

Opinnäytetyö

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, insinööri AMK

Infratekniikka

2022

Valtteri Fagerström

KUPITTAAN BMX-RADAN PERUSPARANNUS JA LAAJENNUS

– Geotekniset suunnitelmaratkaisut

OPINNÄYTETYÖ AMK | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, insinööri

Ohjaaja DI Pirjo Oksanen

2022 | 43 sivua

Valtteri Fagerström

KUPITTAAN BMX-RADAN PERUSPARANNUS JA LAAJENNUS

- Geotekniset suunnitelmaratkaisut

Opinnäytetyö on osana Kupittaa BMX-radan perusparannuksen ja laajennuksen suunnittelua, jonka tavoitteena on toteuttaa kansallisen kilpatason vaatimukset täyttävä BMX-rata. Opinnäytetyön tavoitteena on laatia toimeksiannon mukaisesti radan suunnittelun yhteydessä toteutettavat geotekniset ratkaisut. Perusparannuksen ja laajennuksen suunnitteluun kuuluvat nykyisen radan pidentäminen ja laatutason nostaminen, kuivatuksen parantaminen ja selvitys mahdollisesta laajentamisesta Veritas Stadionin puoleiselle viheralueelle. Opinnäytetyö toimii osana Turun kaupungin toimeksiannon liikuntapaikkasuunnittelun osuutta.

BMX-radan suunnittelu on varsin harvinainen ja haastava suunnitteluprojekti. Geoteknisten ratkaisujen suunnittelussa tulee huomioida kansallisen kilpatason vaatimukset radan ominaisuuksista, esimerkiksi hyppyreistä ja kaarteista. Ratavaatimusten lisäksi haasteita aiheuttaa alueen heikko savinen maaperä, joka on jo ennestään painunut nykyisen radan paikalla. Tämän vuoksi painumien ehkäisy uutta rataa suunniteltaessa on tärkeää. Opinnäytetyössä on tehty alustavat painumalaskelmat ja suunnitelmat painumien ehkäisemiseksi.

Painumia ehkäisemällä voidaan pidentää rakenteen käyttöikä ja pitää ylläpito- ja korjauskustannukset maltillisina. Lisäksi painumien ehkäisy on tärkeää rakenteen toimivuuden ja turvallisen käytön kannalta.

ASIASANAT:

Geotekniikka, infrarakentaminen, painuma, liikuntapaikkasuunnittelu

BACHELOR'S / MASTER'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Civil Engineering

Instructor Pirjo Oksanen, M.Sc. Eng

2022 | number of pages 43

Valtteri Fagerström

ENHANCEMENT AND EXPANSION OF THE BMX- TRACK OF KUPITTA

- Geotechnical design solutions

The goal of this thesis was to prepare geotechnical solutions to be implemented in connection with the design of the Kupittaa BMX cycle track in accordance with the assignment. The thesis is part of the planning of the refurbishment and expansion of the track, the aim of which is to implement a BMX track that meets the requirements of the national competition level. Planning for the refurbishment and expansion will include extending the existing track and raising the quality level, improving drainage, and statement of possible extension to the green area by the Veritas Stadium side.

Designing a BMX track is quite a rare and challenging design project. The design of geotechnical solutions must consider the requirements of the national race level for the characteristics of the track, such as jumpers and curves. In addition to the track requirements, the challenges are caused by the weak clay soil in the area, which is already pressed on the site of the current track. Therefore, it is important to prevent settlements when designing a new track. Preliminary settlement calculations and plans to prevent settlements were made in the thesis.

Preventing settlements can extend the life of the structure and keep maintenance and repair costs moderate. In addition, the prevention of settlements is important for the functionality and safe use of the structure.

KEYWORDS:

Geotechnical engineering, infrastructure construction, settlement, sports facilities design

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	6
2 TURUN KAUPUNGIN LIIKUNTAPAIIKKAVERKKOSUUNNITELMA	7
2.1 Liikuntapaikkoverkon päivityssuunnitelman tavoitteet	7
2.2 Kehitystyön aikataulu	8
2.3 Kupittaaan BMX-rata osana liikuntapaikkaverkkosuunnitelmaa	8
3 KUPITTAAN BMX-RADAN KUVAUS	9
3.1 Nykytilanne	9
3.2 Radan profiili	9
3.3 Kuivatus, varusteet ja laitteet	10
3.4 Geotekninen tilanne	10
4 POHJATUTKIMUKSET	12
4.1 Pohjatutkimus	12
4.2 Kairaukset	12
4.2.1 Painokairaus	12
4.2.2 Siipikairaus	13
4.3 Näytteenotto	14
4.4 Tehdyt pohjatutkimukset	14
4.5 Pohjatutkimusohjelma	17
5 POHJATUTKIMUSTULOSTEN KÄSITTELY	19
5.1 Kairaustulosten tulkinta	19
5.2 Pohjatutkimusten käsittely	19
5.3 Saven käyttäytyminen	23
6 MITOITUSKRITTEERIT JA PAINUMAN LASKENTA	25
6.1 Painumatarkastelut	25
6.2 Painuman raja-arvon määrittäminen	27
6.3 Konsolidaatiopainuma	30
6.4 Konsolidaatiopainuman laskeminen	31
7 VAIHTOEHDOT JA SUUNNITTELURATKAISUT	33
7.1 Painumien syntymisen ehkäiseminen	33

7.2 Painumien laskenta Geocalc-laskentaohjelmiston avulla	34
7.3 Suunnitteluratkaisujen valinta	38

8 JOHTOPÄÄTÖKSET	40
-------------------------	-----------

LÄHTEET	42
----------------	-----------

KAAVAT

Kaava 1. Painumalajit.	25
Kaava 2. Suhteellinen kokoonpuristuma.	31
Kaava 3. Konsolidaatiopainuma.	31
Kaava 4. Veden kyllästämän maakerroksen suhteellinen kokoonpuristuma.	32
Kaava 5. Esikuormitus.	32

KUVAT

Kuva 1. Pohjatutkimuskartta.	15
Kuva 2. Tehtyjen kairausten kairausdiagrammit.	16
Kuva 3. Mallinnettu saven alapinta.	17
Kuva 4. Pohjatutkimusohjelma.	18
Kuva 5. Suunnittelualueelle suoritettut pohjatutkimukset.	21
Kuva 6. Suoritettujen pohjatutkimusten leikkaukset.	22
Kuva 7. Geocalc-laskenta ilman kevennystä.	35
Kuva 8. Penkereen painuma ilman kevennystä.	36
Kuva 9. Pengerrakenteen painuma vaahtolasilla kevennettynä.	38

TAULUKOT

Taulukko 1. Häirityn näytteen tulokset.	23
Taulukko 2. Tienpinnan sallitut painumat.	28
Taulukko 3. Tien vaatimusluokkien määrittely.	29
Taulukko 4. Piha-alueiden laatuluokitus ja suositellut rakennevaatimukset.	29

1 JOHDANTO

Turussa on laaja ja monipuolinen liikuntapaikkaverkko, joka käsittää lähes 400 kunnallista liikuntapaikkaa. Vanheneva verkko vaatii kuitenkin jatkuvaa yllä- ja kunnossapitoa, sekä parantamistoimenpiteitä. Tulevien vuosien aikana useita suuria, keskeisiä ja suosittuja liikuntapaikkoja vaatii merkittäviä uudistamistoimenpiteitä. Lisäksi kaupungin tavoitteena on luoda nykyistä monipuolisempi ja kattavampi liikuntapaikkaverkko, joka kannustaa kaupunkilaisia liikkumaan. (Liikuntapaikkaverkkosuunnitelma, Turun kaupunki)

Kupittaaan BMX-rata on yksi ajankohtaisista liikuntapaikkaverkon päivityskohteista (Henkilökohtainen tiedonanto, Turun kaupunki, 29.3.2022). BMX-pyörärata sijaitsee Kupittaaanpuiston kaakkoiskulmassa Hippoksentien ja Lemminkäisenkadun kulmassa. Kupittaaan on yksi Turun suurimmista liikuntakesuksista, jossa sijaitsee toinen kaupungin kahdesta BMX-radasta. Rata on yksi Kupittaaan monista ulkoliikuntapaikoista.

Vanha ja huonokuntoinen rata ei kuitenkaan vastaa nykyisiä lajitarpeita. Rata on ajan mittaan alkanut painumaan saviseen maaperään, ja alueelle on muodostunut kuivatuksellisia ongelmia. Turun kaupungilla on ajatuksena BMX-radan perusparannus ja mahdollinen alueen laajentaminen Hippoksentien mukaisesti kohti Veritas Stadionia. Tavoitteena on radan kehittäminen harrastusolosuhteena, ja suunnittelu toteutetaan yhteistyössä käyttäjien kanssa. Radan käyttäjät toivovat uutta ja laaja-alaisempaa rataa sisältäen uudenlaisia hyppyreitää ja profiileja. (Henkilökohtainen tiedonanto, Turun kaupunki, 29.3.2022)

Opinnäytetyön tavoitteena on tutkia geotekniset ratkaisut painumien ehkäisemiseksi Turun Kupittaaanpuiston BMX-pyöräradalle. Opinnäytetyö on osana Turun kaupungin toimeksiannon liikuntapaikkasuunnittelua. Työ toteutetaan toimeksiannon mukaisesti BMX-pyöräradan suunnittelun yhteydessä. Suunnitelmaratkaisut tulee täyttää kansallisen radan ratavaatimukset liikuntapaikasta. Opinnäytetyö rajautuu yleissuunnitteluvaiheeseen ja suunnitelmavaihtoehtojen esittämiseen tilaajalle. Opinnäytetyössä ei käsitellä jatkosuunnittelua.

2 TURUN KAUPUNGIN LIIKUNTAPAIIKKAVERKKOSUUNNITELMA

2.1 Liikuntapaikkaverkon päivityssuunnitelman tavoitteet

Turun kaupungin julkaisemassa liikuntapaikkaverkkosuunnitelmassa 2029 (Turun Kaupunki, 2015) kuvataan verkoston nykytilaa liikuntapaikkojen käytön, kustannusten ja tulojen, sijainnin sekä osallisten mielipiteiden näkökulmasta. Nykytilan näkökulmien pohjalta linjataan tulevaisuutta, jonka tarkoituksena on ohjata yksityiskohtaisempaa päätöksentekoa koskien kaupungin liikuntapaikkaverkoston. Pitkjänteistä suunnittelua tarvitaan laajan ja vanhenevan liikuntapaikkaverkon hallitsemiseksi.

Suunnitelman ydinkysymyksenä on mahdollisimman mielekkään ja järkevän verkoston ylläpito kustannustehokkaasti saatavilla olevilla resursseilla. Suunnitelmaa ohjaa myös kysymys siitä, miten asukkaille olisi mahdollista tuottaa sekä kilpailukäyttöön tarkoitettuja liikuntapaikkoja, että arki- ja lähiliikuntapaikkoja mahdollisimman asianmukaisesti ja kannustavasti. (Turun kaupunki, 2015)

Liikuntapaikkasuunnitelmaan kysyttiin myös käyttäjien mielipidettä liikuntapaikoista. Turun kaupunki toteutti yhteistyössä Turun ammattikorkeakoulun kanssa avoimen kyselyn ja haastattelun kaupunkilaisille vuonna 2013. Kupittaa puiston ja Kupittaa alueen liikuntapaikat olivat eniten mainintoja saaneiden joukossa. (Turun Kaupunki, 2015)

Tulevaisuudessa Turun kaupungin laajaan liikuntapaikkaverkoston on tulossa uudistamistarpeita, jotka kohdistuvat käyttöikänsä päähän tuleviin olennaisiin ja suosittuihin liikuntapaikkoihin. Päivityssuunnitelmassa on kaksi päätavoitetta; luoda entistä laajempi ja monipuolisempi liikuntapaikkaverkko sekä luoda uusi avustamisen malli. Tavoitteena on luoda omatoimiseen ja ohjattuun liikuntaan soveltuva verkosto, jota rakennetaan, päivitetään ja ylläpidetään eri toimijoiden välisellä yhteistyöllä. Avustamisen malli kannustaa ja aktivoi lapsia ja nuoria liikkumaan, tukee liikuntaseuroja liikunnan lisäämiseksi ja edistämiseksi sekä kannustaa yksityisiä toimijoita luomaan nykyistä kattavampaa liikuntapaikkatarjontaa. (Liikuntapaikkaverkkosuunnitelma, Turun kaupunki)

2.2 Kehitystyön aikataulu

Kehitystyö on tarkoitus toteuttaa kahdessa vaiheessa. Syksyn 2021 aikana liikuntapaikkaverkon päivittämiseksi ja kehittämiseksi luodaan päälinjat, jotka ovat tarkoitus ottaa käyttöön vuoden 2023 alusta. Syksyn 2022 aikana päätetään uudesta avustus- ja hinnoittelumallista, joka on tarkoitus ottaa käyttöön vuoden 2024 alusta. (Liikuntapaikkaverkkosuunnitelma, Turun kaupunki)

2.3 Kupittaaan BMX-rata osana liikuntapaikkaverkkosuunnitelmaa

Kupittaaan BMX-rata on yksi ajankohtaisista liikuntapaikkaverkon päivityskohteista. Tavoitteena on kehittää rataa harrastusolosuhteena. Suunnittelutyössä huomioidaan erityisesti lapset ja nuoret, ja kehitystyö tehdään yhteistyössä radan käyttäjien kanssa. Suunnittelussa tarkastellaan mahdollisuuksia radan pidentämiseen sekä rataprofiilin päivittämiseen radan, lähtöalueen ja radan ympäristön osalta. Käyttäjät toivovat uudenlaisia hyppyreitä ja profiileja, erityisesti kahteen ensimmäiseen mutkaan. (Henkilökohtainen tiedonanto, Turun kaupunki, 29.3.2022)

