




# **Dronet rakennetarkastuksissa – yhteenvedo**

Kirjoittajat: Mari Niemelä

Luottamuksellisuus: Julkinen

<b>Raportin nimi</b>	
Dronet rakennetarkastuksissa – yhteenveto	
<b>Asiakkaan nimi, yhteyshenkilö ja yhteystiedot</b>	<b>Asiakkaan viite</b>
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy Drones for structural inspections -projekti Mari Niemelä (mari.niemela@vtt.fi)	
<b>Projektin nimi</b>	<b>Projektin numero/lyhytnimi</b>
Drones for structural inspections	114327 / I-Drone
<b>Raportin laatija(t)</b>	<b>Sivujen/liitesivujen lukumäärä</b>
Mari Niemelä	18 s.
<b>Avainsanat</b>	<b>Raportin numero</b>
Drone, rakennetarkastus, sillat, kiinteät merimerkit	VTT-R-06638-17
<b>Tiivistelmä</b>	
<p>Miehittämättömien ilma-alusten, dronejen, käyttö tutkimus- ja tarkastustoiminnassa on nopeasti kehittyvä ala ja niitä on hyödynnetty monissa kohteissa. Rakenteiden kunnonvalvontaan dronet soveltuvat myös mutta niiden potentiaalia ei vielä juurikaan hyödynnetä Suomessa. Tässä projektissa keskityttiin vain dronesovelluksiin rakennetarkastuksissa. Projekti sisälsi suppean kirjallisuustutkimuksen ja projektissa testattiin droneja siltojen sekä kiinteiden merimerkkien rakennetarkastuksissa.</p> <p>Projektissa havaittiin, että dronet soveltuvat apuvälineeksi rakennetarkastuksiin, jos muutamia teknisiä haasteita saadaan ensin ratkaistua. Teknisiä haasteita olivat GPS-signaalin ja kuvauksen katvealueet sekä kuvauksen valotuksen riittävyys joissain tarkastuskohteissa. Lennätysten suunnittelussa tulee huomioida lisäksi määräysten, sään ja ympäristön aiheuttamat reunaehdot. Projektissa pohdittiin myös tarkastuksen suorittamista jälkikäteen kuvien perusteella. Projektissa nousi jatkokehityskohteiksi automaattinen lennättäminen ja automaattinen vaurioiden tunnistaminen kuvien perusteella.</p>	
<b>Luottamuksellisuus</b>	Julkinen
Espoo 11.1.2018	
<b>Laatija</b>	<b>Tarkastaja</b>
	
Mari Niemelä tutkija	Keijo Koski erikoistutkija
	<b>Hyväksyjä</b>
	
	Edgar Bohner tutkimustiimin päällikkö
<b>VTT:n yhteystiedot</b>	
PL 1000, 02044 VTT (käyntiosoite: Kemistintie 3, Espoo)	
<b>Jakelu (asiakkaat ja VTT)</b>	
<p>VTT:n nimen käyttäminen mainonnassa tai tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.</p>	

## Alkusanat

---

Tässä projektissa olivat mukana seuraavat tahot:

- Teknologin tutkimuskeskus VTT Oy: Mikko Kallio, Mikko Lehtonen, Kalle Raunio, Mari Niemelä, Keijo Koski
- Liikennevirasto: Pekka Siitonen, Matti Piispanen, Timo Tirkkonen
- SiltaExpert Oy: Mikko Rauhanen, Juha Saksa
- VR Track Oy: Tomi Weckman
- Meritaito Oy: Timo Luukkonen, Pavel Sarantsin
- Insta ILS Oy: Raine Lehtonen, Ari Nissinen

Kiitämme mielenkiintoisista kohteista ja hedelmällisestä kommentoinnista.

Espoo 12.1.2018

Tekijät

## Sisällysluettelo

---

Alkusanat .....	2
Sisällysluettelo .....	3
1. Johdanto.....	4
2. Dronet rakennetarkastuksissa.....	4
3. VTT:n tutkimushanke .....	5
3.1 Yleistä.....	5
3.2 Projektissa käytetyt dronet.....	5
3.3 Tarkastuslennätykset.....	7
3.4 Tulokset.....	11
4. Johtopäätökset .....	13
4.1 Sovelluskohteet .....	13
4.2 Tarvittavat resurssi .....	13
4.3 Sääolosuhteet ja ympäristö.....	14
4.4 Tekniset haasteet .....	14
4.5 Tarkastusten suorittaminen jälkikäteen kuvien perusteella.....	14
5. Jatkokehityskohteita.....	15
5.1 Dronejen ominaisuudet ja erikoiskamerat .....	15
5.2 Automaattinen rakennetarkastus .....	15
Lähdeviitteet.....	17

## 1. Johdanto

---

Miehittämättömien ilma-alusten (RPAS Remotely Piloted Aircraft Systems, UA Unmanned Aircraft, myöhemmin käytetään nimitystä drone) käyttö tutkimus- ja tarkastustoiminnassa on nopeasti kehittyvä ala ja niiden käyttöä on kokeiltu jo monella eri alla. Dronea on hyödynnetty mm. maa- ja metsätalouden, vedenlaadun ja sähköverkkojen arviointiin sekä kaivosteollisuuden, pelastustoiminnan ja rajavalvonnan tarpeisiin. Lisäksi on tutkittu erikoiskameroiden käyttöä dronejen kanssa erilaisiin kohteisiin. Esimerkiksi lämpökuvausta on hyödynnetty kaukolämpöputkien vuotokohtien kartoittamiseen, sähkölinjojen ylikuumentumiskohtien havaitsemiseen, sähkönjakelukeskuksien, korkeiden rakennusten ja kattojen eristeiden tarkastuksiin. Pelastustoiminnassa lämpökuvausta on hyödynnetty ihmisten etsimiseen ja palopesäkkeiden paikantamiseen palopaikalta.

