

**Juha Keränen**

# **Tiedonkeruun hallinta esineiden internetissä**

Tietotekniikan kandidaatintutkielma

29. tammikuuta 2016

Jyväskylän yliopisto

Tietotekniikan laitos

**Tekijä:** Juha Keränen

**Yhteystiedot:** juha.t.keranen@student.jyu.fi

**Ohjaajat:** Sanna Mönkölä

**Työn nimi:** Tiedonkeruun hallinta esineiden internetissä

**Title in English:** Data management on the Internet of Things

**Työ:** Kandidaatintutkielma

**Suuntautumisvaihtoehto:** Tietotekniikka

**Sivumäärä:** 25+0

**Tiivistelmä:** Digitalisaatio tuo tullessaan suuria muutoksia käsityksemme koneiden ja ihmisten vuorovaikutuksesta. Tämä vuorovaikutus syntyy erilaisten tietolähteiden tuottaman tiedon kautta. Tässä tutkielmassa tarkastellaan millaista tietoa tuotetaan ja miten suuria määriä numeerista tietoa tulisi tuottaa, jotta se olisi myöhäisemmässä vaiheessa käyttökelpoista.

**Avainsanat:** Esineiden ja asioiden internet, teollinen internet, Big Data, tiedonkeruu, tiedonkäsittely, tiedonhallinta

**Abstract:** Digitalization brings major changes in the understanding about interactions between machines and humans. This interaction is created through knowledge of various sources of information produced. This thesis examines what information is produced and how large amounts of numerical data should produce in order to be useful at a later stage.

**Keywords:** Internet of Things, industrial internet, Big Data, data collection, data processing, data management

Esipuhe

Haluan kiittää kaikkia niitä henkilöitä, jotka ovat tukeneet tämän prosessin etenemisessä.  
Aivan erityinen kiitos sinulle rakas vaimoni!

Jyväskylässä 26.1.2016

*Juha Keränen*

## Termiluettelo

M2M	Kahden erillisen laitteen kommunikointia keskenään, engl. Machine to Machine
IoT	Asioiden ja esineiden internet, engl. Internet of Things
IoE	Kaiken internet, engl. Internet of Everything
Industry 4.0	Saksalaisten digitalisaation kärkihanke
Big Data	Valtava, jatkuvasti kasvava tietomäärä
RFID	Radiotaajuuksinen etätunnistin
SCADA	Automaatiojärjestelmä, engl. Supervisory Control And Data Acquisition
VTT	Valtion teknillinen tutkimuslaitos
Zettatavu	(ZB) $10^{21}$ tavua
Älykäs sähköverkko	Sähköverkko jota pystytään seuraamaan ja ohjaamaan, engl. smart grid.

## **Kuviot**

Kuvio 1. Tyypillinen SCADA-järjestelmä (mukaellen Boyer, Stuart A. 2009, 5).....	3
Kuvio 2. Gartnerin hypekäyrä 2014 (mukaellen Gartner 2014).....	5
Kuvio 3. Teolliset vallankumoukset (Juhanko, ym. 2015, 11).....	7
Kuvio 4. Tallennettavan tiedon määrä (mukaellen Unece 2014) .....	8
Kuvio 5. Verkkoon kytkettyjen laitteiden määrän kehitys Gartnerin ennusteen mukaan .....	9
Kuvio 5. Laskostuminen aikatasossa (Tampere university of technology 2015).....	15
Kuvio 7. Tiedonkäsittelyn erot (mukaellen Hämäläinen 2013, 20).....	18
Kuvio 8. Tiedonlouhinnan periaate .....	19

## **Taulukot**

Taulukko 1. Esimerkkejä esineiden internetin määritelmistä (Vesa 2015, 12) .....	4
--	---

# Sisältö

1	JOHDANTO.....	1
2	DIGITALISAATIO.....	2
2.1	Historia.....	2
2.2	Mitä IoT on? .....	3
2.3	Hypetys .....	5
2.4	Miksi tietoa kertyy .....	8
3	MITÄ TIETOA KERÄTÄÄN .....	10
3.1	Älykäs jääkaappi.....	11
3.2	Enovo roskien keruu .....	11
3.3	Puettava teknologia.....	12
4	TIEDONKERUU JA ANALYSOINTI.....	14
4.1	Näytteenottoteoreema .....	14
4.2	Datan tallennusvälin määrittely.....	16
4.3	Koneoppiminen, tiedonlouhinta ja tilastollinen mallinnus .....	17
5	YHTEENVETO .....	20
	LÄHTEET .....	21

# 1 Johdanto

Tulevaisuuden tietotekniikkaan liitetään usein digitalisaation käsite. Siitä voidaan puhua usealla eri nimellä, kuten esineiden ja asioiden internet (IoT, engl. internet of things), teollinen internet (engl. industrial internet), kaiken internet (IoE, engl. internet of everything), Industry 4.0 ja M2M (engl. machine to machine). Pohjimmiltaan nimet tarkoittavat samaa asiaa, vaikka sitä voi olla vaikea huomata. Digitaalisatiolla, eri nimineen, tarkoitetaan yksinkertaistettuna laitteiden ja asioiden verkottumista keskenään.

Ennusteiden mukaan verkottuvien laitteiden määrä kasvaa tulevaisuudessa hyvin voimakkaasti ja niiden odotetaan alkavan tuottaa suuria datamassoja (engl. big data). Kokonaisuuden kannalta tämä johtaa tilanteeseen, jossa yksittäisten laitteiden tuottamat pienet tietomäärät tulevat yhteensä olemaan hyvin merkittäviä ja pienistäkin ylimääräisistä tiedoista tulee isoja vaikutuksia. Tulevaisuuden odotuksissa tämän kerätyn datan uskotaan luovan kokonaan uusia mahdollisuuksia, ja siksi olisi tärkeää, että tieto olisi riittävästi laadukasta jatkokäyttöä varten, mutta resurssien säästämisen vuoksi sitä ei kerättäisi liikaa.

Tämän tutkielman tarkoituksena on selvittää, millaista tietoa verkkoon tällä hetkellä on mahdollista tuottaa ja milloin tietoa on kerätty tarpeeksi myöhäisempää käyttöä varten. Selvityksen päämäärä on säästää tietoa tuottavan laitteiston ja analysointijärjestelmän resursseja keräämällä tietoa mahdollisimman vähän. Kerättävässä tiedossa keskitytään sensorien tuottamaan numeeriseen tietoon, jota voi olla esimerkiksi lämpötilatieto tai energiankulutustieto. Terminologisesti keskitytään esineiden ja asioiden– sekä teollinen internet käsitteeseen jolloin toimintaympäristönä voidaan ajatella olevan jo käytössä olevat teollisuuden tai kotitalouksien laitteet.

Tutkielma koostuu rakenteellisesti neljästä osasta: Ensimmäisessä tarkastellaan digitalisaation taustoja, ilmiön kehittymistä ja sen vaikutuksia tulevaisuuteen. Toisessa tarkastellaan, millaisissa sovelluskohteissa digitalisaation ominaisuudet ovat jo käytössä sekä millaista tietoa niissä tuotetaan. Kolmannessa osassa tarkastellaan tutkimuksia, joita on tehty tiedon keruun ja analysoinnin suhteen, ja viimeisessä osuudessa pohditaan, onko tiedonkeruu nykyisellä mallilla jo valmis, vai olisiko siinä parannettavaa.

## 2 Digitalisaatio

Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminta on raportissaan *Suomi – Teollisen internetin piilaakso* määrittellyt digitalisaation järjestelmäksi, jossa reaali maailman yksilöidyt tuotteet, laitteet ja palvelut verkottuvat keskenään ja ”juttelevat” muodostaen yhden suuren kokonaisuuden (Ailisto, ym. 2015, 11). VTT:n johtava asiantuntija Tuomo Alasoini (2015) määrittelee Työpoliittisen Aikakauskirjan artikkelissaan digitalisaation tarkoittavan digitaalitekniikan integroimista osaksi jokapäiväistä elämää ja digitoinnin mahdollisuuksien kokonaisvaltaista hyödyntämistä yhteiskunnallisissa prosesseissa.

