

Niko Tuominen

# Maakaasun siirtoputkiston sisäpuolisen tarkastuksen tulosten yhdistäminen paikkatietojärjestelmään

Opinnäytetyö  
Energiatekniikka

2017



**Kaakkois-Suomen  
ammattikorkeakoulu**

<b>Tekijä/Tekijät</b>	<b>Tutkinto</b>	<b>Aika</b>
Niko Tuominen	Insinööri (AMK)	Toukokuu 2017
<b>Opinnäytetyön nimi</b>		
Maakaasun siirtoputkiston sisäpuolisen tarkastuksen tulosten yhdistäminen paikkatietojärjestelmään		49 sivua 12 liitesivua
<b>Toimeksiantaja</b>		
Gasum Oy		
<b>Ohjaaja</b>		
Lehtori Tuomo Pimiä, Paikkatietoinsinööri Jani Ahola		
<b>Tiivistelmä</b>		
<p>Yritysten toiminnan tehostamiselle, millä tahansa alalla, on koko ajan enemmän mahdollisuuksia ja paineita tekniikan kehittyessä ja digitalisaation edetessä. Kunnossapidon ja kunnonvalvonnan kannalta tämä tarkoittaa mm. toimintavarmuuden parantamista ja kustannusten minimoimista. Yksi lukuisista mahdollisuuksista on paikkatietoisuuden yhdistäminen toimintaan.</p> <p>Tässä opinnäytetyössä oli tavoitteena tutkia mahdollisuuksia yhdistää Gasum Oy:n omistaman maakaasun siirtoputkiston sisäpuolisten tarkastusten tuloksia yhtiön paikkatietojärjestelmään. Käytännössä tavoitteena on kehittää menetelmä, jonka avulla olemassa olevista sisäpuolisen tarkastuksen raporteista löytyvistä havainnoista voidaan tuottaa paikkatietoaineistoa, eli kolmiulotteiset koordinaatit riittävällä tarkkuudella. Tällä tavoin mahdollistettaisiin havainnollisempi kunnonvalvonta, toiminnallisesti ja taloudellisesti tehostunut kunnossapito. Työn teoriaosuudessa paneudutaan yleisesti maakaasuun ja maakaasun siirtoputkiston toimintaan, putkistojen sisäpuoliseen kunnossapitoon ja kunnonvalvontaan sekä paikkatietoon ja paikkatietojärjestelmiin.</p> <p>Työn käytännön osuuden lähtökohtina olivat olemassa olevat sisäpuolisten tarkastusten raportit ja maakaasun siirtoputkiston paikkatietoaineisto. Tutustuttaessa aineistoon päädyttiin työ tekemään laskennallisesti hyödyntäen Excel-taulukkolaskentaohjelmissä. Työssä kohdattiin useita ongelmia, jotka toistuvasti liittyivät lähtöaineiston tarkkuuteen ja paikkaansa pitävyyteen.</p> <p>Työssä kehitettiin Excel-laskentataulukko, jonka avulla sisäpuolisten tarkastusten raporttien havainnoille pystytään laskemaan kolmiulotteiset koordinaatit, tarkoitukseen riittävällä tarkkuudella. Laskentataulukon osana kehitettiin siirtotaulukko, jonka avulla lasketut tiedot voidaan näyttää paikkatietojärjestelmässä. Työn tulosten vaikutusta yhtiön toimintaan ei ehditty tämän työn aikana arvioimaan. Mikäli työn tulosten tarkkuus osoittautuu myös käytännössä riittäväksi, voidaan olettaa, että tämän työn vaikutuksesta sisäpuolisten tarkastusten esittäminen ja tulkitseminen on merkittävästi helpompaa. Tulevaisuudessa työn tuloksien tarkkuutta voidaan yrittää parantaa entisestään ja suorittaa havaintojen koordinaattien laskenta kaikille tarkastettaville putkiston osuksille.</p>		
<b>Asiasanat</b>		
maakaasu, putkistot, kunnonvalvonta, paikkatieto		

Author (authors)	Degree	Time
Niko Tuominen	Bachelor of Engineering	May 2017
<b>Thesis Title</b> Combining results of in-line inspection of natural gas transmission pipeline to geographic information system		49 pages 12 pages of appendices
<b>Commissioned by</b> Gasum Oy		
<b>Supervisor</b> Tuomo Pimiä, Senior Lecturer, Jani Ahola, GIS-Engineer		
<p data-bbox="164 725 300 759"><b>Abstract</b></p> <p data-bbox="164 797 1390 981">Companies face opportunities and pressure to improve their operations. These opportunities are provided by developing technology and proceeding digitalization. From the point of view of condition monitoring and maintenance, this can mean for example improving the reliability of operations and minimizing the costs of operation. One of the many options is to include geographic information in the operation.</p> <p data-bbox="164 1019 1406 1350">The main goal of this bachelor thesis was to study possibilities to combine the results of in-line inspection of the Finnish natural gas transmission pipeline, owned by Gasum Oy., with a geographic information system. In practice this means developing a method of definition of three-dimensional coordinates, with sufficient precision, for the observations found in the reports of in-line inspection. Representing these observations via geographic information system leads to more illustrative condition monitoring and more effective maintenance. The theoretical part of the thesis contains information about natural gas, the working principle of the transmission pipeline, internal condition monitoring and maintenance and geographic information systems.</p> <p data-bbox="164 1388 1406 1572">The reports of in-line inspection and geographic information data of the natural gas transmission pipeline, were the starting point for the practical part of the thesis. After analyzing the given data, a choice of the method was made to calculate the coordinates by Excel-spreadsheet. Several problems consistently related to the precision of the starting point data were faced.</p> <p data-bbox="164 1610 1406 1942">As a result of this thesis, an Excel-spreadsheet was developed. The spreadsheet calculates three dimensional coordinates for the observations. As an addition to this, a database table was also developed. This table is used when this information will be imported to the geographic information system of Gasum Oy. There was not enough time to evaluate the effects of this thesis. If the precision of the results appear to be precise enough also in practice, an assumption about the effectiveness can be made. It can be assumed that illustration of the in-line inspection is remarkably improved by this thesis. In the future precision of the calculations could still be improved and all the observations made by the in-line inspection could get their coordinates calculated.</p>		
<p data-bbox="164 1973 320 2007"><b>Keywords</b></p> <p data-bbox="164 2045 1145 2078">natural gas, pipelines, condition monitoring, geographical information</p>		

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	6
1.1	Työn tavoite ja rajaus .....	6
1.2	Toimeksiantaja .....	7
2	MAAKAASU .....	8
2.1	Mitä on maakaasu? .....	8
2.2	Maakaasun käyttökohteet .....	10
2.3	Maakaasu Suomessa .....	12
3	MAAKAASUPUTKISTON RAKENNE JA TOIMINTA .....	14
3.1	Siirtoputkisto .....	15
3.2	Asemat .....	17
4	SISÄPUOLINEN KUNNOSSAPITO JA TARKASTUS .....	19
4.1	Perusteet .....	19
4.2	Sisäpuolinen tarkastus .....	23
4.3	Porsasajot Gasum Oy:ssä .....	27
5	PAIKKATIETO .....	28
5.1	Paikkatieto ja paikkatietojärjestelmät .....	28
5.2	Gasum Oy:n paikkatietojärjestelmä .....	30
6	TYÖN TOTEUTUS .....	31
6.1	Työkalut ja aineisto .....	31
6.2	Aineistoon tutustuminen .....	32
6.3	Laskentataulukon kehitys .....	34
6.4	Laskennan tarkkuuden määrittäminen .....	37
6.5	Siirtotaulu .....	42
7	TYÖN TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET .....	43
7.1	Tulokset .....	43
7.2	Kehitysideat ja tulevaisuus .....	44
	LÄHTEET .....	45

## KUVALUETTELO

### LIITTEET

Liite 1. Laskentataulukon ensimmäinen versio

Liite 2. Skaalaus-taulu

Liite 3. Kertoimet-taulu

Liite 4. Koordinaattien laskenta-taulu

Liite 5. Tietokantataulukko

Liite 6. Taulukon käyttöohjeet

## 1 JOHDANTO

Digitalisaatio ja tekniikan kehittyminen luovat paineita ja mahdollisuuksia, vanhojen ja perinteisten toimintatapojen ja ratkaisujen kehittämiseen ja tehostamiseen. Tämä paine kohdistuu lähes jokaiselle yhteiskunnan osa-alueelle, erityisesti tekniseen infrastruktuuriin.

Yhteiskunnan teknisen puolen toimintaa halutaan jatkuvasti tehostaa ja sen toimintavarmuutta halutaan parantaa. Energia-alan näkökulmasta tämä tarkoittaa erityisesti energian siirron ja jakelun huoltovarmuuden parantamista. Tällaisen toiminnan tehostamisessa avainasemassa ovat kunnonvalvonnan ja kunnossapidon kehittäminen.

Kunnossapidon ja kunnonvalvonnan kehittämisessä yksi mahdollisuus on paikkatietoisuuden yhdistäminen toimintaan. Lähes kaikilla kohteilla, joiden kuntoa tarkkaillaan ja ylläpidetään, on jokin sijainti. Kunnonvalvonnan tulosten esittäminen kartta- tai muulla sijaintipohjaisella näkymällä on selkeämpää, kuin niiden lukeminen esimerkiksi taulukosta. Sekä itse kunnossapitotapahtuman suunnittelu, järjestäminen ja kohteen paikallistaminen maastossa helpottuu. Näiden asioiden vaikutus korostuu, mikäli kyseessä on laajalle levittäytynyt verkosto, esimerkiksi erilaiset energiansiirto- tai tieverkostot.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia mahdollisuuksia yhdistää Gasum Oy:n omistaman maakaasun siirtoputkiston sisäpuolisen tarkastusten tulokset yhtiön paikkatietojärjestelmään. Työ toteutettiin syksyn 2016 ja kevättalven 2017 aikana, osana Gasum Oy:n paikkatietojärjestelmän uudistusta, Gasum Oy:n Kouvolan toimipisteellä.

### 1.1 Työn tavoite ja rajaus

Työn tavoitteena oli tutkia mahdollisuuksia maakaasun siirtoputkiston sisäpuolisen tarkastuksen tulosten esittämiseksi karttapohjaisesti. Käytännössä tämä tarkoittaa, että tarkastuksen tulokset pyritään kohdistamaan olemassa olevalle, mittaustietoihin perustuvalle, 3D-geometrialle, joka kuvaa tarkastettua kaasuputkiston osaa. Kohdistetuista tiedoista tarvitaan XYZ-koordinaatit, jotka yhdistetään erilaisten ominaisuustietojen kanssa yhdeksi tietokantatauluksi paikkatietojärjestelmään.

Tämän opinnäytetyön laajuuteen kuuluu tutkia mahdollisuuksia tavoitteen saavuttamiseksi ja mahdollisten kehitettyjen työkalujen testaus. Testauksella työkalut todetaan toimiviksi ja niiden tarkkuus tässä vaiheessa riittäväksi. Testauksen ohella työkalujen käyttö pitää ohjeistaa toimeksiantajan määrittämille henkilöille, ja kirjoittaa kirjallinen ohje. Työn aikana ei ole tarkoitus suorittaa tulosten kohdistusta koko putkistolle.

Samaa tavoitetta on yritetty toteuttaa aiemmin vuonna 2006, osana edellistä Gasum Oy:n paikkatietojärjestelmäprojektia. Tuolloin kaasuputkesta oli olemassa ainoastaan 2D-geometria, jonka takia työtä ei kyetty toteuttamaan riittävällä tarkkuudella. Nyt kaikille pisteille on lisätty korkeustieto ja muutkin aineistossa esiintyneet virheet on korjattu.

## **1.2 Toimeksiantaja**

Työn toimeksiantajana on Gasum Oy. Gasum Oy on 12.3.1994 perustettu suomalainen energiayhtiö. Gasum Oy vastaa maakaasun maahantuonnista, siirrosta ja tukkumyynnistä Suomessa. Gasum Oy tuottaa myös itse uusiutuvaa biokaasua. Tytäryhtiönsä Skangas Oy:n kautta Gasum on mukana kehittämässä pohjoismaista nesteytetyn maakaasun verkostoa. Toinen Gasum Oy:n tytäryhtiö Gasum Tekniikka Oy vastaa maakaasuun liittyvästä kunnossapidosta. (Gasum 2017.)

Gasum Oy on ollut tammikuusta 2016 lähtien täysin Suomen valtion omistama yhtiö. Aiemmin Gasumin omistajuus on jakautunut Suomen Valtion, Fortum Oyj:n, saksalaisen E.Onin ja venäläisen Gazpromin kesken. Ennen Gasum Oy:n perustamista maakaasutoiminta Suomessa oli osa silloisen Neste Oy:n toimintaa. (Fortum 2014; Parpola & Åberg 2004.)

Gasum Oy omistaa Suomessa sijaitsevan maakaasun siirtoverkoston, siihen liittyvän infrastruktuurin ja vastaa sen käytöstä. Gasum Oy työllistää Suomessa lähes 400 henkilöä usealla toimipisteellä ympäri maan. (Gasum 2017.)

## 2 MAAKAASU

### 2.1 Mitä on maakaasu?

Maakaasu, tai luonnonkaasu (engl. Natural Gas), on fossiilinen polttoaine, jonka kemiallinen koostumus on pääasiassa metaania ( $\text{CH}_4$ ). Sen pitoisuus maakaasussa vaihtelee välillä 80 – lähes 100 %. Maakaasu sisältää muitakin aineita, kuten muita hiilivetyjä, typpeä ja hiilidioksidia. Maakaasun koostumus voi vaihdella merkittävästikin, eri tuotantolähteiden välillä. (Parpola & Åberg 2004, 9; Maakaasukäsikirja 2014.)

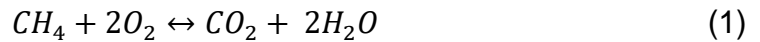
Maakaasu on syntynyt aikojen saatossa eloperäisen aineksen hajotessa maan uumenissa hapettomissa olosuhteissa anaerobisen hajoamisen seurauksena. Maailman merkittävimmät maakaasuesiintymät ovat, Venäjällä ja Lähi-idässä, mutta maakaasua esiintyy myös esimerkiksi Yhdysvalloissa ja Norjassa sekä pienissä määrin muuallakin Euroopassa. Taulukossa 1 on esitetty esimerkkejä maakaasun koostumuksen eroavaisuuksista eri tuotantoalueiden välillä. (Parpola & Åberg 2004, 9; Geologian tutkimuskeskus 2016.)

Kenttä		Venäjä Urengoi	Saksa Goldenstedt	USA Kansas	Hollanti Groningen	Norja Troll
Metaani	$\text{CH}_4$	98%	88,0%	84,1%	81,3%	93,2%
Etaani	$\text{C}_2\text{H}_6$	0,8%	1,0%	6,7%	2,8%	3,7%
Propaani	$\text{C}_3\text{H}_8$	0,2%	0,2%	0,3%	0,4%	0,4%
Butaani	$\text{C}_4\text{H}_{10}$	0,02%	–	–	0,4%	0,5%
Typpi	$\text{N}_2$	0,9%	10,0%	8,4%	14,3%	1,6%
Hiilidioksidi	$\text{CO}_2$	0,1%	0,8%	0,8%	0,9%	0,6%

Taulukko 1. Esimerkkejä maakaasun koostumuksen eroista eri tuotantoalueiden välillä (Maakaasukäsikirja 2014)

Maakaasu on selkeästi puhtain fossiilinen polttoaine. Maakaasu ei sisällä lainkaan haitallisia metalleja, ja sen rikkipitoisuuskin on erittäin pieni. Myös hiilidioksidipäästöiltään maakaasu on merkittävästi ympäristöystävällisempi verrattuna muihin fossiilisiin polttoaineisiin, kuten öljyyn ja kivihiileen. Maakaasun palamisessa syntyy hiilidioksidia, vesihöyryä ja lämpöenergiaa. Maakaasun palamisen reaktioyhtälö on esitetty reaktioyhtälössä 1. (Gasum 2017; Maakaasukäsikirja 2014.)





Perinteisesti maakaasu siirretään käyttäjilleen kaasumaisessa olomuodossa, erityisesti tähän tarkoitukseen rakennetussa siirtoputkistossa. Putkiston rakenteesta ja toiminnasta lisää myöhemmin osiossa 3. Maakaasua voidaan siirtää myös nesteytettynä (LNG, Liquefied Natural Gas), jolloin maakaasua voidaan kuljettaa ja tarjota myös siirtoverkoston ulkopuolella oleville asiakkaille. Maakaasun nesteytyminen tapahtuu -161,5 celsiusasteen lämpötilassa. Nesteytetyn maakaasun siirtämiseen ja varastointiin tarvitaan, juuri tähän käyttöön suunniteltuja ja tarkoitettuja erikoisratkaisuja. (Gasum 2017; Maakaasukäsikirja 2014.)

Fossiilisen maakaasun ohella puhutaan nykyään paljon uusiutuvasta biokaasusta. Biokaasu on kaasua, joka sisältää pääasiassa metaania ja hiilidioksidia. Biokaasu syntyy samalla tavalla kuin fossiilinen maakaasu, anaerobisen hajoamisen tuloksena, mutta biokaasun raaka-aineena on eloperäinen aine eli biomassa, eikä sen syntymisessä kulu miljoonia vuosia. Biokaasua tuotetaan biokaasureaktoreissa sekä kerätään kaatopaikoilta ns. kaatopaikkakaasua. Biokaasun metaanipitoisuus vaihtelee välillä 50 – 70 % ja vastaavasti hiilidioksidin pitoisuus vaihtelee välillä 30 – 50 %. Biokaasua voidaan käyttää maakaasun tavoin, mutta sitä ennen se pitää rikastaa ja puhdistaa muista haitallisista aineista kuten vedestä ja rikistä. Näiden toimenpiteiden jälkeen biokaasua voidaan käyttää kuten maakaasua. Suomessa biokaasua syötetään maakaasuverkostoon, minkä lisäksi sitä käytetään myös paikallisesti verkoston ulkopuolisten biokaasulaitosten läheisyydessä mm. autojen tankkaukseen. (Motiva - Biokaasu 2015.)

Maakaasun suurimmat käyttökohteet ovat energiantuotanto, kotitalouksien lämmöntuotanto, liikenne ja teollisuuden tarpeet. Maakaasun osuus Suomen kokonaisenergiankulutuksesta on tänä päivänä noin 5 %, tässä ei ole huomioitu teollisuuden raaka-ainekäyttöä. (Tilastokeskus 2016.)

## 2.2 Maakaasun käyttökohteet

### Energiantuotanto

Maakaasulla voidaan tuottaa sekä sähköä että lämpöä, yleisesti yhteistuotantona. Yleisimmät menetelmät maakaasukäyttöisessä energiantuotannossa ovat höyrykattilat ja kaasuturbiinit. (Vattenfall 2016.)

Höyrykattilalla tuotetaan sähköä pyörittämällä generaattoria höyryturbiinin avulla. Kattilaan syötetty paineistettu vesi höyrystetään ja ohjataan turbiinille, joka pyörittää generaattoria. Generaattorista poistuva höyry lauhdutetaan takaisin vedeksi lämmönvaihtimen eli lauhduttimen avulla, minkä jälkeen vesi palaa takaisin kattilan kiertoon. Suomessa lauhduttimen jäähdytys on hoidettu yleisimmin vedellä, joka saadaan jostain lähistön vesistöstä. Veden höyrystämiseen tarvitaan luonnollisesti energiaa, joka voidaan tuottaa polttamalla lähes mitä tahansa polttoainetta kattilasta riippuen. Maakaasukattilassa maakaasun polttaminen tapahtuu kaasupolttimilla. Polttoaineen palaessa vapautuva kemiallinen energia sitoutuu savukaasuihin, jotka ohjataan savukaasukanaa pitkin ulos. Savukaasukanavaan on sijoitettu useita lämmönvaihtimia, joissa kiertävä kattilavesi sitoo savukaasujen lämmön. Lämmönvaihtimia käytetään kattilaveden esilämmitykseen, höyrystämiseen ja höyryn tulistamiseen. (KnowEnergy 2005.)

Kaasuturbiinissa paineistetun palamisilman sekaan sekoitetaan polttoainekaasu ja seos sytytetään. Syntyvillä savukaasuilla (n. 1250 °C) pyöritetään turbiinia. Turbiinilla tuotetaan voima, jolla käytetään ilman paineistamiseen käytettävää kompressoria ja sähköä tuottavaa generaattoria. Turbiinista poistuvien pakokaasujen lämpötila on edelleen yli 500 °C, jolloin perinteisen kaasuturbiinin hyötysuhde jää vaatimattomasti noin 30 %:iin. Käyttämällä hukkalämpö hyödyksi kaasuturbiinien hyötysuhde voi nousta jopa yli 90 %:n. (U.S. Department Of Energy 2017.)

### Kotitalouksien lämmöntuotanto

Maakaasua voidaan käyttää myös kotitalouksien lämmöntarpeisiin. Kotitalouksien lämmöntuotannossa maakaasua käytetään yleisimmin kiinteistöjen sisätilojen lämmittämiseen ja kaasuliesien polttoaineena. (Gasum 2017.)

Maakaasua polttoaineena käyttävän kiinteistön lämmitysjärjestelmä on hyvin lähelle samanlainen kuin öljylämmityksessä. Järjestelmä koostuu lämmityskattilasta, sen sisältämästä kaasupolttimesta ja vesikiertoisesta lämmönjakojärjestelmästä. Maakaasulämmityksen suurin etu öljyyn verrattuna on, että maakaasua ei tarvitse varastoida, vaan se saadaan liittymällä paikkakunnan jakeluverkkoon. Jakeluverkkoon liittyminen on samalla myös hyvin rajoittava tekijä maakaasulämmityksen käytössä, koska kiinteistön on sijaittava verkoston alueella. Kaasuverkkoon liitetyssä kiinteistössä maakaasua voidaan käyttää myös ruuanlaitossa, esim. keittiön liedessä tai grillissä. (Motiva – Lämmitysmuodot, Maakaasu 2016; Kokkaa kaasulla 2017.)

