

Lauri Heiskanen

LYHYTAIKAISEN KAIVANNON STABILITEETIN KOKEELLINEN  
TUTKIMUS

Rakennustekniikan koulutusohjelma

2017

LYHYTAIKAISEN KAIVANNON STABILITEETIN KOKEELLINEN  
TUTKIMUS

Heiskanen, Lauri  
Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Rakennustekniikan koulutusohjelma  
Syyskuu 2017  
Ohjaaja: Sandberg, Rauno  
Sivumäärä: 31  
Liitteitä: 0

Asiasanat: kokeellinen tutkimus, kaivanto, stabiliteetti

---

Opinnäytetyön aiheena oli selvittää, voidaanko Porin Sunniemen alueelle tehdä kaivantoja, jotka pysyvät riittävän ajan sortumatta. Nämä kaivannot liittyvät Harjunpäänjoen alaosan järjestelyihin. Järjestelyt kuuluvat Porin kaupungin tulvasuojeluhankkeeseen, jossa liitetään Sunniemen alue tulvasuojelun piiriin. Jotta tämä on mahdollista, täytyy Harjunpäänjoki ohjata uutta reittiä pitkin laskemaan Kokemäenjokeen.

Opinnäytetyö koostui toiminnallisesta osuudesta sekä raportointiosasta. Toiminnallinen osuus koostui Sunniemen alueella tehdyistä koekaivuista ja niiden käyttäytymisen seuraamisesta sekä alueelle tehdyistä painokairauksista ja siipikairauksista. Raportointiosassa käsiteltiin Sunniemen alueen maaperää, kaivantojen käyttäytymisen teoriaa ja laskentaa sekä esitettiin suoritettun koekai vun työvaiheet, havainnot ja tulokset.

# EXPERIMENTAL RESEARCH ABOUT THE STABILITY OF A SHORT-TERM EXCAVATION

Heiskanen, Lauri  
Satakunta University of Applied Sciences  
Degree Programme in Construction Engineering  
September 2017  
Supervisor: Sandberg, Rauno  
Number of pages: 31  
Appendices: 0

Keywords: experimental research, stability, excavation

---

The purpose of this thesis was to figure out if it is possible to do excavations, which are stable for necessary time without collapsing, in Sunniemi, Pori. These excavations are part of downstream arrangements of Harjunpäänjoki. These arrangements are part of the city's flood control project which includes joining Sunniemi area into the flood control region. To make this possible, Harjunpäänjoki must be redirected to a new route to run into Kokemäenjoki.

This thesis consisted of a functional part and a reporting part. The functional part consisted of excavations done in Sunniemi area and monitoring those excavations' behavior. The functional part also included static weight soundings and vane tests done in the area. The reporting part dealt with the soil of Sunniemi, calculations and theory of excavations behavior. Additionally, it presented experimental excavation working phases, observations and results.

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	TYÖN TARKOITUS .....	6
2.1	Harjunpäänjoen alaosan järjestely .....	6
2.2	Kääntöuoman toteutusratkaisu.....	7
2.3	Tavoite ja tarkoitus .....	9
3	SUNNIEMEN ALUEEN MAAPERÄ.....	10
3.1	Kokemäenjoen alajuoksun maaperä .....	10
3.2	Tutkimuspisteiden painokairaukset .....	11
4	STABILITEETTITEORIA .....	13
4.1	Koheesiomaa ja näennäinen koheesio .....	13
4.2	Maanpaine.....	14
4.3	Aktiivinen maanpaine koheesiomaassa .....	15
5	KOEKAIVU .....	18
5.1	Koekaivun tarkoitus ja työmenetelmät .....	18
5.2	Koekaivanto rannan läheisyydessä .....	20
5.3	Koekaivanto sisämaassa .....	22
6	HAVAINNOT JA TULOSTEN ANALYSOINTI.....	25
6.1	Havainnot koekaiannoista.....	25
6.2	Laskelmat.....	26
6.3	Siipikairaukset .....	27
7	YHTEENVETO .....	29
	LÄHTEET .....	30
	LIITTEET	

## 1 JOHDANTO

Vahingonvaaran perusteella arvioituna Pori on Suomen merkittävin tulvasuojelukohde. Tulvavaaran aiheuttaa Kokemäenjoki, joka virtaa kaupungin läpi. (Niemi 2016, 1.) Kokemäenjoki on aiheuttanut vesistötulvan Porissa keskimäärin 10-20 vuoden välein (Tulvasuojelu. Taustaa 2017). Porissa aloitettiin varsinainen tulvasuojelu 1900-luvun alussa (Tulvasuojelu 2017). Aikojen kuluessa Porissa tulvasuojelua on hoidettu erilaisin suojelutoimenpitein, esimerkiksi tekemällä ruoppauksia, pumppaamoita sekä pengerryksiä (Ketonen 2009, 3). Vuonna 2003 käynnistettiin Porin tulvasuojeluhanke, joka on Porin kaupungin ja Varsinais-Suomen ELY-keskuksen yhteishanke. Projektin konkreettiset työt aloitettiin vuonna 2008 joenrannalla olevien tulvapatojen peruskorjaustöiden tekemisellä. (Tulvasuojelu 2017.)

Porin kaupunki on aloittanut hankkeen koskien Harjunpäänjoen alajuoksun järjestelyjä. Tähän liittyy Sunniemen alueen lisääminen tulvasuojelun piiriin. Tämä edellyttäisi, että Harjunpäänjoki ohjattaisiin laskemaan Kokemäenjokeen uutta jokiuomaa pitkin, joka kaivettaisiin Sunniemen alueelle. Hanke on etenemässä lupavaiheeseen ja kaavoitus on käynnistymässä (Vuola 2017).

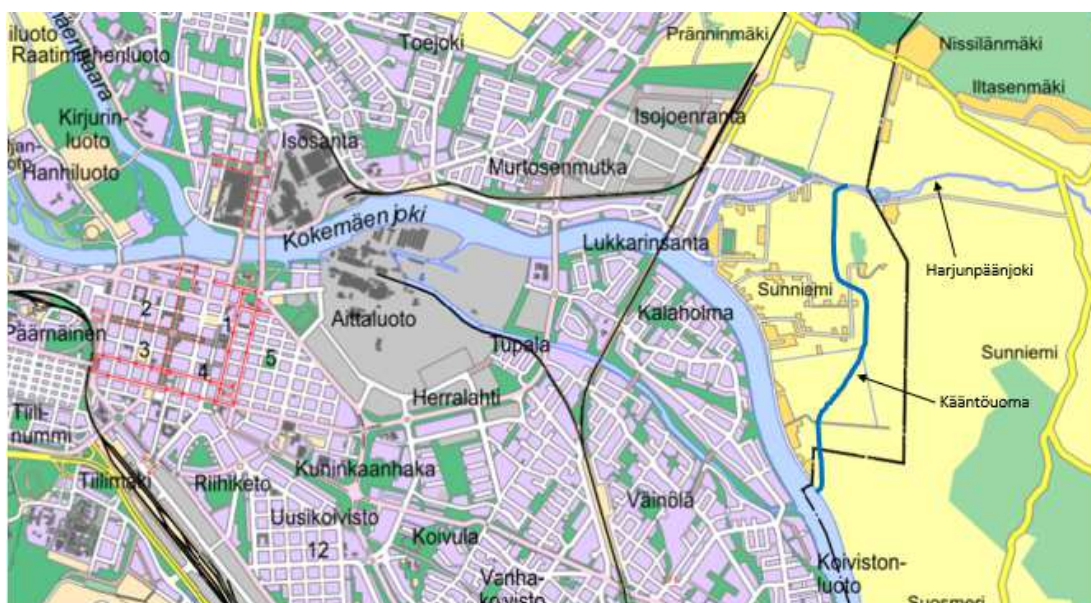
Tässä opinnäytetyössä perehdytään, onko Sunniemen alueen maaperään mahdollista tehdä kaivantoja, jotka pysyisivät sortumatta riittävän pitkään. Työhön liittyy koekai-vannot, jotka tehdään suunnitellun jokiuoman reitille. Tämä työ ei liity itse jokiuoman kaivamiseen vaan sen molemmiin puolin tehtäviin kaivantoihin, eräänlaisiin savisulkuihin, jotka mahdollistavat jokiuoman työnaikaisen sekä sen jälkeisen toimivuuden. Työhön liittyy myös olennaisena osana stabiliteettiteoria, jota käsitellään neljännessä luvussa.

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Porin kaupungin Tekninen palvelukeskus. Työn aihetta ehdotti Porin tulvasuojeluhankkeen projektipäällikkö Pekka Vuola.

