

Vastaanottaja

Helsingin kaupunki/Maankäyttö ja kaupunkirakenne/Maankäytön yleissuunnittelu/Teknistoloudellinen suunnittelu

Asiakirjatyyppe

Esirakentamistarkastelu osayleiskaavoitusta varten

Päivämäärä

4.12.2024

ÖSTERSUNDOM ESIRAKENTAMISTAR- KASTELU



Kuvat: © Kaupunkimittauspalvelut, Helsinki 2023

Päivämäärä **4.12.2024**
Laatija **A. Salomaa, T. Malmelin, M. Löfman, S. Ollikainen, P. Meskanen**

Tilaaaja **Helsingin kaupunki/Maankäyttö ja kaupunkirakenne/Maankäytön yleissuunnittelu/Teknistaloudellinen suunnittelu, Pekka Leivo**

Viite 1510084073
Versio 3

SISÄLTÖ

1.	Johdanto	5
2.	Esirakentamistarkastelun lähtökohtia	6
2.1	Maankäytön suunnittelu	6
2.2	Rakentamisen aikataulu	7
2.3	Maaperäolosuhteet	7
2.4	Nykyinen maankäyttö ja kunnallistekniikka	8
2.5	Esirakentamisen menetelmät	8
2.6	Tämän esirakentamistarkastelun tarkkuustasosta	8
3.	Alustavan tasauksen laadinta	9
4.	Esikuormituksen painumat ja painuma-ajat	11
4.1	Pohjanvahvistus esikuormittamalla – hyödyt ja rajoitteet	11
4.2	Laskentaoletukset	11
4.3	Painumalaskelmien tulokset	13
4.4	Johtopäätökset	13
5.	Östersundomin pehmeikköjen syvyysjakauma	14
6.	Esirakentamisen laskenta-alueiden muodostaminen	16
7.	Määrälaskennan oletukset ja periaatteet	19
7.1	Kitkamaa-alueet	19
7.2	Kallioalueet	20
7.3	Pehmeiköt (koheesiomaa-alueet)	20
7.4	Pohjarakentaminen	21
8.	Kustannus- ja päästölaskennan oletukset ja periaatteet	22
8.1	Paikallinen louhinta ja tasaus louheella	22
8.2	Paikallinen kitkamaaleikkaus ja tasaus kitkamaalla	22
8.3	Syntyvä louhe	22
8.4	Syntyvä kitkamaa	23
8.5	Syntyvä koheesiomaa	23
8.6	Syntyvä pintamaa	23
8.7	Tarvittava pengeri	23
8.8	Esikuormituspengeri	23
8.9	Pystyojat	24
8.10	Syvästabilointi	24
9.	Esirakentamisen skenaariot	25
9.1	Esirakentamisen skenaario A	25
9.2	Esirakentamisen skenaario B	25
10.	Esirakentamisen määrät	26
10.1	Määrälaskennan tulosten yhteenveto ja analysointi	26
11.	Esirakentamisen kustannukset ja päästöt	29
11.1	Kustannuslaskennan tulosten yhteenveto ja analysointi	29
11.2	Päästölaskennan tulosten yhteenveto ja analysointi	30
12.	Esirakentamisen vaikutusten arviointi	32
13.	Pohjanvahvistusmenetelmien riskejä ja mahdollisuuksia	33
13.1	Esikuormittamisen ja syvästabiloinnin vertailu	33
13.2	Vähäpäästöisten pohjanvahvistusmenetelmien kehitysnäkymät	34
13.3	Esikuormittamisen ja massanvaihdon vertailu	35
14.	Vertailu aiempaan yleiskaavaan	37
15.	Johtopäätökset ja jatkotoimenpiteet	38
16.	Yhteenveto	40
Viitteet	41	

PIIRUSTUKSET

1510084073-01	Alustava tasaus ja kaavan viiteaineiston laajuuskaavio
1510084073-02	Laskenta-alueet ja kaavan viiteaineiston laajuuskaavio
1510084073-03	Laskenta-alueet maaperäkartalla
1510084073-04	Esirakentamisen skenaarion A pohjanvahvistustoimenpiteet
1510084073-05	Esirakentamisen skenaarion B pohjanvahvistustoimenpiteet

LIITTEET

Liite 1	Esirakentamisen skenaarion A määrät
Liite 2	Esirakentamisen skenaarion B määrät
Liite 3	Esirakentamisen skenaarion A kustannukset
Liite 4	Esirakentamisen skenaarion B kustannukset
Liite 5	Esirakentamisen skenaarion A päästöt
Liite 6	Esirakentamisen skenaarion B päästöt
Liite 7	Esikuormituksen soveltuvuuden arviointi

1. JOHDANTO

Ramboll on laatinut tämän Östersundomin osayleiskaavan alueen esirakentamistarkastelun Helsingin kaupungin Maka/Myle/Teknistaloudellisen suunnittelun toimeksiannosta.

Työn tilaaja on Pekka Leivo. Työn ohjausryhmässä ovat toimineet:

- Pekka Leivo, KYMP/Maka/Myle/Tek
- Kaarina Laakso, KYMP/Maka/Myle/Tek
- Anne Karlsson, KYMP/Maka/Myle/Yleiskaavoitus
- Iris Karvinen, KYMP/Maka/Myle/Yleiskaavoitus
- Mikko Suominen, KYMP/Rya/Yla/Om. hal

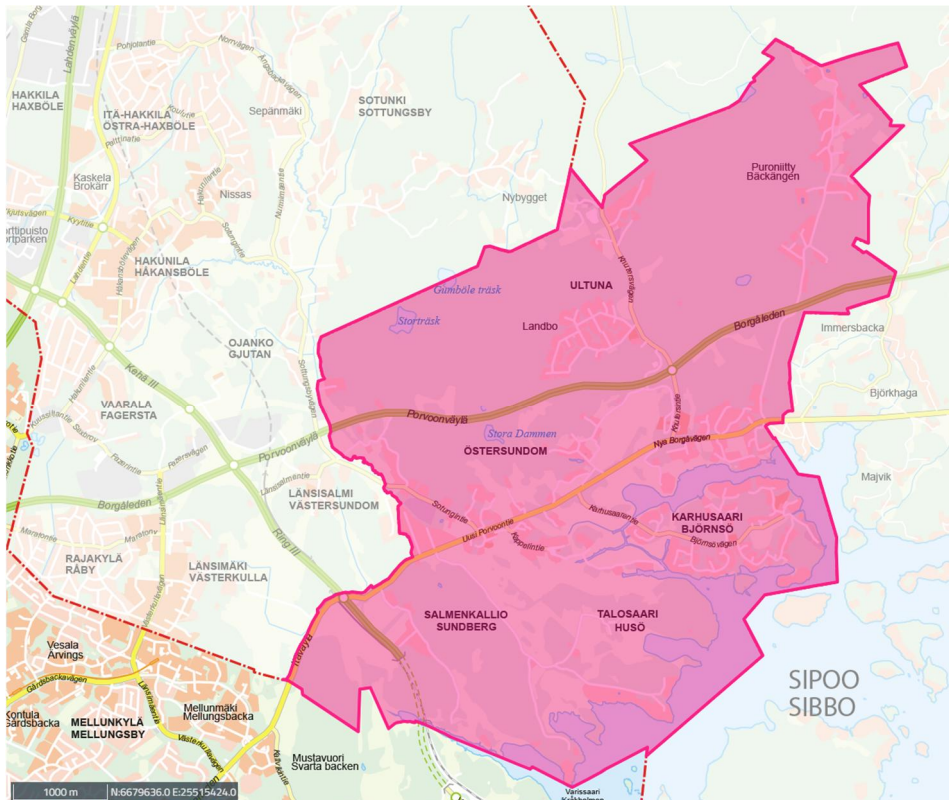
Rambollissa työn projektipäällikkö on ollut Aleks Salomaa. Suunnitteluryhmään ovat kuuluneet Teemu Malmelin, Monica Löfman, Suvi Ollikainen, Oscar Lindberg, Vertti Hatara, Pirita Meskanen ja Outi Kettunen.

Suunnittelualueen sijainti on esitetty kuvassa 1. Tämä työ tukee osayleiskaavoitusta ja toimii pohjana alueen suunnittelulle jatkossa.

Helsingin kaupunki laatii Östersundomiin osayleiskaavaa. Tärkeimpiä ratkaistavia asioita ovat rai-deliikennenyhteys ja siihen liittyvä maankäyttö, viherverkosto, luonnonsuojelualueet sekä ekologi-set yhteydet. Tavoitteena on, että osayleiskaavaehdotus on valmis vuonna 2025. Samaan aikaan käynnissä on myös Landbon ja Karhusaaren pohjoisosan asemakaavojen muutokset. Osayleis-kaavan luonnos on ollut nähtävillä syksyllä 2024. Alueella on voimassa oleva maakuntakaava.

Tässä raportissa on tarkasteltu osayleiskaavaluonnoksen toteuttamisen vaatimaa esirakenta-mista. Painopisteenä on ollut massojen hallinta ja kiertotalous. Työssä on määritetty esirakenta-mistoimenpiteet eri alueilla ja esirakentamisen määrät, kustannukset ja päästöt.

Suunnitelmat on tehty ETRS-GK25 koordinaattijärjestelmään ja korkeusjärjestelmään N₂₀₀₀.



Kuva 1: Östersundomin osayleiskaavan alue (Helsingin Karttapalvelu).

2. ESIRAKENTAMISTARKASTELUN LÄHTÖKOHTIA

Tässä tarkastelussa käsitteellä esirakentaminen tarkoitetaan maan rakentamiskelpoiseksi saattamista siten, että kyseisille alueille suunniteltavat rakennukset, kadut ja kunnallistekniikka voidaan perustaa kantavalle pohjalle tarkoituksenmukaisiin korkeusasemiin.

Tässä kappaleessa on käyty läpi tehdyn esirakentamistarkastelun lähtökohtia ja tavoitteita sekä arvioitu lyhyesti työn tarkkuustasoa.

2.1 Maankäytön suunnittelu

Helsingin kaupungin Östersundomin kaavoitusta koskevalla verkkosivulla kuvataan nyt käynnissä olevan kaavoituksen etenemistä ja tavoitetta seuraavasti:

”Kaupunkiympäristölautakunnassa hyväksytyjen suunnitteluperiaatteiden mukaisesti Östersundomin alue suunnitellaan pikaraitiotiehen perustuvana, viherverkoston ja arvokkaimmat luontoalueet huomioivana kokonaisuutena.

Pikaraitiotien linjaus kulkee pääosin Uutta Porvoontietä pitkin ja se kytkeytyy Itäkeskukseen. Uusi rakentaminen sijoittuu ensisijaisesti raideliikenteen varrelle ja olemassa olevaan rakentamiseen tukeutuen. Luontoarvoiltaan tärkeimmät alueet säilyvät ja osayleiskaavassa osoitetaan kattava luonnonsuojelualueiden verkosto.

Alueen toteutuminen on sidottu raideliikennepäätökseen ja laajamittainen rakentaminen toteutuu kuitenkin vasta pitkällä aikavälillä. Sitä ennen edistetään olemassa olevien pientaloalueiden täydennysrakentamista, viher- ja virkistysverkoston kehittämistä sekä työpaikka-alueiden toteuttamista.”

Aiemmin valmisteltu kuntien yhteinen yleiskaava ja samaan aikaan valmistelussa ollut maakunta-kaava perustuivat ratkaisuun, jossa alueelle suunniteltiin 80 000-100 000 asukkaan kokonaisuutta. Nyt valmisteilla olevassa osayleiskaavassa esitetty maankäyttöratkaisu on kokonaisuutena pienimuotoisempi.

Maa-aineksen otto- ja läjitysalue on aiemmin ollut alueen asukkaissa eniten huolta herättänyt suunnitelma. Sen on nähty tuovan erilaisia ympäristöhäiriöitä ja raskasta liikennettä koko alueen rakentamisen ajan samalle alueelle, sekä vähentävän myös alueen virkistysarvoa. Kyseessä olevan alueen pohjoispuolella on Hältingträsk-lampi ja tulevaa luonnonsuojelualuetta. Alueelle on osayleiskaavassa sovitettu myös ekologista yhteystarvetta.

Tälle aiemmin maakuntakaavassa osoitetulle ylijäämämaiden loppusijoitukseen varatulle alueelle pyritään nyt löytämään osayleiskaavoituksessa vaihtoehtoinen ratkaisu ja toimintatapa. Tässä esirakentamistarkastelussa on ollut keskeisenä tavoitteena kehittää perusteltu vaihtoehtoinen ratkaisu ja toimintatapa, jossa massoja pyritään käsittelemään ja hyödyntämään Östersundomin alueen sisällä, jolloin maanottaminen ja läjittäminen on selvästi vähäisempää.

Kaavoituksen lisäksi esirakentamisen kannalta merkittävää rakentamista on Östersundomin alueen länsilaidalle ajateltu jätevedenpuhdistamo, jonka rakentamiseen liittyvän louhinnan suuruudeksi on arvioitu noin 1 000 000 m³ kiinteää kalliota (Lähde: sähköpostiviesti Jukka Yli-Kuivila HSY).

Esirakentamistarkastelussa käytettiin kaavan viiteaineistoon kuuluvia maankäyttöhahmotelmaa, laajuuskaavioita sekä rakeisuuskuvaa, jotka oli päivätty 10.6.2024. Näiden aineistojen pohjalta tunnistettiin esirakennettavat alueet ja muodostettiin tarkasteltujen alueiden rajat.

2.2 Rakentamisen aikataulu

Alueen rakentamisen aikataulusta on alustavasti arvioitu, että rakentaminen kestäisi noin 40 vuotta ja että laajempi rakentaminen voisi ajoittua mahdollisesti vuosikymmenille 2040-2070.

2.3 Maaperäolosuhteet

Östersundomin alueelle aiemmin laaditussa teknistaloudellisessa selvityksessä (Helsingin kaupunki, kaupunkiympäristö, 2018) on kuvattu alueen pohjasuhteita seuraavasti:

”Maanpinnan korkeusasema yleiskaava-alueella vaihtelee välillä noin +0 - +62 mpy. Kallioperä on murros- ja siirrosvyöhykkeiden lohkoma mosaiikkia. Yleisimmät kivilajit ovat kovia syväkivilajeja graniittia, kvartsimaa- ja pöngäpöngäisiä ja granodioriittia. Kallioperän topografia on monin paikoin melko jyrkkäpiirteistä yleiskaava-alueella. Korkeimmillaan kalliomäet ovat noin tasossa +62 m. Syvimmillään kalliopinnan on todettu olevan vähintään noin tasossa -40 m, kairauksen päätyttyä tiiviiseen maakerrokseen.”

”Yleisimmät maalajit ovat etenkin kallioiden reunoilla esiintyvä moreeni ja viljelylaaksojen savi. Turvetta ja liejua esiintyy laajoilla alueilla Karhusaaren ja Talosaaren länsiosissa. Alueen pohjoisosa on pääosin kalliosta ja osittain jyrkkäpiirteistä maastoa. Kallioselänteiden välisillä laaksoalueilla on pehmeikköjä, joita peittää turvekerros. Alueen eteläosassa topografia muuttuu loivapiirteisemmäksi. Eteläosan purolaaksoissa ja rannikon läheisyydessä sijaitsevat pellot ovat pääosin koheesiomaiden alueella, joilla saven paksuus vaihtelee välillä noin 0-25 m. Kallioselänteiden välisillä pehmeikköalueilla esiintyy paikoin paineellista pohjavettä.”

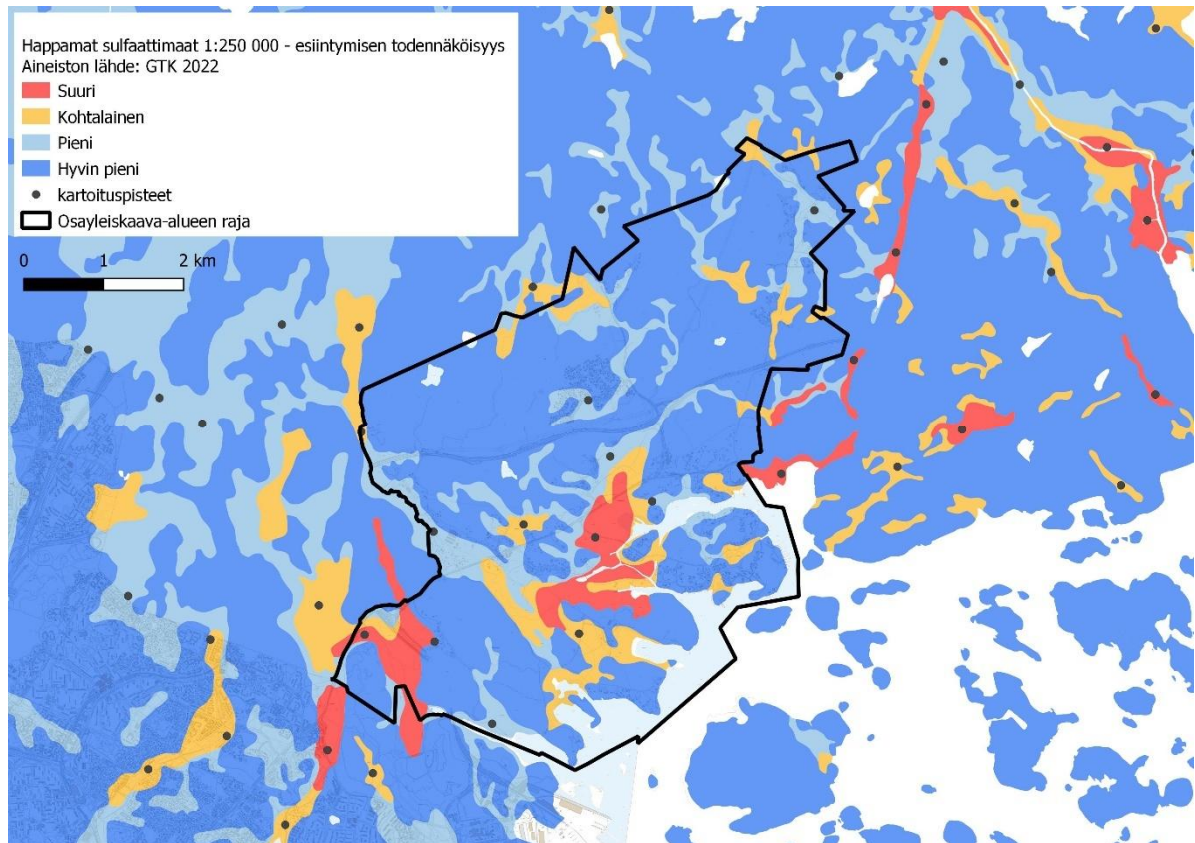
Tässä työssä nykyisen maanpinnan malli rakennettiin käyttäen Maanmittauslaitoksen laserkeilausaineistoa, jonka keilauspäivämäärä oli 13.6.2020.

Maaperäolosuhteet arvioitiin pääosin maaperäkartan perusteella. Maaperäkarttana käytettiin GTK:n vuonna 2015 laatimaa rakennusgeologista karttaa. Lisäksi käytettiin Helsingin kaupungin pehmeikköjen alapinnan korkeuskäyrästä.

Lisäksi hankittiin myös Helsingin kaupungin pohjatutkimusrekisterissä olevat tutkimustulokset, joita käytettiin tarvittaessa edellä mainittujen aineistojen täydentämiseksi. Pohjatutkimuksia on tehty eri ajankohtina 1960-luvulta lähtien mm.

- 2014 painokairausta
- 1260 porakonekairausta
- 1583 puristin-heijarikairausta
- otettu näytteitä 1119 pisteestä
- yhteensä eri tutkimuksia on 7355 kpl

Happamien sulfaattimaiden esiintymisen todennäköisyys on paikoin suuri Östersundomin osayleiskaavan alueella. Tällaisia alueita ovat esim. Krogarsin ja Långörenin alue sekä Salmenkallion länsipuolella sijaitseva alava alue Itäväylän itäpäässä. Kaavoitustyössä on pyritty sijoittamaan rakennettavat alueet todennäköisten sulfaattimaa-alueiden ulkopuolelle, mutta joissakin tapauksissa rakentamista on suunniteltu näille alueille. Happamat sulfaattimaat eivät juurikaan aiheuta erityisiä toimenpiteitä alueiden esirakentamisessa, mikäli pystytään välttämään sulfaattipitoisten maakerrosten kaivaminen ja pohjavedenpinnan alentaminen näillä alueilla. Kuvassa 2 on esitetty osayleiskaava-alueen raja GTK:n tuottaman happamien sulfaattimaiden esiintymisen todennäköisyyttä kuvaavan kartta-aineiston päällä.



Kuva 2: happamien sulfaattimaiden esiintymisen todennäköisyys osaleiskaavan alueella.

2.4 Nykyinen maankäyttö ja kunnallistekniikka

Östersundomin alueen nykyisen maankäytön ja kunnallisteknisen infrarakenteiden hahmottamiseksi käytettiin alueen kanta- ja vesihuoltokarttoja.

2.5 Esirakentamisen menetelmät

Tässä tarkastelussa on pyritty tuomaan esille Östersundomin alueen sisällä tapahtuvan esirakentamisen massojen kierrätyksen ja hyötykäytön merkitystä, mahdollisuuksia ja edellytyksiä. Tarkastelussa on pyritty käyttämään mahdollisimman paljon pohjanvahvistusmenetelmiä, jotka eivät tuota vaikeasti hyötykäytettäviä läjittämistä edellyttäviä massoja ja joiden kustannukset ja päästöt ovat mahdollisimman vähäiset. Tämän tavoitteen vuoksi menetelmissä on painotettu esikuorittamista ja syvemmillä pehmeiköillä on käytetty syvästabilointia.

2.6 Tämän esirakentamistarkastelun tarkkuustasosta

Osaleiskaavan viiteaineiston maankäyttöhahmotelmassa erilaista rakentamista sisältävien alueiden yhteenlaskettu pinta-ala on noin 600 ha eli 6 km². Suunnittelualueita voidaan pitää varsin laajana, koska yleensä esirakentamisen suunnittelua tehdään selvästi tätä pienemmille alueille.

Esirakentamisen lähtökohtana toimivan osaleiskaavoituksen viiteaineiston tarkkuustaso ei puolestaan ole esirakentamisen suunnittelun näkökulmasta kovin tarkka. Yleensä esirakentamisen suunnittelun lähtötietona käytetään pidemmälle vietyjä suunnitelmia.

Pääosin näiden seikkojen vuoksi tässä esirakentamistarkastelussa on ollut tarpeellista ja järkevää käyttää suoraviivaisia ja yksinkertaisia tarkastelumenetelmiä, jotka on kuvattu tarkemmin omissa kohdissaan jäljempänä. Tätä esirakentamistarkastelua tulee pitää laskettujen määrien, kustannuksien ja päästöjen osalta enemmän suuruusluokkatarkasteluna kuin tarkkana suunnitelmana tarkkoine määrineen.

3. ALUSTAVAN TASAUKSEN LAADINTA

Esirakentamisen suunnittelua varten tarvittiin käsitys alueen tasauksesta, mutta osayleiskaavan alueelle ei ollut laadittu tasausta kaavoitustyön yhteydessä. Tämän vuoksi oli tarve laatia kaavan viiteaineistoon sopiva alustava tasaus. Tasaustarkastelu tehtiin n. 1 m tarkkuudella. Alustavaa tasausta ja nykyistä maanpintaa vertaamalla laskettiin myöhemmissä suunnitteluvaiheissa esirakentamisessa tehtävät alueelliset leikkaukset ja täytöt.

Alustavaa tasausta suunniteltaessa tarkasteltiin kaavan viiteaineistoa hulevesien kuivatusreittien näkökulmasta ja todettiin, että yleiskaavan viiteaineistossa nykyiset alueen kuivatusreitit (purot ja ojat) sekä niiden läheiset metsäalueet on jätetty puistoalueiksi, joihin ei tehdä rakentamistoimenpiteitä. Tämä mahdollisti nykytilannetta vastaavan hulevesien kuivatusreitin käyttämisen alustavan tasauksen suunnittelun perustana ja saman periaatteen varaan kuivatus voidaan tulevaisuudessakin rakentaa. Tämän lisäksi alustavan tasauksen laadinnassa huomioitiin nykyisten isompien väylien muodostamat reunaehdot niiden lähellä sijaitsevien alueiden korkeusasemille ja väylien tasauksiin ei ole lähtökohtaisesti tehty muutoksia.

Alustavassa tasauksessa yleiskaavan kaikki kaava- ja korttelialueet on tasattu siten, että kaikkialta löytyy luontainen tulvareitti pintoja pitkin johonkin alueen ojaverkoston osaan. Jotta tämä periaate on saatu toimimaan, on merkittävimmät leikkausta vaativat kohdat merkitty tasattavaksi n. 1 m tarkkuudella tiettyyn tasoon, joka on yhteensopiva lähialueen muiden kortteleiden ja alueiden kanssa.

Edellä mainittujen lähtökohtien lisäksi tasaussuunnittelussa on esitetty nostettavaksi kaikki tulvariskin (merenrannan läheisyydessä +3,3) alapuolelle jäävät rakennettavat alueet tasoon +4,0. Tällöin varmistetaan, että nämä suurempia täyttöjä vaativat alueet huomioidaan jatkosuunnittelussa. Alustavan tasauksen määrittäminen tulvariskiä korkeammaksi varmistaa lisäksi, että kyseisillä alueilla on jatkosuunnittelussa varaa tarkemman tulvareittisuunnittelun tueksi.

Tulvareittien toimivuuden lisäksi tasaussuunnittelun tavoitteena oli selvittää alueen massatasaapainon periaatteita sekä varmistaa määrälaskennan tarkkuutta. Kun kartalle on merkitty matalimmat, isompia täyttöjä vaativat kohdat, sekä korkeimmat suurempia louhintoja vaativat kohdat, voidaan yleistasausta käyttää hyödyksi optimoitaessa eri työvaiheita ja yhteensovitettaessa niitä alueen rakentamisaikatauluihin jatkosuunnittelussa. Kyseisellä toimenpiteellä voidaan lisäksi vaikuttaa tarvittavien maa-aineskuljetusten volyyymiin sekä kuljetusmatkoihin niitä vähentävästi.