Rakenteiden kunnonvalvontaan dronet soveltuvat myös erinomaisesti mutta niiden potentiaalia ei vielä juurikaan hyödynnetä Suomessa. Droneja voitaisiin käyttää esim. kuva-aineiston keräämisessä vaikeasti saavutettavista kohteista kuten silloista, mastoista, kiinteistä merimerkeistä ja muista korkeista rakenteista, joiden kuntoa valvotaan silmämääräisesti vuosi- ja määräaikaistarkastuksilla. Suomessa on tällä hetkellä muutama yritys, jotka tarjoavat droneja hyödyntävää rakennetarkastusta, mutta dronejen käyttö ei ole vielä yleistynyt. Tässä projektissa keskityttiin vain dronesovelluksiin rakennetarkastuksissa. Projekti sisälsi suppean kirjallisuustutkimuksen ja projektissa testattiin droneja siltojen sekä kiinteiden merimerkkien rakennetarkastuksissa. Testissä selvitettiin vaatimuksia, mahdollisuuksia ja haasteita ko. rakennetarkastuksissa.

## 2. Dronet rakennetarkastuksissa

---

Dronejen käyttö rakennetarkastuksissa on kasvava ala maailmanlaajuisesti ja niiden käyttöä erityisesti tuuliturbiinien tarkastuksissa on tutkittu. Tuuliturbiinien autonomisia tarkastuksia on kehitetty, esim. Norjassa tehdyssä tutkimuksessa kehitettiin konenäkömoduulia, joka tunnisti dronen kuvaamasta videosta tuuliturbiinin lapojen paikat ja liikkeet. /10/ Navigant research teki vuonna 2015 tutkimuksen dronejen käytöstä tuuliturbiinien vuositarkastuksissa ja niiden markkinoiden kehitymisestä. Tutkimuksen mukaan vuoteen 2020 mennessä tarkastuksiin liittyvien palveluiden arvon arvioidaan olevan 1 miljardi US\$ maailmanlaajuisesti. /9/

Droneja on käytetty myös jonkin verran siltojen rakennetarkastuksissa. Minnesotassa, USA:ssa on tehty vuonna 2015 pilottiprojekti, jossa tarkastettiin silmämääräisesti neljä erilaista siltaa: esijännitettyä palkkisiltaa, betonista kaarisiltaa, kevyenliikenteen siltaa ja teräksistä kaarisiltaa. Koetarkastuksissa havaittiin, että dronet soveltuvat hyvin asiantuntijoiden työkaluiksi erityisesti pitkien siltojen silmämääräisiin tarkastuksiin sekä esitietojen keräämiseen korjauksia varten. Kustannussäästöt olivat jopa 66 % verrattuna nykyisiin asiantuntijoiden tekemiin tarkastuksiin, joissa apuvälineinä käytetään esim. nostureita. Droneilta vaadittavia ominaisuuksia olivat mm. kuvaaminen suoraan ylöspäin (sillan alusrakenteiden tarkastamista varten) sekä dronen lentäminen sateella ja ilman GPS:ää (esim. rakenteet muodostavat GPS-signaalin katvealueita sillan alla). Pilotissa kokeiltiin lisäksi infrapunakameraa havaitsemaan betonin delaminoitumista. /7/

Australiassa tehtiin vuonna 2015 kaksiaukkoiselle betoniselle laattasillalle tapaustutkimus, jossa tarkasteltiin dronen tuomia säästöjä silmämääräiseen tarkastamiseen verrattuna. Tutkimuksessa päädyttiin samakaltaisiin tuloksiin kuin Minnesotan tutkimuksessa. Drone tuo huomattavia säästöjä tarkastuksiin varsinkin silloilla, joiden tarkastusbudjetista suurin osa menee liikennejärjestelyihin ja alusrakenteiden tarkastamiseen tarvittaviin erikoisnostureihin. Tutkimuksen havaitsemia ongelmia olivat mm. alan tiukka säätely ja standardit Australiassa, dronen esteen tunnistaminen ja käyttäytyminen ongelmatilanteissa sekä GPS-signaalin häiriöt. GPS-signaalin häiriöihin ehdotettiin SLAM (simultaneous localization and mapping)

tekniikkaa, joka on tilastollinen navigointitekniikka, jossa drone rakentaa kartan tuntemattomasta alueesta ja päättelee oman sijaintinsa siinä. /8/

Suomessa dronejen käyttö ei ole vielä yleistynyt rakennetarkastuksissa. Liikennevirasto on kokeillut kesällä 2016 dronen soveltuvuutta tarkastuksiin. Koetarkastuksessa havaittiin, että drone soveltui sillan tarkastukseen hyvin: Sillan alusrakenteiden kuvaus onnistui, kuvaus oli vakaata tuulen pyörteilystä huolimatta ja kuvat olivat riittävän tarkkoja. Dronen akun lataus ei kuitenkaan riittänyt kovin ison alueen kuvaamiseen. Lisäksi koetarkastuksessa testattiin meriviitan tarkastusta ja virtuaalilaseja.

### 3. VTT:n tutkimushanke

---

#### 3.1 Yleistä

Tämän pilottiprojektin tarkoituksena oli selvittää dronejen käyttöä siltojen ja kiinteiden merimerkkien silmämääräisissä tarkastuksissa. Tavoitteena oli tutkia dronejen hyödyntämistä tarkastajan apuvälineenä ja selvittää projektiin valittujen dronejen mahdollisuuksia ja kehityskohteita. Lisäksi arvioitiin kuvatun materiaalin soveltuvuutta jälkikäteen tehtävään tarkastukseen. Lopuksi pohditaan jatkokehityskohteita. Projektissa ei käsitelty laajemmin miehittämättömien ilma-alusten käyttöä. Lisäksi tässä projektissa keskityttiin tarkastuskuvien hankintaan, mutta niiden tarkempi tarkastelu (esim. automaattisen kuvantunnistuksen mahdollisuudet) jätettiin jatkotutkimuksiin.

