



**SAVONIA**

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

# LOUHEPENKEREEN RAKENTAMINEN JA PAINUMASEURANTA

Cederbergin aukion esirakentaminen

TE -  
KIJÄ:

Tiina Matilainen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Rakennusmestarin tutkinto-ohjelma			
Työn tekijä Tiina Matilainen			
Työn nimi Louhepenkereen rakentaminen ja painumaseuranta			
Päiväys	1.12.2020	Sivumäärä/Liitteet	29/2
Ohjaajat Kai Auvinen lehtori, Juha Pakarinen lehtori			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani Savon Kuljetus Oy / Janne Lasarov työpäällikkö			
Tiivistelmä <p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia louhepenkereen rakentamista ja sen painuman mittausta. Tavoitteena oli kirjoittaa selkeä ohje aiheesta. Opinnäytetyö tehtiin Savon Kuljetus Oy:lle.</p> <p>Opinnäytetyötä kirjoitettaessa perehdyttiin voimassa oleviin ohjeisiin ja vaatimuksiin louhepenkereen rakentamisesta ja painumaseurannasta. Infra RYL:istä sekä Väylän ohjeista ja vaatimuksista löytyi suurin osa tiedoista. Opinnäytetyössä käytiin läpi louhepenkereen rakenne ja rakentaminen sekä mahdolliset vaatimukset. Opinnäytetyössä perehdyttiin Joensuussa sijainneeseen työmaahan, Cederbergin aukion esirakentaminen. Opinnäytetyön aikana vierailtiin työmaalla ja perehdyttiin myös työmaan painumamittaustuloksiin. Työmaan johtoa ja rakennuttajaa haastateltiin, jotta opinnäytetyöhön saataisiin perusteellisempaa tietoa työmaasta. Painumaa seurattiin viiden kuukauden ajan. Kohteessa havaittiin 4–12 millimetrin painumaa suurimmassa osassa mittauspisteitä. Yhdessä mittauspisteessä havaittiin suurempi 38 mm:n painuma.</p> <p>Työmaahan ja tuloksiin perehdyttäessä huomattiin, että varsinaiseen painumamittaustyöhön tulisi laatia selkeä ohje, joten sellainen tehtiin. Havaittiin myös, että selkeää ohjetta louhepenkereen rakentamisesta on haastavaa tehdä, koska vaatimukset penkereelle vaihtelevat riippuen rakennuskohteen tarkoituksesta, sen pohjaolosuhteista kuin myös rakennuttajasta.</p>			
Avainsanat Louhepenker, painumamittaus, painumaseuranta			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Construction Management			
Author Tiina Matilainen			
Title of Thesis Building of Blasted Stone Embankments and Monitoring Settlement			
Date	1 December 2020	Pages/Appendices	29/2
Supervisors Mr Kai Auvinen, Senior Lecturer and Mr Juha Pakarinen, Senior Lecturer			
Client Organisation /Partner Savon Kuljetus Oy / Mr Janne Lasarov, Project Manager			
<p>Abstract</p> <p>The subject of this final project was to study how blasted stone embankments are built and settlement is monitored. The aim was to write clear instructions for building blasted stone embankments and measuring settlement. This final project was commissioned by Savon Kuljetus Oy.</p> <p>Most of the instructions and standards in this thesis were taken from Infra RYL and Väylä. In this work the structure of blasted stone embankment, how it is made and possible standards concerning it were discussed. The object was the preconstruction of the Cederberg Square located in Joensuu. During the project the site was visited and the settlement in it was monitored. The Site management and property developer were interviewed to get more accurate information from the site. The settlement was monitored for five months. A settlement of 4–12 millimeter was discovered at most monitoring points. A settlement larger than 38 millimeter was discovered at one monitoring point.</p> <p>The project and the results showed that for actual settlement measuring instruction should be drawn up and therefore it was done. It was also discovered that clear instructions for building blasted stone embankments is challenging because the standards for the embankments depends on the purpose of construction object, ground base conditions as well as from the developer.</p>			
Keywords blasted stone embankment, settlement measuring, settlement monitoring			

## ESIPUHE

Tämä opinnäytetyö tehtiin Savon Kuljetus Oy:n toimeksiantona omasta aloitteestani. Haluan kiittää kaikkia, jotka ovat edesauttaneet tiedoillaan opinnäytetyötäni. Erityiskiitokset ansaitsevat Janne Lassarov Savon Kuljetus Oy:ltä ja Janne Kettunen Joensuun Kaupungilta. Samoin kiitosta ansaitsee Opinnäytetyöni ohjaaja Kai Auvinen, joka vankalla ammattitaidollaan ohjasi minua eteenpäin. Haluan myös kiittää erityisesti aviomiestäni ja isääni, joita ilman opinnäytetyöni tekemisestä ei olisi tullut mitään.

Joensuussa 1.12.2020

Tiina Matilainen

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	7
1.1	Tausta.....	7
1.2	Yritysesittelyt.....	8
1.3	Keskeiset käsitteet .....	8
2	LOUHEPENKEREEN RAKENNE .....	9
2.1	Louhepenkereen pohjaolosuhteet.....	9
2.2	Pohjatutkimusmenetelmät .....	9
3	TOTEUTUS.....	11
3.1	Pintamaan poisto .....	11
3.2	Louhepenkereen materiaalit .....	11
3.3	Pengerrys.....	12
3.4	Tiivistys.....	12
3.5	Valmis louhepengeri.....	12
4	LOUHEPENKEREEN RAKENTAMISEN RISKIT .....	14
5	PAINUMASEURANTA .....	15
5.1	Painumamittausmenetelmät .....	15
5.2	Painumamuodot.....	17
5.3	Painumien mittaus .....	18
6	PROJEKTITYÖMAA.....	20
6.1	Pohjaolosuhteet .....	21
6.2	Toteutus .....	22
6.3	Riskit.....	24
6.4	Painumaseuranta .....	25
7	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA.....	29
	LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT .....	30

## KUALUETTELO

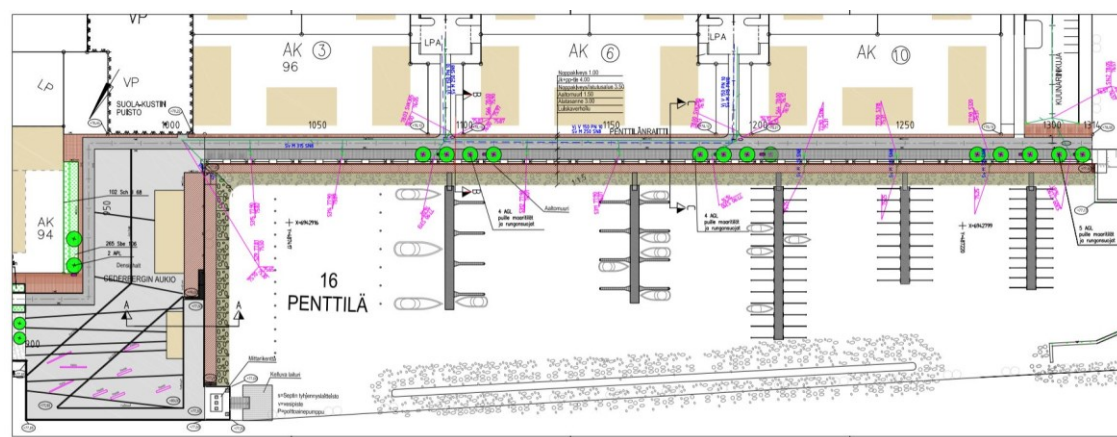
KUVA 1. Cederbergin aukion - kaivannonpuisto, suunnitelmakartta (Joensuun kaupunki) .....	7
KUVA 2. Laadunvalvontamittaukset ja koekuormitukset, menetelmäohjeet (Liikennevirasto 2015) ..	15
KUVA 3. Painumatarkistin (Liikennevirasto 2011, 9) .....	16
KUVA 4. Painumaletku, (Liikennevirasto 2010, 10) .....	17
KUVA 5. GNSS-mittalaite (Geotrim) .....	18
KUVA 6. Robottitakyometri (Geotrim) .....	18
KUVA 7. Kohteen sijainti Joensuun alueella (Joensuun kaupungin karttapalvelu) .....	20
KUVA 8. Havainnekuva Cederbergin aukiosta (Karjalainen) .....	21
KUVA 9. Cederbergin aukion ja penttilänraitin sijainti (Joensuun kaupunki) .....	22
KUVA 10. Cederberginaukion paalukohtainen poikkileikkaus PL920 (Joensuun Kaupunki) .....	22
KUVA 11. Pintamaat poistettu Penttilänraitilta (Matilainen Joel) .....	23
KUVA 12. Penkereen rakentaminen Cederbergin aukio (Matilainen Tiina) .....	23
KUVA 13. Penttilänraitti ja Cederbergin aukio Pyhäselän suunnasta (Matilainen Tiina) .....	24
KUVA 14. painumamittauspisteen ohjekuva sekä sijaintitiedot (Joensuun kaupunki) .....	25
KUVA 15. Painumamittausohje Cederbergin aukion esirakentamiseen (Joensuun kaupunki) .....	25
KUVA 16. Painumamittausangot (Matilainen Tiina) .....	26
KUVA 17. Painumamittauspisteen asennus (Matilainen Tiina) .....	26
KUVA 18. Painumapisteet PT1-3 ja CM1-6 (Joensuun Kaupunki) .....	27
KUVA 19. Painumamittauspisteet PT4-9 (Joensuun Kaupunki) .....	27

## 1 JOHDANTO

Louhepenkereitä rakennetaan Suomessa paljon niin maalle kuin veteen. Niitä voidaan käyttää esimerkiksi esirakentamisessa tulevan painuman pienentämiseksi, satamarakenteissa tai siltojen maatuilla. Yleisimmin louhepenkereitä käytetään vesistöarakentamisessa materiaalin käytettävyyden ja rakenteen säilyvyyden vuoksi. Louhepenker antaa mahdollisuuden rakentaa korkeita penkereitä ja suuria rakenteita, kuten kerrostalo, sen päälle.

