

Helsingin kaupunki, kaupunkiympäristön
toimiala

Talinrannan pohjarakentamisen
esisuunnitelma, alueet U1+U2

Geotekninen suunnitteluraportti

8.9.2023

TYÖNUMERO 3011

Sisällys

1. YLEISTÄ	3
1.1. KOHDE	3
1.2. KOORDINAATISTO JA KORKEUSJÄRJESTelmä	4
2. GEOTEKNISET LÄHTÖTIEDOT	4
2.1. RAKENNUSPAIKKA	4
2.2. POHJATUTKIMUKSET JA MITTAUKSET	5
2.3. POHJA- JA PINTASUHTEET	5
2.4. MAAKERROSTEN OMINAISUUDET	6
3. STABILITEETILASKELMAT	6
3.1. YLEISTÄ	6
3.2. LASKENTALEIKKAUKSET JA -TILANTEET	7
3.3. LASKENNASSA KÄYTETYT PARAMETRIT	7
3.4. LASKENNAN TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET	8
4. PAINUMALASKELMAT	8
4.1. YLEISTÄ	8
4.2. LASKENNAN MAAKERROKSET JA PARAMETRIT	8
4.3. LASKENNAN TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET	9
5. ALUSTAVAT POHJANVAHVISTUSRATKAISUT	9
5.1. YLEISTÄ	9
5.2. GOLFKENTTÄ- JA PUISTOALUEET (U1 JA U2)	10
5.3. STABILOINNIN SIDEAINEET	11
6. PYSÄKÖINTIRATKAISUT	12
7. ALUSTAVA KUSTANNUSLASKENTA	12
8. POHJANVAHVISTUSTEN PÄÄSTÖ- JA KUSTANNUSTASOVERTAILU	13
9. JATKOTOIMENPITEET	15

Liitteet

Pohjatutkimus- ja pohjanvahvistuspiirustukset:

GEO 3011a-200	Pohjatutkimuskartta
GEO 3011a-201	Pohjatutkimusleikkaus A, osa 1
GEO 3011a-202	Pohjatutkimusleikkaus A, osa 2
GEO 3011a-800	Pohjanvahvistus- ja perustamistapakartta
GEO 3011a-801	Pohjanvahvistus- ja perustamistapaleikkaus, osa 1
GEO 3011a-802	Pohjanvahvistus- ja perustamistapaleikkaus, osa 2

Stabiliteetilaskentatulosteet:

LIITE 1	Leikkauksen 1 stabiliteetti luiskakaltevuuudella 1:3
LIITE 2	Leikkauksen 1 stabiliteetti luiskakaltevuuudella 1:5
LIITE 3	Leikkauksen 1 stabiliteetti luiskakaltevuuudella 1:7
LIITE 4	Leikkauksen 5 stabiliteetti luiskakaltevuuudella 1:3
LIITE 5	Leikkauksen 5 stabiliteetti luiskakaltevuuudella 1:5
LIITE 6	Leikkauksen 5 stabiliteetti luiskakaltevuuudella 1:7

Muut liitteet:

LIITE 7	Painumalaskelmatuloste, 2 m pengerkorkeus
LIITE 8	Pysäköintiratkaisujen vertailu liitteineen
LIITE 9	Ihku-kustannuslaskentatuloste
LIITE 10	Helsingin kaupungin kustannuskertoimet

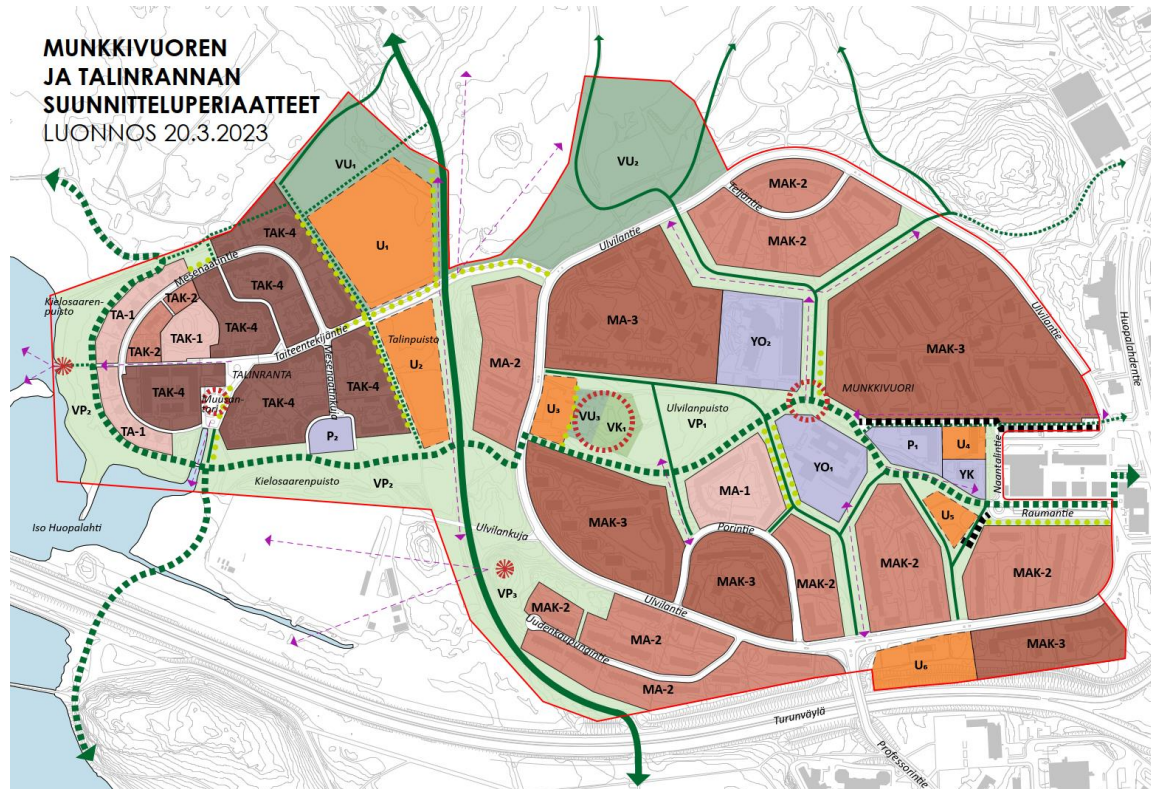
Helsingin kaupunki, kaupunkiympäristön toimiala
Talinrannan pohjarakentamisen esisuunnitelma, alueet U1+U2

