



# Kaukolämpölinjojen elinikä ja NDT

Markku Pasonen & Toni Hakkarainen

ISBN 951-38-6605-X (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)  
ISSN 1459-7683 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

Copyright © VTT 2006

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

VTT, Vuorimiehentie 3, PL 1000, 02044 VTT  
puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 4374

VTT, Bergsmansvägen 3, PB 1000, 02044 VTT  
tel. växel 020 722 111, fax 020 722 4374

VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie 3, P.O. Box 2000, FI-02044 VTT, Finland  
phone internat. +358 20 722 111, fax + 358 20 722 4374

VTT, Kemistintie 3, PL 1000, 02044 VTT  
puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 7002

VTT, Kemistvägen 3, PB 1000, 02044 VTT  
tel. växel 020 722 111, fax 020 722 7002

VTT Technical Research Centre of Finland, Kemistintie 3, P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland  
phone internat. +358 20 722 111, fax +358 20 722 7002

Tekijä(t) Pasonen, Markku & Hakkarainen, Toni		
Nimeke <b>Kaukolämpölinjojen elinikä ja NDT</b>		
Tiivistelmä Tarkastusmenetelmien kehitys on luonut edellytykset tarkastaa maanalaisia putkistoja. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Guided wave -menetelmä mahdollistaa tarkastukset, jotka kattavat useita kymmeniä metrejä tarkastuspaikan molemmin puolin.</li> <li>• Putkien sisäpuoliset porsaas kykenevät kulkemaan käyrien läpi ja mahdollistavat putkilinjojen 100-prosenttisen tarkastamisen.</li> <li>• Lämpökameroiden tarkkuus on parantunut, ja lämpökameran avulla vuotokohta voidaan paikallistaa jopa maanpinnalta lämpötilaerojen perusteella.</li> </ul> <p>Putkivuodot aiheuttavat vuosittain suuret kustannukset, ja niiden estäminen ennakoivalla kunnonvalvonnalla voi tuoda suuret säästöt vähentyneen vedenkulutuksen ja parantuneen käyttövarmuuden muodossa.</p> <p>Tutkimuksen aiheena oli selvittää uusien ja olemassa olevien NDT-menetelmien soveltuvuutta maanalaisten kaukolämpöverkkojen kunnonvalvontaan. Tutkimuksen pääpaino on betonielementtikanaavien putkilinjojen korroosionhallinnassa. Tutkimuksessa on lueteltu eri NDT-menetelmiä ja arvioitu niiden vahvuuksia ja heikkouksia. Tutkimuksessa selvitettiin lisäksi mahdollisuutta tarkastaa kaukolämpöputken eristeen muhvi-liitoksen tiiviyyttä ja täyttöastetta.</p> <p>Tutkimuksessa on arvioitu monia eri menetelmiä kaukolämpöputkien korroosion määrittämiseen. Guided wave -menetelmällä tarkastus voidaan suorittaa paikallisella eristeiden purkamisella putken ollessa käytössä. Tämä menetelmä on kuitenkin suhteellisen kallis ja tekniikaltaan monimutkainen.</p> <p>Erilaiset porsaas mahdollistavat suhteellisen nopean putken sisäpuolisen tarkastamisen. Haittana on putken geometriasta johtuvat mahdolliset porsaas paikalleen jumiutumiset ja laitteiden kallis hinta.</p> <p>Putkistokamerat ja endoskoopit mahdollistavat putken sisältä suoritettavat silmämääräiset tarkastukset. Pistokoemaiseen tarkastukseen on olemassa useita röntgenmenetelmiä.</p> <p>Vuotojen paikallistamisessa kaukolämpölinjan rakennusvaiheessa asennettu valokuitukaapeli mahdollistaa nopean ja tarkan vuodon paikannuksen. Lämpökameran käytöllä on mahdollista paikantaa vuotokohta maanpinnalta.</p>		
Avainsanat district heating systems, district heating pipelines, inspection, condition monitoring, non-destructive testing, NDT, guided wave method, leak detection, corrosion, thermal imaging		
ISBN 951-38-6605-X (URL: <a href="http://www.vtt.fi/publications/index.jsp">http://www.vtt.fi/publications/index.jsp</a> )		
Avainnimeke ja ISSN VTT Working Papers 1459-7683 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/publications/index.jsp">http://www.vtt.fi/publications/index.jsp</a> )		Projektinumero
Julkaisuaika Toukokuu 2006	Kieli Suomi	Sivuja 27 s.
Projektin nimi NDT Kauko	Toimeksiantaja(t) Energiateollisuus ry	
Yhteystiedot VTT Kemistintie 3, PL 1000, 02044 VTT Puh. vaihde 020 722 111 Faksi 020 722 7002	Julkaisija VTT PL 1000, 02044 VTT Puh. 020 722 4404 Faksi 020 722 4374	

# Alkusanat

Tämä raportti on tehty NDT-Kauko -projektin perusteella (Kaukolämpölinjojen elinikä ja NDT). Projektin tavoitteena on ollut selvittää NDT-tekniikoiden soveltuvuutta maanalaisten kaukolämpöverkkojen kunnonvalvontaan. Kirjoittajat kiittävät yhteistyöyrityksiä ja erityisesti Veli-Pekka Sirolaa hyvistä neuvoista ja kiinnostuksesta tutkimusta kohtaan.

## Projektiryhmä

- Veli-Pekka Sirola, Energiateollisuus ry
- Antti Saviniemi, Helsingin Energia
- Timo Aho, EON Finland Oyj
- Eero Kiiskinen, Vantaan Energia Oy
- Heimo Iivonen, Tampereen Sähkölaitos
- Toni Aho, Turku Energia Oy
- Olli Lindstam, Lahti Energia Oy
- Reima Lassila, Kuopion Energia
- Petri Flyktman, Jyväskylän Energia Oy
- Matti Niikkula, Vattenfall Kaukolämpö Oy
- Kaj Norrbacka, Oulun Energia.

Espoossa 5.6.2006

## Tekijät

# Sisällysluettelo

Alkusanat.....	4
1. Johdanto .....	6
2. Tavoite .....	7
3. Menetelmät .....	8
3.1 Ultraäänimenetelmät.....	8
3.1.1 Guided wave.....	8
3.1.2 Porsas .....	9
3.1.3 Ultraäänipaksuusmittaus .....	10
3.2 Laserscan .....	11
3.3 Röntgenmenetelmät.....	11
3.3.1 Korroosiokuvaus .....	11
3.3.2 C-kaarokuvaus .....	12
3.4 Magneettiset menetelmät.....	13
3.4.1 Magneettivuotokenttämittaus.....	13
3.4.2 Porsas .....	14
3.5 Pyörrevirtamenetelmät .....	16
3.5.1 Incotest .....	16
3.5.2 Pyörrevirta-liftoff-mittaus .....	17
3.6 Visuaaliset menetelmät.....	18
3.6.1 Endoskooppi.....	18
3.6.2 Putkistokamerat.....	18
3.6.3 Lämpökamera.....	20
3.7 Valokuitukaapeli .....	21
3.8 Vuotokaasu .....	21
4. Muhviliitoksien täyttöasteen ja tiiviiden tarkastaminen .....	22
4.1 Täyttöaste .....	22
4.1.1 Röntgen .....	22
4.1.2 Lämpökamera.....	22
4.2 Tiiviys.....	23
4.2.1 Vuotokoestus.....	23
4.2.2 Tunkeumanestetarkastus .....	23
5. Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset.....	25
Lähdeviitteet.....	26

# 1. Johdanto

Kaukolämmöntuottajilla on hallussaan suuri kaukolämmön jakeluverkko. Jakeluverkko sijaitsee pääosin maan alla. Verkon sijainti maan alla asettaa rajoitteita siirtoputkien kunnan määrittämiselle. Yleisesti käytetyt NDT-tekniikat tarjoavat mahdollisuuden korroosiomääritykselle vain niille putkiosuuksille, joiden luokse on helppo päästä.