#### 3.2 Projektissa käytetyt dronet

Droneja on markkinoilla valtavasti erilaisia ja niiden kehitys on tällä hetkellä erittäin nopeaa. Käytännön kokemusta varten VTT:lle hankittiin kaksi dronea: tukevampi Matrice 100 ja ketterämpi Phantom 4 pro. Kummatkin ovat DJI:n valmistamia. /11/



*Kuva 1. Matrice 100 /11/.*

Matrice 100-drone on esitetty kuvassa 1 ja sen perustiedot on kerätty taulukoon 1. Tämä drone valittiin projektiin, koska se on lennätettävä alusta, jolle voidaan kiinnittää uusia laitteita ja jota voidaan ohjelmoida avoimia rajapintoja hyödyntäen. Se on keskihintainen drone, jonka tuulenkestävyys (10 m/s) ja lentoaika (käytännössä vajaa 30 minuuttia kahdella akulla) ovat kohtalaisia. Lisäksi kameralla pystyy kuvaamaan 30° ylöspäin vaikka kamera on sijoitettu dronen alle.

Taulukko 1. Matrice 100 perustiedot.

mitat (diagonaalimitta ilman propellia)	650 mm
paino yhdellä TB48D akulla (vakio)	2431 g
paino kahdella TB48D akulla	3107 g
kantokyky	3600 g
käyttölämpötila	-10 °C ... +40 °C
akun latauslämpötila	0 °C ... +40 °C
tuulirajoitus	10 m/s
valmistajan ilmoittama lentoaika (kahdella TB48D akulla, ilman hyötykuormaa)	40 min
kameran (Zenmuse X5) linssi	Diagonal FOV 72°, F/1.7–F/16 focus range 20 cm–∞
ISO alue	100–25600
videon resoluutio	4096x2160(23.98p) 3840x2160(29.97/23.98p) 2704x1520(30/25P) 1920x1080(59.94/29.97p)
kameran kääntö (pystysuunnassa)	-90° ... +30°

Phantom 4 pro -drone on esitetty kuvassa 2 ja sen perustiedot on kerätty taulukoon 2. Tämä drone valittiin projektiin hyvän kameran ja kompaktin kokonsa takia sekä automatiikkansa takia. Lisäksi haluttiin kokeilla käytännössä, kuinka alemman hintaluokan drone soveltuu rakennetarkastuksiin.



Kuva 2. Phantom 4 pro /11/.



Taulukko 2. Phantom 4 pro perustiedot.

mitat (diagonaalimitta ilman propellia)	350 mm
paino	1388 g
käyttölämpötila	0 °C ... +40 °C
akun latauslämpötila	5 °C ... +40 °C
tuulirajoitus	10 m/s
valmistajan ilmoittama lentoaika	30 min
kameran linssi	FOV (Field of View) 84°, 8,8 mm / 24 mm (35 mm format equivalent), f/2.8–f/11. auto focus at 1 m–∞
ISO alue	Video: 100–3200 (Auto); 100–6400 (Manual) Photo: 100–3200 (Auto); 100–12800 (Manual)

### 3.3 Tarkastuslennätykset

Tarkastuslennätykset tehtiin yhteistyökumppaneiden kohteissa syksyllä 2017. Lennätykset suoritettiin Liikenteen turvallisuusviraston (Trafin) määräyksen OPS M1-32 1.1.2017 mukaisesti ja lennätystä varten laadittiin ohjeet ”Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy Miehistämättömän ilmailun toimintaohje rakennetarkastuksiin” /12/. Jokaisesta tarkastuslennätyksestä on laadittu yksityiskohtainen raportti ja tässä esitetään niistä tiivistelmät. Tarkastuslennätysten sääolosuhteet on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Sääolosuhteet tarkastuskohteissa.

Kohde	Sääolosuhteet	Havainto
Hessundinsalmen silta	tuuli 1–3 m/s pilvinen	pyörteilystä huolimatta pysyi hyvin hallinnassa
Mustionjoen ratasilta	tuuli 3–4 m/s pilvinen	ei vaikuttanut dronen hallintaan
Pohjan ratasilta (itäinen salmi)	tuuli 3–4 m/s aurinkoinen	ei vaikuttanut dronen hallintaan
Pihlajasaari	tuuli 1–2 m/s pilvinen	ei vaikuttanut dronen hallintaan
Räntan	tuuli 5 m/s pilvinen ja vähäinen sade	hieman vaikutti dronen hallintaan, erityisesti lennätettäessä merkin takaa aukeammalle alueelle

Siltojen käyttöön aikaisiin tarkastuksiin kuuluvat vastaanottotarkastus, vuositarkastus, yleistarkastus sekä erikoistarkastus. Tässä projektissa keskitytään silmämääräisesti tehtäviin yleistarkastuksiin, jotka ovat 5–10 vuoden välein tehtäviä siltojen päätarkastuksia. Tarkastuksessa tuotetaan vuositarkastusta tarkempaa tietoa rakenteiden vaurioitumisesta ja kunnosta. Taitorakenteiden tarkastusohjeessa on listattu yksityiskohtaisesti, mitä vaurioita eri rakenteista etsitään (esim. betonirakenteisista taitorakenteista etsitään mm. pintahalkeamia tai rakenteellisia halkeamia sekä merkkejä suolakorroosiosta). /1/ Tarkastaja käyttää tarkastuksissa apuvälineenä kameraa ja kiikareita eikä pääsääntöisesti käytetä nostureita tai kiipeilyvaljaita. Lisäksi voidaan käyttää luoppia halkeamien tarkasteluun.

**Maantiesillan** koetarkastus suoritettiin Hessundinsalmen sillalla, Varsinais-Suomessa (Kuva 3). Silta on teräsbetoninen kaarisilta, jonka kokonaispituus on 166,60 m. Varsinaisen yleistarkastuksen suoritti tarkastaja Juha Saksa (SiltaExpert Oy) ja VTT:ltä lennätyskeskuksesta



osallistui lennätyksen päällikkö Mikko Kallio ja kuvaaja Mari Niemelä. Lennätys suoritettiin Matrice 100 -dronella ja kuvaus Zenmuse X5 -kameralla.