Määritelmät vaihtelevat eikä selkeää yksiselitteistä määritelmää ei ole. Kaikissa toistuu kuitenkin yhteisenä ajatuksena digitalisaation tuleminen osaksi arkipäivää ja ympärillä olevien esineiden ja asioiden verkottuminen keskenään.

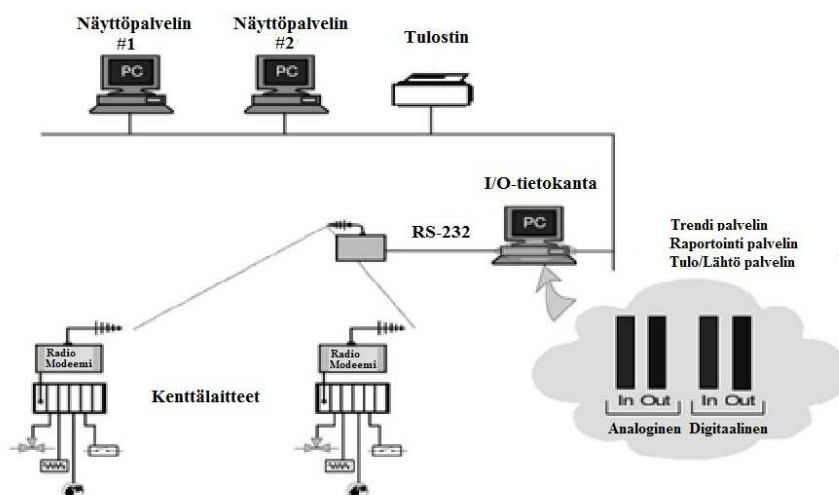
### 2.1 Historia

Teknisesti laitteiden verkottuminen on asiana vanha. Yhdeksi ensimmäisiksi verkottuvaksi laitteeksi voidaan laskea radiotaajuuksinen etätunnistin (RFID, engl. Radio Frequency IDentification). RFID:n ajatuksena on laitteiden identifiointi käyttämällä radiotaajuuksia tunnistetietojen siirtämiseen (RFID Journal 2015). Tekniikka on ollut käytössä jo 1940-luvulla, ja esimerkiksi englantilaiset käyttivät RFID:tä toisen maailmansodan aikana erottaakseen omat lentokoneensa viholliskoneista (Yan, ym. 2008, 3). Englantilaisilla on ollut käytössä hyvin yksinkertainen esineen identifiointi ja tiedonkeruu, onko kohde vihollinen vai ei. Myöhemmin RFID:n sovelluskohteet ovat laajentuneet ja se onkin käytössä varsin laajasti jokapäiväisessä elämässä mm. kirjaston kirjojen tunnisteissa.

Teollisuusympäristössä laitteiden verkottuminen on myös vanha asia ja siellä näitä ympäristöjä kutsutaan nimellä SCADA (engl. Supervisory Control And Data Acquisition). Kuviossa (Kuvio 1) on esitetty tyypillinen SCADA-järjestelmän kokoonpano, jolla voidaan seurata, tallentaa, analysoida ja ohjata kohdeprosessia. SCADA-järjestelmä koostuu prosessin seurantaan ja operointiin tarkoitettusta käyttöliittymästä, prosessin hallintaan tarkoitettua ohjausjärjestelmästä, prosessitietojen tallentamiseen tarkoitettua tietokannasta, lait-



teiden kommunikointiin tarkoitettu tiedonsiirtoväylästä ja tietojen keräämiseen ja prosessin ohjaamiseen tarkoitettu kenttälaitteista. Periaatteessa voitaneen puhua rakenteellisesti teollisesta internetistä suljetussa ympäristössä: tieto kerätään eri sijainneista ja tietojen perusteella analysoidaan toimenpiteet mitkä suoritetaan.



Kuvio 1. Tyypillinen SCADA-järjestelmä (mukaellen Boyer, Stuart A. 2009, 5)

Kerätyt tiedot ovat näissä järjestelmissä liittyneet järjestelmän valvoman prosessin tilojen seurantaan, ohjaamiseen ja tallentamiseen. Tyypillisesti tietojen tallennus ja keräys tapahtuu syklisesti eli tietyin aikavälein tai ulkopuolisen tapahtuman käynnistämänä.

Aikaisemmilla tiedonkeruujärjestelmillä on digitalisaatioon verrattuna ollut ollut selkeä tarve ja päämäärä tiedonkeruun suhteen. Tulevaisuudessa asia ei enää ole siten vaan on huomattavasti monimutkaisempaa kun asioiden ja esineiden internetin BigData ajattelussa tietoa tuotetaan varastoon ja käsitellään vasta jälkikäteen (Franks 2012, 7-9).

## 2.2 Mitä IoT on?

VTT on määrittänyt esineiden ja asioiden internetin seuraavasti: ”*The Internet of Things (IoT) escapes any clear definition, consisting as it does of a combination of technologies and a collection of applications and business opportunities, rather than any definable ar-*

*chitectures or communication protocols.”* (Jurvansuu ja Belloni 2013, 11). IoT on siis kokoelma vähän kaikkea, eikä sitä ole selkeästi määritelty.

IoT:n eri selityksiä on kattavasti koonnut myös KTT Jarkko Vesa *Teollisen internetin vaikutuksesta huoltovarmuuden näkökannasta*-esiselvityksessään (Taulukko 1). Tämä esiselvitys on mielenkiintoinen, koska se on harvoja puolueettoman tahon tilaamia selvityksiä. Vaikka IoT:sta löytyy yritysten tekemänä erilaisia julkaisuja, niitä varjostaa usein tekijöiden omat intressit ja näkökulmat.

Lähde	Määritelmä	Avainsanat
Euroopan parlamentin päätöslauselma 15. kesäkuuta 2010 esineiden internetistä.	Termi "esineiden internet" viittaa yleiseen käsitteeseen esineistä, jotka ovat luettavissa, tunnistettavissa, tavoitettavissa, paikannettavissa ja/tai hallittavissa internetin avulla tietyn välimatkan päästä.	esineet luettavissa tunnistettavissa tavoitettavissa paikannettavissa hallittavissa etänä
Market-Visio (2014)	Asioiden ja esineiden verkottuminen / IoT= Verkottuneet laitteet ja sulautetut järjestelmät, joissa teknologia mahdollistaa laitteen tilojen mittaamisen, niistä viestimisen ja niiden pohjalta toimimisen joko sisä- tai ulkoverkossa.	verkottuminen laitteet ja sulautetut järjestelmät laitteen tilojen mittaus sisä- tai ulkoverkko
McKinsey (2013)	The Internet of Things: Networks of low-costs sensors and actuators for data collection, monitoring, decision making, and process optimization.	halvat sensorit datankeruu/monitorointi pääöksenteko prosessioptimointi
RFID Journal (2014)	[RFID Journal] decided that if a company is reading RFID tags on products, inventory, assets and other items ...and data is collected and shared with third parties or consumers, then it would be [an IoT story].	luetaan tagejä dataa kerätään /jaetaan kolmansille osapuolille tai kuluttajille yrityksen sisäinen käyttö ei IoT:tä
Telecomcircle.com (2014)	The Internet of Things (IoT) is a scenario in which objects, animals or people are provided with unique identifiers and the ability to automatically transfer data over a network without requiring human-to-human or human-to-computer interaction.	esineet, ihmiset tai eläimet yksilöllinen tunnistus automaattinen tiedon siirto verkon yli
Teollisen yrityksen digitalisoinnin käsikirja. Teknologiateollisuus (2014)	Asioiden ja esineiden verkottuminen (Internet of Things): laitteista kerättävän (mittaus) datan siirtämistä, analysointia sekä niiden pohjalta automatisoitua toimintaa sekä suljetussa että avoimissa tietoverkoissa.	mittausdatan kerääminen datan siirtäminen datan analysointi automatoitua toimintaa sisä- tai ulkoverkossa