## 2. Tavoite

Tässä kirjallisuusselvityksessä selvitetään eri NDT-tekniikoiden soveltuvuutta juuri kaukolämpölinjojen vaativiin kohteisiin. Tutkimuksessa huomioidaan menetelmän sovellettavuus. Tavoitteena on saavuttaa mahdollisimman suuri kattavuus, kohtuullisin kustannuksin. Tutkimuksessa keskitytään betonielementtikanaavissa oleviin siirto- ja jakelujohtoihin, joiden kokoluokka on ulkohalkaisijan suhteen 200 (100) mm – 700 mm ja seinämän vahvuuden suhteen 4 (3,6) mm – 8 mm.

## 3. Menetelmät

### 3.1 Ultraäänimenetelmät

#### 3.1.1 Guided wave

Guided wave on suhteellisen uusi ja kehittyvä tekniikka, jonka avulla putkien korroosionmäärittystä voidaan suorittaa pitkänkin matkan päästä. Putkien pinnalta ei tarvitse purkaa eristeitä muualta kuin luotainpinnan kohdalta, ja putken sijoituksella ei ole merkitystä, onko se avoimessa kanavassa tai haudattu maan alle. Tarkastettavan putken pinnalle laitetaan luotainpanta, joka lähettää ultraääntä putken pituussuuntaan. Putken seinämässä olevat syöpyvät, hitsit, yhteydet ja muut paksuuden vaihtelukohdat heijastavat takaisin ultraääntä, jonka luotainpanta havaitsee. Tietokone käsittelee tulokset ja muodostaa niiden perusteella A-kuvan heijastajista. Tarkastaja analysoi A-kuvassa olevat heijastajat ja määrittelee, ovatko ne syöpyviä vai putken hitsien tai muiden putken geometrioiden aiheuttamia.

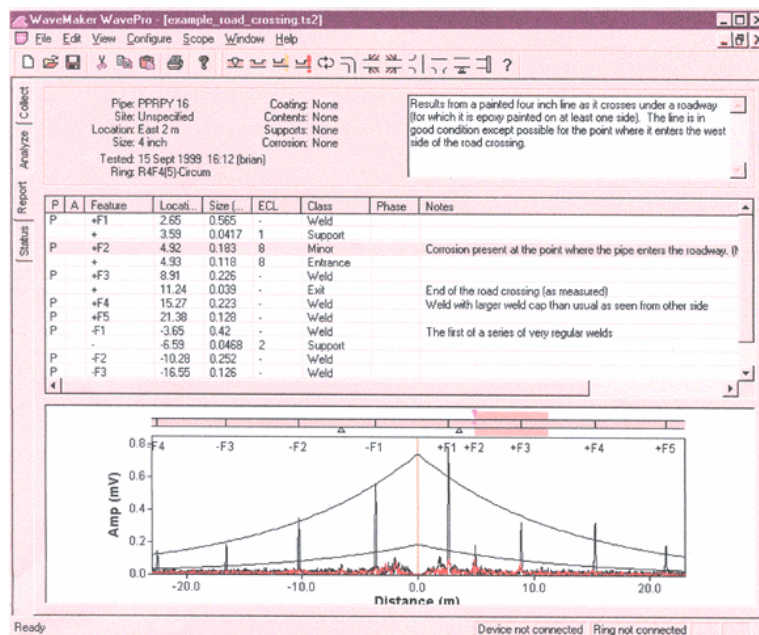
Menetelmän etuna on se, että eristeitä ei tarvitse purkaa muualta kuin luotainpinnan tarvitsemalta alueelta eikä putkea tarvitse tyhjentää tarkastuksen ajaksi. Laitteiden tarvitsema paljas alue on pieni. Päivässä laitteella pystytään tarkastamaan useita satoja metrejä putkea.

Menetelmän käytölle on myös rajoitteita. Putken geometriat, syöpyneisyys ja eristeen tyyppi voivat rajata tarkastuspituuden paljon lyhyemmäksi kuin se voi olla optimiolo-suhteissa. Luotainpanta on suunniteltu ainoastaan yhdelle putkikoolle, joten eri halkaisijoille on oltava oma luotainpantansa. Laitteet ovat kalliita eikä niitä ole Suomessa, laitteita saa vuokrattua ulkomailta. Force Wavemaker -laitteen hinta 20” putkelle on noin 70 000 €, luotainpanta erikseen maksaa noin 7 000–20 000 €, riippuen putken halkaisijasta. Laitteistoa käyttävä henkilöstö vaatii erikoisosaamista ja koulutusta: näiden vaatimusten perusteella pitää olla pelkästään tähän työhön erikoistuneita henkilöitä, jotta he kykenisivät tulkitsemaan luotettavasti tuloksia. [2], [5], [8], [14], [15], [17].





Kuvat 1 ja 2. Kuvissa on luotainpanta kiinnitettyinä mitattavaan putkeen. [13]



Kuva 3. Kuvassa on esitetty ultraääni A-kuva mitatusta putkesta. [7]

### 3.1.2 Porsas

Putkien sisäpuolelta suoritettavaan ultraäänitarkastukseen on kehitetty erikoissovelluksena erilaisia porsaita. Porsas laitetaan putken sisään, ja se kulkee itsenäisesti putkessa olevan aineen vaikutuksesta ja kerää samalla mittaustietoa putken seinämänpaksuudesta. Laitteessa oleva tiedonkeruuyksikkö tallentaa mittausdatan, ja tämä data puretaan laitteesta kun laite on poistettu putkesta. Erityisten ohjelmien avulla data muutetaan havainnolliseen muotoon.

Putkissa olevat venttiilit ja muut laitteet sekä mutkat aiheuttavat rajoituksia porsaan käytölle. Porsaat kykenevät kulkemaan varsin tiukoistakin mutkista esimerkkinä jopa 90° mutka, jonka säde on 1,5 x putkenhalkaisija. Laitteet on yleensä tarkoitettu tietyille putkikoolle, ja erilaisille halkaisijoille on omat laitteensa. Laitteen on myös oltava keskitettyä putkeen, minkä vuoksi laitteen on oltava putken halkaisijan kokoinen.

Menetelmän etuna on tarkastaa nopeasti putkilinja kokonaan 100 %:n tarkastuslaajuudella ja melko vähällä työllä. Laite suorittaa tarkastuksen itsenäisesti, ja tarkastusajon jälkeen tiedot puretaan laitteesta tietokoneelle. Laite sopii hyvin pitkien siirtolinjojen tarkastukseen, edellyttäen että linjassa ei ole supistuksia tai venttiileitä, jotka rajoittaisivat porsaan liikkumista.

Haittana on laitteen kallis hinta. Laite tarvitsee erillisen aseman, jonka kautta se asennetaan putkeen. Ilman tätä asemaa joudutaan putkilinja katkaisemaan ja täyttämään uudelleen. Haittana on myös porsaan mahdollinen jumiutuminen putken käyriin ja muihin mahdollisiin paikkoihin.