Kuvauksessa keskityttiin kaareen ja sen seinämäisiin välitukiin sekä kannen alapintaan, reunaan ja tippuputkiin. Lopuksi otettiin lähikuvia Kirjalansaaren puoleisen päädyn mahdollisesta vesivuotovauriosta. Kuvaus suoritettiin pääsääntöisesti noin 5 m etäisyydeltä sillasta ja minimietäisyys sillasta oli 2–3 m. Etäisyyttä rajoittivat tuuli (ennusteen mukaan noin 1–3 m/s) ja sillan aiheuttama tuulen pyörteily.



*Kuva 3. Hessundinsalmen silta, Parainen, Varsinais-Suomi.*

**Ratasiltojen** yleistarkastus tehdään kuten maantiesiltojen, mutta lisäksi tulee huomioida junaliikenteen aiheuttamat turvallisuustoimenpiteet. Ohiajava juna aiheuttaa ilmapyörteitä (imua ja painetta), jotka voivat heitellä dronea. Lisäksi juna aiheuttaa voimakkaan muuttuvan sähkövirran, jonka seurauksena syntyy magneettikenttä. Magneettikenttä saattaa vaikuttaa dronen ja ohjaimen väliseen signaaliin. Näiden seikkojen takia drone päätettiin tuoda maahan junan ohittaessa.

Tämän projektin aikana käytiin sekä betonisella että teräksisellä ratasillalla. Kuten jo aikaisemmin mainittiin, betonirakenteista etsitään mm. erilaisia halkeamia ja suolakorroosion aiheuttamia vaurioita. Teräsrakenteiden tyypillisiä vaurioita ovat korroosio eli ruostuminen ja dynaamisen kuormituksen aiheuttama väsyminen, joka ilmenee mm. rakenteen säröinä ja liitosten niittien katkeamisena.

Ensimmäinen lennätys suoritettiin Mustionjoen ratasillalla, Uudellamaalla (Kuva 4). Silta on jännitetty betoninen palkkisilta, jonka kokonaispituus on 276,50 m. Tomi Weckman (VR Track Oy) oli jo aikaisemmin suorittanut sillan yleistarkastuksen ja lennätyksen aikana hän ohjeisti kuvauskohteet sekä huolehti turvatoimista junien ylittäessä siltaa. VTT:ltä lennätykseen osallistui lennätyksen päällikkö Mikko Kallio ja kuvaaja Mari Niemelä. Lennätys suoritettiin Matrice 100 -dronella ja kuvaus Zenmuse X5 -kameralla.

Kuvauksessa keskityttiin dokumentoimaan pääpalkkien mahdollisia vesivuotovaurioita ja laakereiden asentoa. Lisäksi kiinnostuksen kohteena oli pääpalkkien välinen kannen alapinta ja siinä olevat tippuputket. Kuvaus suoritettiin pääsääntöisesti noin 4–5 m etäisyydeltä sillasta.



*Kuva 4. Mustionjoen ratasilta, Raasepori, Uusimaa.*

Toinen lennätuskokeilu tehtiin Pohjan ratasillalla (itäinen salmi), Uudellamaalla (Kuva 5). Silta on teräksinen levypalkkisilta, jonka kokonaispituus on 163,00 m. Sillalle oli tehty erikoistarkastus vuonna 2016, joten nyt lennätyksen aikana havaitut vauriot kirjattiin löydetyiksi. Lennätyksen aikana sillalla ei ollut junaliikennettä, mutta silta sijaitsi tiheästi asutulla alueella, joka otettiin huomioon Liikenteen turvallisuusviraston (Trafin) määräyksen OPS M1-32 /2/ mukaisesti.

Kuvauksissa keskityttiin ensin kannen reunaan, välitukiin ja laakeritasoihin. Nämä kuvattiin käyttäen Matrice 100 -dronea ja Zenmuse X5 -kameraa. Lopuksi sillan eteläpuolella kokeiltiin pienemmän dronen (Phantom 4 pro) soveltuvuutta kuvaamiseen rakennetarkastusta varten. Kuvaus suoritettiin pääsääntöisesti noin 4–5 m etäisyydeltä sillasta.



*Kuva 5. Pohjan ratasilta (itäinen salmi), Raasepori, Uusimaa.*



**Kiinteiden merimerkkien** säännöllisillä tarkastuksilla pyritään takaamaan merkkien riittävä kunto ja väylien turvallisuus. Kiinteille merimerkeille tehtäviä silmämääräistarkastuksia ovat vuosi- ja yleistarkastukset. Tässä projektissa keskitytään yleistarkastuksiin, jotka suoritetaan 10 vuoden välein tai tarvittaessa. Tarkastuksessa etsitään mm. rakennemateriaalien ikääntymisvaurioita (esim. betonin rapautuminen, betoniteräksen korroosio, rakenneteräksen korroosio, puurakenteiden lahovauriot, pulttiliitosten välykset, korroosio ja rikkoutuminen) ja pinnoitteiden vaurioita. Tarkempia ohjeita tarkastukseen ja tarkastajan pätevyyteen on annettu viitteessä /1/.

Yleistarkastus tehdään kokonaan silmämääräisesti, eikä tarkempia tutkimusmenetelmiä käytetä, jos näköhavainnot eivät siihen anna aihetta. Tarkastajan apuvälineitä ovat:

- ✓ kamera tarkastuskohteiden ja poikkeamien dokumentointiin,
- ✓ kiikari vaurioiden tarkempaan tarkasteluun
- ✓ puukko puumateriaalien kunnan tarkasteluun,
- ✓ vasara betonirakenteiden kunnan tarkasteluun,
- ✓ luuppi poikkeamien (vaurioiden) koon määrittämiseen ja
- ✓ henkilökohtaiset turvallisuusvarusteet.