Seuraavassa on vielä kerrattu alustavan tasauksen suunnittelun periaatteet yksinkertaistetusti:

Käytetyt periaatteet:

- nykyiset isommat väylät pidetään ennallaan
- nykyiset toiminnassa olevat ojat toimivat kuivatusverkoston perustana
- yleiskaavan puistoalueisiin ei kosketa
- sellaisen alueiden, joilla ei tehdä merkittävää esirakentamista (metsä/puistoalueet sekä nykyiset rakennetut/säilyvät alueet), nykyistä tasausta ei muuteta

Tasauksen tavoitteet:

- tulvareittien jatkumot toteutuvat
- ei tehdä turhia täyttöjä
- tasauksen pitää sopia kaavarunkoon (tarkistustyö osayleiskaavalle tehty samalla)

Toimenpiteet:

- leikataan liian jyrkkien korkoerojen tasaamiseksi
- täytetään jos nykytilanne jää tulvarajojen alapuolelle +3,3
- leikataan tulvareittien jatkuvuuden varmistamiseksi

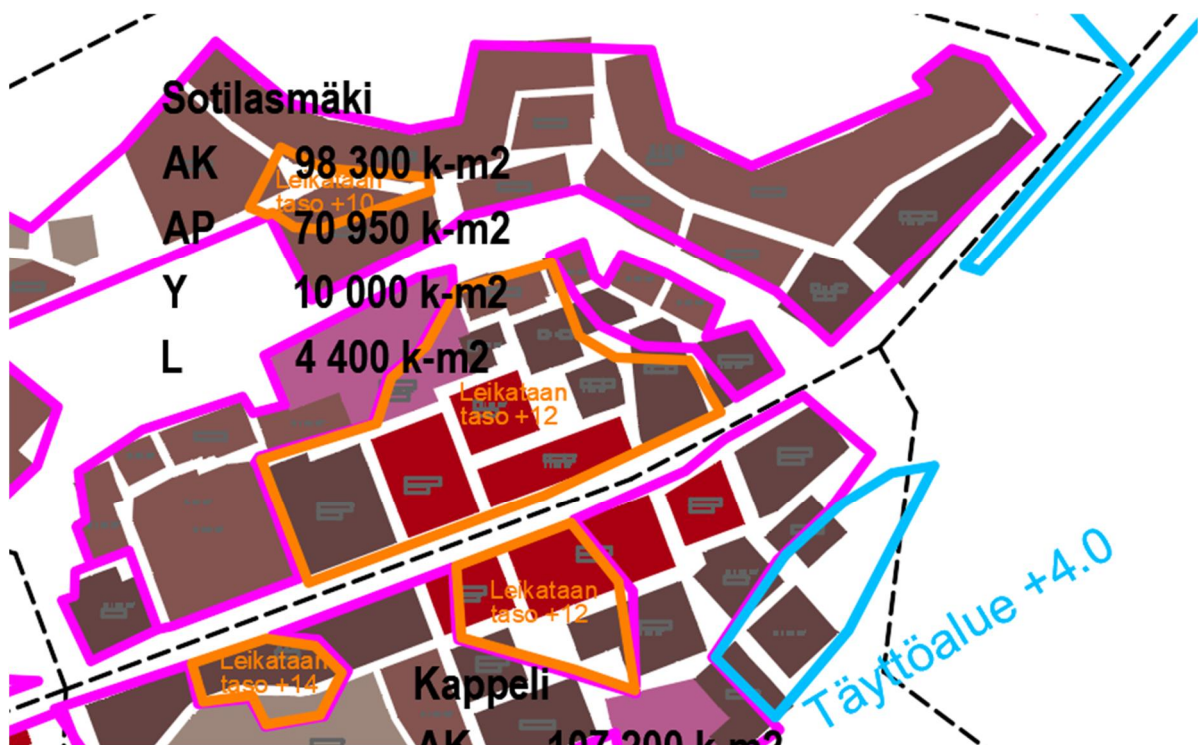
Alustava tasaus sisältää kolme erilaista tilannetta:

- seurataan nykyistä maanpintaa $\pm 0,5$ m tarkkuudella
- korotetaan verrattuna nykyiseen maanpintaan
- leikataan nykyistä maanpintaa alemmas

Tasauksen tarkkuustason periaatteet:

- tarkkuustaso on periaatteellinen siten, että tasauksen pääsuunnat tulevat selville
- täytöt matalissa kohdissa määritetty yhteen tasoon (+4,0)
- leikkaukset määritetty yksinkertaisesti yhteen tasoon
- nykypinnoissa säilymisen osalta ei esitetä massiivisia toimenpiteitä, vaan todetaan nykypinnan muotojen mahdollistavan tasausperiaatteen toimivuuden

Kuvassa 3 on esitetty esimerkki tasaustoimenpiteistä kartalla. Koko osayleiskaava-alueen alustava tasaus on esitetty piirustuksessa -01.



Kuva 3: esimerkki tasaustoimenpiteistä kartalla.

4. ESIKUORMITUKSEN PAINUMAT JA PAINUMA-AJAT

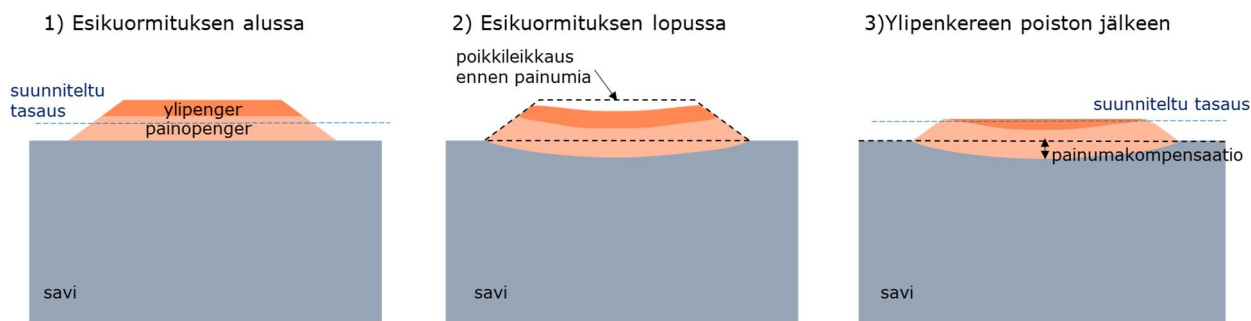
Merkittävä osa esirakentamisen kustannuksista ja päästöistä syntyy pohjanvahvistusta edellyttävien maaperältään pehmeiden alueiden rakentamisesta. Tästä syystä pehmeikköalueisiin kiinnitettiin erityistä huomiota.

Esi-/ylikuormitus on vähäpäästöinen ja kustannustehokas menetelmä etenkin silloin, kun esikuormituspenkereiden materiaalia (yleensä murske) on hyvin saatavilla. Esikuormituksen päästöjä ja kustannuksia on verrattu muihin pohjanvahvistusmenetelmiin mm. julkaisussa *Vähähiilinen esirakentaminen -opas* (https://uusiomaarakentaminen.fi/wp-content/uploads/sites/5/2024/01/Vaha-hiilinen-esirakentaminen_UUMA4_2023_12_31.pdf).

Esikuormittamisessa arvioitiin olevan suurin potentiaali kustannussäästöjen ja päästöjen vähentämisen kannalta. Tämän vuoksi esikuormittamisen toimintaa Östersundomin alueelle tyyppillisellä savipehmeiköllä arvioitiin tarkemmin.

4.1 Pohjanvahvistus esikuormittamalla – hyödyt ja rajoitteet

Kuvassa 4 on esitetty esikuormituksen toimintaperiaate: pohjamaa (yleensä savi tai siltti) painuu esikuormituksen aikana, samalla lujittaen pohjamaata. Esikuormitukseen yhdistetään monesti ylipenger, koska se ehkäisee käytönaikaisia painumia huomattavasti tehokkaammin kuin pelkkä esikuormituspenger. Ylipenkereen poiston jälkeen penger madaltuu, joten esikuormituksen alussa penkereen tulee olla korkeampi kuin suunniteltu tasaus. Koska lisäksi tulee ottaa huomioon painumakompensaatio, eli pohjamaan painumisesta aiheutuva lisämassatarve, vaatii esikuormitus suuria täyttömassoja. Jos nämä täyttömassat joudutaan kuljettamaan kaukaa, kuljetuksen päästöt ja kustannukset nousevat merkittävästi ja menetelmän soveltuvuus heikkenee.



Kuva 4: Esikuormitus ylipenkereellä: toimintaperiaate.

Pohjanvahvistus esikuormittamalla vaatii pitkän painuma-ajan. Mitä syvempi pehmeikkö, sitä pidempi esikuormitusaika on tarpeen. Painuma-aikaa voidaan huomattavasti lyhentää yhdistämällä menetelmään pystyjoitus – tällöin painuma-aika on tyyppillisesti vain noin 1–2 vuotta. Pystyjojat lisäävät menetelmän kustannuksia, mutta päästövaikutus on verrattain pieni.

Esikuormituspenkereen materiaalina käytetään yleensä mursketta. Penger materiaali voi olla myös louhetta, mikäli esikuormitettavalla alueella ei myöhemmin tulla käyttämään paaluperustuksia rakennuksille. Ylipenkereen materiaali on suositeltavaa valita siten, että se voidaan hyödyntää hankkeen sisällä ylipenkereen purkamisen jälkeen (esim. seuraavaksi rakennettavissa ylipenkereissä tai katujen ja teiden rakennekerroksissa).

4.2 Laskentaoletukset

Esikuormituksen soveltuvuuden arvioimista varten tehtiin alustavia painumalaskelmia yksinkertaiselle pohjamaalle. Painumalaskelmien tarkoituksena oli (1) arvioida painumakompensaation tarve, sekä (2) arvioida tarvittava esikuormitusaika. Painumalaskelmien tarkempi kuvaus on esitetty liitteessä 7.

Esikuormituksen edellyttävä massatarve arvioitiin seuraavasti:

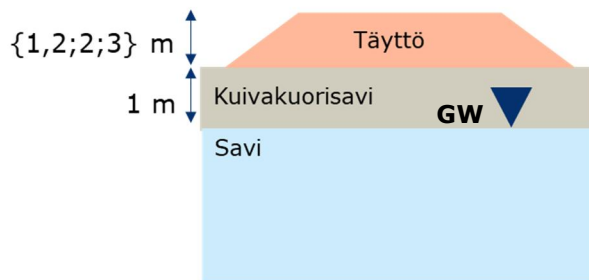
$$\text{Massatarve} = \text{varsinainen painopenger} + \overbrace{\max\{20\% \text{ pengerkorkeudesta}; 0,5 \text{ m}\}}^{\text{ylipenger}} + \text{painumakompensaatio}$$

Toisin sanoen ylipenkereen paksuudeksi oletettiin joko 0,5 m tai 20 % pengerkorkeudesta riippuen siitä, kumpi oli suurempi. Prosenttiosuus 20 valittiin aiempien kokemusten perusteella (lisätietoja liitteessä 7).

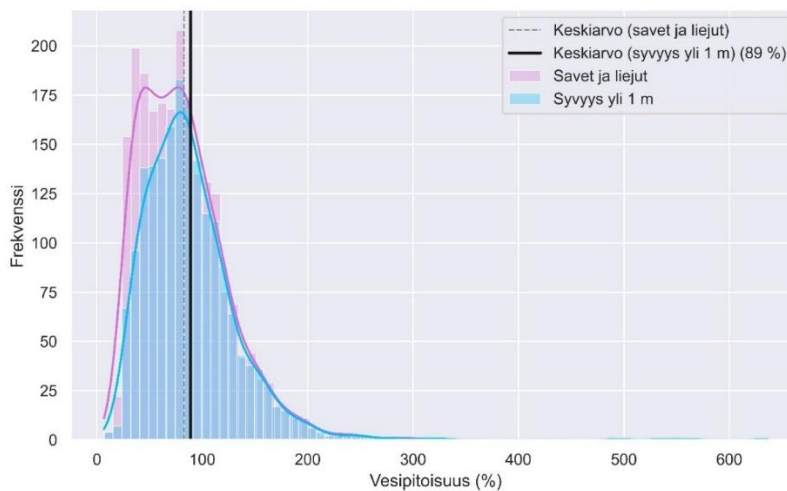
Painumalaskelmissa pohjamaa mallinnettiin kahtena kerroksena: 1 m paksu kuivakuorisavi ja 1–10 m paksu savi (kuva 5). Pohjavedenpinta oletettiin kuivakuorisaven alapintaan. Täytön paksuudelle oletettiin kolme eri laskentatapausta.

Parametrit määritettiin hyödyntäen Östersundomin alueen pohjatutkimusten pohjalta tehtyjä jakaumia. Esimerkiksi savikerroksen moduuliluvun määrittämistä varten selvitettiin yli 1 m syvän savikon osalta keskimääräinen vesipitoisuus (kuva 6). Lisäksi määritettyjä painumaparametreja verrattiin Östersundomin koepenkereen parametreihin.

Painumalaskelman parametrit on koottu taulukkoon 1. Penger mallinnettiin tasan jakautuneena laaja-alaisena kuormana siten, että pengermateriaalin tilavuuspainoksi oletettiin 20 kN/m³. Tällöin 1 m korkea esikuormituspenger vastaa 20 kPa kuormaa.



Kuva 5: Painumalaskelmissa käytetty yksinkertaistettu maaperämalli. (GW = pohjavedenpinta)



Kuva 6: Östersundomin alueen maanäytteiden vesipitoisuuden jakaumat savelle ja liejulle sekä yli 1 m syvyyden savelle ja liejulle.

Taulukko 1. Painumalaskelman parametrit.

Maakeros	Paksuus [m]	Tilavuuspaino [kN/m ³]	NK/YK	M [kPa]	m ₁	β ₁	c _{v,YK} [m ² /a]	c _{v,NK} [m ² /a]
kuSa	1	16	YK	4500	-	-	5	-
Sa	{1;2;3;4;6;8;10} m	14	NK	-	7,9	0	-	0,5

Kuvaukset: NK = normaalikonsolidoitunut; YK = ylikonsolidoitunut; M = vakiomoduuli; m₁ = NK-alueen moduuliluku; β₁ = NK-alueen jännitysekspONENTTI; c_{v,NC} = NK-alueen konsolidaatiokerroin; c_{v,OC} = YK-alueen konsolidaatiokerroin

4.3 Painumalaskelmien tulokset

Esikuormituksen massatarve

Painumalaskelmien avulla arvioidut massatarpeet eli tarvittavat pengerkorkeudet on koottu taulukkoon 2. Esimerkiksi 5 m syvän savikon alueella tarvittava täyttömäärä esikuormituksen alussa olisi 3,0 m, jotta lopullinen tasauksen nousu (eli penkereen korkeus ympäröivään maanpintaan nähden) olisi 2,0 m.

Taulukko 2. Massatarve eli tarvittavat pengerkorkeudet (m) eri tasaus - ja savikon syvyyksille.

Tasauksen nousu (m)	Savikon syvyys (m)						
	2	3	4	5	7	9	11
1,2	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4
2	2,7	2,8	2,9	3,0	3,2	3,4	3,6
3	3,8	4,0	4,2	4,4	4,7	4,9	5,2

Tarvittava painuma-aika

Savikon syvyyden ollessa korkeintaan 3 m, on tarvittava esikuormitusaika arviolta korkeintaan 2–3 vuotta.

Sitä vastoin esimerkiksi 5 m syvä savikko edellyttäisi arviolta 10 vuoden esikuormitusajan.

4.4 Johtopäätökset

Kappaleessa 3 on esitelty Östersundomin alueelle laadittu alustava tasaus. Siinä esitetyt täyttötarpeet ovat savialueilla pääosin maltillisia, ja erittäin syviä savikkoja on verrattain vähän. Näin ollen esikuormituksen soveltuvuus alueella on lähtökohtaisesti hyvä.

Esikuormituksen edellyttämä painuma-aika on kuitenkin pitkä, mikä asettaa rajoituksia soveltuvuudelle. Mikäli oletetaan, että 2–3 vuoden esikuormitusaika on toteutettavissa, soveltuu esikuormittaminen pohjanvahvistusmenetelmäksi niillä savikkoalueilla, missä savikerros ulottuu korkeintaan 3 m syvyyteen. Tätä syvemmällä savikoilla tulisi käyttää pystyjoitusta painuma-ajan lyhentämiseksi.

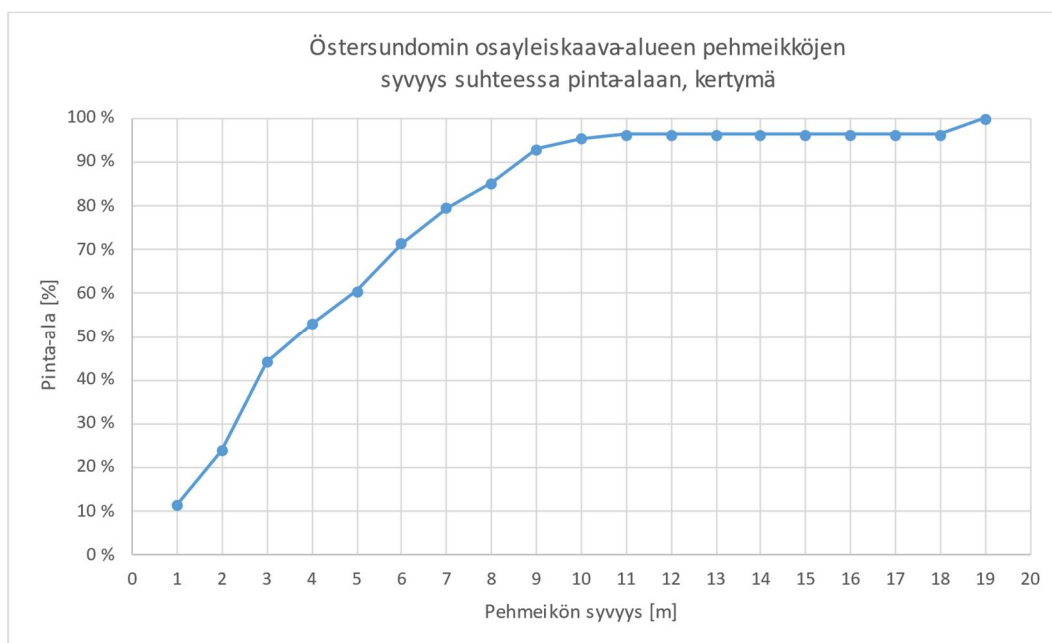
Tuloksia arvioitaessa tulee kuitenkin ottaa huomioon, että tehty painumalaskenta on erittäin yksinkertaistettu ja siten lähinnä suuntaa antava.

5. ÖSTERSUNDOMIN PEHMEIKKÖJEN SYVYYSJAKAUMA

Osayleiskaavan alueelle sijoittuvista esirakentamista vaativista pehmeiköistä koottiin yhteenveto pehmeikön syvyys ja pinta-ala huomioiden. Näin muodostettiin pehmeikköjen syvyysjakauma, joka kertoo, miten pehmeikköjen yhteenlaskettu pinta-ala jakautuu matalampiin ja syvempiin pehmeiköihin. Pehmeikköjen syvyysjakauma on esitetty kuvassa 7. Lisäksi pehmeikköjen syvyysjakaumasta laadittiin kertymä, joka on esitetty kuvassa 8.



Kuva 7: pehmeikköjen syvyysjakauma.



Kuva 8: pehmeikköjen syvyysjakauman kertymä.

Kerättyjen tietojen perusteella Östersundomin osayleiskaavan esirakentamista vaativilla alueilla sijaitsevien pehmeikköjen pinta-ala on yhteensä noin 210 ha ja pehmeikköjen keskisyvyys noin 5,1 m.

Pehmeikköjen syvyysjakaumaa käytettiin esirakentamisen pohjarakennustoimenpiteiden soveltuvuuden arviointiin. Kertymäkuvaajasta nähdään esimerkiksi, että noin 45 % pehmeiköistä on kolme metriä syviä tai sitä matalampia. Kuvaajia käytettiin tällä tavoin, kun tavoiteltiin esimerkiksi sitä, että 60-70 % pehmeikköalueista esikuormitetaan ja 30-40 % syvästabiloidaan.

Kappaleessa 3 on arvioitu esikuormittamisen vaatimaa aikaa ja painumia Östersundomin alueelle tyypillisellä savipehmeiköllä. Yhdistämällä kappaleen 3 painumalaskelmista saadut tiedot pehmeikköjen syvyysjakaumaan voidaan arvioida esikuormittamisen käyttökelpoisuutta suunnittelualueella.

Jos esimerkiksi oletetaan, että esikuormittamista vaativat alueet voidaan varata siihen käyttöön noin 3 vuoden ajaksi, voi esikuormitettavien pehmeikköjen syvyys olla korkeintaan 3 metriä. Pehmeikköjen syvyysjakauman kertymästä nähdään, että tähän joukkoon kuuluu pinta-alaltaan noin 44 % suunnittelualueen pehmeiköistä ja loput 56 % ovat liian syviä painuakseen riittävän nopeasti.

Jos taas oletetaan, että esikuormittamista voidaan tehdä 10 vuoden ajan, voidaan esikuormittaa pehmeiköt 5 metrin syvyyteen saakka, joka on noin 60 % suunnittelualueen pehmeiköistä.

6. ESIRAKENTAMISEN LASKENTA-ALUEIDEN MUODOSTAMINEN

Esirakentamisen toimenpiteiden määrälaskentaa varten muodostettiin laskenta-alueet käyttäen osayleiskaavan viiteaineistoa, maaperäkarttaa sekä alustavaa tasausta. Laskenta-alueet rajattiin niin, että yhden laskenta-alueen sisällä on yksi alustavan tasauksen korkeusasema ja yksi maalaji. Laskenta-alueiden ulkorajat vastasivat osayleiskaavan viiteaineiston rakennettavien alueiden ulkorajoja.

Osayleiskaavan viiteaineistosta tunnistettiin alueita, joilla on jo olemassa oleva nykyinen rakennuskanta ja katuverkosto. Arvioitiin, että nämä alueet ovat jo niin pitkälle rakennettuja, että niillä ei tapahdu merkittävää esirakentamista ja alueet rajattiin esirakentamistarkastelun määrä-, kustannus- ja päästölaskennan ulkopuolelle.

Laskenta-alueiden muodostamista on havainnollistettu alla. Kuvissa 9-11 on esitetty osayleiskaavan viiteaineiston laajuuskaavio, maaperäkartta sekä alustava tasaus ja kuvassa 12 on esitetty nämä yhdistämällä saadut laskenta-alueet. Koko Östersundomin alueelle muodostui tällä menetelmällä yhteensä noin 460 laskenta-alueita.

Laskenta-alueiden muodostamisen jälkeen jokaisesta laskenta-alueesta kerättiin taulukkoon seuraavat tiedot:

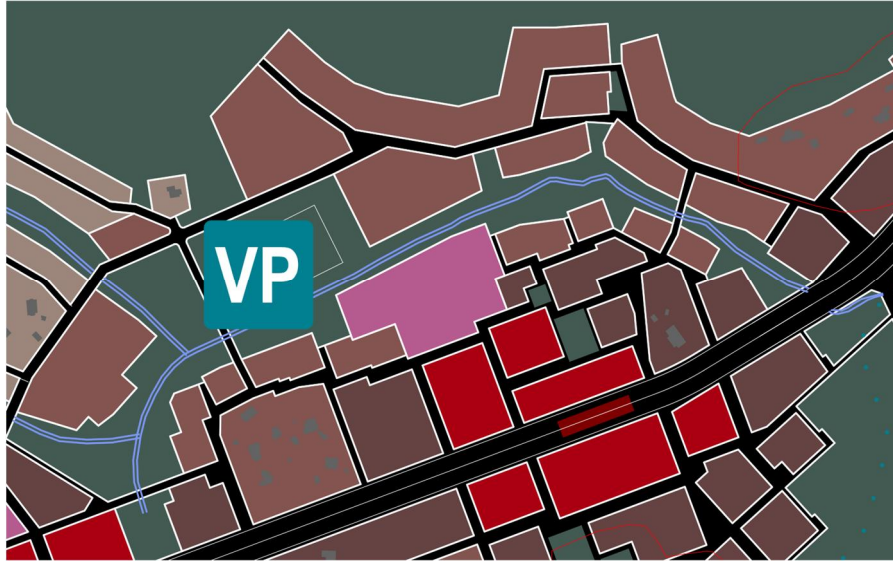
- osayleiskaavan alue, johon laskenta-alue kuuluu
- laskenta-alueen numero
- laskenta-alueen pinta-ala
- laskenta-alueen nykyisen maapinnan korkeusasema
- laskenta-alueen korkeusasema alustavassa tasauksessa
- laskenta-alueen maalaji
- pehmeikön alapinnan taso laskenta-alueella, mikäli maaperä on savea tai turvetta

Pehmeikköjen alapinnan tason määrittämisessä käytettiin Helsingin kaupungin pehmeikköjen alapinnan korkeuskäyräaineistoa, jota tarvittaessa täydennettiin käyttämällä olemassa olevaa pohjatutkimustietoa.

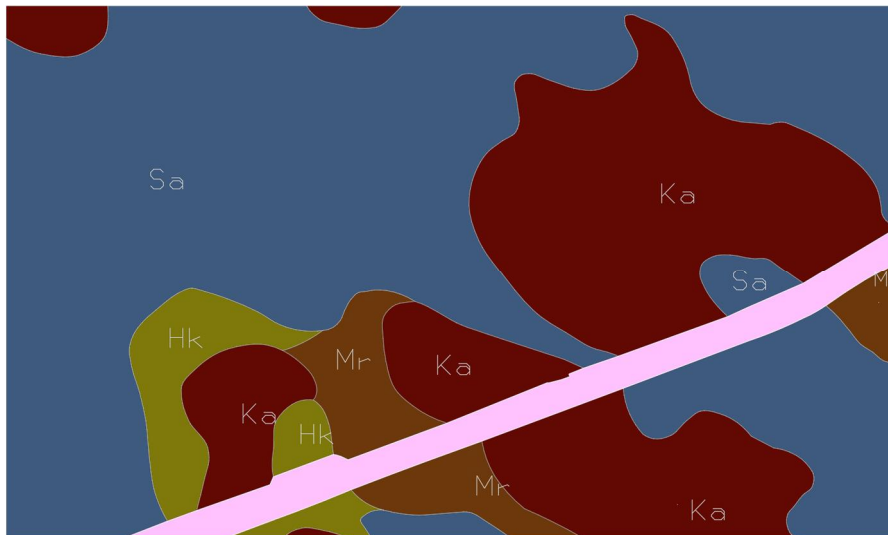
Erityisesti laskenta-alueiden nykyistä maanpinnan korkeusasemaa ja mahdollisen pehmeikön alapinnan tasoa kuvaavat tiedot ovat hyvin pelkistettyjä: jokaisen laskenta-alueen kohdalla näitä tietoja edustaa yksi lukema. Todellisuudessa nykyinen korkeusasema ja mahdollisen pehmeikön alapinnan taso vaihtelevat laskenta-alueiden sisällä. Tietojen vahvaa pelkistämistä tarvittiin laskenta-alueiden suuren lukumäärän vuoksi sekä sen vuoksi, että monimutkaisemman tiedon käsittely olisi vaatinut selvästi työläämpiä laskentamenetelmiä esirakentamisen määrälaskennassa. Yksinkertainen lähestymistapa nähtiin sopivaksi Östersundomin alueen suunnittelun ollessa osayleiskaavoitusvaiheessa.

Laskenta-alueilta kerättyjen tietojen avulla saatiin valmius laskea eri esirakentamistoimenpiteiden määrät laskenta-alueilla.

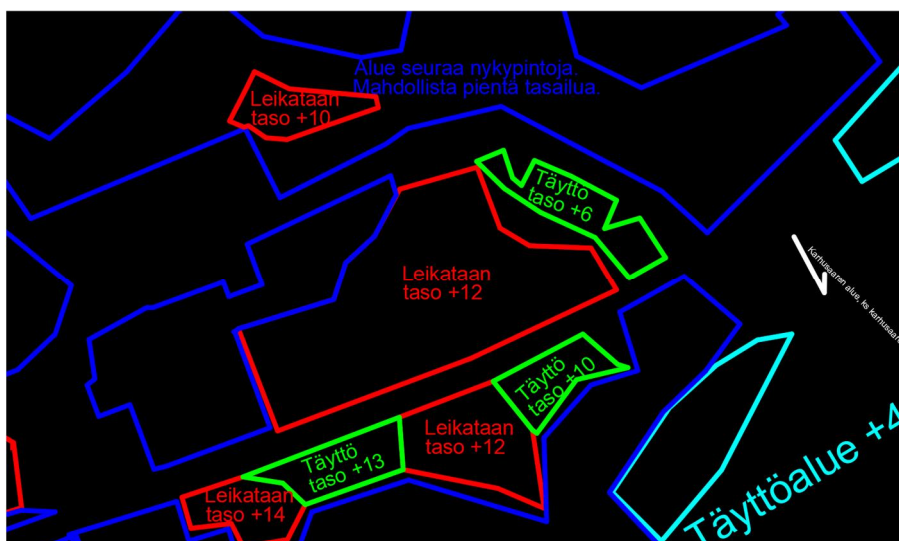
Kaikki osayleiskaava-alueen laskenta-alueen on esitetty piirustuksessa -02 viiteaineiston laajuuskaavion kanssa ja piirustuksessa -03 maaperäkartan kanssa.



