

Jarkko Anttila

## **MAAPATOJEN MITTAUS- JA TUTKIMUSMENETELMÄT**

# **MAAPATOJEN MITTAUS- JA TUTKIMUSMENETELMÄT**

Jarkko Anttila  
Opinnäytetyö  
Kevät 2015  
Rakennustekniikan koulutusohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Rakennustekniikka, yhdyskuntatekniikka

---

Tekijä(t): Jarkko Anttila

Opinnäytetyön nimi: Maapatojen mittaus- ja tutkimusmenetelmät

Työn ohjaaja(t): Vesa Kallio, Oulun ammattikorkeakoulu; Marko Talvensaari, InfraKAT Oy

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2015 Sivumäärä: 45

---

Maapatojen kunnan tarkkailua, mittauksia ja tutkimista ohjaavat patoturvallisuuslaki ja -asetus. Lain ja asetuksen tarkoituksena on ehkäistä laiminlyöntejä ja niistä johtuvia pato-onnettomuuksia.

Opinnäytetyön tavoitteena oli koota yhteen padon omistajaa sitovat velvoitteet ja säädökset sekä käsitellä keinoja maapatojen kunnan mittaukseen ja tutkimiseen. Lisäksi tarkoituksena oli etsiä uusia tutkimusmenetelmiä ja analysoida niiden soveltuvuutta suomalaisten maapatojen tutkimiseen.

Opinnäytetyö aloitettiin kokoamalla eri laeista ja pykälistä padon omistajan tehtävät ja velvollisuudet, jotka ohjaavat padon käyttöä ja kunnan tarkkailua. Sen jälkeen määritettiin maapato ja sen rakenteet sekä esitettiin maapatojen mittaus- ja tutkimusmenetelmät. Menetelmät jaettiin valvontamittauksiin, kairauksiin ja suolavesianalyysiin. Työ toteutettiin kokoamalla tietoa eri kirjallisuuslähteistä. Lisätietoa valvontamittauksista ja suolavesianalyysistä kerättiin asiantuntija-haastattelulla ja InfraKAT Oy:n laatimilla periaatekuvilla. Valokaapelimittausten havainnollistamiseksi esiteltiin esimerkkikohde, joka oli Kemijoki Oy:n omistama Porttipahdan pato.

Opinnäytetyössä saatiin laadittua kattava katsaus padon omistajan velvollisuuksista ja sitovista säädöksistä. Yleisimmät tutkimus- ja mittausmenetelmät on käsitelty kuvauksineen ja lisäksi esitettiin kaksi uutta menetelmää. Toinen menetelmistä osoittautui hyödyttömäksi, mutta toisesta saadaan mahdollisesti tulevaisuudessa lisäarvoa maapatojen kunnan tutkimuksissa.

---

Asiasanat: Padot, Vesirakennus, Tutkimusmenetelmät, Mittausmenetelmät

## ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Degree Programme in Civil Engineering, Municipal Engineer

---

Author(s): Jarkko Anttila

Title of thesis: Measuring and Researching Methods of Earth-filled Dams

Supervisor(s): Vesa Kallio, Oulu University of Applied Sciences; Marko Talvensaari, InfraKAT Oy

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2015 Pages: 45

---

Finland is the home of many hydroelectric power stations. Most of them were built during the three decades starting from the 1950s and ending in the 1970s. To make a hydroelectric power station efficient, one has to create optimal circumstances. That means building dams to regulate the water flow. Most of the Finnish dams use earth-fill.

First part of this thesis includes the responsibilities of the dam`s owner. Dam`s owner has to make sure that everything is done according to the law. In case of an accident the owner is always the responsible party, if something has been over looked in maintenance of the dam.

The second part explains the parts of common earth-filled dam and how those parts work. After that the most common research techniques are catalogued and explained.

The last part consists of two new research techniques. These two techniques are used in other countries but not in Finland. In the case of the Flat Dilatometer it was clear that it did not work in researching the Finnish earth-filled dams. The other, Sonic Drilling Method, on the other hand seemed very promising. The conclusion was, that it would give better results in the research compared to methods that are used nowadays.

---

Keywords: Dams, Research methods, Measuring methods

## **ALKULAUSE**

Haluan kiittää InfraKat Oy:n Geotekniikan yksikön päällikköä Marko Talvensaarta mielenkiintoisesta ja haastavasta opinnäytetyön aiheesta ja asiaan perehdyttämisestä. Kiitokset myös työnohjaajalle Vesa Kalliolle ohjauksesta ja avusta, jota työnteon aikana sain.

30.4.2015 Oulussa

Jarkko Anttila

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKULAUSE	5
SISÄLLYS	6
1 JOHDANTO	8
2 PADON OMISTAJAN VELVOITTEET JA SÄÄDÖKSET	9
2.1 Vahingonvaaraselvitys	9
2.2 Turvallisuussuunnitelma	10
2.2.1 Onnettomuusvaarasta tiedottaminen	10
2.2.2 Padon omistajan tehtävät onnettomuustilanteissa	11
2.2.3 Koulutus ja harjoittelu	11
2.3 Kunnossapito ja käyttö	12
2.4 Tarkkailu ja tarkastukset	13
3 MAAPATOJEN TYYPIT JA LUOKITTELU	16
3.1 Maapatojen tyypit	16
3.1.1 Homogeeniset padot	16
3.1.2 Vyöhykepadot	17
3.1.3 Louhepadot	18
3.2 Maapatojen luokittelu	19
3.2.1 1-luokan pato	19
3.2.2 2-luokan pato	20
3.2.3 3-luokan pato	20
3.2.4 Luokittelematon pato	20
4 MITTAUS- JA TUTKIMUSMENETELMÄT	22
4.1 Padon kunnan valvonta ja valvontamittaukset	22
4.1.1 Valvonta	22
4.1.2 Maatutkaus	23
4.1.3 Muodonmuutosmittaukset	24
4.1.4 Valokaapelit	27
4.1.5 Pohjavesiputket ja pietsometrit	28
4.2 Kairaukset	31

4.2.1 Heijarikairaus	31
4.2.2 CPTU-kairaus	32
4.2.3 Soveltumattomat menetelmät	32
4.3 Suolavesianalyysi	33
5 UUDET TUTKIMUSMENETELMÄT	37
5.1 Dilatometri	37
5.1.1 Osat ja toimintaperiaate	37
5.1.2 Dilatometrin käyttö maapatojen tutkimisessa	39
5.2 Sonic-kairausmenetelmä	40
5.2.1 Osat ja toimintaperiaate	40
5.2.2 Sonic-menetelmän käyttö maapatojen tutkimisessa	40
6 YHTEENVETO	42
LÄHTEET	43

# 1 JOHDANTO

Maapatoja on Suomessa rakennettu runsaasti vesivoimalaitosten yhteyteen ja rakentaminen oli kiivasta varsinkin sodan jälkeisinä vuosikymmeninä 1950-70-luvuilla. Nykypäivänä uusia vesivoimalaitoksia ei enää juurikaan rakenneta, koska useimmat suuret joet ovat jo valjastettu energiantuotantoon. Myös ympäristönsuojelulliset näkökohdat ovat nousseet vahvasti esiin, josta esimerkkinä koskiensuojelulaki.

Maapatojen rakentamisessa onkin viime vuosikymmeninä keskitytty tulvapenkeiden rakentamiseen ja kaivosteollisuuden yhteydessä kaivospatoihin. Vaikka maapatojen rakentaminen onkin hiipunut, on edelleen erittäin tärkeää seurata olemassa olevien patojen kunnon kehitystä. Maapadot ovat merkittävä varallisuuskohte ja huonosti hoidettuina vaaraksi ihmisten terveydelle ja ympäristölle.

Ikääntyvä maapatokanta luo yhä enemmän tarvetta kunnon tutkimiselle ja mittaamiselle. Maapadon ominaispiirteenä kunnon tutkimisen kannalta voidaan pitää sitä, että maapadon rakennetta ei saa vahingoittaa. Tutkimusmenetelmän täytyy olla hienovarainen ja säilyttää rakenteet mahdollisimman koskemattomina. Tämä sulkee pois monia tutkimusmenetelmiä, joita käytetään muissa infrarakenteissa.

Tämän työn tarkoituksena on koota yhteen padon omistajaa koskevat velvoitteet ja säädökset sekä 1-luokan vesistömaapatojen mittaus- ja tutkimusmenetelmät. Lopuksi työssä tutustutaan maailmalla käytössä oleviin tutkimusmenetelmiin ja pohditaan niiden soveltumista suomalaisiin 1-luokan maapatojen tutkimukseen.



## 2 PADON OMISTAJAN VELVOITTEET JA SÄÄDÖKSET

Padon omistaja voi olla henkilö tai taho eli yritys. Omistajaksi käsitetään se, joka on ilmoitettu padosta vastuulliseksi patoturvallisuusviranomaiselle. Omistuksen vaihtuessa täytyy vanhan omistajan luovuttaa uudelle omistajalle patoturvallisuuskansio ja tehdä ilmoitus patoturvallisuusviranomaiselle. Vanhan omistajan vastuut ja velvollisuudet lakkaavat vasta näiden toimenpiteiden jälkeen. (1, s. 6-7.)

### 2.1 Vahingonvaaraselvitys

Padon omistaja laatii suunnitteluvaiheessa vahingonvaaraselvityksen, joka toimii viranomaisten työkaluna padon turvallisuutta ja patoluokkaa arvioitaessa. Selvityksestä tulee käydä ilmi sortumisesta aiheutuva veden leviäminen ja tulvan suurin peittävyys sekä vahinkokohteet ja vahinkojen arviointi. (1, s. 25-26.)

Sortumatapausten käsittely vahingonvaaraselvityksessä hoidetaan siten, että suurimman vahingon aiheuttavat tapaukset sisällytetään selvitykseen. Mahdollisten sortumaonnettomuuksien osalta on myös selvitettävä sortumatavat. Esi-tettyjen sortumatapojen tulee perustua patorakenteen mukaisiin olettamuksiin. Normaalitylanteessa sortuman oletetaan tapahtuvan sisäisen eroosion vaikutuksesta ja tulvatilanteessa eroosion tai ylivirtauksen vaikutuksesta. Mitoittavana tulvana laskelmissa käytetään kerran 20 vuodessa toistuvaa ylivirtaamaa ( $HQ_{1/20}$ ). (1, s. 25-26; 3.)

Tulva-aallon eteneminen selvitetään, jos se on padon luokan selvittämiseksi tai turvallisuussuunnitelman ja pelastustoimen suunnitelman laatimiseksi tarpeellista. Tapauksesta riippuen tulva-aallon etenemistä voidaan määrittää tietokone-laskelmilla tai korkeustietoihin perustuvalla leviämispirroksella. (1, s. 26.)

Vahinkoarviot laaditaan kohteista, jotka päätetään yhteistyössä patoturvallisuusviranomaisen kanssa. Kohteiksi valitaan esimerkiksi tulva-alueella asuva väestö, julkisissa rakennuksissa oleskelevat ihmiset, yhteiskunnan kannalta merkittävät kohteet, tuotantolaitokset ja niiden tappiot, rakennukset ja tulva-aallon alle jäävät tie- ja rautatieosuudet. Vahingon suuruutta ja määrää arvioi-

daan laskemalla kohteen sijainnin mukainen tulva-aallon virtausnopeus ja vedenkorkeus. Tällä tavalla otetaan huomioon patoutuneesta vedestä ja dynaamisesta tulva-aallosta aiheutuneet vahingot. Vahingonvaaraselvityksessä esitetään vahinkoarviot kohteittain taulukkomuodossa. (1, s. 27.)

## **2.2 Turvallisuussuunnitelma**

Turvallisuussuunnitelma on padon omistajan ja patoturvallisuusviranomaisen yhdessä laatima dokumentti, joka pohjautuu vahingonvaaraselvitykseen. Turvallisuussuunnitelmassa selvitetään padon omistajan omatoiminen varautuminen ja toiminta onnettomuustilanteissa. Suunnitelman alussa on yleiskuvaus padosta ja siihen liittyvästä vesistöistä. Suunnitelmaa laadittaessa on hyvä huomioida, että mitään yleispätevää vakiokaavaa suunnitelmalle ei voi olla, koska kaikki padot ja varsinkin niiden alapuoliset vaara-alueet ovat erilaisia. Vaara-alueen yksilölliset piirteet tulee ottaa tarkasti huomioon ja miettiä vaaratekijät sen pohjalta. Tästä syystä suunnitelmat eivät voi olla tarkasti määriteltyjä, vaan niiden tulee muokkautua riskitekijöiden ja olosuhteiden mukaisiksi. (1, s. 29-30; 4, s. 3; 5, s. 6.)

Turvallisuussuunnitelma on pidettävä aina ajan tasalla. Päivittäminen tehdään vähintään viiden vuoden välein määräaikaistarkastuksen yhteydessä. Turvallisuussuunnitelman tarkoituksena on luoda mahdollisimman hyvät edellytykset ihmisten terveyteen kohdistuvien vaarojen ja taloudellisten vahinkojen minimoimiseksi onnettomuustilanteissa. (1, s. 29-30; 4, s. 3; 5, s. 6.)

### **2.2.1 Onnettomuusvaarasta tiedottaminen**

Onnettomuusvaara-alueella asuvaa väestöä tulee tiedottaa onnettomuusvaarasta. Tiedotusta hoitavat sekä padon omistava taho että pelastusviranomainen. Molemmat osapuolet tiedottavat asiasta omasta näkökulmastaan, mutta yhteinen tavoite on antaa asukkaille tiedoksi, miten tulee toimia onnettomuustilanteissa. Vaara-alueella olevien asuinrakennusten, yritysten ja laitosten täytyy huomioida vaara myös omissa pelastussuunnitelmissaan. (1, s. 30.)