Tämän projektin puitteissa käytiin Helsingin edustalla kahdella linjataulumerkillä: Pihlajasaari ylin ja Räntan ylin. Tarkastaja Pavel Sarantsin (Meritaito Oy) suoritti mastojen tarkastuksen ja ohjeisti kuvattavat kohteet. VTT:ltä lennätukseen osallistui lennätysten päällikkö Mikko Kallio ja kuvaaja Keijo Koski. Lennätystä oli lisäksi seuraamassa miehittämättömän ilmailun asiantuntijat Raine Lehtonen ja Ari Nissinen (Insta ILS Oy), jotka kommentoivat jälkikäteen lennätukseen liittyviä käytännön asioita turvallisuuden näkökulmasta.

Ensimmäinen lennätys suoritettiin Pihlajasaaren ylin -linjataulumerkillä. Linjamerkki oli kiinnitetty kolmimallisiin mastoihin, jotka seisoivat betoniperustoilla. Masto oli myös harustettu, sillä se toimii tutkamastona. Lennätys tehtiin Pihlajasaaresta käsin Matrice 100 -dronella ja kuvaus Zenmuse X5 -kameralla. Lennätysten aikana masto kuvattiin tarkastaja Pavel Sarantsinin ohjeiden mukaisesti, mutta kuvaus jouduttiin suorittamaan melko etäältä mastosta (5–10 m) harusten takia.



Kuva 6. Pihlajasaaren tutkamasto ja ylempi linjataulumerkki.

Toinen lennätys tehtiin Rântan yli -linjamerimerkillä Rântanin saarelta käsin. Linjamerkki oli kiinnitetty samanlaiseen mastoon kuin Pihjalasaaren merkki, mutta mastoa ei ollut harustettu. Kuvaus suoritettiin Phantom 4 pro -dronella ja lennätysten päällikkö Mikko Kallio vastasi sekä lennätuksesta että kuvaamisesta.



Kuva 7. Yleiskuva ylhäältä ja lännestä Rântanin linjamerimerkistä.

### 3.4 Tulokset

Tähän kappaleeseen on kerätty tarkastuskohteista kerätyt tulokset. Lisäksi arvioitiin kuvien soveltuvuutta jälkikäteen tehtävää tarkastusta varten.

Projektissa **maantiesiltojen** edusti Hessundinsalmen silta. Tarkastaja arvioi sillan kunnan olevan tyydyttävä. Vaurioita kirjattiin yhteensä 77, mutta ne eivät kuitenkaan vaikuta sillan kantavuuteen eivätkä vaadi erikoistarkastusta. Kymmenen havaituista vaurioista ovat sellaisia, joiden seuraamisessa voisi hyödyntää dronea. Lisäksi tarkastaja mainitsee raportissaan 10 vauriota, joiden seuraaminen voidaan tehdä joko maasta käsin tai dronen avustuksella.

Hessundinsalmen sillan yleistarkastuksessa dronen avulla nähtiin tarkemmin vauriot välitukien yläpäissä, reunapalkkien ulkopinnalla, kotelopalkkien sivupinnalla ja laakereilla, joten sillan kunnosta saatiin niiden osalta tarkempi kuva. Tarkastajan arvion mukaan nämä olisi kuitenkin voitu suurimmaksi osaksi tarkastaa myös maasta ja kaarien päältä. Tosin kaarien päälle olisi pitänyt kiivetä ja kiipeillessä paikalla tulee olla myös toinen tarkastaja.

Kyseisessä kohteessa dronen (Matrice 100) suurin haaste oli GPS-signaalin katvealueet sillan alla. Dronea pystytään lennättämään manuaalisesti myös ilman GPS-signaalia, mutta dronen vakaus kärsii huomattavasti ja riskit törmäyksiin kasvavat. Lisäksi kuvauksen laatu kärsii. Sillan ja tuulen aiheuttaman pyörteilyn takia, lennättämistä ilman GPS-signaalia ei nähty järkevänä vaihtoehtona. Toinen haaste oli kameran rajoitettu kääntö ylöspäin (30°), mikä vaikeutti kannen alapinnan kuvaamista. Kolmantena haasteena oli sillan päissä oleva puusto, joka esti lennätysten maatukien luona. /13/



Projektissa vierailtiin kahdella **ratasillalla**. Tarkastaja havaitsi Mustionjoen ratasillan yleistarkastuksessa vesivuotoja pää- ja poikkipalkeissa, valuvikoja ja kalkkihärmää pääpalkkien sisäpinnoilla mm. syöksytorvien kohdalla. Lisäksi kirjattiin maatuella eroosioaurio ja töherrys. Osa vesivuodoista havaittiin pahentuneen viime tarkastuksesta. Lisäksi edellisissä tarkastuksissa oli havaittu kalkkihärmää pääpalkkien välissä. Dronen avulla saatiin varmistus yleistarkastuksessa tehtyihin havaintoihin pääpalkkien vaurioista ja osa poikkipalkkien vesivuodoista nähtiin paremmin. Lisäksi laakerien asento voitiin varmistaa kaikilla tuilla.

Pohjan ratasillan (itäinen salmi) yleistarkastuksessa havaittiin ruostetta mm. pääkannattimissa, vinositeissä ja huoltokäytävien kannakkeissa. Lisäksi havaittiin ylimääräistä kasvillisuutta välituilla ja töherryskäsiä teräsrakenteessa. Sillalle on tehty erikoistarkastus vuonna 2016, joten tässä koelennätyksessä ei tehty uutta tarkastusta vaan vauriot kirjattiin löydetyiksi. Dronen avulla havaittiin lisäksi laakereiden puuttuvat suojakotelot, kivirakenteen saumausten rapautuminen ja paikoilleen jätetyt laivajohteiden kiinnikkeet.

