

Asiakirjatyyppi  
**Selvitys**

Päivämäärä  
**9.6.2022**

Projektinumero  
**1510067711**

**HELSINGIN KAUPUNKI**

**KYMP/RYA**

**JÄTKÄSAARI**

**AHDINALTAAN AALLOKKOTARKASTELU**

**SELVITYS**

Päivämäärä **9.6.2022**  
Laatija **Kimmo Kahma, Akateemiset konsultit  
Tommy Nyman, Ramboll**  
Hyväksyjä **Jarkko Nyman, HKI MAKA/Myle**  
Kuvaus **Ahdinaltaan aallokkotarkastelu**

Viite 1510067711

## SISÄLLYSLUETTELO

<b>1.</b>	<b>TAUSTAA</b> .....	<b>4</b>
<b>2.</b>	<b>TARKASTELUN KESKEISIN SISÄLTÖ</b> .....	<b>4</b>
<b>3.</b>	<b>LÄHTÖKOHDAT</b> .....	<b>5</b>
<b>3.1</b>	<b>Ahdinaltaan pohjukan kaavoitustilanne</b> .....	<b>5</b>
<b>3.2</b>	<b>Yleisiä periaatteita aallokon vaimennusrakenteista</b> .....	<b>6</b>
<b>3.3</b>	<b>Tarkastelualue ja aiemmat turvalliset rakentamiskorkeudet</b> .....	<b>6</b>
<b>3.4</b>	<b>Turvalliseen rakentamiskorkeuteen vaikuttavat tekijät</b> .....	<b>8</b>
3.4.1	Aallokko avomerellä ja vaimeneminen saaristossa.....	9
3.4.2	Aallokon vaimeneminen satama-altaassa .....	9
3.4.3	Aaltojen kasvu satama-altaassa tuulen vaikutuksesta .....	10
3.4.4	Vedenkorkeus Kaivopuistossa ja vedenpinnan kallistuminen .....	11
3.4.5	Satamaresonanssi .....	12
3.4.6	Rakennuksen etäisyys rannasta .....	12
<b>4.</b>	<b>AALLOKKOLASKELMAT</b> .....	<b>12</b>
<b>4.1</b>	<b>Lähtökohtana olleet rantarakenteet</b> .....	<b>12</b>
<b>4.2</b>	<b>Tulokset hallitsevista aallokon suunnista</b> .....	<b>14</b>
<b>5.</b>	<b>RAKENNEVAIHTOEHDOT</b> .....	<b>18</b>
<b>5.1</b>	<b>Yleistä</b> .....	<b>18</b>
<b>5.2</b>	<b>VE1: vedenalainen tukimuuri</b> .....	<b>19</b>
5.2.1	Tukimuurivaihtoehdon rakenteen optimointi .....	21
<b>5.3</b>	<b>VE2: luiskarakenne</b> .....	<b>21</b>
5.3.1	Luiskarakennevaihtoehdon rakenteen optimointi .....	23
<b>5.4</b>	<b>Jatkosuunnitteluun suositeltu vaihtoehto</b> .....	<b>25</b>
<b>6.</b>	<b>MUUT AALLOKkoa VAIMENTAVAT RAKENTEET</b> .....	<b>26</b>
<b>6.1</b>	<b>Aallokon virtaukseksi muuttava kelluva laiturirakenne</b> .....	<b>26</b>
<b>6.2</b>	<b>Kelluva kylpylä</b> .....	<b>27</b>
<b>6.3</b>	<b>Oleskeluranta</b> .....	<b>28</b>
<b>6.4</b>	<b>Sataman laiturirakenteen laajennus</b> .....	<b>29</b>
<b>7.</b>	<b>TURVALLISET RAKENTAMISKORKEUDET</b> .....	<b>29</b>
<b>7.1</b>	<b>Yleistä</b> .....	<b>29</b>
<b>7.2</b>	<b>Neptunuksenpuisto</b> .....	<b>30</b>
7.2.1	Luiskakaltevuudet ja pintamateriaalit .....	30
7.2.2	Vesirajan siirtotarve .....	31
7.2.3	Refraktio .....	31
<b>7.3</b>	<b>Naurunpuiston ja Neptunuksenpuiston välisen merialueen täyttö</b> .....	<b>33</b>

<b>7.4</b>	<b>Muut alueet .....</b>	<b>34</b>
<b>8.</b>	<b>YHTEENVETO JA SUOSITUKSET .....</b>	<b>35</b>

## **LIITTEET**

- Liite 1** Tarkastelualueelle määritetyt turvalliset rakentamiskorkeudet, kun tässä selvityksessä suositellut aallokkoa vaimentavat rakenteet on tehty sekä nykyisin voimassa olevat turvalliset rakentamiskorkeudet
- Liite 2** Tarkastelualueella eri suunnitelmissa esitetyt korkolukemat ja tarkastelussa määritetyt turvalliset rakentamiskorkeudet
- Liite 3** Tarkastelualueelle määritetyt turvalliset rakentamiskorkeudet, kun tässä selvityksessä suositellut aallokkoa vaimentavat rakenteet on tehty sekä nykyisin voimassa olevien asemakaavojen maanpinnan korkeuslukemat merialueen läheisyydessä

## 1. TAUSTAA

Selvityksen taustalla on Rambollin vuonna 2016 laatima Ahdinaltaan ympäristön aaltomallinnusraportti sekä Rambollin ja Akateemisten konsulttien vuosina 2019 ja 2020 alueelle laatima aallonvaimennusrakenteiden vaihtoehtotarkastelu. Aallokkomallinnus perustuu vuosina 2019 ja 2020 käytettyihin mallinnustyökaluihin, joita on tässä työssä kehitetty edelleen.

Lähtökohtina tarkastelussa ovat olleet seuraavat Ahdinaltaan ympäristöön suunnitellut rakenteet:

- Rambollin 2021 asemakaavoitusta varten laatimassa pohjarakennuksen yleisuunnitelmassa esittämät rantarakenteet.
- Altaaseen sijoitettu kelluva kylpylä.
- Sataman laiturin laajennus.

Neptunuksenpuiston eteläosan rakenne oli tämän työn alkaessa auki. Sitä ei oltu sisällytetty asemakaavoitusta varten laadittuun pohjarakentamisen yleissuunnitelmaan. Tässä työssä on ollut tarkoitus tarkastella tarkemmin kyseiselle alueelle sijoittuvan rakenteen mahdollisia dimensioita. Näin alueelle myöhemmissä suunnitelmissa esitettävät rakenteet voidaan suunnitella koko Ahdinaltaan aallonvaimennuksen näkökulmasta tarkoituksenmukaisina. Huolena on ollut Neptunuksenpuiston mahdollinen tilanpuute mereen ulottuvan täyttöluisikan loivenuksen myötä.

Selvitys on laadittu Helsingin kaupungin Maka/Myle/Teknistoloudellisen suunnittelun toimeksiannosta. Työn ohjausryhmässä ovat toimineet Jarkko Nyman (Maka/Myle), Teo Tammivuori (Maka/Aska), Kalle Rantala (Maka/Make), Katariina Hämäläinen (Maka/Like), Petra Rantalainen (Maka/Kamu), Lasse Toivanen (Maka/Like) ja Jonas Vikman (kanslia). Selvityksen laadinnasta ovat vastanneet Akateemisista konsulteista Kimmo Kahma ja Rambollista Tommy Nyman, joka on toiminut selvitystyön projektipäällikkönä.

Korkeuslukemat on esitetty N2000 järjestelmän mukaisina.

## 2. TARKASTELUN KESKEISIN SISÄLTÖ

Tässä selvityksessä esitetyt turvalliset rakentamiskorkeudet korvaavat vuonna 2016 laaditun ja vuonna 2019 päivitetyn ”Turvalliset rakentamiskorkeudet Helsingin rannoilla” - ohjeessa esitetyt korot Ahdinaltaan ympäristöön. Turvallisia rakentamiskorkeuksia on ollut tarve tarkastella uudelleen mm. Ahdinaltaan rantarakenteisiin jo toteutetuista ja suunnitelluista toimenpiteistä ja muutoksista johtuen. Vuonna 2016 laaditun ”Turvalliset rakentamiskorkeudet Helsingin rannoilla” selvityksessä esitetyissä korkeustasoissa näitä ei ole huomioitu.

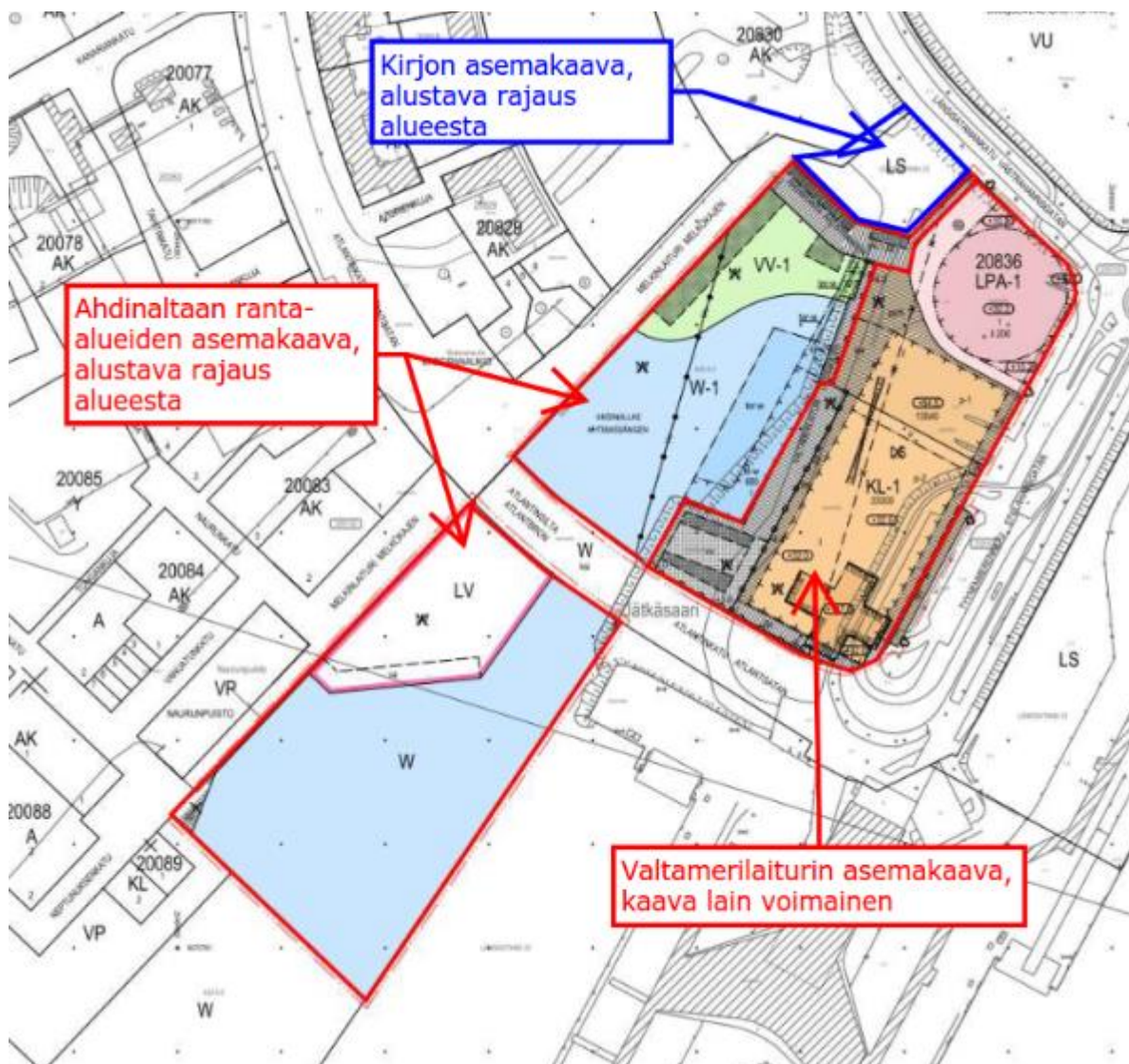
Tässä selvityksessä on laskettu aallokon vaimenemista ja heijastumista eri rakennevaihtoehtoille. Näiden laskelmien perusteella on määritelty turvallisia rakentamiskorkeuksia eri osille tarkastelualuetta. Uudet aallokkoa vaimentavien rakenteiden toteutuksen myötä käyttöön otettavat turvalliset rakentamiskorkeudet sekä nykyiset käytössä olevat turvalliset rakentamiskorkeudet on esitetty liitteen 1 kartalla. Liitteen 2 kartalla on esitetty Ahdinaltaan ympäristöön toteutettuja katualueiden korkoja sekä eritasoisissa suunnitelmissa esitettyjä katualueiden korkoja. Liitteen 3 kartalla on esitetty tässä selvityksessä määritetyt turvalliset rakentamiskorkeudet, kun suositellut aallokkoa vaimentavat rakenteet on toteutettu sekä voimassa olevissa asemakaavoissa esitetyt merialuetta lähimmät tulevan maanpinnan korkeuslukemat.

Lähtökohtaisesti tässä selvityksessä rakenteille suositeltuja luiskakaltevuuksia voi tulevissa suunnitelmissa loiventaa, kunhan luiskaverhoukseen esitettyä materiaalia tai luiskan harjan ja helman korkeustasoja ei muuteta. Luiskaverhouksen muuttamisella "sileämmäksi" tai luiskan päiden korkeustasojen muuttamisella voi olla tässä määritettyjä turvallisia rakentamiskorkeuden tasoja nostava vaikutus. Mikäli suunnittelussa poiketaan tässä selvityksessä annetuista suosituksista ja voidaan olettaa, että poikkeamisilla on turvallisia rakentamiskorkeuksia nostava vaikutus, tulee rakenteiden sopivuus turvallisten rakentamiskorkeuksien määrittämiin puitteisiin tarkastaa erikseen suunnitteluvaiheessa tehtävin aallokkolaskelmin.

### 3. LÄHTÖKOHDAT

#### 3.1 Ahdinaltaan pohjukan kaavoitustilanne

Ahdinaltaan asemakaavaa valmistellaan kolmessa osassa. Koko alueesta on ollut esillä kaavaehdotus 17.12.2020–28.1.2021. Kaavaehdotuksen pohjalta laadittu Valtamerilaiturin asemakaava on saanut lainvoiman 2.11.2021, Kirjon asemakaavaehdotuksen on tarkoitus edetä kaupunginvaltuustoon vuonna 2022 ja Ahdinaltaan ranta-alueiden asemakaavaehdotus laaditaan tuon kaavan jälkeen arviolta vuonna 2023. Valtamerilaiturin asemakaava-alueen rajaus ja tulevien asemakaavojen alustavia rajauksia on esitetty kuvassa 1.



**Kuva 1: Ahdinaltaan pohjukan maankäytön suunnittelu on jaettu kolmeen asemakaavaan (kartan pohjana Ahdinaltaan kaavaehdotus 8.12.2020).**

### **3.2 Yleisiä periaatteita aallokon vaimennusrakenteista**

Yksinkertaisin aallokon vaimennusrakenne on riittävän loivaluiskainen ranta. Aiemmissä selvityksissä kaltevuus 1:7 todettu varmasti aallokkoa vaimentavaksi ja aallokkoa heijastamattomaksi. Mitä loivempi luiska on, sitä paremmin se aallokkoa vaimentaa.

Luiskan pintamateriaalilla on myös vaikutusta aallokon heijastumiseen ja etenkin aallon (yhtenäisen vesipinnan) nousuun luiskassa. Mitä karkeampaa materiaalia luiskan pintarakenne on sitä paremmin se aallokkoa "syö" ja sitä alemmalle tasolle aallokko luiskassa nousee. Karkea lohkareverhous luiskarakenteessa sallii edellä mainittua 1:7 kaltevuutta jyrkemmän luiskan aina kaltevuuteen 1:3 asti. Jyrkkä 1:1.5 karkeilla lohkareilla verhottu luiska vaimentaa aallokkoa paremmin kuin sileä betoni- tai asfalttipintainen 1:4 luiska.

Aallokkoa virtaukseksi muuttava rakenne on myös mahdollinen vaimennusrakenne. Rakennetta ei ole tiettävästi vielä toteutettu ranta- tai ponttonilaiturin osana, mutta sitä on käytetty mm. osana öljynkeräysaluksen rakennetta ja rakenteen periaatteen toimivuus on voitu todentaa.

Yleisten periaatteiden noudattamisen lisäksi hankalissa aallokko-olosuhteissa tai alueilla, joihin esim. loivat rannat eivät maankäytön ratkaisujen vuoksi mahdu, voidaan tehdä tämän selvityksen kaltainen paikalliset olosuhteet ja alustavasti suunnitellut rakenteet huomioiva aallokkotarkastelu. Samalla eri rakennevaihtoehtoihin ja/tai niiden kombinaatioihin perustuen voidaan tehdä tarkempia määrittämiä turvallisille rakentamiskorkeuksille.

### **3.3 Tarkastelualue ja aiemmat turvalliset rakentamiskorkeudet**

Ahdin-allas on noin 600 metriä pitkä kapeneva allas, jonka suun leveys on noin 215 m ja perän leveys noin 55 m. Alkuperäisessä satamakäytön aikaisessa muodossaan allas oli tasaisesti kapeneva, joka on esitetty kuvassa 2. Tasaisesti kapeneva suppilomainen muoto kasvattaa aallokkoa perään päin siirryttäessä ja jos altaan seinät olisivat olleet sileitä ja pystysuoria tallainen altaan muoto vahvistaisi aallokon lähes kaksinkertaiseksi. Altaan länsisivulla olevassa Melkinlaiturin rakenteessa oli aallonvaimennuskammioita ja itäisivuilla olevassa Valtamerilaiturin oli pääasiassa paalulaituri, jonka kannen alla oli jyrkkä lohkareverhottu luiska. Aallonvaimennuskammiot ja luiskarakenne pienensivät jonkin verran aallokkoa altaan perällä, mutta silti altaan pohjukassa vallitsi Helsingin niemen pahin aallokko, jossa turvallisen rakentamiskorkeuden laskettiin olevan  $N_{2000} + 4.53$  m (Geoteknisen osaston julkaisu 96).



**Kuva 2: Ahdinallas vuoden 2016 aaltoselvityksen aikana silloisten altaan geometrian ja rakenteiden mahdollistamat alimmat rakentamiskorkeudet (Geoteknisen osaston julkaisu 96).**

Altaan ympäristön rakenteisiin on satamatoimintojen siirryttyä Vuosaareen tehty useassa vaiheessa muutoksia, jotka ovat pienentäneet aallokkoa altaan perällä. Näistä tärkein oli laiturin LJ8 pohjoispäässä oleva lastausrampin täyttö merialueelle. Myös laiturin LJ8 pidentynyt ja Ahdinaltaan pohjukkan madallustäyttö vaikuttivat jossain määrin aallokon voimistumista vähentävinä tekijöinä. Näiden muutosten jälkeen, vuonna 2018 ilmatieteen laitoksen tekemien aaltomittauksen perusteella lasketut merkitsevät aallonkorkeudet on esitetty kuvassa 3. Näiden mittausten perusteella turvalliset rakentamiskorkeudet laskettiin uudelleen ja sen arvoksi Ahdinaltaan pohjukkaan saatiin aikaisempia olosuhteita pienempi  $N_{2000} +3.81$  m. (Kaupunkiympäristön julkaisu 2019:20). Näitä turvallisia rakentamiskorkeuksia noudatetaan tällä hetkellä Ahdinaltaassa, kunnes aaltoilua vaimentavia rakenteita on rakennettu Ahdinaltaaseen.