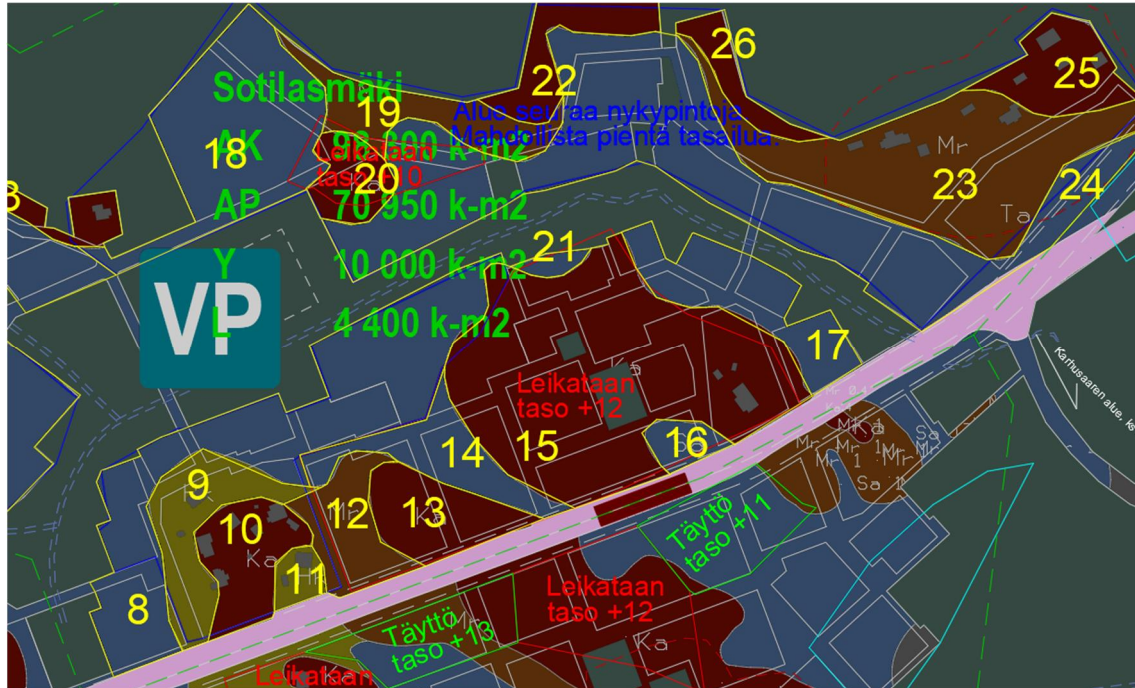
Kuva 9: ote osayleiskaavan viiteaineiston laajuuskaaviosta.



Kuva 10: ote maaperäkartasta.



Kuva 11: ote alustavasta tasauksesta.



Kuva 12: edellisissä kuvissa esitettyjen laajuuskaavion, maaperäkartan ja alustavan tasauksen yhdistelmä, jonka perusteella on määritetty keltaisilla rajoilla esitetyt laskenta-alueet. Laskenta-alueiden numerointi keltaisella.

7. MÄÄRÄLASKENNAN OLETUKSET JA PERIAATTEET

Tässä kappaleessa on kuvattu tässä tarkastelussa käytetyt esirakentamistoimenpiteet ja niiden määrälaskennan oletukset ja periaatteet. Lisäksi kappaleesta ilmenee mitä rakennusosia ja termejä työssä on käytetty sekä mitä niillä tarkoitetaan. Myös liitteissä esitetyissä esirakentamisen määrätaulukoissa on käytetty tässä esiteltyjä termejä.

Esirakennettavilla alueilla syntyvät erilaiset tilanteet muodostuivat alueen alustava tasauksen ja alueen maaperän perusteella eli tilanteisiin vaikutti kaksi olosuhdetta. Kuten kappaleessa 3 on kuvattu, alustavassa tasauksessa on kolme mahdollista tilannetta, joita esirakennettavilla alueilla esiintyy:

1. alueen alustavassa tasauksessa seurataan alueen nykyistä maanpintaa
2. alueen alustava tasaus edellyttää leikkaamista nykyisen maanpinnan alle
3. alueen alustava tasaus edellyttää täyttämistä nykyisen maanpinnan päälle

Maaperän osalta käytettiin kolmea mahdollista luokkaa, joille esirakentamistoimenpiteet laskettiin osin eri tavoin:

1. kitkamaa-alueet
2. kallioalueet
3. pehmeiköt

Edellä mainitut tasauksen ja maaperän olosuhteet muodostavat yhteensä yhdeksän erilaista tilannetta, joiden määrälaskentaperiaatteet on käyty läpi seuraavissa kohdissa. Näiden lisäksi on käyty läpi pehmeiköillä tarvittavan pohjarakentamisen määrälaskennan periaatteet.

Esirakennettavien alueiden suunniteltua lopullista käyttötarkoitusta ei huomioitu määrälaskennassa, vaan kaikki esirakentamista vaativat alueet laskettiin samoilla periaatteilla, koska kyseessä on aikaisen suunnitteluvaiheen karkea tarkastelu.

7.1 Kitkamaa-alueet

Kitkamaa-alue, kun alustavassa tasauksessa seurataan alueen nykyistä maanpintaa

Kitkamailla tarkoitetaan hiekkaa, soraa ja moreenimaalajeja. Oletettiin että kitkamaa-alueilta pitää poistaa 0,3 m paksu kerros pintamaata. Oletuksesta seuraa, että esirakennettavat kitkamaa-alueet tuottavat pintamaata, josta käytetään termiä "syntyvä pintamaa".

Oletettiin että kitkamaa-alueen tasaaminen myöhemmin seuraavaa alueen valmiiksi rakentamista varten edellyttää esirakentamisessa *paikallista* leikkaamista ja täyttämistä. Tämä esirakentamiseen kuuluva kitkamaan leikkaus ja täyttö tehdään niin, että massat siirtyvät laskenta-alueen sisällä eikä laskenta-alue tuota tai tarvitse massoja esirakentamisen aikana. Oletettiin että alueilla tehdään keskimäärin 0,5 m leikkausta ja 0,5 m täyttöä. Tässä selvityksessä tätä jaetta koskeva termi on "paikallinen kitkamaaleikkaus ja tasaus kitkamaalla".

Kitkamaa-alue, kun alustava tasaus edellyttää leikkaamista nykyisen maanpinnan alle

Oletettiin että kitkamaa-alueilta pitää poistaa 0,3 m paksu kerros pintamaata. Oletuksesta seuraa, että esirakennettavat kitkamaa-alueet tuottavat pintamaata, josta käytetään termiä "syntyvä pintamaa".

Oletettiin että kitkamaa-alueella tehtävä leikkaus viedään keskimäärin 1,0 m alustavan tasauksen mukaisen tason alapuolelle, jotta rakennekerrokset ja kunnallistekniikka voidaan myöhemmin tehdä ilman turhaa leikkaamista. Leikattavat kitkamaa-alueet tuottavat kitkamaata, josta käytetään termiä "syntyvä kitkamaa".

Kitkamaa-alue, kun alustava tasaus edellyttää täyttämistä nykyisen maanpinnan päälle

Oletettiin että täyttämistarpeesta huolimatta kitkamaa-alueilta pitää poistaa 0,3 m paksu kerros pintamaata. Oletuksesta seuraa, että esirakennettavat kitkamaa-alueet tuottavat pintamaata, josta käytetään termiä "syntyvä pintamaa".

Oletettiin että kitkamaa-alueella tehtävä täyttö nostetaan keskimäärin 1,0 m alustavan tasauksen mukaisen tason alapuolelle, jotta rakennekerrokset ja kunnallistekniikka voidaan myöhemmin tehdä ilman turhaa leikkaamista. Täytettävät kitkamaa-alueet tarvitsevat pengermateriaalia, josta käytetään termiä "tarvittava penger".

7.2 Kallioalueet

Kallioalue, kun alustavassa tasauksessa seurataan alueen nykyistä maanpintaa

Oletettiin että kallioalueilta pitää poistaa 0,2 m paksu kerros pintamaata. Oletuksesta seuraa, että esirakennettavat kallioalueet tuottavat pintamaata, josta käytetään termiä "syntyvä pinta-maa".

Oletettiin että kallioalueen tasaaminen myöhemmin seuraavaa alueen valmiiksi rakentamista varten edellyttää esirakentamisessa paikallista louhintaa ja louhepengereillä täyttämistä. Tämä esirakentamiseen kuuluva kallion leikkaaminen ja louhepenger tehdään niin, että massat siirtyvät laskenta-alueen sisällä eikä laskenta-alue tuota tai tarvitse massoja esirakentamisen aikana. Oletettiin että alueilla tehdään keskimäärin 0,5 m kallioleikkausta, josta syntyy keskimäärin 0,8 m louhepengertä (turpoamiskerroin 1,6). Tässä selvityksessä tätä jaetta koskeva termi on "paikallinen louhinta ja tasaus louheella".

Kallioalue, kun alustava tasaus edellyttää leikkaamista nykyisen maanpinnan alle

Oletettiin että kallioalueilta pitää poistaa 0,2 m paksu kerros pintamaata. Oletuksesta seuraa, että esirakennettavat kallioalueet tuottavat pintamaata, josta käytetään termiä "syntyvä pinta-maa".

Oletettiin että kallioalueella tehtävä leikkaus viedään keskimäärin 1,0 m alustavan tasauksen mukaisen tason alapuolelle, jotta rakennekerrokset ja kunnallistekniikka voidaan myöhemmin tehdä ilman turhaa leikkaamista. Leikattavat kallioalueet tuottavat louhetta, josta käytetään termiä "syntyvä louhe".

Kallioalue, kun alustava tasaus edellyttää täyttämistä nykyisen maanpinnan päälle

Oletettiin että täyttämistarpeesta huolimatta kallioalueelta pitää poistaa 0,2 m paksu kerros pintamaata. Oletuksesta seuraa, että esirakennettavat kallioalueet tuottavat pintamaata, josta käytetään termiä "syntyvä pintamaa".

Oletettiin että kallioalueella tehtävä täyttö nostetaan keskimäärin 1,0 m alustavan tasauksen mukaisen tason alapuolelle, jotta rakennekerrokset ja kunnallistekniikka voidaan myöhemmin tehdä ilman turhaa leikkaamista. Täytettävät kallioalueet tarvitsevat pengermateriaalia, josta käytetään termiä "tarvittava penger".

7.3 Pehmeiköt (koheesiomaa-alueet)

Pehmeikkö, kun alustavassa tasauksessa seurataan alueen nykyistä maanpintaa

Oletettiin että pehmeiköiltä pitää poistaa 0,3 m paksu kerros pintamaata. Oletuksesta seuraa, että esirakennettavat pehmeiköt tuottavat pintamaata, josta käytetään termiä "syntyvä pinta-maa".

Kitkamaa- ja kallioalueista poiketen oletettiin, että pehmeikön tasaaminen myöhemmin seuraavaa alueen valmiiksi rakentamista varten tehdään tekemällä esirakentamisessa keskimäärin 0,5 m paksu pengertäyttö. Oletuksen tausta on, että koheesiomailla (savi, siltti, lieju) tapahtuvaa alueen muotoilua ei nähty todennäköiseksi nykypäivän rakentamisessa ja että koheesiomaan leikkaamista pyritään välttämään mm. koheesiomaan hyötykäytön haastavuuden ja happamien sulfidimaiden mahdollisen esiintymisen vuoksi.

Alustavan tasauksen seurattessa nykyistä maanpintaa pehmeikköalueet tarvitsevat siis penger-materiaalia, josta käytetään termiä "tarvittava penger".

Pehmeikkö, kun alustava tasaus edellyttää leikkaamista nykyisen maanpinnan alle

Oletettiin että pehmeiköiltä pitää poistaa 0,3 m paksu kerros pintamaata. Oletuksesta seuraa, että esirakennettavat pehmeikköalueet tuottavat pintamaata, josta käytetään termiä "syntyvä pintamaa".

Oletettiin että pehmeiköllä tehtävä leikkaus viedään keskimäärin 1,0 m alustavan tasauksen mukaisen tason alapuolelle, jotta rakennekerrokset ja kunnallistekniikka voidaan myöhemmin tehdä ilman turhaa leikkaamista. Leikattavat pehmeikköalueet tuottavat koheesiomaata, josta käytetään termiä "syntyvä koheesioma".

Pehmeikkö, kun alustava tasaus edellyttää täyttämistä nykyisen maanpinnan päälle

Oletettiin että täyttämistarpeesta huolimatta pehmeiköltä pitää poistaa 0,3 m paksu kerros pintamaata. Oletuksesta seuraa, että esirakennettavat pehmeiköt tuottavat pintamaata, josta käytetään termiä "syntyvä pintamaa".

Oletettiin että pehmeiköllä tehtävä täyttö nostetaan keskimäärin 1,0 m alustavan tasauksen mukaisen tason alapuolelle, jotta rakennekerrokset ja kunnallistekniikka voidaan myöhemmin tehdä ilman turhaa leikkaamista. Täytettävät pehmeiköt tarvitsevat pengermateriaalia, josta käytetään termiä "tarvittava pengeri".

7.4 Pohjarakentaminen

Esikuormituspenkereet

Esikuormittamiseen tarvittava pengeri laskettiin omana jakeenaan ja sille käytettiin termiä "esikuormituspengeri". Esikuormituspenkereen tarvittava korkeus määritettiin kappaleessa 3 läpikäytien tarkastelujen perusteella riippuen esirakennettavan laskenta-alueen pehmeikön paksuudesta ja tasauksen muutoksesta. Esikuormituspenkereen alapinta oli määrälaskennassa alustava tasaus -1,0 m. Esikuormituspenkereen yläpinta sijaitsee esikuormituksen ajan jonkin verran alustavan tasauksen yläpuolella penkereen korkeudesta riippuen.

Pystyojat

Pystyojien määrä laskettiin käyttäen laskenta-alueiden pehmeikköjen syvyystietoa ja olettaen, että pystyojien väli on 1,0 m. Pystyojat vaativat samanaikaisesti myös esikuormituspenkereen, joka laskettiin pystyojitetuille alueille samalla tavalla kuin pystyojittamattomille alueille.

Syvästabilointi

Syvästabiloinnin määrä laskettiin käyttäen laskenta-alueiden pehmeikköjen syvyystietoa ja olettaen, että syvästabiloinnin pilariväli on 1,2 m.

8. KUSTANNUS- JA PÄÄSTÖLASKENNAN OLETUKSET JA PERIAATTEET

Tässä kappaleessa on kuvattu edellisessä kappaleessa esiteltyjen esirakentamisen määräjakeiden kustannusten ja päästöjen laskennassa käytetyt oletukset ja periaatteet.

Kustannus- ja päästölaskenta on rajattu elinkaaren osalta rakentamiseen. Laskenta ei sisällä elinkaaren käyttövaihetta tai elinkaaren loppua.

Yksikkökustannukset ja -päästöt perustuvat Ihku-laskentapalvelun tietoihin.

8.1 Paikallinen louhinta ja tasaus louheella

Oletukset:

- louhinta tapahtuu tietyn laskenta-alueen sisällä
- louhe käytetään saman laskenta-alueen sisällä
- louheen keskimääräinen kuljetusmatka on 1 km

Arvioitu yksikkökustannus: 10,38 €/m³

Arvioitu yksikköpäästö: 9,80 kgCO₂e/m³

8.2 Paikallinen kitkamaaleikkaus ja tasaus kitkamaalla

Oletukset:

- leikkaus tapahtuu tietyn laskenta-alueen sisällä
- leikattu kitkamaa käytetään saman laskenta-alueen sisällä
- kitkamaan keskimääräinen kuljetusmatka on 1 km

Arvioitu yksikkökustannus: 5,10 e/m³

Arvioitu yksikköpäästö: 1,49 kgCO₂e/m³

8.3 Syntyvä louhe

Syntyvä louhe on jaettu Östersundomin esirakentamisessa käytettävään louheeseen ja mahdolliseen ylijäämälouheeseen.

Oletukset, Östersundomin alueella käytettävä louhe:

- materiaalin käyttökelpoisuuden kasvattamiseksi 75 % louheesta murskataan
- louheena käytetään 25 %
- murskattava materiaali joudutaan välivarastoimaan
- materiaali kuljetetaan jollekin toiselle laskenta-alueelle, jolla on pengermateriaalin tarve, keskimääräinen kuljetusmatka on 2,0 km
- materiaalista rakennetaan pengertä tai esikuormituspengertä, näiden toimenpiteiden kustannukset ja päästöt tulevat jakeista "tarvittava pengeri" ja "esikuormituspengeri"

Arvioitu yksikkökustannus: 13,67 €/m³

Arvioitu yksikköpäästö: 9,98 kgCO₂e/m³

Oletukset, ylijäämälouhe:

- jos Östersundomin esirakentaminen on ylijäämäinen, louhetta kuljetetaan hyödynnettäväksi muualla
- mahdollisesti louhetta hyödynnetään alueiden valmiiksi rakentamisessa, joka alkaa ensimmäisenä esirakennetuista alueista
- ei murskata
- ei välivarastoida
- keskimääräinen kuljetusmatka on 5 km

Arvioitu yksikkökustannus: 9,48 €/m³
Arvioitu yksikköpäästö: 9,69 kgCO₂e/m³

8.4 Syntyvä kitkamaa

Oletukset:

- materiaalista 50 % joudutaan välivarastoimaan
- kaikki laskenta-alueella syntyvä materiaali kuljetetaan lopulta jollekin toiselle laskenta-alueelle, jolla on pengermateriaalin tarve, keskimääräinen kuljetusmatka on 2,0 km
- materiaalista rakennetaan pengertä tai esikuormituspengertä, näiden toimenpiteiden kustannukset ja päästöt tulevat jakeista "tarvittava pengeri" ja "esikuormituspengeeri"

Arvioitu yksikkökustannus: 5,83 €/m³
Arvioitu yksikköpäästö: 1,99 kgCO₂e/m³

8.5 Syntyvä koheesioma

Oletukset:

- syntyvä koheesioma leikataan ja kuljetetaan läjitysalueelle
- läjitysalue sijaitsee Östersundomissa tai sen ulkopuolella, keskimääräinen kuljetusmatka on 10 km

Arvioitu yksikkökustannus: 8,47 €/m³
Arvioitu yksikköpäästö: 3,59 kgCO₂e/m³

8.6 Syntyvä pintamaa

Oletukset:

- syntyvästä pintamaasta 30 % välivarastoidaan ja käytetään uudelleen alueen maisemoinnissa
- uudelleen käytettävän pintamaan keskimääräinen kuljetusmatka 3 km
- syntyvästä pintamaasta 70 % leikataan ja kuljetetaan muualle kierrätettäväksi esim. kasvu-alueen valmistuksessa
- läjitysalue sijaitsee Östersundomissa tai sen lähellä, keskimääräinen kuljetusmatka on 10 km

Arvioitu yksikkökustannus: 10,11 €/m³
Arvioitu yksikköpäästö: 3,56 kgCO₂e/m³

8.7 Tarvittava pengeri

Oletukset:

- jakeeseen sisältyy ainoastaan materiaalin vastaanottaminen ja penkereen rakentaminen
- muut jakeeseen liittyvät toimenpiteet (materiaalin synty, kuormaus ja kuljettaminen) on huomioitu jakeissa syntyvä louhe ja syntyvä kitkamaa

Arvioitu yksikkökustannus: 0,83 €/m³
Arvioitu yksikköpäästö: 0,48 kgCO₂e/m³

8.8 Esikuormituspengeeri

Esikuormituspenkereiden kustannusten ja päästöjen laskenta on hieman monimutkaisempaa kuin muiden esirakentamisen jakeiden.

Voidaan perustellusti olettaa, että kaikkia esikuormituspenkereitä ei rakenneta samaan aikaan eikä esikuormitus ole kaikissa kohteissa käynnissä samanaikaisesti. Laskennan lähtökohdaksi tarvitaan siis oletus siitä, millaiselle ajanjaksolle esikuormittaminen koko Östersundomin yleiskaava-alueella jakaantuu. Esirakentamisen kestoksi on arvioitu noin 40 vuotta ja jos oletetaan, että esikuormitukseen tarvittava aika on keskimäärin 3 vuotta per kohde, voitaisiin rakentamiseen

käytettävä 40 vuoden aika jakaa noin 13:een 3 vuoden jaksoon. Tällöin jokaisen jakson aikana pitäisi toteuttaa noin 8 % esikuormituskohteista, jotta 13 jakson jälkeen kaikki kohteet olisi toteutettu.

Lisäksi voidaan olettaa, että esikuormituksessa käytettävä materiaali siirretään valmistuneista esikuormituskohteista seuraaviin aina jakson vaihtuessa. Yhdessä näistä oletuksista seuraisi, että esikuormitusmateriaalia tarvittaisiin kerralla 8 % esikuormituspenkereiden kokonaismäärästä.

On kuitenkin perusteltua olettaa, että todennäköisesti esikuormituksen vaiheistus ei lopulta suju näin tehokkaasti ja kaikkea rakentamiseen käytettävää aikaa ei pystytä hyödyntämään esikuormittamisessa. Näin ollen on tässä tarkastelussa oletettu, että esikuormitusmateriaalia on oltava käytössä 15 % esikuormituspenkereiden kokonaismäärästä.

Tarkastelluissa esirakentamisen skenaarioissa esikuormituspenkereen tarpeeksi on arvioitu 1,1-2,4 milj. m³ riippuen siitä painotetaanko pohjarakentamisessa esikuormitusta vai syvästabilointia. Tästä määrästä 15 % on 165 000-360 000 m³.

Seuraavassa kappaleessa 9 esitellyissä määrälaskelmissa on arvioitu Östersundomin yleiskaava-alueen esirakentamisen massatasapainon olevan ylijäämäinen pengermateriaalin osalta. Tällä perusteella voitiin olettaa, että esikuormituksessa käytettävä materiaali saadaan Östersundomin alueelta.

Edellä esitetyn pohdinnan perusteella tehtiin seuraavat oletukset:

- esikuormituspenkereiden materiaali saadaan Östersundomin alueelta
- aluksi syntyy kustannuksia päästöjä materiaalin syntypaikalla ja siirtämisessä ensimmäiseen esikuormitettavaan kohteeseen
- tämän jälkeen kustannukset ja päästöt syntyvät esikuormituspenkereiden purkamisesta, materiaalin siirtämisestä ja seuraavien esikuormituspenkereiden rakentamisesta
- esikuormitusmateriaalin keskimääräinen siirtomatka on 2,0 km

Arvioitu yksikkökustannus: 5,03 €/m³

Arvioitu yksikköpäästö: 2,21 kgCO₂e/m³

8.9 Pystyojat

Oletukset:

- pystyojien väli on 1,0 m
- pystyojat tarvitsevat myös esikuormituspenkereen, joka on huomioitu omassa kohdassaan
- pystyojissa on vain pystyojanauhan kustannus ja päästö

Arvioitu yksikkökustannus: 1,70 €/m

Arvioitu yksikköpäästö: 0,23 kgCO₂e/m

8.10 Syvästabilointi

Oletukset:

- pilariväli on 1,2 m
- pilarien halkaisija on 700 mm
- sideaineena käytetään GTC:tä

Arvioitu yksikkökustannus: 11,24 €/m

Arvioitu yksikköpäästö: 23,09 kgCO₂e/m

9. ESIRAKENTAMISEN SKENAARIOT

Tässä kappaleessa on esitelty esirakentamisen skenaariot, jotka tässä työssä laadittiin.

Koska työn tavoitteena on ollut löytää erityisesti vähäpäästöisiä kiertotalouteen perustuvia ratkaisuja, on pehmeikköjen pohjarakentamista esikuormittamalla pidetty ensisijaisena ratkaisuna, johon on pyritty mahdollisuuksien mukaan. Työn ohjausryhmä ja suunnitteluryhmä ovat yhdessä pohtineet esikuormittamisen edellytyksiä teknisen näkökulman lisäksi myös esikuormitettavien alueiden nykyisen käytön, haltuunoton ja lähistöllä asuvien asukkaiden viihtyvyyden näkökulmasta. Pohdinnassa päädyttiin johtopäätökseen, että esim. 10 vuoden mittaisten esikuormitusjaksojen toteutuminen ei ole realistista kuin poikkeustapauksissa. Sen sijaan realistisena voidaan pitää 1-3 vuoden esikuormitusjaksoja.

Esikuormitusajan kasvaessa pehmeikköjen syvyyden mukana voidaan esikuormituksen kestoa tehokkaasti lyhentää käyttämällä pystyjoja. Tästä seuraa enemmän kustannuksia ja päästöjä pelkkään esikuormittamiseen verrattuna.

Esikuormittamisen ja pystyjojen käyttämisen jälkeen kustannuksiltaan ja päästöiltään seuraavaksi halutuimpana vaihtoehtona nähtiin syvästabilointi.

Ohjausryhmässä päätettiin, että laaditaan kaksi esirakentamisen skenaariota joista toinen painottaa esikuormittamisen käyttöä ja toinen syvästabilointia. Laaditut skenaariot erosivat toisistaan ainoastaan pohjarakentamisen osalta - muilta osin skenaariot olivat samat. Esirakentamisen pohjanvahvistukset voidaan toteuttaa monella eri tavalla ja on erittäin todennäköistä, ettei kumpikaan skenaarioista toteudu sellaisenaan. Skenaariot ovat monien vaihtoehtojen joukosta kaksi erilaista esimerkkiä, joiden avulla tuotu esiin esirakentamisen arvioituja kustannuksia ja päästöjä

9.1 Esirakentamisen skenaario A

Esirakentamisen skenaarion A pohjarakentamismenetelmien kohdistamisessa käytettiin seuraavia periaatteita:

- 1-3 m syvät pehmeiköt esikuormitetaan
- 4-6 m syvät pehmeiköt esikuormitetaan käyttäen pystyjoja
- ≥ 7 m syvät pehmeiköt syvästabiloidaan
- pehmeiköt syvästabiloidaan stabiliteetin varmistamiseksi mikäli taseus on yli 2 m nykyisen maanpinnan yläpuolella

Näistä periaatteista seuraa, että noin pinta-alan suhteen noin 43 % pehmeiköistä esikuormitetaan, noin 27 % esikuormitetaan käyttäen pystyjoja ja noin 30 % syvästabiloidaan.

Skenaarion A pohjanvahvistustoimenpiteet on esitetty kartalla piirustuksessa -04.

9.2 Esirakentamisen skenaario B

Esirakentamisen skenaarion A pohjarakentamismenetelmien kohdistamisessa käytettiin seuraavia periaatteita:

- 1-2 m syvät pehmeiköt esikuormitetaan
- osa 3 m syvistä pehmeiköistä esikuormitetaan, osa syvästabiloidaan
- ≥ 4 m syvät pehmeiköt syvästabiloidaan
- pehmeiköt syvästabiloidaan stabiliteetin varmistamiseksi mikäli taseus on yli 2 m nykyisen maanpinnan yläpuolella
- pystyjoitusta ei ole tarpeen käyttää, koska esikuormitettavat pehmeiköt ovat niin matalia

Näistä periaatteista seuraa, että noin pinta-alan suhteen noin 35 % pehmeiköistä esikuormitetaan ja noin 65 % syvästabiloidaan.

Skenaarion B pohjanvahvistustoimenpiteet on esitetty kartalla piirustuksessa -05.