### **2.2.2 Padon omistajan tehtävät onnettomuustilanteissa**

Pelastuslain mukaan kenen tahansa on ongelman havaittuaan yritettävä torjua onnettomuuden syntyminen tai leviäminen. Jos henkilö ei kykene estämään onnettomuuden syntymistä, täytyy hänen viipymättä ilmoittaa siitä vaarassa oleville ja tehdä hätäilmoitus sekä ryhtyä kykynsä mukaan pelastustoimenpiteisiin. Tämä koskee erityisesti padon omistajaa ja padon ylläpidosta vastaavia henkilöitä. (1, s. 31; 6.)

Onnettomuustilanteessa padon omistajan on ryhdyttävä toimenpiteisiin onnettomuuden ehkäisemiseksi ja vahinkojen minimoimiseksi sekä tehtävä ilmoitus alueen pelastusviranomaiselle sekä patoturvallisuusviranomaiselle. Omistaja arvioi yhdessä hätäkeskuksen hälytyspäivystäjien ja pelastusviranomaisen kanssa tilanteen vakavuutta ja tarvittavien hälytysten määrää. Alueen pelastusviranomaisella on omat pelastussuunnitelmansa, jotka on laadittu patoturvallisuusviranomaisen toimittamien asiakirjojen pohjalta. Pelastustoimintaa johtaa pelastusviranomainen, jota padon omistaja ja patoturvallisuusviranomainen tarvittaessa avustavat. (1, s. 31; 7.)

### **2.2.3 Koulutus ja harjoittelu**

Pato-onnettomuuden varalta laadittavat suunnitelmat eivät yksinään riitä takaamaan tehokasta toimintaa onnettomuus- tai vaaratilanteissa. Toimintakyky ja -valmius pysyvät yllä ainoastaan kouluttamalla padon käyttöhenkilöstöä sekä virastojen ja laitosten henkilöstöä, joilla on toimintavelvoitteita onnettomuustilanteissa. Padon omistaja vastaa oman henkilöstönsä kouluttamisesta, mutta voi osallistua myös ammatillisella avustuksella muiden yhteisöjen koulutuksiin. (1, s. 32.)

Padon omistajan koulutuksissa perehdytään tunnistamaan vaarallisia muutoksia padoissa, jotka voivat johtaa padon sortumaan tai muuhun vahinkoon. Henkilöstön tulee osata käynnistää hätätilanteen edellyttämät varoitukset ja hälytykset sekä aloittaa toimet vesistön ohjaamiseksi ja patovaurion korjaamiseksi. Mikäli turvallisuussuunnitelmassa on sovittu, että pelastusviranomainen suorittaa joidakin padon omistajan tehtäviä onnettomuustilanteissa, kuuluu kyseisten tehtä-

vien kouluttaminen padon omistajalle. Tällaisia tehtäviä ovat esimerkiksi patoluukkujen käyttö. (1, s. 32.)

Laajimmat harjoitukset ovat yhteistoimintaharjoituksia, joihin osallistuvat kaikki, joilla on tehtäviä onnettomuustilanteissa. Harjoitusten tarkoituksena on käydä läpi yhteistoimintaa padon omistajan, patoturvallisuusviranomaisen ja pelastusviranomaisen kanssa. Harjoituksen järjestämiseen aloitteen tekee yleensä joko patoturvallisuusviranomainen tai padon omistaja, mutta varsinaisen harjoituksen järjestää pelastusviranomainen. Pelastusviranomainen myös suunnittelee harjoituksen, mutta suunnittelussa voivat avustaa myös padon omistaja ja patoturvallisuusviranomainen. (1, s. 32.)

### **2.3 Kunnossapito ja käyttö**

Padon käyttäjällä on oltava riittävä asiantuntemus patoturvallisuusasioissa ja käyttöhenkilökunnan on tunnettava riittävän hyvin padon turvallisuuteen vaikuttavat olosuhteet, turvajärjestelmät sekä käytännön toimet. Tarkempia määräyksiä käyttäjän tai käyttöhenkilökunnan koulutustasolle ei ole annettu, vaan se tulee arvioida jokaisessa tapauksessa erikseen. Padolle annetaan lupapäätöksessä määräykset vedenkorkeuksista ja juoksutuksista, joita padon käyttäjä on velvoitettu noudattamaan. (1, s. 35; 3.)

Patoturvallisuuslaissa määrätään, että padon omistaja on velvollinen pitämään padon sellaisessa kunnossa, että pato on turvallinen ja toimii suunnitellulla tavalla. Silmämääräinen tarkkailu on aina tärkeää, siksi kunnossapitoon kuuluu tärkeänä osana kuivan luiskan puuston ja pensaiden raivaukset. Padon oikeanlaisen toiminnan turvaamiseksi on huolehdittava kuivatusjärjestelmän toimivuudesta, eli salaojat on tarvittaessa huuhdeltava ja avo-ojat pidettävä avoinna. Märän luiskan verhouksen kuntoa on pidettävä silmällä ja korjattava aina tarvittaessa. Luukut ja tarkkailulaitteet tulee huoltaa säännöllisesti ja tarvittavat korjaukset tehdä ilman viivytyksiä. (1, s. 35; 7.)

Häiriötilanteissa padon omistaja ilmoittaa asiasta patoturvallisuusviranomaiselle. Ilmoituksessa annetaan tarpeelliset selvitykset tilanteesta ja sen vakavuudesta, minkä jälkeen patoturvallisuusviranomainen tarvittaessa tekee hätäilmoi-

tuksen pelastusviranomaiselle. Häiriötilanteiksi luetaan tilanteet, joilla on merkitystä patoturvallisuuden kannalta, mutta ei välttämättä välitöntä vaaraa. Tällaisia tilanteita ovat esimerkiksi rakenteelliset tai toiminnalliset häiriöt, kuten luukkujen tai niitä ohjaavan automatiikan epäkunto, joka johtaa ylävedenpinnan äkilliseen nousuun. Äkillisestä tulvasta aiheutuvasta vedenpinnan noususta on myös ilmoitettava patoturvallisuusviranomaiselle, koska käyttöhäiriöiden riski lisääntyy merkittävästi. (1, s. 41; 7.)

Padon käytöstä poisto on tehtävä noudattaen vesi- ja ympäristölakia sekä padon rakentamisluvassa annettuja määräyksiä. Kun pato on purettu, kutsutaan patoturvallisuusviranomaisen suorittamaan tarkastus. Viranomaisen toteaa, että pato on purettu eikä siitä enää voi aiheutua patoturvallisuuslain määrittämää vahingonvaaraa. Tämän jälkeen pato poistetaan tietojärjestelmästä ja patoturvallisuuslain mukaiset padon omistajan velvoitteet lakkaavat olemasta voimassa. (1, s. 42; 7.)

#### **2.4 Tarkkailu ja tarkastukset**

Tarkkailu on jatkuvaa padon kunnan valvontaa, jota suorittaa koulutettu ja asiaan perehdytetty käyttö- ja huoltohenkilökunta. Tarkkailua suoritetaan silmämääräisesti ja erilaisin mittauksin. Mitattavia asioita ovat esimerkiksi pohjaveden pinnankorkeus, huokosvedenpaine ja suotovesimäärät. Henkilökunnan tulee olla riittävän asiantuntevaa tunnistaakseen merkit padossa, jotka viittaavat vaurioihin tai mahdollisiin vahinkoihin. Lisäksi heidän tulee olla tietoisia mitattavien suureiden raja-arvoista. Havaitessaan normaalista poikkeavaa henkilökunta ilmoittaa asiasta padosta vastuulliselle, joka ryhtyy tarvittaessa jatkotoimenpiteisiin tai antaa asiasta lisäohjeita. (1, s. 37.)

Poikkeusolosuhteissa, kuten myrskyjen tai rankkasateiden aikana, tarkkailua on syytä tehostaa suorittamalla ylimääräisiä tarkastuskäyntejä joko poikkeustilan aikana tai heti sen jälkeen. Poikkeusolosuhteet määritellään padon tarkkailuohjelmassa, jossa kuvataan myös poikkeusolosuhteiden toimenpiteet. (1, s. 37.)

Tarkkailuun kuuluu myös vedenpinnan alaisten rakenteiden havainnointi. Maapadoilla ei yleensä suoriteta sukelluksia, vaan havainnot kerätään matalan ve-

den aikaan. Sukelluksia käytetään vain poikkeustapauksissa, kuten heikon kaliooperän aiheuttamien vajoamien toteamisiin. (1, s. 37.)

Patoturvallisuuslaissa määrätään, että padon omistajan on suoritettava tarkastus omistamallaan padolla vähintään kerran vuodessa. Tarkastuksesta laaditaan raportti, joka toimitetaan patoturvallisuusviranomaiselle tiedoksi. Tarkastuksen ajankohdaksi suositellaan aikaa heti roudan sulamisen jälkeen. Raporttiin sisällytetään kaikki vuoden aikana tehdyt havainnot ja mittauksen tulokset sekä mittauslaitteiden kunnan tarkastusraportit. Vuositarkastuksessa tutkitaan myös koko pato ja määritetään korjauksia vaativat kohdat. Erityistä huomiota tulisi kiinnittää hälytyslaitteiden toimintaan sekä tulva-aukkojen, tulvakynnysten ja voimalaitosten juoksutuslaitteiden kuntoon. Kevättulvien jälkeen olisi syytä tarkastaa altaiden täyttö- ja tyhjennyskanavat. (1, s. 38; 7.)

Vuositarkastuksen yhteydessä päivitetään padon turvallisuussuunnitelma vähintään yhteystietojen osalta. Kaikki henkilö- ja yhteystiedot tarkastetaan ja päivitetään sekä turvallisuussuunnitelmaan vaikuttavat muutokset kirjataan raporttiin. Vuositarkastuksessa kiinnitetään erityisesti huomiota patovaurion havaitsemiseen ja väestön varoittamiseen liittyvien laitteiden toimintaan. (1, s. 38.)

Padon omistajan turvallisuuskansioon laaditaan raportti jokaisesta vuositarkastuksesta. Raporttiin kirjataan tehdyt havainnot ja tarkkailu- ja korjaustarpeet. Raportti toimitetaan myös patoturvallisuusviranomaiselle, joka lisää sen omaan patokohtaiseen turvallisuuskansioonsa. (1, s. 38.)

Kun samana vuonna tehdään määräaikaistarkastus, ei samoja toimenpiteitä tarvitse tehdä vuositarkastuksessa toiseen kertaan. Tärkeintä on, että kaikki vuositarkastukseen liittyvät toimenpiteet tehdään myös määräaikaistarkastusvuonna ja ne kirjataan molempiin raportteihin. (1, s. 38.)

Padon omistaja järjestää määräaikaistarkastuksen vähintään viiden vuoden välein, tarvittaessa useammin. Tarkastukseen osallistuvat, padon omistajan edustajien lisäksi, patoturvallisuusviranomaisen ja pelastusviranomaisen. Ennen määräaikaistarkastusta padon omistaja laadituttaa ulkopuolisella ja riippumattomalla asiantuntijalla arvion padon kunnosta. Asiantuntijan raportti toimitetaan

patoturvallisuusviranomaiselle yhdessä edellisen viiden vuoden tarkkailuraporttien kanssa hyvissä ajoin ennen tarkastusta, jotta tämä ehtii tutustua asiakirjoihin. Ensimmäisen määräaikaistarkastuksen ajankohta lasketaan käyttöönosta. (1, s. 40; 7.)

Määräaikaistarkastuksen raportti aloitetaan käymällä läpi edellisen määräaikaistarkastuksen raportti sekä siinä edellytetyt toimenpiteet. Välissä tehdyistä vuositarkastusraporteista ja niihin liittyvistä tarkkailu- ja mittaustuloksista esitetään yhteenveto ja tulosten analysointi. Raportissa myös selostetaan määräaikaistarkastusten välillä suoritettavat korjaustyöt ja niiden syyt. (1, s. 40.)

Raportin seuraava osa koostuu viranomaisten kanssa suoritetusta maastotarkastuksesta ja siellä tehdyistä havainnoista. Maastotarkastuksessa todetaan turvallisuuden kannalta merkittävien laitteiden kunto. Tällaisia laitteita ovat esimerkiksi luukut ja varanostojärjestelmä. Maastossa tarkastetaan myös puusto ja kasvillisuus sekä mahdollisten patoon kuulumattomien rakennelmien olemassaolo sekä kulkuteiden riittävyys. Vesistöpadolla padon harjan tulee olla liikennöntikelpoinen. (1, s.40.)

Raportin viimeisessä osassa käydään läpi patoa koskevat selvitykset ja suunnitelmat ja päivitetään ne kaikilta osin. Tällaisia asiakirjoja ovat vahingonvauraselvitys, turvallisuussuunnitelma ja tarkkailuohjelma. Turvallisuussuunnitelman osalta tarkastetaan myös hälytys- ja varoituslaitteiden toiminta ja tietoliikenneyhteydet. Näitä koskeva tarkastuspöytäkirja liitetään raporttiin. Viimeisessä osassa tarkistetaan myös hydrologisen mitoituksen ajantasaisuus ja käsitellään mahdolliset muutokset vesiolosuhteissa ja tarvittaessa todetaan muutostarpeet. Lopuksi käydään vielä läpi asiantuntijan tekemä arviointi padon kunnosta ja turvallisuudesta. (1, s. 40.)

Raportti toimitetaan patoturvallisuusviranomaiselle, joka liittää sen padon turvallisuuskansioon. Raporttia voidaan havainnollistaa esimerkiksi piirroksin ja valokuvin. Mikäli patoturvallisuusviranomaisella katsotaan, että pato ei enää täytä sille asetettuja turvallisuusmääräyksiä, voi hän määrätä padolle tehtäväksi tarkemman kuntoarvion. (1, s. 40-41.)