## **Liikenne**

Metaanin hyödyntäminen on mahdollista myös liikennekäytössä. Metaanikäyttöisissä autoissa suurin etu muihin fossiilisia polttoaineita käyttäviin autoihin on kaasumaisten polttoaineiden puhtaampi palaminen, mikä pienentää auton päästöjä. Metaania voidaan käyttää polttoaineena Otto- että Diesel-prosessia hyödyntävissä polttomoottoreissa. Käyttöön vaadittavat laitteet eroavat kuitenkin toisistaan. Kuten kotitalouksien lämmityksessä, kaasuautojen käyttöä rajoittaa kaasun saatavuus. Kaasutankkausasemia on pääasiassa vain maakaasuverkkoston alueella. (Motiva - Kaasuauto 2016.)

Metaanikäyttöisiä autoja voidaan ostaa, joko suoraan metaanikäyttöisinä tai asentamalla vanhempiin autoihin kaasunsyöttölaitteisto ja kaasusäiliö. Liikennekäytössä metaani on paineistettu 200 baarin paineeseen, ja siitä käytetään nimitystä CNG (Compressed Natural Gas) tai CBG (Compressed Biogas). Myös nesteytetyn metaanin käyttäminen liikennepolttoaineena on mahdollista. Tällöin polttoaine täytyy pitää alle sen höyrystymislämpötilan, mikä vaatii erityisratkaisuja polttoainesäiliön suhteen. Tällaista polttoainetta käytetäänkin pääasiassa laivoissa, mutta myös raskaan liikenteen ajoneuvoja on tullut markkinoille. Suomen ensimmäiset LNG-tankkausasemat avattiin vuonna 2016. (Motiva - Kaasuauto 2016; Gasum 2017.)

Suurin osa kaasuautoista käyttää bensiinimoottorin (Otto-prosessi) tekniikkaa, koska kaasumaisen polttoaineen käyttö vaatii erillisen sytytysjärjestelmän, joka bensiiniautoissa on valmiina. Bensiinimoottoriin perustuva kaasuauto voi olla pelkästään kaasukäyttöinen tai kaksoispolttoaineauto, jossa voidaan käyttää molempia polttoaineita. Raskaan liikenteen ajoneuvojen moottorit ovat

useimmin muunnettuja dieselmootoreita. Jotta dieselmootorissa voitaisiin käyttää kaasumaista polttoainetta, siihen voidaan lisätä sytytysjärjestelmä, tai käyttää kaasun ja dieselpolttoaineen seosta, jolloin dieselpolttoaine hoitaa polttoaineen sytytyksen. (Motiva - Kaasuautot 2016.)

## Teollisuus

Teollisuudessa maakaasua käytetään energiantuotannon ohella myös raaka-aineena. Raaka-aine käytöksi luetaan toiminta, jossa maakaasusta valmistetaan jotain muuta kemikaalia, eikä käytetä sitä lämmöntuottamiseen. Yleisimmät kemikaalit, joita valmistetaan maakaasusta erottamalla, ovat vety ja helium. (Tukes 2015.)

Heliumia tuotetaan jakotislaamalla sitä maakaasusta, mikä on osa maakaasun puhdistusprosessia. Suurin heliumin tuottaja maailmassa on Yhdysvallat, joka tuottaa n. 84 % kaikesta maailman tuotetusta heliumista. (The Third Millennium Online 2008.)

Vedyn tuottaminen maakaasusta tapahtuu höyryreformaation kautta. Tämä on Suomessakin yleisin tapa tuottaa vetyä teollisuuden tarpeisiin, elektrolyysin ollessa huomattavasti kalliimpi vaihtoehto. Höyryreformointi voi olla esimerkiksi integroituna osana ammoniakkin valmistusta. Höyryreformointi on esitetty reaktioyhtälössä 2. (Motiva - Vety 2016.)

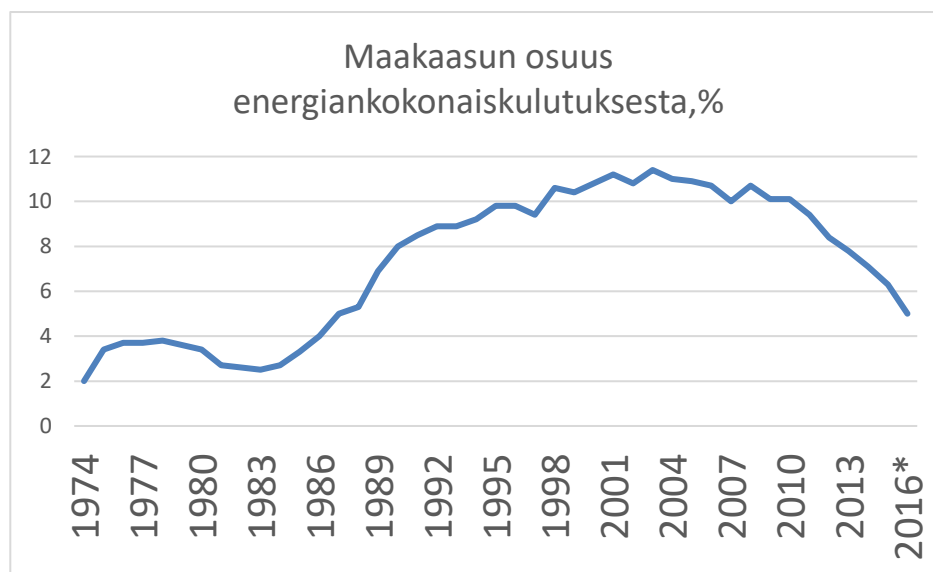


## 2.3 Maakaasu Suomessa

Suomen maakaasuputkiston rakennustyöt aloitettiin pitkällisten neuvottelujen ja tarjouskilpailun jälkeen vuonna 1972. Neste Oy oli saanut valtioneuvostolta määräyksen järjestää kaasun tuonti Suomeen siten, että Suomen putkisto tul-taisiin yhdistämään Neuvostoliiton putkistoon. Putkiston rakentamisen pääura-koitsija oli neuvostoliittolainen Tsvetmetpromexport, joka vastasi putkiston suunnittelu- sekä rakennustöistä. Ensimmäisessä vaiheessa maakaasuput-kisto ulottui Neuvostoliiton rajalta Imatran ja Lappeenrannan kautta Kouvolaan ja sieltä Kotkaan ja Haminaan. Putkisto vihittiin käyttöön, silloisessa Valkealan

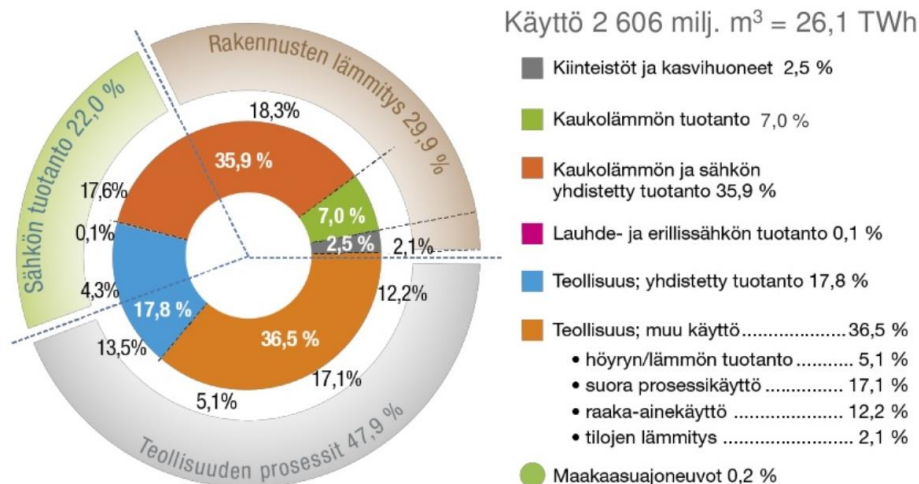
kunnassa, presidentti Kekkonen toimesta 9. päivä tammikuuta 1974. (Parpola & Åberg 2004, 26 & 37.)

Myöhemmin maakaasuputkistoa on laajennettu kattamaan suurin osa eteläistä Suomea. Suomessa maakaasua käytetään pääasiassa sähkön- ja lämmön yhteistuotannon sekä teollisuuden polttoaineena. Kaasua käytetään jonkin verran, mutta huomattavasti vähemmän kuin energiantuotannossa ja teollisuudessa, myös kiinteistöjen ja liikenteen polttoaineena. Maakaasun osuus Suomen kokonaisenergiankulutuksesta oli huipussaan 90-luvun lopulta 2010-luvun alkupuolelle. Sen jälkeen maakaasun kulutus Suomessa on laskenut vuosittain merkittävästi, painuen aiemmin mainitulle 5 %:n tasolle. Tähän on vaikuttanut pääasia maakaasun korotettu verotus. Kaaviossa 1 on esitetty maakaasun osuuden kehitys ja kuvassa 1 on esitetty maakaasun käytön jakautuminen käyttötarkoituksittain. Kuvasta 1 voidaan nähdä, että tällä hetkellä selvästi tärkein maakaasun käyttäjä on teollisuus. (Gasum 2017; Tilastokeskus 2016.)



Kaavio 1. Maakaasun osuus energiankokonaiskulutuksesta Suomessa (Tilastokeskus 2016)

## Maakaasun käyttö- ja käyttötarkoitus (2015)

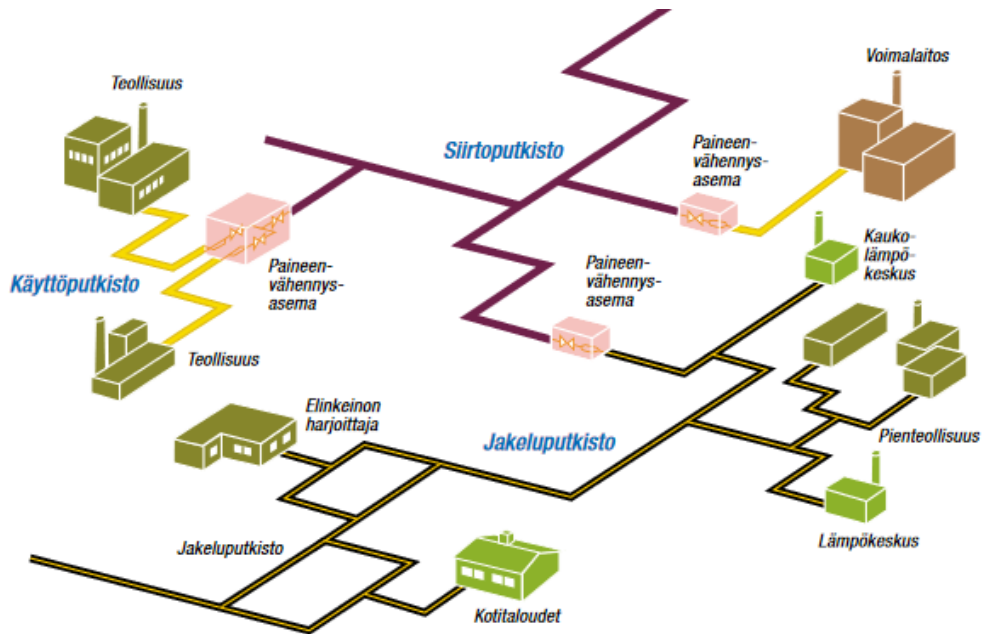


Lähde: Suomen Kaasuyhdistys

Kuva 1. Maakaasun käytön jakautuminen käyttötarkoitusten mukaan (Suomen Kaasuyhdistys 2016)

### 3 MAAKAASUPUTKISTON RAKENNE JA TOIMINTA

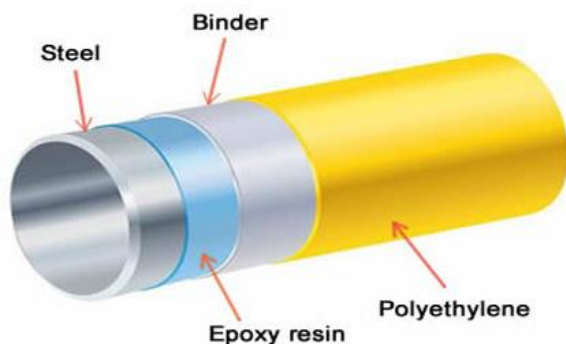
Maakaasu toimitetaan Suomessa käyttäjille pääasiassa maakaasuputkistoa pitkin. Maakaasuputkisto voidaan jakaa kolmeen osaan: siirto-, jakelu- ja käyttöputkistoon. Siirtoputkistoa pitkin maakaasu siirretään korkeapaineisena pidempiä matkoja. Putkiston käytöstä vastaa Gasum Oy. Jakeluputkistossa kaasu siirretään pienemmässä paineessa alueelliseen kulutukseen, jakeluputkiston käytöstä vastaavat pääasiassa paikalliset energiayhtiöt, kuten sähkönjakeluverkoissakin. Käyttöputkistossa kaasu siirretään edelleen pienemmässä paineessa kaasua käyttäville laitteille ja/tai kohteille. Käyttöputkiston omistaja on yleensä myös käyttöpaikan omistaja. Siirtoputkiston materiaalina on teräs ja jakelu- ja käyttöputkistoissa pääasiassa muovi. Tämän opinnäytetyön kannalta tärkein osa on siirtoputkisto. Kuvassa 2 on havainnollistettu eri putkistotyyppien jakautumista. (Suomen kaasuyhdistys 2017; Maakaasukäsikirja 2014)



Kuva 2. Putkistotyypin jakautuminen (Maakaasukäsikirja 2014)

### 3.1 Siirto-putkisto

Suomen maakaasun siirto-putkisto on 1294 km pitkä. Materiaalina putkistossa on muovipinnoitettu teräs. Putkiston materiaaleina pitää käyttää materiaaleja, jotka ovat mekaanisesti riittävän lujia ja kestävät lämpötiloja ja paineita, joita putkisto tavanomaisessa käytössä tulee kohtaamaan. Putkisto on rakennettu pääasiassa 18 m tai 12 m pitkistä teräsputkista yhteen hitsaamalla. Kuvassa 3 on esitetty yleistetty muovipinnoitetun teräsputken rakenne. Kuvassa havainnollistetaan putken pinnoitteen eri kerrokset, teräs (engl. steel), epoksihartsi (engl. epoxy resin), sideaine (engl. binder) ja polyeteeni (engl. polyethene). (Suomen kaasuyhdistys 2014; Valtioneuvoston asetus maakaasun käsittelyn turvallisuudesta 551/2009; Sellsteels.com 2017.)



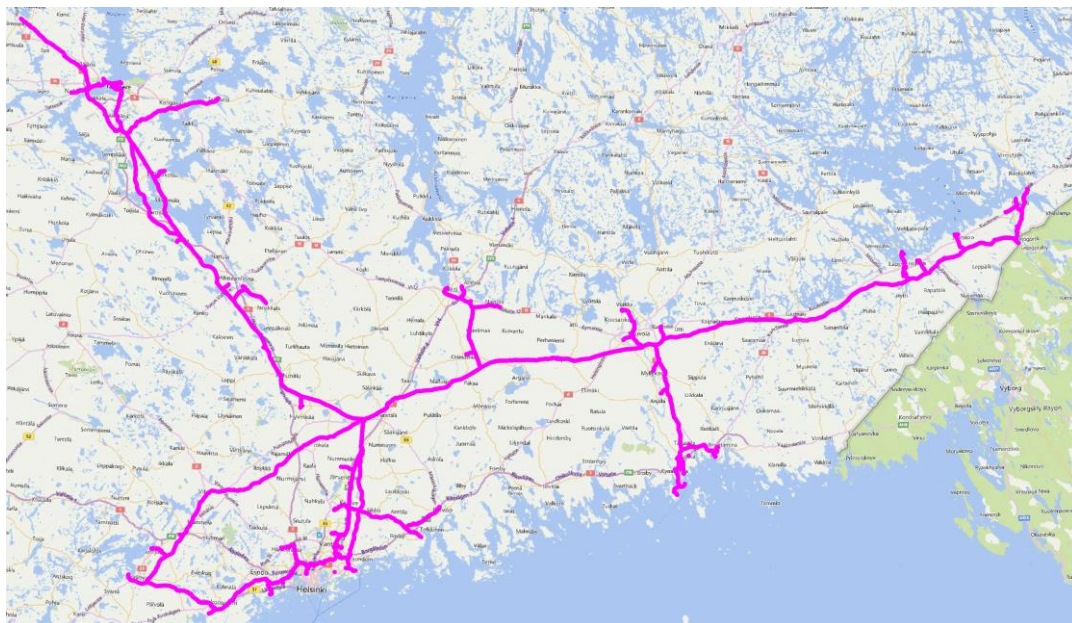
Kuva 3. Muovipinnoitetun teräsputken rakenne (Sellsteels.com 2017)

Teräsputkien halkaisija vaihtelee välillä DN 50 ja DN 1000. Putkiston suurin sallittu käyttöpainne on 54 baaria. Uusimmissa putkiston osissa putkien suunnittelupainne on 80 baaria. Maakaasuputkisto on kaivettu maan alle. Siirto-putkiston minimipeitesyvyys on 1 m, erikoistapauksina peltoalueilla 1,2 m ja kallioalueilla 0,6 m. (Suomen kaasuyhdistys 2014; Valtioneuvoston asetus maakaasun käsittelyn turvallisuudesta 551/2009.)

Putkiston korroosiosuojaus hoidetaan pinnoituksella ja katodisella suojauksella. Pinnoitteen avulla pyritään luomaan sähköinen eristys kaasuputken ja sitä ympäröivän elektrolyytin (maa-aineksen) välille, joka estää tai vähintäänkin hidastaa putken korroosiota. Suomessa maakaasuputket pinnoitetaan ensisijaisesti vähintään 1,8 mm:n paksuisella polyeteenikerroksella. Katodisessa suojauksessa kaasuputkesta tehdään sähköparin katodi. Tämä toteutetaan alentamalla kaasuputken sähköistä potentiaalia, joko ulkoisen virtalähteen tai uhrautuvan anodin avulla. Suomen maakaasuputkiston katodinen suojaus on toteutettu ulkoisen virtalähteen avulla. (Peabody, 2001, 6; Valtioneuvoston asetus maakaasun käsittelyn turvallisuudesta 551/2009.)

Siirto-putkisto ulottuu Suomen ja Venäjän rajalta, Imatran Räikkölästä aina Tampereelle, Helsinkiin ja Lohjalle asti. Putkiston voidaan ajatella koostuvan runkolinjoista, joita pitkin kaasu siirtyy pitkiä matkoja eri puolille maata sekä haaroista, joiden avulla kaasua siirretään lähemmäs kuluttajia. Siirtoverkoston toimintaa ohjataan ja valvotaan tauotta keskitetysti Gasum Oy:n Kouvolan toimipisteellä sijaitsevasta keskusvalvomosta. Tiedot keskusvalvomon ja verkoston kohtein välillä siirtyvät linkkimastoista koostuvaa tiedonsiirtojärjestelmää pitkin. Siirto-putkisto on esitetty kuvassa 4. (Gasum 2017.)





Kuva 4. Maakaasun siirtoputkisto Suomessa

Putkisto on merkitty ympäristöön merkintäpylväillä. Metsäalueilla putkiston kulureitti on havaittavissa 5 – 10 metrin levyisenä puuttomana kaistaleena. Merkintäpylväs on valkoinen muovinen pylväs, johon on kiinnitetty keltainen merkintäkilpi. Kilvessä on kerrottu putken koko, sen omistaja ja omistajan yhteystiedot sekä pylväät yksilöivä kilometrilukema eli paaluluku. Pylväiden tarkoituksena on estää maakaasuputken tahaton vahingoittaminen. Maankäyttö ja rakentaminen kaasuputken läheisyydessä ovat luvanvaraista toimintaa. Lupasioita käsittelevät putkiston omistajan palveluksessa työskentelevät asiantuntijat. (Gasum 2017.)

### 3.2 Asemat

Siirtoverkoston toimintaan liittyy oleellisesti paljon muutakin kuin maan alle kaivettu teräksinen putkisto. Näitä kohteita kutsutaan asemiksi. Seuraavaksi käsitellään maakaasun siirron kannalta tärkeimmät asemat.

#### Venttiilasemat

Venttiilasemien avulla kaasuputkiston osia voidaan eristää toisistaan ja tyhjentää kaasusta. Linjasulkuventtiilejä täytyy sijoittaa maakaasuputkistoon 8 – 32 km:n välein. Venttiilasemien etäisyys toisistaan määräytyy alueluokituksen mukaan, joka taas määräytyy alueen asutustiheyden mukaan. Ulospuhallus järjestelmien avulla kaasu voidaan tyhjentää putkistosta turvalliseen paikkaan.

Linjasulkuventtiilit ovat kaasuhydraulisia venttiilejä, joiden käyttökaasuna toimii putkistossa virtaava maakaasu. Ulospuhallusjärjestelmän venttiilit ovat yleensä käsikäyttöisiä. (Valtioneuvoston asetus maakaasun käsittelyn turvallisuudesta 551/2009; Suomen kaasuyhdistys 2015.)

### **Paineenvähennysasemat**

Paineenvähennysasemilla nimensä mukaisesti vähennetään kaasun painetta. Ne erottavat usein myös siirto- ja jakelu- tai käyttöputkiston toisistaan. Paineenvähennysaseman pääkomponentteihin kuuluvat paisuntaventtiili, lämmönvaihdin, useampi sulkuventtiili ja hajustinlaitteisto. Paineenvähennysasemia on Suomessa 126 kappaletta. (Suomen kaasuyhdistys 2015; Haastateltava 2 2017.)

Paisuntaventtiilillä toteutetaan kaasun paineen alennus. Kaasun paisuessa ja menettäessä painetta kaasu jäähtyy huomattavasti. Kaasua lämmitetään lämmönvaihtimien avulla, ettei kaasun lämpötila laskisi liian alhaiseksi. Tähän tarvittava lämpöenergia tuotetaan yleisimmin pienillä maakaasukäyttöisillä lämmivesikattiloilla tai otetaan suoraan paikallisesta kaukolämpöverkosta. Sulkuventtiilien avulla taataan paineenvähennysaseman turvallinen toiminta, ja ettei lähtevän kaasun paine ylitä sallittuja rajoja. Hajustinlaitteiston avulla hajuttoman maakaasun sekaan sekoitetaan voimakkaasti haisevaa tetrahydrotiofeenia, jota käytetään myös nestekaasujen hajustusaineena. Hajustettuna kaasun havaitseminen helpottuu huomattavasti, mikä tekee sen käytöstä turvallisempaa. (Suomen kaasuyhdistys 2015.)