Radan tarvekartoitus ja suunnittelu on tarkoitus toteuttaa vuoden 2022 aikana. Mikäli suunnittelu etenee aikataulun mukaisesti, radan peruskorjaus voitaisiin mahdollisesti aloittaa vuonna 2023. Peruskorjauksen sisällöt ja aikataulut tarkentuvat suunnittelun edetessä. Ulkoliikuntapaikkainvestointeihin vuosittain varatut määrärahat ja muiden hankkeiden aikataulut vaikuttavat radan peruskorjauksen aikatauluun. (Henkilökohtainen tiedonanto, Turun kaupunki, 29.3.2022)

3 KUPITTAAN BMX-RADAN KUVAUS

3.1 Nykytilanne

Kupittaaan BMX-rata on noin 15–20 vuotta vanha ja se on rakennettu aikoinaan kaupungin liikuntapaikkainvestointien kautta. Paikallinen seura järjestää eri ikäryhmien kisoja, pääasiallisesti junioriharrastajien kisoja. Seuralla on jäseniä noin 70–80 henkilöä, tämän lisäksi omatoimiset harrastajat käyttävät rataa. Varsinaista käyttäjätilastoa radan käyttöön liittyen ei ole olemassa, sillä rata on kaikkien vapaassa käytössä. (Henkilökohtainen tiedonanto, Turun kaupunki, 29.3.2022)

Kupittaaan BMX-rataa ylläpidetään yhteistyössä Turun kaupungin liikuntapalvelujen kunnossapito-osaston ja lajin harrastajien kesken. Nykyistä rataa ei ole suunniteltu kansallisen kilpatason radaksi, eikä nykyisen radan profiili vastaa nykyisiä lajitarpeita. BMX-radan paikalla on aikaisemmin sijainnut Kupittaaan ravirata, josta on enää jäljellä Kupittaaan totokioski. Raviradan sisäkentällä järjestettiin myös speedway moottoripyöräkilpailuja. Ravirata sijaitsi Hippoksentien pohjoispuolella, jonka paikalla sijaitsee nykyään jalkapallokenttiä, BMX-rata ja pyöräilyvelodromi.

Rata on ikäänsä nähden tyydyttävässä kunnossa, mutta selkeästi puutteellinen nykyisiin ratavaatimuksiin nähden. Veden johdatus ja salaojitus, sekä radan materiaali kaarteiden osalta ovat suurelta osin puutteellisia. Joka kevät tehdään laajempi peruskunnostus, jolloin rataa muokataan ja materiaaleja lisätään. Peruskunnostuksen jälkeen rataa huolletaan tarpeen mukaan. Huoltotapoja ovat lanaus, jyräys ja materiaalin lisääminen. (Henkilökohtainen tiedonanto, Turun kaupunki, 29.3.2022)

Mahdollisen laajennusosan paikalla on tällä hetkellä Kupittaaan jalkapallokentille johtava sorapäällysteinen huoltoajokaista, sekä huonokuntoinen sorapäällysteinen pysäköinti-alue.

3.2 Radan profiili

Kupittaaan BMX-rata muodostuu neljästä suorasta ja kolmesta kallistetusta kaarteesta. Ensimmäinen kaarre ei ole lajille ominaisen tyyppin mukainen sillä kaarre on liian pitkä ja

loiva. Lisäksi toinen ja kolmas kaarre ovat muodoiltaan vääränlaiset. Kaarteet ovat tällä hetkellä kivituhkapintaiset, vaikka niiden tulisi olla päällystettyjä asfaltilla tai betonikiveyksellä. Suorilla rataosuuksilla sijaitsevat hyppyrit ovat muodoltaan vääränlaiset ja korkeudeltaan liian matalia. Hyppyreihin ja kaarteisiin on käytetty täyttömaata ja isompaa mursketta. Radan pintamateriaali on kauttaaltaan 0–5 mm mursketta eli kivituhkaa (Henkilökohtainen tiedonanto, Turun kaupunki, 29.3.2022). Lisäksi radalla tulisi olla merkittynä ajoradan määrittävät reunaviivat, joiden ulkopuolella on piennar. Nykyisen radan profiili on osittain myös liian kapea.

3.3 Kuivatus, varusteet ja laitteet

Radan alueella ensimmäisen suoran poikki kulkee kaksi salaojaputkea sekä ensimmäisen ja toisen suoran välisellä välialueella on salaojaputki. Pintakuivatus on toteutettu avo-øjilla ja pinnan tasauksilla ilman hulevesikaivoja. Rata on myös valaistu kahteen suuntaan osoittavilla pylväsvalaisimilla, jotka ovat sijoitettuna keskelle rataa kolmannen ja neljännen suoran väliselle alueelle. Alueen kulmassa sijaitsee leveä kahdeksan henkilön lähtökoroke ja neljän kilpailijan lähtöportti. Lähtöportti ei täytä tämänhetkisiä UCI:n vaatimuksia kooltaan ja tekniikaltaan. Portin tulee olla vähintään 7,3 metriä leveä, sekä 50 cm korkea sähköinen portti, jossa on äänikomennot ja starttivalot (UCI cycling regulations. Part VI BMX. 2019)

3.4 Geotekninen tilanne

Radan korkomaailma on huomattavasti muuta ympäröivää aluetta korkeammalla. Silmämääräisten havaintojen perusteella rata on ajan mittaan painunut. Painuma on syntynyt, sillä hyppyreihin ja kaarteisiin käytetty täyttömaa on aiheuttanut liian suuren kuorman kantavuudeltaan heikkoon maaperään. GTK:n maaperäkartan mukaan alue sijaitsee savikolla, jolle on tyypillistä konsolidaatiopainuma. Konsolidaatiopainumalla tarkoitetaan kuormitetun maan tiivistymistä maa-aineksen luhistuessa kokoon. Konsolidaatiopainumassa maa-aineksen kohoumia kuormitetun alueen sivuille ei tapahdu (Jääskeläinen, 2009, 118). Savimaille on ominaista myös heikko kuormituskestävyys ja veden läpäisemättömyys. Painuma oli hyvin havaittavissa BMX-radan aluetta ympäröivästä aidasta, joka oli kaikkialta huomattavasti kallistunut radan suuntaan. Myös viereisellä asfalttipäällysteisellä Kupittaaan skeittiparkilla on havaittavissa BMX-radan painuma radan suuntaan

syntyneistä pitkittäisistä halkeamista. Lisäksi ongelmana on hulevesien lammikoituminen kivituhkapäälysteiselle radalle.

4 POHJATUTKIMUKSET

4.1 Pohjatutkimus

Pohjatutkimuksilla tarkoitetaan maa- ja kallioperän tutkimuksia, joiden avulla pyritään selvittämään niiden ominaisuuksia ja rakennetta. Tutkimukset ovat oleellisessa osassa maankäytön suunnittelussa ja johon kaavoituksen tulisi perustua. Kaikkein eniten pohjatutkimuksia tarvitaan erilaisten rakennushankkeiden geoteknistä suunnittelua varten. (Rantamäki ym. 1979, 257)

Rakennuspohjan laatu, rakenteesta aiheutuvat kuormitukset ja suunnitellut rakenteet määrittelevät kuinka laajat pohjatutkimukset tulee suorittaa. Pohjatutkimusten tarkoituksena on antaa suunnittelijalle tarpeeksi kattavat lähtötiedot suunnittelua varten. Tutkimuksilla selvitetään rakennuspaikan maaperän kerrosjärjestys, kerrospaksuudet sekä kerrosten ominaisuudet, mahdollinen kalliopinnan sijainti ja sen rakenne sekä vallitsevat pohjavesisuhteet. (Rantamäki ym. 1979, 257)

4.2 Kairaukset

Kairaukset perustuvat kairan kärkikappaleeseen kohdistuvasta kairausvastuksen vaihteluista, jonka avulla voidaan tehdä oletuksia läpäistävien maakerrosten laadusta, tiiveydestä, lujuudesta ja kantavuudesta. (Rantamäki ym. 1979, 258)

Siipikairaus on eräs kairausmenetelmistä ja se soveltuu saven ja hienon siltin suljetun leikkauslujuuden määrittämiseen. (Jääskeläinen, 2009, 112)

Leikkauslujuus on tärkein maaperän lujuusominaisuuksista ja määrää pitkälti mm. maapohjan kantavuuden rakenteiden alla. (Jääskeläinen, 2009, 98)

4.2.1 Painokairaus

Painokairauksen perusajatuksena on mitata jatkuvasti minimipainomäärää, jolla kaira painuu maaperään. Aluksi yritetään mitata kairatangon mahdollista painumista pelkkien painojen avulla. Jos kairatanko painuu nopeammin kuin 50 mm/s, tulee siitä vähentää painoa. Jos kairatanko painuu maaperään hitaammin kuin 20 mm/s, tulee kairaansa lisätä

painoa. Jos kairassa kuitenkin on jo täydet painot niin vielä 5 mm/s painumanopeuksilakin painumista odotetaan. Kun kaira ei painu enää täysillä painoillakaan, aletaan kairatankoa kiertämään. Kiertämistä mitataan puolikierröksinä. Kiertämistä jatketaan niin kauan, kunnes kaira on painunut 20 cm ja kirjataan kärjen syvyys ja puolikierrosten määrä. Jos kesken kiertämisen kaira alkaa painumaan itsestään, poistetaan siitä kaikki paino ja aloitetaan lisäämään kuormitusta asteittain, kunnes löydetään minimi painomäärä, jolla kaira painuu. Jos taas kaira ei painu täysillä painoilla kiertämälläkään, poistetaan siitä kaikki painot ja kairaa lyödään nuijalla. Lyömistä ei saa kuitenkaan aloittaa ennen kuin kairan upottamiseen tarvitaan yli 100 puolikierrosta 20 cm kohti. Kun kaira ei suostu enää painumaan lyömälläkään, on kairaus päättynyt. (Jääskeläinen, 2009, 244-245)

Syy kairauksen päättymiselle tulee aina merkitä pöytäkirjaan. Mahdollisia syitä kairauksen päättymiselle voivat olla sen lopettaminen määräsyvyyteen, kairauksen päätyminen kiveen, lohkareseen tai kallioon, tai kairauksen päätyminen tiiviiseen maakerrokseen. Yksittäinen kairaus tulisi aina suorittaa yhtäjaksoisesti, sillä kairauksen väliaikainen pysäyttäminen voi vääristää tuloksia. Pysäytyksen aikana varsinkin savisessa ja silttisessä maaperässä kaira voi jumittua ja täten vääristää tuloksia. (SGY 1980, 6)

4.2.2 Siipikairaus

Siipikairausten perusajatuksena on tutkia syvien savikoiden pehmeimmät kohdat. Siipikairauksia ei suoriteta kitkamaissa eikä karkeassa siltissä. Suunnittelualue tutkitaan riittävän tiheästi muilla kairausmenetelmillä, kuten painokairalla maanpinnasta aina kovaan pohjaan tai määräsyvyyteen asti. Siipikairaus suoritetaan tyypillisesti 0,5 m tai 1,0 m välein savikon pohjaan asti. (SGY 1995, 1)

Siipikairauksen mittaamisen perusajatuksena on kiertää siipeä tasaisella, jatkuvalla liikkeellä. Mittaus suoritetaan tankojen kiertymisnopeudella $0,1^\circ$ sekunnissa eli $6,0^\circ$ minuutissa. Mittauksen tavoitteena on tulkita mittalaitteesta lyhyin väliajoin kairatangon kiertymän ja momentin välinen yhteys. Kun kairaa on kierretty tarpeeksi, alkumomentti, joka johtuu tankojen hankauksesta, loppuu ja siipi alkaa jännittämään maata. Kun maa on jännittynyt, momentti nousee nopeasti kairan väännön yhteydessä ja saavutetaan momentin suurin arvo, joka vastaa leikkauslujuutta. Tämän jälkeen jännittynyt maa leikkautuu ja leikkauslujuus laskee nopeasti vähän pienemmäksi. Tällöinkin leikkauslujuus pysyy hetken aikaa vakiona, kunnes alkaa taas pienentyä, tätä kutsutaan

jäännöslujuudeksi. Jäännöslujuutta käytetään apuna varmuuskertoimien määrittämisessä suunnittelun yhteydessä. Siipikairauksen mittaus päätetään tietyssä pisteessä häirityn maan leikkauslujuuden mittaamiseen, jossa siipeä pyöritetään 20 kierrosta ja mitataan häiritty leikkauslujuuden arvo. Siipikairauksen tulokset voivat vääristyä, jos mitattava maa-aines on humuspitoista, plastista tai ylikonsolidoitunutta. (Jääskeläinen, 2009, 259–260)

4.3 Näytteenotto

Maaperästä otetaan myös usein näytteitä kairaustulosten tarkentamiseksi tai jos kairaus-tuloksia on vaikea määrittää. Painumalaskelmien tekemiseksi näytteiden ottaminen on yhtä tärkeää kuin itse kairaukset. Näytteet voidaan pääasiassa jakaa häiriintymättömiin- sekä häiriintyneisiin näytteisiin.

