

Saimaan ammattikorkeakoulu
Tekniikan ja liikenteen ala Lappeenranta
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Infratekniikka

Lassi Kuronen

Uusien tekniikoiden ja menetelmien hyödyntäminen rakennuskunnossapidossa

Opinnäytetyö 2017

Tiivistelmä

Lassi Kuronen

Uusien tekniikoiden ja menetelmien hyödyntäminen rakennuskunnossapidossa,
78 sivua, 8 liitettä

Saimaan ammattikorkeakoulu

Tekniikka ja liikenteen ala Lappeenranta

Rakennustekniikan koulutusohjelma

Infratekniikka

Opinnäytetyö 2017

Ohjaajat: Jari-Pekka Sinkko, Saimaan ammattikorkeakoulu, DI Tero Junkkari,
kunnossapidon kehityspäällikkö, UPM Sellu Suomi, Sakari Kykkänen, projekti-
insinööri, UPM Kaukas

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli esitellä UPM Kaukaan tehtaiden kunnossapito-organisaatiolle uusia kunnossapitomenetelmiä ja -tekniikoita, joita tehdasalueella voidaan tulevaisuudessa tai nykyhetkellä hyödyntää. Tarkoituksena oli löytää potentiaalisia kustannussäästöjä menetelmistä sekä esitellä sellaiset tekniikat, jotka auttavat havaitsemaan tai estämään tuotannolle epäsuotuisien tilanteiden syntyminen.

Tekniikat ja menetelmät kerättiin kirjallisuustutkimuksen avulla. Kun tarpeellinen määrä menetelmiä oli kartoitettu, näille toteutettiin Kepner & Tregoe -ongelmanratkaisumatriisin mukainen vertailu, josta soveltuvimmat menetelmät asetetuilla kriteereillä voitiin havaita.

Vertailun perusteella potentiaalisimmille menetelmille ja tekniikoille luotiin hyödyntämissuunnitelma ja lopuksi pohdittiin kunnossapitoon liittyviä tulevaisuuden visioita ja kehityssuuntauksia. Työn tarkoituksena oli siis olla eräänlainen teknologiakatsaus, jonka avulla yritys pystyy paremmin arvioimaan tämänhetkistä ja tulevaa kunnossapitoon liittyvää tilannetta menetelmien osalta ja mahdollisesti käyttöönottaa tässä työssä hyödynnettäväksi ehdotettuja vertailukohteita.

Asiasanat: kunnossapito, vertailu, hyödyntämissuunnitelma

Abstract

Lassi Kuronen

Utilization of modern technologies and methods in maintenance, Number of Pages 78, Number of Appendices 8

Saimaa University of Applied Sciences

Technology Lappeenranta

Construction and civil engineering

Civil engineering

Bachelor's Thesis 2017

Instructors: Mr Jari-Pekka Sinkko, Saimaa University of Applied Sciences. Mr Tero Junkkari, Manager, Maintenance Development, MSc, UPM Pulp Finland. Mr Sakari Kykkänen, Project Engineer, Civil and Construction, UPM Kaukas.

The purpose of this bachelor's thesis was to present new methods and techniques for UPM Kaukas mill maintenance organization, that can be used in maintenance today or in the near future. The objective was to find potential cost savings from the new methods, as well as to introduce the technologies that can help detect or prevent the occurrence of unfavorable situations for the production line.

The techniques and methods were collected from a literature survey. When the number of the techniques and methods gathered was pleasing a comparison was carried out with Kepner & Tregoe problem-solving matrix from which the appropriate methods described in draft-criteria could be detected.

Based on the comparison of potential methods and techniques a utilizing plan was suggested and after that in the closing chapter industry visions and trends were overviewed. The aim of this thesis was therefore to be a kind of overview of the modern technology, from which the company is able to better assess the current and future situation related to maintenance and possibly further develop and utilize the proposed benchmarks.

Keywords: maintenance, benchmarking, utilization plan

Sisältö

| | |
|---|----|
| Käsitteet ja termistö | 5 |
| 1 Johdanto | 6 |
| 1.1 Työn rajaus | 6 |
| 1.2 Menetelmien ja tekniikoiden kartoitus | 7 |
| 1.3 Työn rakenne ja tutkimusmenetelmä | 8 |
| 2 UPM Kaukas | 9 |
| 3 Kunnossapito | 10 |
| 3.1 Kunnossapidon määritelmiä | 11 |
| 3.2 Kunnossapidon sukupolvet | 12 |
| 3.3 Kunnossapitolajit | 13 |
| 3.4 Kunnossapitostrategiat | 15 |
| 4 Vertailtavat menetelmät ja tekniikat | 17 |
| 4.1 Verkoston kunto | 18 |
| 4.1.1 Putkistoluotaimet | 18 |
| 4.1.2 Putkistorobotit | 22 |
| 4.1.3 Eristeen alainen korroosio | 26 |
| 4.2 Kopterit ja liikkuvat mittausmenetelmät | 29 |
| 4.3 Tietomallinnus ja paikkatietojärjestelmät | 33 |
| 4.4 Korjaus- ja valmistusmenetelmät | 38 |
| 4.5 Virtuaalinen ja lisätty todellisuus | 40 |
| 4.6 Muut kuvaus tai tiedonhallinta menetelmät | 43 |
| 5 Vertailu | 45 |
| 5.1 Ongelmanratkaisumatriisi | 47 |
| 5.2 Pakolliset ominaisuudet | 47 |
| 5.3 Halutut ominaisuudet | 48 |
| 5.4 Pisteytys | 49 |
| 5.5 Painoarvo | 50 |
| 5.6 Pisteyttämättömät lisäominaisuudet | 51 |
| 5.7 Pisteytys osa-alueittain | 52 |
| 6 Tulokset ja tunnuslukuvertailu | 56 |
| 6.1 Drone-tunnuslukuvertailu | 58 |
| 6.2 Paikkatietojärjestelmien tunnuslukuvertailu | 59 |
| 6.3 Hyödyntämissuunnitelma | 61 |
| 7 Tulevaisuuden visiot | 70 |
| Kuvat | 73 |
| Taulukot | 74 |
| Lähteet | 75 |

Liitteet:

- Liite (1), Halutut ominaisuudet
- Liite (2), Drone tekniset tiedot
- Liite (3), Drone tunnuslukuvertailu
- Liite (4), GIS tunnuslukuvertailu
- Liite (5), Puhelinhaastattelu Korhonen, 6.4.2017
- Liite (6), Haastattelu Ukkonen, 1.3.2017
- Liite (7), Skype palaverin yhteenveto Ukkonen, 6.3.2017
- Liite (8), Vertailutaulukko ja tulokset osa-alueittain

Käsitteet ja termistö

UAV= (*Unmanned Aerial Vehicle*), miehittämätön lennokki

UAS= (*Unmanned Aerial System*), miehittämätön lennokki ja järjestelmä

RCM= (*Reliability Centered Maintenance*), luotettavuuskeskeinen kunnossapito

TPM= (*Total Productive Maintenance*), kokonaisvaltainen tuottava kunnossapito

Drone= Englannin kielinen termi jolla tarkoitetaan radio-ohjattavaa kopteria

Kepner & Tregoe matriisi = Ongelmanratkaisua varten rakennettu päätöksenteon apuväline

UPM= Yksi maailman johtavista biometsteollisuusyhtiöistä

PEC= (*Pulsed Eddy Current*), sähkömagneettinen tarkastustekniikka

BIM= (*Building Information Model*), rakennusten tietomalli

GIS= (*Geographic Information System*), paikkatietojärjestelmä

SFS= Suomen standardisointiliitto

PSK= Standardisointiyhdistys

VR, AR & MR= (*Virtual, - Augmented, - & Mixed reality*) Virtuaalinen, - lisätty, - ja sekoitettu todellisuus.

SLAM= (*Simultaneous Localization And Mapping*) Samanaikainen paikannus ja kartoitus

1 Johdanto

Haastavat markkinatilanteet ovat viimevuosien ja vuosikymmenen aikana luoneet paineita teollisuudenaloille tehdä säästötoimenpiteitä tuotantolaitoksiensa toiminnassa, samalla kun painopiste on siirtynyt yhä enemmän ydinliiketoimintaan. Huomioitavaa on myös teknologian kehitys, joka on viime vuosikymmeninä muuttanut teollisuuden kunnossapitoa. Rakennuskunnossapidossa investointien ja henkilöstöresurssien pienenemiseen on reagoitu pyrkimällä tehostamaan toimintoja ja etsimällä uusia kunnossapidon tekniikoita ja menetelmiä, joilla haasteisiin voidaan vastata. Tämä on johtanut ennakoivan kunnossapidon suunnittelun ja toteuttamisen tehostamiseen. Jotta kunnossapito teollisuudessa pysyy elinkelpoisena, on uusia menetelmiä ja tekniikoita kartoitettava ja tarkasteltava niiden soveltuvuutta käytäntöön.

Tämä opinnäytetyö on jatkumoa UPM Kaukaan rakennuskunnossapidon organisaatiolle tehtyjen opinnäytetöiden sarjaan. Sen on tarkoitus löytää menetelmiä, joita kunnossapidossa voidaan heti hyödyntää tai jotka ovat lähitulevaisuudessa kehittymässä sellaiseen muotoon, että niitä voidaan tehdasympäristössä konkreettisesti käyttää.

Tämä opinnäytetyö on luonteeltaan teknologiakatsaus, jossa kerättyjä tekniikoita ja menetelmiä vertaillaan ja jossa kerätyt tiedot pyritään esittämään mahdollisimman visuaalisessa ja ymmärrettävässä muodossa.

1.1 Työn rajaus

Opinnäytetyön tavoitteena on tutustua uusiin tekniikoihin ja menetelmiin, joita voidaan hyödyntää UPM Kaukaan tehtaiden rakennus- ja infrakunnossapidossa. Tarkoituksena on löytää potentiaalisia kustannussäästöjä uusista menetelmistä sekä löytää sellaiset uudet tekniikat, jotka auttavat havaitsemaan tai esittämään tuotannolle epäsuotuisien tilanteiden syntymisen tuottamalla ennakoimiseen tarvittavaa tietoa.

Opinnäytetyö rajataan koskemaan niitä tekniikoita ja menetelmiä, joita ei aikaisemmin ole tehdasalueella hyödynnetty rakennuskunnossapidossa tai tehdasalueen infrarakenteiden kunnossapidossa. Edellä mainittujen asioiden lisäksi tarkasteluun voidaan myös ottaa sellaisia tekniikoita ja menetelmiä, joiden käyttö on ollut vähäistä tai niitä voidaan hyödyntää uudella tavalla. Näistä uusista tekniikoista ja menetelmistä lupaavimmat kerätään listaksi, josta tilaajan ja ohjaavan opettajan kanssa yhdessä sovitaan tarkempaan tarkasteluun ja arviointiin otettavat menetelmät. Apuna valinnassa käytetään opinnäytetyön yhteydessä luotua vertailua, jonka tarkoituksena on antaa suuntaa vallinnan tekemiselle sekä mahdollistaa menetelmien ja tekniikoiden yhdenvertainen arviointi.

Kerätyt menetelmät esitellään työssä yleisesti. Tarkempaan tarkasteluun valittujen kohteiden osalta arvioidaan niiden hyödyllisyyttä sekä esitellään kunkin tekniikan ominaisuuksia ja niihin liittyviä uusia huomioon otettavia erikoispiirteitä lainsäädännön, määräysten, ympäristön ja turvallisuuden osalta sikäli, kun se on menetelmän kannalta oleellista. Esitellyt menetelmät on tarkoitus liittää RCM-projektiin.

Opinnäytetyössä yhdeksi teemaksi on tilaajan puolelta pyydetty huomioimaan ympäristöasiat kunkin tekniikan osalta, koska päästöjen vähentäminen ja pyrkimys ekologiseen toimimiseen on UPM Kaukaan tehtaiden yksi keskeisistä arvoista. Työn lopputuotteena uusista tekniikoista ja menetelmistä laaditaan tilaajalle hyödyntämissuunnitelma.

1.2 Menetelmien ja tekniikoiden kartoitus

Työssä käsiteltäviä menetelmiä ja tekniikoita kartoitetaan näennäisen sattumanvaraisesti, lukuun ottamatta muutamaa ennalta ehdotettua aihealuetta, joita työtä pohdittaessa oltiin ajateltu. Painotuksena menetelmien ja tekniikoiden kartoittamiseen toimii ennakoivaa tietoa kunnossapidolle tuottavat tekniikat ja menetelmät sekä rajauksessa asetetut kriteerit. Kerätyt kohteet edustavat suurelta osin rakennustekniikan ratkaisuja, tekniikoita, menetelmiä ja innovaatioita, tai ne ovat muuten tekniikanalalla paljon huomioita saaneita sekä keskustelua herättäneitä

osa-alueita, joiden hyödyntämistä kunnossapidon saralla ei ole vielä laajemmin tarkasteltu.

Kartoitettavien kohteiden määrälle ei ole tarkkaa kriteeriä ja sitä on haastava asettaa. Huomioitavaa on, että lukumäärää rajoittaa työssä menetelmien kartoitukselle varattu aikataulu sekä kartoituksen tuottama tieto, joka täyttää rajauksessa asetetut kriteeri. Perusajatuksena työssä on, että mahdollisimman laaja otanta eri tarkastelukohteita tuottaa työssä parhaan lopputuloksen.

1.3 Työn rakenne ja tutkimusmenetelmä

Tutkimuksen tulisi vastata seuraaviin kysymyksiin:

- Mitä ovat kunnossapidon tekniikat ja menetelmät?
- Mitkä uusista tekniikoista ja menetelmistä ovat siinä kehitysvaiheessa, että niitä voidaan jo hyödyntää tehdasympäristössä?
- Miten kyseiset tekniikat tai menetelmät tuovat lisäarvoa yritykselle?

Luvut 1–4 eli työn teoria osuus on tehty kirjallisuustutkimuksella, jossa lähteitä ja aineistoa on kerätty sekä tieteellisistä julkaisuista, että erilaisista internet aineistoista ja opinnäytetyön kirjoittajan tekemistä haastatteluista. Teoriaosuuden on tarkoitus esitellä kunnossapidon määritelmiä ja kunnossapitoa koskevia ohjeita ja määräyksiä sekä kerättyjen menetelmien ja tekniikoiden toimintaa ja käyttökohteita yleisellä tasolla rakennustekniikan näkökulmasta.

Työn toinen osio, eli luvut 5–6 painottuvat kerättyjen menetelmien ja tekniikoiden vertailuun, jossa pyritään määrittämään soveltuvimmat vaihtoehdot jotka vastaavat tekniikoille ja menetelmille määriteltyjä ominaisuuksia. Vertailussa tutkimusmenetelmänä toimii Kepner & Tregoe -ongelmanratkaisumallin pohjalle tehty vertailutaulukko, jonka toimintaa ja sisältöä avataan tarkemmin vertailua käsittelevässä luvussa.

Vertailun pohjalta soveltuvimmille menetelmille ja tekniikoille on tarkoitus suorittaa vielä tarkempi benchmarkingin vertailu, jonka tarkoituksena on suhteuttaa menetelmien tai tekniikoiden valmistajat tai tarjoajat keskenään.

Työn viimeinen osio käsittelee tulevaisuuden visioita ja konsepteja sekä trendejä, jotka liittyvät tehdaskunnossapitoon.

2 UPM Kaukas

UPM Kaukas on maailman monipuolisin tehdaskokonaisuus (Kuva 1). Tehdas sijaitsee Lappeenrannassa Saimaan vesistön yhteydessä.



Kuva 1. UPM Kaukas, kuvankaappaus. (UPM Kaukas.)

Kaukaan tehtaalla valmistetaan uusiutuvasta raaka-aineesta aikakausilehtipaperia, sellua, sahatavaraa sekä biopolttoainetta. Kaukaalla sijaitsee myös UPM:n suurin tuotekehitys- ja tutkimuskeskus sekä UPM:n Metsän Suomen puunhankinnan johto ja Lappeenrannan metsäpalvelutoimisto. Tehdasalueella Lappeenrannassa työskentelee noin 1000 työntekijää ja lisäksi yli 150 alihankkijoiden työntekijää. (UPM Kaukas.)

Toiminnan kulmakiviä ovat tehdaskokonaisuuden korkea omavaraisuusaste energiassa ja tuotannon sivuvirtojen uudelleen kierrätys käytettäviksi raaka-aineiksi sekä kestävästi hankittu puuraaka-aine. (UPM Kaukas.)

Alueella sijaitsevat tuotantoyksiköt ovat sellutehdas, biojalostamo, paperitehdas ja saha. Sellutehtaalla valmistetaan vuosittain 740 000 tonnia havu- ja koivusel-lua. Biojalostamo on maailman ensimmäinen mäntyöljystä biodieseliä valmistava jalostamo, jonka määrä on tällä hetkellä 1000 000 tonnia vuodessa. Paperitehtaalla vuosittainen tuotanto on 314 000 tonnia, josta valmistetaan sanomalehtiä,

aikakausilehtiä ja katalogeja. Sahan tuotantokapasiteetti on 510 000 kuutiota vuodessa erilaiseen kuusisahatavaran rakentamiseen sekä ikkuna-, ovi-, ja huonekaluteollisuuteen. (UPM Kaukas.)

Tuotanto-, kehitys- ja tutkimustoiminnan lisäksi UPM tarjoaa opiskelijoille vuosittain useita kehitysideoita ja kehityskohteita esimerkiksi opinnäytetöiden ja kesätyöpaikkojen kautta. (UPM Kaukas.)

3 Kunnossapito

Kunnossapito on toimintaa, jonka tavoitteena on ehkäisevillä tai ennakoivilla toimenpiteillä hidastaa tai vastustaa omaisuuden kulumista ja sitä kautta rikkoontumista. Kaikkia vikaantumisia ja rikkoontumisia ei kuitenkaan pystytä ennakoivilla ja ehkäisevillä menetelmillä estämään vaan akuuttejakin toimia tarvitaan mikä ei kuitenkaan ole toiminnan päätarkoitus, kun puhutaan kunnossapidosta. (Järviö 2007, 11-16.)

Yrityksillä on tavoitteita ja vaatimuksia kannattavuuden suhteen. Tämä tarkoittaa sitä, että tuloksellisuuden kannalta käyttöomaisuus on mitoitettu oikein ja sen käyttäminen on mahdollisimman tehokasta ja hallittua jolloin yritykselle syntyy toiminnasta mahdollisimman suuri tuotto. Juuri tähän pystytään kunnossapidolla pitkälti vaikuttamaan. Koneiden ja tuotantolaitoksen tilojen käyttö on mahdollisimman tehokasta ja luotettavaa silloin kun kunnossapito on sopiva ja hallittu. (Järviö 2007, 11-16.)

Aikaisemmin kunnossapito on ajateltu vain korjaustoimenpiteinä ja vikojen huoltona. Nykyaikaisessa yhteiskunnassa vanha käsitys on liian kapea ja kunnossapidosta onkin oikeastaan tuottokyvyn ylläpitämistä, säätämistä ja säilyttämistä. Kunnossapito on monien asioiden kuten esimerkiksi prosessien, laitteiden, rakenteiden, rakennusten, teiden sekä vesi- ja viemäriverkoston pitämistä toiminnassa niin, että kokonaisuus on luotettava ja esille tulleet viat pystytään korjaamaan aiheuttamatta ihmisille tai ympäristölle riskiä turvallisuuden tai terveyden osalta. (Järviö 2007, 11-16.)

Alan toimijoilla itsellään on yleisesti selvä käsitys kunnossapidon piiriin kuuluvista tehtävistä ja toiminnoista, joka heille on muodostunut kokemuspohjansa kautta. Käsityksillä on kuitenkin paljon vaihtelua ja se riippuu pitkälti siitä, minkälaisissa kunnossapidon tehtävissä henkilö työskentelee. Kunnossapito tehtävien ulkopuolella työskentelevillä on määritelmästä vielä varsin vanhanaikaisia käsityksiä ja ajatuksia siitä, mitä kunnossapidolla oikeastaan tarkoitetaan. (Mikkonen 2009, 25-26.)

3.1 Kunnossapidon määritelmiä

Kunnossapidosta on alalla monen muotoisia määritelmiä sekä kansainvälisissä että kansallisissa standardeissa ja kirjallisuudessa. Alapuolella on listattuna keskeisimmät käytössä olevat määritelmät:

SFS-EN 13306 standardi määrittelee kunnossapidon seuraavasti:

Kunnossapito koostuu kaikista kohteen elinajan aikaisista teknisistä, hallinnollisista ja liikkeenjohdollisista toimenpiteistä, joiden tarkoituksena on ylläpitää tai palauttaa kohteen toimikyky sellaiseksi, että kohde pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon.

PSK 6201 Standardissa määritellään kunnossapito hieman eri tavalla:

Kunnossapito on kaikkien niiden teknisten, hallinnollisten ja johtamiseen liittyvien toimenpiteiden kokonaisuus, joiden tarkoituksena on säilyttää kohde tilassa tai palauttaa se tilaan, jossa se pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon sen elinjakson aikana. Sama määritelmä löytyy myös PSK 7501 standardista.

Jonh Moubray on tunnettu alan edelläkävijä ja hänen määritelmänsä kunnossapidosta on seuraava (Moubray 1992):

Kunnossapidolla varmistetaan, että laitteet jatkavat sen tekemistä, mitä käyttäjät haluavat niiden tekevän.

Toinen Moubrayn esittämä määritelmä kuuluu seuraavasti:

Tavoitteena tuotantovälineiden toiminnan varmistamiseksi niiden koko elinkaaren aikana ovat: Varmistaa omistajien, käyttäjien ja yhteiskunnan tyytyväisyys, valita ja käyttää kaikkein sopivimpia kunnossapidon menetelmiä, joilla hallitaan tuotantovälineiden vikaantumista ja vikaantumisen seurauksia sekä saada kaikkien kunnossapitoon vaikuttavien ihmisten aktiivinen tuki kunnossapidon toimille.

Yleisesti ottaen määritelmät ovat hyvin samankaltaisia lukuun ottamatta Jonh Moubrayn määritelmää, jonka lähestymistapa on se, että henkilön pitää tietää, mitä laitteen halutaan tekevän. (Mikkonen 2009, 25-26.)

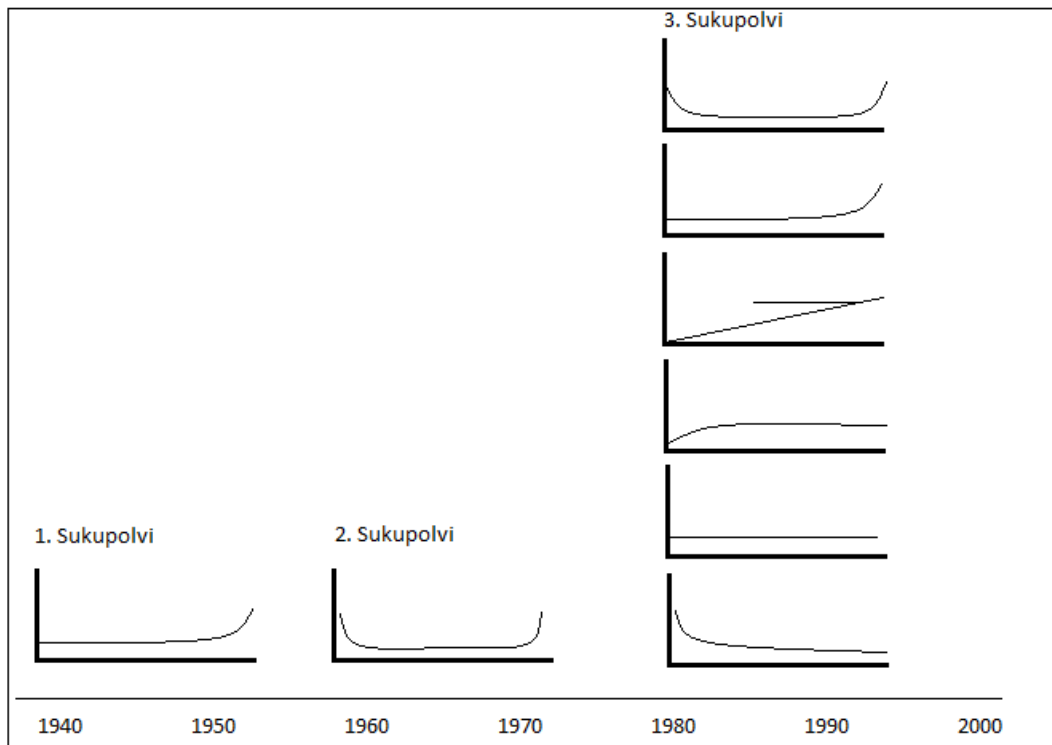
3.2 Kunnossapidon sukupolvet

Kunnossapidolle on eroteltavissa neljä eri kehitysvaihetta historiasta. Näitä kehitysvaiheita kutsutaan kunnossapidon sukupolviksi ja jokaisella on omaan sukupolveensa luonteenomaisia tunnuspiirteitä. (Järviö 2007, 16-19.)

Ensimmäisessä sukupolvessa vikaantuminen oli yleensä ajasta riippuvainen ja koneet laitteet olivat usein ylimitoitettuja ja kestivät enemmän. Tämä johtui ylimitoitetuista varmuuskertoimista, joilla korjattiin laskentamenetelmän tuottama mitoituksen epätarkkuus. Ennakoiva kunnossapito oli käytännössä laitteiden ja koneiden säätämistä, puhdistamista ja voitelua. (Järviö 2007, 16-19.)

Toinen sukupolvi käsittää ajanjakson toisen maailmansodan alusta aina 1970-lukuun asti. Valtavien sotatarvikemäärien valmistamisen lisäksi koneiden käyttäjät lähtivät rintamalle, jolloin tilalle otettiin kokemattomia kotirintamalaisia. Tuotantomäärän riittävyyden varmistamiseksi tuotantolaitosten ja koneiden automaatiota lisättiin ja tuotantolinjat pyrittiin ketjuttamaan. Lisääntynyt monimutkaisuus kasvatti kunnossapidon määrää ja hallittavuutta. Tämä synnytti ehkäisevän kunnossapidon kehittymisen, jolloin jaksotetusta huollosta ennalta määritetyin jaksoin tuli osa kunnossapidon toimintaa. (Järviö 2007, 16-19.)

Kolmas sukupolvi käynnistyi 1970-luvulla. Muutoksen voidaan katsoa aiheuttaneen amerikkalaisten avaruusprojektien ja avaruusteknologioiden yhteydessä kehittyneiden konseptien ja innovaatioiden käyttöönotto teollisuudessa. Tuotantolaitteiden automaatio ja mekanismien määrät kasvoivat jolloin, keskityttiin tehokkuuden ja luotettavuuden merkittävyyteen. Kolmannelle sukupolvelle on myös tyypillistä, että uudet vikaantumismallit eivät olleet enää riippuvaisia ajasta tai laitteiden käyttömäärästä, koska kunnossapidettävät tuotantolaitteet sisälsivät useita teknologioita ja olivat monimutkaisia kokonaisuuksia (Kuva 2). (Järviö 2007, 16-19.)

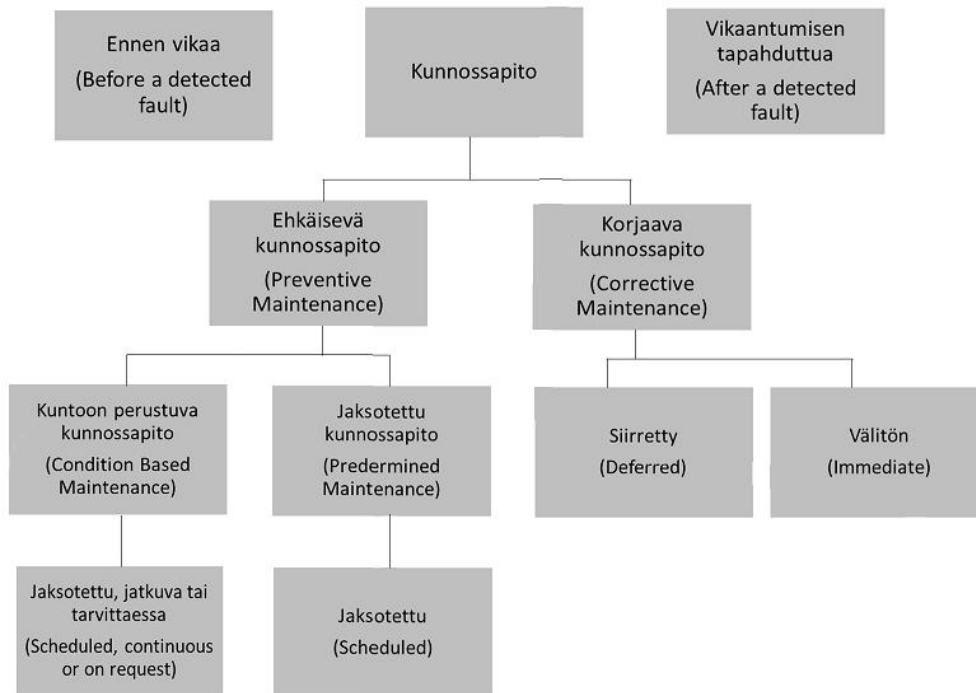


Kuva 2. Vikaantumismekanismien selviäminen. (Mikkonen 2009)

Neljäs sukupolvi käynnistyi 1990-luvulla. Sukupolven käynnistymisen voidaan katsoa johtuneen mikroelektroniikan ja informaatioteknologian läpimurrosta. Tyypillistä tälle sukupolvelle ovat käynnin valvonnassa käytettävät erilaiset sensorit ja etävalvonta työkalut sekä kasvava määrä erilaisia kunnossapidon tietojärjestelmiä. Neljännen sukupolven aikana myös kunnossapidossa tarvittavien teknikoiden ja mittalaitteiden hinnat ovat nousseet ja saattavatkin olla usein korkeampi, kuin itse testattava systeemi. Myös itse kunnossapitäjien osaamisvaatimukseen on tullut muutoksia teknologian kehittymisen myötä. (Järviö 2007, 16-19.)

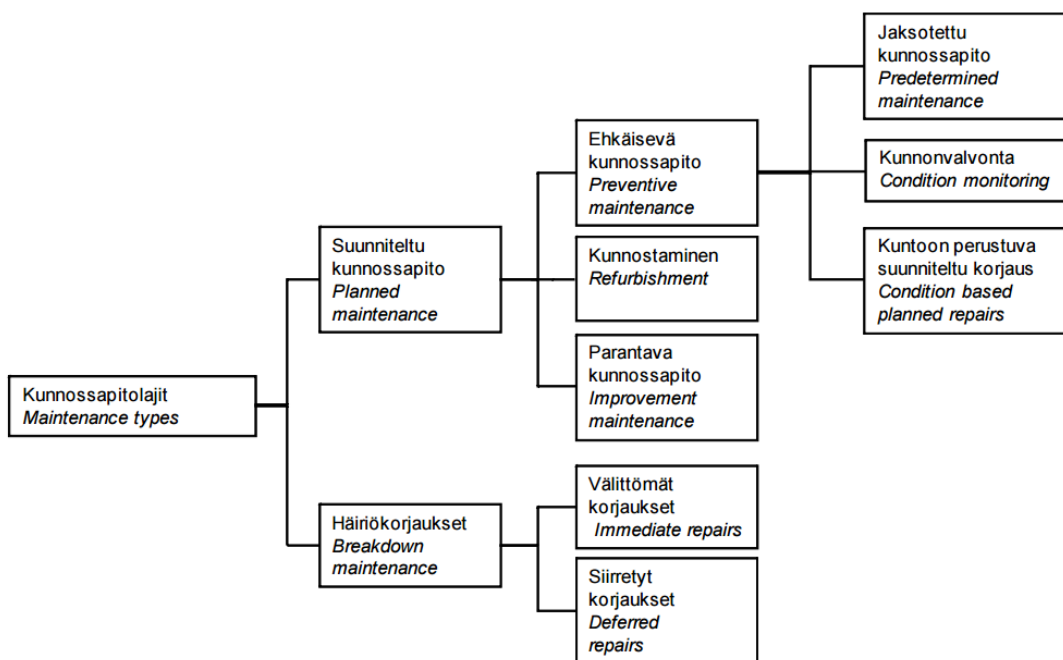
3.3 Kunnossapitolajit

SFS-EN 13306 esityksessä kunnossapito voidaan jakaa karkeasti kahteen osaan, toimenpiteen tai vian havaitsemisen mukaan. Ehkäisevään kunnossapitoon lukeutuvat esityksen mukaan kaikki ne toiminnot, joita suoritetaan enne kuin vika pysäyttää toiminnan. Tarkka standardin mukainen jako on esitetty kuvassa 3.