Taulukko 1. Esimerkkejä esineiden internetin määritelmistä (Vesa 2015, 12)

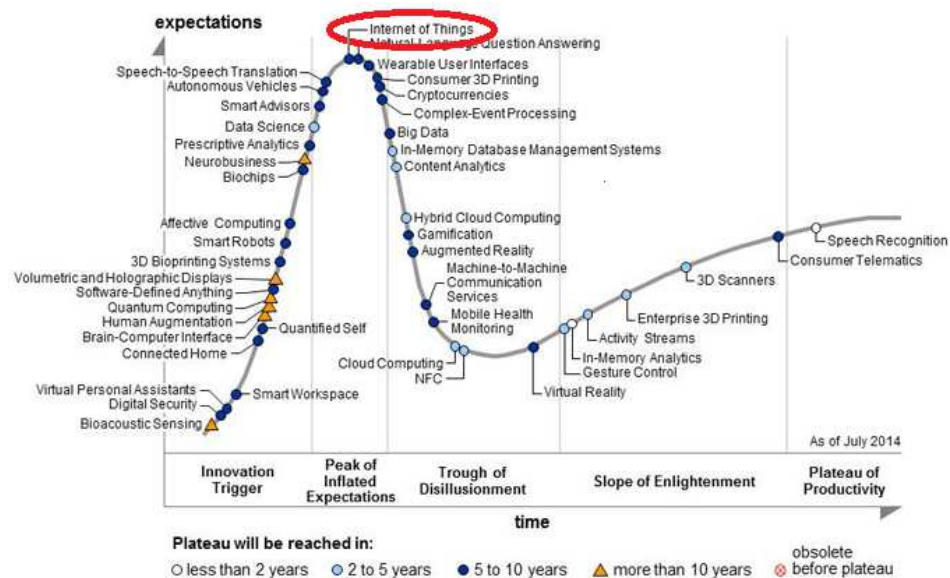
Kuten Jarkko Vesan kokoamasta taulukosta (Taulukko 1) nähdään, osassa määrittelyä IoT käsitteen alle otetaan pelkästään laitteet ja osassa se sisältää myös datan käsittelyä ja automatisoitua toimintaa.

Jos mietitään vielä digitalisaatioon liitettyjä nimiä niin Etna on määritellyt IoT:n olevan kuluttajalähtöinen ajattelumalli digitalisaatiolle ja teollinen internet on digitalisaation yrittäjäversio. Teollisessa internetissä asiaa lähestytään tuotannon tehostamisen kautta kun kuluttajaversiossa tarve tulee taas kuluttajien tarpeista. (Juhanko, ym. 2015, 10-13) Laajennettuna käsityksenä Cisco on lanseeranut käsitteen kaiken internet (IoE), joka yhdistää teollisuuden, yhteiskunnan ja kuluttajat saman käsitteen sisään (Cisco 2015).

Terminologisesti IoT:n käsite ei ole vielä yhdenmukainen ja tulee varmasti tarkentumaan asian yleistyessä. Vaikka IoT ymmärretään joissakin yhteyksissä pelkästään tietoa keräävänä laitteena ja toisissa yhteyksissä jopa pelkkänä palvelukonseptina, on kaikissa yhteisenä piirteenä verkottuminen ja valtavat bisnesmahdollisuudet.

## 2.3 Hypetyys

Digitalisoituminen on tällä hetkellä hyvin ajankohtainen aihe, ja muun muassa kansainvälinen ICT-alan tutkimus- ja konsultointikeskus Gartner (2014) on ns. hypekäyrässään nostanut IoT:n kehittyvien teknologioiden aallonharjalle jo vuonna 2014 .

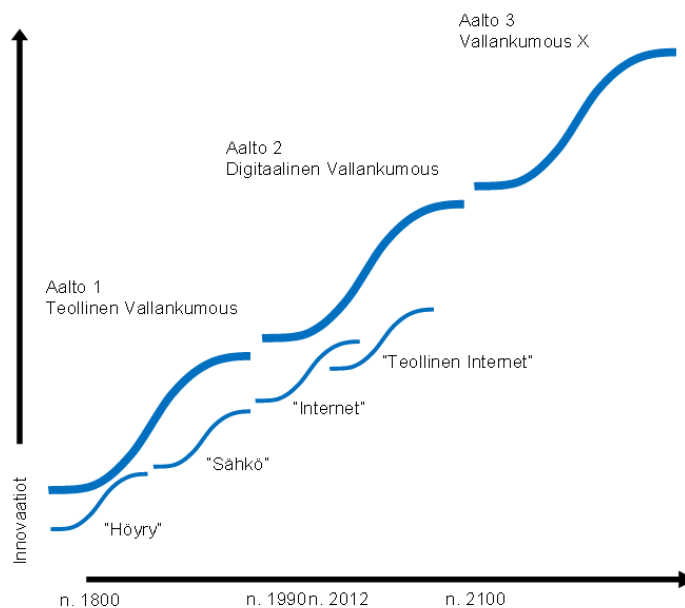


Kuvio 2. Gartnerin hypekäyrä 2014 (mukaillen Gartner 2014)

Gartnerin ennusteesta nähdään myös muiden digitalisaatioon liittyvien asioiden olevan voimakkaasti esillä kuten esimerkiksi Big Data, pilvilaskenta (engl. cloud computing), machine-to-machine viestintäpalvelu, (engl. machine-to-machine communication service) ja autonominen ajoneuvo (engl. autonomous vehicles).

Erilaisia visioita siitä mitä IoT tuo tullessaan on monia ja niiden sanoma voidaan tiivistää seuraavaan: Tekniikka halpua ja mahdollisuudet ovat rajattomat. Marko Heikkinen muun muassa kirjoittaa Tekesin näköalat-julkaisun pääkirjoituksessa: ”*Muutamana vuoden kuluessa digitaalista tietoa voidaan kerätä, yhdistellä ja analysoida automaattisesti ja reaaliaikaisesti sellaisistakin asioista, joiden seuraaminen oli aiemmin joko liian hankalaa tai kallista: elintarvikkeiden tuoreudessa, terveydentilassa, kotien ja talojen toiminnoissa tai Suomen autokannan liikkumisesta ja mahdollisista ruuhkista.*” (Heikkinen 2015, 2). Digitaalisoituminen onkin nyt useilla yrityksillä selvityksen alla, ja kaikki haluaisivat olla mukana sen tuomissa mahdollisuuksissa. Ei siis ole ihme että IoT:tä kutsutaankin myös teollisuuden kolmanneksi vallankumoukseksi ja se on jatkoa internetin luomiin mahdollisuuksiin (Juhanko, ym. 2015, 11): Ensimmäisessä teollisessa vallankumouksessa koneet korvasivat ihmistyön, toisessa tuli internet yhdistäen tietokoneet ja ihmiset, ja kolmannessa reaali maailman laitteet liittyvät verkkoon.

Kuten kuviosta (Kuvio 3) nähdään, ei kehityksen kulun oleteta päättyvän tähän vaan olemme vasta matkalla uusiin vallankumouksiin.



Kuvio 3. Teolliset vallankumoukset (Juhanko, ym. 2015, 11)

Andreas Constantinou (Nykänen 2015), tutkimusyhtiö Vision Mobile toimitusjohtaja ja Lundin yliopiston apulaisprofessori, on Mobile Monday –yhteisön tapahtumassa tuonut esiin neljä muutosta, jotka IoT tuo hänen mielestään tullessaan:

1. Asioiden internet irtautuu tekniikasta.
2. Datasta tulee uuden maailman raha.
3. Kuluttaja tekee kuninkaat.
4. Meistä kaikista tulee ohjelmoijia.

