

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU  
Rakennustekniikan koulutusohjelma  
Yhdyskuntatekniikka

## TUTKINTOTYÖ

Esko Lehtimäki

### **VEDENJAKELUVERKOSTOSSA KÄYTETTÄVÄT TARVIKKEET JA MATERIAALIT JA NIIDEN SOVELTUVUUS SANEERAUS- JA UUDISRAKENNUSTÖIHIN TAMPEREEN VEDESSÄ**

Työn ohjaaja Tekniikan lisensiaatti Reijo Rasmus  
Työn teettäjä Tampereen Vesi  
Valvojana Diplomi-insinööri Heidi Rauhamäki  
Tampere 2007

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU  
Rakennustekniikan koulutusohjelma

Lehtimäki Esko	Vedenjakeluverkostossa käytettävät tarvikkeet ja materiaalit ja niiden soveltuvuus saneeraus- ja uudisrakennustyössä Tampereen Vedessä
Työnohjaaja	Tutkintotyö 41 sivua + 5 liitettä (7 sivua liitteitä) TkL Reijo Rasmus Työn teettäjä Tampereen Vesi, valvojana DI Heidi Rauhamäki
Joulukuu 2007	
Hakusanat	Vesihuolto, korroosio kunnossapito

## TIIVISTELMÄ

Tutkintotyössä arvioidaan vesijohtojen rakentamismateriaalien sopivuutta, pitkäaikaiskestoa ja selvitetään, mitkä seikat vaikuttavat materiaalien valintaan.

Tampereen Veden vesi- ja jätevesiverkon pituus on yhteensä noin 1900 kilometriä, ja verkoston piiriin kuuluu noin 200 000 asukasta vuonna 2006. Verkoston rakentamiseen ja korjauksiin käytettiin vuonna 2005 noin 4,3 miljoonaa euroa

Selvityksen tavoitteena on saada aikaan toteuttamiskelpoinen esitys siitä, mitkä tekijät antavat kokonaistaloudellisesti parhaan mahdollisen tuloksen, sekä miten ja millä materiaaleilla Tampereen Vesi tulevaisuudessa rakentaa ja saneeraa vesijohtoja. Materiaalin ja laitteiden hankinnassa käytettiin teknisten ominaisuuksien vertailuun pisteytystä, jonka avulla saadaan rajattua huonoja ominaisuuksia pois. Hinta ei yksin vaikuta, vaan kokonaistaloudellisuus.

Materiaalien kesto ja huoltovapaus on osaltaan vaikuttamassa verkoston hankintapäätöksiä tehtäessä.

Lehtimäki Esko	Accessories and materials of water distribution network and their applicability in renovation and construction work in Tampere Water
Final Thesis	41 pages, 5 appendices (7 appendix pages)
Supervising Teacher	Mr. Reijo Rasmus, Lich. Tech
Commissioner	Tampere Vesi
Supervisor	M.Sc. Heidi Rauhamäki
May 2007	
Key words	Water supply, corrosive, maintenance

## **ABSTRACT**

The purpose of the research is to estimate the suitability and durability of the water pipe materials and additionally to show which factors that have an effect on the choices made. The length of the Tampere Water waste and water systems is altogether approximately 1900 kilometers, and in 2006 about 200 000 residents were attached to that system. In 2005 approximately 4.3 million euros were used on constructing and repairing the system. The purpose of the study is to produce a valid program, the factors of which give the best result what comes to the total economy. The study shows furthermore how and with what materials Tampereen Vesi builds and maintains water pipes. When materials and equipment were chosen a system of comparison was used which made it possible to exclude bad qualities. The price is not the only priority, rather economy as a whole. The durability and maintenance of different materials effect the decisions concerning the water and waste water systems.

## **ALKUSANAT**

Tutkintotyön teetti Tampereen Vesi. Esitän kiitokset Tampereen Veden toimitusjohtajalle Reijo Kuivamäelle mielenkiintoisesta tutkintotyön aiheesta.

Tampereen Veden puolesta työtäni ohjasi suunnittelupäällikkö DI Heidi Rauhamäki, jota haluan kiittää saamastani ajasta ja neuvoista.

Kiitän myös Tampereen Veden henkilökuntaa ja lähimpiä työtovereitani, jotka omalta osaltaan kannustivat tutkintotyön tekemiseen.

Työn ohjaajana toimi Tampereen ammattikorkeakoulun puolesta, TkL Reijo Rasmus jolle myös esitän kiitokset.

Aivan erityisesti kiitän myös vaimoani Tuija Parviaista ja lapsiani Vilma ja Valtteri Lehtimäkeä siitä tuesta ja ymmärryksestä, mitä tämän opiskelun ja työn loppuunsaattamiseksi heiltä olen saanut.

Tampereella 21.1.2008

Esko Lehtimäki

## **TIIVISTELMÄ**

## **ABSTRACT**

## **ALKUSANAT**

## **SISÄLLYSLUETTELO**

## **SANASTO**

### **1 JOHDANTO**

- 1.1 Yleistä
- 1.2 Työn tavoite

### **2 TAMPEREEN ALUEEN MAAPERÄN ERITYISPIIRTEET**

- 2.1 Yleistä maaperästä
- 2.2 Savikot
- 2.3 Vanhat teollisuusalueet
- 2.4 Maaperän sähkönjohtavuus

### **3 VERKOSTORAKENTAMISEN NYKYISET MATERIAALIT KORROOSION KESTON KANNALTA**

- 3.1 Vesijohdot
- 3.2 Putkimateriaalin valintaan vaikuttavat asiat
- 3.3 Maaperäolosuhteet
- 3.4 Vesijohdon ja vesijohdon laitteiden materiaalien valinta

### **4 ESIMERKKEJÄ VERKOSTON VAURIOKOHDISTA**

- 4.1 Kartta ja valokuvat kohteesta
- 4.2 Kohteiden pohjaolosuhteet

### **5 VAURIOIDEN TUTKIMINEN JA KUSTANNUSVAIKUTUKSET**

- 5.1 Syöpyminen
- 5.2 Yhteenveto

### **6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA PARANTAMISEHDOTUKSET**

- 6.1 Yhteenveto
- 6.2 Parannusehdotukset

## **LÄHDELUETTELO**

## **LIITTEET**

## SANASTOA

Best Available Techniques = Paras käytettävissä oleva tekniikka

” Mahdollisimman tehokkaita ja kehittyneitä, teknisesti ja taloudellisesti toteuttamiskelpoisia tuotanto- ja puhdistusmenetelmiä ja toiminnan suunnittelu-, rakentamis-, ylläpito- sekä käyttötapoja”, joilla voidaan ehkäistä toiminnan aiheuttama ympäristön pilaantuminen tai tehokkaimmin vähentää sitä.

### Redox-potentiaali

Eri aineilla on luontainen kyky joko luovuttaa tai vastaanottaa elektroneja. Jokainen kemiallinen reaktio, jossa tapahtuu elektronien joko täydellistä tai osittaista siirtymistä aineelta toiselta, on hapettumis-pelkistymisreaktio. Se aineista, joka luovuttaa elektroneja hapettuu, ja se joka ottaa ne vastaan pelkistyy. Hapettuvaa ainetta kutsutaan pelkistimeksi ja pelkistyvää ainetta hapettimeksi.

### Metallin korroosio

Korroosiolla tarkoitetaan aineen vahingoittumista joko kemiallisten tai sähkökemiallisten muutosten seurauksena. Rautaesineiden korroosiota tarkasteltaessa puhutaan yleisesti ruostumisesta. Metallien rajapinnalla syntyy kontaktikorroosiota, jossa epäjalompi metalli syöpyy, esimerkiksi kun rautaa (Fe) suojataan sinkillä (Zn), on rautaa epäjalompi sinkki ”uhrimetallina”. Vesi toimii elektrolyytinä ja siten muodostuu sähkökemiallinen pari.

Metalliparikorroosio (galvaaninen korroosio) on mahdollista, kun jalousasteeltaan erilaiset metallit ovat kosketuksissa keskenään. Tällöin epäjalommasta metallista muodostuu anodi, jalommasta katodi ja epäjalomman metallin korroosio kiihtyy. Korroosionnopeuteen vaikuttavat metallien suhteelliset pinta-alat, elektrolyyttien koostumus ja lämpötila. Ruostumattomien terästen eri lajien välillä ei ole tavallisesti vaaraa galvaanisesta korroosiosta.

### Pallografiittivalurauta eli sg-valurauta

Pallografiittivaluraudassa grafiittierkaumien kasvua kontrolloidaan n. 0,04 % Mg seostuksella, jolloin grafiittikiteet muodostuvat pallomaisiksi. Pallografiittivalurautaa valmistetaan ympäremällä sulaa rautaa ennen valua vähäisellä määrällä magnesiumia tai ceriumia. Pallomaisina sulkeumina grafiitti ei heikennä valuraudan rakennetta läheskään niin paljon kuin suomina, joten tällainen valurauta on lähes teräksen mekaanisten ominaisuuksien vertaista.

### No-Dig

Kaivamaton tekniikka tarkoittaa menetelmiä, joissa yleensä kaivantoa tekemättä rakennetaan tai mahdollisimman vähän kaivaen uusitaan maanalaisia putkia tai kaapeleita. Menetelmiä ovat esimerkiksi poraus työntäen putki/kaapeli maan alle,

uuden putken sujutus vanhan sisään, uuden aiempaa suuremman putken vetäminen vanhan tilalle, sekä putkien sisäpuoliset vuoraukset ja putkien sisäpuoliset korjaukset. Tarkempia tietoja menetelmistä löytyy esimerkiksi No-Dig-julkaisut kohdan kirjallisuudesta. No-Dig-menetelmä sopii hyvin mm. pilaantuneiden, ns. Pima-maissa sijaitsevien vesijohtojen uusimiseen.

#### Pima- maat

Pima-maat on pilaantuneiden maa- alueiden yleinen nimitys. Pilaantunut maaperä on maaperä, jossa ihmistoiminnasta ympäristöön joutuneet haitalliset aineet voivat vaarantaa tai haitata ihmisen terveyttä tai ympäristöä, vähentää viihtyisyyttä tai muuten loukata yksityistä tai yleistä etua. Pima-asetuksella (valtioneuvoston asetus 214/2007) määritellään maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arviointia.

#### Haponkestävä teräs

CrNiMo-teräkset eli haponkestävät teräkset ovat seostettuja, tavallisesti haponkestävissä kauppateräksissä on molybdeenia 2 % tai 2,5 %. Hyvin korroosionkestävissä erikoisteräksissä sitä voi olla 3-6 %, molybdeeni parantaa pistesyöpymiskestävyyttä kloridipitoisissa liuoksissa.

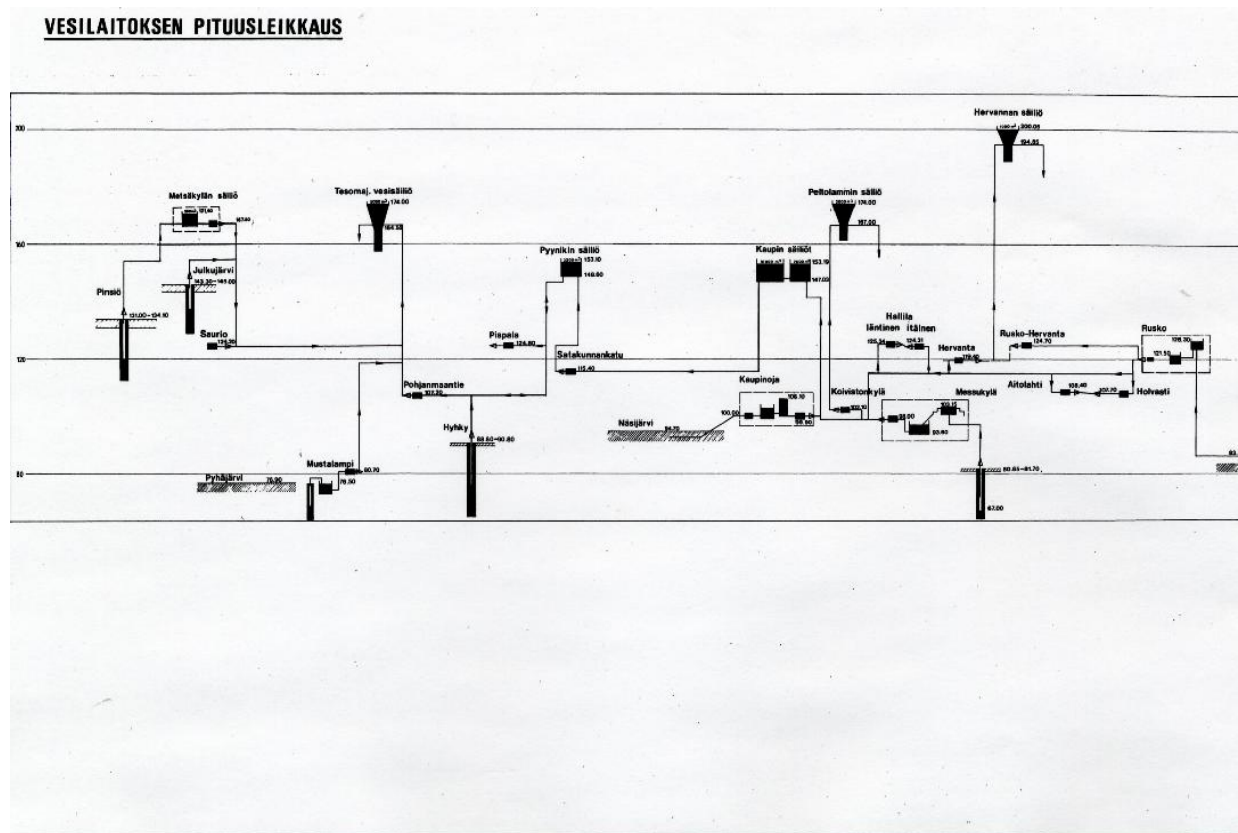
## 1 JOHDANTO

### 1.1 Yleistä Tampereen Vedestä

Tampereen vesilaitoksen vesijohtoverkoston pituus on noin 670 kilometriä. Vesi siirretään käsittelylaitoksilta kulutusalueille päävesijohdoilla. Katujen alla sijaitsevat jakelujohdot jakavat veden edelleen liittyjille. Tampereella on noin 16 500 kiinteistöä liittänyt jakelujohdoin vesimittariin päättyvällä tonttijohdolla. Tonttijohdojen kunnossapitovastuu kuuluu pääosin kiinteistölle.

Tampereella on kuusi vesitornia, joiden yhteenlaskettu tilavuus on 23 000 m<sup>3</sup>. Ylävesisäiliöiden avulla pidetään yllä tasaisia painetasoja. Niihin on varastoitu vettä myös mahdollisia käyttöhäiriöitä varten. Tampereella on suuria korkeuseroja, joten verkostossa on useita eri painepiirejä. Kantakaupunkialueella johtoverkko jakaantuu kahdeksan painepiiriin, joista keskusta-alueen ja Tesoman painepiirit ovat suurimpia.