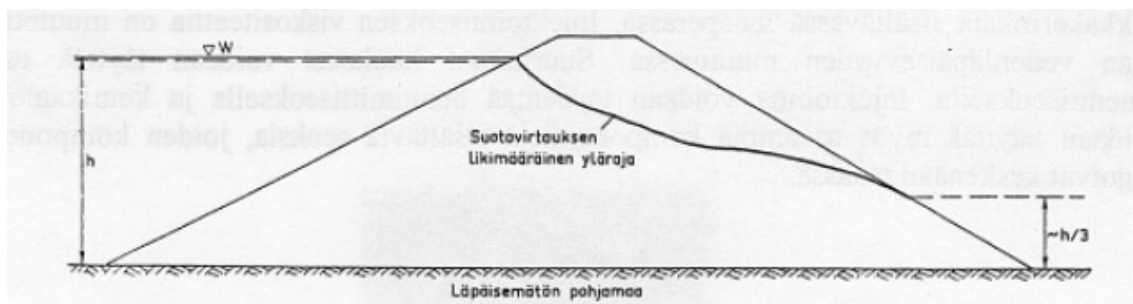
### 3 MAAPATOJEN TYYPIT JA LUOKITTELU

Suomessa käytettyjä maapatotyyppejä ovat homogeeniset-, vyöhyke- ja louhepadot. Patotyyppin valintaan vaikuttavat rakennuspaikan pohjasuhteet sekä käytävissä olevat materiaalit ja padolle asetetut vaatimukset. Patojen luokittelu on joskus kuitenkin haastavaa, koska jokainen suunnittelutehtävä tuottaa omanlaisensa poikkileikkauksen, joka voi sisältää ominaisuuksia useammasta patotyyppistä. (2, s. 71; 8, s. 2.)

#### 3.1 Maapatojen tyypit

##### 3.1.1 Homogeeniset padot

Homogeeninen maapato on suurimmaksi osaksi yhdestä maamateriaalista rakennettu pato, joka on yleensä alle 10 metriä korkea. Pato suunnitellaan siten, että siitä suotautuu kaiken aikaa vettä hallitusti lävitse (kuva 1). Materiaalina käytetään esimerkiksi savea, silttiä, moreenia tai hiekkaa. Käytettäessä savea tai silttiä ongelmaksi muodostuu usein tiivistettävyys. Jos käytettävä materiaali on voimakkaasti vettä läpäisevää, täytyy patoon suunnitella erillinen suotovesien keräysjärjestelmä. Keräysjärjestelmä on tarpeellinen jos materiaalin vedenläpäisevyys on suurempi kuin  $10^{-6}$  m/s. (2, s. 72; 8, s. 2.)



KUVA 1. Homogeeninen maapato (8, s. 7)

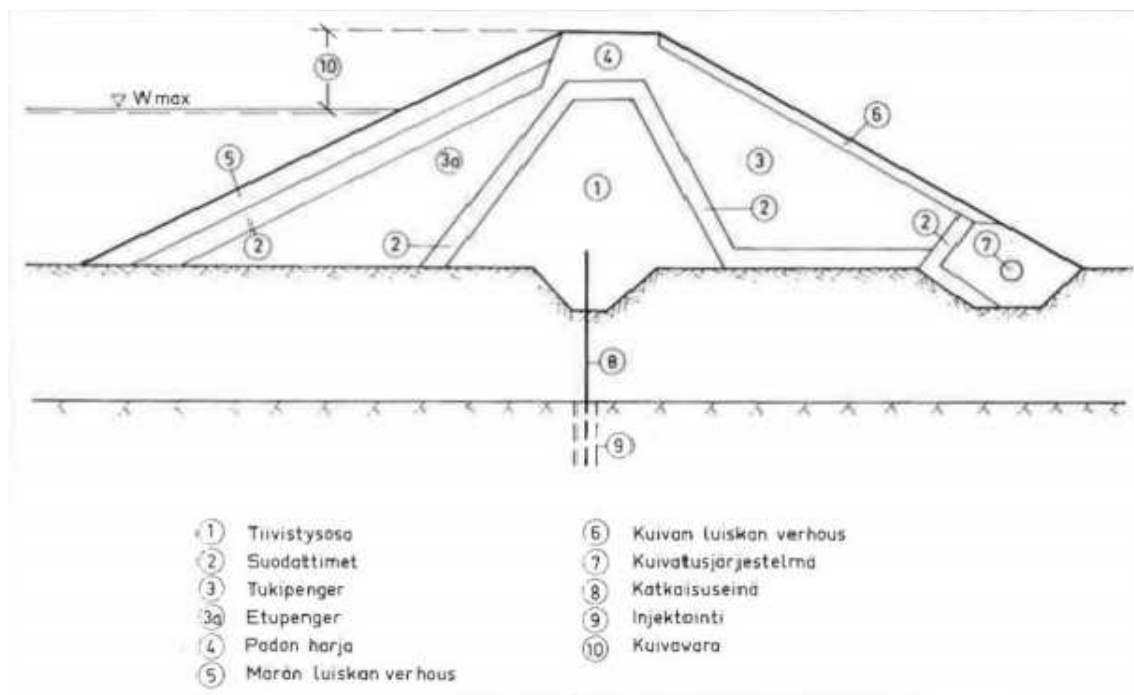
Homogeenisten maapatojen hyvinä puolina pidetään helppoa rakentamista ja rakentamisen ja tiivistämisen yksinkertaista valvomista. Ongelmaksi voivat muodostua jo edellä mainittu saveen ja siltin tiivistettävyys ja joidenkin maainesten suuri vedenläpäisevyys. Myös maainesten menekki on suurempi, koska luiskat pitää rakentaa loivemmiksi. Märkä luiska rakennetaan loivemmak-



si, jotta se kestäisi nopean vedenpinnan vaihtelun aiheuttaman huokosvedenpaineen muutoksen. Kuiva luiska puolestaan siksi, että se kestäisi suotoveden aiheuttaman luiskan kyllästymisen. (2, s. 72; 8, s. 2.)

### 3.1.2 Vyöhykepadot

Suurin osa suomessa rakennetuista padoista on vyöhykepatoja tai louhepatoja, jotka voidaan määrittellä myös vyöhykepadoiksi. Vyöhykepadon rakenteessa (kuva 2) käytetään useita eri maamateriaaleja ja erillistä tiivisteosaa, jolla estetään veden suotautumista padon lävitse. Tiivisteosa voidaan tehdä maaineksesta tai jostain tekoaineesta, kuten asfaltista tai betonista. Tiivisteosa voi sijaita padon keskellä tai vinossa yläveden puolella. (2, s. 72; 8, s. 3; 9, s. 25.)



KUVA 2. Vyöhykepadon rakenne, jossa tiivisteosa padon keskellä (2, s. 73)

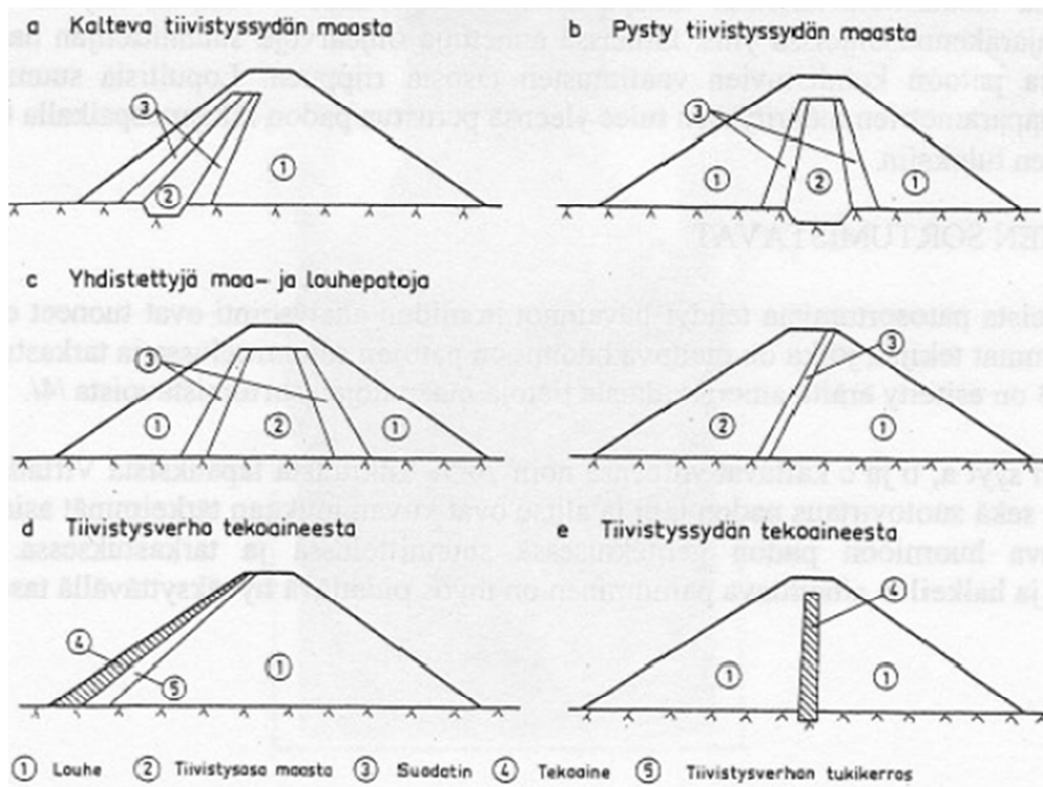
Vyöhykepadoissa voidaan käyttää eri materiaaleja eri suhteissa. Käyttämällä karkeita materiaaleja voidaan padon luiskia jyrkentää ja näin ollen kokonaistilavuutta pienentää eli tarvittavan materiaalin määrää vähentää. Toisaalta useiden eri materiaalien käyttö lisää ja hankaloittaa rakentamis- ja valvontatöitä. Lisäksi toisiinsa kosketuksissa olevien materiaalien on täytettävä keskenään suodatin-kriteerit, joita on joskus vaikea saavuttaa ilman materiaalien ylimääräistä käsit-

telyä, kuten seulontaa tai pesua. Rakentamisen kannalta vyöhykepatoa, toisin kuin homogeenistä patoa, voidaan rakentaa sääolosuhteista riippumatta ainakin joiltain osin. (2, s. 72.)

### 3.1.3 Louhepadot

Louhepato on rakenteeltaan samanlainen kuin vyöhykepato, mutta maamateriaalin sijaan sen pääasiallisena rakennusmateriaalina on vettä hyvin läpäisevää louhetta tai luonnonkiveä. Tiivistyssydän voidaan rakentaa joko maa-aineksesta tai tekoaineesta. Jotkin louhepatotyypit voidaan laskea myös vyöhykepatoihin (kuva 3). (2, s. 72-73.)

Louhepatoja voidaan rakentaa vuoden ympäri, kun pidetään huoli, että louheen sekaan ei joudu lunta tai jäätä. Louhepato voidaan rakentaa jyrkkäluiskaisemmaksi kuin maapato, jolloin säästetään materiaalikustannuksissa. Louhepatoa suunniteltaessa on kuitenkin aina huomioitava, että se vaatii pohjamaalta suuremman kantavuuden kuin kevyemmät patotyypit. Louhepatoa ei voida perustaa heikosti kantavalle tai eroosioherkälle pohjamaalle. (2, s. 72-73.)



KUVA 3. Louhepatotyyppejä (8, s. 3)

## **3.2 Maapatojen luokittelu**

Maapatojen luokittelu tehdään vahingonvaaran perusteella. Padon omistaja selvittää vahingonvaaraa vahingonvaaraselvityksessä, jonka perusteella patoturvallisuusviranomaisen päättää padon luokituksesta joko 1-luokkaan, 2-luokkaan tai 3-luokkaan. Jos pato ei aiheuta minkäänlaista vahingonvaaraa, voi patoturvallisuusviranomaisen päättää myös luokittelematta jättämisestä Luokittelu koskee vesistö-, jäte- ja kaivospatoja ja tulvapenkereitä sekä tilapäisiä työpatoja. (1, s. 18.)

Patoturvallisuusviranomaisen arvioi vahingonvaaraa padon sortumatapauksissa. Arviossa huomioidaan tulva-aallon ja vedenpinnan nousun aiheuttama vaara padon alapuolisille alueille ja vedenpinnan äkillisen alenemisen aiheuttamat vaarat padon yläpuolisille alueille. Jätepatojen osalta luokitukseen vaikuttavat myös padottu aine ja sen ympäristöhaitat. Padon luokittelu täytyy tehdä jo suunnitteluvaiheessa, koska luokittelu määrää padon vaadittuja ominaisuuksia. (1, s. 18.)

### **3.2.1 1-luokan pato**

Pato luokitellaan 1-luokkaan, jos se aiheuttaa vaaran ihmishengelle ja terveydelle tai huomattavan vaaran ympäristölle tai omaisuudelle. Pato on vaarallinen ihmishengelle, jos sen alapuolella tulva-aallon vaikutusalueella sijaitsee pysyvää asutusta tai vapaa-ajan asutusta. Lain mukaan riittää, jos yksikin rakennus on vaara-alueella. Toisin sanoen patoturvallisuuslaki määrää, että pato luokitellaan 1-luokkaan, jos se voi aiheuttaa yhdenkin kuoleman tai vakavan loukkautumisen. Asutuksen lisäksi otetaan huomioon paikat joissa ihmiset oleskelevat, kuten sairaalat, koulut ja julkiset rakennukset. (1, s. 18.)

Ympäristövahinkojen perusteella pato luokitellaan 1-luokkaan, jos tulva-aalto tai jäte- tai kaivospadosta onnettomuustilanteessa purkautuva aine aiheuttaa merkittävän ympäristövahingon. Merkittävä ympäristövahinko voi olla suojellun alueen tai harvinaisen lajin tuhoutuminen tai vedenhankinnan kannalta tärkeän tai siihen soveltuvan pohjavesialueen tai vedenhankintavesistön tuhoutuminen. (1, s. 18-19.)