Kuva 3. Kunnossapitolajit standardista SFS-EN 13306

PSK 7501 lähestyy aiheitta hieman erilaisesta näkökulmasta ja siinä lajit on jaoteltu sen mukaan, ovatko ne suunniteltuja vai aiheuttavatko ne häiriön tuotannossa. Jako on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4. Kunnossapitolajit standardista PSK 7501

Yhteistä kummallekin esitystavalle kuitenkin on se, etteivät ne huomioi lähes ollenkaan kunnossapidon uudistumista vaan painopiste on vikaantumisen ja korjaamisen ympärillä. RTF-käsite (Run To Failure, tai Operate to Failure) jää kokonaan standardeissa mainitsematta. Käsite tarkoittaa sitä, että konetta tai tuotantolinjan osaa ei ole otettu ehkäisevän kunnossapidon piiriin ja sille tehdään vain tarvittavat huolto ja seuranta toimenpiteet, kunnes se rikkoontuu ja vaihdetaan tai peruskorjataan. Toinen merkille pantava asia standardeissa on se, että ne sivuttavat erilaiset modernisaation tuomat kunnossapidon lajit kuten esimerkiksi analysoinnin ja simuloinnin. (Järviö 2007, 47-48.)

3.4 Kunnossapitostrategiat

Parin viimeisen vuosikymmenen aikana teollisuuteen ja muillekin aloille on kehitetty kunnossapitoon ja liikkeenjohtamiseen lukuisia uusia strategioita ja malleja. Merkittävimpinä näistä voidaan pitää laatujohdannais strategioita (laatuohjelmat ja järjestelmät), tehokas kunnossapito menetelmää (Total Productive Maintenance), luotettavuuskeskeistä kunnossapito menetelmää (RCM ja SRCM, Reliability Centered Maintenance ja Streamlined RCM), Käyttöomaisuuden hallintaa (Asset Management) ja Six Sigma strategiaa. (Järviö 2007, 85.)

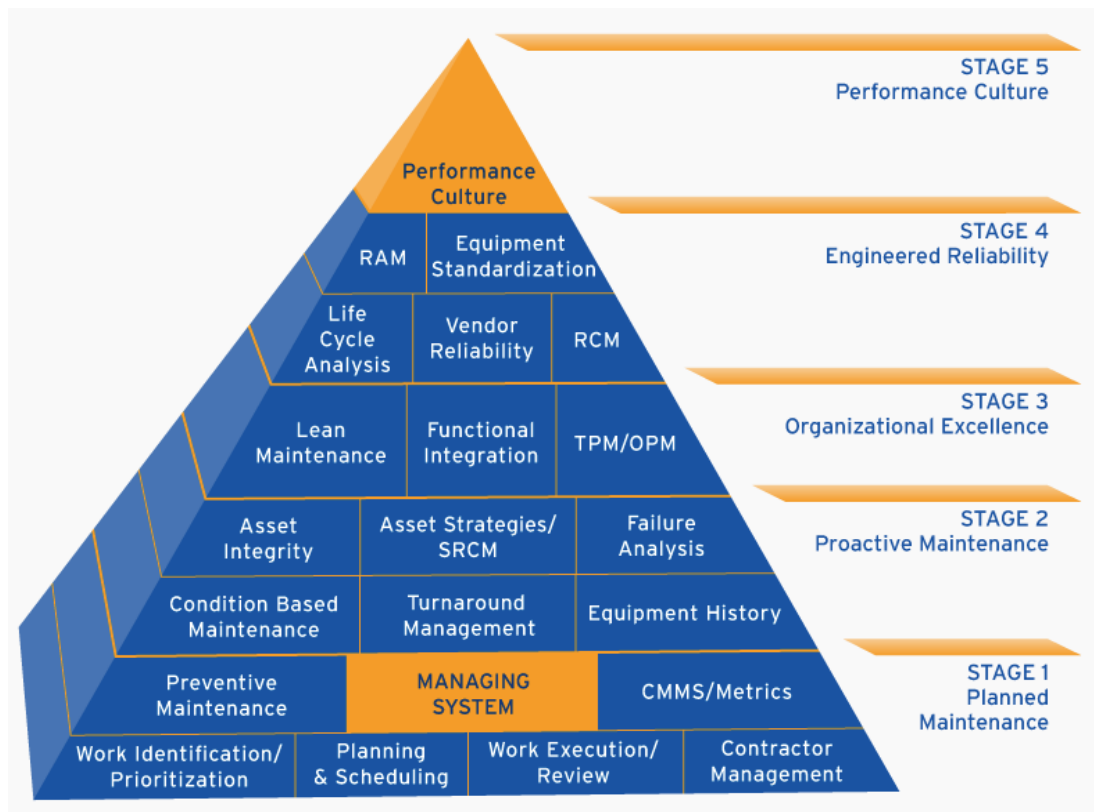
Toimintamallit voidaan jakaa kolmeen eri pääkategoriaan, joista ensimmäiseen kuuluvat laatujohdannaiset strategiat ja Six Sigma -strategia. Six Sigma -mallin kehittäjänä pidetään Bill Smithiä. Kiteytettynä Six Sigma on joukko menetelmiä ja käytäntöjä, joiden avulla pyritään systemaattisesti parantamaan prosesseja. (Six Sigma.)

Toiseen kategoriaan kuuluu TPM-menetelmä, joka tarkoittaa kokonaisnäkemystä kunnossapidon vaikutuksesta tuotannossa. TPM:n voi myös määritellä tarkoittavan sitä, että koko organisaatio sitoutuu kehittämään ja ylläpitämään, sekä huoltamaan tuotantokapasiteettia. (Laine 2010, 41-42.)

Kolmanteen kategoriaan kuuluvat RCM ja SRCM, joiden lähtökohtana on tehokkaan kunnossapitostrategian valinta. SRCM on nimensä mukaisesti virtaviivaistettu RCM:n muoto. RCM-menetelmän mukaisesta strategiasta on UPM Kaukaan tehtaalla toteutettu ensimmäinen vaihe vuonna 2013 ja sen mukainen toiminta on jatkunut viisi vaiheisena projektina, joka sisälsi mekaanisen, sähkö-automaation, mekaaniset varaosat, sähkö-automaation varaosat ja tehdasinfran osa-alueen liittämisen RCM-projektiin. RCM-menetelmän mukaiseen projektin läpivientiin ja toteutukseen voi tarkemmin tutustua Henri Mäkelän opinnäytetyössä Tehdasinfran liittäminen luotettavuuskeskeiseen kunnossapidon toimintamalliin, 2016. (Järviö 2007, 85-86.)

Asset Management mallin mukainen strategia laajentaa kolmannen kategorian ohjelmien käyttöä huomioimalla muutokset yrityksen kunnossapitotarpeen vaihtelulla eri markkinatilanteissa. Päämääränä on suunnitella tuotantolaitoksen toiminta siten, että saavutetaan paras mahdollinen liiketoiminnallinen tavoite kustannukset minimoimalla. (Järviö 2007, 93-95.)

Asset management käyttää viitekehyksenä pyramidimuotoa, jossa esitetään kunnossapitostrategioiden viisi eri tasoa jotka ovat kuvassa 5. Tähän kunnossapito-osastot voivat itsensä sijoittaa sen mukaan, miten kunnossapidon eri osa-alueet ovat yrityksessä hallinnassa.



Kuva 5. Kunnossapidon tasot, kuvankaappaus. (SAMI Corporation, USA)

Kunnossapidon eri strategioita tutkiessa on hyvä muistaa, että toimintamallien edustajat tai esittäjät usein pitävät omaa malliaan ”ainoana oikeana”, joka on siinä ymmärrettävää, sillä se palvelee esittäjän omia intressejä. (Järviö 2007, 85.)

4 Vertailtavat menetelmät ja tekniikat

Tässä osiossa tarkastellaan kerättyjä tekniikoita ja menetelmiä yleisellä tasolla. Tarkastelukohteet on jaettu otsikoiden alle alakategorioiksi siten, että kunkin osalta on mahdollisimman selkeää, mitä ongelmaa tekniikalla kunnossapidon näkökulmasta on tarkoitus ratkaista tai miten sitä voidaan hyödyntää.

Kuten opinnäytetyön johdannossa on mainittu, mitään selvää kriteeriä tai valinta-perustelua ei esiteltäville kohteille ollut mahdollista asettaa. Tekniikoiden ja menetelmien esittelyssä on hyödynnetty suurelta osin internetlähteitä sekä tieteellisistä julkaisuista valmistajien tai palveluntarjoajien internet sivuja.

4.1 Verkoston kunto

Nykypäivänä on totuttu vesihuollon korkeaan palvelutasoon huolimatta siitä, että putkirikot ja niistä johtuvat paikalliset palvelukatkokset ovatkin arkipäivää. Hyviä esimerkkejä viimeaikaisista onnettomuuksista, joita putkilinjojen viat ovat aiheuttaneet, ovat esimerkiksi Nokian ja Helsingin päärautatieaseman tapaukset. (Piekkari 2014.)

Nokialla marraskuussa 2007 tapahtui jätevesien pääsy vesijohtoverkoston, jonka seurauksena tuhansia ihmisiä sairastui vatsatauteihin ja juomavesi oli kokonaan tai osittain käyttökiellossa lähes kolme kuukautta. Helsingissä vesimasat ryöppysivät marraskuussa 2009 rikkoutuneesta päävesijohdosta metrotunneliin päärautatieaseman edustalla. Korjaustöiden johdosta liikennöinti Suomen vilkkaimmalla metroasemalla jouduttiin keskeyttämään useiden kuukausien ajaksi. (Piekkari 2014.)

Vaikka kummassakaan edellä mainituissa tapauksissa vika ei johtunut suoranaisesti putkiston rappeutumisesta tai puutteellisesta kunnossapidosta on selvää, miksi myös teollisuuden suurissa tuotantolaitoksissa on syytä kiinnittää enemmän huomiota putkiston kuntoon sekä etsiä uusia mahdollisuuksia korroosion tai vikaantumisen havaitsemiseen.

Saneerausvelan selvittämiseksi ei useinkaan hyödynnetä kaikkea saatavilla olevaa verkostotietoa, vaan arviot tehdään teoreettisen käyttöiän, asennusvuoden ja materiaalitietojen pohjalta, jonka seurauksena voidaan saneerata putkia, joiden todellinen elinkaari mahdollistaisi vielä kymmenen lisävuoden toiminnan. Keskeisimmät asiat, jotka etenkin maanalaisissa putkistoissa vaikuttavat putkien käyttöikäen, ovat veden laatu, maaperäolosuhteet, mikrobiologiset ilmiöt ja putken asennustyön laatu. (Luomanen, Hanski & Oulasvirta 2012.)

4.1.1 Putkistoluotaimet

Perinteiset menetelmät vesilinjojen ja jätevesilinjojen kunnan arviointiin ja venttiilien tarkkailuun perustuvat työkaluihin kuten savutestaus, TV-kuvaus ja

zoomauskamera. Vaikka ne ovatkin tehokastapa paikantaa putkirikkoja painovoimaisessa viemärijärjestelmässä, ne eivät sovellu hyvin paineellisen järjestelmän kunnan arviointiin eivätkä välttämättä tuota yrityksen nykypäiväisten vaatimusten mukaista tietoa linjan kunnosta. Perinteiset menetelmät lisäksi vaativat usein putken halkaisua tai käyttökatkosta tarkastuksen ajaksi. (Luomanen et al. 2012.)

Tämän otsikon alle on kerätty muutamia uusia tekniikoita putkistoluotaimien sarjalta ja esitellään niiden perustoimintaa. Ensimmäisenä esitellään niin sanottu ”älykäsipallo” tai SmartBall (Kuva 6). Se on PureTechnologies yhtiön kehittämä menetelmä, jossa putken sisään asetetaan siellä vapaasti uiva pallon muotoinen luotain, jolla voidaan joko mitata putkiston seinämien kuntoa tai havaita vuotoja tai kaasutaskuja.



Kuva 6. SmartBall, kuvankaappaus. (Pure Technologies Ltd.)

Yritys jakaa menetelmän kahden nimen alle, joita ovat ”Leak and Gas Pocket Detection” eli vuoto ja kaasutaskujen havaitseminen ja ”Pipe Wall Assessment” eli putken seinämäpaksuuden arviointi. SmartBall on tarkastustekniikka, joka on suunniteltu toimimaan käytössä olevassa putkessa ja se etenee linjassa virtauksen mukana. Vaahtopallo on varustettu ytimellä, joka on tehty alumiiniseoksesta mikä kykenee havaitsemaan ja sijoittamaan hyvin pienet vuodot ja kaasutaskut tarkasti linjassa. Työkalu voi myös havaita metallisten putkistojen lisääntyneen kuormituksen havainnoimalla putkien poikkeamien muutosta, mikä johtuu itsekehittyvästä magneettikentästä, jota ferromagneettiset materiaalit tuottavat kuormituksen alaisuudessa. Menetelmän hyötynä sitä markkinoivan yrityksen mukaan on sen helppo lähettäminen olemassa olevien putkiston osien kautta ja pitkä tarkastus kapasiteetti yhdellä suorituskerralla. Menetelmä ei vaadi käyttökatkosta putkiston tarkastuksen ajaksi. (Pure Technologies Ltd.)

Toinen luotain on myös saman yhtiön kehittämä "PipeDiver" (Kuva 7) eli putkisukeltaja. Putkisukeltaja etenee myös linjassa virtauksen mukana ja sen toiminta perustuu sähkömagneettikaan. Sukeltajan keulassa on navigointi sensori ja runko koostuu kahdesta akkumoduulista ja yhdestä sähkömagneettisesta moduulista. (Pure Technologies Ltd.)



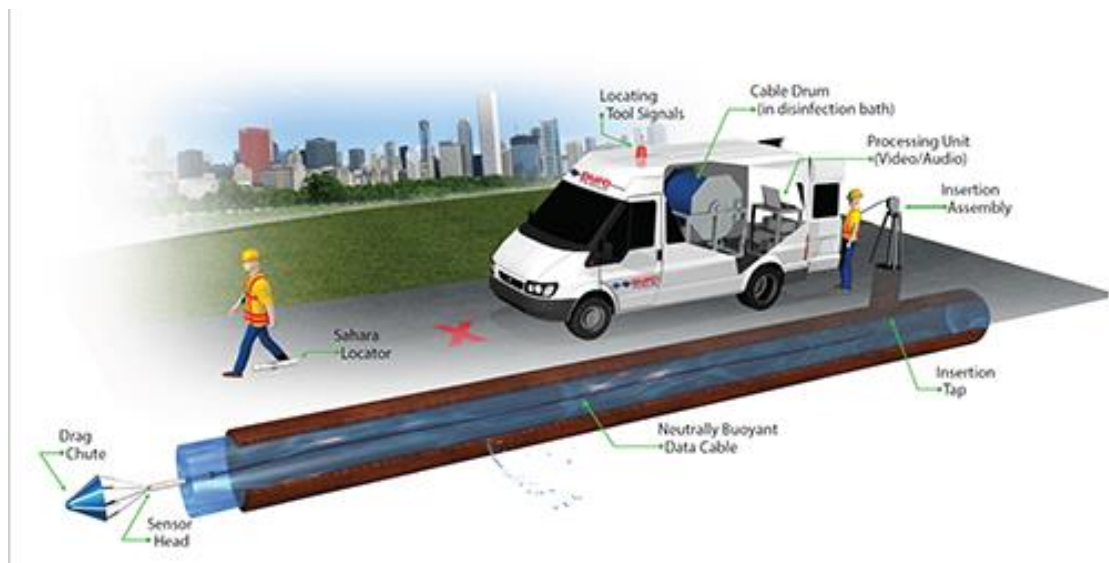
Kuva 7. PipeDiver, kuvankaappaus. (Pure Technologies Ltd.)

Työkalu tunnistaa rikkimenneet teräsverkot esijännitetyssä betonisylinteriputkessa ja hapettuneet alueet metalliputkessa. Se antaa valmistajan mukaan korkean resoluution tietoa kohteen kunnosta. Menetelmä sopii halkaisijaltaan 400 millimetrin putkista aina 3000 millimetrin halkaisijaan asti, ja luotaimesta onkin olemassa kolme kokoa tälle vaihteluvälille. Kuten edellinen luotain PipeDiver toimii myös käytössä olevassa putkilinjassa ja sen etuna voidaan katsoa olevan juurikin kustannustehokkuus verrattuna menetelmiin, jotka vaativat linjan tyhjentämistä vedestä ja käyttökatkosta. Menetelmää voidaan käyttää useassa eri putkimateriaalissa. (Pure Technologies Ltd.)

Vuove-luotain on kehitetty tarkastuskaivojen välillä olevien vuotokohtien paikantamiseen. Luotain mittaa Vuove-menetelmän mukaisesti veden laatuparametreja, jotka tallentuvat pienen luotaimen muistiin. Tiedot puretaan rekisteristä tietokoneelle. Tietoja siirrettäessä ne voidaan vielä käsitellä Vuove-luotain ohjelmalla. Ohjelman avulla nähdään muutos vuotovesiprosentissa, kun luotain on ohittanut putkiston rikkokohdan. Luotain lähetetään verkostoon tarkastuskaivosta ja otetaan vastaan seuraavasta tarkastuskaivosta alajuoksulta. Luotain kykenee

mittaamaan sekunnin tallennusvälillä noin 30 minuuttia, joten yhdellä kerralla voidaan tarkastaa pidempikin matka kuin yksi kaivoväli, mikäli niin halutaan tehdä. Vuotokohdassa veden laatuparametrit muuttuvat voimakkaasti ja vuotokohta voidaan paikallistaa riittävän tarkasti korjausta varten. Luotainta käytetään Vuovevuotovesitutkimuksen yhteydessä tarvittaessa. (Vuove Insinöörit Oy.)

Viimeinen esiteltävistä luotaimista on myös samalta yritykseltä kuin kaksi ensimmäistä ja sen nimi on ”The Sahara® Pipeline Inspection System” eli Sahara tarkastusjärjestelmä. Luotain kestää jopa 14 baarin paineen ja soveltuu putkikokoihin, jotka ovat halkaisijaltaan suurempia kuin 250 millimetriä. Menetelmällä on mahdollista havaita vuotoja, kaasutaskuja ja rakenteellisia vaurioita suuren halkaisijan putkistoissa. Tekniikalla päästään vuotojen osalta noin 0,5 metrin tarkkuuteen jopa 10 metrin syvyydellä. Järjestelmään kuuluu itse luotaimen lisäksi maanpäällä toimiva tarkemittari, jolla luotaimen tarkkaa sijaintia seurataan ja mobilisoitu tukiasema jossa luotaimen tuottamaa kuvaa voidaan seurata reaaliajassa (Kuva 8). (Pure Technologies Ltd.)



Kuva 8. Sahara järjestelmä, kuvankaappaus. (Pure Technologies Ltd.)

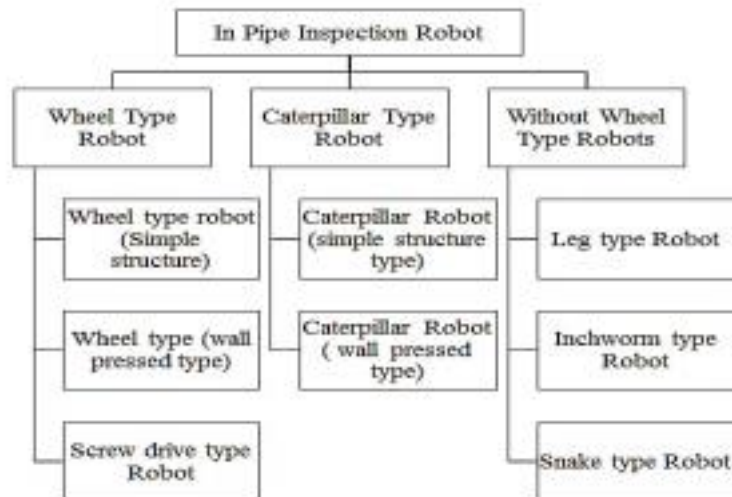
Tarkemittarilla voidaan kerätä luotaimen kulkemalta reitiltä GPS-sijaintitietoa, jonka avulla esimerkiksi muuten vaikeasti määriteltävä putken sijainti saadaan kerättyä. Järjestelmään kuuluu akustisen signaalin analysointiin ja keräämiseen tarvittavat ohjelmistot. Ohjelmisto muuttaa akustisen signaalin myös visuaaliseen muotoon jonka avulla käyttäjä voi havainnoida luotaimen tuottamaa tietoa. (Pure Technologies Ltd.)

4.1.2 Putkistorobotit

Robottien suunnittelussa ja käytössä pääasiallisena tavoitteena on ihmisen tekemän työn korvaaminen sellaisilla työskentelyalueilla, joissa ihmiselle voidaan katsoa aiheutuvan vaaraa joko ympäristöstä tai materiaaleista. Robotteja käytetään myös yleisesti sellaisissa olosuhteissa, joissa ihminen ei kykene työskentelemään, esimerkiksi luoksepääsemättömissä paikoissa. Putkistorobotit kuuluvat kumpaan ryhmään, sillä useimmat putkikoot ovat sellaisia, joihin ihminen ei mahdu tekemään mittauksia tai tarkastuksia ja ne sisältävät usein haitallisia kaasuja ja yhdisteitä. (Nayak & Pradhanb 2014.)

Robotteja voidaan käyttää putkistoissa näytteenottoon, korroosion tarkasteluun, seinämänpaksuuden mittaukseen ja muiden haitallisten muutosten havaitsemiseen putken sisällä. Putkistorobottien suunnittelu ei kuitenkaan ole yksinkertaista. Robottien suunnittelussa ja valinnassa joudutaan huomioimaan monia muuttujia ja haasteita, joita putkistossa toimiminen edellyttää. Näitä ovat esimerkiksi liikuntatapa, ohjattavuus, kääntösäde, koko ja muoto, sopeutumiskyky, joustavuus, vakaus, autonominen toiminta ja esteen välttäminen, suoriutuminen epätasaisella pinnalla, turvallinen käyttö, materiaalien valinta, suoritettavan tehtävän tyyppi putkessa, käyttö aktiivisessa putkessa, robotin nouto, käyttäjäystävällinen navigointi- ja ohjausjärjestelmä, toimintasäde ja analysoitavien vikojen määrä putkessa. (Nayak & Pradhanb 2014.)

Suurin osa toiminnallisista haasteista liittyy robotin rakenteellisiin ratkaisuihin. Robotit voidaankin jakaa rakenteeltaan karkeasti kolmeen pääryhmään ja kahdeksaan alaryhmään (Kuva 9) joita toteutusratkaisuissa yleisesti esiintyy. (Nayak & Pradhanb 2014.)



Kuva 9. Robottien rakenteellisia vaihtoehtoja, kuvankaappaus. (Nayak & Pradhan 2014.)

Putkistoroboteista tähän työhön on otettu esiteltäviksi kaksi erilaista menetelmää, jotka ovat PureRobotics Pipeline Inspection System ja DigiSewer-menetelmä.

PureRobotics Pipeline Inspection System (Kuva 10) eli putkistorobotti on putkiston tarkastuksiin ja kunnan määrittämiseen suunniteltu työkalu. Robotin runko on moduulirakenteinen ja sitä voidaan operoida joko vedestä tyhjennetyssä putkessa tai veteen upotettuna. Moduulirakenteen ansiosta tela-alustaiseen robottiin on mahdollista liittää monia sensoreita, jolloin useampi mittaus voidaan toteuttaa yhdellä ajokerralla, myös telojen kokoa voidaan säätää tarkastettavan putken halkaisijan mukaan. Taulukko 1 alapuolella kuvaa erilaisia sensoreita ja niiden toiminta-alueita.

| Sensori tai tekniikka | Käyttökohde | Toiminta-alue |
|---|--|--|
| Digitaalinen teräväpiirto kallistus-zoom suljetun piirin televisio eli CCTV | Videon tuottaminen | Silmämääräinen tarkastelu putken sisäpinnan kunnosta, joko paikan päällä tai tallennettuna |
| Nopea putken profilointi Kaikuluotaamalla eli Sonar | Mittaa putken kokoa, muotoa ja korroosio tasoa | Soveltuu käytännössä kaikille muille, paitsi huokoisille materiaaleille josta ääni ei heijastu. |
| Sähkömagneettiset sensorit | Arvio rakenteellista eheyttä putkistossa | Toimii sähkövirran tai magneettikentän tai molempien yhdistelmällä, menetelmä tarkastelee sähkömagneettista reaktiota, joka syntyy tarkasteltavassa aineessa. Tarkasteltavan kohteen on oltava magnetisoituva. |
| IMU eli sisäinen mittausyksikkö | XYZ maantieteellinen kartoitus | Perustuu yksikön lähettämään nopeus ja paikkatietoon, joka laskee sijaintia tietokoneella. Mahdollistaa paikannuksen silloin kun GPS yhteyttä ei ole saatavilla. |
| Laser profilointi ja optinen kaukokartoitus eli LIDAR | Mahdollistaa 3D raportoinnin | Havainnollistaminen, mallintaminen, simulointi |

Taulukko 1. Sensorit ja tekniikat

Järjestelmää voidaan hyödyntää putkistoissa, joiden halkaisija on suurempi kuin 600 millimetriä. Itse robotti kytkettynä korkean lujuuden omaavaan valokaapeliin, joka on yhteydessä järjestelmän seuranta laitteistoon. Operaattori voi seurata robotin tuottamaa kuvaa suorana kolmelta järjestelmään kuuluvalta näytöltä.



Kuva 10. Robotic Pipeline Inspection, kuvankaappaus. (Pure Technologies Ltd.)

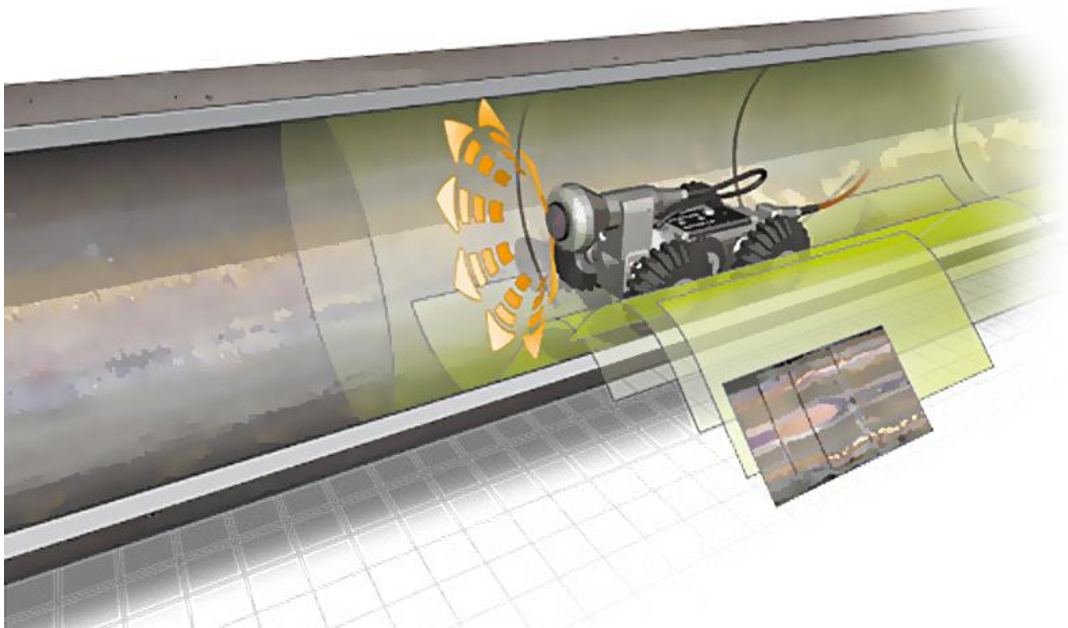
Menetelmän hyötynä on se, että kerralla voidaan nopeasti kattaa suuria etäisyyksiä ja saada samalla useampia mittauksia tehtyä samanaikaisesti. Robotti voi kulkea noin 0,4 m/s nopeudella ja toimintaetäisyys ulottuu jopa kolmeen kilometriin. Robottia voidaan hyödyntää esimerkiksi vesi-, viemäri-, ja energiateollisuuden aloilla. (Pure Technologies Ltd.)

Toinen tarkasteltavista menetelmistä on Digisewer (Kuva 11). Menetelmän tarkoituksena on nopeuttaa, helpottaa ja tehostaa putkikuvauksen suorittamista ja kerätyn datan analysointia. (Joel Loka.)

Digisewerin ansiosta tarkastus henkilön ei tarvitse enää havaita vikoja suoraan live-videosta ja pysähtyä tarkempaan tutkimukseen koska menetelmä kaappaa tarkkoja kuvia putken jokaiselta neliösenttimetriltä. Tätä kuvaustapaa kutsutaan sivuskannaukseksi. Kuvausdata voidaan jatkojalostaa useampaan visuaaliseen muotoon, kuten virtuaaliseksi 3D-malliksi ja sivuittais- ja etenemänäkymiksi. (Envirosight.)

Viettokaltevuuskäyrät kuvataan sähköiseen muotoon yhden millimetrin välein. Lopputuloksena saadaan selkeä ja vaivattomasti analysoitava kokonaisuus put-

kistosta, mitä on aikaisempaa vaivattomampi tarkastella. Digisewer on myös tarkempi ja virheettömämpi kuin perinteinen videokuvauk. Menetelmällä kartoitetut putkistorakenteet voidaan jälkikäteen mitata kuvausmateriaalista. Tämä auttaa jatkotoimenpiteiden suunnittelussa ja materiaalihävikin vähentämisessä sekä nopeuttaa asennustyötä. Kuvamateriaalin mukana tulee analysointi ohjelma joka vähentää analysointiin kuluva-aikaa. (Joen Loka.)