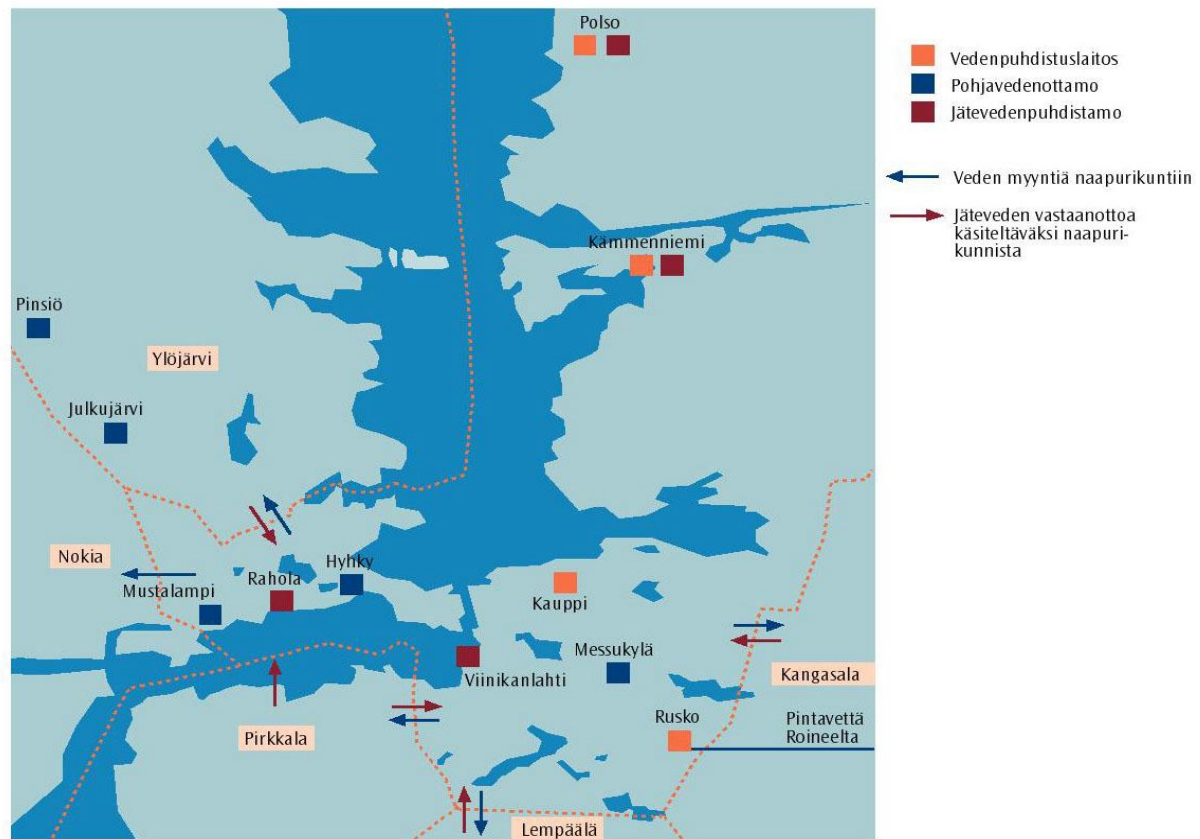
Keskustan painepiiriin pumpaavat Ruskon ja tarvittaessa Kaupinojan vedenpuhdistuslaitos sekä Messukylän pohjavedenottamo. Keskustan painepiiristä pumpataan vettä Peltolammin, Hervannan, Hallilan ja Aitolahti-Holvastin painepiireihin sekä tarvittaessa lisävettä Pyynikin ja Tesoman painepiireihin. Pyynikin painepiiristä pumpataan vettä myös Pispalan painepiiriin. Lisäksi Kämmenniemen ja Polson alueilla on omat verkostonsa.



Kuva 1 Vesilaitoksen pituusleikkauskaavio







Kuva 3 Tampereen Veden toiminta lähikunnittain /2/

Yleisesti vesijohtot ja viemärit mitoitetaan kestäväksi 50 vuodeksi. Tutkimukseni käsittelee vesihuollossa käytettäviä materiaaleja ja niiden soveltuvuutta. Yleisesti kaiken mitä maahan asennetaan, pitäisi kestää laskennallisesti ainakin 20 vuotta, /2/ tällöin rakenne on maksanut itsensä takaisin. Jotta tähän päästäisiin, on valintojen osuttava kohdalleen. Mikä tänään tuntuisi hyvältä, ei aina ole kymmenen vuoden kuluttua edes kelpoista. Hinta on vaikuttava kriteeri, kun valitaan materiaaleja. Vesilaitokset ovat vasta aloittamassa teknisten ominaisuuksien vertailun, jossa saatu laatuasteutus myös ratkaisee osittain valinnan. Kuntien omat hankintasäännökset eivät ainakaan ole tukemassa parhaan mahdollisen tekniikan hankintaa valintavaiheessa, koska hankintalain henki on osittain ymmärretty väärin. Nyt hankintalakiin on saatu oma erityisaloja koskeva osuus. Tämä antaa vesilaitoksille paremmat mahdollisuudet valita parasta mahdollista tekniikkaa vesihuollon rakentamiseksi. Uuden erityisaloja koskevan lainsäädännön valmistuminen ja vesilaitosten erityisasema vesihuollon rakentamisessa antaa nyt mahdollisuuden tehdä kestäviä ja oikein harkittuja ratkaisuja materiaaleja valittaessa.

## 1.2 Tavoite

Työn tavoite on selvittää vesijohtoverkoston metallisten osien korroosioilmiöitä, korroosionopeutta, ja maaperän vaikutusta korroosioon. Samalla selvitetään Tampereen alueen maaperän erityispiirteitä korroosion kannalta, tutkimalla niitä alueita, joilla

syöpyminen on ollut vuotojen syy. Lisäksi tarkoitukseni on selvittää kokonaiskustannuksien ja materiaalivalintojen yhteyttä ja tehdä esityksiä kestävien materiaalien valitsemiseksi. Osaltaan pyrin tässä tutkintotyössä selvittämään niitä eri vaihtoehtoja, joiden avulla päästäisiin tavoitteeseen. Kokonaistavoitteena on saada aikaan ohjeet, joita noudattamalla kaikki maahan asennettava saadaan kestämään 100 vuoden käyttö.

## 2 TAMPEREEN ALUEEN MAAPERÄN ERITYISPIIRTEET

### 2.1 Yleisestä maaperästä

Maaperällä tarkoitetaan kallioperää peittävien irtonaisten maalajien kerrosta. Maalajit jaetaan kallioperän rapautumistuotteina syntyneisiin kivennäismaalajeihin ja eloperäisiin maalajeihin, jotka puolestaan ovat syntyneet eliöiden jäänteistä. Kivennäismaalajit luokitellaan edelleen kahteen ryhmään, lajittumattomiin ja lajittuneisiin maalajeihin. Erityyppiset moreenit, kuten sora-, hiekka ja hiesumoreenit ovat lajittumattomia maalajeja. Lajittuneisiin maalajeihin kuuluvat karkeusjärjestyksessä puolestaan sora, hiekka, hieta, hiesu ja savi.

Eloperäisiin maalajeihin luetaan muun muassa turve ja lieju. Suomen maaperä on syntynyt viimeisen jääkauden aikana tai sen jälkeen. Jään sulettua Suomen korkeimmat kohdat jäivät suoraan kuivalle maalle. Näiden niin kutsuttujen huuhtoutumattomien alueiden maaperä poikkeaa huuhtoutuneiden alueiden eli veden alle jääneiden maiden maaperästä.

Tampereen seutu jäi lähes kokonaan veden alle, jolloin maaperän ainekset lajittuivat selkeämmin kuin huuhtoutumattomilla alueilla. Vesi on lajitellut maa-ainekset korkeussuhteiden mukaisesti. Alavimmille alueille kerääntyi hienojakoisimpia maalajeja. Tampereen yleisin maalaji on moreeni, joka keskimääräisesti on noin 5 metriä paksua. Hienojakoisia maalajeja kuten savea ja hiesua esiintyy Tampereen seudulla runsaasti, kun taas eloperäisiä maalajeja kuten liejua, mutaa ja turvetta alueella on suhteellisen vähän. /4/

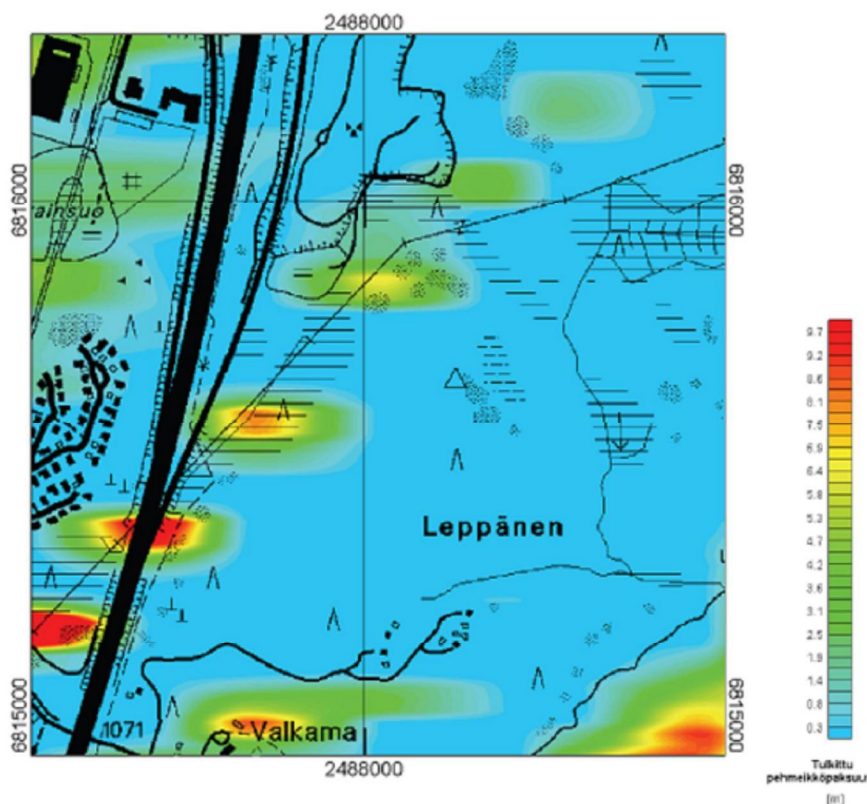
#### Pehmeikköjen paksuustulkinnat

Maaperän kerrosten ominaisuuksien selvittämiseen soveltuvat lentogeofysiikan radiometriset ja sähkömagneettiset mittaukset. Radiometriset mittaukset heijastavat maa- ja kallioperän kuivan, useimmiten alle yhden metrin paksuisen pintakerroksen ominaisuuksia. Maaperäkartoitusaineistoon pohjautuvaa maaperätietoa on täydennetty tutkittavalta alueelta tehdyillä pehmeiden maalajien eli pehmeikköjen paksuustulkinnalla, joka perustuu GTK:n geofysikaaliseen lentomittausaineistoon. Sähkömagneettisilla lentomittauksilla saadaan tietoa maa- ja kallioperän sähkönjohtavuudesta useiden kymmenien metrien syvyyteen. /8/

Geofysikaalisten menetelmien perusteella tehdyt pehmeikköjen paksuustulkinnat ovat viitteellisiä. Pehmeikköjen paksuustulkinta perustuu maalajien ja maakerrosten alla olevan kallioperän sähkönjohtavuusvaihteluihin. Käytetyssä tulkintamallissa savikon alla oleva kallioperä oletetaan resistiiviseksi eli huonosti sähköä johtavaksi. Lahdesjärvi-Lakalaiva osayleiskaava-alueelta käytettävissä olivat yhdellä taajuudella

tehty lentogeofysikaaliset mittaukset vuodelta 1985. Tulkinta voidaan tehdä käyttäen yhdellä taajuudella tehtyjä mittauksia, mutta tarkkuus paranee, jos käytettävissä on useammalla taajuudella suoritettuja mittauksia. /8/

Pehmeikköjen paksuustulkinta perustuu tutkimusalueella tehtyihin sähkömagneettisiin lentomittauksiin. Alueelle sijoittuu osia kuudesta etelä-pohjois-suuntaisesta mittaustinjasta, joiden keskimääräinen etäisyys on noin 200 metriä ja yksittäisten havaintopisteiden väli linjoilla on 10 – 15 metriä. Tulkinnassa on käytetty kolmikerrosmallia, jossa alimpana on resistiivinen kallioperä, sen päällä huonosti johtavaa moreenia ja päällimmäisenä johtava pehmeikkökerros. Tulkinnan onnistumisen edellytyksenä on, että johtavan kerroksen sähkönjohtokyky tunnetaan riittävällä tarkkuudella. Tutkittavalla alueella ei ollut mahdollista tehdä johtokykyluotauksia, vaan tulkinta tehtiin käyttäen johtokykyarviona muualta Etelä-Suomesta tehtyjen luotausten arvoja. Maaperäkartoituksen ja muutamien kairausten perusteella alueen pehmeiköt ovat pienialaisia ja sisältävät usein savisia silttejä ja turvekerroksia. Muualla tehtyjen luotausten mukaan tällaisten maakerrosten keskimääräinen sähkönjohtokyky vaihtelee välillä 5 - 10 mS/m. Tulkinnassa käytettiin pehmeikköjen keskimääräisenä johtokykyarvona arvoa 7 mS/m. Tarkempien johtavuushavaintojen puuttuessa tulkinta kuvastaa parhaiten johtavan pintamaan paksuusvaihtelua eikä niinkään anna tarkkoja paksuusarvioita yksittäisissä kohteissa. Tutkimusalueella tulkintoja vaikeuttivat mittausalueen ns. kulttuurihäiriöt, kuten sähkölinjat ja suuret metalliset rakennelmat etenkin alueen länsiosissa.



Kuva 4 Pehmeikköjen paksuustulkintakartta tutkimusalueelta /4/

Tampereella suoritetusta ilmakuvauksesta saadaan selville pehmeikköjen paksuus.

Pehmeikköjen paksuustulkintakartta tutkimusalueelta. Paksuimmat lentogeofysiikan mittaustulosten perusteella tulkitut pehmeikköpaksuudet on esitetty punaisella värillä (kuva 7).

Tampereen Lakalaivasta tehdystä rakennettavuusselvityksestä käy hyvin selville samankaltaisia tuloksia kuin Seinäjoen ilmakuvauksista. Tällainen tekniikka auttaa suunnittelijoita toivon mukaan jatkossa hyödyntämään jo valmista aineistoa. /4, 8/

## 2.2 Savikot

Tampereella on hyvin käytettävissä maaperän tietoja, mutta juurikaan ei ole tutkittu sitä, kuinka maaperä vaikuttaa vesijohtoputkien syöpymiseen. Tampereen Vesi teetti valitsemistani kohteista tarkempia korroosiotutkimuksia maaperänäytteiden avulla. Tampereen mahdollisia sulfidisavialueita ovat Litorinan meren vaiheen aikaiset orgaanista ainesta sisältävät sedimentit. Sulfidisavimaita löytyy muualtakin Suomesta, Pohjanmaalta, Varsinais-Suomesta ja Etelä-Suomesta. Litorinan meren aikaisten sedimenttien rikkipitoisuus vaihtelee huomattavasti. Rikkipitoisuutta osoittava selvä tunnusmerkki on musta väri. Kun halutaan selvittää mikrobiologisen korroosion mahdollisuutta, määritellään maaperän sulfidipitoisuus ja redox – potentiaali. Korroosion kannalta ongelmallisimpia rikkiä sisältävissä maissa ovat sulfaatteja pelkistävien bakteerien (SRB = sulphate reducing bacteria) vaikutukset. Nämä bakteerit pelkistävät sulfaatin sulfidiksi, joka edelleen reagoi vedyn kanssa syövyttäväksi rikkivedyksi tai raudan läsnä ollessa ferrosulfidiksi. SRB–bakteerien uskotaan kiihdyttävän korroosiota myös muodostamalla happipitoisuuseroja, tuottamalla liukenemattomia sulfideja sekä katodisen depolarisaation kautta. Tyypillisimmin nämä bakteerit toimivat olosuhteissa, joissa pH on suhteellisen neutraali eli 6 - 8 ja maan ominaisvastus on 5 - 200 ohmimetriä. Sulfidipitoisuus voidaan todeta maastossa lisäämällä maanäytteeseen muutama tippa laimeaa suolahappoa, jolloin sulfidipitoisessa näytteessä muodostuu happamissa olosuhteissa pahanhajuista rikkihappoa. /8/