Liitteessä 1 on esitetty tällä hetkellä voimassa olevat ja tässä selvityksessä määritetyt aallokkoa vaimentavien rakenteiden rakentamisen jälkeen käyttöön otettavat tulevat turvalliset rakentamiskorkeudet.





**Kuva 3: Ahdinaltaassa, altaan edustalla ja avomerellä tehtyjen aaltomittausten avulla laskettu suurin merkittävä aallonkorkeus (Björkqvist, 2019). Kuvaan on lisätty Helsingin Sataman laituripaikan LJ8 sijainti.**

### 3.4 Turvalliseen rakentamiskorkeuteen vaikuttavat tekijät

Turvallisella rakentamiskorkeudella tarkoitetaan sitä korkeutta, jonne yhtenäinen vesi hetkellisesti nousee suurimpien aaltojen vaikutuksesta. Turvallisen rakentamiskorkeuden alapuolelle ei tulisi sijoittaa rakenteita, jotka kastuessaan vaurioituvat. Lattia korkeuden tulisi olla selvästi turvallisen rakentamiskorkeuden yläpuolella rakennusteknisistä yksityiskohdista johtuen.

Turvallinen rakentamiskorkeus rannalla riippuu aallokosta ja vedenkorkeudesta. Siihen vaikuttavat seuraavat tekijät:

1. Aallokko avomerellä ja vaimeneminen saaristossa Länsi-sataman edustalle.
2. Sataman edustalta sisään tulleen meren aallokon vaimeneminen satama-altaassa.
3. Aaltojen kasvu satama-altaassa tuulen vaikutuksesta
4. Vedenkorkeus Kaivopuistossa ja tuulen aiheuttama vedenpinnan kallistuminen
5. Satamaresonanssi
6. Rakennuksen etäisyys rannasta

### 3.4.1 Aallokko avomerellä ja vaimeneminen saaristossa

Suomenlahden aallokon ominaisuudet Helsingin edustalla tunnetaan yli 20 vuotta jatkuneiden mittausten perusteella erittäin hyvin. Tätä tietoa täydentävät Suomenlinnan lähellä Länsikarin luona 6 vuotta kestäneet Helsingin kaupungin teettämät mittaukset.

Länsisataman edustalla on vuosina 2012 ja 2018 tehty lyhytaikaisia aaltomittauksia, joita vertaamalla samanaikaisesti aaltomittauksiin avomerellä on selvitetty aallokon vaimenemista sataman edustalla (Kaupunkiympäristön julkaisu 2019:20). Lokakuussa 2012 yhden kuukauden mittausjakson aikana suurin merkitsevä aallonkorkeus oli noin 0.78 m ja samaan aikaan avomerellä mitattiin noin 1.8 m. Vertailumittausten perusteella on laskettu, että suurin merkitsevä aallonkorkeus sataman suulla on 1 m, siis huomattavasti pienempi kuin voisi olettaa sen perusteella, että suurin avomerellä mitattu merkitsevä aallonkorkeus on 5.2 m. Lähes metrin merkitsevä aallonkorkeus on siten satama-altaassa paljon yleisempää kuin lähes 5 m aallokko avomerellä.

Metrin korkuinen aallokko sataman suulla on myös toisenlaista kuin saman korkuinen aallokko avomerellä: siinä ei ole juuri lainkaan aaltoja, joiden periodi olisi pidempi kuin 5 sekuntia (pituus 40 m), vaikka avomerellä olisi aaltoja, joiden periodi olisi yli 8 sekuntia. Avomerellä aallokossa on tyypillisesti yksi hallitseva periodi ja pitkät ja lyhyet aallot ovat yhtä jyrkkiä. Jätkäsaarella vain lyhyet aallot ovat jyrkkiä. Pitkät aallot ovat Jätkäsaarella loivia ja toisaalta eri pituisten aaltojen korkeudet eivät poikkea paljon toisistaan.

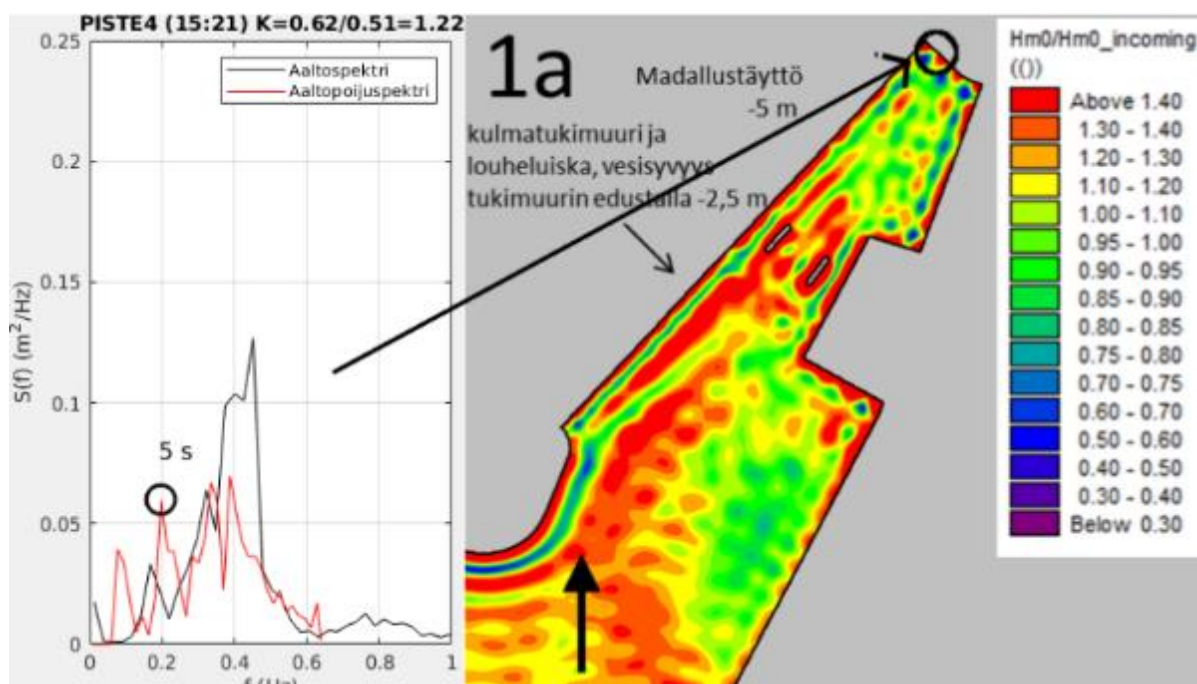
### 3.4.2 Aallokon vaimeneminen satama-altaassa

Ramboll on mallittanut viiden sekunnin periodisten aaltojen käyttäytymisen, kun aallot tulevat suunnasta 180° numeerisella aaltoja simuloivalla mallilla (Ramboll tekninen raportti 2016). Kuvan 4 oikealla puolella esitetyt mallilaskelmat vakuuttavasti osoittavat altaassa tapahtuvien heijastusten aiheuttaman aallonkorkeuden suuren vaihtelevuuden eri paikoissa. Tästä syystä yhdessä pisteessä tehdyt mittaukset eivät välttämättä ole yleistettävissä.

Myöskin mallin tuloksia täytyy soveltaa harkiten: Kuvan 4 vasemmalla puolella oleva ilmatieteen laitoksen mittaama aaltospektri (Björkqvist, 2019) puolestaan kertoo, että yhdellä periodilla tehdyt mallitulokset eivät anna yleispätevää kuvaa aallonkorkeudesta yksityisessä pisteessä. Viiden sekunnin periodiset aallot ovat mittauspisteessä vaimentuneet merkittävästi Ahdinaltaan edustalla mitattuihin verrattuna. Toisaalta mittauspaikassa altaan perällä 2...2.5 sekunnin periodiset aallot olivat vahvistuneet.

Kuva 4 valaisee oleellisella tavalla Ahdinaltaan aallokon yleispiirteitä ja vaihtelevuutta. Tarvittaisiin kuitenkin vastaavat laskelmat kaikilla niillä periodeilla, joissa kuvan vasemmalla laidalla olevassa spektrissä on merkittävästi energiaa, jotta myös numeerisen aaltomallin tulosten yksityiskohdat olisivat merkittäviä esimerkiksi turvallisten rakentamiskorkeuksien laskemiseksi.

Nyt tehdyssä selvityksessä aallokkomallinnus perustuu vuosina 2019 ja 2020 käytettyihin mallinnustyökaluihin, joita on tässä työssä kehitetty edelleen. Malli laskee merkitsevän aallonkorkeuden keskiarvon altaan keskellä oleviin pisteisiin "paalulinjalle".



**Kuva 4:** Kuvan oikealla puolella on numeerisen aaltomallin laskema aallokko, kun aallon tulosuunta on  $180^\circ$  ja periodi 5 sekuntia. Kuvassa merkittäviä ovat aallokon yleiset piirteet, ennen kaikkea aallokon ja vaihtelevuus ja paikoin kasvaminen heijastumisen vaikutuksesta. Yksityiskohdat riippuvat vahvasti aallon periodista ja tulosuunnasta. Oikean puolen kuva ote Rambollin aallokkomallinnuksen raportista vuodelta 2016.

Aaltomittausten aikana altaan perässä oli kuvassa 5 näkyvä pystysuora laiturirakenne. Numeerinen malli kuvassa 4 edustaa myös tilannetta, jossa perällä on pystysuora rakenne.



**Kuva 5:** Aallokko Ahdinaltaan perällä 9.4.2021 kello 17:25. Vedenkorkeus Helsingin mareografilla  $N_{2000} +0.80$  m. Kuvasta määrätty nousukorkeus noin  $N_{2000} +1.7$  m.

### 3.4.3 Aaltojen kasvu satama-altaassa tuulen vaikutuksesta

Ahdinaltaassa ne aallokon lyhyet komponentit, jotka voisivat kasvaa tuulen vaikutuksesta altaassa ovat havaintojen mukaan niin jyrkkiä, että ne murtuvat toistuvasti. Niiden osalta aallokko on altaassa täysin kehittynyttä. Pitkät aallot, jotka altaaseen pääsevät ovat puolestaan niin loivia, että ne eivät kasva tehokkaasti tuulen vaikutuksesta muutama sadan metrin matkalla. Kelluvan kylpylän jälkeen aallokko vaimenee tehokkaasti, mutta matka altaan päähän on siitä niin lyhyt, ettei kasvu ehdi olla merkittävä. Kasvu

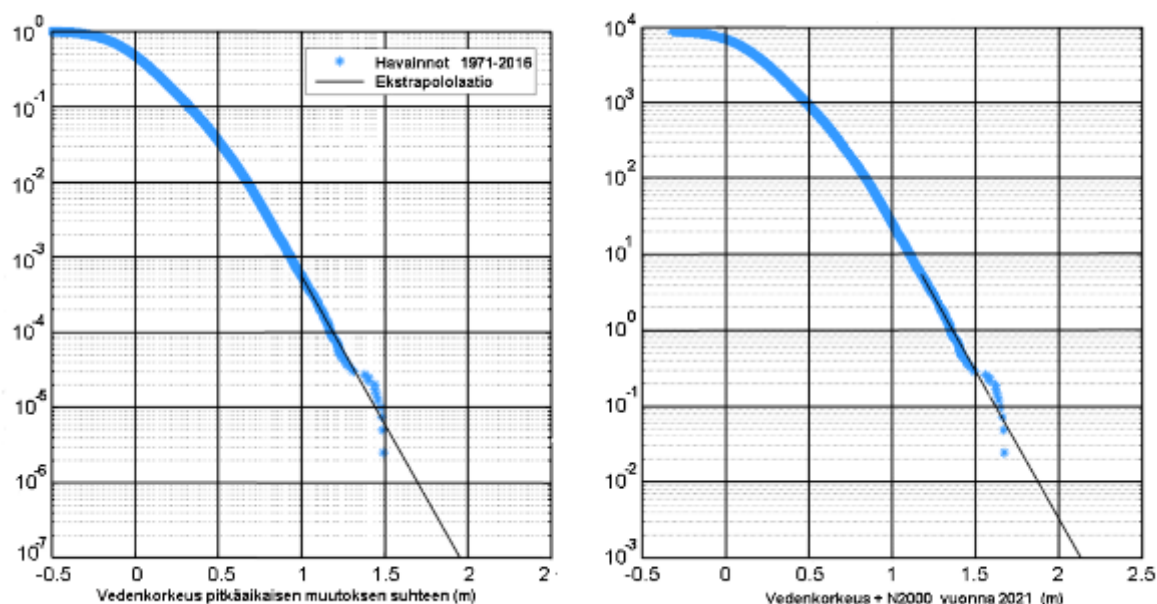
ei siksi laskelmissa erikseen käsitellä, vaan se otetaan huomioon muiden epävarmuustekijöiden kanssa turvallisia rakentamiskorkeuksia määrättäessä.

#### 3.4.4 Vedenkorkeus Kaivopuistossa ja vedenpinnan kallistuminen

Tulvan korkeuteen vaikuttavat keskivedenkorkeuden pitkäaikaiset muutokset ja vedenkorkeuden lyhytaikaiset vaihtelut. Vedenkorkeuden lyhytaikaiset vaihtelut johtuvat tuulesta, ilmanpaineen eroista, Itämeren ominaisheilahtelusta sekä Itämeren vesimäärän vaihteluista. Toisin kuin valtamerien rannoilla, vuoroveden vaikutus on Helsingissä pieni, noin 10 cm, ja tulee näkyviin vain kesällä pitkään jatkuneen tuulettoman jakson aikana.

Ahdinaltaan vedenkorkeus seuraa huomattavan tarkasti Kaivopuiston mareografilla mitattua vedenkorkeutta. Kallistuma on enintään muutama senttimetri.

Selvityksessä käytetty vedenkorkeuden lyhytaikaisten vaihteluiden jakautuma vuonna 2021 kiinteän  $N_{2000}$  järjestelmän suhteen ja toisaalta vuosittain muuttuvan pitkäaikaisen muutoksen suhteen on esitetty kuvassa 6.



**Kuva 6: Vedenkorkeuden lyhytaikaisten vaihteluiden jakautuma vuonna 2021. Vasen: pitkäaikaisen muutoksen suhteen. Oikea: Jakautuma vuonna 2021  $N_{2000}$  järjestelmässä (Leijala et al. 2018).**

Vedenkorkeuden pitkäaikaiset vaihtelut johtuvat maan kohoamisesta ja valtamerien pinnan korkeuden muutoksista. Tulevaisuudessa meriveden pinnan korkeuden ennustetaan nousevan Helsingin edustalla nopeammin kuin maanpinnan ennustetaan nousevan. Sen seurauksena vesiraja tulee siirtymään maalle päin. Näin ollen, mikäli merialueen vesirajan halutaan pysyvän kerran rakennetun mukaisena, pitää merialueetta täyttää tulevaisuudessa keskiveden muutosta vastaavasti. Hallinnollisesti tämä tarkoittanee vesiluvan hakemista merialueen täytölle. Toisaalta asemakaavan näkökulmasta esimerkiksi rantaluiskan kaltevuuden muutos tulevaisuudessa loivemmaksi ja paremmin aallokkoa vaimentavaksi on mahdollista kaavaa muuttamatta, kun vesiraja vain pysyy kaavan mukaisena.

### 3.4.5 Satamaresonanssi

Satamaresonanssilla tarkoitetaan satamassa tapahtuvaa ominaisheilahtelua. Sitä esiintyy kaikissa kolmelta suunnalta suljetuissa satamissa. Sen periodi riippuu veden syvyydestä ja laskennallisesti se on Ahdinaltaassa noin 3 minuuttia. Periodi kasvaa, kun allasta madalletaan tai pidennetään.

Satamaresonanssi laskettiin tätä selvitystä varten vuonna 2018 tehdyistä aaltomittauksista. Hallitseva satamaresonanssin periodi oli silloisen pohjan topografian vallitessa 200 s eli runsaat 3 minuuttia. Satamaresonanssin huipun korkeus keskivedestä oli tunnin aikana suurimmillaan 7.5 cm. Ahdin altaassa korkein vedenpinnan taso satamaresonanssi mukaan lukien on siten  $N_{2000} + 3$  m vuonna 2100 toistuvuudella 1/250 tapausta vuodessa. Se kestää kymmeniä sekunteja mutta ei minuutteja.

Tämä  $N_{2000} + 3$  m on alin turvallinen rakentamiskorkeus sellaisessa paikassa Ahdinaltaan ympäristössä, jossa ei tarvitse ottaa huomioon aaltoiluvaraa.

### 3.4.6 Rakennuksen etäisyys rannasta

Kaupunkiympäristön raportissa esitetyt turvalliset rakentamiskorkeudet sisältävät aallokon vaikutuksen. Ne on määritelty vain rannalle. On selvää, että kilometrin päässä rannasta turvallinen rakentamiskorkeus on vedenkorkeuden korkein taso, ei se taso, jossa on mukana aaltoiluvара. Ahdinaltaan ympäristössä korkeus, jossa ei ole aaltoiluvараa on  $N_{2000} + 3$  m.

Mitään yleisesti hyväksyttyä menetelmää ei ole, jolla voitaisiin määrätä se, miten rannalla aaltoiluvaran sisältävä turvallinen rakentamiskorkeus etäisyyden mukana vähitellen laskee pelkkään tulvakorkeuteen. Tässä raportissa tutkittiin tiettävästi ensimmäistä kertaa Suomessa, miten aaltoiluvaran ulottuminen rannalta maalle päin voitaisiin määrätä.

Alan kirjallisuudessa (Coastal Engineering Manual, CEM) on menetelmä, joka muodollisesti antaa vastauksen kysymykseen. Sen analysointi ja vertailu havaintoihin osoitti kuitenkin, että menetelmän soveltaminen siihen, miten turvalliset rakentamiskorkeudet alenevat rannalta sisämaahan siirryttäessä, on valitettavasti menetelmän pätevyysalueen ulkopuolella.

Tässä selvityksessä on siksi sovellettu kinemaattisten aaltojen laskentamenetelmää, jolla hydrologiassa lasketaan se virtaus ja vedenkorkeus, jonka rankkasade aiheuttaa normaalisti kuivalle maalle. Menetelmän kehittäminen loppuun asti ja testaus eivät valitettavasti mahtuneet nyt laaditun selvityksen laajuuden puitteisiin, mutta sen perusteella voidaan alustavasti todeta, että Ahdinaltaan reunalla lähimmät rakennukset ovat niin lähellä rantaa, että niissä ei saada merkittävää alenemistä tässä selvityksessä laskettuihin tarkennettuihin korkoihin, jotka joka tapauksessa ovat alempia kuin Kaupunkiympäristön julkaisussa 2019:20 esitetty  $N_{2000} + 3.81$  m. Selvyyden vuoksi huomautetaan, että Kaupunkiympäristön julkaisussa 2019:20 esitetty turvallinen rakentamiskorkeus koski sellaista Ahdinallasta, johon ei ole tehty tässä selvityksessä tarkasteltuja, aallokkoa pienentäviä parannuksia.