GEOTEKNINEN SUUNNITTELURAPORTTI

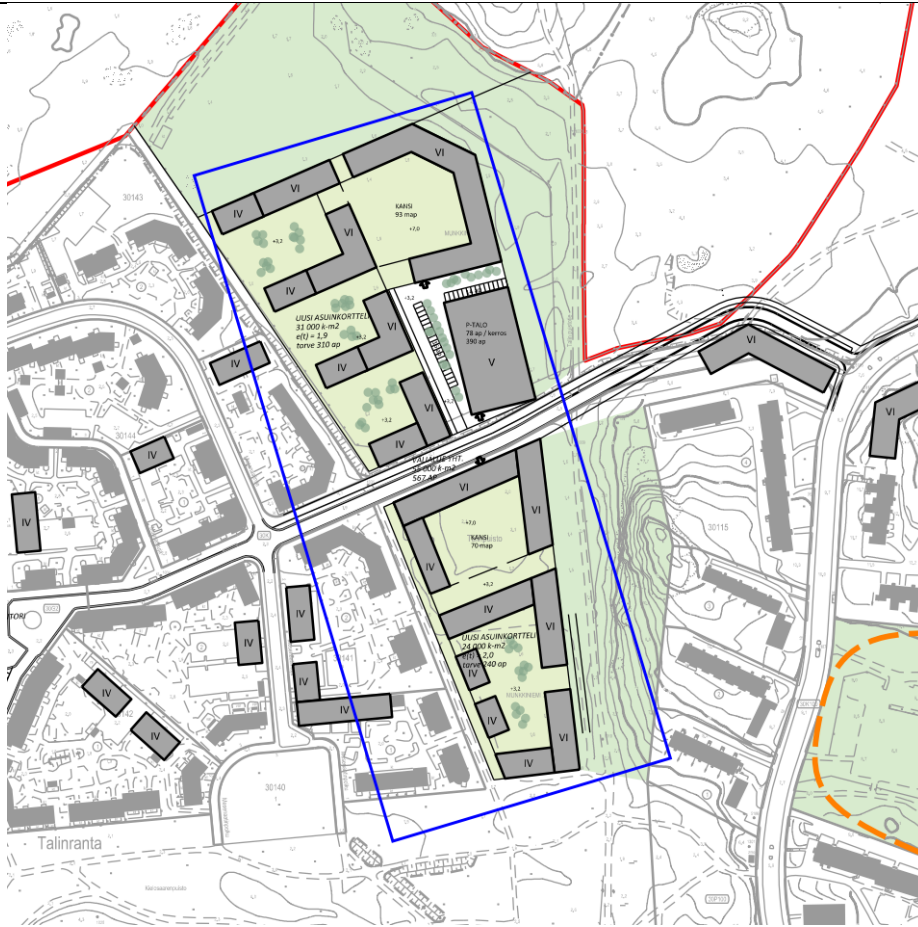
1. YLEISTÄ

1.1. Kohde

Suunnittelukohte sijaitsee Helsingin Talinrannassa. Tämä pohjarakentamisen esisuunnitelma on laadittu alueelle kaavailun täydennysrakentamisen tueksi, ja sen tarkoitus on tuottaa tietoa alueen pohjarakentamisen kustannuksista, reunaehdoista ja erityisistä haasteista. Työn ensisijaisena lähtötietona toimivat Helsingin kaupunkiympäristön toimialan laatimat luonnokset alueen maankäytön muutoksista: periaatekartta Talinranta-Munkkivuori alueelta on esitetty kuvassa 1. Toimeksianto rajattiin koskemaan kuvan 1 alueita U1 ja U2, rajaus on esitetty kuvassa 2. Alueet U1 ja U2 sijaitsevat Taiteentekijäntien pohjois- ja eteläpuolella nykyisellä golfkenttä-/puistoalueella.



Kuva 1: Periaatekartta maankäytön muutoksista, tarkasteltavat alueet ovat U1 ja U2



Kuva 2: Ote maankäyttöluonnoksesta, tarkasteltavat alueet rajattu sinisellä

1.2. Koordinaatisto ja korkeusjärjestelmä

Pohjatutkimukset ja tarkastelut on esitetty koordinaatistossa ETRS-GK25 ja korkeusjärjestelmässä N2000.

2. GEOTEKNISET LÄHTÖTIEDOT

2.1. Rakennuspaikka

Alue U1 sijaitsee Taiteentekijäntien pohjoispuolella ja alue U2 eteläpuolella. Alue U1 on nykyisellään Talin golfkentän harjoittelualue, joka rajautuu idässä ja pohjoisessa golfkentän väyliin, lännessä nykyiseen asuinalueeseen ja etelässä Taiteentekijäntiehen. Alue U2 puolestaan on nykyistä puisto-/niittyalue, jonka eteläosassa on lisäksi vanha hiekkapinnoitteinen urheilukenttä. Alue rajautuu idässä ja lännessä nykyiseen asuinalueeseen, etelässä puistoalueeseen ja pohjoisessa Taiteentekijäntiehen. Alueiden U1 ja U2 itäpuolella olevien lähimpien nykyisten asuinkorttelien rakennukset on perustettu teräsbetonisten tukipaalujen varaan ja piha-alueet ainakin osittain stabilointien ja kevennystyttöjen varaan. Helsingin kaupunki on arvioinut alueen tulvan kannalta turvallisesti rakentamiskorkeudeksi tason +3,2, mikä on yleistasauksen tavoiteltava minimikorko alueella.

Helsingin kaupungin johtokartan perusteella alueen U2 poikki kulkee itä-länsisuunnassa halkaisijaltaan 1200 mm sekaveden pääviemäri. Alueen U1 poikki kulkee hylätty jätevesiviemäri.

2.2. Pohjatutkimukset ja mittaukset

Tarkastelun lähtötietona käytettiin Helsingin kaupungin Soili -palvelusta ladattuja vanhoja pohjatutkimuspisteitä sekä täydentäviä lisätutkimuksia. Alueen tutkimukset on esitetty pohjatutkimuspiirustuksissa.

Rakennuspaikalta löytyi vanhoja pohjatutkimuksia vuosilta 1970, 1984, 1987, 1988, 2015, 2018 ja 2019. Nämä pohjatutkimukset ovat käsittäneet:

- painokairauksia 18 kpl
- puristin-heijarikairauksia 6 kpl
- siipikairauksia 4 kpl
- porakonekairauksia 1 kpl
- häiriintyneen maanäytesarjan 3 tutkimuspisteestä
- pohjavesiputkia 3 kpl

Alueelle ohjelmoitiin täydentäviä pohjatutkimuksia keväällä 2023. Alueelta tehdyt pohjatutkimuspisteet käsittivät 4 puristinheijarikairausta, yhden uuden pohjavesiputken asennuksen ja 2 kpl häiriintyneen maanäytesarjan ottamisen. Taiteentekijäntien pohjoispuolelle alueelle U1 ohjelmoitiin useampia pohjatutkimuksia, mutta suurinta osaa niistä ei pystytty toteuttamaan golfkentällä olleiden tapahtumien vuoksi.

Tiedot alueen korkotasoista perustuvat avoimeen laserkeilausaineistoon.

2.3. Pohja- ja pintasuhteet

Golfkenttäalue (U1)

Taiteentekijäntien pohjoispuolisella, Talin golfkenttään kuuluvalla alueella maanpinnan taso vaihtelee tasovälillä +1,1...+2,2 laskien loivasti idästä länttä kohti.