### 1.1 Tausta

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on laatia louhepenkereen rakentamisesta sekä painumamittauksesta mahdollisimman selkeä ohje. Samalla pohditaan, kuinka painumamittaukset tulisi tehdä, jotta ne olisi tehty oikeaoppisesti ja mahdollisimman tarkasti. Opinnäytetyössä perehdytään louhepenkereen rakentamiseen voimassa olevien ohjeistuksien ja vaatimuksien avulla sekä käynnissä olevan työkohteen kautta, joka on Cederbergin aukion esirakentaminen Joensuussa (kuva 1). Esirakentamistyöt alkoivat helmikuussa 2020 ja ovat päättyneet huhtikuussa 2020 louhepenkereen rakentamisen osalta. Alueelle rakennetaan vielä vesihuoltojärjestelmiä. Varsinainen aukion rakennekerrosten ja pintarakenteiden rakentaminen alkaa vuonna 2022.



KUVA 1. Cederbergin aukion - kaivannonpuisto, suunnitelmapöytäkuva (Joensuun kaupunki)

“Cederbergin aukion rakentaminen on tavoitteena aloittaa vuonna 2022. Aukio rakennetaan sahan entisen tukkialtaan vierustalle kaupunkilaisten oleskelu- ja virkistysalueeksi. Ympäri aukioita on sijoitettu viheralueita ja suunnittelussa on huomioitu myös skeittauksen mahdollisuus alueella. Aukiolla on tilavaraukset palvelu- ja huoltorakennuksille, terassitoiminnalle sekä ulkouima-alaalle.” (Joensuun kaupunki 2020).

## 1.2 Yritysesittelyt

**Savon Kuljetus Oy** on vuonna 1965 savolaisten kuljetusyrittäjien perustama kuljetusliike. Se on kasvanut kuljetustilauskeskuksesta kuljetus- sekä infra-alan vankaksi ammattilaiseksi. (Savon Kuljetus Oy 2020). Kauppalehden (2020) mukaan yritys työllisti vuonna 2019 yli 160 henkilöä ja sen liikevaihto oli 95,4 Milj. euroa. Sen toimialueena on koko Suomi.

**Joensuun Kaupunki** on Itä-Suomessa Pohjois-Karjalan läänissä sijaitseva kunta ja se on perustettu vuonna 1848. Joensuun kaupunki on Suomen 12. suurin kaupunki. Asukkaita Joensuussa on yli 76 000 vuonna 2019. Vuoden 2018 lopussa Joensuun kaupungilla oli vakituisia työntekijöitä hieman alle 1900. Kaupunkirakenneyksikkö rakennuttaa, rakentaa ja ylläpitää kaupungin infraa ja kunnallistekniikkaa (Joensuun kaupunki 2020).

## 1.3 Keskeiset käsitteet

hienoaines = 0,063 kiviainesseulan läpäisevä materiaali

louhe = kalliosta irti louhittua kiviainesta, jonka seassa on alle 7 % hienoainesta

louhepenger = louheesta kerroksittain rakennettu penger

painuminen = liikettä, jota tapahtuu, kun maa-aines puristuu kasaan tai täyttö painuu kokoon

PA = painokairaus

SI = siipikairaus

m3ktr = kiintoteoreettinen tilavuuskuutio

m3rtr = rakenneteoreettinen tilavuuskuutio

sedimentti = kerrostunutta irtainta maa-ainesta



## 2 LOUHEPENKEREEN RAKENNE

Louhepengeri rakennetaan karkeasta kiviaineksesta, jossa on hienoainesta enintään 7 %, eli louheesta. Louhe irrotetaan kalliosta louhimalla ja erilaisia louhekokoja saadaan esimerkiksi erilaisilla panostusmäärillä sekä porauskuvioilla. Louhepenkereistä voidaan tehdä matalia tai korkeita, riippuen mitä kohde vaatii. Molemmilla saadaan vahva ja kestävä rakenne, kun se on rakennettu oikein.

### 2.1 Louhepenkereen pohjaolosuhteet

Lähtökohtaisesti louhepenkereitä rakennetaan heikosti kantaville maa- ja vesistöalueille. Tavoitteena voi olla esimerkiksi ranta-alueen laajentaminen hyötykäyttöön asuinalueeksi tai satama-alueen suojaaminen veden vaikutuksilta. Louhepengertä käytetään myös usein siltojen päätypenkkojen rakentamismenetelmä. Yleisimmin louhepenkereitä käytetään vesistö rakentamisessa materiaalin käytettävyyden ja rakenteen säilyvyyden vuoksi. Louhe materiaalina antaa mahdollisuuden rakentaa korkeita penkereitä ja suuria rakenteita, kuten kerrostalo, sen päälle.

Heikon kantavuuden vuoksi pohjaolosuhteista tulee tehdä kunnolliset selvitykset erilaisilla pohjatutkimusmenetelmillä, esimerkiksi kairaamalla. Tutkimuksilla saadaan selville maaperän pohjaolosuhteet, jotka vaikuttavat rakennettaviin kohteisiin ja niiden perustustapoihin. Auvinen (2020) kertoi, että siipikairauksilla saadaan saven ja liejun leikkauslujuus, jota voidaan hyödyntää esimerkiksi stabiiliteettilaskelmissa.

### 2.2 Pohjatutkimusmenetelmät

Pohjatutkimusmenetelmiä on useita erilaisia. Rakennettavaa aluetta suunniteltaessa tulee valita oikeat ja riittävän tarkat tiedot antavat menetelmät. Myös käynnissä oleva suunnitteluvaihe vaikuttaa tehtäviin tutkimuksiin ja niiden määrään. Tutkimusten tilaaja vaikuttaa omalta osaltaan siihen, kuinka paljon, minkälaisia ja -hintaisia tutkimuksia tehdään. Pehmeikölle tehtäviä pohjatutkimusmenetelmiä on mm. seuraavia:

- kartta- ja ilmakuvatulkinta
- geofysikaaliset menetelmät
- kairaukset
- näytetutkimukset.

Näitä menetelmiä käytetään kohteen esisuunnittelussa, rakennussuunnittelussa sekä rakentamisaikana. Myös kohteen rakentamisen jälkeen on mahdollista varmistua rakenteen oikeellisuudesta kyseisillä menetelmillä. (Tielaitos 1998.)

#### **Painokairaus**

Painokairaus on yleisimmin käytetty menetelmä pohjatutkimuksissa. Se on staattinen kairausmenetelmä ja siinä kaira tungetaan maahan kuormittamalla sitä eri suuruisilla painoilla sekä kiertämällä.

Painokairauksella selvitetään pääasiallisesti maakerrosten kerrosrajoja ja rakenteita havainnoimalla kairan käyttäytymistä ja kairausvastusta. Maakerrosten ominaisuuksia tarkennetaan näytteenotolla ja laboratoriotutkimuksilla tai vaihtoehtoisesti muilla lisäkairauksilla, kuten siipi- tai heijarikairauksilla. Painokairaus on mahdollista suorittaa käsin tai koneellisesti. Kairaus päättyy, kun kaira ei mene enää syvemmälle edes lyömällä tai ohjesyvyys on saavutettu. Kairauksista tehdään aina pöytäkirja ja niihin tulee merkata muun muassa kairauksen päättymissy, esimerkiksi arvioitu kivi tai lohkar. (Kairausopas 1, 1980.)

### **Siipikairaus**

Pehmeiköille soveltuva menetelmä, jolla mitataan hienorakeisten maiden suljettua leikkauslujuutta. Siipikairausta suoritetaan muiden kairausten lisäksi niitä tukemaan. Siipikairauksessa käytetään suojaputkea estämään maa-ainesten tarttuminen tankoon. Koe itse on suoritettava riittävän hitaasti, koska liian nopea vauhti voi aiheuttaa virheellisiä tuloksia. (Heiskanen 2017.)

### 3 TOTEUTUS

Alueen esitutkimusten, suunnitelmien laadinnan, urakan kilpailutuksen ja urakoitsijan valinnan jälkeen louhepenkereen rakentaminen aloitetaan pintamaan poistolla. Jatko riippuu rakennuskohteesta ja louhepenkereen tarkoituksesta, eli siitä onko sillä tarkoitus tehdä esimerkiksi vahva pohjarakenne ja täyttää ranta-alueita vai tehdä suuri painopenger. Kustannustehokkuuden vuoksi kertaalleen työmaalle tuotua ja tiivistettyä louhetta ei kannata kaivaa ja kuljettaa pois, vaan jättää se täyttömateriaaliksi rakennekerrosten alle, jos vain on mahdollista.

#### 3.1 Pintamaan poisto

Rakennettavalta alueelta poistetaan muun muassa humusta sisältävät pintamaat ja kuljetetaan asialliseen läjityspaikkaan, jos työmaalla ei ole niille käyttökohdetta. Suunnittelija on tehnyt laskelmat ja suunnitelmat tarvittavasta kuorinta- ja leikkaussyvyydestä, josta penkereen alin täyttöpinta alkaa. Vesistökohteissa vesistön pohja on mahdollisesti ruopattu tai vähintään tutkittu, jotta tiedetään, kuinka paljon louhemenkkiä on arviolta odotettavissa. Menekin arviointi on hyvin haastavaa, vaikka kohteesta olisi tehty tarkat tutkimukset.