*Kuva 4. Kuvassa on ultraääniporsas. [36]*

### **3.1.3 Ultraäänipaksuusmittaus**

Perinteisellä manuaalisella ultraäänipaksuusmittauksella voidaan selvittää putken seinämäpaksuuksia nopeastikin pieneltä alueelta. Isoille alueille tehtynä paksuusmittaus on hidasta, ja se vaatii aina pääsyn paljaalle metallin pinnalle, mikä edellyttää eristeiden purkamisen ja putken esiin kaivamisen. Yksittäisten pienten syöpymien löytäminen on epävarmaa ja hidasta manuaalisella paksuusmittauksella. Ultraäänipaksuusmittauksella voidaan kuitenkin seurata paksuuden muutosta mittaamalla tietyin väliajoin samoista kohdista putken seinämäpaksuus.

Ultraäänipaksuusmittauslaitteet ovat edullisia, ja käyttö on jopa maallikolle mahdollista pienellä koulutuksella, tosin käyttöön liittyy tiettyjä asioita, jotka täytyy huomioida luotettavien tulosten saamiseksi.

## 3.2 Laserscan

Laserscan-menetelmällä skannataan lasersäteellä putken ulkopintaa. Tietokone muodostaa mittausdatasta putken profiilin, jossa näkyvät putken seinämän ulkopuoliset paksuusvaihtelut. Mittausdatasta voidaan muodostaa kolmiulotteinen kuva putken seinämästä. Kuvassa näkyvät selvästi syöpymät ja niiden syvyydet.

Menetelmä on myös nopea verrattuna perinteisiin paksuusmittausmenetelmiin. Haittana on tarkastettavan putken luoksepäästävyys. Putken pinnan täytyy olla näkyvässä ja eristeet on purettava ennen skannauksen tekemistä.



Kuvat 5 ja 6. Kuvassa 5 vasemmalla on meneillään oleva tarkastus. Oikealla kuvassa 6 on syöpyneen putken pinta ja tietokonekuva korroosiosta. [9]

## 3.3 Röntgenmenetelmät

### 3.3.1 Korroosiokuvaus

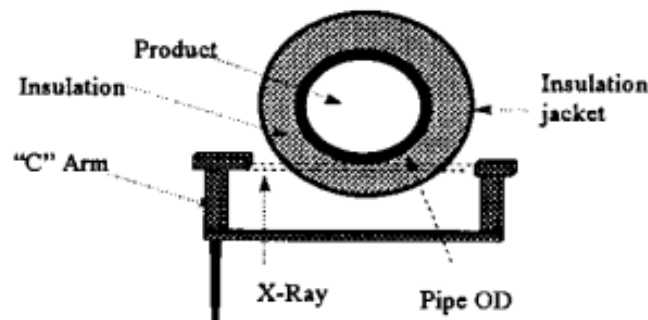
Perinteinen korroosiokuvaus voidaan suorittaa kuvaamalla putki röntgenputkella eristeiden läpi, jolloin röntgenfilmi asetetaan putken vastakkaiselle puolelle kuin röntgenputki. Röntgenkuvassa näkyvät putken syöpymät selvästi, ja seinämänpaksuus voidaan määrittää mittaamalla se putken profiilista. Kuvaamista varten tarkastettavan kohteen on oltava esillä ja putken molempien puolien on oltava näkyvissä. Kuvaus voidaan suorittaa putken ollessa käytössä eikä putken lämpötilalla ole juurikaan vaikutusta kuvattaessa eristeiden läpi. Korroosiokuvaus antaa tietoa vain kuvatusta kohdasta, ja isompien alojen kuvaus on hidasta ja kallista. Pistokoemaisessa tarkastuksessa korroosiokuvaus puoltaa paikkaansa putkien yleiskunnon määrittämisessä. Säteily suojele aiheuttaa kuitenkin rajoituksia korroosiokuvauspaikalle, koska turva-alueen on oltava pääsääntöisesti kymmeniä metrejä kuvauspaikan ympärillä, ja valotusaika on yleensä minuutteja perinteisellä filmillä kuvattaessa.

Digiröntgen-menetelmillä kuvausaikaa voidaan lyhentää huomattavasti verrattuna perinteiseen filmiin. Uusilla flat-panel-menetelmillä kuvausajat ovat vain sekunteja, ja röntgenkuva muodostetaan heti digitaalisesti tietokoneelle. Nämä laitteet antavatkin mahdollisuuden kartoittaa skannaamalla aluetta tarkemmin mahdollisen korroosion löytyessä.

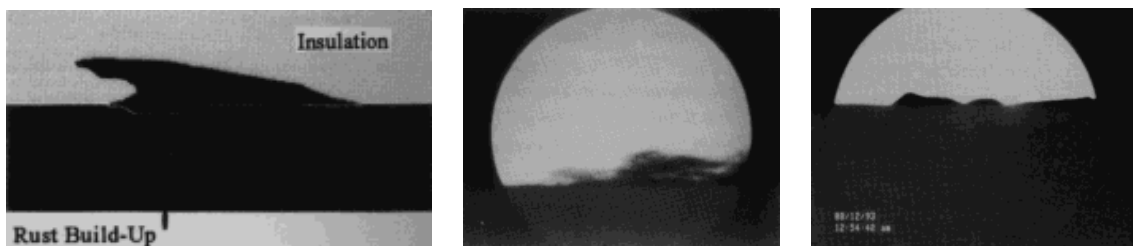
### 3.3.2 C-kaarikuvaus

C-kaarikuvaus on röntgenkuvauksen sovellus, jonka avulla muodostetaan kuva putken ulkopinnan profiilista kuvaamalla putki eristeiden läpi. Laitteessa käytetään matala-energistä säteilylähdettä, jonka säteily läpäisee eristeen mutta ei putken seinämää. Vastaanotin rekisteröi säteilyn, ja se muodostaa välittömästi reaaliaikaisen kuvan monitoriin. Kääntämällä c-kaarta putken säteen suuntaisesti saadaan tarkastettua koko putki ympäriinsä. Laitteella voidaan myös skannata isompia alueita putkesta ja skannauksen tulokset voidaan tallentaa still-kuvana tai videoimalla tarkastus, jolloin tuloksien arviointi voidaan tehdä myöhemmin. Laite soveltuu hyvin nopeaan pistokoemaiseen tarkastukseen, jolloin määritetään yleiskuvaa putken kunnosta.

Menetelmän rajoituksia ovat säteilysuojeluun kuuluvat ja laitteen muotoon liittyvät asiat. C-kaaret on valmistettu tietyille putken halkaisijoille, ja laitteen fyysinen muoto voi rajoittaa käyttöä. C-kaari vaatii tietyn tilan ympärilleen, jotta sitä voi käyttää. Putken on myös oltava näkyvissä C-kaarikuvausta tehtäessä.