10. ESIRAKENTAMISEN MÄÄRÄT

Tässä kappaleessa on esitelty esirakentamisen määrälaskelmien tulokset skenaarioille A ja B. Lisäksi on pohdittu mitä määrälaskennan tulokset käytännössä tarkoittavat massojen hallinnan kierrättämisen kannalta.

Esirakentamisen skenaarion A määrätaulukko on esitetty liitteessä 1 ja skenaarion B määrätaulukko on esitetty liitteessä 2.

Liitteiden taulukoissa esitettyjä määriä ei ole pyöristetty, mikä voi antaa kuvan tarkemmasta suunnittelusta ja laskennasta, kuin mistä todellisuudessa on kyse. Selvyyden vuoksi on syytä korostaa, että tässä raportissa kuvattu esirakentaminen ja siitä lasketut määrät ovat tarkkuudeltaan enemmän suuruusluokkaa antavia sen sijaan, että kyse olisi tarkasti suunnitelluista rakentamistoimenpiteistä ja niiden määristä.

10.1 Määrälaskennan tulosten yhteenveto ja analysointi

Pengermateriaali

Skenaarion A määrätaulukosta (liite 1) nähdään, että eniten pengermateriaalia tuottavat osa-alueet ovat Sotungintie, Väylän varsi I ja Rödjan P. Eniten pengermateriaalia tarvitsevat ovat Korsnäs I, Kehä III Vikkullantie ja Keskusta P. Mikäli huomioidaan myös esikuormituspenkereen tarve, ovat eniten pengermateriaalia tarvitsevat osa-alueet Keskusta P, Korsnäs I ja Karhusaari P.

Skenaario B:n poikkeaa skenaariosta A esikuormituspenkereen määrien osalta, mutta eniten pengermateriaalia tarvitsevat alueet ovat samat molemmissa skenaarioissa (liite 2).

Skenaariossa A arvioitu pengermateriaalin massatasapaino koko osayleiskaavan esirakentamista vaativilla alueilla on ylijäämäinen noin +1,0 milj. m³. Esikuormituspenkereiden yhteenlaskettu tilavuus on 2,4 milj. m³. Kohdassa 8.10 on arvioitu, että esikuormituspenkereihin käytettävää materiaalia on oltava 15 % kokonaistilavuudesta, koska esikuormitus toteutetaan vaiheittain ja materiaalia käytetään uudelleen. Esikuormituspenkereiden pengermateriaalin tarve olisi siis 0,4 milj. m³, jolloin koko alueen pengermateriaalin ylijäämäksi jäisi 0,6 milj. m³.

Skenaario B poikkeaa A:sta esikuormituspenkereiden pengermateriaalin tarpeen osalta, joka on 0,17 milj. m³. Skenaariossa B koko alueen pengermateriaalin ylijäämäksi jäisi 0,83 milj. m³.

Östersundomin alueen esirakentamisen etenee vaiheittain ja voidaan olettaa, että esirakennettujen alueiden valmiiksi rakentaminen seuraa esirakentamista korkeintaan 3 vuoden viiveellä. Tällöin voidaan hyödyntää seuraavien esirakennettavien kohteiden tuottamaa ylijäämää aiempien kohteiden valmiiksi rakentamisessa. Esirakennettavien alueiden pinta-alaksi on arvioitu 463 ha ja esirakentamisessa on oletettu, että sen yläpinta on lopullinen tasaus -1,0 m. Jos esirakennetulle alueelle tarvitaan valmiiksi rakentamisessa keskimäärin 0,8 m pengertä ja sitomattomia rakennerokkia, on niihin kelpaavan massan tarve valmiiksi rakentamisessa noin 3,7 milj. m³. Voidaan siis perustellusti olettaa, että esirakentamisessa syntyvä louheen ja kitkamaan ylijäämä voidaan ohjata alueiden valmiiksi rakentamiseen molemmissa skenaarioissa.

Syntyvä koheesiomaa ja pintamaa

Molemmissa skenaariossa syntyy koheesiomaita noin 0,12 milj. m³. Mikäli materiaalin läjittämistä varten rakennettaisiin täyttömäki, olisi sen laajuus esimerkiksi 2,4 ha ja keskimääräinen korkeus 5 m.

Molemmissa skenaarioissa syntyy pintamaita noin 1,2 milj. m³. Pintamaiden osalta on arvioitu, että 30 % saadaan hyötykäytettyä Östersundomin alueella ja jäljelle jäävä osa höydynnetään Östersundomin alueen ulkopuolella.

On hyvä huomata, että nämä läjitettävät massat syntyvät vähitellen esirakentamisen aikana. Jos esirakentaminen jakautuisi 40 vuoden ajalle, syntyisi läjitettäviä massoja noin 25 000 m³ vuodessa.

Koheesiomaita ja pintamaata voitaisiin mahdollisesti hyödyntää esimerkiksi meluvälillä. Vallien korkeudesta ja luiskakaltevuudesta riippuen meluvälisiin tarvittaisiin heikompien massojen lisäksi mahdollisesti myös lujempaa materiaalia, jota voisi olla hyvin saatavilla, koska pengermateriaalissa on ylijäämää.

Pohjarakentaminen

Skenaariossa A on painotettu esikuormittamista ja käytetty pystyjoja yli 3 vuotta painuville pehmeiköille. Syvästabilointia on käytetty 7 m syvistä pehmeiköistä alkaen. Pohjarakentamisen määrät ovat:

- esikuormituspenkereiden tilavuus koko esirakentamisen aikana: 2,4 milj. m³
- pystyajat: 2,9 milj. jm
- syvästabilointi: 3,8 milj. pilarimetriä

Skenaariossa B on esikuormittaminen rajoitettu 1-3 m syviin pehmeiköihin. Muille pehmeiköille on käytetty syvästabilointia. Pohjarakentamisen määrät ovat:

- esikuormituspenkereiden tilavuus koko esirakentamisen aikana: 0,8 milj. m³
- syvästabilointi: 6,7 milj. pilarimetriä

Välivarastoinnin tarve

Kuten kappaleessa 8 määrälaskennan oletuksissa on käyty läpi, välivarastointia vaativia esirakentamisen jakeita ovat:

- 75 % syntyvästä louheesta
- 50 % syntyvästä kitkamaasta
- 30 % syntyvästä pintamaasta

Näiden yhteenlaskettu tilavuus koko Östersundomin yleiskaavan esirakentamisessa on molemissa skenaarioissa 2,1 milj. m³. Myös välivarastoinnin osalta voidaan perustellusti olettaa, että kaikki koko alueen rakentamisessa välivarastoitava materiaali ei ole välivarastossa yhtä aikaa.

Koska välivarastoitavissa massoissa ei ole kyse pelkästään esikuormitusmateriaalista, vaan myös pintamaasta, murskattavasta louheesta ja pengermateriaalista, voidaan välivarastoidun materiaalin liikuttelun olettaa olevan joustavampaa ja liikkumisen nopeampaa, kuin esikuormituspenkeisiin sijoitetulla materiaalilla. Näin ollen voidaan arvioida, että tietyssä esirakentamisen vaiheessa välivarastoidun materiaalin tilavuuden pitäisi olla esim. noin 10 % välivarastoitavasta kokonaismäärästä, joka tarkoittaisi tilavuutta 210 000 m³. Jos oletetaan, että välivarastokasojen keskimääräinen korkeus on 3,0 m, saataisiin välivarastokenttien tarvittavaksi tehokkaaksi pinta-alaksi 7,0 ha.

Esikuormituskohteiden hyödyntäminen massojen välivarastoinnissa

Todennäköisesti osaa esikuormitettavista alueista voidaan käyttää välivarastokenttinä. Skenaario A ja B eroavat toisistaan esikuormitettavien alueiden pinta-alan suhteen (150 ha ja 63 ha), millä on vaikutusta esikuormittamisen ja välivarastoinnin yhteensovittamisen vaativuuteen.

Skenaariossa A esikuormitettavien alueiden pinta-ala on koko Östersundomin yleiskaavan alueella yhteensä noin 150 ha. Jos näiden osalta tehdään sama oletus, kuin esikuormituspenkereiden materiaalin osalta, eli että 15 % kokonaismäärästä on yhtä aikaa olemassa yhden esirakentamisvaiheen aikana, saadaan yhden esirakentamisvaiheen esikuormitusalueiden pinta-alaksi 22,5 ha. Tästä seuraisi, että noin 31 % yhden esirakentamisvaiheen esikuormitusalueiden pinta-alasta riittäisi täyttämään välivarastoalueiden tarpeen 7,0 ha.

Suurta osaa esikuormituskohteista ei kuitenkaan voida stabiliteetin vuoksi kuitenkaan rakentaa 3,0 m korkeammaksi välivarastointia varten, vaan näillä alueilla ylimääräistä korkeutta aiheuttavan välivarastoinnin tulisi olla matalampaa. Kaikkein kustannustehokkain ja vähäpäästöisin ratkaisu olisi, että välivarastoitava materiaali toimisi välivarastoinnin ajan samalla esikuormituspenkereenä, eikä vain esikuormituspenkereen päälle tehtynä ylimääräisenä täyttönä. Tämän toteuttaminen vaatisi tarkkaan suunniteltua massojen hallintaa.

Skenaariossa A on arvioitu kerralla tarvittavaksi esikuormituspenkereen määräksi 360 000 m³, ja kerralla tarvittavaksi välivarastojen tilavuudeksi 210 000 m³. Välivarastoitu materiaali muodostaisi siis 58 % esikuormituspenkereistä, jos se hyödynnettäisiin niissä täydellisesti. Luultavasti kahden roolin sovittaminen ei onnistu kuin osalle materiaalista, mutta tämä ei liene ongelma, koska esikuormittamisalueita on niin laajasti tarjolla.

Voidaan arvioida, että skenaariossa A esikuormituskohteilla on erittäin hyvä potentiaali toimia massojen välivarastoina, jolloin voidaan edelleen olettaa, että pelkästään välivarastointia varten varattuja alueita ei juuri tarvittaisi skenaariossa A.

Skenaariossa B esikuormitettavien alueiden pinta-ala on koko Östersundomin yleiskaavan alueella yhteensä noin 63 ha. Jos 15 % kokonaismäärästä on yhtä aikaa olemassa yhden esirakentamisvaiheen aikana, saadaan skenaariossa B yhden esirakentamisvaiheen esikuormitusalueiden pinta-alaksi 9,4 ha. Tästä seuraisi, että noin 74 % yhden esirakentamisvaiheen esikuormitusalueiden pinta-alasta riittäisi täyttämään välivarastoalueiden tarpeen 7,0 ha, jos varastokasojen korkeus olisi 3,0 n. Kuten edellä todettu, stabiliteetin vuoksi välivarastoinnin tulisi hyvin todennäköisesti olla matalampaa.

Skenaariossa B on arvioitu kerralla tarvittavaksi esikuormituspenkereen määräksi 120 000 m³, joka on pienempi määrä, kuin arvioitu kerralla tarvittava välivarastojen tilavuus 210 000 m³. Näin ollen pelkästään esikuormituspenkereet eivät yksinään riitä välivarastoiksi, vaikka ne saataisiin hyödynnettyä 100 % tehokkuudella. Tämän perusteella voidaan arvioida, että esikuormitusalueille tulisi välivarastoinnista väkisin ylimääräistä korkeutta skenaariossa B.

Skenaariossa B tarvittaisiin selvästi tehokkaampaa koordinoitua välivarastoinnin ja esikuormitusalueiden yhteensovittamisessa kuin skenaariossa A. Skenaariossa B tapauksessa lienee selvästi suurempi mahdollisuus, että välivarastointiin tarvittaisiin esikuormitusalueiden lisäksi myös muita alueita.

11. ESIRAKENTAMISEN KUSTANNUKSET JA PÄÄSTÖT

Tässä kappaleessa on esitelty esirakentamisen kustannus- ja päästölaskelmien tulokset skenaarioille A ja B. Lisäksi on avattu skenaarioiden välisiä eroja kustannusten ja päästöjen suhteen.

Esirakentamisen skenaarion A kustannustaulukko on esitetty liitteessä 3 ja skenaarion B kustannustaulukko on esitetty liitteessä 4. Kustannustaulukoissa on esitetty yksikköhinnoilla lasketut kustannukset ilman työmaan yhteiskustannuksia, suunnittelukustannuksia tai kustannusten nousuvarauksia.

Esirakentamisen skenaarion A päästötaulukko on esitetty liitteessä 5 ja skenaarion B päästötaulukko on esitetty liitteessä 6.

11.1 Kustannuslaskennan tulosten yhteenveto ja analysointi

Yhteenvedon esirakentamiskustannusten laskentaperiaatteet

Tätä kustannuslaskennan yhteenvetoa varten yksikköhinnoilla saatuihin kustannuksiin (Alv. 0 %) on lisätty 25 % työmaan yhteiskustannuksia (urakoitsijan kate + työmaan käyttö- ja yhteiskulut).

Näin määritettyyn rakennustöiden kustannusarvioon (Alv. 0 %) on tämän jälkeen lisätty rakentamisen ja suunnittelun kustannuksina 15 % rakennustöiden kustannuksista ja tulokseksi on saatu rakentamisen ja suunnittelun kustannusarvio.

Rakentamisen ja suunnittelun kustannuksiin lisätään nimikekohtaisesti seuraavat varaukset:

- suunnittelun aikainen kustannusnousuvaraus 15 %
- rakentamisen aikainen kustannusnousuvaraus 10 %
- varaus ennalta-arvaamattomille kustannuksille 10 %
- suhdannekorjaus tässä tapauksessa 0 %.

Yhteensä kustannuskertoimeksi muodostuu siis $25 \% * 15 \% * 35 \% = 194 \%$ eli kerroin 1,94. Kustannustaulukoissa esitetyt kustannukset on kerrottu tällä kertoimella tätä yhteenvetoa varten.

Esirakentamisen kokonaiskustannukset

Esikuormittamista painottavan skenaarion A mukaisen esirakentamisen kustannuksiksi arvioitiin **227 M€** ja syvästabilointia painottavan skenaarion B kustannuksiksi **263 M€**. Skenaarion A kustannukset ovat 86 % skenaarion B kustannuksista.

Pohjanvahvistukset

Skenaarioiden välinen ero johtuu pohjanvahvistusmenetelmistä, muuta eroa skenaarioiden välillä ei ole. Yhteenvedo pohjanvahvistusten kustannuksista on seuraava:

Pohjanvahvistukset, skenaario A

- esikuormituspenkereet: 23 M€
- pystyojat: 10 M€
- syvästabilointi: 84 M€
- **yhteensä 117 M€**

Pohjanvahvistukset, skenaario B

- esikuormituspenkereet: 8 M€
- syvästabilointi: 147 M€
- **yhteensä 155 M€**

Skenaario A on 38 M€ halvempi, mutta skenaarioon B verrattuna suurempi määrä esikuormitettavia alueita on otettava haltuun riittävän ajoissa esikuormittamista varten. Lisäksi skenaariossa tarvitaan tarkempaa esirakentamisen vaiheistusta ja massojen hallintaa.

Skenaario B on 38 M€ kalliimpi, mutta syvästabiloinnin painottaminen mahdollistaa joustavamman esirakentamisen vaiheistuksen, aikataulun ja tekee esirakentamisen massojen koordinoimista vähemmän vaativaa.

Louhinta ja louheen käyttö

Pohjanvahvistusten jälkeen eniten kustannuksia aiheuttaa esirakennettavien alueiden louhinta ja louheella tasaaminen. Louhinta on tässä raportissa jaettu paikalliseen louhintaan ja louheella tasaamiseen, sekä louhintaan, jonka tuloksena syntyvät massat kuljetetaan Östersundomin sisällä jollekin toiselle esirakennettavalle alueelle pengermateriaaliksi. Molemmat skenaariot A ja B ovat louheen osalta ylijäämäiset eli niissä osa louheesta on tarve toimittaa hyödynnettäväksi esirakentamisen ulkopuolelle esimerkiksi ensimmäisenä esirakennettujen alueiden valmiiksi rakentamisessa.

Louhintaan ja louheen käyttöön liittyvät kustannukset ovat skenaariossa A 54 M€ (24 % kokonaiskustannuksista) ja skenaariossa B 52 M€ (20 % kokonaiskustannuksista). Kustannusten ero syntyy siitä, että skenaariossa B (vähäisempi esikuormituspenkereiden tarve) suurempi osa louheesta on ylijäämää, jonka yksikkökustannuksen on arvioitu olevan hieman pienempi, kuin esirakentamisessa hyödynnettävän louheen, jota on skenaariossa A enemmän. Ylijäämälouheen loppukäyttö vaatii tietysti kustannuspanosta, mutta tämän kustannuksen on ajateltu kuuluvan loppukäyttäjälle esirakentamisen ulkopuolella.

Pintamaa

Pohjanvahvistusten sekä louhinnan ja louheen käytön jälkeen kolmanneksi suurin kustannus on pintamaan hyödyntäminen Östersundomin alueella (30 %) ja kuljettaminen muualla hyödynnettäväksi (70 %). Molemmissa skenaarioissa kustannus on 23 M€.

Eniten kustannuksia aiheuttavat alueet

Östersundomin osayleiskaavan alueista selkeästi kalleimman esirakentamisen (n. 35-36 M€) alue on Kehä III Vikkullantie. Alue on suurelta osin 10-20 m syvää savipehmeikköä, joka voidaan käytännössä esirakentaa vain syvästabiloimalla (tai paalulaatalla, joka tulisi todennäköisesti syvästabilointia kalliimmaksi).

Sotungintie ja Väylän varsi I ovat esirakentamiskustannuksiltaan suurimpien alueiden joukossa niissä tapahtuvan mittavan louhinnan vuoksi. Näillä alueilla on todennäköisesti tärkeä rooli esirakentamisen alkuvaiheessa tarvittavia pengermassoja tuottavina alueina, joten niiden vaatimat kustannukset todennäköisesti myös realisoituvat esirakentamisen alkuvaiheissa.

11.2 Päästölaskennan tulosten yhteenveto ja analysointi

Esikuormittamista painottavan skenaarion A mukaisen esirakentamisen päästöiksi arvioitiin **134 ktCO₂e** ja syvästabilointia painottavan skenaarion B päästöiksi **196 ktCO₂e**. Skenaarion A päästöt ovat 68 % skenaarion B päästöistä. Skenaariorista riippuen esirakentamisen päästöt vastaavat noin:

- 14 000 tai 20 000 suomalaisen keskimääräistä hiilijalanjälkeä vuodessa
- 650 000 tai 940 000 matkaa henkilöautolla Hangosta Utsjoelle (1370 km)
- 223 000 tai 326 000 kerrostalokaksion vuosittaisen energian tarpeen aiheuttamia päästöjä

Pohjanvahvistukset

Myös päästöjen osalta skenaarioiden välinen ero syntyy pohjanvahvistusmenetelmistä. Yhteenveto pohjanvahvistusten päästöistä on seuraava:

Pohjanvahvistukset, skenaario A

- esikuormituspenkereet: 5 ktCO₂e
- pystyojat: 0,6 ktCO₂e
- syvästabilointi: 89 ktCO₂e
- **yhteensä 95 ktCO₂e (71 % kaikista päästöistä)**

Pohjanvahvistukset, skenaario B

- esikuormituspenkereet: 2 ktCO₂e
- syvästabilointi: 155 ktCO₂e
- **yhteensä 157 ktCO₂e (80 % kaikista päästöistä)**

Esikuormitus ja syvästabilointi eroavat toisistaan enemmän yksikköpäästöjen kuin yksikkökustannusten suhteen. Tämän vuoksi skenaariot A ja B eroavat toisistaan päästöjen suhteen enemmän kuin kustannusten suhteen.

Skenaariossa A päästöjä on 62 ktCO₂e vähemmän, mutta skenaarioon B verrattuna suurempi määrää esikuormitettavia alueita on otettava haltuun riittävän ajoissa esikuormittamista varten ja tarvitaan tarkempaa esirakentamisen vaiheistusta ja massojen hallintaa.

Skenaariossa B stabiloinnin painottaminen aiheuttaa 62 ktCO₂e suuremmat päästöt, mutta toisaalta stabilointi mahdollistaa joustavamman esirakentamisen vaiheistuksen, aikataulun ja tekee esirakentamisen massojen koordinoinnista vähemmän vaativaa.

Louhinta ja louheen käyttö

Pohjanvahvistusten jälkeen eniten päästöjä aiheuttaa esirakennettavien alueiden louhinta ja louheella tasaaminen. Louhintaan ja louheen käyttöön liittyvät päästöt ovat molemmissa skenaarioissa 33 ktCO₂e.

Louhinta on tässä raportissa jaettu paikalliseen louhintaan ja louheella tasaamiseen, sekä louhintaan, jonka tuloksena syntyvät massat kuljetetaan Östersundomin sisällä jollekin toiselle esirakennettavalle alueelle pengermateriaaliksi. Molemmat skenaariot A ja B ovat louheen osalta ylijäämäiset eli niissä osa louheesta on tarve toimittaa hyödynnettäväksi esimerkiksi ensimmäisenä esirakennettujen alueiden valmiiksi rakentamisessa.

Pintamaa

Pohjanvahvistusten sekä louhinnan ja louheen käytön jälkeen kolmanneksi suurin päästöjen lähde on pintamaan hyödyntäminen Östersundomin alueella (30 %) ja kuljettaminen muualla hyödynnettäväksi (70 %). Molemmissa skenaarioissa pintamaahan liittyviä päästöjä syntyy 4 ktCO₂e.

Eniten päästöjä aiheuttavat alueet

Östersundomin osayleiskaavan alueista eniten esirakentamisen kustannuksia aiheuttava Kehä III Vikkullantie -alue aiheuttaa myös eniten päästöjä (35-37 ktCO₂e). Päästöjen taustalla on sama syy kuin kustannuksilla eli suuri määrä syvästabilointia.

Sotilasmäki on toinen alue, joka aiheuttaa paljon päästöjä syvästabiloinnin vuoksi. Alueen päästöt ovat skenaariossa A 9 ktCO₂e ja 18 ktCO₂e skenaariossa B.

Sotungintie ja Väylän varsi I ovat esirakentamisen päästöiltään suurimpien alueiden joukossa niillä tapahtuvan mittavan louhinnan vuoksi.

12. ESIRAKENTAMISEN VAIKUTUSTEN ARVIOINTI

Esirakentaminen on merkittävä vaihe uusien rakennusprojektien toteuttamisessa ja sillä on laaja-alaisia vaikutuksia ympäristöön, kuten maa- ja kallioperään sekä ilmastoon. Alueen esirakentamisen prosessi sisältää louhintaa, kaivamista, maa-ainesten siirtoa ja pohjanvahvistamista, jotka kaikki vaikuttavat sekä paikalliseen maaperään ja kallioperään että ilmastoon.

Alueen maaperä on nykyisin kalliota, moreenia, savea, turvetta ja liejua. Alue on topografialtaan vaihtelevaa pohjoisosien ollessa jyrkkäpiirteistä kalliolineen ja laaksoineen, eteläosan muuttuessa loivapiirteisemmäksi. Esirakentamisen aikana toteutettavat toimenpiteet muuttavat maan rakennetta ja ominaisuuksia, mikä on olennaisen tärkeää tulevien rakenteiden kuten teiden, rakennusten ja muiden infrastruktuurikohteiden turvallisuuden ja kestävyyskannalta.

Alueen maaperään kohdistuvia toimenpiteitä Östersundomin osayleiskaava-alueella ovat louhinta, kitkamaaleikkaukset ja tasaukset, työmaakoneiden käyttö, penkereiden ja pystyjien rakentaminen ja syvästabilointi. Ilmastonäkökulmasta esirakentaminen aiheuttaa hiilidioksidipäästöjä, jotka muodostuvat esirakentamisessa työkoneiden ja kuljetusten käytöstä. Vaikutuksia päästöihin syntyy Östersundomin osayleiskaava-alueen toteuttamisessa maaperän muokkaukseen käytettävistä työkoneista ja niiden polttoaineen kulutuksesta, louhinnasta ja louheen murskaamisesta ja väli-varastoinnista, maamassojen kuljetuksista, rakentamisesta sekä maaperän ja kasvillisuuden hiilivaraston muutoksista. Tässä arvioinnissa on huomioitu laskennallisesti esirakentamisen vaikutukset maaperän ja kasvillisuuden hiilivaraston muutosta lukuun ottamatta. Kuljetuksiin lukeutuvat alueen sisäiset kuljetukset läjitykseen, tasaukseen tai penkereiden rakentamiseen, sekä ulkoiset kuljetukset niiden maamassojen osalta, mitkä kuljetetaan alueelta pois toisaalle läjitettäväksi.

Yhteensä alueen rakentamisen arvioidaan aiheuttavan noin 134 kt CO₂e päästöt skenaariossa A. Skenaariossa B arvioitu päästövaikutus on tätä suurempi, 196 kt CO₂e. Suurimmat päästöt aiheutuvat pohjanvahvistuksista, mistä aiheutuu A-skenaariossa noin 71 % päästöistä ja B skenaariossa n. 80 % päästöistä. Pohjanvahvistuksen jälkeen eniten päästöjä aiheuttaa louhinta ja louheella tasaaminen. Louhintaan ja louheen käyttöön liittyvät päästöt aiheuttavat skenaariossa A 25 % ja skenaariossa B 17 % päästöistä. Muut päästövaikutukset syntyvät mm. pintamaan hyödyntämisestä ja kuljetuksista. Osa louheesta on suunniteltu hyödynnettäväksi paikan päällä esirakentamisessa, jolloin vältetään kuljetusten päästöjä. Maamassojen hyödyntäminen paikan päällä on ilmastonmuutoksen hillinnän kannalta yleisesti ottaen hyödyllistä silloin, jos käyttökohde on tiedossa ja louheen paikallisen läjityksen takia ei tarvitse poistaa puustoa ja maaperän kasvillisuutta. Yksittäisistä alueista Östersundomin osayleiskaavan esirakentamisen suurin päästövaikutus syntyy syvästabiloinnista Kehä III Vikkullantie -alueen rakentamisessa (19–26 %). Muita päästöintensivisiä alueita ovat Sotungintie ja Väylän varsi I niillä tapahtuvan mittavan louhinnan vuoksi.

Ilmastonäkökulmasta päästöjen vähentäminen esirakentamisvaiheessa on tärkeää, sillä se auttaa vähentämään rakennusprojektin kokonaisvaikutuksia ilmastoon. Esirakentamisen suunnittelussa ja toteutuksessa keskeistä onkin päästöjen välttäminen, resurssien tehokas käyttö sekä ympäristövaikutusten minimoiminen. On tärkeää huomioida, että vaikutukset eivät rajoitu pelkästään rakennusvaiheen hiilijalanjälkeen, vaan niillä on pitkäaikaisia seurauksia alueen ekosysteemeihin sekä infrastruktuurin elinkaareen.

Esirakentaminen vaikuttaa monin eri tavoin sekä maa- ja kallioperään että ilmastoon. Jokainen toimenpide, olipa kyse maan siirtämisestä, pengertämisestä tai louhintatöistä, muuttaa ympäristön tilaa ja vaikuttaa ilmastonmuutoksen dynamiikkaan. Ilmastonmuutoksen hillinnän näkökulmasta tärkeää on ensisijaisesti välttää päästöjen syntymistä ja pienentää aiheutuvaa haittaa. Merkittäviä päästöjä vähentäviä toimenpiteitä ovat vähäpäästöisten, uusiokäyttöisten ja kierrätettyjen materiaalien hyödyntäminen rakentamisessa, työkoneiden käytön ja kulutuksen optimointi sekä kuljetusten minimoiminen esimerkiksi hyödyntämällä maamassoja paikan päällä sekä suosimalla kotimaisia ja lähellä tuotettuja tuotteita hankinnoissa. Tarkempien vaikutusten selvittämiseksi jatkosuunnittelussa tulee huomioida vaikutukset maaperän ja kasvillisuuden hiileen sekä tarkastella hankintojen kautta vaikutusmahdollisuuksia päästöjen välttämiseksi.