#### 3.2 Louhepenkereen materiaalit

Louhetäytön vaatimuksena on, että se rakennetaan sekarakeisesta louheesta, jotta täyttöön muodostuvat tyhjätilat jäävät mahdollisimman pieniksi. Kiviaines ei saa olla routivaa tai rapautunutta, eikä se saa sisältää lohkarkeitä, joiden läpimitta on suurempi kuin  $2/3$  ja penkereen yläosassa  $1/2$  keralla tiivistettävän kerroksen paksuudesta. Ohjeena on myös, että materiaali ei saa sisältää savea, puu- tai raivausjätteitä, jäätä, lunta eikä muita haittaavia tai vaurioittavia aineksia. Kun louherakenne muodostaa osan tierakenteen routamitoituksesta, sovelletaan seuraavaa hienoainespitoisuutta koskevaa rajoitusta: Mikäli louhe on hienoainespitoista kalliolaadusta tai louhintamenetelmästä johtuen, saa raekooltaan  $0,063$  mm pienempää hienoainesta olla enintään  $7$  % ja hehkutus-häviö  $<0,5$  mm:n rakeista vähemmän kuin  $3$  %. (InfraRYL 2020 infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Päällys- ja pintarakenteet.)

## TAULUKKO 1. Suurin sallittu pengerpaksuus (InfraRYL 2020 infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Päälyys- ja pintarakenteet)

**Vaatus**  
Pengerpaksuuksien suurimmat sallitut lohkokoot ovat *taulukon 181121:T1* mukaiset.

**Taulukko 181121:T1.** Suurin sallittu lohkokoko pengerpaksuuksittain.

Etäisyys louhepenkereen yläpinnasta	Suurin sallittu lohkokoko, mm		
	≤ 1 m	1...3 m	> 3 m
Tie	250 <sup>2)</sup>	600	900
Katu	250 <sup>2)</sup>	600	900
Rata <sup>1)</sup>	250 <sup>2)</sup>	300	300

<sup>1)</sup> Ratapenkereissä louhetta voidaan käyttää pengertäytteenä, kun penkereen korkeus on vähintään 1 m.  
<sup>2)</sup> Rakeisuusvaatimus on *luvun 21210 taulukon T21210:T5* mukainen.

Louhepenkereen kiilausmateriaalina käytetään routimatonta kalliomurskettä, jonka rakeisuus on 0/90, jos lohkokoko on enintään 300 mm.  
Kiilausmateriaalin rakeisuudet, testausiheydet ja kelpoisuuden osoittaminen ovat jakavan kerroksen mukainen (*luku 21210*).

Jos alkukiilaukselle on tarvetta, käytetään karkeaa murskettä tai penkereessä enimmäisraekooltaan käytettävää louhetta. (InfraRYL 2020 infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Päälyys- ja pintarakenteet; taulukko 1.)

### 3.3 Pengerrys

Pengerrys aloitetaan aina puhtaalta leikkauspinnalta, jotta penkereen alle ei jäisi humusmaita. InfraRYL:in (2020) mukaan penkereen korkeuden ollessa alle 2 m pehmeällä pohjamaalla, tulee penkereen alle rakentaa 300 mm paksuinen suodatinkerros tai asentaa N5 käyttöluokan suodatinkangas. Suodatinkankaita suositellaankin käytettäväksi pehmeillä savi-, lieju- tai turvemaiden penkereiden alla tiealueilla. Vesistökohteissa louhetta ei tulisi kipata suoraan veteen, vaan penkereen reunalle, josta työkone työntää sen paikoilleen. Näin vältetään hienoaineksen häviäminen veteen ja penkereeseen jää jo valmista kiilausmateriaalia pintaan.

### 3.4 Tiivistys

Louhepenger tulisi tiivistää yli 13 tonnisella 1 valssisella täryjyrällä. Yliajokertoja jyrällä yhden metrin paksuiselle penkereelle tulisi olla 7 (InfraRYL 2020 infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Päälyys- ja pintarakenteet Liite 2). Louhepenger kuitenkin tiivistyy työn aikana koneiden ja kuorma-autojen alla huomattavasti. Työnaikainen tiivistäminen onkin tärkeää lopullisen rakenteen kannalta.

### 3.5 Valmis louhepenger

Valmis louhepenger tulee olla kiilattu pinnastaan ja muodoltaan urakka-asiakirjojen mukainen. Kohteesta toimitetaan mittatiedot urakan tilaajalle tilaajan vaatimassa muodossa. Valmiista penke-

reestä voidaan ottaa koemittauksia ja tehdä koekuoppia tai kairauksia, jotta voidaan varmistua kohteen vaatimustenmukaisuudesta. (InfraRYL 2020 infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Päällys- ja pintarakenteet.) Louhepenkereen vaatimukset riippuvat tilaajasta ja penkereen käyttötarkoituksesta.

#### 4 LOUHEPENKEREEN RAKENTAMISEN RISKIT

Louhepenkereen rakentamisessa on useita riskejä, jotka on otettava huomioon jo suunnitteluvaiheessa. Näitä ovat muun muassa penkereen stabiliteetti, pohjamaan painuminen, penger materiaalin menekki ja siihen liittyen kustannukset. Myös vesistöön rajoittuvissa kohteissa aikataulu on aina taustalla riskinä, koska AVI:n vesistöluvan mukaisesti vesistökohteissa rakentamisen tulee rajoittua 15.10–31.5 väliselle ajanjaksolle (Joensuun kaupunki). Varsinkin veteen pengerrettäessä tulee olla huolellinen, koska työt saattavat irrottaa vesistön pohjassa sijaitsevia materiaaleja, kuten sedimenttiä.

Kohteita suunniteltaessa on tehtävä huolelliset tutkimukset alueen pohjaolosuhteista ja maalajeista, joihin liittyvät stabiliteetin ja painumien laskeminen. Lopullista painumaa on hyvin hankala laskea, eikä tavoitepainumia välttämättä edes aseteta. Huonosti tehty penger voi löyhtyä ja painua huomattavasti tai pohjamaa voi olla oletettua huonommin kantavaa ja puristua kasaan paljon enemmän, kuin suunnitteluvaiheessa on ajateltu. Jos penger painuu syystä tai toisesta enemmän kuin suunniteltu, esimerkiksi jo työvaiheessa, kohteeseen voidaan joutua lisäämään penger materiaalia. Tämä aiheuttaa tilaajalle lisäkustannuksia projektiin. Jos pohjamaa on oletettua herkemmin häiriintyvää, on mahdollista, että alueelle muodostuu stabiliteettiriski. Tällöin voi muodostua liukumurtopintoja varsinkin vesistöjen lähellä.

## 5 PAINUMASEURANTA

Louhepenkereen ja muiden raskaiden pengerrakenteiden suunnittelussa ja rakentamisessa on otettava huomioon painuminen. Kuvassa 2 on kerrottu esimerkiksi painuman ja kokoonpuristuman seurantamittauksista ja niihin liittyvistä menetelmäohjeista. Pehmeikölle rakennettavat kohteet voivat vaatia painopenkereen, jotta pohjamaa painuu niin, etteivät sen päälle rakennettavat rakenteet vaurioidu. Kohteelle voidaan asettaa tietty tavoite laskelmien perusteella tai sen voidaan antaa painua niin pitkään, kunnes painumaa ei enää tapahdu.

Liikenneviraston ohjeita 10/2015 31  
Geotekniset tutkimukset ja mittaukset

### 5.2.4 Laadunvalvontamittaukset ja koekuormitukset

Taulukko 5. Laadunvalvontamittaukset ja koekuormitukset

Tutkittava rakenneos ja tutkimusmenetelmä	Menetelmäohje	Huomautus
Ratapenkereen stabiiliteettiin liittyvät seurantamittaukset	RATO3	Kirjallisuusviite: Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 40/2010
Seurantamittaukset: painuma ja kokoonpuristuma	Siirtymä- ja huokospainemittausten sekä paalujen koekuormituksen menetelmäkuvaukset, Liikenneviraston ohjeita 5/2011  Yrityskohtainen menetelmäohje	Laitevalmistajan käyttöohjeet on huomioitava
Seurantamittaukset: sivusiirtymä	Siirtymä- ja huokospainemittausten sekä paalujen koekuormituksen menetelmäkuvaukset, Liikenneviraston ohjeita 6/2011  Yrityskohtainen menetelmäohje	Laitevalmistajan käyttöohjeet on huomioitava  Kirjallisuusviite: Ratapenkereen stabiiliteettiin liittyvät seurantamittaukset ja niiden prosessointi, Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 40/2010
Seurantamittaukset: pohjavedenpinnan ja painetason tutkimukset	SFS-EN ISO 22475-1 (2006-11-27) Geotekninen tutkimus ja koestus. Näytteenotto- menetelmät ja pohjavesimittaukset. Osa 1: Työn suorituksen tekniset periaatteet.  Siirtymä- ja huokospainemittausten sekä paalujen koekuormituksen menetelmäkuvaukset, Liikenneviraston ohjeita 6/2011  Yrityskohtainen menetelmäohje	Laitevalmistajan käyttöohjeet on huomioitava  Kirjallisuusviitteitä:  Pohjaveden hallinta alikulkupaikoilla. Liikenneviraston oppaaita 1/2013.  Pohjavesitilanteen tarkastelu alikulkupaikoilla. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 13/2011.  Kirjallisuusviite: Ratapenkereen stabiiliteettiin liittyvät seurantamittaukset ja niiden prosessointi, Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 40/2010

KUVA 2. Laadunvalvontamittaukset ja koekuormitukset, menetelmäohjeet (Liikennevirasto 2015)

### 5.1 Painumamittausmenetelmät

Painumamittausmenetelmiä on useita ja oikean valinta riippuu kohteesta. Mittausmenetelmän valinta riippuu odotettavissa olevan painuman suuruudesta, nopeudesta ja tarpeellisesta mittaustarkkuudesta. Jokainen rakennuttaja määrittelee kohteen tarpeiden mukaisen painumamittausmenetelmän ja tarkkuusvaatimuksen. Erilaisia painumamittausmenetelmiä on seuraavanlaisia:

- painumatarkistin, joka asennetaan yleensä penkereen päälle
- painumamittausnasta nykyisen tien päällysteessä
- vaakasuora painumaletku
- pystysuora painumaletku.

Jos suunnitelmissa ei ole esitetty tarkempaa vaatimusta mittausmenetelmälle, käytetään yleensä painumatarkistinta. (Liikennevirasto 2010, 8.)