Suurimpana haasteena kuvauksessa oli GPS-signaalin katvealueet sillan alla. Kuten maantiesillalla, tämä aiheutti ohjauksen epävakaisuutta ja rakenteeseen törmäämisen riski kasvoi, joten sillan alla lennättäminen oli käytännössä mahdotonta. Tämän haasteen takia pääpalkkien välinen alue jäi kuvaamatta sekä betonisella Mustionjoen ratasillalla että teräksisellä Pohjan ratasillalla (itäinen salmi). Toisena haasteena oli, ettei luonnonvalo riittänyt kuvaamiseen pääpalkkien välissä vaan kuvaaminen olisi vaatinut droneen kiinnitettävän kohdennettavan lisävalon. Kolmantena haasteena oli etäisyyksien arvioiminen dronen ja esteiden välillä, kun dronen ja lennättäjän välimatka kasvoi. /14/

Projektissa osallistuttiin myös kahden **kiinteän merimerkin** tarkastukseen. Tarkastaja kirjasi toisella kohteella kolme lievää vauriota, joista dronella huomattiin vain yksi. Toisella kohteella vaurioita kirjattiin kaksi. Dronella havaittiin kummatkin vauriot, mutta toisen vaurion laajuutta ei dronen kuvasta voitu arvioida.

Dronen avulla voidaan arvioida linjamerimerkin yleiskuntoa, kuten teräsrakenteiden syöpymistä, kiinnittimien puutteita, linjamerkin maalipintaa ja puurakenteiden selviä lahovauriota. Merimerkeistä saadut yleiskuvat olivat hyviä ja suuri resoluutioisista kuvista voidaan tarkastella pienempiä yksityiskohtia, kuten puuttuvia muttereita ja puutavaran kuntoa silmämääräisesti. Dronella pystyttiin myös kuvaamaan rakenteen ulkopuolta, jota ei kiivetessä näe. Tarkastajan arvioin mukaan drone soveltuu kohteisiin, joissa on puutteelliset turvallisuusvarusteet.

Toisaalta rakenteiden tarkempi kunnan arvioiminen dronen avulla on haastavaa. Yleistarkastuksessa betonianturasta arvioidaan mittaamalla mm. rapautumisen syvyyttä ja pinta-alaa sekä halkeaman pituutta ja leveyttä. Haruksista tarkastetaan kireys ja liitosten kunto ja muista materiaaleista mm. teräksen ruostumisen aste, puun lahoaminen ja kiinnittimien välykset. Anturan ja harusten drone-tarkastuksia vaikeuttaa puukasvillisuus ja itse harukset eikä dronen avulla saada fyysisesti mitattua vaurioita ja rakenneosia. Mittojen ottaminen kuvista jälkikäteen saattaa olla mahdollista, mutta sitä ei tämän projektin puitteissa kokeiltu. Pintalahon tai kuluman syvyyttä on kuitenkin haastava arvioida kuvan perusteella. Tarkastajan arvioin mukaan drone ei nykyisellään sovellu Liikenneviraston laatuvaatimusten mukaiseen yleistarkastukseen.

Itse tarkastuslennätykseen ei liittynyt suuria haasteita. Suurimpana rajoituksena oli lennätyksen aikatauluttaminen sään mukaan. Vaikka kummankin tässä projektissa käytetyn dronen (Matrice 100 ja Phantom 4 pro) tuulirajoitus on 10 m/s, käytännössä yli 5 m/s puhaltava ja rakenteiden vieressä pyörteilevä tuuli kasvattaa törmäyksen riskiä ja aiheuttaa kuvan epävakaisuutta ja heiluntaa. Toinen haaste oli vesi: kameran linssiin osuvat pisarat vääristävät kuvaa, eikä tämän projektin dronet olleet sääsuojattuja. Dronen lennätysaika koettiin lyhyeksi päivän mittaisilla tarkastuskierroksilla. Lisäksi tutkalla varustetun merkin tarkastaminen vaatii tutkan sammuttamista. /15/

## 4. Johtopäätökset

---

Tässä projektissa käytettiin kahta erilaista dronea tarkastajan apuvälineenä siltojen ja kiinteiden merimerkkien yleistarkastuksissa. Projektissa havaittiin, että dronet soveltuvat apuvälineeksi rakennetarkastuksiin, jos muutamia teknisiä haasteita saadaan ensin ratkaistua ja lennätysten suunnittelussa huomioidaan sääolosuhteiden ja ympäristön rajoitukset. Lisäksi pohdittiin tarkastuksen suorittamista jälkikäteen kuvien perusteella ja tätä aihetta tulee tutkia lisää.

### 4.1 Sovelluskohteet

**Siltojen** yleistarkastukseen projektissa käytössä olleet dronet soveltuivat hyvin kohteisiin, joissa kuvaus voitiin tehdä sillan vierestä. Erityisesti pitkien ja korkeiden vesistösiltojen yleistarkastuksessa dronesta on hyötyä esim. kannen reunan tarkasteluun. Toisena sovelluskohteena nähtiin sillan kannen päällä olevat korkeat rakenteet, kuten köysisiltojen pylonit, vaijerit ja niiden liitokset.

Ratasilloilla havaittiin, että lennättäminen sillan vieressä onnistui hyvin. Ohiajavat junat eivät vaikeuttaneet lennätystä, sillä lennätys saatiin helposti aikataulutettua junien ohitusaikojen väliin. Koska lennätys suoritettiin sillan vieressä, ei sitä määritetty ratatyöksi, joten ratoja ei tarvinnut varata lennätysten ajaksi eikä junien aikatauluja häiritty.

**Kiinteiden merimerkkien** tarkastuksessa drone soveltuisi kohteisiin, joissa merkkien tarkastukseen tarvitaan tarkastajan siirtoon apuvälineitä kuten henkilönostinta. Etenkin tällaisia kohteita olisivat esim. majakoiden ulkorakenteiden ja -pintojen sekä yli 20 metrisien linjataulujen tarkastukset. Lisäksi dronea voitaisiin käyttää kohteissa, joissa on puutteelliset turvallisuusvarusteet.