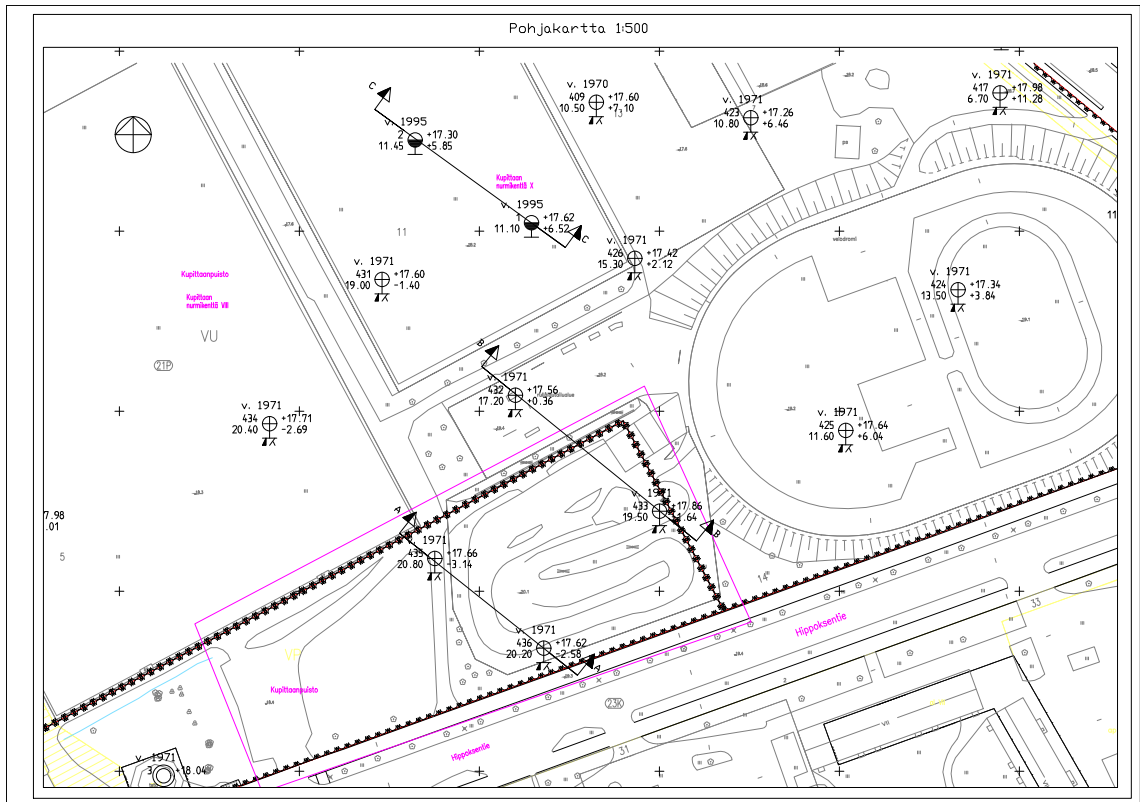
Häiriintymättömillä näytteillä tarkoitetaan luonnontilassa olevaa maa-ainesta, jossa maalajin rakenne on myös säilynyt ehyenä ja on suljettu esim. putken sisälle. Häiriintymättömästä maanäytteestä voidaan kokeiden avulla määrittää maalajin parametreja mm. painuma- ja kantavuuslaskelmiin. (Rantamäki ym. 1979, 274)

Häiriintyneellä näytteellä tarkoitetaan maalajia, jonka rakenne on hajonnut, mutta maalajin ainesosat ovat alkuperäisessä suhteessa tallella, esim. rakeisuus ei ole muuttunut. Häiriintyneistä maanäytteistä voidaan määrittää maalajin rakeisuutta, eloperäisen aineksen pitoisuutta (humuspitoisuus) sekä vesipitoisuutta pohjavedenpinnan yläpuolella otetuista maanäytteistä. (Rantamäki ym. 1979, 274)

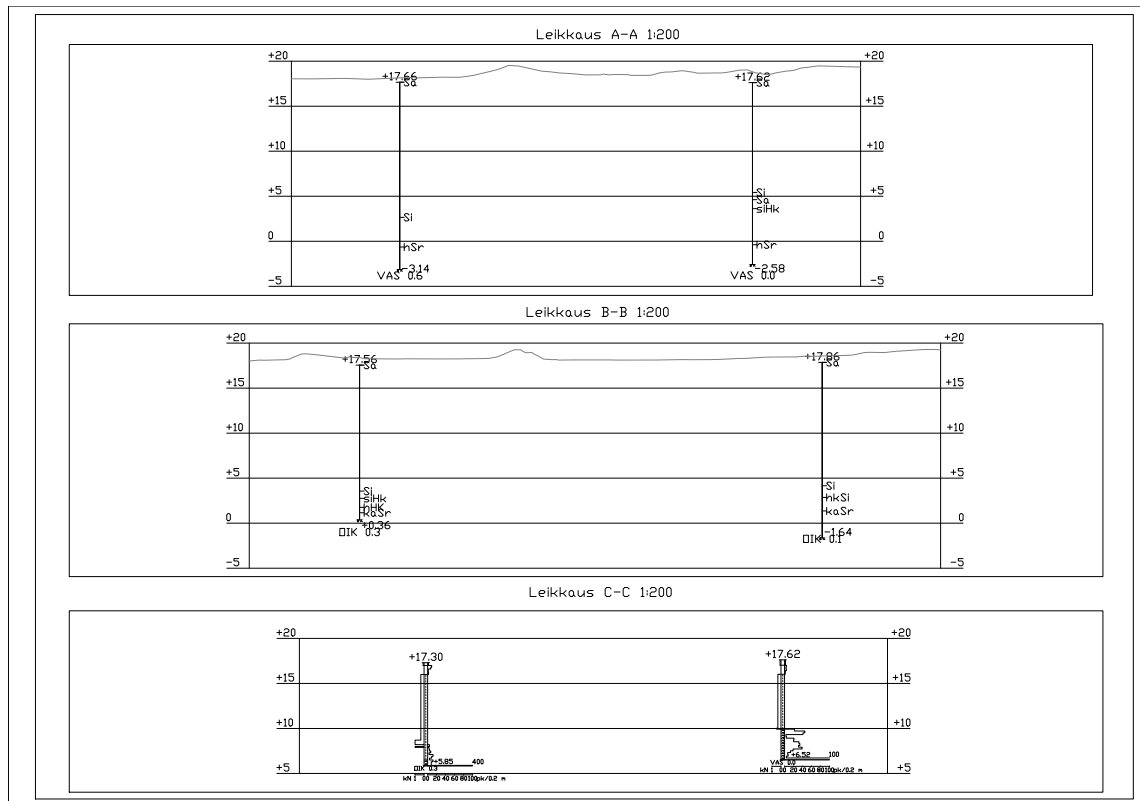
4.4 Tehdyt pohjatutkimukset

Kupittaaan BMX-radan lähiympäristöön on aikaisemmin tehty pohjatutkimuksia, joita oli mahdollisuus hyödyntää lähtötietona. Tutkimukset on suoritettu tärykairaamalla ja painokairaamalla. Nykyisen radan paikalla on suoritettu tärykairauksia vuonna 1971 ja painokairaukset ovat suoritettu vuonna 1995 viereisen nurmikentän alueella. Painokairaukset sijaitsevat varsinaisen suunnittelualueen ulkopuolella, joka on merkitty kuvaan lilalla värillä, mutta lähtötietojen laajuuden kannalta painokairauksen avulla on mahdollista arvioida tarkemmin maakerrosten ominaisuuksia (kuva 1). (Henkilökohtainen tiedonanto, Turun kaupunki, 9.2.2022)

Kuvassa 2 on esitetty leikkaukset pohjatutkimuskartassa esitetyistä sijainneista. Leikkaukset A-A ja B-B ovat tärykairauksia. Tärykairausten kuvaajissa on esitetty kairausten aloitus- ja lopetuskorkeudet, sekä maalajien kerrostumat ja kerrospaksuudet. Leikkauksessa C-C on esitetty tehdyt painokairaukset. Painokairausten kuvaajissa on esitetty kairausvastukset, joista voidaan arvioida maakerrosten tiiveydestä. (Henkilökohtainen tiedonanto, Turun kaupunki, 9.2.2022)

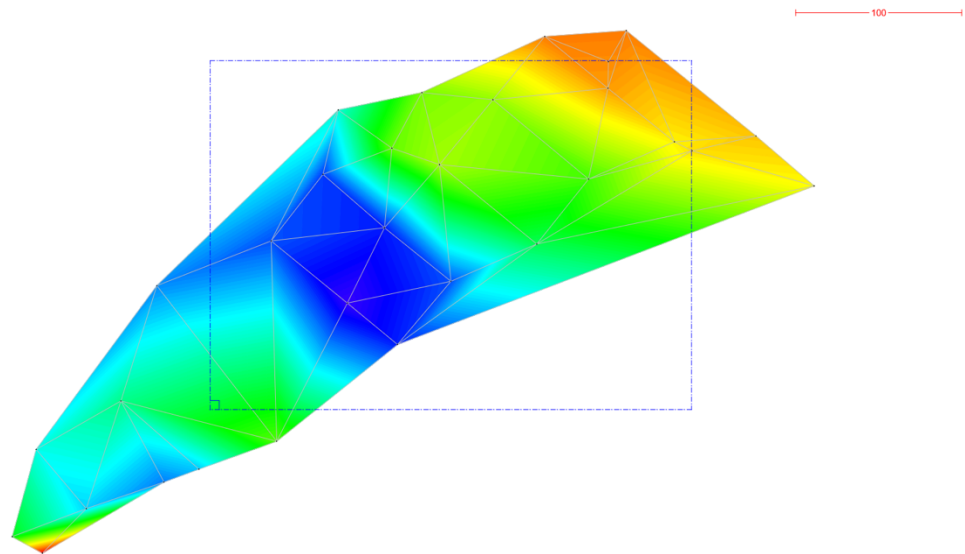


Kuva 1. Pohjatutkimuskartta.



Kuva 2. Tehtyjen kairausten kairausdiagrammit.

Alueella tehtyjen pohjatutkimusten avulla luotiin saven alapinnasta malli, joka havainnollistaa saven alapinnan syvyyden muutoksia. Saven alapinta on tulkittu kaikista alueella jo tehdyistä pohjatutkimuksista. Sinisellä värjätty alue on maanpinnasta katsottuna kaikkein syvimmällä, kun taas punaisella värjätty alue on lähinnä maanpintaa. Suunnittelualue sijaitsee paksuimman savikerroksen päällä. (Kuva 3)



Kuva 3. Mallinnettu saven alapinta.

4.5 Pohjatutkimusohjelma

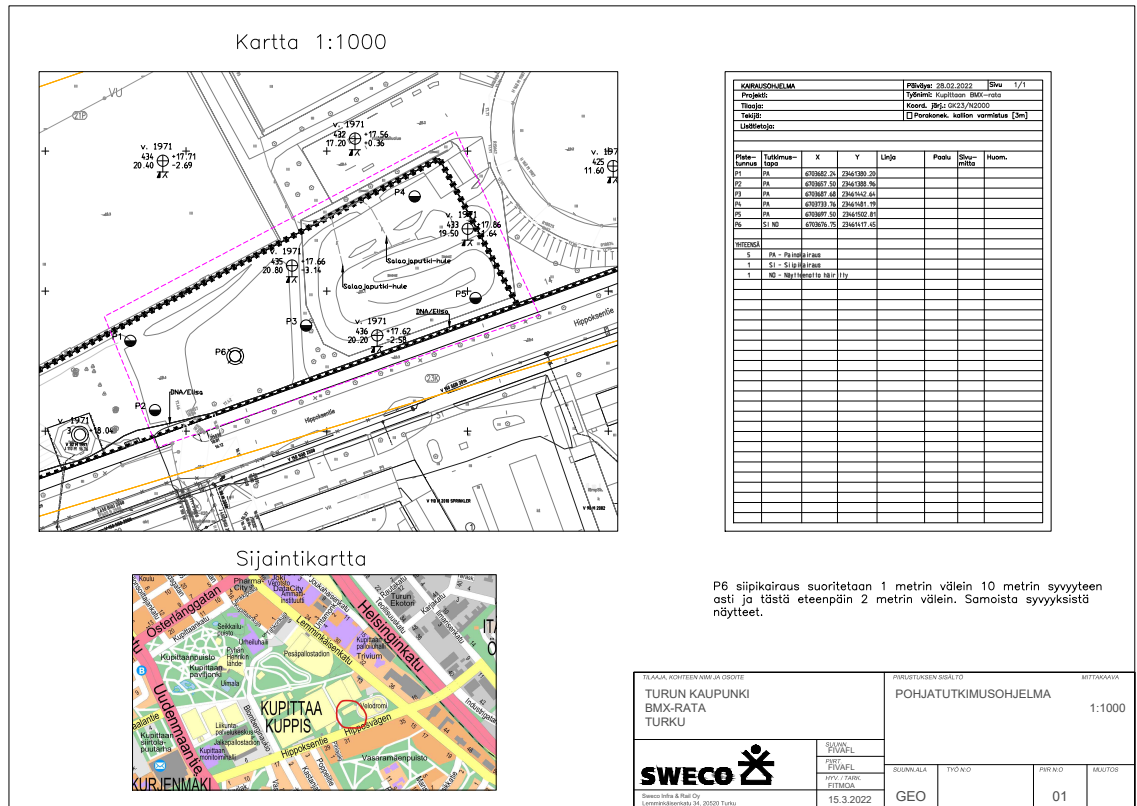
Pohjatutkimusohjelma laadittiin suunnittelualueelle huomioiden alueen koko, toiminnot, sekä kasvillisuus. Pohjatutkimusmenetelmät valikoitiin aikaisemmin tehtyjen pohjatutkimusten tueksi ja painumalaskelmiin tarvittavien lähtötietojen keräämiseksi. Tutkimukset sijoitettiin suunnittelualueelle siten, etteivät ne olleet tehtyjen tutkimusten välittömässä läheisyydessä, vaan levitettynä tasaisesti tutkimattomalle alueelle.

Lähtötiedoiksi tarvittiin painokairauksesta saatavat maakerrokset, niiden paksuudet ja likimääräinen tiiveys, siipikairauksen antamat tulokset suljetusta leikkauslujuudesta sekä näytteestä saatavat vesipitoisuudet ja hienousluvut. Porakonekairausta kallion varmistukseksi ei ollut tarpeellista suorittaa.