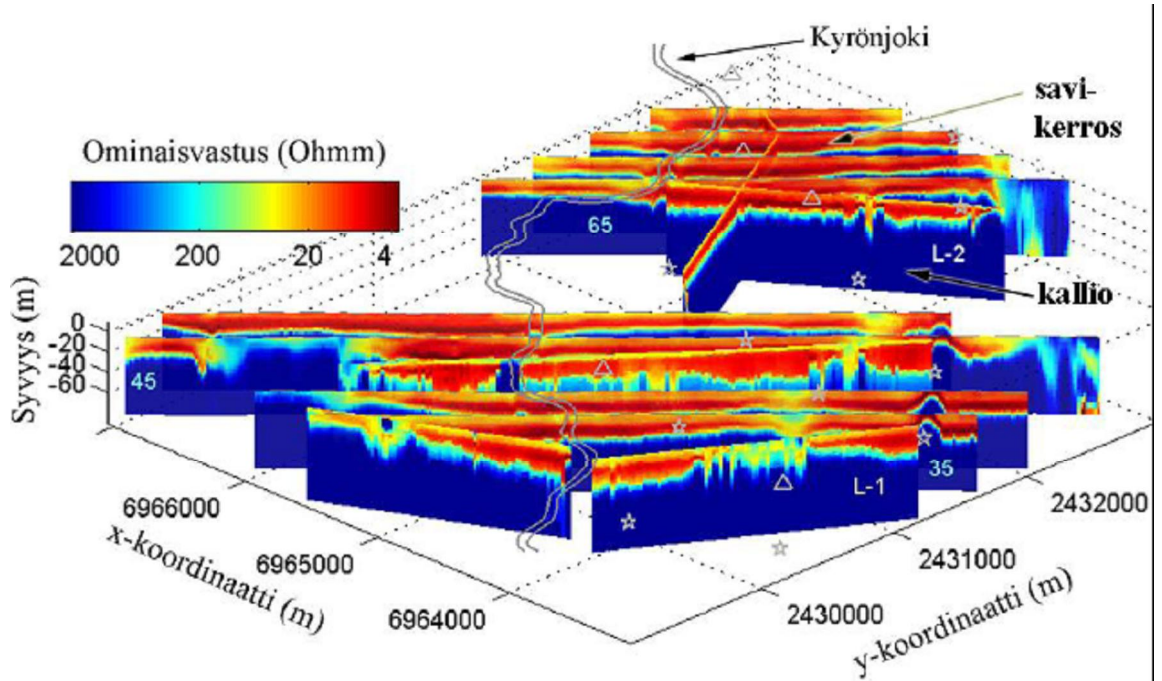
Seinäjoella oli tutkittu sulfidisavikoita tekemällä lentomittausten lisäksi painovoima- ja seismisiä mittauksia, maanpinnan sähkönjohtavuusmittauksia ja joitain referenssikairauksia ja maaperänäytteiden analysointia. Sähkönjohtavuuden ja kemian tulosten vertailu osoitti että, savikon suolaisuus (NaCl) ja sulfaattipitoisuus selittävät merkittävän hyvin sähkönjohtavuuden vaihtelun pohjaveden pinnan alapuolisissa kerroksissa. Edelleen, vertailu näytteistä mitattujen sähkönjohtavuusarvojen ja lento- ja maanpintageofysiikan tulosten välillä osoitti, että geofysiikan keinoin määritetty sähkönjohtavuusjakauma on hyvin lähellä todellista sähkönjohtavuuden vaihtelua /8/.

Koska geofysiikan keinoin mitattava maan kemiallisia ominaisuuksia kuvaava suure, sähkönjohtavuus, määräytyy pitkälti kloridin ja sulfaatin yhteispitoisuudesta, ei suoraan saada tietoa varsinaisesta ongelmasta, rikkipitoisuudesta.

### Sulfidisaven sähkönjohtavuus

Sulfidisaven sähkönjohtavuus poikkeaa muista maalajeista ja tavallisista savista. Savikkoalueet pystyttiin rajaamaan lentosähköisiltä kartoilta (Kuva 8). Samalla saatiin kuva myös savikerrosten paksuudesta. Tämän tutkimuksen tavoitteena oli

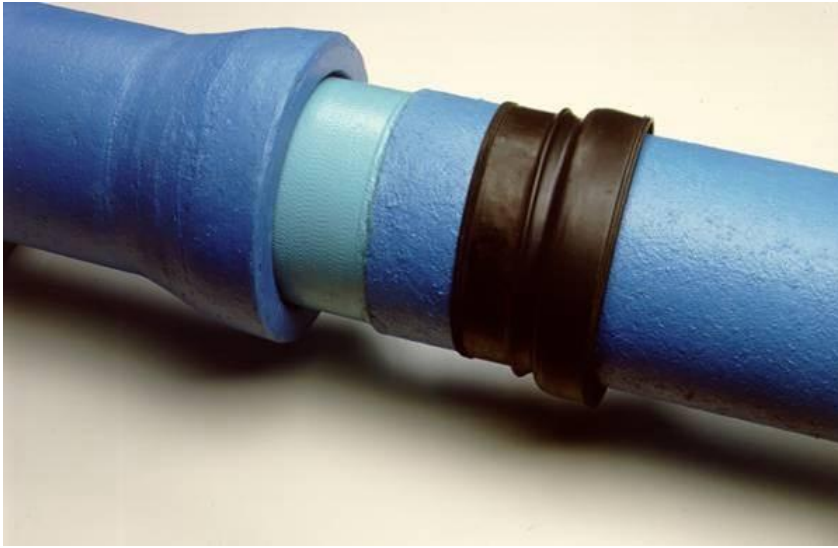
tuottaa malli, josta ilmenevät savikerrosten tarkat paksuudet, pohjaveden pinnan syvyys, saven ominaisuuksien alueellinen vaihtelu, mahdolliset savenalaiset hiekan ja soran rajat, pohjavesivarat ja kallioperän rakenteet. Tarkka malli edellytti lentodatan lisäksi myös kairauksia ja monipuolista geofysiikan menetelmien käyttöä ja yhteistulkintaa. Savikerrokset erottuvat punaisina (pieni ominaisvastus), kallio sinisenä (suuri ominaisvastus).



Kuva 5 Esimerkkikuva savikon vahvuudesta /8/

### 2.3 Vanhat teollisuusalueet

Tampereen kasvun myötä myös teollisuusalueet ovat saaneet väistyä asuntorakentamisen tieltä. Uusimpina tässä tarkasteltuin alueina olivat Kalmarin alue Härmälässä ja Ratinan rannan uusi kerrostalokortteli. Molemmissa jouduttiin suorittamaan mittavat pilaantuneiden maiden eli Pima-maiden poisto. Tällainen alue asettaa vesijohdoille tiettyjä vaatimuksia. Öljyn, raskasmetallien, liuottimien ym. löytyminen maaperästä edellyttää, että putkimateriaalista ei pääse läpi haitallisia aineita. Varsinkin hiilivetypohjaiset liuottimet suotautuvat huokoisten putkimateriaalien läpi ja pilaavat veden. Muovi ei sellaisenaan ole oikea putkimateriaali Pima-maihin, mutta alumiinivaippaista muoviputkea voi käyttää. Putkien asennuksessa on käytettävä nitrilikumisia tiivisteitä, joiden öljynkestävyys suojaa myös muilta maaperän haitta-aineilta. Venttiilien pinnoitteet kestävät, mutta niidenkin tiivisteet on vaihdettava nitrilikumisiin.



Kuva 6 Sg-valurautainen, saastuneiden maiden alueelle käyttöön soveltuva putki



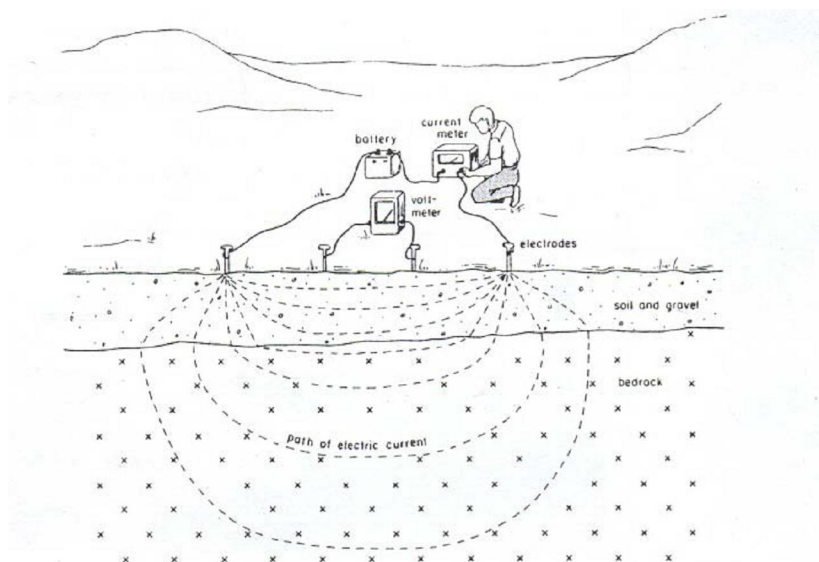
Kuva 7 Alumiinivaippainen muovi, saastuneiden maiden alueelle käyttöön soveltuva putki

Kuvissa 6 ja 7 on kaksi eri vaihtoehtoa pilaantuneiden maiden putkimateriaaliksi. Muita aggressiivisia olosuhteita ovat kaikki pilaantuneet maapohjat ja maa-alueet, joissa esiintyy tasavirtalähteiden aiheuttama potentiaalienttä. Tasavirtalähteet, jotka muodostavat teräksen ja maan välille jatkuvan potentiaalieron, voivat taajama-alueilla aikaansaada korroosiota niin kutsuttuna hajavirtakorroosiona. Hajavirtakorroosiota aiheuttaa tasavirtalähteiden (muuntajat, raitiotievaunujen raiteet), katodisesti suojatut putkistot, sähköradat ja kaapelit, sähkökoneiden huono maadoitus lähistöllä kohdissa, missä virta jättää metallipinnan. ( Liite 3). Vaihtovirtalähteet eivät yleensä aikaansaa teräksen korroosiota. Muita aggressiivisia kohteita ovat rakennuspaikat, joissa suolataan toistuvasti esimerkiksi osana liikenneväylien talvikunnossapitoa, tai lipeää levitetään kesällä osana pölynsidontaa. Tällaiset kohteet ovat korroosiolle alttiita.

Samoin runsaasti orgaanista ainesta sisältävät maapohjat (maaperän humuspitoisuus on suurempi kuin 6 %) ja runsaasti rikkiä sisältävät maakerrokset, myös luonnonmaakerrokset, ja sulfidimaakerrokset. /6/

## 2.4 Maaperän sähkönjohtavuus

Maaperän sähkönjohtavuus, galvaanisen korroosion edellytykset ja metallien jännitesarja ovat tämän tutkimuksen avainasioita. Kun ymmärretään erilaisten metallien välinen potentiaaliero ja maaperässä olevien suolojen vaikutus metallien syöpymiseen, voidaan valita kestäviä materiaaleja. Aineen ominaissähkönjohtavuuden SI-järjestelmän mukainen perusyksikkö on  $1/(\Omega\cdot m)$ , jonka johdannaisyksikkö on  $S/m$ , siemensä / metri. Maaperän sähkönjohtavuutta tutkitaan ns. Wenner-menetelmällä, (kuva 8), jossa anturien kautta maahan johdetaan heikko sähkövirta. Anturit sijoitetaan tietyn etäisyyden päähän toisistaan, tällöin anturiparin elektrodien jännite-ero on suoraan verrannollinen maan sähkönvastukseen yhden, kahden ja kolmen metrin syvyydellä maakerroksissa. ( Liite 4).



Kuva 8 Wenner-menetelmä: Maanpinnalta tehdyn mittauksen periaate

### Metallien jännitesarja

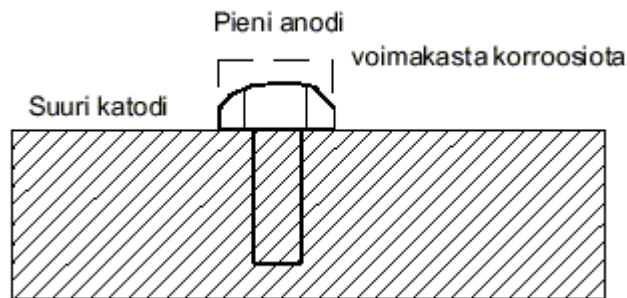
Sähkökemiallisen korroosion ymmärtämiseen liittyy kaksi tärkeää käsitettä: metallien jännitesarja ja sähköpari. Maaperän olosuhteet savikoilla muodostavat kahden metallin välille sähköparin. Sähkökemiallinen pari tai kenno voi muodostua kahden eri metallin välille edellyttäen, että metallit ovat yhteydessä toisiinsa ja että ioneja sisältävä elektrolyytti on läsnä. Parin toista, syöpyvää osaa, sanotaan anodiksi ja toista katodiksi. Anodi siis syöpyy eli hapettuu ja katodi pelkistyy. Elektrolyytin tulee olla sähköä johtavaa ja elektrolyyttinä onkin usein vesi. Sähkökemiallisessa parissa anodi luovuttaa elektroneja eli sähköenergiaa katodille ja elektronit käytetään edelleen hyväksi katodisessa reaktiossa. Esimerkiksi galvaanisessa korroosiossa onkin kyse sähkökemiallisen parin muodostumisesta ja parin toisen osapuolen syöpmisestä.



Sähkökemialliseen pariin liittyvän korroosion syynä on anodin ja katodin välinen potentiaaliero. Sähkökemiallisessa jännitesarjassa metallit on asetettu järjestykseen jaloutensa mukaan. Vaikka sarja periaatteessa kertoo paljon metallien keskinäisestä sähkökemiallisesta jaloudesta, se ei läheskään aina ilmoita metallien todellista käyttäytymistä. Esimerkiksi alumiinin ja ruostumattoman teräksen pintaan muodostuva oksidikerros tekee ne jalommiksi, joten sama metalli voi olla jännitesarjassa kahdessa eri kohdassa. Erityisesti sarjassa kaukana toisistaan olevien metallien yhdistelmiä tulee välttää. /7/

### Galvaaninen korrosio

Galvaanisessa korroosiossa metallien jalousaste-ero aiheuttaa jännitteen sähköisesti kytkettyjen (liitettyjen) metallien välille, jolloin sähkökemialliset reaktiot voivat tapahtua ja epäjalompi (alhaisempi elektrodipotentiaali) metalli, esimerkiksi kuumasinkitty pultti (anodi), jota on käytetty haponkestävän teräslaitan kiinnitykseen, syöpyy. Kuvassa 9 on esitetty galvaanisen korroosion periaate, jossa metallit ovat toisiinsa sähköisessä yhteydessä ja sähköä johtava elektrolyytti on läsnä. /5/

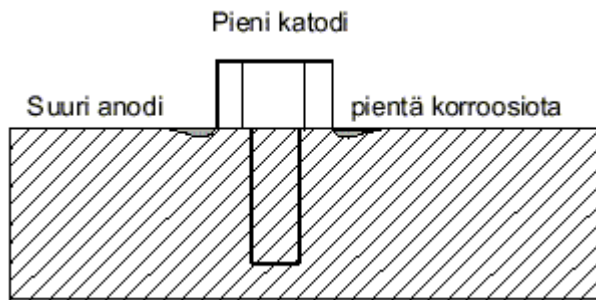


Kuva 9 Galvaanisen korroosion periaate

Galvaanisen korroosion tutkimisen edellytykset:

- Kaksi metallia joilla potentiaaliero  $>100$  mV
- Sähköinen kontakti metallien välillä
- Elektrolyyttiliuos (merivesi), tai vanha Litorinan meren pohjasedimentti ja vesi
- Erityisesti merivesi voi muodostaa korroosiotuotteista liukoisia komplekseja
- Suuri katodin ja anodin pinta-alasuhde nopeuttaa korroosiota

Galvaanisen korroosion nopeuteen vaikuttaa elektrodipotentiaalieron lisäksi myös katodin ja anodin suhteelliset pinta-alat. Jos syöpyvän anodin pinta-ala on pieni (kuva 5) verrattuna katodin pinta-alaan, anodin syöpyminen on nopeaa.