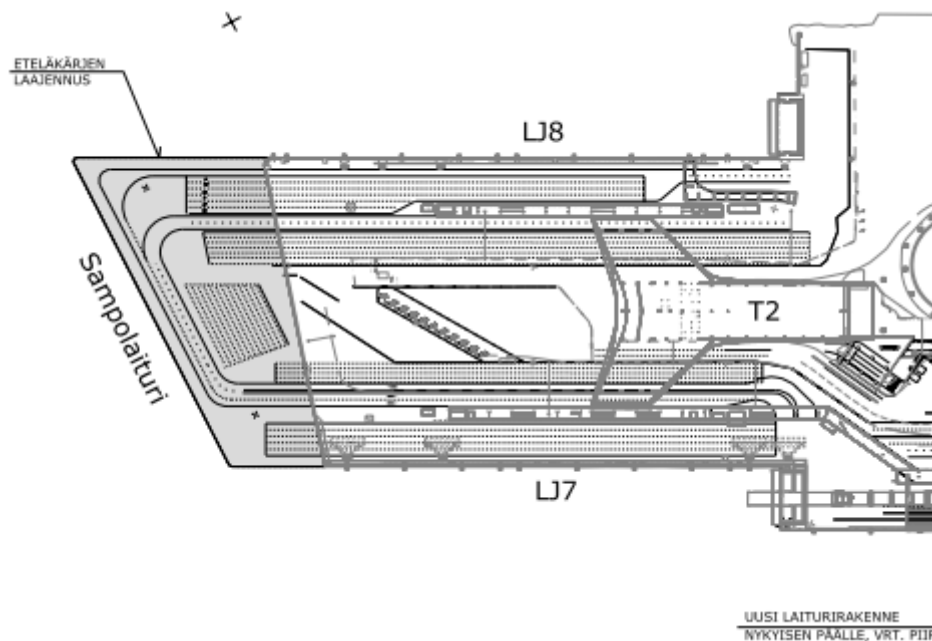
## 4. AALLOKKOLASKELMAT

### 4.1 **Lähtökohtana olleet rantarakenteet**

Kohdassa 3.3 esitettyjen mittausten ja mallilaskelmien jälkeen Ahdinaltaan rakenteissa on tehty muutoksia, jotka vaikuttavat aallokkoon. Näiden lisäksi altaan perälle on suunniteltu aallokkoa vaimentamaan oleskeluranta (kuva 7), sekä Neptunuksenpuiston rannan loivennustäyttö. Alueelle suunniteltu kelluva kylpylä (kuvassa 7) vaikuttaa alueen aallokkoon samoin sataman suunnitelmassa esitetty laiturialueen jatke, joka on esitetty kuvassa 8.



**Kuva 7: Ahdinaltaan perälle suunniteltu oleskeluranta ja kelluva kylpylä (ote Ahdinaltaan ympäristöstä laaditusta "Julkisten ulkotilojen yleissuunnitelmasta", Ramboll 13.1.2022).**



**Kuva 8: Lay-out piirros sataman laitureiden laajennuksesta. Eteläkärjen laajennus on esitetty harmaalla.**

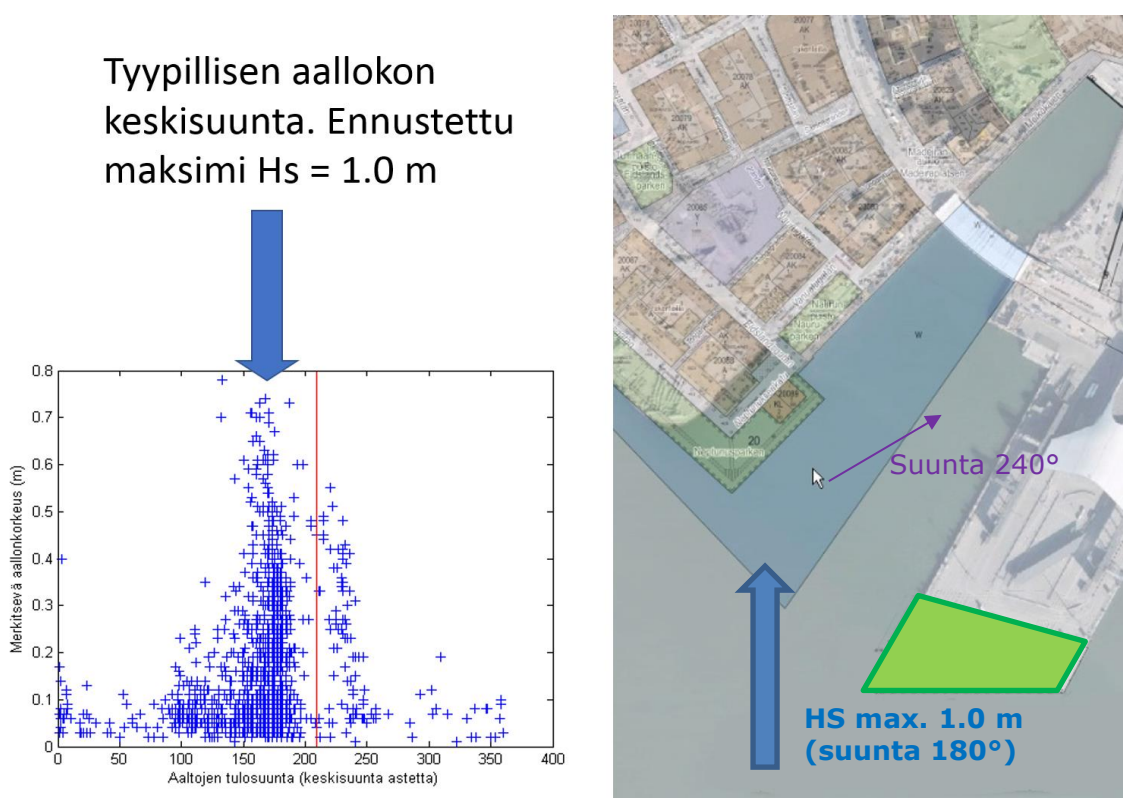
Liitteessä 2 on esitetty koonti Ahdinaltaan ympäristöön laadituissa suunnitelmissa ja asemakaavoissa esitetyistä maanpinnan koroista.

#### 4.2 Tulokset hallitsevista aallokon suunnista

Suunniteltujen rakenteiden aallokkoon aiheuttamien muutosten vaikutuksen selvittämiseksi ja rakenteiden ja vaimennuksen optimoimiseksi on tässä selvityksessä tehty uudet aallokkomallilaskelmat. Ne perustuvat malliin, joka antaa aallokon keskiarvon altaan keskellä olevalla "paalulinjalla", josta on erikseen laskettu valituissa pisteissä rannalla aallokon heijastuminen, vyörymäkorkeus ja turvallinen rakentamiskorkeus. Kaikkia kuutta kohdassa 2.3 käsiteltyä aallokkoon ja vedenkorkeuteen vaikuttavaa tekijää on tarkasteltu siinä laajuudessa kuin ne vaikuttavat lopputulokseen.

Hallitseva aallokon tulosuunta Jätkäsaarella on  $180^\circ$  vaikka avomerellä se on  $240^\circ$  ja hallitseva tuulen suuntakin on lounaasta. Kuvassa 9 on vuonna 2012 tehtyjen aaltomittausten aallonkorkeuden ja tulosuunnan ristiintaulukointi. Siitä näkyy, että laiturin LJ8 suuntainen aallokko on harvinaisempaa ja pienempää kuin suoraan etelästä tuleva aallokko. Toisaalta suunnasta  $210^\circ$  tuleva aallokko pääsee vähemmän vaimentuneena altaan perälle.

Tarkastellaan ensin aallokkoa, jonka keski-suunta on  $180^\circ$ . Sen korkeudeksi otetaan havaintojen ja vertailun perusteella ennustettu suurin aallonkorkeus  $H_s = 1$  m. Vedenkorkeudeksi otetaan nykyinen keskivesi, jota vastaa korkeustaso + 0.2. Aallokon kulmaja-kautumaksi oletetaan  $30^\circ$ .



**Kuva 9: Vuonna 2012 tehtyjen aaltomittausten aallonkorkeuden ja tulosuunnan ristiintaulukointi sekä aallokon suuntia karttakuvassa. Karttakuvassa esitetty vihreällä sataman suunnittelema LJ8 laiturin jatke. Punainen viiva on laiturin LJ8 suunta.**

Kun aallokko tulee suunnasta  $180^\circ$  jo toteutettu LJ8 laiturin piteneminen pienentää aallokkoa siitä mitä se oli vuoden 2012 aaltomittausten aikana. Niiden vuoden 2012 mit-

tausten perusteella laskettiin laiturin pidentämisen myötä vanhentunut turvallinen rakentamiskorkeus  $N_{2000} +3.81$  m. LJ8 laiturin jatke tulee edelleen parantamaan tilannetta. Tosin suunnasta  $240^\circ$  tulevat aallot heijastuvat vahvemmin pidemmästä laiturista ja kasvattavat Neptunuksenpuiston eteläosaan tulevaa aallokkoa. Kuva 9 kuitenkin osoittaa, että aallon tulosuunta noin  $240^\circ$  on harvinainen ja aallot sieltä merkittävästi suuntaan  $180^\circ$  pienempiä. Siten LJ8 laiturin heijastuksen vaikutus Ahdinaltaan aallokko-olosuhteisiin on merkityksetön.

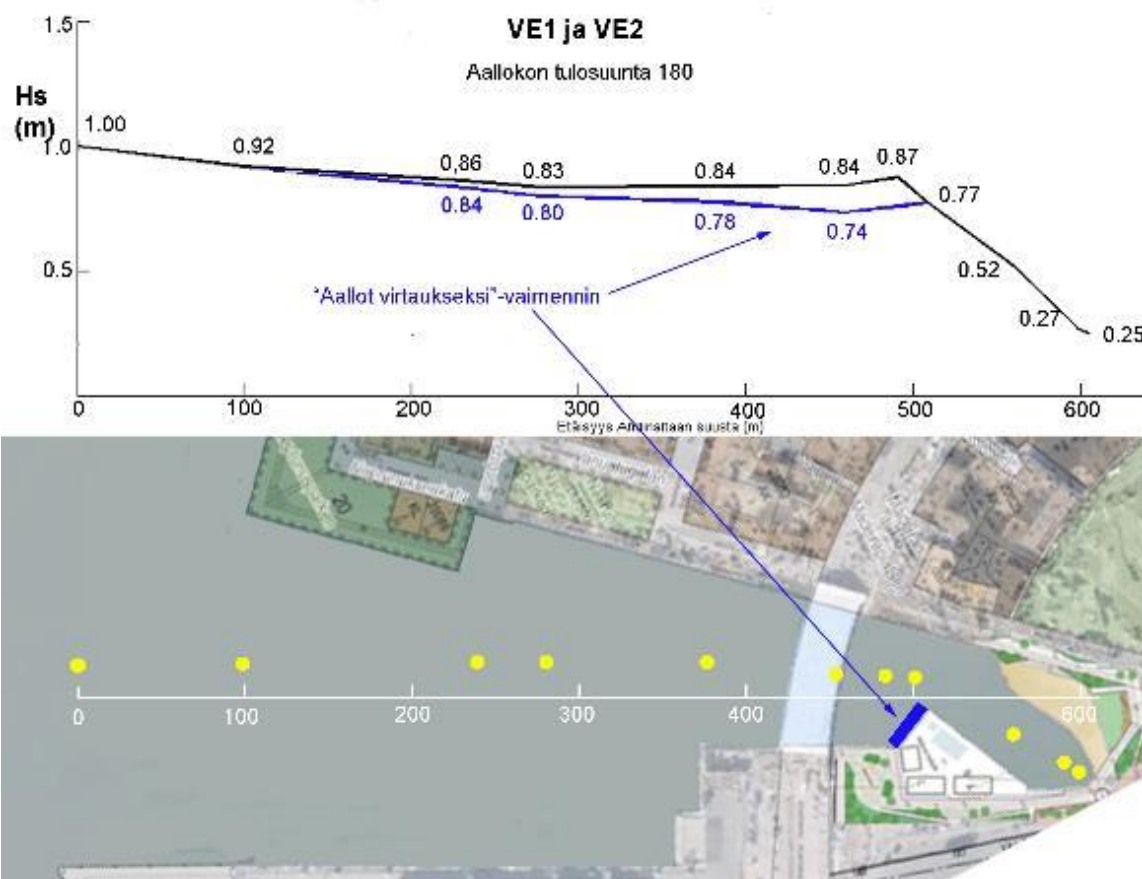
**Taulukko 1: Merkitsevän aallonkorkeuden vaimeneminen Ahdinaltaassa, kun aallokon tulosuunta on  $180^\circ$  ja merkitsevä aallonkorkeus on 1 m. Sarake kolme antaa merkitsevän aallonkorkeuden (Hs), kun kelluvan kylpylän päädyssä on heijastuksia vaimentava aallot virtaukseksi laite**

Etäisyys Ahdinaltaan suusta (m)	Hs (m)	Hs (m), kun kelluvassa kylpylässä "aallot virtaukseksi" vaimennin	"Paalulinjalla" olevan laskentapisteen nimitys
0	1.0	1	0 Altaan suu
100	0.92	0.92	1 Neptunuksenpuiston etelänurkka
231	0.84	0.84	2 Neptunuksenpuiston pohjoisnurkka
277	0.83	0.80	3 Naurunpuisto
382	0.84	0.78	4 LaiturinLJ8 ramppi
459	0.84	0.74	5 Atlantinsillan eteläpuoli
491	0.87	0.76	6 Atlantinsillan pohjoispuoli
508	0,77	0.77	7 Kelluvan kylpylän kulma
560	052	0.52	8 Kelluvan kylpylän pitkän sivun pohjoispää
598	0.27	0.27	9 Oleskeluranta
605	0.25	0.25	10 Koilliskulma

Taulukosta 1 ja kuvasta 10 havaitaan, että Neptunuksenpuiston loivennustäyttö, LJ8 laiturin ajoramppi, oleskeluranta ja kelluva kylpylä vaimentavat Ahdinaltaan aallokon altaan perää kohti siirryttäessä Helsingin suojaisten lahtien aallokon tasolle. Kelluvan kylpylän osuus altaan perän aallokon vaimenemisessa on huomattava. Toisaalta eteläpääty heijastaa laiturin LJ8 rampin tavoin aaltoja Melkinlaituriin. Tämä on huomattava asia etenkin Atlantinsillan alla, jossa kevyen liikenteen kulkuväylä laskeutuu niin alas, että jo nykyisin korkean veden aikaan aaltojen harjat nousevat reunan ylitse. Tätä asiaa tarkastellaan tarkemmin kohdassa 5.2.

Laiturin LJ8 ramppi heijastaa (kuva 11) heijastaa aaltoja. Nämä heijastuneet aallot ovat merkittävä osa Neptunuksenpuiston ja Naurunpuiston yhdistävän kolmion muotoiseen meritäyttöön tulevista aalloista. Kyseinen kolmio on ikään kuin "varjossa" suoraan sataman suulta tuleville aalloille.





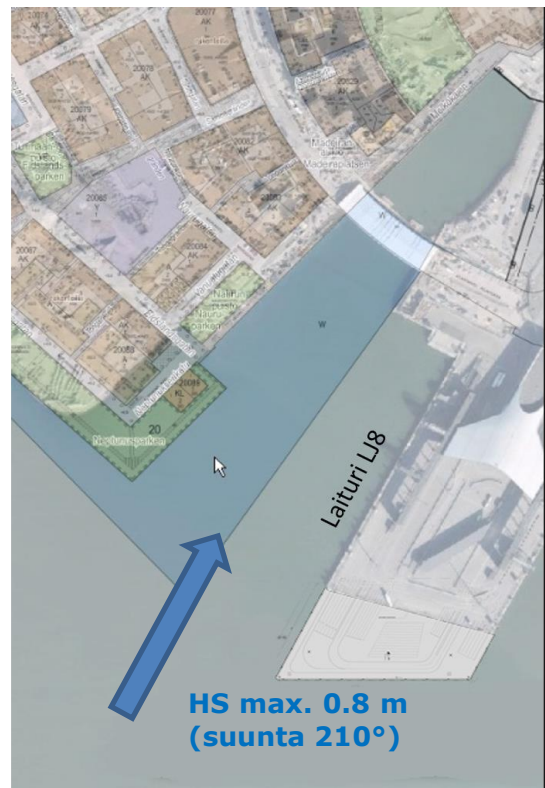
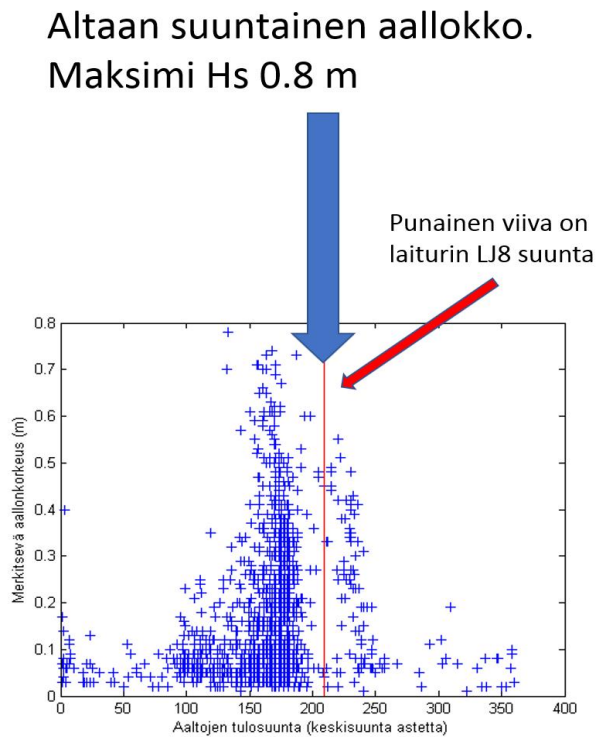
**Kuva 10: Merkitsevän aallonkorkeuden vaimeneminen Ahdinaltaassa, kun aallokon tulosuunta on 180° ja merkitsevä aallonkorkeus on 1 m.**



**Kuva 11: LJ8 laiturin ajoramppi aallokossa. Ramppi heijastaa huomattavan osa aallokosta ja siksi vaimentaa syvemmällä Ahdinaltaassa olevaa aallokkoa merkittävästi siitä mitä altaan kapeneminen muuten aiheuttaisi. Ramppi toisaalta kasvattaa aallokkoa Neptununpuistossa ja varsinkin sen avomereltä suojatussa pohjoisreunassa**