Omaisuuksivahinkojen perusteella pato luokitellaan 1-luokkaan, jos pato-onnettomuudesta aiheutuvat omaisuusmenetykset ovat merkittävät. Menetyksiä voivat olla asuinrakennukset, julkiset rakennukset, kuten koulut ja sairaalat tai yhteiskunnan kannalta tärkeät kohteet. Yhteiskunnan kannalta tärkeitä kohteita ovat merkittävät tie- ja rautatieosuudet, sähkön- ja vedenjakeluverkot, jäteveden puhdistamot ja tietoliikenneverkot. (1, s. 18.)

### **3.2.2 2-luokan pato**

2-luokkaan luokiteltava pato voi aiheuttaa vaaraa terveydelle, mutta ei ihmishenkien menetyksiä. Ympäristölle ja omaisuudelle aiheutuva vahinko saa olla vähäistä suurempaa, mutta ei kuitenkaan huomattavaa, kuten 1-luokan padoilla. Sortumatapauksissa tulva-aallosta aiheutuva vedenpinnan nousu voi aiheuttaa vahinkoja rakennuksille. Vedenpinta tai tulva-aallon virtausnopeus eivät saa kuitenkaan kasvaa niin suuriksi, että ne aiheuttaisivat vaaraa ihmisille. Jäte- ja kaivospatojen osalta 2-luokkaan luokitellaan padot, jotka onnettomuustilanteessa aiheuttavat esimerkiksi tärkeänä virkistys- tai kalastusalueena käytettävän vesistön laadun vähäistä suurempaa, pitkäaikaista huononemista tai laajan viljelyalueen pilaantumista tai usean talousvesikaivon veden pilaantumista. (1, s. 19.)

### **3.2.3 3-luokan pato**

Pato luokitellaan 3-luokkaan eli vähäistä vaaraa aiheuttavaksi, kun se ei mitään ilmeisimmin aiheuta onnettomuustilanteessa vaaraa ihmishengelle tai terveydelle eikä vähäistä haittaa lukuun ottamatta ympäristölle tai omaisuudelle. 3-luokan pato ei yleensä saa aiheuttaa vahinkoa sortumatapauksessa alapuolisille rakennuksille, mutta lievät vahingot viljelyksille ovat mahdollisia. Jätepadoilla padotun aineen määrä ja laatu ovat sellaisia, että onnettomuustilanteessa korkeintaan purkuvesistöön aiheutuu tilapäinen vaikutus ja pohjavesien pilaantumisvaaraa ei ole. (1, s. 19.)

### **3.2.4 Luokittelematon pato**

3-luokan padon ja luokittelemattoman padon rajakorkeutena voidaan pitää ohjeellista kolmen metrin rajaa. Vaikka pato olisikin alle kolme metriä, mutta siitä

aiheutuu ainakin vähäistä vaaraa, päättää luokittelusta patoturvallisuusviranomaisen. Myös yli kolme metriä korkea pato voidaan jättää patoturvallisuusviranomaisen päätöksellä luokittelematta, jos padosta ei aiheudu vaaraa. Vesistöpadot voidaan jättää luokittelematta, jos sijainti on syrjäinen ja padottu vesimäärä niin vähäinen, että mahdollisesta sortumasta aiheutuva tulva-aalto ei aiheuta vaaraa edes alapuolisille rakennuksille tai viljelyksille. Vaaraksi ei lueta, jos vesi nousee lasku-uomassa hetkellisesti luonnontulvan korkeudelle, mutta pysyy kuitenkin uomassaan. Jätepato voidaan jättää luokittelematta, jos sortumatapauksessa ei aiheudu mitään vaaraa terveydelle tai ympäristölle. Jätepadossa olevan aineen on oltava inertti, eli se ei saa reagoida kemiallisesti muiden aineiden kanssa. (1, s. 19-20.)

## 4 MITTAUS- JA TUTKIMUSMENETELMÄT

Olemassa olevan padon kunnan arvioimiseksi on tehtävä perusteelliset pohjatutkimukset. Tutkittavia asioita ovat padon pohjan kantavuus ja painuminen, maakerrosten vedenläpäisevyys kantavaan ja tiiviiseen pohjakerrokseen saakka sekä kalliopinnan sijainti, laatu ja rikkonaisuus. Vanhoja patoja tutkittaessa on hyvä käyttää myös vanhoja tutkimus- ja tarkkailutuloksia. Vanhoista tuloksista olisi syytä tutustua ainakin aikaisempiin pohjatutkimustuloksiin, padon rakennustöiden aikaisiin valvontaraportteihin ja padon käytön aikaisiin tarkkailumittausten tuloksiin ja havaintoihin. (8, s. 4.)

### 4.1 Padon kunnan valvonta ja valvontamittaukset

#### 4.1.1 Valvonta

Yksi maapatojen suurimmista ongelmien aiheuttajista on hallitsematon läpivirtaus, joka aiheuttaa padon sisäistä eroosiota. Läpivirtaus voi tapahtua myös padon alitse pohjamaassa tai esimerkiksi padon läpi kulkevaa rakennetta pitkin. Läpivirtauksen kasvaessa liian suureksi alkaa maa-ainesta kulkeutua virran mukana pois patorakenteesta ja syntyy niin sanottu vuotokanava eli eroosiosuoni (kuva 4). Vuotokanavan syntyyn vaikuttavat suotautuvan veden nopeuden lisäksi patorakenteissa käytetyt maalajit. (2, s. 110; 10, s. 12.)



*KUVA 4. Vuotokanava patorakenteessa tai pohjamaassa (10, s. 11)*

Vuotokanava lähtee syntymään padon kuivan luiskan puolelta ja etenee padon rakenteen läpi kohti patoallasta. Sisäistä eroosiota ei voi yleensä havaita suoraan padon luiskista, vaan se todetaan suotoveden lisääntyneestä määrästä tai sameudesta. Muita merkkejä sisäisestä eroosiosta ovat patoon tai sen läheisyy-

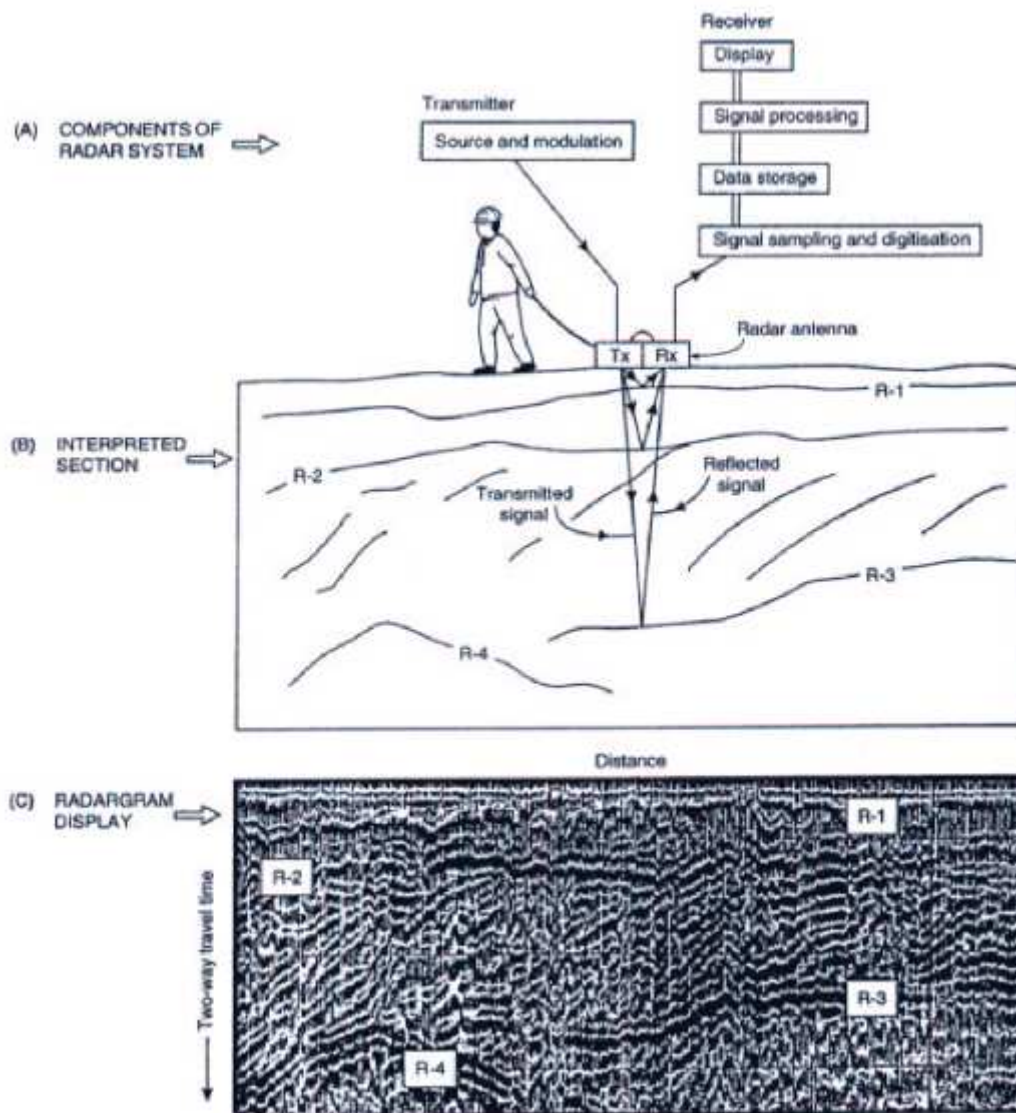
teen syntyneet kuopat ja vajoamat sekä erittäin pahaksi kehittyneessä tapauksessa pyörre patoaltaassa. (10, s. 12.)

Padon lävitse suotautuvan veden määrää valvotaan yleisesti Thompsonin mittapadolla, joka on sijoitettu padon suotovesien keräysjärjestelmään. Mittaus voidaan automatisoida mittapatoon asennettavalla pinnankorkeusmittarilla, joka kerää tiedot ja laskee sekä päivittää virtaamakäyrää. Mittaustiedolle voidaan määrittää hälytysrajat, joiden ylittyessä tai alittuessa järjestelmä antaa varoituksen. Samassa yhteydessä voidaan mitata myös veden sameutta valon läpäisevyyteen perustuvilla antureilla. (11, s. 3.)

#### **4.1.2 Maatutkaus**

Maatutkausmenetelmällä selvitetään maapadon sisäistä kuntoa ja etsitään mahdollisia vuotokohtia vahingoittamatta patorakennetta. Laite lähettää korkeataajuuksisen sähkömagneettisen pulssin patorakenteeseen ja mittaa pulssin takaisin heijastumiseen kuluvan ajan (kuva 5). Pulssi heijastuu takaisin padon sisällä olevista maakerrosten rajapinnoista. Heijastumiseen ja pulssisignaalin vaimenemiseen vaikuttavat väliaineen dielektrisyys ja sähkönjohtokyky. Menetelmänä maatutkaus on nopea suorittaa ja se antaa yksityiskohtaista tietoa luotauspisteiden kohdalta, joka on tärkeää etenkin vuotokohtien paikallistamisessa. (12; 13, s. 10.)

Kuvassa 5 on esitetty myös maatutkaluotauksen tuloksena syntyvä graafinen tulos, jota on osattava tulkita oikein. Kuvista pyritään yleensä poimimaan kerrosrajojen pintoja, erottelemaan kerrokset toisistaan ja tutkimaan niiden syvyysvaihteluja sekä etsimään poikkeamia. Kuvassa 5 kerrosrajat on merkitty tunnuksilla R-1, R-2, R-3 ja R-4. Poikkeamien etsiminen on maapatojen tutkimisen kannalta kaikkein oleellisinta, koska katkokset rajapinnoissa viittaavat mahdollisiin vuotokohtiin. (12; 13, s. 11.)



KUVA 5. Maatutkan toimintaperiaate ja graafinen tulos (13, s. 10)

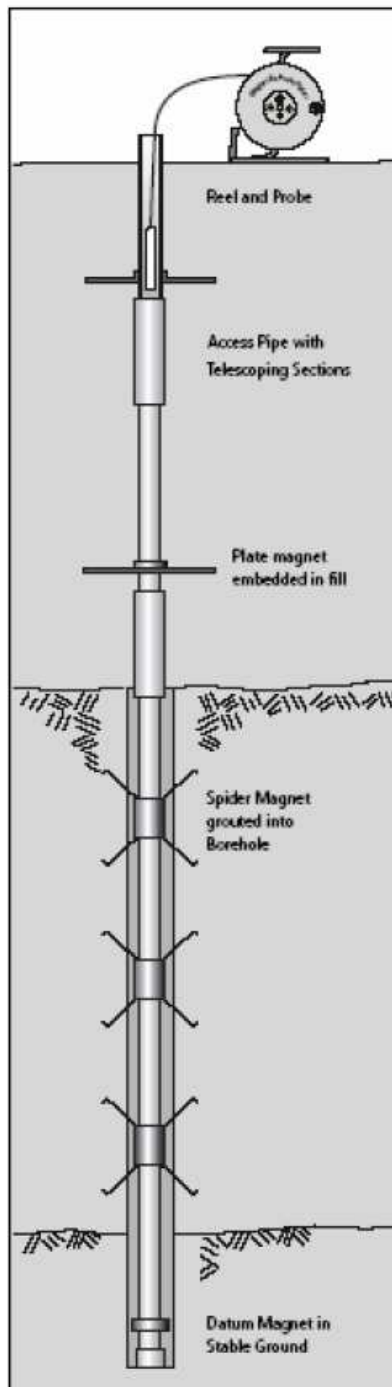
#### 4.1.3 Muodonmuutosmittaukset

Maapatoihin asennetaan rakennusvaiheessa tarkkailulaitteita, joilla voidaan seurata padon muodonmuutoksia, kuten painumista ja vaakasiirtymiä sekä maanpainetta. Tarkkailulaitteet sijoitetaan padon toiminnan kannalta kriittisiin kohtiin. (12; 15, s. 2.)