Constantinou on sitä mieltä, että IoT:n merkitys siirtyy tekniikasta pois. Tulevaisuudessa se ei enää olisi pelkästään tietoa keräävä laite, vaan sitä aletaan arvostaa sen toimien ja älykkyyden perusteella. Lisäksi kerätystä datasta alkaa muodostua pääoma jonka avulla käyttötarkoitukset ja -kohteet valikoituvat. Esimerkkinä tästä Constantinou käyttää sydämen syketietojen keräämistä miljoonilta ihmisiltä jolloin yksittäisen ihmisen tilanteesta saadaan hyvää tietoa vertaamalla sitä suuren massan muodostamaan joukkoon. Constantinou myös kansalaistaa ohjelmoinnin jolloin jokainen meistä tulee oppimaan IoT –laitteiden hyödyntämisen arkisissa ympäristöissä ja siten lisäämään käyttökohteita entisestään.

Lassi Linnanen, ympäristöjohtamisen professori (LUT Energia), viittaa *Tervetuloa kolmannen teolliseen vallankumoukseen* kirjoituksensa väliotsikossa ”Käyttäjät kehityksen keskiöön?” filosofi Jaakko Hintikan lanseeraamaan käsitteeseen ”yleisestä kyvystä rakentaa mahdollisia maailmoja” (Linnanen 2012). Mielenkiintoinen ajatus joka tukee Constantinoun väitettä siitä että ohjelmointi tulee kaikkien perustaidoksi ja tulevat käyttäjät pystyvät muokkaamaan tulevaisuuttaan osaksi digitaalisaation avulla. Voisikin väittää ilmapiirin olevan IoT:n ympärillä kaiken mahdollistava ja se esitellään asiana, joka tuo kaikkiin ongelmiin ratkaisun, tai ainakin mahdollistaa ratkaisun kehittämisen mikäli teknologia osataan hyödyntää oikein. Ennen kaikkea sen luomia bisnesmahdollisuuksia hehkutetaan niin että niiden hyödyntämättä jättäminen voidaan laskea jopa tilaisuuksien hukkaamiseksi.

## 2.4 Miksi tietoa kertyy

Laitteiden verkottuminen ja niiden tuottama data aiheuttaa tallennettavalle ja siirrettävälle tietomäärälle suurta kasvua ja muun muassa United Nations Economic Commission for Europe (Unece) on arvioinut tallennetun datan määrän kasvavan 40 zettatavuun vuoteen 2020 mennessä (Kuvio 4). Tämä tarkoittaisi että dataa kerättäisiin jopa viisi kertaa enemmän vuodessa kuin vuonna 2015.

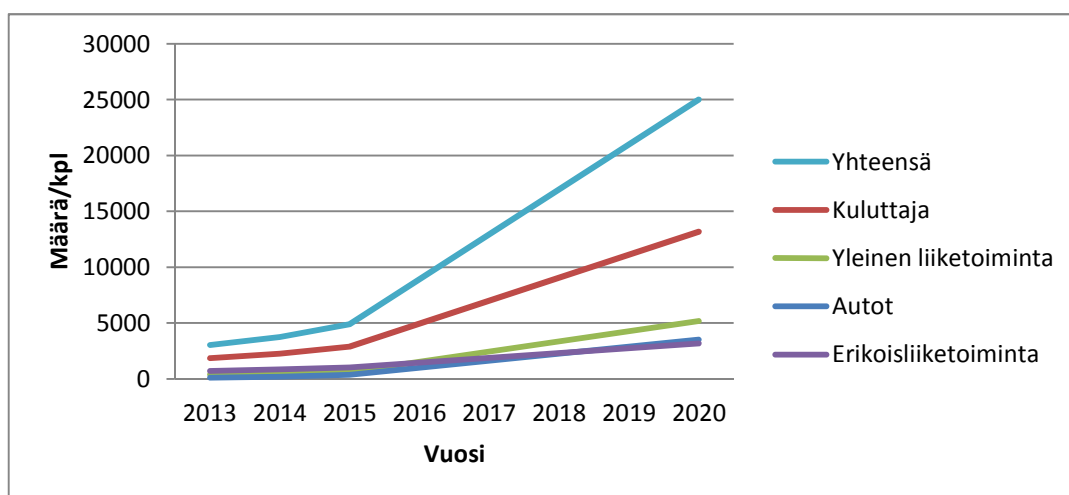


Kuvio 4. Tallennettavan tiedon määrä (mukaellen Unece 2014)

Unece:n arvioissa on jaoteltu dataa tuottavat lähteet kolmeen kategoriaan (Unece, *Classification of Types of Big Data* 2013):

1. Sosiaalinen verkko (mm. facebook, twitter).
2. Perinteiset yritysjärjestelmät (mm. pankki, lääkkeet).
3. Internet of Things (IoT) (mm. sensorit, tietokonejärjestelmät).

Jos mietitään miten datan määrä muuttuu IoT-laitteiden osalta niin ICT-alan tutkimus- ja konsultointikeskus Gartner (2014) on arvioinut laitteiden määrän kasvavan tästä hetkestä noin viisinkertaiseksi (Kuvio 5), yli 25 miljardiin laitteeseen, vuoteen 2020 mennessä.



Kuvio 5. Verkkoon kytkettyjen laitteiden määrän kehitys Gartnerin ennusteen mukaan

Verkkoonkytkettävien laitteiden määrä tulee ennusteiden mukaan jatkossa kasvamaan hyvin voimakkaasti aiempaan nähden varsinkin kuluttajalaitteiden osalta ja voi olla että Unesco:n arviot tallennetun tiedon määrästä ovat alakanttiin, koska kiinnostus kerätä eri asioita epäilemättä kasvaa sitä mukaa kun käyttökokemukset tekniikasta paranevat ja eri mahdollisuudet alkavat avautua kehittäjille ja käyttäjille.

### 3 Mitä tietoa kerätään

Kerättävä tieto voi olla luonteeltaan niin kvantitatiivista kuin myös kvalitatiivista. Sensorien tuottama tieto on tällä hetkellä lähinnä kvantitatiivista joten rajaamme tarkastelun siihen, vaikka tulevaisuudessa kvalitatiivinenkin mittaus tulee epäilemättä lisääntymään. Etna (Juhanko, ym. 2015, 13) on kerännyt esimerkkejä kuluttajille suunnatuista IoT-laitteista. Näitä ovat mm. etäluettavat sähkömittarit, internet yhteydelliset televisiot, langattomat tuotteet omatoimiseen terveydenseurantaan, langattomasti ohjattavat internet yhteydelliset LED-lamput ja internetiin yhdistetyt autot. Etnan esimerkkejä voi hyvin laajentaa ja väittää kaikkien verkkoon tietoa tuottavien laitteiden kuuluvan IoT-laitteisiin, joita ovat esimerkiksi älykäs jääkaappi, älykäs roskien keruu ja ihan normaali älypuhelin.

Kerättävä tieto voi tulla monenlaisesta laitteesta mutta tämän selvityksen näkökulmasta kaikki mitattava sensorien tuottama tieto on numeerista eli SI-yksiköiden ja niiden johdannaisilla ilmaistavia. Numeroin ilmaistavia SI-yksiköitä ovat (MIKES - metrologia 2014):

- aika-sekunti (s)
- pituus-metri (m)
- massa-kilogramma (kg)
- termodynasminen lämpötila-kelvin (K)
- valovoima-kandela (cd)
- sähkövirta-amppeeri (A)
- ainemäärä-mooli (mol)

Lisämausteena IoT-laitteiden tuottamaan tietoon voidaan kuitenkin nähdä IBM Watsonin (IBM 2015) kaltaiset kognitiiviset järjestelmät sekä Gartnerin hypekäyrässä mainittu affektiivinen tietojenkäsittely (engl. affective computing), jotka antavat aivan uusia mahdollisuuksia perinteisesti mittattavien suureiden rinnalle.

Nykyäänkin verkkoon tuotettava tieto on varsin monipuolista. Seuraavaksi tarkastellaan muutamaa verkkoon yhdistettävää laitetta sekä sitä, millaista tietoa niistä saadaan tuotettua internetin kautta käytettäväksi.



### 3.1 Älykäs jääkaappi

Eräs kuluttajien saataville tullut IoT-laite on älykäs jääkaappi. Vaikka ensimmäinen internettiin kytkettävä jääkaappi on esitelty jo vuonna 2000, ei maailma ollut vielä valmis ottamaan sitä vastaan (Tekniikka&Talous 2011). Nyt maailma alkaa olla tarpeiltaan erilainen, ja eri valmistajilta on tullut markkinoille älyjääkaappeja. Näistä LG ja Samsung lienevät suurimpia älyjääkaappien valmistajia.