13. POHJANVAHVISTUSMENETELMIEN RISKEJÄ JA MAHDOLLISUUKSIA

Tässä kappaleessa on arvioitu pohjanvahvistusmenetelmiin liittyviä riskejä ja mahdollisuuksia pääasiassa vertailemalla eri menetelmiä toisiinsa. Tarkoituksena on tuoda esiin menetelmien vahvuuksia ja heikkouksia sekä soveltuvuutta eri tilanteisiin.

13.1 Esikuormittamisen ja syvästabiloinnin vertailu

Tässä raportissa esirakentamisen pohjanvahvistusmenetelminä on käytetty esikuormittamista ja syvästabilointia. Esikuormittamisen kanssa on käytetty pystyjoja syvemmillä pehmeiköillä. Pitkien painuma-aikojen perusteella esikuormittaminen on tässä raportissa rajattu korkeintaan 6 m syville pehmeiköille. Tässä kohdassa on vertailtu näihin menetelmiin liittyviä aikataulu- ja kustannusriskejä ja menetelmien teknistä toimintavarmuutta. Menetelmien kustannuksia ja päästöjä on käsitelty tämän raportin kappaleessa 8.

Syvästabilointiin verrattuna esikuormituksen geotekninen mitoitus on yleensä vaativampi suunnittelutehtävä, mikä osaltaan lisää menetelmän riskejä. Esikuormittamisen suunnittelussa tehdään painumalaskelmia, jotka ovat haastavimpien geoteknisten mitoitus tehtävien joukossa ja niiden lähtötietona käytettävien maaperän painumaominaisuuksien määrittäminen edellyttää kohtuullisen haastavaa näytteenottoa ja laboratoriotyötä. Onnistuneidenkin tutkimusten ja huolellisesti tehtyjen laskelmienkin jälkeen painumaennusteessa on epävarmuutta, minkä vuoksi onnistunut esikuormitus edellyttää yleensä seurantamittauksia esikuormituksen aikana.

Syvästabiloinnin mitoittaminen on esikuormittamisen mitoittamista suoraviivaisempaa ja voidaan arvioida, että syvästabiloinnin mitoittamiseen liittyy vähemmän epävarmuutta. Syvästabiloinnin suunnittelu edellyttää vähintään laboratoriossa tehtäviä stabiloitavuuskokeita, joiden tulokset ovat melko hyvällä tarkkuudella muunnettavissa tuotantopilarien ominaisuuksiksi, mutta joissakin tapauksissa erot voivat olla melko suuria. Tätä riskiä voidaan torjua tekemällä ja tutkimalla koepilarointia laboratoriossa tehtävien stabiloitavuuskokeiden lisäksi. Koepilarointi on suositeltavaa erityisesti, jos pohjamaa käsittää liejua ja/tai happamia sulfaattimaita, sillä näissä maalojeissa on usein tarpeen käyttää suurempaa sideainemäärää.

Penkereen rakentamisen jälkeen esikuormituskohteet vaativat seurantamittauksia esikuormituksen aikana ja seurannan tulosten analysointia. Seurantamittaukset käsittävät yleensä painumamittauksia ja joskus myös huokosvedenpainemittauksia. Myös syvästabilointi edellyttää jonkin verran laadunvalvontaa (pilarikairaukset ja niiden analysointi), mutta syvästabiloinnin osalta toteutetun rakenteen laadunvarmistaminen on kestoaltaan lyhyempi tehtävä ja rakenteen onnistumisen aste selviää nopeammin.

Valmiina rakenteena esikuormitettu alue on riittävän ylipenkereen myötä lähes painumaton rakenne, mikäli mitoitus on tehty onnistuneesti kattavilla lähtötiedoilla ja jos esikuormituksen aikaista seurantaa on tehty ja tuloksia analysoitu esikuormituksen aikana. Jos seurannan aikana havaitaan, että tarvittava painuma-aika osoittautuu arvioitua pidemmäksi, voidaan jossain määrin tilannetta korjata pidentämällä painuma-aikaa, jos siihen on mahdollisuus. Jos painuma-aikaa ei pystytä pidentämään, toinen vaihtoehto on toteuttaa ylipenkereen poiston yhteydessä pengerveennys: tällaisella ratkaisulla on kuitenkin melko suuret kustannusvaikutukset.

Esikuormitukseen pystyjojen kanssa liittyy vähäisempiä aikatauluriskejä, mutta menetelmä on 90-luvun jälkeen harvinaistunut, mikä näkyy muun muassa heikentyneenä kalustosaatavuutena. Toisaalta pystyjoihin liittyy myös tukkeutumisen ja nurjahtamisen riski, mikä voi oleellisesti kasvattaa tarvittavaa painuma-aikaa.

Valmis syvästabilointi on käytännössä lähes painumaton rakenne, mikäli pilarit ulotetaan kovaan pohjaan ja jos sideainemäärän valinnassa ja pilarien toteutuksessa ei ole tapahtunut merkittäviä virheitä. Mikäli laadunvarmistuksessa havaitaan, että pilarien tavoitelujuutta ei ole riittävän kattavasti tavoitettu, voidaan syvästabiloitua aluetta täydentää tarvittaessa tekemällä pilarien väliin

lisää pilareita. Myös keventeitä voidaan käyttää, mutta näillä molemmilla keinoilla on merkittävät kustannusvaikutukset, vaikkakin hyvin todennäköisesti rakenne saadaan täydennettyä riittäväksi.

Esikuormittaminen edellyttää tavanomaista enemmän ennakkointia ja rakennuskohteen haltuunottoa esirakentamista varten jopa useiden vuosien ajaksi, eikä esikuormituksen keston voida juurikaan vaikuttaa, ellei käytetä pystyjä. Syvästabilointia varten alueet varataan tyypillisesti kuu-kausiksi ja työn keston voidaan tarvittaessa vaikuttaa käyttämällä kohteessa suurempaa määrää työkoneita.

Mahdollisiin suunnitelmamuutoksiin kuten tasauksen muuttumiseen voidaan yleisesti reagoida syvästabiloinnin mitoituksessa hyvin joustavasti työn toteuttamiseen saakka tai parhaimmillaan mitoitusta voidaan muuttaa jopa työn ollessa käynnissä. Ennen toteutusvaihetta onkin tärkeää tarkistaa myös suunnitelmissa oletettu sideainetyyppi: etenkin uusiosideaineita sisältävien sideaineiden saatavuus voi tulevaisuudessa heikentyä, mikäli kysyntä kasvaa voimakkaasti. Esikuormittamisen osalta reagointi ei ole läheskään näin joustavaa ja muutoksista voi seurata tarvittavan painuma-ajan pidentymistä, joka voi johtaa aikataulun venymiseen selvästi todennäköisemmin kuin syvästabiloinnin tapauksessa.

Yhteenvedona voidaan yleistää, että syvästabilointi on pohjanvahvistusmenetelmänä esikuormitusta yksinkertaisempi lähtötietojen hankinnan ja mitoituksen osalta. Syvästabilointi on aikataulun ja suunnitelmamuutoksien kannalta selvästi joustavampi menetelmä. Esikuormituksen onnistuneeseen toteutukseen halutussa aikataulussa liittyy enemmän riskejä ja tilanteen korjaaminen voi edellyttää syvästabilointiin verrattuna kalliimpia toimenpiteitä.

13.2 Vähäpäästöisten pohjanvahvistusmenetelmien kehitysnäkymät

Päästölaskenta on tehty päästökertoimilla, jotka perustuvat tämän hetken tyypillisiin materiaaleihin ja menetelmiin. Östersundomin esirakentaminen toteutetaan kuitenkin vuosikymmenien päästä, jolloin pohjanvahvistusten toteuttamisen päästöt voivat olla madaltuneet nykyisestä tasosta. Tätä kehitystä ei voida kuitenkaan arvioida tarkkaan, eikä sen vuoksi ole otettu päästölaskelmassa huomioon.

Lähi vuosikymmeninä on odotettavissa pohjanvahvistusmenetelmien ja -materiaalien kehittymistä vähäpäästöisempään suuntaan, mm.:

- **Vähäpäästöisten ja sähköisten työkoneiden ja kuljetuskaluston yleistyminen.** Tämä vähentää työsuoritteiden päästöjä työmaalla ja kuljetuksista aiheutuvia päästöjä, jolloin sekä pilaristabiloinnin että esikuormituksen päästöt vähenevät.
- **Vähäpäästöinen tai jopa hiilinegatiivinen syvästabilointi sideainekehityksen myötä.** Jo nyt on markkinoilla saatavilla erittäin vähäpäästöisiä sideaineita (UUMA 2023), ja tietyillä sideaineseoksilla on havaittu myös potentiaalia hiilensidontaan (Dejenie ym. 2023; Hanafi ym. 2024). Aalto-yliopisto ja VTT ovat kehittäneet sideaineen, jolla voidaan vähentää hiilidioksidipäästöjä merkittävästi. Tavoitteena on tehdä pohjanvahvistamisesta jopa hiilinegatiivista ja käyttää infrarakenteita hiilinieluina (Tekniikka & Talous 2024).
- **Vähäpäästöisten kiviaines- ja kevennetuotteiden saatavuuden lisääntyminen.** Esimerkiksi kierrätettyjen kevennemateriaalien avulla voidaan jo tällä hetkellä huomattavasti vähentää pengerkevennyksen hiilijalanjälkeä nykyisestä. Kevennys voi tulla kyseeseen sekä syvästabiloinnin että esikuormituksen yhteydessä lisätoimenpiteenä tarvittaessa.

13.3 Esikuormittamisen ja massanvaihdon vertailu

Tämän raportin esirakentamisen skenaarioissa ei ole käytetty pohjavahvistuksena massanvaihtoa, koska massanvaihdon kaivumassat jouduttaisiin todennäköisesti sijoittamaan pysyvästi maanlajitysalueelle ja läjitysalueiden tarpeen minimointi on ollut yksi tämän tarkastelun tavoitteista. Tässä kohdassa on kuitenkin esitetty lyhyt vertailu massanvaihdon ja esikuormittamisen välillä.

Osayleiskaavan esirakennettavilla alueilla on paljon matalia pehmeikköjä: noin 2 m tai sitä matalampien pehmeikköjen osuudeksi on arvioitu n. 35 % kaikkien pehmeikköjen pinta-alasta. Matalat pehmeiköt soveltuvat hyvin esikuormitettavaksi, koska tarvittava painuma-aika on lyhyt, mutta myös massanvaihto voi olla hyvä esirakentamiskeino matalilla pehmeiköillä. Massanvaihto on teknisesti helppo toteuttaa matalilla pehmeiköillä eikä vaadi esirakennettavan alueen varaimista pitkäksi ajaksi. Massanvaihto on selvästi esikuormitusta joustavampi menetelmä, joka ei vaadi yhtä paljon ennakointia ja esirakentamisen koordinoitua.

Esikuormituspenkereiden yksikkökustannukset ja -päästöt sekä niiden taustalla olevat laskentaoletukset on esitetty kappaleessa 8:

- esikuormituspenkereiden materiaali saadaan Östersundomin alueelta
- aluksi syntyy kustannuksia päästöjä materiaalin syntypaikalla ja siirtämisessä ensimmäiseen esikuormitettavaan kohteeseen
- tämän jälkeen kustannukset ja päästöt syntyvät esikuormituspenkereiden purkamisesta, materiaalin siirtämisestä ja seuraavien esikuormituspenkereiden rakentamisesta
- esikuormitusmateriaalin keskimääräinen siirtomatka on 2,0 km

Arvioitu yksikkökustannus: 5,03 €/m³

Arvioitu yksikköpäästö: 2,21 kgCO₂e/m³

Vastaavasti laskentaoletukset, yksikkökustannukset ja -päästöt massanvaihdolle olisivat esim.:

- massanvaihdon täyttömateriaali saadaan Östersundomin alueelta
- massanvaihdon täyttömateriaalin keskimääräinen siirtomatka 2,0 km
- massanvaihdon kaivutyö
- kaivumassojen kuljettaminen läjitykseen, siirtomatka 10 km
- vastaanottomaksua ei peritä, koska läjitysalue on oma

Arvioitu yksikkökustannus: 14,98 €/m³

Arvioitu yksikköpäästö: 5,43 kgCO₂e/m³

Esikuormituksen ja massanvaihdon kustannusten ja päästöjen vertailua ei voida tehdä suoraan yksikkökustannuksia ja -päästöjä vertailemalla, koska massanvaihdosta poiketen esikuormituspenkereen tarvittava määrä ei riipu suoraan pehmeikön tilavuudesta. Vertailua varten tarvitaan siis tilanne, jossa menetelmiä sovellettaisiin.

Otetaan vertailuun kaikki Östersundomin osayleiskaavan esirakennettavien alueiden noin 2 m syvät pehmeiköt. Niiden yhteenlasketuksi pinta-alaksi on arvioitu 26,5 ha. Esikuormituspenkereiden korkeus näillä pehmeiköillä on useimmissa tapauksissa 1,8 m. Näin saadaan esikuormituspenkereiden tilavuudeksi 477 000 m³ ja massanvaihdon kokonaistilavuudeksi 530 000 m³.

Tällöin menetelmien kustannukset ja päästöt vertailualueelle sovellettuna ovat:

- esikuormitus: 2,4 M€, 1,1 ktCO₂e
- massanvaihto: 7,9 M€, 2,9 ktCO₂e

Jos kaivumassoille löytyisi loppusijoituspaikka 5 km päästä, olisivat massanvaihdon kustannukset ja päästöt 6,3 M€ ja 2,3 ktCO₂e. Yhteenvetona esikuormitukseen verrattuna massanvaihdon kustannukset ovat noin 2,5-3,3 kertaiset ja päästöt 2-3 kertaiset riippuen kuljetusmatkasta läjitysalueelle.

Mikäli sama vertailu tehdään syvemmälle pehmeikölle, muuttuu massanvaihto vielä epäedullisemmaksi kustannusten ja päästöjen suhteen, koska tarvittavan esikuormituspenkereen tilavuus ei kasva pehmeikön syvyyden kasvaessa yhtä paljon kuin massanvaihdon tilavuus.

Massanvaihtoon liittyy riski, että mikäli kaivumassat sisältävät hapanta sulfidimaata (hasu-maat), jouduttaisiin kaivumassat viemään alueelle, jolla on lupa ottaa vastaan hasu-maata. Kuljetusmatka kasvaisi mahdollisesti moninkertaiseksi ja materiaalista perittäisiin vastaanottomaksu. Lisäksi hasu-maiden käsittely työmaalla lisäisi mm. myös työmaavesien käsittelyn kustannuksia mahdollisen neutralointitarpeen myötä.

Östersundomin osayleiskaavan laadinnassa on otettu huomioon GTK:n kokoama tieto hasu-maiden esiintymisen todennäköisyydestä ja rakennettavat alueet on pyritty sijoittamaan todennäköisten esiintymien ulkopuolelle. On kuitenkin mahdollista, että hasu-maita esiintyy arvioitua laajemmalla alueella. Esiintymien tarkka laajuus voidaan varmistaa vasta tarkemmilla tutkimuksilla, joita ei ole vielä tehty. Mikäli hasu-maita todetaan rakennettavilla alueilla, on tärkeää välttää kaikenlaista maankaivua sekä lisäksi pyrkiä pitämään orsi- ja pohjavedenpinta nykyisillä tasoillaan.

14. VERTAILU AIEMPAAN YLEISKAAVAAN

Tässä kappaleessa on vertailtu lyhyesti uuden osayleiskaavan ratkaisua ja aiemmin valmistelussa ollutta kuntien yhteisen yleiskaavan ratkaisua rakentamisen laajuuden ja massojen osalta.

Uusi osayleiskaava

Nyt valmistelussa olevassa osayleiskaavassa Östersundomin alueelle suunnitellaan 35 000-45 000 asukkaan kokonaisuutta. Uudessa ratkaisussa rakentamiseen tarkoitettu pinta-ala on noin 9 km².

Nyt suunnitellussa esirakentamisessa on jätetty massanvaihto kokonaan pois pohjanvahvistusmenetelmien joukosta ja alustavassa tasauksessa on pyritty välttämään alueiden leikkaamista, jotta läjitykseen sijoitettavia massoja syntyisi mahdollisimman vähän. Läjitysalueelle sijoitettavien, heikosti rakentamiseen soveltuvien koheesiomaiden (savi, siltti, lieju) määräksi on arvioitu noin 0,12 milj. m³. Kaiken kaikkiaan tukimateriaalit huomioiden tarvittavaksi läjitystilavuudeksi arvioidaan 0,17 milj. m³.

Syntyvän louheen määräksi arvioitiin noin 2,2 milj. m³ ja rakentamiseen soveltuvan kitkamaan määräksi noin 0,2 milj. m³.

Aiempi kuntien yhteinen yleiskaava

Aiemmin valmistellussa kuntien yhteisessä yleiskaavassa ja samaan aikaan valmistelussa olleessa maakuntakaavassa Östersundomin alueelle suunniteltiin 80 000-100 000 asukkaan kokonaisuutta. Tässä ratkaisussa rakentamiseen tarkoitettu pinta-ala oli noin 24 km².

Aiemmin suunnitellun ratkaisun esirakentamisessa käytettiin yhtenä pohjanvahvistusmenetelmänä massanvaihtoa. Ratkaisun massatarkasteluissa arvioitiin massanvaihdon leikkausten tuotettavan 4,3 milj. m³ koheesiomaita. Muita läjitysalueelle sijoitettavia massoja oli mm. muun rakentamisen vuoksi leikattava koheesiomaa, jonka määräksi arvioitiin 1,8 milj. m³. Kaiken kaikkiaan tukimateriaalit huomioiden tarvittavaksi läjitystilavuudeksi arvioitiin 10 milj. m³.

Syntyvän louheen määräksi arvioitiin noin 17 milj. m³ ja kitkamaan määräksi noin 1,2 milj. m³.

Taulukossa 3 on esitetty yhteenveto uuden osayleiskaavan ja aiemman yleiskaavan vertailusta. Kaikki taulukossa esitetyt luvut ovat tarkkuudeltaan likimääräisiä.

Taulukko 3: uuden osayleiskaavan ja aiemman yleiskaavan vertailu.

	Uusi osayleiskaava	Aiempi yleiskaava
Asukkaiden määrä	35 000 – 45 000	80 000 – 100 000
Rakentamisen pinta-ala	9 km ²	24 km ²
Läjitystilavuuden tarve	0,17 milj. m ³	10,0 milj. m ³
Syntyvän louheen määrä	2,2 milj. m ³	17,0 milj. m ³
Syntyvän kitkamaan määrä	0,2 milj. m ³	1,2 milj. m ³

15. JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKOTOIMENPITEET

Tässä kappaleessa on esitetty esirakentamistarkastelussa tehtyjä havaintoja ja johtopäätöksiä. Lisäksi kappaleessa on pohdintaa erilaisista mahdollisuuksista.

Tässä tarkastelussa tehtyjen oletusten ja alustavan tasauksen perusteella on päädytty lopputulokseen, että Östersundomin yleiskaava-alueen esirakentaminen on ylijäämäinen pengermateriaalin osalta myös silloin, kun esikuormituspenkereen tarve otetaan huomioon. Tämä antaa mahdollisuuden olla tuomatta alueelle ulkopuolisia massoja, jos esirakentamisen vaiheistus eli eri osa-alueiden rakentamisen järjestys ja aikataulu suunnitellaan hyvin.

Esirakentaminen kannattaa aloittaa niin, että ensimmäisten käynnistyvien osa-alueiden joukossa on riittävästi pengermateriaalia tuottavia alueita suhteessa osa-alueisiin, jotka tarvitsevat pengermassoja. Näiden osa-alueiden toteuttaminen ei saa olla sidottu päätökseen raideliikenteen toteuttamisesta, jotta niiden rakentaminen aloittaa esirakentamisen ensimmäisten vaiheiden aikana. Tässä tarkastelussa eniten pengermassoja tuottavia alueita olivat Väylän varsi I, Sotungintie ja Rödjan P, joiden yhteenlaskettu massatasapaino pengermateriaalin suhteen oli noin +1,0 milj. m³.

Tulevaisuudessa tapahtuvassa rakennettavien alueiden tasauksen suunnittelussa on valtava potentiaali vaikuttaa koko Östersundomin alueen rakentamisen massatasapainoon. Esimerkiksi Väylän varsi I -alueella kallioalueiden yhteenlaskettu pinta-ala on noin 18 ha, jolloin 1,0 m muutos alaspäin tasauksessa voi tuottaa noin 290 000 m³ louhetta. Tämän tarkastelun tasauksessa on oletettu, että tuleva tasaus alueella olisi noin 1,0 m nykyisen maanpinnan alapuolella, mutta alueella voisi olla mahdollisuuksia matalammankin tasauksen toteuttamiselle.

Tasauksen muutokset voivat vaikuttaa helposti myös toiseen suuntaan. Kaikkien esirakennettavien alueiden pinta-alaksi arvioitiin 463 ha. Jos tasausta nostettaisiin koko alueella 10 cm, tarvoittaisi se 463 000 m³ massatarvetta.

Tulevassa suunnittelussa pitäisi pyrkiä hyvin ennakoivasti suunnittelemaan ja hallitsemaan Östersundomin alueen massatasapainoa laajana kokonaisuutena. Käytännössä tämä voisi tarkoittaa yleistasauksen laatimista laajoille alueille hyvissä ajoin, kun tasaus ei ole vielä muiden reunaehtojen vaikutuksesta lukittu ja siihen voidaan vielä merkittävästi vaikuttaa. Suunnittelussa pitäisi hyvissä ajoin tunnistaa alueet, joissa muiden reunaehtojen puolesta jää mahdollisuus suunnitella alueiden tasaus massataloutta priorisoiden, jotta kustannukset ja päästöt jäävät mahdollisimman alhaisiksi.

Tässä raportissa tarkastellut esirakentamisen skenaariot osoittavat, että Östersundomin alueen vähähiilinen esirakentaminen on mahdollista ilman erillistä maa-ainestenottoaluetta tai isoa rakentamiseen soveltumattomien massojen läjitysaluetta. Tämä edellyttää tehokasta massatalouden koordinoitua, kuten ennakoivaa ja koordinoitua alueiden tasausten suunnittelua, alueiden rakentamisjärjestyksen ja aikataulun suunnittelua sekä kierrätysalueverkostoa. Kierrätettävien massojen määräksi on arvioitu 2,1 milj. m³. Käytännössä Östersundomin alueella on tarve välivarastoida ja jalostaa kierrätysalueilla massoja jatkuvasti koko esirakentamisen ajan. Alueelle tarvitaan koko rakentamisen ajaksi kierrätysalueverkostoa, jonka pinta-ala on yhteensä luokkaa 10 ha.

Östersundomin alueen reunalle suunnitellun uuden jätevedenpuhdistamon rakentamisen on alustavasti arvioitu tuottavan noin 1,5 milj. m³ louhetta. Alustavan arvion mukaan louhinta toteutetaan parin vuoden aikana 2040-luvulla. Tätä materiaalia voitaisiin mahdollisesti käyttää Östersundomin esirakentamisessa, mikäli esirakentamisen ensimmäiset vaiheet eivät tuota riittävästi massoja tai Östersundomin alueen massatarve kasvaa tässä raportissa arvioidusta. Mikäli materiaalille ei ole käyttöä Östersundomin esirakentamisessa, voitaisiin se mahdollisesti hyödyntää esirakentamista seuraavassa alueiden valmiiksi rakentamisessa.

Pohjanvahvistaminen muodostaa suurimman osan esirakentamisen kustannuksista ja päästöistä. Käytettävien pohjanvahvistusmenetelmien valinnalla on suuri vaikutus koko esirakentamisen kustannuksiin ja päästöihin. Tehtyjen tarkastelujen perusteella kustannuksissa ja päästöissä

voidaan saavuttaa säästöjä ja vähennyksiä käyttämällä mahdollisimman paljon esikuormittamista, mutta tämä edellyttää esirakennettavien alueiden haltuunottoa hyvissä ajoin, varaamista esirakentamiselle vuosien ajaksi sekä tarkkaa rakentamisjärjestyksen ja massojen hallinnan koordinoitua.

Östersundomin osayleiskaava-alueen esirakentamisen kustannusten ja päästöjen minimoinnissa korostuu suunnittelun ja rakentamisen koordinaation tarve. Alue on iso ja rakentamisen aikajänne on pitkä. Suunnittelun ja rakentamisen koordinoinnissa pitäisi pystyä hallitsemaan pinta-alaltaan laajaa monimutkaista kokonaisuutta, jonka rakentaminen jatkuu kymmeniä vuosia. Lyhytnäköisen osa-alueiden paikallisen optimoinnin sijaan pitäisi pystyä katsomaan Östersundomin aluetta kokonaisuutena. Ilman koordinoitua on mahdollista, että suunnitteluvaiheessa ei hallita aikataulua ja massatasapainoa rakentamisen eri vaiheissa tai kokonaisuuden kannalta. Rakentamisen koordinaation puute voi puolestaan johtaa massojen vahaaseen hyötykäyttöön, vaikka suunnittelu olisikin tehty hyvin. Molemmissa tapauksissa puutteellisen koordinaation seurauksena on kustannusten ja päästöjen kasvu.

Esirakentamista seuraa alueiden valmiiksi rakentaminen, jossa jatketaan siitä mihin esirakentaminen on päättynyt. Voidaan perustellusti olettaa, että valmiiksi rakentaminen seuraa hyvin pian esirakentamisen perässä, kun ensimmäiset alueet on saatu esirakennettua, joten valmiiksi rakentaminen liittyy esirakentamisen kanssa aivan esirakentamisen alkua lukuun ottamatta. Myös esirakentamisen ja valmiiksi rakentamisen yhteensovittamiseen tarvitaan koordinoitua. Yhteensovittamisella voidaan saavuttaa hyötyjä koko Östersundomin hankkeen aikataulun, kustannusten ja päästöjen suhteen esimerkiksi esirakentamisen ylijäämämassojen hyödyntämisen kautta.

Alla on esitetty ajatuksia mahdollisista jatkotoimenpiteistä Östersundomin osayleiskaava-alueen esirakentamisen suunnittelussa. Jatkotoimenpiteet liittyvät pitkälti alueen tasauksen suunnitteluun ja rakentamisen aikataulun suunnitteluun, koska tasauksella ja rakentamisen vaiheistuksella on ratkaiseva merkitys sen kannalta, kuinka hyvin Östersundomin sisäinen massatasapaino saavutetaan ja kuinka hyvin kiertotaloutta pystytään toteuttamaan Östersundomin alueen sisällä.

Mahdolliset jatkotoimenpiteet:

- Osayleiskaavan alueiden tarkempi tasauksen suunnittelu, jossa pyritään huomioimaan erilaiset tasaukseen vaikuttavat seikat tätä tarkastelua laajemmin.
- Esikuormitettavaksi soveltuvien alueiden haltuun ottamisen edellytysten ja mahdollisuuksien selvittäminen.
- Selvitys mahdollisuuksista käyttää esikuormitusalueita muuhun toimintaan esikuormituksen aikana.
- Tarkemman rakentamisen aikataulun ja vaiheistuksen suunnittelu.
- Uusi määrälaskenta edellä ottaen huomioon tarkentunut tasaus, esikuormitusalueiden tilanne ja rakentamisen aikataulu.
- Suunnitelma massojen hallinnasta ja hyötykäytöstä esirakentamisen eri vaiheissa.