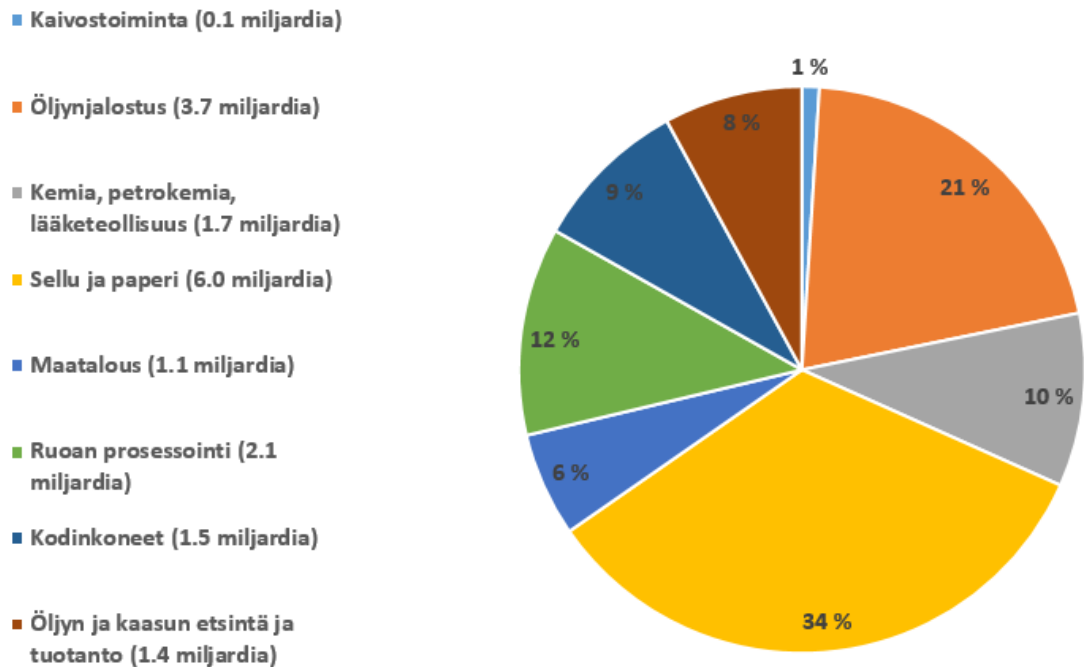
Kuva 11. Digisewer, kuvankaappaus (Joen Loka.)

Menetelmä on yksi harvoista sivuskannaus teknologioista, joka voidaan ostaa erillisenä lisälaitteena olemassa olevaan robottiin. (Envirosight.)

4.1.3 Eristeen alainen korrosio

Eristeen alainen korrosio on hyvin ongelmallinen osa-alue monilla teollisuuden aloilla ja siitä seuraavat kustannukset ovat myös merkittäviä. Ulkoista korrosiota syntyy putkiston, paineastioiden ja rakenteellisten komponenttien pinnalle, kun vesi jää ansaan eristeen alle ja yhdessä muiden muuttujien kanssa johtaa korrosion etenemiseen ja kiihtymiseen.

Pahimmillaan havaitsematon korroosio johtaa suunnittelemattomaan seisokkiin ja parhaassakin tapauksessa aiheuttaa tarkastus- ja kunnostuskuluja ylläpidossa. Seuraavassa kuvassa on esitetty tuotanto- ja valmistusteollisuuden vuosittaisia korroosiosta johtuvia kuluja, jaettuna alakategorioihin (Kuva 12).



Kuva 12. Vuosittaiset kustannukset korroosiosta tuotanto- ja valmistuskategori- oissa, kuvankaappaus. (Roxul.)

Ylläpitokustannusten perusteella on selvästi nähtävissä miksi eristeen alaiseen korroosioon on syytä etsiä uusia ja tehokkaita havaitsemistapoja. Muita tavoitteita ovat esimerkiksi työntekijöiden turvallisuuden kasvattaminen ja ympäristön kuorituksen vähentäminen sekä kalliiden odottamattomien korjausten vähentäminen ja luotettavuuden kasvattaminen. (Higgins 2013.)

Havaitsemisessa on kuitenkin paljon haasteita ja harvat tekniikat pystyvät tarkasti ja vaivattomasti havaitsemaan eristeen alaista korroosiota ilman rakennekerros- ten poistamista. Tähän ongelmaan luvataan vastausta Eddyfin kehittämällä Lyft menetelmällä (Kuva 13).



Kuva 13. Lyft järjestelmä, kuvankaappaus. (Eddyfi.)

Lyft käyttää korroosion mittaamiseen Pulsed Eddy Current (PEC) tekniikkaa. PEC on edistyksellinen sähkömagneettinen tarkastustekniikka, jota käytetään havaitsemaan puutteita ja korroosiota magneettisissa materiaaleissa. Nämä ovat tyypillisesti piilossa pinnoite-, palosuojaus-, tai eristekerrosten alla. Menetelmä kuuluu NDT-, eli ainetta rikkomattomiin mittausmenetelmiin. (Eddyfi.)

Järjestelmän ominaisuuksia ovat livekuvaus sekä nopea datan keräys joko grid mapping -menetelmällä tai dynaamisella skannausmenetelmällä. Muita järjestelmään kuuluvia lisävarusteita ovat pitkät kaapelit ja jatkopalat sekä vaihdettavat luotaimet. Järjestelmän normaalit luotaimet sopivat paksuille metalleille ja eristeille sekä alumiinille, ruostumattomalle teräkselle ja galvanoiduille metallisuojuille. Lyftin ohjelmisto rakentuu automaatiosta ja kehittyneistä algoritmeista, joiden tarkoituksena on vähentää mittaustuloksen riippuvuutta käyttäjästä. Yksi näistä ominaisuuksista on SmartPulse teknologia joka automaattisesti optimoi pulssia ja vastaanotettuja parametreja. Se optimoi myös seinämän paksuuden mitat, joiden avulla tarkastuksen suorituskyky voidaan optimoida ja toistaa samalla vähentäen tarvetta liialliseen yksityiskohtien opetteluun. Järjestelmä sisältää myös ohjelmiston joka mahdollistaa tarkastusten hallinnan ja raportoinnin. (Eddyfi.)

Menetelmä on toiminta-alueellaan hyvin onnistunut ja saanut tunnustusta esimerkiksi voittamalla 2016 Global Nondestructive Testing Equipment New Product Innovation Award- palkinnon, joka myönnetään parhaalle NDT testaukseen liittyvälle uudelle innovaatiolle. Japanilaisen tutkimuksen loppuraportissa Inspection

Technique for CUI (Corrosion under Insulation) by Using Fiber Optical AE Sensor, esitetään taulukko (Kuva 14) jonka mukaan PEC mittausmenetelmä tuottaa vain yleistasoista tietoa korroosiosta ja ei sovellu pitkien mittausmatkojen tarkastukseen. (Eddyfi; Tada, Suetsugu & Mori 2010.)

Table 1 Comparison of the CUI inspection technique for pipes

| Inspection method | Ultrasound Testing (UT) | Eddy Current Testing (ECT) | Radio graphic Testing (RT) |
|-----------------------------|---|--|---|
| | Ultrasonic guided waves | Pulsed ECT | Real-Time RT |
| Influence of internal fluid | YES | NO | YES |
| Inspection of long distance | Applicable | Not Applicable | Not Applicable |
| Removal of insulations | Need | No need (Less than 80mm in thickness) | No need |
| Corrosion can be detected | localized corrosion (10% depth level of sectional area) | General corrosion like concave | localized corrosion (ϕ 2mm through wall hole) |
| Inspection accuracy | Not good | Not good | Good |

Kuva 14. Eristeen alaisen korroosion tarkastustekniikoiden vertailu, kuvankaappaus. (Eddyfi; Tada, Suetsugu & Mori 2010.)

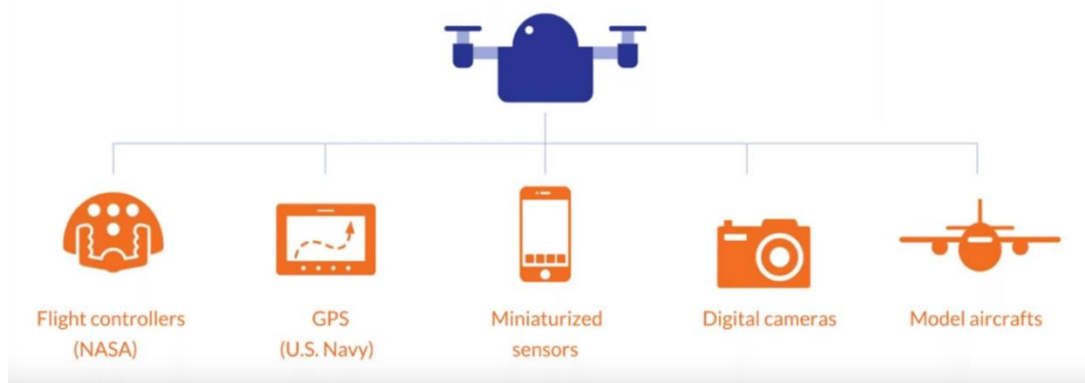
4.2 Kopterit ja liikkuvat mittausmenetelmät

Tässä luvussa esitellään liikkuvia mittausmenetelmiä joita voidaan hyödyntää rakennuskunnossapidossa. Näiksi menetelmiksi valikoituivat mobiililaserkeilaus ja kauko-ohjatut lennokit, joihin tässä työssä viitataan termillä drone, joka on jo hyvin vakiintunut arkikielessä tarkoittamaan kyseistä teknologiaa. Dronet voidaan vielä karkeasti jakaa kahteen ryhmään joita ovat kiinteäsiipiset lennokit ja kopterit jotka käyttävät liikkumiseen propelleja.

Drone on ilmassa lentävä laite, joka käyttää apunaan autopilottia jonka turvin se lentää ennalta määrätyn reitin GPS-koordinaattien avulla. Laitteistoon kuuluvat sekä ohjain, että itse drone. Vaikka laitetta on mahdollista lennättää autopilotilla, on laitteistossa oltava lennättäjän kontrolloima ohjain, jotta vika- tai vaaratilanteessa lento voidaan puuttua manuaalisesti. Käytettäessä lyhennettä UAS

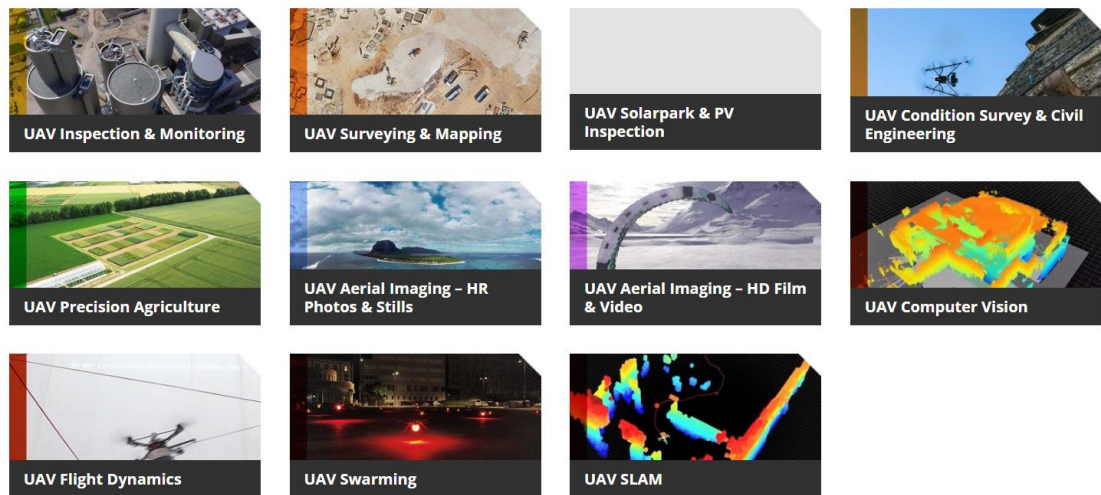
(Unmanned Aerial System) tarkoitetaan kopterin ja ohjaimen lisäksi myös järjestelmään kuuluvia maa-asemia ja videojärjestelmiä. (Hassinen 2013, 3-4.)

Drone-teknologia luottaa vahvasti viime vuosikymmenien aikana nopeasti kehittyneisiin teknologioihin (Kuva 15), kuten sensoriteknoologiaan ja automatisoituihin lento-ominaisuuksiin. Edellä mainittujen teknologioiden ansiosta perinteiset kauko-ohjatut lelu-kopterit ovat kehittyneet moderneiksi instrumenteiksi ja niitä on voitu valjastaa ammattimaisempaan käyttöön. (Identified Technologies.)



Kuva 15. Hyödynnettäviä teknologioita, kuvankaappaus. (Identified Technologies.)

Tekniikan kehittyessä droneille on etsitty ja löydetty lukuisia eri käyttökohteita, joita ovat esimerkiksi muutosten havainnointi, seuranta, kartoitus, mittaus, valokuvaus ja videokuvaus (Kuva 16). (Identified Technologies.)



Kuva 16. Drone mahdollisuuksia, kuvankaappaus. (Identified Technologies.)/

Tekniikka on edelleen nopeassa muutostilassa ja droneille kehitetään jatkuvasti uusia sovelluksia sekä ohjelmistokehityksen että kopterien kustomoinnin avulla. Hyvä esimerkki pitkälle erikoistuneista kopteriratkaisuista on imatralaisen Rumble Toolsin kehittämät robottikopterit joihin kuuluvat Firefighter eli tulipalojen havaitsemiseen ja sammuttamiseen erikoistunut robotti, Handyman eli yleispätevä puhdistamiseen ja korjaamiseen tarkoitettu robotti ja Renavator, jonka pääasiallinen käyttö on aineiden ruiskuttaminen, mitä voidaan hyödyntää kattotöissä tai maalaamisessa. (Liimatainen 2016.)

Kopterien suosion myötä myös tunnetut laitevalmistajat ovat alkaneet tuottaa palveluita joita kopterien suorittamiin tehtäviin tarvitaan. Näihin palveluihin ja lisävarusteisiin kuuluvat esimerkiksi koptereihin soveltuvat mobiililaserkeilaus- ja lämpökamerajärjestelmät. Kuten luvussa 4.1.2 putkistorobottien kohdalla, myös drone-laitteiden hyödyntäminen on seurausta samoista periaatteista jotka ohjaavat valitsemaan robotin perinteisten menetelmien sijaan. Lento-ominaisuudet ja drone-teknologia avaavat monia uusia mahdollisuuksia robottien hyödyntämiseen.

Mobiililaserkeilaus on otettu vertailuun erillisenä menetelmänä, sillä se on suhteellisen uusi käsite. Laserkeilaus on tekniikka joka mahdollistaa kasvillisuuden, topografian, infrastruktuurin ja monen muun kohteen kartoittamisen sekä 3D-mallien luomisen. Mobiililaserkeilaus tarkoittaa kyseisen menetelmän hyödyntämistä

liikutettavalla alustalla jonka avulla voidaan tuottaa kolmiulotteisia malleja ja ajantasaista mittaustietoa nopeasti. (Kukko 2013.)

Mobiililaserkeilaus on vielä melko uusi mittausmenetelmä, eikä sitä sen vuoksi osata vielä hyödyntää kovinkaan hyvin. Infrarakentamisessa laserkeilauksen käyttö vaihtelee suunnittelusta aina toteutukseen ja laadunvalvontaan. Päälystysalalla mobiililaserkeilaus on tullut perinteisen PTM-mittauksen rinnalle tehostamaan teiden kunnan seuranta.

Taulukossa 2 on esitetty suuntaa antavia tietoja mobiililaserkeilaukseen liittyvistä laitteista.

| Make | Model | Laser scanner | Number of scanners | Measurement frequency/ scanner [Hz] | Profile frequency/ scanner [Hz] |
|------------|-------------|--------------------------------|--------------------|-------------------------------------|---------------------------------|
| FGI | ROAMER | Faro Focus ^{3D} X 330 | 1 | 976,000 | 96 |
| FGI | Sensei | Ibeo Lux | 1 | 19,000 | 100 |
| Optech | Lynx | SG1 | 2 | 600,000 | 250 |
| Riegl | VMX-450 | VQ-450 | 2 | 550,000 | 200 |
| Mitsubishi | MMS-X 640 | Sick LMS-291 | 4 | 27,100 | 25 |
| Leica | Pegasus:One | ScanStation P20 | 1 | 1,000,000 | 100 |

Taulukko 2. Mobiililaserkeilaus laitteistoja, kuvankaappaus. (Jaakkola 2017.)

Mobiililaserkeilaus järjestelmää liikutetaan yleisesti autolla tai muulla maanpinnalla liikkuvalla kuljettimella, jolloin sen rajoitteena ovat vaikeapääsyiset maastot. Tekniikasta on myös olemassa droneihin yhteensopivia ratkaisuja, jolloin maastoesteetkään eivät rajoita skannattavaa aluetta. (Jaakkola 2017.)

Perinteiseen laserkeilaukseen verrattuna mobiiliversioon etuna voidaan pitää sitä, että se on kustannustehokas käyttämällä vähemmän aikaa ja vähemmän työvoimaa verrattuna kiinteään tekniikkaan. Toisaalta se on myös turvallisempi ratkaisu mittauksen tapahtuessa ajoneuvon päältä ja kuljettajan ollessa suhteellisen suojattuna. Mobiililaserkeilauksella voidaan mahdollisesti vähentää työhön liittyvien tapaturmien määrää tulevaisuudessa.

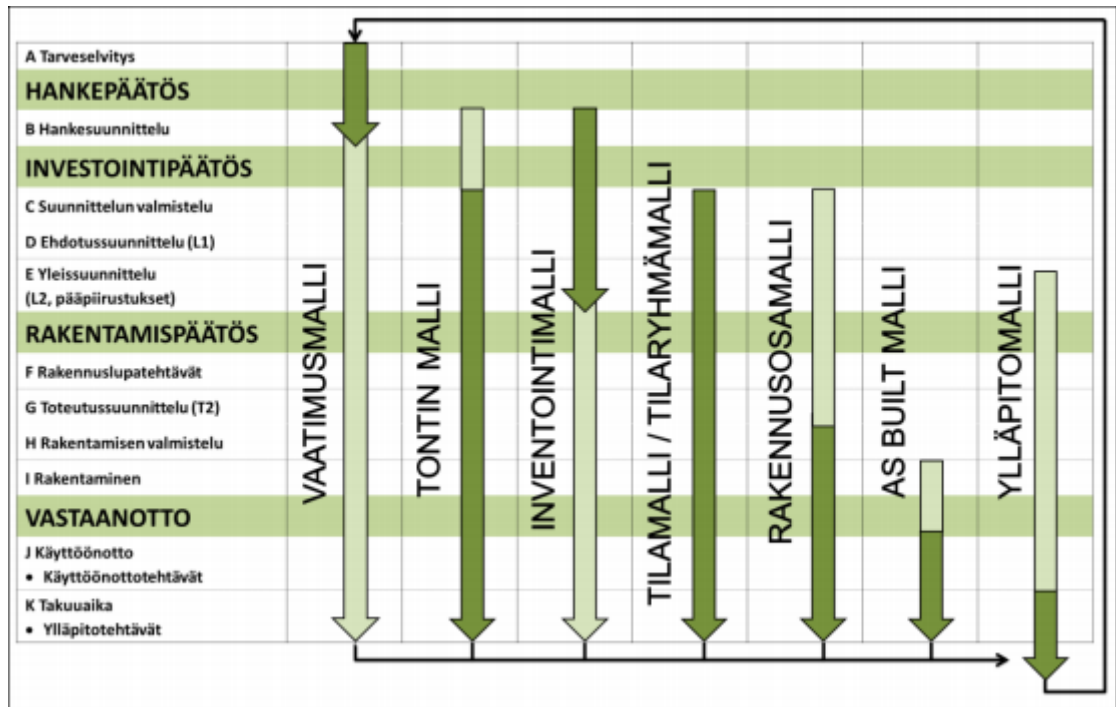
4.3 Tietomallinnus ja paikkatietojärjestelmät

Tässä luvussa käsitellään tietomallien ja paikkatietojärjestelmien hyödyntämistä rakennuskunnossapidossa. Aihe-alueet ovat lähellä toisiaan ja esimerkiksi Esri Finlandin omaisuudenhallinnan ratkaisuihin vastaava Ukkonen toteaa haastattelussa BIM ja GIS ratkaisuiden yhdistämisen olevan uusi trendi rakennustekniikan puolella. (Ukkonen 2017.)

Tietomalli eli BIM (Building Information Model) on käsitteellinen ajatusmalli, jonka tavoitteena on yhteistyön parantaminen eri rakentamisen tahojen välillä tuotettavuuden, suunnittelun ja luotettavamman laadun osalta, joka on mahdollista luotettavamman tiedonhallinnan myötä. Tietomallin pohjana toimivat standardisoidut objektikirjastot. (OpenBimInfo.)

Tietomallien käytön esteitä ovat olleet alkuaikoina esimerkiksi tilaajien ja rakentajien haluttomuus tietomallien käytössä, mikä on pohjautunut riittämättömään tietomalliosaamiseen ja tietomalleihin liittyvän ohjeistuksen puuttumiseen. Käyttäjien kokemukset olivat, ettei tietomalleilla saavuteta tarvittavaa hyötyä verrattuna lisäpanostuksiin joita teknologian käyttöönotto vaatisi. Suomessa otettiin vuonna 2012 käyttöön rakentamisen yleiset tietomallivaatimukset (YTV 2012) mallinnuspohjaisten rakennushankkeiden suunnittelun lähtökohtana niiden valmistuttua. (Lehtoviita, Kainulainen & Kemppi 2015.)

Tietomallipohjainen hanke koostuu eritasoisista tietomalleista ja vaiheista, jotka ovat esitetty oheisessa kaaviossa (Kuva 17) ja selitetty kuvan alapuolella.



Kuva 17. Tasot ja vaiheet tietomallissa, kuvankaappaus. (Lehtoviita et al. 2015.)

- **Vaatusmalli**

Minimissään vaatimusmalli on taulukkomuodossa oleva tilaohjelma, jota voidaan käyttää tilaohjelman ja suunnitelmaratkaisujen vertailussa hankkeen ajan. Tilaohjelman tulee sisältää tilakohtaiset pinta-ala- ja erityisvaatimukset. (Lehtoviita et al. 2015.)

- **Tontin malli**

Tontin malli on vähintään kolmiulotteinen pintamalli. Muilta osin alueosat mallinetaan hankkeessa sovitulla tarkkuudella. Käytännössä tontin malli on osa arkkitehtimallia ja tarvittavat maaston tiedot saadaan maaston mittausaineistosta tai kartta-aineistosta. (Lehtoviita et al. 2015.)

- **Inventointimalli**

Inventointimallia tarvitaan korjausrakennushankkeessa lähtötietojen hallintaan. Inventointimallinnus tehdään paikalla tehtävien mittausten, inventointien ja tutkimuksien perusteella. Inventointimallin tietosisältö koostuu varsinaisesta kolmiulotteisesta arkkitehtimallinnuksena tuotetusta tietomallista sisältäen rakennusosat sovitulla tarkkuudella sekä mallin tietosisältöä täydentävistä dokumenteista. (Lehtoviita et al. 2015.)

- **Tilamalli**

Tilamalli koostuu tilaobjekteista, joihin on kytketty tilan tunniste ja käyttötarkoitus. Jokainen tilaobjekti on kolmiulotteinen mallinnusosa, jota rajaavat tilaa ympäröivät seinät, katto ja lattia. Tilamalleja voidaan käyttää arkkitehtisuunnittelun lisäksi esimerkiksi energia-analyysien lähtötietona sekä tilapohjaisen määrä- ja kustannuslaskennan lähtötietoina. (Lehtoviita et al. 2015.)

- **Rakennusosa- ja järjestelmämalli**

Rakennusosa- ja järjestelmämalli ovat keskeinen osa suunnittelua ja hankkeen tiedonhallintaa. Arkkitehtisuunnittelijan rakennusosamalli sisältää tilat ja rakennusosat. Rakennesuunnittelija mallintaa rakennemallin, joka sisältää kantavat rakennusosat sekä erikseen sovittavat keskeiset ei-kantavat rakennusosat ja muut oleelliset rakennetekniset osat ja eristeet. Järjestelmämalleilla tarkoitetaan talotekniikan erilaisten järjestelmien osien muodostamia malleja. (Lehtoviita et al. 2015.)

- **Ylläpitomalli**

Tietomalleista kunnossapidon kannalta merkittävin vaihe on ylläpitomalli. Ylläpitomalli koostuu määritelmän mukaan ylläpidon tietomalleista, joita ovat kiinteistöjen ylläpidossa käytettävät tietomallit. (Buildingsmart.)

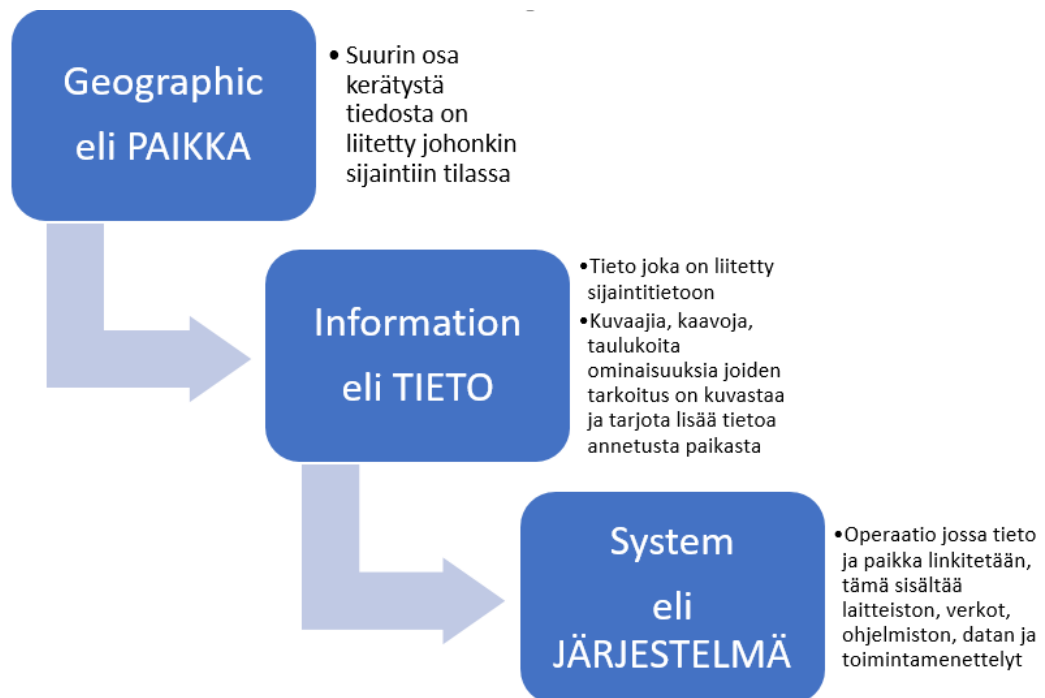
YTV:n osan 12 määritelmän mukaan näitä ovat suunnitteluohjelmistojen alkuperäismallit (toteumamallit), avoimen tiedonsiirron mallit (IFC), ylläpidon ohjelmistojen alkuperäismallit ja katseluohjelmien yhdistetyt mallit. (Buildingsmart.)

Kunnossapidosta vastaavalla organisaatiolla tulisi olla kokemusta suunnitteluohjelmistojen ja IFC-mallien tarkasteluohjelmien sekä yhdistelmämallien tarkasteluohjelmien käytöstä, jotta malleista saataisiin ylläpitovaiheessa suurin hyöty, sekä tunnettava YTV:n periaatteet ja osan 12 sisältö (Lehtoviita et al. 2015.)

Ylläpitomallin käyttömahdollisuuksia ovat esimerkiksi pinta-ala tietojen hyväksi käyttäminen kiinteistöhuollon tarjouslaskennassa sekä siivouksen suunnittelussa, koneiden ja laitteiden löytyminen vaivattomammin kiinteistössä, huolto- ja käyttöohjeiden sekä huoltohistorian liittäminen kohteen tietomalliin. (Buildingsmart.)

Lähtökohtaisesti tietomallipohjaisen kunnossapidon uutuus vaikeuttaa niiden laajamittaista hyödyntämistä, koska mallit täytyisi luoda jälkikäteen jolloin puhutaan inventointimallista. Inventointimallin luomisesta ja hyödyntämisestä on tehty opinnäytetyö UPM-Kymmene Oyj:n omistuksessa olevalle kerhorakennukselle johon voi tutustua Perttu Valtosen opinnäytetyössä Rakennuksen 3D-inventointimalli 2013.

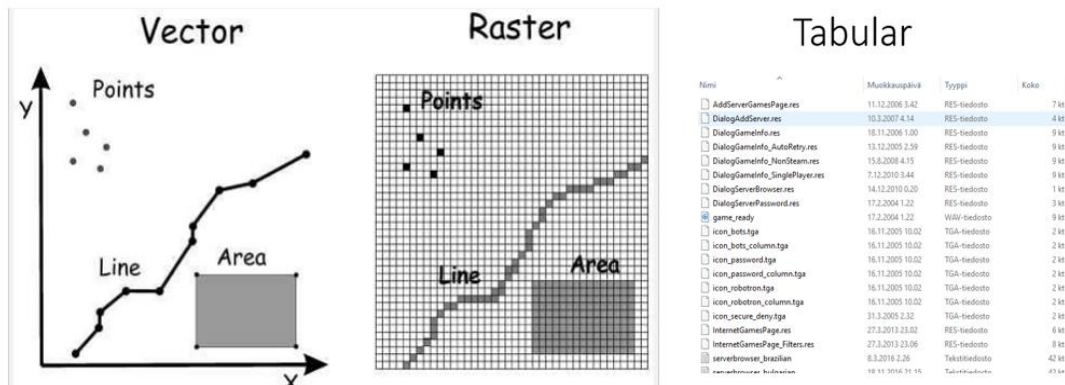
Paikkatietojärjestelmiin viitataan yleisesti termillä GIS, joka muodostuu englannin kielen sanoista (Geographic Information System). GIS koostuu paikkatiedosta, informaatiosta ja sitä käsittelevästä järjestelmästä (Kuva 18). (Paikkatieto.)



Kuva 18. GIS määritelmä.

GIS on siis tietokoneistettu järjestelmä, joka on suunniteltu maantieteellisesti viitattun datan varastointiin, hakemiseen ja analysoimiseen. Järjestelmät käyttävät kehittyneitä analyysityökaluja joiden avulla tutkitaan tieteellisesti tilaan, sijaintiin tai välimatkaan liittyviä suhteita, toistuvia kaavoja ja kulttuurisia, biologisia, ekonomisia, väestötieteellisiä sekä fyysisiä ilmiöitä. (Swenda 2016.)

Dataa voidaan määrittää kohteina paikkatiedossa sekä niiden välisinä suhteina. On olemassa kolme perustapaa, jolla sijaintitietoa voidaan organisoida. Näitä tapoja ovat vektorimuoto joka kuvaa ominaisuuksia pisteinä, linjoina, monikulmioina ja kolmioverkkona, rasterina joka kuvaa maisemaa suorakulmaisena matriisina joka sisältää neliön muotoisia soluja ja taulukkona jossa dataa pidetään ja järjestellään suhteellisessa tietokannassa (Kuva 19).



Kuva 19. Sijaintitiedon organisointi, kuvankaappaus. (Swenda 2016.)