Pohjatutkimusohjelmaan merkittiin siipikairaukset suoritettavaksi metrin välein kymmenen metrin syvyyteen maanpinnasta ja tästä eteenpäin kahden metrin välein. Samoista syvyyksistä otetaan näytteet.

Ohjelmassa on esitetty tutkimusalueen likimääräinen sijaintikartta sekä suunnittelualueen pohjakartta. Pohjakartassa on esitetty tutkimuspisteiden sijainti, tehtyjen tutkimusten sijainti ja likimääräisesti maanalaiset rakenteet kuten johdot, kaapelit putket ja viemärit.

Tutkimuskartan vieressä on kairausohjelma, jossa on merkittynä jokaisen kairauspisteen tutkimustapa, sekä sijainti ilmoitetussa koordinaatistossa (kuva 4).



Kuva 4. Pohjätutkimusohjelma.

5 POHJATUTKIMUSTULOSTEN KÄSITTELY

5.1 Kairaustulosten tulkinta

Painokairausdiagrammia tulkittaessa kuvaajassa on keskellä 4 mm leveä pystysuora kaitale, johon merkitään aina kullakin syvyydellä olevan maalajin piirustusmerkki. Pystysuoran pylvään vasemmalle puolelle piirretään kairaustulos silloin kun kaira on painunut maaperään omalla painollaan niin ettei kairaa ole tarvinnut kiertää. Kairan omaa painoa voidaan vaihdella 25 kg:n ja 100 kg:n välillä ja kairausdiagrammissa 1 cm vastaa 100 kg kuormitusta mittakaavan ollessa 1:100. Kun kaira ei painu omalla painolla maaperään, sitä joudutaan kiertämään. Tilanteet, joissa kairatanko on jouduttu kiertämään, kuvaaja piirtyy pystysuoran pylvään oikealle puolelle. Diagrammin leveys senttimetreinä saadaan jakamalla saman kohdan puolikierrosten määrä uppoumasenttimetrien määrällä. Esim. Jos 20 cm uppoumaan on tarvittu 20 puolikierrosta (pk), on diagrammin leveys 1 cm. (Jääskeläinen, 2009, 246)

Siipikairausten tuloksista piirretään kairausvastuskuvaaja. Kairausvastuskuvaajassa on esitetty häiriintymättömän maan leikkauslujuus sekä häirityn maan leikkauslujuus. Mittaukset suoritetaan tyypillisesti 0,5–1,0 metrin syvyysvälein ja mittauksesta pidetään pöytäkirjaa. Pöytäkirjaan kirjataan kairausryvytydet, siiven kiertoon tarvitusta ajasta, siiven kiertokulmasta ja kiertoon tarvitusta vääntömomentista. Leikkauslujuudet saadaan laskettua vääntömomentista laskentakaavojen avulla tai mittalaitteen kalibroititaulukolla. Lopullisesta piirretystä diagrammista selviää tutkimussyvyyden leikkauslujuudet. Diagrammi on usein liitetty saman mittauskohdan mm. painokairausdiagrammin viereen. (Rantamäki ym. 1979, 270)

5.2 Pohjatutkimusten käsittely

Suoritettujen pohjatutkimusten perusteella saatiin tietoa suunnittelualueen maaperästä ja sen ominaisuuksista. Kuvassa 5 on esitetty suunnittelualueen pohjakartta, johon on merkitty suoritettujen pohjatutkimusten sijainnit, pohjatutkimustavat, kairausten päättymistapa sekä aloitus- ja lopetuskorkeudet. Tutkimuspisteistä on luotu kolme leikkausta: A-A, B-B ja C-C, jotka ovat esitetty kuvassa 6.

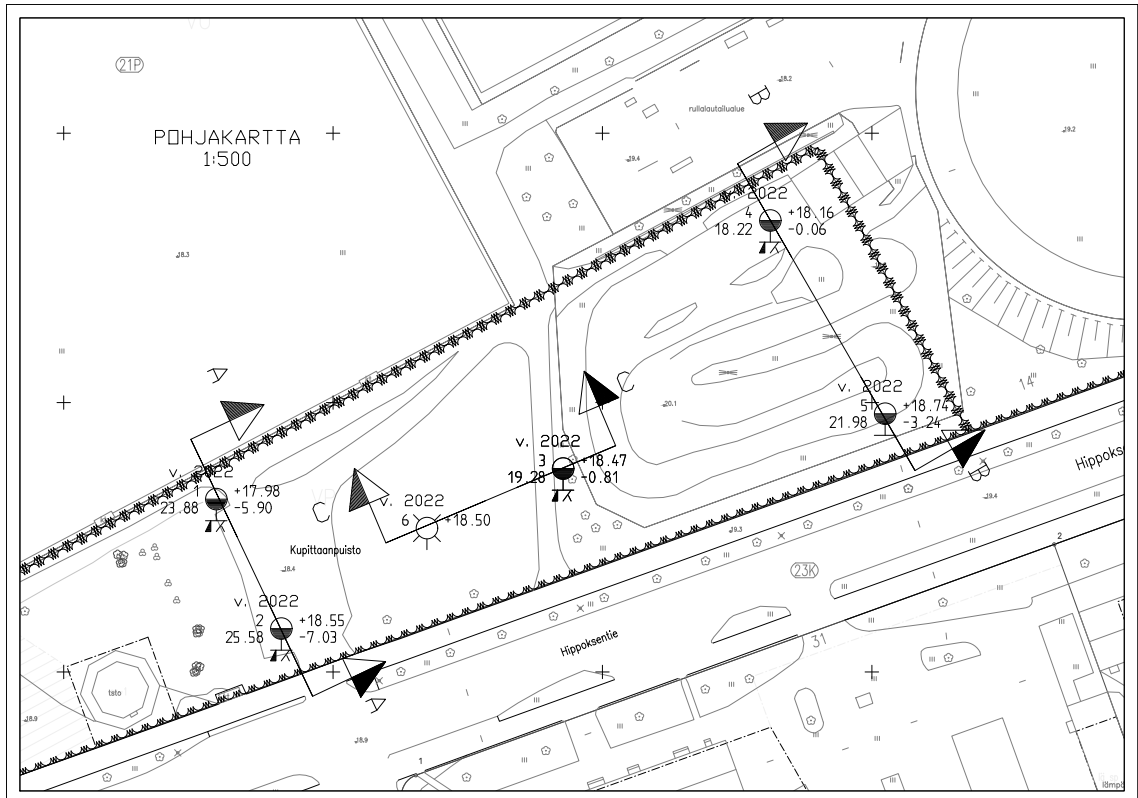
Leikkauksessa A-A on esitetty suunnittelualueen luoteisen reunan painokairausdiagrammit. Kairaus on alkanut alkukairauksella, jonka tarkoituksena on rikkoa kova pintamaa, juurakkoinen pintakerros ja kuivakuorikerros, joka aiheuttaa huomattavasti suurempaa varsikitkaa kuin alapuoliset kerrokset. Alkukairauksen jälkeen diagrammeista voidaan tulkita maaperän olevan pääasiassa heikkoa savea. Savikerroksen paksuus vaihtelee noin 15–18 metrin välillä. Savikerroksen keskellä on havaittavissa ohut, tiiviimmän maalajin kerros. Savikerroksen alapuolella on hiekkakerros, jonka paksuus vaihtelee noin 3–5,5 metrin välillä. Hiekkakerrosten alapuolella noin 2 metrin paksuinen moreenikerros. Kairaukset ovat päättyneet kiveen, lohkareeseen tai kallioon.

Leikkauksessa B-B on esitetty suunnittelualueen koillisen reunan painokairausdiagrammit. Kairaus on alkanut alkukairauksella, jonka jälkeen diagrammeista voidaan tulkita maaperän olevan pääasiassa heikkoa savea. Savikerroksen paksuus vaihtelee 11–12 metrin välillä, jossa on havaittavissa ohut kerros tiiviimpää maalajia. Savikerroksen alapuolella on noin 2,5–5,5 metrin paksuinen hiekkakerros ja hiekkakerroksen alapuolella on moreenikerros, jonka paksuus on vaihdellut noin 3–4 metrin välillä. Pohjoisempi painokairaus on päättynyt kiveen lohkareeseen tai kallioon. Eteläisempänä sijaitseva painokairaus on päättynyt tiiviiseen maakerrokseen.

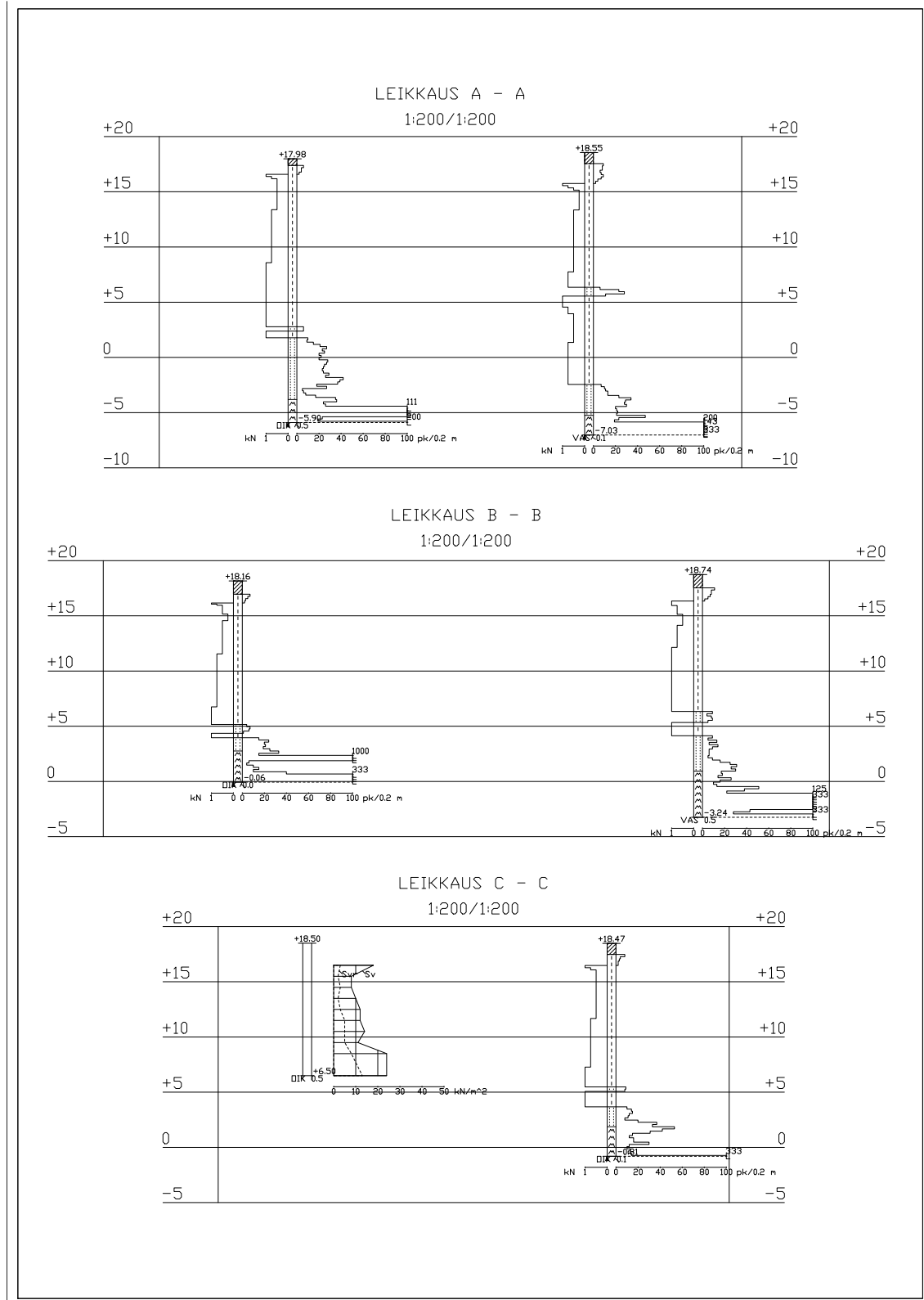
Leikkauksessa C-C on esitetty suunnittelualueen keskikohdan siipikairausdiagrammi ja painokairausdiagrammi. Painokairausdiagrammista voidaan suunnittelualueen keskikohdan todeta olevan myös pääasiassa heikkoa savea. Savikerroksen paksuus on noin 14 metriä, jonka alapuolella on noin 2 metrin paksuinen hiekkakerros ja 2,5 metrin paksuinen moreenikerros. Painokairaus on päättynyt kiveen, lohkareeseen tai kallioon. Siipikairaus tukee viereisten painokairausten tulosten tulkintaa. Siipikairauksen diagrammissa on esitetty häiriintymättömän (s_v) ja häirityn (s_{vr}) saven leikkauslujuus. Häiriintymättömän saven leikkauslujuus on ollut keskimäärin noin 10 kN/m^2 ja häirityn saven leikkauslujuus on ollut keskimäärin noin 5 kN/m^2 . Siipikairausdiagrammin yläpäässä saven leikkauslujuus on huomattavasti suurempi, mitä syvyydellä +15...+10 m. Suurempi leikkauslujuuden arvo johtuu kuivakuorisaven alapinnassa tehdystä kairauksesta. Siipikairausdiagrammin leikkauslujuuden arvot korreloivat painokairapisteiden 2 ja 3 saven kairavastuksen arvoja. Kun savessa vapaapainumaan vaadittava painojen määrä tai kairausvastus kasvaa suuremmaksi, myös siipikairausdiagrammissa leikkauslujuus kasvaa.

Pohjatutkimusten perusteella voidaan todeta alueen olevan hyvin homogeenistä, jossa maalajien kerrospaksuudet pysyvät lähes yhtä paksuina koko suunnittelualueen läpi.