Alueen pohjamaassa humuskerroksen alla tavataan noin 0,5...1,5 m paksu kuivakuorikerros, jonka alla on 4...11 m paksu pehmeä savikerros. Savikerroksen paksuus ohenee sitä mukaa mitä lähempänä ollaan alueen itä- ja pohjoispuolella olevia mäki-alueita. Saven siipikairauksilla mitattu redusoimaton leikkauslujuus vaihtelee välillä 6-23 kPa ja vesipitoisuus välillä 60-90 %. Pehmeän savikerroksen alla on vielä noin 0...7 m paksu kerros löyhää hiekkaa/silttiä ennen tiivistä pohjamaata. Kairaukset ovat päättyneet tiiviiseen pohjamaahan, kiveen, lohkareseen tai kallioon 6,3...18,7 m syvyydessä maanpinnasta.

Puistoalue (U2)

Taiteentekijäntien eteläpuolisella alueella maanpinnan taso vaihtelee tasovälillä +0,6...+2,2.

Maakerrokset Taiteentekijäntien eteläpuolella ovat seuraavat; alueella tavataan humuskerroksen alla joko 0,5...1,0 m paksu kuivakuorikerros tai 0,6...1,3 m paksu täyterkerros riippuen siitä, onko alueella tehty maanrakennustoimenpiteitä aiemmin. Täytemaakerroksen on havaittu sisältävän ainakin soraa ja hiekkaa. Lujempien pintakerrosten alla tavataan 3...13 m paksu pehmeä savikerros, jonka siipikairauksilla mitattu redusoimaton leikkauslujuus vaihtelee välillä 4-23 kPa ja vesipitoisuus välillä

50-90 %. Pehmeän savikerroksen alla on vielä noin 0...3 m paksu kerros löyhää hiekkaa/silttiä ennen tiivistä pohjamaata. Kairaukset ovat päättyneet tiiviiseen pohjamaahan, kiveen, lohkareeseen tai kalioon 4,8...18,2 m syvyyteen maanpinnasta. Kairauspituudet ovat pisimmillään alueen länsiosassa ja lyhenevät lähestyttäessä alueen itäpuolella olevaa mäkiäluetta.

Alueelta ja sen lähiympäristöstä löytyi pohjavesihavaintoja yhteensä 7 pohjavesiputkesta. Havainnot ovat vuosilta 1987-1991 ja 2016-2023, ja niiden mukaan pohjavedenpinta on vaihdellut tasoväliillä -0,4...+1,8. Pohjavedenpinta todennäköisesti mukailee pääosin merenpinnan vaihteluita, alueen itäpuolen mäkiäalueilta tehdyissä havainnoissa pohjavesi on kuitenkin keskimäärin hieman ylempänä.

2.4. Maakerrosten ominaisuudet

Pilaantuneisuus ja sulfaattimaat

Helsingin kaupunki on teettänyt vuonna 2023 alueelta laadullisen maaperätutkimuksen, missä on selvitetty maakerrosten HaSu -luokitukset ja haitta-ainepitoisuudet. Saatujen tulosten perusteella potentiaalista hapanta sulfaattimaata on havaittu lähes koko alueen laajuudelta, joiden lisäksi aktiivista hapanta sulfaattimaata on havaittu pintakerroksissa Taiteentekijäntien eteläpuolella. PIMA-tutkimusten perusteella golfkentän puolella on havaittu alemman/ylemmän ohjearvon ylittäviä pitoisuuksia orgaanisia haitta-aineita sekä yhden näytteen osalta vaarallisen jätteen cut off -arvon ylittävän pitoisuuden kuparia. Puistoalueella Taiteentekijäntien eteläpuolelta otetuissa näytteissä sen sijaan ei haitta-aineiden alemman ohjearvon ylittäviä pitoisuuksia ole havaittu.

Happamat sulfaattimaat sekä kohonneet haitta-ainepitoisuudet on huomioitava alueen jatkosuunnittelussa.

Jätteisyttä ei näytteenottojen yhteydessä alueella havaittu.

Humuspitoisuus

Pintamaasta sekä pehmeän savikerroksen yläosasta otettujen näytteiden on silmämääräisesti havaittu sisältävän jonkin verran eloperäistä ainesta (juuria ja humusta). Saven humuspitoisuus on syytä selvittää jatkosuunnitteluvaiheessa tarkemmin muun muassa sopivan stabiloinnin sideaineen määrittämiseksi.

Routivuus

Alueen luonnollinen pohjamaa on routivaa.

3. STABILITEETILASKELMAT

3.1. Yleistä

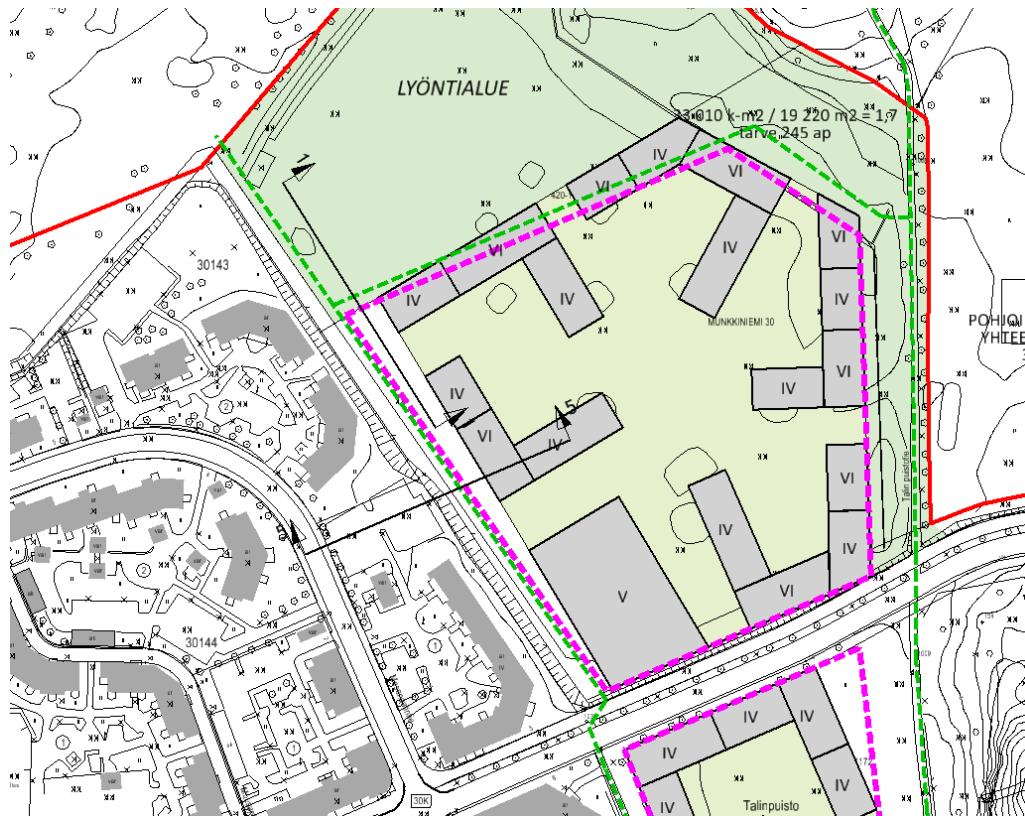
Helsingin kaupunki on arvioinut alueille U1 ja U2 tulvan kannalta turvalliseksi rakentamiskorkeudeksi tason +3,2. Rakentamisen yhteydessä alueiden yleistasausta on tarkoitus nostaa vähintään tälle tasolle, mikä tarkoittaa vähintään 1,0...2,4 m korotusta nykyiseen maanpinnan tasoon verrattuna. Laaja-alaisen täytön vaikutusta alueelliseen stabiliteettiin arvioitiin laskelmin.