GIS on laajalti käytössä aikataulujen ja logistiikan optimoinnissa. GIS-pohjaisella toteutuksella on mahdollista säästää noin 10-30 prosenttia toimintamenoista, vähentämällä polttoaineen kulutusta ja henkilökunnan aikaa, sekä parantamalla asiakaspalvelua ja aikataulutusta. GIS järjestelmät ovat varteenotettava vaihtoehto, kun halutaan tehdä parempia päätöksiä sijaintiin perustuen. Tavallisia esimerkkejä tällaisista päätöksistä ovat kiinteistöjen sijoituspaikan valinta, reitin valinta, evakuoitus suunnittelu, luonnonsuojelu ja luonnonvarojen hyödyntäminen tai mikä tahansa päätös, jossa on kyse sijainnista ja se on kriittinen osa-alue organisaation liiketoiminnan onnistumisessa. (Esri.)

Edeltävien esimerkkien lisäksi paikkatietojärjestelmiä hyödynnetään jo paljolti eri teollisuuden ja tekniikan aloilla, esimerkiksi vesihuollossa ja metsäteollisuudessa. GIS tarjoaa mahdollisuuden tietojen analysointiin, luomiseen ja jakamiseen sekä havainnollistamiseen. Järjestelmä mahdollistaa myös erilaisten tietolähteiden laajamittaisen yhdistämisen ja tietojen tarkastelemisen eri laitteilla, kuten mobiililaitteilla ja tietokoneilla. Perinteisiin karttoihin verrattuna eroa voidaan havainnollistaa vertaamalla sitä printatun taulukon ja Excelin eroon, sillä paikkatietojärjes-

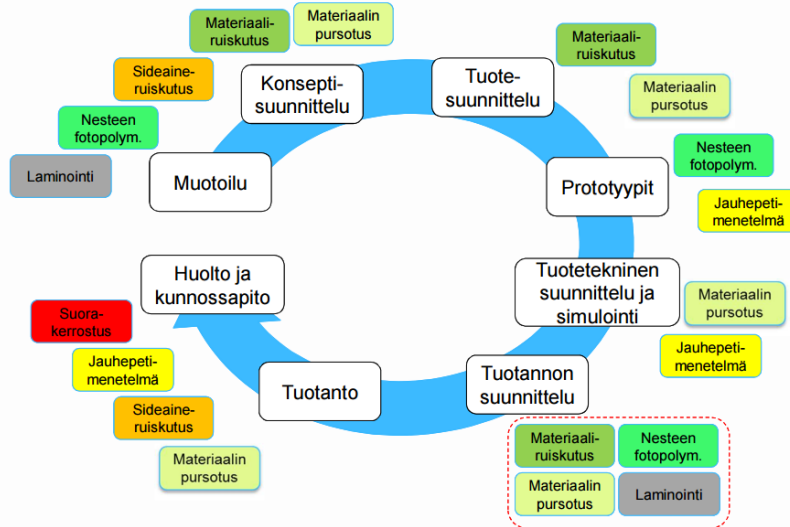
telmä sisältää samalla tavalla tietojen käsittelyyn ja analysointiin tarvittavat työkalut. Paikkatietojärjestelmien kysyntä on kasvussa, sillä monet yritykset ovat kiinnostuneita sen strategisista ja taloudellisista hyödyistä. Globaalilla tasolla puhutaan noin 10% vuosittaisesta kasvuvauhdista. (Ukkonen 2017.)

4.4 Korjaus- ja valmistusmenetelmät

Korjaus ja valmistusmenetelmistä vertailtavaksi teknologiaksi valikoitui 3D-tulostus. Ensimmäiset kookkaat, kalliit ja tulostusmateriaaleiltaan rajoittuneet 3D-tulostimet tulivat käyttöön 1980-luvulla. 3D-tulostimien ilmaantumisesta edesauttoi merkittävästi Chuck Hull, joka patentoi vuonna 1987 stereolitografian. 3D-tulostus on yleistynyt nopeaa vauhtia ja nykyisin 3D-tulostimen voi hankkia myös yksityiseen käyttöön suhteellisen edullisesti. (Marquardt & Zheng.)

Kolmiulotteinen tulostus eli 3D-tulostus on virtuaalisen mallin tuotteistamista fyysiseen muotoon 3D-tulostimen avulla. Tulostimessa käytettäviä valmistusmateriaaleja ovat esimerkiksi muovi, metalli, keraami ja lasi (Kuva 20). Tulostusmateriaali on yleensä omissa kaseteissaan, josta tulostamiseen tarvittava materiaali johdetaan tulostuspäähän tavallisesti nauhana tai jauheena. Tulostuspää sulattaa tai liuottaa nesteeseen tulostusmateriaalin ja suihkuttaa tulostinalustalle liukenevan materiaalin, joka kovettuu ohuina kerroksina haluttuun kohtaan. Malli muodostuu näin useista ohuista kerroksista muodostaen lopputuotteen. (Vihinen 2015.)

Menetelmien sovellusalueita



Kuva 20. 3D-Tulostusmenetelmien sovellusalueita, kuvankaappaus. (Vihinen 2015.)

Arkkitehtuurissa ja rakentamisessa voidaan myös hyödyntää 3D-tulostusta. 3D-tulostuksen myötä arkkitehtien ei tarvitse enää tehdä projektien pienoismalleja käsin. Tulostus mahdollistaa mittakaavassa olevien mallien tuottamisen asiakkaille lyhyessä ajassa. Suunnittelun alla on myös tulostimia joilla voidaan tehdä isoja kokonaisuuksia, kuten esimerkiksi talon tulostaminen betonia pursottavan suuttimen avulla. Tästä on jo esimerkki Venäjälle yhdessä päivässä väitetysti nousseesta asuinrakennuksesta (Kuva 21). (Kalliola 2011; Korhonen, S. 2017.)



Kuva 21. Tulostettu talo Venäjällä, kuvankaappaus. (Korhonen, S. 2017.)

Mahdollisia hyötyjä tulostamisesta ovat yrityksille muun muassa nopeammat tuotekehityssyklit, uudenlaiset tuotteet sekä konkreettisia kustannushyötyjä erityisesti piensarjavalmistuksessa. Huomattavinta 3D-tulostuksen tuomissa mahdollisuuksissa on sen vaikutus tuotantokehityssykliin, kustannustehokkuuteen ja valmistusaikojen lyhenemiseen. 3D-tulostuksen yhdeksi vahvuudeksi voidaan lukea se, että sen avulla on mahdollista toteuttaa monimutkaisiakin tuoterakenteita aikaa, vaivaa ja rahaa säästäen. Tuotteen painosta voidaan pudottaa jopa 80 %. Kokeellisesti rakentaminen printtaamalla on noin neljä kertaa nopeampaa kuin perinteisin metodein ja tulevaisuudessa sillä on mahdollista vähentää esimerkiksi työtatapaturmien riskiä. (3DStep.)

Perinteisesti suunnitellun kappaleen valmistaminen sellaisenaan 3D-tulostamalla ei todennäköisesti ole järkevää. 3D-tulostuksen käyttäminen on hyödyllistä vain, jos hyväksytään korkea hinta ja osa päästään valmistamaan suoraan tarpeeseen lähellä kohdetta. Jos tuotanto seisoo tai on kyse muuten merkittävän ongelman ratkaisusta, voi tämä tulla kyseeseen. Menetelmää on kuitenkin mahdollista hyödyntää muutenkin kuin kappaleiden valmistuksessa, esimerkiksi kuten luvussa 4.2 mainittujen dronejen avulla.

4.5 Virtuaalinen ja lisätty todellisuus

Nykyhetkellä VR (Virtual Reality) eli virtuaalitodellisuus sekä AR eli lisätty todellisuus (Augmented Reality) ovat nopeasti kasvavia teknologian osa-alueita ja monet yritykset etsivätkin tapoja joilla niitä voidaan parhaiten hyödyntää. VR ja AR ratkaisuihin on tulossa kunnossapitohenkilöstön arkea jo lähitulevaisuudessa. VTT:n koordinoimassa DIMECC S-step-ohjelmassa on esimerkiksi kehitetty tutkimuksen ja teollisuuden yhteistyönä huoltotyö ratkaisuja ja välineitä, joiden on tarkoitus tehostaa työn tuloksia ja tyytyväisyyttä. (Promaintlehti 2017a.)

Ensimmäinen todellinen esimerkki multisensorisesta simulaattorista oli The Sensorama, joka julkaistiin 1962. Siinä katsoja pystyi tekemään moottoripyörä ajelun New York City:ssä, laitteistoa täydensivät tuulettimet ja äänet joita kaupungissa pystyi kuulemaan. Morton Heilingin simulaattorissa oli kaikki VR:n tunnusmerkit

paitsi se ei ollut interaktiivinen vaan reitti oli ennalta määrätty ja kuvattu. VR-tekniikkaan vaikutti myös suuresti lentosimulaattoreita varten kehitetyt ohjelmistot ja teknologia, joita armeija käytti omissa simulaatioissaan. Tärkeimmät näistä teknologioista olivat nopeat päivitysajat, lyhyet viiveet, toissijaiset visuaaliset ominaisuudet kuten varjot ja tekstuurit, liikepalaute ja voimapalaute (feedback) sekä tekniikat joilla voitiin tehokkaasti hallita ja kuvata monimutkaisia maailmoita. (Earnshaw, Gigante & Jones 1993.)

VR ja AR ovat saaneet paljon julkisuutta viimevuosien aikana minkä seurauksena myös terminologian kanssa on ilmennyt ristiriitoja. VR:n suhteen on noussut paljon epärealistisia odotuksia suhteutettuna siihen mitä teknologia tällä hetkellä oikeastaan mahdollistaa. Lyhyesti VR:n voi määritellä olevan illuusio osallistumisesta synteettiseen ympäristöön. VR:n toiminta luottaa tällä hetkellä 3D-kuvaan, jota seurataan joko pään liikkeillä tai käsillä ja keholla. VR on siis moniaistinen kokemus. Lisätty todellisuus eli AR on hahmoteltu sisältö todellisessa maailmassa, mutta sisältö ei ole ankkuroitu tai osa todellista maailmaa. Reaalimaailman sisältö ja AR sisältö eivät siis reagoi aktiivisesti keskenään. Keskeisimpiä käyttökohteita yleistasolla on listattu alapuolella luettelona. (Foundry.)

- **Työskentely vaarallisessa tai etäisessä ympäristössä**

Aloilla joilla edelleen työskennellään vaarallisissa ympäristöissä, pystyttäisiin mahdollisesti hyötymään VR avusteisesta operaatiosta. Työntekijät jotka työskentelevät radioaktiivisten aineiden kanssa tai myrkyllisessä ympäristössä pystytään sijoittamaan turvalliseen paikkaan josta he voivat operoida vaarallisia aineita ilman oikeaa vaaraa. Tämä teknologia vaatii vielä lisää kehitystä ollakseen todellisuudessa hyödyllinen, mutta sen kehitys tulee jatkumaan ja todennäköisesti tulemme näkemään oikeita teollisia VR operaatioita hyvinkin nopeassa aikataulussa. (Earnshaw et. al. 1993.)

- **Tieteellinen visualisointi**

Yksi esimerkki VR:n käyttämisestä tieteellisessä visualisoinnissa on NASAN virtuaalinen tuulitunneli, jossa tutkija pystyy levittämään virtuaalitodellisuudessa savaa sormiensa päistä ja tarkastelemaan sen virtaamista esimerkiksi lentokoneen siipien lävitse. Tutkija pystyy tästä analysoimaan epätasaisia virtauksia ja muita

mielenkiintoisia ilmiöitä eripuolilta virtuaalista lentokonetta. (Earnshaw et. al. 1993.)

- **Arkkitehtoninen visualisointi**

Tulevaisuudessa pystytään kuljeskelemaan ympäri uutta asuntoa ennen kuin se on edes rakennettu. Pystytään tunnustelemaan tilaa ja havainnoimaan tilantuntua, sekä kokemaan erilaisia valaistusmahdollisuuksia ja sisustusratkaisuja ilman että mitään tarvitsee edes vielä ostaa. YIT:n asiakkaat voivat tutustua tuleviin ko-teihinsa virtuaalitodellisuuden (VR) avulla Slovakiassa. Suomessa tekniikka on mahdollista ottaa käyttöön nopeassakin aikataulussa. (Earnshaw et. al. 1993; Promaintlehti 2017b.)

- **Suunnittelu**

Tällä hetkellä suunnittelijoiden on lähes pakollista työskennellä 2D piirustusten kanssa, koska monet suunnittelu ohjelmistot ja laitteistot kykenevät tekemään tiettyjä asioita vain 2D pohjalla, VR:n odotetaan tuovan tähän muutosta, jos teknologiaan saadaan oikeanlaiset työkalut 3D suunnittelun tekemiseen. (Earnshaw et. al. 1993.)

- **Opetus ja harjoittelu**

Tulevaisuudessa VR teknologiaa voidaan ehkä jopa hyödyntää tavallisessa luokkatilassa, jossa opettajan opastuksella tutustutaan esimerkiksi kaivoksiin tai tuotantolaitoksiin joihin muuten pääsy olisi vaikeaa tai vaarallista. Harjoittelukäytössä VR on toiminut jo nyt esimerkiksi armeijan eri simulaatioissa ja tulee todennäköisesti laajenemaan myös muille aloille. (Earnshaw et. al. 1993.)

- **Tietokone avustettu yhteistyö**

Todennäköisesti virtuaalilasit ovat pian tavallinen näky myös huoltohenkilöstön silmillä. Laitteiden asentaminen ja huoltaminen helpottuvat, kun älylasit merkitsevät osia, neuvovat asentajille mitä niille tehdään ja heijastavat ohjeet käyttäjän näkökenttään. Lisäksi samassa ympäristössä voidaan tulevaisuudessa pitää kokouksia tai tehdä työmaalle tarkastuksia ilman matkustamista todellisuudessa. Lopulta kaikki tiedot ja huoltohistoria merkitään virtuaaliseen huoltokirjaan, johon erilaiset anturit syöttävät jatkuvasti tietoja esimerkiksi tilojen ihmisvirroista ja lämpötiloista. (Earnshaw et. al. 1993; Promaintlehti 2017a.)

Kunnossapitohenkilöstön on mahdollista tarkastaa kohde ennen varsinaista huoltoa virtuaalisesti VR-lasien avulla. Huoltomiehelle on mahdollista antaa toimintaohjeita esimerkiksi etäasiantuntijan avulla hyödyntäen AR teknologiaa. Sama pätee vinkkien ja hyväksi todettujen toimintaohjeiden jakamiseen. Teknologian on tulossa hyödynnettäväksi sekä hinnan että soveltuvuuden puolesta todennäköisesti jo lähivuosina. (Promaintlehti 2017a.)

Microsoft kehittää niin sanottua sekoitettua todellisuutta joka hyödyntää osioita niin VR:n kuin AR:n teknologioista. Kehitteillä oleva teknologia on nimeltään HoloLens ja se on ensimmäinen holograafiseen teknologiaan perustuva tietokone, jonka avulla lisätyn todellisuuden kaltaiseen virtuaaliympäristöön on mahdollista vaikuttaa todellisessa maailmassa. (Microsoft.)

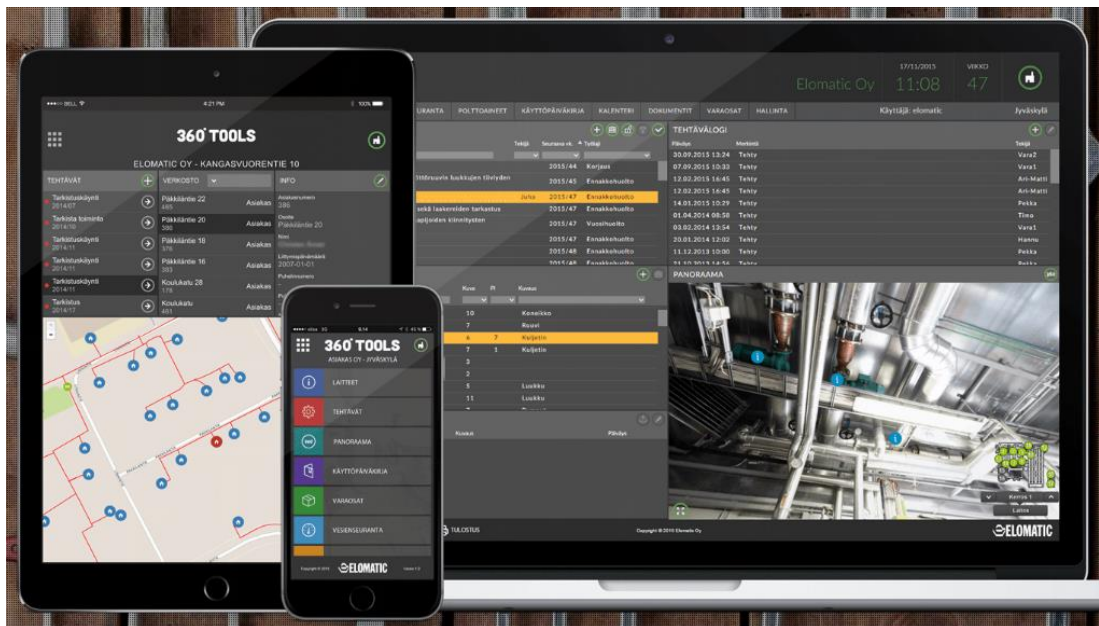
4.6 Muut kuvaus tai tiedonhallinta menetelmät

Tässä luvussa kerrotaan 360-asteen kuvauksesta ja mobiilitietopalveluista, sekä niiden mahdollisesta soveltamisesta yleisesti ja teollisuudessa.

360-asteisen kuvan tuottaminen on nopeasti yleistynyt teknologian osa-alue, jonka kysyntä on kasvanut siitä lähtien kun Youtube ja Facebook alkoivat tukea 360-asteisia videoita. Googlen Street View on suurin panoraamakuvan hyödyllisyyttä puoltava projekti. Googlen katunäkymäpalvelua voidaan käyttää Google Maps ja Google Earth ohjelmilla. Palvelun tuottaminen aloitettiin vuonna 2007 ja sen tekemiseen on käytetty esimerkiksi autoja, kolmipyöriä ja moottorikelkkoja. (Google.)

360-asteista kuvaa kehitetään tällä hetkellä pitkälti VR-laseilla katselua varten, vaikka tällöin ei varsinaisesti puhuta virtuaalitodellisuudesta ja sovellukset ovat lähinnä viihdeteollisuuden käyttöön suunnattuja. Seuraavaksi esitellään tarkemmin yksi teollisuuteen suunnattu ohjelmistoperhe joka luottaa toiminnassa 360-kuvaukseen.

Tarkasteltava ohjelmistoperhe on Elomatic Oy:n tarjoama ePlant360, jossa on mahdollista linkittää käyttökohteita pallopanoraamana kuvattuihin valokuviin (Kuva 22). Ohjelmisto esittää laitoksen laitteet, huoltohistorian ja laitedokumentit jotka ovat liitetty 360-astetta kääntyvään kuvaan. Jokaisella laitteella on omat infopisteensä, joita valitsemalla saadaan näkyviin edellä mainitut tiedot. Tällöin käyttäjä voi helposti tarkastaa haluamansa laitteeseen lisätyt laitedokumentit ja tiedot. Ohjelmisto mahdollistaa myös vikailmoitusten kohdentamisen valitulle laitteelle. (Elomatic Oy.)



Kuva 22. 360 Tools, kuvankaappaus. (Elomatic Oy.)

Ohjelmistoperheeseen kuuluu myös laitossovelluksen lisäksi eMAP360 ohjelmisto, joka on verkostojen kunnossapidon ja toiminnan hallintaohjelmisto. eMap360 käyttää selainpohjaista käyttöliittymää, jossa verkoston osat ja huollot sekä dokumentit on liitetty karttanäkymiin. (Elomatic Oy.)

Mobiilitietopalvelut on otettu tässä työssä erilliseksi tarkastelu kohteeksi ja termillä tarkoitetaan tietopalvelua, joka toimii tietokoneella, tabletilla tai kännykällä. Tietopalvelun avulla voidaan parantaa valvontaa, kustannusseurantaa, raportointia ja turvallisuusdokumentointia. Sovelluksilla on mahdollista tallentaa toimenpidepaikat, laatumittaukset, käytetyt materiaalit ja maastohavainnot paikan päällä käyttäen raportointiin mobiililaitetta. Toimenpiteiden liitteiksi voidaan maastosta ottaa myös digitaalisia valokuvia. (Tietomekka Oy)

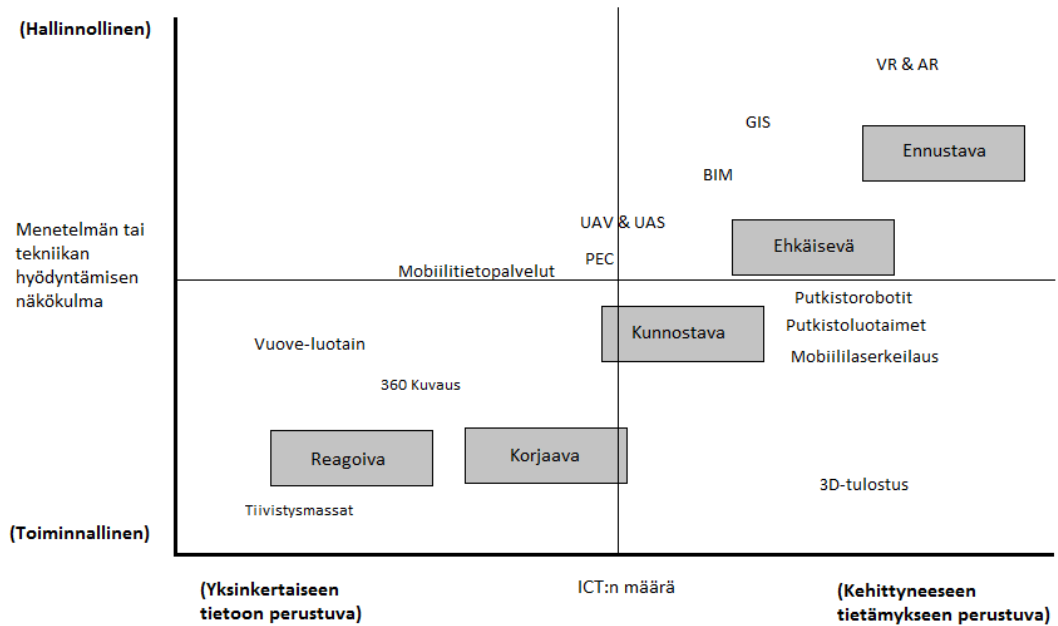
Mobiilitietopalvelua voidaan hyödyntää itsenäisesti esimerkiksi korvaamaan perinteisiä tietokoneella toimivia dokumentointi ohjelmistoja tai osana jotakin muuta kokonaisuutta, kuten tässä kappaleessa esitetystä ePlant360 ohjelmistossa. Mobiilitietopalveluun rinnastettavaa mobiilikäyttöliittymää tarjoavat myös paikkatietojärjestelmät jotka sisältävät mahdollisuuden käyttää natiiveja sovellutuksia Android- ja iOS-alustoilla (Ukkonen 2017).

Mobiilitietopalvelua hyödynnetään kunnossapidossa jo nyt esimerkiksi teiden alueurakoissa työnjohdon ja urakoitsijoiden välisenä laadun ja raportoinnin välineenä.

5 Vertailu

Nelikenttämalli (Kuva 23) kuvaa kartoitettujen tarkastelukohteiden sijoittumista neljään suuntaan jaetulla kuvaajalla ja kahdesta valitusta näkökulmasta. Mallissa vasemmalle asetuvat ne tarkastelukohteet, jotka hyödyntävät tai sisältävät vähintään informaatio- ja kommunikaatioteknologiaan (ICT) perustuvia menetelmiä tai sovelluksia, ja oikealle taas puolestaan ne joiden toiminta luottaa edellä mainittuihin teknologioihin eniten. Yksinkertaistettuna voidaan siis sanoa, että yleisesti vasemmalle sijoittuneet menetelmät ja tekniikat ovat yksinkertaisia mittalaitteita tai eivät sisällä ICT-teknologiaa lainkaan sekä tuottavat varsin yksiselitteistä informaatiota tai ovat ratkaisu tietynlaisen vikaantumisten korjaamiseen.

Mallin pystysuunta kuvastaa sitä, minkä luonteista hyötyä menetelmä tai tekniikka tuottaa, joista alaspäin sijoittuvat kohteet ovat niitä jotka tuottavat toiminnallista hyötyä kunnossapidolle. Ylös asetuvat ne kohteet, jotka ovat luonteeltaan hallinnollista hyötyä tuottavia, eli jotka eivät varsinaisesti korjaa mitään vikaa, mutta joilla on esimerkiksi päätöksentekoa helpottava tai ohjaava vaikutus. Nelikentässä on lisäksi kuvattu mihin perinteiset kunnossapidon lajit sijoittuvat näihin näkökulmiin nähden, jonka avulla visualisoidaan ja selvennetään tekniikoiden ja menetelmien hyödyntämismahdollisuutta kunnossapidon lajien mukaisissa tehtävissä.



Kuva 23. Nelikenttämalli.

Reagoivia ja korjaavia kunnossapito-osa-alueita lähellä olevat tekniikat ja menetelmät ovat sellaisia joiden tehtävänä tai kyynä on puuttua vain sellaisiin kunnossapidon tilanteisiin, joissa vikaantuminen tai ongelma havaitaan tai korjataan. Ennakoivaa kunnossapitoa lähellä olevat kohteet etsivät perimmäisen syyn siihen, miksi vikaantuminen tai ongelma tapahtuu, ja pyrkivät vähentämään näitä tapahtumia tuottamalla lisää tietoa, jota ennakointiin tarvitaan. Ehkäisevän kunnossapidon läheisyydessä sijaitsevat tekniikat ja menetelmät ovat sellaisia, joita voidaan käyttää suorittamaan jatkuvia, tietyn aikavälein tapahtuvia tarkastuksia, tai kunnossapitotoimenpiteitä joita tiedossa oleville vikaantumisen aiheuttajille tulee suorittaa tai jotka johtuvat ennustetun elinkaaren lopun lähestymisestä. Ennustavan kunnossapidon läheisyydessä sijaitsevilla kohteilla on oletettavasti mahdollisuus auttaa ymmärtämään laitteiden tai rakennusten tai muiden kunnossapidettävien osa-alueiden nykyistä ja tulevaa kuntotaso, jolloin vain vaaditut kunnossapitotoimenpiteet voidaan suorittaa suunnitelmallisesti.

Nelikenttämallia on luettava kriittisesti, sillä se on vain suuntaa antava ja luotu helpottamaan vertailtavien menetelmien ja tekniikoiden pisteyttämistä seuraavassa luvussa esiteltävässä ongelmanratkaisumatriisissa. Menetelmien ja tekniikoiden sijoittuminen nelikentässä on kirjoittajan oma näkemys ja käsitys, joka opinnäytetyöprosessin aikana on muodostunut. Mallin luonnissa on käytetty pohjana internet artikkelissa ”E-maintenance research: a multifaceted perspective” esitettyä kuvaajaa, mutta sekä ulkoasua että näkökulmaa on hieman muutettu tukemaan paremmin tätä opinnäytetyötä.

5.1 Ongelmanratkaisumatriisi

Vertailun pohjana on käytetty Kepner & Tregoe -ongelmanratkaisumatriisia. Kepner Tregoe on päätöksen tekoa varten luotu ongelmanratkaisu työkalu, jossa jäsenellään kerättyjä menetelmiä ja tietoja sekä priorisoidaan ja arvioidaan niitä. Sen kehitti Charles H. Kepner ja Benjamin B. Tregoe 1960-luvulla. Sen tarkoituksena ei ole löytää täydellistä ratkaisua johonkin tiettyyn ongelmaan vaan löytää paras mahdollinen asetettujen tavoitteiden pohjalta.

Vaikka menetelmä tarjoaakin puolueettoman ongelmanratkaisumatriisin, jonkun on päätettävä, miten pisteet valituissa ominaisuuksissa määräytyvät ja miten kunkin ominaisuuden merkittävyys määräytyy painoarvoksi. (Mc Dermott.)

Kepner ja Tregoe -menetelmän etuna on kuitenkin se, että sillä on mahdollista vertailla toisistaan hyvin erilaisia tekniikoita ja menetelmiä ja se sopii näin ollen tämän opinnäytetyön vertailuosion suorittamiseen. Tässä luvussa käydään läpi, miten menetelmiä ja tekniikoita on matriisissa vertailtu ja miten taulukko on rakentunut.

5.2 Pakolliset ominaisuudet

Vertailussa pakolliset ominaisuudet toimivat siten, että ainakin niiden on täytettävä, jotta uusi tekniikka tai menetelmä voi jatkaa vertailussa pisteytykseen asti. Pakollisiksi ominaisuuksiksi on valittu sellaisia asioita, jotka ovat yleispäteviä, mutta joiden voidaan katsoa olevan lähtökohtaisesti kaikkein tärkeimpiä seikkoja,

joita uusilta menetelmiltä ja tekniikoilta odotetaan. Näiden ominaisuuksien on tarkoitus poistaa vertailusta sellaiset vaihtoehdot jotka ovat vasta kehitysvaiheessa ja voidaan näin ollen katsoa olevan soveltumattomia käytäntöön tai olevan liian riskialttiita. Valitut pakolliset ominaisuudet ovat seuraavat:

- **Käyttöönottavuus** - Tekniikka on kehitykseltään siinä pisteessä, että sillä on jo käyttöön otettava sovellus joko järjestelmänä, menetelmänä tai laitteena
- **Hyödynnettävyys** - Tekniikka tai menetelmä on hyödynnettävissä ja tuottaa konkreettista hyötyä yritykselle tiedon tai tuloksen muodossa
- **Turvallisuus** - Menetelmä tai tekniikka on täysin turvallinen tai parantaa turvallisuutta perinteisiin menetelmiin verrattuna
- **Terveellisyys** - Menetelmä tai tekniikka ei tuota ihmiselle tai ympäristölle terveellisyyttä vaarantavaa haittaa

5.3 Halutut ominaisuudet

Haluttuja ominaisuuksia, joita vertailussa eri tekniikoille ja menetelmille pisteytetään, päätettiin määrittää vähintään kymmenen. Halutut ominaisuudet ovat sellaisia arvoja tai ominaisuuksia, joita yritys uuden tekniikan tai menetelmän haluaa täyttävän. Kaikkia ominaisuuksia vertailtavien vaihtoehtojen ei tule täyttää, mutta pisteet kertyvät sen mukaan miten hyvin ennalta asetettu ominaisuus sopii vertailtavan kohdalla. Haluttuja ominaisuuksia voi listata useampiakin, mutta tämän vertailun kohdalla alla listattujen ominaisuuksien katsottiin tuottavan tarpeeksi tietoa ja hajontaa vertailtavien vaihtoehtojen välillä.