Luonnontilaisen saven konsistenssin määritelmä on hyvin pehmeä, kun puhutaan saven leikkauslujuuden olevan alle 10 kN/m^2 , pehmeä kun leikkauslujuus on välillä $10...25 \text{ kN/m}^2$, sitkeä leikkauslujuuden ollessa $25...50 \text{ kN/m}^2$, kova kun leikkauslujuus on $50...100 \text{ kN/m}^2$ ja hyvin kova leikkauslujuuden ollessa yli 100 kN/m^2 . (Rantamäki ym. 1979, 99) Pohjatutkimustulosten siipikairausdiagrammista voidaan tulkita saven olevan paikoitellen hyvin pehmeää, pääasiassa pehmeää.



Kuva 5. Suunnittelualueelle suoritettut pohjatutkimukset.



Kuva 6. Suoritettujen pohjatutkimusten leikkaukset.

Laboratoriossa tutkittiin otetuista häiriintyneistä näytteistä vesipitoisuus, hienousluku ja häiritty leikkauslujuus. Hienousluku määritettiin kartiokokeella. Näytteenotto suoritettiin metrin välein 2 metrin syvyydestä 10 metrin syvyyteen ja viimeinen näyte 12 metrin syvyydestä pohjatutkimusohjelman mukaisesti. Taulukossa 1 on esitetty näytteiden tulokset tietyltä syvyydeltä maanpinnasta.

Maan vesipitoisuudella tarkoitetaan näytteessä olevan veden massan ja kuivan maan aineksen suhdetta. Hienousluvulla tarkoitetaan vesipitoisuutta, jossa painoltaan 60 g kartio, jonka kärkikulma on 60° painuu 10 mm häirittyyn maanäytteeseen. (Rantamäki ym. 1979, 79)

Taulukko 1. Häirityn näytteen tulokset.

Syvyys maanpinnasta (m)	Vesipitoisuus w (%)	Hienousluku F (%)	Leikkauslujuus, häiritty (kN/m^2)
2	63,10	71	3.14
3	79,20	76	1,37
4	74,50	70	1,08
5	59,30	-	0,87
6	61,80	-	1,34
7	58,90	45	0,52
8	50,60	-	1,28
9	56,70	57	1,77
10	57,40	50	1,09
12	44,20	-	1,18

5.3 Saven käyttäytyminen

Savi on hienorakeinen ja täysin vedellä kyllästynyt maalaji, joille tunnusomaista on painuminen, voimakas routuminen, veden läpäisemättömyys ja suuri sensitiivisyys. Geoteknisessä suunnittelussa tulee ymmärtää saven ominaisuudet ja käyttäytyminen erilaisissa olosuhteissa.

Saven painumailmiöllä tarkoitetaan saven kiviainesrunгон lujittumista ajan kuluessa niin, että se kykenee painumatta kestävänsä oman painonsa. Kun lujittuneen saven kuormitusta lisätään, sen kiviainesrunko pettää ja savi alkaa puristua kokoon. Koska savi on

täysin vedellä kyllästynyt maa-aines ja vesi liikkuu hitaasti kiviaineshiukkasten välissä, kuormituksen alkuvaiheessa koko lisäkuormitus siirtyy kohonneen huokosvesipaineen kantamaksi. Huokosveden ylipaineen seurauksena vesi alkaa hitaasti työntymään pois puristuksissa olevasta savesta. Veden poistuessa saven kiviainesrunko puristuu kokoon ja lujittuu. Ajan kuluessa ylipaine poistuu rakenteesta ja kiviainesrunko lujittuu kantamaan koko kuormituksen. (Jääskeläinen, 2009, 80)

Hienorakeisena maa-aineksena savi on yleensä voimakkaasti routivaa. Routiminen vaatii maa-aineksen olevan vedellä kyllästynyttä. Lisäksi maa-aineksen vedenläpäisevyyden tulee olla niin huono, että huokosissa oleva vesi ei jäätyessään kykene poistumaan siitä pullistumatta. Savi on hienorakeista ja täysin vedellä kyllästynyttä, eikä sen vuoksi läpäise lähes lainkaan vettä. (Rantamäki ym. 1979, 116)

Hienorakeisille maalajeille on myös tunnusomaista suuri sensitiivisyys. Sensitiivisyydellä tarkoitetaan maalajin häiriintymisherkkyttä, joka on luonnontilaisen maalajin ja täysin häirityn maakerroksen suljettujen leikkauslujuuksien suhde. Hienorakeisilla maalajeilla on suuri sensitiivisyys, jonka vuoksi niitä ei yleensä voida käyttää maarakenteissa. Hienorakeinen märkä maaperä menettää sensitiivisyytensä vuoksi helposti kantavuutensa. (Rantamäki ym. 1979, 161)

6 MITOITUSKRITEERIT JA PAINUMAN LASKENTA

6.1 Painumatarkastelut

Perustamismenetelmän ja perustamistoimenpiteiden valintaa varten on tarpeellista laskea painumien suuruus, jos rakenne perustettaisiin ilman painumia ehkäiseviä erikoistoimenpiteitä. Laskelmien jälkeen voidaan arvioida perustamistoimenpiteiden tarpeellisuutta. (Liikennevirasto, tien perustamistavan valinta, 2014, 35)

Laskelmat aloitetaan tyypillisesti laskemalla suurin mahdollinen painuma sekä painumien nopeus kaikkein heikoiten kantavan maalajin kohdalla. Laskettujen painumien suuruutta arvioidaan alustavasti, ovatko painumat sallituissa raja-arvoissa vai ylittävätkö ne raja-arvot. Jos painumat ovat jo tässä vaiheessa suurempia kuin sallitut raja-arvot, ei kannata painumien laskelmatarkastelua tihentää. Jos painumalaskelmista saadut tulokset jäävät alle sallittujen raja-arvojen, laskelmia tihennetään. (Liikennevirasto, tien perustamistavan valinta, 2014, 36)

Maanvaraisten rakenteiden painumat koostuvat yhdessä neljästä eri painumatyypistä:

$$S = S_i + S_k + S_r + S_s \quad (1)$$

Kaava 1. Painumalajit.

jossa

S = kokonaispainuma

S_i = alkupainuma

S_k = konsolidaatiopainuma

S_r = sivusiirtymien aiheuttama painuma

S_s = jälkipainuma

Geoteknisessä suunnittelussa lasketaan usein vain konsolidaatiopainumaa, sillä yleensä maaperässä tapahtuva painuma johtuu suurimmaksi osaksi konsolidaatiosta ja

on usein riittävä tieto tilanteeseen. Laskemalla alkupainumaa, saadaan halutessa tarkempaa tietoa kokonaispainumasta tai paljonko rakenne painuu heti kuormituksen jälkeen. (Jääskeläinen, 2009, 119)

Alkupainumat tapahtuvat usein jo rakennusvaiheen aikana, pian maapohjan tultua kuormitetuksi. Rakennusvaiheen aikana rakenteet ehtivät mukautua syntyneeseen alkupainumaan, jonka vuoksi alkupainumalla ei ole suurta merkitystä. Jotta sivusiirtymien aiheuttamaa painumista voi tapahtua, vaaditaan plastisten muodonmuutosten syntymistä ja tilannetta, jossa varmuus murtumista vastaan on pieni. Jälkipainumat tapahtuvat konsolidaatiopainumien loppuvaiheessa, jopa vuosikymmenten kuluttua. Jälkipainumat ovat kuitenkin konsolidaatiopainumaan verrattuna vähäisiä. (Rantamäki ym. 1979, 207)

Radan geotekninen suunnittelu perustuu taipuisan laatan painumatarkasteluun. Taipuisalla laatala tarkoitetaan esimerkiksi tiepengertä tai täyttömaa-aluetta, joka painuu sen peittämältä alueelta eri kohdista eri lailla riippuen jännitysten jakautumisesta rakenteen alla. Tyypillisimmin taipuisan laatan alla rakenteen keskipiste painuu eniten ja kulmapisteet vähiten. Taipuisaan laattaan verrattuna jäykällä laatala tarkoitetaan taipumatonta rakennetta, esimerkiksi perustusanturaa, jotka taipuvat kauttaaltaan tasaisesti ja yhtä paljon homogeenisella pohjalla. (Jääskeläinen, 2009, 146)

Jännityksen jakautuminen maaperässä ja rakenteiden painumat voidaan laskea likimääräis menetelmänä tai Boussinesqin teoriaa hyödyntäen. Likimääräis menetelmässä rakenteen maahan aiheuttaman jännityksen oletetaan jakautuvan tasaisella kuormituksella maaperään rakenteen reunoilta 2:1 kaltevuuden mukaisesti. (Jääskeläinen, 2009, 145)

Likimääräis menetelmä ei ole kuitenkaan käyttökelpoinen syvemmällä maan sisällä toteutettavissa painumalaskelmissa. Taipuisan laatan painumalaskelmien suorittaminen likimääräis menetelmällä antaa neliömäisen taipuisan laatan keskipisteen osalla noin 27 % todellista pienemmän pinta-alan. Myös painumalaskelmissa likimääräis menetelmällä laskettaessa taipuisan laatan reunapisteen alla painuma on noin 15 % todellista pienempi. (Jääskeläinen, 2009, 146)

Painumalaskelmat suoritetaan käyttäen parametrien ominaisarvoja. Suunnittelijan tehtävänä on arvioida tehtyjen pohjatutkimusten tarkkuutta, kattavuutta sekä laatua ja miten kokoonpuristuvuusparametrit on määritetty eri syvyyksiltä. Näiden lähtötietojen perusteella suunnittelija arvioi millaisia virheitä voi syntyä laskelmien ja todellisen tilanteen välille. Hänen on myös arvioitava kohteen ominaisuudet ja mahdollisten painumien aiheuttamat ongelmat ja näiden vakavuudet rakenteelle. (Jääskeläinen, 2009, 166)

6.2 Painuman raja-arvon määrittäminen

Painumamitoituksessa rakenteet ja niiden toteutustapa suunnitellaan sellaisiksi, ettei käytönaikainen painuma aiheuta yllättäviä korjaus- tai ylläpitotoimia. (Liikennevirasto, tien geotekninen suunnittelu, 2012, 23)

Painumien ja painumaerojen tulee täyttää tilaajan hankkeelle asettamat vaatimukset. Suositeltavat raja-arvot painumille on esitetty taulukossa 2, ja ne koskettavat kaikkia maanvaraisia tierakenteita ja pohjanvahvistustoimenpiteitä. Raja-arvoissa ei huomioida korjaus- tai ylläpitotoimien vaikutusta painumien tasaamiseksi. (Liikennevirasto, tien geotekninen suunnittelu, 2012, 23)

Taulukossa esitettyä kokonaispainuman raja-arvoa voidaan suurentaa rakennettaessa hyvin paksulla (>20 m) pehmeiköllä, mikäli olosuhteet ovat tasalaatuisuudet maan painumaominaisuuksien suhteen, ja pohjasuhteet ovat arvioitu laadukkaiden ja kattavien pohjatutkimusten perusteella. Toisaalta raja-arvoa tulee tiukentaa, mikäli pehmeikössä havaitaan suurta syvyysvaihtelua tai pohjatutkimuksilla ei ole saatu luotettavaa tietoa maan painumaominaisuuksista. (Liikennevirasto, tien geotekninen suunnittelu, 2012, 23)

Piha-alueiden rakenteet tulee suunnitella ja toteuttaa siten, että pihan ja piha-alueen rakennusten ja rakenteiden toiminnalle ei aiheudu haittaa käytön aikana. Tämä tulee huomioida erityisesti rakenteissa tapahtuvissa painumissa, sivusiirtymissä ja muissa muodonmuutoksissa. Lisäksi kuivana pito tulee suunnitella ja toteuttaa asianmukaisesti, eikä se saa haitata pihan kasvillisuutta tai muita ympäristön olosuhteita. Myöskään maanalaisten kuivatusrakenteiden lähelle ei saa istuttaa sellaisia puita tai pensaita, joiden juuret voivat estää kuivatusjärjestelmän normaalin toiminnan. Taulukossa 4 on esitetty piha-alueiden laatuluokitukset ja suositellut rakennevaatimukset. (Suomen rakentamismääräyskokoelma, 2004, 22)

Painumasta aiheutuvat muodonmuutokset eivät saa vahingoittaa tai haitata rakenteeseen sijoitettujen kuivatusrakenteiden, kunnallistekniikan, energiaverkon ja vastaavien rakenteiden toimintaa. Laitteet tai johdot, jotka ovat sijoitettu rakenteen alle tai viereen voivat edellyttää taulukossa esitettyjä raja-arvoja tiukempia arvoja sallitulle painumalle. Painumia, jotka estävät pintaveden poistumisen rakenteen pinnalta ei sallita. (Liikennevirasto, tien geotekninen suunnittelu, 2012, 24)

Lisäksi sallitun painuman tai painumaeron suuruutta voivat rajoittaa kuivatuksen ja rakenteen geometriset suunnitteluvaatimukset. (Liikennevirasto, tien geotekninen suunnittelu, 2012, 24)

Sallitussa kokonaispainuman määrässä ei voida suoraan noudattaa edellä mainittujen ohjeiden mukaisia painuman raja-arvoja. Suunnittelukohteelle ei ole olemassa painuman suhteen raja-arvoja eikä alueen toiminnallinen käyttötarkoitus ole suoraan määritelty ohjeissa. Suurimpaan sallittuun kokonaispainuman määrään vaikuttavat kohteen yksilölliset ominaisuudet. Merkitsevimmät ominaisuudet kohteessa ovat radan ja sen kaarteiden materiaalit sekä radan muotojen säilyminen. Kaarteiden pintamateriaali tulee suunnitteluohjeiden mukaan suunnitella ja toteuttaa sidottuna kulutuskerroksena, joka aiheuttaa pinnan säilymisen suhteen rajat painumiselle. Pienetkin painumaerot kuivatuksen suunnittelussa aiheuttavat veden lammikoitumisen radalle, sen rakenteisiin ja sen läheisyyteen, joka aiheuttaa rakenteen kantokyvyn heikkenemistä ja routimista sekä haittaa radalla kilpailua. Painumat vaikuttavat myös maanpinnan alapuolella missä, maanalaiset kuivatusrakenteet voivat taipua ja muuttaa putkien kallistuksia näin ollen menettäen käyttötarkoituksen. Painuman raja-arvoksi geoteknisissä suunnitteluratkaisuissa pitkäaikaisessa painumassa valittiin edellä mainituin perustein 100 mm.