## 2 TYÖN TARKOITUS

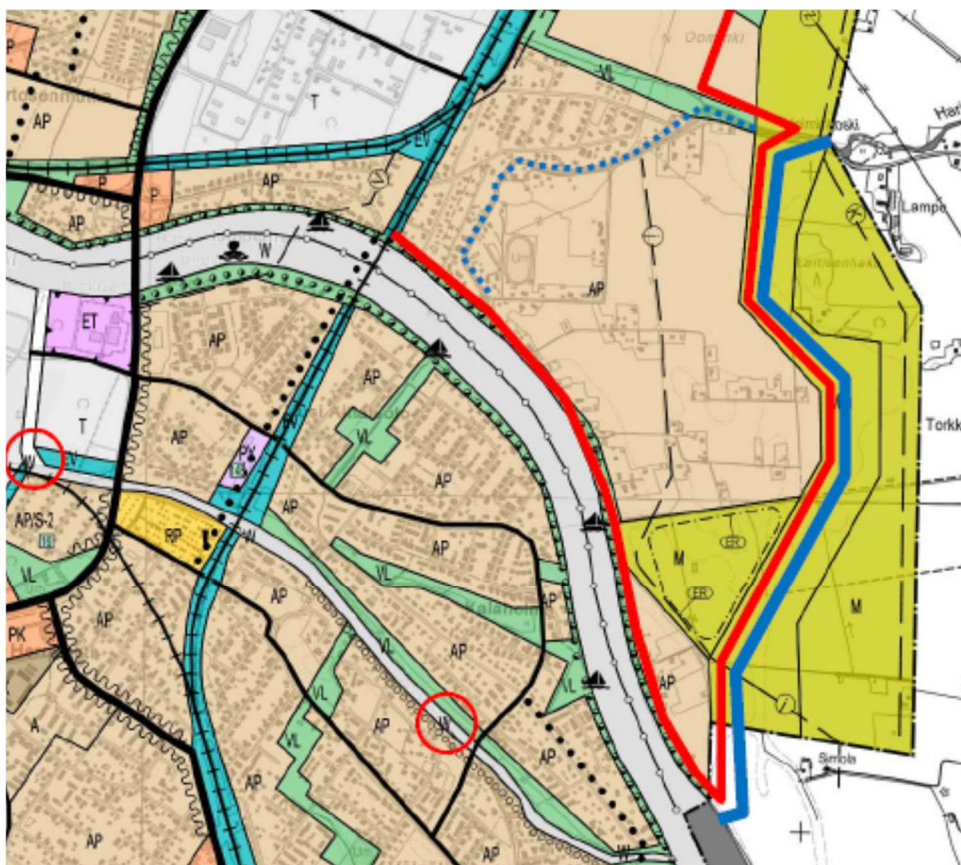
### 2.1 Harjunpäänjoen alaosan järjestely

Harjunpäänjoen alaosan järjestely on osa Porin tulvasuojeluhanketta. Hankkeen tarkoituksena on liittää Sunniemi Porin tulvasuojelun piiriin. Lisäämällä Sunniemi tulvasuojelun piiriin alue voidaan kaavoittaa asuinalueeksi. (Vuola 2016) Yleiskuva alueesta esitetään kuvassa 2.1.



Kuva 2.1. Sunniemin sijainti kartalla.

Hanke on käynnistetty vuonna 2013. Hankkeelle oli useita eri toteutusvaihtoehtoja. Vuonna 2015 päädyttiin vaihtoehtoon, jossa Harjunpäänjoelle kaivetaan uusi uoma. Se laskee Kokemäenjokeen noin kaksi kilometriä nykyisestä joen suusta ylävirrälle päin. (Tulvasuojelu. Jatkotoimenpiteet) Kääntöuoma laskee Kokemäenjokeen Ulvilan puolelta. Kääntöuoman sijainti esitetään kuvassa 2.2.



*Kuva 2.2. Kääntöuoman sijainti kartalla. Kuvassa kääntöuoma on piirretty ehjällä sinisellä viivalla ja Harjunpäänjoen alaosan sisäjärvi sinisellä katkoviivalla. Tulvapatot on piirretty punaisella viivalla. (Tulvasuojelu. Kaavoitustilanne periaatevaihtoehdot)*

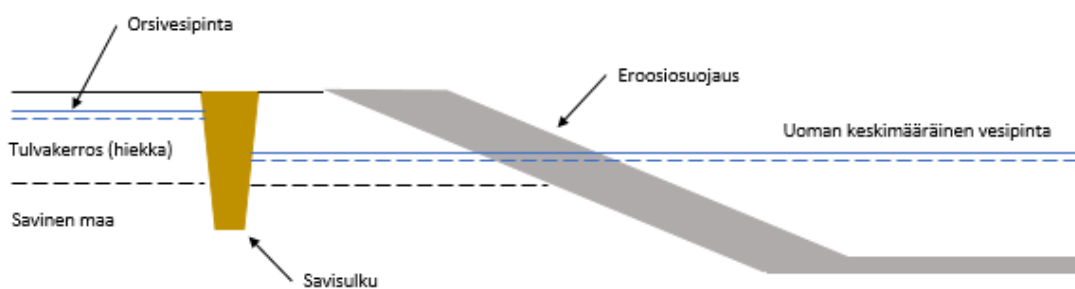
Tulvapatot rakennetaan kääntöuoman länsipuolelle ja Kokemäenjoen rannalle. Padot ovat samanlaiset kuin muuallakin Kokemäenjoen rannoilla. Harjunpäänjoen alaosasta tehdään sisäjärvi. Rankkasateilla ja lumen sulaessa sisäjärvi toimii tasausaltaana ja parantaa alueen tulvasuojelua hulevesitulvan osalta. (Tulvasuojelu. Havainnekuva)

## 2.2 Kääntöuoman toteutusratkaisu

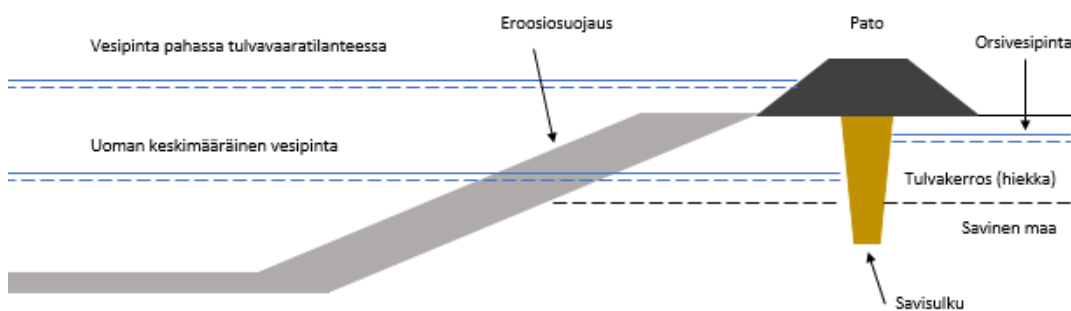
Kääntöuoman rakentaminen on mittava investointi, jossa pitää ottaa huomioon monia asioita. Kääntöuoma kaivetaan usean eri maanomistajan pellon läpi ja monen talon ohitse. Uoma sijaitsee pääosin Porin kaupungin ja osittain Ulvilan kaupungin alueella. Näin massiivisella hankkeella kestää vuosia suunnitteluvaiheesta itse toteutukseen.

Kääntöuoman takia alueelle joudutaan rakentamaan uusia teitä, mahdollisia siltoja uoman ylitse, salaojitusta ja uusia kunnallistekniikan liittymiä ja reittejä. (Vuola 2016)

Hiekkaisessa tulvakerroksessa oleva orsivesi pääsisi purkautumaan kääntöuomaan tavanomaisella uoman vedenkorkeudella, mikä kuivattaisi pellot sekä saattaisi aiheuttaa haitallisia painumia ja vaurioita rakennuksiin, jos asialle ei tehdä mitään. Vastaavasti tulvavaaratilanteessa veden ollessa uomassa korkealla vesi suotautuisi uomasta padon ali padon taustalla olevalle tulvasuojelualueelle, mikä aiheuttaisi tulvimista. Ratkaisuna näihin ongelmiin on ajateltu eräänlaiset savisulut, jotka estäisivät orsiveden purkautumisen uomaan ja veden tulvimisen padon ali asutusalueelle. Kuvissa 2.3 ja 2.4 esitetään kääntöuoman poikkileikkaukset uoman itä- ja länsipuolella.



Kuva 2.3. Kääntöuoman leikkauskuva itäpuolelta.



Kuva 2.4. Kääntöuoman leikkauskuva länsipuolelta.