- **Tiedonsiirto** - Tieto siirtyy vaivattomasti käyttäjien tai laitosten välillä
- **Havainnollisuus** - Tiedot tai tulokset on nopeasti ja helposti ymmärrettävissä ja hyödynnettävissä
- **Helppokäyttöisyys** - Menetelmä tai tekniikka on kenen tahansa hyödynnettävissä, eikä vaadi erillistä perehtymistä ja kouluttautumista

- **Testattavuus** - Menetelmää tai tekniikkaa on mahdollista testata ennen varsinaista investointi- tai hankintapäätöstä
- **Käyttökohteiden monipuolisuus** - Menetelmää tai tekniikkaa voidaan hyödyntää tehdasalueella useammassa kuin yhdessä kohteessa tai ne soveltuvat useampaan käyttötarkoitukseen
- **Huollettavuus** - Menetelmä tai tekniikka on huoltovapaa tai ei vaadi jatkuvaa huoltamista tai uusimista
- **Henkilöstötarve** - Menetelmä tai tekniikka toimii itsenäisesti tai sitoo suorituksen ajaksi vähän henkilöstöä
- **Ylläpitokustannukset** - Menetelmä tai tekniikka ei aiheuta suuria ylläpitokuluja tai ylläpito ei tuota alkuinvestoinnin jälkeen lainkaan kustannuksia
- **Ennakoitavuus** - Menetelmä tai tekniikka tuottaa ennakoivaa tietoa kunnossapidon tarpeisiin
- **Hankittavuus** - Menetelmän tai tekniikan hankinta on nopeaa ja se on suoraan käyttöön otettavissa tai saatavilla Suomesta.

5.4 Pisteytys

Ensimmäisessä versiossa pisteytys oli myös asetettu välille 4–10. Pisteytyksen ideana oli, että jokainen menetelmä saisi kaikkien ominaisuuksien kohdalla edes jonkun arvon, eikä näin yksittäisen ominaisuuden puuttuminen aiheuttaisi liiallista vähennystä pisteistä. Pidemmän pohdinnan ja keskustelun pohjalta päätettiin, ettei vertailtaville voida antaa sellaisia pisteitä ominaisuuksista joita ne eivät täytä. Lisäksi suurempi vaihtelu pisteissä voidaan katsoa parantavan vertailun lopputulosta, koska se auttaa parhaiten ominaisuuksia täyttäviä tekniikoita ja menetelmiä erottumaan vertailussa. Ominaisuuskohtaisesti määräytyvät pisteet on esitetty opinnäytetyön liitteessä (1), jossa on selitetty miten pisteet kuhunkin sarakkeeseen on valittu.

5.5 Painoarvo

Pisteille annettu painoarvo kuvaa halutun ominaisuuden tärkeyttä yritykselle. Painoarvot, kuten menetelmälle tai tekniikalle annetut pisteetkin vaikuttavat paljon vertailun tulokseen ja ovat toisaalta juuri tämän takia ongelmallinen osa vertailua, koska tässä vaiheessa henkilökohtaisilla mielipiteillä ja valinnoilla on suuri vaikutus lopputulokseen. Tämän vuoksi painoarvoja valittaessa tulisi jokaisen halutun ominaisuuden osalta painotus päättää ryhmänä, jolloin henkilökohtaisen mielipiteen vaikutus voidaan minimoida. Toisaalta painoarvot voidaan nähdä myös vahvuutena, koska mallia voidaan muuttaa suhteellisen helposti ja tarkastella kuinka lopputulos muuttuu, kun tiettyjä arvoja painotetaan enemmän ja toisia vähemmän. Lisäksi painoarvolla kerrotut pisteet juuri näyttävät, mitkä ominaisuuden ja tekniikat täyttävät tärkeimmät kriteerit, jotka vertailuun on valittu ja nostavat juuri niiden menetelmien pistekertymää taulukossa.

Painoarvoiksi päätettiin antaa vertailussa kertoimet 2–5, alkuperäisen 4–10 vaihteluvälin sijaan. Päätöstä pohdittiin kokouksessa ja päädyttiin siihen lopputulokseen, että 2–5 kertoimet ovat sopivin vaihteluväli painoarvossa ja tuottavat selkeän lopputuloksen käytännössä. Alkuperäinen asteikko nähtiin liian laajana määrittämään sopivat painoarvot kunkin ominaisuuden kohdalle ja sitä vaihdettiin, jotta vertailusta saataisiin mahdollisimman eksakti ja mielipiteen vaikutus poistettua tai ainakin minimoitua. Kertoimia 0 ja 1 ei ole mielekästä käyttää painoarvona, koska kerroin 0 johtaa pisteiden nollaantumiseen ja kertoimella 1 säilytetään vain pisteytystaulukon määrittämisen mukainen arvo. Selitykset annetuista painoarvoista on listattu alle taulukko muodossa (Taulukko 3).

| Painoarvo | Selitys |
|---------------|---------------------------------------|
| painoarvo = 2 | Haluttu ominaisuus |
| painoarvo = 3 | Tärkeä ominaisuus |
| painoarvo = 4 | Tärkeä ja haluttu ominaisuus |
| painoarvo = 5 | Erittäin tärkeä ja haluttu ominaisuus |

Taulukko 3. Painoarvo

5.6 Pisteyttämättömät lisäominaisuudet

Pisteyttämättömiä lisäominaisuuksia on kullekin tekniikalle ja menetelmälle olemassa lukuisia, mutta niitä ei tässä vertailussa pystytä yhdenvertaisesti tarkastelemaan. Pisteyttämättömien lisäominaisuuksien vaikutus on joissain tapauksissa hyvin merkittävä ja niiden olemassaolo onkin hyvä tiedostaa. Pisteyttämättömiä ominaisuuksia voivat olla esimerkiksi tekniikan tai menetelmän hankintakustannus, joista suuntaa antavaa tietoa on kerätty alapuolen taulukkoon (Taulukko 4) tai kokonaan ulkopuolisen tekijän suorittama työ vertailtavilla kohteilla, mikä vaikuttaisi haluttujen ominaisuuksien pisteytykseen.

| Menetelmä tai tekniikka | Hankintakustannus | Laji |
|-------------------------|--------------------|---|
| GIS | 1300 – 9000 e | Lisenssi ja ohjelmisto |
| BIM | 3000 – 10000e | Lisenssi ja ohjelmisto |
| UAV ja UAS | 4000e 500-3000e | (Geodrone) 2pv Koulutus ja kokeilu 2vk keskiverto laitteisto |
| Mobiililaserkeilaus | 8000e | Laitteisto |
| Mobiilitietopalvelut | - | |
| Putkistoluotaimet | - | |
| Putkistorobotit | - | |
| Vuove-luotain | - | Laitteisto |
| VR | 50-500e | Lasit |
| 360 | 200-400e | Kamera |
| 3D-tulostus | 1000-5000e | Tulostin |
| PEC | - | |

Taulukko 4. Suuntaa antavia hintatietoja

Työssä esitetty vertailu perustuu pääosin ajatukseen, että jokainen vertailtava vaihtoehto on tehty omana hankintana ja painoarvo on ajatus ominaisuuden tärkeydestä. Jos ulkopuolinen hankinta otettaisiin tarkasteluun mukaan, täytyisi taulukkoa muuttaa tietyiltä osin tai vaihtoehtoisesti antaa esimerkiksi täydet pisteet kohdista, joita tällöin ei tarvitse huomioida (Liite 1). Kustannustehokkuus olisi

myös merkittävä lisäominaisuus, joka vertailussa tulisi huomioida ja sen voisi si-
toa esimerkiksi painoarvoon, jos vertailtavien vaihtoehtojen tarkat tiedot kunkin
ominaisuuden kohdalla olisi selvillä ja näin myös painoarvosta saataisiin poistet-
tua mielipiteen vaikutus. Alapuolella on kuvankaappaus havainnollistamaan mat-
riisin lopullista ulkoasua (Kuva 24). Kuvassa keltainen väri tarkoittaa halutun omi-
naisuuden täyttymisen olevan kyseenalainen tai se vaatisi lisäselvitystä. Täydell-
inen taulukko on lisätty opinnäytetyön liitteeksi (8).

| Kepner & Tregoe - ongelmanratkaisumalli | Pakolliset ominaisuudet | | GIS | | BIM | | PEC | | Mobiililaserkeilaus | | |
|--|-------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|---------------------|------------|----|
| | 1. Käytönotettavuus | | Kyllä / Ei | | Kyllä / Ei | | Kyllä / Ei | | Kyllä / Ei | | |
| | 2. Hyödynnettävyys | | Kyllä / Ei | | Kyllä / Ei | | Kyllä / Ei | | Kyllä / Ei | | |
| | 3. Turvallisuus | | Kyllä / Ei | | Kyllä / Ei | | Kyllä / Ei | | Kyllä / Ei | | |
| | 4. Terveellisyys | | Kyllä / Ei | | Kyllä / Ei | | Kyllä / Ei | | Kyllä / Ei | | |
| Halutut ominaisuudet | Painoarvo | Pistemäärä | Painotettu | Pistemäärä | Painotettu | Pistemäärä | Painotettu | Pistemäärä | Painotettu | | |
| Tiedonsiirto | 4 | 4 | 16 | 3 | 12 | 4 | 16 | 2 | 8 | | |
| Havainnollisuus | 3 | 4 | 12 | 2 | 6 | 3 | 9 | 2 | 6 | | |
| Helppokäyttöisyys | 3 | 3 | 9 | 1 | 3 | 3 | 9 | 3 | 9 | | |
| Testattavuus | 4 | 4 | 16 | 4 | 16 | 1 | 4 | 1 | 4 | | |
| Monipuolisuus | 2 | 4 | 8 | 4 | 8 | 3 | 6 | 3 | 6 | | |
| Huollettavuus | 4 | 3 | 12 | 4 | 16 | 2 | 8 | 2 | 8 | | |
| Henkilöstötarve | 3 | 2 | 6 | 2 | 6 | 3 | 9 | 3 | 9 | | |
| Ylläpitokustannukset | 2 | 3 | 6 | 3 | 6 | 4 | 8 | 4 | 8 | | |
| Ennakoitavuus | 5 | 5 | 25 | 4 | 20 | 3 | 15 | 1 | 5 | | |
| Hankittavuus | 5 | 3 | 15 | 4 | 20 | 3 | 15 | 5 | 25 | | |
| | | | Yhdistetty | 125 | | Yhdistetty | 113 | Yhdistetty | 99 | Yhdistetty | 88 |

Kuva 24. Valmiin Kepner & Tregoe -ongelmanratkaisumatriisin esimerkki.

5.7 Pisteytys osa-alueittain

Tässä luvussa on esitetty valmiin vertailun pisteytyksen tuloksen muodostuminen
ominaisuuskohtaisesti yleisellä tasolla. Pisteytys pohjautuu liitteessä (1) esitettyi-
hin kriteereihin. Osa-alueittain esitetyt tarkat tulokset on esitetty opinnäytetyön liit-
teessä (8) Excel-tilukkomuodossa.

Tiedonsiirron osalta korkeimmat pisteet muodostuivat menetelmille ja tekniikoille,
joiden tiedonsiirto-ominaisuudet olivat parhaat. Nämä sisältävät itsessään ohjel-
miston osana järjestelmää, jolla tietoja tai tuloksia voidaan analysoida, tai tuotta-
vat yksiselitteistä dataa, jota ei tarvitse muuntaa sen siirtämiseksi ja tulkitse-
miseksi muualla. Mobiilitietopalvelu, GIS, PEC, UAS ja 360-kuvaus saivat tästä
osiosta suurimmat pisteet. Keskimääräiset pisteet saivat putkistoluotaimet, put-
kistorobotit ja BIM, joiden tiedonsiirto-ominaisuudet vaativat yleisesti useampia
ohjelmistoja, jotta tietoja voidaan siirtää tai käsitellä. Alhaisimmat pisteet saivat

3D-tulostus, VR ja mobiililaserkeilaus, joiden tuottamaa tietoa ei sellaisenaan ole tarkoitus edes siirtää tai se on tulkittu haastavaksi.

Havainnollisuudesta korkeimmat pisteet muodostuivat VR tekniikalle, sen käyttökohteiden ollessa tällä hetkellä vahvimmin käytössä rakennustekniikassa juuri siinä tehtävässä. Matalimmat pisteet havainnollisuudesta saivat mobiililaserkeilaus, BIM ja PEC. Vaikka tietomalli (BIM) on hyvinkin havainnollinen visuaalisesti kuten PEC-tekniikkakin Lyftin ratkaisuille, vaativat ne käyttäjältä enemmän tietämystä ja osaamista ominaisuuden hyödyntämisen osalta. Muut menetelmät ja tekniikat saivat osiosta keskimääräiset pisteet.

Mobiilitietopalvelu ja 360-kuvaus saivat korkeimmat pisteet helppokäyttöisyydestä. Molempien tekniikoiden kehitystä on ohjannut pitkälti halu saada menetelmä helppokäyttöiseen muotoon ja esimerkiksi 360-kameroita on jo laajalti saatavissa esimerkiksi älypuhelimien lisälaitteeksi, jolloin käyttöä on mietitty nimenomaan käyttäjäystävällisyyden näkökulmasta. Muut vertailtavat tekniikat ja menetelmät saivat osiosta keskimääräiset pisteet, lukuun ottamatta tietomallin helppokäyttöisyyttä, joka sai osiosta matalimmat pisteet, johtuen vaatimuksista joita mallin tarkastelu tai tuottaminen vaatii. Luvussa 4.3 on käsitelty näitä seikkoja tarkemmin.

Testattavuudessa korkeimmat pisteet saivat menetelmät, joita on mahdollista testata käytännössä ilman varsinaista investointia. Näitä olivat Mobiilitietopalvelu, VR, BIM ja GIS. Näistä tekniikoista ja menetelmistä on siis saatavilla testiversioita tai niihin on muuten mahdollista tutustua ilman sijoittamista tekniikkaan tai ohjelmistoon. 3D-tulostus ja UAS saivat osiosta keskimääräiset pisteet, mikä tarkoittaa, ettei niistä ole varsinaisesti testattavaa versiota mutta niiden toimintaan ja käyttöön on suhteellisen helppo tutustua esimerkiksi kyseistä teknologiaa hyödyntävän yrityksen esittelyllä. Matalimmat pisteet testattavuudesta saivat jäljelle jääneet menetelmät. Mataliin pisteisiin johtaneita syitä olivat esimerkiksi tekniikan haasteellinen saatavuus ja tekniikan testaamisen vaikeus.

Monipuolisuuden osalta pisteytys oli melko tasainen. Korkeimpiin pisteisiin ylsivät Mobiilitietopalvelu, putkistorobotit, UAS, BIM ja GIS näiden ollessa menetelmiä,

joilla on potentiaalisesti useampia käyttömahdollisuuksia kunnossapidon näkökulmasta. Pienimmät pisteet muodostuivat VR- ja Vuove-luotain-tekniikoille. Näillä tekniikoilla on nykyhetkellä rajattu käyttötarkoitus, joten pisteet tästä osiosta jäävät mataliksi.

Vuove-luotain, putkistoluotaimet ja BIM saivat huollettavuuden osalta korkeimmat pisteet, mikä tarkoittaa, että nämä menetelmät tai tekniikat ovat sellaisia, jotka eivät vaadi huoltamista joko olleenkaan tai vain harvoin. Huolloksi on laskettu ohjelmistojen päivittäminen. Mobiilitietopalvelu ja GIS saivat osiosta keskimääräiset pisteet niiden vaatiessa ajoittaista päivittämistä toimiakseen. Näiden jälkeen tulevat menetelmät olivat sellaisia, joiden huolto on joko vaikeaa tai sitä tarvitaan suhteellisen usein. Huonoimmat pisteet osiosta sai VR-tekniikka, joka vikaantuessa ainakin virtuaalilasien osalta vaatii todennäköisesti uuden laitteen ostamista teknologian ollessa vaikeasti huollettavissa, sillä se on varsin uusi teknologia, joten huolto-osaaminen voi olla harvinaista ja aikaa vievää.

Pienin henkilöstövaatimus tekniikan tai menetelmän osalta johti korkeimpiin pisteisiin henkilöstötarve ominaisuudesta. Korkeimmat pisteet tästä saivat Putkistoluotaimet niiden toimiessa varsin yksinäisesti mittauksen aikana ja vaatiessaan vain pienen ryhmän seuraamaan mittauksia kertaluonteisesti. 3D-tulostus, Putkistorobotit, Vuove-luotain, 360-kuvaus, UAS ja VR saivat keskimääräiset pisteet henkilöstövaatimuksen osalta. Matalimmat pisteet muodostuivat GIS, BIM ja Mobiilitietopalveluille niiden ollessa luonteeltaan menetelmiä, jotka vaativat hyödyntämisen kannalta useamman henkilön käyttävän tekniikkaa, mikä johti pisteiden vähenemiseen asetettujen kriteerien osalta.

Suurimmat ylläpitokustannukset katsottiin olevan 3D-tulostus menetelmällä, kun tarkastellaan kokonaisuutta kustannushyödyn näkökulmasta. Parhaat pisteet samasta näkökulmasta muodostui Vuove-luotain, putkistoluotain, ja VR menetelmille, eli edellä mainitut tekniikat eivät vaadi varsinaista ylläpitoa tai kustannukset ovat suhteellisen matalat. Muut tarkasteltavat menetelmät ja tekniikat saivat keskimääräiset pisteet osiosta. Keskimääräisten pisteiden vertailukohteet tarvitsevat ylläpitoon ajoittaisia päivityksiä tai kalibrointeja, jotka aiheuttavat ajoittaisia kustannuksia.

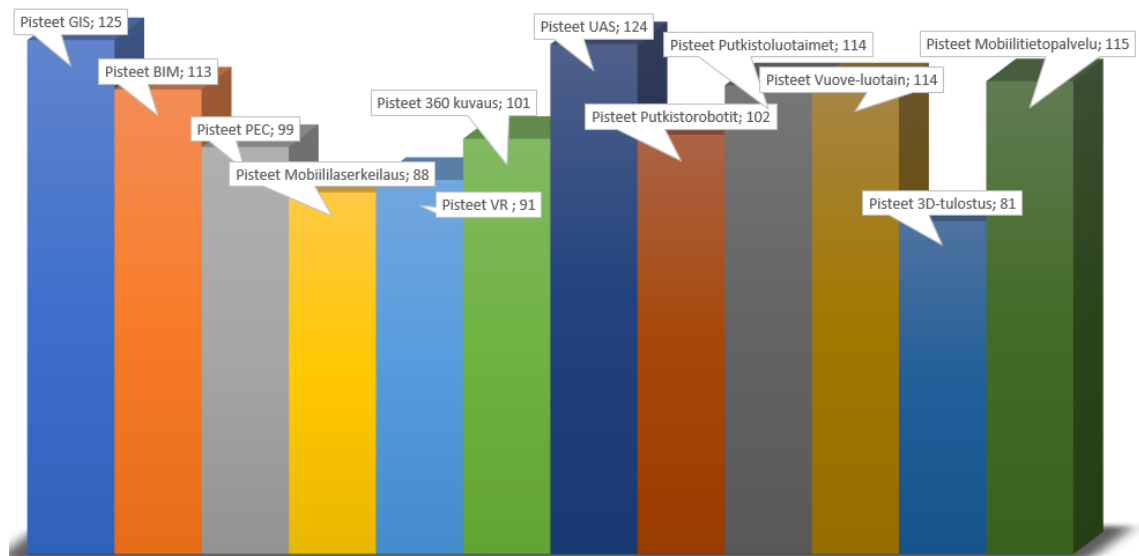
Ennakoitavuus oli lähtökohtaisesti yksi merkittävimpiä menetelmille ja tekniikoille asetettuja haluttuja ominaisuuksia. GIS sai osiosta korkeimmat pisteet menetelmän sisältämien analyysi ja simulointi mahdollisuuksien vuoksi, joilla on mahdollista paremmin varautua mahdollisiin vaaratilanteisiin tai määrittää potentiaaliset riskialueet esimerkiksi putkistoverkossa kuntotietojen pohjalta. Toiseksi eniten pisteitä ennakoitavuuden osalta sai BIM, koska se tarjoaa laajat mahdollisuudet huoltotietojen dokumentoimiseen, valvontaan ja tarkasteluun, sekä turvallisuuden tai energiankulutuksen simulointiin. Kolmanneksi eniten pisteitä osiosta saivat PEC, putkistorobotit ja putkistoluotaimet. Nämä teknologiat mahdollistavat kunnossapidolle uusia työkaluja havainnoida ja tarkastaa vikaantumiseen johtuvia muutoksia ja näin antavat ennakoivaa tietoa kunnostustarpeesta. Vuove-luotain ja UAS saivat neljänneksi eniten pisteitä vertailtavista vaihtoehdoista. Menetelmiä voidaan hyödyntää käytännössä samalla tavalla ennakoitavuudessa kuten edellä mainittuja luotaimia, mutta näiden pääasiallinen toiminta perustuu enemmän vikaantumisen havaitsemiseen sen jo tapahduttua. Toiseksi vähiten pisteitä saivat 3D-tulostus ja mobiilitietopalvelu, jotka auttavat vain välillisesti ennakoimisessa. Vähiten pisteitä osiosta saivat VR ja 360-kuvaus, joilla ei tällä hetkellä ole sovelluksia joita voitaisiin hyödyntää vikaantumisen ennakoimisessa.

Viimeinen pisteytettävistä ominaisuuksista oli hankittavuus. Tästä osiosta korkeimmat pisteet muodostuivat menetelmille, joita voidaan hyödyntää heti kunnossapidossa ja joita on saatavilla kotimaisilta palveluntarjoajilta. Näitä menetelmiä olivat Vuove-luotain, UAS, 360-kuvaus, mobiililaserkeilaus. Keskimääräiset pisteet osiosta saivat mobiilitietopalvelu, 3D-tulostus, VR ja BIM, joiden hankinta on vaivatonta ja käyttöönottoaminen näennäisesti vain hieman edellä mainittuja haastavampaa. Loput menetelmät ja tekniikat saivat osiosta matalammat pisteet, koska tekniikka on vaikeammin hankittava tai se on mahdollista vain esimerkiksi ulkomailta.

6 Tulokset ja tunnuslukuvertailu

Tarkempaan tarkasteluun otettiin kaksi eniten pisteitä saanut vertailukohde ja yksi omavalintainen kohde, joka oli kolmanneksi eniten pisteitä saanut mobiilitietopalvelu. Opinnäytetyössä parhaat pisteet vertailussa saaneet menetelmät ja tekniikat olivat GIS, mobiilitietopalvelu ja UAV (Kuva 25). Tässä luvussa esitellään, miten edellä mainittuja menetelmiä voidaan rakennuskunnossapidossa jatkossa hyödyntää ja kenellä on valmistajista tai palveluntarjoajista soveltuvimmat ratkaisut nykyhetkellä. Mobiilitietopalveluille ei suoriteta tunnuslukuvertailua, mutta sen hyödyntämistä käsitellään hyödyntämissuunnitelma osiossa.

Yhdistetyt pisteet



Kuva 25. Yhdistetyt pisteet.

Benchmarking on prosessi, jossa mitataan yrityksen tuotteita, palveluja tai prosesseja muiden yritysten vastaaviin, joiden oletetaan olevan parhaita markkinoilla olevia toimijoita. Tarkoituksena on oppia parhailta ja ottaa samanlaiset toiminnot käyttöön omassa yrityksessä. Selvää suomenkielistä vastinetta sanalle ei ole, joten tässä työssä käytetään menetelmälle annettua nimeä Benchmarking. (Shopify Inc; Best Practices, LLC)

Prosessin tekoon on olemassa useita erilaisia lähtökohtia, joita ovat esimerkiksi prosessi-benchmarking, kilpailija-benchmarking, yritysten välinen-benchmarking,

ryhmä-benchmarking ja tunnusluku-benchmarking. Nämä voidaan vielä jakaa karkeasti kolmeen pääryhmään, joita ovat kilpailukykybenchmarking sekä sisäinen ja strateginen benchmarking. (Shopify Inc; Best Practices, LLC)

Sisäistä benchmarkingia käytetään, kun yritys on jo löytänyt ja todistanut parhaan käytännön. Kilpailukykybenchmarkingin tarkoitus on auttaa yritystä arvioimaan omaa asemaansa alalla verrattuna muihin toimijoihin. Strategista vaihtoehtoa käytetään, kun halutaan tunnistaa ja analysoida maailmanluokan suorituskykyä. Strategiseen malliin turvaudutaan yleensä silloin, kun yrityksen on mentävä oman teollisuuden alansa ulkopuolelle tunnistaakseen parhaan suorituskyvyn. (Six Sigma.)

Benchmarking on prosessina haasteellinen vertailutapa toteuttaa sen asettamien kriteerien suhteen, joten työssä vaihdettiin alkuperäistä suunnitelmaa ja päädyttiin käyttämään perinteisempää tunnuslukuihin perustuvaa vertailua valmistajien välillä. Tunnuslukuvertailu tässä työssä ei edusta perinteistä määritelmän mukaista Benchmarking vertailua, vaikka tunnuslukuvertailu esiintyykin monesti kirjallisuudessa osana sen prosessia. Alla olevassa taulukossa 5 on esitetty niin sanotun täysverisen benchmarkingin ja tunnuslukuihin perustuvan vertailun eroja.

| Benchmarking | Tunnuslukuvertailu |
|-------------------------------------|---|
| Keskittyy parhaaseen käytäntöön | Keskittyy vertailtaviin lukuihin |
| Tähtää jatkuvaan parantamiseen | Kertaluontoinen |
| Tähtää kilpailukyvyn säilyttämiseen | Tähtää kuvaamaan valittuja tunnuslukuja, tähtää valintaan |

Taulukko 5. Benchmarkingin ja tunnuslukuvertailun eroja

Tunnuslukuvertailu voi taulukon tietojen perusteella tuntua jäävän benchmarkingin varjoon, mutta tunnuslukuvertailu on selvästi vaivattomampi suorittaa ja pienemmällä resursseilla, sekä se on nopeasti hahmotettavissa. Tunnuslukuvertailussa käytettiin lähteenä internetaineistoja.

6.1 Drone-tunnuslukuvertailu

Kopterien vertailu ei ole yksinkertainen tehtävä sillä alalla hyvin paljon tarjontaa ja erilaisia ratkaisuita toisistaan poikkeaviin käyttötarkoituksiin. Vertailu helpottuu, jos on tiedossa jokin tietty tehtävä, johon lennokkia suunnitellaan käytettäväksi. Joihinkin tiettyihin tehtäviin on saatavilla myös eritoten siihen käyttötarkoitukseen kustomoituja lennokkiratkaisuja, esimerkiksi tulipalon sammuttamiseen tai ikkunoiden pesemiseen. Tässä vertailussa käsitellään vähemmän kustomoituja malleja ja keskitytään vertaamaan yleisesti siviilikäyttöön markkinoituja lennokkeja. Dronea valittaessa ensimmäisenä tulisi tarkastella käyttöön ja toimivuuteen vaikuttavia seikkoja, joita ovat esimerkiksi seuraavat:

- **Kestävyys**

Lennoikin materiaali vaikuttaa paljon siihen, kuinka hyvin se kestää iskuja ja kolhuja, joita melkein väkisin syntyy ainakin opetteluvaiheessa.

- **Lennätettävyyys**

Lennokkeja on saatavilla paljon erilaisilla lennättämisominaisuuksilla. Tärkeintä olisi kuitenkin löytää sellaiset mallit, jotka sisältävät lentoa helpottavia ominaisuuksia ja jotka kykenevät lentämään tietyn asteisessa tuullessa vakaasti.

- **Lentoaika**

Lentoaika vaikuttaa paljon lennoikin käytettävyyteen tehtävissä, joten se on väistämättä yksi tärkeimmistä ominaisuuksista.

- **Lisäosat ja tarvikkeet**

Droneissa olisi hyvä olla saatavilla erillisiä akkuja ja kameran tulisi olla vaihdettavissa, jotta ammattilaiskäyttö olisi lennokilla mahdollista ja tehtävien operaatioiden määrä monipuolisempi.

- **Dronen ominaisuudet**

Droneissa on hinnasta ja mallista riippuen kirjon erilaisia ominaisuuksia. Näistä huomattavimmat ovat automaattinen kotiinpaluu, automaattinen nousu ja laskeutuminen, korkeuden lukitus, törmäyksen esto ja ennalta asetetun reitin automaattinen lentäminen.

Näiden tietojen pohjalta on opinnäytetyön liitteessä (2) esitetyt lennökkimallit listattu ja niille on tehty kappaleen alussa mainittu tunnuslukuvertailu, käytön ja toimivuuden kannalta tärkeimpien seikkojen näkökulmasta mikä löytyy opinnäytetyön liitteestä (3).

6.2 Paikkatietojärjestelmien tunnuslukuvertailu

Paikkatietojärjestelmien vertailuun on otettava hieman erilainen näkökulma kuin UAV-tapauksessa, ja muutamista ohjelmistoista on tehty tärkeimpien ominaisuuksien pohjalta tunnuslukuvertailu. Huomioon otettavista asioista ensimmäinen on se, että paikkatietojärjestelmistä on olemassa sekä kaupallisia että avoimeen lähdekoodiin perustuvia ohjelmistoja, joista voidaan valita.

Kaupallisia vaihtoehtoja tarjoavat esimerkiksi Esri ArcGIS, MapInfo Professional ja Oracle Spatial, jotka ovat laajasti käytössä teollisuudessa ja julkisella sektorilla erilaisissa tehtävissä. Kaupallisten paikkatietojärjestelmien suuri käyttäjäkunta perustuu pitkälti niiden tehokkaisuuteen analytiikkatyökaluihin, joita ohjelmistot tarjoavat ja pitkälle vietyyn erikoistumiseen ohjelmistojen kehityksessä.

Avointa lähdekoodia käyttävät paikkatietojärjestelmät ovat nopeasti kasvattaneet suosiotaan. Näitä ohjelmistoja ovat esimerkiksi PostGIS, QGIS, GeoServer, OpenLayers ja OpenStreetMap jotka ovat nyt saatavilla. Avointa lähdekoodia käyttävät ohjelmistot ovat kaikille ilmaisia ja toimivat usein hyvin erilaisilla alustoilla. Vapaaehtoiset kehittäjät tekevät aika-ajoin päivityksiä ja ohjelmistovirheiden korjausta näihin ohjelmistoihin. Vapaan ja rajoittamattoman tiedon sekä käsittelytyökalujen saatavuus selittää, miksi avoimen lähdekoodin ratkaisut ovat nopeaa vauhtia yleistymässä ja tulossa entistä enemmän hyödynnetyksi sekä yksityisessä että julkisessa käytössä.

Tässä vertailussa kohteena on kaupalliset ohjelmistot. Pohjana tunnuslukuvertailulle GIS-järjestelmien osalta on käytetty The Forrester tutkimuslaitoksen julkaisemaa raporttia "The Forrester Wave™: Geospatial Analytics Tools And Platforms, Q3 2016" jonka kriteereinä vertailuun otettaville järjestelmille toimivat seuraavat ehdot:

- Vähintään 10 miljoonan dollarin liikevaihto
- Vähintään 10 yritystä hyödyntävät järjestelmää, tai 10000 käyttäjää
- Mahdollisuus sisällyttää, muodostaa ja analysoida dataa
- Tarjoaa mahdollisuuden käyttää Wi-Fi, BLE ja GPS dataa

Vertailutaulukossa numerointi toimii ominaisuuksien täyttymisen havainnollistajana parhaimmasta heikoimpaan. Mikäli numero on sama, tarkoittaa se, että kyseiset järjestelmät ovat samalla viivalla. Vertailu löytyy opinnäytetyön liitteestä (4). Yhteenveto keskinäisestä järjestyksestä on esitetty kuvassa 26 vahvimasta heikoimpaan.

| |
|--|
| Esri: ArcGIS |
| Pitney Bowes: Pitney Bowes Location Intelligence Suite, Spectrum Technology Platform |
| Oracle: Oracle Spatial |
| SAP: SAP Hana Platform, SAP Data Services, SAP BusinessObjects Lumira, and SAP BusinessObjects Cloud |
| Alteryx: Alteryx Designer, Alteryx Server, and Alteryx Analytics Gallery |
| MapLarge: MapLarge Mapping Engine |

Kuva 26. Vertailun yhteenveto.