Jos tarkastellaan ominaisuuksia mitä voidaan lukea tai ohjata verkon kautta niin LG:n älyjääkaapin osalta löytyvät muun muassa seuraavat (LG 2013):

- Jääkaapin tilaseurantaa mm. lämpötilat, ilman- ja vedensuodattimen tila ja tehostettu jäähdytys.
- Jääkaapin sisältö sekä tuotteiden päiväkset, sisältö on tosin manuaalisesti ylläpidettävä.
- Päivittäinen vedenkulutus 6:lle eri käyttäjälle.
- Suositeltavat reseptit.
- Muistio ja kalenteri.

Yhteenvetona voi sanoa, että jääkaappi välittää tietoa omistajalleen niin kunnostaan kuin sisällöstään ja osallistuu koko perheen arjen suunnitteluun ja ohjaamiseen.

Lieveilmiönä jääkaappienkin suhteen ovat tietoturva-asiat nousseet jo lehtien palstoille kun älykäs jääkaappi on yhdistetty verkkohyökkäykseen (Marketwatch 2014). Kotien tietoturva-asiat tulevat jatkossa olemaankin yhä suuremman kiinnostuksen kohteena mikäli laitteiden määrä nousee ennustusten mukaisesti.

### 3.2 Enovo roskien keruu

Enovo ONE (Enovo Oy 2015) on roskien keruun optimointiin erikoistunut järjestelmä ja se on eräs IoT-järjestelmien pioneereista Suomessa. Enovo koostuu tietoa keräävistä antureista, joilla seurataan jäteastioiden pintaa ja tapahtumia joiden perusteella pilvipohjainen järjestelmä optimoi ja tehostaa jätteenkeruun reittejä siten, että jätteen keruu suoritetaan oikea-aikaisesti ja tehokkaasti. Lisähyötynä jäteastioissa olevat anturit antavat tietoa muun muassa jäteastioiden lämpötilasta, mahdollisista tulipaloista ja ilkeistä.

Tarkemmin Enovon jäteastiaan sijoitettavat anturit tarkkailevat mm. seuraavia tietoja (Enovo Oy 2015):

- Jätteen pinnankorkeus 25-400cm  $\pm$ 5cm.
- Lämpötila.
- Liikkeentunistin.
- Anturin tiedonvälityksen väli on tyypillisesti tunti.
- Kommunikointi tapahtuu käyttäen 3G-yhteyttä.

Jäteastia tuottaa tiivistettynä melko perinteistä analogista dataa ja sen keruusykli on harva, koska tiedon luonne ei ole nopeaa reagointia vaativaa.

Enovon älykkyys on pilveen rakennettu hallintajärjestelmä, joka optimoi kerätyn tiedon perusteella reittiä vähentäen roska-autojen turhia ajokilometrejä ja parantamalla asiakastyytyväisyyttä keräämällä roskat sopivin väliajoin. Enovon järjestelmä on IoT-ajattelua parhaimmillaan kun asiakkaan tarpeet tulevat ensin ja tekninen toteutus pyrkii helpottamaan arjen kulkua.

### **3.3 Puettava teknologia**

Puettava teknologia (engl. wearable technology) on tullut mainoksien mukana jo kaikkien tietoisuuteen ja näistä aktiivisuusranneke sekä sykemittari on kauppojen hyllyllä kaikkien saatavilla. Suomalainen Polar Electro Oy (Polar Electro Oy 2015) on suuntautunut jo vuosia ihmisten liikuntaa tukevien laitteiden valmistukseen ja on toiminut alansa uranuurtanaja muunmuassa patentoimalla ensimmäisenä langattoman sykemittauksen jo vuonna 1983. Polarilla on tuotteissaan aktiivisuusranneke johon tutustumme seuraavaksi.

Polarin aktiivisuusranneke Polar Loop mittaa aktiivisuutta kolmiulotteisella digitaalisella kiihtyvyyssanturilla. Mittaustiedosta voidaan päätellä aktiivisuus käyttäen taajuus, intensiteetti ja epäsäännöllisyydestä rekisteröityjä tietoja. (Polar Electro Oy 2015) Juhani Lahdenperä on opinnäytetyössään (Lahdenperä 2011) selvittänyt miten askelten tieto saadaan erotettua kiihtyvyys anturin tiedoista ja miten kerätystä tiedosta on mahdol-

lista erottaa myös muita aktiviteettejä, kun ne on ensin mallinnettu kiihtyvyysanturin kannalta.

Polarin rannekkeesta on mahdollisuus siirtää tiedot verkkopalveluun josta voidaan seurata mm. unen laatua, erilaisia aktiivisuusalueita ja terveystaikutuksia ja pitää harjoituspäiväkirjaa (Polar Electro Oy 2015). Vaikka tieto siirretään verkkopalveluun erillisen laitteen kautta, on palvelukonsepti ja tiedon arvon jalostaminen mielenkiintoista, kun kuluttaja saa lisäinformaatiota jopa terveystaikutuksista.

## 4 Tiedonkeruu ja analysointi

Tiedonkeruusta on ymmärrettävä pari asiaa käsittämään tallennettua tietoa. Yksittäisestä mittauspisteestä saatu tieto on aikaperusteista, eli saatu tieto liittyy aina johonkin hetkeen. Esimerkkinä voidaan käyttää auringon aiheuttamaa valoisuutta joka vaihtelee vuorokauden ja vuodenajan mukaan hyvinkin paljon. Jos valoisuuden arvoa tallennetaan ilman tietoa tallennushetkestä, ei voida esimerkiksi hämärää vastaavasta lukemasta tietää onko ollut pilvinen päivä, ilta vai aikainen aamu. Tästä päästään toiseen asiaan joka tulee ymmärtää: Mittaus sisältää aina epävarmuutta. Epävarmuudella tarkoitetaan mittaukselle tyypillistä vaihtelua joka johtuu mittaustekniikasta ja -ympäristöstä.

Jokaisessa tallennetussa tiedossa on virhettä niin mittausajankohdan kuin tallennetun tiedon suhteen. Jos virheet voidaan hyväksyä, on mittaus tarpeeksi laadukasta myöhäisempään käyttöön, ja tallennetusta tiedosta voidaan jälkikäteen palauttaa mittaushetken tilanne tarvittavalla tarkkuudelle.

### 4.1 Näytteenottoteoreema

Signaalin tallennuksen perusongelma on se, miten signaali voidaan uudelleen mallintaa tallenteesta. Sama ongelma on myös IoT-laitteiden mittaamalla tuotattaman tiedon suhteen ja siihen antaa vastauksen näytteenottoteoreema (engl. sampling theorem). Näytteenottoteoreema tunnetaan monella nimellä koska samaan lopputulokseen pääsi usea henkilö, esimerkiksi Edmund Whittaker, Vladimir Kotelnikov ja Claude Shannon (Jerri 1977). Tässä tutkielmassa käytetään kuitenkin yksinkertaisesti nimeä näytteenottoteoreema, vaik-

ka lähestytään asiaa Shannonin/Nyquistin määrittelemällä tavalla. Onkin mielenkiintoista havaita, että 2000-luvulla pätevät samat säännöt, joihin Shannon ja Nyquist päätyivät jo 1940-luvulla.