Kuva 10 Pinta-alan vaikutus galvaanisessa korroosiossa

Galvaanisen korroosion todennäköisyyttä voidaan arvioida mittaamalla ns. galvaaninen sarja halutuissa olosuhteissa. Tämä tapahtuu mittaamalla materiaalien korroosipotentialit ja asettamalla ne suuruusjärjestykseen. Galvaaninen sarja perustuu siis metallien jännitesarjaan, mutta siinä on lisäksi otettu huomioon olosuhteet. Galvaaninen korrosio voidaan kokonaan estää eristämällä metallit toisistaan tai pinnoittamalla esimerkiksi maalilla katodi ja mahdollisesti myös anodi. Valitsemalla liitettävät materiaalit siten, että anodin ja katodin suhde on mahdollisimman suuri, galvaaninen korrosio saadaan oleellisesti hidastettua (kuva 10). Haponkestävä pultti jalompana, mutta pinta-alaltaan pienempänä ja kuumasinkitty teräslaippa on esimerkeistä kestävämpi vaihtoehto. Eristäminen ja pinnoitus tai molemmat ovat kuitenkin suositeltavin vaihtoehto. Jaloudeltaan toisistaan huomattavasti poikkeavien materiaalien suojaamatonta liittämistä tulisi aina välttää. Korroosioon maahan asennettavissa putkissa ja laitteissa vaikuttaa seuraavat asiat: Pulttiliitoksessa on metalleja, joiden potentiaaliero on suuri. Anodin ja katodin pinta-alojen suhde on väärä ja tämä aiheuttaa korroosion kiihtymisen. Korroosion estämiseksi on eristettävä eri metallit toisistaan, esimerkiksi pinnoittamalla. On vältettävä yhdistämästä metalleja, joiden potentiaaliero on suuri. On valittava pultit jalommasta aineesta kuin rakenne, myös pinnoitteen vahvuus ratkaisee, joten on vältettävä sähkösinkittyjä pultteja, aluslevyjä ja muttereita, joiden korroosionkesto on heikko. / 5 /

### 3 VERKOSTORAKENTAMISEN NYKYISET MATERIAALIT KORROOSION KESTON KANNALTA

#### 3.1 Vesijohdot

Tampereen Vesi on käyttänyt vesijohdoissa useita eri materiaaleja. Maahan asennettavista putkista tällä hetkellä käytetään pääsääntöisesti kolmea eri materiaalia. Putket, jotka ovat alle 150 mm halkaisijaltaan, rakennetaan muovista. Muovi on 110 mm kokoluokassa yleensä PVC:tä, ja pienemmät PE-putkea. Yli 150mm halkaisijaltaan olevat vesijohdot rakennetaan pääsääntöisesti SG-valuraudasta. Erityisistä syistä, esimerkiksi vesistöalituksessa tai suon alituksessa vaakaporausta käyttäen, valitaan myös suuremmissa kokoluokissa PE-putki, hitsattavuuden vuoksi. Materiaalin valintaan voi käyttää kalleinta, haponkestävää terästä, mutta kokonaistaloudellisesti se ei kannata. Haponkestävän teräksen käyttö rajoittuu ainoastaan erikoistapauksiin, esimerkiksi siltojen alle asennettaviin eristettyihin johto-osiin. Käyttötarkoitukseen paras ja soveltuvin materiaali valitaan olosuhteiden mukaan, ja suunnitelmassa esitetään materiaalin laatu, mutta varsinkin saneeraustyössä lopullinen valinta jää usein putkimestareiden päätettäväksi.

Tampereen Veden aiemmin käyttämää putkimateriaalia ei ollut valittu korroosion kannalta riittävän huolellisesti, asiasta ei ollut riittävästi tietoa 70-luvulla, kun vauraudasta siirryttiin SG-valurautaan. Putken sisäpuolinen pinnoitus oli bitumisively, (kuva 11) joka ei estänyt putkea ruostumasta. nykyään putket on pinnoitettu sisäpuolelta sementtilaastivuorauksella. Bitumipinnoitettu putki, maadoituslangan juottaminen oli polttanut pinnoitteen irti ja syöpyminen on edennyt lähes läpi putken. Muovien käyttöä on aiemmin rajoittanut niiden korkeampi hinta, varsinkin suuremmissa kokoluokissa muovi on kalliimpaa verrattuna teräksen hintaan. Tällä hetkellä teräksen maailmanmarkkinahinta on nostanut SG-valuraudan hinnan muovia kalliimmaksi. PE-muoviputket ovat vasta 400mm kokoluokassa, ja siitä suuremmissa kalliimpia. Hintatieto on tarkastettu vuoden 2007 lopulla Tampereen Veden varaston sisäänostohinnoista. Muoviputket eivät ole suo-alueilla, varsinkaan pienissä kokoluokissa hyvä ratkaisu. Muovi on huokoinen aine, ja se päästää makuja ja kaasuja lävitseen. Saastuneiden maiden, mm. poltto-aineiden jakeluasemien välittömään läheisyyteen ei muovia saa sellaisenaan käyttää. Mutta nykyään on saatavilla muoviputkia, jotka on koottu useasta eri kerroksesta. Esimerkiksi alumiinivaippainen muoviputki, putkessa on virtausputkena PE-putki, välissä alumiinikerros ja kulutus pintana maahan asennusta varten toinen PE-kerros. Alumiinikerros estää hiilivetyjen, esim. bentseenin imeytymisen putken seinämän läpi. Veden maku ja laatu eivät saa kärsiä, ja Tampereen Vesi ei johda verkostossa sellaista vettä, jonka käyttöä talousvetenä ei voida sallia.



Kuva 11 Esimerkki sisäpuolelta puhkiruostuneesta putkesta

### 3.2 Putkimateriaalin valintaan vaikuttavat asiat

Vesijohtoputkien yleiset vaatimukset on määritelty mm. Suomen Standardoimisliiton, ja Vesi- ja viemäri- ja viemäri- ja viemäri- yhdistyksen toimesta. Vesijohtoputkina käytetään suunnitelma-asiakirjojen vaatimusten mukaisia uusia putkia, jotka ovat laadultaan hyviä ja jatkuvan laadunvalvonnan piirissä olevien valmistajien putkia, putkiyhteitä, laitteita ja tarvikkeita. Vesijohtoputkien on oltava sellaisia, että käyttöön otettavassa vesijohdossa veden laatu säilyy ja annetut viranomaisvaatimukset täyttyvät veden hygieenisyyden ja muun laadun osalta. Vesijohtoputken materiaalin on oltava maaperä- ja ympäristöolosuhteisiin soveltuvaa. Vesijohtoputkien muotokappaleina käytetään putkien valmistajan suosittelemia, tehdasvalmisteisia putkiyhteitä tai suunnitelma-asiakirjojen mukaisesti tehtyjä osia. Ellei suunnitelma-asiakirjoissa ole muuta esitetty, materiaali ja pintakäsittely ovat samat kuin putkilla. Vesijohdon laitteiden valintaperusteet ovat samat kuin putkilla. Venttiilien valintaan on kiinnitettävä riittävästi huomiota, tärkein asia on sisäpuolisen pinnoitteen sileys ja venttiilin sisäpuolinen muoto. Venttiilin virtausaukon on oltava suora, sileä ja täysiaukkoinen. Venttiilistä (kuva 12), joka ei ole täyttänyt mitään näistä ominaisuuksista. Esimerkki venttiilin valinnasta on ajalta, kun, kun hinta on ollut ainoa kriteeri. Venttiilin tärkein ominaisuus on, että se sulkeutuu, mutta kuvassa näkyy syy, miksi se ei sulkeutunut. Pinnoitus on ollut liian karheaa, ja saostuma on jäänyt kiinni. Venttiilin luisti ei sulkeutunut täysin kiinni. Tällä hetkellä venttiilien pinnoitukseen on saatu selvä parannus, pinnoitus on sileä, ja se siihen ei tartu epäpuhtaudet kiinni (kuva 13).



Kuva 12 Huonokuntoinen venttiili

Kunnossapidon lähtökohtana on, että käyttöomaisuutta tulee hoitaa tehokkaasti. Tällöin kunnossapidon kannalta on otettava seuraavat asiat: ylläpito ja korjaukset tehdään oikeaan aikaan ja oikeassa paikassa. Korjaukset suoritetaan mahdollisimman pienin häiriöin kolmannelle osapuolelle. Verkostoa rakennetaan ja korjataan paremmilla rakennusmateriaaleilla ja saneeraustekniikoilla:

- materiaaleiksi valitaan huoltovapaita, pitkäikäisiä putkia ja laitteita
- venttiilit valitaan siten, ettei hinta ole yksin vaikuttamassa.



Kuva 13 Uuden ja vanhan venttiilin ero.

### 3.3 Maaperäolosuhteet

Kokemukset bitumisivellyllä ja sinkkipinnoitetulla putkella ovat pääsääntöisesti hyviä. Sisäpuolisen betonivuorauksen puuttuminen 1970-luvun alkuvuosien putkissa aiheuttaa kuitenkin saneerauksen ennen kuin päästään 50 vuoden kestoikään. Ulkopuoliseen korroosioon ja sen tutkimiseen saadaan vain vähän tietoa, ainoastaan esiin kaivaminen venttiilien vaihdon, tai vuodon korjauksen yhteydessä saadaan putki näkyviin. Kaivantojen välistä aluetta on arvioitava maaperän ja kaivannon syvyyden mukaan. Jos kaivannossa on paljon vettä, ja maaperä on hyvin savista tai humuspitoista, voidaan olettaa galvaanisen korroosion syntyvän. Esimerkiksi Sarankulmankadun kairaukset ja maaperänäytteet osaltaan vahvistavat kokemuspohjaisen tiedon putken syöpmisestä. Alue on jossain ajanjaksossa ollut hyvin märkää. Putkilinja kulkee vanhaa Rukkamäentietä, joka oli lipeällä kyllästetty maantie. Vuotojen korjausten yhteydessä tehdyt havainnot osoittavat, että pölynsidontaan ja suolaukseen käytetyt kloridit ja vesi yhdessä ovat muodostaneet korroosiolle otolliset olosuhteet.

Vesijohtolinjan vieressä kulkee myös Helsinkiin menevä sähkörata, joka myös aiheuttaa hajavirtakorroosiota. Pinnoituksen valinta maaperän happamuuden ja sähkönjohtavuuden mukaan aiheuttaa usein ongelmia. Aina ei ole riittävästi tutkimustietoja käytettävissä, samoin ei aina mietitä, minkälaisia galvaanisia virtoja putkelle ja osille aiheutuu. Usein putki on SG-valurautaa, laippa-osat seostettua alumiinia, pultit tavallisia kuumasinkittyjä pultteja. Edellä mainitut metallit ovat epäjalommasta jalompaan seuraavassa järjestyksessä: ensin alumiini laippa, sitten kuumasinkitty pultti, sen jälkeen valurauta ja lopuksi haponkestävä teräs.

Haponkestävän ja hiiliteräksen välillä materiaalien jalousero on niin suuri, että galvaaninen korroosio on todennäköistä. Tällöin korroosio kohdistuu hiiliteräkseen. Liitettäessä seostettuja teräksiä hiiliteräkseen tulee liitoskohta joko suojata hapen saannilta tiivisteillä ja pinnoitteilla tai sijoittamalla liitosalue tiiviiseen, ilmaa heikosti läpäisevään maakerrokseen. Tällainen aiheuttaa epäjalomman metallin syöpmisen. (kuva 14). Ensiksi katoavat pultit. Syy on materiaalin vahvuus. Tämän jälkeen alumiini, koska laipassa on enemmän syöpmisvaraa. Valurauta, joka laippaosana on jalompana ja samalla seinämävahvuudeltaan paksumpaa kestää hyvin haponkestävän teräksen kanssa. Mutta pulttien ja laipan syöpyminen saa aikaan jo vesijohtovuodon. Halvemmat materiaalikustannukset eivät pitkäaikaiskestossa tulekaan halvemmaksi. Saman ajan, mitä parhaat materiaalit kestävät, joudutaan edellä mainittu asennus uusimaan kaksi tai useasti jopa kolmekin kertaa. Materiaalin valinnassa kustannussäästö vastaan useat korjauskustannukset kokemusten mukaan tulee erittäin kalliiksi. Korjaustyöstä ei ole käytettävissä riittävän tarkkaa kustannuseurainta, mutta vesilaitoksilla on suhteellisen suuret huolto- ja kunnossapitokustannukset. Espoon Veden verkostopäällikkö Ilari Myllyvirta on kirjoittanut Vesi- ja viemärlaitoksen lehdessä kunnossapidon kustannuksista, että 70 prosenttia olisi vuodon korjauksia.



Kuva 14 Syöpynyt laippa

Maaperän happamuuden aiheuttama galvaaninen korroosio on syövyttänyt kuumasinkityt pultit ja silumiinisen laipan. Palopostin pystyputken materiaali ei ole syöpynyt, materiaali on haponkestävää terästä.

#### Korroosio-olosuhteet

Tampereen Vesi on yleisesti käyttänyt haponkestävää terästä maahan asennettavissa putkissa ja tarvikkeissa. Ruostumattoman teräksen mahdolliseen korroosioriskiin vaikuttavat maaperän ominaisuuksista merkittävimmin maan ominaisvastus, vesi- ja happipitoisuus, pH, mikrobitoiminta, hapen läpäisykyky, redox-potentiaali, hajavirrat sekä syövyttävät yhdisteet, kuten veteen liuenneet suolat ja happoa muodostavat aineet, haponkestävällä teräksellä vaikutukset ovat selvästi vähäisemmät. Maalajien muutoskohdat voivat olla riskipaikkoja mahdolliselle korroosiolle. Korroosioriskiä lisää eri maalajien välinen happipitoisuusero, jolloin maalajien välillä on potentiaaliero. Happipitoisuusero voi olla huomattava esim. putkilinjalla, jossa korroosioriski muodostuu kaivannon pohjalla häirityn ja häiriintymättömän maan rajapintaan. Korroosioriskiä voidaan pienentää perustamalla putkilinja esim. riittävän paksun hiekkakerroksen päälle. Hapensaannin kannalta selvä kerrosraja on pohja- tai orsiveden rajapinta, jolloin vesipinnan alapuolinen metallipinta toimii anodina ja yläpuolinen metallipinta katodina. Syvemmällä maaperässä korroosiota rajoittaa pieni happipitoisuus. ( Taulukko 1).

Näissä olosuhteissa saattaa korroosiota tapahtua anaerobisten bakteerien toiminnan johdosta. Parhaiten tunnettuja ja korroosion kannalta ongelmallisimpia ovat sulfaatteja pelkistävät bakteerit (SRB = sulphate reducing bacteria). Nämä rikkiä

pelkistävät bakteerit pelkistävät sulfaatin sulfidiksi, joka edelleen reagoi vedyn kanssa rikkivedyksi tai raudan läsnä ollessa ferrosulfidiksi. Päästessään kosketuksiin ilman kanssa sulfidit voivat hapettua tuottaen pieniä määriä tiosulfaattia. Ruostumattomien terästen yhteydessä tärkein tekijä maa-asennuksissa on maaperän kloridi- ionien pitoisuus ja maaperän vesipitoisuus. Kloridi-ionit saavat alulle ruostumattoman teräksen pistekorroosion, ja niiden olemassaolo pienentää maaperän ominaisvastusta. Haponkestävä teräs on parempi vaihtoehto maahan asennettaessa. Kloridi-ioneja esiintyy myös Suomen rannikkoalueiden hienorakeisilla maapohjilla. Paikallisesti maaperän kloridi-ionien määrä voi olla korkea liukkauden torjunnan yhteydessä käytetyn maantiesuolauksen vaikutuksesta./7/

Suomen maaperien ominaisvastus- ja pH-arvoja

Taulukko 1

Maan ominaisvastus $\Omega$ m		Syövyttävyyys	
< 10		erittäin suuri	
10...30		suuri	
30...50		suurehko	
50...100		kohtalainen	
100...200		pieni	
>200		erittäin pieni	
Ominaisvastus, $\Omega$ m			
Maalaji	Keskimäärin	Vaihtelu	pH
Savi	40	25-70	4,9-5,7
Savensekainen hiekka	100	40-300	5,4
Lieju, turve, muta	150	50-250	3,6-5,1
Hiekka, hieta	2000	1000-3000	4,8-5,6
Moreenisora	3000	1000-30000	4,9-5,5
Harjusora	15000	3000-30000	4,6

### 3.4 Vesijohdon ja vesijohdon laitteiden valinta

Tampereen Vesi on käyttänyt vesijohtojen materiaalina kooltaan 150 mm:stä alkaen ja siitä suuremmissa kokoluokissa SG – valurautaa. Osaltaan valintaan on liittynyt seuraavia tekijöitä. Materiaali on erittäin kestävä mekaanista rasitusta vastaan, ja kestää hyvin myös asennusvirheiden aiheuttamaa kuormitusta. Kestää myös tuennan puuttumisesta aiheutuneet virheet, ei tapahdu muodonmuutosta vaikka alkutäyttö olisi jäänyt huonosti tiivistämättä, sen vuoksi myös putken osat ovat nykyisin SG - valurautaa. SG -valurauta eli pallografiittivalurauta on lujuudeltaan ja sitkeydeltään terästen tasoa.