Taulukko 2. Tienpinnan sallitut painumat. (Liikennevirasto, tien geotekninen suunnittelu, 2012, 24)

Tien vaatimusluokka	Pituuskaltevuuden muutos 0...50 v ⁽²⁾ $p_{k_{sall}} \leq 0/50$ [%] yksikköä	Kokonaispainuma 50 v aikana ⁽¹⁾ $s_{sall50v} \leq$ [mm]	Sivukaltevuuden muutos 50 v aikana ⁽²⁾ $sk_{sall50v} \leq$ [%] yksikköä	Sivukaltevuuden muutos 10 v aikana ⁽²⁾ $sk_{sall10v} \leq$ [%] yksikköä
V1	0,6	300	± 1,5	-1,0 tai +1,0
V2	0,8	400	± 1,5	-1,0 tai +1,0
V3	1,1	600	± 2,0	-1,0 tai +1,0
V4	1,6	800	± 2,0	-1,0 tai +1,5
V5	2,2	800	± 2,0	-1,5 tai +1,5
R1	0,6	200	± 1,5	-1,0 tai +1,0
R2	0,8	200	± 1,5	-1,0 tai +1,5
R3	1,1	200	± 1,5	-1,5 tai +1,5
K1	2,2	800	± 1,5	-1,0 tai +1,5
K2	Kuten ajorata			

- (1) Kokonaispainuman sallittua arvoa tulee arvioida tämän ohjeen mukaisesti ja sitä täsmentää tarvittaessa. Lisäksi on huomioitava, että usein mitoitavana tekijänä on kaltevuuden muutos.
- (2) Siirtymärakenteiden mitoituksessa käytetään enintään 50 % taulukon pituuskaltevuuden ja sivukaltevuuden muutoksien sallituista arvoista. (Kappale 7.10)

Taulukko 3. Tien vaatimusluokkien määrittely. (Liikennevirasto, tien geotekninen suunnittelu, 2012, 25)

Tien vaatimusluokka ja niitä kuvaavia tietoja mm. mitoitusnopeus [km/h]	
V1	Moottoriväylät (Mo, Mol) 120 km/h
V2	Päätiet (Vt,Kt) 80-100 km/h ja moottoriväylät (Mo, mol) 100 km/h
V3	Seudulliset tiet 80 – 100 km/h ja KVL >1000 ajon/vrk
V4	Seudulliset tiet 60 km/h tai KVL < 1000 ja paikalliset väylät KVL >1000
V5	Paikallisväylät KVL 400 – 1000 ajon./vrk
R1	Väylän poikkileikkauksessa painumaherkkiä rakenteita, 80 km/h (1)
R2	Väylän poikkileikkauksessa painumaherkkiä rakenteita, 50 - 70 km/h (1)
R3	Väylän poikkileikkauksessa painumaherkkiä rakenteita, alle 50 km/h (1)
K1	Kevyenliikenteen tie, erillinen (päällystetty)
K2	Kevyenliikenteen tie, reunakivellä erotettuna ajoradasta

- (1) Liikenteenjakaja, korotettu kevyenliikenteenväylä ja kunnallisteknisiä tai muita pohjamaan painumalle herkkiä rakenteita

Taulukko 4. Piha-alueiden laatuluokitus ja suositellut rakennevaatimukset. (Suomen rakentamismääräyskokoelma, 2004, 22)

**PIHA-ALUEIDEN LAATULUOKITUS
JA SUOSITELLUT RAKENNE-
VAATIMUKSET**

Laatu- luokka	Kulutus- kerros	Vaatimukset Ulkonäkö	Sallitut pit- käaikaiset (yli 30 vuo- den aikana) painumat	Routa- liikkeet (F₁₀)
Luokka 1 Piha ja alueet, joille asetetaan erityisen suuret toiminnalliset tai ulkonäölliset vaatimukset	sidottu	Päällyste säily halkeilemattomana	alle 100 mm	enintään 50 mm
	sitomaton	-----	alle 100 mm	enintään 50 mm
Luokka 2 Muut asunto-, ja toimisto- ja liikerakennusten pihat	sidottu	Päällysteessä vähäisiä kunnossapidolla hoidettavia halkeamia	alle 300 mm	enintään 100 mm
	sitomaton	-----	alle 300 mm	enintään 100 mm

6.3 Konsolidaatiopainuma

Konsolidaatiopainumalla tarkoitetaan yleensä hienorakeisen maapohjan tiivistymistä jossa maan huokostilavuus ja usein myös vesipitoisuus pienenevät. Hienorakeinen maaperä on usein vedellä kyllästynyt ja konsolidaatiopainumassa maan huokosissa oleva vesi väistyy kuormituksen alaisena. Maaperän huonon vedenläpäisevyyden takia vesi väistyy hitaasti ja näin ollen myös itse konsolidaatiopainuma on erittäin hidas tapahtuma. Toisaalta hienorakeisessa maaperässä painuminen saattaa olla varsin runsasta ja sitä runsaampaa, mitä vesipitoisempi ja huokoisempi maakerros on. (Rantamäki ym. 1979, 209)

Maaperä voi olla ylikonsolidoitunutta, normaalikonsolidoitunutta tai alikonsolidoitunutta. Konsolidaatioasteen saa selville ödömetrikokeesta, jonka avulla on mahdollista selvittää minkä jännityksen alaisena näyte on ollut. Maata kutsutaan normaalikonsolidoituneeksi, jos näytekohdassa vallitseva jännitys on sama näytteenotto- ja pohjavedenpinnan sijainnin ja tilavuuspainojen avulla laskettaessa. Jos taas konsolidaatiojännitys on suurempi kuin näytekohdassa laskettu vallitseva jännitys, kutsutaan maakerrosta ylikonsolidoituneeksi. Suomen maaperässä ylikonsolidoituneesta maakerroksesta on esimerkkinä pohjamoreeni, joka on ollut jääkauden aikana kilometrien paksuisen jääkerroksen puristamana. Alikonsolidoituneessa maaperässä konsolidaatiojännitys on vastaavasti pienempi kuin näytekohdassa laskettu vallitseva jännitys, esimerkiksi täytemaakerroksen alla oleva maakerros, jonka painuma ei ole vielä päättynyt. (Jääskeläinen, 2009, 125)

6.4 Konsolidaatiopainuman laskeminen

Jos tiedetään maanäytteeseen kohdistuvan pystysuoran jännityksen aiheuttama lisäjännitys $\Delta\sigma$ ja lisäjännityksen maanäytteeseen aiheuttama suhteellinen kokoonpuristuma ε , pitkän ajan kuluessa voidaan todellisessa maakerroksessa, jonka paksuus on H aikaansaavan samansuuruisen suhteellisen kokoonpuristuman ε ja täten myös konsolidaatiopainuman S_k . (Rantamäki ym. 1979, 210) Näin ollen:

$$\varepsilon = \frac{S_k}{H}, \quad (2)$$

Kaava 2. Suhteellinen kokoonpuristuma (Rantamäki ym. 1979, 210)

josta voidaan ratkaista konsolidaatiopainuma:

$$S_k = \varepsilon \times H \quad (3)$$

Kaava 3. Konsolidaatiopainuma (Rantamäki ym. 1979, 211)

Konsolidaatiopainuma (Rantamäki ym. 1979, 211)

Suhteellinen kokoonpuristuma ε voidaan ratkaista kaavalla:

$$\Delta\varepsilon = \frac{0,85 \sqrt{\frac{w}{100}} \times \log\left(\frac{\sigma}{\sigma_{vo}}\right)}{\frac{100}{w} + 2,65} \quad (4)$$

Kaava 4. Veden kyllästämän maakerroksen suhteellinen kokoonpuristuma (Rantamäki ym. 1979, 222)

jossa

$w = \text{vesipitoisuus}$

$\sigma = \text{konsolidoivaa kuormitusta vastaava maakerroksen jännitystila}$

$\sigma_{v0} = \text{esikuormitus}$

Esikuormitus saadaan ratkaistua kaavalla:

$$\sigma_{v0} = \sum \gamma_i z_i \quad (5)$$

Kaava 5. Esikuormitus (Rantamäki ym. 1979, 223)

jossa

$\gamma_i = \text{maakerroksen tilavuuspaino}$

$z = \text{laskentasyvyys}$

7 VAIHTOEHDOT JA SUUNNITTELURATKAISUT

7.1 Painumien syntyminen ehkäiseminen

Pehmeikköalueille rakennettaessa rakenteista aiheutuvat kuormat voivat olla verraten suuria ja voivat näin ollen aiheuttaa puutoksia tai ongelmia rakenteen toimivuudelle kuten painumat tai alhainen stabiliteetti. Kevennysrakenteiden tarve on kasvamassa, sillä rakennuspohjat sijaitsevat yhä heikommin kantavilla pohjamailla ja rakenteiden yläpinnan sijoittamista entistä korkeammalle maanpintaan nähden. Keventämisen päätarkoituksena on vähentää maaperään maarakenteesta aiheutuvia kuormia. Osa maarakenteen kiviaineksesta korvataan sitä kevyemmällä materiaalilla, jolloin rakenteesta kohdistuvat kuormitukset pienenevät. Kevennyksen etuna on sen monipuoliset käyttökohteet, rakentamisen nopeus ja menetelmän joustavuus. (Liikennevirasto, kevennysrakenteiden suunnittelu, 2011, 10)

Massanvaihto on eräs pohjavahvistustapa, joka on ollut pitkään tunnettu ja paljon käytetty. Massanvaihdossa heikosti kantava tai kokoonpuristuva maakerros korvataan kokonaan tai osittain täyttömateriaalilla. Kaivamalla poistetaan kokonaan tai osittain maakerrokset ja täyttö tehdään takaisin ympäröivän maanpinnan tasoon. Menetelmä soveltuu pääasiassa mataliin pehmeikköalueisiin, jossa kantava pohja on pehmeän maakerroksen alla. (Liikennevirasto, massanvaihdon suunnittelu, 2011, 10)

Syvästabiloinnin tarkoituksena on parantaa heikon maalajin ominaisuuksia, kuten kasvattaa leikkauslujuutta ja vähentää kokoonpuristuvuutta. Syvästabiloinnissa maa-ainekseen sekoitetaan seosaineita, jotka reagoivat maan kanssa niin että stabilointi mahdollistaa heikon maalajin päälle rakentamisen. (Liikennevirasto, syvästabiloinnin suunnittelu, 2018, 17)

Esikuormituksen tarkoituksena on aiheuttaa konsolidaatiopainumasta johtuva maa-aineksen painuminen ennen varsinaista rakentamisen kuormitusta, jolloin suurimmat painumat tapahtuvat ennen rakenteen käyttövaihetta. Esikuormituksia voidaan toteuttaa erilaisilla ratkaisuilla. Eräs ratkaisu on rakentaa penger lopulliseen korkeuteen hyvissä ajoin ennen rakenteen käyttöönottoa. Toinen ratkaisu perustuu penkereen stabiliteetin pysymiseen, jossa pengertä korotetaan lopulliseen tasoon vaiheittain vakavuuden pitämiseksi riittävänä. Kolmas esikuormitustapa on ylipenkereen käyttö, jossa pengertä

kuormitetaan lopullista pengertä suuremmalla kuormalla ennen lopullista käyttöönottoa. (Liikennevirasto, tien perustamistavan valinta, 2014, 21)

Paalulaattojen ja paaluhattujen toiminta perustuu pengerkuorman siirtämiseen paalujen välityksellä kantaviin maakerrokseen tai kovaan pohjaan. Penkereen aiheuttama kuormitus siirretään paaluille joko yhtenäistä laattarakennetta käyttäen tai paalujen päässä sijaitsevien hattujen avulla. Tyypillisiä käyttökohteita näille perustamistavoille ovat heikosti kantavien maakerrosten päällä sijaitsevat korkeat penkereet ja kun massanvaihtoa ei ole mahdollista suorittaa paksujen maakerrosten tai vieressä sijaitsevien varottavien rakenteiden vuoksi. (Liikennevirasto, tien perustamistavan valinta, 2014, 32)

7.2 Painumien laskenta Geocalc-laskentaohjelmiston avulla

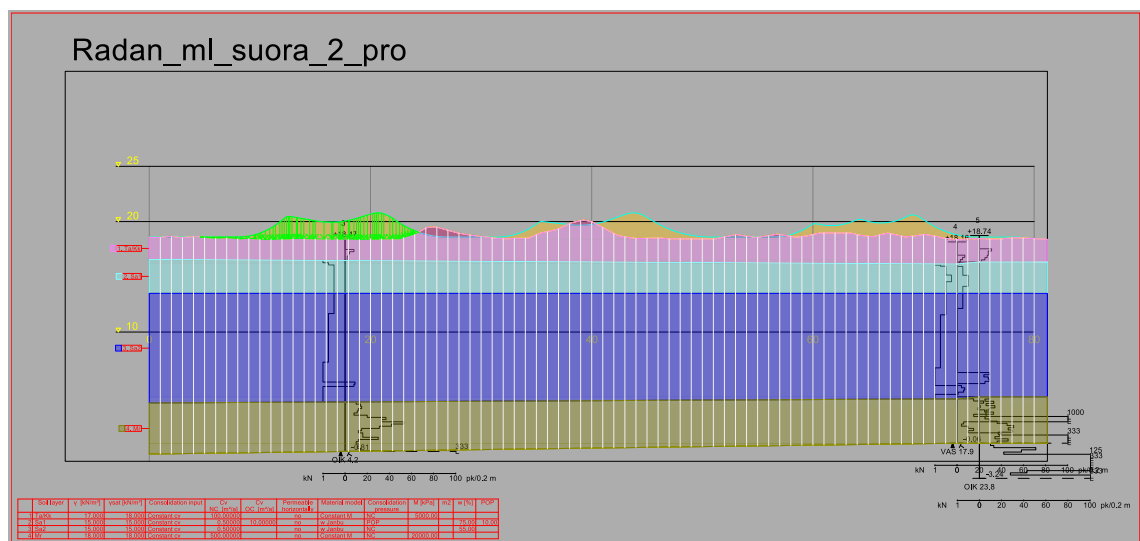
Rata on rakennettu noin 15–20 vuotta sitten ja ympäristöstä voi huomata radan painuneen. Suurimmat painumat ovat tapahtuneet näiden vuosien aikana. Painumalaskennassa uuden radan linjauksesta valittiin suora, jossa nykyisen maanpinnan ja suoran suunnitellun tasauksen väliin jäävä osuus on mahdollisimman suuri.