### **Kompressoriasemat**

Maakaasu kulkee putkistossa korkeassa paineessa (suurimmillaan 54 bar), joka tuotetaan kompressoriasemien avulla. Jotta kaasu kulkisi ongelmitta putkiston alusta loppuun asti, painetta täytyy korottaa matkan varrella uudestaan. Tyypillisesti maailmalla kompressoriasemien välillä on noin 50 – 150 km. Kompressorien käyttövoimana käytetään yleensä, joko turbiinia tai moottoria. (Naturalgas.org 2013; Gasum 2017.)

Suomen maakaasuputkiston kompressoriasemat sijaitsevat, Imatralla, Kouvolassa ja Mäntsälässä. Kompressorien käyttövoimana toimii kaasuturbiini, joka saa käyttöenergiänsä suoraan maakaasuputkistosta. Kaasuturbiinin toiminta

on vastaava, kuin energiantuotantokäytössäkin, mutta sen tuottamalla mekaanisella energialla pyöritetään kompressoria sähkögeneraattorin sijasta. Suomen maakaasuputkistossa näitä kompressoreja on yhteensä 9 kappaletta, ja niiden yhteensä tuottama akseliteho on 64 MW. (Naturalgas.org 2013; Gasum 2017.)

## 4 SISÄPUOLINEN KUNNOSSAPITO JA TARKASTUS

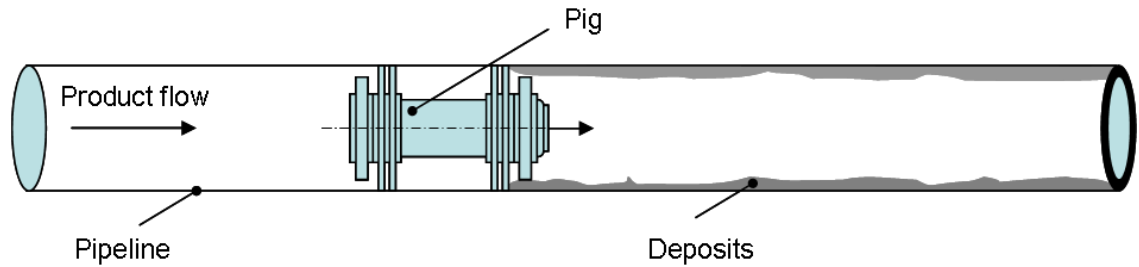
### 4.1 Perusteet

Maakaasuputkistojen sisäpuoliseen kunnossapitoon ja tarkastamiseen käytetään tähän tarkoitukseen erityisesti kehitettyjä ”laitteita”, joita kutsutaan puhekielessä leikkisästi porsaiksi (engl. ”pig”). Nimi on lainattu Yhdysvalloista, mutta sen alkuperälle ei ole koskaan keksitty tai kerrottu yksiselitteistä syytä. Suomen kielessä porsaita kutsutaan virallisemmin kaapimiksi, jolla viitataan tietynlaisen porsaan toimintaperiaatteeseen. Käytännössä porsaalla tarkoitetaan putkistoon asetettavaa laitetta, joka liikkuu putkistossa vapaasti putkistossa virtaavan aineen mukana, ja samalla tekee kunnossapitoon, kunnonvalvontaan tai putkiston käyttöön liittyviä toimenpiteitä. Porsaita voidaan käyttää niin kaasu- kuin nesteputkistoissa. Kuvassa 5 on esitetty esimerkki porsaasta. (Cordell & Vanzant 2003, 15.)



Kuva 5. Esimerkki porsaasta (Smartpigs.net 2013)

Porsaat kulkevat putkistossa virtaavan aineen mukana, paine-eron vaikutuksesta. Sisäpuolisella kunnossapidolla ja kunnonvalvonnalla vältetään tuotannon keskeyttämisiltä ja kunnan tarkastamiseen liittyviltä haasteilta. Kuvassa 6 on havainnollistettu porsaan toimintaperiaatetta. Kuvassa olevaa porsasta käytetään putkiston sisäpuolisen lian poistamiseen. (Cordell & Vanzant 2003, 15; WikiWand 2017.)



Kuva 6. Porsaan toiminnan havainnollistus (WikiWand 2017)

### Porsastyypit

Porsaat voidaan jakaa käyttötarkoituksensa mukaan ns. palveluporsaisiin (engl. utility pigs) ja tarkastusporsaisiin (engl. inspection pig). Tarkastusporsaat liittyvät oleellisesti putkiston sisäpuoliseen tarkastamiseen, josta lisää kohdassa 4.2. Palveluporsaat voidaan jakaa vielä edelleen puhdistus- (engl. cleaning pigs) ja tiivistusporsaisiin (engl. sealing pigs). (Cordell & Vanzant 2003, 71; WikiWand 2017.)

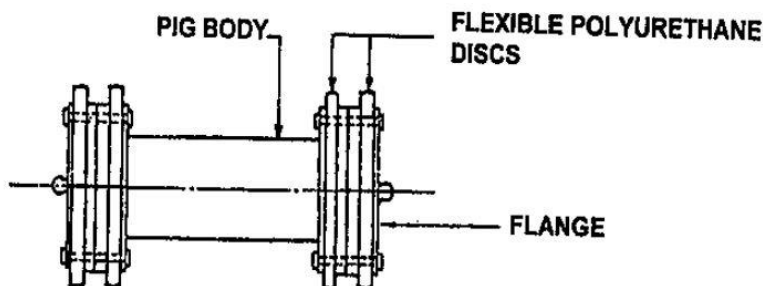
Puhdistusporsaiden tarkoituksena on nimensä mukaisesti poistaa esimerkiksi likaa ja kiinteitä aineita putkiston sisäpinnoilta. Tämä voidaan toteuttaa monilla eri tavoilla. Vaihtoehtoina ovat mm. harjat, kaapimet ja magneetit. Yleisesti puhdistus perustuu siis mekaanisen voiman siirtymiseen lian ja porsaan puhdistavan osan kohdatessa. (Cordell & Vanzant 2003, 71.)

Tiivistusporsailta on useampia erilaisia käyttötarkoituksia. Niiden avulla voidaan mm. poistaa nesteitä putkistosta, erottaa kaksi eri ainetta toisistaan samassa putkessa tai päällystää putken sisäpintaa. Tiivistusporsaat ovat usein samankaltaisia kuin puhdistusporsaatkin, mutta niistä puuttuu puhdistamiseen käytettävät välineet. (Cordell & Vanzant 2003, 71.)

### Porsaan rakenne

Kuvassa 7 on esitetty tyypillisen tiivistusporsaan rakenne. Kuvassa "discs"-sana viitataan polyuretaanisiin tiivistyslevyihin. "Pig body" viittaa porsaan runkoon johon porsaan muut osat kiinnitetään. Tämän tyyppisiä porsaita kutsutaan "Mandrel"-porsaksi, niille on tyypillistä pyöreä metallinen runko, johon liitettäviä osia voidaan vaihdella. Mikäli kuvassa 7 olevan porsaan runkoon lisätäisiin jokin puhdistusväline, muuttuisi porsas puhdistusporsaksi, kuten esi-

merkiksi kuvan 5 porsaassa. Puhdistusporsaat on yleensä varustettu myös tiivistysosilla. Tiivistysporsaissa tiivisteiden lukumäärä on kuitenkin useimmiten suurempi, kuin puhdistusporsaissa. (Cordell & Vanzant 2003, 79 – 87.)



Kuva 7. Mandrel-porsaan rakenne (Dwinirestu 2015)

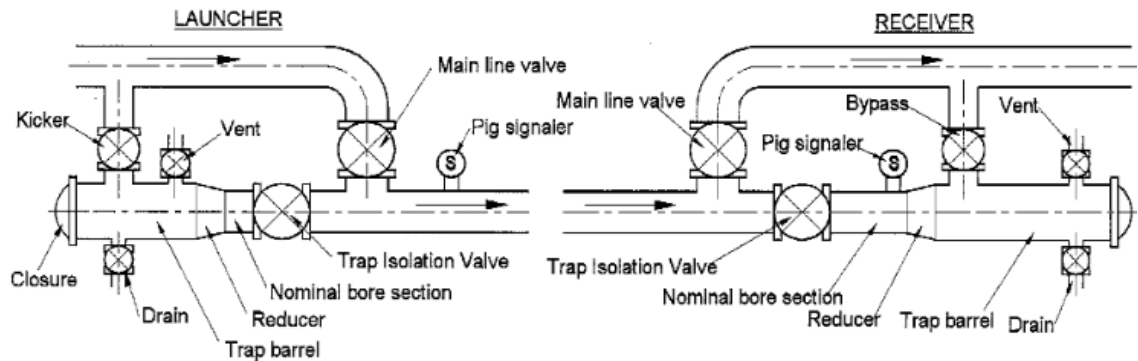
Mandrel-porsaiden lisäksi on olemassa kokonaan polyuretaanista valmistettuja, kovia ”Solid cast”-porsaita ja polyuretaanivaahdosta valmistettuja ”Foam”-porsaita. Nämä porsaat valmistetaan aina vain yhtä käyttötarkoitusta varten. Niiden etu mandrel-porsaisiin verrattuna on yleensä hinta, käytön helpous ja keveys. Näitä porsaita käytetään yleensä tiivistyskäytössä, mutta on olemassa joitakin sovelluksia, joissa näitä käytetään myös puhdistukseen. (Cordell & Vanzant, 2003, 74 – 78.)

### **Porsaiden käytön erityisvaatimukset**

Putkiston halkaisija määrittää käytettävän porsaan koon. Yleensä porsasta voidaan käyttää vain sille tarkoitetun kokoisessa putkistossa. Jotkin porsaat ovat kuitenkin suunniteltu toimimaan putkistoissa, joissa putken halkaisija muuttuu. Tällöin tiivistyslevyt on valmistettu riittävän taipuisasta materiaalista, joka mahdollistaa porsaan halkaisijan muutokset. Myös puhdistuslaitteet on näissä tapauksissa esimerkiksi jousitettu. (Cordell & Vanzant 2003, 36.)

Porsaiden asettamista putkistoon kutsutaan virallisemmin lähettämiseksi, ja niiden poistamista putkistosta vastaanottamiseksi. Porsaiden lähettäminen ja vastaanottaminen tapahtuu erityisten lähetys- ja vastaanottoloukkujen avulla. Maakaasuputkistojen tapauksessa loukut sijoitetaan yleensä venttiiliasemien yhteyteen. Loukkujen välinen etäisyys kaasuputkissa on yleensä suurimmillaan 160 km. Kuvassa 8 on esitetty vastaanotto- ja lähetysloukkujen rakenne ja kuvattu niiden toimintaa. (Cordell & Vanzant 2003, 50 – 51.)

Yksinkertaistetusti selitettynä porsaan lähetys ja vastaanotto tapahtuu seuraavasti. Lähetettäessä porsas asetetaan loukkuun, ja saadaan virtaamaan kaasun mukana ohjaamalla kaasun virtaus loukun kautta, ”kicker”-venttiiliä käyttäen. Vastaanottaessa porsas ajetaan uudelleen loukkuun, ohjaamalla kaasu-virtaus loukun läpi käyttäen ”bypass”-venttiiliä. (Cordell & Vanzant 2003, 151.)



Kuva 8. Porsaan lähetys- ja vastaanottoloukut (Cordell & Vanzant 2003, 50)

Loukut voivat olla joko kiinteitä asennettuja tai siirrettäviä. Siirrettävä loukku liitetään putkistoon sille varattuun paikkaan pulttavalla laippaliitoksella. Siirrettävän loukun korkeutta ja asentoa voidaan säätää hydraulisesti säätävän alusta avulla. Loukku voidaan kuljettaa paikalle esimerkiksi kuorma-autolla. Kuvassa 9 nähdään kiinteästi asennettuja loukkuja ja kuvassa 10 siirrettävä loukku ja sen liitoskohta. (Haastateltava 1 2017.)



Kuva 9 Kiinteästi asennettuja porsasloukkuja Mäntsälässä (Lumme, J. 2015)



Kuva 10 Siirrettävä loukku Tampereella (Lumme, J. 2015)

Jotta porsaita voitaisiin käyttää, täytyy jo putkiston suunnitteluvaiheessa ottaa huomioon porsaiden käytön vaatimat edellytykset. Täydellinen putkisto porsaiden käyttöä ajatellen olisi;

- täysin suora alusta loppuun
- täydellisen pyöreä
- halkaisija olisi täysin muuttumaton
- sisäpinta olisi, joko kiillotettu tai epoksipäällystetty
- ei sisältäisi lainkaan haaroja, venttiilejä tai muita laitteita
- kuljetettava aine olisi kevyttä jalostettua öljyä, joka etenisi 3 metriä sekunnissa

Vaikka näiden kohtien täyttyminen on käytännössä mahdotonta tai ainakin hyvin vaikeaa, saa niistä kuitenkin hyvän kuvan, mihin asioihin pitää kiinnittää huomiota suunnitellessa porsaille sopivaa putkistoa. Suomen maakaasun siirtoputkistosta noin 80 % on tarkastettavissa sisäpuolisesti. (Cordell & Vanzant 2003, 35; Haastateltava 1 2017.)

## 4.2 Sisäpuolinen tarkastus

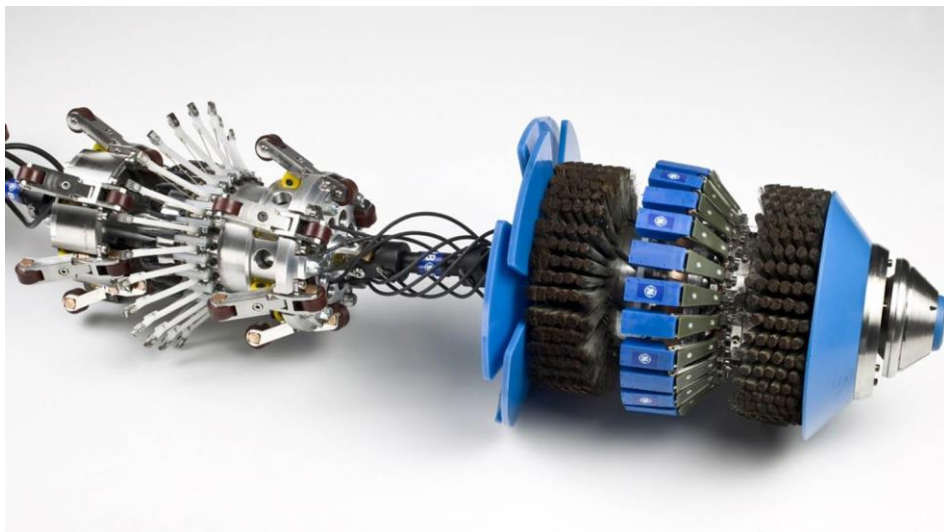
Sisäpuolisessa tarkastuksessa käytetään erilaisia, paljon monimutkaisempia porsaita. Niitä kutsutaankin älykkäiksi porsiksi (engl. smart pigs). Englannin kielessä sisäpuolisesta tarkastuksesta käytetään termiä "In Line Inspection" (ILI). (Cordell & Vanzant 2003, 112.)

Sisäpuolinen tarkastus voidaan ajatella olevan yksi NDT-menetelmistä. NDT on lyhenne englannin kielisestä termistä Non-Destructive Testing. NDT tarkoittaa

taa siis rikkomatonta aineenkoestusta, jossa nimensä mukaisesti aineen kuntoa tarkastellaan rikkomatta itse esinettä/tuotetta. Erilaisia NDT-menetelmiä käytetään monissa tuotannon vaiheissa, erilaisten laitosten käyttöönotto- ja tarkastuskissa ja tutkittaessa vanhempien rakenteiden kuntoa. NDT-menetelmiä on monenlaisia, niissä voidaan hyödyntää esim. magneettivirtoja, säteilyä tai ultraääniä, joita sitten analysoidaan elektroniikan avulla. (Inspecta 2017.)

Yleisimmät käyttökohteet sisäpuoliselle tarkastukselle, ovat korroosion ja fyysisten vaurioiden paikantaminen putkistosta. Älyporsaiden avulla voidaan tutkia putkistosta paljon muutakin (vuotoja, halkeamia yms.), mutta valtaosa toiminnasta liittyy kahteen aiemmin mainittuun. Nykyään on yleistä yhdistää useampi palvelu samaan porsaaseen ja suorittaa vain yksi ajo. Kuvassa 11 on esitetty esimerkki nykyaikaisesta älyporsaasta, joka on varustettu korroosion ja fyysisten vaurioiden havaitsemislaitteistoilla. Kuten kuvasta voi huomata, älyporsas on yleensä tavallista porsasta pidempi ja sisältää elektroniikkaa ja monenlaisia antureita. (Cordell & Vanzant 2003, 112; Haastateltava 1 2017.)

Älyporsas koostuu useammasta osasta. Siihen kuuluu vähintään yksi mittausta suorittava osa sekä osa jossa on mittausten tallentamista varten tarvittava elektroniikka ja akut. Kuvassa 11 nähdään kaksi erillistä älyporsaan osaa sekä tanko jolla ne on kiinnitetty toisiinsa. (Duke Energy 2017.)



Kuva 11. Älyporsas (General Electric 2017)

Porsaan kulkema matkaa mitataan mittapyörien avulla (engl. Odometer wheels). Kun pyörän piiri on tunnettu, voidaan pyörän kierrosmäärän perusteella laskea porsaan kulkema matka. Nämä pyörät näkyvät selkeästi myö-



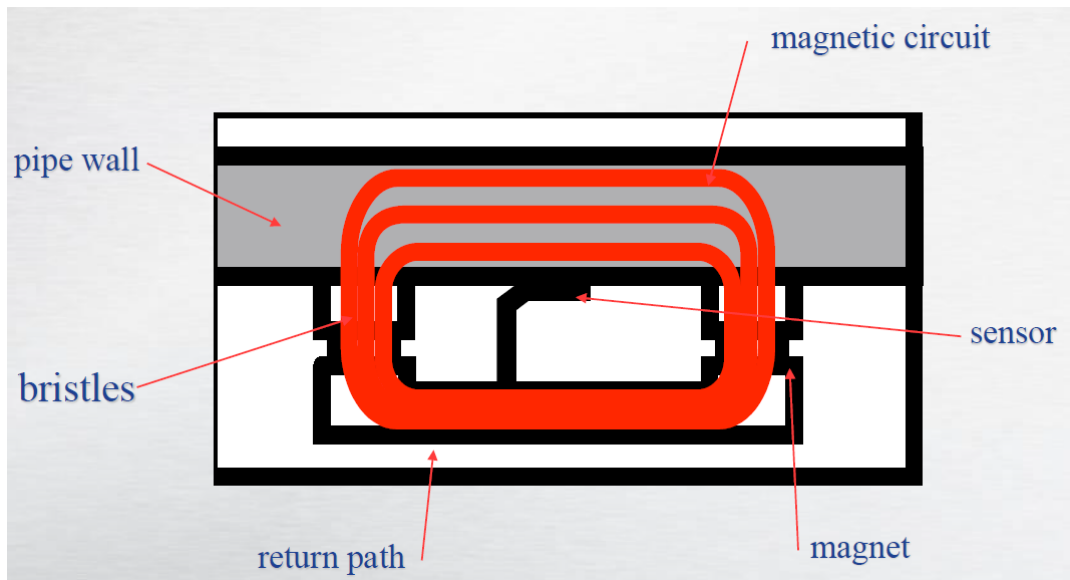
hemmin olevassa kuvassa 16. Putkistoon voi olla asennettuna referenssilaitteita, joiden avulla voidaan myös päätellä ja varmistua porsaan sijainnista putkessa. (Cordell & Vanzant 2003, 122)

Ajon jälkeen porsaaseen tallentuneista tiedoista koostetaan raportti. Raportissa on listattuna kaikki porsaan tekemät havainnot. Havaintojen sijainti putkessa ilmoitetaan absoluuttisena matkana ajon alusta ja suhteellisenä matkana edellisestä havainnosta. Raportista ilmenee myös vaurion koko, vakaavuus ja sijainti kellotaulun avulla kerrottuna. Myös referenssipisteet löytyvät raportista. Raportti on esitetty myöhemmin kuvassa 15.

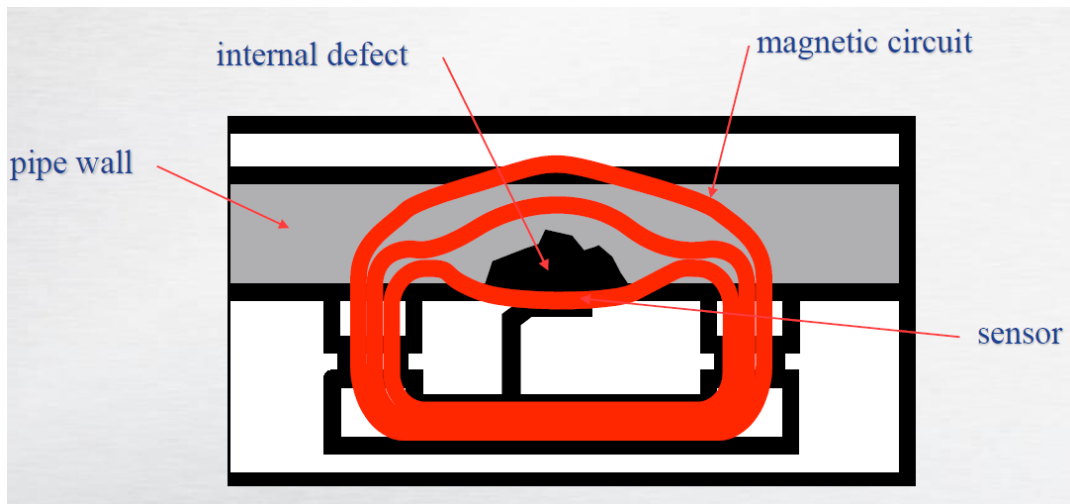
### **Korroosio (engl. Metal loss)**

Korroosion havaitsemiseen käytetään kolmea erilaista tekniikkaa; Magneettivuon vuotamiseen (engl. Magnetic Flux Leakage, MFL), ultraääniin (engl. Ultrasounds, UT) tai pyörrevirtoihin (engl. Eddy Currents) perustuvaa tekniikkaa. Näistä kolmesta yleisin on MFL-tekniikka, jota käytetään mm. Gasum Oy:n teettämässä porsasajoissa. (Cordell & Vanzant, 2003, 112 - 116; Haastateltava 1 2017.)