Länsipuolelle tehtäisiin pato, joka suojaisi uutta kaavoitettua asuinalueita. Savisulut estäisivät veden pääsyn uomaan myös työn aikana, mikä helpottaisi kaivannon kuivana pitoa ja vähentäisi sen sortumisriskiä. Koko projektin onnistuminen riippuu hyvin pitkälti siitä, voidaanko kyseisiä savisulkuja kaivaa Sunniemen alueen maaperään. Savisulkujen teko on mahdollista, jos kaivannot pysyvät savisulkujen tekoon tarvittavan ajan sortumatta.

### 2.3 Tavoite ja tarkoitus

Tämän työn tarkoituksena on selvittää, onko savisulkujen teko mahdollista Sunniemen alueella. Tätä varten alueella tehtiin koekaivantoja, joiden käyttäytymistä seurattiin vuorokauden ajan. Kaivantoja kuvattiin parin tunnin välein ja tehtiin myös aistinvaraisia havaintoja. Niihin liittyvät kuvat ja havainnot on liitetty tähän työhön lukuun viisi ja johtopäätös tästä asiasta kerrotaan luvussa kuusi.

Työn tavoitteena on, että valmista työtä voitaisiin käyttää yhtenä asiakirjana Harjunpäänjoen alaosan järjestelyissä. Työ laitetaan Porin kaupungin tulvasuojelun sivuille julkiseksi asiakirjaksi kaikkien helposti nähtäväksi.

### 3 SUNNIEMEN ALUEEN MAAPERÄ

#### 3.1 Kokemäenjoen alajuoksun maaperä

Suomen oloissa Porin maaperä on hyvin erityislaatuinen. Jotunisen hiekkakiven hauras rakenne on vaikuttanut poikkeuksellisen paksun maaperäpeitteen syntyyn. Hiekkakiveen on muodostunut 20-80 metriä syvä luode- kaakkosuuntainen laaksomainen ura, jonka aiheutti muinaisjoet ja mannerjäätiköt, kun ne virtasivat hiekkakiven yli. (Niinikoski 2011, 11)

Maaperän paksuutta on mitattu painovoimamittausten avulla. Niiden perusteella Kallaholman ja Isojoenrannan alueella maaperä on noin 80 metriä paksu, joka on paksuin kohta Porin alueella. (Niinikoski 2011, 11)

Porin maaperän synty alkoi, kun Veiksel-jäätikkö virtasi alueen kallioperän yli ja kalliion päälle kasaantui pohjamoreenia. Pohjamoreenikerrosten paksuudet vaihtelevat muutaman metrin paksuisista kerroksista kymmenien metrien paksuisiin kerroksiin. Kun jäätikkö alkoi perääntyä alueelta noin 10800 vuotta sitten, sen sulamisvedet muodostivat harjujakson, joka halkaisee koko Satakunnan. Kun jäätikkö edelleen jatkoi perääntymistään, sen eteen kerrostui sulamisvesien mukana tuomia lajittuneita maaperäkerrostumia. Kun jäätikön sulamisvesien virtaukset olivat voimakkaimpia, niin silloin kerrostuivat karkeimmat kiviainekset eli sora ja hiekka. Kun sulamisvesien virtausnopeus edelleen heikkeni, niin kerrostuivat kerralliset hienon hiekan, siltin ja saven kerrostumat. (Niinikoski 2011, 11)

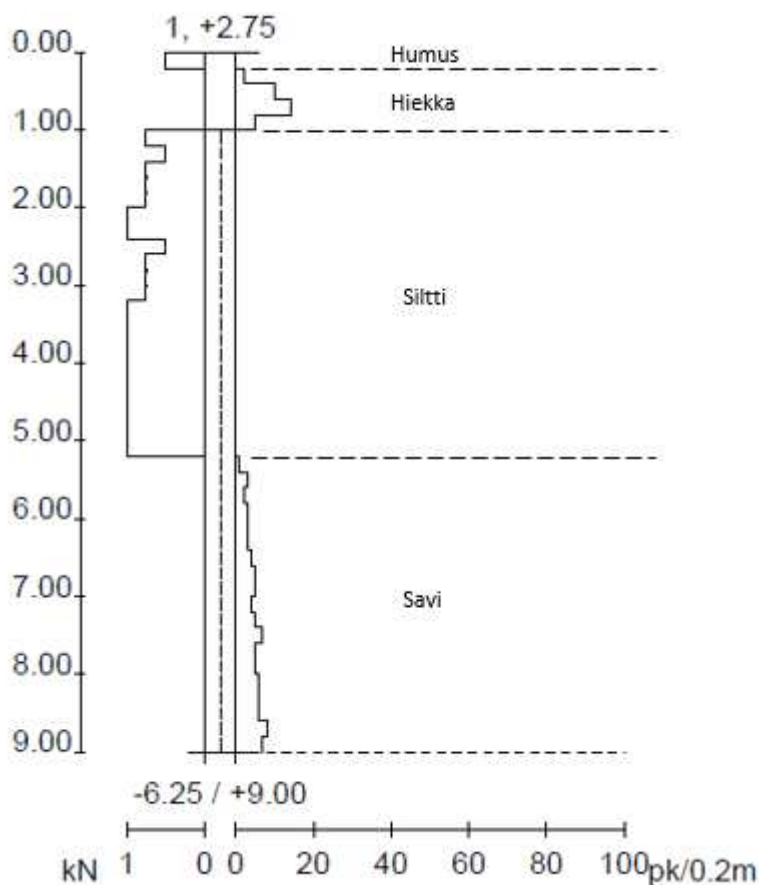
Kun Veiksel-jäätikkö alkoi sulamaan, niin Satakunta alkoi kohota, koska jäätikön painama maankuori alkoi palautua isostaattiseen tasapainoasemaansa. Noin 35 metriä paksut savikerrostumat muodostuivat maan kohotessa kerrallisten sedimenttien päälle. (Niinikoski 2011, 12)

Kokemäenjoen läheisyydessä päällimmäisin kerrostuma on jokikerrostuma. Se on muodostunut veden virtauksen kuluttaessa maaperää ylävirralla, ja virtauksen mukana kulkevat sedimentit ovat kerrostuneet silloiselle joen suulle. Kokemäenjoen virratessa

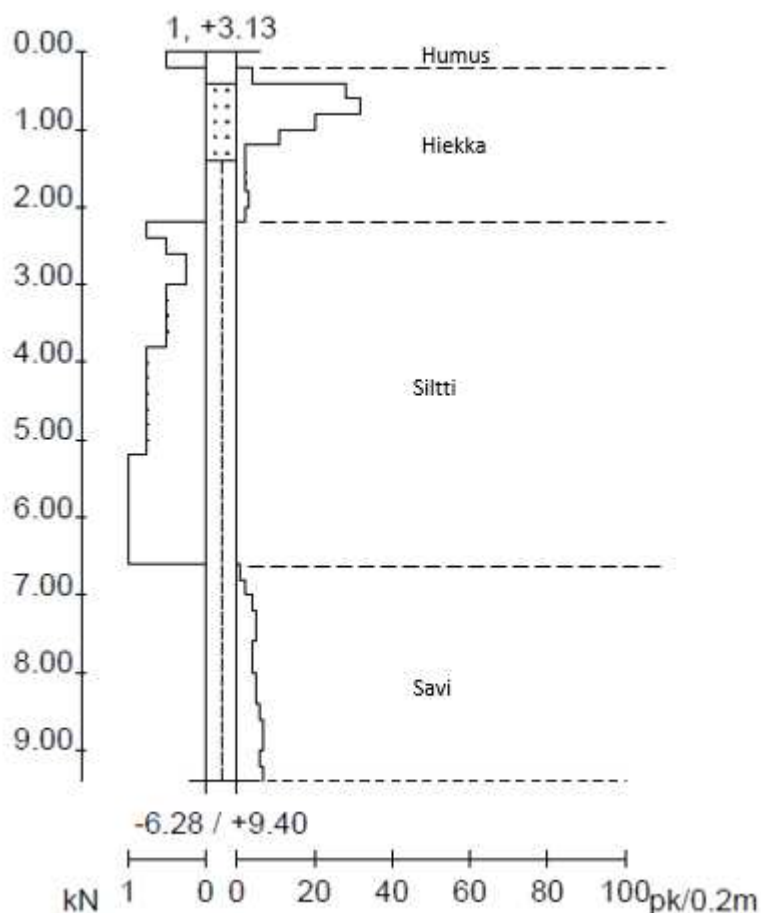
prosessi jatkuu edelleen, kun joki virtaa kasaamiensa sedimenttien halki ja kuluttaa ja kuljettaa kerrostamiaan sedimenttejä. (Niinikoski 2011, 12)

### 3.2 Tutkimuspisteiden painokairaukset

Koekaivupisteiden välittömässä läheisyydessä tehtiin painokairaukset ennen kaivutyötä. Suomessa painokairaus on yleisen käytetty kairausmenetelmä (Jääskeläinen 2009, 243). Painokairauksilla voidaan arvioida maan kerrosrajoja ja kitkamaalajien tiiveyttä (RIL 2009). Kuvissa 3.1 ja 3.2 esitetään painokairaustulokset sisämaan ja rannan pisteissä.