Stabiliteettilaskelmat tehtiin Fine Softwaren ”GEO5 Slope Stability” laskentaohjelmalla. Käytetty laskentamenetelmä on 2D Morgenstern-Price ja liukupintoina on käytetty ympyränmuotoisia liukupintoja. Laskelmat on tehty kokonaisvarmuusmenetelmällä, vaadittava kokonaisvarmuus on $\geq 1,5$ tai

≥1,8 riippuen siitä, onko kyseessä väliaikainen vai lopullinen tilanne ja onko liukupinnan vaikutusalueella rakenteita.

3.2. Laskentaleikkaukset ja -tilanteet

Laskenta on tehty täyttöalueen pohjois- ja itäreunalta pohjatutkimusleikkausten 1-1 ja 5-5 kohdilta. Laskentaleikkausten sijainnit on pyritty valitsemaan siten, että ne edustavat stabiliteetin kannalta vaarallisimpia tilanteita (täyttökorkeus on mahdollisimman suuri ja pehmeä savikerros mahdollisimman paksu). Stabilitteettileikkausten sijainnit on esitetty kuvassa 3.



Kuva 3: Laskentaleikkausten sijainnit

Tarkastelut tehtiin tilanteesta, missä maanpinnan taso on nostettu täytöillä tasolle +3,2. Laskenta tehtiin kolmella eri reunaluiskan kaltevuudella (1:3, 1:5 ja 1:7) sekä ilman pohjanvahvistuksia että lujitetulla (esimerkiksi stabiloidulla tai esikuormitetulla) pohjamaalla.

3.3. Laskennassa käytetyt parametrit

Laskennassa käytettyjen maakerrosten parametrit perustuvat laskentaleikkausta lähimpänä oleviin pohjatutkimuksiin sekä kokemusperäisiin arvioihin. Käytetyt parametrit on esitetty alla olevassa taulukossa.

Maakerros	Tilavuuspaino, kN/m ³	Leikkauskestävyyuskulma, °	Suljettu leikkauslujuus, kPa
Yleistäyttö	19	34	2
Kuivakuori-savi	17	0	20

Savi, luonnon-tilainen	15	0	10
Savi, lujitettu	15,5	0	15
Pohjamaa	18	30	2

3.4. Laskennan tulokset ja johtopäätökset

Laskennan tulokset on koottu alla olevaan taulukkoon. Yli 1,8 varmuuskertoimet on värjätty vihreällä, yli 1,5 varmuuskertoimet oranssilla ja alle 1,5 varmuuskertoimet punaisella.

Laskentaleikkaus ja reunaluiskan kaltevuus	Kokonaisvarmuus ilman pohjanvahvistuksia	Kokonaisvarmuus lujitetulla savella
Leikkaus 1, kaltevuus 1:3	1,53	1,76
Leikkaus 1, kaltevuus 1:5	1,58	1,78
Leikkaus 1, kaltevuus 1:7	1,63	1,82
Leikkaus 5, kaltevuus 1:3	1,34	1,56
Leikkaus 5, kaltevuus 1:5	1,39	1,58
Leikkaus 5, kaltevuus 1:7	1,64	1,82

Tulosteet laskennoista on esitetty liitteissä 1-6.

Tuloksista nähdään, ettei alueellinen stabiliteetti ole lopullista tilannetta varten riittävä ilman pohjanvahvistustoimenpiteitä edes hyvin loivalla 1:7 luiskakaltevuudella. Riittävä varmuustaso saavutetaan, kun loivan luiskan lisäksi esikuormituksella tai stabiloinnilla nostetaan pehmeän savikerroksen keskimääräistä leikkauslujuutta noin 50 % (10 kPa → 15 kPa). Stabiloinnissa tämä tarkoittaisi esimerkiksi halkaisijaltaan 600 mm stabilointipilareita (leikkauslujuus 80 kPa) neliöhilassa noin 1,6 m keskiöetäisyydellä. Stabiliteettia voidaan parantaa myös käyttämällä täytössä geolujitteita tai kevennysmateriaalia.

4. PAINUMALASKELMAT

4.1. Yleistä

Alueilla U1 ja U2 maanpinnan tason nostaminen 1,0...2,4 metrillä tasolle +3,2 aiheuttaa pohjamaassa merkittäviä painumia. Näillä alueilla eri korkuisten täyttöjen aiheuttaman painuman suuruutta ja painuma-aikoja arvioitiin laskelmin.

Painumatarkastelut tehtiin tangenttimoduuli -menetelmällä Smuran excel -pohjaisella mitoitusohjelmalla, versio 3.3.

4.2. Laskennan maakerrokset ja parametrit

Tarkastelu tehtiin useammalla pengertäytön paksuudella, mutta tässä vaiheessa vain yhdellä pohjamaaprofiililla. Painumista tapahtuu ylivoimaisesti eniten täyttemaan/kuivakuorikerroksen alla olevassa pehmeässä savikerroksessa, joten sen paksuudella on eniten merkitystä laskennan tulosten kannalta. Pohjatutkimusten perusteella savikerroksen paksuus vaihtelee alueiden reuna-alueet huomioiden runsaastikin (3...13 m välillä), mutta valtaosalla alueesta vaihteluväli on huomattavasti

pienempi (8-11 m). Laskelmissa käytettiin savikerroksen paksuutena 11 m, koska sen arvioitiin edustavan varovaista keskiarvoa suurimmalle osalle aluetta.

Laskennassa käytettyjen maakerrosten paksuudet ja parametrit on esitetty alla olevassa taulukossa. Savikerros on oletettu normaalisti konsolidoituneeksi. Vesipitoisuus perustuu näytetietoihin ja konsolidaatiokerroin C_v on määritetty vesipitoisuuden perusteella. Moduuliluku m_1 ja jännitykseksponentti β_1 on arvioitu kokemuseräisesti maalajin ja vesipitoisuuden perusteella. Pohjavedenpinnan etäisyyden maanpinnasta on arvioitu olevan 0,4 m.