Kuva 7. Periaatekuva C-kaarikuvauksesta. [23]



Kuvat 7, 8 ja 9. Kuvissa on esimerkkejä C-kaarikuvauksella havaituista putken profiileista. [23]

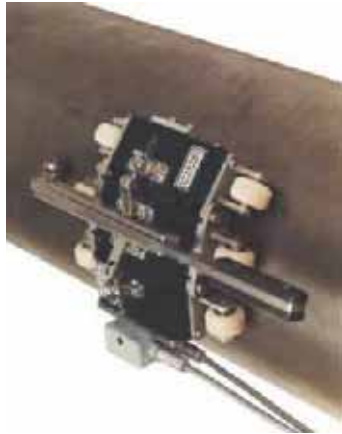


*Kuva 10. Kuvassa on C-kaarikuvauslaite. Laitteeseen kuuluvat myös turvalaseihin liitettävä näyttö ja videotallennuslaitteisto pienellä lcd-monitorilla. [24]*

### **3.4 Magneettiset menetelmät**

#### **3.4.1 Magneettivuotokenttämittaus**

Magneettivuotokenttämittaus perustuu ferromagneettisissa aineissa olevien syöpymien aiheuttamien ulkoisten magneettikentän muutosten mittaukseen. Laitteessa on vahvat kestopalettit, joiden välissä on herkät hall-anturit. Syöpymän kohdalla magneettikentässä tapahtuu muutos, jonka hall-anturit havaitsevat. Havaittuaan nämä muutokset laite antaa ilmoituksen muutoksesta. Kehittyneempiin laitteisiin on kytketty tietokone, joka rekisteröi muutokset ja muodostaa datan perusteella profiilin paksuuden muutoksista tietokannan. Tietokannan tietojen perusteella voidaan muodostaa kuva tarkastetusta alueesta. Menetelmää käytetään hyvin paljon putkistojen ja säiliöiden korroosion kartoittamisessa. Menetelmällä voidaan havaita putkesta tai levystä sekä sisäpuolinen että ulkopuolinen syöpyä. Tarkastettaessa putkea ulkopuolelta on eristeet purettava ennen tarkastusta. Putken ulkopuolista tarkastusta käytetään hyvin paljon öljyteollisuudessa etsittäessä putken sisäisiä syöpyä. [30]



*Kuvat 10 ja 11. Kuvissa on esitetty yksinkertainen putken ulkopuolelta käytettävä laiteisto. Keskusyksikkö antaa valo- ja äänimerkin syöpymän havaittuaan. Varsinainen seinämänpaksuuden määrittäminen suoritetaan muilla menetelmillä, esimerkiksi ultraäänipaksuusmittauksella. [30]*

### 3.4.2 Porsas

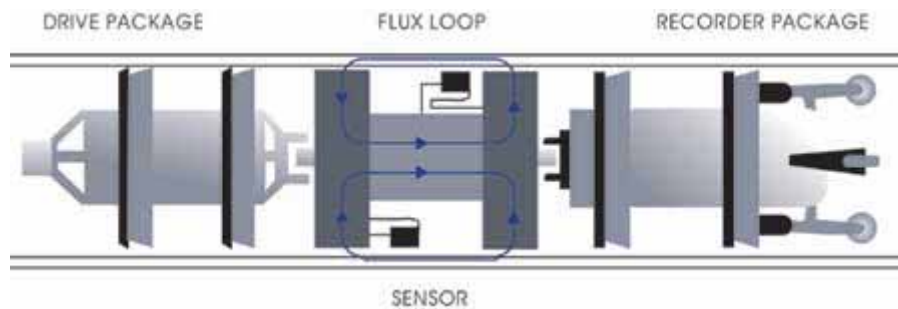
Putkien sisäpuolelta suoritettavaan magneettivuotokenttämittaukseen on kehitetty erikoissovelluksena erilaisia porsaita. Porsas laitetaan putken sisään, ja se kulkee itsenäisesti putkessa olevan aineen mukana ja kerää samalla mittaustietoa putken seinämänpaksuudesta. Laitteessa oleva tiedonkeruuyksikkö tallentaa mittaustietoa, ja tämä data puretaan laitteesta kun laite on poistettu putkesta. Erityisten ohjelmien avulla data muutetaan havainnolliseen muotoon. Laite on samanlainen kuin vastaava ultraääniporsas, mutta tehontarve itse havaintoja tekeväälle osalle on pienempi. Laitteella voidaan suorittaa useiden kilometrien pituisia ajoja, ja pisimmillään on päästy yli 1 000 km:n pituiseen ajoon yhdellä kertaa.

Putkissa olevat venttiilit ja muut laitteet sekä mutkat aiheuttavat rajoituksia porsaan käytölle. Porsaat kykenevät kulkemaan varsin tiukoistakin mutkista, esimerkkinä jopa 90° mutka, jonka säde on 1,5 x putken halkaisija. Laite on yleensä valmistettu tietylle putkikoolle, ja erilaisille halkaisijoille on oma laitteensa. Laitteen on myös oltava keskitettyä putkeen, minkä vuoksi laitteen on oltava putken halkaisijan kokoinen.

GE Energy on suunnitellut myös aivan uuden laitteen joka on tarkoitettu eri halkaisijoille.

Menetelmän etuna on mahdollisuus tarkastaa nopeasti putkilinja kokonaan 100 %:n tarkastuslaajuudella melko vähällä työllä. Laite suorittaa tarkastuksen itsenäisesti, ja tarkastusajon jälkeen tiedot puretaan laitteesta tietokoneelle. Laite sopii hyvin pitkien siirtolinjojen tarkastukseen, edellyttäen että linjassa ei ole supistuksia tai venttiileitä, jotka rajoittaisivat porsaan liikkumista.

Haittana on laitteen kallis hinta. Laite tarvitsee erillisen aseman, jonka kautta se asennetaan putkeen. Ilman tätä asemaa joudutaan putkilinja katkaisemaan ja täyttämään uudelleen. Haittana on myös porsaan mahdollinen jumiutuminen putken käyriin ja muihin mahdollisiin paikkoihin. [3], [6], [21]



Kuva 12. Periaatekuva putken sisällä kulkevasta porsaasta. [1]



Kuvat 13 ja 14. Yllä olevissa kuvissa on esitetty kaksi erilaista porsasta. [4], [22]



Kuva 15. Kuvan porsas on tarkoitettu erilaisille halkaisijoille ja putkille, joissa on venttiileitä. Halkaisija-alue kuvan porsalle on 16–30 tuumaa. [32]

## 3.5 Pyörrevirtamenetelmät

### 3.5.1 Incotest

Incotest on pyörrevirtamenetelmä, jolla mitataan putken seinämänpaksuutta eristeiden läpi. Tarkastus voidaan suorittaa laitoksen käydessä ja putket voivat olla kuumia (< 500 °C). Eristeen täytyy olla epäjohtavaa ja epämagneettista. Eristeen paksuus voi olla jopa 150 mm, kun putken seinämänpaksuus on enintään 12,7 mm. Eristeen päällä olevan suojaepäpellin materiaalin suositellaan olevan alumiinia, ruostumatonta terästä tai galvanoituja terästä. Laitteistoon kuuluu anturiosa ja erillinen mittaustietokone, joiden välikaapeli voi olla jopa 100 m pitkä. Tietokone muodostaa mittaustietoa perusteella mittaustietoa tietyllä alueella oleville syöpien keskimääräiselle syvyydelle. Mittauksen tarkkuus on noin 0,1 mm. Laite soveltuu työskentelyyn ulkoilmassa. Incotestillä voidaan tarkastaa putkea jopa betonin läpi.

Laitteen etu on mahdollisuus nopeasti eristeiden päältä tarkastaa putken seinämänpaksuus. Laitteella voi esimerkiksi tutkia tarkemmin esimerkiksi Guided wave -menetelmällä löydettyä syöpymää.