Kuva 3.1. Painokairausdiagrammi sisämaan pisteestä. (Laine 2016)



Kuva 3.2. Painokairausdiagrammi rannan pisteestä. (Laine 2016)

Painokairaukset tehtiin yhdeksän metrin syvyyteen maanpinnasta. Niiden mukaan molempien pisteiden pinnassa on ohut humuskerros, jota seuraa hiekkakerros. Sisämaan pisteessä tämä hiekkakerros on alle metrin paksuinen, kun taas rannan pisteessä se on noin kahden metrin paksuinen. Molemmissa pisteissä hiekkaa seurasi noin neljän metrin paksuinen silttikerros, jonka jälkeen alkoi savikerrostumat.

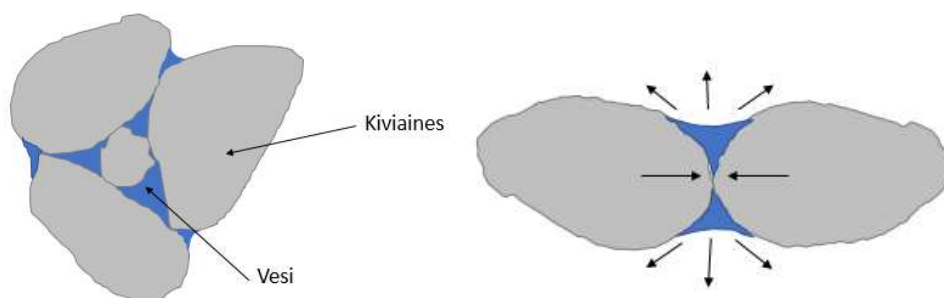
Maaperän ominaisuuksien arviointi painokairausten kairausvastuksista on kuitenkin aina likimääräismenettelyä (Jääskeläinen 2009, 247). Varmimman tiedon maalajeista ja niiden kerrosrajoista saatiin tekemällä alueelle koekaivannot, jotka käsitellään luvussa viisi.

## 4 STABILITEETTITEORIA

### 4.1 Koheesiomaa ja näennäinen koheesio

Karkearakeiset maalajit eivät ole plastisia ja niiden lujuus riippuu sisäisestä kitkasta, jonka määrää rakeiden muoto, koko ja rakeiden pakkautuminen. Näitä maalajeja kutsutaan kitkamaaksi. Hienorakeiset maalajit ovat plastisia ja niiden lujuus riippuu sekä rakeiden välisestä kitkasta että koheesion aiheuttamasta voimasta. Niitä kutsutaan koheesiomaaksi. (González de Vallejo & Ferrer 2011, 85)

Vaikka vesi valuu pois isoista huokosonteloista kostean maan kuivuessa, pyrkii vesi jäämään niin sanotuksi huokoskulmavedeksi kiviainesrakeiden kosketuskohtiin. Kiven ja veden välisen adheesion johdosta vesi pyrkii leviämään rakeen pintaa pitkin. Samalla veden pintajännitys kuitenkin yrittää oikaista sen pintaa. Tämän seurauksena veteen syntyy alipaine, joka sitoo rakeita toisiinsa. Hienossa hiekkamaassa kyseinen ilmiö voi olla niin voimakas, että vaikka hiekkalla ei ole todellista kiinnelujuutta, pysyy se kaivettaessa pystysuorana seinämänä jopa muutaman metrin korkuisena. (Jääskeläinen 2009, 59) Näennäinen koheesio esitetään kuvassa 4.1.



*Kuva 4.1. Näennäinen koheesio. Kuva mukailtu Jääskeläisen (2009, 59) mallin mukaan.*

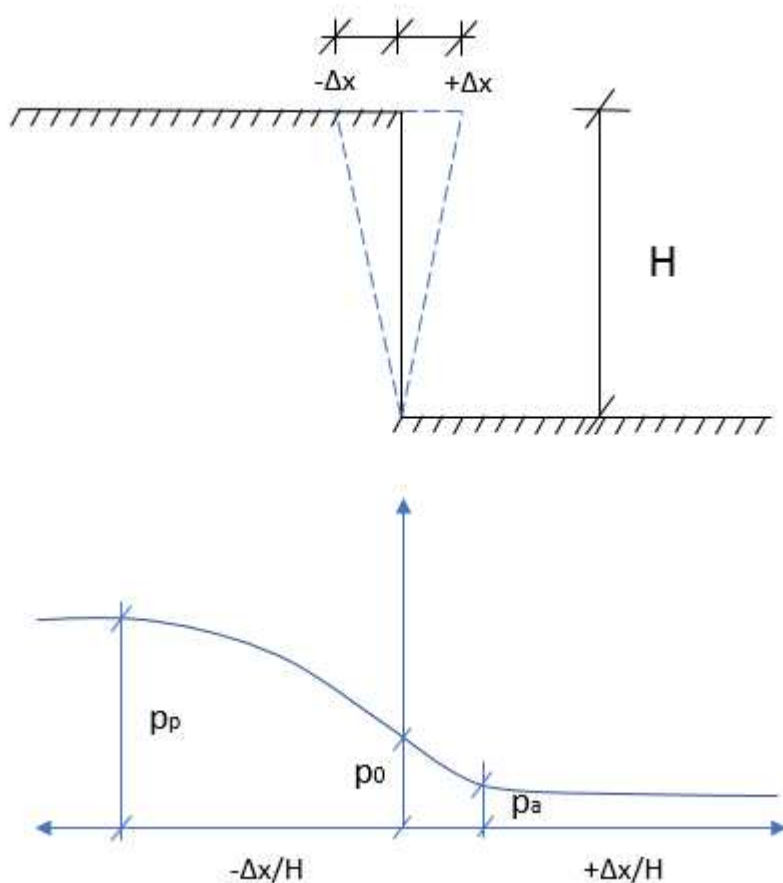
Jos hiekkamaa on rutikuiva tai veden kyllästämä, niin kyseistä ilmiötä ei tapahdu.

## 4.2 Maanpaine

Maamassa aiheuttaa paineen pystysuoriin tai kalteviin seinämiin ja rakenteisiin. Tätä tilaa kutsutaan maanpaineeksi, jonka suuruus on riippuvainen tukiseinämän liikkeistä. Maanpaineita on kolme eri lajia: lepopaine, aktiivipaine ja passiivipaine. Sitä suuremmat paine-erot eri painelajien kesken ovat, mitä lujemmasta maalajista on kyse. (Jääskeläinen 2009, 168)

Lepopaineella ( $p_0$ ) eli liikkumattoman tilan paineella tarkoitetaan sitä, että maassa vallitsevasta pystyjännityksestä aiheutuu maakerrosten ominaisuuksista riippuen jokin vaakajännitys. Kaikkiialla maan sisässä vallitsee normaaliolosuhteissa vaakapaineena lepopaine. Lepopaine lasketaan lähinnä kokeellisesti kehitettyjen kaavojen avulla. (Jääskeläinen 2009, 168)

Maan leikkauslujuus mobilisoituu vastustamaan maamassan muodonmuutosta, mikäli seinämä antaa periksi rasituksen alaisena. Tällöin paine seinämää vastaan pienenee. Maa joutuu murtotilaan ja paine asettuu vakioksi, mikäli seinämän myötääminen jatkuu. Tällöin puhutaan aktiivipaineesta ( $p_a$ ). Mikäli seinää työnnetään maata vastaan, maan lujuusominaisuudet mobilisoituvat vastustamaan maan muodonmuutosta kasvattaen painetta. Tällöin maamassa alkaa kohota seinämän takana ylöspäin. Tätä murtotilapainetta kutsutaan passiivipaineeksi ( $p_p$ ). Sekä aktiivi- ja passiivipaine lasketaan murtotilatarkastelujen avulla. Maanpainelajit esitetään kuvassa 4.2, jossa H on kaivannon korkeus, ja  $\Delta x$  on seinän siirtymä. (Jääskeläinen 2009, 168)



Kuva 4.2. Maanpaineen lajit muodonmuutosten perusteella. Kuva mukailtu Jääskeläisen (2009, 168) mallin mukaan.

### 4.3 Aktiivinen maanpaine koheesiomaassa

Edellisessä luvussa esitetty maanpaineen teoria pätee erityisesti silloin, kun maan lujuus koostuu pelkästään kitkasta. Kuvan 4.2 mukainen teoria pätee myös koheesiomaalle, jos kaivanto on riittävän syvä.