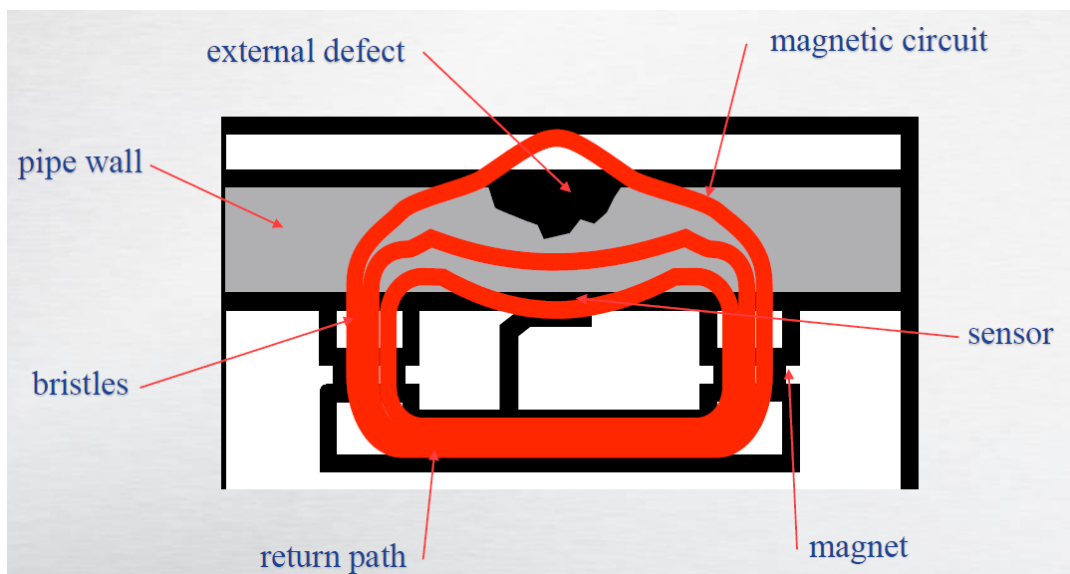
MFL-tekniikassa voimakkailla magneeteilla luodaan magneettipiiri magneettien ja putken seinämän välille. Magneettipiirissä kulkevan magneettivuon muutoksia ja ”vuotamista” tarkkaillaan antureiden avulla. Antureiden havainnot tallennetaan ja analysoidaan. Muutoksia magneettivuohon aiheuttavat putken seinämän korroosio, rautapitoisen materiaalin läheisyys ja putken materiaalin laadulliset muutokset. Tekniikan toimintaa kuvataan ja havainnollistetaan kuvissa 12, 13 ja 14. (Cordell & Vanzant 2003, 112 - 114)



Kuva 12. 1. Havainnekuva MFL-tekniikasta (GE and Al Shaheen)



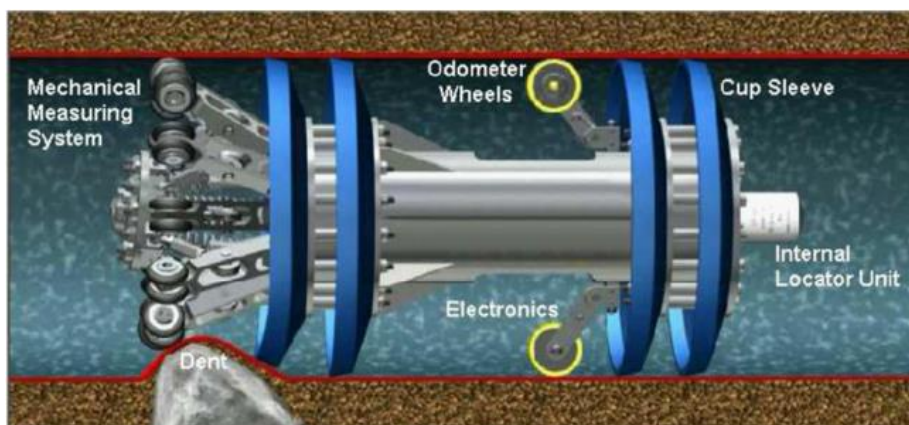
Kuva 13. 2. Havainnekuva MFL-tekniikasta (GE and Al Shaheen)



Kuva 14. 3. Havainnekuva MFL-tekniikasta (GE and Al Shaheen)

## Fyysiset vauriot (engl. Geometry)

Fyysisten vaurioiden kuten lommojen tai putken soikeuden havaitsemiseen yleisimmin käytetty tekniikka on sähkömekaaninen tekniikka (engl. Electro-Mechanical Technology). Porsaassa on jousitettuja ”sormia” tai ”kynsiä”, jotka koskettavat putken sisäpintaa, joko suoraan tai pyörien kautta. Näiden sormien liike muunnetaan anturitankojen ja elektroniikan avulla sähköiseksi signaaliksi, joka sitten tallennetaan ja analysoidaan. Kuvassa 15 on esitetty sähkömekaanista tekniikka hyödyntävän porsaan rakenne, josta näkyy mm. takaosassa olevat pyörillä toimivat ”sormet”. Kuvassa 15 näkyy myös porsaan etenemän matkan mittaamiseen käytettävät pyörät (Odometer wheels), joita käytetään lähes kaikissa älyporsaissa. (Cordell & Vanzant 2003, 121 – 122; PS Engineering Service 2017.)



Kuva 15. Havainnekuva sähkömekaanisesta tekniikasta. (ResearchGate.net 2014)

### 4.3 Porsasajot Gasum Oy:ssä

Gasum Oy:n omistamasta Suomen maakaasun siirtoputkistosta on ajettavissa porsailla n. 1005 km. Tämä kattaa putken runkolinjat ja kriittisimmät haarat. Useimmilla porsailla ajettavilla putkiosuuksilla on kiinteästi asennetut porsasloukut, mutta muutamilla osuuksilla käytetään siirrettävää loukkua. Gasum Oy hyödyntää porsaista kaasuputkien kunnossapidossa ja myös tarkastuskäytössä. (Haastateltava 1 2017.)

Puhdistusporsasajot ovat osa maakaasun siirtoputkiston ennakkohoolto-ohjelmaa. Niillä putkistoa puhdistetaan, sinne mahdollisesti päätyvistä kompresso-

riöljystä, parafiinistä ja muista putkistoon kertyvistä epäpuhtauksista. Puhdistusajot Gasum Oy suorittaa pääsääntöisesti vuosittain omaa henkilöstöä ja kalustoa käyttäen. (Haastateltava 1 2017.)

Tarkastusajot suorittaa ulkopuolinen toimija omalla kalustollaan. Putkistojen sisäpuolisia tarkastuksia suorittavat useat kansainväliset yritykset. Gasum Oy kilpailuttaa jokaista tarkastusta varten teknillisesti ja taloudellisesti parhaiten sopivan toimittajan. Tarkastusajot suoritetaan tarkastusohjelman mukaisesti, noin 10 vuoden välein. Tarkastustiheydessä on eroja eri putkiosuuksien välillä, riippuen esimerkiksi putken iästä, kunnosta, putkilinjan sijainnista, toimituskohteen kriittisyydestä ja putkeen tehdyistä muutoksista. Tarkastustiheyteen voi vaikuttaa myös kaasuvirtauksen määrä. Mikäli jonkin kohteen kulutus on laskenut selvästi, ei kaasuvirtaus ole välttämättä riittävän voimakas kuljettamaan porsasta putkiston läpi. Uusille putkiston osille tehdään käyttöönottotarkastus mahdollisimman pian käyttöönoton jälkeen, jotta saadaan sopiva vertailupohja tulevia tarkastuksia varten. (Haastateltava 1 2017.)

## **5 PAIKKATIETO**

### **5.1 Paikkatieto ja paikkatietojärjestelmät**

#### **Perusteet**

Paikkatiedolla tarkoitetaan tietoa, johon on liitetty maantieteellinen sijainti. Tämän määritelmän täyttää lähes kaikki olemassa oleva tieto, sillä yleensä asiat tapahtuvat jossain. Paikkatietoon sisältyy ominaisuustieto ja sijaintitieto. (Löytönen ym. 2003, 12)

Paikkatiedon esittämisen pohjana on yleensä kartta. Kartan avulla jonkin kohteen sijainti voidaan esittää suhteessa muuhun ympäristöön. Kartta on tiettyyn mittakaavaan pienennetty kaksiulotteinen kuva maastosta. Paikkatietoon sisältyvä sijaintitieto voidaan esittää kartalla esimerkiksi x- ja y-koordinaattien avulla. Korkeutta voidaan kuvata kartassa esimerkiksi korkeuskäyrillä tai suoraan lukuarvoina. Paikkatiedossa kohteen tarkka korkeus voidaan lisätä ominaisuustietona. Paikkatiedon sijaintitieto voi olla yksinkertaisimmillaan piste-mäinen, mutta yhtä hyvin jokin suurempikin alue. (Löytönen ym. 2003, 20)

Ominaisuustieto voi sisältää käytännössä mitä tahansa tietoa, mikä halutaan esittää siihen liittyvän sijainnin ohella. Esimerkkeinä mainittakoon rakennusvuosi tai kohteen koko.

### **Paikkatietojärjestelmät**

Paikkatietojärjestelmän (engl. Geographic Information System, GIS) avulla voidaan hallita, analysoida ja esittää paikkatietoa. Paikkatietojärjestelmän peruskomponentit ovat laitteisto, ohjelmisto, aineisto ja käyttäjä. (Löytönen ym. 2003, 50 - 57)

Laitteistolla tarkoitetaan kaikkia niitä laitteita, joita järjestelmän käyttäminen vaatii. Laitteistoon voi kuulua esimerkiksi tietokoneita järjestelmän käyttämiseksi ja tietokantapalvelimet, joille järjestelmän aineisto tallennetaan. Nykyään paikkatietojärjestelmä voi toimia myös täysin pilvipalveluna. (Löytönen ym. 2003, 50 - 57)

Ohjelmistolla tarkoitetaan tietokoneella toimivia ohjelmia, joiden avulla järjestelmään sisältyviä tietoja voidaan hallita tai esittää. Järjestelmän ohjelmisto voi koostua useammasta erilaisesta käyttöliittymästä. Paikkatietoa hallinnoivalla ja järjestelmän toimintaa ylläpitävillä taholla voi olla oma käyttöliittymänsä ja tietoa käyttävillä tahoilla omansa. Paikkatieto-ohjelmistoja on paljon erilaisia. Niiden omaisuudet painottuvat käyttötarkoituksen mukaisesti esimerkiksi analysointiin tai palvelujen suunnitteluun sijainnin pohjalta. Ohjelmistot ovat valmiita kaupallisia sovelluksia, valmiita avoimeen lähdekoodiin perustuvia tai jopa täysin tietyn yrityksen tarpeisiin räätälöityjä ratkaisuja. (Löytönen ym. 2003, 50 - 57)

Paikkatietojärjestelmän tärkein osa on aineisto. Ilman aineistoa paikkatietojärjestelmä olisi käytännössä hyödytön. Aineisto koostuu yleensä sijanteihin liittyvistä mittaustiedoista. Aineistoon kuuluu myös ominaisuustiedon pohjana käytettävät tiedot kuten tilastotietoja tai maastoon sijoitettujen kohteiden ominaisuuksia. Aineistosta koostetaan tietokanta, jonka sisältämiä tietoja esitetään tai analysoidaan ohjelmiston avulla. (Löytönen ym. 2003, 50 - 57)

Käyttäjän rooli paikkatietojärjestelmän käytössä on merkittävä. Järjestelmän käyttäjistä riippuu mitä järjestelmään tallennetaan, mitä tietoa sillä analysoidaan tai esitetään sekä miten esitettyä ja analysoitua tietoa tulkitaan. (Löytönen ym. 2003, 50 - 57)

## 5.2 Gasum Oy:n paikkatietojärjestelmä

Gasum Oy käyttää paikkatietojärjestelmänsä omaisuuden hallinnan, kaasuputkiston valvonnan, kunnossapidon ja asiakaspalvelun tukena. Järjestelmään on tallennettu tieto lähes kaikesta yrityksen omaisuudesta, esimerkiksi koko maakaasuputkisto, putkiston linjamerkinnät ja asemat. Konkreettisia esimerkkejä käyttökohteista ovat mm. putkistoon liittyvien tietojen luovutus ja niiden käyttäminen putken läheisyydessä tapahtuvan toiminnan lupa-asioiden tukena. Tehdyt lausunnon ja kaivulupa-asiat myös tallentuvat järjestelmään. Järjestelmä toimii kunnossapidon apuna, mm. porsashavaintojen kaivupaikkojen etsinnässä ja kunnossapidon suunnittelussa. (Haastateltava 2 2017.)

Gasum Oy:n paikkatietojärjestelmästä on olemassa työpöytäversio, sekä mobiiliversio. Yhtiön vanhassa järjestelmässä mobiiliversiota käytettiin iskunkestävien pienien tietokoneiden kautta. Järjestelmän uudisuksessa mobiiliversiosta tulee Android-laitteille asennettava sovellus. Mobiiliversion tärkein käyttökohde on vuosittaiset linjatarkastukset. Linjatarkastuksissa maakaasulinjojen ja niiden merkintäpylväiden kunto tarkastetaan kävelemällä linjoja pitkin maastossa. (Haastateltava 2 2017.)

Putken sijainti on tarkemittattu aina rakennusajan mukaisella tekniikalla rakentamisen yhteydessä, joten osa tiedosta on jopa 40 vuotta vanhaa. Vanhimasta aineistosta puuttuu korkeustieto, joka voidaan kuitenkin arvioida suhteellisen tarkasti maanpinnan korkeuden ja peitesyvyyden avulla. Nykyään mittauksissa käytetään pääasiassa GPS-satelliittipaikannukseen perustuvaa RTK-GNSS-tekniikkaa. Tällä tekniikalla sijainti voidaan määrittää senttimetrin tarkkuudella. Maanpäällisten rakenteiden sijainnit on myöhemmin mitattu samaisella RTK-GNSS-tekniikalla. Järjestelmässä on myös jonkin verran huonolaatua aineistoa Gasum Oy:n ensimmäisen paikkatietojärjestelmän ajalta. Tähän järjestelmään on kerätty tietoa digitoimalla sitä dokumentaatiosta, joka harvoin pitää täysin paikkaansa. Huonossa aineistossa virheet ovat usein, jopa kymmeniä metrejä. (Haastateltava 2 2017.)

Tämän työn toteutuksen ymmärtämiseksi täytyy tutustua muutamaa Gasum Oy:n paikkatietojärjestelmän erityispiirteeseen. Putkipisteellä tarkoitetaan mitattua pistettä (käytännössä XYZ-koordinaatti), jonka kautta putki kulkee. Pis-

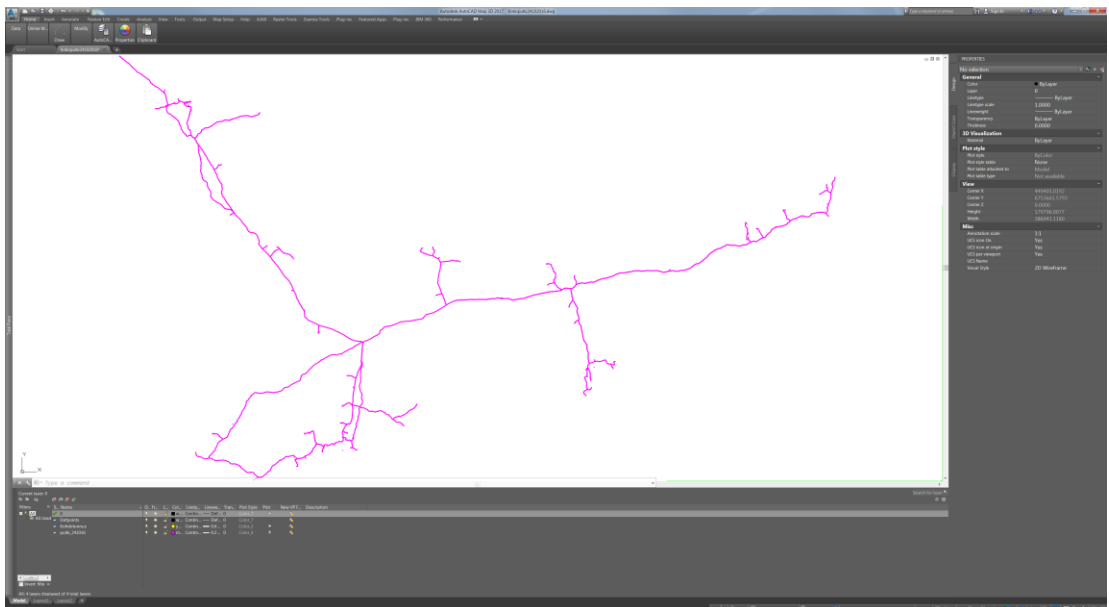
teisiin kuuluu myös muita verkostoon liittyvien kohteiden mittaustietoja. Paikkatietojärjestelmän uudistuksen yhteydessä putkipiste-termi korvataan mitauspisteellä. Näitä mitattuja pisteitä on Gasum Oy:n paikkatietojärjestelmässä 140 000 kappaletta, joka on tyypillinen määrä pienelle järjestelmälle. Putkivälillä tarkoitetaan kahden ns. solmupisteen välistä putkiston osaa. Välit erottavat toisistaan yleisimmin, joko venttiili- tai paineenvähennysasemat. (Haastateltava 2 2017.)

## 6 TYÖN TOTEUTUS

### 6.1 Työkalut ja aineisto

Työn tekemiseen käytettiin Microsoftin Excel-taulukkolaskentaohjelmaa, Autodeskin AutoCAD MAP 3D- ohjelmistoa ja Gasum Oy:n vanhaa paikkatietojärjestelmä PUUHA:aa.

Työn lähtökohtina olivat siirtoputkistoa kuvaava, mittaustietoihin perustuva 3D-geometria ja taulukko sen perustana olevista pisteistä sekä tuoreimpien älyporsasajojen raportit. Näistä oli tarkoitus saada yhdistettyä paikkatietoaineisto. Kuvassa 16 on nähtävissä putkiston 3D-geometria. Kuva saattaa vaikuttaa vain kaksiulotteiselta, mutta jokaiselle pisteelle jonka kautta putkisto on piirretty, on määritetty myös Z-koordinaatti. Kuvassa 17 on esimerkki älyporsasajon raportista.



Kuva 16. Siirtoputkiston 3D-geometria Autocad MAP 3D-ohjelmassa

Pipeline Listing									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
	Girth Weld Number	Relative Distance (metres)	Absolute Distance (metres)	Comment	Peak Depth	Length (mm)	ERF	Orientation (hrs:mins)	
286	1880	18,0	3020,9					12:45	
287	1890	18,0	3038,9					09:30	
288	H93	17,9	3056,8	*EXT ML	21 %	32	0,625	12:00	
289	1900	18,0	3056,8					12:00	
290	1910	18,0	3074,8					02:45	
291	1920	18,0	3092,8					12:00	
292	1930	17,9	3110,7						
293	1940	18,0	3128,7						
294	1950	18,0	3146,6						
295	1960	18,0	3164,6						
296	1970	18,0	3182,6						
297	1980	17,8	3200,4						
298	1990	18,0	3218,3						
299	2000	18,0	3236,3	NWT 6.35/7.55MM					
300	2010	17,6	3253,9						
301	2020	17,4	3271,9	BEND COLD OVER					

Kuva 17. Porsasajon raportti

## 6.2 Aineistoon tutustuminen

Älyporsasraportin vasemman puoleisimmassa sarakkeessa juoksee kaasuputken saumanumero. Havaintojen ja toisten saumojen etäisyys on esitetty suhteellisena matkana edellisestä saumasta. Porsaan tekemien havaintojen kohdistamiseksi kartalle, myös saumat täytyisi kohdistaa kartalle. Uusimmissa siirtoputkiston osissa mitatut putkipisteet sisältävät kaikki putken saumat ja taitkohdat.

Mittausepäätarkkuuksista johtuen mittauksiin perustuva putkiston pituus ja älyporsaan laskema putkiston pituus eivät täsmänneet. Ongelma ratkaistiin skaalamalla porsaan kulkema matka samaksi, kuin mittauksiin perustuva tieto. Mittauksiin perustuvaa tietoa pidettiin todenperäisempänä. Skaalauksessa käytettiin kaavaa 3. Kaavan avulla jokaisen porsaan tekemän havainnon etäisyydet skaalattiin.



$$newValue = \left( (oldValue - oldMin) \cdot \frac{newRange}{oldRange} \right) + newMin \quad (1)$$

jossa	newValue	skaalattu arvo	[m]
	oldValue	vanha arvo	[m]
	oldMin	vanha lähtöarvo	[m]
	newRange	etäisyys jolle skaalataan	[m]
	oldRange	vanha kokonaietäisyys	[m]
	newMin	uusi lähtöarvo	[m]

Skaalausongelman ratkettua, pystyttiin aloittamaan putkipisteiden välisen etäisyyden vertaaminen porsasraportissa kerrottuihin saumojen välisiin etäisyyksiin. Testauksen kohteeksi valittiin Gasum Oy:n uusin putkiston osa, vuonna 2012 rakennettu Mäntsälästä Lohjalle kulkeva putki. Tästä putkesta oleva mitaustieto oli kaikkein tuoreinta ja tarkinta. Siitä löytyi tiedot putken saumojen sijainneista.