Vaikka tunnuslukujen pohjalta voidaan ohjelmistoja johonkin asti verrata, se ei vielä riitä hankintapäätöksen pohjaksi, sillä on olemassa monia virheitä, joihin paikkatietojärjestelmää valittaessa on mahdollista sortua. Vaikka järjestelmään voikin suoraan hankkia kaupallisista versioista lisenssin lisäksi markkinoivan yritysten tarjoaman käyttöönotto palvelun, tulisi hankintaan tutustua silti tarkemmin. Esimerkkinä voidaan mainita järjestelmään siirrettävän datan valinnan suuri merkitys, sillä ne muodostavat noin 60 - 80 prosenttia kokonaisuuteen kuluva ajasta ja kustannuksista. (Bernhardsen 1999.)

6.3 Hyödyntämissuunnitelma

Tämä luku toimii yhteenvetona opinnäytetyön aikana selvitettyjen menetelmien ja tekniikoiden hyödyntämiselle rakennuskunnossapidossa. Luvussa tutustutaan kolmen valitun menetelmän osalta niiden keskeisiin hyödyntämismahdollisuuksiin sekä miten niiden käyttöönotto voitaisiin toteuttaa ja mihin yksityiskohtiin päätöksiä tehdessä tulisi kiinnittää huomiota.

Drone-järjestelmien kohdalla keskeisin hyöty muodostuu jo aikaisemmin työssä mainittujen robottien mahdollistamista toiminnoista. dronella päästään suhteellisen helposti paikkoihin jotka ovat aikaisemmin olleet luoksepääsemättömiä tai vaatineet telineiden rakentamista tarkastuksen tai mittauksen suorittamiseksi. Samalla dronella tehty työskentely mahdollistaa haitallisessa ympäristössä toimimisen ilman suurempia erityistoimenpiteitä.

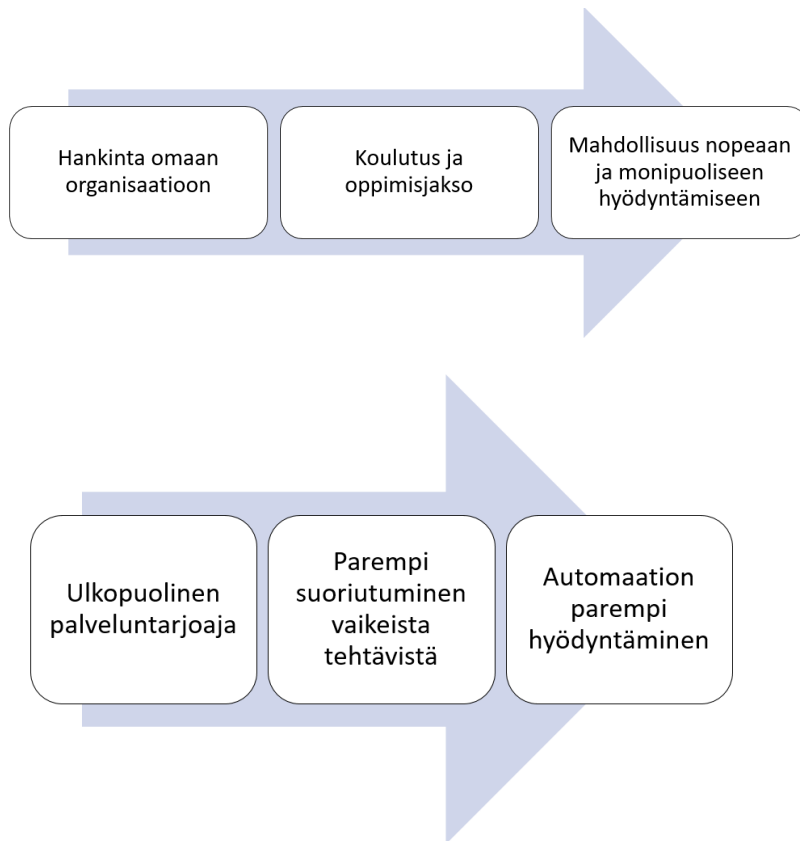
Tehdasalueella droneja voitaisiin käyttää jatkossa tarkastuksiin, jotka ovat aikaisemmin vaatineet telineiden rakentamista, jolloin hyödytään eniten menetelmän nopeudesta ja näennäisestä vaivattomuudesta verrattuna perinteiseen menetelmään. Suoritettavia toimenpiteitä, joita jo tällä hetkellä Dronella voitaisiin tehdä, ovat kuvien, videon, lämpökuvauksen ja 3D-profiilin tuottaminen kunnossapidon tarpeisiin ja näillä menettelemillä havaittavien vikojen tunnistaminen.

Jatkokehityksen kannalta Dronen hyödyntämistä voitaisiin miettiä tarkemmin esimerkiksi opinnäytetyön muodossa, missä voitaisiin selvittää laitteiston käytännön testaamista ja verrata tekniikkaa vanhoihin menetelmiin ja määrittää tarkemmin sen potentiaalista kustannushyötyä tehtävään kuluvaan ajan ja laadun osalta, jotta laajemman hyödyntämisen tai hintavamman laitehankinnan pohjalle saataisiin perusteita.

Lähtökohtaisesti dronen hyödyntämisessä on kaksi vaihtoehtoista toteutustapaa hankinnan näkökulmasta, joiden ydinkohdat on tiivistetty kuvaan 27. Näistä ensimmäinen on laitteiston hankinta omaan organisaation ja työntekijän tai useamman kouluttaminen laitteiston käyttöön. Toinen vaihtoehto on tekniikan ja palvelun hankinta ulkopuoliselta palveluntarjoajalta. Oman hankinnan etuna voidaan

pitää mahdollisesti edullisempaa hintaa ainakin laitteiston osalta ja mahdollisuutta hankkia järjestelmään lisälaitteita, kuten kameroita ja mittareita erilaisten toimenpiteiden suorittamiseen tällaiseksi laitteistoksi voisivat sopia esimerkiksi tunnuslukuvertailussa esitetty DJI phantom 4 tai Yuneec Typhoon H Pro.

Oman henkilöstön suorittamat mittaukset dronella voisivat lisätä yrityksen sisäistä tietotaitoa drone-tekniikasta ja antaisivat paremman muutosvalmiuskyvyn, jolla voitaisiin vastata tulevaisuudessa tuleviin uusiin hyödyntämismahdollisuuksiin nopeammin ja tehokkaammin. Ulkopuoliselta palveluntarjoajalta hankitun tekniikan hyödyt riippuvat pitkälti yritysten välisestä yhteistyön muodosta ja tekniikalle asetetuista tavoitteista. On kuitenkin perusteltua sanoa, että tämä hankintamalli mahdollistaa tekniikan nopeamman käyttöönoton, kun oppimiskäyrä hyödyntämisen osalta karsiutuu pois. Lisäksi ulkopuolisen hankinnan etuna on mahdollisesti korkeampi kyky suorittaa tiettyjä kunnossapitotehtäviä siihen tarkoitukseen suunnitelluilla ja rakennetuilla droneilla, jotka hyödyntävät toiminnassaan kehittyntä tekoälyä ja ovat näin soveltuvampia automaationa toimimiseen, eivätkä toimi vain tarkkailussa vaan pystyvät myös reagoimaan havaittuihin tilanteisiin. Lisäksi yrityksen kannalta ei ole järkevää opetella kaikkien teknologioiden käyttöä itse, sillä se ei ole organisaation päätoimista liiketoimintaa vaan palvelu kannattaa hankkia ulkopuoliselta osaajalta tai mahdollisesti kehittää sitä yhteistyössä esimerkiksi tukemalla tekniikanalan startup-yritysten innovaatioita, jollaiseen menettelyyn uusien tekniikoiden ja menetelmien kohdalla UPM Kaukaan tehtailla kunnossapidon organisaatiossa pyritään.



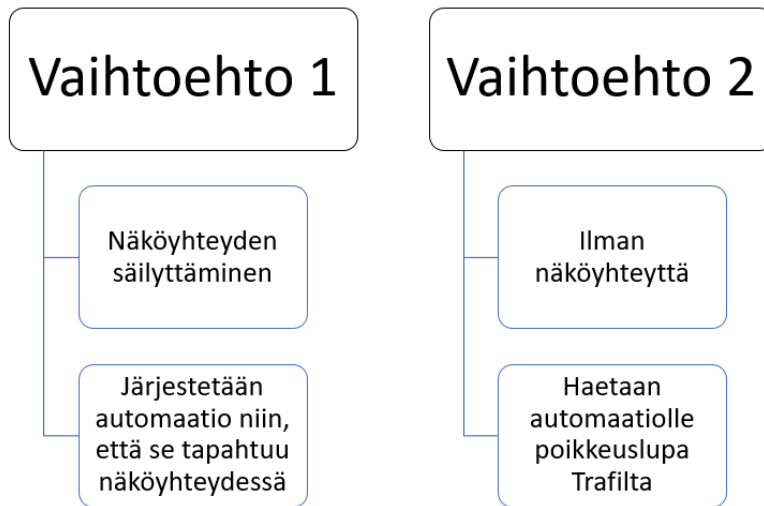
Kuva 27. Hankintatavan vaikutus.

Automaation toteuttamisen osalta on kiinnitettävä huomiota myös voimassa olevaan lainsäädäntöön, joka ohjaa miehittämättömien lennokkien toimintaa ja käyttöä. Keskeisimpiä osia lainsäädännön ja ohjeiden osalta ovat laitteen näköyhteys vaatimus ja lentokorkeus. Suomessa Droneja koskevien sääntöjen laatimisesta vastaa Trafi, jonka sääntöjen mukaan laitteeseen on oltava jatkuva näköyhteys ja lentokorkeus saa olla korkeintaan 100 metriä.

Ilmailulain pykälässä 9 on kuitenkin annettu muutamia säädöksiä, joilla rajoituksista voidaan poiketa:

Miehittämätön ilma-alus saa poiketa lentosäännöistä muulta ilmailulta kielletyllä tai miehittämättömän ilma-aluksen lennättämistä varten erotetulla alueella, jos poikkeava menettely on suunniteltu ja toteutetaan siten, ettei lentoturvallisuutta vaaranneta.

Automaatio on siis mahdollista toteuttaa käytännössä kahdella eri tavalla, jotka ovat esitetty kuvassa 28.



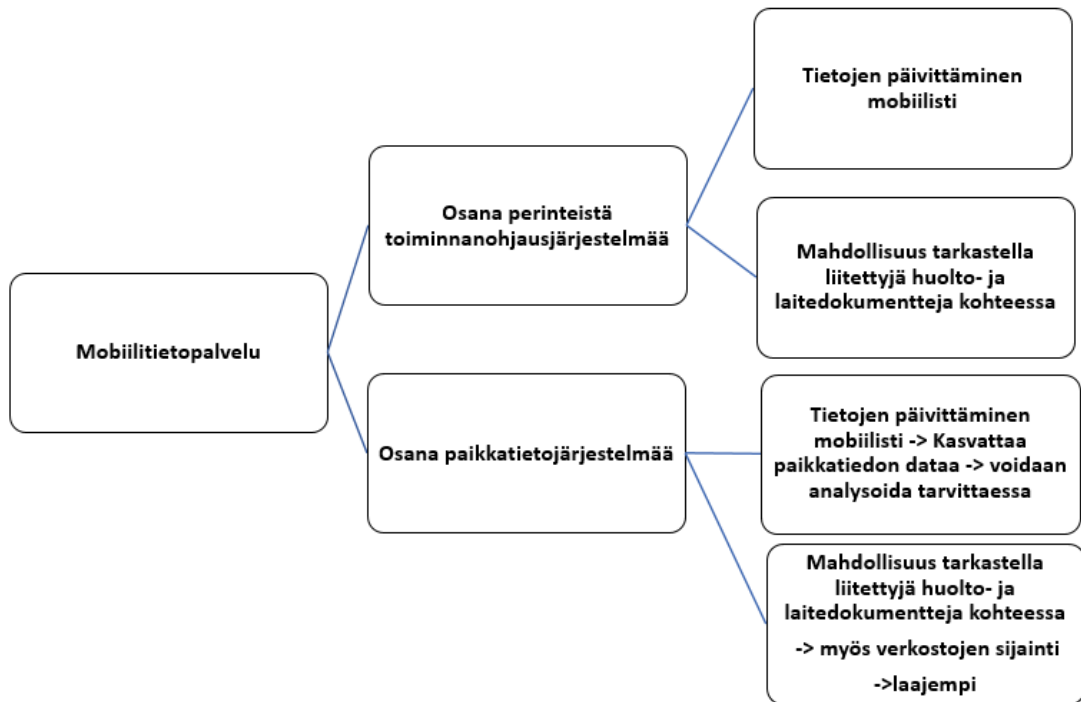
Kuva 28. Automaation järjestämisen vaihtoehtoja.

Lainsäädäntö on nykyhetkellä Dronejen hyödyntämisen osalta Suomessa suhteellisen salliva verrattuna joihinkin muihin maihin, mikä mahdollistaa laitteiston suhteellisen monipuolisen ja rajoittamattoman käyttämisen eri tarkoituksiin. Automaation käyttömahdollisuudet voivat lisääntyä keinoälyteknologian kehittyessä. (Korhonen, A. 2017.)

Mobiilitietopalvelun tuomia etuja ovat esimerkiksi luvussa 4.6 mainitut ominaisuudet, kuten valvonnan parantuminen, kustannusseuranta, raportointi ja turvallisuusdokumentointi. Erillisenä sovelluksena mobiilitietopalvelulla olisi mahdollista parantaa ainakin komennusmiesten eli ulkopuolisten urakoitsijoiden mahdollisuutta valmistautua suoritettavaan kunnossapitotehtävään paremmin sekä mahdollisesti kasvattaa näin työn suorituksen aikana laadullisia ominaisuuksia. Tämän lisäksi tietopalvelulla voitaisiin vaikuttaa kohteessa vakituisesti työskenteleviltä henkilöiltä komennusmiesten opastamiseen ja ohjaukseen kuluvaan aikaan, kun kohteeseen tutustuminen etukäteen ja reaaliajassa olisi mahdollista. Tämä voitaisiin toteuttaa esimerkiksi panoraamatekniikkaa hyödyntäen osana mobiilitietopalvelua. Myös lisätyn todellisuuden tapaista (Augmented Reality) käyttöliittymää voisi harkita mobiilitietopalvelun hyödyntämisessä. Turvallisuuden osalta Mobiilitietopalvelua voitaisiin käyttää esimerkiksi tapaturmatilanteessa jolloin kokematonkin työntekijä löytäisi tietopalvelusta nopeasti esimerkiksi kokoontumispaikat tällaisen tilanteen sattuessa.

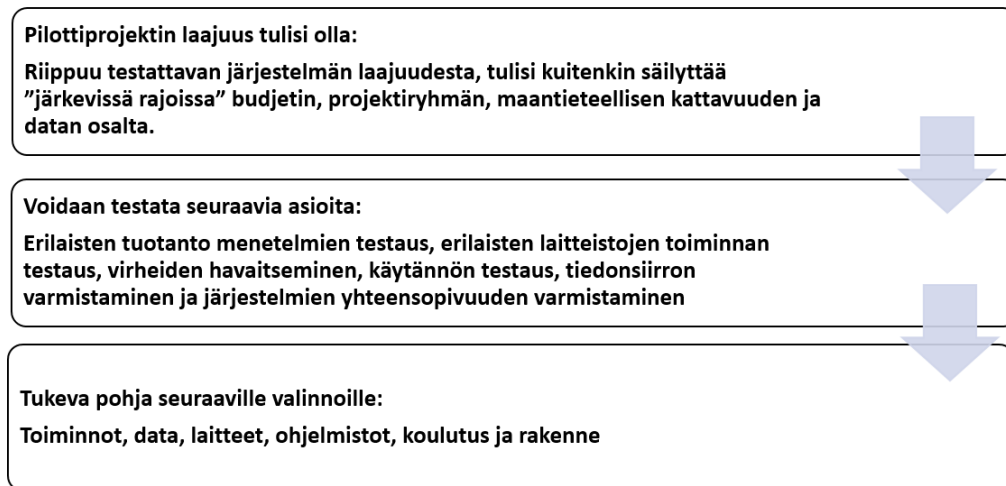
Osalle työntekijöistä mobiilipohjainen dokumentaatio olisi myös käyttäjäystävällisempi vaihtoehto verrattuna erilliseen siirtymiseen tietokoneelle ja vastaavan toiminnon tekemiseen sillä. Toisaalta osa saattaa kokea mobiilitietopalvelun vaikeaksi käyttää ja hidastavan itse työsuoritusta, kun painopiste ajatusmallissa on vain työn valvomisessa ja dokumentoinnissa. Ajatustapoihin on kuitenkin odotettavissa muutoksia ja sitä on osin jo tapahtunut ja voidaan puhua yleisellä tasolla tapahtuneesta niin sanotusta ”Mobile Mind Siftistä”. Se voidaan kiteyttää tarkoittavan tiedon nopeaa löytämistä ja käsittelemistä mobiililaitteilla, mikä vaikuttaa myös myönteisesti käyttäjien kokemuksiin mobiilitietopalveluista.

Suurin hyöty mobiilitietopalvelusta kuitenkin saadaan irti, jos se on liitettyä esimerkiksi paikkatietojärjestelmään, jolloin työn suorituksen aikanakin voi huoltohenkilöstö tarkastaa ja todeta, missä mitään esimerkiksi putkilinjoja kulkee. SAP-toiminnanohjausjärjestelmään on myös olemassa mobiilisovellus tietojen keräämiseen ja dokumentointiin. SAP-ohjelmisto on saksalaisen ohjelmistoyrityksen tuottama teollisuuden toiminnanohjauksessa sovellettava järjestelmä, joka on UPM-Kaukaan tehtailla käytössä. SAP-ohjelmiston käyttäminen mobiilisti voisi olla yksi hyödyntämissuuntaus mobiilitietopalvelulle, mutta yhtä laajaa käyttömahdollisuus pohjaa sillä ei todennäköisesti saavuteta, jos verrataan menetelmän linkittämistä paikkatietojärjestelmään (Kuva 29) vaikka tilanne olisikin parempi kuin ilman mobiilivalmiutta.



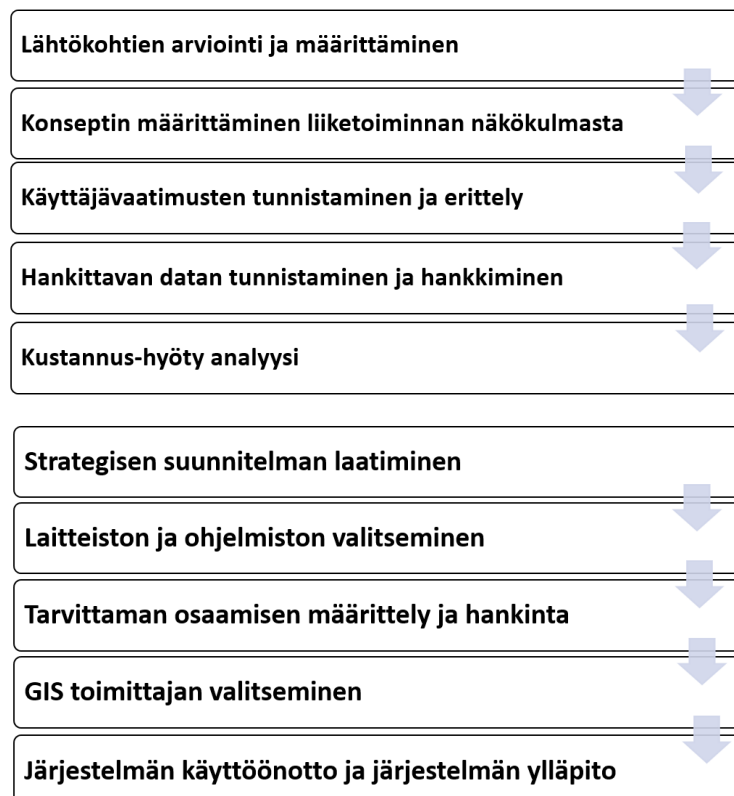
Kuva 29. Yksinkertaistettu esitys yhdistämisestä joko paikkatieto- tai toiminnanohjausjärjestelmään.

Tunnuslukuvertailun perusteella Esri:n ArcGis on yksi lupaavimmista alustoista paikkatietojärjestelmien osalta. Yleisesti parempi ratkaisu on valita kaupallinen ohjelmisto, jolloin hyödytään sekä käyttöönottopalveluista että säännöllisistä päivityksistä. Kaupalliset versiot sisältävät myös kattavamman valikoiman valmiita lisätoimintoja, joita joihinkin erikoistehtäviin saatetaan tarvita. Alustan valitsemisessa voidaan kuitenkin noudattaa muitakin tapoja kuin näennäisesti parhaan järjestelmän metodia, kuten esimerkiksi tarjouspyyntömenettelyä hyödynnettävän ohjelmiston valitsemisessa. Bernhardsen on käsitellyt, mitä vaiheita paikkatietojärjestelmän valinta ja käyttöönotto sisältävät. Bernhardsen mainitsee esimerkiksi pilottiprojektin yhdeksi vaiheeksi ennen varsinaista valintaa (Kuva 30), ja sen tekeminen on mahdollisesti toinen opinnäytetyöksi sopiva aihe tai jatko-projekti tämän työn pohjalta. Varsinaisen laajamittaisen järjestelmän käyttöönotto vaiheita on esitetty kuvassa 31.



Kuva 30. Pilottiprojektin tiivistetty sisältö.

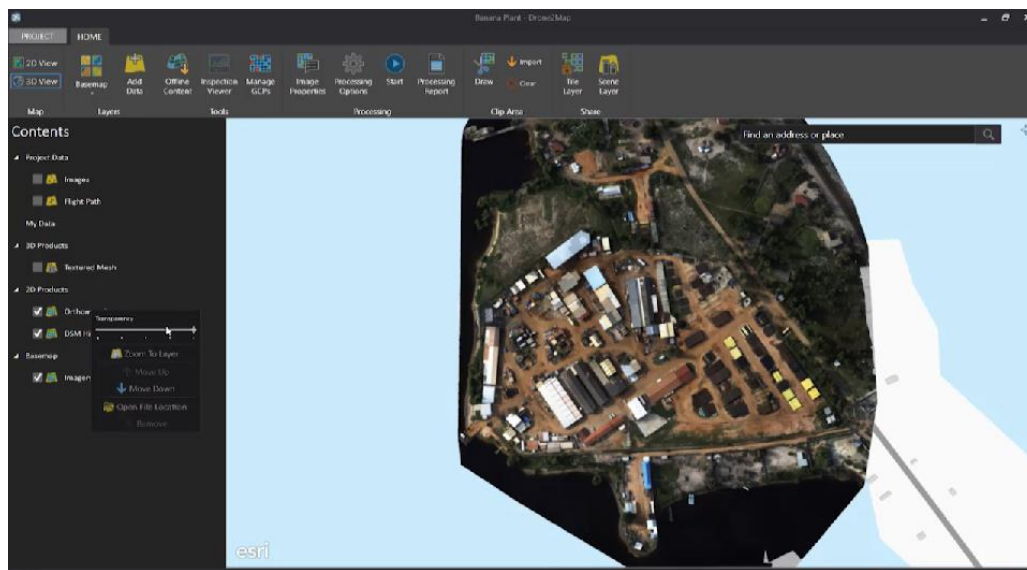
Mikäli pilottiprojektista saadaan rohkaisevia tuloksia, on varsinaisen järjestelmän käyttöönottoon vaivattomampi siirtyä, kun tarvittavat lähtötiedot on jo pilotoinnin aikana määritetty. Toisaalta, jos pilottiprojektista ei saada hyviä kokemuksia tai tuloksia, voidaan paikkatietojärjestelmän käyttöönotto vielä tässä vaiheessa keskeyttää.



Kuva 31. GIS käyttöönotto vaiheet.

Käyttökohteita kunnossapidon kannalta paikkatietojärjestelmälle olisivat ainakin maanalaisten verkostojen kunnan parempi dokumentointi ja analysointimahdollisuus. Järjestelmän avulla voidaan vaivattomammin määrittää ja havaita ne verkoston osat, joissa on suurin vaara vikaantua. Näin resurssit voidaan kohdentaa tarvituille kohteille. Edellä mainittujen lisäksi yhdessä mobiilitietopalvelun kanssa voidaan järjestelmää käyttää esimerkiksi niin, että kaikki tietävät mitä missäkin on. Tästä on apua häiriötilanteissa ja rakennustöiden yhteydessä (Ukkonen 2017; Bernhardsen 1999.)

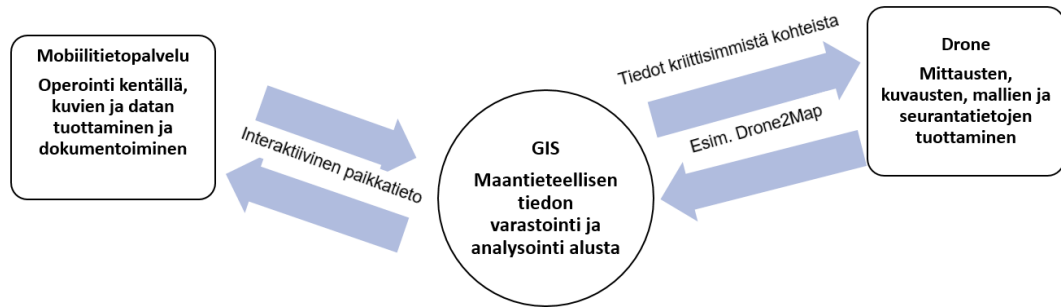
Mikäli menetelmien hyödyntämistä mietitään yhdistelmänä, tarjoaa ainakin Esri ArcGIS jo nyt kattavat mahdollisuudet yhdistää dronejen käyttö paikkatietojärjestelmään. Tähän tarkoitukseen on olemassa Drone2Map-sovellus, jolla on mahdollista valjastaa drone tehokkaampaan käyttöön tietojen käsittelyn osalta ja poistaa tarve käyttää kolmannen osapuolen ohjelmistoja tuotetun tiedon käsittelyyn (Kuva 32).



Kuva 32. Drone2Map näkymä, kuvankaappaus. (Esri.)

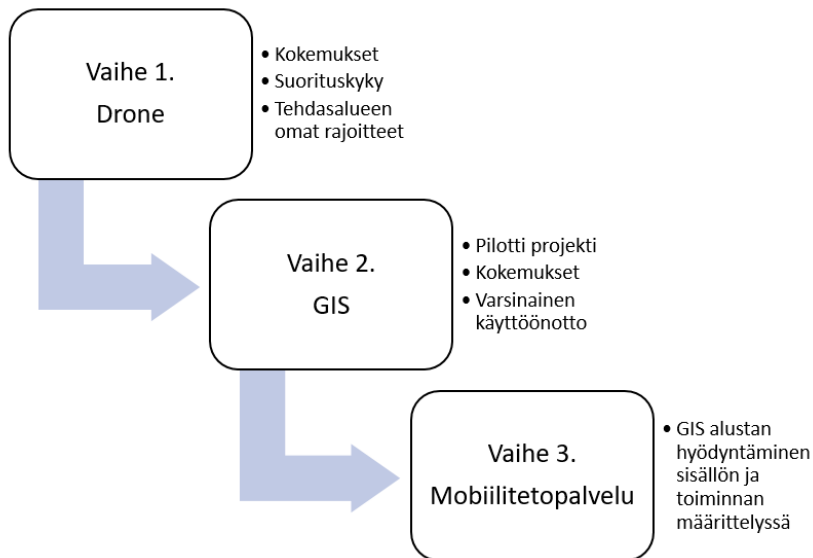
Drone-laitteistolla tehdyt tarkastukset ja ilmakuvausaineistot yhdistettynä paikkatietojärjestelmään saattaisi avata oven täysin uudelleenlaisille tutkimuksille ja selviyksille, joita aikaisemmin ei ole voitu suorittaa jatkuvan ja kohtuuhintaisen seurantamahdollisuuden puuttuessa. Tällaisia voisivat olla esimerkiksi ympäristön muutosten seuranta ja vikaantumismekanismien juurisyiden havaitseminen.

Ideaalitilanteessa, jossa kaikkia tässä työssä hyödynnettäväksi esitettyjä menetelmiä ja tekniikoita lähdettäisiin kunnossapidossa samanaikaisesti rakentamaan, voisi toimintaperiaate olla seuraavan lainen (Kuva 33).



Kuva 33. Periaatekuva yhdistetystä hyödyntämisestä.

Kaikkien näiden edellä mainittujen käyttöönotto ja toimivan kokonaisuudet rakentaminen yhtäaikaaisesti on tuskin realistinen mahdollisuus, joten paras vaihtoehto olisi todennäköisesti vaiheittainen prosessi. Drone-laitteiston käyttöönotosta olisi varmasti järkevin aloittaa ja niiden testaamisen aikana määrittää GIS-projektin tavoitteita ja haluttuja toimintoja. Alapuolella on havainnollistettu ehdotetun ajatusmallin mukainen vaiheittainen prosessi (Kuva 34).



Kuva 34. Käyttöönotto vaiheittain.

Mikäli GIS-järjestelmä tuntuu organisaatiosta järkevältä suunnalta tulevaisuuden kunnossapito työväliseksi, voitaisiin droneja hyödyntää pilottiprojektin tiedonhankinta välineenä, jos myös drone laitteiden toiminnasta on saatu positiivisia kokemuksia. Mobiilitietopalvelun osalta voitaisiin miettiä sen ottamista osaksi GIS-projektia tai vaihtoehtoisesti omana projektinaan tai esimerkiksi osana SAP-ohjelmiston kehitystä.

7 Tulevaisuuden visiot

Kunnossapitotoiminta sekä teollisuudessa että yleisesti on isojen muutosten alla. Aikaisemmin siihen on vaikuttanut kunnossapidon ajatusmaailmojen ja resursien muutokset ja nykyisin sitä ohjaa vahvasti teknologian kehittymisnopeus, johon yritysten on pyrittävä vastaamaan. Mitattavasta kunnossapidosta on tullut käsite, jossa laitteista ja prosesseista kerättävää mittaustietoa hyödynnetään parantamaan käytettävyyttä, nopeutta, ja laatuhyötysuhdetta. (Juhanko 2017.)

Laajoista konsepteista on pyritty muodostamaan yleispäteviä termejä tai ohje-
nuoria, joita ovat esimerkiksi IoT (Internet Of Things) eli asioiden internet, teollisuuden internet ja Industry 4.0. IoT:llä tarkoitetaan verkon laajentumista laitteisiin ja koneisiin, joita voidaan ohjata, mitata ja analysoida internetverkon yli. Käsite on ollut käytössä jo 1990-luvulta ja sen englannin kielistä termiä ehdotti Kevin Ashton vuonna 1999. Gartnerin (kansainvälinen ICT-alan tutkimus- ja konsultointiyritys) määritelmän mukaan teollisessa internetissä on kyse fyysisistä laitteista, jotka pystyvät aistimaan ympäristöään ja viestimään tai toimimaan aistimansa perusteella älykkäästi. Tähän tarvitaan antureita, ohjelmistoja sekä tietoliikenneyhteys, jolloin sensorit, koneet, prosessit ja palvelut tuottavat jatkuvasti tietoa, jota jalostamalla voidaan muun muassa ennakoida ja automatisoida työvaiheita. (Ashton 2009; Elisa & Quva.)