16. YHTEENVETO

Helsingin kaupunki laatii Östersundomin alueelle osayleiskaavaa. Aiemmin valmisteltu kuntien yhteinen yleiskaava ja samaan aikaan valmistelussa ollut maakuntakaava perustuivat ratkaisuun, jossa alueelle suunniteltiin 80 000-100 000 asukkaan kokonaisuutta. Nyt valmisteilla olevassa osayleiskaavassa esitetty maankäyttöratkaisu on kokonaisuutena pienimuotoisempi.

Tässä raportissa on tarkasteltu Östersundomin osayleiskaava-alueen esirakentamista. Tavoitteena on ollut löytää Östersundomin alueen sisällä tapahtuvan esirakentamisen massojen kierrätyksen ja hyötykäytön kautta periaatteita ja toimintatapoja, joiden avulla vältetään massiivinen maa-ainesten otto ja läjitys Östersundomin esirakentamisessa. Tarkastelussa on painotettu pohjanvahvistusmenetelmiä, jotka eivät tuota vaikeasti hyötykäytettäviä läjittämistä edellyttäviä massoja ja joiden kustannukset ja päästöt ovat mahdollisimman vähäiset. Tämän tavoitteen vuoksi menetelmissä on painotettu esikuormittamista ja syvemmillä pehmeiköillä on käytetty syvästabilointia.

Esirakentamistarkastelussa on laadittu Östersundomin osayleiskaava-alueen pehmeikköjen syvyysjakauma ja arvioitu esikuormittamisen soveltuvuutta Östersundomille tyypillisissä olosuhteissa. Pohjanvahvistusmenetelmistä on arvioitu esikuormittamisen ja syvästabiloinnin luotettavuutta ja riskejä sekä vertailtu esikuormittamista ja massanvaihtoa. Lisäksi on pohdittu lyhyesti vähäpäästöisten pohjanvahvistusmenetelmien tulevaisuuden näkymiä.

Määrälaskentaa varten Östersundomin osayleiskaava-alueelle on laadittu kaavan viiteaineiston avulla alustava tasaus ja alue on jaettu laskenta-alueisiin, joiden maaperäolosuhteen on määritetty pääasiassa maaperäkartan avulla. Pohjanvahvistuksien osalta on laadittu kaksi esimerkinomaista skenaariota, joista skenaariossa A on painotettu pehmeikköjen esikuormittamista ja skenaariossa B syvästabilointia. Alueet on taulukoitu ja esirakennettaville alueille on suoritettu määrälaskenta raportissa esitettyjen periaatteiden mukaisesti. Määristä on edelleen laskettu kustannukset ja päästöt.

Östersundomin osayleiskaava-alueen esirakentamisen kustannuksiksi on arvioitu 227-263 M€ ja esirakentamisen päästöiksi 134-196 ktCO₂e. Päästöt vastaavat 14 000-20 000 suomalaisen keskimääräistä hiilijalanjälkeä vuodessa. Tämän esirakentamistarkastelun määrien, kustannusten ja päästöjen tarkkuustaso on kuitenkin lähinnä suurusluokkaa antava.

Esirakentamistarkastelun perusteella Östersundomin osayleiskaava-alueen vähähiilinen esirakentaminen on mahdollista ilman erillistä maa-ainestenottoaluetta tai isoa rakentamiseen soveltumattomien massojen läjitysaluetta. Esirakentamisessa voidaan saavuttaa merkittäviä kustannus- ja päästövähennyksiä massojen kierrättämisen ja hyötykäytön kautta. Tämä edellyttää tehokasta massatalouden koordinoitua, kuten ennakoivaa ja koordinoitua alueiden tasausten suunnittelua, alueiden rakentamisjärjestyksen ja aikataulun suunnittelua sekä kierrätysalueverkostoa. Koordinoinnin vaatimustaso on korkea, koska esirakennettavien alueiden pinta-ala on arvioitu 4,6 km² ja esirakentamisen arvioitu kesto on 40 vuotta.

Esirakentaminen on merkittävä vaihe uusien rakennusprojektien toteuttamisessa ja sillä on laaja-alaisia vaikutuksia ympäristöön, kuten maa- ja kallioperään sekä ilmastoon. Jokainen toimenpide, olipa kyse maan siirtämisestä, pengertämisestä tai louhintatöistä, muuttaa ympäristön tilaa ja vaikuttaa ilmastomuutoksen dynamiikkaan. Ilmastonäkökulmasta päästöjen vähentäminen esirakentamisvaiheessa on tärkeää, sillä se auttaa vähentämään rakennusprojektin kokonaisvaikutuksia ilmastoon. Esirakentamisen suunnittelussa ja toteutuksessa keskeistä onkin päästöjen välttäminen, resurssien tehokas käyttö sekä ympäristövaikutusten minimoiminen. On tärkeää huomioida, että vaikutukset eivät rajoitu pelkästään rakennusvaiheen hiilijalanjälkeen, vaan niillä on pitkäaikaisia seurauksia alueen ekosysteemeihin sekä infrastruktuurin elinkaareen.

Östersundomin osayleiskaava-alueen esirakentaminen jatkuu alueen valmiiksi rakentamisena, joka liittyy esirakentamisen kanssa ajallisesti. Esirakentamisen ja valmiiksi rakentamisen yhteensovittamisella voidaan saavuttaa hyötyjä aikataulun, kustannusten ja päästöjen suhteen.

VIITTEET

- Dejenie B. B., Raghuram, A. S. S., Korkiala-Tanttu, L., Forsman, J., & Gustavsson, H (2023). Carbon Sequestration Capacity of Stabilized Soft Clays with Recycled Binders. *ASTM International Geotechnical Testing Journal*, January 2024; 47(1): 5–21.
<https://doi.org/10.1520/GTJ20220221>
- Hanafi, M., Bordoloi, S., Rinta-Hiiro, V., Oey, T. & Korkiala-Tanttu, L (2024). Feasibility of biochar for low-emission soft clay stabilization using CO2 curing. *Transportation Geotechnics*, November 2024, 49: 101370
- Helsingin kaupunki, kaupunkiympäristö (2018). Teknistaloudellinen selvitys. Östersundomin yhteinen yleiskaava.
- UUMA (2023). Vähähiilinen esirakentaminen -opas. URL:
<https://uusiomaarakentaminen.fi/aineisto/vahahiilinen-esirakentaminen-opas/>
- Palolahti, A., Vahtera, E., Hanski, T. (2016). Östersundom massalaskentaraaportti 2016.
- Tekniikka & Talous. Verkkojulkaisu (2024). URL:
<https://www.tekniikkatalous.fi/uutiset/suomessa-kehitettiin-ensimmainen-co-kaasua-sitova-sementinkorvike-suuri-vaikutus-infrarakentamisen-paastoihin/a0c9317a-5ee5-401c-bfc1-3a8538b892b2>

Liite 1: esirakentamisen skenaarion A määrät

Alueen nimi	Pinta-ala [m2]	Pinta-ala [ha]	Paikallinen louhinta ja tasaus louheella [m3]	Paik. kitkamaaleikkaus ja tasaus kitkamaalla [m3]	Syntyvä Louhe [m3]	Syntyvä Kitkamaa [m3]	Syntyvä Koheesiomaa [m3]	Syntyvä Pintamaa [m3]	Tarvittava Penger [m3]	Esikuormitus-Penger [m3]	Pystyojat Juoksumetrit [m]	Syvästabilointi Pilarimetrit [m]	Massatasapaino Penger materiaali [m3]	Massatasapaino Esikuor. huomioiden [m3]	Alueen nimi
Dagsverksberget	115 706	12	68 993	4 635	0	0	0	26 088	10 098	32 575	0	0	-10 098	-42 672	Dagsverksberget
Degermossa	422 616	42	117 263	36 678	104 888	8 884	0	110 086	91 138	185 134	73 104	254 360	22 634	-162 500	Degermossa
Kappeli	315 583	32	79 405	38 400	88 239	28 040	0	83 050	100 980	157 716	229 192	192 301	15 300	-142 416	Kappeli
Karhusaari E	410 013	41	223 530	30 305	60 320	0	0	93 565	100 954	42 308	98 288	202 519	-40 634	-82 942	Karhusaari E
Karhusaari P	370 382	37	98 122	46 523	27 521	25 391	0	98 410	101 244	181 137	32 260	166 122	-48 332	-229 469	Karhusaari P
Kartano	75 141	8	46 631	6 735	0	0	0	16 713	1 691	5 645	7 920	0	-1 691	-7 336	Kartano
Kehä III Vikkulantie	191 331	19	13 212	0	0	0	0	55 748	87 408	39 218	117 654	1 514 384	-87 408	-126 626	Kehä III Vikkulantie
Keskusta P	288 815	29	9 294	15 907	59 323	0	0	84 507	117 813	402 224	345 390	67 889	-58 490	-460 715	Keskusta P
Korsnäs I	171 695	17	21 589	3 108	0	0	0	46 880	200 059	204 198	482 934	86 073	-200 059	-404 256	Korsnäs I
Korsnäs L	116 332	12	5 454	33 296	0	17 691	0	34 218	51 208	78 654	145 148	0	-33 517	-112 171	Korsnäs L
Kärr	59 293	6	2 595	1 034	0	0	0	17 464	31 962	61 441	0	98 912	-31 962	-93 403	Kärr
Landbo	63 937	6	2 008	1 358	0	0	9 304	18 930	29 356	89 753	0	0	-29 356	-119 109	Landbo
Lass-Malmas	66 588	7	0	4 132	0	0	0	19 976	29 163	18 892	42 240	274 438	-29 163	-48 054	Lass-Malmas
Palomäentie	180 845	18	102 982	22 107	19 769	0	0	41 199	3 044	10 236	8 330	0	16 725	6 489	Palomäentie
Puroniitty E	217 612	22	47 249	18 187	0	0	0	59 378	49 507	168 916	297 039	144 781	-49 507	-218 423	Puroniitty E
Ringberga	100 291	10	46 990	10 664	0	0	5 095	24 214	10 113	33 081	0	0	-10 113	-43 194	Ringberga
Rödjan E	137 433	14	58 553	9 063	186 985	9 367	0	32 099	14 105	56 810	210 994	0	182 248	125 438	Rödjan E
Rödjan P	75 401	8	3 774	4 116	224 294	0	0	18 618	13 575	50 568	135 244	0	210 719	160 151	Rödjan P
Rödje-Fants	173 750	17	16 634	32 076	97 820	0	0	48 047	34 408	104 373	279 970	50 783	63 413	-40 560	Rödje-Fants
Sakarinmäki (keskusta)	162 912	16	11 184	26 378	139 887	46 126	0	46 613	45 002	61 663	60 940	254 212	141 011	79 348	Sakarinmäki (keskusta)
Skutholm	44 456	4	7 648	9 271	0	0	0	12 381	8 177	26 457	29 208	11 701	-8 177	-34 634	Skutholm
Sotilasmäki	354 005	35	43 134	24 238	235 216	23 477	0	95 802	100 766	281 814	272 676	232 463	157 927	-123 888	Sotilasmäki
Sotungintie	115 263	12	714	3 356	440 394	35 828	107 119	32 032	41 543	72 586	55 056	204 867	434 679	362 093	Sotungintie
Väylän varsi L	177 208	18	106 236	10 832	14 739	0	0	39 638	10 152	9 483	3 672	72 192	4 587	-4 896	Väylän varsi L
Väylän varsi I	220 799	22	0	13 050	515 750	11 076	0	48 332	138 050	7 436	0	23 460	388 776	381 340	Väylän varsi I

Yhteensä	4 627 407	463	1 133 194	405 444	2 215 145	205 878	121 518	1 203 987	1 421 512	2 382 317	2 927 259	3 851 458	999 511	-1 382 806	
					Käytetään:			Kierrätetään:		Huom! Kaikkea ei			Kun vähennetään		
					1 572 981			361 196		tarvita yhtä aikaa,			esikuormitusp.		
					Ylijäämä:			Ulkopuolelle:		vaan 15 % eli:			saadaan ylijäämä:		
					642 164			842 791		357 348			642 164		

Liite 2: esirakentamisen skenaarion B määrät

Alueen nimi	Pinta-ala [m ²]	Pinta-ala [ha]	Paikallinen louhinta ja tasaus louheella [m ³]	Paik. kitkamaaleikkaus ja tasaus kitkamaalla [m ³]	Syntyvä Louhe [m ³]	Syntyvä Kitkamaa [m ³]	Syntyvä Koheesiomaa [m ³]	Syntyvä Pintamaa [m ³]	Tarvittava Penger [m ³]	Esikuormituspenger Tilavuus [m ³]	Pystyojat Juoksumetrit [m]	Syvästabilointi Pilarimetrit [m]	Massatasapaino Penger materiaali [m ³]	Massatasapaino Esikuor. huomioiden [m ³]	Alueen nimi
Dagsverksberget	115 706	12	68 993	4 635	0	0	0	26 088	10 098	32 575	0	0	-10 098	-42 672	Dagsverksberget
Degermossa	422 616	42	117 263	36 678	104 888	8 884	0	110 086	91 138	152 438	0	305 126	22 634	-129 804	Degermossa
Kappeli	315 583	32	79 405	38 400	88 239	28 040	0	83 050	100 980	48 782	0	375 122	15 300	33 482	Kappeli
Karhusaari E	410 013	41	223 530	30 305	60 320	0	0	93 565	100 954	4 521	0	272 942	-40 634	-45 155	Karhusaari E
Karhusaari P	370 382	37	98 122	46 523	27 521	25 391	0	98 410	101 244	146 077	0	213 132	-48 332	-194 409	Karhusaari P
Kartano	75 141	8	46 631	6 735	0	0	0	16 713	1 691	2 103	0	5 500	-1 691	3 794	Kartano
Kehä III Vikkulantie	191 331	19	13 212	0	0	0	0	55 748	87 408	0	0	1 596 088	-87 408	-87 408	Kehä III Vikkulantie
Keskusta P	288 815	29	9 294	15 907	59 323	0	0	84 507	117 813	0	0	658 337	-58 490	-58 490	Keskusta P
Korsnäs I	171 695	17	21 589	3 108	0	0	0	46 880	200 059	35 171	0	421 444	200 059	-235 229	Korsnäs I
Korsnäs L	116 332	12	5 454	33 296	0	17 691	0	34 218	51 208	15 028	0	100 797	-33 517	-48 546	Korsnäs L
Kärr	59 293	6	2 595	1 034	0	0	0	17 464	31 962	61 441	0	98 912	-31 962	-93 403	Kärr
Landbo	63 937	6	2 008	1 358	0	0	9 304	18 930	29 356	89 753	0	0	-29 356	-119 109	Landbo
Lass-Malmas	66 588	7	0	4 132	0	0	0	19 976	29 163	0	0	303 771	-29 163	-29 163	Lass-Malmas
Palomäentie	180 845	18	102 982	22 107	19 769	0	0	41 199	3 044	7 131	0	5 785	16 725	9 594	Palomäentie
Puroniitty E	217 612	22	47 249	18 187	0	0	0	59 378	49 507	0	0	351 058	-49 507	-49 507	Puroniitty E
Ringberga	100 291	10	46 990	10 664	0	0	5 095	24 214	10 113	24 701	0	10 233	-10 113	-34 814	Ringberga
Rödjan E	137 433	14	58 553	9 063	186 985	9 367	0	32 099	14 105	8 021	0	137 210	182 248	174 227	Rödjan E
Rödjan P	75 401	8	3 774	4 116	224 294	0	0	18 618	13 575	432	0	93 392	210 719	210 287	Rödjan P
Rödje-Fants	173 750	17	16 634	32 076	97 820	0	0	48 047	34 408	0	0	245 207	63 413	63 413	Rödje-Fants
Sakarinmäki (keskusta)	162 912	16	11 184	26 378	139 887	46 126	0	46 613	45 002	34 700	0	296 531	141 011	106 311	Sakarinmäki (keskusta)
Skutholm	44 456	4	7 648	9 271	0	0	0	12 381	8 177	16 721	0	31 985	-8 177	-24 898	Skutholm
Sotilasmäki	354 005	35	43 134	24 238	235 216	23 477	0	95 802	100 766	42 907	0	651 644	157 927	115 019	Sotilasmäki
Sotungintie	115 263	12	714	3 356	440 394	35 828	107 119	32 032	41 543	54 234	0	243 100	434 679	380 445	Sotungintie
Väylän varsi L	177 208	18	106 236	10 832	14 739	0	0	39 638	10 152	8 259	0	74 742	4 587	3 672	Väylän varsi L
Väylän varsi I	220 799	22	0	13 050	515 750	11 076	0	48 332	138 050	9 590	0	234 604	388 776	379 186	Väylän varsi I

Yhteensä	4 627 407	463	1 133 194	405 444	2 215 145	205 878	121 518	1 203 987	1 421 512	794 584	0	6 726 663	999 511	204 928	
					Käytetään:			Kierrätetään:		Huom! Kaikkea ei			Kun vähennetään		
					1 334 821			361 196		tarvita yhtä aikaa,			esikuormitusp.		
					Ylijäämä:			Läjitetään:		vaan 15 % eli:			saadaan:		
					880 324			842 791		119 188			880 324		

Liite 3: esirakentamisen skenaarion A kustannukset (yksikköhinnoilla saadut kustannukset ilman kertoimia)

Alueen nimi	Pinta-ala [m ²]	Pinta-ala [ha]	Paikallinen louhinta ja tasaus louheella [€]	Paik. kitkamaaleikkaus ja tasaus kitkamaalla [€]	Syntyvä Louhe [€]	Syntyvä Kitkamaa [€]	Syntyvä Koheesiomaa [€]	Syntyvä Pintamaa [€]	Tarvittava Penger [€]	Esikuormitus-Penger [€]	Pystyajat [€]	Syvästabilointi [€]	Yhteensä [€]	Alueen nimi
Dagsverksberget	115 706	12	716 145	23 639	0	0	0	263 747	8 381	163 850	0	0	1 175 761	Dagsverksberget
Degermossa	422 616	42	1 217 192	187 055	1 306 411	51 792	0	1 112 971	75 644	931 223	124 277	2 859 003	7 865 569	Degermossa
Kappeli	315 583	32	824 222	195 840	1 099 050	163 474	0	839 634	83 813	793 312	389 626	2 161 468	6 550 440	Kappeli
Karhusaari E	410 013	41	2 320 237	154 556	751 306	0	0	945 942	83 792	212 809	167 090	2 276 319	6 912 049	Karhusaari E
Karhusaari P	370 382	37	1 018 502	237 267	342 787	148 027	0	994 928	84 033	911 119	54 842	1 867 214	5 658 718	Karhusaari P
Kartano	75 141	8	484 032	34 349	0	0	0	168 972	1 404	28 395	13 464	0	730 616	Kartano
Kehä III Vikkulantie	191 331	19	137 141	0	0	0	0	563 610	72 549	197 267	200 012	17 021 676	18 192 254	Kehä III Vikkulantie
Keskusta P	288 815	29	96 476	81 126	738 882	0	0	854 366	97 785	2 023 188	587 163	763 071	5 242 056	Keskusta P
Korsnäs I	171 695	17	224 092	15 851	0	0	0	473 959	166 049	1 027 114	820 988	967 460	3 695 511	Korsnäs I
Korsnäs L	116 332	12	56 608	169 810	0	103 137	0	345 943	42 503	395 629	246 752	0	1 360 381	Korsnäs L
Kärr	59 293	6	26 938	5 273	0	0	0	176 556	26 529	309 049	0	1 111 769	1 656 114	Kärr
Landbo	63 937	6	20 843	6 923	0	0	78 806	191 383	24 365	451 456	0	0	773 777	Landbo
Lass-Malmas	66 588	7	0	21 071	0	0	0	201 961	24 205	95 026	71 808	3 084 678	3 498 748	Lass-Malmas
Palomäentie	180 845	18	1 068 949	112 746	246 229	0	0	416 523	2 526	51 490	14 161	0	1 912 623	Palomäentie
Puroniitty E	217 612	22	490 443	92 751	0	0	0	600 307	41 090	849 648	504 966	1 627 341	4 206 547	Puroniitty E
Ringberga	100 291	10	487 760	54 384	0	0	43 154	244 798	8 394	166 399	0	0	1 004 889	Ringberga
Rödjan E	137 433	14	607 778	46 219	2 328 964	54 610	0	324 518	11 707	285 755	358 690	0	4 018 240	Rödjan E
Rödjan P	75 401	8	39 178	20 989	2 793 653	0	0	188 231	11 267	254 355	229 915	0	3 537 589	Rödjan P
Rödje-Fants	173 750	17	172 665	163 585	1 218 387	0	0	485 751	28 558	524 995	475 949	570 805	3 640 695	Rödje-Fants
Sakarinmäki (keskusta)	162 912	16	116 090	134 528	1 742 335	268 915	0	471 259	37 352	310 165	103 598	2 857 341	6 041 583	Sakarinmäki (keskusta)
Skutholm	44 456	4	79 386	47 282	0	0	0	125 170	6 787	133 076	49 654	131 524	572 879	Skutholm
Sotilasmäki	354 005	35	447 727	123 614	2 929 689	136 868	0	968 555	83 635	1 417 525	463 549	2 612 886	9 184 049	Sotilasmäki
Sotungintie	115 263	12	7 415	17 113	5 485 256	208 875	907 296	323 847	34 481	365 107	93 595	2 302 701	9 745 687	Sotungintie
Väylän varsi L	177 208	18	1 102 730	55 241	183 574	0	0	400 743	8 426	47 698	6 242	811 442	2 616 096	Väylän varsi L
Väylän varsi I	220 799	22	0	66 552	6 423 842	64 570	0	488 633	114 581	37 405	0	263 695	7 459 280	Väylän varsi I
Yhteensä	4 627 407	463	11 762 550	2 067 762	27 590 365	1 200 269	1 029 256	12 172 310	1 179 855	11 983 055	4 976 340	43 290 392	117 252 153	Kaikki alueet

Liite 4: esirakentamisen skenaarion B kustannukset (yksikköhinnoilla saadut kustannukset ilman kertoimia)

Alueen nimi	Pinta-ala [m ²]	Pinta-ala [ha]	Paikallinen louhinta ja tasaus louheella [€]	Paik. kitkamaaleikkaus ja tasaus kitkamaalla [€]	Syntyvä Louhe [€]	Syntyvä Kitkamaa [€]	Syntyvä Koheesiomaa [€]	Syntyvä Pintamaa [€]	Tarvittava Penger [€]	Esikuormitus-Penger [€]	Pystyajat [€]	Syvästabilointi [€]	Yhteensä [€]	Alueen nimi
Dagsverksberget	115 706	12	716 145	23 639	0	0	0	263 747	8 381	163 850	0	0	1 175 761	Dagsverksberget
Degermossa	422 616	42	1 217 192	187 055	1 259 160	51 792	0	1 112 971	75 644	766 763	0	3 429 621	8 100 199	Degermossa
Kappeli	315 583	32	824 222	195 840	1 059 300	163 474	0	839 634	83 813	245 373	0	4 216 374	7 628 031	Kappeli
Karhusaari E	410 013	41	2 320 237	154 556	724 132	0	0	945 942	83 792	22 740	0	3 067 864	7 319 264	Karhusaari E
Karhusaari P	370 382	37	1 018 502	237 267	330 389	148 027	0	994 928	84 033	734 766	0	2 395 603	5 943 514	Karhusaari P
Kartano	75 141	8	484 032	34 349	0	0	0	168 972	1 404	10 578	0	61 820	761 154	Kartano
Kehä III Vikkulantie	191 331	19	137 141	0	0	0	0	563 610	72 549	0	0	17 940 031	18 713 331	Kehä III Vikkulantie
Keskusta P	288 815	29	96 476	81 126	712 158	0	0	854 366	97 785	0	0	7 399 706	9 241 616	Keskusta P
Korsnäs I	171 695	17	224 092	15 851	0	0	0	473 959	166 049	176 908	0	4 737 028	5 793 886	Korsnäs I
Korsnäs L	116 332	12	56 608	169 810	0	103 137	0	345 943	42 503	75 592	0	1 132 961	1 926 554	Korsnäs L
Kärr	59 293	6	26 938	5 273	0	0	0	176 556	26 529	309 049	0	1 111 769	1 656 114	Kärr
Landbo	63 937	6	20 843	6 923	0	0	78 806	191 383	24 365	451 456	0	0	773 777	Landbo
Lass-Malmas	66 588	7	0	21 071	0	0	0	201 961	24 205	0	0	3 414 384	3 661 621	Lass-Malmas
Palomäentie	180 845	18	1 068 949	112 746	237 323	0	0	416 523	2 526	35 869	0	65 020	1 938 957	Palomäentie
Puroniitty E	217 612	22	490 443	92 751	0	0	0	600 307	41 090	0	0	3 945 896	5 170 486	Puroniitty E
Ringberga	100 291	10	487 760	54 384	0	0	43 154	244 798	8 394	124 248	0	115 023	1 077 761	Ringberga
Rödjan E	137 433	14	607 778	46 219	2 244 730	54 610	0	324 518	11 707	40 347	0	1 542 237	4 872 145	Rödjan E
Rödjan P	75 401	8	39 178	20 989	2 692 612	0	0	188 231	11 267	2 171	0	1 049 730	4 004 179	Rödjan P
Rödje-Fants	173 750	17	172 665	163 585	1 174 320	0	0	485 751	28 558	0	0	2 756 126	4 781 005	Rödje-Fants
Sakarinmäki (keskusta)	162 912	16	116 090	134 528	1 679 319	268 915	0	471 259	37 352	174 542	0	3 333 011	6 215 016	Sakarinmäki (keskusta)
Skutholm	44 456	4	79 386	47 282	0	0	0	125 170	6 787	84 104	0	359 508	702 238	Skutholm
Sotilasmäki	354 005	35	447 727	123 614	2 823 728	136 868	0	968 555	83 635	215 825	0	7 324 476	12 124 428	Sotilasmäki
Sotungintie	115 263	12	7 415	17 113	5 286 865	208 875	907 296	323 847	34 481	272 797	0	2 732 444	9 791 133	Sotungintie
Väylän varsi L	177 208	18	1 102 730	55 241	176 934	0	0	400 743	8 426	41 541	0	840 104	2 625 719	Väylän varsi L
Väylän varsi I	220 799	22	0	66 552	6 191 504	64 570	0	488 633	114 581	48 237	0	2 636 951	9 611 029	Väylän varsi I
Yhteensä	4 627 407	463	11 762 550	2 067 762	26 592 475	1 200 269	1 029 256	12 172 310	1 179 855	3 996 757	0	75 607 687	135 608 919	Kaikki alueet