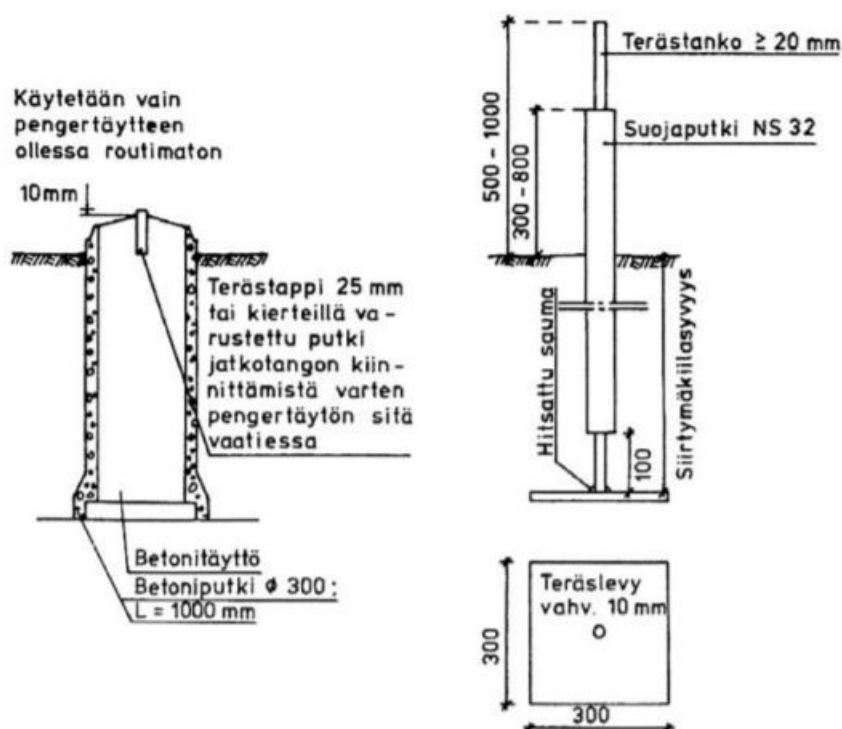
### Painumatarkistin

Painumatarkistin (kuva 3) on yleisin käytetty painumamittausmenetelmä. Siinä ohjeissa määritellyn pituista terästankoa, joka on hitsattu pohjalaattaan, käytetään ilmaisemaan painumista ja kokoonpuristumista. Tangon ympärillä on suojaletku, joka antaa tangon liikkua häiriintymättä. (Liikennevirasto 2010, 8–9.)

Liikenneviraston ohjeita 6/2011

9

### Siirtymä- ja huokospainemittausten sekä paalujen koekuormituksen menetelmäkuvaukset



Kuva 1. Painumatarkistin

KUVA 3. Painumatarkistin (Liikennevirasto 2011, 9)

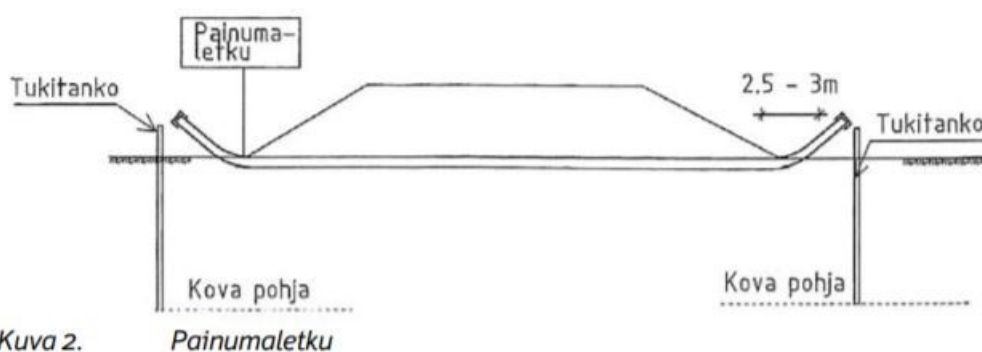


### Painumamittausnasta

Painumamittausnastaa käytetään olemassa olevan tienpinnan painumamittauksiin. Yleisimmin nasta asennetaan nykyisen tien pintaan, josta saadaan helposti mittaustulos. Tätä mittaustulosta on helppo seurata mittausohjeistuksen mukaisilla mittauskäynneillä. (Liikennevirasto 2010, 10.)

### Painumaletkut

Painumaletkuja (kuva 4) käytetään painumatarkastimien antaman tiedon täydentämiseen, kun tulee selvittää painumaprofiili penkereen poikkisuunnassa tai lyhyellä matkalla penkereen pituussuunnassa. Ne perustuvat hydrostaattiseen paineeseen ja täytetään nesteellä. Mittaus voidaan suorittaa joko kiinteillä tai liikuteltavilla antureilla. (Liikennevirasto 2010, 10.)



KUVA 4. Painumaletku, (Liikennevirasto 2010, 10)

## 5.2 Painumamuodot

Heiskanen (2017) esitti luennoillaan Raimo Jääskeläisen (2011) käsityksen erilaisista painumamuodoista:

### Alkupainuma

Tapahtuu välittömästi, kun kuormitusta on lisätty, eli jo rakennusaikana. Tätä painumaa ei oteta yleensä huomioon lopullisessa painumaseurannassa.

### Konsolidaatiopainuma (primaaripainuma)

Tarkoittaa maakerroksen tiivistymistä eli maakerroksen tilavuus pienenee. Hienorakeisissa kerroksissa konsolidaatiopainuma on riippuvainen ajasta. Jos maakerrokset ovat vesipitoisia, niistä poistuu vettä.

### Sekundaaripainuma eli jälkipainuma

Jälkipainuman oletetaan alkavan vasta kun konsolidaatiopainuma on loppunut. Jälkipainuma on hidasta ja jatkuvaa, voidaankin puhua aineen virumisesta. Jälkipainuma on voimakkainta orgaanisissa turve- ja liejakerroksissa.

### Penkereen tiivistyminen

Penger tiivistyy niin työn aikana, kuin sen jälkeenkin. Penger materiaalista riippuu, kuinka suuri painuma on. Auvisen (2020) mukaan louhepenkereen pitkän ajan painumiselle perussääntönä voidaan pitää 5–10 % puristumista.

### 5.3 Painumien mittaus

Kun kohteeseen on asennettu jokin painumamittausmenetelmä, tulee kohteessa suorittaa alkumittaus. Auvinen (2020) kertoi, että hän edellyttää painumamittauksissa kahta lähtömittausta. Näin lähtömittauksen oikeellisuudesta voidaan varmistua. Mittaajalla tulee olla käytössään asianmukainen laitteisto ja tietotaito. GNSS-mittasauvan (kuva 5) käyttö ei ole sallittua sen mittaustoleranssien takia.



KUVA 5. GNSS-mittalaite (Geotrim)

Painumamittauksissa haetaan mahdollisimman tarkkaa mittaustulosta eli puhutaan millimetreistä.  $\pm 2$  mm tarkkuus painumamittauksissa on hyväksyttävä Auvisen mukaan. Tämä voi olla hieman liian tarkka vaatimus, joten  $\pm 5$  mm vaatimus on todennäköisesti lähempänä saavutettavaa tarkkuutta. Näin ollen mittaustyössä tulee käyttää esimerkiksi robottitakymetria (kuva 6), jolla päästään tähän tulokseen, kun taas GNSS-mittasauvalla mittaustoleranssi on senttimetrejä.

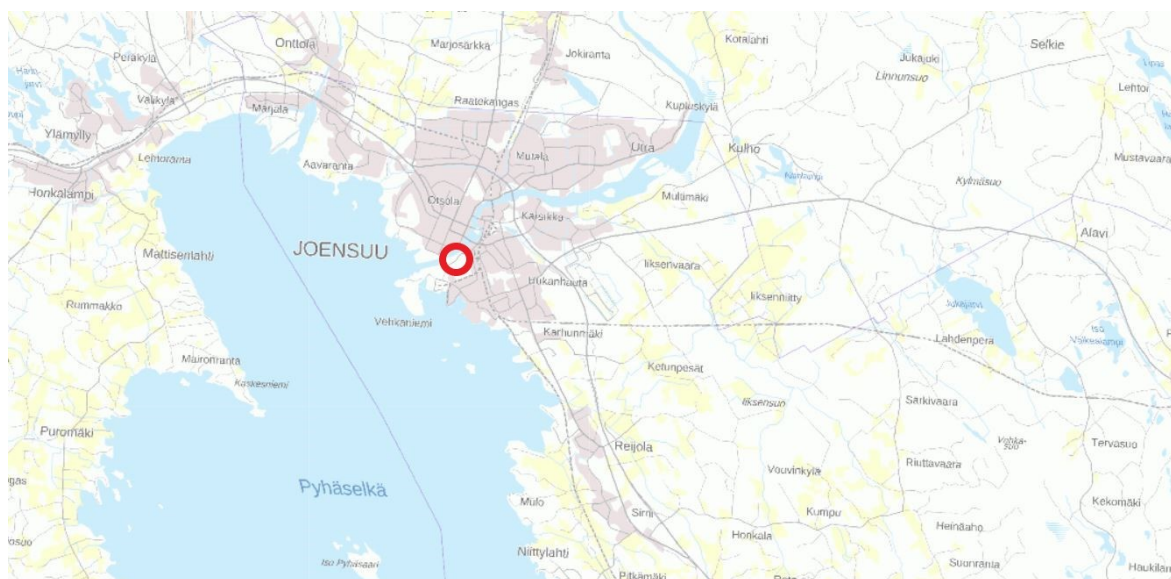


KUVA 6. Robottitakymetri (Geotrim)

Jotta haluttuun mittaustarkkuuteen päästäisi, tulee laitteiston antaa aluksi sopeutua ilman lämpötilaan. Jos mittaustyö tapahtuu talvella, voi mittavirhe tulla herkästi laitteistossa tapahtuvan lämpöelä-misen vuoksi. Samoin hyvin lämpimässä säässä tapahtuva mittaus on altis mittavirheille, koska kuuma ilma voi aiheuttaa väräilyä, joka häiritsee takymetria.