Tätä varten kehitettiin Excel-taulukko, joka laski putkipisteiden välisen etäisyyden ja samalla skaalasi siihen syötetyn porsasajon tietojen etäisyydet, joita verrattiin toisiinsa. Yli 30 cm toisistaan eroavat etäisyydet merkattiin punertavalla taustalla. Pisteiden välinen etäisyys laskettiin käyttämällä kolmiulotteisen siirtymän kaavaa, joka on kaava 4. Liitteessä 1 on esitetty edellä mainittu Excel-taulukko.

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2} \quad (2)$$

jossa	d	matka	[m]
	x	x-koordinaatti	[m]
	y	y-koordinaatti	[m]
	z	z-koordinaatti	[m]

Taulukon avulla pystyttiin päättämään mitä saumaa mikäkin putkipiste vastasi. Taulukon ongelmia olivat sen käytön vaativa käsityön määrä ja hitaus. Ratkaiseva ongelma työn toteuttamisen kannalta tällä tavalla ilmeni kokeillessa taulukkoa vanhalle mittausaineistolle. Vanhoissa aineistoissa ei ole tie-

toa ovatko mitatut putkipisteet putkiston saumoja ja millainen tarkkuus mitauksissa on ollut käytössä. Vanhoissa aineistoissa ongelmana oli myös, että putkipisteiden väliset etäisyydet saattoivat olla huomattavasti suurempia, kuin pisimmät mahdolliset saumojen väliset etäisyydet. Tästä voidaan päätellä, että kaikkia saumakohtia ei ole mitattu. Putkiston rakentamiseen käytetyt putket olivat pisimmillään 18 m pitkiä.

### 6.3 Laskentataulukon kehitys

Aiemman laskentataulukon kanssa kohdattujen ongelmien ratkaisemiseksi kehitettiin uusi taulukko, joka laskee havaintojen ja saumojen paikat ilman suoraa yhteyttä putkipisteisiin. Aiemmin kehitettyä skaalaus-ominaisuutta käytettiin myös osana uutta taulukkoa.

Taulukon kannalta tärkeintä oli löytää kaava, jonka avulla voitiin laskea pisteen koordinaatit, tunnetun kolmiulotteiselta vektorin varrelta, joka on tietyn etäisyyden päässä vektorin alkupisteestä. Kaavassa 3 vektori jaetaan sen omalla pituudella, minkä tuloksena saadaan jokaista ulottuvuutta varten kerroin. Kaavassa 4 kertomalla haluttu etäisyys kertoimilla saadaan koordinaatit pisteestä, joka on halutun etäisyyden päässä vektorin alkupisteestä.

$$\frac{\vec{BA}}{|\vec{BA}|} = \frac{(xi,yj,zk)}{\sqrt{xi^2+yj^2+zk^2}} = (kx, ky, kz) \quad (3)$$

jossa	A	vektorin alkupiste	[m]
	B	vektorin loppupiste	[m]
	x	vektorin pituus x-suunnassa	[m]
	y	vektorin pituus y-suunnassa	[m]
	z	vektorin pituus z-suunnassa	[m]
	kx	x-koordinaatin kerroin	[-]
	ky	y-koordinaatin kerroin	[-]
	kz	z-koordinaatin kerroin	[-]

$$A + X(kx, ky, kz) = (x, y, z) \quad (4)$$

jossa	A	vektorin alkupiste	[m]
	X	haluttu etäisyys alkupisteestä	[m]
	kx	x-koordinaatin kerroin	[-]
	ky	y-koordinaatin kerroin	[-]
	kz	z-koordinaatin kerroin	[-]
	x	x.koordinaatti	[m]
	y	y-koordinaatti	[m]
	z	z-koordinaatti	[m]

Lopullisen laskentataulukon selkeyttämiseksi taulukko jaettiin kolmeen alatauluktoon. Yhdessä taulukossa tehdään porsasajon skaalaus, toisessa lasketaan tarvittavat kertoimet putkipisteiden perusteella ja kolmannessa tehdään itse koordinaattien laskenta. Nämä taulukot on esitetty kuvissa 18, 19 ja 20. Tarkemmat kuvat taulukoista ovat liitteissä 2, 3 ja 4. Taulukon tarkat käyttöohjeet on esitetty liitteessä 6.

Kuvan 18 taulukolla porsasajo skaalataan samalla tavalla, kuin aikaisemminkin. Taulukosta on poistettu vertailua tekevä osuus.

Vanha		Uusi				
Havaintotunnus	Relatiivinen etäisyys	Absoluuttinen etäisyys	Kumulatiivinen etäisyys	Kumulatiivinen etäisyys pyöristetty	Relatiivinen etäisyys	
			Kopioi tämä			
9770	0,526	16101,117	0,000	0,0000	0	9770
9780	17,997	16119,114	17,986	17,9861	17,986	9780
9790	17,967	16137,080	35,941	35,9413	17,955	9790
H358	11,990	16149,070	47,924	47,9241	11,983	H358
9800	16,927	16154,007	52,858	52,8581	4,934	9800
H359	7,737	16161,744	60,590	60,5904	7,732	H359
9810	17,979	16171,987	70,827	70,8272	10,237	9810
9820	17,980	16189,967	88,796	88,7964	17,969	9820
9830	17,979	16207,947	106,766	106,7655	17,969	9830
9840	17,983	16225,930	124,738	124,7377	17,972	9840
H360	8,750	16234,680	133,482	133,4824	8,745	H360
9850	17,970	16243,900	142,697	142,6969	9,214	9850
9860	12,261	16256,161	154,950	154,9505	12,254	9860
9870	14,850	16271,010	169,791	169,7905	14,840	9870
9880	13,757	16284,767	183,539	183,5392	13,749	9880
H361	12,747	16297,514	196,279	196,2785	12,739	H361
9890	17,979	16302,746	201,507	201,5074	5,229	9890
9900	17,974	16320,720	219,471	219,4705	17,963	9900

Kuva 18. Skaalaus-taulu

Kuvan 19 taulukolla lasketaan koordinaattien määrittämistä varten tarvittavat kertoimet. Kertoimille annetaan ns. apunumero, joka helpottaa tiedon hakemista seuraavassa taulukossa. Taulukkoon syötetään tarvittavien putkipisteiden numerot ja koordinaatit. Taulukko laskee myös putkipisteiden väliset etäisyydet kumulatiivisesti ja relatiivisesti. Kumulatiivinen etäisyys tarvitaan koordinaattien laskentaa varten

Syötä nämä itse				Etäisyydet			Kertoimet		
Mittauspistenumero	x	y	z	Kumulatiivinen	Kum. Pyörästetty Kopioi Tämä	Relatiivinen	X	Y	Z
PUTKIPISTE_237905	0	386922,16	6716685,275	82,496	0,000	0,000	0	0	0
PUTKIPISTE_237906	1	386906,326	6716676,804	83,148	17,969	17,969	1	-0,88117	-0,47
PUTKIPISTE_237907	2	386890,493	6716668,44	84,02	35,897	35,897	2	-0,88316	-0,47
PUTKIPISTE_237908	3	386879,981	6716662,767	84,034	47,857	47,857	3	-0,87894	-0,47
PUTKIPISTE_237909	4	386875,604	6716660,451	84,676	52,809	52,809	4	-0,88382	-0,47
PUTKIPISTE_237910	5	386867,629	6716656,133	84,825	61,879	61,879	5	-0,87936	-0,48
PUTKIPISTE_237911	6	386859,687	6716652,059	85,098	70,810	70,810	6	-0,88935	-0,46
PUTKIPISTE_237912	7	386843,683	6716643,865	85,541	88,795	88,795	7	-0,88984	-0,46
PUTKIPISTE_237913	8	386827,714	6716635,744	86,113	106,719	106,719	8	-0,89090	-0,45
PUTKIPISTE_237914	9	386811,683	6716627,591	86,761	124,716	124,716	9	-0,89077	-0,45
PUTKIPISTE_237915	10	386803,717	6716623,506	87,106	133,675	133,675	10	-0,88916	-0,46
PUTKIPISTE_237916	11	386795,712	6716619,53	87,739	142,635	142,635	11	-0,89337	-0,44
PUTKIPISTE_237917	12	386784,774	6716614,024	88,532	154,907	154,907	12	-0,89135	-0,45
PUTKIPISTE_237918	13	386771,515	6716607,358	89,54	169,781	169,781	13	-0,89139	-0,45
PUTKIPISTE_237919	14	386759,256	6716601,224	90,521	183,524	183,524	14	-0,89201	-0,45
PUTKIPISTE_237920	15	386748,041	6716595,569	91,408	196,116	196,116	15	-0,89069	-0,45
PUTKIPISTE_237921	16	386743,218	6716593,175	91,302	201,501	201,501	16	-0,89555	-0,44
PUTKIPISTE_237922	17	386727,157	6716585,129	90,648	219,477	219,477	17	-0,89349	-0,45
PUTKIPISTE_237923	18	386721,477	6716582,387	90,404	225,789	225,789	18	-0,89988	-0,43
PUTKIPISTE_237924	19	386710,564	6716578,321	90,136	237,438	237,438	19	-0,93662	-0,35
PUTKIPISTE_237925	20	386693,684	6716572,136	90,088	255,415	255,415	20	-0,93895	-0,34
PUTKIPISTE_237926	21	386677,505	6716566,288	90,406	272,622	272,622	21	-0,94029	-0,34
PUTKIPISTE_237927	22	386661,152	6716560,34	90,789	290,027	290,027	22	-0,93954	-0,34
PUTKIPISTE_237928	23	386645,13	6716554,49	91,206	307,089	307,089	23	-0,93986	-0,34
PUTKIPISTE_237929	24	386628,642	6716548,439	91,648	324,657	324,657	24	-0,93848	-0,34
PUTKIPISTE_237930	25	386612,283	6716542,194	92,003	342,101	342,101	25	-0,93781	-0,35
PUTKIPISTE_237931	26	386596,004	6716536,337	92,323	359,473	359,473	26	-0,93707	-0,35

Kuva 19. Kertoimet-taulu

Viimeisessä alataulukossa (kuva 20) lasketaan koordinaatit. Taulukkoon syötetään kaikkien kohteiden, kumulatiivinen etäisyys laskettavan putkiston osan alusta. Tämä sisältää porsasajon havainnot ja putkipisteet. Putkipisteet merkitään "Putkipiste?"-sarakeeseen x-kirjaimella. Kun saavutetaan seuraava putkipiste, yleensä myös putken suunta ja tarvittavat kertoimet muuttuvat. Haettujen kertoimien avulla lasketaan koordinaatit kertomalla samalla rivillä oleva etäisyys. Taulukossa on myös "etäisyyksien ero APU"-sarake, jossa lasketaan kahden perättäisten koordinaattien etäisyys toisistaan ja verrataan sitä syötettyjen etäisyyksien erotukseen. Tämän pitäisi olla aina nolla. Mikäli arvo on erisuuri, kuin nolla on laskennassa virhe.

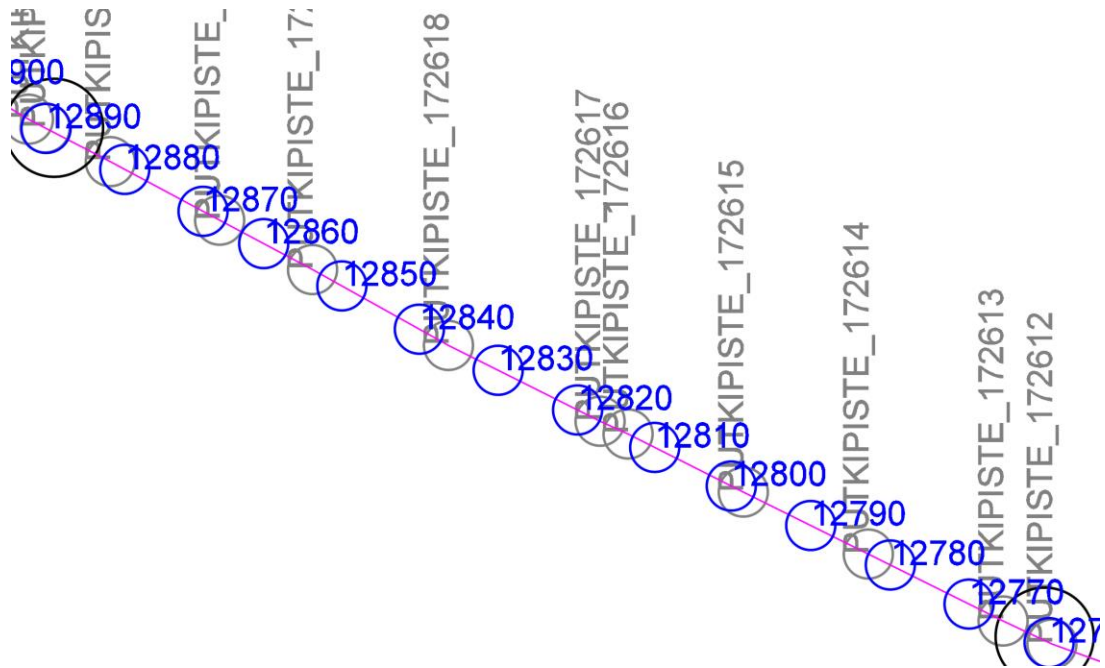
Rivi	Mittauspiste?	Sauman skaalattu kumulatiivinen etäisyys alusta	Apunumerointi	Kertoimet			Koordinaatit		
	SYÖTÄ	SYÖTÄ ITSE		x	y	z	x	y	z
1	x	0	0	0,0000	0,0000	0,0000	386922,160	6716685,275	82,496
2		0	1	-0,8812	-0,4714	0,0363	386922,160	6716685,275	82,496
3	x	17,9694	1	-0,8812	-0,4714	0,0363	386906,326	6716676,804	83,148
4		17,9861	2	-0,8832	-0,4665	0,0486	386906,311	6716676,796	83,149
5	x	35,897	2	-0,8832	-0,4665	0,0486	386890,493	6716668,440	84,020
6		35,9413	3	-0,8789	-0,4743	0,0497	386890,454	6716668,419	84,022
7	x	47,8569	3	-0,8789	-0,4743	0,0497	386879,981	6716662,767	84,614
8		47,9241	4	-0,8838	-0,4677	0,0125	386879,922	6716662,736	84,615
9	x	52,8092	4	-0,8838	-0,4677	0,0125	386875,604	6716660,451	84,676
10		52,8581	5	-0,8793	-0,4761	0,0164	386875,561	6716660,428	84,677
11		60,5904	5	-0,8793	-0,4761	0,0164	386868,762	6716656,747	84,804
12	x	61,8794	5	-0,8793	-0,4761	0,0164	386867,629	6716656,133	84,825
13	x	70,8095	6	-0,8893	-0,4562	0,0306	386859,687	6716652,059	85,098
14		70,8272	7	-0,8898	-0,4556	0,0246	386859,671	6716652,051	85,098
15	x	88,7947	7	-0,8898	-0,4556	0,0246	386843,683	6716643,865	85,541
16		88,7964	8	-0,8909	-0,4531	0,0319	386843,681	6716643,864	85,541
17	x	106,7192	8	-0,8909	-0,4531	0,0319	386827,714	6716635,744	86,113
18		106,7655	9	-0,8908	-0,4530	0,0360	386827,673	6716635,723	86,115
19	x	124,7377	9	-0,8908	-0,4530	0,0360	386811,683	6716627,591	86,761
20		124,7377	10	-0,8892	-0,4560	0,0385	386811,664	6716627,581	86,762
21		133,4824	10	-0,8892	-0,4560	0,0385	386803,888	6716623,594	87,099
22	x	133,6749	10	-0,8892	-0,4560	0,0385	386803,717	6716623,506	87,106

Kuva 20. Koordinaattien laskentataulu

## 6.4 Laskennan tarkkuuden määrittäminen

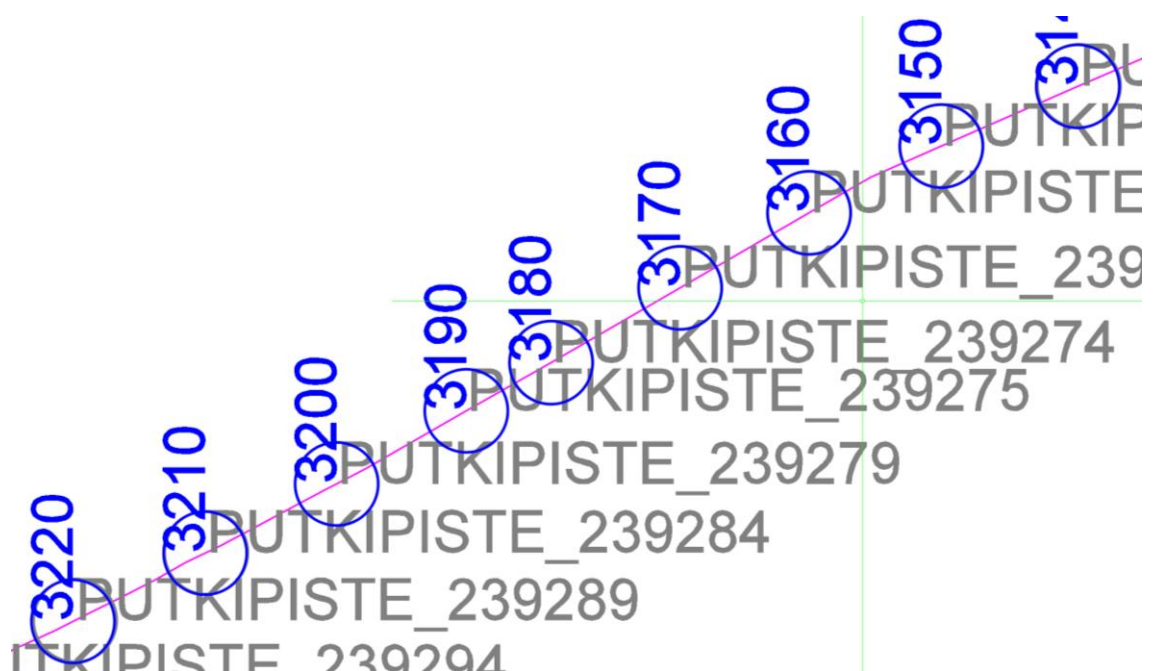
Uutta taulukkoa kokeiltiin käytännössä ensimmäiseksi vanhaan Mäntsälästä Hämeenlinnaan suuntautuvaan putkeen, jossa huomattiin myös vanhan laskentatavan heikkoudet. Koordinaattien havainnollistamiseksi käytettiin AutoCAD Map 3D-ohjelmaa. Ohjelmaan avattiin jo aiemmin nähty geometria putkistosta, minkä päälle piirrettiin ympyröitä havainnollistamaan porsaan havain-  
toja.

Kuvassa 21 on nähtävissä havainnollistus saumoista aiemmin mainitussa putkessa. Kuvassa on myös merkittynä mittauksiin perustuvat putkipisteet. Saumat ja sauman numero on merkittynä tumman sinisellä, putkipisteet vaalean harmaalla. Tässä vaiheessa ongelmaksi nousi luotettavuus. Koska saumojen oikeasta sijainnista ei ole tietoa, on todella vaikea sanoa ovatko saumojen oikeat paikat samoja kuin lasketut.



Kuva 21. Lasketut saumat ja putkipisteet Hämeenlinnan putkessa

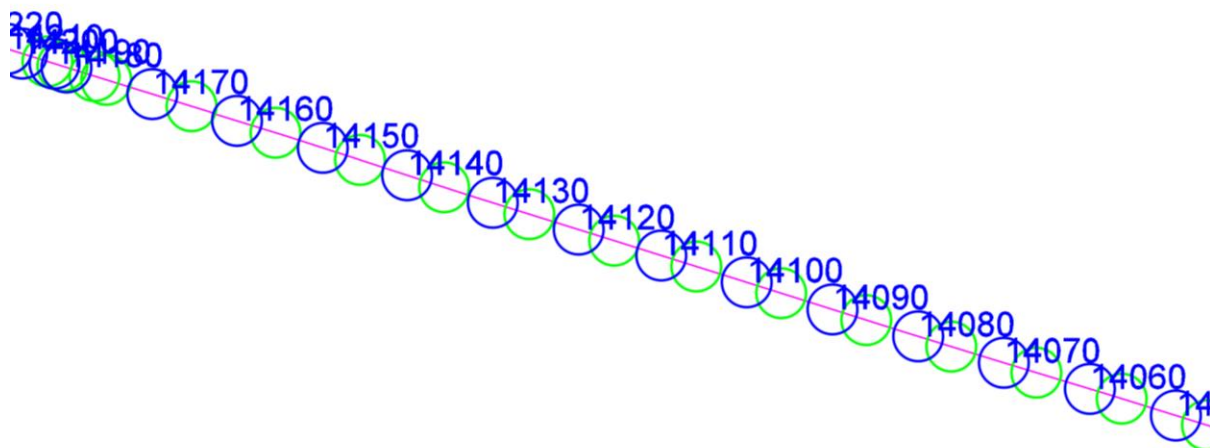
Luotettavuuden arvioimiseksi menetelmää testattiin Hämeenlinnan putkea huomattavasti uudemmalle Lohjan putkelle. Putkea käytettiin myös edellisen menetelmän arvioinnissa, koska siitä löytyy luotettava mitattu tieto saumojen paikoista. Kuvassa 22 on nähtävissä tämän testauksen tulokset. Saumojen ja putkipisteiden värit ovat samat, kuin edellisessä kuvassa. Pisteiden ympyrät ovat kuitenkin hyvin lähellä toisiaan ja putkipisteen harmaata ympyrää voi tuskin huomata. Todelliset erot pisteiden välillä olivat 1 – 25 cm. Laskennan tulosten oikeellisuutta voidaan siis pitää varsin luotettavana.



Kuva 22 . Lasketut saumat ja putkipisteet Lohjan putkessa

Laskentaa päätettiin tarkentaa. Nyt käytetyssä menetelmässä havaintojen paikat laskettiin putkiväli kerrallaan. Putkiväli voitaisiin jakaa edelleen pienempiin osiin porsasajoissa käytettyjen referenssipisteiden avulla. Putken ulkopuolelle on rakennettaessa sijoitettu ns. referenssilaattoja, jotka älyporsas havaitsee. Referenssejä käytetään porsaan sijainnin paikantamiseksi. Referenssit ovat usein merkintäpylväiden kanssa samassa kohdassa. Tästä johtuen mittausepä-tarkkuudet merkintäpylväiden mittauksissa voisivat aiheuttaa ongelmia tähän.