Tässä projektissa vertailtiin kahden hintaluokan dronea. Kohteissa havaittiin, että edullisemman **Phantom 4 pro** -dronen kuvien tarkkuus oli samaa luokkaa kuin Matrice 100 -dronella. Lisäksi Phantomin lennätys- ja kuvausautomaatiikka oli parempi kuin Matrice 100 -drone ja sen kuljetus kuvauspaikalle onnistuu yhdellä kevyellä tarvikelaukulla. Suurin haaste oli kameran suunnan rajoitukset, jotka estivät ylöspäin kuvaamisen, mutta Phantom 4 pro -dronen havaittiin soveltuvan hyvin tarkastuksiin, joissa kuvaus tehdään alaviistoon. Tällaisia kohteita ovat mm. korkeat sillan päällä olevat rakenteet (pylonit, vaijerit ja niiden liitokset), majakoiden ulkorakenteet ja pinnoitteet sekä kiinteiden merimerkkien (harustamattomat) mastot.

**Matrice 100** -dronella pystyttiin kuvaamaan myös ylöspäin 30° kulmassa. Drone on käytännössä lentävä lavetti eli alusta, johon voidaan kiinnittää erilaisia laitteita. Avomien rajapintojen avulla on myös mahdollista ohjelmoida lisättyjen laitteiden ominaisuuksia. Dronen kamera on vaihdettavissa ja kaupallisesti on saatavilla esim. lämpökameroita. Näiden ominaisuuksien hyödyntäminen jäi kuitenkin tämän projektin ulkopuolelle ja jatkokehitys-kohteiksi.

### 4.2 Tarvittavat resurssi

Nykyisin siltojen yleistarkastuksen suorittaa tarkastaja yksin (pl. kohteet joissa kiipeillään tai ollaan vedessä) ja merimerkkien tarkastukseen osallistuu kaksi henkilöä. Tässä projektissa dronella tehtäviin tarkastuksiin osallistui kolme ihmistä: lennättäjä, kuvaaja ja tarkastaja. Jatkossa kuvaajan kannattaisi olla joko tarkastamisen ammattilainen tai kuvaajan lisäksi tarvitaan edelleen erikseen tarkastaja. Optimaalisissa olosuhteissa tarkastaja voisi lennättää ja suorittaa myös kuvaamisen, mikä on Trafin nykyisten määräysten puitteissa mahdollista. Käytännössä ympäristön reunaehdot siltojen läheisyydessä aiheuttaa kuitenkin huomattavasti

haasteita, joten lennätys ja kuvaaminen suositellaan suoritettavaksi kahdella henkilöllä. Kiinteiden merimerkkien kuvaaminen onnistuisi yhdellä henkilöllä. Tarkastuskohteiden kuvaamiseen dronen avustuksella kului aikaa käytännössä yhtä paljon kuin tarkastajalla kului tarkastuksen tekemiseen kaikissa tässä projektissa käydyissä kohteissa.

Edellä mainitut seikat tulee ottaa huomioon dronejen kustannustehokkuutta pohdittaessa. Käytännössä drone-kuvaukset kannattaisi keskittää muutamalle tarkastajalle, joiden dronella tehtäviin tarkastuksiin liittyvä ammattitaito pysyisi yllä ja kasvaisi.

### 4.3 Sääolosuhteet ja ympäristö

Lennätysten suunnittelussa tulee etukäteen ottaa huomioon sää ja ympäristö. Taulukossa 3 on kirjattu eri tarkastuskohteilla vallinneet sääolosuhteet ja niiden vaikutus lennätykseen. Vaikka kummankin projektissa käytetyn dronen tuuliraja on 10 m/s, taulukosta 3 havaitaan, että jo alhaisemmat tuulen nopeudet tulee ottaa huomioon rakenteiden läheisyydessä lennettäessä. Lennätykset onnistuivat kuitenkin hyvin kaikissa projektin tuuliolosuhteissa, joissa dronea käytettiin. Sade rajoittaa myös lennätyskäyttöä, sillä tämän projektin dronet eivät olleet sääsuojattuja. Lisäksi linssiin osuvat vesipisarot vääristävät kuvaa ja videota.

Sääolosuhteiden ennustaminen ennen lennätystä ja kehittymisen arviointi paikan päällä on kuitenkin vaikeaa ja tämä vaikeuttaa tarkastusten aikatauluttamista ja suorittamista. Merimerkkien tarkastajat suorittavat tarkastuksia haastavissakin sääolosuhteissa. Ratasiltojen yleistarkastukseen kuuluu myös radan tarkastamiseen liittyviä asioita, joita varten tehdään radan varaus muutaman viikon päähän. Tämä asettaa haasteita dronen käytölle, sillä säättä ei voi ennustaa luotettavasti riittävän pitkälle. Sillan rakenteiden kuvaus voidaan tehdä ilman radan varausta, mutta jos sääolosuhteet ovat haasteelliset tarkastuspäivänä, joudutaan kohteella käymään ylimääräisen kerran.

Kiinteiden merimerkkien tarkastuksessa ympäristö asettaa omat vaatimuksensa. Tämän projektin kohteissa lennätys tehtiin saaresta, mutta se voitaisiin todennäköisesti suorittaa myös aluksesta käsin. Lisäksi keväisin pesivät linnut saattavat hyökätä dronea kohti, mutta tästä ei kuitenkaan saatu kokemusta tämän projektin aikana. Australiassa ja Yhdysvalloissa on raportoitu muutamia tapauksia, joissa saalistavat petolinnut hyökkäivät dronen kimppuun.

### 4.4 Tekniset haasteet

Suurin tekninen haaste sekä betonisilla että teräksisillä silloilla oli GPS-signaalin katvealueet sillan alla ja lähellä rakenteita. Katvealueiden takia dronen vakaus kärsi huomattavasti, riski rakenteisiin törmäämiselle kasvoi ja kuvauksen laatu kärsi. Tuulen puuskat ja pyörteet rakenteiden lähellä aiheuttivat myös epävarmuutta ohjattavuuteen. Merimerkeillä rakenteet eivät aiheuttaneet GPS-signaalin katvealueita.