Menetelmän haittoja ovat eristeiden ja suojaepäpellin materiaalivaatimukset: väärät materiaalit tekevät tarkastuksen mahdottomaksi. Lisäksi putken luokse täytyy päästä, joten maanalaisten putkien on kaivettava esiin. [10], [16], [20]



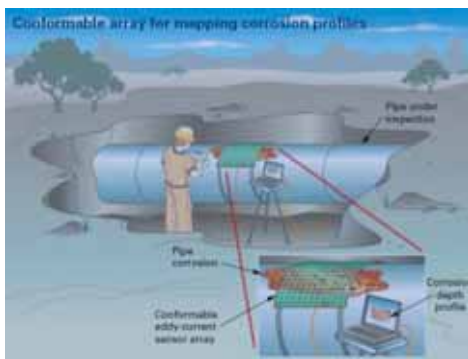
*Kuva 16. Kuvassa Incotest-laite toiminnassa. [12]*



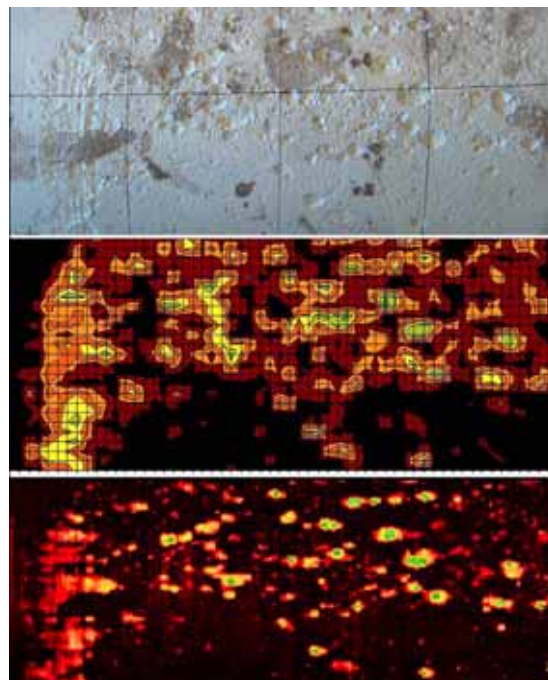
### 3.5.2 Pyörrevirta-liftoff-mittaus

Pyörrevirta-liftoff-mittausmenetelmällä matriisilevyn avulla muodostetaan samanlainen kuva putken pinnan syöpmistä kuin laserscan-menetelmällä. Putken pinnalle asetetaan matriisilevy, ja siihen yhdistetty tietokone muodostaa kuvan putken pinnasta mittausdatan perusteella. Kuvan resoluutio ei ole aivan yhtä hyvä kuin laserscan-menetelmällä luotu kuva.

Menetelmä on nopea verrattuna perinteisiin paksuusmittausmenetelmiin. Haittana on tarkastettavan putken luoksepäästävyys. Putken pinnan täytyy olla näkyvissä ja eristeet on purettava ennen skannauksen tekemistä.



Kuvat 17 ja 18. Kuvassa vasemmalla on kuva mittausjärjestelystä. Oikeassa kuvassa on matriisilevy asennettuna putken pinnalle. [11]



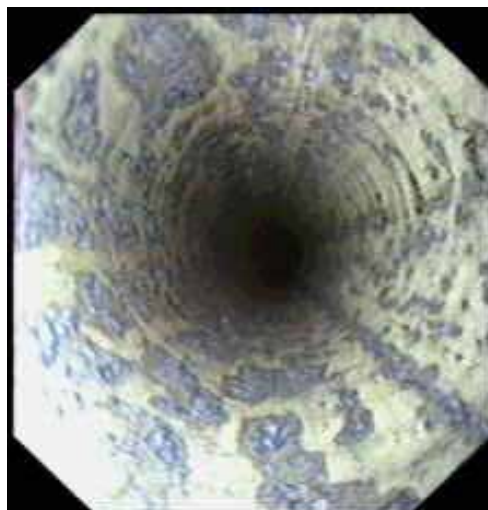
Kuva 19. Kuvassa ylimmäisenä on valokuva putken pinnasta. Keskimmäisessä kuvassa on pyörrevirta-liftoff-menetelmällä muodostettu kuva. Alimmaisena laserscan-kuva samasta paikasta. [11]

## 3.6 Visuaaliset menetelmät

### 3.6.1 Endoskooppi

Endoskoopilla voidaan pienen reiän kautta mennä kohteen sisään ja tehdä kohteen sisäpuolisia havaintoja. Laitteistoon kuuluu kaapeli, jonka päässä on pieni kamera. Kaapelin päässä olevaa kameraa voidaan käänellä erisuuntiin. Laitteistoon kuuluvat myös näyttöruutu, ohjain ja kaapelinkelauslaitteisto ja lisäksi mahdolliset tallennuslaitteistot. Endoskoopilla voi ottaa still-kuvia ja myös nauhoittaa videokuvana koko kuvausjakso.

Kuvanlaatu on nykyisissä laitteissa erinomainen, ja laitteilla voi myös mitoitaa kohteiden dimensioita, jota on hankalaa suorittaa pelkän kuvan perusteella suuren suurennoksen ja pienen kuva-alan vuoksi. Laitteiden käyttö ei tarvitse niin suurta asiantuntemusta kuten monet NDT-menetelmät vaativat.



*Kuvat 20 ja 21. Kuvassa nykyaikainen endoskooppilaitteisto ja endoskooppikuva putken sisältä. [33]*

### 3.6.2 Putkistokamerat

Putkistokamera on suunniteltu putkien sisäpuoliseen tarkastukseen. Laitteisto on periaatteeltaan samanlainen kuin endoskooppi, mutta kaapeli ja kuvapää ovat erilaisia. Kaapeli on paljon jäykempi kuin endoskoopissa, koska kaapelin tarkoituksena on työntää isoa kameraosaa eteenpäin putkessa. Kameraosa on halkaisijaltaan useita senttimetrejä eikä kameraa voi kaikissa malleissa käänellä. Putkistokamera tarvitsee ison sisäänmenoaukon ja mielellään suurihalkaisijaisessa putkessa suoran sisäänmenon kaapelille, jottei kaapelissa olisi mutkaa heti sisäänmenon jälkeen. Tämä sen takia, jotta kaapeli jaksaisi työntää kameraosaa edellään. Putkistokameroissa on usein laitteisto, jolla voidaan tallentaa videokuvana koko tarkastusjakso.

Putkistokameroista on myös malleja, joissa kameraosassa on vetävät pyörät. Laitteen periaate on sama kuin putkistokamerassa, erona on se että kaapeli ei ole jäykkä, ja vau-  
nussa olevaa kameraa voidaan myös käännellä. Kameraosan koko aiheuttaa sen, että yleensä putkeen sisäänmeno suoritetaan aukaistun laippaliitoksen kautta. Tätä laitetta voi käyttää myös muissakin kohteissa kuin putkistoissa. Betonikanavassa laitteella voi-  
daan tarkastaa eristeiden kuntoa ja yleistä näkymää pitkienkin matkojen päästä.

Putkistokameroiden kuvanlaatu on hyvä, ja ne ovat yksinkertaisia laitteita käyttää. Niillä voi nopeasti tarkastaa sisäpuolisesti pitkiä matkoja putkea. Haittana jäykissä laitteissa on, että kamerapäätä ei voi käännellä kuten endoskoopeissa. Tämä haitta tosin on pois-  
tettu traktorivetoisissa laitteissa. Niissä kamera on yleensä käännettävä, ja sillä voidaan myös tarkentaa ja zoomata.