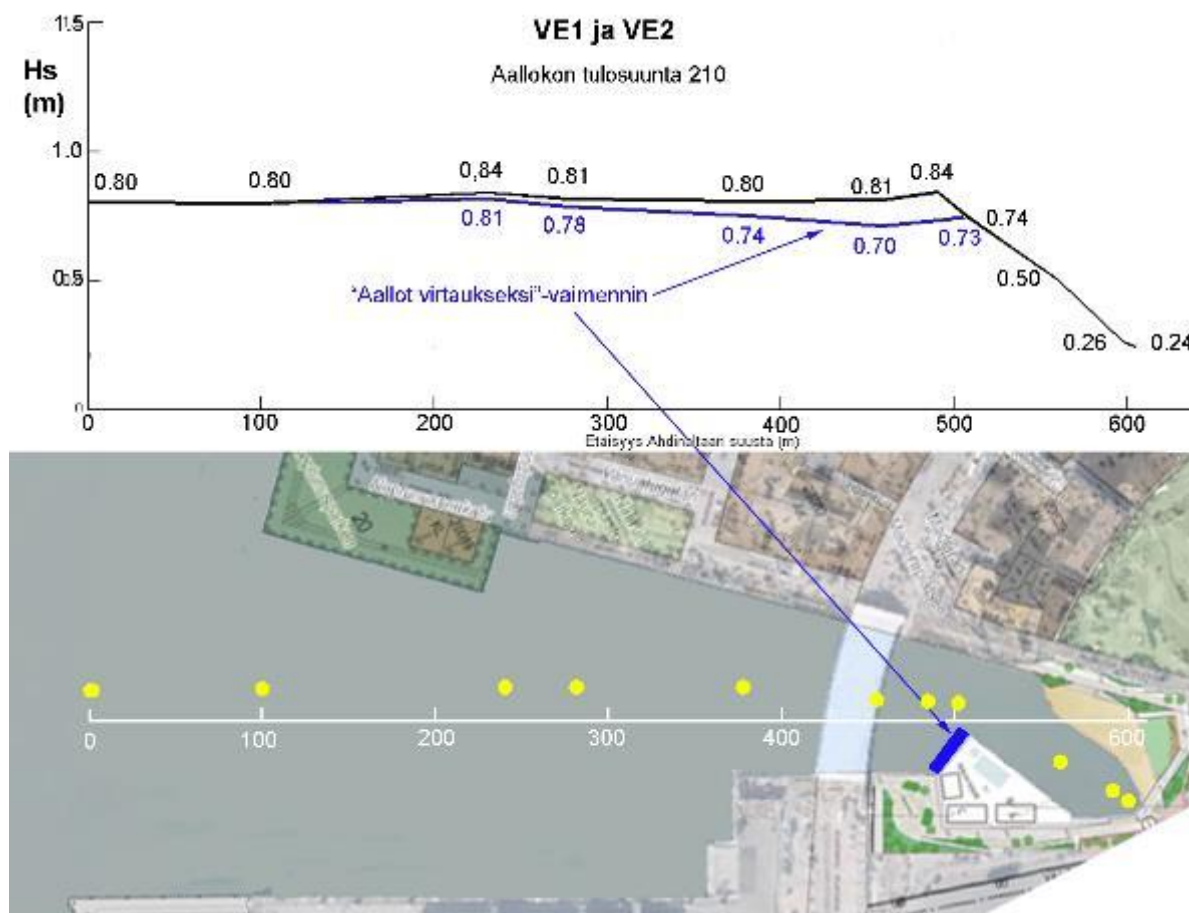
Ahdinaltaan suulla aallokko on suurinta suunnasta 180°, mutta vaimeneminen Ahdinaltaassa on pienempää, kun aallokko tulee altaan suunnasta. Varmuuden vuoksi laskettiin vaimeneminen myös, kun aaltojen keskisuunta on 210°. Kuva 11 näyttää, että suunta

selvästi harvinaisempi kuin  $180^\circ$ . Myös merkitsevän aallonkorkeuden maksimikorkeuden arvioidaan olevan pienempi, 0.8 m suunnassa  $210^\circ$ .



**Kuva 12: Vuonna 2012 tehtyjen aaltomittausten aallonkorkeuden ja tulosuunnan ristiintaulukointi sekä aallokon suuntia karttakuvassa.**

Kun verrataan kuvaa 13 ja 10 havaitaan, että altaan perällä aallokko on molemmissa tapauksissa oleellisesta yhtä suurta ja se on suurempaa lähellä altaan suuta, kun aallokon suunta on  $180^\circ$ . Siten on turvallista käyttää laskuissa suunnasta  $180^\circ$  tulevaa aallokkoa.



**Kuva 13: Merkitsevän aallonkorkeuden vaimeneminen Ahdinaltaassa, kun aallokon tulosuunta on 210° ja merkitsevä aallonkorkeus on 0.8 m. Tämä aaltojen tulosuunta on harvinainen verrattuna suuntaan 180°. Altaan perällä se johtaa oleellisesti samansuuruiseen aallokkoon kuin suunta 180°.**

## 5. RAKENNEVAIHTOEHDOT

### 5.1 Yleistä

Aallokkoa vaimentaviksi rakennevaihtoehdoiksi valittiin seuraavat Neptunuksenpuiston eteläosan rakenteet:

- VE 1: Vedenalainen tukimuuri + loiva luiska yläosan rakenteena
- VE 2: Luiskarakenne, jonka yläosassa luiskan loivennus

Lähtökohtana molemmissa rakenteissa on ollut rakenteen etäisyys vähintään 5 m laivaväylän reunasta väylän haraustasossa.

Näiden perusvaihtoehtojen lisäksi sovittiin tarkasteltavaksi erillinen vaihtoehto VE 3, jonka lähtökohtina ovat, että Neptunuksenpuiston eteläosa toteutetaan VE 2:n mukaisena luiskarakenteena, mutta että tätä selvitystä kirjoitettaessa suunnitteluvarauksen omaava kelluva kylpylä jää jostain syystä toteutumatta.

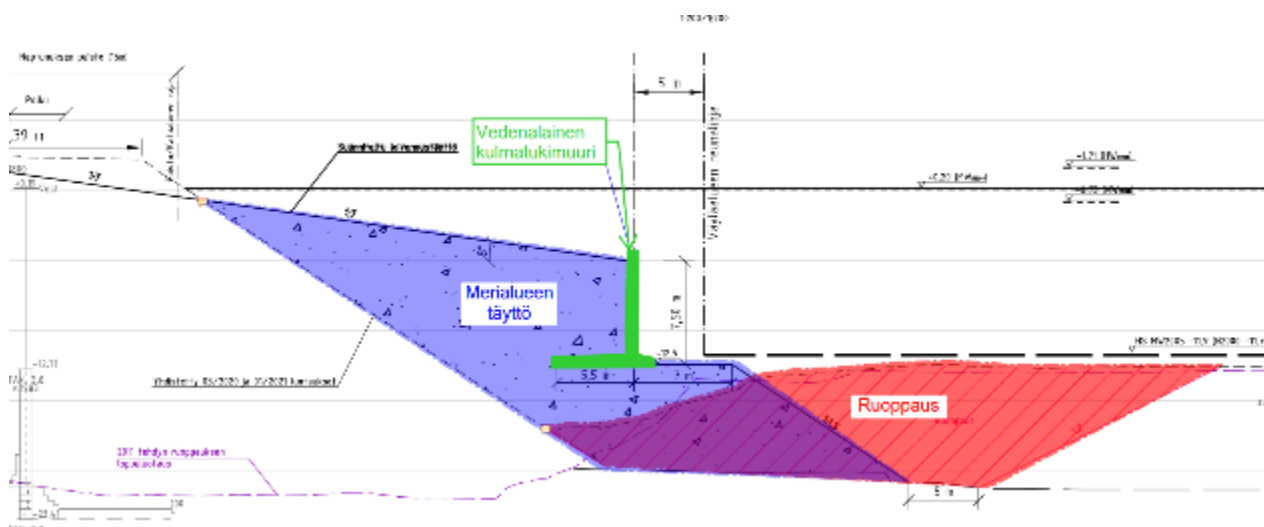
Tässä selvityksessä tehtävillä aallokkolaskelmilla on tarkoitus hakea VE 1:n ja VE 2:n rakenteiden jatkosuunnittelua varten dimensioita, joilla rakenteen toimivuus aallonvaimennusrakenteena voidaan varmistaa ja samalla hakea maankäytön näkökulmasta ratkaisuja, jotka mahdollistavat Melkinlaiturin asemakaavan mukaisen Neptunuksenpuis-

ton rakentamisen mahdollisimman pienin muutoksin sekä mahdollistavat kelluvan kylpylän toteuttamisen sekä Ahdinaltaan pohjukkaan suunnitellun oleskelurannan toteuttamisen.

## 5.2 VE1: vedenalainen tukimuuri

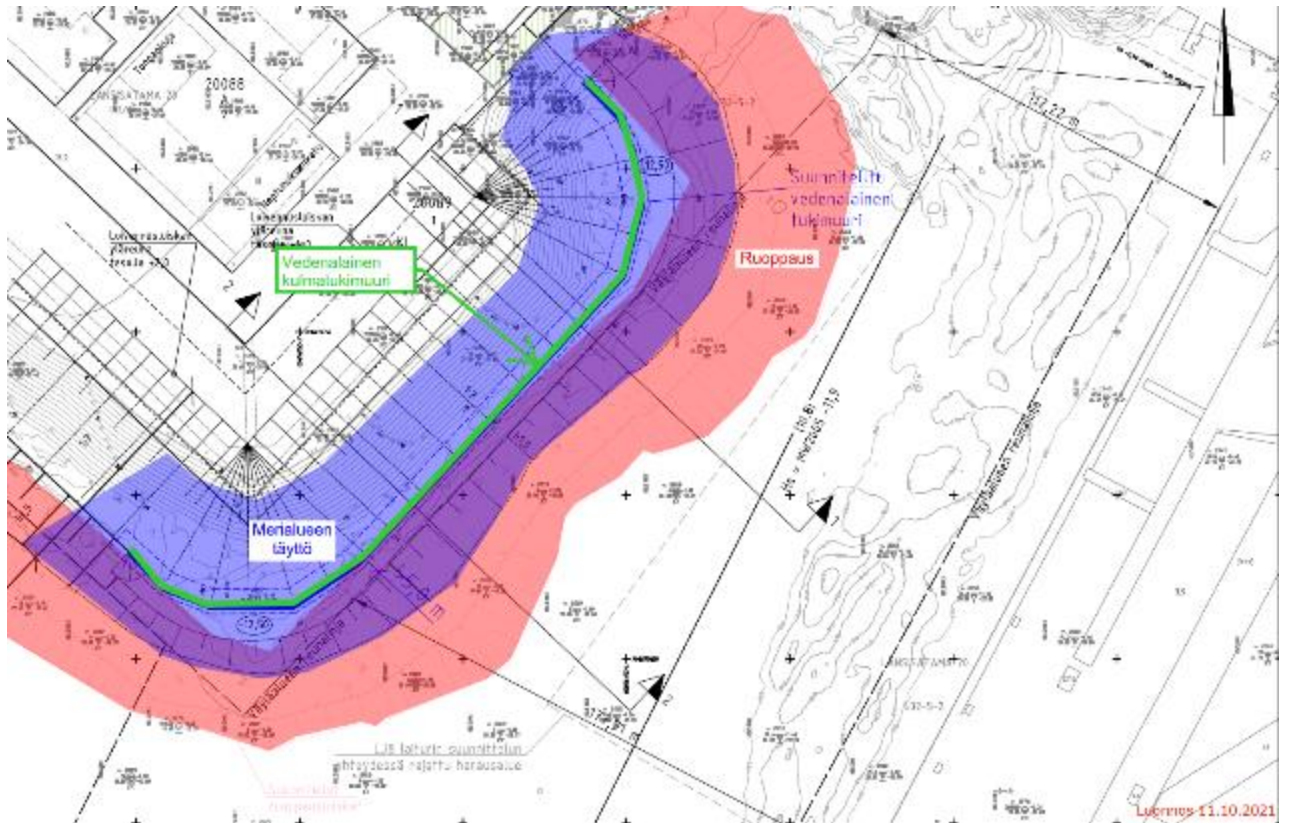
Vaihtoehdon 1 mukainen rakenne tuli esiin mahdollisena rakennevaihtoehtona aallonvaimennusrakenteiden vaihtoehtotarkastelua laadittaessa vuonna 2020. Lähtökohtana oli osin pystysuoran rakenne, joka mahdollistaa aallokon vaikutusalueella erittäin loivan, 1:7 luiskan, mutta ei edellytä läheisen laivaväylän reunalinjan siirtoa ja väyläalueen kaventamista. Pystysuorana rakenteena esitettiin täyttömaston varaan perustettua kulmatukimuurielementtiä.

Vaihtoehdon lähtökohtana ollut rakenne on esitetty leikkausluonnoksessa kuvassa 14 ja lay-out piirros kuvassa 15.



**Kuva 14: VE1 rakenteen poikkileikkausluonnos. Veden alle 5 m etäisyydelle laivaväylästä asennettava kulmatukimuurirakenne on esitetty vihreällä ja kulmatukimuurin edellyttämä ruoppaus punaisella ja merialueen täyttö sinisellä.**

Vaihtoehto todettiin teknisesti hankalaksi, mutta se tutkittiin, koska alustavat tarkastelut viittasivat siihen, että pelkällä loivalla luiskalla ei olisi mahdollista saavuttaa tavoiteltua aallonvaimennusta ilman maa-alueen merkittävää kaventamista.



**Kuva 15: VE 1 rakenteen kulmatukimuurin linjauksen alustava luonnos esitetty vihreällä. Kulmatukimuurin edellyttämä ruoppaus on esitetty punaisella ja merialueen täyttö sinisellä**

Rakenne edellyttää ruoppausta, josta suuri osa ulottuu laivaväylän väyläalueelle. Lähtökohtana ruoppaukselle on ollut ulottaa se savi/silttikerroksen alapintaan asti sekä 5 m minimietäisyys täyttöluiskan ja ruoppausluiskan välillä kovassa pohjassa.

Merialueen täytössä voidaan käyttää pääasiassa louhetta, jonka minimilohkarekoko ei ole määritelty. Tukimuurin edustan täytössä on kuitenkin syytä käyttää karkeampaa louhetta, joka kestää paremmin mm. laivaliikenteestä aiheutuvia virtauksia.

Kulmatukimuri on vierekkäin asennettavista teräsbetonisista elementeistä rakentuva vedenalainen noin 8 m korkea rakenne. Elementit asennetaan merialueen täyttöön noin -13 tasoon kaivettavalle ja murskeella tasattavalle alueelle. Elementtien asennuksen jälkeen niiden tausta täytetään kaivumailla, yläosan täyttöluiska muotoillaan ja suojataan eroosiolta.

Rakennetta ei suunniteltu tarkemmin tässä työssä, mutta vaihtoehtojen vertailua varten sille laskettiin karkea vertailukustannus, joka on esitetty taulukossa 2.

**Taulukko 2: VE1 alustava vertailukustannus.**

VE1: Vedenalainen kulmatukimuri ja loiva luiska	määrä	yks.	€/yks	€
Ruoppaus	100 000	m3ktr	15	1 500 000
Merialueen täyttö louheella	80 000	m3rtr	15	1 200 000
Merialueen täyttö karkealla #>0,5 m louheella	40 000	m3rtr	25	1 000 000
Merialainen kulmatukimuurirakenne, h = 8 m	265	jm	17 500	4 637 500
Täyttöluiskan yläosan eroosiosuojaus lohkeilla tasolle +2, t = 1 m	18 000	m3ktr	50	900 000
<b>VE1 vertailukustannus yhteensä noin</b>				<b>9 300 000</b>

### 5.2.1 Tukimuurivaihtoehdon rakenteen optimointi

Heijastuskertoimet laskettiin käyttäen Suomen saariston aallokkoa varten kehitettyä menetelmää, jonka avulla voidaan laskea kahdesta eri kaltevuudesta muodostuvan rannan heijastuskerroin.

## Heijastuskertoimet

20 m syvä vesi. Pysty muuri tasolle d. Yläosa eri kaltevuuksilla  
4 s periodi. Aallot tulevat rannan suuntaisesti.

d	yläosan kaltevuus						
	1/1.5	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	1/7
0	0.3148	0.3148	0.3148	0.3148	0.3148	0.3148	0.3148
1	0.7034	0.6876	0.6721	0.6667	0.6646	0.6637	0.6633
2	0.5499	0.5215	0.4929	0.4826	0.4786	0.4769	0.4761
3	0.4629	0.4242	0.3837	0.3687	0.3629	0.3603	0.3591
4	0.4104	0.3634	0.3122	0.2924	0.2846	0.2812	0.2795
5	0.3775	0.3241	0.2634	0.2388	0.2289	0.2245	0.2223
6	0.3566	0.2983	0.2294	0.2003	0.1880	0.1825	0.1799
7	0.3430	0.2812	0.2057	0.1722	0.1576	0.1510	0.1477
8		0.2698	0.1892	0.1517	0.1349	0.1270	0.1230
9		0.2621	0.1776	0.1369	0.1178	0.1086	0.1040
10		0.2569	0.1695	0.1261	0.1050	0.0945	0.0892
11		0.2534	0.1639	0.1183	0.0954	0.0838	0.0776
12	0.3148	0.2509	0.1599	0.1126	0.0883	0.0755	0.0686

**Kuva 16: Kaltevuuksien optimointi vaihtoehdon VE1 tapauksessa. Pystysuoran muurin korkeus on d. Punaisella merkityissä heijastuskerroin on liian suuri, keltaisella merkityssä tyydyttävä ja vihreällä merkityssä hyvä.**

Suurin osa tyydyttävän ja hyvän heijastuskertoimen antavista muurin korkeuden ja luiskan kaltevuuden kombinaatioista eivät ole toteuttamiskelpoisia, koska niissä joko rantaviiva siirtyy pois kaavan mukaisesta paikasta tai luiska ulottuu liian pitkälle maa-alueelle päin. Muutamia kombinaatioita ovat toteuttamiskelpoisia ja niiden joukossa oli yksi, jossa tyydyttävä heijastuskerroin saavutettiin, vaikka muurin yläpinta oli 11 m syvyydellä. Tämä antoi aiheen tutkia löytyisikö sellainen rakenne, jossa tukimuuria ei ole lainkaan, jolloin voidaan saavuttaa huomattavia säästöjä rakentamiskustannuksissa.