## 6 PROJEKTITYÖMAA

Opinnäytetyön projektityömaana toimi Itä-Suomessa Joensuussa sijaitseva kohde Cederbergin aukio ja sen esirakentaminen (kuva 7). Kohteeseen kuului louhepenkereen sekä vesihuoltotöiden rakentaminen. Louhepenkereen pengerkorkeus vaihteli 2 m - 7 m välillä ja suunniteltu louhemeneikki 59 000 m<sup>3</sup>tr. Louhepenkereellä kohteeseen saadaan hyvä perusta sekä tarpeeksi massaa aiheuttamaan mahdollisen painuman esirakentamisvaiheessa. Louhepenger toimii siis kohteessa painumapengerinä sekä alusrakenteena jatkorakentamista varten. Kohde saa painua vuoteen 2022, kunnes alueen jatkorakentaminen alkaa. Painumisaikana painumaa seurataan ja tehdään johtopäätökset alueen mahdollisista jatkotoimenpiteistä.



KUVA 7. Kohteen sijainti Joensuun alueella (Joensuun kaupungin karttapalvelu)

Kohdetta on tarkoitus laajentaa kohti Kuhasaloa vuonna 2021 venesataman ja -laskupaikan osalta, mutta varsinaisen Cederbergin aukion sekä rantaraitin rakentaminen jatkuu vuonna 2022. Kuvassa 8 Ramboll Oy on havainnollistanut, miltä kohde tulisi näyttämään loppurakentamisen jälkeen. Kohteen ympäristöön on mahdollista aloittaa rakentamaan asuinrakennuksia vaikka heti.

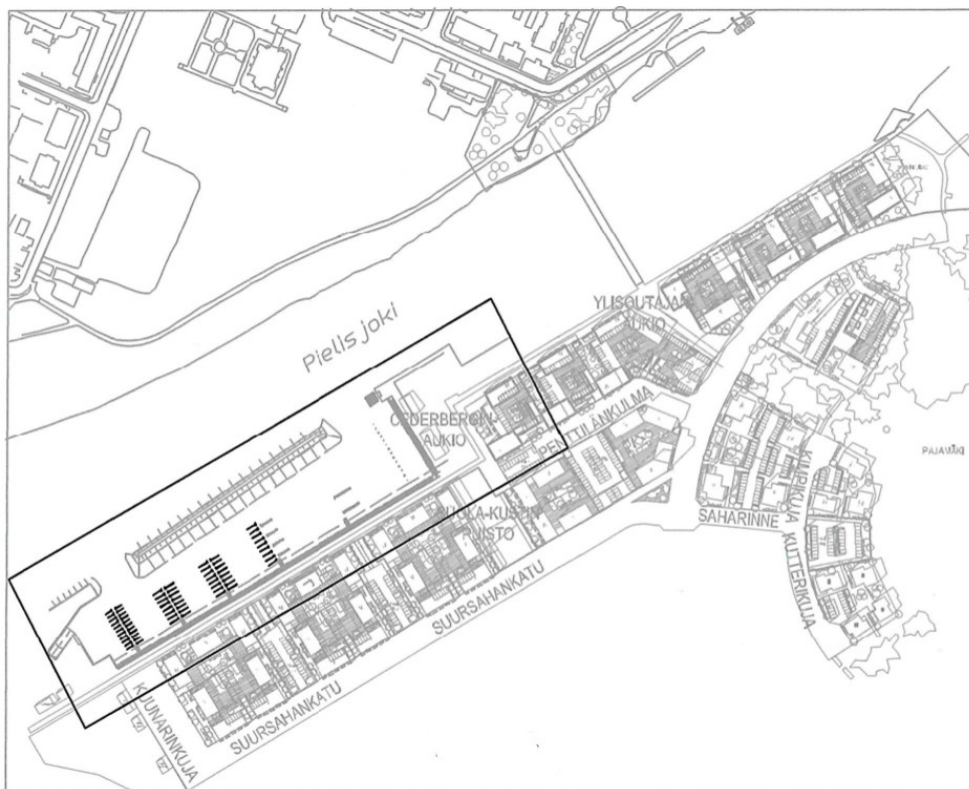


KUVA 8. Havainnekuva Cederbergin aukiosta (Karjalainen)

Varsinaisen louhepenkereen rakentaminen toteutui kevättalvella 2020 vko 7 - vko 14 välisenä aikana. Vettä samentavat työt tuli suorittaa AVI:n vesiluvan ehtojen mukaisesti 15.10–31.5 välisenä aikana.

## 6.1 Pohjaolosuhteet

Työmaa sijaitsee pohjaolosuhteiltaan haastavassa kohdassa; alue rajoittuu osin vanhaan tukkialtaaseen ja osittain Pielisjokeen, jossa on suuri virtaama (kuva 9). Maalajit ovat näin ollen herkästi häiriintyviä ja kasaan painuvia. Nämä pohjaolosuhteet tekevät tästä louhepenkereestä tärkeän jatkoraikentamisen kannalta.

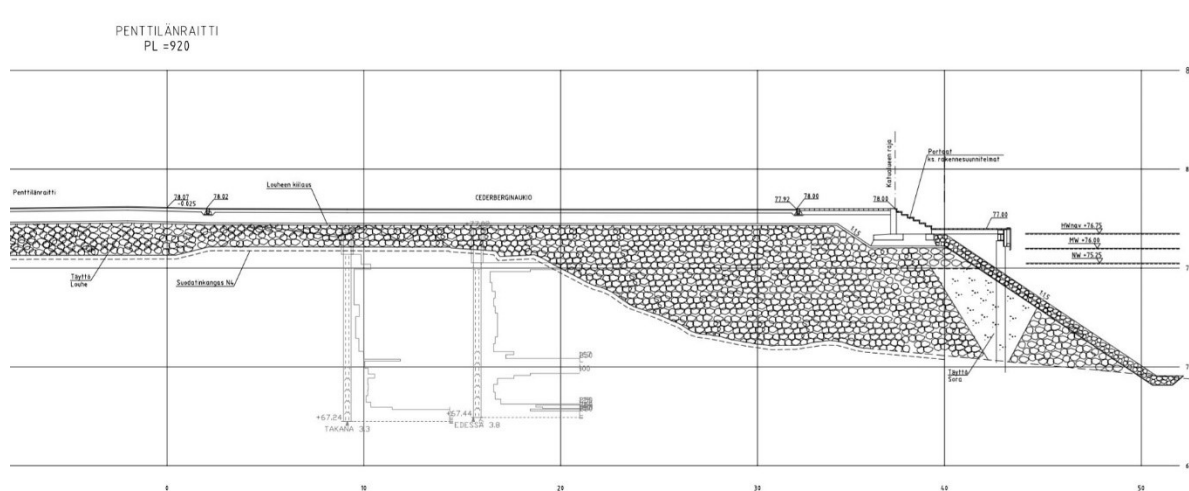


KUVA 9. Cederbergin aukion ja penttilänraitin sijainti (Joensuun kaupunki)

Pohjatutkimuksia kohteessa on tehty ennen rakentamista useasti; vuonna 1977, 1978, 2009, 2010 ja vuonna 2011. Edellä mainittuina vuosina on tehty muun muassa paino-, heijari- ja tärykairauksia sekä koekuoppia. Kesällä 2020 kohteessa suoritettiin tarkastustutkimuksia muun muassa porakonekairauksilla ja koekuopilla. Näin varmistettiin, että louhepenger on rakennettu oikein, eikä penger-rykseen ole jäänyt virheellisiä rakenteita tai massoja. (Kettunen 2020.)

## 6.2 Toteutus

Cederbergin aukion esirakentaminen on toteutettu louhepenkereellä (kuva 10), koska se on taloudellisin ja järkevin vaihtoehto kohteen pohjamaa ja tuleva käyttö huomioon ottaen.



KUVA 10. Cederbergin aukion paalukohtainen poikkileikkaus PL920 (Joensuun Kaupunki)

Kohteeseen suoritettiin ensin pintamaan poisto, jolla saatiin kaikki humuspohjainen materiaali pois penkereen alta (kuva 11).



KUVA 11. Pintamaat poistettu Penttilänrautilta (Matilainen Joel)

Louhepenkereen alle asennettiin suodatinkangas N5, jotta pohjamaa ei sekoittuisi louhepenkereeseen (kuva 12). Rakennusmateriaalina louhepenkereessä käytettiin louhe #0/600 ja pinta kiilattiin murske #0/63 materiaalilla. Kohteessa käytetty louhe oli sopivasti sekarakeista, joka tiivistyi erinomaisesti työn aikana koneiden painon alla.



KUVA 12. Penkereen rakentaminen Cederbergin aukio (Matilainen Tiina)

Penger rakennettiin kerroksissa, jotta se tiivistyisi tarpeeksi (kuva 12). Kerralla rakennettavan ja tiivistettävän penkereen korkeus oli maksimissaan 1 m. Louhetta ajettiin työmaalle kuorma-autoilla ja työmaalla oli neljä tela-alustaista kaivinkonetta levittämässä louhetta. Yksi koneista oli pitkäpuomi-kaivinkone, jolla saatiin rakennettua louhepenkereen veden alle jäävä helma. Koneet rakensivat penkerettä penkereeltä käsin, joten se tiivistyi samalla työn aikana koneiden painon ansiosta. Valmis penger (kuva 13) jyrättiin valssiyrällä pinnasta kiinni kiilauksen jälkeen. (Pyöriäinen 2020.)