Yleisellä tasolla näytteenottooreema määritellään seuraavasti (Huttunen 2005, 4) :

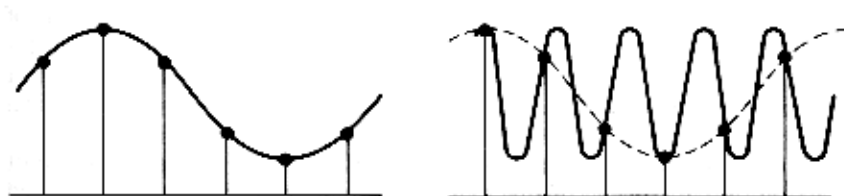
*”Jatkuva-aikainen signaali voidaan muodostaa uudelleen näytearvoistaan, jos näytteenottotaajuus  $F_s$  on vähintään kaksi kertaa niin suuri kuin signaalin sisältämä suurin taajuuskomponentti.”*

Shannonin näytteenottooreemassa on mukana Fourier-muunnos, mutta idea on sama ylempään kanssa (AALTO/Automaatio- ja Systemiteknikan laitos 2015) :

*”Jatkuva signaali, jonka Fourier-muunnos on nolla äärellisen välin  $[-\omega_0 \omega_0]$  ulkopuolella, voidaan esittää yksikäsitteisesti tasavälisesti otettujen näytteiden avulla, jos näytteenoton kulmataajuus  $\omega_s$  on suurempi kuin  $2\omega_0$ .”*

Toisin sanoen näytteenottooreemassa määritellään se tasavälisesti otettujen näytteiden näytteenottoväli, jolla näytteistä voidaan palauttaa alkuperäinen signaalin muoto. BigData ajattelun mukaisissa IoT-järjestelmissä, joissa datalle ”keksitään” käyttötarkoitus vasta myöhemmin, tulee tallennusvälillä olemaan suuri merkitys sen suhteen, saadaanko signaalista ulos haluttu tieto. Liian pienellä näytteenottotaajuudella tietoa hukataan ja se vääristyy, mitä nimitetään säännöllisillä signaaleilla laskostumiseksi (Kuvio 5) (Tampere university of technology 2015).

### Laskostuminen aikatasossa



Kuvassa on näytteistetty kaksi eritaajuista sini-signaalia, joilla on kuitenkin samat näytearvot.

Kuvio 6. Laskostuminen aikatasossa (Tampere university of technology 2015)

Kuten aiemmin tuli ilmi, näytteenottoteoreemassa täytyy tietää signaalin maksimitaajuus näytteenottovälin määrittämiseen. Tätä rajataajuutta kutsutaan Nyquistin taajuudeksi (eng. Nyquist frequency, Nyquist rate) ja se määritellään näytteenottotaajuuden kautta, eli on puolet näytteenottotaajuudesta.

Teoreettisesti määritelty näytteenottoväli ei kuitenkaan usein käytännössä riitä vaan on käytettävä 5-10-kertaista taajuutta (AALTO/Automaatio- ja Systemitekniiikan laitos 2015), koska teoreeman mukainen näytteenotto hukkaa tietoa mikäli signaalin ja näytteenoton keskinäinen suhde on epäedullinen. IoT-järjestelmissä datan tallennusvälin määrittelystä tulee entistä tärkeämpää, jotta tieto on käyttökelpoista myös jatkossa, eikä liian tarkalla tallennuksella hukattaisi resursseja.

## **4.2 Datan tallennusvälin määrittäminen**

Tiedon tallentamisessa ovat ohjelmoijat paljon vartijana. Tallennusväli vedetään usein parhaan arvauksen periaatteella, jolloin tiedon tallennus tapahtuu joihinkin muuhun kuin signaalin luonteeseen perustuen. Tallennusväli voi olla joko standardin määrittämä, omiin tai kaverin kokemuksiin turvautuva, tiedonkeruujärjestelmän resurssien sanelema, mitattavan tiedon luonteesta riipuva tai mittauksen kohteena olevan säätöprosessin tarpeista tuleva.

Ongelmassa on monta puolta, eikä tallennusvälin määrittely ole välttämättä helppo tehtävä. Liian tiivis tallennusväli voi hidastaa järjestelmän toimintaa järjestelmänylikuormittamisen kautta, ja liian hitaasta hukataan mitattavasta asiasta oleellisia piirteitä. Aiemmin mainituissa teolliseen tiedonkeruuseen suunnitelluissa järjestelmissä (SCADA), tallennusväli voidaan määrittellä järjestelmästä riippuen jopa millisekunteihin ja nopeaan mittaukseen erikoistuneet laitteet tekevät tallennusta vieläkin nopeammin. Dataa siis on mahdollista saada, ja eri kohteista sitä kerätäänkin eri määriä, jopa valtavia määriä.

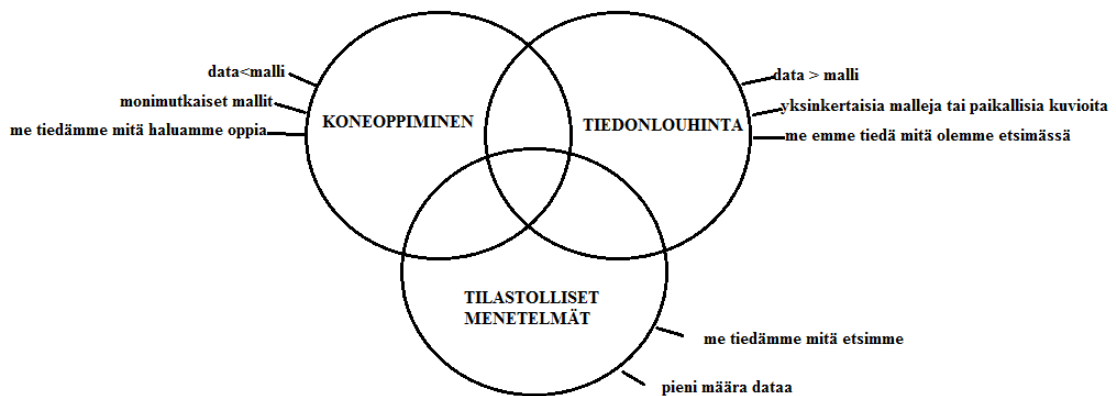
Esimerkkinä keruusta ja erilaisista käyttötarpeista voidaan käyttää sähköyhtiöiden energiamittauksista. Vuonna 2010 tullut energiapalvelulaki määritteli tuntitason mittauksen ja sähköjakelijan velvollisuuden raportoida kuluttajaa sähkönkulutuksesta (Finlex 2014). Energiateollisuus ry:n tulkinnan mukaan tuntimittauslaitteisto on laite joka pystyy rekisteröimään tuntitason tietoa ja siirtämään tiedon päivittäin (Energiateollisuus ry 2010, 13). Tämä

käytännössä antaa kuluttajalle mahdollisuuden seurata omaa kulutustaan tuntitasolla sähköyhtiön palvelun kautta ja verrata mitattuja ajanjaksoja toisiinsa. Jos asiakkaan tarpeet unohdetaan, on tällainen tietojen keruu on sähköyhtiöiden tämänhetkisten tarpeiden kannalta ylimitoitettua, sillä siellä tarve on lähinnä laskujen lähetysväli. Tulevaisuudessa tilanne kuitenkin muuttuu, kun älykäs sähköverkko (engl. smart grid) (Energiateollisuus ry 2015) alkaa tarvitsemaan tarkempaa tietoa energiankulutuksesta. Tunti ja laskutusvälin lisäksi on kuluttajatasolle tullut myös tarkempia vaihtoehtoja (There Corporation 2013) (Fortum Oyj 2015), jolla voidaan tunnistaa vikaantuvia ja energiasyöppöjä laitteita.

Energiamittauksen osalta nähdään, että tiedonkeruulle on monta kerrosta asiakkaan laskutuksesta yksittäisen laitteen tunnistamiseen ja isommassa mittakaavassa energiakuormien ohjaamiseen. Määräykset, asiakkaalle lisäarvon tuottaminen ja tulevaisuuden haasteisiin valmistautuminen määrittelevät erilaisia tarpeita tiedonkeruulle kun laskutuksessa riittää kuukausittainen tieto, mutta kahvinkeitin vikaantumisen selvittämiseen tarvitaan jo reaaliaikainen tieto. Jos kaikki nämä haluttaisiin muodostaa samasta tallennetusta tiedosta ja samalla laajuudella kuin sähköyhtiöt keräävät mittarikohtaisesti tietoa päästäisiin todella massiivisiin tietomääriin, ja tällaisten tietomäärien käsittely tapoja tarkastellaan seuraavaksi.