Materiaalinvalintaa varten maapohjat jaetaan aggressiivisuuden perusteella kolmeen luokkaan: ei-aggressiiviset, jossakin määrin aggressiiviset ja aggressiiviset maat (Taulukko 2).

Taulukko 2

<p><b>1. Ei-aggressiiviset</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Häiriintymättömät luonnonmaat, joissa enintään vähäisessä määrin klorideja ja sulfaatteja (hiekkia, siltti, savi, liuske). Maalajien eloperäisen aineksen osuus on alle 2 paino-%. <i>Ellei tavanomaisin pohjatutkimuksin ja kohteen olosuhteiden tarkastelun perusteella maaperän ei-aggressiivisuutta voida riittävällä varmuudella todeta, aggressiivisuutta arvioidaan ensisijaisesti maan ja huokosveden kloridi- ja sulfaattipitoisuusmääritysten perusteella.</i></li> </ul>
<p><b>2. Jossain määrin aggressiiviset</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Saastuneet luonnonmaat ja teollisuusalueiden maa-alueet (yleensä).</li> <li>Tiivistämättömät, ei-aggressiiviset täytemaat (hiekkia, siltti, savi, moreeni, murskeet).</li> </ul>
<p><b>3. Aggressiiviset maat ja väylärakenteet</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Aggressiiviset luonnonmaat (kloridi- ja sulfaattipitoiset savet ja siltit sekä liejut, suo, räme, turve) sekä suolatut väylärakenteet, joissa sulfaattipitoisuus on &gt; 500 mg/maa-aines kg tai &gt; 100 mg/l huokosvedessä, klorideja &gt; 100 mg/maa-aines kg tai &gt; 50 mg/l vesiliuoksessa.</li> <li>Tiivistämättömät ja aggressiiviset täytemaat (tuhka, kuona, aggressiivista luonnonmaata sisältävät täytöt).</li> <li>Kaikki pilaantuneet maapohjat, ellei niiden ei-aggressiivisuutta ole todettu.</li> <li>Maa-alueet, joissa esiintyy tasavirtalähteiden aiheuttama potentiaalitenttä.</li> </ul>

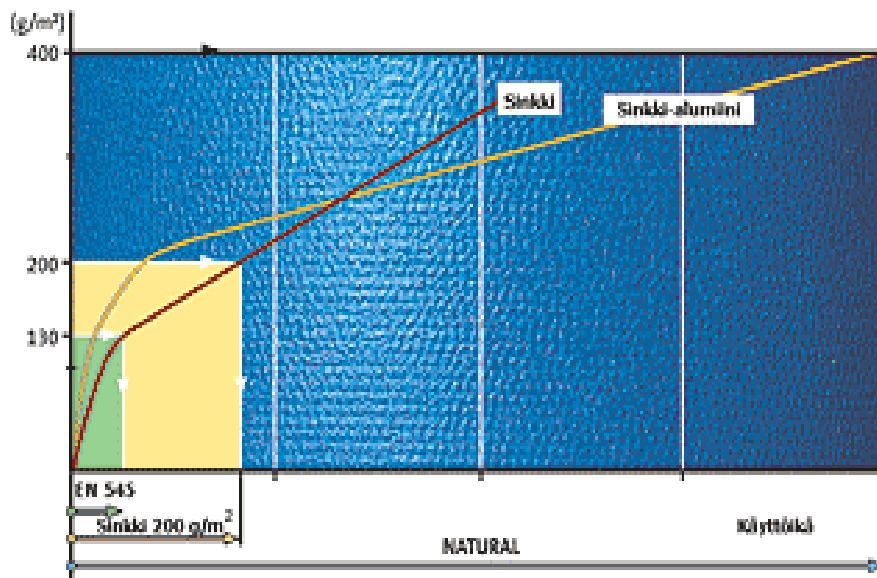
Suosittelut ruostumattomat teräslajit pohjamaan aggressiivisuuden perusteella sekä keskimääräisen korroosion suuruusluokkatasot on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3

Teräslaji	Ei-aggressiivinen	Aggressiivinen
Niukkaseosteiset ferriittiset teräkset	Ei poikkeamaa hiiliteräksiin Keskimääräinen korroosio: 1,2 mm/ 100 v	Ei poikkeamaa hiiliteräksiin Keskimääräinen korroosio: 3...6 mm/ 100 v
Austeniittiset Cr-Ni-teräkset 1.4301 (304), 1.4307 (304L) 1.4318 (301LN)	Keskimääräinen korroosio: 0,04...0,1 mm/100 v	Keskimääräinen korroosio: 0,4...1 mm/100 v
Niukkaseosteinen duplex 1.4162 (LDX 2101)	Ei käyttökokeuksia, oletettavasti parempi kuin yllä	Ei käyttökokeuksia, oletettavasti parempi kuin yllä
Haponkestävät Cr-Ni-Mo-teräkset 1.4401 (316 L) 1.4404 (316)	Keskimääräinen korroosio: 0,005...0,01 mm/100 v	Keskimääräinen korroosio: 0,06...0,1 mm/100 v
Keskiseosteinen duplex 1.4462 (Duplex 2205)	Keskimääräinen korroosio: 0,005...0,01 mm/100 v	Keskimääräinen korroosio: 0,06...0,1 mm/100 v

Taulukon 3 perusteella austeniittisten, haponkestävien ja Duplex-terästen yhteydessä voidaan korroosio jättää huomioimatta tavallisilla rakennepaksuuksilla ei-aggressiivisilla pohjamailla. Suppean aineiston perusteella näyttäisi myös siltä, että

haponkestävien ja Duplex-terästen yhteydessä myös aggressiivisilla pohjamailla korrosio voitaisiin jättää huomioimatta./7/  
Vesijohdon valintaan liittyviä tekijöitä ovat mm. Pinnoitus, mekaanisen rasituksen kesto, asennussyvyys, maaperäolosuhteet jne. Valurautaputken lujuus ja käyttövarmuus ovat pitkään tehneet siitä johtavan joka paikan materiaalin Euroopassa. Kun aiemmin valittiin vesijohdon materiaaliksi SG-valurautaa, ei sen pinnoitukseen kiinnitetty mitään erityistä huomiota. Tärkeimpänä kriteerinä oli, että putki oli kotimaista. Jo 1960-luvun lopulla kuitenkin Euroopassa oli kehitelty putken sisäpuoleiseen korroosion estoon sementtilaastivuoraus eli betonointi. Tämä oli yksi askel putken kestoian lisäämiseksi. Suomessa valmistetuissa putkissa sisäpuoleisen korroosion estämiseksi käytettiin aiemmin ainoastaan bitumisivelyä. Bitumista kuitenkin liukenee haitallisia hiilivety-yhdisteitä, varsinkin jos vesijohdot sijaitsevat lähellä lämmönlähdettä, esimerkiksi kaukolämpöjohdot, jotka sijaitsevat samassa kaivannossa. Betonoidusta putkesta ei liukene haitallisia yhdisteitä, uudesta putkesta liukenee ainoastaan kalsiumhydroksidia, joka nostaa veden pH - arvoja, varsinkin jos vesi ei vaihdu. Tällainen emäksinen vesi voi syövyttää nieltynä ihmisen elimistöä, joten on varmistettava veden laatu ennen käyttöönottoa. Uusissa SG - valurautaputkissa ja putkenosissa on sisä- ja ulkopuoliseen korroosionsuojaukseen saatu riittävä suojaus normaaleihin maaperäolosuhteisiin. Valurautaputken monikäyttöisyyttä on nyt entisestään lisätty uudella pinnoitteella (kuva 15), jonka kehittäminen perustuu pitkään jatkuneisiin maaperä- ja metalliseostutkimuksiin ja niiden mukanaan tuomaan asiantuntemukseen ja kokemukseen. Putkessa on uusi optimoitu monikerroksinen sinkki-alumiiniulkopinnoite, joka olennaisesti parantaa putken suojausta. putki soveltuu myös maaperiin, joissa tavallinen sinkkibitumipinnoite ei takaa riittävää korroosiosuojaa.



Kuva 15 Pinnoitteen kaaviokuva (Liite 4)

Sinkki-alumiiniseoksen ylivoimaisuus perustuu sinkin galvaaniseen suojaan ja alumiinin muodostamaan kestäväan matriisiin. Ollessaan kosketuksissa ympäröivän maaperän kanssa sinkki reagoi rautametallin kanssa muodostaen hitaasti tiiviin ja

kestävän sinkkisuolakerroksen. Paikallisissa vaurioissa positiiviset sinkki-ionit kulkeutuvat huokoisen epoksikerroksen läpi muodostaen vauriokohtaan kiinteän liukenemattoman sinkkisuolakerroksen. Mitä aggressiivisempi maaperä, sitä nopeammin sinkki muuttuu sinkkisuolaksi. Alumiinimatriisi hidastaa prosessia sitomalla sinkin ja luovuttamalla sitä optimaalisella nopeudella. Siksi putken käyttöikä ja soveltuvuusalue ovat huomattavasti tavallista sinkkipinnoitteista putkea parempi. Putkilinjan tarvittavan suojaustason selvittämiseksi on normaalisti tehtävä maaperän aggressiivisuuden määrittely. Koska putken suojauskyky riittää maaperiin, joiden ominaisvastus on yli  $500 \Omega \times \text{cm}$  (EN 545), maaperän syövyttävyyden laajamittaista analyysia ei yleisesti tarvitse suorittaa. Tämä putkenvalmistaja ei ole ymmärtänyt ilmoittaa ominaisuusvastuslukua SI -standardin mukaisesti, sen mukaisesti luku on  $5\Omega\text{m}$ . Koska kysymyksessä on valmistajan julkaisusta ote, jätin tämän näkyviin. Putken ulkopinnoitteena käytetään aktiivista sinkki-alumiinikerrosta (85 % sinkkiä ja 15 % alumiinia) sekä sinistä epoksinnoitetta (100 mikronia). Putken sinkkipinnoitteen vahvuus  $400 \text{ g/m}^2$  ylittää yli kolminkertaisesti normin vähimmäisvaatimukset (sinkki Sinkki-alumiinipinnoite)  $130 \text{ g/m}^2$ . ( Liite 4). Kuitenkin erittäin aggressiivisiin olosuhteisiin ei tavallista pinnoitusta voida käyttää. Muutamilla putkenvalmistajilla on myös näihin soveltuvia ratkaisuja, kuten PE - pinnoitettu putki, kuitusementtipinnoitettu putki tai PUR -pinnoitettu putki. Näitä tulisi käyttää, kun maaperä on erittäin syövyttävää.



Kuva 16 Hyväkuntoinen, kuivaan maaperään asennettu putki.



Kuva 17 Virheettömässä kunnossa oleva, sisäpuolelta betonilla pinnoitettu putki.



Kuva 18 Pinnoitettu putki. Putki kuin uutta, vaikka asennuksesta on kulunut 20 vuotta.

### Venttiilit

Venttiileissä on kiinnitettävä suurta huomiota mm. korroosiosuojaukseen. Ehdottomasti venttiilien ulkopuoleisen pinnoituksen laatu ja pinnoituksen paksuus ratkaisevat kestoiän. Usein käsittelyssä tapahtuvat virheet jäävät korjaamatta ja pinnoitusvauriot alkavat ruostua. Saksalaisten kehittämä standardoitu pinnoitusmenetelmä on tämän hetken parasta mahdollisinta tekniikkaa (BAT).

Laippaventtiilien valintaan vaikuttavia vaatimukset ovat:

- 100 % rungon peittävä pulverisepoksi kerros ja siten 100 %:neon korroosion kestävyys
- GSM standardien mukaan (\* Saksalainen korroosion suojauksen laatuyhdistys)
- maahan asennettavaksi tarkoitettu malli

- täysaukkoisen ilman pohjataskua
- tiivisteiden, pintakäsittelyn ym. mahdollisesti veden kanssa kosketuksiin joutuvien osien tulee olla elintarvikekelpoisia
- rakennepituudeltaan lyhyttä mallia DIN 3202 tai vast.
- kiinnitys laipoilla. Laippaporaus DIN 2501 - PN 10 tai vast.
- standardien EN 1074-1 ja EN 1074-2 tai vast. mukaisia.
- runko, kansi ja luisti pallografiittivalurautaa DIN 1693 GGG-400 tai vast.
- rungon korroosiosuojaus epoksipulveripinnoituksella DIN 30677-2 ja DIN 3476 tai vast. mukaan.
- kara ruostumatonta tai haponkestävää terästä.
- karan kierteen kätsisyys: oikea
- luisti vulkanoitu EPDM-kumilla tai vast.
- paineluokka PN 10.

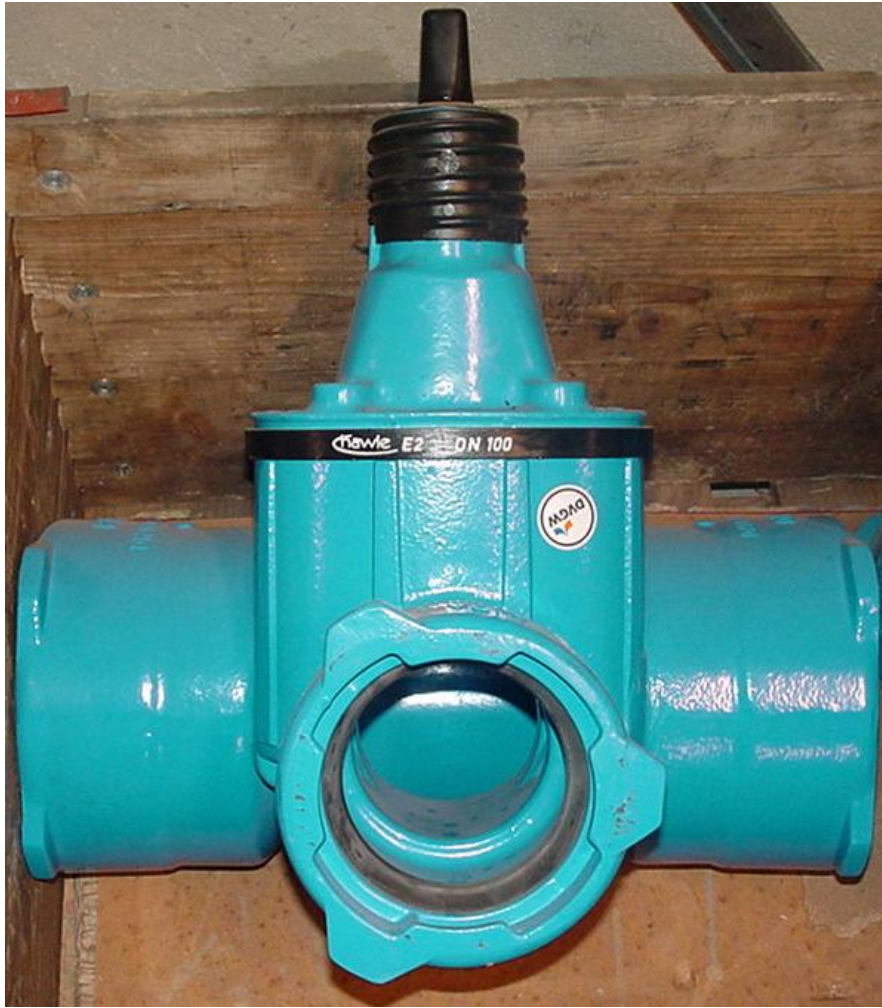
Alla olevassa kuvassa on ”ns.” halvalla ostettu venttiili (kuva 19), jonka ainoa kriteeri on ollut hankittaessa halvin hinta. Pulveriepoksia ei ollut käytetty ko. venttiilissä, vaan venttiili oli ainoastaan maalattu. Kesto n. 15- 20 vuotta, ja ensimmäinen kerta asennuksen jälkeen, kun linja olisi pitänyt sulkea, niin venttiili ei pitänyt. Yhden venttiilin vaihtaminen tuli maksamaan n. 5 000 euroa vuonna 2006. Toinen kuva alla on käytöstä poistetusta venttiilistä (kuva 18), jonka kunto oli hyvä, eikä venttiilissä ollut mitään vikaa. Ero materiaaleissa ja pinnoituksissa on huomattava. Venttiilin poistaminen johtui johto-osuuden saneerauksesta. Toiminnaltaan kunnossa olevan venttiilin olisi voinut asentaa takaisin, mutta pinnoite oli rikkoutunut esiin kaivun yhteydessä ja ulkopuolinen korrosio olisi lyhentänyt käyttöikää, joten sen uusiminen oli ainoa vaihtoehto. Venttiili on sisäpinnoiltaan puhdas, ja sen voi käyttää vaikka uudelleen (kuva 20), kunhan pinnoitteen vauriot korjataan.