KUVA 13. Penttilänraitti ja Cederbergin aukio Pyhäselän suunnasta (Matilainen Tiina)

### 6.3 Riskit

Työmaan toteutukseen liittyy aina useita riskejä. Kettusen (2020) mukaan tässä kohteessa yksi isoimmista esille tulevista riskeistä tilaajalle on kustannukset. Urakkamuotona oli yksikköhintainen urakka louheen osalta, jonka vuoksi urakoitsijalla ei tässä tapauksessa ollut kovin suurta riskiä louhemäärien vaihtelusta. Kyseiseen kohteeseen oli hankala arvioida suunnitteluvaiheessa louhemeneekkiä alueella sijaitsevan tukkialtaan vuoksi. Louhemäärä kasvoikin huomattavasti urakan aikana suunnitellusta 59 000 m<sup>3</sup>tr:sta 96 000 m<sup>3</sup>tr:oon. Altaan pohjan maaperän painuvuutta oli hankala arvioida, eivätkä siihen mahdollisesti tehtävät pohjatutkimukset olisivat enää hyödyttäneet tässä vaiheessa.

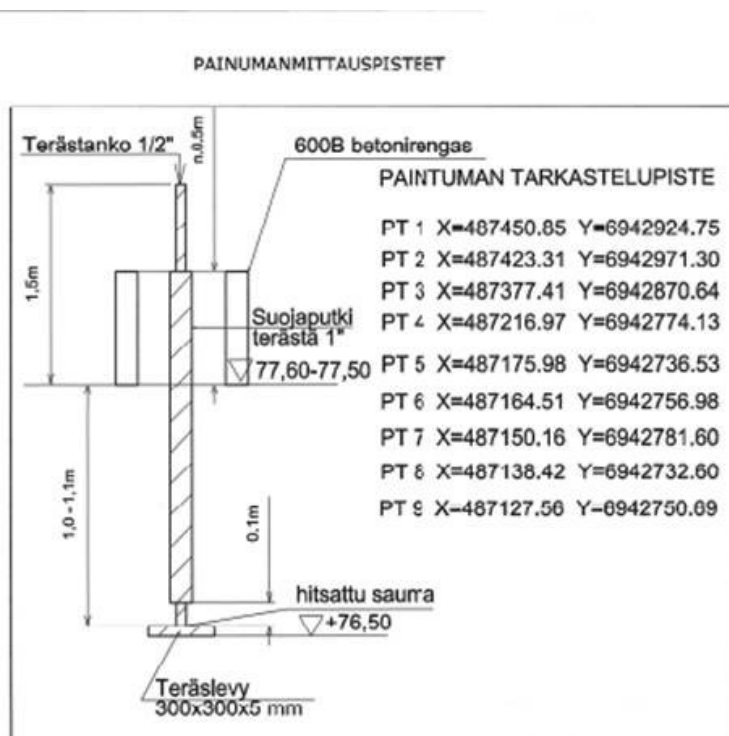
Toinen riski, joka on pitänyt ottaa huomioon jo varhaisessa suunnitteluvaiheessa, on penkereen stabiiliteetti. Herkät maalajit voivat luoda murtopintoja raskaiden pengermassojen alla, joten niiden syntyminen tulee laskea ja ottaa huomioon heti alkuvaiheessa. Tässä kohteessa stabiiliteettiriskiä ei ollut laskelmien mukaan. (Kettunen 2020.)

Kolmas riski oli aikataulu. Kohde rajoittuu vesistöön, joten louhepenkereen rakentamiselle oli tiukasti määritelty aikataulu vesistöluvan mukaisesti. Myös suuret massamäärät huolestuttivat kohteen aikataulutuksen osalta. (Kettunen 2020.)



## 6.4 Painumaseuranta

Kohteen painumaseuranta on toteutettu tilaajan ohjeiden mukaisesti, eli painumaa seurataan niin pitkään, kunnes painumista ei enää tapahdu 4 peräkkäisen kuukauden aikana tai seuraavan rakentamiskokouksen alkuun asti, jolloin tarkastellaan tilannetta (kuvat 14 ja 15). Varsinaista tavoitetta painumalle ei ole asetettu. Kuvissa 18 ja 19 näkyvät painumamittauspisteiden sijainnit, joita oli alussa 9.



KUVA 14. painumamittauspisteen ohjekuva sekä sijaintitiedot (Joensuun kaupunki)

**PAINUMANMITTAUSPISTEITÄ MITATAAN RAKENTAMISEN JÄLKEEN KAHDEN (2) KUUKAUDEN AJAN 2 KERTAA KUUKAUDESSA TASAISIN VÄLIAJOIN. MITTAUKSIA JATKETAAN KERRAN KUUKAUDESSA TÄSTÄ ETEENPÄIN KYMMENEN (10) KUUKAUDEN AJAN, VUODEN RAKENTAMISEN JÄLKEEN MITTAUKSIA TEHDÄÄN KERRAN KAHDESSA (2) KUUKAUDESSA. MITTAUKSIA JATKETAAN TOISEN RAKENTAMISVAIHEEN ALOITUKSEEN ASTI TAI KUN NELJÄN (4) PERÄTTÄISEN KUUKAUDEN AIKANA EI TAPAHDU PAINUMAA.**

**ENNEN RAKENTAMISEVAIHEEN 2 ALOITTAMISTA PAINUMATULOSTEN PERUSTEELLA OHJELMOIDAAN TARVITTAESSA LISÄTUTKIMUKSIA POHJAMAAN TIIVISTYMISESTÄ.**

KUVA 15. Painumamittaushoje Cederbergin aukion esirakentamiseen (Joensuun kaupunki)

Kohteeseen asennettiin 31.3.2020 painumamittauspisteet urakan painumamittaushojeiden mukaisesti. Kuvassa 16 näkyy painumamittaustangot ennen asennusta. Tankojen tuli olla 2,5–2,6 metriä pitkiä ja hitsattuna 300 x 300 x 5 mm:n kokoiseen pohjalevyyn. Tangon ympärille on asennettu 1 tuuman teräksinen suojaputki.



KUVA 16. Painumamittaustangot (Matilainen Tiina)

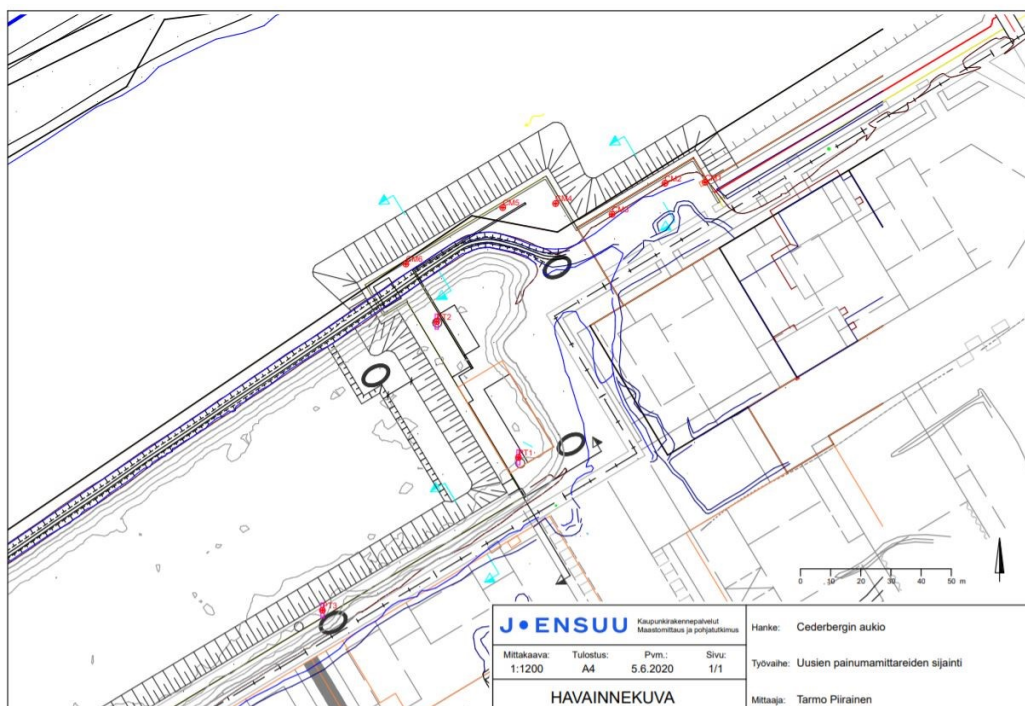
Painumamittauspisteet etsittiin koneohjausjärjestelmällä ja sijainti tarkastettiin. Tangoille kaivettiin noin metrin syvyiset kuopat ja ne asennettiin ohjeiden mukaisesti. Tankojen ympärille laitettiin maanpinnalle suojaksi 600B betonirenkaat (kuva 17).