Koheesiomaan aktiivipaineen kaava johdetaan yleisen tapauksen kaavasta, jossa maanmassan leikkauslujuus koostuu sekä kitkasta että koheesiosta. Tämä kaava on:

$$p_a = (\gamma z + p) K_a - 2c\sqrt{K_a} \quad (\text{Helenelund 1981, 125})$$

Koheesiomaassa aktiivimaanpaineluku  $K_a = 1$ , joten yhtälöstä saadaan koheesiomaan aktiivipaineeksi:

$$p_a = \gamma z + p - 2c \quad (\text{Helenelund 1981, 126})$$

$p_a$  = aktiivinen maanpaine

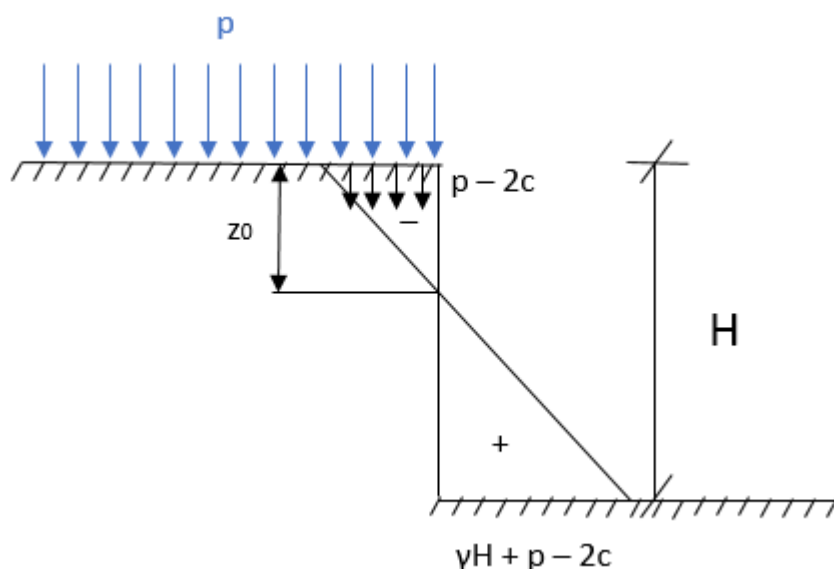
$\gamma$  = maan tilavuuspaino

$z$  = syvyys maanpinnasta

$p$  = pintakuorma

$c$  = koheesio

Tilanne esitetään kuvassa 4.3.



Kuva 4.3. Koheesiomaan aktiivipainekuvio. Kuva mukailtu Jääskeläisen (2009, 174) mallin mukaan.

Koheesiomaan aktiivipaine maanpinnassa on siis  $p - 2c$ , joka on usein negatiivinen. Kun seinän korkeus on  $H$ , niin paine sen alareunassa on  $\gamma H + p - 2c$ . Tämä arvo on yleensä positiivinen. Kun aktiivipaine merkitään nolaksi, voidaan ratkaista syvyys, missä paine on nolla:  $0 = \gamma z + p - 2c$ , josta saadaan:  $z_0 = (2c - p) / \gamma$ . Paine kuvion yläosassa olevassa kolmiossa paine on siis negatiivinen, joten se tarkoittaa sitä, että maa pysyy tuolla alueella sortumatta ilman tukeakin. Negatiivinen paine ei kuitenkaan



vedä mahdollista tukiseinää puoleensa. Tilanne voi olla hetken aikaan kuvion kaltainen. Jännittynyt koheesioma kuitenkkin ajan kuluessa vähitellen myötää ja alkaa sortua kaivantoon. (Jääskeläinen 2009, 174-175)

Tämän työn tapauksessa ei ole ylimääräistä pintakuormaa, joten kuormittamattoman koheesiomaan aktiivinen maanpaine lasketaan kaavalla:

$$p_a = \gamma z - 2c \quad (\text{Helenelund 1981, 126})$$

Kun kaivannon seinämä on sileä ja pystysuora, niin kokonaispaine h-korkuista seinämää vastaan kuormittamattomassa koheesiomaassa on:

$$P_a = \frac{\gamma H^2}{2} - 2cH \quad (\text{Helenelund 1981, 127})$$

Kun seinän korkeus on  $H_0$  ja kokonaispaine  $P_a = 0$  ja pintakuormaa ei ole, saadaan kaavaksi:

$$H_0 = \frac{2}{\gamma} 2c \quad (\text{Helenelund 1981, 127})$$

Pystysuoraksi kaivettu luiska pysyisi tämän teorian mukaan koheesiomaassa stabiilina ilman tukea korkeuteen  $H_0$  asti. Syvyys, jossa koheesiomaassa oleva seinämä pysyy pystysuorana sortumatta ilman tukea, on todellisuudessa jonkin verran pienempi. (Helenelund 1981, 127)

Jos kaivannon syvyys tunnetaan, niin koheesion minimiarvo lasketaan kaavalla:

$$c = \frac{H_0 \gamma}{4}$$

## 5 KOEKAIVU

### 5.1 Koekaivun tarkoitus ja työmenetelmät

Koekaivun tarkoituksena oli selvittää, kuinka kauan kaivanto pysyy auki ja miten se käyttäytyy. Koekaivantoja tehtiin Sunniemen alueelle kaksi kappaletta. Toinen kaivanto tehtiin Kokemäenjoen rannan läheisyyteen ja toinen noin 500 metriä sisämaahan päin. Sisämaan kaivanto oli likimain samalla linjalla kuin suunniteltu joen uoma. Näin ollen pohjaolosuhteet ovat samanlaiset kuin kohdassa, johon uoma on tarkoitus rakentaa. Suunnitellun uoman reitin olisi tarkoitus laskea Kokemäenjokeen Ulvilan puolelta. Rannan läheisyydessä oleva kaivanto tehtiin kuitenkin Porin puolelle, koska tämä oli helpommin toteutettavissa. Kaivanto tehtiin kuitenkin mahdollisimman lähelle suunniteltua joen reittiä. Kaivantojen sijainnit kartalla esitetään kuvassa 5.1 punaisilla pisteillä.



*Kuva 5.1. Kaivantojen sijainnit kartalla.*

Kaivantoja edeltävällä viikolla alueelle tehtiin painokairauksia, joilla varmistettiin, että routa oli sulanut kokonaan. Painokairausten lisäksi tehtiin myös siipikairaukset

koekaivantojen kohdalta. Koekaivupäiväksi sovittiin torstai 20. huhtikuuta 2016. Kaivannot tehtiin keväällä, kun routa on juuri sulanut ja maassa on paljon vettä. Kaivannot kaivettiin kaivinkoneella yhden päivän aikana tavoitesyvyyteen. Kaivantojen käyttäytymistä seurattiin koko päivän ajan kahden tunnin välein aina siihen asti, kunnes tuli niin pimeää, ettei nähnyt enää valokuvata. Kaivantojen käyttäytymisen seuraamista jatkettiin seuraavan päivän aamuna.