Maakerros	Paksuus, m	Vesipitoisuus, %	m_1	β_1	C_v
Kuivakuori	1,0	20	80	0,5	14,4
Savi	11,0	70	12	0	0,4
Hiekka	2,0	30	100	0,5	4,1

Jatkosuunnittelussa maakerrosten paksuuksia ja parametreja on syytä täsmentää täydentävillä pohjatutkimuksilla tarkempaa painumalaskentaa varten.

4.3. Laskennan tulokset ja johtopäätökset

Painumalaskennan perusteella arvioidut painumat on koottu alla olevaan taulukkoon.

Pengertäytön korkeus, m	Painuma 1 vuoden päästä, mm	Painuma 5 vuoden päästä, mm	Painuma 10 vuoden päästä, mm	Painuma 50 vuoden päästä, mm
1,0	75...100	150...175	200...225	340...365
1,5	100...125	210...240	275...300	475...500
2,0	130...160	260...300	340...380	590...620
2,5	160...190	320...350	410...450	680...730
3,0	175...200	330...370	450...490	770...810
3,5	190...220	380...420	500...540	860...900
4,0	210...240	410...450	550...590	930...970

Tuloste painumalaskelmasta 2 m pengerkorkeudella on esitetty liitteessä 7.

Laskelmien perusteella täytön aiheuttamat painumat ovat suuria ja painuma-ajat ovat pitkiä, useita kymmeniä vuosia. Tulevien rakennusten ympäristössä ja piha-alueilla pengertäyttöjen aiheuttamien painumien suuruutta on pienennettävä pohjanvahvistustoimenpiteillä. Kyseeseen tulevia toimenpiteitä ovat pohjamaan syvästabilointi, esikuormitus, paalulaatta, puupaalutus sekä kevennys- ja luji-teverkkorakenteet. Eri vaihtoehtoja on käsitelty tarkemmin luvussa 5.

5. ALUSTAVAT POHJANVAHVISTUSRATKAISUT

5.1. Yleistä

Alustavaa kustannuslaskentaa varten golfkentän ja puiston alueille (U1 ja U2) määritettiin uusien asuinkorttelien alustavat perustamis- ja pohjanvahvistusratkaisut. Tässä luvussa on arvioitu eri menetelmien soveltuvuutta alueelle, sekä listattu niiden hyviä ja huonoja puolia. Alustavaa pohjarakentamisen kustannusarviota varten on kuitenkin valittu vain yksi periaateratkaisu.

5.2. Golfkenttä- ja puistoalueet (U1 ja U2)

Rakennusten perustaminen

Uuden asuinkorttelin rakennukset perustetaan kovaan pohjaan ulottuvien tukipaalujen varaan. Paaluina voidaan käyttää kalliokärjillä varustettuja teräsbetonisia lyöntipaaluja. Tarvittava paalupituus on arviolta noin 10...20 m. Paalujen mitoituksessa on huomioitava rakennusten alla olevan täytön aiheuttama negatiivinen vaippahankaus.

U2 alueen eteläpäässä on HASU-näytteenottojen yhteydessä havaittu pohjamaassa louhetta, joten sillä alueella voidaan joutua käyttämään porattavia teräsputkipaaluja.

Piha-alueiden perustaminen

Painumien rajoittamiseksi sekä reuna-alueiden stabiliteetin parantamiseksi alueella on tehtävä pohjanvahvistustoimenpiteitä. Kyseeseen tulevia pohjanvahvistusmenetelmiä sekä niiden hyviä ja huonoja puolia on listattu alla.

Pilaristabilointi soveltuu menetelmänä kohteeseen hyvin ja on teknisesti toimiva ratkaisu. Stabiloinnissa käytettävän sideaineen valinnassa on kiinnitettävä huomiota pohjamaan humuspitoisuuteen sekä mahdollisen sulfidisaven olemassaoloon. Alustavan mitoituksen perusteella liikennöitävillä piha-alueilla pilarivälin k/k tulisi olla halkaisijaltaan 600 mm pilareilla noin 1,0...1,4 m ja halkaisijaltaan 700 mm pilareilla noin 1,2...1,5 m. Menetelmän huonoja puolia ovat hinta ja korkeat CO₂-päästöt.

Koska alueen pohjamaassa ei ole (U2 alueen poikki kulkevaa d=1200 mm sekavesiviemäriä lukuun ottamatta) painumalle alttiita rakenteita, myös **esikuormitus** voisi soveltua kohteeseen hyvin. Kuitenkin koska savikerros on paksu ja painuma-ajat pitkiä, esikuormitusprosessia tulisi nopeuttaa esimerkiksi nauhapystyjoituksella. Pystyjojat pienentävät huokosveden virtausmatkaa pohjamaassa kiihdyttäen konsolidaatiota merkittävästi. Alustavan arvion mukaan tarvittava esikuormitusaika olisi mahdollista lyhentää noin 10...14 kk mittaiseksi, kun nauhapystyjoja asennetaan alueelle noin 1,0...1,2 m välein. Esikuormituksessa pengertäyttö painuu useita kymmeniä senttejä, joten lopullisen täyttötason saavuttamiseksi esikuormituspenger on tehtävä ylikorkeana, mikä tarkoittaa suurempia massamääriä. Esimerkiksi mikäli maanpinnan tasoa on tarkoitus nostaa 2...2,5 metrillä, on esikuormituspenkereen oltava arviolta noin 3...4 m korkea. Pystyjojen kanssa tällainen pengeri painuu 1 vuodessa noin 600...800 mm, jonka jälkeen tulevan tasauksen yläpuolelle jäävä ylijäämämaa on poistettava. Alueiden U1 ja U2 yhteispinta-ala on yli 3 hehtaaria, joten tarvittavat massamäärät ovat suuria. Ylikorkeiden penkereiden osalta on lisäksi kiinnitettävä erityistä huomiota reuna-alueiden riittävään stabiliteettiin. Nauhapystyjoitus ei ole Suomessa yleisesti käytössä oleva menetelmä, joten sen asennuskalusto olisi mahdollisesti tilattava ulkomailta. Esikuormituksen edistymistä tulee seurata säännöllisillä painumamittauksilla.

Paalulaatta on teknisesti varmasti toimiva ratkaisu. Korkean hintansa vuoksi sitä ei kuitenkaan kannata käyttää koko piha-alueella, mutta katu- ja kunnallistekniikan alla menetelmä voisi tulla kyseeseen.

Puupaalutus olisi CO₂-päästöjen puolesta edullinen ratkaisu. Puupaaluina voitaisiin hyödyntää myös alueelta kaadettavia puita. Pohjavedenpinta on lähellä maanpintaa ja kunhan pohjaveden taso ei pääse alenemaan, paalut eivät pääse lahoamaan ja kestävät hyvin. Puupaalujen yläpään voi

asentaa paaluhattuja, puukehikon, geoverkon tai puuarinan. Puupaalurakenteen toimintavarmuus ei ole yhtä hyvin ennustettavissa kuin esimerkiksi paalulaatan tai syvästabiloinnin. Kuitenkin painumeroja sietävien alueiden kuten viheralueiden pohjanvahvistusratkaisuna puupaalurakenne voi olla hyvinkin toimiva.