### **4.3 Koneoppiminen, tiedonlouhinta ja tilastollinen mallinnus**

Verkottuneet laitteet tuottavat massiivisia määriä tietoa ja niiden käsitteleminen perinteisin keinoin on varsin hankalaa, jonka vuoksi niiden käsittelyyn on omia tekniikkoja kuten koneoppiminen (engl. machine learning), tiedonlouhinta (engl. data mining) ja tilastolliset menetelmät. Hämäläinen (2013) on luentomateriaalissaan yksinkertaistanut näiden erot siten, koneoppiminen ja tiedonlouhinta soveltuvat isoille tietomäärille, kun taas tilastolliset menetelmät soveltuvat pienille, joissa tilastollinen merkitsevyys on etusijalla. Hänen mukaansa voidaan ajatella koneoppimisen ja tiedon louhinnan eron olevan lähinnä filosofinen: koneoppimisessa data on mallin tuottamaa ja koetetaan löytää sopiva malli johon data sopii, kun taas tiedon louhinnassa datasta koetetaan löytää kiinnostavat asiat. Hämäläisen kuvioista (Kuvio 7) huomataan että kaikki menevät osittain päällekkäin ja lopullisten rajojen teko on vaikeaa.



Kuvio 7. Tiedonkäsittelyn erot (mukaellen Hämäläinen 2013, 20)

Koska erottelu koneoppimisen ja tiedonlouhinnan erottelu on vaikeaa, laitetaan nämä usein kattokäsitteen *tietämyksen muodostus* (engl. *knowledge discovery* (KD), *knowledge discovery from data* (KDD)) alle. Tietämyksen muodostus on onnistuttu määrittelemään varsin ytimekkäästi jo vuonna 1993 (Frawley;Piatetsky-Shapiro ja Matheus 1992):

*” Knowledge discovery is the nontrivial extraction of implicit, previously unknown, and potentially useful information from data.”*

KD on toisinsanoen potentiaalisen uuden tiedon luomista vanhasta, ja sävyllään se on hyvin lähelle samaa IoT-ajattelun kanssa, jossa datasta voidaan luoda uusia käyttötarkoituksia. Tästäkin huomaa etteivät digitalisaation ajatukset ole syntyneet tässä hetkessä, vaan asia on vanha ja nyt vain tullut suuremman joukon tietoisuuteen.

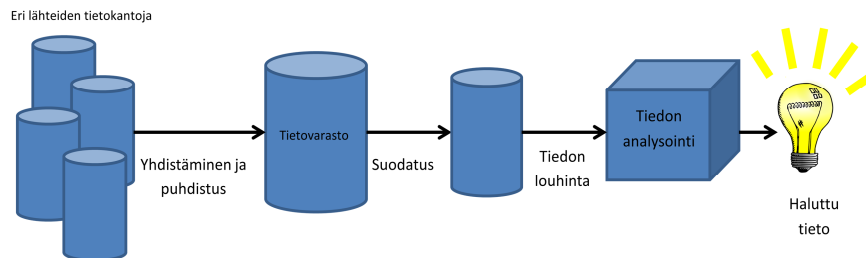
Jos tarkastellaan pelkästään tiedonlouhintaa, se on määritelty muun muassa seuraavasti (Hand;Mannila ja Smyth 2001, 6):

*“Data mining is the analysis of (often large) observational data sets to find unsuspected relationships and to summarize the data in novel ways that are both understandable and useful to the data owner.”*

Suuria datamääriä siis seulotaan ja koetetaan löytää uusia käyttökelpoisia asioita. Tarkasteltaessa tiedonkäsittelyä lähemmin KD:n näkökulmasta (Han;Kamber ja Pei 2012, 6-8), löytyy sieltä selkeitä osuuksia (Kuvio 8). Tieto kootaan aluksi useasta lähteestä yhteiseen



tietovarastoon samalla käsitellen tietoa mahdollisimman käyttökelpoiseksi. Kootusta tiedosta valikoidaan haluttua tietoa ja valikoitusta tiedosta etsitään algoritmeilla merkittäviä asioita joista lopuksi analysoidaan käyttäjälle tietoa.



Kuvio 8. Tiedonlouhinnan periaate

Tästä voidaan myös huomata että alkuperäisen tiedon tulee olla tarpeeksi laadukasta, koska sillä on vaikutus lopputulokseen (Hand;Mannila ja Smyth 2001, 32) (Han;Kamber ja Pei 2012, 83-85). Tiedon tulee edelleen sisältää oleellinen tieto itsessään, ellei sitä voida mallintaa jo olemassa olevien tietojen perustella. Kun palataan alkuperäiseen kysymykseen siitä miten paljon tietoa tulee olla jotta se sisältää kaiken oleellisen tiedon, niin sensoritiedon osalta asiaa tarkasteltaessa vastauksen vaikuttaa antavan aiemmin esitelty näytteenototeoreema siihen asti kunnes tieto on pystytty mallintamaan riittävän luotettavasti.

## 5 Yhteenveto

Vaikka IoT-laitteiden maailmanvalloitus on jo hyvällä alulla, on vielä runsaasti avoimia kysymyksiä. Tiedonkeruun osalta ei ole yksinkertaisia ratkaisuja sen suhteen miten kerättävän tiedon määrää voisi optimoida. Erilaisia pakkaustekniikoita tiedon siirrolle on jolloin siirtokapasiteettia ei hukata, mutta kerättävän tiedon määräävät edelleen samat säännöt kuin 1900-luvulla. Ohjelmoijien vastuulle säilytetään paljon prosessin ymmärtämisen ja tarpeellisen tietomäärän määrittämisen suhteen, ja tässä on vaarana, ettei tallennetun datan jatkokäyttö muissa yhteyksissä ole enää tehokasta.

Jatkotutkimuksen tarpeena olisi tutkia miten tiedon keruun säännöt voisi esimerkiksi automatisoida, jotta tietoa saadaan alussa riittävästi tilanteen mallintamiseen ja siten oikean laitekohtaisen algoritmin luomiseen. Jos laitteiden tuottamalle tiedolle olisi olemassa samanlaisia malleja kuin aktiivisuusrannekeissa on erottamaan eri aktiviteetit, ei tallennukseen tarvitsisi viedä kuin tieto kyseisestä toiminnasta, ja tilanne voitaisiin palauttaa riittäväällä tarkkuudella jo pienen tietomäärän turvin.

## Lähteet

AALTO/Automaatio- ja Systemitekniiikan laitos. *Digitaalisen säädön verkkokurssi*. 2015. <http://autsys.aalto.fi/pub/control.tkk.fi/Kurssit/Verkkokurssit/AS-74.2112/oppitunti2/naytteenotto.html> (haettu 11. 12 2015).

Ailisto, Heikki, ym. ”Suomi–Teollisen Internetin Piilaakso.” 2015. [https://www.etla.fi/wp-content/uploads/raportti\\_2015\\_4.pdf](https://www.etla.fi/wp-content/uploads/raportti_2015_4.pdf) (haettu 09. 12 2015).

Alasoini, Tuomo. ”Digitalisaatio muuttaa työtä – millaista työelämää uudistavaa innovaatiopolitiikkaa tarvitaan?” 2015. <https://www.tem.fi/files/43130/alasoini.pdf> (haettu 9. 12 2015).

Boyer, Stuart A. *SCADA: supervisory control and data acquisition*. International Society of Automation, 2009.

Cisco. ”www.cisco.com.” 2015. <http://www.cisco.com/c/r/en/us/internet-of-everything-ioe/tomorrow-starts-here/index.html> (haettu 9. 12 2015).

Energiateollisuus ry. *Älykäs verkko eli Smart Grid*. 2015. <http://energia.fi/sahkomarkkinat/sahkoverkko/alykas-verkko> (haettu 12. 12 2015).