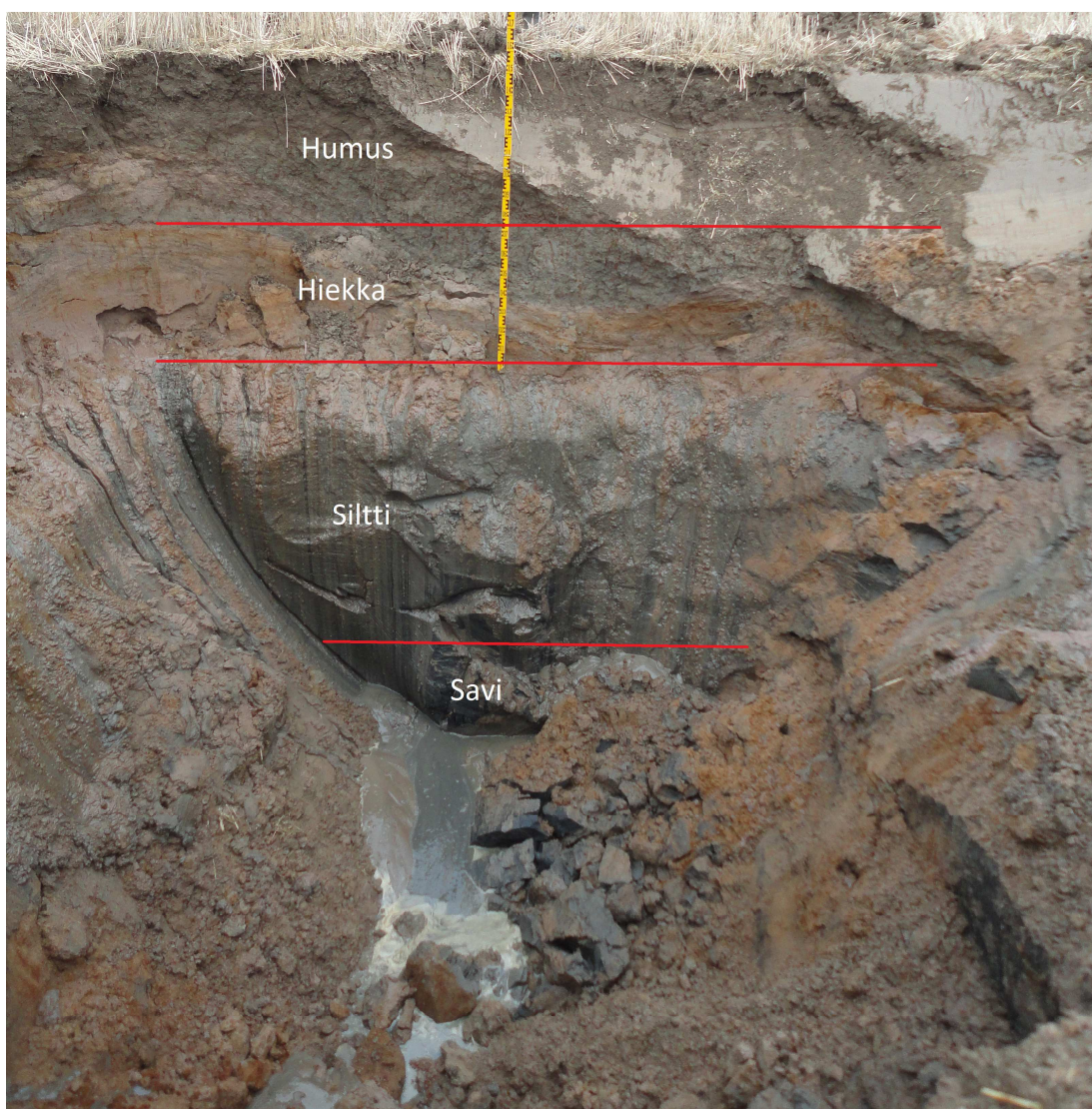
Koekaivupäivän sää oli aurinkoinen ja erittäin hyvä dokumentoinnin kannalta. Koekaivantojen paikat merkittiin koekaivupäivää edeltävänä aamuna. Kaivantojen leveys oli kolme metriä, pituus viisi metriä ja syvyys neljä metriä. Kaivantojen paikat valittiin niin, että pellossa oleviin salaojiin ei osuttaisi. Kartoista oli myös varmistettu, ettei sähkö- ja vesijohtoihin osuttaisi kaivutyön aikana. Kaivinkone asetettiin siten, että aurinko pääsi paistamaan kaivantoon ja näkyvyys kaivantoon oli mahdollisimman hyvä. Kaivujärjestely esitetään kuvassa 5.2.



*Kuva 5.2. Koekaivu työn alkuvaiheessa. (Heiskanen 2016)*

## 5.2 Koekaivanto rannan läheisyydessä

Kaivaminen aloitettiin rannan läheltä olevasta pisteestä. Pinnalta kaivettiin pois 0,75 metriä humusta, joka laitettiin omaan kasaan. Humuksen alla oli noin 0,75 metrin kerros hiekkaa, joka laitettiin myös omaan kasaan. Näiden kerrosten jälkeen alkoivat hienorakeisemmat maakerrokset. Tulvakerrosta oli siis noin 1,5 metriä. Tätä seurasi noin 1,5 metrin kerros karkeaa silttiä. Kolmen metrin syvyydestä alkoi tumma sulfidisavi, joka on rakeisuudeltaan pääosin savista silttiä ja osin laihaa savea. Koekaivanto esitetään kuvassa 5.3.



*Kuva 5.3. Kaivanto rannan läheisyydessä. (Heiskanen 2016)*

Kaivannon käyttäytymistä seurattiin yhtäjaksoisesti noin tunnin ajan ja tämän jälkeen noin kahden tunnin välein siihen saakka, kunnes aurinko laski, eikä enää nähnyt kuvata.

Orsivesi alkoi heti purkautua kaivantoon hiekan ja siltin välistä ja sorruttamaan sitä. Sortuminen oli kuitenkin hidasta ja kaivanto pysyi lähes muuttumattomana noin kahden tunnin ajan. Orsiveden purkautuminen kaivantoon esitetään kuvassa 5.4.



*Kuva 5.4. Orsivesi purkautuu kaivantoon. (Heiskanen 2016)*

Seuraavana aamuna kaivanto oli sortunut merkittävästi. Aikaa oli kulunut noin 24 tuntia. Kaivanto oli suurentunut siten, että sen muoto oli muuttunut alkuperäisestä suorakulmiosta (3 m x 5 m) ympyränmuotoiseksi. Ympyrän halkaisija oli noin 6 metriä. Orsivesi oli kuluttanut hiekka- ja humuskerrosta alhaaltapäin ja aiheuttanut näiden sortumisen kaivannon pohjalle. Kaivantoon oli kertynyt 0,8 metrin kerros vettä. Tilanne esitetään kuvassa 5.5.



*Kuva 5.5. Rannan kaivanto vuorokauden kuluttua kaivutyön aloittamisesta. (Heiskanen 2016)*

### 5.3 Koekaivanto sisämaassa

Rannan pisteen jälkeen siirryttiin sisämaan pisteeseen, jossa suoritettiin samanlaiset toimenpiteet kuin rannassa. Humusta kaivettiin pois 0,5 metrin kerros, jota seurasi 1,0 metrin kerros hiekkaa. Tulvakerrosta oli siis saman verran kuin rannassa, mutta humusta oli vähemmän ja hiekkaa enemmän. Hiekan jälkeen oli noin 1,5 metrin kerros silttiä ja 3,0 metrin syvyydestä alkoi sulfidisavi, joka näkyy kuvassa sinisenharmaana kerroksena. Kerrosrajat erottuivat paljon selkeämmin kuin rannan kaivannossa. Kaivanto esitetään kuvassa 5.6.



*Kuva 5.6. Koekaivanto sisämaassa. (Heiskanen 2016)*

Myös tämän kaivannon käyttäytymistä seurattiin yhtäjaksoisesti noin tunnin ajan ja sen jälkeen kahden tunnin välein siihen saakka, kunnes aurinko laski eikä nähnyt enää kuvata.

Kaivanto pysyi stabiilina huomattavasti paremmin kuin lähellä rantaa oleva kaivanto. Ensimmäisen tunnin aikana kaivannossa ei tapahtunut mitään muutoksia. Kaivannon reunat pysyivät sortumatta ja vettä ei alkanut tihkua reunoilta eikä pohjalta mistään kohdasta.

Seuraavan päivän aamuna kaivanto oli lähes muuttumaton. Minkäänlaista sortumista ei ollut havaittavissa. Ainoa havaittavissa ollut muutos oli, että kaivannon pohjalle oli kertynyt noin 40 cm kerros vettä. Tilanne esitetään kuvassa 5.7.



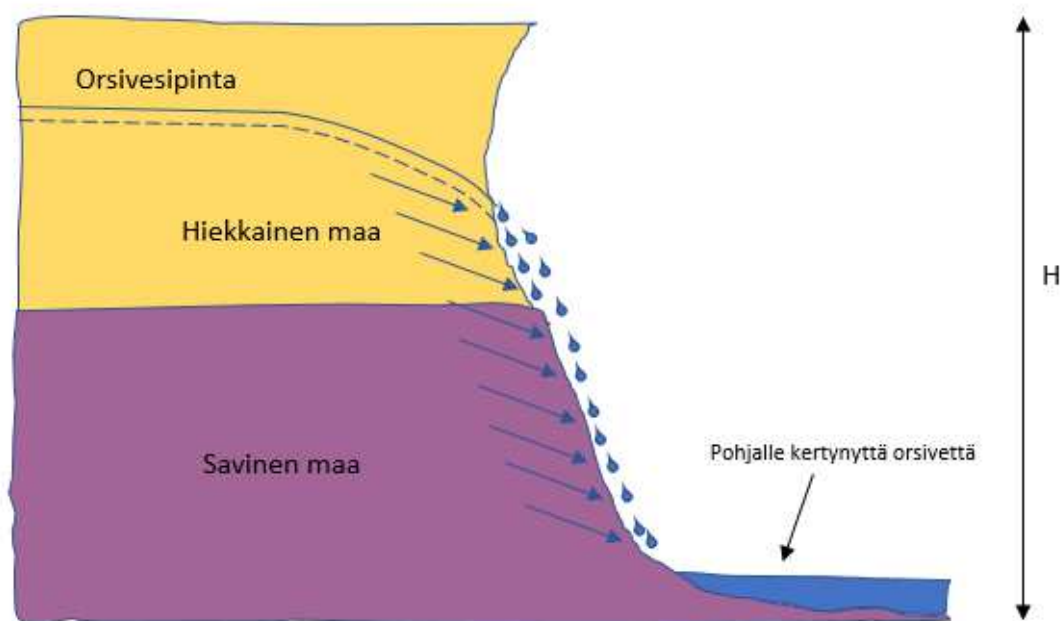
*Kuva 5.7. Sisämaan kaivanto vuorokauden kuluttua kaivutyön aloittamisesta. (Heiskanen 2016)*