Painumaa mitataan yleisesti ekstensometrillä (kuva 6). Kovaan pohjamaahan tai kallioon asennetaan ankkurit, joilla varmistetaan mittaputken pysyminen paikallaan. Tarkkailtavaan rakenteeseen asennetaan mittausputken ympärille metallilevyt, joiden pystysuuntaista liikkumista seurataan. Mittausputken varressa

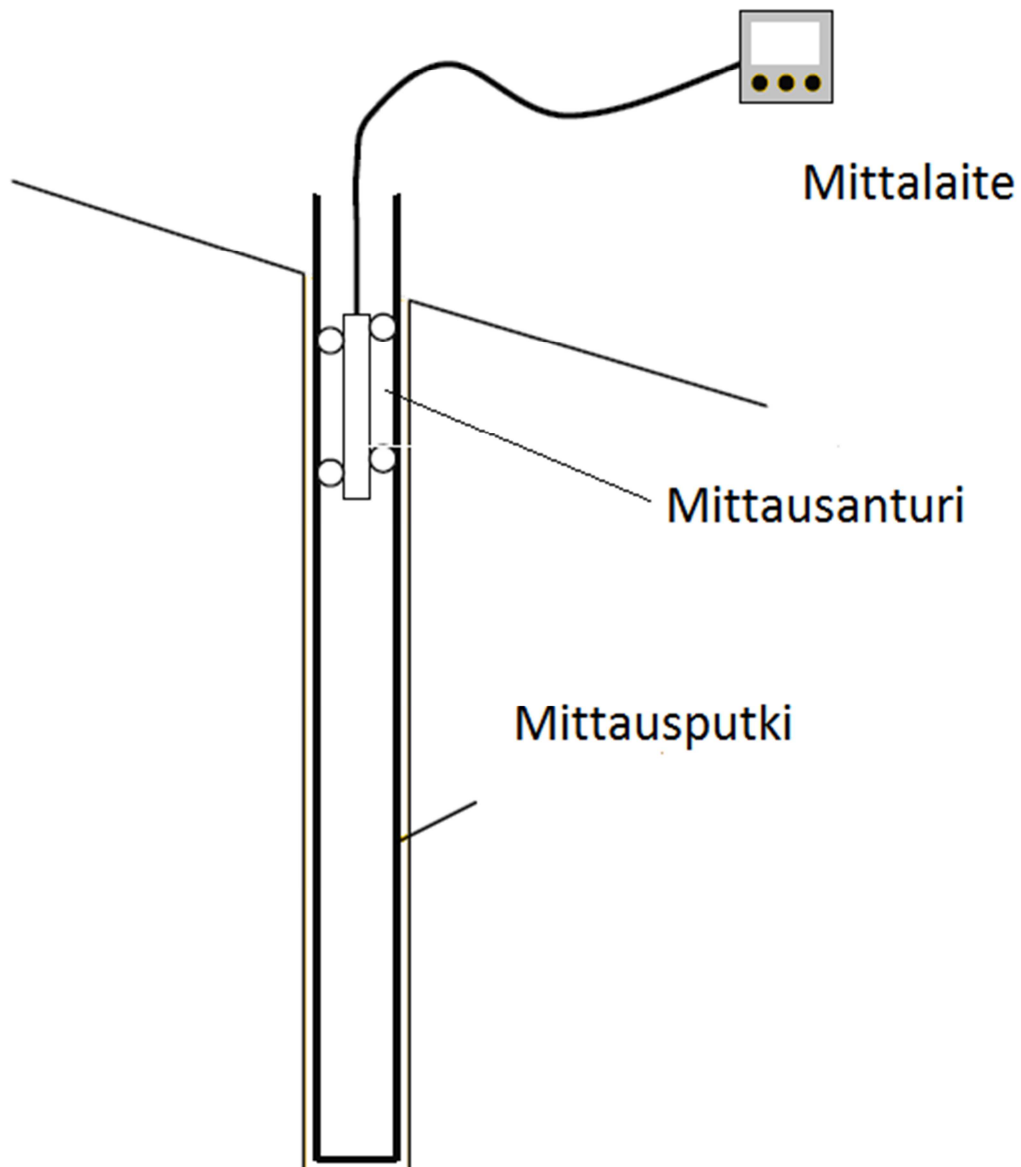


on teleskooppiosia, jotta painuma pääsee tapahtumaan vahingoittamatta sitä. Mitta-antureina toimivien metallilevyjen korkeutta ja etäisyyttä toisiinsa mitataan magneettisella mittarilla. Korkeuksia verrataan rakenteen ulkopuoliseen tunnettuun korkeuteen, jolloin havaitaan, jos painumia on syntynyt. (15, s. 26.)



KUVA 6. Ekstensometrin toimintaperiaate ja osat (15, s. 26)

Vaakasiirtymiä seurataan inklinometrillä (kuva 7), jossa mitattavaan rakenteeseen asennetaan suora mittausputki. Vaakasiirtymää mitataan eri syvyyksissä laskemalla putken mitta-anturi, joka mittaa putken suoruutta. Jos putki on taipunut jollain syvyydellä, on rakenteessa tapahtunut vaakasiirtymää. (15, s. 28.)



KUVA 7. Inklinometrin osat (15, s. 28)

#### 4.1.4 Valokaapelit

Uutena padon tarkkailun välineenä on alettu käyttää valokaapeleita. Valokaapeli voidaan asentaa padon sisään rakennusvaiheessa (kuva 8) tai se voidaan upottaa rakenteeseen jälkikäteen kaivamalla. Valokaapelilla saadaan tietoa padon sisäisestä lämpötilasta ja muodonmuutoksista. Lämpötilan mittaaminen on tehokas tapa padon sisäisen vuodon havaitsemiseen, koska vuotokohdan lämpötila poikkeaa selvästi ympäröivästä lämpötilasta. (12.)

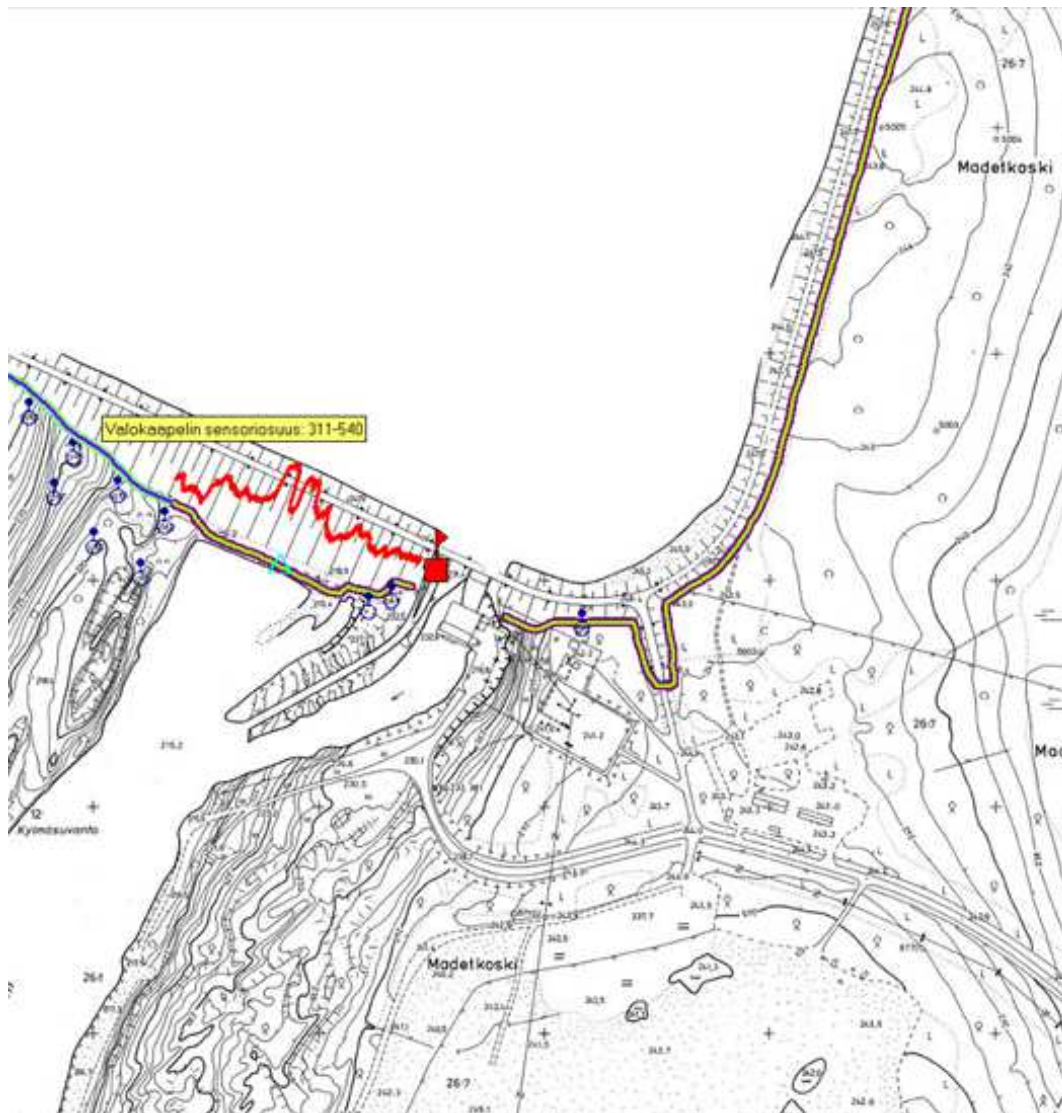


*KUVA 8. Valokaapelin asentamista Porttipahdan maapatoon (19, s. 10)*

Valokaapeli on osoittautunut tehokkaaksi menetelmäksi, koska saatava lämpötila- ja siirtymätieto saadaan reaaliaikaisena ja jatkuvana. Muilla menetelmillä, esimerkiksi lämpötilan mittaus, on voitu toteuttaa ainoastaan pistemäisesti padon tietyissä kohdissa. Valokaapelilla mittaustietoa saadaan koko padon matkalta. (19, s. 1-16.)

Kuvassa 9 on esitetty esimerkkitapaus valokaapelilla havaitusta maapadon vuodosta. Kohde on Porttipahdan pato, jonka omistaa Kemijoki Oy. Padon osa oli tunnetusti vuotoherkkä ja sitä päätettiin tutkia asentamalla padon sisään valokaapeli. Kyseessä oli sekä padon vuotokohdan tutkimus että valokaapelimenetelmän testaus. Asennuksen jälkeen ryhdyttiin seuraamaan valokaapelin an-

tamaa lämpötiladataa ja havaittiin, että padossa on kaksi suotokeskittymää. Läpi virtaavan veden määrä todettiin kuitenkin niin pieneksi, että korjaustoimenpiteisiin ei katsottu olevan tarvetta. Kohde asetettiin tarkkailuohjelmaan erityis-tarkkailukohteeksi, jonka kehittymistä seurataan tarkasti. (12; 19, s. 11-16.)

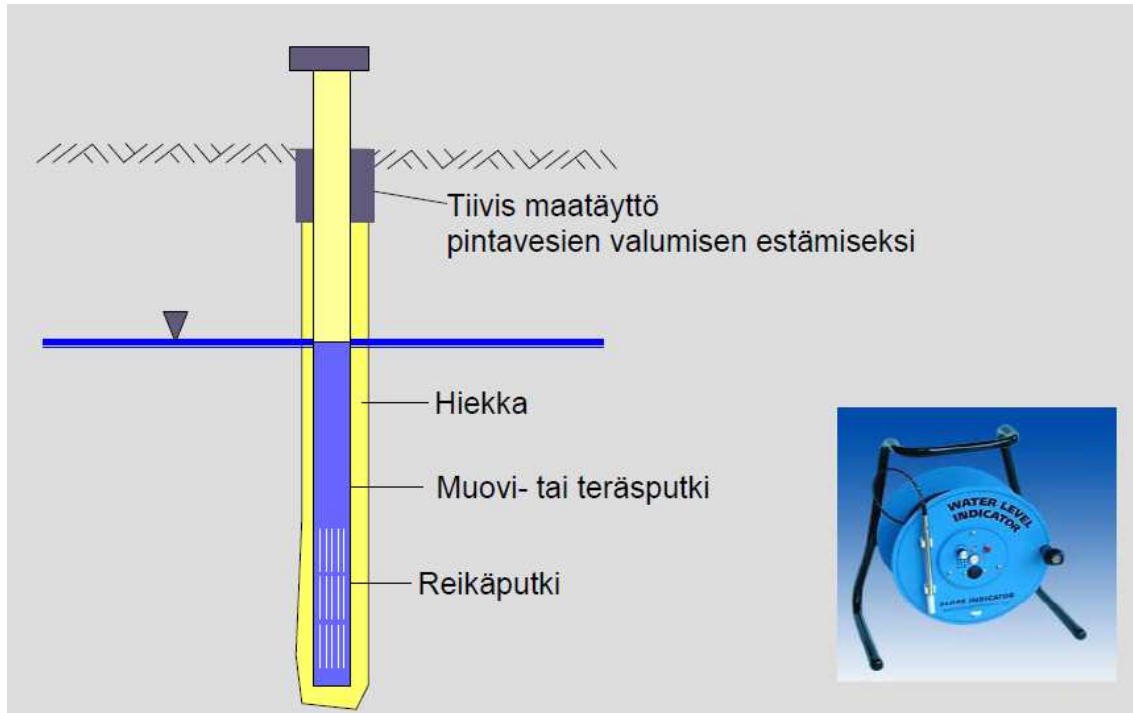


KUVA 9. Valokaapelilla mitattu maapadon sisäinen lämpötila (19, s. 11)