*Kuvat 22 ja 23. Vasemmassa kuvassa on putkistokameralaitteisto. Oikeassa kuvassa on putkistokameran kamerapäätä. [34], [18]*



*Kuvat 24 ja 25. Kummassakin kuvassa traktorivetoinen putkistokamera. [1], [35]*

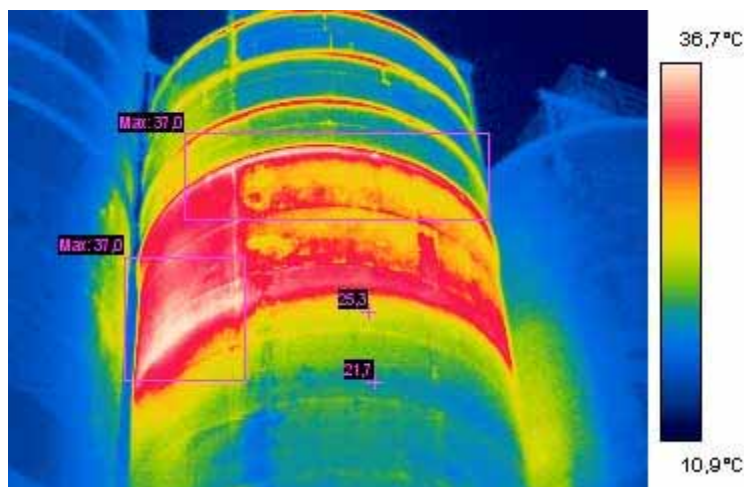
### 3.6.3 Lämpökamera

Eristevauriot voivat aiheuttaa isoja ongelmia. Lämpökameralla voidaan tarkastaa eristeiden kunto ja vuotopaikat nopeasti. Lämpökameralla mitataan kohteen pinnan lämpötilaa. Putkivaurion vioittamassa kohdassa eristeen pinnalla lämpötila muuttuu, ja tämä muutos voidaan havaita lämpökameralla. Lämpökameroiden resoluutiot ovat kehittyneet paljon, ja nykyisillä kannettavilla laitteilla päästään jo alle 0,1 °C:n tarkkuuksiin. Isoissa vuotoissa lämpökameralla voidaan havaita vuoto kohta maanpinnan lämpötilan nousuna.

Näiden laitteiden etuna on käytön helppous ja pieni koko. Tarkoilla laitteilla voi erottaa pienetkin pintalämpötilan muutokset. Vuotokohtia voi paikantaa myös kuvaamalla maanpinnan lämpötilan muutoksia. Kohteeseen täytyy olla näköyhteys, jotta mittaus onnistuu luotettavasti.



Kuva 26. Pieni kannettava lämpökamera. [25]



Kuva 27. Lämpökameralla kuvattu kaukolämpöputken vuotokohta. [37]



*Kuva 28. Helikopterista käsin saadaan kaupunkien kaukolämpöverkoston kunnosta kokonaiskäsitys. Vesivuodot pystytään paikallistamaan ja välttämään työläältä ja kalliilta katujen aukaisemiselta. [19]*

### **3.7 Valokuitukaapeli**

Valokuitukaapelia voidaan käyttää putkistojen vuotojen paikallistamisessa. Valokuitukaapeli asennetaan kaukolämpöputken eristeen pintaan putken rakennusvaiheessa. Menetelmä perustuu lämpötilan mittaamiseen. Valokuitukaapeliin lähetetään valopulsseja, jotka heijastuvat takaisin lämpötilan vaikutuksesta. Heijastuksen muodostaman spektrin perusteella muodostetaan tieto lämpötilasta ja kohteen etäisyydestä, minkä perusteella muodostetaan lämpötilakäyrä koko kaapelin pituudelta. Lämpötilakäyrän muutoksien perusteella voidaan paikallistaa mahdollinen vuotokohta hyvin tarkasti, mikä rajaa kaivamisen pienelle alueelle.

### **3.8 Vuotokaasu**

Vuotokaasun avulla voidaan paikallistaa putken vuotokohta tarkasti, mikäli kaasu pääsee vuotokohdasta maanpinnalle. Putki joudutaan tyhjentämään ja täyttämään vuotokaasulla, joka vuotokohdasta tunkeutuu putken ulkopuolelle. Vuotokohta havaitaan etsimällä kaasua maanpinnalta erityisten haistajien avulla. Betonielementtikanaavissa vuotokaasu voidaan paikallistaa kaivojen kautta, mikä aiheuttaa sen, että tarkka vuotokohta voi jäädä määrittämättä. Pitkien putkien tarkastuksissa ongelmaksi muodostuu kaasun määrän suuri tarve.

Betonielementtien saumakohtien tiiviyyden tarkastaminen on mahdollista myös vuotokaasujen avulla. Ongelmana ovat vuotokaasun aiheuttamat väärät indikaatiot, koska kaasu läpäisee kaikki mahdolliset vuotokohdat. [27]

## 4. Muhviliitoksien täyttöasteen ja tiiviyyden tarkastaminen

### 4.1 Täyttöaste

#### 4.1.1 Röntgen

Muhviliitoksien eristeen täyttöaste voidaan todeta kuvaamalla liitos vaakasuunnassa pienellä energialla. Röntgenkuvassa näkyy selvästi, onko vaahdotettu eriste täyttänyt tilan vai onko täyttö jäänyt vajaaksi. Perinteisillä filmeillä kehitys vaatii oman aikansa. Nykyisillä digiröntgen-menetelmillä voidaan vähentää valotusaikoja, ja flat-panel -laitteilla otettu kuva muodostuu välittömästi tietokoneelle. Tämä ominaisuus mahdollistaa sen, että kohteesta voidaan ottaa uusia kuvia heti ja alue voidaan skannata mahdollisten syöpymien kartoittamiseksi.



*Kuva 29. Kuvassa pienikokoinen flat-panel -laitteisto. [29]*

#### 4.1.2 Lämpökamera

Lämpökameralla täyttöasteen vajoaus voidaan todeta pintalämpötilan erona samalla lailla kuin putken vuotokohdan etsimisessä. Tarkastus edellyttää, että putki on otettu käyttöön ja liitos on näkyvissä.

## 4.2 Tiiviys

### 4.2.1 Vuotokoestus

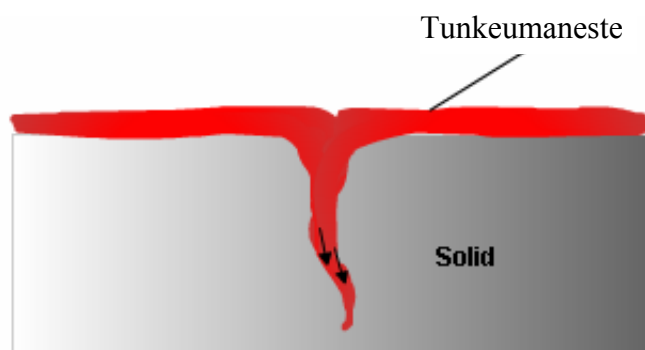
Vuotokoestuksella muhviiliitoksen tiiviiden tarkastus tapahtuu usealla eri menetelmällä. Ensimmäisessä menetelmässä vaahdotettava tila paineistetaan pieneen ylipaineeseen ennen vaahdotusta. Tämän jälkeen liitos tarkastetaan ulkopuolelta vuototesterillä, joka näyttää kuplimisena mahdolliset vuodot.

Toinen menetelmä on suorittaa imulaatikkotestaus. Imulaatikkotestauksessa muhviiliitoksen pinnalle ruiskutetaan vuototesteriä, minkä jälkeen imulaatikko laitetaan liitoksen päälle ja laatikkoon imetään alipaine. Mahdolliset vuotokohdat näkyvät kuplimisena liitoksessa.