## 6 HAVAINNOT JA TULOSTEN ANALYSOINTI

### 6.1 Havainnot koekaivannoista

Rannan läheisyydessä olevaan kaivantoon alkoi purkautua orsivettä hiljalleen heti, kun kaivanto oli kaivettu. Orsivesi kulutti hiekka- ja humuskerrosta alhaaltapäin ja alkoi sorruttaa kaivannon seiniä. Sortuminen oli kuitenkin hidasta ja mitään isompia sortumia ei tapahtunut ensimmäisten parin tunnin aikana. Vuorokauden jälkeen kaivanto oli sortunut jo merkittävästi. Sortumisen periaate esitetään kuvassa 6.1. Siniset nuolet kuvaavat likimääräisesti suotovirtauksen suuntaa. Virtausnopeus hiekkaisessa maassa on oleellisesti suurempi kuin savisessa maassa. Kaivantoon valuva orsivesi kuluttaa myös savikerrosta hiljalleen ja sekin alkaa sortua kaivantoon, kun aikaa on kulunut tarpeeksi.



Kuva 6.1. Kaivannon sortumisen poikkileikkaus. (Heiskanen 2017)

Sisämaan kaivanto oli paljon stabiilimpi ja siinä ei tapahtunut mitään merkittäviä muutoksia vuorokauden seurantajakson aikana.

Molempien kaivantojen sortumattomuuteen on syynä savinen maa ja hiekkaiseen maahan syntynyt näennäinen koheesio. Näennäinen koheesio on kuitenkin ajasta riippuvainen, jolloin ajan kuluessa jännitystila ja vesipaine muuttuvat, ja kaivannon seinämä menettää stabiiliuttaan.

## 6.2 Laskelmat

Silmämääräisesti tehtyjen havaintojen tueksi suoritetaan myös laskentaa. Laskennassa käytetään luvussa neljä esitettyä kaavaa. Jos kaivannon syvyys tunnetaan ja halutaan tietää koheesio, niin käytetään kaavaa:

$$c = \frac{H_0 \gamma}{4}$$

$c$  = koheesio minimiarvo

$H_0$  = kaivannon korkeus

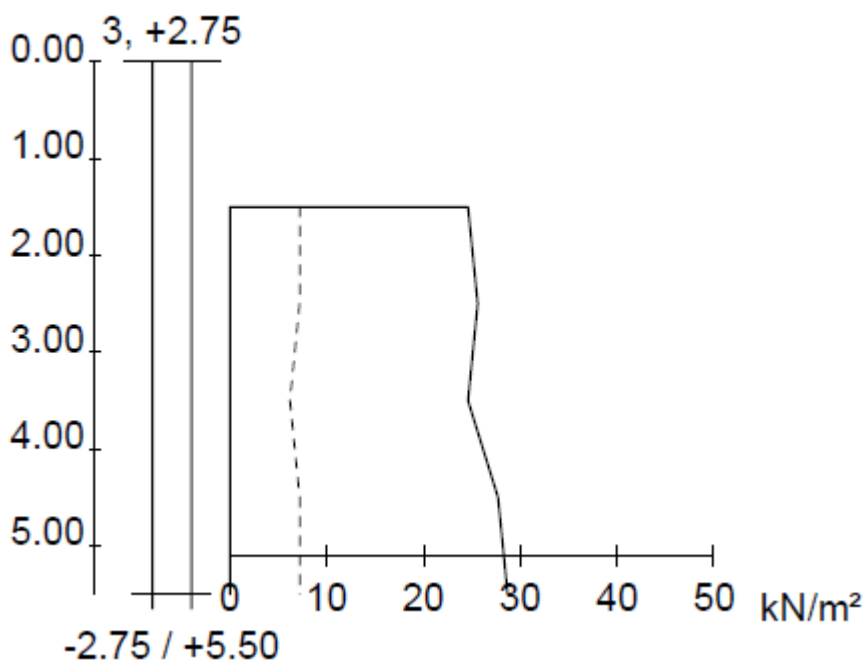
$\gamma$  = maaperän tilavuuspaino

Maan tilavuuspaino lasketaan lisäämällä vesipitoisuus kuivatilavuuspainoon. Kuivatilavuuspainot saatiin taulukoista (Korhonen, Gardemeister & Tamminen 1974, 17). Maan tilavuuspainoksi näytteenottopaikoissa laskettiin  $18 \frac{kN}{m^3}$ . Kaivannon korkeus oli neljä metriä. Koheesioksi saadaan:

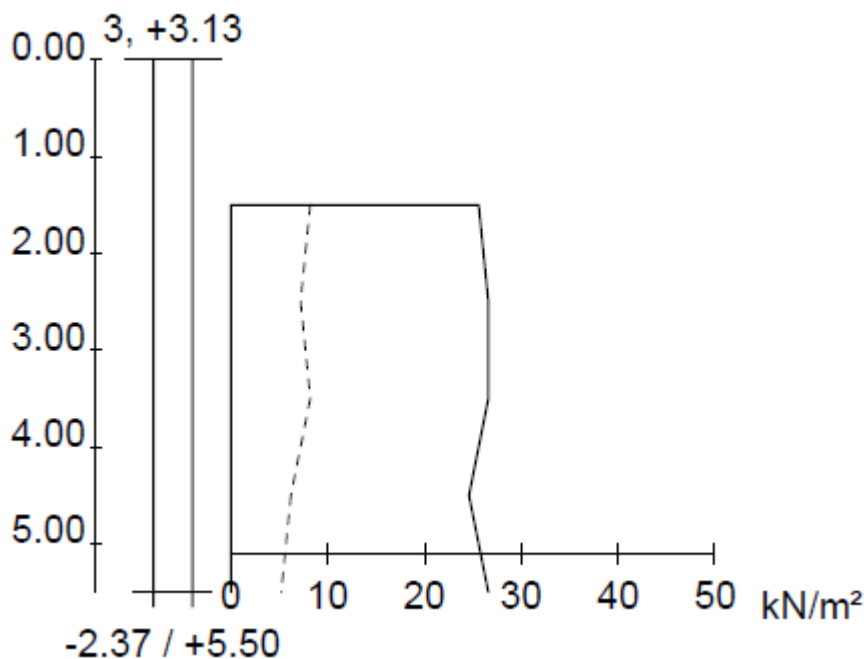
$$c = \frac{4m * 18 \frac{kN}{m^3}}{4} = 18 \frac{kN}{m^2}$$

### 6.3 Siipikairaukset

Molempien kaivupisteiden välittömään läheisyyteen tehtiin siipikairaukset ennen varsinaista kaivutyötä. Siipikairauksilla selvitetään häiriintymättömän maan suljettu leikkauslujuus. Siipikairaustulokset esitetään kuvissa 6.2 ja 6.3. Yhtenäinen viiva on häiriintymättömän maan leikkauslujuus ja katkoviiva häirityn.



Kuva 6.2. Sisämaan pisteen siipikairausdiagrammi. (Laine 2016)



Kuva 6.3. Rannan pisteen siipikairausdiagrammi. (Laine 2016)

Molemmista diagrammeista voi havaita sen, että suljetun leikkauslujuuden arvot ovat melkein samoja molemmissa pisteissä. Näissä tuloksissa ne ovat myös hyvin pitkälti maalajista riippumattomia. Näyteistä voi arvioida, että niiden häiriintymättömän leikkauslujuuden keskiarvo on noin  $25 \frac{kN}{m^2}$ . Maa luokitellaan tällöin pehmeäksi (Korhonen ym. 1974, 17).