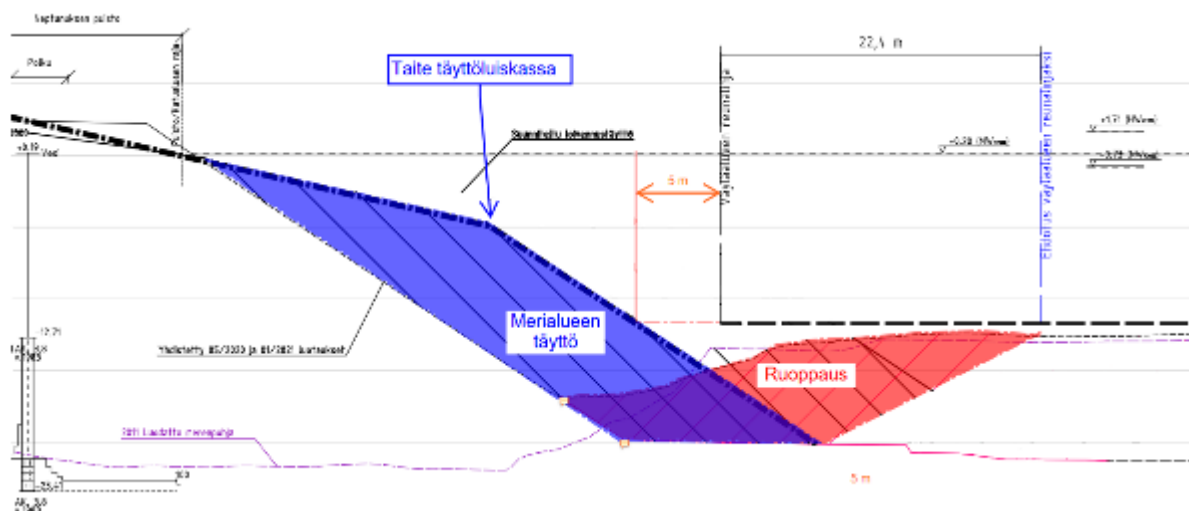
### 5.3 VE2: luiskarakenne

Vaihtoehdon 2 mukainen rakenne tuli esiin mahdollisena rakennevaihtoehtona aallonvaimennusrakenteiden vaihtoehtotarkastelua laadittaessa vuonna 2020. Tällöin rakenteen lähtökohtana ollut erittäin loiva, 1:7 luiska, olisi edellyttänyt laivaväylän reunalinjan siirtoa ja väyläalueen kaventamista tai Neptunuksenpuiston maa-alueen kaventamista. Väyläalueen kaventaminen tai puiston maa-alueen kaventaminen eivät kumpikaan olleet helposti hyväksyttävissä lähtökohtia, joten tämän vaihtoehdon realismi oli epävarma.

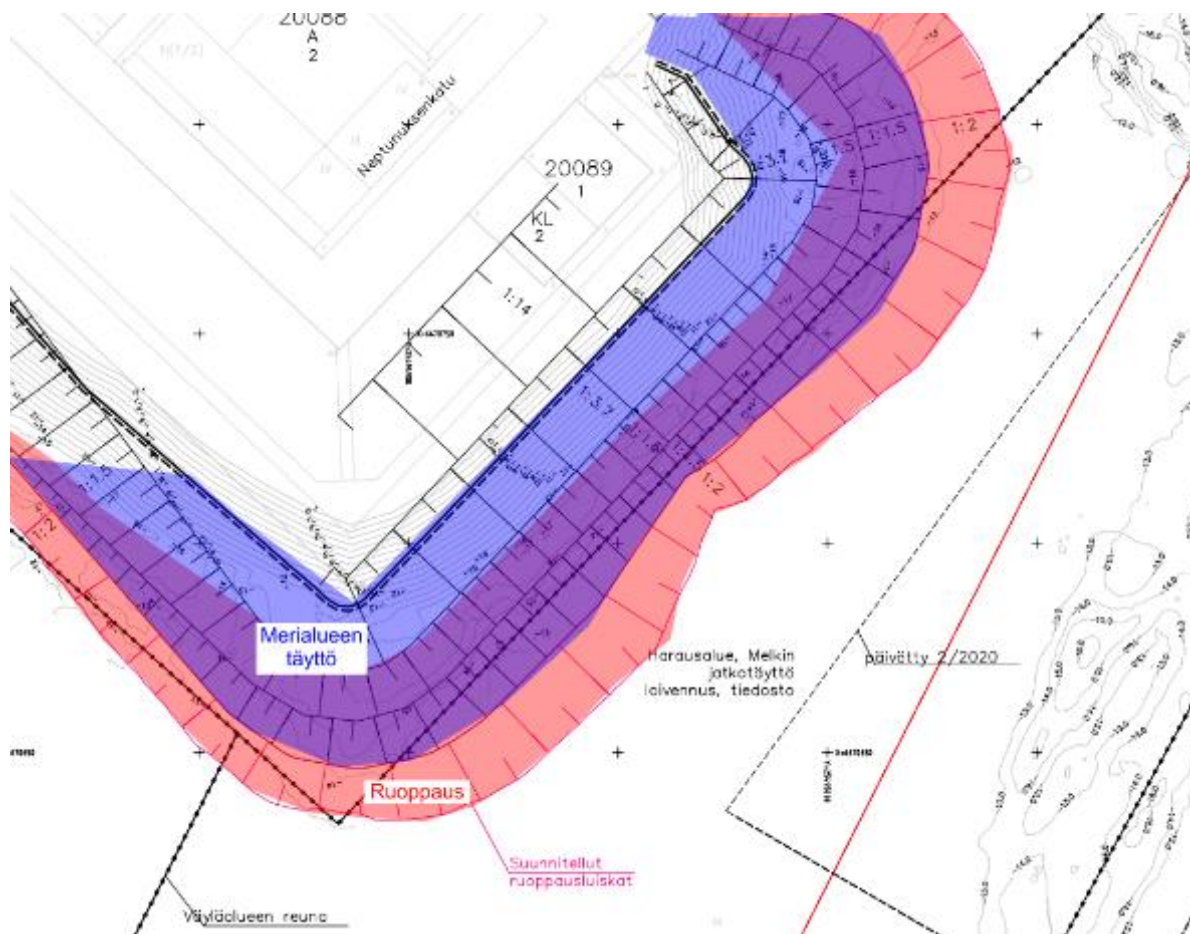
Ensimmäisten tätä työtä varten tehtyjen aallokon vaimennuslaskelmien perusteella vaihtoehto alkoi kuitenkin vaikuttaa uudelleen realistisemmalla, sillä yläosan loivan luiskan

kaltevuudeksi ei tarvittukaan niin loivaa luiskaa, että sillä olisi vaikutusta laivaväylän tai Neptunuksenpuiston leveyteen.

Vaihtoehdon lähtökohdana ollut rakenne on esitetty leikkauksuonnoksessa kuvassa 17 ja lay-out piirros kuvassa 18. Alemman lohkareluiskan kaltevuus on 1:1.5 ja ulottuu syvyydelle d.



**Kuva 17: VE2 rakenteen poikkileikkauksuunnos. Täyttöluiska, joka on asemoitu VE1:n tapaan 5 m etäisyydellä laivaväylästä väylän haraustasossa. Meritäyttö esitetty sinisellä ja sen edellyttämä ruoppaus punaisella.**



**Kuva 18: VE 2 rakenteen täytön ja ruoppauksen laajuuden alustava luonnos. Ruoppaus on esitetty punaisella ja merialueen täyttö sinisellä**

Rakenne edellyttää ruoppausta, josta osa ulottuu laivaväylän väyläalueelle. Lähtökohdiana ruoppaukselle on ollut ulottaa se savi/silttikerroksen alapintaan asti täyttöluiskan ja ruoppausluiskan helmojen kohtaaminen kovassa pohjassa. Ruoppauksesta on alustavasti keskusteltu väylästä vastaavan Helsingin Sataman kanssa ja heidän puolestaan tilapäinen työskentely väyläalueella onnistuu, mutta satama-altaan reunalinjaa osoittavien viittojen perustaminen luiska-alueelle on hankalaa.

Merialueen täytössä on syytä käyttää karkeampaa louhetta, jolloin myös täyttöluiskan alaosa kestää paremmin mm. laivaliikenteestä aiheutuvia virtauksia.

Rakennetta ei suunniteltu tarkemmin tässä työssä, mutta vaihtoehtojen vertailua varten sille laskettiin karkea vertailukustannus, joka on esitetty taulukossa 3.

**Taulukko 3: VE2 alustava vertailukustannus.**

VE2: Luiska jonka yläosassa loivennus	määrä	yks.	€/yks	€
Ruoppaus	40 000	m3ktr	15	600 000
Merialueen täyttö karkealla #>0,5 m louheella	60 000	m3rtr	25	1 500 000
Täyttöluiskan yläosan eroosiosuojaus lohkareilla tasolle +2, t = 1 m	12 000	m3rtr	50	600 000
<b>VE2 vertailukustannus yhteensä noin</b>				<b>2 700 000</b>

### 5.3.1 Luiskarakennevaihtoehdon rakenteen optimointi

Vaihtoehdossa VE2 tarkasteltiin tilannetta, jossa tukimuuri on korvattu alaosastaan jyrkällä 1:1,5 kaltevuudessa olevalla lohkareluiskalla ja yläosassa on loivempi luiska. Kuvassa 19 ovat heijastuskertoimet vaihtoehdolle VE 2a ja kuvassa 20 vaihtoehdolle VE 2b.



## Heijastuskertoimet

20 m syvä vesi josta 1/1.5 kaltevuus tasolle d. Yläosa eri kaltevuuksilla  
4 s periodi. Aallot tulevat rannan suuntaisesti.  
Alaosa lohkareluiska, yläosa sileä luiska

d	yläosan kaltevuus						
	1/1.5	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	1/7
0	0.3148	0.3148	0.3148	0.3148	0.3148	0.3148	0.3148
1	0.5823	0.4779	0.3405	0.2733	0.2419	0.2269	0.2192
2	0.6561	0.5269	0.3498	0.2558	0.2076	0.1826	0.1692
3	0.6872	0.5478	0.3540	0.2473	0.1897	0.1582	0.1405
4	0.7029	0.5584	0.3561	0.2428	0.1798	0.1438	0.1229
5	0.7116	0.5643	0.3573	0.2402	0.1739	0.1351	0.1117
6	0.7167	0.5678	0.3580	0.2387	0.1703	0.1296	0.1045
7	0.7199	0.5700	0.3585	0.2377	0.1680	0.1261	0.0998
8	0.7219	0.5713	0.3588	0.2371	0.1666	0.1238	0.0968
9	0.7231	0.5722	0.3590	0.2367	0.1657	0.1223	0.0947
10	0.7240	0.5728	0.3591	0.2365	0.1650	0.1213	0.0933
11	0.7245	0.5732	0.3592	0.2363	0.1646	0.1207	0.0924
12	0.7249	0.5734	0.3592	0.2362	0.1643	0.1202	0.0917

**Kuva 19** Kaltevuuksien optimointi vaihtoehdon VE 2a tapauksessa. Alempi 1:1.5 lohkareluiska ulottuu syvyydelle d; ylempi luiska on sileä. Punaisella merkityissä heijastuskertoimen on liian suuri, keltaisella merkityssä tyydyttävä ja vihreällä merkityssä hyvä.

Vaihtoehdossa VE 2a ylempi luiska on sileä, vaihtoehdossa VE 2b myös ylempänä on lohkareluiska. Kuva 20 osoittaa, että pieni heijastuskertoimen saadaan VE 2a:n sileällä 1:7 luiskalla, kun kulmakohta on 5 metrin syvyydessä. Tällä kaltevuudella luiska jatkuu pitkälle maan päällä ennen kuin turvallinen rakentamiskorkeus on saavutettu.

## Heijastuskertoimet

20 m syvä vesi josta 1/1.5 kaltevuus tasolle d. Yläosa eri kaltevuuksilla  
4 s periodi. Aallot tulevat rannan suuntaisesti.  
Alaosa lohkareluiska, yläosa lohkareluiska

d	yläosan kaltevuus						
	1/1.5	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	1/7
0	0.3148	0.3148	0.3148	0.3148	0.3148	0.3148	0.3148
1	0.3148	0.2775	0.2366	0.2208	0.2145	0.2117	0.2104
2	0.3148	0.2620	0.1990	0.1720	0.1605	0.1554	0.1529
3	0.3148	0.2545	0.1791	0.1442	0.1285	0.1212	0.1175
4	0.3148	0.2506	0.1678	0.1273	0.1081	0.0988	0.0940
5	0.3148	0.2483	0.1611	0.1168	0.0947	0.0835	0.0776
6	0.3148	0.2469	0.1570	0.1100	0.0857	0.0729	0.0660
7	0.3148	0.2461	0.1543	0.1056	0.0797	0.0655	0.0576
8	0.3148	0.2456	0.1527	0.1027	0.0756	0.0604	0.0516
9	0.3148	0.2452	0.1516	0.1008	0.0728	0.0568	0.0473
10	0.3148	0.2450	0.1509	0.0995	0.0709	0.0543	0.0443
11	0.3148	0.2448	0.1504	0.0987	0.0696	0.0526	0.0421
12	0.3148	0.2447	0.1500	0.0981	0.0687	0.0513	0.0405

**Kuva 20: Kaltevuuksien optimointi vaihtoehdon VE 2b tapauksessa. Alempi 1:1.5 lohkareluiska ulottuu syvyydelle d. Loivempi yläluiska on myös lohkareilla päällystetty. Punaisella merkityissä heijastuskertoimen on liian suuri, keltaisella merkityissä tyydyttävä ja vihreällä merkityssä hyvä.**

Kun myös ylempänä on lohkareluiska, kuvasta 21 löytyy kaltevuudesta 1:4 kaltevuuteen 1:7 rantaan mahtuvia kombinaatioita, joiden kaikkein heijastuskertoimen on pieni. Tällaisia ovat d=7 m, kaltevuus 1:4, d=4 kaltevuus 1:5 ja d= 3 m kaltevuus 1:7. Taulukossa 3 lasketut turvalliset rakentamiskorkeudet ovat alempana kuin vaihtoehdossa VE 2a. Tällä perusteella vaihtoehto VE 2a on pinnan sileyttä lukuun ottamatta huonompi kuin VE 2b, koska sekä sen heijastuskertoimen että turvallinen rakentamiskorkeus ovat epäedullisempia.

Jyrkin kaltevuus, jolla saadaan hyvä heijastuskertoimen, on 1: 3.7. Sillä ranta on kalteva maan päällä mahdollisimman lyhyen matkan. Tämä kaltevuus on valittu tässä raportissa Neptunuksenpuiston turvallisen rakentamiskorkeuden määrittämiseen kappaleessa 5.2. Loivempi luiska ei nosta turvallista rakentamiskorkeutta vaan hieman alentaa sitä.

### 5.4 Jatkosuunnitteluun suositeltu vaihtoehto

Vaihtoehdoista VE 2 on teknisesti yksinkertaisempi, kustannuksiltaan selvästi edullisempi ja mahdollistaa Ahdinaltaan aallonvaimennuksen sekä samanaikaisesti asemakaavan mukaisen maankäytön toteuttamisen.

Vaikka rakenteita ei vielä tätä selvitystä varten suunniteltu tarkemmin, voidaan kiistatta todeta, että VE 1 tulee olemaan maarakennustöiltään VE2:a suurempitöisempi. Kulmatukimuurielementin asennus meritäytön varaan edellyttää täytön osalta laajempaa ruoppausta. Edelleen elementtien asennusriskin ja kunnossapitoriskin pienentämiseksi ruoppaus on perusteltua tehdä periaatteella, jossa täyttöluiskan helman ja ruoppausluiskan helman välissä on 5 m minimietäisyys kovassa pohjassa.

Laivaväylän näkökulmasta VE 2 on VE 1:ä turvallisempi. VE 1:n tukimuurirakenteen mahdolliset vauriot tai asennuksessa tapahtuneet virheet (esim. raot elementtien välissä) voivat johtaa tilanteeseen, jossa väyläalueen reunalle kulkeutuu louhetäyttöä haraustason yläpuolelle.

Vaihtoehdossa VE 2 on mahdollista valita muitakin tyydyttäviä kombinaatioita kuin se, jossa ylemmän luiska kaltevuus on 1:3.7

Neptunuksenpuiston eteläosan jatkosuunnittelua suositellaan tehtäväksi vaihtoehdon 2 mukaisena rakenteena.

## 6. MUUT AALLOKkoa VAIMENTAVAT RAKENTEET

### 6.1 Aallokon virtaukseksi muuttava kelluva laiturirakenne

Tarkemman aallokkotarkastelun perusteella aiemmassa tarkastelussa Melkinlaiturin edustalle esitettyä aallokon virtaukseksi muuttavaa kelluvaa laituria ei suositella rakennettavaksi. Laiturin sijainti on esitetty kuvassa 21. Melkinlaiturin edusta on olosuhteiltaan ankara paikka, johon rakenteen ankkurointi (asemointi paaluilla) tulee kalliiksi hankintana ja myös ylläpidon kannalta. Parempi paikka, jossa rakenteella saavutetaan sama altaan pohjukan aallokkoa vaimentava vaikutus, on kelluvan kylpylän kohdalla. Rakenteen kustannuksia voidaan vähentää, mikäli rakenne integroidaan osaksi kelluvaa kylpylärakennetta. Itsenäisen rakenteen hankinnan kokonaiskustannukseksi noin 30 m pitkänä arvioidaan olevan suuruusluokkaa 1,2 milj. €.



**Kuva 21: Aallonvaimennusrakenteiden vaihtoehtotarkastelussa esitetty paikka aallokon virtaukseksi muuttavalle kelluvalle laiturille (Ramboll ja Akateemiset konsultit 1.2.2020) sekä punaisella uusi sijainti tämän tarkastelun perusteella.**

Mikäli Melkinlaiturin varrelle halutaan vesibussiliikenteen mahdollistava rakenne, suositellaan paikalle asennettavaksi Melkinlaiturin suuntainen hyvissä olosuhteissa käytettävä kelluva laituri tai Melkinlaiturin kiinteään rantarakenteen modifiointia sellaiseksi, että siitä kulku vesibussiin onnistuu turvallisesti eri vedenkorkeuksilla.

## 6.2 Kelluva kylpylä

Kelluva kylpylä kaventaa aallojen reittiä oleskelurannalle ja siten merkittävästi pienentää aallokkoa siellä kuten kuvat 10 ja 13 näyttävät.