Kuva 19 Käytöstä poistettu venttiili



Kuva 20 Toimintakuntoinen venttiili



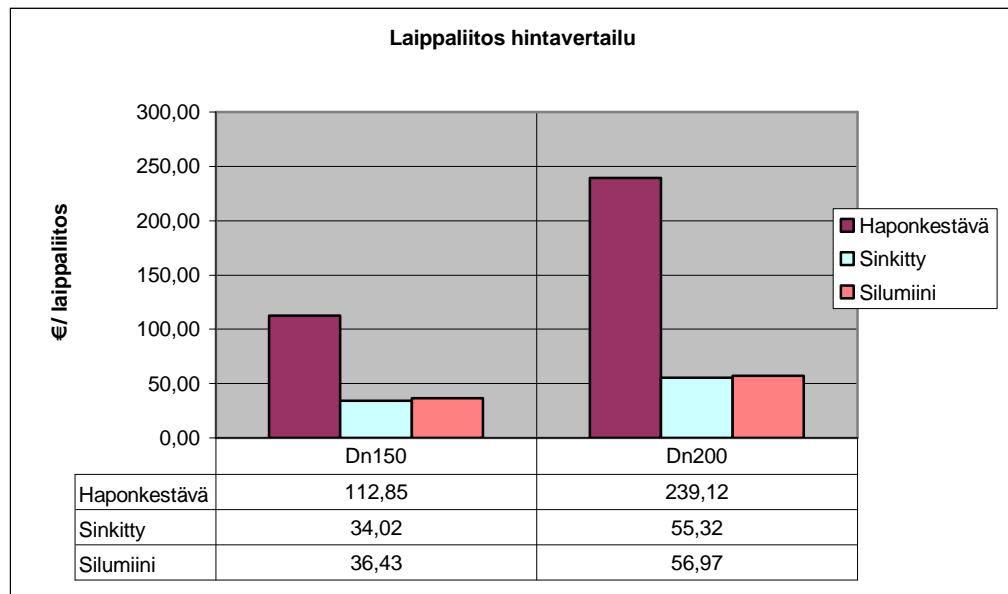
Kuva 21 Laipaton, ja pultiton venttiili

Laipattomassa venttiilissä (kuva 21) on sileä sisäpinta, ei ”taskua”, joka keräisi vesikiveä ja se on täysiaukkoinen. Pulttien syöymistäkään ei tarvitse pelätä. Haittapuolina korkea hinta ja koot jotka rajoittuvat 300mm, suurempia kokoja ei ole.

#### Pultit ja laipat

Varastoon tilataan vuosittain n. 2000 kpl 150mm ja 200mm pulttikokoja. Vertailin sinkittyjen ja haponkestävien pulttien hinnan eroja vuoden 2007 hinnoilla. Hinnan erotus oli, että haponkestävä pultti oli n. kolmesta neljään kertaan kalliimpi kuin sinkitty. Hinnan erotukseksi 150 - 200 mm koossa tulee 10680 euroa, sen verran sinkityt ovat halvempia. ( Liite 5). Haponkestävät osat ovat kuitenkin kaikissa olosuhteissa yli 10 kertaan kestävämpää korroosiota vastaan. Materiaaleilla tehdyissä kokeissa, ( Taulukko 3) on syöpyminen vain 1/10 osaa tavallisesta sinkitystä pultista. Laippaliitoksen tekeminen haponkestävillä osilla tulee kokoluokassa 150mm n. kolme kertaa kalliimmaksi kuin käyttäen sinkittyjä osia. Hintatiedot on saatu Tampereen Veden varaston hankintahinnoista.

Taulukko 4

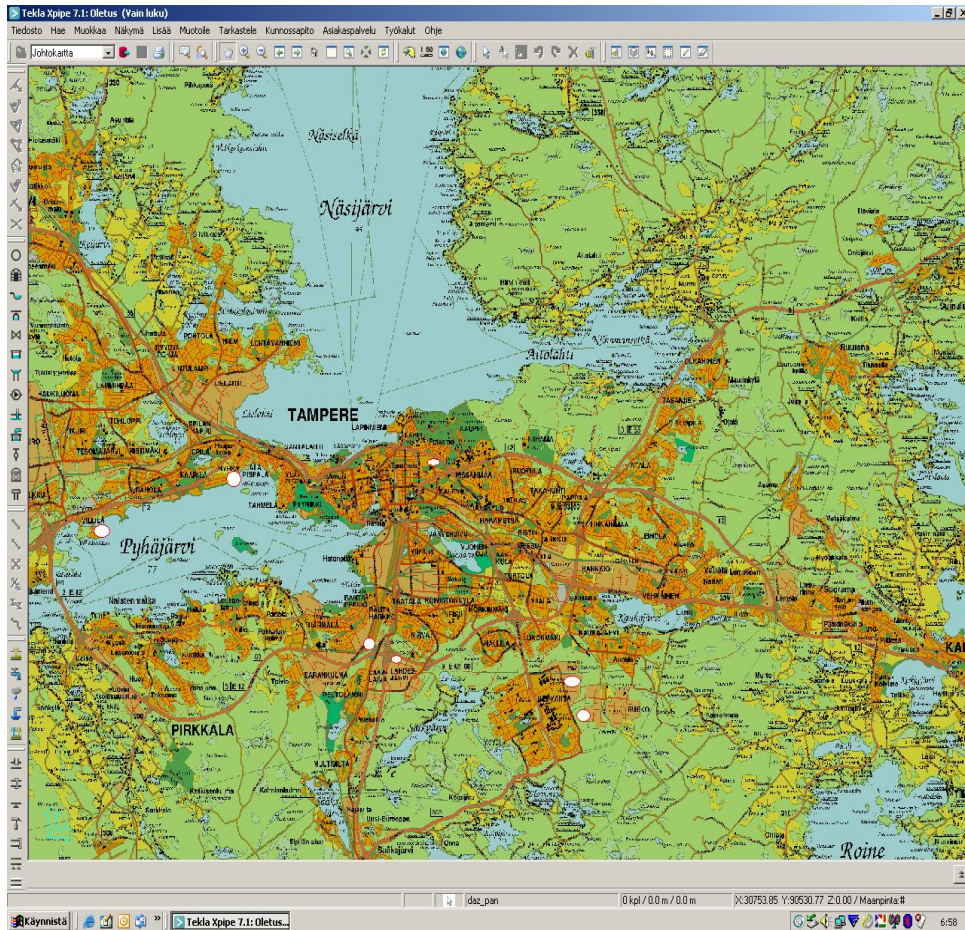


Tampereen Vedessä tehdään n. 100 kpl 150 mm kokoluokan venttiilin tai muun laippaliitosta vaativan osan asennusta maahan vuodessa. Materiaalivalinnoista johtuvia vaurioita korjataan 4 – 5 kpl joka vuosi. Vesijohtovuodon keskimääräinen hinta on n. 5000 euroa. Keräsin v. 2006 neljän venttiilin vaihdon kustannukset, ja käytin tämän kunnostustyön toteutuneita kokonaiskustannuksia arviota yhden vuodon korjauskaivannon hintana. Keskimääräinen vaihtotyön hinta oli 11000 euroa. Oman arvioni mukaan, en varastoisi lainkaan sinkittyjä pultteja, koska niiden päätyminen huonoihin maaperä-olosuhteisiin olisi mahdollista. (taulukko 4). Haponkestävät osat tulevat n. 10 000 – 15 000 euroa kalliimmaksi vuositasolla, mutta hinnan erotuksella ei pystytä korjaamaan kuin yhdestä kahteen vuotoa. Espoon veden verkostopäällikkö on usein kirjoittanut alan lehdissä että vesijohtovuotojen korjaukseen kuluu esim. Espoossa 2/3 kunnossapidon vuotuisesta budjetista. Tämän tutkimuksen anti toivottavasti olisi, että kiinnitetäisiin tarpeeksi huomiota materiaalien yhteensopivuuteen, ainakin vaativissa olosuhteissa.



#### 4 ESIMERKKEJÄ VERKOSTON VAURIOKOHDISTA

Etsin työhöni liittyen muutamista vuotokohdista sijaintitiedot, kartassa on esitetty koepisteet, joista on tehty maaperätutkimukset.



Kuva 22 Maaperätutkimusten sijainnit

Kohteet on valittu sellaisista paikoista, joissa on vuotojen syiksi todettu pulttien tai laippojen syöpyminen. ( kuva 22).

Koepisteet olivat:

- Hyhkynkatu
- Kumputie
- Kytömaankatu
- Ruskontie
- Sarankulmankatu
- Saarenkärki
- Postitorvenkatu

Hyhkynkatu sijaitsee Pyhäjärven välittömässä läheisyydessä, ja Saarenkärjenkadulta otetut maaperänäytteet edustavat molempia kohteita. Maaperänäytteestä löytyi rikkisulfaattia ja klorideja. Sähkönjohtavuus ei välttämättä ollut suurin syy,

Saarenkärjenkadun näytteen ominaisvastukseksi saatiin  $345 \Omega\text{m}$  (ohmi \* m), mikä ei tässä tapauksessa ole ratkaiseva tekijä vaan korkea rikkisulfaatin määrä. ( Liite 1).

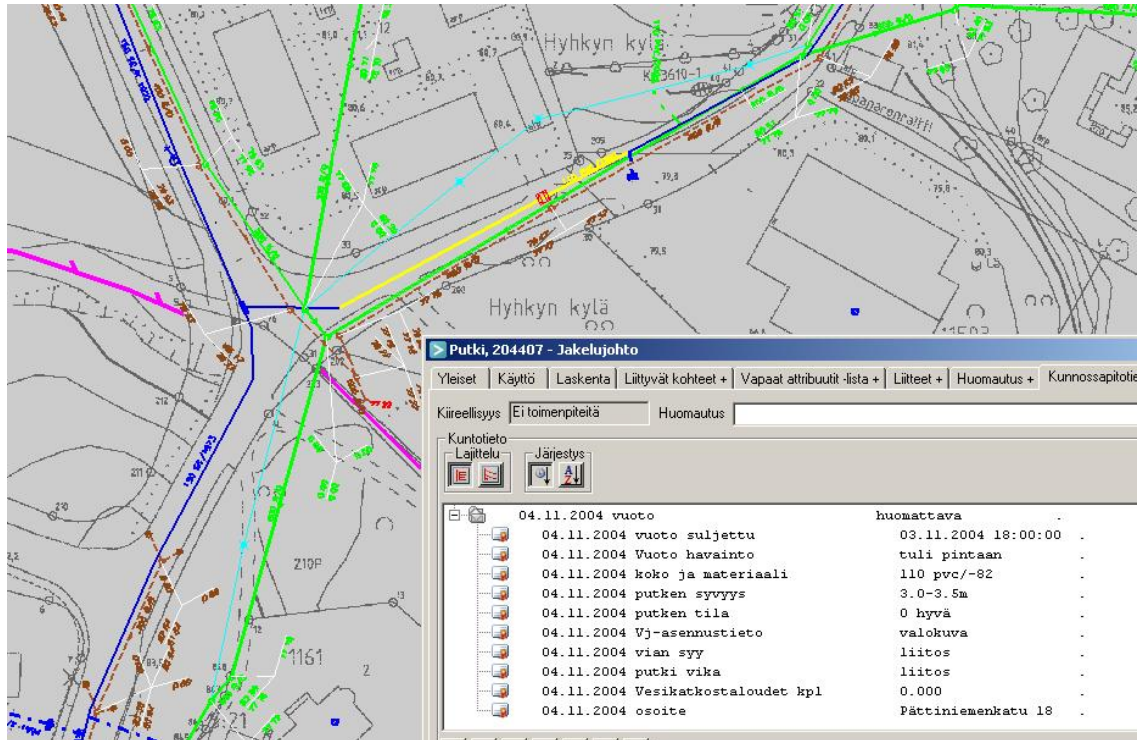


Kuva 23 Epoksoitu T-haara.

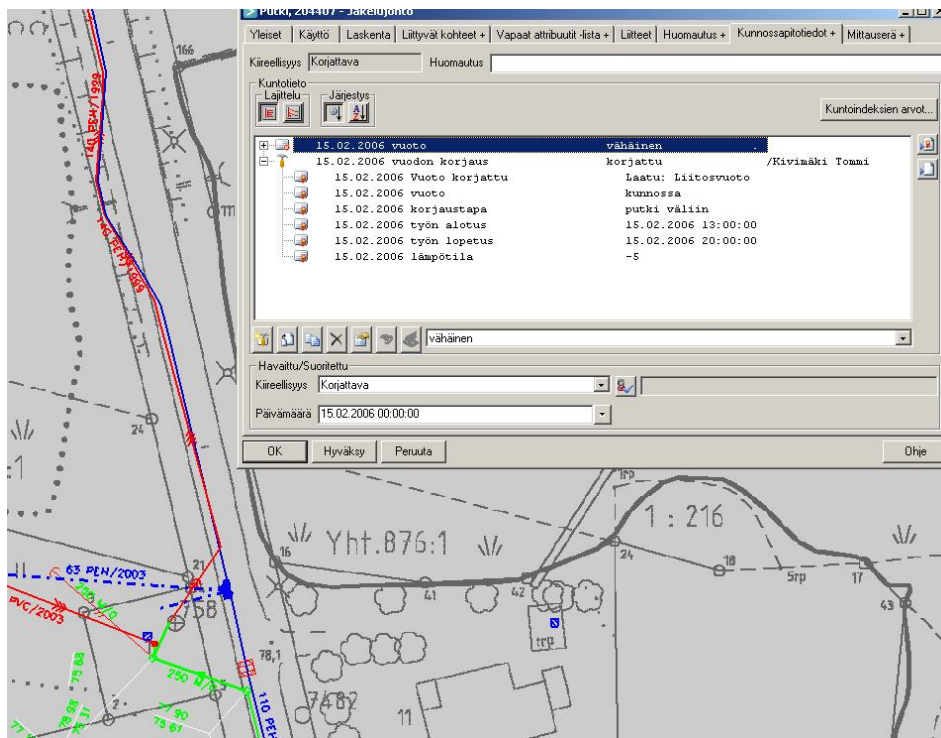


Kuva 24 Syöpynyt T-haara.