Täyttökorkeus on sen verran korkea, että pelkällä **kevennys-** tai **geolujiterakenteella** ei todennäköisesti saada painumia riittävästi pienennettyä. Nämä menetelmät soveltuvat kuitenkin hyvin täydentämään muita pohjanvahvistusmenetelmiä (esim. esikuormituksessa lopputäytön keventäminen, stabiloinnissa pilarien päälle lujiteverkko).

Alla olevaan taulukkoon on koottu eri menetelmille arvioituja hyviä ja huonoja puolia.

Menetelmä	Hyvät puolet	Huonot puolet
Pilaristabilointi	+ Teknisesti luotettava ratkaisu	- Korkeat CO ₂ -päästöt
Esikuormitus + pystyjoitus	+ Alhaiset CO ₂ -päästöt + Alueen pohjamaassa ei d1200 mm sekavesiviemäriä lukuun ottamatta painumille alttiita rakenteita	- Pitkä kesto (esikuormitusaika arviolta min. 1 vuosi) - Edellyttää ylitäyttöä, ylijäämämaille osoitettava paikka - Nauhapystyjoituskalusto pitää mahdollisesti tuoda ulkomailta - Edellyttää säännöllistä monitoringia
Paalulaatta	+ Teknisesti varmasti toimiva ratkaisu, soveltuu esim. katujen ja kunnallistekniikkalinjojen alle	- Kallis hinta, ei ole järkevää soveltaa koko alueelle - Korkeat CO ₂ -päästöt
Puupaalutus + puuarina/geolujite	+ Alhaiset CO ₂ -päästöt + Mahdollisuus hyödyntää alueen puustoa	- Riskinä pohjavedenpinnan alentuminen ja puupaalujen lahoaminen - Teknisesti ei täysin aukoton ratkaisu, ei voida hyödyntää liikennötävillä alueilla
Kevennys	+ Hyvä täydentävä menetelmä	- Ei sellaisenaan riittävä rajoittamaan alueella tapahtuvia painumia

Kaikissa pohjanvahvistusvaihtoehdoissa on huomioitava alueen U2 poikki kulkeva nykyinen, halkaisijaltaan 1200 mm sekavesiviemäri. Putken perustamistavasta ei ole tietoa, perustamistapa on selvítettävä jatkosuunnittelun aikana. Mikäli putki on perustettu paalulaatan varaan, on varmistettava, että paalulaatta kestää maanpinnan nostamisesta aiheutuvan lisäkuorman.

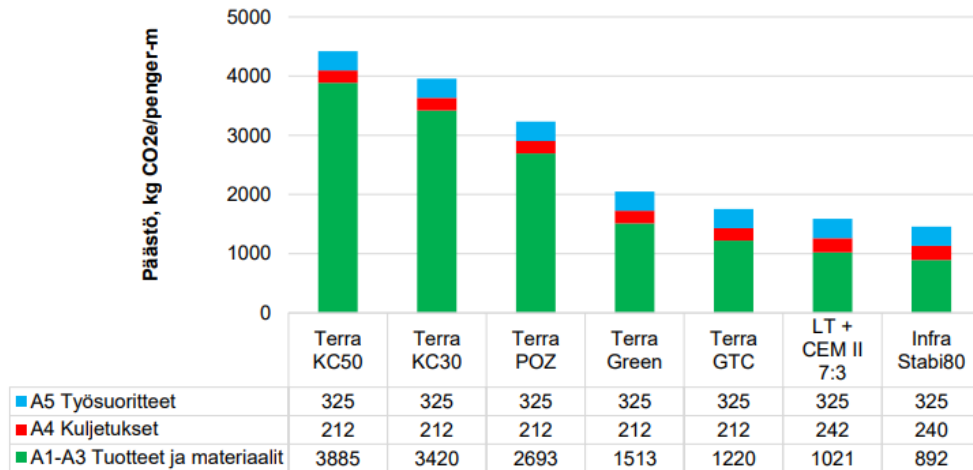
Pohjarakentamistöiden kustannuslaskennassa alueella on oletettu käytettävän pilaristabilointia.

5.3. Stabiloinnin sideaineet

Mikäli alueella päätetään jatkosuunnittelun aikana tehdä syvästabilointia, on stabilointien mitoituksessa syytä harkita uusiosideaineiden käyttämistä perinteisen kalkkisementin sijasta. Uusiosideaineilla on mahdollista pienentää pilaristabiloinnin CO₂-päästöjä merkittävästi, ja lisäksi ne ovat usein perinteisiä sideaineita edullisempia. Kuvassa 4 on esitetty, miten paljon pilaristabiloinnin CO₂-päästöjä on mahdollista vähentää erilaisia sideaineita käyttämällä. Esimerkiksi Terra GTC:llä tehtynä

pilaristabiloinnin CO₂ -päästöt ovat alle 50 % perinteiseen kalkkisementtiin verrattuna. Lisäksi sillä on saatu hyviä käyttökokemuksia Helsingissä, myös sulfidisavikohteissa.

Laajoissa stabiloinneissa on kuitenkin huomioitava, että uusiosideaineiden saatavuus voi olla niiden käyttöä rajoittava tekijä.



Kuva 4: Pilaristabiloinnin CO₂ -päästöt eri rakentamisvaiheissa eri sideaineita käyttämällä (lähde: DI-työ, Elis Kivi)

6. PYSÄKÖINTIRATKAISUT

Maankäyttöluonnoksessa on esitetty, että alueilla U1 ja U2 pysäköinti toteutetaan rakentamalla 5-kerroksinen kellariton pysäköintitalo. Pysäköinnin vaihtoehtoisena toteutustapana on harkittu myös maanalaista pysäköintihallia. Päätöksenteon tueksi laadittiin erillinen raportti, missä vertaillaan eri pysäköintivaihtoehtojen hyviä ja huonoja puolia sekä arvioitiin alustavasti niiden pohjarakentamisen kustannuksia. Raportti on esitetty liitteessä 8.

Karkean kustannusvertailun perusteella maanpäällinen pysäköintitalo on pohjarakentamiskustannuksiltaan (noin 1,9 milj. euroa) selvästi maanalaista pysäköintihallia edullisempi ratkaisu (noin 3,6 milj. euroa). Maanalaissa pysäköintiratkaisussa on kuitenkin joitakin muita etuja maanpäälliseen ratkaisuun verrattuna, kuten pysäköintitalolle varatun tilan vapautuminen muun rakentamisen käyttöön.

7. ALUSTAVA KUSTANNUSLASKENTA

Alueiden esirakentamisen kustannuksista laadittiin alustava määrä- ja kustannusarvio. Laskenta tehtiin IHKU-laskentapalvelussa. Kustannusarviossa ei ole mukana tulevien rakennusten perustamisen kustannuksia.

IHKU:n laskennassa on sisällytetty seuraavat rakennusosat:

- **Puun ja pintamaan poisto:** Rakennusalueen puuston poisto ja pintamaan kaivuu 0,3 m syvyydeltä.