#### 4.1.5 Pohjavesiputket ja pietsometrit

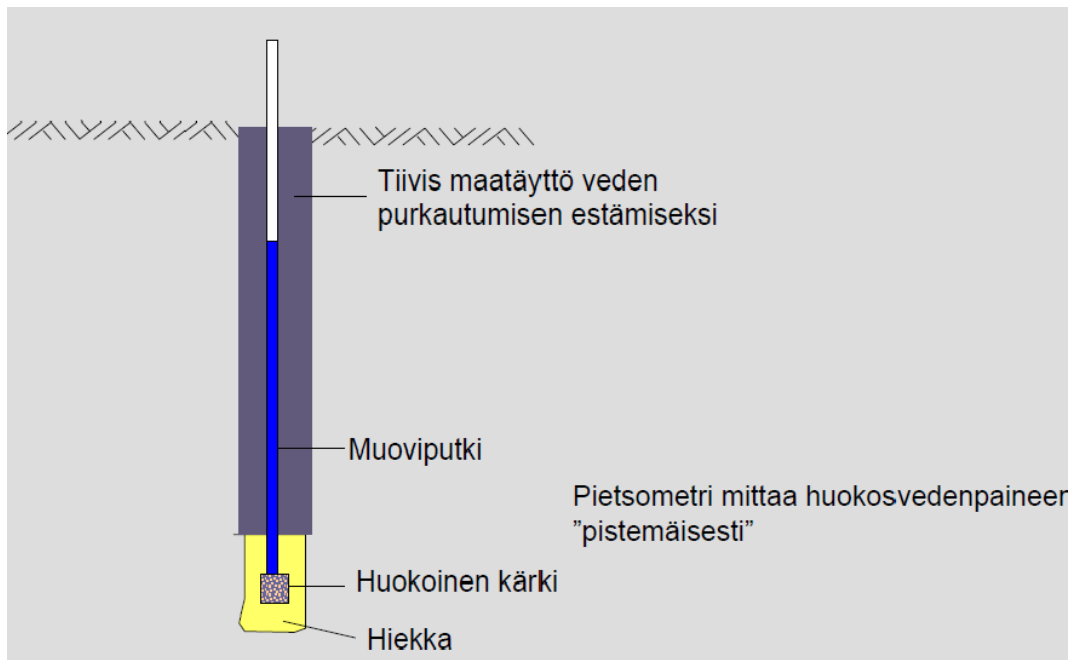
Pohjavesiputkilla (kuva 10) tarkkaillaan pohjaveden hydraulista korkeutta patorakenteessa. Pohjavesiputket asennetaan kairaamalla patoon reikä ja upottamalla siihen pohjavesiputki, jossa on reikiä tai siiviläosa alapäässä. Siiviläosasta vesi pääsee virtaamaan putkeen ja sen pinta voidaan mitata laskemalla putken yläpäästä elektroninen ilmaisinsäde putken sisään. Ilmaisinsäde antaa äänimerkin,

kun sen kärki koskettaa veden pintaa. Tämän jälkeen ilmaisimen varresta lue-  
taan mitta, joka kertoo pohjavedenpinnan etäisyyden pohjavesiputken yläpääs-  
tä. Asennettaessa pohjavesiputkia on maanpinnalla putken ympärille tehtävä  
tiivis maatayttö, jotta pintavedet eivät pääse reikään. (15, s. 8.; 16, s. 68.)

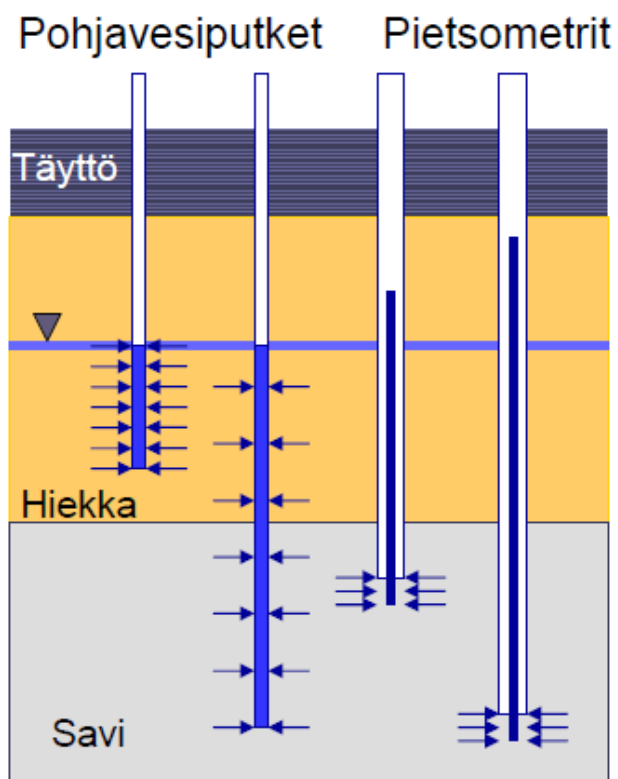


KUVA 10. Pohjavesiputken toimintaperiaate (15, s. 8)

Pietsometreillä mitataan huokosvedenpainetta padon rakenteissa, joka on olen-  
nainen tieto arvioitaessa maapadon stabiliteettiä. Yksinkertaisin pietsometri on  
avoin putkietsometri (kuva 11), joka muistuttaa hyvin paljon pohjavesiputkea.  
Pietsometri kuitenkin mittaa huokosvedenpainetta pistemäisesti, kun taas poh-  
javesiputki mittaa pohjavesipinnan hydraulisen korkeuden. Pistemäiseen mitta-  
ustulokseen päästään, kun kärki on pienikokoinen ja huokoinen. Tällöin huokoi-  
seen kärkeen vaikuttaa vain asennussyvyyden pohjaveden huokosvedenpaine.  
Hydraulisen korkeuden ja huokosveden painekorkeuden eroa on selvitetty ku-  
vassa 12.



KUVA 11. Avoimen putkietsometrin rakenne (15, s. 9)



KUVA 12. Pohjavesiputkien ja pietsometrien eron havainnollistaminen (15, s. 5)

## 4.2 Kairaukset

Kairauksissa tutkittavaan maaperään tungetaan kairatankojen tai –putkien avulla kärkikappaletta. Maa-ainesten laadusta, tiivyydestä, lujuudesta ja kantavuudesta tehdään johtopäätöksiä kärkikappaleeseen kohdistuvien kairausvastusten perusteella. Kairausmenetelmiä on useita, mutta ne voidaan jakaa kahteen ryhmään: dynaamisiin ja staattisiin kairausmenetelmiin. Dynaamisissa menetelmissä kairaa isketään tai täräytetään maahan ja staattisissa menetelmissä kairaa painetaan maahan joko painojen tai hydraulisen puristimen avulla. (14, s. 250.)

### 4.2.1 Heijarikairaus

Heijarikairaus on dynaaminen kairausmenetelmä, jossa kairaustangot tunkeutuvat maahan heijaripuntin lyöminä. Kairausvastusta mitataan tarvittavien lyöntien määränä syvyyksikköä kohti. Syvyyksikkönä on 20 cm, joten heijarikairauspöytäkirjan yksikkönä on lyöntiä/0,2 m (l/0,2m). Tarvittu lyöntimäärä kirjataan ylös jokaiselta 20 cm:n matkalta ja lyömistä jatketaan niin kauan, että pidemmän aikaa tarvitaan enemmän kuin yksi lyönti 1 mm:n etenemistä kohti. Toisin sanoen tarvitaan siis yli 200 lyöntiä 20 cm:n etenemistä kohti. Heijaripuntti painaa 63,5 kg ja sitä pudotetaan 32-millisen kairatangon päässä olevaan lyöntialustaan  $0,50 \pm 0,03$  metrin korkeudelta. (14, s. 254.)

Maapatojen tutkimiseen käytetään yleisesti myös niin kutsuttua superheijarikairausta. Superheijarikaira poikkeaa tavallisesta heijarikairasta suuremmilla tangoillaan, jotka ovat halkaisijaltaan 90/71 mm, ja heijaripuntillaan, joka painaa 150 kg. Toiminnaltaan superheijarikairaus ei poikkea heijarikairauksesta eli superheijarikairaus on heijarikairausta järeämmällä kalustolla. (12; 14, s. 258.)

Maapatoja tutkittaessa maanäytteiden tutkimisella saadaan merkittävästi arvokasta lisätietoa. Heijarikairaputken alapäässä sijaitsee niin sanottu maakenkä, jonka aukosta maa-aines pääsee tunkeutumaan putken sisällä olevan näytteenottoputken sisään. Näyteputken alapäässä on liuskasulkija, joka avautuu vain toiseen suuntaan ja estää näytteen tippumisen näyteputkesta nostamisen aikana. Putkikairan kärki voidaan sulkea maahanlyönnin ajaksi putkien läpi me-

nevällä tankoihin liittyvällä umpikärjellä. Tällä tavoin maanäyte saadaan otettua halutusta syvyydestä. (12; 14, s. 258-269.)

Heijari- ja superheijarikairauksia käytetään lähinnä kitkamaissa ja moreeneissa. Menetelmällä saadaan tietoa kitkamaalajien ja moreenien tiivyydestä, joten menetelmä on erittäin hyödyllinen maapatoja tutkittaessa. (12; 17, s. 6-7.)

#### **4.2.2 CPTU-kairaus**

CPTU-kairaus tarkoittaa puristinkairausta, jossa kärkikappaleeseen on asennettu dynaamisen huokosvedenpaineen mittausta varten huokospaineanturi. Menetelmää käytetään myös ilman huokospaineanturia, silloin kyseessä on CPT-kairaus. (17, s. 7-9.)

Menetelmässä kairatankojen päässä olevaa kärkikappaletta painetaan maahan vakionopeudella 20 mm/s. Kärkikappale mittaa sähköisesti siihen kohdistuvan kärki- ja vaippavastuksen. Kärkeen liitetty huokospaineanturi mittaa huokosvedenpaineen suuruutta. Kärkeen on mahdollista asentaa myös muita mittareita, kuten lämpötila-antureita. (17, s. 7-9.)

CPTU-kairauksilla saadaan selville maakerrosten rajat ja kerrospaksuudet. Lisäksi tulosten perusteella voidaan tehdä arvioita maalajeista, maan lujuus- ja muodonmuutosparametreista sekä vedenläpäisevyysominaisuuksista. (17, s. 7-9.)

Menetelmällä saadaan paljon arvokasta tietoa maapadon sisäisistä ominaisuuksista, mutta usein ongelmaksi muodostuu tiukka moreenirakenne. Menetelmä ei kykene tunkeutumaan tiiviiseen patorakenteeseen. Ratkaisuna on käytetty yhdistettyä puristin-heijarikairausta. Menetelmässä kairauksen alku suoritetaan CPT-menetelmällä. CPT-menetelmää jatketaan kunnes maksimipuristusvoima on saavutettu, jonka jälkeen siirrytään heijarikairaukseen. (17, s. 7-9.)

#### **4.2.3 Soveltumattomat menetelmät**

Porakonekairauksella pyritään selvittämään kalliopinnan tarkka sijainti ja kallion laatu. Porakonekairaus suoritetaan keskiraskaalla tai raskaalla monitoimikairalla ilma- tai vesi huuhtelua käyttäen. Maapatoja tutkittaessa on kuitenkin huomattu,

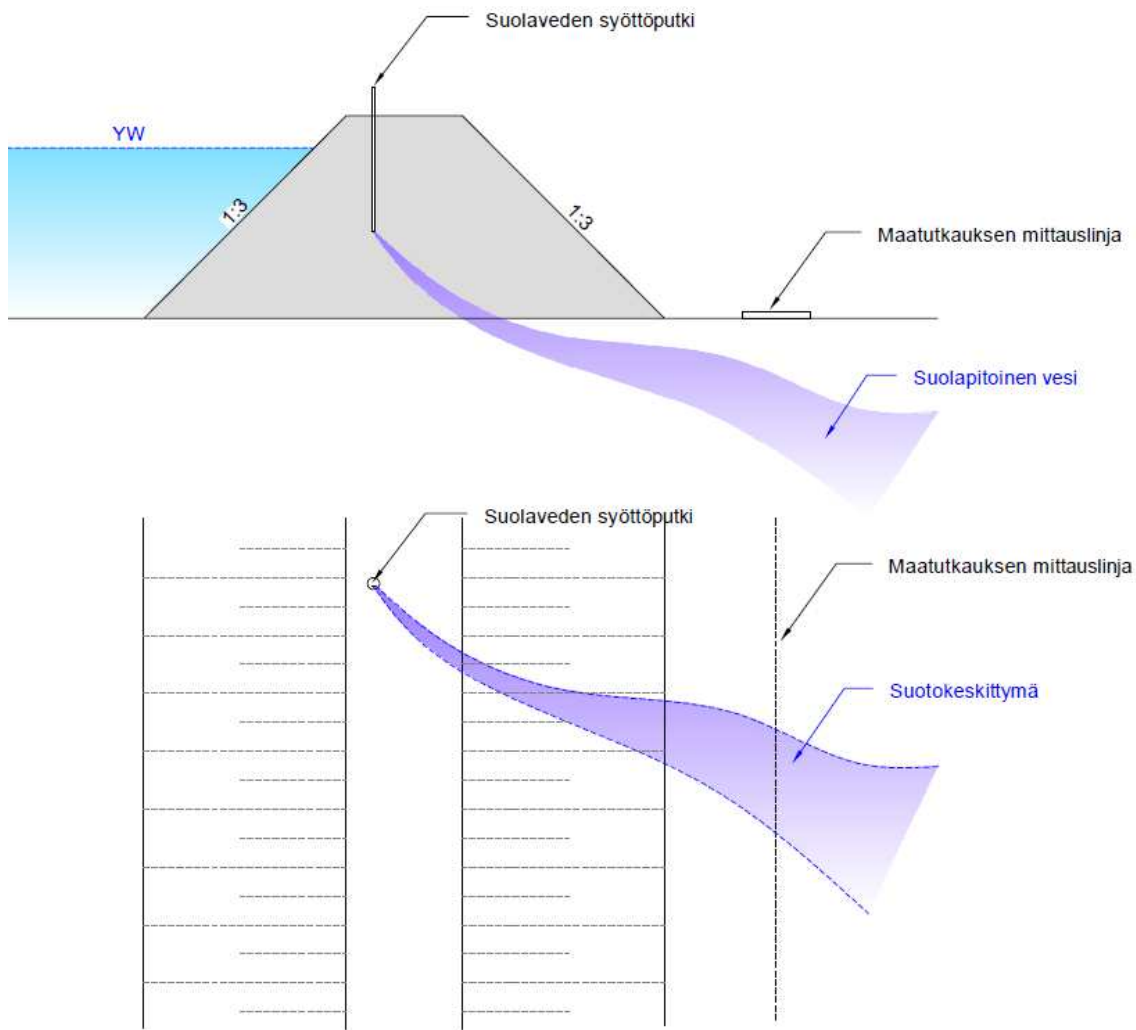


että huuhtelun käyttö vahingoittaa patorakenteita liian voimakkaasti ja tästä syystä porakonekairauksia ei voida juurikaan maapatojen tutkimisessa hyödyntää. (12; 14, s. 259-260; 17, s. 12-13.)