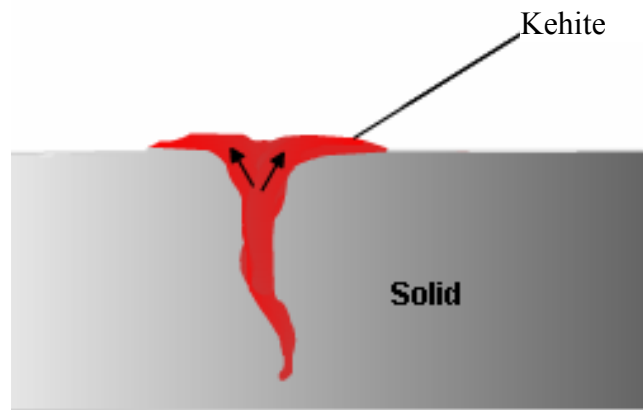
Kolmas menetelmä on käyttää merkkikaasua. Menetelmä on samanlainen kuin ensimmäinen menetelmä, mutta liitoksen sisään laitetaan ilman sijasta merkkikaasua. Merkkikaasu kulkeutuu mahdollisista liitoksen vuotokohdista läpi, ja se havaitaan erillisellä haistajalla.

### 4.2.2 Tunkeumanestetarkastus

Tunkeumanestetarkastuksen periaate on hyvin yksinkertainen, ja tarkastuksen suoritus on halpa ja helppo omaksua. Liitos täytyy puhdistaa hyvin ennen tarkastusta. Tämän jälkeen liitoksen pinnalle ruiskutetaan tunkeumanestettä, jonka annetaan vaikuttaa liitoksessa tietyn ajan: noin 15–60 minuuttia lämpötilasta riippuen. Tällöin tunkeumaneste tunkeutuu mahdollisiin rakoihin ja täyttää ne. Tunkeuma-ajan jälkeen liitos pestään vedellä tai liuottimella, jotta ylimääräinen tunkeumaneste poistuu kappaleen pinnoilta mutta ei poistu vioista. Pinta kuivataan ja kuivalle pinnalle ruiskutetaan kehiteä. Kehite imee mahdollisiin rakoihin jääneen tunkeumanesteen pois, ja esimerkiksi pitkänomaiset raot näkyvät punaisena viivana valkeassa kehiteessä. Kehite myös suurentaa vian muodostaman näyttämän, ja se havaitaan paremmin.



Kuva 30. Tunkeumaneste imeytyy halkeamaan. [26]



*Kuva 31. Kehite imee tunkeumanesteen halkeamasta. [26]*



## 5. Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset

Maanalaisten putkien kunnonmääritys on hyvin haasteellinen tehtävä, johon ei ole ollut olemassa hyviä menetelmiä. Monet menetelmät vaativat, että tarkastuskohde on esillä ja käsin kosketeltavissa. Guided wave -menetelmä ja putkien sisäiset porsaat mahdollistavat putkilinjojen tarkastamisen ilman suurempaa putken esiin kaivamista. Lämpökameralla voidaan myös etsiä vuotokohtaa mittaamalla maanpinnan lämpötilaeroja. Pistokoemaisia tarkastuksia voidaan suorittaa monella eri menetelmällä: esimerkiksi kaivon kautta tai näkyvillä olevista putkiosuuksista. Röntgenkorroosiokuvaus, C-kaarokuvaus ja Incotest-tarkastus voidaan tehdä pistokoemaisesti esimerkiksi kaivojen kautta putken ollessa käytössä.

Guided wave -menetelmällä voidaan tarkastaa useita kymmeniä metrejä putkea molempiin suuntiin pinnan kiinnityskohdasta mitattuna. Tarkastettavaan matkaan vaikuttavat monet tekijät, kuten putken kunto, eriste ja mahdolliset mutkat. Guided wave -menetelmää on käytetty yhdessä Incotest-laitteen kanssa, jolloin Guided Wave -laitteella löydettyt mahdolliset syöpymät on paikallistettu ja tarkastettu tarkemmin Incotestillä purkamatta eristeitä. Ruotsissa Guided wave -tekniikasta on tehty tutkimus, jonka tulokset ovat saatavissa Internetistä. [28]

Vuotojen paikallistaminen on kunnonmääritykseen verrattuna huomattavasti vaativampi toimenpide. Guided wave -menetelmällä voi etsiä luoksepääsemättömistä paikoista vuotoa, ongelmana on se, että luotettava tarkastusetaisyys on vain muutamia kymmeniä metrejä. Porsaat mahdollistavat pitkien matkojen tarkastamisen, edellyttäen että porsas voi edetä putkessa juuttumatta käyriin ym. putken muotoihin. Valokuitukaapeli putkeen asennettuna on nopea ja suhteellisen tarkka menetelmä vuodon paikallistamisessa. Lämpökamera on nopea ja yksinkertainen menetelmä, edellyttäen että lämpökameralla saadaan suora näköyhteys putkeen tai että lämpö johtuu maanpintaan, josta havaitaan maanpinnan lämpötilan muutos. Vuotokaasumenetelmät voivat tietyissä olosuhteissa puoltaa paikkaansa vuotokohtien paikantamisessa.

Eri menetelmien yhteiskäyttö voi monessa tilanteessa nopeuttaa tarkastusta ja antaa mahdollisuuden varmentaa toisella menetelmällä tehtyä havaintoa.

## Lähdeviitteet

- [1] <http://www.ndt-ed.org/AboutNDT/SelectedApplications/PipelineInspection/PipelineInspection.htm>
- [2] <http://www.plantintegrity.co.uk/>
- [3] <http://www.pitchford-in-line.co.uk/>
- [4] [http://www.dextermag.com/Content/Documents/DS\\_Pipeline.pdf](http://www.dextermag.com/Content/Documents/DS_Pipeline.pdf)
- [5] <http://www.guided-ultrasonics.com/index.html>
- [6] <http://www.hydrocarbons-technology.com/contractors/pipes/psl/>
- [7] <http://www.ndtequipment.co.uk/GuidedWave.html>
- [8] <http://www.me.gatech.edu/Diagnostics/A2.PDF>
- [9] <http://www.rtd-group.com/algemeen/pdf/20060102130702.pdf>
- [10] <http://www.toandi.co.jp/incotest.htm>
- [11] [http://www.clockspring.com/Technical%20Papers\\_files/Tech%20Papers/ConformableArray111604.pdf](http://www.clockspring.com/Technical%20Papers_files/Tech%20Papers/ConformableArray111604.pdf)
- [12] [http://www.pndt.com.au/files/brochure/14\\_14\\_BR-005REV1Incotest.pdf](http://www.pndt.com.au/files/brochure/14_14_BR-005REV1Incotest.pdf)
- [13] <http://www.teamindustrialservices.com/mis/gul.html>
- [14] [http://www.twi.co.uk/j32k/unprotected/band\\_1/sitg\\_guidedwaves.html](http://www.twi.co.uk/j32k/unprotected/band_1/sitg_guidedwaves.html)
- [15] <http://www.mbinspection.co.uk/index/longrangeultrasonics>
- [16] <http://www.rtd.nl/en/diensten/1020103.html>
- [17] <http://www.force.dk/NR/rdonlyres/D51E1E62-E7C5-4EE1-B22A-454FB478C8D7/529/26791en3.pdf>
- [18] <http://www.trenchless.org/predator.htm>
- [19] <http://www.tarkastuskeskus.fi/kalusto.htm>