- **Pilaristabilointi ja yhdistelmälujite:** Piha-alueiden edellyttämä stabilointi (varsinaiset rakennukset paalutetaan). Stabilointipilarin oletettu koko 600 mm, k/k -väli 1,2 m (neliöhila). Sideaine kalkkisementti. Pilareiden päälle yhdistelmälujite koko alueelle.
- **Maalle pengerretty maa- ja murskepenger:** Alueen tasauksen yleiskorotus minimissään tasolle +3,2 asti. Täytön alin osa tehdään sekalaisesta kitkamaasta (maapenger) ja ylin 1 m murskeesta (louhepenger)
- **Paalulaatta ja teräsbetonipaalu:** Nykyisen sekavesiviemärin päälle tehtävä suojalaatta.

IHKU:n yksikköhinnoilla alueen esirakentamisen rakennusosien kustannusarvioksi (alv 0 %, ilman työmaa- ja tilaajatehtäviä) muodostuu noin **4,0 miljoonaa euroa**. Kun kustannusarvioon lisätään Helsingin kaupungin kustannuskertoimet (työmaatehtävät 1,25, tilaajatehtävät 1,15 ja kokonaiskustannukset 1,35, esitetty liitteessä 10), saadaan kustannusarvioksi (alv 0 %) noin **7,8 miljoonaa euroa**.

Tuloste IHKU -laskennasta on esitetty liitteessä 9.

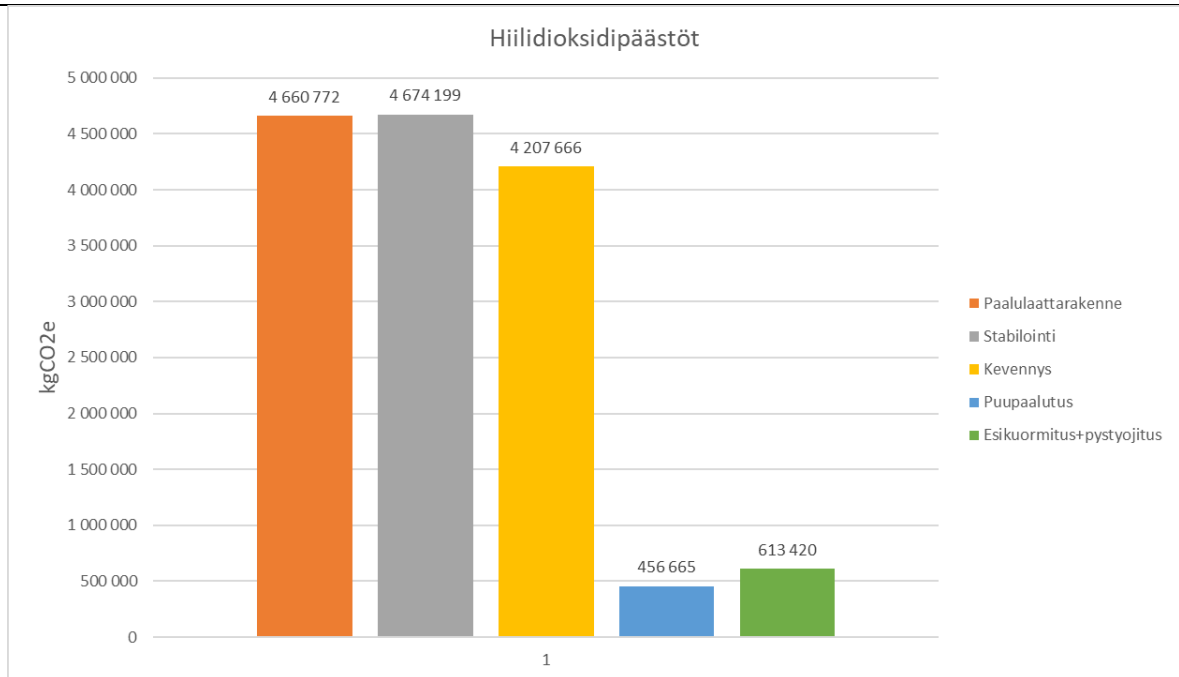
8. POHJANVAHVISTUSTEN PÄÄSTÖ- JA KUSTANNUSTASOVERTAILU

Golfkentän ja puistoalueen (U1 ja U2) vaihtoehtoisista pohjanvahvistusmenetelmistä tehtiin suuntaa antavat hiilidioksidipäästöjen ja kustannustasojen vertailulaskelmat. Vertailu koskee vain pihojen ja yleisten alueiden pohjanvahvistuksia, mukana ei ole tulevien rakennusten perustamisesta muodostuvia kustannuksia ja päästöjä. Laskenta tehtiin excel -pohjaisella päästölaskurilla, jossa on mukana myös rakennusosien yksikkökustannukset. Laskurissa käytetyt hiilidioksidipäästöarvot ja yksikköhinnat ovat pääosin peräisin Fore -laskentapalvelusta (joka perustuu VTT:n päästötietokantaan), muutamien rakennusosan tiedot ovat peräisin Väyläviraston avoimesta CO2data -tietokannasta.