Painokairausmenetelmällä selvitetään maakerrosten rajat ja kerrospaksuudet painamalla ja pyörittämällä kärkikappaletta. Menetelmä on yleisin suomessa käytetty kairausmenetelmä, mutta se soveltuu parhaiten hienorakeisiin maaleihin. Painokaira ei tunkeudu tiiviiseen moreeniin, joten se ei sovellu myöskään maapatojen tutkimismenetelmäksi. ( 12, 17, s. 5-6; 14, s. 251.)

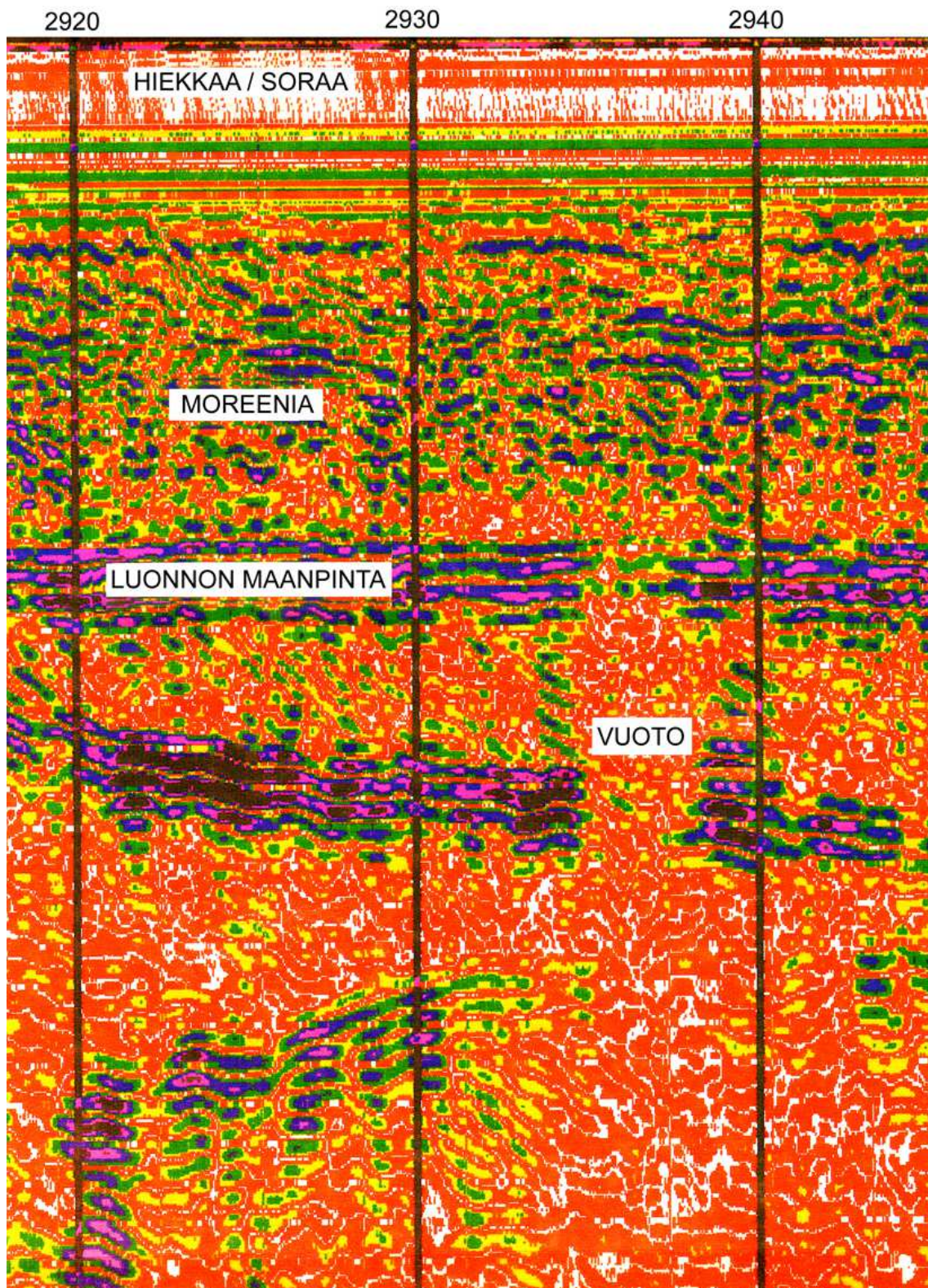
### **4.3 Suolavesianalyysi**

Suolavesianalyysi on menetelmä, jota käytetään sisäisen eroosion aiheuttamien vuotokanavien etsimiseen ja niiden tarkkaan paikallistamiseen. Menetelmässä maapadon märän luiskan puolelta syötetään suotoveden mukaan suolavettä pohjavesiputken kautta. Padon kuivan luiskan puolella seurataan mihin suolavesi virtaa eli mitä reittiä vuotokanava padon sisällä kulkee. Vuotokanavat eivät yleensä kulje suoraan padon lävitse vaan voivat tehdä suuriakin mutkia. Suolavettä havainnoidaan padon kuivan luiskan puolella joko maatutkalla (kuva 13) tai pohjavesiputkista. (12; 13, s. 11.)



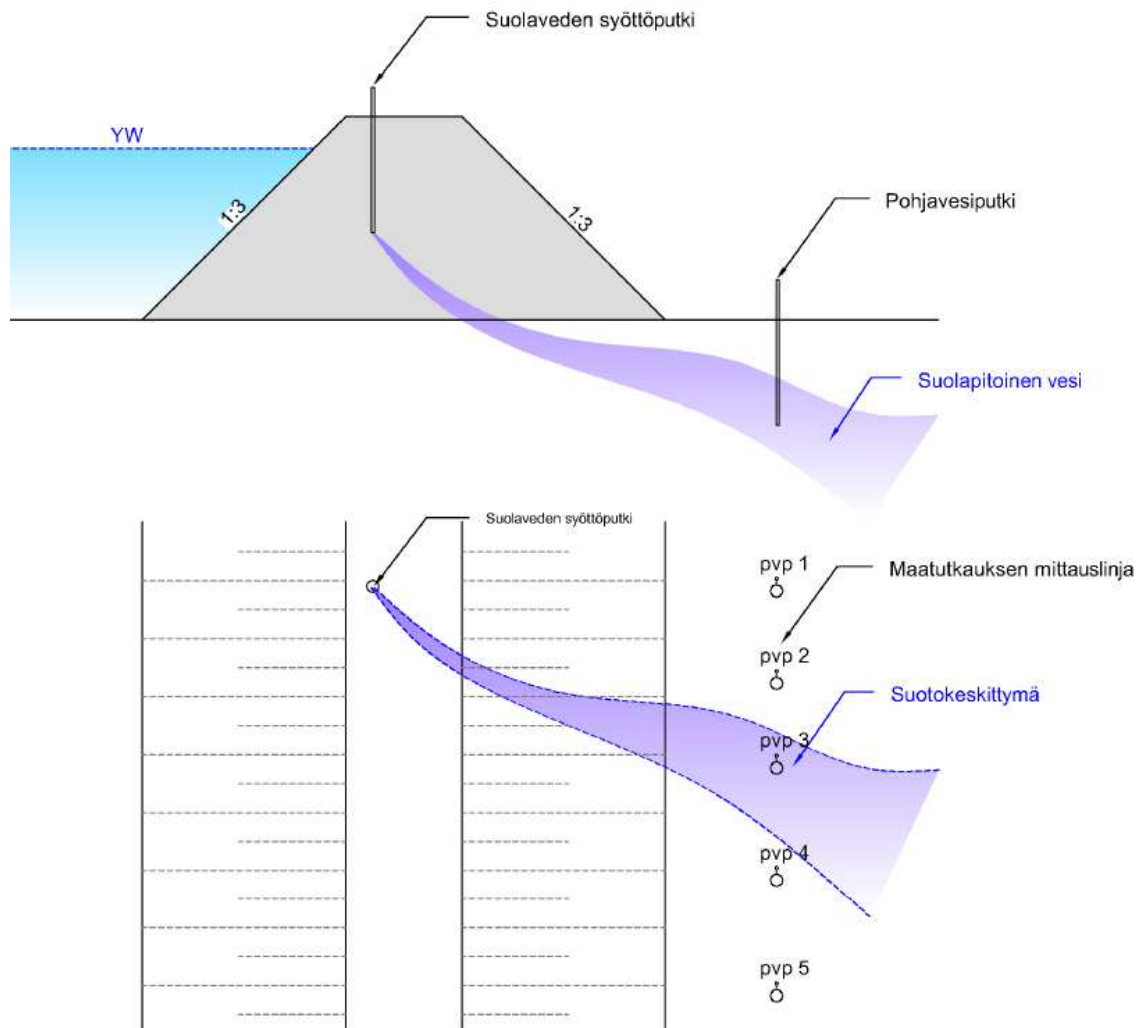
KUVA 13. Suolavedensyöttö ja havainnointi maatutkalla (22)

Maatutkaa käytettäessä padon taustaa tutkataan padon suuntaisesti. Suotokeskittymä havaitaan tutkakuvassa häiriönä (kuva 14). Häiriö aiheutuu suolan ominaisuudesta, joka estää signaalin palautumisen tutkalaitteelle. Suotokeskittymä näkyy siis maatutkakuvassa aukkona. (12.)



*KUVA 14. Suolavesianalyysin yhteydessä tehty maatulkaus, jossa vuotokohta havaitaan aukkona (22)*

Kun suolavettä havaitaan pohjavesiputkista (kuva 15), mitataan putken kautta veden sähkönjohtavuutta. Veden sähkönjohtavuus kohoaa suolapitoisuuden kasvaessa, joten suotokeskittymä pystytään paikallistamaan siihen kohtaan, jossa pohjavesiputkessa olevan veden sähkönjohtavuus kohoaa korkeimmalle. Kuvan 15 tapauksessa pohjavesiputki 3:n sähkönjohtavuus kohoaisi muita korkeammalle. (12.)



KUVA 15. Suolavedensyöttö ja suotokeskittymän paikallistaminen pohjavesiputkesta (22)

## 5 UUDET TUTKIMUSMENETELMÄT

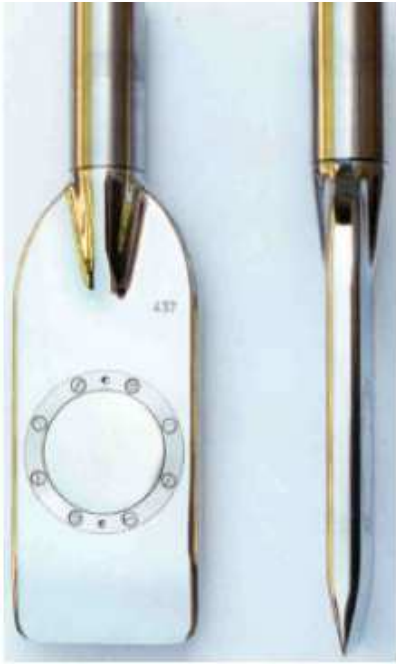
Perinteisten tutkimusmenetelmien lisäksi on ulkomailla käytössä uudempia menetelmiä, jotka ovat rantautumassa myös Suomeen. Tässä luvussa tutkitaan menetelmien toimintaperiaatteita ja pohditaan niiden soveltuvuutta suomalaisiin maapatorakenteisiin. Lisäksi selvitetään saadaanko uusista menetelmistä mitään lisäarvoa tai voidaanko uusilla menetelmillä korvata vanhoja käytössä olevia menetelmiä.

### 5.1 Dilatometri

Dilatometri on 1980-luvulla Italiassa kehitetty menetelmä, joka on levinnyt useisiin maihin Pohjois-Amerikassa ja Euroopassa. Suomessa dilatometrejä ei tietävästi ole vielä juurikaan käytetty eikä niiden soveltuvuutta tutkittu. (18, s. 1.)