- [20] [http://www.gepower.com/prod\\_serv/serv/pipeline/en/about\\_pipelines/pipe\\_pig\\_faq.htm](http://www.gepower.com/prod_serv/serv/pipeline/en/about_pipelines/pipe_pig_faq.htm)
- [21] [http://www.tdwilliamson.com/pigtdw/pipe\\_pig.html](http://www.tdwilliamson.com/pigtdw/pipe_pig.html)
- [22] [http://www.gepower.com/prod\\_serv/serv/pipeline/en/insp\\_srvcs/metal\\_loss/smartscan/index.htm](http://www.gepower.com/prod_serv/serv/pipeline/en/insp_srvcs/metal_loss/smartscan/index.htm)
- [23] <http://www.ndt.net/article/0298/twomey/twomey.htm>
- [24] [http://cmosxray.com/PDFS/PrdctSht\\_OVIIICarm\\_2-06.pdf](http://cmosxray.com/PDFS/PrdctSht_OVIIICarm_2-06.pdf)
- [25] <http://www.sintrol.com/>
- [26] <http://www.ndt-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/PenetrantTest/Introduction/history.htm>
- [27] G.R. Jones. Distributed fibre optic sensors (1989).
- [28] <http://www.svenskfjarrvarme.se/download/1578/FoU%202004%20106%20invinpek.pdf>
- [29] <http://www.vidisco.com/>
- [30] <http://www.silverwinguk.com/>
- [31] [http://www.pitchford-in-line.co.uk/POF%20specs%20V3\\_2%20January%202005.pdf](http://www.pitchford-in-line.co.uk/POF%20specs%20V3_2%20January%202005.pdf)
- [32] [http://www.gepower.com/prod\\_serv/serv/pipeline/en/downloads/smartscan\\_us.pdf](http://www.gepower.com/prod_serv/serv/pipeline/en/downloads/smartscan_us.pdf)
- [33] <http://www.olympusindustrial.com/>
- [34] <http://www.ridgid.com/tools/seesnake/>
- [35] <http://www.municipalequipment.com/sewercamera.html>
- [36] [http://www.tno.nl/industrie\\_en\\_techiek/productieoptimalisatie\\_in/stromingsdynamica/flow\\_centre/sensors\\_and\\_instrumentati/ultrasonic\\_inspection\\_of/](http://www.tno.nl/industrie_en_techiek/productieoptimalisatie_in/stromingsdynamica/flow_centre/sensors_and_instrumentati/ultrasonic_inspection_of/)
- [37] <http://www.infradex.com/sovellukset.html>

## VTT Working papers

- 32 Korhonen, Timo & Hietaniemi, Jukka. Fire Safety of Wooden Façades in Residential Suburb Multi-Storey Buildings. 2005. 66 p. + app. 40 p.
- 33 Pötry, Jyri, Törmälä, Aarno, Salo, Raija & Hemilä, Jukka. Toimitusketjun hallinnan ja hankinnan toimintamalleja Italiassa. Vierailukokemuksia keväältä 2005. 2005. 32 s. + liitt. 4 s.
- 34 Leppälä, Kari, Kääriäinen, Jukka, Takalo, Juha & Savolainen, Pekka. Challenging global competition: tune up your product development. 2005. 36 p.
- 35 Rosqvist, Tony. Fatigue Analysis for Fleet Management using Bayesian Networks. 2005. 25 p.
- 36 Forsström, Juha, Lehtilä, Antti. Skenaarioita ilmastopolitiikan vaikutuksista energiatalouteen. 2005. 71 s. + liitt. 9 s.
- 37 Hietaniemi, Jukka & Rinne, Tuomo. Tulipalojen yksittäispäästöt ilmaan: laskennallinen lähestymistapa. 2005. 78 s.
- 38 Kevarinmäki, Ari, Oksanen, Tuuli & Yli-Koski, Rainer. Ruostumattomasta teräksestä valmistettujen puurakenteiden liitosten suunnittelu. Yleiset ohjeet ja palomitoitus. 2005. 51 s. + liitt. 12 s.
- 39 Mroz, Arkadiusz & Kärnä, Tuomo. Mitigation of ice loading. Feasibility study of semi-active solution. 2005. 34 p.
- 40 Paloposki, Tuomas, Tillander, Kati, Virolainen, Kimmo, Nissilä, Minna & Survo, Kyösti. Sammutusjätevedet ja ympäristö. 2005. 75 s. + liitt. 10 s.
- 41 Hietaniemi, Jukka. Probabilistic simulation of glass fracture and fallout in fire. 2005. 88 p. + app. 33 p.
- 42 Belloni, Kaisa, Villberg, Kirsi, Tillander, Kati, Saarela, Kristina & Paloposki, Tuomas. Tulipalon jälkihajujen poisto. 2005. 124 s.
- 43 Tsupari, Eemeli, Tormonen, Kauko, Monni, Suvi, Vahlman, Tuula, Kolsi, Aimo & Linna, Veli. Dityppioksidin (N<sub>2</sub>O) ja metaanin (CH<sub>4</sub>) päästökertoimia Suomen voimalaitoksille, lämpökeskuskille ja pienpoltolle. 2006. 94 s. + liitt. 7 s.
- 44 Saarinen, Jani, Rilla, Nina, Loikkanen, Torsti, Oksanen, Juha & Alasaarela, Jaakko. Innovaatioympäristö tänään ja huomenna. 2006. 32 s.
- 45 Heinonen, Jaakko. Preliminary Study of Modelling Dynamic Properties of Magnetorheological Fluid Damper. 2006. 36 p.
- 46 Häkkinen, Kai & Salmela, Erno. Logistiikkapalveluyhtiömalleja Suomen metalliteollisuudessa. Havainnot vuonna 2005. SERVIISI-projektin osaraportti. 2006. 17 s.
- 47 Kurtti, Reetta & Reiman, Teemu. Organisaatiokulttuuri logistiikkapalveluorganisaatiossa. Tutkimus viidessä palveluvarastossa. 2006. 30 s.
- 48 Soimakallio, Sampo, Perrels, Adriaan, Honkatukia, Juha, Moltmann, Sara & Höhne, Niklas. Analysis and Evaluation of Triptych 6. Case Finland. 2006. 70 p. + app. 8 p.
- 49 Saarinen, Jani, Rilla, Nina, Loikkanen, Torsti, Oksanen, Juha & Alasaarela, Jaakko. Innovation environment today and tomorrow. 2006. 32 p.
- 50 Törnqvist, Jouko & Talja, Asko. Suositus liikennetärinän arvioimiseksi maankäytön suunnittelussa. 2006. 46 s. + liitt. 33 s.
- 51 Aikio, Sanna, Grönqvist, Stina, Hakola, Liisa, Hurme, Eero, Jussila, Salme, Kaukoniemi, Otto-Ville, Kopola, Harri, Käsäkoski, Markku, Leinonen, Marika, Lippo, Sari, Mahlberg, Riitta, Peltonen, Soili, Qvintus-Leino, Pia, Rajamäki, Tiina, Ritschkoff, Anne-Christine, Smolander, Maria, Vartiainen, Jari, Viikari, Liisa & Vilkmann, Marja. Bioactive paper and fibre products. Patent and literary survey. 2006. 83 p.
- 52 Alanen, Raili & Hätönen, Hannu. Sähkön laadun ja jakelun luotettavuuden hallinta. State of art -selvitys. 2006. 84 s.
- 53 Pasonen, Markku & Hakkarainen, Toni. Kaukolämpölinjojen elinikä ja NDT. 2006. 27 s.