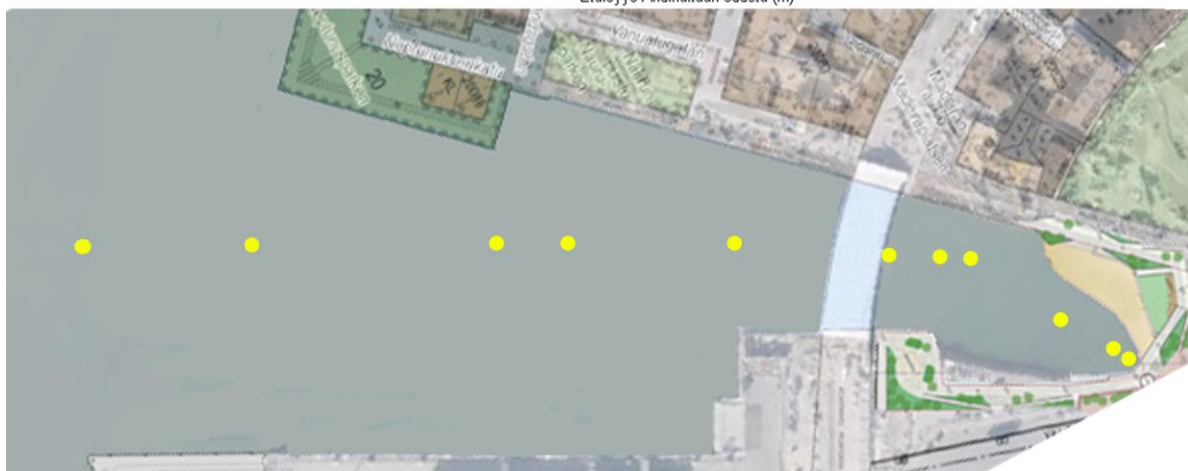
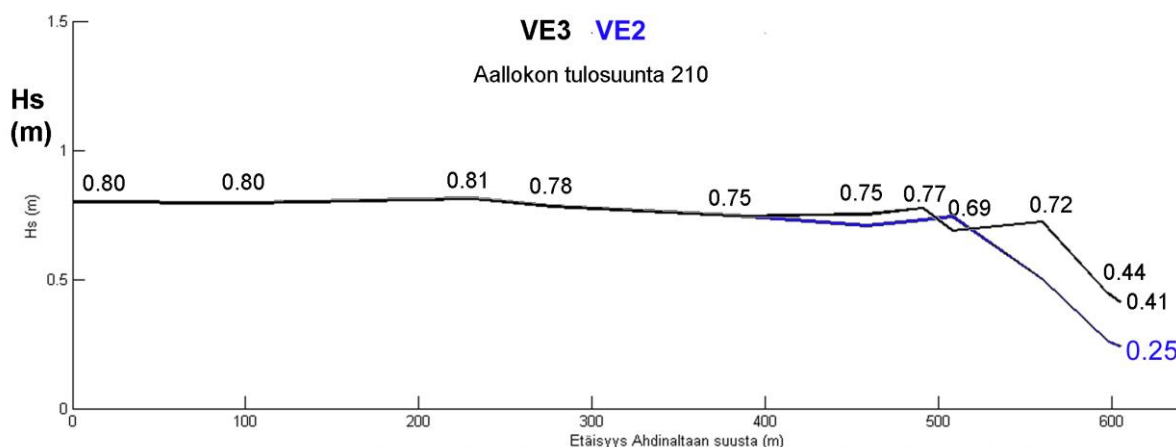
Kelluva kylpylän eteläpääty on alttiina aalloille, joista suurimmat yksittäiset aallot voivat olla 1.6 m korkeita (Laskettu merkitsevä aallonkorkeus 0.78 m). Pääty myös heijastaa aaltoja Atlantinsillan alapuoliselle kevyen liikenteen väylälle. Laskelmien mukaan kelluvan kylpylän eteläsivun heijastukset tulevat nostamaan sillan alla olevaa aallokkoa maksimitapauksessa noin 10 cm, joka ennen kaikkea vaikuttaa siihen, kuinka usein vettä nousee väylälle. Kuvassa 22 esitetty tilanne sillan alittavalla kevyenliikenteen väylällä meriveden ollessa korkealla.



**Kuva 22: Kelluvan kylpylän eteläseinästä heijastuneet aallot lisäävät niiden tapausten lukumäärää, jolloin vesi nousee Atlantinsillan alta kulkevalle kevyen liikenteen väylälle. Heijastuminen voidaan välttää altaan eteläpään tehtävällä aallot virtaukseksi muuttavalla rakenteella. Valokuva otettu 22.10.2021 vedenkorkeuden ollessa Helsingin mareografilla N2000 + 1.09 m.**

Heijastukset voidaan estää aallot virtaukseksi muuttavalla rakenteella kelluvan kylpylän eteläsivulla. Laite myös estää roiskeet kylpylään (kuva13 roiskeista samanlaisen aallokon paikassa) ja siihen voidaan yhdistää harjakeräin roskien keräilyyn. Jos kelluvaa kylpylää ei jostain syystä rakenneta, niin aallokon heijastuksia ei tule, mutta kuvasta 23 havaitaan, että silloin oleskelurannan aallokko nousee yli 60 % (0,41 m vs. 0,25 m) ja tämä tulee ottaa huomioon oleskelurannan suunnittelussa.

Kelluvaan kylpylään integroituna aallokon virtaukseksi muuttavan rakenteen hankinnan kustannukseksi arvioidaan suuruusluokkaa 0,6 milj. €.



**Kuva 23: Merkitsevän aallonkorkeuden vaimeneminen Ahdinaltaassa, kun kelluvaa kylpylää ei rakenneta (musta käyrä, mustat numerot) ja kun kelluva kylpylä ja aallot virtaukseksi vaimennin rakennetaan (sininen käyrä, sinen numero). Aallokon tulosuunta on 210° ja merkitsevä aallonkorkeus on 0.8 m. Altaan perällä kuva vastaa myös suuntaa 180°.**

### 6.3 Oleskeluranta

Oleskeluranta murtaa altaan pohjukkaan asti pääsevän aallokon tehokkaasti ja estää heijastukset. Itäreunassa on pystysuora rantamuurirakenne, jolla vaikutusta pärskintään ja altaan pohjukan itänurkan turvalliseen rakentamiskorkeuteen. Jos kelluvaa kylpylää ei ole havaitaan kuvasta 23, että oleskelurannan pohjukan aallokko nousee yli 60 %. Kelluvan kylpylän sijaan voidaan siihen kohtaa, jossa eteläpääty sijaitaisi, asentaa itsenäinen kelluva aallot virtaukseksi laite, jota on käsitelty kappaleessa 6.1.

Oleskelurannan olosuhteissa aallonvaimennusominaisuudet ovat riittävät, kun rannan kaltevuus on loivempi kuin 1:6. Nykytilassa loivan rannan tulee ulottua tasolle  $N_{2000} + 2.6$  m, jos kaltevuus on 1:6. Jos ranta on loivempi, esimerkiksi 1:15, loivan rannan tulee ulottua tasolle  $N_{2000} + 2.1$ . Rannan kaltevuuden määrittämisessä on otettava huomioon käytettävän hienorakeisen materiaalin luontainen kitkakulma veden alla ja rannan kunnossapitotarve. Mitä pienirakeisempaa rannan maa-aines on sitä loivempaan kulmaan se luontaisesti asettuu ja mitä jyrkempi rannan kaltevuus on, sitä enemmän ranta vaatii kunnossapitoa. Kaavoitusta varten laaditussa pohjarakennuksen yleissuunnitelmassa oleskelurannan kaltevuudeksi on suunniteltu 1:20.

Jotta oleskeluranta säilyttäisi aallonvaimennusominaisuutensa, sitä täytyy korottaa tulevaisuudessa tapahtuvaa keskivedenpinnan nousua vastaavasti. Ensimmäisen kerran korotustarvetta täytyy arvioida vuonna 2050. Keskivedenpinnan noustessa esimerkiksi 50 cm koko rantaa täytyy nostaa 50 cm, jos kaltevuus säilyy. Jos kaltevuus jyrkkenee 1:15

kaltevuudesta kaltevuuteen 1:6, niin vesirajassa rantaa täytyy nostaa 50 cm, mutta yläpäässä sitä täytyy nostaa 100 cm tasolle  $N_{2000} + 3.1$  m.

#### 6.4 Sataman laiturirakenteen laajennus

LJ8 laiturin jatke tulee pääsääntöisesti pienentämään aallokkoa. Sampolaituri heijastaa ja vahvistaa aaltoja vain, jos ne tulevat suunnasta, joka on suurempi kuin  $209^\circ$ . Nämä ovat suhteellisen harvinaisia ja suurimmat aallot eivät tule sieltä. Suunnasta  $240^\circ$  tulevat aallot heijastuvat vahvemmin pidemmästä laiturista ja kasvattavat Neptunuksenpuiston eteläosaan tulevaa aallokkoa. Kuva 9 kuitenkin osoittaa, että aallon tulosuunta noin  $240^\circ$  on harvinainen ja aallot sieltä merkittävästi suuntaan  $180^\circ$  pienempiä. Näin ollen LJ8 laiturin heijastuksen vaikutus Ahdinaltaan aallokko-olosuhteisiin on erittäin pieni silloinkin, kun laituri voimistaa aallokkoa.

Sataman alustavissa suunnittelemisissa esittämiä Melkinlaiturirakenteen kaltaisia aallokon vaimennuskammioita ei voi suositella rakennettaviksi. Aallot, joiden periodi on pidempi kuin 2.5 s ja pituus pidempi kuin 10 m, heijastuvat vahvasti aallonvaimennuskammioista huolimatta. Aallonvaimennuskammio vaimentaa aaltoja, joiden pituus on alle 10 m, kun vedenkorkeus normaalilla tasolla. Korkean veden aikaan kammiot täyttyvät vedellä eivätkä vaimenna aallokkoa lainkaan.

## 7. TURVALLISET RAKENTAMISKORKEUDET

### 7.1 Yleistä

Turvalliset rakennuskorkeudet on laskettu Kaupunkiympäristön julkaisussa 2019:20 esitettyllä menetelmällä, jota tarkemmin esitelty raportissa Kahma et al. (2014). Tässä selvityksessä käytettyjen vedenkorkeuden ja aallonkorkeuden todennäköisyysjakautumien muodostaminen on esitetty julkaisussa Leijala et al. (2018). Selvityksessä käytetty vedenkorkeuden lyhytaikaisten muutosten jakautuma on esitetty kappaleessa 3.4.4.

Turvallisen rakentamiskorkeuden alapuolelle voidaan sijoittaa kellareita, kunhan niiden kosteudesta vahingoittuvat osat ovat Jätkäsaarella tason  $N_{2000} + 3$  m yläpuolella. Tämän tason alapuolella täytyy kosteudesta vahingoittuvissa rakenteissa olla asianmukainen vedeneristys.

Vedeneristysten vaatimuksien määrittämistä varten voidaan todeta, että kellarissa tason  $N_{2000} + 2.8$  m yläpuolelle veden arvioidaan nousevan vuoteen 2200 menneessä vain keran enintään kymmenien sekuntien ajan. Kellarissa tason  $N_{2000} + 2.0$  m yläpuolelle nouseva tulva kestää enintään 12 h.

Lähellä jyrkkää rantaa olevissa rakennuksissa on otettava huomioon aallokosta johtuvat roiskeet, jotka voivat nousta useita metrejä korkeimman vedenpinnan yläpuolelle kuten kuva 11 näyttää.

Turvallisten rakentamiskorkeuksien määrittäminen on tässä vaiheessa annettu senttimetrin tarkkuudella kuten Kaupunkiympäristön julkaisussa 2019:20 on tehty, jotta paikkojen suhteellisia eroja voisi paremmin verrata. Arvioiden epävarmuus on suurempi, 10 senttimetrin luokkaa. Yhteenvedossa tuloksiin on lisätty epävarmuustekijöiden vaatima lisä ja tulos pyöristetty ylöspäin lähimpään 10 cm.

Koska tässä selvityksessä tarkasteltiin tarkemmin Neptunuksenpuiston rakenteen vaihtoehtoja ja työn aikana selvisi, että Neptunuksenpuiston ja Naurunpuiston yhdistävää kolmion muotoista ranta-aluetta on tarpeen tarkastella tarkemmin, on turvallisten rakentamiskorkeuksien tarkastelua tehty näiltä osin tarkemmin. Laskentaa näiltä alueilta on pyritty avaamaan myös tämän kappaleen tekstissä tarkemmin. Muilta alueilta teksti on tässä raportissa niukempaa.

Koonti tässä selvityksessä määritetyille turvallisille rakentamiskorkeuksille, kun suositellut aallokkoa vaimentavat rakenteet on toteutettu, on esitetty liitteen 1 karttapiirroksessa. Samassa liitteessä on esitetty myös nykyisin voimassa olevat turvalliset rakentamiskorkeudet. Liitteen 3 kartalla on esitetty tässä selvityksessä määritetyt turvalliset rakentamiskorkeudet, kun suositellut aallokkoa vaimentavat rakenteet on toteutettu sekä voimassa olevissa asemakaavoissa esitetyt merialuetta lähimmät tulevan maanpinnan korkeuslukemat.

Turvallisen rakentamiskorkeuden määritelmä on esitetty kappaleessa 3.4.

## 7.2 Neptunuksenpuisto

### 7.2.1 Luiskakaltevuudet ja pintamateriaalit

Mikäli Neptunuksenpuiston eteläreuna olisi pystysuora sileä muuri, turvallinen rakentamiskorkeus olisi nyt tehtyjen laskujen perusteella  $N_{2000} + 3.75$  m, joka hieman pienempi kuin Kaupunkiympäristön julkaisussa 2019:20 samalle paikalle annettu  $N_{2000} + 3.81$  m. Mikäli ranta on nykyinen esirakennusvaiheeseen täytetty ja kaltevuuteen noin 1:1.5 luiskattu eroosiosuojattu ranta (kuva 24), turvallinen rakentamiskorkeus olisi pysty muuria hieman pienempi  $N_{2000} + 3.63$  m. Nämä kaikki ovat runsaasti Neptunuksenkadun korkeuden  $N_{2000} + 4.9$  m. alapuolella. Jos puistoon ei tule satunnaisesta kastumisesta kärsiviä rakenteita etelärannan loivennustäyttö ei ole tarpeen.

Jos sinne tultaisiin sijoittamaan kastumisesta kärsiviä rakenteita, niin lohkareluiskalla, jonka kaltevuus on noin 1:3.7 turvallisesti rakennuskorkeudeksi saadaan Neptunuksenpuiston eteläreunalla  $N_{2000} + 3.36$  m. Luiskalla, jonka kaltevuus on noin 1:4.5 saavutetaan turvallinen rakentamiskorkeus  $N_{2000} + 3.31$  m. Aallonvaimennuksen kannalta riittävä lohkareen halkaisija on luokkaa 0.3...0.6 m.

Neptunuksenpuiston Naurunpuiston puoleisessa nurkassa on kahvilatontti 20089. Lohkareluiska 1:3,7 antaa turvallisesti rakentamiskorkeudeksi  $N_{2000} + 3.33$ . Kaltevuuden loiventaminen 1:3.7 => 1:4 madaltaisi turvallista rakentamiskorkeutta vain 2 cm, eikä siten kompensoisi luiskan pidentymistä.

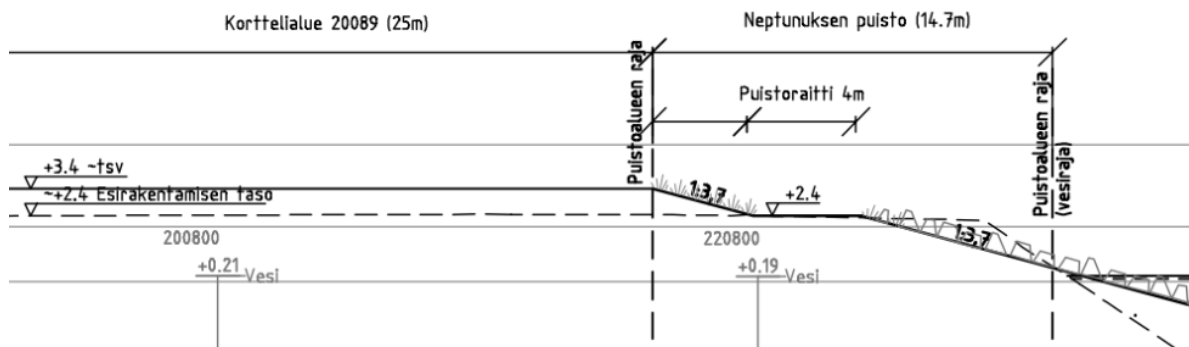
Sileän asfalttipinnan tai hienon hiekan päällystämän loivan 1:7 luiskan turvallinen rakentamiskorkeus on  $N_{2000} + 3.42$  m, siis suurempi kuin jyrkemmän lohkarepinnan. Jos rantaviiva pidetään kaavan mukaisessa paikassa tätä korkeutta ei savuteta tontin reunaan mennessä. Nurmikkopinta laskee turvallisen rakentamiskorkeuden tasolle  $N_{2000} + 3.36$  m, mutta tätäkään korkeutta ei saavuteta tontin reunan mennessä. Sileä loiva luiska ei siten mahdu nykyisen rantaviivan ja tontin väliin.

### Taulukko 4: Neptunuksenpuiston turvalliset rakentamiskorkeudet (1/250) ja useammin toistuvien nousukorkeusien tasot. Toistuvuustasot ovat tapausta vuodessa vuonna 2100

1	1/50	1/100	1/250	
2.96	3.54	3.63	3.75	Eteläreuna sileä pysty muuri
2.87	3.42	3.51	3.63	Eteläreuna nykyinen 1:1.5 lohkareluiska
2.64	3.16	3.28	3.36	Eteläreuna 1:3.7 lohkareluiska
2.83	3.37	3.46	3.57	Pohjoisnurkka nykyinen 1:1.5 lohkareluiska
2.61	3.13	3.22	3.33	Pohjoisnurkka 1:3.7 lohkareluiska
2.59	3.11	3.20	3.31	Pohjoisnurkka 1:4 lohkareluiska
2.71	3.22	3.31	3.42	Pohjoisnurkka 1:7 sileä luiska
2.65	3.16	3.25	3.36	Pohjoisnurkka 1:7 nurmikko

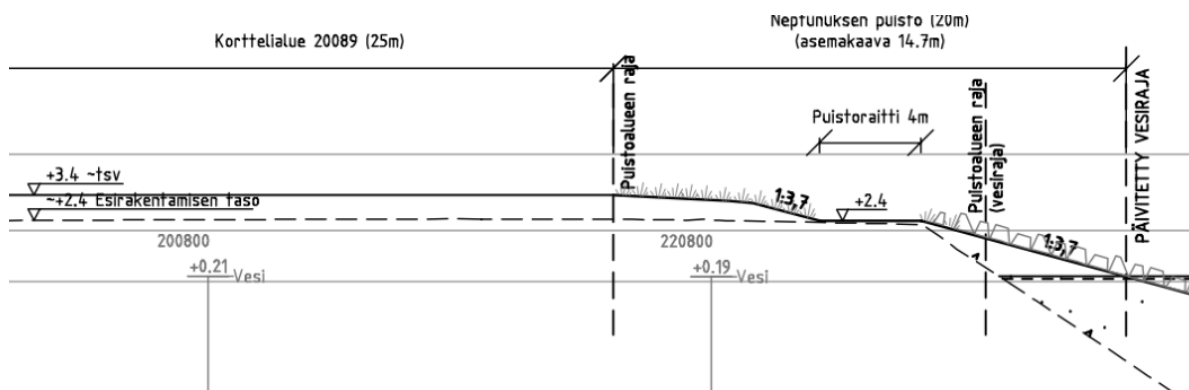
### 7.2.2 Vesirajan siirtotarve

Mikäli vesiraja pidetään voimassa olevan asemakaavan mukaisena ja luiskakaltevuus on 1:3,7, saadaan ranta-alueelle sijoitettua 4 m leveä puistoraitti ja korttelialueen merenpuoleinen reuna on turvallisella tasolla  $N_{2000} +3,4$ . Alustava luonnos tästä on esitetty kuvassa 24.