Teollisen internetin on ennustettu tavoittavan globaalisti 1,9 biljoonan dollarin markkinat vuonna 2020. On myös ennustettu, että mikäli suomalaiset yritykset lähtevät rakentamaan roolia teollisen internetin alustojen ja ekosysteemien avain-

toimijoina, voidaan Suomeen saavuttaa jopa 12 miljardin euron suuriset investointien ja 48 000 työpaikan kasvunäkymät. Gartnerin mukaan vuonna 2015 noin 4,9 miljardia laitetta on liitetty verkkoon, kun vuonna 2020 vastaava lukumäärä on jopa 25 miljardia laitetta tai vielä korkeampi 36 miljardia joidenkin mukaan. Se tarkoittaa yli kolmea laitetta maapallon jokaista asukasta kohden. (Elisa & Quva; Linturi 2017.)

Teollisen internetin tuottama lisäarvo perustuu sen avulla kerättyyn ja tuotettuun tietoon. Oikeanlaisten prosessien avulla teollisen internetin tuottama tieto saadaan jalostettua helposti hyödynnettävään muotoon, ja tietoverkon avulla automaattinen, reaaliaikainen analytiikka järjestämään valtavaa tietomassaa käyttökelpoisiksi tunnusluvuiksi ja tilannekatsauksiksi. (Juhanko 2017.)

Industry 4.0 on Saksassa teollisuuden digitalisaation ohjenuoraksi muotoutunut käsite, joka määrittelee teknologisia suuntaviivoja teollisen tuotannon arvoketjujen organisoimiseksi. Käsite sisältää neljä pääperiaatetta suunnittelulle. Ensimmäinen on yhteen toimivuus, jolla tarkoitetaan koneiden, laitteiden, sensorien ja ihmisten kykyä olla yhteydessä ja kommunikoida toisilleen internetin välityksellä. Toinen on tiedon läpinäkyvyys, jolla tarkoitetaan järjestelmien kykyä luoda virtuaalisia kopioita fyysisestä maailmasta ja parantaa näin digitaalisten mallien tietopohjaa sensoroidun datan avulla. Tämä toiminto vaatii raaka-datan analysointia ja muuttamista tarpeelliseksi tiedoksi. Kolmas periaate on teknologinen avustus eli järjestelmien kyky avustaa ihmistä muuttamalla data visuaaliseen ja ymmärrettävään muotoon, jonka pohjalta päätöksiä on helpompi tehdä. Periaatteen alle kuuluu myös fyysinen avustus, jolla tarkoitetaan järjestelmän korvaavan ihmisen tehtävissä jotka ovat epämiellyttäviä, liian haastavia tai epäturvallisia ihmisen suoritettaviksi. Viimeinen pääperiaate on päätöksenteon hajautus eli systeemin kyky tehdä päätöksiä itsenäisesti ja suoriutua tehtävistä mahdollisimman automaattisesti. (Juhanko 2017.)

Teollisen internetin ja Industry 4.0 välinen ero on pitkälti siinä, että jälkimmäiseksi mainitun kohdalla kokonaistoiminta on suunniteltu keskitetysti aina tilauksista

hankintaan ja toimituksiin, kun taas teollisen internetin kohdalla prosessin automatisointi on toteutettu hajautetusti, valvonta keinoälyn ja kokonaisuudesta saatavan anturitiedon mukaisesti. (Juhanko 2017.)

Tulevaisuutta mietittäessä on siis selvästi nähtävissä, että digitalisaatio vauhdittuu ja edistää entisestään teollisen internetin hyödyntämistä kunnossapidossa. Laitteet muuttuvat palveluiksi, joille suoritetaan etädiagnostiikkaa, palvelurobotiikka kasvaa räjähdysmäisesti, mobiililaitteet sisältävät enemmän ja enemmän erilaisia antureita, big data, keinoäly ja pilvipalvelut vahvistuvat ja käyttäjien ja kenttähuollon valmiudet paranevat, kun kaikilla on älylaite mukanaan ja langattomat verkot ulottuvat kaikkialle. (Linturi 2017.)

Strategian osalta puhutaan käsitteestä e-maintenance, suomennettuna älykäs kunnossapito joka voidaan määrittää yleisellä tasolla tarkoittavan johtamisen konseptia, jossa laitosta johdetaan ja valvotaan internetverkon välityksellä. Käytännössä voidaan siis puhua älykkäästä kunnossapidosta yleisesti ja muut termit joita edellä on esitetty, ovat sen alakategorioita joilla konsepti pyritään toteuttamaan. (Arnaiz, lung, Adgar, Naks, Tohver, Tommingas & Levrat 2010.)

Loppusanat

Tulevaisuudessa myös insinöörin ammattia ajatellen teknologian kehitys luo yhä uusia haasteita, joihin koulutusvaiheessakin tulisi kiinnittää huomiota. Tässä työssä pääsin itse tarkemmin tutustumaan kunnossapidon toimintaan ja konsepteihin sekä kartoittamaan tietämystäni eri teknologioiden osalta. Työtä oli mielenkiintoista tehdä ja tavoitteisiin päästiin osittain, lukuun ottamatta työn liittämistä RCM-projektiin, jonka toteuttamiselle ei jäänyt aikaa. Työssä olisi voinut keskittyä enemmän ympäristöasioihin kuten johdannossa viitattiin, mutta työn laajuuden kasvaessa tähän ei myöskään ollut mahdollisuutta enää loppuvaiheessa. Hyödyntämissuunnitelma antaa yritykselle mielestäni selkeät suuntaviivat valittujen menetelmien osalta ja tarjoaa muutaman jatkokehitysehdotuksen.

Kuvat

Kuva 1. UPM Kaukas, s.9

Kuva 2. Vikaantumismekanismien selviäminen, s.13

Kuva 3. Kunnossapitolajit standardista SFS-EN 13306, s.14

Kuva 4. Kunnossapitolajit standardista PSK 7501, s.14

Kuva 5. Kunnossapidon tasot (SAMI Corporation, USA), s.17

Kuva 6. SmartBall, s.19

Kuva 7. PipeDiver, s.20

Kuva 8. Sahara järjestelmä, s.21

Kuva 9. Robottien rakenteellisia vaihtoehtoja, s.23

Kuva 10. Robotic Pipeline Inspection, s.25

Kuva 11. Digisewer, s.26

Kuva 12. Vuosittaiset kustannukset korroosiosta tuotanto ja valmistus kategorioit-
tain, s.27

Kuva 13. Lyft järjestelmä, s.28

Kuva 14. Eristeen alaisen korroosion tarkastustekniikoiden vertailu, s.29

Kuva 15. Hyödynnettäviä teknologioita, s.30

Kuva 16. Drone mahdollisuuksia, s.31

Kuva 17. Tasot ja vaiheet tietomallissa, s.32

Kuva 18. GIS määritelmä, s.36

Kuva 19. Sijaintitiedon organisointi, s.37

Kuva 20. 3D-Tulostusmenetelmien sovellusalueita, s.39

Kuva 21. Tulostettu talo Venäjällä, s.39

Kuva 22. 360 Tools, s.44

Kuva 23. Nelikenttämalli, s.46

Kuva 24. Valmiin Kepner & Tregoe ongelmanratakisumatriisin esimerkki, s.52

Kuva 25. Yhdistetyt pisteet, s.56

Kuva 26. Vertailun yhteenveto, s.60

Kuva 27. Hankintatavan vaikutus, s.63

Kuva 28. Automaation järjestämisen vaihtoehtoja, s.64

Kuva 29. Yksinkertaistettu esitys yhdistämisestä joko paikkatieto- tai toiminnanohjausjärjestelmään, s.66

Kuva 30. Pilotti projektin tiivistetty sisältö, s.67

Kuva 31. GIS käyttöönotto vaiheet, s.67

Kuva 32. Drone2Map näkymä, s.68

Kuva 33. Periaatekuva yhdistetystä hyödyntämisestä, s.69

Kuva 34. Käyttöönotto vaiheittain, s.69

Taulukot

Taulukko 1. Sensorit ja tekniikat, s.24

Taulukko 2. Mobiililaserkeilaus laitteistoja, s.32

Taulukko 3. Painoarvo, s.50

Taulukko 4. Suuntaa antavia hintatietoja, s.51

Taulukko 5. Benchmarkingin ja tunnuslukuvertailun eroja, s.57

Lähteet

Arnaiz, A., lung, B., Adgar, A., Naks, T., Tohver, T., Tommingas, T. & Levrat, E. 2010. Information and communication technologies within E-maintenance. <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84892208688&origin=inward&txGid=6CE42B92EBD615903CC8A08C241BFFAF.wsnAw8kcdt7IPYLO0V48gA%3a11>. Luettu 8.4.2017.

Ashton, K. 2009. That 'Internet of Things' Thing. <http://www.rfidjournal.com/articles/view?4986>. Luettu 14.3.2017.

Bernhardsen, T. 1999. Choosing a GIS. http://www.geos.ed.ac.uk/~gis-teac/gis_book_abridged/files/ch41.pdf. Luettu 24.3.2017.

Best Practices, LLC. Excerpted from Benchmarking for Best Practices: Winning Through Innovative Adaptation by Christopher E. Bogan and Michael J. English. Published by McGraw-Hill. <http://www.best-in-class.com/bestp/domrep.nsf/insights/chapter-1-benchmarking-best-practice-book?opendocument#application&benefits>. Luettu 10.3.2017.

Curran 2016. The Forrester Wave™: Geospatial Analytics Tools And Platforms, Q3. http://www.esri.com/~media/6523C090A2A34386BD53C21D14526F36?adumkts=branding&aduc=email&adum=regular&utm_Source=email&aduca=m17nql_nurture&adut=204302. Luettu 5.4.2017.

Earnshaw R.A, Gigante M.A & Jones H. 1993. Virtual Reality Systems. https://books.google.fi/books?hl=fi&lr=&id=gEOjBQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=history+of+Virtual+Reality&ots=Feukm8qskl&sig=8beleQEqJr9yL57NjMhea0QFFvA&redir_esc=y#v=onepage&q=history%20of%20Virtual%20Reality&f=false. Luettu 7.3.2017.

Eddyfi. Lyft, Pulsed Eddy Current. <http://www.eddyfi.com/lyft/>. Luettu 15.3.2017.

Elisa & Quva. Yritysjohdon opas IoT:n ja teollisen internetin hyödyntämiseen. http://quva.fi/site/attachments/yritysjohdon_opas_loT_ja_teollisen_internetin_hyodyntamiseen.pdf. Luettu 7.4.2017.

Elomatic Oy. 360 Tools. <https://www.elomatic.com/360tools/>. Luettu 18.3.2017.

Envirosight. Digisewer. http://www.envirosight.com/rovverx_digisewer.php. Luettu 27.3.2017.

Foundry. VR? AR? MR? Sorry, I'm confused. Virtual reality. <https://www.foundry.com/industries/virtual-reality/vr-mr-ar-confused>. Luettu 26.3.2017.

Google Street View: Googles Fleet. <https://www.google.com/streetview/understand/#fleet>. Luettu 18.3.2017.

Identified Technologies. Solutions. <https://www.identifiedtech.com/>. Luettu 18.3.2017.

Ilmailulaki. 07.11.2014/864. <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2014/20140864>. Luettu 24.3.2017.

Jaakkola, A. 2015. Low-cost Mobile Laser Scanning and its Feasibility for Environmental Mapping. Aalto University publication series. Doctoral dissertations. <https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/16212/isbn9789526061986.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Luettu 16.3.2017.

Juhanko, J. 2017. Kunnossapidon überisaatio - liiketoiminta murroksessa. <http://www.tekniikkatalous.fi/teknologiamurrokset/kunnossapidon-uberisaatio-liiketoiminta-murroksessa-6620117>. Luettu 5.4.2017

Joel Loka. Digisewer menetelmä. <http://joenloka.fi/palvelut/viem%C3%A4reiden-kuvaus-ja-kuntokartoitus>. Luettu 27.3.2017.

Järviö, J. 2007. Kunnossapito. Kunnossapitoyhdistys ry. Hamina: Oy Kotkan Kirjapaino Ab.

Kalliola, K. 2011. Jättiläis-tulostimet printtaavat rakennuksia. <http://www.tekniikkatalous.fi/tekniikka/rakennus/2011-01-04/J%C3%A4ttil%C3%A4is%C2%ADtulostimet-printtaavat-rakennuksia-3299133.html>. Luettu 20.3.2017.

Korhonen, A. 2017. Liiketoimintajohtaja RumbleTools Oy. Haastattelu 6.4.2017.

Korhonen, S. 2017. Venäjällä talo nousi pystyyn yhdessä päivässä 3d-printtaamalla. http://www.tivi.fi/Kaikki_uutiset/venajalla-talo-nousi-pystyyn-yhdessa-paivassa-3d-printtaamalla-6630479. Luettu 20.3.2017.

Kukko, A. 2013. Mobile Laser Scanning – System development, performance and applications. Suomen geodeettisen laitoksen julkaisuja. <http://lib.tkk.fi/Diss/2013/isbn9789517113076/isbn9789517113076.pdf>. Luettu 17.3.2017.

Laine, H. 2010. Tehokas kunnossapito. Kunnossapitoyhdistys ry. Kerava: Sarvion Kirjapaino Oy.

Lehtoviita, T. Kainulainen, A. & Kemppi, J. 2015. Pysyvää tietomalliosaamista rakennusalan toimijoille Etelä-Karjalassa. Tietomallien käyttömahdollisuudet rakennushankkeissa. Saimaan ammattikorkeakoulun julkaisuja. <https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/87581/Julkaistu1.pdf?sequence=1>. Luettu 21.3.2017.

Liimatainen, K. 2016. Imatralaisyritys antoi 3D-tulostimille siivet – lentävät työrobotit maalaavat, rappaavat ja sammuttavat tulipaloja. <http://www.hs.fi/talous/art-2000002928124.html>. Luettu 17.3.2017.

Linturi, R. 2017. Älykäs huolto. Mullistavatko tekoäly ja robotiikka kunnossapidon? Junkkarilta saatu PDF. Luettu 7.4.2017

Luomanen, T. Hanski, J. & Oulasvirta, L. 2012. VTT: Vesihuoltoverkoston kunnan ja arvon määrittäminen. <http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2012/VTT-R-08119-12.pdf>. Luettu 25.3.2017.

Marquardt, T. & Zheng, E. History of 3D Printing. <https://blogs.lawrence.edu/makerspace/history/>. Luettu 25.3.2017.

Mc Dermott, D. Kepner Tregoe decision making. <http://www.decision-making-confidence.com/kepner-tregoe-decision-making.html>. Luettu 10.3.2017.

Mikkonen, H. 2009. Kuntoon perustuva kunnossapito. Kunnossapitoyhdistys ry. Kerava: Savion Kirjapaino Oy.

Microsoft: Microsoft HoloLens. <https://www.microsoft.com/en-us/hololens>. Luettu 13.4.2017.

Nayak, A. & Pradhanb S. K. 2014. Design of a New In-Pipe Inspection Robot. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705814035218>. Luettu 25.3.2017.

Paikkatieto. Mitä on paikkatieto. <http://www.paikkaoppi.fi/fi/paikkatieto/kasitteet/>. Luettu 22.3.2017.

Piekkari, J. 2014. Vesitalous lehti. Olisiko verkostovuotojen hallinnassa jo aika siirtyä uuteen aikakauteen. http://www.vesitalous.fi/wp-content/uploads/2014/03/VT1402_netti.pdf. Luettu 17.3.2017.

Promaint kunnossapidon erikoislehti 2017a. Teollisuuden kunnossapitotyö muuttuu tietotyöksi. <http://promaintlehti.fi/Kunnonvalvonta-ja-kayttovarmuus/Teollisuuden-kunnossapitotyö-muuttuu-tietotyöksi>. Luettu 27.3.2017.

Promaint kunnossapidon erikoislehti 2017b. Virtuaaliodellisuutta rakennusteollisuuden tarpeisiin. <http://promaintlehti.fi/Laite-ja-korjaustekniikat/Virtuaaliodellisuutta-rakennusteollisuuden-tarpeisiin>. Luettu 27.3.2017.

PSK 6201 standardi. Kunnossapito. Käsitteet ja määritelmät.

PSK 7501 standardi. Kunnossapito. Prosessiteollisuuden kunnossapidon tunnusluvut.

Pure Technologies Ltd a. Asset Management for Sewer Systems. <https://marketing.puretechltd.com/acton/attachment/4437/f-026d/1/-/-/l-0042/l-0042:9b8/Wastewater-WhitePaper-v4%202.pdf>. Luettu 15.3.2017.

Pure Technologies Ltd b. PureRobotics. <https://www.puretechltd.com/technologies-brands/pure-robotics>. Luettu 15.3.2017.

Roxul. Corrosion Under Insulation. http://www.roxul.com/files/RX-NA_EN/pdf/Brochures%20and%20Sell%20Sheets/Industrial/Corrosion%20Under%20Insulation_web%20version.pdf. Luettu 15.3.2017

Sami Corporation, USA. The SAMI Pyramid model. <http://samicorp.com/the-sami-pyramid/>. Luettu 12.3.2017.

SFS-EN 13306 standardi. Kunnossapito. Kunnossapitolajit.

Shopify Inc. What is Benchmarking? <https://www.shopify.com/encyclopedia/benchmarking>. Luettu 10.3.2017.

Six Sigma. Understanding the Purpose and Use of Benchmarking. <https://www.isixsigma.com/methodology/benchmarking/understanding-purpose-and-use-benchmarking/>. Luettu 1.3.2017.

Swenda, T. 2016. Introduction to GIS. <https://www.youtube.com/watch?v=p4NbRw3QkGk>. Luettu 22.3.2017.

Tada, T. Suetsugu, H. & Mori, H. 2010. Inspection Technique for CUI (Corrosion under Insulation) by Using Fiber Optical AE Sensor. https://www.sumitomo-chem.co.jp/english/rd/report/theses/docs/20100103_q9r.pdf. Luettu 15.3.2017.

Ukkonen, L. 2017. Esri Finlandilla teollisuuden ja omaisuudenhallinnan ratkaisuista vastaava. Haastattelu 1.3.2017.

UPM Kaukas, kotisivut. <http://www.upmpulp.fi/upm-kaukas/Pages/Default.aspx>. Luettu 7.4.2017.

Vihinen, J. 2015. Tampereen teknillinen yliopisto. 3D-tulostustekniikat. http://www.vtt.fi/files/services/mav/3D%20tulostustekniikat_Vihinen.pdf. Luettu 26.3.2017.

Vuove Insinöörit Oy. Vuove luotain. <http://www.vuove.fi/vuoveluotain.html>. Luettu 17.3.2017.

Yleiset tietomallivaatimukset YTV2012. Osa 12. <https://buildingsmart.fi/yleiset-tietomallivaatimukset-ytv/>. Luettu 21.3.2017.

3Dstep: Mediatiedote 2016. <http://3dstep.fi/3dstep/mediatiedotteet>. Luettu: 26.3.2017

Liite (1), Halutut ominaisuudet

| Haluttu ominaisuus | Annettava pistemäärä |
|--------------------|--|
| Tiedonsiirto | <p>Tieto ei voi jakaa tai siirtää = 0</p> <p>Tieto on vaikeaa jakaa tai lähes mahdotonta = 1</p> <p>Tieto on hankalaa siirtää ja vie aikaa = 2</p> <p>Tieto pitää muuttaa tai käsitellä ennen siirtoa = 3</p> <p>Tuotettu tieto tai informaatio siirtyy helposti eteenpäin ja sitä voi käsitellä yleisimmillä ohjelmilla = 4</p> <p>Tuotettu tieto tai informaatio siirtyy helposti eteenpäin ja sitä voi käsitellä yleisimmillä ohjelmilla ja laitteilla = 5</p> |
| Havainnollisuus | <p>Tietoa tai tulosta on lähes mahdotonta soveltaa käytännössä ja sen saaminen havainnolliseksi vaatii erityisosaamista = 0</p> <p>Tieto tai tuloksen ymmärtäminen vaatii niiden käsittelyä useilla muilla menetelmillä tai tekniikoilla ja silti havainnollisuus on vaativaa = 1</p> <p>Tieto tai tulos vaatii käsittelyä ennen sen saamista ymmärrettävään ja havainnolliseen muotoon = 2</p> <p>Tieto tai tulos syntyy nopeasti ja useimmat kokevat sen havainnolliseksi = 3</p> <p>Tekniikka tai menetelmä tuottaa tai siihen kuuluu havainnollista tietoa tai tulosta tuottava osio, jota voidaan heti hyödyntää = 4</p> <p>Tekniikka tai menetelmä tuottaa sellaista tietoa tai tulosta joka on nopeasti ja helposti ymmärrettävissä ja hyödynnettävissä = 5</p> |
| Helppokäyttöisyys | <p>Menetelmän tai tekniikan käyttäminen on lähes mahdotonta ja vaatii runsaasti perehtymistä ja koulutusta = 0</p> <p>Menetelmän tai tekniikan hyödyntäminen on vaativaa ja tarvitsee siihen erillisesti perehtyneen asiantuntijan tai koulutuksen = 1</p> <p>Menetelmän tai tekniikan käyttäminen on vaativaa ja siihen perehtymiseen on käytettävä runsaasti aikaa = 2</p> <p>Menetelmän tai tekniikan käyttäminen onnistuu useimmilta, lyhyen koulutuksen tai perehtymisen jälkeen = 3</p> <p>Menetelmän tai tekniikan käyttö on helppoa ja se onnistuu kaikilta nopean opastuksen jälkeen = 4</p> <p>Menetelmän tai tekniikan käyttö onnistuu kaikilta helposti ilman perehtymistä tai erillistä opastusta = 5</p> |

Liite (1), Halutut ominaisuudet

| | |
|--------------------------------------|---|
| <p>Testattavuus</p> | <p>Menetelmää tai tekniikkaa ei ole mahdollista testata ennen varsinaista investointi- tai hankintapäätöstä = 0</p> <p>Menetelmään tai tekniikkaan on mahdollista tutustua ennen varsinaista investointi- tai hankintapäätöstä videoin tai havaintomateriaalin turvin = 1</p> <p>Menetelmään tai tekniikkaan on mahdollista tutustua ennen varsinaista investointi- tai hankintapäätöstä asiantuntijan esittelemänä tai havainnoimana = 2</p> <p>Menetelmää tai tekniikkaa on mahdollista testata ennen varsinaista investointi- tai hankintapäätöstä kokeiluversiona tai havainto esimerkkinä = 3</p> <p>Menetelmää tai tekniikkaa on mahdollista testata ennen varsinaista investointi- tai hankintapäätöstä kokeiluversiona tai havainto esimerkkinä jossa potentiaalia voidaan suhteellisen hyvin arvioida = 4</p> <p>Menetelmää tai tekniikkaa on mahdollista testata ennen varsinaista investointi- tai hankintapäätöstä täysversiona tai testikohteessa jossa potentiaalia voidaan määrittää ja toimivuus todeta = 5</p> |
| <p>Käyttökohteiden monipuolisuus</p> | <p>Menetelmälle tai tekniikalle on vaikeaa löytää käyttökohteita tai niitä ei löydy lainkaan = 0</p> <p>Menetelmälle on vain yksi käyttökohde ja tarkoitus = 1</p> <p>Menetelmää tai tekniikkaa voidaan hyödyntää ainakin muutamassa kohteessa ja sillä on yksi käyttötarkoitus = 2</p> <p>Menetelmää tai tekniikkaa voidaan hyödyntää useammassa kuin yhdessä kohteessa ja sillä voi olla enemmän kuin yksi käyttötarkoitus = 3</p> <p>Menetelmällä tai tekniikalla on monta käyttökohdetta ja sillä on varmasti useampi käyttötarkoitus = 4</p> <p>Menetelmällä tai tekniikalla on monta käyttökohdetta ja se sopii useaan tarkoitukseen = 5</p> |
| <p>Huollettavuus</p> | <p>Menetelmää tai tekniikkaa voidaan käyttää vain kerran, jonka jälkeen se vaatii huomattavia kustannuksia ja huoltamiseen vaaditaan runsaasti aikaa = 0</p> <p>Menetelmä tai tekniikka vaatii käytön jälkeen aina päivittämistä, kalibrointia, uusimista tai huoltamista ja niiden suorittamien on työlästä = 1</p> <p>Menetelmä tai tekniikka vaatii jaksotettua kalibrointia tai huoltamista sekä osien tai osioiden uusimista = 2</p> |






Liite (1), Halutut ominaisuudet

| | |
|-----------------------------|--|
| | <p>Menetelmä tai tekniikka vaatii harvoin huoltamista tai uusimista ja niiden tekeminen on helppoa = 3</p> <p>Menetelmä tai tekniikka on lähes huoltovapaa tai ei vaadi jatkuvaa huoltamista tai uusimista = 4</p> <p>Menetelmä tai tekniikka on huoltovapaa tai ei vaadi ollenkaan huoltamista tai uusimista = 5</p> |
| Henkilöstötarve | <p>Menetelmä tai tekniikka sitoo organisaation koko kapasiteetin sen suorittamisen ajaksi ja on lisäksi pitkäaikainen prosessi = 0</p> <p>Menetelmä tai tekniikka toimii vain, jos koko organisaatio osallistuu sen suorittamiseen. Lisäksi sen toimiminen vaatii kaikkien panoksen pitkän ajanjakson yli = 1</p> <p>Menetelmä tai tekniikka vaatii toimiakseen useiden henkilöiden panoksen ja jatkuvaa seuraamista pitkän ajanjakson yli = 2</p> <p>Menetelmä tai tekniikka vaatii toimiakseen muutaman henkilön sen suorituksen ajaksi = 3</p> <p>Menetelmä tai tekniikka toimii lähes itsenäisesti tai sitoo suorituksen ajaksi vain vähän henkilöstöä = 4</p> <p>Menetelmä tai tekniikka toimii itsenäisesti tai vaatii vain harvoin henkilöstön osallistumista = 5</p> |
| Ylläpitokustannukset | <p>Menetelmä tai tekniikka vaatii suuria ylläpitokuluja ja niitä vaaditaan päivittäin = 0</p> <p>Menetelmä tai tekniikka vaatii suuria ylläpitokuluja toimiakseen = 1</p> <p>Menetelmä tai tekniikka vaatii toistuvia ylläpitokuluja toimiakseen, mutta kustannukset ovat vähäisiä = 2</p> <p>Menetelmä vaatii joitakin toistuvia kustannuksia sen toimintakyvyn ylläpitämiseksi, mutta kustannukset ovat vähäisiä = 3</p> <p>Menetelmä tai tekniikka ei aiheuta suuria ylläpitokuluja ja vähäisiäkin harvoin = 4</p> <p>Menetelmä tai tekniikka ei aiheuta suuria ylläpitokuluja tai ylläpito ei tuota alkuinvestoinnin jälkeen lainkaan kustannuksia = 5</p> |
| Ennakoitavuus | <p>Tieto tai tulos ei auta ennakoimisessa tai todentamisessa = 0</p> <p>Tieto tai tulos auttaa välillisesti ennakoinnissa = 1</p> <p>Tieto tai tulos on luonteeltaan vikaantumista tutkivaa = 2</p> <p>Tieto tai tulos on luonteeltaan vikaantumista ennakoivaa = 3</p> <p>Tieto tai tulos on luonteeltaan vikaantumista ehkäisevää = 4</p> |



Liite (1), Halutut ominaisuudet

| | |
|--------------|--|
| | Tieto tai tulos on luonteeltaan vikaantumista ennustavaa = 5 |
| Hankittavuus | <p>Menetelmää tai tekniikkaa ei ole vielä myytävänä tai toimintaa ei tehdä Suomessa = 0</p> <p>Menetelmän tai tekniikan hankinta on vaikeaa tai valmistaminen tapahtuu vain tilauspohjalta tai ulkomaalaisten toimijoiden tekemänä = 1</p> <p>Menetelmän tai tekniikan hankittavuus on mahdollista vain ulkomailta ja suhteellisen vaikeasti tai käyttöönotto on hidasta = 2</p> <p>Menetelmän tai tekniikan hankinta on mahdollista ulkomailta ja se on käyttöönotettavissa suhteellisen nopeasti = 3</p> <p>Menetelmän tai tekniikan hankinta on nopeaa ja se on suhteellisen nopeasti käyttöön otettavissa = 4</p> <p>Menetelmän tai tekniikan hankinta on nopeaa ja se on suoraan käyttöön otettavissa tai saatavilla Suomesta = 5</p> |

Liite (2), Drone tekniset tiedot

| NIMI | DJI Phantom 4 | DJI Inspire 1 | DJI Phantom 3 professional | DJI Phantom 4 Pro | DJI Phantom 3 standard |
|----------------------------------|---|---|---|---|---|
| KUVA |  |  |  |  |  |
| HINT A € | 1069€ | 2995€ | 798€ | 1615€ | 490€ |
| MITA T (mm) | 180x300x300 | 437x452x302 | 203x350x350 | 180x290x290 | 200x350x350 |
| PAINO (kg) | 1.4 | 3 | 1.3 | 1.4 | 1.2 |
| Roottorien lukumäärä | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Kameran tyyppi | Integroitu kameran vakautus | Integroitu kameran vakautus | Integroitu kameran vakautus | Integroitu kameran vakautus | Integroitu kameran vakautus |
| Videon resoluutio | 720p, 1080p, 4K, 2.7K | 720p, 1080p, 4K | 720p, 1080p, 4K | 720p, 1080p, 4K, 2.7K | 720p, 1080p, 2.7K |
| Megapixelit | 12MP | 12MP | 12MP | 12MP | 12MP |
| Median formati | microSD,microSDHC,microSXC | microSD,microSDHC,microSXC | microSD,microSDHC,microSXC | microSD,microSDHC,microSXC | microSD,microSDHC,microSXC |
| Kauko-ohjauksen tyyppi | App:n kautta | App:n kautta | App:n kautta | App:n kautta | App:n kautta |
| Live video | 720p | 720p | 720p | 1080p | Kyllä |
| Automaattiset lento-ominaisuudet | Automaattinen kotiinpaluu, Kierto, Reittisuunnitelma, Seuraa ominaisuus | Automaattinen kotiinpaluu, Kierto, Reittisuunnitelma | Automaattinen kotiinpaluu, Kierto, Reittisuunnitelma, Seuraa ominaisuus | Automaattinen kotiinpaluu, Kierto, Reittisuunnitelma, Seuraa ominaisuus | Automaattinen kotiinpaluu, Kierto, Reittisuunnitelma, Seuraa ominaisuus |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

Liite (2), Drone tekniset tiedot

| NIMI | DJI Phantom 3 Advanced | Yuneec Typhoon H Pro | Parrot Bebob 2 FPV | Parrot Disco FPV | DJI Mavic Pro |
|----------------------------------|---|---|---|--|---|
| KUVA |  |  |  |  |  |
| HINT A € | 800€ | 1700€ | 686€ | 1228€ | 1200€ |
| MITA T (mm) | 200x350x350 | 520x310x460 | 90x330x330 | 120x1150x580 | 84x84x200 |
| PAINO (kg) | 1.3 | 1.7 | 0.5 | 0.8 | 0.7 |
| Roottorien lukumäärä | 4 | 6 | 4 | 1 | 4 |
| Kameran tyyppi | Integroitu kameran vakautus | Integroitu kameran vakautus | Integroitu, ilman vakautinta | Integroitu, ilman vakautinta | Integroitu kameran vakautus |
| Video n resoluutio | 720p, 1080p, 2.7K | 1080p, 4K | 1080p | 720p, 1080p | 720p, 1080p, 4K, 2.7K |
| Mega pixelit | 12MP | 12MP | 12.5MP | 15MP | 12MP |
| Media n Form aatti | microSD,microSDHC,microSXC | microSD,microSDHC,microSXC | Sisäinen | Sisäinen | microSD,microSDHC,microSXC |
| Kauko-ohjauksen tyyppi | App:n kautta | LCD:n kautta | App:n kautta | App:n kautta | App:n kautta |
| Live video | 720p | 720p | Kyllä | 720p | 720p |
| Automaattiset lento-ominaisuudet | Automaattinen kotiinpaluu, Kierto, Reittisuunnitelma, Seuraa ominaisuus | Automaattinen kotiinpaluu, Kierto, Reittisuunnitelma, Seuraa ominaisuus | Automaattinen kotiinpaluu, Seuraa ominaisuus | Automaattinen kotiinpaluu, Kierto | Automaattinen kotiinpaluu, Kierto, Reittisuunnitelma, Seuraa ominaisuus |
| | | | | | |
| | | | | | |

Liite (3), Drone tunnuslukuvertailu

| NIMI | Lento aika | Kameranvakautus | Ohjauksen kantama | Reitin seuraaminen | Esteen välttäminen | Kotiin paluu | Mittalaitteen tai kameran erillisohjaus | Vaihdettava kamera |
|----------------------------|------------|-------------------------|-------------------|--------------------|------------------------------|--------------|---|--------------------|
| DJI Phantom 4 | 28 min | Gimbal | n. 5km | Kyllä | Kyllä (Ylös ja alas) | Kyllä | Ei | Ei |
| DJI Inspire 1 | 18 min | Gimbal, vaihdettava 360 | n. 5km | Kyllä | Ei | Kyllä | Kyllä | Kyllä |
| DJI Phantom 3 professional | 23 min | Gimbal | n. 5km | Kyllä | Kyllä (Ylös ja alas) | Kyllä | Ei | Ei |
| DJI Phantom 4 Pro | n. 30 min | Gimbal | n. 7km | Kyllä | Kyllä (ylös alas ja sivulle) | Kyllä | Ei | Ei |
| DJI Phantom 3 standard | n. 25min | Gimbal | n.500- 1km | Kyllä | Ei sisätiloissa | Kyllä | Ei | Ei |
| DJI Phantom 3 Advanced | n. 23min | Gimbal | n.5km | Kyllä | Kyllä (Ylös ja alas) | Kyllä | Ei | Ei |
| Yuneec Typhoon H Pro | n. 19min | Gimbal, vaihdettava 360 | 1.6km | Kyllä | Kyllä (ylös alas ja sivulle) | Kyllä | Kyllä | Kyllä |

Liite (3), Drone tunnuslukuvertailu

| | | | | | | | | |
|----------------------------|-------------|------------|-------|-------|---------------------------------------|-------|---------------------|-------|
| Parrot Bebob 2 FPV | n. 25min | Sisäinen | 300m | Kyllä | Ei | Kyllä | Ei/(VR lasit) | Ei |
| Parrot Disco FPV | n. 45min | Sisäinen | 2km | Kyllä | Ei | Kyllä | Ei/(VR lasit) | Ei |
| DJI Mavic Pro | n. 21min | Gimbal | n.5km | Kyllä | Kyllä (ylös alas ja sivulle) | Kyllä | Ei/ (VR lasit) | Ei |
| DJI Matric e M200 | n. 38min | Gimbal x 2 | n.7km | Kyllä | Kyllä (ylös alas ja sivulle) | Kyllä | Kyllä/(VR lasit) | Kyllä |

Liite (5), Puhelinhaastattelu Korhonen, 6.4.2017

Haastattelija: Lassi Kuronen, Saimaan ammattikorkeakoulu

Haastateltava: Antti Korhonen, liiketoimintajohtaja RumbleTools Oy

Aika: 6.4.2017

Kysymyksiä:

Ilmailulainsäädäntö poikkeus?