Painumien kannalta ei ole merkittävää missä kohdassa painumat lasketaan, koska maaperä on hyvin homogeenistä, eikä maalajikerrosten paksuuksissa tai lujuuksissa tapahdu merkittävää muutosta. Painumalaskennassa pyritään etsimään se kohta alueesta, jossa maaperään kohdistuu suurimmat kuormat ja näin ollen aiheutuu suurimmat painumat maaperään. Korkeimman pengerryksen kohdalla nykyisen maanpinnan yläpuolelle kasataan eniten uutta maa-ainesta, joka aiheuttaa suuret kuormat ja myös suurimmat painumat. Painumalaskennassa otetaan huomioon suunnitellun radan pengerrykset vanhan radan profiilien päälle, sekä leikkaukset niiltä osin mitä vanhaa rataa joudutaan leikkaamaan. Osuuksilla, joilla nykyistä rataa joudutaan leikkaamaan ei aiheudu painumia, sillä nykyistä maa-aineista poistetaan ja kuorma kevenee.

Kuvassa 7 on esitetty suunniteltu radan tasaus, nykyinen maanpinta, maalajien kerrokset, pohjatutkimukset mittalinjan vierestä ja laskennassa käytetyt maaparametrien arvot. Suunniteltu radan tasaus on esitetty kuvassa sinisellä yhtenäisellä viivalla ja nykyinen maanpinta violetilla yhtenäisellä viivalla. Maanpinnan ja tasauksen viivan väliin jäävä pengerrys on värjätty keltaisella värillä. Tumman lilalla värjätty alue on nykyisen maanpinnan ja suunnitellun tasauksen väliin jäävää leikkausta.

Nykyisen maanpinnan alapuolella on esitetty painokairausdiagrammista tulkittu täyttömaakerroksen/kuivakuorisaven kerros, joka on esitetty kuvassa vaaleanpunaisella värillä. Kuivakuorisaven alapuolella paksun saven kerros on jaettu kahteen osaan näytteistä saatujen tulosten perusteella. Lähempänä maanpintaa on esitetty korkeamman vesipitoisuuden omaavan pehmeän saven maakerros vaalean sinisellä värillä. Pehmeän saven alapuolella on saven toinen kerros, joka on ensimmäistä savea vähän kovempaa ja vesipitoisuudeltaan kuivempaa. Saven toinen kerros on merkitty kuvaan tumman sinisellä värillä. Maakerroksista alimpana on painokairausdiagrammista arvioitu moreenikerros, joka on esitetty kuvassa tumman vihreällä värillä.

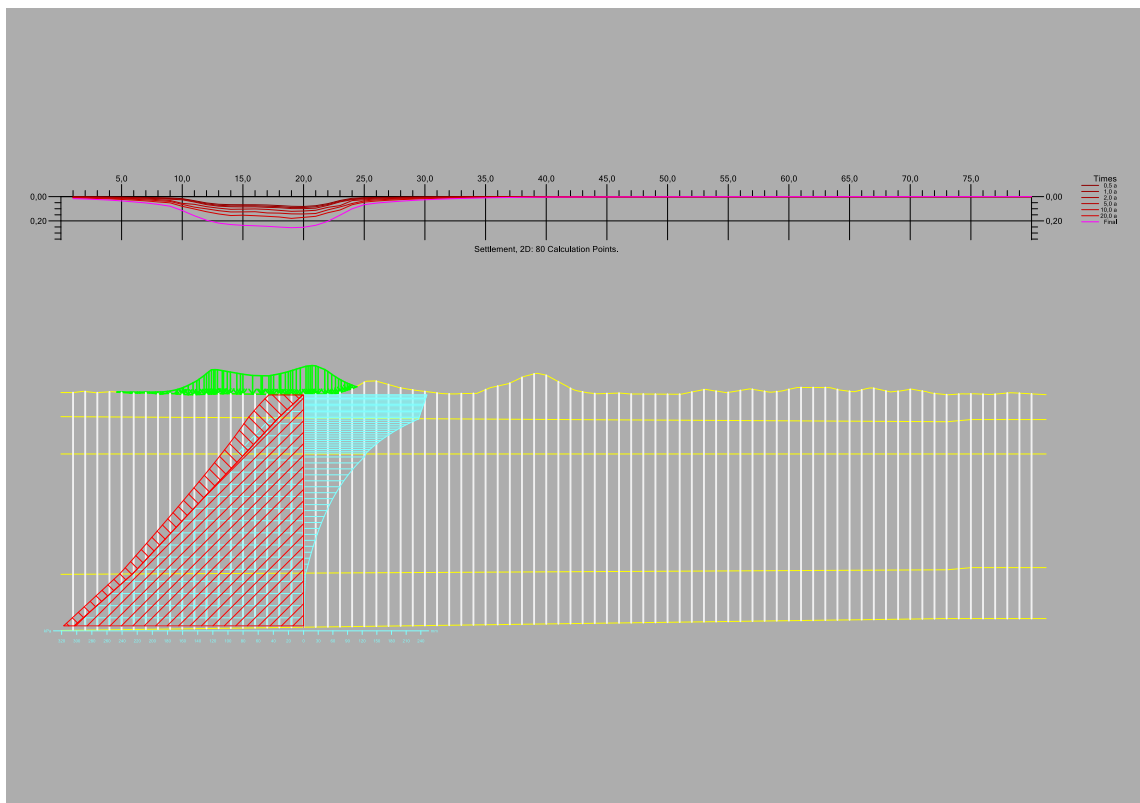
Lisäksi kuvassa 7 on esitetty painumalaskennassa käytetty penger. Koko penger on laskeettu kuormana ja sen tilavuuspaino 20 kN/m^3 . Laskennassa käytetty penger on korkeimmasta kohdasta noin 2,35 metriä nykyisen maanpinnan yläpuolella ja hyppyrien kärkien väli on 8 metriä. Laskentaan syötetyt maaparametrien arvot ovat pohjatutkimustuloksista saatuja.



Kuva 7. Geocalc-laskenta ilman kevennystä.

Kuvassa 8 on esitetty Geocalc-laskentaohjelman avulla lasketut painumien arvot. Kuvan yläreunan kuvaajassa on esitetty penkereen aikapainuma. Aikapainuma on laskettu 0,5, 1, 2, 5, 10 ja 20 vuoden välein, ja lisäksi on laskettu loppupainuma. Ylemmän kuvaajan vasemmassa reunassa on esitetty painuman suuruudet metreissä. Kuvaajan oikeassa reunassa on esitetty jokaista painumajanakohtaa kuvaavat viivojen värit. Puolen vuoden jälkeen painumat on noin 90 mm, vuoden jälkeen noin 100 mm ja viiden vuoden jälkeen noin 130 mm. Suurin painuma on loppupainumassa, noin 260 mm.

Kuvan 8 alareunassa sijaitsevassa toisessa kuvaajassa on esitetty vihreällä värillä penkereen maahan aiheuttaman kuorman pituusleikkaus. Penkereen alapuolella sinisellä värillä on esitetty jokaisen maakerroksen kohdalla tapahtuva painuman suuruus. Mitä kauemmas kuvaajan keskilinjasta sininen kuvaaja piiryy, sitä enemmän maa painuu siinä kohdassa. Kaikkein suurin painuma tapahtuu kuvaajan perusteella kuivakuorisavessa ja pehmeässä savessa. Vasemmalle puolelle kuvaajaa punaisella piirtyy jännitys (kPa) aina tietyllä syvyydellä maanpinnasta.



Kuva 8. Penkereen painuma ilman kevennystä.

Geocalc-laskentaohjelman avulla laskettuna uuden radan tasauksen aiheuttamat painumat ylittävät niille asetetut painumaraja-arvot, jotka on esitetty kohdassa 6.2. Alustavien laskelmien mukaan rakenteen painumia tulee ehkäistä. Painumien ehkäisyyn on olemassa eri tapoja, jotka ovat kuvattu aiemmin kohdassa 7.1. Parhaiten BMX-radon painumia voidaan ehkäistä kevennyksellä. Kevennys on suhteessa muihin painuman ehkäisytapoihin edullinen, nopea rakentaa ja kevennysmateriaaleilla on monipuoliset käyttökohteet. Radan käytön hyötykuormien suuruudet ovat vähäisiä, jolloin muut painuman ehkäisytavat ovat käyttöön ja painumien suuruuteen verrattuna ylimitoitettuja, vaikeita

rakentaa ja kalliita. Painumien suuruutta rajoitetaan keventämällä suunniteltua pengerrakennetta. Keventämisessä on mahdollista käyttää tarkoitukseen suunniteltuja materiaaleja kuten kevytsoraa, teollisuuden sivutuotteena syntynyttä kivihiilituhkaa tai hyödynnä kierrätysmateriaaleja kuten vaahtolasia ja rengasrouhetta.

Jokaiselle kevennysmateriaalille on määritelty tekniset ominaisuudet, joiden avulla on mahdollista toteuttaa suunnitelmia. Materiaalin valmistajat ovat ilmoittaneet materiaaleilleen omat tekniset ominaisuudet, myös suunnitteluohjeissa on esitetty tyypillisimpien kevennysmateriaalien teknisiä ominaisuuksia. Ominaisuuksista saadaan selville muun muassa rakeisuus, tilavuuspainot, kokoonpuristuvuus kuormitettuna, kitkakulma, E-moduuli sekä lämmönjohtavuus.

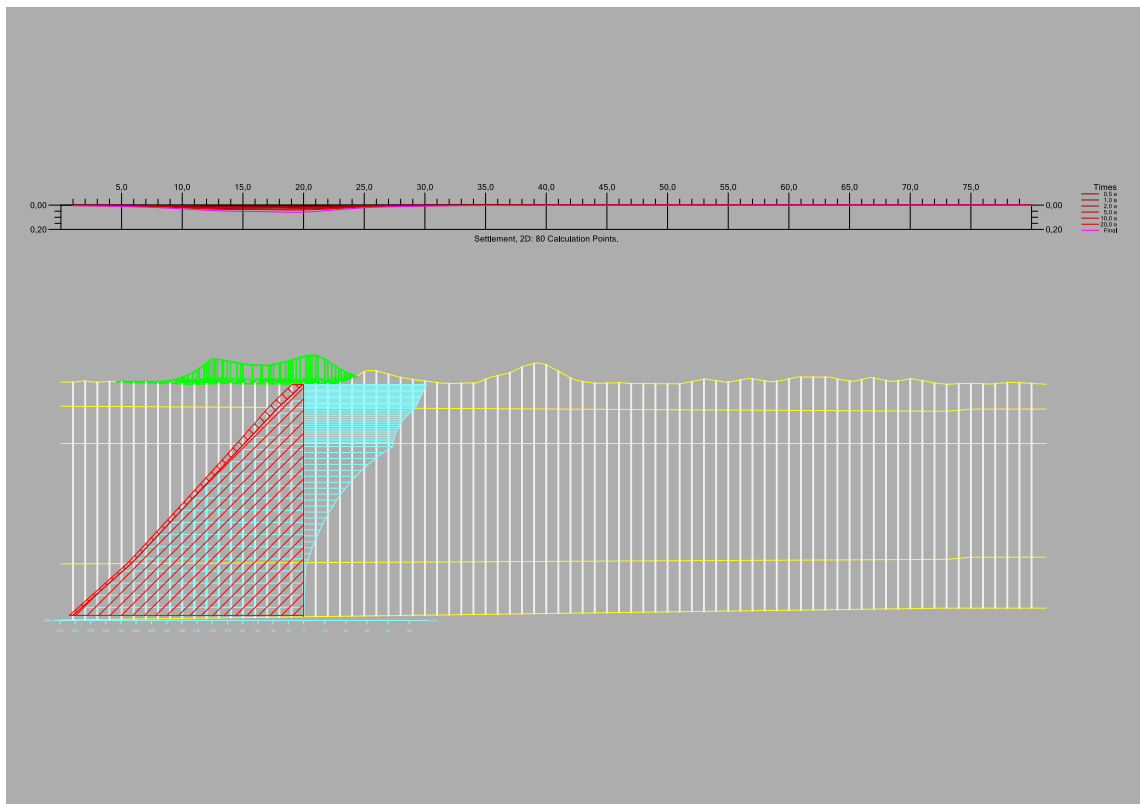
Painumalaskenta suoritettiin uudelleen samoilla maaparametrien arvoilla, kevennetyllä pengerrakenteella. Suunnitellun tasausviivan pinnasta rakennekerrosten paksuus laskettiin 0,35 m paksuisella kerroksella, jonka tilavuuspaino oli 20 kN/m^3 . Kevennysmateriaaliksi laskelmaan valittiin vaahtolasi, jolla pengerrakenne täytettiin rakennekerrosten alapinnasta nykyiseen maanpintaan. Kevennysrakenteen paksuudeksi jäi 2,0 m. Vaahtolasin mitoituksessa käytettävä tilavuuspaino on $3,5 \dots 4 \text{ kN/m}^3$, painumamitoituksessa käytettiin arvoa 4 kN/m^3 (Liikennevirasto, kevennysrakenteiden suunnittelu, 2011, 32). Tilavuuspainoissa hyödynnettiin kuivatilavuuspainoa, sillä kevennykset tehdään maanpinnalle, pohjavedenpinnan yläpuolelle. Kuvassa 9 on esitetty saman pengerrakenteen painuma kevennysmateriaalilla.