**Kuva 24: Alustava luonnos Neptunuksen puiston rakenteista asemakaavan mukaisella rantaviivalinjauksella ja luiskakaltevuudella 1:3,7 (Ramboll/L. Axelsson 11.4.2022).**

Mikäli rantaviivaa voidaan siirtää nykyisen asemakaavan linjauksesta merialueelle päin, se tulee helpottamaan mukautumista tulevaan ennustettuun meriveden pinnan nousuun. Korttelialueen ja puistoraitin väliin voidaan tällöin esimerkiksi sijoittaa korotus tai koko luiskan yläosan kaltevuutta voidaan loiventaa, jolloin turvallista rakentamiskorkeutta korttelialueen kohdalla ei välttämättä tarvitse tulevaisuudessa muuttaa. Kuvassa 25 on esitetty alustava luonnos tilanteesta, jossa rantaviivaa on sijoitettu merialueelle päin noin 5 m, luiskakaltevuus on edelleen 1:3,7, jolloin puistoraitin ja korttelialueen väliin jää alue, johon voi tulevaisuudessa tehdä pienen korotuksen. Todettakoon, että 5 m ranta-  
viivan siirto merialueelle päin on yhteensovittavissa merialueen väylätilan kanssa niin ettei se edellytä väyläalueen kavennusta.

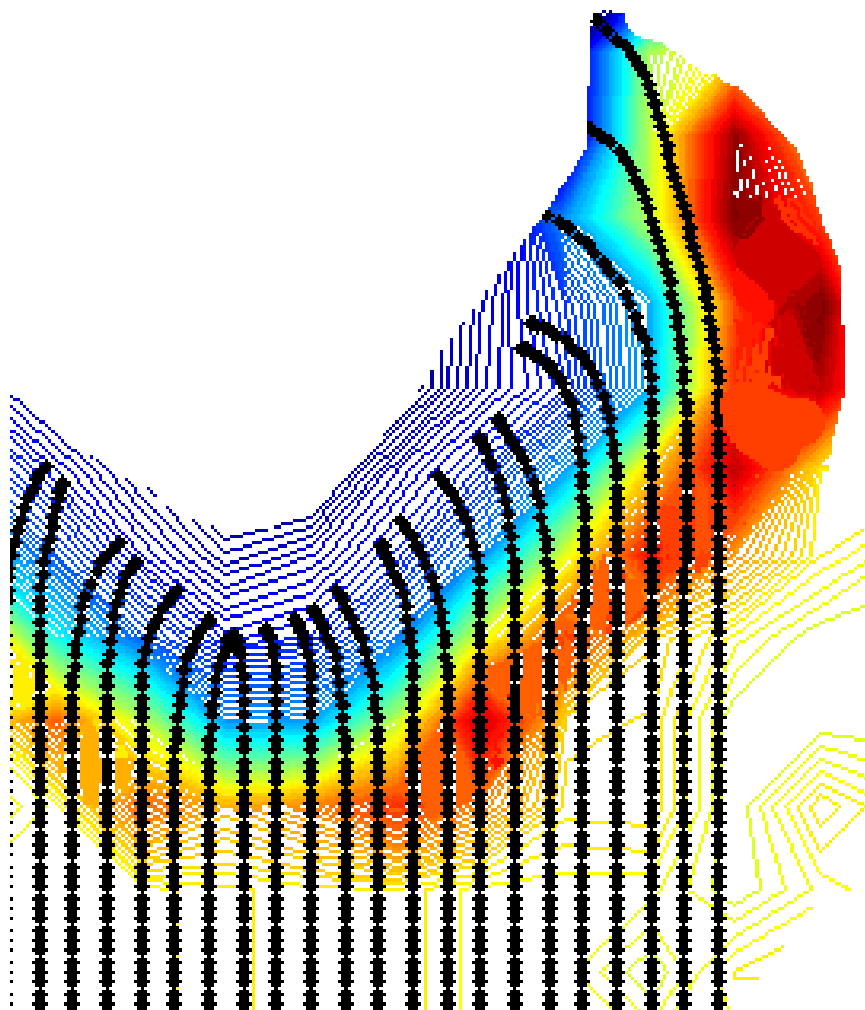


**Kuva 25: Alustava luonnos Neptunuksen puiston rakenteista noin 5 m merialueellepäin siirretyllä rantaviivalla ja luiskakaltevuudella 1:3,7 (Ramboll/L. Axelsson 11.4.2022).**

### 7.2.3 Refraktio

Aallokon nousukorkeus on suurempi Neptunuksenpuiston eteläkulma kuin muualla puiston ranta-alueella, nurkassa tapahtuvan refraktion vuoksi. Säteiden tiivistyminen eteläkärjessä kuvassa 26 tarkoittaa aaltojen korkeuden kasvamista samalla tavoin kuin polttolasi vahvistaa auringon säteet kuumaksi pisteeksi.





**Kuva 26: Aaltojen keskittyminen refraktion vaikutuksesta Neptunuksenpuiston eteläkulmaan. Säteiden tiivistyminen tarkoittaa aaltojen korkeuden kasvamista samalla tavoin kuin polttolasi vahvistaa auringon säteet kuumaksi pisteeksi. Väritys kuvaa merenpohjan topografiaa.**

Kuva 26 näyttää, että myös pohjoiskulmaan tulee refraktion kiertämiä aaltoja. Sellainen näkyy valokuvassa kuvassa 27, jossa sen harja murtuu nuolen osoittamassa paikassa. Koska aaltosäteiden välit kuitenkin pohjoisreunalla harvenevat aallot siellä pienentyvät toisin kuin Neptunuksenpuiston eteläkärjessä. Koska Naurunpuistoon liittyvä kolmio on suojan puolella refraktion kääntävät aallot ovat siellä merkittäviä ja ne on otettu siellä huomioon laskettaessa turvallisia rakentamiskorkeuksia.

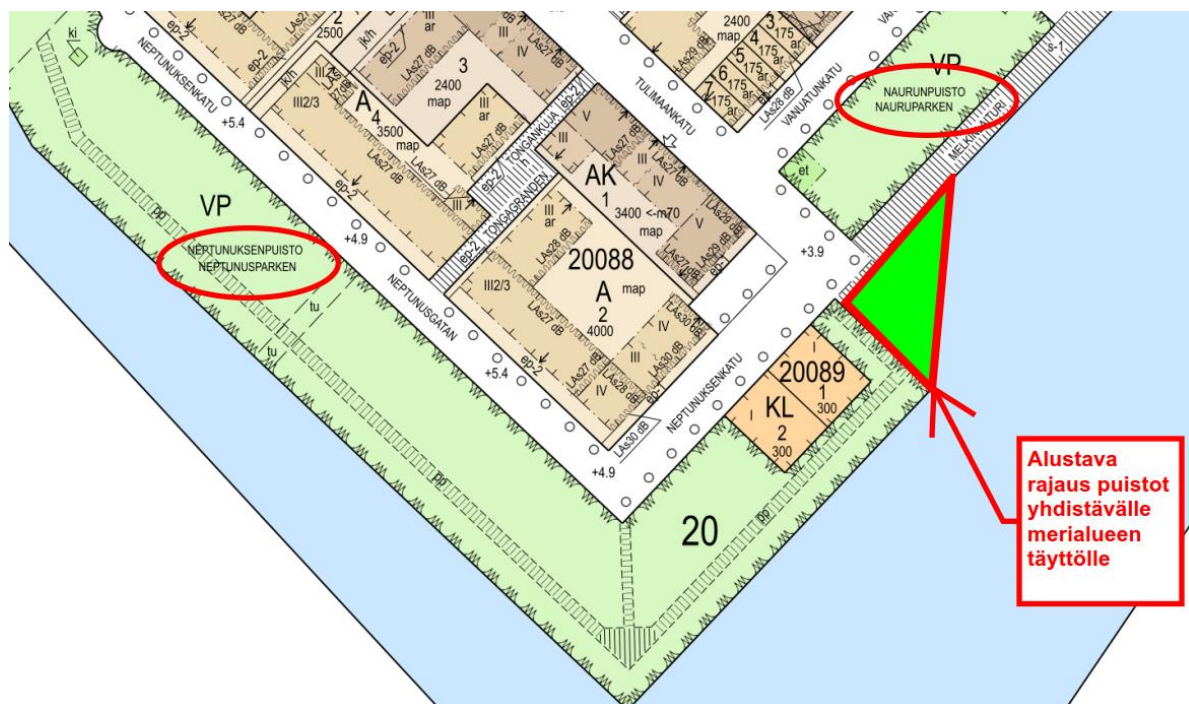


**Kuva 27: Neptunuksenpuiston nykyinen lohkareluiska. Kuvassa näkyy refraktion kääntämä aalto, joka murtuu nuolen osoittamassa paikassa. Paikka on suojassa suoraan mereltä tulevalta aallokolta. Eniten aallokkoon tässä paikassa vaikuttavat laiturin LJ8 rampista heijastuneet aallot. Ramppi toisaalta myös olennaisesti pienentää aaltoja, jotka pääsevät Ahdinaltaan perälle**

Mikäli puiston eteläkärkeen tultaisiin sijoittamaan kastumisesta kärsiviä rakenteita, niin refraktion vuoksi lohkareluiskan korottaminen pienellä alueella Neptunuksenpuiston eteläkulmassa voi olla tarpeen ennen vuotta 2100. Alustava arvio korotuksen korkeudesta on noin  $N_{2000} + 4$  m. Kahvilatontti 20089 on riittävän kaukana refraktion polttopisteestä, että sen vuoksi korotus ei tule tarpeelliseksi.

### 7.3 Naurunpuiston ja Neptunuksenpuiston välisen merialueen täyttö

Naurunpuisto ja Neptunuksenpuisto on suunniteltu yhdistettäväksi kolmion muotoisella merialueen täytöllä, joka on esitetty kuvassa 28. Sen kohdalla riittää Neptunuksenpuiston turvallisen rakentamiskorkeuden  $N_{2000} + 3.33$  alittamiseen lohkareluista, jonka kaltevuus on 1;1.5. Meren aallokolle "varjossa" olevan alueen rantaan aallokko tulee heijastuneena laiturin LJ8 rampista sekä refraktion kääntämänä mereltä. Varjossa olemisen edellytyksenä on, että kolmio sivun ja Melkinlaiturin kulma on pienempi kuin  $45^\circ$ .



**Kuva 28: Naurunpuiston ja Neptunuksenpuiston yhdistävän meritäyttöalueen alustava rajaus.**

**Taulukko 5: Arvioidut nousukorkeudet eri toistumistaajuuksilla vuonna 2100 Naurunpuiston ja Neptunuksenpuiston yhdistävä kolmiossa. Turvalliset rakentamiskorkeudet ovat 1/250 tapauksista vuonna 2100, sarake 4**

1	1/50	1/100	1/250	
2.60	3.11	3.20	3.31	Naurunpuisto 1:1.5 lohkareluiska
2.48	2.99	3.08	3.19	Naurunpuisto 1:3.7 lohkareluiska

Taulukossa 5 esitetyn mukaisesti Naurunpuisto ja Neptunuksenpuiston yhdistävässä kolmiossa riittää Neptunuksenpuiston turvallisen rakentamiskorkeuden  $N_{2000} + 3.33$  alittamiseen lohkareverhottu luiska, jonka kaltevuus on 1:1.5.

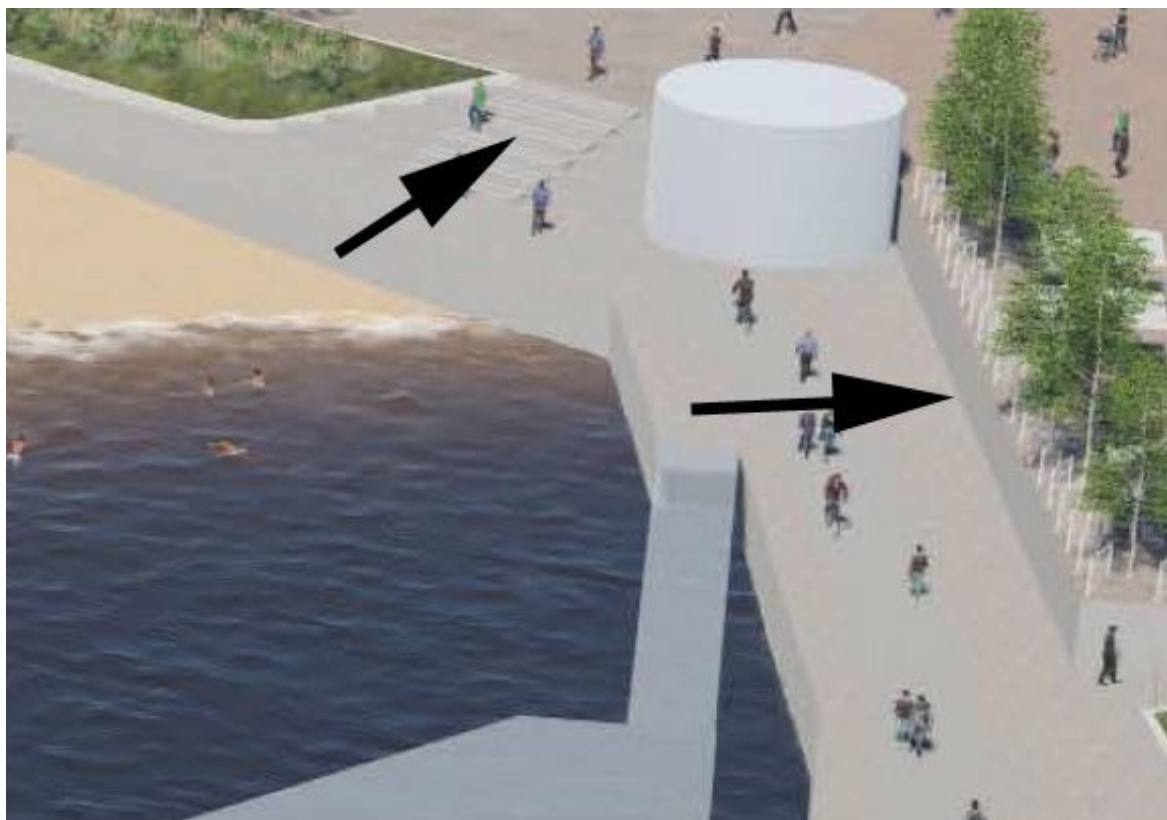
#### 7.4 Muut alueet

Melkinlaiturissa Laiturin LJ8 rampin kohdalla turvallinen rakentamiskorkeus on  $N_{2000} + 3.70$  m. Jos kelluvan kylpylän eteläsivulla on aallot virtaukseksi vaimennuskanava, turvallinen rakentamiskorkeus on  $N_{2000} + 3.62$  m.

Kelluvan Kylpylän kulman kohdalla sillan pohjoispuolella turvallinen rakentamiskorkeus on  $N_{2000} + 3.65$  m. Melkinlaiturin pysty muuri jää  $N_{2000} + 2.5$  m korkuisena korkeimman ennustetun tulvan aikana vedenpinnan alapuolelle.

Melkinlaiturissa kelluvan kylpylän pohjoisreunan kohdalla turvallinen rakentamiskorkeus on  $N_{2000} + 3.43$  m. Melkinlaiturin pysty muuri jää 2.5 m korkuisena korkeimman ennustetun tulvan aikana vedenpinnan alapuolelle

Ahdinaltaan perällä oleskelurannan viereisen pystyn muurin yläpuolella olevilla portaiden tai seuraavan muurin kohdalla turvallinen rakentamiskorkeus VE1 ja VE2 on  $N_{2000} + 3.25$  m ja VE3  $N_{2000} + 3.5$  m. Rannalla oleva pysty muuri jää  $N_{2000} + 2$  m korkuisena korkeimman ennustetun tulvan aikana vedenpinnan alapuolelle ja vesi osuu kuvassa 29 nuolella merkittyyn muuriin ja portaisiin.



**Kuva 29: Ahdinaltaan perällä oleskeluranta vaimentaa tehokkaasti aaltoja ja estää niiden heijastumisen lukuun ottamatta perän itäkulmaa (portaikko kuvassa), jossa lyhyt osuus pystysuoraa rantamuurirakennetta.**

## 8. YHTEENVETO JA SUOSITUKSET

Alkuperäisessä satamakäytön aikaisessa muodossaan Ahdinaltaassa oli Helsingin niemen ankarin aallokko. Satamatoimintojen siirryttyä Vuosaaren altaan ympäristöön on tehty useassa vaiheessa muutoksia, jotka ovat pienentäneet aallokkoa altaan perällä. Tässä selvityksessä tarkastellaan vaihtoehtoja, joilla aallokko saadaan edelleen pienennettyä kaupunkisuunnittelun tavoitteiden kannalta tarkoituksenmukaiselle tasolle.

Koonti tässä selvityksessä määritetyille turvallisille rakentamiskorkeuksille, kun suositellut aallokkoa vaimentavat rakenteet on toteutettu, on esitetty liitteen 1 karttapiirroksessa. Samassa liitteessä on esitetty myös nykyisin voimassa olevat turvalliset rakentamiskorkeudet.

Ohessa suositukset eri alueiden rakenteille ja niiden dimensioille aallokon vaimennuksen näkökulmasta:

### 1. Neptunuksenpuisto:

- Loivennustäyttö pienentää aallokkoa ennen kaikkea Neptunuksen puis-tossa ja Naurunpuiston edustalla sekä jonkin verran koko Ahdinaltaassa.
- Suositellut rakenteet:
  - Sataman uuden terminaalin maa-alueita vasten oleva lyhyt sivu:
    - Loivennettu luiskarakenne.
      - Yläosassa loivennus tasolta N<sub>2000</sub> -4 ylöspäin kaltevuuteen 1:3.7 tai loivempi.
      - Loivan luiskan pintaan lohkarieverhous.

- Em. rakenteilla turvallinen rakentamiskorkeus Neptunuksenpuiston eteläosan kahvilatontilla loivennetun luiskan taustalla on  $N_{2000} + 3.4$  m.
  - Naurunpuiston ja Neptunuksenpuiston yhdistävässä kolmion muotoinen meritäyttö:
    - Luiskarakenne.
      - Kaltevuus muuttuu 1:3.7 tai loivemmasta (Sataman uuden terminaalin maa-alueetta vasten olevalta alueelta) kaltevuudesta kaltevuuteen 1:1,5 Melkinlaiturin rakennetta vasten.
      - Luiskan pintaan lohkarieverhous.
      - Em. rakenne ei muuta Neptunuksenpuiston eteläosan kahvilatontin turvallista rakentamiskorkeutta on  $N_{2000} + 3.4$  m.
  - Pääosin tarkastelualueen ulkopuolella oleva Lauttasaaren Vattuniemeä vasten oleva pitkä sivu:
    - Täyttöluiskaan loivennus on tarpeen vain, jos puistoon tulee rakenteita, jotka eivät saa kastua. Mikäli sellaisia tulisi, niin täyttöluiska loivennettava tasolta  $N_{2000} -4$  ylöspäin vähintään kaltevuuteen 1:4.5.
    - Em. rakenteilla turvallinen rakentamiskorkeus on  $N_{2000} + 3.4$  m.
- Puiston etelärannan rantaviivan siirtämistarve:
  - Rantaviivaa ei ole aivan välttämätöntä siirtää vielä nyt, mutta jo noin 5 m siirto merialueelle päin tulee helpottamaan tulevaisuudessa mukautumista ennustettuun vedennousuun.
- Mikäli Neptunuksenpuiston rantaan rakennetaan pystysuora rantamuuri, turvallinen rakentamiskorkeus olisi  $N_{2000} + 3.8$  m ja muurin taustalla olevat rakennukset olisivat alttiina roiskeille. Aallokko altaassa kasvaa heijastusten vuoksi.