-Käytännössä 2 vaihtoehtoa tai järjestää automaatio näköyhteydessä tai erityislupa Trafilta.

Oma vai ulkopuolinen hankinta?

-käyttövarmuuden ja turvallisuuden tulisi parantua ei vähentyä->

asiakkaan kannalta helpoin hankkia palveluna -> ei koulutuksia tms.

Kaupallinen siviilikäyttöön suunnattu drone vai ammattikäyttöinen?

- Tekoälyllä ohjautuvan ja ohjatun suurin ero?

Kustomoitu, ei pelkästään robottikopteri-> kokonaisratkaisu telakka akut jne. automaatio -> Ei pelkkä tarkkailu vaan myös reagointi.

Osaatko mainita käyttökokemuksista esim. Imatran tehtaalla?

- Suoriutuuko halutulla tavalla?
Testivaiheessa, automaattikäytössä, tuvalliset reitit, ei päivittäisessä käytössä, ei kiinnitettyä hälytys järjestelmässä. Tällä hetkellä simuloituja tilanteita. Käyttää kaliumsammutinta.
- Entä kustannusten osalta?
Tuvallisuus, kustannus säästöt (kaasuvuodot ja muut voidaan tarkastaa kopterilla)

Ahtaissa paikoissa toiminta?

GPS riippuvuus, Slam mahdollisuus, kun GPS ei ole saatavilla.

RumbleTools muuta?

Koptereiden kohdalla rajattomat mahdollisuudet, suuntana "älyn" lisääminen. Kehittää kovaa vauhtia maalaamista varten rakennettua robottikopteria.

Liite (6), Haastattelu Ukkonen, 1.3.2017

Lasse Ukkonen, Vastaa Esri Finlandilla teollisuuden ja omaisuudenhallinnan ratkaisuksista (**Solution Manager**)

KYSYMYKSET

1. Mikä on GIS:sin pääasiallinen vahvuus? (analyysit,visuaalisuus)
2. Miten GIS pärjää perinteisiin menetelmiin verrattuna, tai miten eroaa esimerkiksi paikkatietoikkunasta? (kustannukset tai ns. takaisinmaksuaika käyttöönotosta, analyysien paikkaansapitävyys)
3. Miten raskasta järjestelmien käyttöönotto on? (vaaditaanko koulutusta ja minkä alana?, verkostojen sijainti ja maantieto ominaisuuksien siirtäminen GIS-järjestelmään)
4. Oma mielipiteesi tulevaisuuden suhteen? Tuleeko yleistymään ja aikaikkuna milloin ns.arkipäivää? (Tällä hetkellä ainakaan Saimaan ammattikorkeakoulussa GIS:ratkaisusta ei ole ollut saatavilla juurikaan tietoa rakennustekniikan koulutuksessa)

VASTAUKSET:

Esrin ratkaisuja käytetään juurikin esim. maanalaisten verkostojen hallinnassa. Meidän ratkaisullamme on esim. Ruotsissa 40% markkinaosuus vesihuollossa ja samaa ratkaisua on käytetty myös metsäteollisuudessa.

1. **Mikä on GIS:sin pääasiallinen vahvuus? (analyysit,visuaalisuus)**
 - a. Kartta itsessään on usein parannus kartattomaan tilanteeseen.
 - b. CAD-pohjaisiin ratkaisuihin verrattuna ArcGIS tarjoaa:
 - i. Analytiikan
 - ii. Mahdollisuuden löytää, käyttää, luoda ja jakaa tietoa helposti kaikilla laitteilla
 - iii. Mahdollisuuden yhdistää helposti eri tietolähteitä
 - iv. Konfiguroitavat kevyet sovellutukset selaimiin ja mobiililaitteisiin
 - v. Avoimet ja dokumentoidut rajapinnat integraatioita varten
 - vi. Kattavat aineistopalvelut
2. **Miten GIS pärjää perinteisiin menetelmiin verrattuna, tai miten eroaa esimerkiksi paikkatietoikkunasta? (kustannukset tai ns. takaisinmaksuaika käyttöönotosta, analyysien paikkaansapitävyys)**
 - a. GIS:in eroa staattisiin karttoihin voisi verrata printatun taulukon ja Excelin eroon. Molemmista näkyvät numerot, mutta Excelissä lukuja voi käsitellä monin eri tavoin ja tarvittaessa vaikka julkaista pilvessä Office 365:ssä.
 - b. Esri tarjoaa monella tapaa enemmän kuin kilpailevat vaihtoehdot
 - i. ArcGIS on globaali markkinajohtaja 43% markkinaosuudella. Suuri käyttäjäyhteisö ja laaja osaajajoukko tekevät osaajien ja avun löytämisestä helppoa.
 - ii. Esrin alusta on avoin ja sen päälle Esrin 2000 partneria ovat tehneet omia ratkaisujaan. Esim. kunnossapitoon löytyy paljon toimialaratkaisuja.
 - iii. Lisenssien hinta on murto-osa IT:n kokonaiskustannuksia. Esrin ArcGIS tarjoaa enemmän hyötyjä pienemmillä elinkaarikustannuksilla verrattuna esim. open source pohjaiseen järjestelmäkehitykseen verrattuna.
 - iv. Viime vuonna Esri käytti tuotekehitykseen 260 miljoonaa ja Esrin pääsevät hyödyntämään tuota panostusta valmiiden konfiguroitavien tuotteiden muodossa.
3. **Miten raskasta järjestelmien käyttöönotto on? (vaaditaanko koulutusta ja minkä alan? verkostojen sijainti ja maantieto ominaisuuksien siirtäminen GIS-järjestelmään)**

Liite (6), Haastattelu Ukkonen, 1.3.2017

- a. Esri tekee ArcGIS:in käyttöönnotosta helppoa. Meillä on tarjolla valmiit tuotteistetut käyttöönottopalvelut ja käyttöönotto ei vaadi asiakkaalta erityistä GIS-osaamista.
 - b. Tarvittavat koulutukset ja aineistojen konversiot tehdään osana käyttöönottopalvelua.
 - c. Esrin ratkaisut skaalautuvat hyvin monenlaisiin tarpeisiin. Esim. asiakkaamme Fingrid vaatii järjestelmiltään enemmän kuin paikalliset sähkönsiirtoyhtiöt.
4. **Oma mielipiteesi tulevaisuuden suhteen? Tuleeko yleistymään ja aikaikkuna milloin ns. arkipäivää? (Tällä hetkellä ainakaan Saimaan ammattikorkeakoulussa GIS:ratkaisusta ei ole ollut saatavilla juurikaan tietoa rakennustekniikan koulutuksessa)**
- a. GIS:in käyttö yleistyy hyvää vauhtia ja markkina kasvaa n. 10% vauhdilla globaalisti. GIS on jo arkipäivää monella alalla, esim. sähkön siirtoyhtiöissä.
 - b. Rakennustekniikan puolella BIM:in ja GIS:in yhdistäminen on ns. uusi kuuma juttu maailmalla. Tosin BIM:kin on vielä aika uusi juttu.

Tietojen keruu

- o Tänä päivänä monet kartoituksessa käytettävät mittalaitteet sisältävät android-käyttöjärjestelmän ja niihin saa natiivina Esrin tiedonkeruusovellutukset. Tällöin kartoitus voidaan hoitaa sähköisenä ArcGIS-alustalla alusta loppuun. Esim. Trimblen ja Leican tarkkuus-GPS:t tarjoavat tämän mahdollisuuden. Esim. Hangon satama kartoittaa satama-alueettaan Leican Zenolla käyttäen Esrin ArcGIS-paikkatietoalustaa. Tässä hieman Trimblen näkemystä aiheesta: <http://infogeospatial.trimble.com/Esri-UC-2016.html>
- o Myös muut mittalaitteet, kuten maatumkat ja kaapelinhakulaitteet mahdollistavat usein tietojen tallentamisen suoraan Esrin formaateissa.
- o Dronejen käyttö on yleistymässä voimakkaasti. Kaukaan kohdalla tarkkan ilmakuvataustakartan ja ehkä lämpökuvauksen voisivat olla kiinnostavia sovellutuksia. Esrin Drone2map tuote tekee lennokkien käytöstä ja tulosten analysoinnista helppoa. <http://www.esri.com/products/drone2map>
- o Tässä samasta aiheesta tehty lopputyö valokaapeliverkon dokumentoinnista. Tiedot ovat monin osin jo 'vanhoja', koska Esrin ja partnerien ratkaisut ovat menossa vahvasti eteenpäin erityisesti mobiilipuolella. http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/70977/timoj_koskinen.pdf;jsessionid=D1D950DA258072F8D247CBC1F9A764B1?sequence=1

Kuntotutkimusmenetelmät

- o Putkistojen kuntoa tutkitaan yleensä putkistokuvauksilla. Monet ohjelmistot sisältävät mahdollisuuden tallentaa tulokset Esrin formaatissa.

Hyödyt

- o Maanalaisten rakenteiden kohdalla suurimmat hyödyt tulevat siitä, että kaikki tietävät mitä missäkin on. Tästä on apua häiriötilanteissa ja esim. rakennustöiden yhteydessä.
- o Ennakointi on usein vähän erilaista putkien ja kaapelien tapauksessa kuin monimutkaisempien laitteiden kohdalla. Varsinaista ennakko- ja huolto-ohjelmia näille ei tehdä, vaan toimenpiteet ovat lähinnä vikakorjausta ja saneerausta, sekä tarkastuksia. Kun putkistot ja niiden kunto on viety esim. käyttö- ja kunnossapitopäälliköiden tarkasteltavaksi selainkäyttöliittymään, huomaavat he aika nopeasti suuren riskin aiheuttavat vanhat huonokuntoiset putkistot.
- o Laajalla tehdasalueella erilaisten tarkastusten hallinta on merkittävä paikkatietoalustan hyöty. Putkistojen kohdalla tämä tarkoittaa esim. kaivotarkastuksia. Myös erilaiset ympäristöön liittyvät mittaukset ja turvallisuuteen liittyvät tarkistukset hyötyvät siitä, kun työt suunnitellaan tehokkaasti paikkatietopohjaisesti ja tulokset ovat nähtävissä kartalla.
- o Tehtailla isoimpia MRO-nimikkeitä säilytetään milloin missäkin virallisten varastopaikkojen ulkopuolella. Näidenkin sijainnit on näppärä tallentaa paikkatietojärjestelmään.
- o ArcGIS Online on pilviratkaisu, jonka hinta sisältää mahdollisuuden käyttää natiiveja sovellutuksia Android- ja iOS-alustoilla. Näin ArcGIS tarjoaa nopeita hyötyjä pienin elinkaarikustannuksin.

Liite (7), Skype palaveri Ukkonen 6.3.2017

Läsnä: Lasse Ukkonen, Lassi Kuronen

Aika: 6.3.2017, 15:00-16:15

Paikka: Skype

Tehtaan kunnossapito ja ArcGis Skype palaveri

1. Yleinen esittely
2. Maanalaisten rakenteiden kohdalla suurimmat hyödyt tulevat siitä, että kaikki tietävät mitä missäkin on. Tästä on apua häiriötilanteissa ja esim. rakennustöiden yhteydessä
-Esittely ja havainnollistaminen
3. ArcGIS Online on pilviratkaisu, jonka hinta sisältää mahdollisuuden käyttää natiiveja sovellutuksia Android- ja iOS-alustoilla. Näin ArcGIS tarjoaa nopeita hyötyjä pienin elinkaarikustannuksin.
-Riskit?
-Tietosuoja jne.
4. Drone2map

Vastauksia:

Historiaa ja yleistä

- keskittynyt digi karttoihin n.60 luvulta, globaali markkinajohtaja (5000 henkilöä) n.43% markkinaosuus
- Suomessa toimii 50 henkilöä joiden lisäksi yhteistyökumppaneita, jotka rakentavat lisäpalveluita sovelluksen alustalle
- SAP yhteensopivuus joissain tapauksissa, usein uudemmissa versioissa. Esrin karttoihin vahva integraatio
- Fingrid hyödyntää ArcGIS alustaa
- ArcGis käytössä VR:llä
- Kasvua: sähköverkostoissa, kaukolämpö, vesihuolto, (12 miljoonan projekti vantaan kanssa)

Trendit

Kasvava intressi vesihuollon ratkaisuista, trendi menossa siihen suuntaan, että yksittäisten räätälöityjen sovellusten sijaan mennään laajempiin kevyempiin sovelluksiin.

Alustan kyvykkyys

- käyttö app:sien ja työpöytä sovellusten kautta
- esimerkiksi: vesihuolto: 1-3 henkilöä työpöydällä ->mallintaa editoi analysoi,
- Paloturvallisuus? Erilaiset turvallisuuteen liittyvät kartat ja niiden ylläpito, pidetään kirjaa tarkastuksista, poistumistiet ja sammuttimet sekä tulityö paikkojen listaus jolloin ne ovat tiedossa ja jälki tsekkaus onnistuu helpommin

Erilaiset karttapohjat

teema kartat esim. turvallisuus -> kunnossapito jne.

Miten pureudutaan aliurakointi ongelmiin?

Liite (7), Skype palaveri Ukkonen 6.3.2017

kevyemmät alustat, helppokäyttöisyys

+ paikan päällä selviää helpommin kaikki tiedot yhden alustan kautta

Esimerkki (skype)

(selainpohjainen verkosto esimerkki)

- halutaan joku osio paineettomaksi, näyttää mitkä venttiilit pitäisi sulkea
- näyttää että yksi asiakas pitäisi informoida
- 2 venttiiliä pitää sulkea, jos jossain vikaa voidaan sulkea pois hausta, näyttää mitkä seuraavaksi.

Käyttövarmuus

pilvipalveluissa parempi kuin omassa infrastruktuurissa?

lyhyt yhteenveto lopuksi:

Häiriöraportit, tehtävien raportointi jne. rakennettu järjestelmään (rakentaminen, kunnossapito, asiakaspalvelu ja saneeraus)

- kaapelit putkistot omalle alustalle? ideaa?

sen lisäksi että toimitaan valmiin tiedon pohjalta edes auttaa myös kartoituksen aloittamisessa!

- Skype-palaverista on otettu näytönkuvaus

Liite (8), Vertailutaulukko ja tulokset osa-alueittain

| Kepner & Tregoe - ongelmanratkaisumalli | Pakolliset ominaisuudet | | GIS | | BIM | | PEC | | Mobiiliaserkeilaus | | VR | | 360 kuvaus | |
|--|-------------------------|------------|-------------------|------------|-------------------|------------|-------------------|------------|--------------------|------------|-------------------|------------|-------------------|------------|
| | Painoarvo | Painotettu | Pistemäärä | Painotettu | Pistemäärä | Painotettu | Pistemäärä | Painotettu | Pistemäärä | Painotettu | Pistemäärä | Painotettu | Pistemäärä | Painotettu |
| Tiedonsiirto | 4 | 16 | 4 | 12 | 3 | 16 | 4 | 16 | 2 | 8 | 2 | 8 | 4 | 16 |
| Havainnollisuus | 3 | 12 | 4 | 6 | 2 | 9 | 3 | 9 | 2 | 6 | 5 | 15 | 4 | 12 |
| Helppokäyttöisyys | 3 | 9 | 3 | 3 | 1 | 9 | 3 | 9 | 3 | 9 | 2 | 6 | 4 | 12 |
| Testattavuus | 4 | 16 | 4 | 16 | 4 | 4 | 1 | 4 | 1 | 4 | 4 | 16 | 1 | 4 |
| Monipuolisuus | 2 | 8 | 4 | 8 | 4 | 6 | 3 | 6 | 3 | 6 | 2 | 4 | 3 | 6 |
| Huollettavuus | 4 | 12 | 3 | 16 | 4 | 8 | 2 | 8 | 2 | 8 | 0 | 0 | 2 | 8 |
| Henkilöstötarve | 3 | 6 | 2 | 6 | 2 | 9 | 3 | 9 | 3 | 9 | 4 | 12 | 4 | 12 |
| Ylläpitokustannukset | 2 | 6 | 3 | 6 | 3 | 8 | 4 | 8 | 4 | 8 | 5 | 10 | 3 | 6 |
| Ennakointavuus | 5 | 25 | 4 | 20 | 4 | 15 | 3 | 15 | 1 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Handittavuus | 5 | 15 | 3 | 20 | 4 | 15 | 3 | 15 | 5 | 25 | 4 | 20 | 5 | 25 |
| | | | Yhdistetty | 125 | Yhdistetty | 113 | Yhdistetty | 99 | Yhdistetty | 88 | Yhdistetty | 91 | Yhdistetty | 101 |

| Painoarvo | Selitys | Väri | Selitys |
|-----------|---------------------------------------|------|--------------|
| 2 | Haluttu ominaisuus | | Selitys |
| 3 | Tärkeä ominaisuus | | Ei |
| 4 | Tärkeä ja haluttu ominaisuus | | Kyllä |
| 5 | Erittäin tärkeä ja haluttu ominaisuus | | Selvitettävä |

| Pakolliset ominaisuudet | Selitys |
|-------------------------|---|
| Käyttöönottavuus | Tekniikka on kehitettävään siinä pisteessä, että sillä on jo käyttöön otettava sovellus joko järjestelmänä, menetelmänä tai laitteena |
| Hyödynnettävyys | Tekniikka tai menetelmä on hyödynnettävissä ja tuottaa konkreettista hyötyä yritykselle tiedon tai tuloksen muodossa |
| Turvallisuus | Menetelmä tai tekniikka on täysin turvallinen tai parantaa turvallisuutta perinteisiin menetelmiin verrattuna |
| Terveellisyys | Menetelmä tai tekniikka ei tuota ihmiselle tai ympäristölle terveellisyys- tai vaarantavaa haittaa |

Liite (8), Vertailutaulukko ja tulokset osa-alueittain

| Kappner & Tregoe - ongelmannakaisumalli | Pakolliset ominaisuudet | | | | UAV/ ja UAS | | | | Pukkitso robotit | | | | Pukkitso luotaimet | | | | Vuove luotain | | | | 3D tulostus | | | | Mobiilihoitopalvelu | | | |
|--|-------------------------|--------------------|-----------------|------------------|-------------|------------|------------|------------|------------------|------------|------------|------------|--------------------|------------|------------|------------|---------------|------------|------------|------------|-------------|------------|------------|------------|---------------------|------------|--|--|
| | 1. Käyttöönottavuus | 2. Hyödynnettävyys | 3. Turvallisuus | 4. Terveellisyys | Painoarvo | Painotettu | Pistemäärä | Painotettu | Pistemäärä | Painotettu | Pistemäärä | Painotettu | Pistemäärä | Painotettu | Pistemäärä | Painotettu | Pistemäärä | Painotettu | Pistemäärä | Painotettu | Pistemäärä | Painotettu | Pistemäärä | Painotettu | Pistemäärä | Painotettu | | |
| Tiedonsiirto | 4 | | | | 4 | 16 | 3 | 12 | 3 | 12 | 3 | 12 | 3 | 12 | 3 | 12 | 0 | 0 | 4 | 4 | 0 | 0 | 4 | 4 | 16 | | | |
| Havainnollisuus | 3 | | | | 3 | 12 | 4 | 12 | 4 | 12 | 4 | 12 | 4 | 12 | 4 | 12 | 4 | 4 | 4 | 4 | 12 | 4 | 4 | 4 | 12 | | | |
| Helppokäyttöisyys | 3 | | | | 3 | 9 | 2 | 6 | 3 | 9 | 3 | 9 | 3 | 9 | 3 | 9 | 2 | 2 | 4 | 4 | 6 | 4 | 4 | 4 | 12 | | | |
| Testattavuus | 4 | | | | 4 | 12 | 1 | 4 | 1 | 4 | 1 | 4 | 1 | 4 | 1 | 4 | 2 | 2 | 4 | 4 | 8 | 4 | 4 | 4 | 16 | | | |
| Monipuolisuus | 2 | | | | 2 | 8 | 4 | 8 | 4 | 8 | 4 | 8 | 4 | 8 | 4 | 8 | 3 | 3 | 4 | 4 | 6 | 4 | 4 | 4 | 8 | | | |
| Huollettavuus | 4 | | | | 4 | 12 | 3 | 12 | 3 | 12 | 3 | 12 | 3 | 12 | 3 | 12 | 4 | 4 | 4 | 4 | 16 | 4 | 4 | 3 | 12 | | | |
| Henkilöstötarve | 3 | | | | 3 | 12 | 4 | 12 | 4 | 12 | 4 | 12 | 4 | 12 | 4 | 12 | 4 | 4 | 4 | 4 | 12 | 4 | 4 | 2 | 6 | | | |
| Ylläpitokustannukset | 2 | | | | 2 | 8 | 3 | 6 | 3 | 6 | 3 | 6 | 3 | 6 | 3 | 6 | 5 | 5 | 4 | 4 | 10 | 2 | 4 | 4 | 8 | | | |
| Ennakotavuus | 5 | | | | 5 | 10 | 3 | 15 | 3 | 15 | 3 | 15 | 3 | 15 | 3 | 15 | 2 | 2 | 4 | 4 | 10 | 1 | 5 | 1 | 5 | | | |
| Hankittavuus | 5 | | | | 5 | 25 | 3 | 15 | 3 | 15 | 3 | 15 | 3 | 15 | 3 | 15 | 5 | 5 | 4 | 4 | 20 | 4 | 4 | 20 | 115 | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| Painoarvo Selitys |
|---|
| painoarvo = 2 Haluttu ominaisuus |
| painoarvo = 3 Tärkeä ominaisuus |
| painoarvo = 4 Tärkeä ja haluttu ominaisuus |
| painoarvo = 5 Erittäin tärkeä ja haluttu ominaisuus |

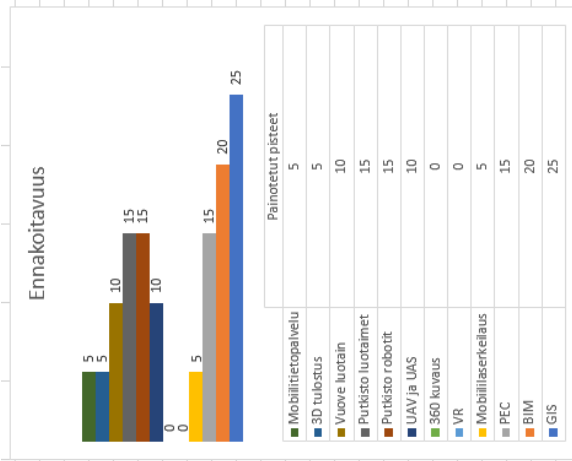
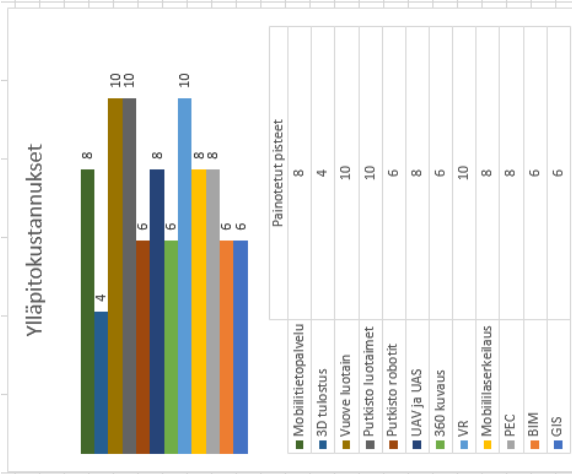
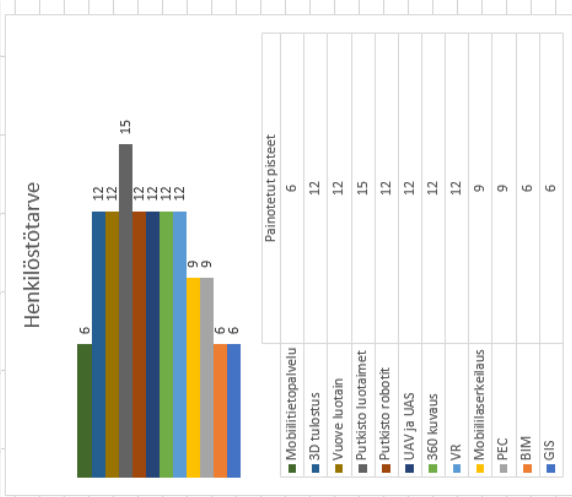
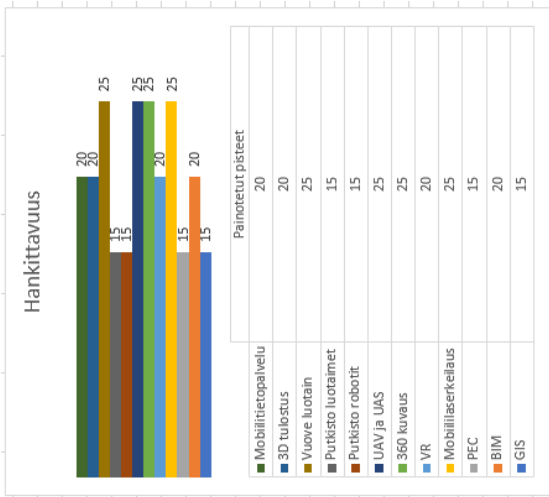
| Pakolliset ominaisuudet | Selitys |
|-------------------------|--|
| Käyttöönottavuus | Tekniikka on kehitettyään siinä pisteessä, että sillä on jo käyttöön otettava soveltuva sovellys joko järjestelmänä, menetelmänä tai laitteena |
| Hyödynnettävyys | Tekniikka tai menetelmä on hyödynnettävissä ja tuottaa konkreettista hyötyä yritykselle tiedon tai tuloksen muodossa |
| Turvallisuus | Menetelmä tai tekniikka on täysin turvallinen tai parantaa turvallisuutta perinteisiin menetelmiin verrattuna |
| Terveellisyys | Menetelmä tai tekniikka ei tuota ihmiselle tai ympäristölle terveellisyttä vaarantavaa haittaa |

| Väri | Selitys |
|------|--------------|
| | Ei |
| | Kyllä |
| | Selvitettävä |

Liite (8), Vertailutaulukko ja tulokset osa-alueittain

| Osa-alue | Mobiilitietopalvelu | 3D tulostus | Vuove luotain | Puutkisko luotaimet | Puutkisko robotit | UAV/ja UAS | 360 kuvaus | VR | Mobiililaserkeilaus | PEC | BIM | GIS |
|--------------------------|---------------------|-------------|---------------|---------------------|-------------------|------------|------------|----|---------------------|-----|-----|-----|
| Tiedonsiirto | 16 | 0 | 12 | 12 | 12 | 16 | 16 | 8 | 8 | 16 | 12 | 16 |
| Havainnollisuus | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 15 | 6 | 6 | 9 | 12 |
| Helppokäyttöisyys | 12 | 6 | 9 | 9 | 6 | 6 | 9 | 9 | 3 | 9 | 9 | 9 |
| Testattavuus | 16 | 8 | 4 | 4 | 4 | 12 | 4 | 4 | 4 | 16 | 16 | 16 |
| Monipuolisuus | 8 | 6 | 4 | 6 | 8 | 8 | 6 | 6 | 6 | 6 | 8 | 8 |
| Huollettavuus | 12 | 8 | 16 | 16 | 12 | 3 | 8 | 8 | 8 | 12 | 16 | 12 |

Liite (8), Vertailutaulukko ja tulokset osa-alueittain



Yhdistetyt pisteet