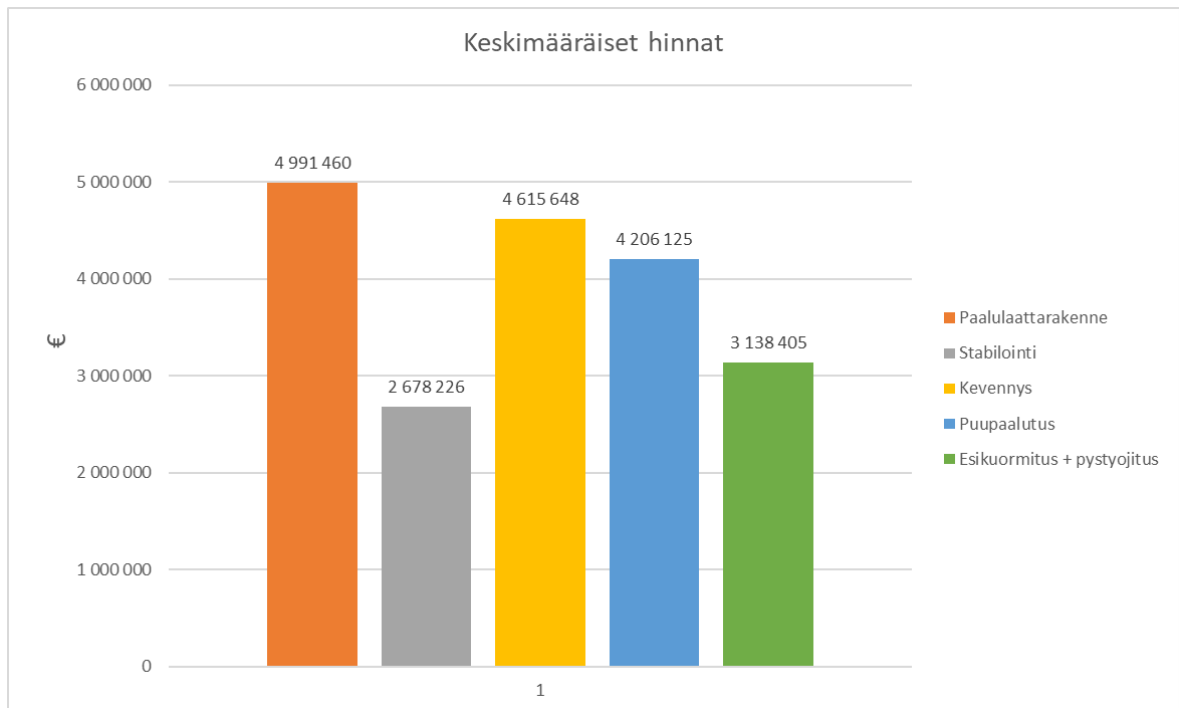
Vertailulaskelmassa tarkasteltavat pohjanvahvistusmenetelmät ovat paalulaattarakenne, pilaristabilointi, kevennys, puupaalutus ja esikuormitus nauhapystyjoituksella. Vertailussa on huomioitu pohjanvahvistusmenetelmän, rakennekerrosten ja alueen yleistäytön rakentamisesta muodostuvat hiilidioksidipäästöt ja rakentamiskustannukset. Yleistäytön ja rakennekerrosten yhteiskorkeudeksi määritettiin 2 m. Alueiden U1 ja U2 yhteispinta-ala on noin 36000 m², mutta koska rakennukset perustetaan joka tapauksessa paaluttamalla, laskurissa tarkasteltavaksi alaksi määritettiin piha-alueiden yhteispinta-ala noin 23000 m². Poikkeuksena esikuormituksen nauhapystyjojat, jotka laskettiin tehtäväksi koko alueelle. Alla on lyhyt kuvaus laskennan lähtötiedoista eri menetelmillä:

- **Paalulaattarakenne:** Paalujen k/k -väli 3 m, paalutyyppi RTB-300-16, keskimääräinen paalupituus 15 m
- **Pilaristabilointi:** Stabilointipilarien k/k -väli 1,2 m (neliöhila), pilarien halkaisija 600 mm, sideaine kalkkisementti, pilarien keskimääräinen pituus 10 m
- **Kevennys:** Kevennyskerroksen yhteispaksuus 2,8 m (kaivetaan 1,5 m nykyisen maanpinnan alapuolelle), kevennysmateriaali vaatolasimurske
- **Puupaalutus + geoverkko:** Paalujen k/k -väli 2 m, keskimääräinen paalupituus 15 m
- **Esikuormitus + pystyjoitus:** Nauhapystyjojen k/k -väli 1,1 m, ylipenger 1,5 m korkea

Kuvassa 5 on esitetty laskennalliset CO₂ -päästöt ja kuvassa 6 laskennalliset kustannustasot eri pohjanvahvistusmenetelmille. Huom. varsinainen kustannuslaskenta on tehty luvun 7 mukaisesti IHKU-laskentapalvelussa, tässä laskelmassa on arvioitu vain karkealla tasolla eri pohjanvahvistusten kustannustasoja suhteessa toisiinsa.



Kuva 5: Eri pohjanvahvistusmenetelmien CO₂-päästöjen vertailulaskelma alueilla U1 + U2, ei sisällä rakennusten perustamisen aiheuttamia päästöjä



Kuva 6: Eri pohjanvahvistusmenetelmien suuntaa antava kustannustasoverailu alueilla U1 + U2, ei sisällä rakennusten perustamisen aiheuttamia kustannuksia

Vertailun perusteella puupaalutus ja esikuormitus ovat selvästi muita pohjanvahvistusmenetelmiä vähähiilisempiä ratkaisuja. Niiden hiilidioksidipäästöt ovat noin luokkaa 400 000–700 000 kgCO₂e,

kun taas paalulaatalla, stabiloinnilla ja kevennyksellä vastaava lukema on luokkaa 4–5 miljoonaa kgCO₂e. Rakentamiskustannuksiltaan edullisimmat hintatasot näyttäisivät sen sijaan olevan stabiloinnilla ja esikuormituksella.

Paalulaatta ja kevennys ovat vertailun perusteella huonoimmat vaihtoehdot. Pelkkää kevennystä käytettäessä riittävän kevennysvaikutuksen aikaansaamiseksi kevennysmateriaalia tarvitaan valtavat määrät, mikä selittää suuret päästöt ja korkean hintatason.

Kuten kohdassa 5.3 on todettu, stabiloinnin laskennallisia CO₂ -päästöjä on mahdollista pienentää merkittävästi, mikäli stabiloinnissa käytetään uusiutuvia sideaineita. Uusiosideaineiden saatavuus voi kuitenkin olla niiden käyttöä rajoittava tekijä.

Laskimessa on huomioitu puupaaluille sama yksikkökustannus kuin RTB-300-16 PTL2 paaluille. Tämä viittaa siihen, että kustannus on paalutuskoneelle, puupaaluja voidaan kuitenkin infrakohteissa asentaa esim. ponttivibralla riittävään syvyyteen ja kantavuuteen. Tämä voi vaikuttaa kustannusten muodostumiseen oleellisesti.

Vertailun perusteella esikuormitus pystyjoituksella vaikuttaisi kustannuksien ja päästöjen puolesta parhaalta menetelmältä. Menetelmä vaatii kuitenkin alustavan mitoituksen perusteella vähintään 1 vuoden painuma-ajan. Menetelmän mahdollisia haasteita ovat lisäksi pystyjoituskaluston saatavuus sekä reuna-alueiden stabiliteetti.

9. JATKOTOIMENPITEET

Tässä raportissa esitetty kustannusarvio on tehty perinteisillä, teknisesti luotettavilla ratkaisuilla. Kuitenkin kuten luvussa 8 todetaan, vaihtoehtoisilla menetelmillä hankkeen hiilidioksidipäästöjä ja kustannuksia on mahdollista saada merkittävästi alennettua. Näiden menetelmien käyttökelpoisuutta on syytä arvioida tarkemmin jatkosuunnittelussa.

Lisäksi jatkosuunnittelun aikana on syytä tehdä tarkempia painumatarkasteluja sekä stabiliteettitarkasteluja yleistäytön reuna-alueilta. Näitä varten tulisi tehdä täydentäviä pohjatutkimuksia varsinkin nykyisen golfkentän alueelta (U1), missä tätä raporttia varten teetetetyt tutkimukset jouduttiin jättämään suurelta osin tekemättä.

Helsinki 8.9.2023
GeoPro Consulting Oy

Laatinut

Laatinut

Kimmo Tantt
Pohjarakennesuunnittelija, DI

Mikko Mielonen
Pohjarakennesuunnittelija, ins. AMK

Tarkastanut

Suvi Saljola
Vastuullinen pohjarakennesuunnittelija, DI