## 2. Oleskeluranta:

- Luiskakaltevuus 1:6 tai loivempi vaimentaa tehokkaasti altaan perän aallokkoa ja estää takaisinheijastukset.
  - Luiskakaltevuudessa huomioitava materiaalin raekoko!
- Suositellut rakenteet:
  - Rannan luiskakaltevuus 1:15...1:20.
  - Luiskan yläpää vähintään tasolla  $N_{2000} + 2.1$  m.
- Toteuttamalla Neptunuksenpuiston täyttöluiskan loivennus (VE1 tai VE2) ja kelluva kylpylä:
  - Turvallinen rakentamiskorkeus  $N_{2000} + 3.3$  m.
  - Suurin merkitsevä aallonkorkeus Ahdinaltaan perällä koillisnurkassa 0.25 m, joka on Helsingin suojaisten lahtien tasolla.
- Mikäli kelluvaa kylpylää tai itsenäistä aallokon virtaukseksi muuttavaa rakennetta kelluvan kylpylän kohdalle ei toteuteta (VE3):
  - Turvallinen rakentamiskorkeus  $N_{2000} + 3.5$  m.
  - Merkitsevä aallonkorkeus altaan perällä 0.41 m, joka ei ole enää suojaisten lahtien tasolla.
- Jotta oleskeluranta säilyttäisi aallonvaimennusominaisuutensa myös tulevaisuudessa, tulee sen pintaa nostaa keskivedenkorkeuden nousun mukaisesti.

- Ehdotettu seuraava tarkastusaika pinnan korotukselle on vuonna 2050.

### 3. Kelluva kylpylä:

- Pienentää aaltoja altaan perällä.
- Rakenteen eteläpääty on alttiina aalloille ja roiskelle.
  - Suurimmat yksittäiset aallot voivat olla 1.6 m korkeita (laskettu merkitsevä aallonkorkeus 0.78 m).
  - Pääty heijastaa aaltoja Atlantinsillan alapuoliselle kevyenliikenteenväylälle, ja lisää tilanteita, joissa aallokko nousee väylälle.
- Suositeltu rakenne:
  - Kelluvan rakenteen aallokelle alttiina olevaan eteläpäätyyn aallokon virtaukseksi muuttava rakenne.
    - Estää aallokon heijastukset Atlantinsillan alle.
    - Vähentää roiskeita kylpylärakenteeseen.
  - Mikäli kelluvaa kylpylää ei jostain syystä toteuteta ja oleskelurannalle halutaan suojaisiin lahtiin verrattava aallokko, suositellaan kelluvan kylpylän eteläpään kohdalle itsenäistä kelluvaa aallokon virtaukseksi muuttavaa rakennetta.

### 4. Sataman laiturialueen laajennus

- Merialueen täytöllä ja laiturirakenteilla ei ole merkittävää aallokkoa voimistavaa vaikutusta Ahdinaltaassa.
- Suositus: Laiturirakenteeseen alustavasti suunniteltuja aallonvaimennuskammioita (rakenne vastaava kuin Melkinlaiturissa) ei suositella toteutettavaksi, sillä rakenteella ei saavuteta aaltoilun vaimennuksen kannalta merkittävää hyötyä.

### 5. Rakennukset Ahdinaltaan ympäristössä.

- Rakennukset Ahdinaltaan rantarakenteiden taustalla:
  - Turvallinen rakentamiskorkeus sama kuin vastaavassa kohtaa Ahdinaltaan reunalla.
- Rakennukset kauempana rannasta, johon aallokko ei vaikuta (yleisemmin myös koko Jätkäsaaren alueella luokkaa 100 m etäisyydellä ranta-viivasta):
  - Turvallinen rakentamiskorkeus on  $N_{2000} + 3$  m.

Helsingissä 9.6.2022

Oy Akateemiset konsultit Ab

Kimmo Kahma

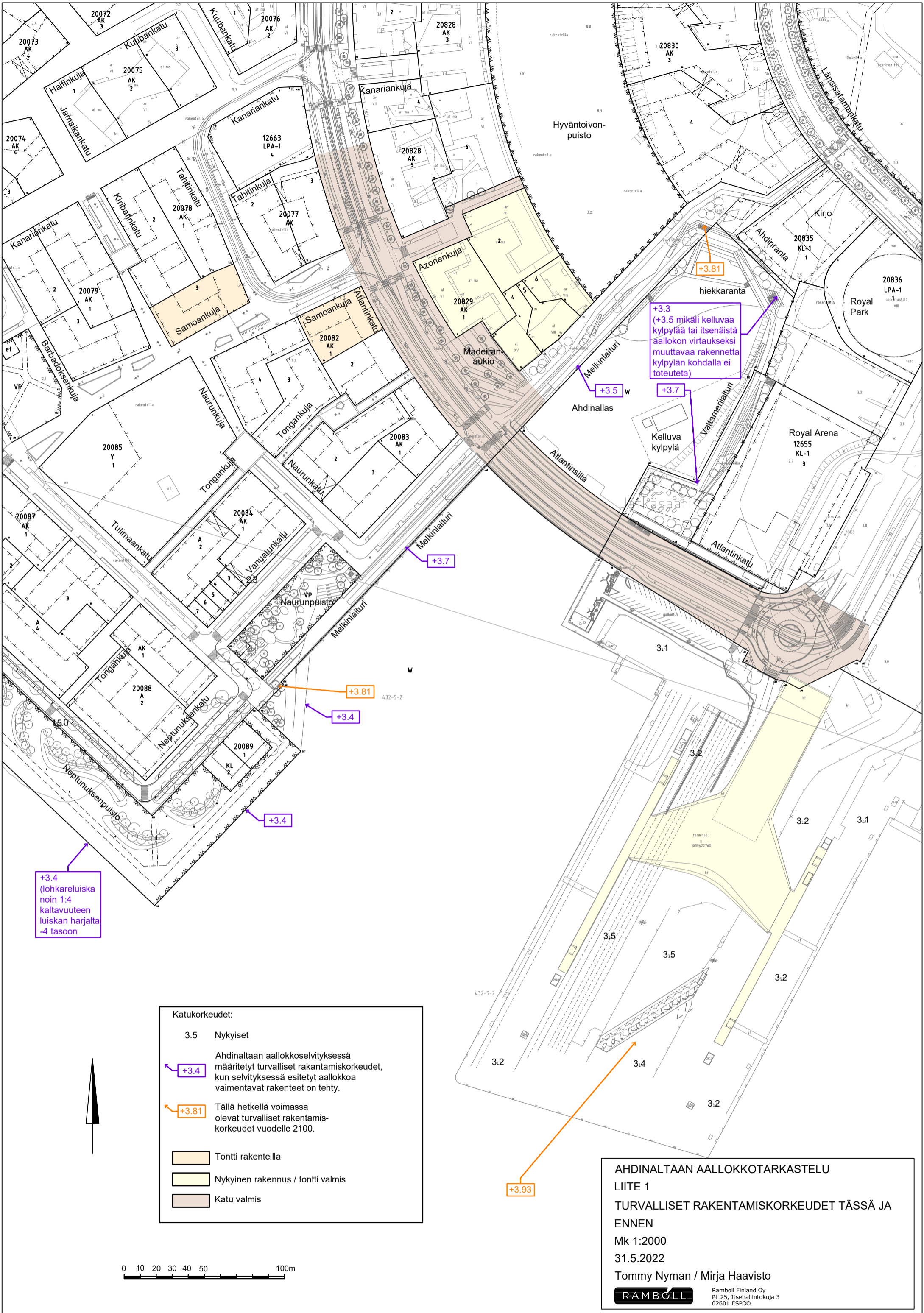
Emeritusprofessori

Espoossa 9.6.2022

Ramboll Finland Oy

Tommy Nyman

Ryhmäpäällikkö



+3.3  
 (+3.5 mikäli kelluvaa kylpylää tai itsenäistä aallokon virtaukseksi muuttavaa rakennetta kylpylän kohdalla ei toteuteta)

+3.4  
 (lohkareluiska noin 1:4 kattavuuteen luiskan harjalta -4 tasoon)

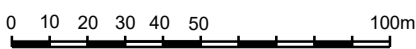
**Katukorkeudet:**

3.5 Nykyiset

+3.4 Ahdinaltaan aallokkoselvityksessä määritetyt turvalliset rakentamiskorkeudet, kun selvityksessä esitetyt aallokkoa vaimentavat rakenteet on tehty.

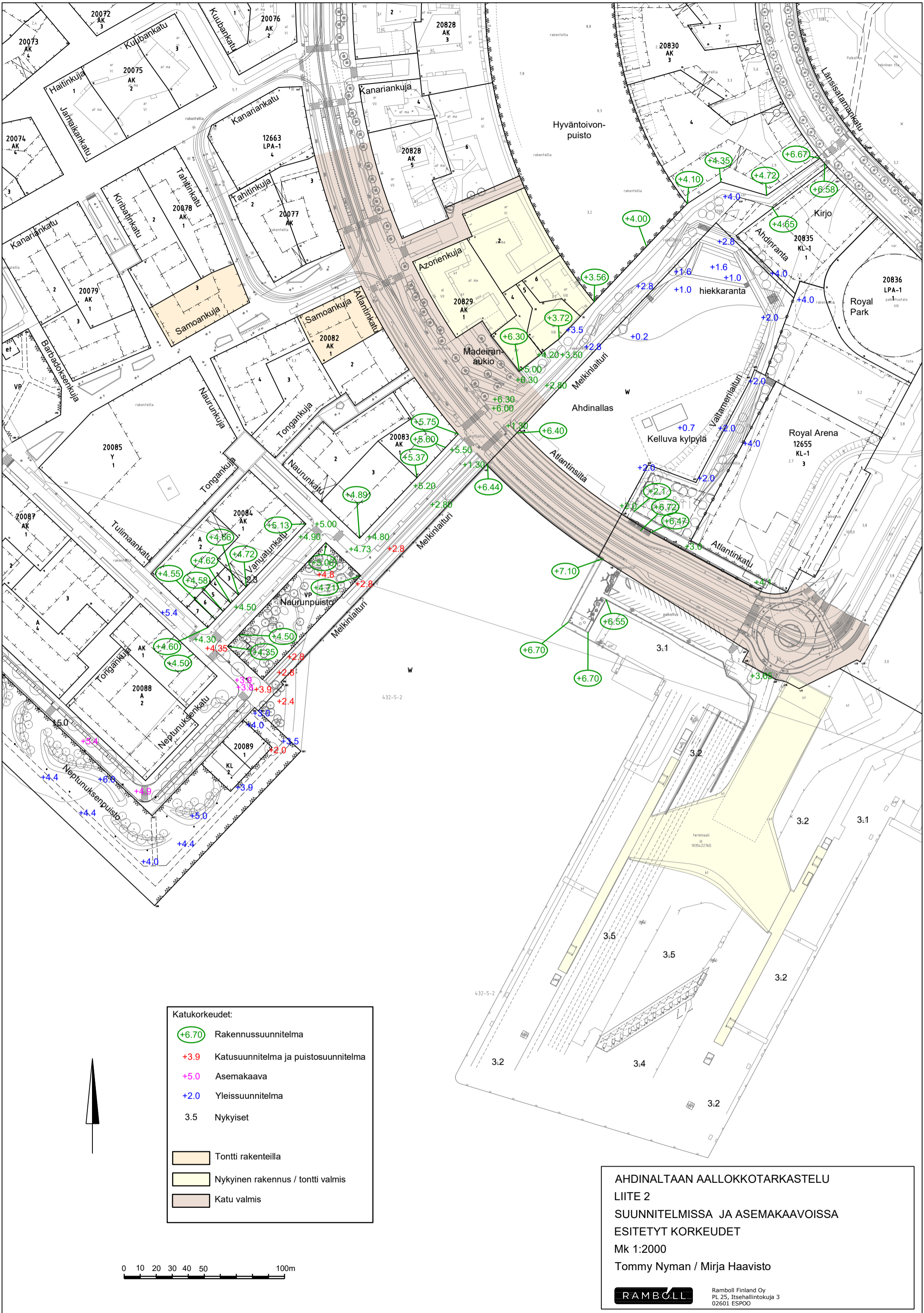
+3.81 Tällä hetkellä voimassa olevat turvalliset rakentamiskorkeudet vuodelle 2100.

Tontti rakenteilla  
 Nykyinen rakennus / tontti valmis  
 Katu valmis



**AHDINALTAAN AALLOKKOTARKASTELU**  
 LIITE 1  
 TURVALLISET RAKENTAMISKORKEUDET TÄSSÄ JA ENNEN  
 Mk 1:2000  
 31.5.2022  
 Tommy Nyman / Mirja Haavisto

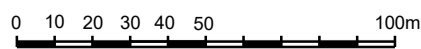
**RAMBOLL**  
 Ramboll Finland Oy  
 Pt. 25, Itsehallintokuja 3  
 02601 ESPOO



**Katukorkeudet:**

- +6.70 Rakennussuunnitelma
- +3.9 Katusuunnitelma ja puistosuunnitelma
- +5.0 Asemakaava
- +2.0 Yleissuunnitelma
- 3.5 Nykyiset

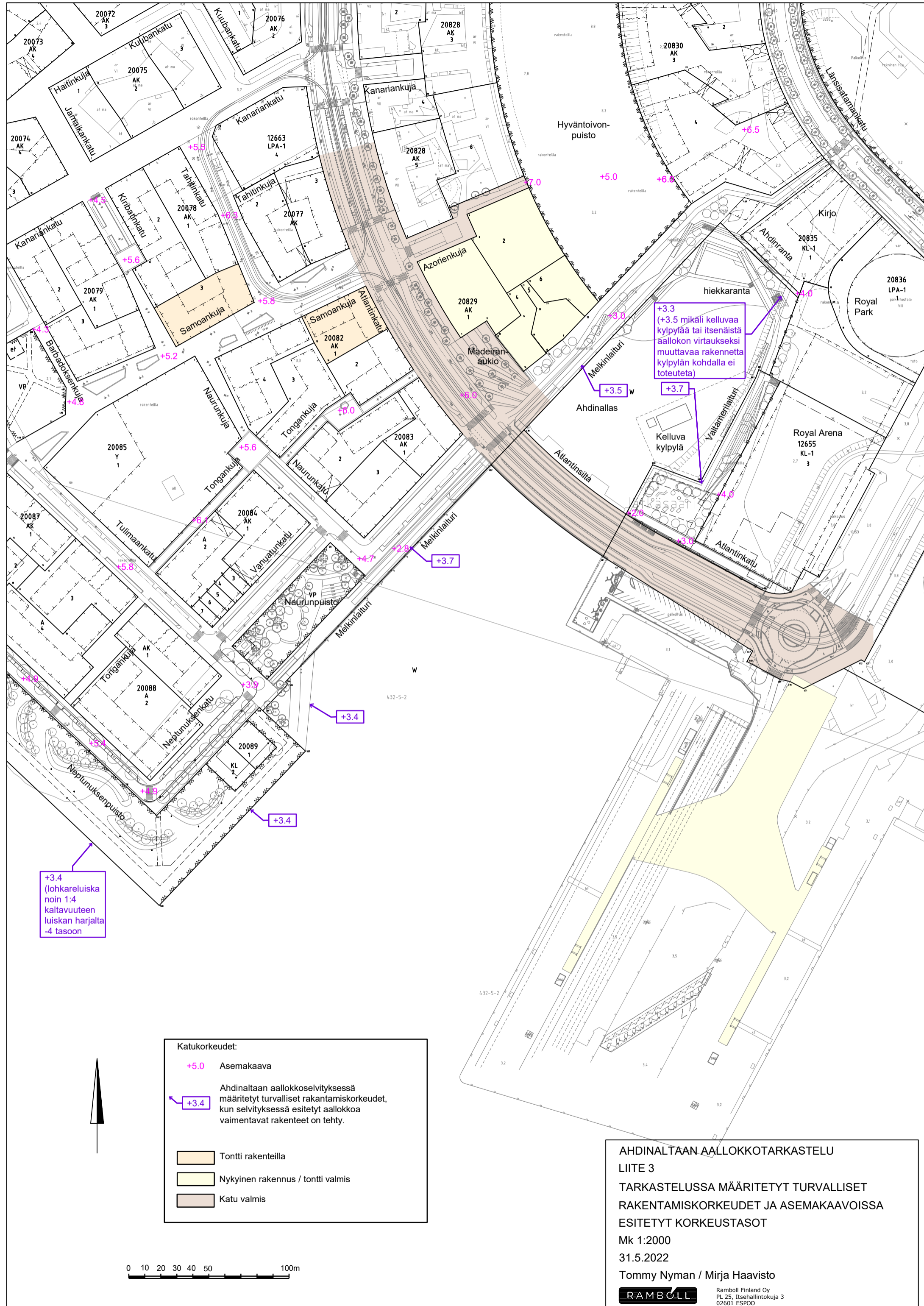
- Tontti rakenteilla
- Nykyinen rakennus / tontti valmis
- Katu valmis



**AHDINALTAAN AALLOKKOTARKASTELU**  
**LIITE 2**  
**SUUNNITELMISSA JA ASEMAKAAVOISSA**  
**ESITETYT KORKEUDET**  
**Mk 1:2000**  
**Tommy Nyman / Mirja Haavisto**

**RAMBOLL** Ramboll Finland Oy  
 PL 25, Itsehallintokuja 3  
 02601 ESPOO



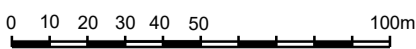


+3.3  
 (+3.5 mikäli kelluvaa kylpylää tai itsenäistä aallokon virtaukseksi muuttavaa rakennetta kylpylän kohdalla ei toteuteta)

+3.4  
 (lohkareluiska noin 1:4 kattavuuteen luiskan harjalta -4 tasoon)

**Katukorkeudet:**

+5.0	Asemakaava
+3.4	Ahdinaltaan aallokkoselvityksessä määritetyt turvalliset rakentamiskorkeudet, kun selvityksessä esitetyt aallokkoa vaimentavat rakenteet on tehty.
	Tontti rakenteilla
	Nykyinen rakennus / tontti valmis
	Katu valmis



**AHDINALTAAN AALLOKKOTARKASTELU**  
 LIITE 3  
 TARKASTELUSSA MÄÄRITETYT TURVALLISET RAKENTAMISKORKEUDET JA ASEMAKAAVOISSA ESITETYT KORKEUSTASOT  
 Mk 1:2000  
 31.5.2022  
 Tommy Nyman / Mirja Haavisto

**RAMBOLL** Ramboll Finland Oy  
 Pt. 25, Itsehallintokuja 3  
 02601 ESPOO