Painumalaskenta suoritettiin myös muilla kevennysmateriaaleilla. Kevennyksen mitoitukseseen valittiin materiaalit, joiden tilavuuspainot ovat kevyimmästä sekä raskaimmasta päästä ja yksi materiaali, joka on vähän vaahtolasia painavampaa. Laskelmat suoritettiin mitoituksen vertailuarvoiksi ja painumamitoituksen kannalta mahdolliset painumarajat ylittävät kevennysmateriaalit oli mahdollista karsia pois. Kaikki painumalaskelmat suoritettiin samasta pisteestä, samoilla kevennysrakenteiden ja rakennekerrosten paksuuksilla.

Kevyimmäksi materiaaliksi valittiin EPS-solumuovi, jonka tilavuuspainon ominaisarvo stabiliteetti – ja painumalaskelmissa on 1 kN/m^3 (Liikennevirasto, kevennysrakenteiden suunnittelu, 2011, 27). EPS-solumuovilla loppupainuma jäi noin 30 millimetriin. Viiden vuoden painumisen jälkeen pengerrakenne oli saavuttanut jo lähes loppupainuman.

Painavimmaksi kevennysmateriaaliksi valittiin lentotuhka, jonka tilavuuspaino irto-kuivana on 15 kN/m^3 (Liikennevirasto, kevennysrakenteiden suunnittelu, 2011, 37). Lehtotuhkan tilavuuspainolla laskettuna loppupainuma oli noin 200 mm. Ensimmäisen puolen vuoden jälkeen painuma oli jo 70 mm ja viiden vuoden painumisen jälkeen painumat olivat noin 100 mm. Lentotuhkan kevennysvaikutus rakenteeseen ei ole kovin suuri, kun murskeen aiheuttama loppupainuma ilman kevennystä oli noin 260 mm.

Vertailuksi painumalaskentaan kevennysmateriaaliksi valittiin vielä rengasrouhe, jonka tilavuuspaino oli lähellä vaahtolasin tilavuuspainoa. Rengasrouheen kuivatilavuuspainon ominaisarvo on 6 kN/m^3 (Liikennevirasto, kevennysrakenteiden suunnittelu, 2011, 31). Rengasrouheen tilavuuspainolla laskettaessa loppupainuma oli noin 90 mm ja 25 mm ensimmäisen puolen vuoden jälkeen ja noin 50 mm viiden vuoden jälkeen.



Kuva 9. Pengerrakenteen painuma vaahtolasilla kevennetyinä.

7.3 Suunnitteluratkaisujen valinta

Suunnitteluratkaisujen kartoittaminen aloitettiin pohjatutkimusten teolla, jossa selvitettiin suunnittelualueen maaperän laatu ja ominaisuudet. Tarkoituksena oli löytää

geoteknisesti BMX-radalle järkevä ja kustannustehokas rakenne. Suunnittelussa huomiointiin alueen aikaisempi maankäyttö ja maankäytöstä aiheutuneet kuormitukset maaperään. Kustannukset ja toteutus huomioiden painuman ehkäisytapojen vaihtoehtoista oli mahdollista karsia pois kalliita ja alueen toiminnallisen luokituksen kannalta ylimitoitettuja rakenteita. Toiminnallisen luokituksen kannalta massanvaihto, syvästabilointi ja paalu-laattarakenteet ovat ylimitoitettuja tapoja ehkäistä painumia.

Hankkeen koko, kustannukset, käyttötarkoitus ja lopputuote huomioiden painuman ehkäisy tavoista jäi jäljelle esikuormitus ja kevennysrakenteet. Tässä tilanteessa päädyttiin suunnittelemaan kevennysrakenteilla, sillä esikuormitus on aikaa vaativa työvaihe ja se poistaisi nykyisen radan julkisesta käytöstä eikä radalla olisi mahdollista suorittaa rakentamista esikuormituksen aikana.

Kevennysrakenteita on monta eri tyyppiä, joista on mahdollista valita hankkeen suunnittelun ja toteutuksen kannalta paras vaihtoehto. Suunnitteluratkaisuissa otettiin huomioon arvioidut painumien suuruudet ilman kevennystä ja kevennyksillä. Kevennysvaihtoehtoista oli mahdollista karsia painumamitoituksen perusteella ne kevennysmateriaalit, jotka ylittivät painumien raja-arvot. Painumalaskelmien perusteella ne kevennysmateriaalit, joiden kuivatilavuuspainojen ominaisarvot ovat yli 6 kN/m^3 aiheuttavat painumien raja-arvot ylittävän painuman. Mitä kevyempää kuivatilavuuspainon omaavaa kevennysmateriaalia on mahdollista käyttää rakenteessa, sitä vähemmän kevennystä tarvitsee laittaa pengerrykseen. Suurella määrällä kevyttä kevennysmateriaalia on myös mahdollista saavuttaa todella pienet painumat.

Tilaajalle esitettävissä suunnitelmavaihtoehtoissa esitetään painumalaskelmat ilman kevennystä ja kevennysvaihtoehtoilla. Kevennysvaihtoehtoiksi esitetään kevytsora, EPS-solumuovi, rengaskevennykset, vaahtolasi ja päistään tulpatut rummut tai putket. Suunnittelun edetessä, kevennysmateriaaleista esitetään myös kustannusarvio tiettyä yksikköä kohden, sekä tehdään ympäristövaikutusten arviointi. Karkeasti ottaen tehdasvalmisteisissa kevennysmateriaaleissa ei ole rajoituksia maarakentamisessa, osalla sivutuotteista ja kierrätysmateriaaleista on ympäristövaikutuksia. Kevennysmateriaaleista valitaan paras tai parhaimmat vaihtoehdot jatkosuunnitteluun.

8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia geoteknisiä suunnitelmaratkaisuja Turun Kupittaaanpuiston BMX-radalle Turun Kaupungin toimeksiannon mukaisesti. BMX-radalle löydettiin suunnitelmaratkaisut painumien ehkäisemiseksi. Painuman ehkäisyvaihtoehdoista valittiin kevennysmateriaalit jatkosuunnittelua ja tilaajalle esittämistä varten. Painumia tehokkaasti ehkäisemällä voidaan ehkäistä rakenteellisten vaurioiden syntymistä ja täten pidentää rakenteen käyttöikää ja pitää ylläpito- ja korjauskustannukset maltillisina. Painumien ehkäisy on myös tärkeää rakenteen toimivuuden ja turvallisen käytön kannalta. Geoteknisten suunnitelmaratkaistujen lisäksi opinnäytetyön yhteydessä luotiin alustavat linjaukset ja tasaukset BMX-radalle, jotka toimivat lähtötietoina geoteknisten suunnitelmaratkaisujen tutkimiseen.

Tarkempien painumalaskentatulosten saavuttamiseksi pohjatutkimukset olisivat voineet olla laajemmat sekä monipuolisemmat ja häiriintyneiden näytteiden lisäksi olisi voinut ottaa häiriintymättömiä näytteitä. Häiriintyneiden maanäytteiden tulosten avulla pystytään ainoastaan arvioimaan painumalaskennassa tarvittavia maaparametrien painumaominaisuuksia. Häiriintymättömistä näytteistä voidaan suorittaa ödometrikokeet, joiden avulla arvot saataisiin suoraan laskentaan. Ödometrikoe on käytetyin menetelmä hienorakeisten maalajien painumaominaisuuksien tutkimiseksi. Ödometrikokeiden arvoja hyödyntämällä laskennassa käytettävissä parametreissa on luultavasti vähemmän virheitä, ja laskenta-arvot ovat lähempänä maaperän todellisia arvoja.

Painumalaskennassa voi tapahtua virheitä. Laskennat ovat aina vain arvioita ja siksi suunnittelussa on hyvä käyttää parametrien osalta varmuuskertoimia ja epäedullisempia laskenta-arvoja. Maaperän käyttäytymistä tietyntilanteissa on mahdotonta ennustaa täysin. Tämän vuoksi suunnittelijan osaaminen on tärkeässä roolissa. Suunnittelijan tehtävänä on tulkita tutkimuksien tuloksia ja niiden perusteella määrittää laskentaan tarvittavat maaparametrien arvot. Hänen on myös laskennan jälkeen arvioitava painumamitoituksen paikkansapitävyys ja todenperäisyys, kun verrataan maaperän ominaisuuksia, kuormia, painumia ja stabiliteettia.

Opinnäytetyössä käsiteltiin suhteellisen pientä hanketta, jossa geoteknillinen suunnittelu oli suuressa roolissa. Geoteknistä suunnittelua ja osaamista tarvitaan niin pienissä, kuin suurissakin hankkeissa ja sen varaan lasketaan monta asiaa läpi hankkeen elinkaaren.

BMX-radon geotekninen suunnittelu on varsin harvinainen ja haastava suunnitteluprojekti. Radan geoteknisiä ratkaisuja suunniteltaessa on huomioitava kansallisen kilpataason vaatimukset radan ominaisuuksista, mutta suunnittelun tueksi ei ole olemassa suunnitteluohjeita tai -käytäntöjä. Lisäksi haasteita aiheuttaa alueen heikko savinen maaperä, minkä vuoksi painumien ehkäisyyn tulee kiinnittää erityistä huomiota. Jatkossa samasta aiheesta voisi luoda BMX-ratojen suunnitteluohjeen tai luoda suunnitelmaratkaisut kansainvälisen tason BMX-radalle. Suunnitteluohjeessa voitaisiin tutustua kansallisen ja kansainvälisen radan eroihin ja luoda suunnitteluohjeet, jossa esitetään minimivaatimukset radan, sen ympäristön, varusteiden ja laitteiden osalta.

LÄHTEET

25.7.2003. Ympäristöministeriön asetus pohjarakenteista. B3 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Pohjarakenteet. Määräykset ja ohjeet 2004.

Ahtiainen, A. 2022. Erityisasiantuntija, vapaa-ajan palvelukokonaisuus, liikuntapalvelut, Turun kaupunki. Henkilökohtainen tiedonanto 29.3.2022.

E0118. 2019. UCI cycling regulations. Part VI BMX. Julk. 01.01.2019. Viitattu 24.2.2022. https://archive.uci.org/docs/default-source/rules-and-regulations/part-vi--bmx.pdf?sfvrsn=c7be9239_10

Erme, P. 2022. Suunnitteluavustaja, kaupunkirakentaminen, kaupunkiympäristön toteutussuunnittelu, Turun kaupunki. Henkilökohtainen tiedonanto 9.2.2022.

Jääskeläinen Raimo, 2009, Geotekniikan perusteet, Tammertekniikka/AMK-Kustannus Oy, Tampere

Liikennevirasto 2011. Kevennysrakenteiden suunnittelu. Liikenneviraston ohjeita 5/2011. Helsinki. Viitattu 22.3.2022. https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/lo_2011-05_kevennysrakenteiden_suunnittelu_web.pdf

Liikennevirasto 2011. Massanvaihdon suunnittelu. Liikenneviraston ohjeita 11/2011. Helsinki. Viitattu 22.3.2022. https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/lo_2011-11_massanvaihdon_suunnittelu_web.pdf

Liikennevirasto 2012. Tien geotekninen suunnittelu. Liikenneviraston ohjeita 10/2012. Helsinki. Viitattu 24.4.2022. https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/lo_2012-10_tien_geotekninen_web.pdf

Liikennevirasto 2014. Tien perustamistavan valinta. Liikenneviraston oppaita 2/2014. Helsinki. Viitattu 24.3.2022. https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lop_2014-02_tien_perustamistavan_web.pdf

Liikennevirasto 2018. Syvästabiloinnin suunnittelu. Liikenneviraston ohjeita 17/2018. Helsinki. Viitattu 22.3.2022. https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2018-17_syvastabiloinnin_suunnittelu_web.pdf

Liikuntapaikkasuunnitelma 2029, Turun kaupungin liikuntapaikkaverkoston nykytila ja linjauksia tulevaisuuteen, Turun kaupunki, vapaa-aikatoimiala, liikuntapaikkayksikkö 2015, toim. Kristina Karppi ja Terhi Anttila, s. 4–5, Viitattu 17.2.2022

Rantamäki Martti, Jääskeläinen Raimo, Tamminne Markku, 1979, Geotekniikka, Yliopistokustannus/Otatieto, Helsinki 2002

Suomen geoteknillinen yhdistys. 1980. Kairausopas 1. Rakentajain kustannus oy. Viitattu 17.4.2022. (<https://sgy.fi/wp-content/uploads/2017/04/kairausopas-1-painokairaus-taerykairaus-heijarikairaus.pdf>)

Suomen geoteknillinen yhdistys. 1995. Kairausopas 2. Suomen geoteknillinen yhdistys r.y. Viitattu 17.4.2022. (<https://sgy.fi/wp-content/uploads/2017/04/kairausopas-2.pdf>)

Turun kaupunki. Liikuntapaikkaverkkosuunnitelma. viitattu 17.2.2022
<https://www.turku.fi/liikuntapaikkaverkkosuunnitelma>