Referenssipisteiden sijainnit piirrettiin kartalle ympyröillä, muidenkin havaintojen tavoin. Pisteiden perusteella putken geometria katkaistiin AutoCAD:n Break at point -toiminnolla. Porsasajon tietojen skaalaus siten että putkiston katkaistu kohta, kohdennettiin porsaan tekemään havaintoon referenssilevystä. Kuvassa 23 nähdään vertailu tällä menetelmällä ja aikaisemmalla tavalla tehdyistä laskennoista. Putki on sama kuin kuvassa 21. Kuvassa vanhalla menetelmällä lasketut saumat ovat edelleen tumman sinisellä ja uudet vihreällä. Kuvasta huomataan, että laskentatapojen välillä on merkittäviä eroja. Todellisten erojen ollessa jopa 9m, ja saumojen välin ollessa maksimissaan 18m.

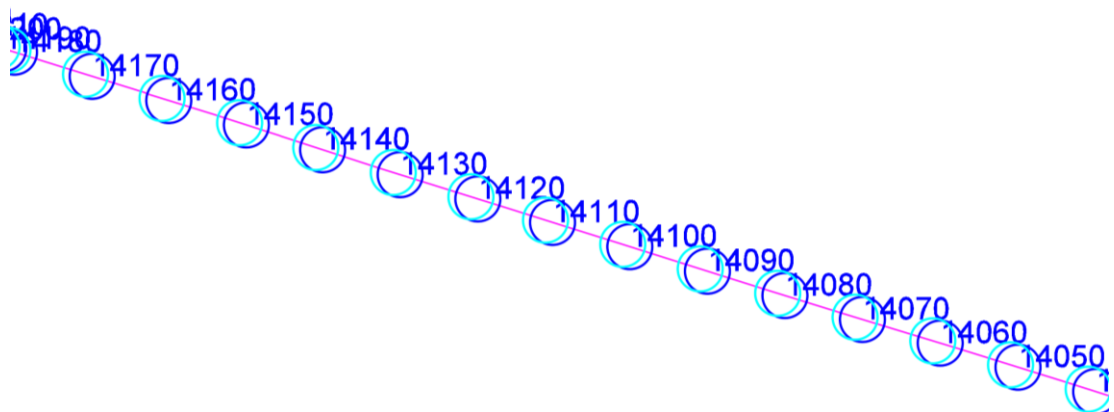


Kuva 23. Uudella ja vanhalla tarkkuudella lasketut saumat Hämeenlinnan putkessa

Laskentatapojen välisen eron suuruus aiheutti paljon hämmennystä. Lähdeaineiston tarkan tutkimisen jälkeen syyksi paljastui epäily merkintäpylväiden

mittaustarkkuus. Tämän putken merkintäpylväiden paikkoja ei ollut todellissa elämässä mitattu, vaan niiden paikat oli merkattu paikkatietojärjestelmään suunnitelmapiirustusten pohjalta. Aikaisempien kokemusten mukaan erot todellisuudessa saattoivat olla jopa kymmeniä metrejä, joka voisi aiheuttaa tällaisen eron laskentatapojen välillä. Tällä tavalla mitattuja merkintäpylväitä, joita käytetään porsasajojen referensseinä, on Gasum Oy:n paikkatietojärjestelmässä 148 kpl, joka kattaa noin 300 km putkea. Tällaista tietoa on pääasiassa 70- ja 80-luvuilla rakennetuista putkiston osista.

Tutkimusmielessä päätettiin mitata muutama merkintäpylväs tarkasti, ja kokeilla vaikuttaako tämä laskentaan merkitsevästi. Mäntsälä – Hämeenlinna väliltä valittiin kolme merkintäpylvästä, jotka osuivat yhdelle referenssipistevälille. Pylväät sijaitsivat Hyvinkäällä, jossa kävimme opinnäytteen ohjaajan Jani Aholan kanssa suorittamassa mittaukset. Kuvassa 24 on nähtävissä mittausten vaikutukset samassa paikassa, kuin kuvassa 23. Kuvassa vanhat saumat on edelleen merkitty tumman sinisellä ja mittausten jälkeen lasketut vaalean sinisellä. Erot pienenevät huomattavasti, todellisten eroja ollessa noin metrin luokkaa. Tämä tapa olisi huomattavasti työläämpi, tarvittavien mittausten ja kasvaneiden laskentavälien määrien vuoksi.

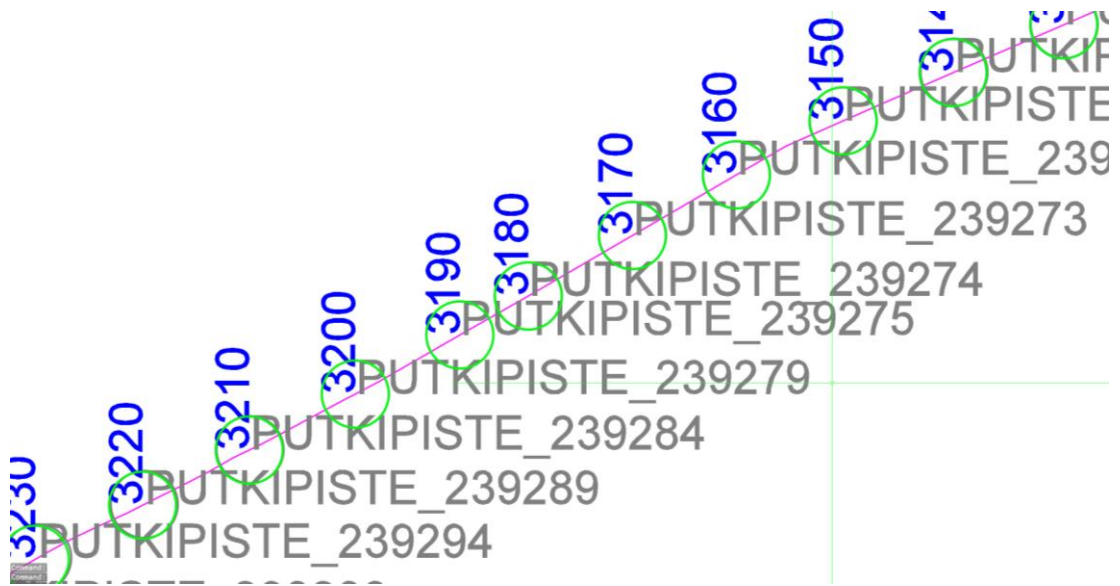


Kuva 24. Tarkemittausten jälkeen lasketut saumat ja alkuperäiset saumat Hämeenlinnan putkessa

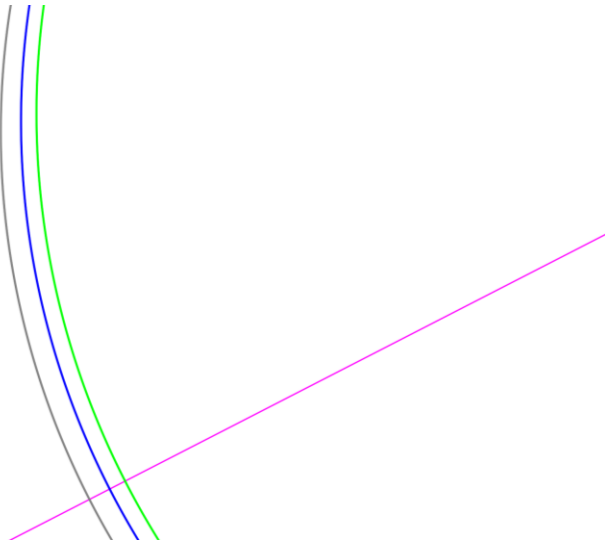
Uutta menetelmää päätettiin vielä kokeilla uudemmalle putkelle, jotta saataisiin selville onko tarkennuksesta hyötyä sen aiheuttamaan vaivaan verraten.



Kokeilu tehtiin jälleen uusimmalle Mäntsälästä Lohjalle kulkevalle putkelle. Kokeilun tulokset on nähtävissä kuvassa 25. Kuvassa on sama paikka putkelta, kuin aiemmin olleessa kuvassa 23. Vihreällä on merkitty uusimman kokeilun tulokset. Kauempaa tarkasteltuna kaikki kolme pistettä ovat täysin päällekkäin. Lähemmässä tarkastelussa, joka on esitetty kuvassa 26, voidaan havaita pieniä eroja. Kuvan tapauksessa referenssipisteille tehty piste on kauempana mitatusta kuin putkivälille tehty. Joissain tapauksissa tilanne oli kuitenkin päinvastainen.



Kuva 25. Uudet ja vanhat saumat, sekä putkipisteet Lohjan putkessa



Kuva 26. Lähikuva pisteiden eroista

Näiden kokeiden ja testausten jälkeen päädyttiin suorittamaan laskenta putkiväli kerrallaan. Putkivälimenetelmä todettiin vaivaltaan huomattavasti kevyemmäksi ja paikoin jopa tarkemmaksi. Referenssiväli kerrallaan laskennan tekeminen vaatisi 148 referenssipisteenä toimivan merkintäpölyvään sijainnin tarkmittauksen, joka kestäisi maaston haastavuudesta riippuen muutamia työpäiviä. Mittausten suorittamiseen ei löytyisi resursseja tällä hetkellä. Referenssivälimenetelmä on muutenkin huomattavasti putkivälimenetelmää riippuvaisempi mittaustietojen oikeellisuudesta. Pienetkin virheet missä tahansa mitauksissa voi sekoittaa laskennan täysin.

## 6.5 Siirtotaulu

Työn viimeinen vaihe oli kehittää siirtotaulu, jonka avulla työn tulokset voitaisiin näyttää paikkatietojärjestelmässä. Taulun pohjana käytettiin vanhaa taulua, jota kehitettiin hieman. Gasum Oy:n uuteen paikkatietojärjestelmään tulee ominaisuus, jonka avulla tämän Excel-työkalun tiedot voidaan siirtää järjestelmään. Taulun (liite 5) sarakkeet ja niiden selitykset on listattu taulukossa 1. Taulukoon syötetään saumanumerot ja havaintojen tunnuksot, joiden perusteella taulukko hakee porsasajon raportista tarvittavat tiedot. Tiedot, jotka eivät ole raportissa, syötetään käsin. Siirtotaulun tarkemmat käyttöohjeet on esitetty liitteessä 6.

Taulukko 2 Tietokantataulukon tietosarakkeet

Sarakkeen nimi	Selite	Arvotyyppi
pig_observation_id	Havaintojen yksilöllinen ID-tunnus	1,2,3...
pig_observation_site_id	Havainnon putkiosuuden ID-tunnus	Putkiosuutta vastaava numero
pig_observation_type	Havainnon tyyppi	Teksti
pig_observation_report_comment	Havainnon kommentti-kenttä suoraan porsasraportista	Teksti
pig_observation_fault_rating	Havainnon vakavuutta ilmaiseva tieto, perustuen ERF-arvoon	Teksti
pig_observation_repaired	Korjaustilanne	Teksti
pig_observation_seam_value	Saumanumero	Teksti
pig_observation_erf	ERF-arvo, suoraan porsasraportista, kuvaa vakavuutta	Numero
pig_observation_length	Havainnon pituus, suoraan porsasraportista	Numero
pig_observation_depth	Havainnon syvyys, suoraan porsasraportista	Numero
pig_observation_direction	Havainnon suunta, suoraan porsasraportista	"Kellonaika", esim. 00:00 tai 06:00
pig_observation_wall_thickness	Putken seinämävahvuus	Numero
pig_observation_surveyed	Ajon suoritus aika	Teksti
pig_observation_additional_information	Lisätieto	Teksti
pig_observation_geometry	Koordinaatit	x,y,z

## 7 TYÖN TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET

### 7.1 Tulokset

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia mahdollisuuksia porsasajojen havaintojen sijainnin määrittämiseksi. Tämä tavoite voidaan katsoa täyttyneeksi. Työn aikana kehitettiin onnistuneesti Excel-laskentataulukko, jonka avulla havaintojen XYZ-koordinaatit voidaan laskea sekä siirtotaulukko, jonka avulla havainnot voidaan näyttää paikkatietojärjestelmässä. Laskennan tarkkuus on teoreettisesti riittävä, mutta vasta käytännön kokeilujen kautta voidaan todentaa tarkkuus riittäväksi.

Työn tulosten vaikutusta Gasum Oy:n toimintaan ei ehditty tämän työn aikana arvioimaan. Työssä kehitettyjen työkalujen avulla voidaan vaikuttaa tehostavasti havaintojen sijaintien selvittämiseen. Karttapohjalla sijainti on helpompi hahmottaa ja välttyään sijainnin laskemiselta käsin, jota säästää resursseja. Työn taloudellisten vaikutusten arviointi on hankalaa.

## **7.2 Kehitysideat ja tulevaisuus**

Tämän työn yhteydessä vain pieni osa, noin 100 km putkea, putkistolle tehdystä ajoista on paikannettu kartalle. Kaikkien ajojen tulosten paikallistamisessa riittää tekemistä pitkäksi aikaa.

Älyporsasajoja tarjoavat yritykset tarjoavat myös kaupallisia palveluita, joiden avulla voidaan sijoittaa ajon havainnot kartalle. Gasum Oy on tilannut tällaisen palvelun seuraavaan suoritettavaan ajoon, jonka tuloksia verrataan tämän työn tuloksiin.

Jatkossa laskentaa voidaan yrittää vielä tarkentaa tekemällä se referenssipisteväli kerrallaan. Tämän toteuttaminen vaatii porsasajojen referenssinä käytettävien merkintäpölväiden tarkemmittausten tekemisen.

## LÄHTEET

Cordell, J. & Vanzant, H. 2003. Pipeline Pigging Handbook. Houston, Texas: Clarion Technical Publishers.

Duke Energy. 2017. How smart PIGs keep pipelines safe. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://illumination.duke-energy.com/articles/how-smart-pigs-keep-pipelines-safe> [Viitattu 23.2.2017].

Fortum. 2014. Fortum to sell its Gasum shares to the Finnish State. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.fortum.com/en/mediaroom/pages/fortum-to-sell-its-gasum-shares-to-the-finnish-state.aspx> [Viitattu 3.3.2017].

Gasum. 2017. Yhtiön internetsivut. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.gasum.com> [Viitattu 15.4.2017].

Geologian tutkimuskeskus. 2016. Öljy, kaasu ja kivihiili. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.gtk.fi/system/print.html?from=/geologia/luonnonvarat/oljy/index.html> [Viitattu 20.1.2017].

Haastateltava 1. 2017. Asiantuntija. Haastattelu 22.3.2017 Gasum Oy.

Haastateltava 2. 2017. Asiantuntija. Haastattelu 31.3.2017 Gasum Oy.

Inspecta. 2017. NDT-tarkastus eli rikkomaton aineenkoetus. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.inspecta.fi/Palvelut/ndt-tarkastus/Rikkomaton-aineenkoetus-NDT-Non-Destructive-Testing/> [Viitattu 15.4.2017].

KnowEnergy. 2005. Höyrykattilan toimintaperiaate. WWW-dokumentti. Saatavissa: [http://www.knowenergy.net/suomi/monipolttt\\_kattilat/5\\_0\\_hoyrykatt\\_periaate/fr\\_text.htm#1](http://www.knowenergy.net/suomi/monipolttt_kattilat/5_0_hoyrykatt_periaate/fr_text.htm#1) [Viitattu 20.1.2017].

Kokkaa kaasulla. 2017. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.kokkaa-kaasulla.fi/> [Viitattu 21.1.2017].

Löytönen, M. Toivonen, T. & Kankaanrinta, I. 2003. Globus GIS – Paikkatietojärjestelmä. 1. painos. Porvoo: WS Bookwell Oy.

Maakaasukäsikirja. 2014. Suomen kaasuyhdistys. PDF-dokumentti. Saatavissa: [http://www.kaasuyhdistys.fi/sites/default/files/kuvat/kirja/MaakaasuKasikirja\\_helmikuu2014.pdf](http://www.kaasuyhdistys.fi/sites/default/files/kuvat/kirja/MaakaasuKasikirja_helmikuu2014.pdf) [Viitattu 20.1.2017].

Motiva – Biokaasu. 2015. WWW-dokumentti. Saatavissa: [http://web.archive.org/web/20160310110935/http://www.motiva.fi:80/toimialueet/uusiutuva\\_energia/bioenergia/energiaa\\_pelloilta/biokaasu](http://web.archive.org/web/20160310110935/http://www.motiva.fi:80/toimialueet/uusiutuva_energia/bioenergia/energiaa_pelloilta/biokaasu) [Viitattu 15.2.2017].

Motiva – Kaasuautot. 2016. WWW-dokumentti. Saatavissa: [https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava liikenne ja liikkuminen/nain liikut viisaasti/valitse auto viisaasti/ajoneuvotekniikka/moottoritekniikka/kaasuautot](https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/nain_liikut_viisaasti/valitse_auto_viisaasti/ajoneuvotekniikka/moottoritekniikka/kaasuautot) [Viitattu 22.1.2017].

Motiva – Lämmitysmuodot, Maakaasu. 2016 WWW-dokumentti. Saatavissa: [https://www.motiva.fi/koti ja asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman valinta/lammitysmuodot/maakaasu](https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/maakaasu) [Viitattu 21.1.2017].

Motiva – Vety. 2016. WWW-dokumentti. Saatavissa: [https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava liikenne ja liikkuminen/nain liikut viisaasti/valitse auto viisaasti/energialahteet/vety](https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/nain_liikut_viisaasti/valitse_auto_viisaasti/energialahteet/vety) [Viitattu 30.1.2017].

NaturalGas.org. 2013. The Transportation of Natural Gas. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://naturalgas.org/naturalgas/transport/> [Viitattu 15.2.2017].

Parpola, A. & Åberg, V. 2004. KAASUA! – Maakaasu ja suomi 1974 – 2004. Helsinki: Edita Prima Oy.

Peabody, A. 2001. Peabody's control of pipeline corrosion. Houston, Texas: NACE International, The Corrosion Society.

PS Engineering Service. 2017. Pipeline Geometry Inspection. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.psengineering.com/en/services/pipeline-geometry-inspection> [Viitattu 3.3.2017].

Sellsteels.com. 2017. Corrosion Protection. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.sellsteels.com/service/corrosion-protection.html> [Viitattu 12.4.2017].

Suomen Kaasuyhdistys. 2017 Yhdistyksen internetsivut. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.kaasuyhdistys.fi/> [Viitattu 15.2.2017].

The Third Millenium Online. 2008. Helium. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.3rd1000.com/elements/Helium.htm#Modern%20Extraction> [Viitattu 30.1.2017].

Tilastokeskus. 2016. Öljy, kaasu ja kivihiihi. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.gtk.fi/system/print.html?from=/geologia/luonnonvarat/oljy/index.html> [Viitattu 21.1.2017].

Tukes. 2015. Tukes-ohje 7/2015 Maakaasun käsittelyn turvallisuus. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.tukes.fi/fi/Palvelut/Tukes-ohjeet/2Kemikaalit-ja-kaasu/Tukes-ohje-72015-Maakaasun-kasittelyn-turvallisuus/> [Viitattu 30.1.2017].

U.S. Department Of Energy. 2017. How Gas Turbine Power Plants Work. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://energy.gov/fe/how-gas-turbine-power-plants-work> [Viitattu 20.1.2017].

Valtioneuvoston asetus maakaasun käsittelyn turvallisuudesta 551/2009.

Vattenfall. 2016. Maakaasu – toimintaperiaate. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://corporate.vattenfall.fi/tietoa-energiasta/sahkon-ja-lammontuotanto/maakaasu/maakaasu-toimintaperiaate/> [Viitattu 20.1.2017].

WikiWand. 2017. Hydraulically activated pipeline pigging. WWW-dokumentti. Saatavissa: [http://www.wikiwand.com/en/Hydraulically\\_activated\\_pipeline\\_pigging#](http://www.wikiwand.com/en/Hydraulically_activated_pipeline_pigging#) [Viitattu 3.3.2017].

## KUVALUETTELO

Kuva 1. Maakaasun käytön jakautuminen käyttötarkoitusten mukaan. Suomen Kaasuyhdistys. 2016. Saatavissa: <http://www.kaasuyhdistys.fi/sisalto/statistics>.

Kuva 2. Putkistotyyppien jakautuminen Suomen kaasuyhdistys. 2014. Saatavissa: [http://www.kaasuyhdistys.fi/sites/default/files/kuvat/kirja/MaakaasuKasikirja\\_helmikuu2014.pdf](http://www.kaasuyhdistys.fi/sites/default/files/kuvat/kirja/MaakaasuKasikirja_helmikuu2014.pdf).

Kuva 3. Muovipinnoitetun teräsputken rakenne. Sellsteels.com. 2017. Saatavissa: <http://www.sellsteels.com/uploads/allimg/3pe-pipe-layer.jpg>.

Kuva 4. Maakaasun siirtoputkisto Suomessa. Niko Tuominen. 2017.

Kuva 5. Esimerkki porsaasta. Smartpigs.net. 2013. Saatavissa: <http://smartpigs.net/pigging-products.html>.

Kuva 6. Porsaan toiminnan havainnollistus. WikiWand. 2017 Saatavissa: [http://www.wikiwand.com/en/Hydraulically\\_activated\\_pipeline\\_pigging#](http://www.wikiwand.com/en/Hydraulically_activated_pipeline_pigging#).

Kuva 7. Mandrel-porsaan rakenne. Dwinirestu. 2015. Saatavissa: <https://dwinirestu.wordpress.com/2015/02/04/pipeline-decommissioning/>.

Kuva 8. Porsaan lähetys- ja vastaanottoloukut. Cordell & Vanzant, 2003, 50.

Kuva 9. Kiinteästi asennettuja porsasloukkuja Mäntsälässä. Lumme, J. 2015.

Kuva 10. Siirrettävä loukku Tampereella. Lumme, J. 2015.

Kuva 11. Älyporsas. General Electric. 2017. Saatavissa: <https://gereports.ca/smart-pigs-that-sniff-out-trouble-down-the-pipe/#>.