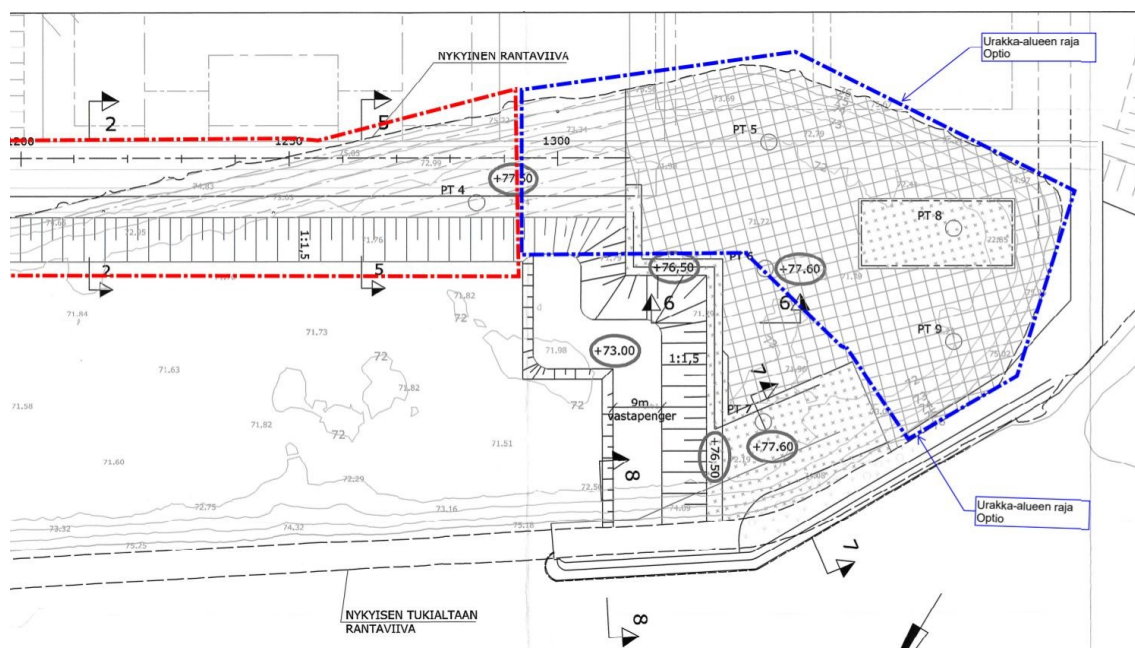
KUVA 17. Painumamittauspisteen asennus (Matilainen Tiina)

Kohteen mittausohjeessa oli kuitenkin hieman epäselvyyksiä, joiden vuoksi ensimmäisiä mittauksia ei voitu käyttää virallisena mittauspohjana painumatuloksille. Epäselvyyksien takia ensimmäiset mitaukset painumapisteille suoritettiin GNSS-mittasauvalla, vaikka ne olisi tullut suorittaa takymetrillä.

Näiden epäselvyyksien takia opinnäytetyön yhteydessä päätettiin tehdä ohje painumaseurannan mittauksiin (liite 1. Painumaseurannan mittausohje). Kohteeseen myös asennettiin lisää painumanseurantapisteitä, joita Joensuun kaupunki seuraa alkuperäisten 9 lisäksi (kuvat 18 ja 19).



KUVA 18. Painumapisteet PT1-3 ja CM1-6 (Joensuun Kaupunki)

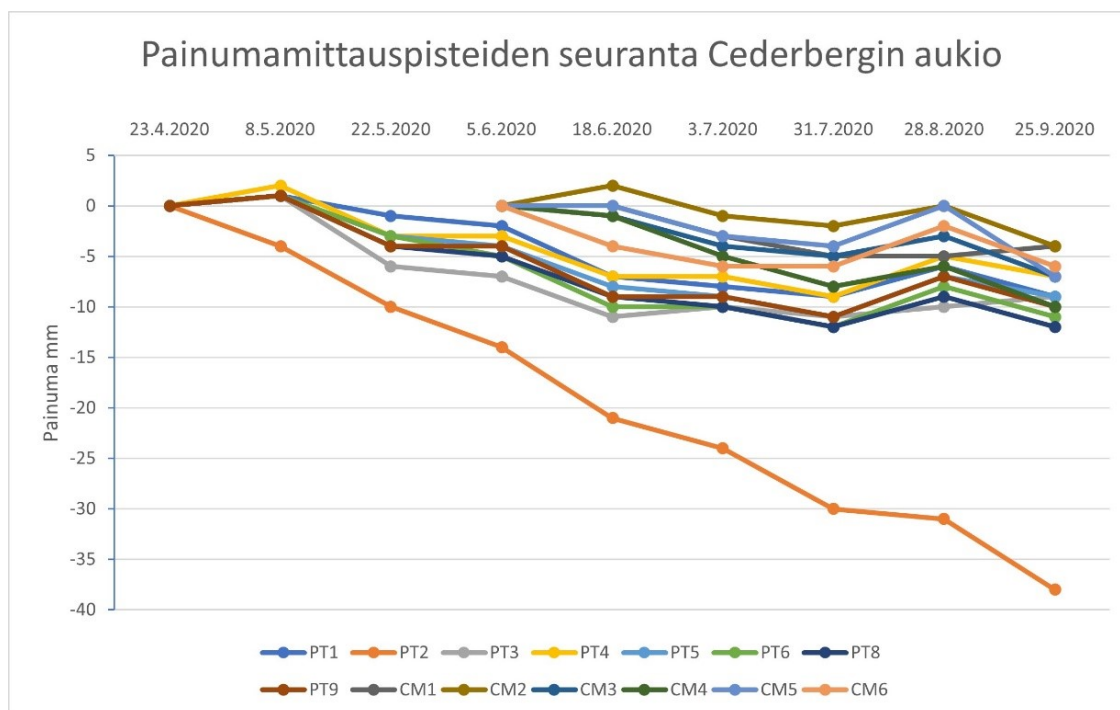


KUVA 19. Painumamittauspisteet PT4-9 (Joensuun Kaupunki)

Kohteessa ei ole tapahtunut 25.9.2020 mennessä mitään huolta-aiheuttavaa painumaa. Painumapisteet ovat painuneet suhteellisen tasaisesti yhtä pistettä, PT2, lukuun ottamatta (liite 2).

Tämän pisteen painuminen ei myöskään aiheuta sen suurempaa ihmetystä, koska piste sijaitsee yhdestä haastavimmista kohdista; Cederbergin aukion nurkkauksessa melkein Pielisjoessa kiinni.

TAULUKKO 2. Painumamittaustulokset PT1-9 ja CM1-6



Pisteessä mitattu painuma huhtikuun ja syyskuun välillä on 38 mm. Arvailujen varaan jää vielä kuitenkin se, onko painuminen louhepenkan tiivistymistä vai pohjamaan kasaan painumista. Viiden kuukauden tulokset antavat suuntaa antavaa kuvaa tapahtuvasta painumasta, eikä 38 mm painuma kuulosta vielä kovinkaan suurelta, mutta jos asiaa ryhdytään laskemaan siltä kannalta, mitä painuma on esimerkiksi kahden vuoden kuluessa, on tulos erilainen. Oletetaan että painuma jatkuisi samalla tahdilla eli 7,6 mm/kk painumavauhdilla ( $38 \text{ mm} / 5 \text{ kk} = 7,6 \text{ mm/kk}$ ). Lasketaan mitä painuma olisi kahden vuoden kuluttua eli  $7,6 \text{ mm} \times 24 \text{ kk} = 182,4 \text{ mm}$  eli 18,2 cm. Painuma ei ole kuitenkaan hälyttävä, koska kyseessä on esirakentamisvaihe ja tulokset otetaan huomioon jatkorakentamisessa. On myös epätodennäköistä, että painuminen jatkuu koko loppuajan samalla vauhdilla, vaan todennäköisesti se hidastuu ajan kuluessa.

## 7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä selkeä ohje louhepenkereen rakentamisesta sekä painumaseurannasta. Selkeän ohjeen luomiseksi perehdyin käynnissä olevaan työmaahan Joensuussa eli Cederbergin aukion esirakentamisen urakkaan. Haastattelin Janne Kettusta Joensuun Kaupungilta sekä Janne Lasarovia ja Harri Pyöriäistä Savon Kuljetus Oy:ltä urakkaan liittyen ja sain heiltä paljon hyödyllistä tietoa. Sain myös neuvoja ja vinkkejä ohjaajaltani Kai Auviselta. Perehdyin myös Väylän (entinen liikennevirasto) sekä Infra RYL:in ohjeisiin ja vaatimuksiin.

Opinnäytetyön edetessä huomattiin tarve selkeälle ohjeelle varsinaiseen painuman mittaustyöhön. Näin ollen tein painumaseurannan mittaustyöhön ohjekortin (liite 1). Tätä ohjekorttia pystytään tulevaisuudessa käyttämään ja muokkaamaan tarpeen mukaisesti. Projektikohteen painumien seuranta on ollut mielenkiintoista ja opettavaista; hyvin työn aikana tiivistetty kohde ei juurikaan painunut lyhyellä aikavälillä seurannan aikana, vaikka poikkeuskohtia myös on. Yksittäinen painumaseuranta-piste on painunut 38 mm viiden kuukauden aikana, mutta piste sijaitseekin haastavassa kohdassa. Pidemmän aikavälin tarkastelu painumien osalta kertoo kohteesta enemmän, kunhan pengeri on saanut painua aiottuun kaksivuotiseen aikaan. On todennäköistä, että painumavauhti hidastuu ajan kuluessa, mutta on myös mahdollista, että pengeri painuu pidemmän ajan kuluessa hitaasti, mutta varmasti.

Selkeän ohjeen luominen louhepenkereen rakentamiselle oli haastavaa, koska ohjeistus ja vaatimustaso vaihtelee eri käyttötarkoitusten ja tilaajien välillä. Toisessa kohteessa on tiukemmat vaatimukset, koska louhepengertä käytetään heti valmiina rakenteena, kun taas jossain muussa kohteessa vaatimuksia ei välttämättä juurikaan ole kohteen sen hetkisen käyttötarkoituksen vuoksi. Myös maalle tai veteen rakennettavien kohteiden vaatimuksista löytyy eroja. Hyvänä esimerkkinä toimii opinnäytetyöni esirakentamiskohde Cederbergin aukio, joka toimii tällä hetkellä esikuormituspenkereenä, eikä sille ollut tiukkoja laatuvaatimuksia esimerkiksi tiiveyksen suhteen. Kohde toimii kuitenkin tulevaisuudessa pohjana varsinaisille kerrosrakenteille, joten tiivistäminen ja kiilaus tuli suorittaa kohteeseen sopivalla tarkkuudella ja huolellisuudella.

Painumien osalta olisi mahdollista tehdä laajempaa tutkimusta projektikohteessa vuonna 2022, kun pengeri on saanut painua suunnitellun kaksivuotiseen aikaan. Nämä tulokset kertoisivat kohteen maaperän ja louhepenkereen käyttäytymisestä enemmän, kuin tämän opinnäytetyön lyhyen aikavälin seurantatulokset. Myös Louhepenkereiden tiivistämisen osalta olisi mielenkiintoista tehdä tutkimusta ruohonjuuritasolta tarkastellen; riittäisikö vähempi jyrääminen, jos työkonet ovat tallanneet penkereen kunnolla kiinni.

## LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

Auvinen, Kai 2020. Lehtori. Savonia ammattikorkeakoulu. Haastattelu 10.9.2020.

Geotrim julkaisuaika tuntematon. Trimble R2 GNSS. Valokuva. [https://geotrim.fi/tuotteet/gnss/gnss-jarjestelmat/trimble\\_r2\\_gnss\\_vastaanotin/](https://geotrim.fi/tuotteet/gnss/gnss-jarjestelmat/trimble_r2_gnss_vastaanotin/). Viitattu 8.10.2020

Geotrim julkaisuaika tuntematon. Trimble S5 Robottitakymetri. Valokuva. <https://geotrim.fi/tuotteet/takymetrit/robottitakymetri-s5/>. Viitattu 8.10.2020

Heiskanen, Mervi 2017. Geotekniikan perusteet, maalajien ominaisuudet. Opetusmateriaali. Savonia ammattikorkeakoulu.

InfraRYL 2020 infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Päällys- ja pintarakenteet. Helsinki: Rakennustieto Oy, Rakennustietosäätiö RTS 2020. [https://ryl-rakennustieto-fi.ezproxy.savonia.fi/ryl/InfraRYL/2020\\_1/](https://ryl-rakennustieto-fi.ezproxy.savonia.fi/ryl/InfraRYL/2020_1/). Viitattu 23.9.2020

Joensuun kaupunki 2020. Cederbergin aukion esirakentaminen käynnistyy Penttilänrannassa. Verkkojulkaisu. Päivitetty 2.3.2020. <https://www.joensuu.fi/-/cederbergin-aukion-esirakentaminen-kaynnistyy-penttilanrannassa>. Viitattu 14.4.2020

Joensuun kaupunki 2020. Joensuu lukuina. Verkkojulkaisu. <https://www.joensuu.fi/joensuu-lukuina>. Viitattu 27.11.2020

Karjalainen 2020. Havainnekuva: Tällainen on Penttilänrantaan rakennettava uusi aukio - mahdollisuus terassitoiminnalle ja ulkouima-altaalle. Valokuva. <https://www.karjalainen.fi/uutiset/uutis-alueet/maakunta/item/244001>. Viitattu 8.10.2020

Kauppalehti. Savon Kuljetus Oy. Verkkojulkaisu. <https://www.kauppalehti.fi/yritykset/yritys/savon+kuljetus+oy/01713379>. Viitattu 23.9.2020

Kettunen, Janne 2020. Rakennuttaja. Joensuun Kaupunki. Haastattelu 26.8.2020.

Liikennevirasto 2015. Geotekniset tutkimukset ja mittaukset, suunnitteluvaiheen ohjaus, Liikenneviraston ohjeita 10/2015. Julkaistu 26.10.2015. [https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo\\_2015-10\\_geotekniset\\_tutkimukset\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2015-10_geotekniset_tutkimukset_web.pdf). Viitattu 4.9.2020

Liikennevirasto 2011. Siirtymä- ja huokospainemittausten sekä paalujen koekuormituksen menetelmäkuvaukset, Liikenneviraston ohjeita 6/2011. Julkaistu 10.3.2011. [https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/lo\\_2011-06\\_siirtyma\\_ja\\_huokospainemittausten\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/lo_2011-06_siirtyma_ja_huokospainemittausten_web.pdf) Viitattu 4.9.2020

Matilainen, Tiina 2020. Valokuva. Joensuu: Tiina Matilaisen kokoelmat

Matilainen, Joel 2020. Valokuva. Joensuu: Joel Matilaisen kokoelmat

Pyöriäinen, Harri 2020. Työmaapäällikkö. Savon Kuljetus Oy. Haastattelu 8.10.2020

Savon Kuljetus Oy 2020. Historia. Verkkojulkaisu. <http://www.savonkuljetus.fi/historia/>. Viitattu 27.11.2020

Suomen Geoteknillinen yhdistys r.y. ja Rakentajain kustannus Oy 1980. Kairausopas 1. Pdf-tiedosto. Julkaistu lokakuussa 1980. <https://sgy.fi/wp-content/uploads/2017/04/kairausopas-1-painokairaus-taerykairaus-heijarikairaus.pdf>. Viitattu 23.9.2020

Tiehallinto 1998. Geotekniikan informaatiojulkaisuja. Teiden pehmeikkötutkimukset. Pdf-tiedosto. Julkaistu 1998. <https://julkaisut.vayla.fi/thohje/pdf2/pehmtutk3200520.pdf>. Viitattu 3.9.2020

## LIITE 1. Painumaseurannan mittausohje

## Painumaseurannan mittausohje

## 1. Lähtömittaus

- Lähtömittaus on suositeltavaa suorittaa **kaksi kertaa**, jotta varmistutaan tuloksen oikeellisuudesta.
- Mittaus on sidottava tunnettuun mittapisteeseen, jotta tuloksista voidaan varmistua ja laitteet kalibroida joka kerta mittausta suoritettaessa.

## 2. Laitteisto

- Mittauksissa käytettävän kaluston on sovelluttava mittauksen vaatimaan tarkkuuteen, eli painumamittauksessa on käytettävä **takymetria**.
- Mittaustarkkuus on +2mm.
- GNSS-mittasauva EI sovellu painumaseurantaan.

## 3. Sijainti

- Kuten 1. kohdassa mainittu, mittaukset tulee sitoa tunnettuun pisteeseen, kuten maanmittauslaitoksen kiintopisteisiin.
- Jokaisella mittauskerralla tulee käyttää samaa kiintopistettä.

## 4. Käytettävä koordinaattijärjestelmä

- Mittauksen suorittajan tulee varmistua kohteessa käytettävästä korkeus- ja koordinaattijärjestelmästä.

## 5. Seuranta

- Jatkuvaluontoiset seurantamittaukset tulisi suorittaa mahdollisuuksien mukaan samalla laitteistolla, jotta mittaustulosten mahdollisesta mittaustoleranssista voidaan varmistua.

## 6. Tulokset

- Mittaustulokset toimitetaan rakennuttajan edustajalle sovitussa tiedostomuodossa.

## LIITE 2. Cederbergin aukion painumamittaukset 25.9.2020 saakka

**J•ENSUU**  
Kaupunkirakennepalvelut  
Maastomittaus ja pohjatutkimus

Päivitetty 25.9.2020  
Mittaaja: Tarmo Piirainen  
Mittaaja: Pasi Sairanen 18.6.2020

**Kohde:** Cederbergin aukio

**Työväihe:** Louhetäytön painumamittaus

**Mittalaitte:** Leica TCRA 1205+ robottitakymetri (viikot 17, 19, 21, 23, 35, 39)  
Leica MS60 robottitakymetri (viikot 25, 27, 31)

Mittaus- piste	Vko 17 23.4.2020	Vko 19 8.5.2020	Muutos viikon 17 mittaukseen	Vko 21 22.5.2020	Muutos viikon 19 mittaukseen	Vko 23 5.6.2020	Muutos viikon 21 mittaukseen	Vko 25 18.6.2020	Muutos viikon 23 mittaukseen	Vko 27 3.7.2020	Muutos viikon 25 mittaukseen	Vko 31 31.7.2020	Muutos viikon 27 mittaukseen	Vko 35 28.8.2020	Muutos viikon 31 mittaukseen	Vko 39 25.9.2020	Muutos viikon 35 mittaukseen	Kokonaismuutos 1. mittaukseen
PT1	79.354	79.355	0.001	79.353	-0.002	79.352	-0.001	79.347	-0.005	79.346	-0.001	79.345	-0.001	79.348	0.003	79.345	-0.003	-0.009
PT2	79.314	79.310	-0.004	79.304	-0.006	79.300	-0.004	79.293	-0.007	79.290	-0.003	79.284	-0.006	79.283	-0.001	79.276	-0.007	-0.038
PT3	79.437	79.438	0.001	79.431	-0.007	79.430	-0.001	79.426	-0.004	79.427	0.001	79.426	-0.001	79.427	0.001	79.428	0.001	-0.009
PT4	79.325	79.327	0.002	79.322	-0.005	79.322	0.000	79.318	-0.004	79.318	0.000	79.316	-0.002	79.320	0.004	79.318	-0.002	-0.007
PT5	79.322	79.323	0.001	79.319	-0.004	79.318	-0.001	79.314	-0.004	79.313	-0.001	79.311	-0.002	79.315	0.004	79.313	-0.002	-0.009
PT6	79.327	79.328	0.001	79.324	-0.004	79.322	-0.002	79.317	-0.005	79.317	0.000	79.315	-0.002	79.319	0.004	79.316	-0.003	-0.011
PT8	79.334	79.335	0.001	79.330	-0.005	79.329	-0.001	79.325	-0.004	79.324	-0.001	79.322	-0.002	79.325	0.003	79.322	-0.003	-0.012
PT9	79.328	79.329	0.001	79.324	-0.005	79.324	0.000	79.319	-0.005	79.319	0.000	79.317	-0.002	79.321	0.004	79.318	-0.003	-0.010
CM1						77.675	0.000	77.675	0.000	77.672	-0.003	77.670	-0.002	77.670	0.000	77.671	0.001	-0.004
CM2						77.813		77.815	0.002	77.812	-0.003	77.811	-0.001	77.813	0.002	77.809	-0.004	-0.004
CM3						77.819		77.818	-0.001	77.815	-0.003	77.814	-0.001	77.816	0.002	77.812	-0.004	-0.007
CM4						77.844		77.843	-0.001	77.839	-0.004	77.836	-0.003	77.838	0.002	77.834	-0.004	-0.010
CM5						77.786		77.786	0.000	77.783	-0.003	77.782	-0.001	77.786	0.004	77.779	-0.007	-0.007
CM6						77.734		77.730	-0.004	77.728	-0.002	77.728	0.000	77.732	0.004	77.728	-0.004	-0.006