Nämä diagrammit tukevat muita havaintoja kaivannoista. Koska suljetun leikkauslujuuden arvo  $25 \frac{kN}{m^2}$  on suurempi kuin koheesion minimiarvo  $18 \frac{kN}{m^3}$ , niin kaivannon kuulusikin pysyä suljetussa tilassa sortumatta, kun mikään ei ole ehtinyt muuttua. Maa kuitenkin häiriintyy kaivamisesta ja sen lujuus pienenee, jolloin puhutaan avoimesta tilasta. Avoimessa tilassa sekä jännitystila että vesipaine muuttuvat ja maan leikkauslujuus pienenee. Tämä muutos oli sisämaan pisteessä niin pieni, että se ei sortunut tarkastelujakson aikana. Rannan pisteessä taas muutos oli niin iso, että näennäinen koheesio menetettiin hiekkaisessa maassa hyvin nopeasti ja kaivanto sortui.

## 7 YHTEENVETO

Tämän työn tarkoituksena oli selvittää, voidaanko Sunniemen alueelle tehdä työnaikaisia patoihin liittyviä kaivantoja, jotka pysyvät sortumatta riittävän pitkään. Kaivannot liittyvät Harjunpäänjoen alaosan järjestelyihin, joissa Harjunpäänjoki ohjattaisiin uutta reittiä pitkin laskemaan Kokemäenjokeen. Tämän seurauksena saataisiin Sunniemen alue liitettyä tulvasuojelun piiriin.

Ennen koekaivupäivää alueella suoritettiin paino- ja siipikairaukset. Painokairauksella tutkittiin, onko routa jo sulanut. Sillä saatiin myös alustavaa tietoa maaperän maala-jeista ja niiden kerrospaksuuksista. Siipikairaukset suoritettiin, jotta saatiin häiriintymättömän maan suljettu leikkauslujuus. Näitä arvoja käytettiin myöhemmin suoritettavissa laskutoimituksissa.

Koekaivu suoritettiin keväällä, jolloin routa oli juuri sulanut ja maassa oli paljon vettä. Kaivannot tehtiin siis pahimpaan mahdolliseen aikaan niiden sortumisen kannalta. Kaivetut koekaivannot olivat myös likimain samalla linjalla kuin tuleva joen uoma, joten maaperän olosuhteet ovat samanlaiset kuin tulevassa kaivutyössä. Kaivannot tehtiin selkeällä säällä ja niiden käyttäytymistä saatiin seurattua noin vuorokauden ajan. Kaivannoista erottuivat selkeästi eri maakerrosrajat ja orsiveden purkautuminen.

Työssä tehtiin myös laskelmia, joilla selvitettiin koheesion minimiarvo, jota taas verrattiin siipikairaustuloksiin. Laskelmien tulokset tukivat kaivannoista tehtyjä aistinvaraisia havaintoja. Kaivantojen pitäisi siis pysyä myös laskennallisesti sortumatta jonkin aikaa.

Loppupäätelmänä työstä saadaan, että molempien kaivantojen sortumattomuuteen oli syynä savinen maa ja hiekkaiseen maahan syntynyt näennäinen koheesio. Näiden yhteisvaikutus piti sisämaan kaivannon stabiilina koko vuorokauden seurantajakson ajan. Myös rannan kaivanto pysyi sortumatta, mutta vain noin parin tunnin ajan.

Tutkimustyön perusteella tulvasuojeluhankkeen patojen työnaikaiset kaivannot ovat toteutettavissa.

## LÄHTEET

- González de Vallejo, L.I. & Ferrer, M. 2011. Geological Engineering. Lontoo, UK, Taylor & Francis Group.
- Heiskanen, L. Luvun 5 valokuvat 2016.
- Heiskanen, L. 2017. Kuva 6.1.
- Helenelund, K.V. 1981. Maarakennusmekaniikka 137. Espoo, Otakustantamo.
- Jääskeläinen, R. 2009. Geotekniikan perusteet. 1. painos. Tammertekniikka/Amk-Kustannus Oy.
- Ketonen, R. 2010. Porin tulvasuojeluhankkeen vakavuustarkastelu. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Diplomityö.  
[http://www.pori.fi/material/attachments/hallintokunnat/tekninenpalvelukeskus/tulvasuojelulinkit/6ERjtiNz7/geotekniikka\\_ketonen\\_porin\\_tulvasuojeluhankkeen\\_vakavuustarkastelu.pdf](http://www.pori.fi/material/attachments/hallintokunnat/tekninenpalvelukeskus/tulvasuojelulinkit/6ERjtiNz7/geotekniikka_ketonen_porin_tulvasuojeluhankkeen_vakavuustarkastelu.pdf)
- Korhonen, K-H., Gardemeister, R., Tammirinne, M. 1974. Geotekninen maaluokitus. Geotekniikan laboratorio, tiedonanto 14. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. Ota-niemi.
- Laine, M. 2016. Paino- ja siipikairausdiagrammit. Henkilökohtainen tiedonanto.
- Niemi, K. 2016. Tulvasuojelumahdollisuuksien arviointi Porin Pihlavanlahdella. Hämeen ammattikorkeakoulu. Kestävän kehityksen koulutusohjelma. Opinnäytetyö. Viitattu 18.3.2017. [http://www.pori.fi/material/attachments/hallintokunnat/tekninenpalvelukeskus/tulvasuojelulinkit/kWEIQjFif/Niemi\\_Kaisa\\_Tulvasuojelumahdollisuuksien\\_arviointi\\_Porin\\_Pihlavanlahdella.pdf](http://www.pori.fi/material/attachments/hallintokunnat/tekninenpalvelukeskus/tulvasuojelulinkit/kWEIQjFif/Niemi_Kaisa_Tulvasuojelumahdollisuuksien_arviointi_Porin_Pihlavanlahdella.pdf)
- Niinikoski, J. 2011. Kokemäenjoen deltan maaperämuodostumat ja niiden vaikutus Porin tulvasuojeluun. Turun Yliopisto. Maantieteen ja geologian laitos. Geologian osasto. Pro gradu -tutkielma. Viitattu 10.6.2017. [http://www.pori.fi/material/attachments/hallintokunnat/tekninenpalvelukeskus/tulvasuojelulinkit/6ERjsUfur/geologia\\_1a\\_niinikoski\\_kokemaenjoen\\_deltan\\_maaperamuodostumat.pdf](http://www.pori.fi/material/attachments/hallintokunnat/tekninenpalvelukeskus/tulvasuojelulinkit/6ERjsUfur/geologia_1a_niinikoski_kokemaenjoen_deltan_maaperamuodostumat.pdf)
- Pekka Vuola. Haastattelu. Kevät 2016.
- Pekka Vuola. Haastattelu. Kevät 2017.
- Pori. Tulvasuojelu. Viitattu 19.3.2017. <http://www.pori.fi/tpk/tulvasuojelu.html>
- Pori. Tulvasuojelu. Ajankohtaisia suunnitelmia. Harjunpäänjoen havainnekuva. Viitattu 14.5.2017. [http://www.pori.fi/material/attachments/hallintokunnat/tekninenpalvelukeskus/tulvasuojeluaajankohtaisiasuunnitelmia/SZJwRm31b/Harjunpaanjoki\\_havainnekuva.pdf](http://www.pori.fi/material/attachments/hallintokunnat/tekninenpalvelukeskus/tulvasuojeluaajankohtaisiasuunnitelmia/SZJwRm31b/Harjunpaanjoki_havainnekuva.pdf)

Pori. Tulvasuojelu. Ajankohtaisia suunnitelmia. Harjunpäänjoen alaosan järjestelyn jatkotoimenpiteet. Viitattu 14.5.2017. [http://www.pori.fi/material/attachments/hallintokunnat/tekninenpalvelukeskus/tulvasuojelujankohtaisiasuunnitelmia/9tyC863jd/Harjunpaanjoki\\_JATKOTOIMENPITEET.pdf](http://www.pori.fi/material/attachments/hallintokunnat/tekninenpalvelukeskus/tulvasuojelujankohtaisiasuunnitelmia/9tyC863jd/Harjunpaanjoki_JATKOTOIMENPITEET.pdf)

Pori. Tulvasuojelu. Ajankohtaisia suunnitelmia. Kaavoitustilanne periaatevaihtoehdot. Viitattu 14.5.2017. [http://www.pori.fi/material/attachments/hallintokunnat/tekninenpalvelukeskus/tulvasuojelulinkit/jO82oKUPZ/4\\_harjunpaajoenalaosjarj\\_kaav\\_periaatteet.pdf](http://www.pori.fi/material/attachments/hallintokunnat/tekninenpalvelukeskus/tulvasuojelulinkit/jO82oKUPZ/4_harjunpaajoenalaosjarj_kaav_periaatteet.pdf)

Pori. Tulvasuojelu. Taustaa. Viitattu 19.3.2017. <http://www.pori.fi/tpk/tulvasuojelu/taustaa.html>

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 2009. RIL 207-2009. Geotekninen suunnittelu. Eurokoodin EN 1997-1 suunnitteluohje. Turku, Hansaprint Oy.