Liite 5: esirakentamisen skenaarion A päästöt

Alueen nimi	Pinta-ala [m2]	Pinta-ala [ha]	Paikallinen louhinta ja tasaus louheella [tCO2e]	Paik. kitkamaaleikkaus ja tasaus kitkamaalla [tCO2e]	Syntyvä Louhe [tCO2e]	Syntyvä Kitkamaa [tCO2e]	Syntyvä Koheesiomaa [tCO2e]	Syntyvä Pintamaa [tCO2e]	Tarvittava Penger [tCO2e]	Esikuormitus-penger [tCO2e]	Pystyojat [tCO2e]	Syvästabilointi [tCO2e]	Yhteensä [tCO2e]	Alueen nimi
Dagsverksberget	115 706	12	676	7	0	0	0	93	5	72	0	0	853	Dagsverksberget
Degermossa	422 616	42	1 149	55	1 038	18	0	392	44	409	15	5 873	8 992	Degermossa
Kappeli	315 583	32	778	57	873	56	0	296	48	349	46	4 440	6 943	Kappeli
Karhusaari E	410 013	41	2 191	45	597	0	0	333	48	94	20	4 676	8 004	Karhusaari E
Karhusaari P	370 382	37	962	69	272	51	0	350	49	400	6	3 836	5 995	Karhusaari P
Kartano	75 141	8	457	10	0	0	0	59	1	12	2	0	541	Kartano
Kehä III Vikkulantie	191 331	19	129	0	0	0	0	198	42	87	24	34 967	35 447	Kehä III Vikkulantie
Keskusta P	288 815	29	91	24	587	0	0	301	57	889	69	1 568	3 585	Keskusta P
Korsnäs I	171 695	17	212	5	0	0	0	167	96	451	97	1 987	3 014	Korsnäs I
Korsnäs L	116 332	12	53	50	0	35	0	122	25	174	29	0	488	Korsnäs L
Kärr	59 293	6	25	2	0	0	0	62	15	136	0	2 284	2 524	Kärr
Landbo	63 937	6	20	2	0	0	33	67	14	198	0	0	335	Landbo
Lass-Malmas	66 588	7	0	6	0	0	0	71	14	42	8	6 337	6 478	Lass-Malmas
Palomäentie	180 845	18	1 009	33	196	0	0	147	1	23	2	0	1 410	Palomäentie
Puroniitty E	217 612	22	463	27	0	0	0	211	24	373	59	3 343	4 501	Puroniitty E
Ringberga	100 291	10	461	16	0	0	18	86	5	73	0	0	659	Ringberga
Rödjan E	137 433	14	574	14	1 850	19	0	114	7	126	42	0	2 745	Rödjan E
Rödjan P	75 401	8	37	6	2 220	0	0	66	7	112	27	0	2 474	Rödjan P
Rödje-Fants	173 750	17	163	48	968	0	0	171	17	231	56	1 173	2 826	Rödje-Fants
Sakarinmäki (keskusta)	162 912	16	110	39	1 384	92	0	166	22	136	12	5 870	7 831	Sakarinmäki (keskusta)
Skutholm	44 456	4	75	14	0	0	0	44	4	58	6	270	471	Skutholm
Sotilasmäki	354 005	35	423	36	2 328	47	0	341	48	623	55	5 368	9 268	Sotilasmäki
Sotungintie	115 263	12	7	5	4 358	71	385	114	20	160	11	4 730	9 862	Sotungintie
Väylän varsi L	177 208	18	1 041	16	146	0	0	141	5	21	1	1 667	3 038	Väylän varsi L
Väylän varsi I	220 799	22	0	19	5 104	22	0	172	66	16	0	542	5 942	Väylän varsi I
Yhteensä	4 627 407	463	11 105	604	21 921	410	436	4 286	682	5 265	585	88 930	134 225	Kaikki alueet

Liite 6: esirakentamisen skenaarion B päästöt

Alueen nimi	Pinta-ala [m ²]	Pinta-ala [ha]	Paikallinen louhinta ja tasaus louheella [tCO ₂ e]	Paik. kitkamaaleikkaus ja tasaus kitkamaalla [tCO ₂ e]	Syntyvä Louhe [tCO ₂ e]	Syntyvä Kitkamaa [tCO ₂ e]	Syntyvä Koheesiomaa [tCO ₂ e]	Syntyvä Pintamaa [tCO ₂ e]	Tarvittava Penger [tCO ₂ e]	Esikuormitus-penger [tCO ₂ e]	Pystyajat [tCO ₂ e]	Syvästabilointi [tCO ₂ e]	Yhteensä [tCO ₂ e]	Alueen nimi
Dagsverksberget	115 706	12	676	7	0	0	0	93	5	72	0	0	853	Dagsverksberget
Degermossa	422 616	42	1 149	55	1 035	18	0	392	44	337	0	7 045	10 074	Degermossa
Kappeli	315 583	32	778	57	870	56	0	296	48	108	0	8 662	10 875	Kappeli
Karhusaari E	410 013	41	2 191	45	595	0	0	333	48	10	0	6 302	9 525	Karhusaari E
Karhusaari P	370 382	37	962	69	271	51	0	350	49	323	0	4 921	6 996	Karhusaari P
Kartano	75 141	8	457	10	0	0	0	59	1	5	0	127	659	Kartano
Kehä III Vikkulantie	191 331	19	129	0	0	0	0	198	42	0	0	36 854	37 224	Kehä III Vikkulantie
Keskusta P	288 815	29	91	24	585	0	0	301	57	0	0	15 201	16 258	Keskusta P
Korsnäs I	171 695	17	212	5	0	0	0	167	96	78	0	9 731	10 288	Korsnäs I
Korsnäs L	116 332	12	53	50	0	35	0	122	25	33	0	2 327	2 645	Korsnäs L
Kärr	59 293	6	25	2	0	0	0	62	15	136	0	2 284	2 524	Kärr
Landbo	63 937	6	20	2	0	0	33	67	14	198	0	0	335	Landbo
Lass-Malmas	66 588	7	0	6	0	0	0	71	14	0	0	7 014	7 105	Lass-Malmas
Palomäentie	180 845	18	1 009	33	195	0	0	147	1	16	0	134	1 535	Palomäentie
Puroniitty E	217 612	22	463	27	0	0	0	211	24	0	0	8 106	8 831	Puroniitty E
Ringberga	100 291	10	461	16	0	0	18	86	5	55	0	236	877	Ringberga
Rödjan E	137 433	14	574	14	1 845	19	0	114	7	18	0	3 168	5 757	Rödjan E
Rödjan P	75 401	8	37	6	2 213	0	0	66	7	1	0	2 156	4 486	Rödjan P
Rödje-Fants	173 750	17	163	48	965	0	0	171	17	0	0	5 662	7 025	Rödje-Fants
Sakarinmäki (keskusta)	162 912	16	110	39	1 380	92	0	166	22	77	0	6 847	8 732	Sakarinmäki (keskusta)
Skutholm	44 456	4	75	14	0	0	0	44	4	37	0	739	912	Skutholm
Sotilasmäki	354 005	35	423	36	2 320	47	0	341	48	95	0	15 046	18 357	Sotilasmäki
Sotungintie	115 263	12	7	5	4 344	71	385	114	20	120	0	5 613	10 679	Sotungintie
Väylän varsi L	177 208	18	1 041	16	145	0	0	141	5	18	0	1 726	3 093	Väylän varsi L
Väylän varsi I	220 799	22	0	19	5 088	22	0	172	66	21	0	5 417	10 806	Väylän varsi I
Yhteensä	4 627 407	463	11 105	604	21 852	410	436	4 286	682	1 756	0	155 319	196 450	Kaikki alueet

Esikuormituksen soveltuvuuden arviointi (Liite 7)

Projekti **Östersundom esirakentaminen**
Projekti nro **1510084073**
Versio **1**
Päivämäärä **10.9.2024**
Laatija **Monica Löfman**
Tarkastaja **Aleksi Salomaa**

Sisältö

1.	Johdanto	2
2.	Laskentageometria ja -oletukset	2
3.	Maaparametrien määrittäminen	2
3.1	Parametrien määrittämisen periaatteet	2
3.2	Östersundomin koepenger	3
3.3	Pohjatutkimuksiin perustuvat jakaumat	6
3.3.1	Data	6
3.3.2	Vesipitoisuus	6
3.3.3	Tilavuuspaino	7
3.3.4	Suljettu leikkauslujuus	8
3.4	Painumalaskelman parametrit	10
4.	Painumalaskelman tulokset	11
4.1	Laskelman esimerkkitulosteita	11
4.2	Massatarve	12
4.3	Tarvittava esikuormitusaika	13
5.	Kirjallisuusluettelo	14

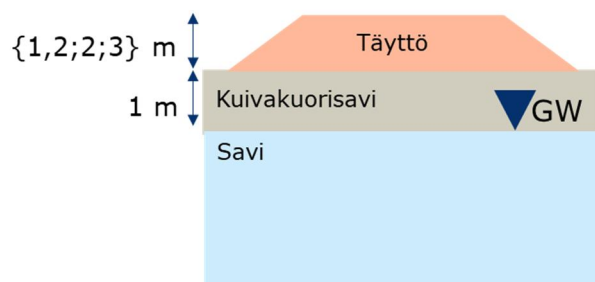
1. Johdanto

Tämä on raportin *Östersundom – Esirakentamistarkastelu* liite, jonka tarkoituksena on kuvata tarkemmin esikuormituksen soveltuvuuden arviointia varten tehtyjen painumalaskelmien maaparametrien määrittäminen ja laskelmien tulokset.

Painumalaskelmien tarkoituksena oli kartoittaa esikuormituksen soveltuvuutta Östersundomin esirakentamisessa sekä arvioida ylikuormituksen edellyttämää pengermateriaalitarvetta.

2. Laskentageometria ja -oletukset

Painumalaskelman geometria oli yksinkertaistettu tapaus (ks. Kuva 1), jossa on 1 m paksu kuivakuorisavikerros (kuSa), jonka alla on pehmeä savi (Sa). Pohjavedenpinta oletettiin sijoittuvan kuSa alapintaan. Sa-kerroksen sekä penkereen paksuutta varioitiin.



Kuva 1. Painumalaskelman geometria (GW = pohjavedenpinta).

Esikuormituksen edellyttävä massatarve arvioitiin seuraavasti:

$$\text{Massatarve} = \text{varsinainen painopenger} + \frac{\max\{20\% \text{ pengerkorkeudesta}; 0,5 \text{ m}\}}{\text{ylipenger}} + \text{painumakompensaatio}$$

Toisin sanoen ylipenkereen paksuudeksi oletettiin joko 0,5 m tai 20 % pengerkorkeudesta riippuen siitä, kumpi oli suurempi. Prosenttiosuus 20 valittiin kirjallisuuden perusteella: tällöin sekundääripainuman ja muun käytönaikaisen painuman riski on verrattain pieni (Kohonen 2007; Larsson 1986).

Painumalaskelmassa pengeri mallinnettiin tasan jakautuneena laaja-alaisena kuormana siten, että pengermateriaalin tilavuuspainoksi oletettiin 20 kN/m³. Tällöin 1 m korkea esikuormituspenger vastaa 20 kPa kuormaa.

3. Maaparametrien määrittäminen

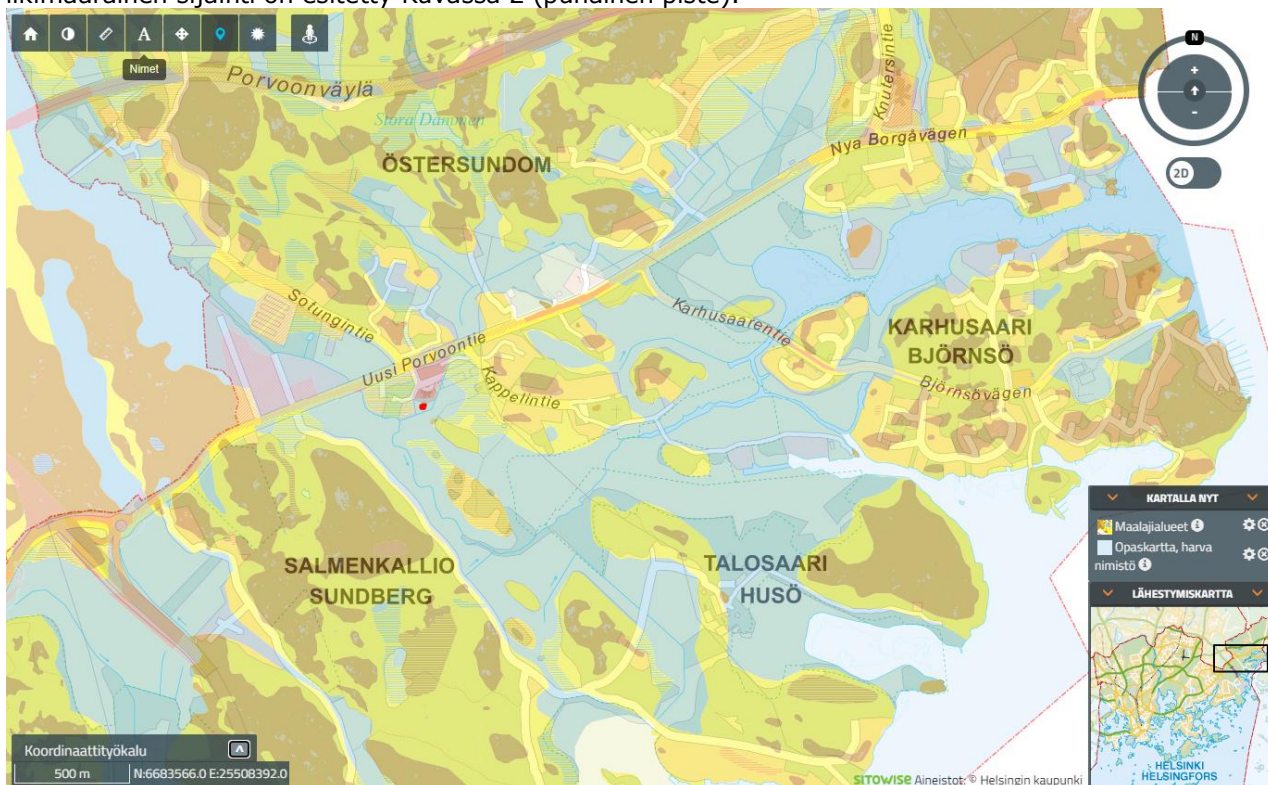
3.1 Parametrien määrittämisen periaatteet

Painumalaskelman parametrit määritettiin hyödyntäen Östersundomin alueen pohjatutkimustuloksia: eri maan ominaisuuksille muodostettiin histogrammit (jakaumat), joiden avulla saatiin käsitys maaparametrien tyypillisistä arvoista. Laskentaan valittiin tyypillisten arvojen jakaumien keskiarvot.

Lisäksi otettiin huomioon vuonna 2014 rakennetun Östersundomin koepenkeren laboratoriokoetulokset ja tehdyt painumalaskelmat sekä mitatut painumat (Köylijärvi 2014). Lukuun 3.2 on koostettu koepenkeren keskeisimmät tiedot. Koska koepenger edustaa vain yhtä sijaintia, tuloksia hyödynnettiin lähinnä vertaamalla valittuja maaparametreja koepenkeren laskelmissa käytettyihin arvoihin.

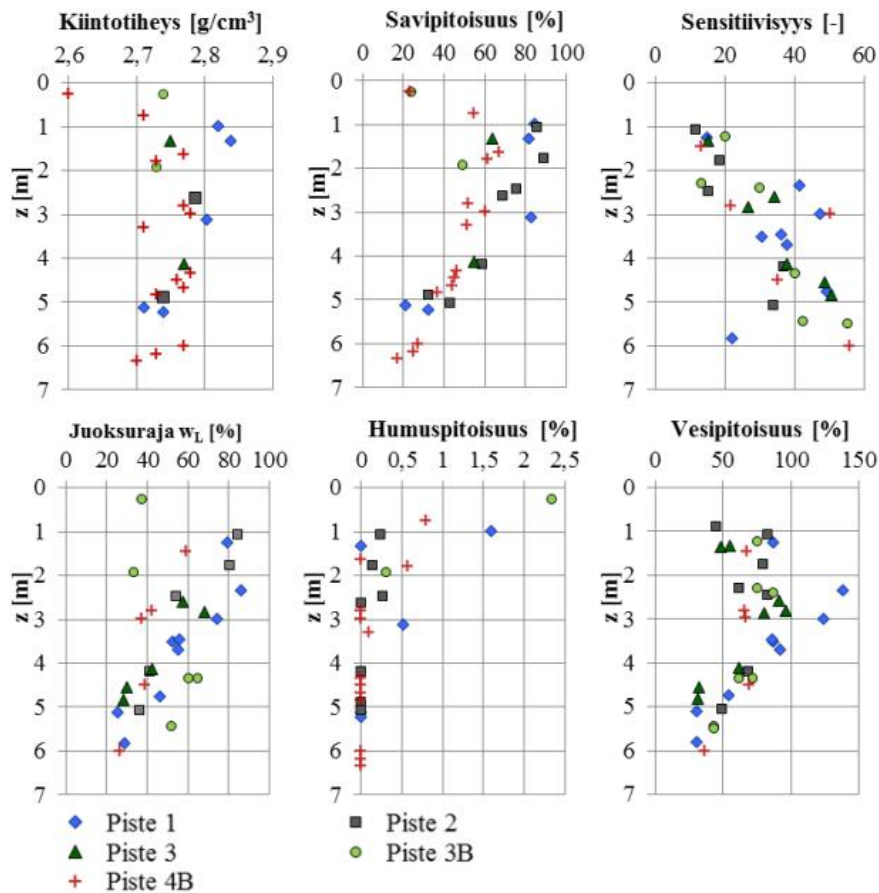
3.2 Östersundomin koepenger

Östersundomin koepenger rakennettiin maaliskuussa 2014 (Köylijärvi 2015). Koepenkeren likimääräinen sijainti on esitetty Kuvassa 2 (punainen piste).

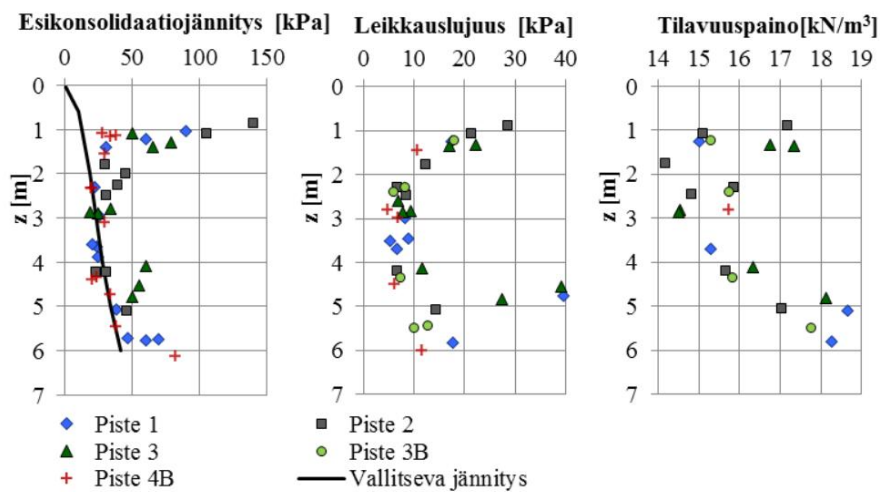


Kuva 2. Östersundomin koepenkeren sijainti (merkitty punaisella pisteellä karttaan).

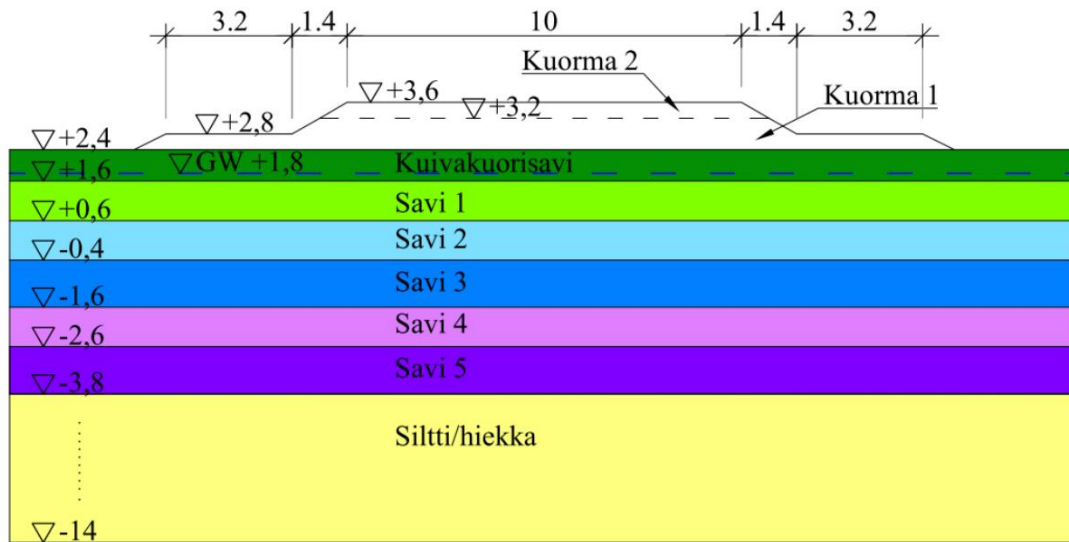
Alle on koostettu Köylijärven (2015) diplomityöstä keskeisimmät koepengertä kuvaavat kuvaajat ja taulukot (Kuva 3).



Kuva 20. Luokituskokeiden tulokset (1/2).



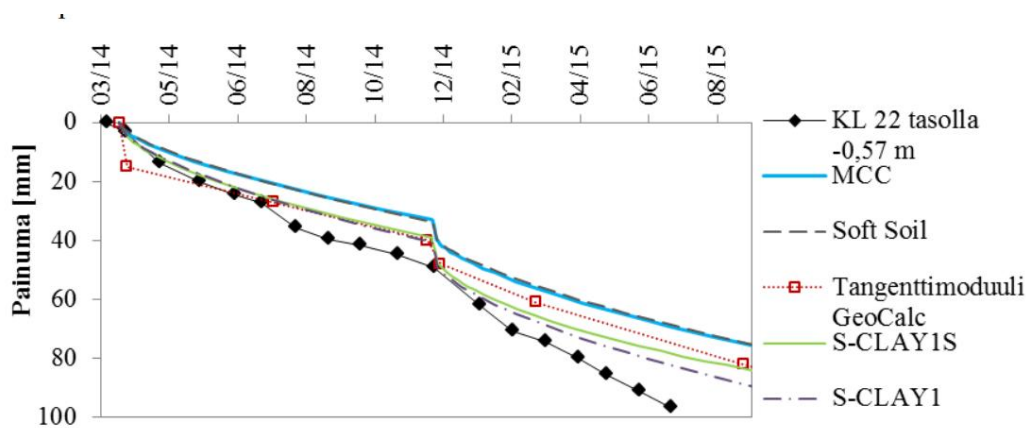
Kuva 21. Luokituskokeiden tulokset (2/2).



Kuva 34. GeoCalc-ohjelmassa käytetty laskentageometria. Mitat ovat metrejä.

Taulukko 5. Tangenttimoduulimenetelmän laskentaparametrit

Kerros		γ kN/m ³	σ_c kPa	POP kPa	m_1 -	β_1 -	m_2 -	σ'_c kPa	c_v NC m ² /a	c_v OC m ² /a
1	kuSa	17,20	140	-	100,0	1,00	100,0	-	15,0	15,0
2	Savi1	15,30	-	15,0	7,75	-0,33	45,68	30,5	0,17	1,08
3	Savi2	14,90	-	10,0	7,58	-0,54	86,90	30,8	0,19	3,44
4	Savi3	14,90	-	0,0	7,53	-0,15	71,20	31,4	0,32	3,83
5	Savi4	15,80	-	0,0	8,97	-0,28	56,83	23,6	0,25	2,49
6	Savi5	17,70	-	7,0	12,87	-0,15	183,5	38,2	0,81	3,00
7	Si / Hk	17,70	-	-	100,0	0,50	-	-	15,0	15,0



Kuva 47. Painumat savi3-kerroksessa tasolla -0,6 m.

Kuva 3. Otteita Köylijärven (2015) diplomityöstä (Östersundomin koepenger).

3.3 Pohjatutkimuksiin perustuvat jakaumat

3.3.1 Data

Maaparametrien määrittämistä varten haettiin SoundingsWEB-tietokannasta halutut pohjatutkimukset projektia varten luodulla projektinumerolla 1510084073.

Data käsitti kaikkiaan 8516 kairausta/pohjatutkimusta, ja jakautuminen tutkimustyypeittäin oli seuraava:

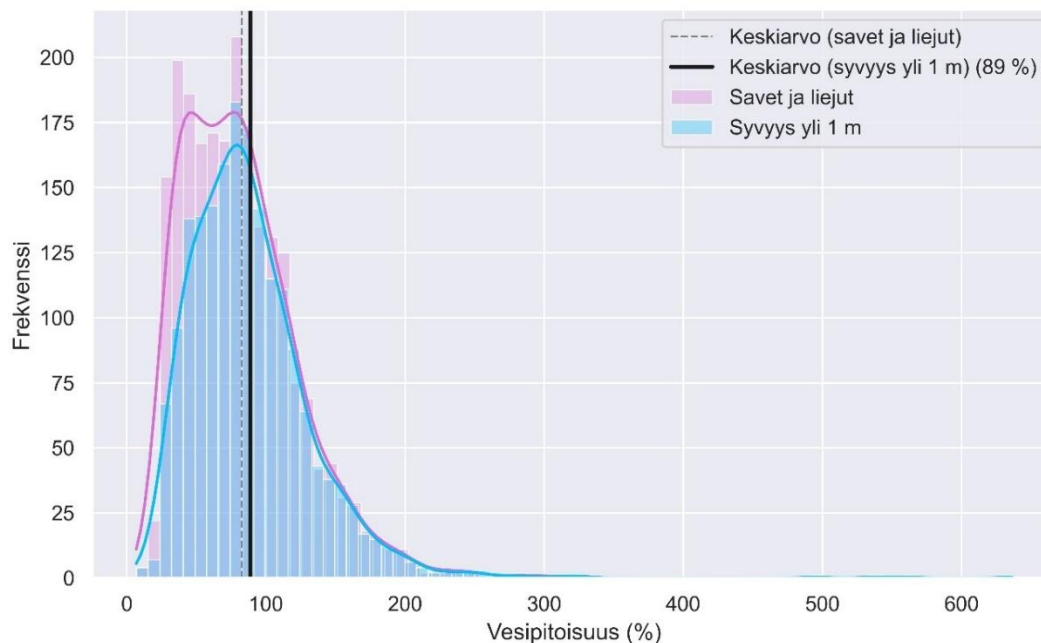
HP: 1585
NO: 1102
PI: 2059
TR: 176
PT: 50
PO: 1192
PA: 2015
SI: 174
CU: 33
HE: 111
NE: 17
MW: 2

Tämän jälkeen data rajattiin käsittämään ainoastaan siipileikkauskokeet (SI), kategorian C-D näytteet (NO) sekä kategorian A-B näytteet (NE).

3.3.2 Vesipitoisuus

NO- ja NE-pisteiden perusteella määritettiin pehmeän saven/liejun vesipitoisuuden jakauma. Savet ja liejut -jakauma määritettiin rajaamalla maalajit savi- ja liejumaalajeihin (Sa, ljSa, laSa, Lj, saLj, siLj). Tämän jälkeen data rajattiin käsittämään vain yli 1 m syvyyden näytteet.

Kuvassa 4 on esitetty yo. jakaumien histogrammit sekä molempien keskiarvot. Painumalaskentaa varten valittiin pehmeän saven vesipitoisuudeksi w yli 1 m syvyyden savien ja liejujen keskiarvo, $w = 89$ %. Kyseisen otoksen tilastolliset tunnusluvut on koottu Taulukkoon 1.



Kuva 4. Östersundomin alueen maanäytteiden vesipitoisuuden jakaumat savelle ja liejulle sekä yli 1 m syvyyden savelle ja liejulle.

Taulukko 1. Östersundomin alueen maanäytteiden vesipitoisuudet: yli 1 m syvyyden savi- ja liejunäytteet.

Tunnusluku	Arvo
Havaintojen lukumäärä	1862
Keskiarvo	88,73 %
Mediaani	82,00 %
Keskihajonta	46,67
Pienin arvo	6,90 %
Suurin arvo	636,0 %

Taulukosta nähdään, että suurin w arvo oli peräti 636 %, mikä viittaa virheelliseen maalajiarviointiin (todennäköisesti ks. näyte on turvetta pikemminkin kuin esimerkiksi liejua).