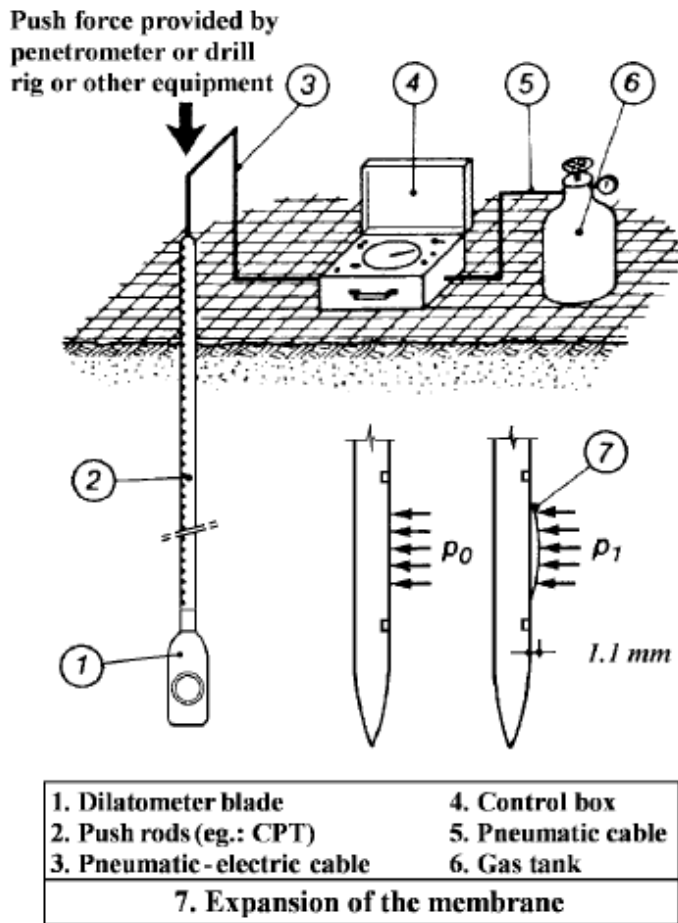
#### 5.1.1 Osat ja toimintaperiaate

Dilatometrin mittaavana osana on kairaustankojen alapäähän kiinnitetty lapa (kuva 16), jonka keskellä on painetta mittaava pyöreä kalvo. Kalvon päällä on suojaava metallinen levy. Suojalevy on erittäin hyödyllinen, koska se suojaa herkkää mittakalvoa. Suojalevyn ansiosta lapa pystytään painamaan ohuiden tiukkojen maakerrosten läpi ilman kalvon rikkoontumista. Kivillä on kuitenkin taipumus rikkoa suojalevy ja sen alla sijaitseva mittakalvo, joten menetelmä ei sovellu soramaihin tai tiiviiseen moreeniin. Lavan alaosa on muotoiltu teräväksi, jotta lapa tunkeutuisi maaperään mahdollisimman tehokkaasti. (18, s. 3-4.)



*KUVA 16. Dilatometrin lapa (18, s. 2)*

Muita dilatometrin osia on esitetty kuvassa 17. Kuten kuvasta nähdään, dilatometrin lapa kiinnitetään kairaustankojen päähän. Kairaustankojen avulla lapa painetaan haluttuun syvyyteen. Yleensä mittaukset tehdään 20 cm:n välein aloittaen pinnasta. Tankojen sisällä kulkee letku, jota pitkin kaasu syötetään mittalapaan. Lisäksi välineistöön kuuluvat ohjausyksikkö ja kaasupullo. (18, s. 2-3.)



KUVA 17. Dilatometrin toimintaperiaate ja osat (18, s. 3)

Kuvassa 17 on esitetty dilatometrin toimintaperiaate. Dilatometrin lapaan syötetään ohjausyksikön kautta paineellista kaasua. Ensimmäinen arvo eli  $p_0$  mitataan, kun kalvo alkaa laajentua. Tätä arvoa kutsutaan Lift off -arvoksi. Toinen arvo  $p_1$  mitataan, kun kalvo on laajentunut 1,1 mm:n ulospäin. Mittaustuloksista pystytään laskemaan maaperälle mitoitusparametrejä, jotka kuvaavat jäykkyyttä, lujuutta ja kuormitushistoriaa. (18, s. 2-5.)

### 5.1.2 Dilatometrin käyttö maapatojen tutkimisessa

Dilatometri soveltuu savi, siltti ja hiekkamaiden tutkimiseen ja sitä käytetään yleensä perustusten mitoitukseen tarvittavien maaparametrien määrittämiseen. Menetelmää ei voida tehokkaasti hyödyntää 1-luokan maapatojen tutkimisessa, koska niiden rakenne on liian tiivistä kyseiselle menetelmälle. (18, s. 2-5.)

## **5.2 Sonic-kairausmenetelmä**

### **5.2.1 Osat ja toimintaperiaate**

Menetelmä koostuu kahdesta sisäkkäisestä putkesta, joilla kummallakin on oma porapäätänsä. Poraamisen teho perustuu kairausyksikön tuottamaan värähtelyyn, joka johdetaan kairausputkiin ja porapäihin. Lisäksi käytössä on perinteisten menetelmien tapaan kairausputkien painaminen ja pyörittäminen. Vaadittava pyöritysnopeus on hitaampi kuin perinteisillä menetelmillä. Värähtely tapahtuu jopa 150 Hz:n taajuudella parantaen kairausputkien läpäisykykyä huomattavasti. Taajuutta voidaan säädellä maan tiiviiden mukaan. (20, s. 6-12; 21 s. 22-24.)

Sonic-kairauksessa maahan ajetaan ensin sisäputki, jonka jälkeen sen päälle ajetaan ulkoputki. Ulkoputki suojaa sisäputkea, joka nostetaan takaisin maanpinnalle. Ylösnostetusta putkesta voidaan ottaa jatkuva maanäyte. Sisäputki lasketaan takaisin ulkoputken sisään ja porausta voidaan jatkaa syvemmälle. Kun haluttu syvyys on saavutettu sisäputkella, porataan jälleen ulkoputki samaan syvyyteen suojaamaan sisäputkea, minkä jälkeen näyte on jälleen valmis nostettavaksi. (20, s. 6-12; 21 s. 22-24.)

Menetelmällä saadaan jatkuva näyte koko poratulta matkalta ja näyte on lähes häiriintymättömässä tilassa. Ulkoputki estää näytteen sekoittumisen reiässä. Värähtelyn tuoman parantuneen läpäisykyvyn vuoksi huuhtelua ei juurikaan tarvita. Tämä takaa näytteen pysymisen putkessa muuttumattomana. Menetelmä kykenee läpäisemään tiukkoja moreenikerroksia, kiviä ja jopa pieniä lohkaraita ilman huuhtelua. Kallioporauksessa ja suurempien lohkaraiden läpäisyssä huuhtelua kuitenkin tarvitaan. Menetelmää ei ole suunniteltu varsinaisesti kalliosydännäytteen ottoon, vaikka pienissä määrin sekin onnistuu. (20, 6-12.; 21, s. 22-24.)

### **5.2.2 Sonic-menettelyn käyttö maapatojen tutkimisessa**

Maapatojen tutkimisessa patorakenteiden suojaaminen vahingoilta on ensisijaisen tärkeää. Perinteinen porakonekairaus ei ole soveltunut patorakenteiden tutkimiseen, koska sen käyttämä huuhtelu on tuottanut ongelmia. Toisaalta vesistömaapatojen tiukka moreenirakenne on vaikeuttanut maanäytteiden ottoa.



Sonic-kairausmenetelmä mahdollistaa jatkuvan näytteenoton tiivistäkin moreenista ja tarvittaessa patorakenne pystytään läpäisemään huomattavasti vähäisemmällä vahingoilla, jolloin sitä pystytään käyttämään myös muita kairausmuotoja tukevana ja avustavana menetelmänä. Esimerkiksi maapadon alla sijaitsevan kallioperän tutkiminen voitaisiin suorittaa siten, että ensin maapato lävistetään Sonic-kairausmenetelmällä, jota suojaputkena käyttäen suoritettaisiin kallionäyteporaus timanttikairalla. (12; 20, s. 6-12.)

## 6 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli koota tiivis ja kattava paketti padon omistajaa sitovista ja ohjaavista säädöksistä ja velvoitteista sekä kasata yhteen käytössä olevat mittaus- ja tutkimusmenetelmät kuvauksineen. Tarkoituksena oli myös etsiä ja analysoida uusia menetelmiä, joita ei aiemmin ole Suomessa maapatojen tutkimiseen käytetty.

Padon omistajaa sitovat velvoitteet ja säädökset onnistuttiin kokoamaan siten, että omistajan rooli selventyi osana järjestelmää. Turvallisuusasioissa padon omistaja toimii läheisessä yhteistyössä patoturvallisuusviranomaisen ja pelastusviranomaisten kanssa, mutta padon omistaja on kuitenkin aina vastuullinen oman patonsa huolehtimisesta.

Käytössä olevat mittaus- ja tutkimusmenetelmät käsiteltiin varsin laajasti. Erityisesti nousi esiin padon jatkuvan tarkkailun tarve ja hyödyllisyys. Nykyään ongelmat pyritään havaitsemaan jo alkuvaiheessa, jolloin niiden korjaaminen tai etenemisen katkaiseminen on helpointa. Menneinä vuosikymmeninä jatkuvaa tarkkailua suoritettiin lähinnä kiertämällä patoja ja tekemällä havaintoja maastossa. Nykyään suurena apuna ovat tässä työssä esiin nostetut elektroniset mittarit, joiden avulla padon kunnosta saadaan jatkuvasti tietoa. Uusimpana innovaationa ovat valokaapelit, joiden avulla voidaan todella helposti saada arvokasta tietoa padon sisäisestä kunnosta.

Uusia tutkimusmenetelmiä nostettiin esiin kaksi, dilatometrimittaus ja Sonic-kairaus. Dilatometrimittaus todettiin hyödyttömäksi 1-luokan maapatojen tutkimisessa, koska menetelmä on kehitetty löyhemmille ja pienirakeisimmille maa-lajeille. Sonic-kairausmenetelmä osoittautui lupaavaksi maapatojen tutkimusmenetelmäksi. Menetelmän suurimpana etuna vanhoihin menetelmiin verrattuna on huuhtelun tarpeen puuttuminen. Porakonekairauksissa ongelmia on aiheuttanut juuri suuri huuhtelun tarve, joka on aiheuttanut liian suuria vahinkoja maapatojen rakenteisiin. Lisäksi menetelmällä saadaan kattavia näytteitä vaikeistakin maaolosuhteista.

## LÄHTEET

1. Isomäki, Eija – Maijala, Timo – Sulkakoski, Mikko – Torkkel, Milla (Toim.) 2012. Patoturvallisuusopas. Hämeen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus.
2. RIL 123. 1979. Vesirakenteiden suunnittelu. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL. Helsinki: Gummerus.
3. A 319/2010. Valtioneuvoston asetus patoturvallisuudesta. Helsinki. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2010/20100319>. Hakupäivä 25.3.2015.
4. Pyyny, Jussi 2005. Yleinen varautuminen padon häiriö- ja ongelmatilanteisiin padon omistajan kannalta. Patoturvallisuuden täydennyskoulutusohjelma 2004-2005. Helsinki. Maa- ja metsätalousministeriö.
5. Leiviskä, Pekka 2005. Turvallisuussuunnitelma, padon omistajan osuus. Patoturvallisuuden täydennyskoulutusohjelma 2004-2005. Helsinki. Maa- ja metsätalousministeriö.
6. L 29.4.2011/379. Pelastuslaki. Helsinki. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110379>. Hakupäivä 31.3.2015.
7. L 26.6.2009/494. Patoturvallisuuslaki. Helsinki. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2009/20090494#L5>. Hakupäivä 31.3.2015.
8. Slunga, Eero 2004. Patojen rakentaminen ja tekniset ratkaisut erilaisilla pohjilla. Patoturvallisuuden täydennyskoulutusohjelma 2004-2005. Helsinki. Maa- ja metsätalousministeriö.
9. Leskelä, Antti 2005. Maapatojen suunnittelu. Patoturvallisuuden täydennyskoulutusohjelma 2004-2005. Helsinki. Maa- ja metsätalousministeriö.
10. Kirves, Risto 2010. Häiriötilanteet Suomen padoilla. Hämeenlinna. Hämeen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus.

11. Kylmänen, Ilkka 2005. Patoturvallisuustarkkailun automatisointi ja monitorointi. Patoturvallisuuden täydennyskoulutusohjelma 2004-2005. Helsinki. Maa- ja metsätalousministeriö.
12. Talvensaari, Marko 2015. Yksikön päällikkö, Infrakat Oy. Haastattelu 14.4.2015.
13. Pirttijärvi, Markku 2005. Geofysikaaliset menetelmät maapatojen tutkimisessa. Patoturvallisuuden täydennyskoulutusohjelma 2004-2005. Helsinki. Maa- ja metsätalousministeriö.
14. Rantamäki, M. – Jääskeläinen, R. – Tammirinne, M. 1979. Geotekniikka. 15. painos. Helsinki: Otatieto Oy.
15. Kujala, Kauko 2005. Maapatojen tarkkailut ja mittaukset. Patoturvallisuuden täydennyskoulutusohjelma 2004-2005. Helsinki. Maa- ja metsätalousministeriö.
16. Kallio, Vesa 2012. T530204 Pohjarakennuksen perusteet 4 op. Luentomateriaali syksyllä 2012. Oulun ammattikorkeakoulu, Tekniikan yksikkö.
17. Vepsäläinen, Pauli 2004. Geotekniikka. Patoturvallisuuden täydennyskoulutusohjelma 2004-2005. Helsinki. Maa- ja metsätalousministeriö.
18. Marchetti, S. – Monaco, P. – Totani, G. – Calabrese, M. 2001. The Flat Dilatometer Test (DMT) in Soil Investigations. Indonesia.
19. Kylmänen, Ilkka 2005. DEVELOPMENT PROJECT, Dam safety Register. InfraKAT Oy:n sisäisiä julkaisuja. Rovaniemi.
20. Lucon, Peter 2013. Resonance: The Science behind the art of sonic drilling. Bozeman: Montana State University.
21. Geofoorumi 2014. Geologian tutkimuskeskuksen sidosryhmälehti nro 1/2014. S. 22-24. Saatavissa: [http://www.gtk.fi/export/sites/fi/ajankohtaista/painotuotteet/geofoorumi/arkisto/Geofoorumi\\_1\\_2014.pdf](http://www.gtk.fi/export/sites/fi/ajankohtaista/painotuotteet/geofoorumi/arkisto/Geofoorumi_1_2014.pdf). Hakupäivä 29.4.2015.

22. Periaatekuvia 2015. InfraKat Oy. Rovaniemi.