Kuva 12. 1. Havainnekuva MFL-tekniikasta. General Electric and Al Shaheen. 2013. Luottamuksellinen lähde.

Kuva 13. 2. Havainnekuva MFL-tekniikasta. General Electric and Al Shaheen. 2013. Luottamuksellinen lähde.

Kuva 14. 3. Havainnekuva MFL-tekniikasta. General Electric and Al Shaheen. 2013. Luottamuksellinen lähde.

Kuva 15. Havainnekuva sähkömekaanisesta tekniikasta. ResearchGate.net. 2014. Saatavissa: [https://www.researchgate.net/figure/272461806\\_fig3\\_Fig-3-Scheme-of-the-commercial-Caliper-pig](https://www.researchgate.net/figure/272461806_fig3_Fig-3-Scheme-of-the-commercial-Caliper-pig).

Kuva 16. Siirtoputkiston 3D-geometria Autocad MAP 3D-ohjelmassa. Niko Tuominen. 2017.

Kuva 17. Porsasajon raportti. Niko Tuominen. 2017.

Kuva 18. Skaalaustaulu. Niko Tuominen. 2017.

Kuva 19. Kertoimien laskentataulu. Niko Tuominen. 2017.



Kuva 20. Koordinaattien laskentataulu. Niko Tuominen. 2017.

Kuva 21. Lasketut saumat ja putkipisteet Hämeenlinnan putkessa. Niko Tuominen. 2017.

Kuva 22. Lasketut saumat ja putkipisteet Lohjan putkessa. Niko Tuominen. 2017.

Kuva 23. Uudella ja vanhalla tarkkuudella lasketut saumat Hämeenlinnan putkessa. Niko Tuominen. 2017.

Kuva 24. Tarkemittausten jälkeen lasketut saumat ja alkuperäiset saumat Hämeenlinnan putkessa. Niko Tuominen. 2017.

Kuva 25. Uudet ja vanhat saumat, sekä putkipisteet Lohjan putkessa. Niko Tuominen. 2017.

Kuva 26. Lähikuva pisteiden eroista. Niko Tuominen. 2017.

### Laskentataulukon ensimmäinen versio

								$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}$							
								oldRange = oldMax - oldMin newRange = newMax - newMin  newValue = ((oldValue - oldMin) * newRange / oldRange) + newMin							
Pistetaulusta								Vanha			Uusi				
PUTKIPISTE_239035	399276,586	6721619,984	92,277				0,000	1390	17,973	2160,250	2160,250	0,000	0		
PUTKIPISTE_239036	399260,369	6721612,302	92,515	17,946			17,946	1400	17,917	2178,167	2178,150	17,900	17,900		
PUTKIPISTE_239037	399244,122	6721604,590	92,913	35,935			17,989	1410	17,970	2196,137	2196,103	35,853	17,953	oldrange	13940,340
PUTKIPISTE_239038	399227,899	6721596,920	93,216	53,882			-0,006	1420	17,970	2214,107	2214,056	53,806	17,953	newrange	13927,197
PUTKIPISTE_239039	399211,656	6721589,264	93,388	71,840			17,958	1430	17,967	2232,073	2232,005	71,755	17,949	newmin	2160,250
PUTKIPISTE_239040	399195,419	6721581,553	93,447	89,815			17,975	1440	17,973	2250,047	2249,962	89,712	17,957	oldmin	2160,250
PUTKIPISTE_239041	399179,164	6721573,868	93,531	107,795			17,980	1450	17,977	2268,023	2267,921	107,671	17,959		
PUTKIPISTE_239042	399162,912	6721566,200	93,593	125,766			17,970	1460	17,977	2286,000	2285,881	125,631	17,960		
PUTKIPISTE_239043	399146,686	6721558,542	93,661	143,708			17,942	1470	17,980	2303,980	2303,844	143,594	17,963		
PUTKIPISTE_239044	399130,434	6721550,878	93,720	161,677			17,969	1480	17,977	2321,957	2321,805	161,555	17,960		
PUTKIPISTE_239045	399114,173	6721543,222	93,837	179,650			17,974	1490	17,970	2339,927	2339,758	179,508	17,953		
PUTKIPISTE_239046	399097,922	6721535,552	93,860	197,620			17,970	1500	17,973	2357,900	2357,714	197,464	17,956		
PUTKIPISTE_239047	399081,691	6721527,866	93,892	215,579			17,959	1510	17,970	2375,870	2375,667	215,417	17,953		
PUTKIPISTE_239049	399065,431	6721520,202	93,230	233,567			17,988	1520	17,980	2393,850	2393,630	233,380	17,963		
PUTKIPISTE_239050	399049,215	6721512,524	92,248	251,536			17,969	1530	17,970	2411,820	2411,583	251,333	17,953		
PUTKIPISTE_239102	398343,568	6721161,781	95,471	1039,805			17,773	1980	17,770	3200,353	3199,372	1039,122	17,753		
PUTKIPISTE_239103	398327,548	6721153,665	95,314	1057,764			17,959	1990	17,970	3218,323	3217,325	1057,075	17,953		
PUTKIPISTE_239104	398311,561	6721145,465	95,086	1075,733			17,969	2000	17,970	3236,293	3235,278	1075,028	17,953		
PUTKIPISTE_239105	398295,928	6721137,428	94,874	1093,312			17,579	2010	17,583	3253,876	3252,845	1092,595	17,566		
PUTKIPISTE_239107	398279,916	6721129,290	94,020	1111,293			17,982	2020	17,970	3271,847	3270,799	1110,549	17,954		
PUTKIPISTE_239109	398263,963	6721121,121	94,223	1129,217			17,924	2030	17,970	3289,817	3288,752	1128,502	17,953		
PUTKIPISTE_239110	398263,091	6721120,656	94,256	1130,206			0,989	2040	0,997	3290,814	3289,748	1129,498	0,996		
PUTKIPISTE_239112	398247,134	6721112,531	94,165	1148,113			17,907	2050	17,903	3308,717	3307,634	1147,384	17,886		
PUTKIPISTE_239115	398231,420	6721103,947	92,823	1166,069			17,956	2060	17,934	3326,650	3325,550	1165,300	17,916		
PUTKIPISTE_239117	398215,903	6721095,021	91,803	1183,999			17,930	2070	18,006	3344,657	3343,540	1183,290	17,990		
PUTKIPISTE_239118	398200,333	6721086,005	91,425	1201,995			17,996	2080	17,977	3362,633	3361,499	1201,249	17,959		
PUTKIPISTE_239119	398185,638	6721077,608	91,070	1218,924			16,929	2090	16,943	3379,577	3378,427	1218,177	16,928		
PUTKIPISTE_239121	398172,878	6721070,314	90,859	1233,623			14,699	2100	14,723	3394,300	3393,136	1232,886	14,709		
PUTKIPISTE_239124	398156,535	6721063,182	91,592	1251,469			17,846	2110	17,937	3412,237	3411,057	1250,807	17,920		
PUTKIPISTE_239126	398139,427	6721057,618	91,950	1269,463			17,994	2120	18,000	3430,237	3429,040	1268,790	17,983		
PUTKIPISTE_239127	398122,346	6721052,017	91,668	1287,441			17,978	2130	17,976	3448,213	3446,999	1286,749	17,959		
PUTKIPISTE_239128	398105,308	6721046,392	91,387	1305,386			17,945	2140	17,967	3466,180	3464,949	1304,699	17,950		
PUTKIPISTE_239130	398088,712	6721039,613	91,364	1323,313			17,927	2150	17,943	3484,123	3482,875	1322,625	17,926		
PUTKIPISTE_239131	398072,859	6721031,209	91,836	1341,262			17,949	2160	17,973	3502,097	3500,832	1340,582	17,957		
PUTKIPISTE_239132	398056,965	6721022,791	92,269	1359,253			17,991	2170	17,973	3520,070	3518,788	1358,538	17,956		
PUTKIPISTE_239133	398041,102	6721014,381	92,743	1377,213			17,961	2180	17,973	3538,043	3536,744	1376,494	17,956		
PUTKIPISTE_239138	398026,889	6721003,657	93,197	1395,024			17,811	2190	18,026	3556,070	3554,754	1394,504	18,010		
PUTKIPISTE_239139	398014,635	6720990,493	93,456	1413,011			17,987	2200	17,974	3574,044	3572,711	1412,461	17,957		
PUTKIPISTE_239140	398002,480	6720977,470	93,730	1430,827			17,816	2210	17,866	3591,910	3590,560	1430,310	17,849		
PUTKIPISTE_239142	397989,870	6720964,582	93,537	1448,859			18,032	2220	17,983	3609,893	3608,526	1448,276	17,966		
PUTKIPISTE_239143	397977,102	6720952,023	92,827	1466,782			17,924	2230	17,973	3627,867	3626,483	1466,233	17,957		
PUTKIPISTE_239144	397964,286	6720939,381	92,151	1484,797			18,015	2240	17,970	3645,837	3644,436	1484,186	17,953		
PUTKIPISTE_239145	397957,767	6720932,958	91,838	1493,954			9,157	2250	9,150	3654,987	3653,578	1493,328	9,141		
PUTKIPISTE_239150	397942,411	6720924,172	91,001	1511,666			17,712	2260	18,080	3673,067	3671,641	1511,391	18,063		
PUTKIPISTE_239151	397925,306	6720919,062	90,216	1529,535			17,869	2270	17,980	3691,047	3689,604	1529,354	17,963		

## Skaalaus-taulu

oldrange	6831,690					
newrange	6827,568					
newmin	0,000					
oldmin	16101,117					
<b>Vanha</b>			<b>Uusi</b>			
Havaintotunnus	Relatiivinen etäisyys	Absoluuttinen etäisyys	Kumulatiivinen etäisyys	Kumulatiivinen etäisyys pyöristetty	Relatiivinen etäisyys	
			Kopioi tämä			
9770	0,526	16101,117	0,000	0,0000	0	9770
9780	17,997	16119,114	17,986	17,9861	17,986	9780
9790	17,967	16137,080	35,941	35,9413	17,955	9790
H358	11,990	16149,070	47,924	47,9241	11,983	H358
9800	16,927	16154,007	52,858	52,8581	4,934	9800
H359	7,737	16161,744	60,590	60,5904	7,732	H359
9810	17,979	16171,987	70,827	70,8272	10,237	9810
9820	17,980	16189,967	88,796	88,7964	17,969	9820
9830	17,979	16207,947	106,766	106,7655	17,969	9830
9840	17,983	16225,930	124,738	124,7377	17,972	9840
H360	8,750	16234,680	133,482	133,4824	8,745	H360
9850	17,970	16243,900	142,697	142,6969	9,214	9850
9860	12,261	16256,161	154,950	154,9505	12,254	9860
9870	14,850	16271,010	169,791	169,7905	14,840	9870
9880	13,757	16284,767	183,539	183,5392	13,749	9880
H361	12,747	16297,514	196,279	196,2785	12,739	H361
9890	17,979	16302,746	201,507	201,5074	5,229	9890
9900	17,974	16320,720	219,471	219,4705	17,963	9900

## Kertoimet-taulu

Syötä nämä itse					Etäisyydet							
Mittauspistetunnus	x	y	z	Kumulatiivinen	Kum. Pyörästetty Kopioi Tämä	Relatiivinen	Kertoimet	X	Y	Z		
PUTKIPISTE_237905	0	386922,16	6716685,275	82,496	0,000	0,000	0				PUTKIPISTE_237905	
PUTKIPISTE_237906	1	386906,326	6716676,804	83,148	17,969	17,969	17,969	1	-0,88117	-0,47	0,04	PUTKIPISTE_237906
PUTKIPISTE_237907	2	386890,493	6716668,44	84,02	35,897	35,897	17,928	2	-0,88316	-0,47	0,05	PUTKIPISTE_237907
PUTKIPISTE_237908	3	386879,981	6716662,767	84,614	47,857	47,857	11,960	3	-0,87894	-0,47	0,05	PUTKIPISTE_237908
PUTKIPISTE_237909	4	386875,604	6716660,451	84,676	52,809	52,809	4,952	4	-0,88382	-0,47	0,01	PUTKIPISTE_237909
PUTKIPISTE_237910	5	386867,629	6716656,133	84,825	61,879	61,879	9,070	5	-0,87926	-0,48	0,02	PUTKIPISTE_237910
PUTKIPISTE_237911	6	386859,687	6716652,059	85,098	70,810	70,810	8,930	6	-0,88935	-0,46	0,03	PUTKIPISTE_237911
PUTKIPISTE_237912	7	386843,683	6716643,865	85,541	88,795	88,795	17,985	7	-0,88984	-0,46	0,02	PUTKIPISTE_237912
PUTKIPISTE_237913	8	386827,714	6716635,744	86,113	106,719	106,719	17,924	8	-0,89090	-0,45	0,03	PUTKIPISTE_237913
PUTKIPISTE_237914	9	386811,683	6716627,591	86,761	124,716	124,716	17,997	9	-0,89077	-0,45	0,04	PUTKIPISTE_237914
PUTKIPISTE_237915	10	386803,717	6716623,506	87,106	133,675	133,675	8,959	10	-0,88916	-0,46	0,04	PUTKIPISTE_237915
PUTKIPISTE_237916	11	386795,712	6716619,53	87,739	142,635	142,635	8,960	11	-0,89337	-0,44	0,07	PUTKIPISTE_237916
PUTKIPISTE_237917	12	386784,774	6716614,024	88,532	154,907	154,907	12,271	12	-0,89135	-0,45	0,06	PUTKIPISTE_237917
PUTKIPISTE_237918	13	386771,515	6716607,358	89,54	169,781	169,781	14,875	13	-0,89139	-0,45	0,07	PUTKIPISTE_237918
PUTKIPISTE_237919	14	386759,256	6716601,224	90,521	183,524	183,524	13,743	14	-0,89201	-0,45	0,07	PUTKIPISTE_237919
PUTKIPISTE_237920	15	386748,041	6716595,569	91,408	196,116	196,116	12,591	15	-0,89069	-0,45	0,07	PUTKIPISTE_237920
PUTKIPISTE_237921	16	386743,218	6716593,175	91,302	201,501	201,501	5,386	16	-0,89555	-0,44	-0,02	PUTKIPISTE_237921
PUTKIPISTE_237922	17	386727,157	6716585,129	90,648	219,477	219,477	17,976	17	-0,89349	-0,45	-0,04	PUTKIPISTE_237922
PUTKIPISTE_237923	18	386721,477	6716582,387	90,404	225,789	225,789	6,312	18	-0,89988	-0,43	-0,04	PUTKIPISTE_237923
PUTKIPISTE_237924	19	386710,564	6716578,321	90,136	237,438	237,438	11,649	19	-0,93682	-0,35	-0,02	PUTKIPISTE_237924
PUTKIPISTE_237925	20	386693,684	6716572,136	90,088	255,415	255,415	17,978	20	-0,93895	-0,34	0,00	PUTKIPISTE_237925
PUTKIPISTE_237926	21	386677,505	6716566,288	90,406	272,622	272,622	17,206	21	-0,94029	-0,34	0,02	PUTKIPISTE_237926
PUTKIPISTE_237927	22	386661,152	6716560,34	90,789	290,027	290,027	17,405	22	-0,93954	-0,34	0,02	PUTKIPISTE_237927
PUTKIPISTE_237928	23	386645,13	6716554,49	91,206	307,089	307,089	17,062	23	-0,93906	-0,34	0,02	PUTKIPISTE_237928
PUTKIPISTE_237929	24	386628,642	6716548,439	91,648	324,657	324,657	17,569	24	-0,93848	-0,34	0,03	PUTKIPISTE_237929
PUTKIPISTE_237930	25	386612,283	6716542,394	92,003	342,101	342,101	17,444	25	-0,93781	-0,35	0,02	PUTKIPISTE_237930
PUTKIPISTE_237931	26	386596,004	6716536,337	92,323	359,473	359,473	17,372	26	-0,93707	-0,35	0,02	PUTKIPISTE_237931
PUTKIPISTE_237932	27	386579,155	6716530,285	92,721	377,448	377,448	17,078	27	-0,93731	-0,35	0,03	PUTKIPISTE_237932

## Koordinaattien laskenta-taulu

Rivi	Mittauspiste?	Sauman skaalattu kumulatiivinen etäisyys alusta	Apunumerointi	Kertoimet			Koordinaatit			Rivien välinen etäisyys	Etäisyysklien erotus APU	Saumojen etäisyys APU	Tunnus
	SYÖTÄ	SYÖTÄ ITSE		x	y	z	x	y	z		Pitäisi olla 0		
	1	x		0	0	0,0000	0,0000	0,0000	386922,160		6716685,275		
2		0	1	-0,8812	-0,4714	0,0363	386922,160	6716685,275	82,496	0,000	0,000	0,000	9770
3	x	17,9694		-0,8812	-0,4714	0,0363	386906,326	6716676,804	83,148	17,969	0,000	17,969	PUTKIPISTE_237906
4		17,9861	2	-0,8832	-0,4665	0,0486	386906,311	6716676,796	83,149	0,017	0,000	0,017	9780
5	x	35,897		-0,8832	-0,4665	0,0486	386890,493	6716668,440	84,020	17,911	0,000	17,911	PUTKIPISTE_237907
6		35,9413	3	-0,8789	-0,4743	0,0497	386890,454	6716668,419	84,022	0,044	0,000	0,044	9790
7	x	47,8569		-0,8789	-0,4743	0,0497	386879,981	6716662,767	84,614	11,916	0,000	11,916	PUTKIPISTE_237908
8		47,9241	4	-0,8838	-0,4677	0,0125	386879,922	6716662,736	84,615	0,067	0,000	0,067	H358
9	x	52,8092		-0,8838	-0,4677	0,0125	386875,604	6716660,451	84,676	4,885	0,000	4,885	PUTKIPISTE_237909
10		52,8581	5	-0,8793	-0,4761	0,0164	386875,561	6716660,428	84,677	0,049	0,000	0,049	9800
11		60,5904	5	-0,8793	-0,4761	0,0164	386868,762	6716656,747	84,804	7,732	0,000	7,732	H359
12	x	61,8794		-0,8793	-0,4761	0,0164	386867,629	6716656,133	84,825	1,289	0,000	1,289	PUTKIPISTE_237910
13	x	70,8095	6	-0,8893	-0,4562	0,0306	386859,687	6716652,059	85,098	8,930	0,000	8,930	PUTKIPISTE_237911
14		70,8272	7	-0,8898	-0,4556	0,0246	386859,671	6716652,051	85,098	0,018	0,000	0,018	9810
15	x	88,7947		-0,8898	-0,4556	0,0246	386843,683	6716643,865	85,541	17,967	0,000	17,968	PUTKIPISTE_237912
16		88,7964	8	-0,8909	-0,4531	0,0319	386843,681	6716643,864	85,541	0,002	0,000	0,002	9820
17	x	106,7192		-0,8909	-0,4531	0,0319	386827,714	6716635,744	86,113	17,923	0,000	17,923	PUTKIPISTE_237913
18		106,7655	9	-0,8908	-0,4530	0,0360	386827,673	6716635,723	86,115	0,046	0,000	0,046	9830
19	x	124,716		-0,8908	-0,4530	0,0360	386811,683	6716627,591	86,761	17,950	0,000	17,951	PUTKIPISTE_237914
20		124,7377	10	-0,8892	-0,4560	0,0385	386811,664	6716627,581	86,762	0,022	0,000	0,022	9840
21		133,4824	10	-0,8892	-0,4560	0,0385	386803,888	6716623,594	87,099	8,745	0,000	8,745	H360
22	x	133,6749		-0,8892	-0,4560	0,0385	386803,717	6716623,506	87,106	0,192	0,000	0,192	PUTKIPISTE_237915
23	x	142,6354	11	-0,8934	-0,4437	0,0706	386795,712	6716619,530	87,739	8,960	0,000	8,961	PUTKIPISTE_237916
24		142,6969	12	-0,8913	-0,4487	0,0646	386795,657	6716619,502	87,743	0,062	0,000	0,061	9850
25	x	154,9067		-0,8913	-0,4487	0,0646	386784,774	6716614,024	88,532	12,210	0,000	12,210	PUTKIPISTE_237917
26		154,9505	13	-0,8914	-0,4481	0,0678	386784,735	6716614,004	88,535	0,044	0,000	0,044	9860
27	x	169,7812		-0,8914	-0,4481	0,0678	386771,515	6716607,358	89,540	14,831	0,000	14,831	PUTKIPISTE_237918
28		169,7905	14	-0,8920	-0,4463	0,0714	386771,507	6716607,354	89,541	0,009	0,000	0,009	9870
29	x	183,5243		-0,8920	-0,4463	0,0714	386759,256	6716601,224	90,521	13,734	0,000	13,734	PUTKIPISTE_237919
30		183,5392	15	-0,8907	-0,4491	0,0704	386759,243	6716601,217	90,522	0,015	0,000	0,015	9880
31	x	196,1156		-0,8907	-0,4491	0,0704	386748,041	6716595,569	91,408	12,576	0,000	12,576	PUTKIPISTE_237920
32		196,2785	16	-0,8955	-0,4445	-0,0197	386747,895	6716595,497	91,405	0,163	0,000	0,163	H361
33	x	201,5011		-0,8955	-0,4445	-0,0197	386743,218	6716593,175	91,302	5,223	0,000	5,223	PUTKIPISTE_237921
34		201,5074	17	-0,8935	-0,4476	-0,0364	386743,212	6716593,172	91,302	0,006	0,000	0,006	9890
35		219,4705	17	-0,8935	-0,4476	-0,0364	386727,163	6716585,132	90,648	17,963	0,000	17,963	9900
36	x	219,4767		-0,8935	-0,4476	-0,0364	386727,157	6716585,129	90,648	0,006	0,000	0,006	PUTKIPISTE_237922
37		225,0741	18	-0,8999	-0,4344	-0,0387	386722,120	6716582,697	90,432	5,597	0,000	5,597	H362
38	x	225,7887		-0,8999	-0,4344	-0,0387	386721,477	6716582,387	90,404	0,715	0,000	0,715	PUTKIPISTE_237923
39		237,4376	19	-0,9368	-0,3490	-0,0230	386710,564	6716578,321	90,136	11,649	0,000	11,649	PUTKIPISTE_237924
40		237,4497	20	-0,9390	-0,3440	-0,0027	386710,553	6716578,317	90,136	0,012	0,000	0,012	9910
41		255,4088	20	-0,9390	-0,3440	-0,0027	386693,690	6716572,138	90,088	17,958	0,000	17,959	9920