Pehmeä savi oletettiin normaalisti konsolidoituneeksi, ja moduuliluku arvioitiin Janbun menetelmällä (ks. esim. Civilpoint 2024):

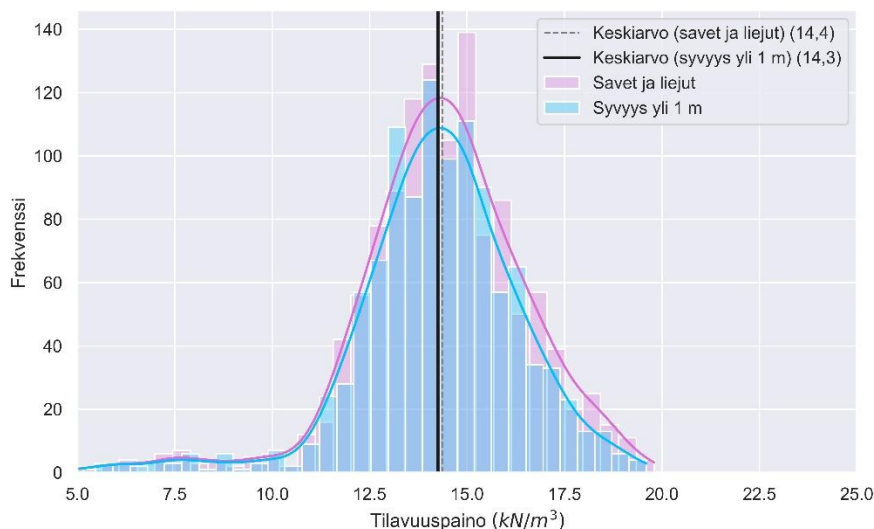
$$m_1 = \frac{700}{w} = \frac{700}{89} = 7,9 \quad (\beta_1 = 0)$$

Saatu arvo on samaa suuruusluokkaa kuin Östersundomin koepenkeren GeoCalc-painumalaskelmissa käytetty moduuliluvun arvo savikerroksissa (ks. Luku 3.2). Östersundomin koepenkeren tapauksessa jännityseksponentti β_1 oli keskimäärin n. -0,3.

3.3.3 Tilavuuspaino

Kuivakuorisaven alapuolisen saven tilavuuspaino arvioitiin alueen savi- ja liejumaanäytteiden tilavuuspainojen jakaumien avulla (Kuva 5): korkeintaan 1 m syvyyden havaintoja oli verrattain vähän,

joten jakaumien keskiarvot ovat hyvin lähellä toisiaan. Näin ollen laskentaa varten pehmeän saven tilavuuspainoksi valittiin keskimääräinen $\gamma = 14 \text{ kN/m}^3$.



Kuva 5. Östersundomin alueen maanäytteiden tilavuuspainon jakaumat keskiarvoineen savelle ja liejulle sekä yli 1 m syvyyden savelle ja liejulle.

Koska havaintoja korkeintaan 1 m syvyyden maakerroksesta oli vähän, kuivakuorisavelle oletettiin $\gamma = 16 \text{ kN/m}^3$.

3.3.4 Suljettu leikkauslujuus

Siipileikkauskoetuloksia ja näytteiden hienouslukuja sekä kartiolujuuksia tarkasteltiin kahdesta syystä:

- 1) Kuivakuorisaven moduulin arviointi suljetun leikkauslujuuden perusteella
- 2) Pehmeän saven suljetun leikkauslujuuden asettamat reunaehdot stabiliteetin kannalta

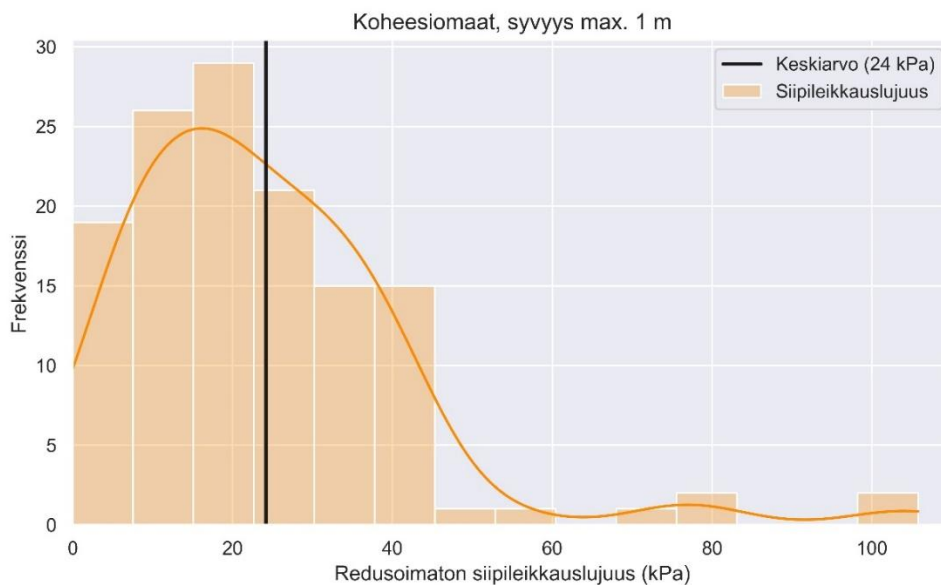
Ne siipileikkauskokeet, jotka oli tehty korkeintaan 1 m syvyydellä, oletettiin edustavan kuivakuorisavea. Kuivakuorisavelle redusoimaton siipileikkauslujuus oli keskimäärin $s_v = 24 \text{ kPa}$ (Kuva 6). Redusointia varten määritettiin lisäksi kuivakuoren keskimääräinen hienousluku $F = 105$ (Kuva 7a).

SGY:n (2022) kairausoppaan ohjeistuksen mukaan redusoiduksi kuivakuorisaven suljetuksi leikkauslujuudeksi saadaan siten:

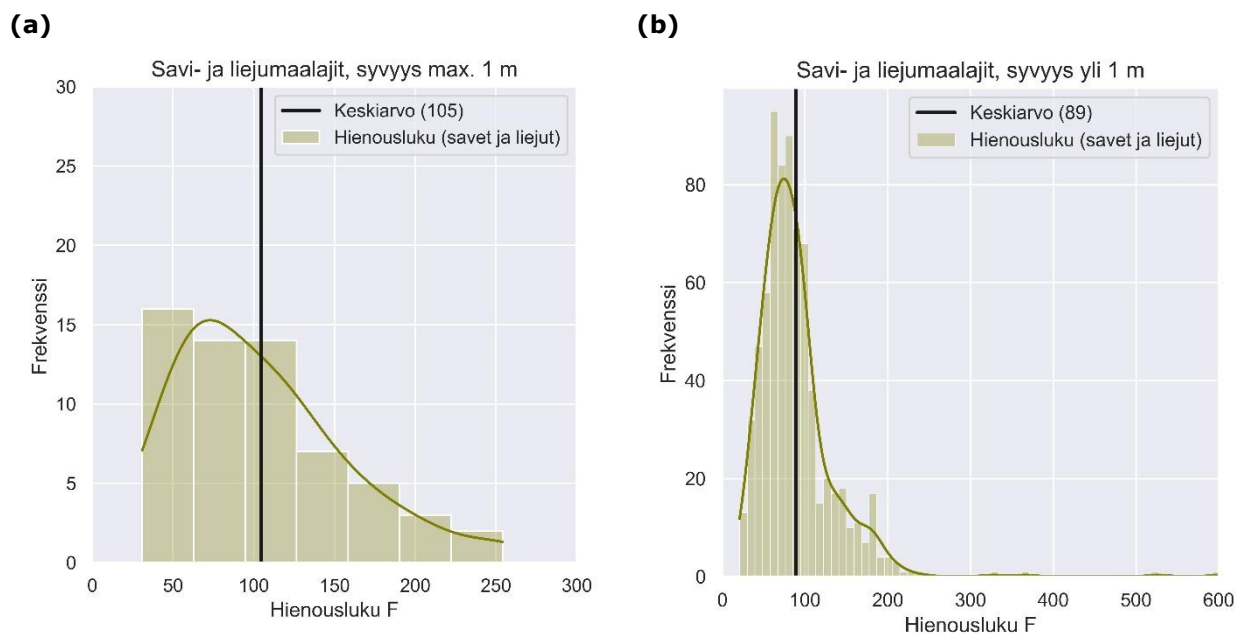
$$s_u = \mu \cdot s_v = \frac{1,5}{1 + \frac{F}{100}} \cdot s_v = \frac{1,5}{1 + \frac{105}{100}} \cdot 24 \text{ kPa} = 0,73 \cdot 24 \text{ kPa} = 18 \text{ kPa}$$

Kuivakuori (kuSa) oletettiin voimakkaasti ylikonsolidoituneeksi. kuSa-kerroksen vakiomoduuli M perustuu ruotsalaiseen empiiriseen korrelaatioon (esim. Larsson 1986):

$$M_0 = 250 \cdot s_u = 250 \cdot 18 \text{ kPa} = 4500 \text{ kPa}$$

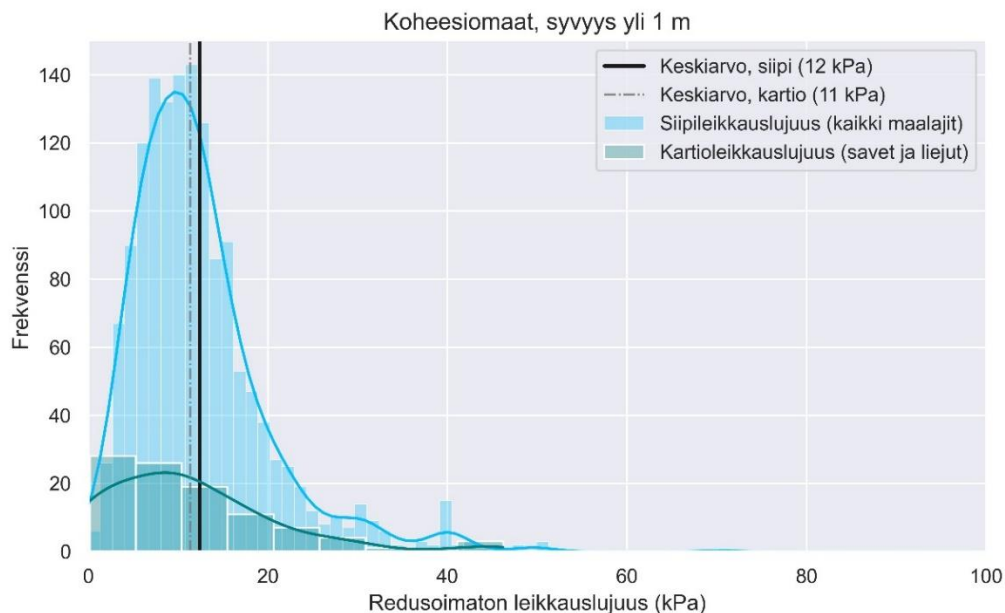


Kuva 6. Siipileikkauskokeen tulokset korkeintaan 1 m syvyydellä: jakauma ja keskiarvo.



Kuva 7. Östersundomin savi- ja liejunäytteiden hienousluvut syvyydellä (a) korkeintaan 1 m (kuivakuorisavi); ja (b) yli 1 m (pehmeä savi).

Pehmeän saven (syvyys yli 1 m) jakaumat siipileikkaus- ja kartiolujuuksille on esitetty Kuvassa 8. Siipileikkauskoetuloksia oli enemmän, ja tulokset olivat linjassa kartiokokeiden kanssa, joten pehmeän saven redusoimattomaksi leikkauslujuudeksi valittiin keskiarvo 12 kPa.



Kuva 8. Yli 1 m syvyyden koheesiomaat: kartiokokeella määritetyt redusoimattomat leikkauslujuudet savi- ja liejunäytteille ja siipileikkauskokeen tulokset (histogrammit ja keskiarvot).

Yli 1 m syvyyden saven leikkauslujuuden redusointia varten määritettiin lisäksi keskimääräinen hienousluku $F = 89$ (Kuva 7b):

$$s_u = \mu \cdot s_v = \frac{1,5}{1 + \frac{F}{100}} \cdot s_v = \frac{1,5}{1 + \frac{89}{100}} \cdot 12 \text{ kPa} = 0,79 \cdot 12 \text{ kPa} = 9,5 \text{ kPa}$$

Yli 1 m syvyyden savi- ja liejumaakerrostumien keskimääräinen s_u vastaa siten hyvin pehmeää ($s_u \leq 10$ kPa) hienorakeista maakerrosta geoteknisen maalajiluokituksen mukaan (Korhonen, Gardemeister & Tammirinne 1977). Näin ollen voidaan olettaa, että kerralla rakennettava pengerkorkeus on korkeintaan 2 m. Maaperäolosuhteista riippuen tällöinkin voidaan joutua käyttämään vaiheittain pengerrystä ja/tai geolujitteita. Vaiheittain pengerrys vaatii pidemmän esikuormitusajan.

3.4 Painumalaskelman parametrit

Painumalaskentaa varten määritetyt maaparametrit on koostettu Taulukkoon 2.

Taulukko 2. Painumalaskelman parametrit.

Maakerros	Paksuus [m]	Tilavuuspaino [kN/m ³]	NK/YK	M [kPa]	m_1	β_1	$c_{v,YK}$ [m ² /a]	$c_{v,NK}$ [m ² /a]
kuSa	1	16	YK	4500	-	-	5	-
Sa	{1;2;3;4;6;8;10} m	14	NK	-	7,9	0	-	0,5

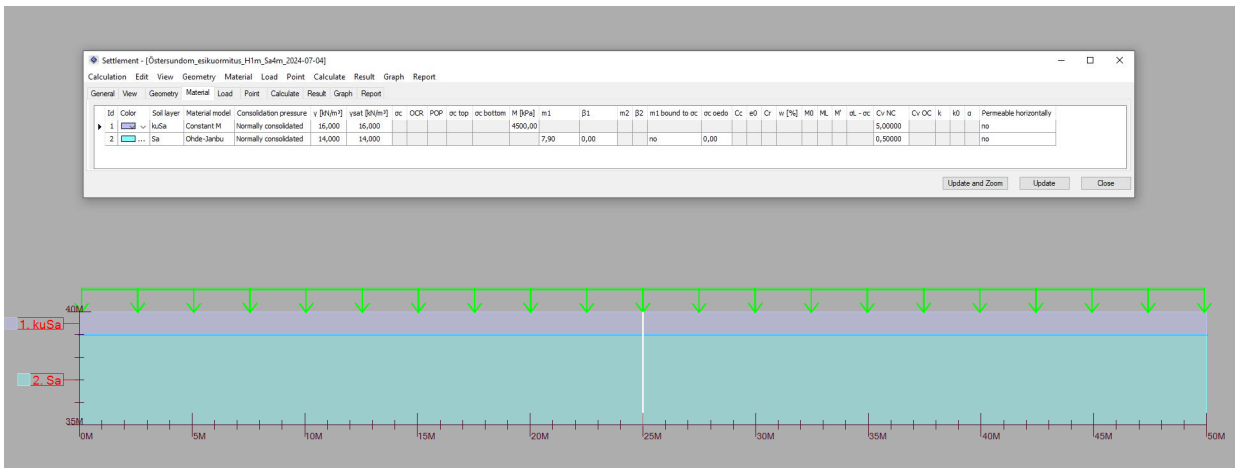
Kuvaukset: NK = normaalkonsolidoitunut; YK = ylikonsolidoitunut; M = vakiomoduuli; m_1 = NK-alueen moduuliluku; β_1 = NK-alueen jännityseksponentti; c_{v_NK} = NK-alueen konsolidaatiokerroin; c_{v_YK} = YK-alueen konsolidaatiokerroin

4. Painumalaskelman tulokset

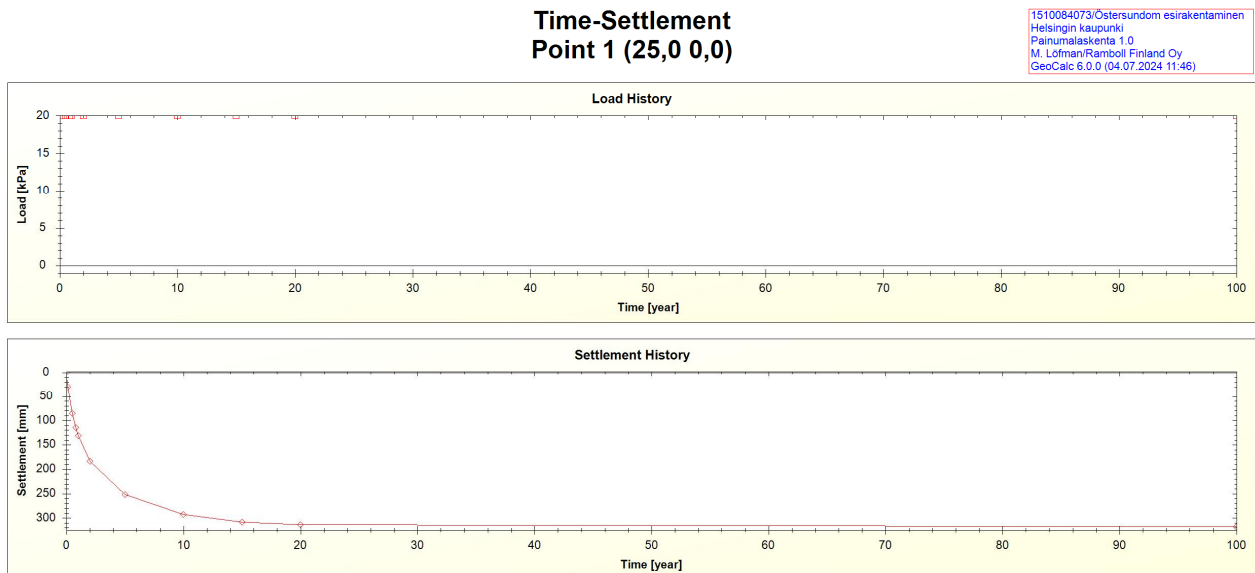
Painumalaskelmat tehtiin GeoCalc-laskentaohjelmistolla.

4.1 Laskelman esimerkkitulosteita

Esikuormituksen edellyttävä pengermateriaalin määrä (massatarve) arvioitiin painumalaskelmien avulla. 5 m syväle savikolle tehtiin ensin testilaskenta olettaen kuormitukseksi 20 kPa (ks. Kuva 9). Esimerkkejä laskelman tuloksista on esitetty Kuvissa 10 ja 11.



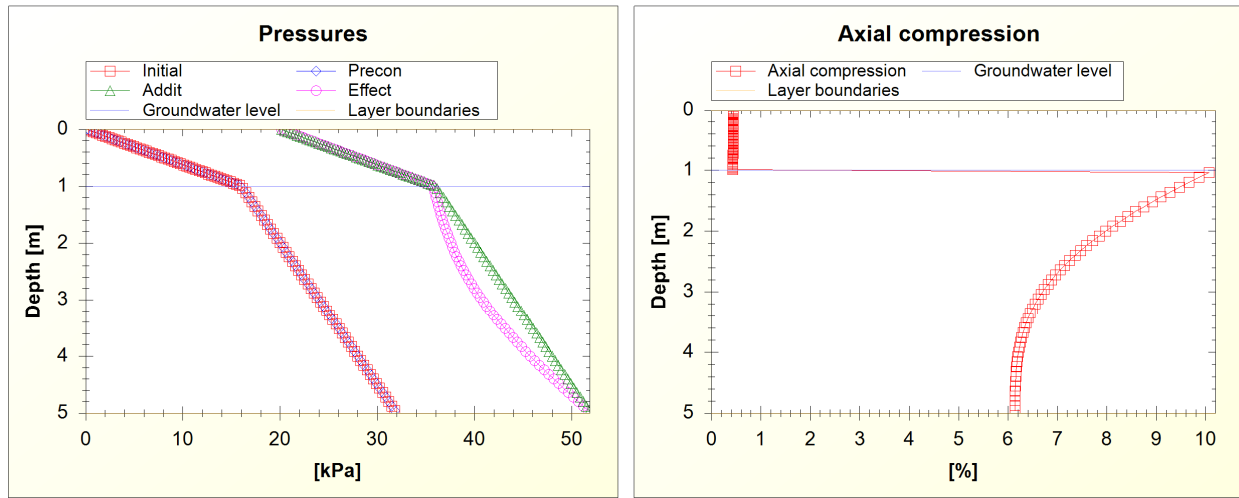
Kuva 9. Esimerkki painumalaskelman geometriasta ja laskentaparametreista: 5 m syvä savikko.



Kuva 10. Testilaskenta, 5 m syvä savikko: aika-painuma, kun pengerkuorma on 20 kPa.

Stress-Time
Point 1 (25,0 0,0) Time 10,00 a

1510084073/Östersundom esirakentaminen
Helsingin kaupunki
Painumalaskenta 1.0
M. Löfman/Ramboll Finland Oy
GeoCalc 6.0.0 (04.07.2024 11:46)



Kuva 11. Testilaskenta, 5 m syvä savikko: tehokkaat jännitykset ja muodonmuutosjakauma, kun pengerkuorma on 20 kPa (ajanhetki 10 vuotta kuormituksen alusta alkaen).

4.2 Massatarve

Eri pengerkuormille ja savikon syvyys -tapauksille arvioidut loppupainumat metreinä on koottu Taulukkoon 3.

Tulosten avulla määritettiin massatarve eri tilanteissa. Esimerkiksi 5 m syvän savikon osalta, jotta lopullinen tasaus olisi 2 m maanpinnan yläpuolella, olisi massatarve 3,017 m:

$$\text{massatarve} = \frac{\text{suunniteltu tasauksen nousu}}{2 \text{ m}} + \frac{\text{painuma}}{0,514 \text{ m}} + \frac{20\% \text{ pengerkorkeudesta}}{0,2 * (2 + 0,514) \text{ m}} = 3,017 \text{ m}$$

Toisin sanoen esikuormituksen alussa pengerkorkeuden on oltava 3,0 m.

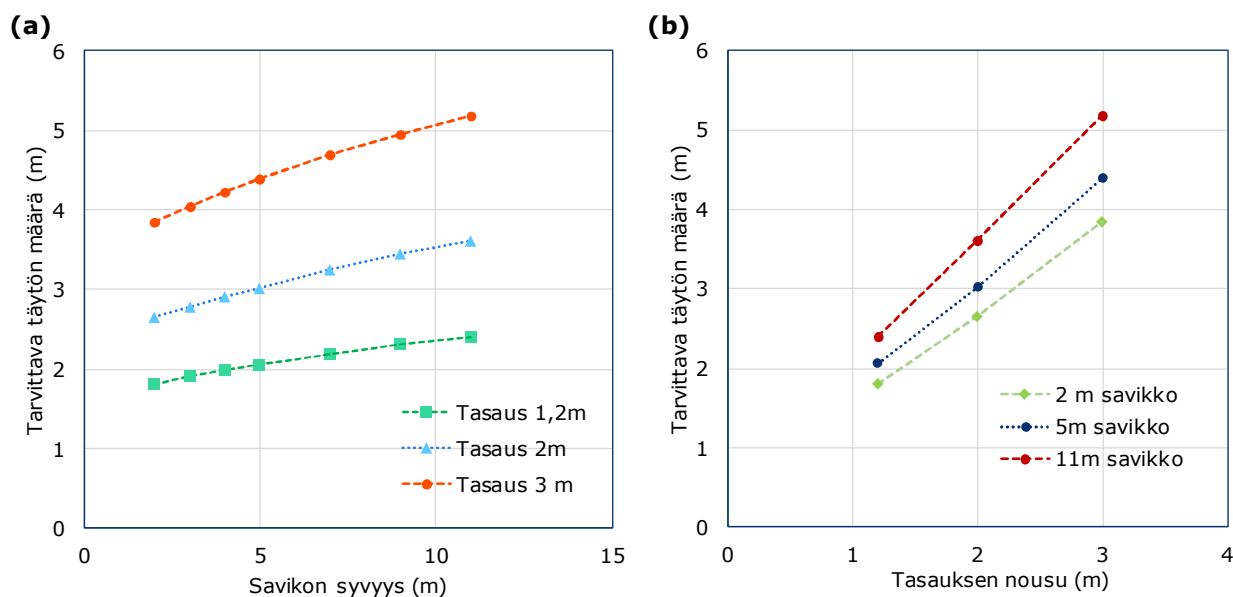
Arvioidut massatarpeet eli tarvittavat pengerkorkeudet eri tapauksille on koottu Taulukkoon 4. Massatarve savikon syvyyden ja tasauksen nousun funktiona on esitetty Kuvassa 12.

Taulukko 3. Kokonaispainumat (m) eri pengerkorkeus- ja savikon syvyys -tapauksille.

Pengerkorkeus (m)	Savikon syvyys (m)						
	2	3	4	5	7	9	11
1,2	0,113	0,206	0,289	0,364	0,493	0,604	0,700
2	0,157	0,289	0,407	0,514	0,703	0,867	1,012
3	0,199	0,366	0,517	0,657	0,905	1,123	1,318

Taulukko 4. Massatarve eli tarvittavat pengerkorkeudet (m) eri tasaus - ja savikon syvyys -tapauksille.

Tasauksen nousu (m)	Savikon syvyys (m)						
	2	3	4	5	7	9	11
1,2	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4
2	2,7	2,8	2,9	3,0	3,2	3,4	3,6
3	3,8	4,0	4,2	4,4	4,7	4,9	5,2

**Kuva 12. Koosteita tuloksista: (a) savikon syvyys vs. massatarve eri tasauksille; (b) tasaus vs. tarvittava pengerkorkeus eri savikon syvyyksille.**

4.3 Tarvittava esikuormitusaika

Tarvittava painuma-aika määritettiin valikoiduille tapauksille (savikon syvyys 3 m tai 5 m). Tarvittava esikuormitusaika määritettiin siten, että 90...95 % painumasta on ehtinyt tapahtua.

Tulokset on koottu Taulukkoon 5. Tarvittava painuma-aika kasvaa savikon syvyyden suhteen, eli 2–3 m syvän savikon tapauksessa tarvittava painuma-aika on arviolta korkeintaan 3 vuotta.

Taulukko 5. Arvioitu tarvittava esikuormitusaika vuosina valikoiduille tapauksille.

Tasauksen nousu (m)	Savikon syvyys (m)						
	2	3	4	5	7	9	11
1,2	N/A	3	N/A	10	N/A	N/A	N/A
2	N/A	2	N/A	10	N/A	N/A	N/A
3	N/A	2	N/A	9	N/A	N/A	N/A

5. Kirjallisuusluettelo

CivilPoint. (2024). Novapoint GeoCalc 3.2. Painumalaskenta, teoria. URL:
<https://docs.civilpoint.fi/GeoCalc/3.2/>

Kohonen, E. (2007). Nauhapystyöjitetty kiitotie. Esitys Pohjanvahvistuspäivässä 2007.

Korhonen, K-H., Gardemeister, R. & Tammirinne, M. 1974. Geotekninen maaluokitus. Geotekniikan laboratorio, tiedonanto 14. VTT: Otaniemi.

Köylijärvi, S. (2015). Saven anisotropian ja destruktuuraation vaikutuksen mallintaminen Östersundomin koepenkereellä. Diplomityö, Aalto-yliopiston Insinööritieteiden korkeakoulu. Aalto-yliopisto: Espoo.

Larsson, R. (1986). Consolidation of soft soils. Rapport 29. SGI: Linköping.

SGY (Suomen Geoteknillinen Yhdistys). (2022). Kairausopas II: Siipileikkauskoe. URL:
<https://sgy.fi/content/uploads/2022/12/kairausopas-2-siipileikkauskoe-2022-12-07.pdf>