuurin perustus valmis

7 Rantamuurin verhouselementtien asennus

- Tilaa ja varastoi rantamuurielementit asennuspaikan läheisyyteen
- Varmista elementtien kiinnitystapa ja nostosuunnitelma
- Varmista mobiilinosturin nostoalustan kantavuus
- Perehdytä elementtien asentajat ja sukeltajat työvaiheeseen
- Tarkista elementtien nostoapuvälineet ja nostopisteet
- Nosta elementit paikalleen ja kiinnitä ne suunnitellun asennustavan mukaisesti elementtien ylä- ja alapäästä
- Rantamuurin elementit asennettu

8 Kiviverhouksen asennus

- Varmista, että muurin edeltävät työvaiheet ovat valmiit
- Hanki verhoukivet ja huolehdi nostovälineen asennusalustan kantavuudesta
- Käy läpi asentajien kanssa kivisaumojen suuruus ja muurin korot
- Injektoi kiviin harjatanko tapit ja hitsaa kivet paikalleen muuriin
- Asenna kivien saumoihin saumamakkarat
- Suorita muurit muotitus työt
- Betonoi muuri ja pura muotti
- Saunaa kiviverhous
- Kiviverhouksen asennus valmis

9 Rantamuurin varustelu

- Asenna kevyenliikenteenkaide, rappuset
- Asenna rantamuurin hengenpelastussarjat
- Rantamuuri valmis

10 Rantamuurin laadunseuraus ja raportointi

- Betonointipöytäkirjat
- Ankkurien jännityspöytäkirjat
- Paalutuspöytäkirjat
- Työsillan kantavuuslaskelmat
- Vesimenekikokeet
- Hitsiliitosten tarkistuspöytäkirjat