T- haara on hyvin kestänyt happaman maaperän syövyttävyyden toisin kuin pultit jotka olivat syöpyneet kokonaan. ( kuva 23) T-haara oli pinnoitettu epoksi-pinnoitteella. ( kuva 24). Vuotokuva Hyhkystä, missä linjan tyhjennysventtiili oli koottu tavallisilla kuumasinkityillä pulteilla. Pultit olivat syöpyneet 20 vuodessa. Itse laippaa oli jäljellä, mutta vedenvirtaus oli kuluttanut irtolaipan, niin että siitä ei löytynyt mitään. Kuvasta käy hyvin selville, mistä vesijohtovuoto on aiheutunut, pulteista ei ole tietoaakaan (kuva 24). Alue on vanhaa järven pohjaa Hyhkyssä. Savi tai siltti perusmaana on hyvin sähköä johtavaa ja normaalit kuumasinkityt pultit ovat syöpyneet vajaassa 20 vuodessa. Haponkestävät pultit tai laipaton liitostapa olisi ollut parempi ratkaisu palopostin liittämiseksi vesijohtolinjaan.



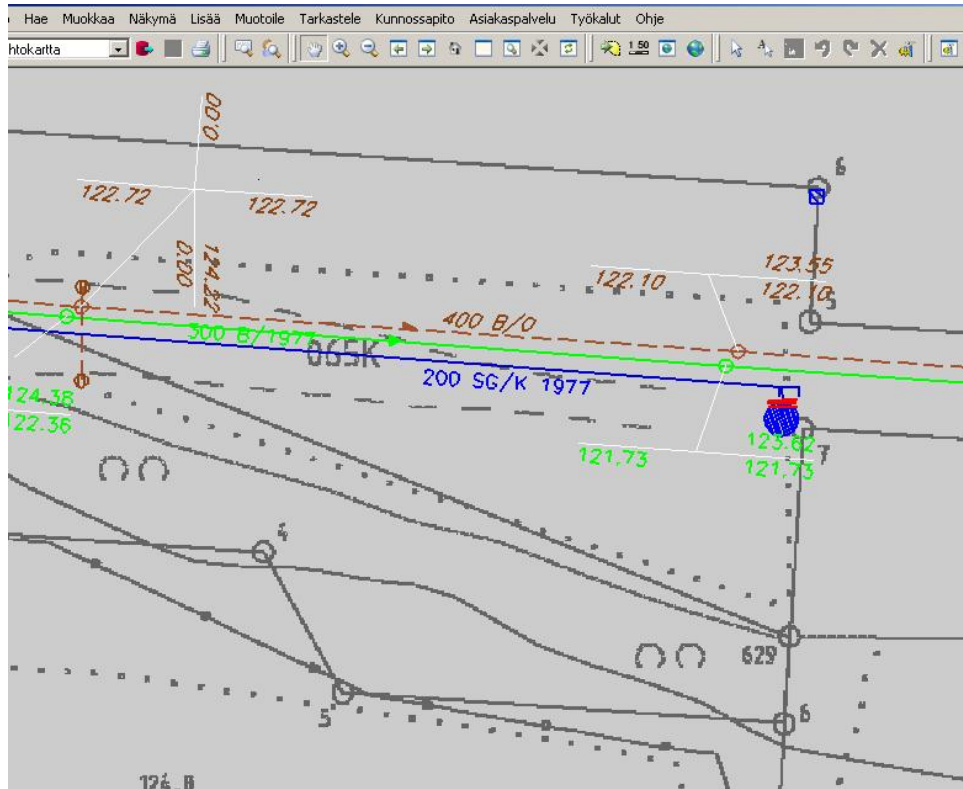
Kuva 25 Karttakuva Hyhkynkadun vuotokohdasta (punainen neliö)



Kuva 26 Saarenkärjenkadun vuotokohta (punainen neliö)

Karttakuvat ovat Hyhkystä ja Saarenkärjestä, yhteistä näille on vesistön läheisyys, ja molemmat ovat olleet jääkauden aikana suolaisessa ja makeassa vaiheessa veden peittämiä, siitä johtuu saven korkea kloridipitoisuus. Saarenkärjenkatu

Palopostin pultit syöpyneet toisen kerran rakennusvuoden 1974 jälkeen. Viimeinen korjaus hoidettiin siten (kuva 26), että paloposti poistettiin käytöstä ja uusittiin jatko n. 2 metriä putkea väliin. Korjaustapa oli asentaa liukumuhvit molempiin jatkokohtiin. Haittana, että palopostia ei ole. Työn tekeminen kesti 2 työpäivää, ja asfaltointi keväällä. Kokonaiskustannukset ovat n. 5 000 €



Kuva 27 Kartta ja valokuva Kytömaankadun päästä

Kadun päässä sijaitsee paloposti, joka oli rakennettu normaalilla tavalla, käyttäen sinkittyjä pultteja. Palopostin pultit syöpyivät maaperässä n. 20 vuodessa. Paloposti on korjattu kaksi kertaa, (kuva 27), ensimmäisellä kerralla pultit korvattiin samanlaisilla sinkityillä pulteilla, ja toisen vuoden jälkeen pultit vaihdettiin haponkestäviin. Vaikka uudessa X-Pipe kartta- ja ominaisuustietojärjestelmässä ei ole kunnossapitotietoja, niin vanhoista vuotoraporteista löytyy tiedot vuodoista. Niiden tiedoissa oli vuodon syyksi ilmoitettu pulttien syöpyminen. Tämän tiedon perusteella alueelta teetettiin maaperäanalyysi, josta ilmeni että sähkönjohtavuus, pohjavesi ja kloridin määrä yhdessä riittivät syövyttämään sinkityt pultit näin nopeasti. Maaperänäytteitä ei vuonna 1972 tutkittu syövyttävyyden kannalta, kairaustuloksista selvitettiin ainoastaan rakennettavuutta. Liite 1 kairausdiagrammi.



Kuva 28 Maaperänäyte

Kytömaankadun (kuva 28) sulfidisavinäyte. Tampereen Teknillinen Yliopisto tutki näytteet, kloridit ja sähkönjohtavuus antoivat tarvittavat vahvistukset, sille kuinka tärkeää on valita materiaalit olosuhteiden mukaan. ( Liite 1).

#### 4.1 Kohteiden pohjaolosuhteet

Kaikille koekohteille on yhteistä se, että ne ovat savimaissa, kaivantojen pohjalla on vettä ja olosuhteet ovat silloin syöpmiselle otolliset. ( Liite 2). Pohjaveden pinta ja muut maaperän olosuhteet on tutkittava jatkossa paremmin.

### 5 VAURIOIDEN TUTKIMINEN

Tausta tähän Lakalaiivassa sijaitsevalle vuotokohteelle oli vian uusi ilmeneminen lyhyen ajan jälkeen. Vesijohtovuodon syyksi ilmeni, että pultit olivat syöpyneet (kuva 28). Pultit ovat n.10 vuotta sitten korjatusta vesijohtovuodosta, jonka korjaustapa oli paikkaussatula, ja pultit ovat kuumasinkittyjä. Vuotokohta sijaitsee Lakalaiivan eritasoliittymän ramppien välissä. alueella sijaitsi aiemmin Tampereen kaupungin jätevedenpuhdistuslaitoksen lietealtaat. Moottoritien rakentamisen yhteydessä maaperäolosuhteet muuttuivat, ojat ja pintavesien valunta hoidettiin sadevesiviemärijärjestelyin. Vanhaa vuonna 1965 rakennettua 250mm päävesijohtoa ei kuitenkaan uusittu. Vesijohto jäi uusien täyttöjen johdosta erittäin syväälle, n.10metriä nykyisen tienpinnan alapuolelle. Vauriot näkyvät hyvin alla olevasta kuvasta. Pulttien syöpyminen on ohentanut pultin, syövyttänyt mutterit ja aluslevyt kokonaan niin että laipat eivät enää pitäneet verkoston painetta. Vuonna 1997 korjatun vesijohtovuodon paikkasatulan pultit olivat syöpyneet hieman yli 10 vuodessa, siten että syntyi uusi vuoto. Pulttien materiaali ei ollut kestänyt maaperän olosuhteita. ( kuva 29).

Postitorvenkadun maaperänäytteet sisälsivät rikkisulfaattia, ja sähkönjohtavuusarvo oli 3,3 ja 4,6 mS/m. Ominaisvastukseksi tulee siten 30303Ωm (ohmi \* m) ja 21739 Ωm. Vertaamalla TTY:n laboratorio arvoihin, ( Liite 1) ei syövyttävyys ollut pääsyy, mutta molemmista näytteistä löytyi rikkisulfaattia ja klorideja. Muuta huomioon otettavaa on se, että näytteenottopiste ei ole aivan vuotokohdalla. Kuitenkin Lakalaivan vanhat lietealtaat ovat sijainneet tällä alueella, ja maaperä on koko alueella saanut osansa klorideista.



Kuva 29 syöpyneitä pultteja

## 5.2 Yhteenveto

Kytömaankatu, Hyhkynkatu, Saarenkärjenkatu, Kumputie ja muutkin edellä mainitut koepisteiden sijainnit ovat vanhaa rantaviivaa tai joen uomaa, ja yhteistä kaikilla oli turve, lieju ja savi. Niiden vaikutuksesta voisi näissäkin tapauksessa todeta, että kloridit, sähkönjohtavuus, jotka ovat savessa ja liejussa turpeessa, pitäisi ohjata valintaa. Kyseisiin kohteisiin pultit uusittiin noin 5-10 vuotta sitten ja odotettavissa on uusi korjaus noin 5 – 10 vuoden sisällä. Vaihtamalla pultit ja silumiinilaippa haponkestäviksi, ei teräksestä tehty pystyputki aiheuta potentiaalieroa. Maaperän aggressiivisuus ei syövytä haponkestävää ainetta niin nopeasti, ja poistamalla palopostista sellaiset osat, jotka ovat epäjalompia, syöpyminen hidastuu. Runkovesijohtona on kuitenkin sg-valurauta, ja se on epäjalompaa kuin teräs, mutta voidaan kuitenkin luottaa putken vahvuuteen ja pinnoitukseen. Oleellinen asia on, että pultin vahvuus sinkittynä ei riitä, ja se on korvattava paremmin syöpymistä kestäväällä materiaalilla. ( Liite 3).

## 6 JOHTOPÄÄTÖSET JA PARANTAMISEHDOTUKSET

### 6.1 Yhteenveto

Suurin säästö saavutetaan kiinnittämällä huomio maaperän olosuhteisiin valintoja tehtäessä. Vaikka mitään suuria taloudellisia laskelmia ei tässä työssä tehtykään, vaan luotettiin pitkäaikaiseen kokemukseen hyvästä rakentamistavasta, ja kuinka pienillä asioilla voidaan saada suuria korjaussäästöjä tulevaisuudessa, valitsemalla kalliimmat ja kestävämmät materiaalit laippoihin, pultteihin, muttereihin ja aluslevyihin. Näennäinen materiaalikustannusten säästö on usein todettu hyvin pieneksi kun tavoitellaan pitkää kestoikää ja huoltovapautta. Paremmilla rakennusmateriaaleilla ja saneeraustekniikoilla, kunnossapidolla ja korjauksilla, jotka tehdään oikeaan aikaan ja kestävillä materiaaleilla oikeassa paikassa mahdollisimman pienin häiriöin kolmannelle osapuolelle, saavutetaan parempi taloudellinen lopputulos. Teettämäni laboratoriokokeet vahvistivat kokemukseen perustuvan tiedon sulfidisten savien syövyttävyydestä. Vanhat järvenranta-alueet, ojien läheisyydet, ovat ainakin niitä alueita joissa rikkiä sulfidimuodossa savissa esiintyy. Maaperänäytteistä saatujen tulosten pohjalta, ja omien kokemusten perusteella voin todeta, että Tampereella on selkeästi huonoja maaperä-olosuhteita, ja ne vaikuttavat varsinkin maahan asennettavien vesijohtojen, ja laippaliitoksien korroosion keston. Laipat, pultit, mutterit ja aluslevyt, ja niiden materiaali ratkaisee kestoian, valitaanko normaali, halvempi sinkitty pultti tai laippa-osa, vai kalliimpi haponkestävä vaihtoehto. Vaihtamalla pultit ja muutkin osat, hinta on n. 44 200 euroa, haponkestäviin osiin kustannukset kasvavat n. 14 prosenttia materiaalin osalta. Mutta koko verkostoyksikön vuosibudjetin kokonaiskustannuksiin haponkestäviin osiin vaihto on vain seitsemän prosentin luokkaa samalla ja saadaan varmuus että liitokset kestävät kaikissa olosuhteissa. Materiaalien menekkitiedot on saatu varastokirjanpidon tiedoista. ( Liite 5).

### 6.2 Parannusehdotukset:

Suunnitteluohjeet Tampereen Veden tapaan:

1. Käytettävä ainoastaan haponkestäviä pultteja kaikissa asennuksissa
2. Valittava putkimateriaali ja pinnoitus olosuhteiden mukaan
3. Laippojen materiaaliksi joko haponkestävä teräs tai epoksinpinnoitettu teräs
4. Valittava saastuneiden maidenläpi kulkeviin laippaliitoksiin myös nitrilikumitiivisteet

Lähdeluettelo:

- 1 Kalkku, Ismo Lukion Kemia 3 – 4. Otava, 1990
- 2 Tampereen Veden vuosikertomus 2006

Sähköiset lähteet:

- 3 Helsingin teknillinen korkeakoulu, Korroosion ja materiaalikemian laboratorio, materiaalitekniikan osasto, oppimateriaali/  
<http://kerppu.hut.fi/opiskelu/materiaali/kurssimateriaali/mak85/mak85111/korr.teor7.maa.pdf/>
- 4 Jarva Jaana, Ikävalko Ossi, Eklund Mikael, Säävuori Heikki, Maaperän rakennettavuusselvitys Lahdesjärvi – Lakalaiva  
[/www.tampere.fi/tiedostot/](http://www.tampere.fi/tiedostot/)
- 5 Mäkinen Henry, Teräsrakennetekniikan erikoistyö, Korroosiomuodot ja -riskit kaksoisjulkisivujärjestelmissä, 29.11.2002  
[/www.tkk.fi/Yksiköt/Rakennus/Teräs/Tutkimus/](http://www.tkk.fi/Yksiköt/Rakennus/Teräs/Tutkimus/)
- 6 Sillan geotekniset suunnitteluperusteet, Tiehallinto/sillat/julkaisu/ Verkkajulkaisu [/www.tiehallinto.fi/julkaisu/](http://www.tiehallinto.fi/julkaisu/)
- 7 Talja, Asko; Törnqvist, Jouko; Kivikoski, Harri; Carpén, Leena, Nippala Eero Ruostumaton teräs maa- ja vesirakentamisessa, 2006 VTT / [www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2006/](http://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2006/)
- 8 Vanhala Heikki, Geofysiikka maa- ja kallioperätutkimuksissa, sovelluksia maankuoren suurrakenteista ympäristönsuojeluun  
[/http://pro.tsv.fi/geofysiikanseura/pdf/gfp2005\\_vanhala.pdf/](http://pro.tsv.fi/geofysiikanseura/pdf/gfp2005_vanhala.pdf/)

Liitteet:

- Liite1: Maaperänäytteet: Nuutti Vuorimies TTY  
Liite2: Kairausdiagrammi Kytömaakadulta  
Liite3: Maaperän sähkönjohtavuus taulukko  
Liite4: Mittausraportti Savonlinnasta, maaperän resistiivisyyden mittauksesta  
Liite5: Hintataulukoita



Liite:1 Maaperänäytteet: Nuutti Vuorimies Tampereen Teknillinen Yliopisto



Tampereen kaupunki  
Suunnittelupalvelut Mittaus- ja geotekniikka  
Harri Ruhala  
PL 487  
33101 Tampere

## KORROOSIOTUTKIMUKSET

Näytteet	11 kpl, näytteenottoaikat Kytömaankatu, Postitorvenkatu, Sarankulmankatu, Kumputie ja Saarenkärjenkatu, (TTY:n työnumero 1894/353/2007). Näytteet saapuivat Matkahuollon välityksellä TTY:lle 24.9.2007 ja osa näytteistä 1.10.2007. Näytteenotto ja näytteen edustavuus on tilaajan vastuulla.
Näytteiden esikäsittely	Näytteet jaettiin testinäytteiksi pH:n, sähkönjohtokyvyn ja kloridisekä kokonaisrikkipitoisuuden määrittämiseksi. Sähkönjohtokyvyn ja pH:n määrittämistä varten testinäytettä kuivatettiin noin 40 °C lämpötilassa. Kloridipitoisuuden määrittämistä varten testinäyte kuivatettiin uudissa 105 °C. Huoneenlämpöön jäähtyneet testinäytteet testattiin. Rikkipitoisuusnäytteet lähetettiin testattavaksi Labtiumiin Espooseen.
Testausmenetelmät	Määrittäykset on tehty Maa- ja pohjarakenteiden laitoksella lukuun ottamatta kokonaisrikkipitoisuuden määrittämistä, joka tehtiin Labtium Oy:ssä rikkianalysaattorilla. Kokonaisrikkipitoisuudesta laskettiin sulfaattipitoisuus olettaen kaiken rikin olevan sulfaattina. pH määritettiin standardin ISO 10390 ja johtokyky standardin ISO 11265 mukaisesti sekä kloridipitoisuus standardin SFS-EN 1744-1 kohdan 7 mukaisesti.
Tulokset	Tulokset on esitetty oheisessa taulukossa. Testit tehtiin 24.9.2007 – 24.10.2007 välisenä aikana. Rikkipitoisuusmäärittäykset näytteistä 6-11 toimitetaan niiden valmistuttua.