Tietokantataulukko

Syötä saumanumerot ja havaintotunnukset käsin	pig_observation_id	pig_observation_site_id	pig_observation_surveyed	pig_observation_type	pig_observation_report_comment	pig_observation_fault	pig_observation_repaired	pig_observation_serial_value	pig_observation_previous_weight	pig_observation_distance_start	pig_observation_offset	pig_observation_length	pig_observation_depth	pig_observation_direction	pig_observation_nominal_wall_thickness_help	pig_observation_nominal_wall_thickness	ig_observation_additional_information	ig_observation_address	ig_observation_address	ig_observation_modifier	ig_observation_modified	ig_observation_geometry
	Täytä käsin	Täytä käsin		4				2	3		7	6	5	8	Täytä ensimmäinen käsin	Täytä käsin	Täytä käsin			13		
9770	001-50200	2012	Sauma					9770	0.526	16101,117					7.55	7.55						386922.160,6716685.275,82.496
9780	001-50200	2012	Sauma					9780	17,397	16119,114					7.55	7.55						386906.311,6716676.736,83.149
9790	001-50200	2012	Sauma					9790	17,967	16137,08					7.55	7.55						386890.454,6716668.419,84.022
H358	001-50200	2012	Taiutus	BEND-COLD OVER					11,99	16149,07					7.55	7.55						386879.922,6716662.736,84.615
9800	001-50200	2012	Sauma					9800	16,327	16154,007					7.55	7.55						386875.561,6716660.428,84.677
H359	001-50200	2012	Taiutus	BEND-COLD UNDER					7,737	16161,744					7.55	7.55						386868.762,6716656.747,84.804
9810	001-50200	2012	Sauma					9810	17,379	16171,987					7.55	7.55						386853.671,6716652.051,85.098
9820	001-50200	2012	Sauma					9820	17,398	16189,967					7.55	7.55						386843.681,6716643.864,85.541
9830	001-50200	2012	Sauma					9830	17,379	16207,347					7.55	7.55						386827.673,6716635.723,86.115
9840	001-50200	2012	Sauma					9840	17,363	16225,33					7.55	7.55						386811.664,6716627.581,86.762
H360	001-50200	2012	Taiutus	BEND-COLD UNDER					8,75	16234,68					7.55	7.55						386803.888,6716623.534,87.099
9850	001-50200	2012	Sauma					9850	17,37	16243,9					7.55	7.55						386795.657,6716619.502,87.743
9860	001-50200	2012	Sauma					9860	12,261	16256,161					7.55	7.55						386784.735,6716614.004,88.535
9870	001-50200	2012	Sauma					9870	14,85	16271,01					7.55	7.55						386771.507,6716607.354,89.541
9880	001-50200	2012	Sauma					9880	13,757	16284,767					7.55	7.55						386759.243,6716601.217,90.522
H361	001-50200	2012	Taiutus	BEND-COLD OVER					12,747	16297,514					7.55	7.55						386747.895,6716595.497,91.405
9890	001-50200	2012	Sauma					9890	17,379	16302,746					7.55	7.55						386743.212,6716593.172,91.302
9900	001-50200	2012	Sauma					9900	17,374	16320,72					7.55	7.55						386727.163,6716585.132,90.648
H362	001-50200	2012	Taiutus	BEND-COLD RIGHT					5,607	16326,327					7.55	7.55						386722.120,6716582.697,90.432
9910	001-50200	2012	Sauma					9910	17,39	16338,71					7.55	7.55						386710.553,6716578.317,90.136
9920	001-50200	2012	Sauma					9920	17,37	16356,68					7.55	7.55						386693.690,6716572.138,90.088
9930	001-50200	2012	Sauma					9930	17,28	16373,36					7.55	7.55						386677.452,6716566.269,90.407
9940	001-50200	2012	Sauma					9940	17,366	16391,327					7.55	7.55						386661.144,6716560.337,90.789
9950	001-50200	2012	Sauma					9950	17,104	16408,43					7.55	7.55						386645.093,6716554.477,91.207
9960	001-50200	2012	Sauma					9960	17,57	16426					7.55	7.55						386628.614,6716548.423,91.649
9970	001-50200	2012	Sauma					9970	17,447	16443,448					7.55	7.55						386612.261,6716542.386,92.003
9980	001-50200	2012	Sauma					9980	17,393	16460,84					7.55	7.55						386595.973,6716536.326,92.324
9990	001-50200	2012	Sauma					9990	17,367	16478,807					7.55	7.55						386579.143,6716530.081,92.731
10000	001-50200	2012	Sauma					10000	16,402	16495,209					7.55	7.55						386563.779,6716524.381,93.114
10010	001-50200	2012	Sauma					10010	16,434	16511,643					7.55	7.55						386548.370,6716518.705,93.448
10020	001-50200	2012	Sauma					10020	16,08	16527,723					7.55	7.55						386533.281,6716513.188,93.799
10030	001-50200	2012	Sauma					10030	14,555	16542,278					7.55	7.55						386519.624,6716508.191,94.128
10040	001-50200	2012	Sauma					10040	2,158	16544,436					7.55	7.55						386517.599,6716507.450,94.162
H363	001-50200	2012	Taiutus	BEND-COLD LEFT					12,849	16557,285					7.55	7.55						386505.616,6716502.861,94.430
10050	001-50200	2012	Sauma					10050	17,355	16562,391					7.55	7.55						386501.087,6716500.514,94.576
10060	001-50200	2012	Sauma					10060	11,75	16574,141					7.55	7.55						386490.755,6716494.333,94.817
10070	001-50200	2012	Sauma					10070	5,469	16579,61					7.55	7.55						386485.966,6716492.306,94.893
10080	001-50200	2012	Sauma					10080	12,4	16592,01					7.55	7.55						386475.065,6716486.415,95.129
10090	001-50200	2012	Sauma					10090	12,561	16604,571					7.55	7.55						386464.007,6716480.480,95.411
10100	001-50200	2012	Sauma					10100	13,313	16617,883					7.55	7.55						386452.284,6716474.195,95.659
10110	001-50200	2012	Sauma					10110	12,797	16630,68					7.55	7.55						386441.005,6716468.172,95.923
10120	001-50200	2012	Sauma					10120	15,66	16646,34					7.55	7.55						386427.224,6716460.760,96.236
10130	001-50200	2012	Sauma					10130	14,734	16661,075					7.55	7.55						386414.237,6716453.818,96.255
10140	001-50200	2012	Sauma					10140	13,828	16674,903					7.55	7.55						386402.048,6716447.309,96.033
10150	001-50200	2012	Sauma					10150	15,033	16689,936					7.55	7.55						386388.819,6716440.192,95.827
H364	001-50200	2012	Valmistusvirhe	INT MFG					6,441	16696,377		7	0.11	12.00	7.55	7.55						386383.151,6716437.141,95.773
10160	001-50200	2012	Sauma					10160	15,141	16705,077					7.55	7.55						386375.495,6716433.021,95.699
10170	001-50200	2012	Sauma					10170	15	16720,077					7.55	7.55						386362.300,6716425.909,95.448
10180	001-50200	2012	Sauma					10180	14,953	16735,03					7.55	7.55						386349.166,6716418.779,95.241

## Taulukon käyttöohjeet

## Gasum

Tietojärjestelmäohje

1 (7)

Tuominen Niko

19.4.2017

**Sisäpuolisen tarkastuksen havaintojen sijainnin laskenta Excel-laskentataulukon avulla**

Tässä ohjeessa käsitellään maakaasuputkien sisäpuolisen tarkastuksen havaintojen sijainnin laskemiseen kehitetyn Excel-laskentataulukon käyttöä. Laskennan suorittamiseen tarvitaan laskentataulukon lisäksi halutun porsasajon raportti ja putkiston mittauspisteet. Laskennan suorittaminen jakautuu kuuteen vaiheeseen. Jokaiselle vaiheelle on oma alataulukonsa.

**Vastuut**

Vastuut ohjeen ylläpidosta ja noudattamisesta päivitetään myöhemmin.

**Vaihe 1: Porsasajoraportin muokkaus**

1. Kopioi tarvitsemasi porsasajoraportti "Porsasajoraportti"-tauluun.
2. Tee porsastaulukon kaikille havainnoille yksilöivä numerointi kuvan 1 mukaisesti.

Pipeline Listing					
Mäntsälä to Lohja					
Girth Weld Number	Relative Distance (metres)	Absolute Distance (metres)	Comment	Peak Depth	Length (mm)
10	0,0	0,2			
H1	0,0	0,2	SPIRAL WELD START		
20	0,4	0,6			
H2	0,0	0,6	LONGNL SUB ARC WELD START		
H3	1,0	1,6	BEND-HOT PULLED OVER		
30	2,1	2,7			
H4	0,0	2,7	SPIRAL WELD START		
H5	0,9	3,7	*EXT ML	32 %	
40	1,1	3,8			
H6	0,0	3,8	LONGNL SUB ARC WELD START		
H7	1,1	4,9	BEND-HOT PULLED UNDER		
50	2,3	6,1			
H8	0,0	6,1	SPIRAL WELD START		
60	2,4	8,5			
H9	0,2	8,7	25 MM OFFTAKE-WELDOLET		
H10	0,8	9,3	BALL VALVE		
H11	1,5	10,0	25 MM OFFTAKE-WELDOLET		
70	1,7	10,2			
80	1,0	11,1			
H12	0,0	11,1	LONGNL SUB ARC WELD START		
H13	0,4	11,5	500 MM OFFTAKE-FORGED		
90	0,8	11,9			
H14	0,0	11,9	SPIRAL WELD START		
H15	2,3	14,1	EXT ML	11 %	
100	3,9	15,8			
H16	0,0	15,8	LONGNL SUB ARC WELD START		
H17	1,7	17,5	BEND-HOT PULLED RIGHT		

Kuva 1

Tietojärjestelmä: Puhti

Paperituloste on kopio. Tarkasta ohjeen voimassaolo.

Tuominen Niko

19.4.2017

3. Poista porsasraportin "Comment"- ja "Orientation"-sarakkeiden arvoista välilyönnit niiden alusta.
4. Toista sama havainnoille, jotka loppuvat välilyöntiin.
5. Korvaa "Comment"-sarakeesta tuplavälilyönnit yhdeksi välilyönniksi.
6. "/"-merkin ympärillä ei saa olla välilyöntejä.
7. Mikäli raportissa on havaintoja joilla ei ole etäisyyksiä, täytä niiden relatiiviseen etäisyyteen 0,000 ja absoluuttiseen sama kuin edellisellä saumalla tai havainnolla.
8. Varmista että kaikki etäisyydet ja lukuarvot ovat lukuja ja niiden desimaali erotin on pilkku. "Orientation"-sarakeen tieto täytyy olla teksti-muotoinen.
9. Tyhjissä soluissa ei saa olla välilyöntiä.
10. Selvitä mitkä saumat ovat tarvitsemasi putkivälin ensimmäinen ja viimeinen mittauspiste. Merkitse samalla raporttiin kohdetunnuksen havainnoille.

**Vaihe 2: Kertoimet**

1. Suodata mittauspistetaulukosta tarvitsemasi pisteet.
  - 1.1. Tarkemittauskoodit: 701 ja 702
  - 1.2. Kohdetunnuksen työn alla olevan osuuden mukaan
2. Kopioi pisteiden koordinaatit ja pisteiden tunnukset Kertoimet-tauluun kuvan 2 mukaisesti.

	J	K	L	M	N
	<b>Syötä nämä itse</b>				
	Mittauspistetunnus		x	y	z
PUTKIPISTE_237905	0	386922,16	6716685,275	82,496	
PUTKIPISTE_237906	1	386906,326	6716676,804	83,148	
PUTKIPISTE_237907	2	386890,493	6716668,44	84,02	
PUTKIPISTE_237908	3	386879,981	6716662,767	84,614	
PUTKIPISTE_237909	4	386875,604	6716660,451	84,676	
PUTKIPISTE_237910	5	386867,629	6716656,133	84,825	
PUTKIPISTE_237911	6	386859,687	6716652,059	85,098	
PUTKIPISTE_237912	7	386843,683	6716643,865	85,541	
PUTKIPISTE_237913	8	386827,714	6716635,744	86,113	
PUTKIPISTE_237914	9	386811,683	6716627,591	86,761	
PUTKIPISTE_237915	10	386803,717	6716623,506	87,106	
PUTKIPISTE_237916	11	386795,712	6716619,53	87,739	
PUTKIPISTE_237917	12	386784,774	6716614,024	88,532	
PUTKIPISTE_237918	13	386771,515	6716607,358	89,54	

Kuva 2

3. Laajenna tai supista taulukkoa tarpeen mukaan leikkaamalla ylimääräiset rivit pois tai kopioimalla kaavoja riveille, joilta ne puuttuvat.
4. Etsi ja korvaa koordinaattien pilkut pisteiksi.



Tuominen Niko

19.4.2017

**Vaihe 3: Skaalaus**

1. Kopioi porsastaulukosta 3 ensimmäistä saraketta työn alla olevan kohteen matkalta Skaalaus-taulun "vanha"-sarakeisiin, kuvien 3 ja 4 mukaisesti.

	A	B	C	D	E	F
1	Pipeline Listing					
2						
3						
4	Hirvihaara to Hämeenlinna					
5	Girth Weld Number	Relative Distance (metres)	Absolute Distance (metres)	Comment	Peak Depth	Length (mm)
6	20	0,000	1,3			
8	30	2,110	3,4			
12	40	3,764	7,1			
15	50	2,213	9,4			
18	60	1,024	10,4			
20	70	0,560	10,9			
22	80	0,957	11,9			
23	90	1,280	13,2			
25	100	0,660	13,8			

Kuva 3

Vanha	Uus		
Havaintotunnus	Relatiivinen etäisyys	Absoluuttinen etäisyys	Kumu
9770	0,526	16101,117	0,000
9780	17,997	16119,114	17,98€
9790	17,967	16137,080	35,941
H358	11,990	16149,070	47,924
9800	16,927	16154,007	52,85€
H359	7,737	16161,744	60,59€
9810	17,979	16171,987	70,827
9820	17,980	16189,967	88,79€
9830	17,979	16207,947	106,7€
9840	17,981	16225,920	124,7€

Kuva 4

2. Laajenna tai supista taulukkoa tarpeen mukaan leikkaamalla ylimääräiset rivit pois tai kopioimalla kaavoja riveille, joilta ne puuttuvat.

Tuominen Niko

19.4.2017

3. Taulukon yläaidassa oleviin soluihin, kuva 5, täytetään seuraavan mukaiset arvot:
- 3.1. oldrange: porsasraportin mukainen pituus, laskutoimitus viimeinen havainto – ensimmäinen havainto
  - 3.2. newrange: mittauspisteiden mukainen pituus, katso AutoCadista tai Kertoimet-taulun alalaidasta
  - 3.3. newmin: yleensä 0, mutta jos on tarve aloittaa jostain tietyistä arvosta niin täytä se tähän
  - 3.4. oldmin: porsasajoraportista haettujen havaintojen ensimmäisen havainnon absoluuttinen etäisyys. Solussa on valmiina kaava, mutta tarkasta kuitenkin onko arvo oikein

oldrange	6831,690
newrange	6827,568
newmin	0,000
oldmin	16101,117

Kuva 5

**Vaihe 4: Koordinaattien laskenta**

1. Tyhjennä "Apu"-taulu.
2. Kopioi "Kertoimet"-taulusta pyöristetyt kumulatiiviset etäisyydet Apu-taulun sarakkeeseen C. Lisää sarakkeeseen B jokaisen etäisyyden kohdalle kirjain x. Kopioi pisteiden tunnuksat "Kertoimet"-taulusta sarakkeeseen D.
3. Kopioi "Skaalaus"-taulusta pyöristetyt kumulatiiviset etäisyydet Apu-taulun sarakkeeseen C ja havaintojen tunnuksat sarakkeeseen D.
4. Lajittele taulukko etäisyyksien (sarake C) mukaan pienimmästä suurimpaan.
5. Tee sarakkeeseen A rivinumerointi.
6. Malli on esitetty kuvassa 6.

Tuominen Niko

19.4.2017

	A	B	C	D	E	F
	1 x		0	PUTKIPISTE_238858		
	2		0	90		
	3		0	H14		
	4		2,2501	H15		
	5 x		3,5248	PUTKIPISTE_238859		
	6		3,8844	100		
	7		3,8844	H16		
	8 x		5,2299	PUTKIPISTE_238860		
	9		5,5537	H17		
	10 x		7,0065	PUTKIPISTE_238861		
	11		7,3	110		
	12		7,3	H18		
	13 x		25,065	PUTKIPISTE_238862		
	14		25,5325	120		
	15		25,6155	H19		
	16 x		43,2447	PUTKIPISTE_238863		
	17		43,6251	130		
	18		43,6251	H20		
	19 x		44,3687	PUTKIPISTE_238864		
	20		44,7976	140		
	21 x		45,9389	PUTKIPISTE_238865		
	22		46,4739	H21		
	23 x		47,7913	PUTKIPISTE_238866		
	24		48,2062	150		
	25 x		55,1554	PUTKIPISTE_238867		
	26		55,7801	160		

Kuva 6

7. Kopioi "Apu"-taulun sarakkeet B ja C Koordinaattien laskenta-taulun sarakkeisiin C ja D kuvan 7 mukaisesti.

Tuominen Niko

19.4.2017

		Putkipiste?	Sauman skaalattu kumulatiivinen etäisyys alusta	Apunumerointi	
vi		<b>SYÖTÄ ITSE</b>	<b>SYÖTÄ ITSE</b>		x
		x	0	0	0,0000
			0	1	-0,0743
			0	1	-0,0743
			2,2501	1	-0,0743
			3,5248	1	-0,0743
		x	3,8844	2	-0,2451
			3,8844	2	-0,2451
		x	5,2299	2	-0,2451
			5,5537	3	-0,6434
		x	7,0065	3	-0,6434
			7,3	4	-0,7525
			7,3	4	-0,7525
		x	25,065	4	-0,7525
			25,5212	5	-0,7499

Kuva 7

- Laajenna tai supista taulukkoa tarpeen mukaan leikkaamalla ylimääräiset rivit pois tai kopioimalla kaavoja riveille, joilta ne puuttuvat.
- Kopioi ensimmäisen mittauspisteen koordinaatit, esimerkiksi Kertoimet-taulusta, niille varattuihin vihreisiin ruutuihin kuvan 8 mukaisesti.

z	x	y	z
0,0000	401144,145	6722517,354	81,155
-0,0060	401144,145	6722517,354	81,155
-0,0060	401144,145	6722517,354	81,155
-0,0060	401143,978	6722515,110	81,142

Kuva 8

- Mikäli taulukon viimeinen piste ei ole mittauspiste, vaihda mittauspiste viimeiseksi käsin siirtämällä x-kirjain alemmaksi ja vaihtamalla pisteiden tunnusten arvot päittäin.

Tuominen Niko

19.4.2017

**Vaihe 5: Siirto**

1. Suodata "Koordinaattien laskenta"-taulusta mittauspisteet pois. Esimerkiksi suodata "Mittauspiste?"-sarakeesta x-kirjaimella merkityt rivit pois.
2. Kopioi "Tunnus"-sarakeen tiedot "Siirtotaulu"-taulun sarakkeeseen A.
3. Laajenna tai supista taulukkoa tarpeen mukaan leikkaamalla ylimääräiset rivit pois tai kopioimalla kaavoja riveille, joilta ne puuttuvat.
4. Täytä "pig\_observation\_nominal\_wall\_thickness"-sarakeeseen ensimmäinen solu käsin. Arvo löytyy sarakkeesta "pig\_observation\_report\_comment", ensimmäisen seinämepaksuus muutoksen kohdalta. ( NWT XX.XX/XX.XX)
5. Mikäli "pig\_observation\_type"-sarakeessa on "#PUUTTU!"-arvoja, tee "Siirto Apu"-tauluun puuttuville arvoille selitteet kuvan 9 mukaisesti.

Kommentti	Tyyppi
NWT 7.00/6.30MM	Seinämepaksuusmuutos
ATTACHMENT	Muu
INT MFG	Valmistusvirhe
BEND-COLD RIGHT	Taivutus
EXT MFG	Valmistusvirhe
EXT MFG	Valmistusvirhe
NWT 6.30/7.00MM	Seinämepaksuusmuutos
! KP PL 21.31	Referenssipiste
BEND-COLD UNDER	Taivutus
EXT ML	Vaurio
BEND-HOT PULLED LEFT	Taivutus
BEND-HOT PULLED RIGHT	Taivutus
NWT 6.30/7.70MM	Seinämepaksuusmuutos
NWT 7.70/6.30MM	Seinämepaksuusmuutos
BEND-COLD OVER	Taivutus
BEND-COLD LEFT	Taivutus
DENT (SW)	Lommo
EXT ML	Vaurio
NWT 7.00/7.70MM	Seinämepaksuusmuutos
! KP PL 22.92	Referenssipiste
DENT	Lommo
CLOSE METAL OBJECT	Muu
! KP PL 24.60	Referenssipiste
!	Sauma
LONGINAL SUB ARC WELD START	Muu
SPIRAL WELD START	Muu

Kuva 9

6. Täytä loput pyydetyt tiedot käsin:
  - 6.1. pig\_observation\_site\_id
    - 6.1.1. Kohteen id-tunnus, löytyy mittauspiste-taulusta
  - 6.2. pig\_observation\_surveyed
    - 6.2.1. Ajon suoritus aika, löytyy ajon raportoinnista. Muotoa kk/vvvv
  - 6.3. pig\_observation\_adder
    - 6.3.1. Lisääjän nimi
  - 6.4. pig\_observation\_added
    - 6.4.1. Lisäysaika
7. Nauti tuloksista.

**Vaihe 6: Tietojen vienti paikkatietojärjestelmään**

Gasum Oy päivittää ohjeeseen tämän kohdan toiminnon valmistuttua.