—. *TUNTIMITTAUKSEN PERIAATTEITA*. 2010. [http://energia.fi/sites/default/files/dokumentit/sahkomarkkinat/Sanomaliikenne/tuntimittaus-suositus\\_2010\\_linkit\\_paivitetty.pdf](http://energia.fi/sites/default/files/dokumentit/sahkomarkkinat/Sanomaliikenne/tuntimittaus-suositus_2010_linkit_paivitetty.pdf) (haettu 12. 12 2015).

Enovo Oy. *WE-008 sensor datasheet*. 2015. <http://cdn3.enevo.com/wp-content/uploads/2015/03/20135358/Enevo-Datasheet-WE-008-A4-English-web1.pdf> (haettu 10. 12 2015).

—. ”www.enevo.com.” *Enevo ONE*. 2015. <http://www.enevo.com/enevo-one/> (haettu 10. 12 2015).

Finlex. *HE 182/2014*. 2014. [http://www.finlex.fi/fi/esitykset/he/2014/20140182?search\[type\]=pika&search\[pika\]=energiatehokkuuslaki#idp4293424](http://www.finlex.fi/fi/esitykset/he/2014/20140182?search[type]=pika&search[pika]=energiatehokkuuslaki#idp4293424) (haettu 12. 12 2015).

Fortum Oyj. *Kotinäyttö*. 2015. <https://www.fortum.fi/countries/fi/energiansaasto-jaratkaisut/energiankayton-seuranta/fortum-kotinaytto/pages/default.aspx> (haettu 12. 12 2015).

Franks, Bill. *Taming the big data tidal wave: Finding opportunities in huge data streams with advanced analytics*. Vuosik. Vol. 49. ohn Wiley & Sons, 2012.

Frawley, William J., Gregory Piatetsky-Shapiro, ja Christopher J. Matheus. *Knowledge Discovery in Databases: An Overview*. 1992.

Gartner. "Newsroom." 2014. <http://www.gartner.com/newsroom/id/2905717> (haettu 9. 12 2015).

—. "Newsroom." 2014. [http://na1.www.gartner.com/imagesrv/newsroom/images/HC\\_ET\\_2014.jpg;wadf79d1c8397a49a2](http://na1.www.gartner.com/imagesrv/newsroom/images/HC_ET_2014.jpg;wadf79d1c8397a49a2) (haettu 9. 12 2015).

Hämäläinen, Wilhelmiina. "Tiedonlouhinta." 2013. <http://cs.joensuu.fi/pages/whamalai/DMkalvot.pdf> (haettu 12. 12 2015).

Han, Jiawei, Micheline Kamber, ja Jian Pei. *Data Mining: Concepts and Techniques*. Waltham: Elsevier Inc., 2012.

Hand, David, Heikki Mannila, ja Padhraic Smyth. "Principles of Data Mining." 2001. [ftp://gamma.sbin.org/pub/doc/books/Principles\\_of\\_Data\\_Mining.pdf](ftp://gamma.sbin.org/pub/doc/books/Principles_of_Data_Mining.pdf) (haettu 12. 12 2015).

Heikkinen, Marko. "Digiarki 2020." *Tekesin näköalat 3*, 2015: 2.

Huttunen, Heikki. "Signaalinkäsittelyn menetelmät." 2005. <http://cna.mamk.fi/public/reijovuohelainen/DigitaalinenSignaalinkasittely/Signaalink%C3%A4sittelyn%20menetelm%C3%A4t%20Moniste.pdf> (haettu 11. 12 2015).

IBM. "www.ibm.com." 2015. <http://www.ibm.com/smarterplanet/us/en/ibmwatson/what-is-watson.html> (haettu 10. 12 2015).

Jerri, Abdul J. "The Shannon Sampling Theorem—Its Various Extension and Applications: A Tutorial Review." 1977. (haettu 11. 12 2015).

- Juhanko, Jari, ym. ”Etna raportit.” 5. 1 2015. <https://www.etla.fi/wp-content/uploads/ETLA-Raportit-Reports-42.pdf> (haettu 9. 12 2015).
- Jurvansuu, Marko, ja Kaisa Belloni. ”Productivity Leap with IoT.” 2013. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/visions/2013/V3.pdf> (haettu 9. 12 2015).
- Lahdenperä, Juhani. ”Opinnäytetyö: Askelmäärän mittaus ranteessa pidettävän kiihtyvyyssanturin avulla.” 2011. [http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/31240/Lahdenpera\\_Juhani.pdf?sequence=1](http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/31240/Lahdenpera_Juhani.pdf?sequence=1) (haettu 10. 12 2015).
- LG. ”Owners manual LFX31995\*\*.” *LG.* 2013. <http://www.lg.com/us/support/manuals?search=LFX31995ST#> (haettu 10. 12 2015).
- Linnanen, Lassi. *Tervetuloa kolmanteen teolliseen vallankumoukseen.* 2012. <http://www.lut.fi/green-campus/asiantuntijat-aanessa/energiaturros-kolmas-teollinen-vallankumous> (haettu 9. 12 2015).
- Marketwatch. ”Cyberattack.” <http://www.marketwatch.com>. 2014. [http://www.marketwatch.com/story/proofpoint-uncovers-internet-of-things-iot-cyberattack-2014-01-16?reflink=MW\\_news\\_stmp](http://www.marketwatch.com/story/proofpoint-uncovers-internet-of-things-iot-cyberattack-2014-01-16?reflink=MW_news_stmp) (haettu 10. 12 2015).
- MIKES - metrologia. *SI -mittayksiköt.* 2014. <http://www.mikes.fi/si-mittayksik%C3%B6t-mikes-metrologia/> (haettu 13. 12 2015).
- Nykänen, Pekka. ”Kauppalehti.” 2015. <http://www.kauppalehti.fi/uutiset/nain-esineiden-internet-mullistaa-elamasi/hTAG7X7u> (haettu 9. 12 2015).
- Polar Electro Oy. *Innovaatiot.* 2015. [http://www.polar.com/fi/tietoa\\_polarista/keita\\_olemme/innovaatiot](http://www.polar.com/fi/tietoa_polarista/keita_olemme/innovaatiot) (haettu 10. 12 2015).
- . *Polar Loop.* 2015. [http://www.polar.com/fi/tuotteet/lahde\\_liikkumaan/fitness\\_crosstraining/loop](http://www.polar.com/fi/tuotteet/lahde_liikkumaan/fitness_crosstraining/loop) (haettu 10. 12 2015).

—. *Tuotetuki*. 2015. [http://www.polar.com/fi/support/how\\_does\\_polar\\_loop\\_track\\_steps](http://www.polar.com/fi/support/how_does_polar_loop_track_steps) (haettu 10. 12 2015).

RFID Journal. *RFID Journal*. 9. 12 2015. <http://www.rfidjournal.com/faq/show?49> (haettu 9. 12 2015).

Tampere university of technology. 2015. <http://matwww.ee.tut.fi/hypmed/ryhma12/DigiAani/c6.html> (haettu 12. 12 2015).

Tekniikka&Talous. 2011. <http://www.tekniikkatalous.fi/arkisto/2011-04-20/%C3%84lyj%C3%A4%C3%A4kaappi-ehdottaa-mit%C3%A4-t%C3%A4n%C3%A4n-sy%C3%B6t%C3%A4isiin-3301574.html> (haettu 12. 10 2015).

There Corporation. *Solutions*. 2013. <http://www.therecorporation.com/solutions/> (haettu 12. 12 2015).

Unece. *Background to UNECE's Big Data work*. 2014. <http://www1.unece.org/stat/platform/display/msis/Big+Data> (haettu 9. 12 2015).

—. "Classification of Types of Big Data." 2013. <http://www1.unece.org/stat/platform/display/bigdata/Classification+of+Types+of+Big+Data> (haettu 9. 12 2015).

Vesa, Jarkko. "Teollinen internet ja huoltovarmuus." 2015. <http://www.huoltovarmuuskeskus.fi/static/pdf/821.pdf> (haettu 9. 12 2015).

Yan, Lu, Yan Zhang, Lawrence T Yang, ja Ning Huansheng. *The Internet of things: From RFID to the next-generation pervasive networked systems*. Auerbach Publications, 2008.