Taulukko 1. Tulokset.

Näyte	pH	Johtokyky [mS/m]	Kloridipitoisuus [%]	Rikkisulfaatin määrä (SO <sub>4</sub> ) [%]
Kytömaankatu P. 1 2,0 m, V.Vi/T.Pi 18.9.07	6,40	12,1	0,021	<0,03
Q-max nro:1 syv. 4,2 kierrekaira V.Wa/V.Vi 19.9.2007	6,59	4,8	0,010	0,06
Q-max P 3. 1,40 putki V.Wa/V.Vi 20.9.2007	5,57	10,8	0,016	1,65
Q-max P 3. 1,70 putki V.Wa/V.Vi 20.9.2007	6,14	1,9	0,012	0,03
Q-max P 4. 1,40 putki V.Wa/V.Vi 24.9.2007	7,03	3,4	0,009	<0,03
Postitorvenkatu P 5 0,40 putki V.Wa/V.Vi 25.9.2007	6,50	4,5	0,011	
Postitorvenkatu P 5 1,40 putki V.Wa/V.Vi 25.9.2007	6,98	3,3	0,014	
Sarankulmankatu P 6 2,50 putki V.Wa/V.Vi 27.9.2007	6,68	5,2	0,011	
Sarankulmankatu P 6 3,20 putki V.Wa/V.Vi 27.9.2007	6,64	5,0	0,010	
Kumputie P 7 3,10 putki V.Wa/V.Vi 28.9.2007	6,18	3,9	0,008	
Saarenkärjenkatu P 8 2,30 putki V.Wa/V.Vi 1.10.2007	6,40	2,9	0,008	

Tulokset pätevät ainoastaan testatuille näytteille.  
Testausselostuksen saa kopioida ainoastaan kokonaisuudessaan.

Tutkija

  
Nuutti Vuorimies

## KORROOSIOTUTKIMUKSET

Näytteet 11 kpl, näytteenottoaikat Kytömaankatu, Postitorvenkatu, Sarankulmankatu, Kumputie ja Saarenkärjenkatu, (TTY:n työnumero 1894/353/2007). Näytteet saapuivat Matkahuollon välityksellä TTY:lle 24.9.2007 ja osa näytteistä 1.10.2007. Näytteenotto ja näytteen edustavuus on tilaajan vastuulla.

Tulokset Rikkipitoisuusmääritykset näytteistä 6-11 on esitetty oheisessa taulukossa.

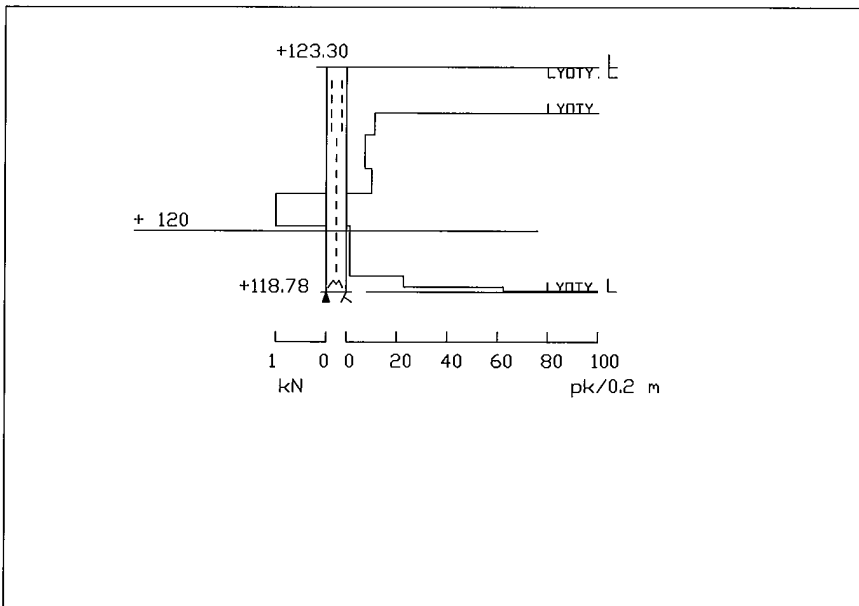
Taulukko 1. Tulokset.

Näyte	Rikisulfaatin määrä (SO <sub>4</sub> ) [%]
Postitorvenkatu P 5 0,40 putki V.Wa/V.Vi 25.9.2007	<0,03
Postitorvenkatu P 5 1,40 putki V.Wa/V.Vi 25.9.2007	<0,03
Sarankulmankatu P 6 2,50 putki V.Wa/V.Vi 27.9.2007	<0,03
Sarankulmankatu P 6 3,20 putki V.Wa/V.Vi 27.9.2007	0,06
Kumputie P 7 3,10 putki V.Wa/V.Vi 28.9.2007	0,51
Saarenkärjenkatu P 8 2,30 putki V.Wa/V.Vi 1.10.2007	0,12

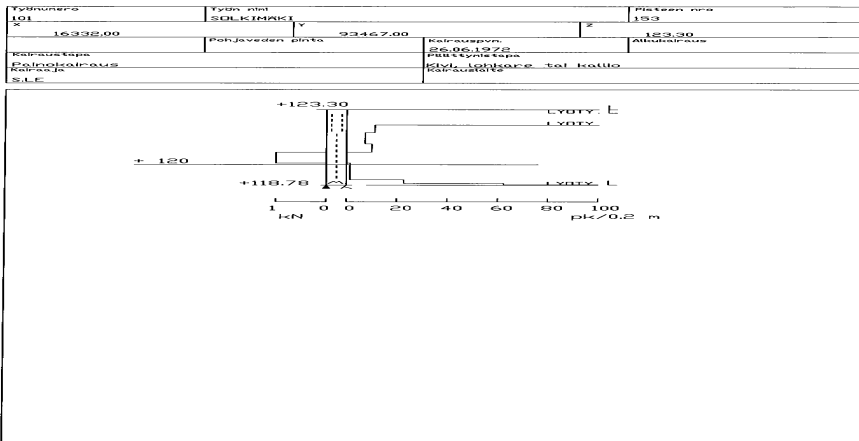
Liite:2 Kairausdiagrammi

01.10.2007

Työnumero 101	Työn nimi SOLKIMÄKI	Pisteen nro 153
X 16332.00	Y 93467.00	Z 123.30
	Pohjaveden pinta	Kairauspvm. 26.06.1972
		Alkukairaus
Kairaustapa Painokairaus		Päättymistapa Kivi, lohkare tai kallo
Kairaaaja S.LE		Kairausloite



01.10.2007



Kairausdiagrammi v. 1972

Liite:3 Maalajien ominaisuustaulukko

Suomalaisten maalajien ominaisvastuksia:

Maalaji Ominaisvastus( ohmi \* cm)  $\Omega$  cm

lieju, turve	2000 - 25000	erittäin syövyttävä
märkä savi	500 – 5000	erittäin syövyttävä
märkä siltti	3000 - 10000	syövyttävä
märkä hiekka	30000 – 200000	ei syövytä
kuiva hiekka, moreeni	100000 -1000000	

Maalajit voidaan lajitella syövyttävyyden mukaan seuraavasti:

- Alhainen riski (hiekkä ja sora, karkeat maalajit, kalkkikivi)
- Suuri riski (suoperäiset maat, savikot)
- Erittäin suuri riski (suoloja tai rikkivetyjä sisältävät maaperät)

Maaperiin ominaisvastuksen mittaaminen vahvistaa ja täydentää muita tutkimustuloksia. Ominaisvastuksen lisäksi korroosioon vaikuttaa maaperän pH, redox-potentiaali, rikkivety ja sulfidit sekä kosteus. / 8/

Liite 4 Mittausraportti

MITTAUSRAPORTTI

31.5.2002

Savonlinnan kaupunki  
Vesilaitos

Yleiskuvaus

Olemassa olevan putkilinjan maaperän resistiivisyyden mittaussuoritus, joka suoritettiin 21.5.2002. Linja on rakennettu vuonna 1984 ja putkimateriaalina on käytetty SG-valurautaa koko DN 200. Kohteessa oli tapahtunut putkirikko aikaisemmin tänä keväänä, jolloin työn tilaajana oleva Savonlinnan kaupunki epäili ko. putkimateriaalin soveltuvuutta kohteeseen.

Tutkittuamme kohteesta poistettua, voimakkaasti syöpynyttä putkea, siitä todettiin puuttuvan sinkkipinnoitteen. Tämä on normaalia ennen rakentamisaikaa valmistetuissa tietyn valmistajan putkissa. Sinkkipinnoitteen puuttuminen heikentää putken korroosionkestokykyä oleellisesti. Vesijohtokäyttöön tarkoitettujen SI-paineputkien pinnoituksen vähimmäisvaatimukset on määritelty EN-545-normin kohdassa 4.4.2.

Mittauksen suorittaminen

Putkilinjan mittaussuoritus suoritettiin ns. Werner-menetelmällä, jossa anturien kautta maahan johdetaan heikko sähkövirta. Anturit sijoitetaan tietyn etäisyyden päähän toisistaan, tällöin anturiparin elektrodien jännite-ero on suoraan verrannollinen maan sähkönvastukseen yhden, kahden ja kolmen metrin syvyydellä maakerroksissa.

Kohteessa mitattiin 230 m:n matka, noin 40 m välein, aloittaen mittaussuoritus kohdasta, jossa putkirikko aiemmin havaittiin. Silmämääräisesti tarkasteltuna maaperä saattaa sisältää syövyttäviä aineosia johtuen laskuojasta, jonka kautta läheisen suon vesiä johdetaan vesistöön. Maaperänäytteitä ei otettu. Vesinäyte otettiin laskuojasta, joka analysoitiin paikallisella vesilaitoksella.

Tulosten analysointi

Mittaustuloksista nähdään mitatun linjan alkupuolen sisältävän korrosioivia maalajeja. Varsinkin 3 m syvyydessä lähestytään 1500  $\Omega$  cm rajaa, jota voidaan pitää raja-arvona erikoispinnoitteiden ja normaalin sinkki-bitumipinnoitteen valinnan välillä. Ylempien maakerrosten vähäisempi sähköjohtavuus selittyy mahdollisesti massanvaihdosta tai pienemmästä maaperän kosteudesta. Mittauksen edetessä ja lähestyttäessä peltoaluetta sähköjohtavuus jälleen kasvaa, ei kuitenkaan raja-arvoon saakka. Vesinäyte oli tavanomainen ko. kohteessa, eikä näin aiheuta lisätoimenpiteitä tai erityistoimenpiteitä mittaustulosten analysoinnissa.

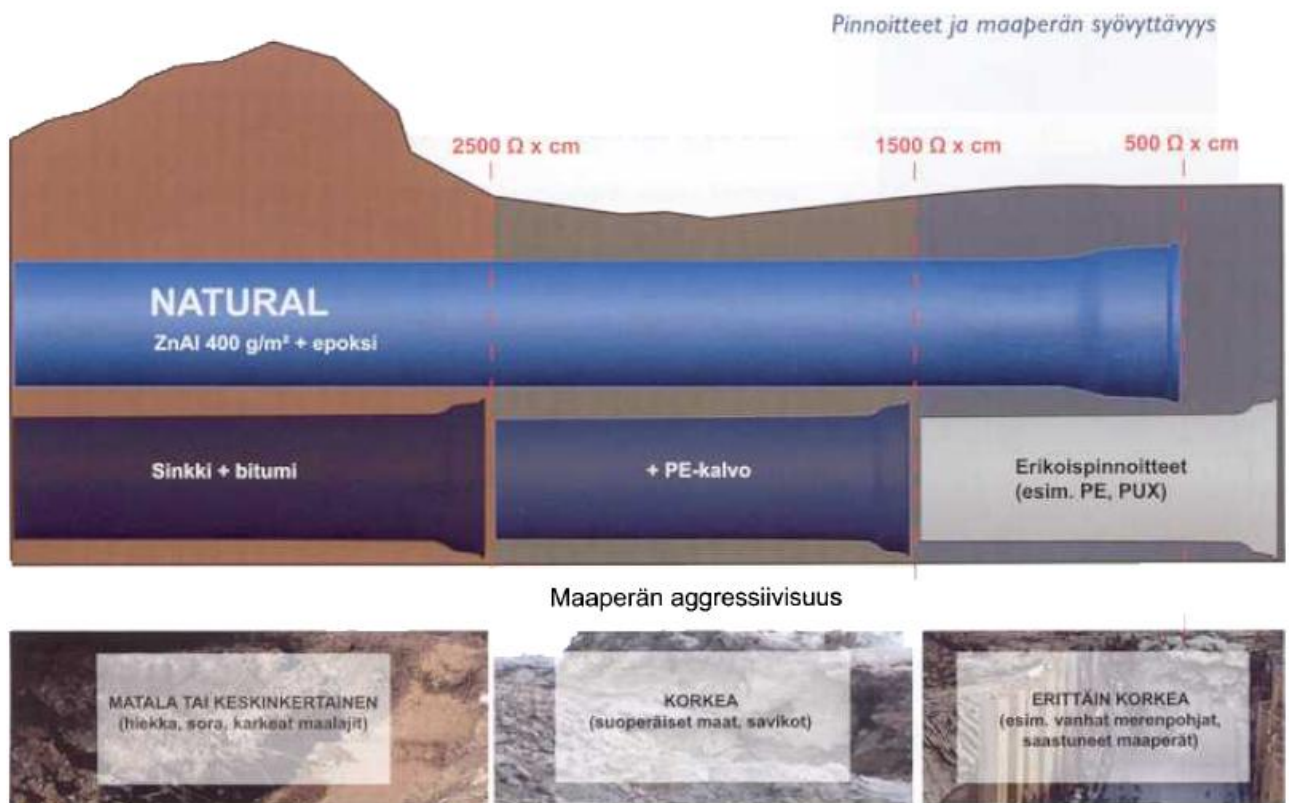
Johtopäätökset

Mikäli halutaan olemassa olevan putken korroosion kestosta ehdoton varmuus, olisi tarpeellista suorittaa analyysi myös maaperänäyttein. Toisaalta syöpyneestä putkesta selkeästi nähtiin vain osan vaurioituneen ja loppuosan olleen täysin moitteettomassa kunnossa. Tämä osaltaan vahvistaa käsityksiä putkikaivannossa paikallisesti virtaavan veden olemassaolosta, josta aiheutuu kyseisen kaltainen syöpymä.

*Tulosten perusteella suosittelemme täysin eristävän PE-pinnoitetun SG-putken käyttöä.*

*Saint-Gobain Pipe Systems Oy*

*Juha Kalliomäki  
Tuotepäällikkö*



Kuva Putkimateriaalin valintakaavio

Liite:5 Hintavertailutaulukko