Toinen haaste oli kuvaaminen ylöspäin. Phantom 4 pro -dronen kameraa ei saa käännettyä ollenkaan ylöspäin. Matrice 100 -dronen kameraa voi kääntää 30° ylöspäin, mikä olisi luultavasti riittänyt kannen alapinnan kuvaamiseen, jos sillan alapuolella lentäminen olisi onnistunut. Kolmas haaste oli kuvien valotus siltojen alla. Ratasiltojen pääpalkkien väli oli niin kapea, ettei luonnonvalo riittänyt kuvaukseen, joten droneen kaivattiin kohdennettavaa lisävaloa. Neljäntenä haasteena oli zoomin puute kamerasta, mutta kaupallisesti on saataville linsejä ja kameroita, joilla kohteen kuvaus onnistuu kauempaa.

### 4.5 Tarkastusten suorittaminen jälkikäteen kuvien perusteella

Projektissa pohdittiin myös tarkastusten suorittamista jälkikäteen kuvien perusteella. Tarkkuuteen vaikuttivat mm. sääolosuhteet, kuvausetaisyys, tarkennuksen onnistuminen ja



käytettävissä olevat kamerat. Kaikissa projektin kohteissa kuvien tarkkuus oli kuitenkin riittävä, mutta haasteena oli saada koko tarkastettavasta kohteesta riittävästi kuvia. Esimerkiksi siltojen maatuilla puukasvillisuus esti dronen lennättämisen päätyyn asti ja sillan alla jossain kohteissa luonnonvalon puute aiheutti ongelmia. Merimerkeillä kuvaaminen onnistui hyvin ja koko kohde saatiin kuvattua.

Lisäksi havaittiin, että silloilla ja kiinteillä merimerkeillä koko rakenteen kuvaamiseen (sisältäen itse kuvaamisen ja akkujen vaihdon) kului aikaa lähes yhtä paljon kuin perinteisen yleistarkastuksen tekemiseen. Erillinen kuvien tarkastelu jälkikäteen aiheuttaisi lisätyötä perinteiseen yleistarkastukseen verrattuna. Lisäksi aikaa kuluu myös kuvauksen ohjeistamiseen. Nykyisellään drone nähtiin apuvälineeksi tarkastajalle siten, että tarkastajan tekemän yleistarkastuksen jälkeen dronella voisi kuvata hankalasti saavutettavat kohteet. Jos lennätys voidaan hoitaa täysin automatisoidusti, asiaa kannattaa pohtia uudestaan.

## 5. Jatkokehityskohteita

---

Tässä kappaleessa esitetään muutamia projektissa esiin tulleita jatkokehityskohteita.

### 5.1 Dronejen ominaisuudet ja erikoiskamerat

Dronet kehittyvät vauhdilla. Projektissa käytetyillä droneilla siltojen tarkastuksessa suurin haaste oli **alusrakenteiden kuvaaminen** (GPS-signaalin katvealueet sillan alla, ylöspäin kuvaaminen ja riittävä valaistus). Tehdyn kirjallisuustutkimuksen perusteella näihin löytyy ratkaisuja. Dronen paikannus voi perustua myös muuhun kuin GPS-signaaliin. Markkinoilla on jo nyt drone/kamera ratkaisuja, jotka eivät estä kuvaamista ylöspäin, mutta näiden ohjattavuudesta GPS-signaalin katvealueilla ei kuitenkaan ole tietoa. Minnesotassa, USA:ssa on kokeiltu sikäläisen liikenneviraston (departments of transportation) toimesta jo parina vuotena droneja siltojen tarkastukseen. Heidän projekteissaan käytettiin mm. senseFly Albris -dronea, joka kuvaa ylöspäin ja lentää vakaasti ilman GPS-signaalia /3/. Projektissa saatiin hyviä kokemuksia kyseisestä dronesta. Droneihin löytyy myös kaupallisesti erillisiä lisävaloja. Tässä projektissa näiden ratkaisujen toimivuutta rakennetarkastuksiin ei kokeiltu.

Droneihin voidaan liittää myös **erikoiskameroita**. Vaikka siltojen tai majakoiden yleistarkastukseen ei kuulukaan betonin kosteuden arviointi, voisi tämä tieto olla jossain tapauksissa hyödyllinen. Hyperspektrikameraa on käytetty betonin kiviaineksen pintakosteuden määrittämiseen betonin valmistuksen aikana /4/. Saman tyyppistä tekniikkaa voinee käyttää myös betonin pintakosteuden tutkimiseen esim. silloilla tai majakoilla. Lämpökameraa käytettiin Minnesotassa tehdyissä kokeiluissa kannen betonin delaminoitumisen tarkasteluun /3/. Tekniikka soveltui hyvin delaminoitumisen havaitsemiseen. Myös kameran objektiivia vaihtamalla tai zoom-kameraa käyttämällä voitaisiin mm. kuvata kohteita kauempaa, mikä voisi olla hyödyllistä esim. harustetuilla mastoilla.

### 5.2 Automaattinen rakennetarkastus

Automaattinen tarkastus poistaisi monia edellä mainittuja haastetta. Lennätys voitaisiin esim. suorittaa aina suotuisissa sääolosuhteissa. Minnesotassa, USA:ssa on tehty laaja tutkimus droneista siltojen tarkastuksissa /3/. Raportissa todetaan, ettei dronet nykyisellään sovellu itsenäisiin tarkastuksiin ja suositellaan niiden käyttämistä apuvälineenä. Tässä projektissa havaittiin myös seuraavat haasteet automaattisille tarkastuksille: Dronen lennon esteet (puukasvillisuus siltojen päissä ja mahdollisesti pesivät linnut merimerkeillä) ja GPS-signaaliin perustuvan paikannuksen epävarmuus erityisesti korkeussuunnassa. Tosin sillan alla dronen paikannuksen tulee joka tapauksessa perustua muuhun kuin GPS-signaalin sen katvealueiden

takia. Automaattisissa tarkastuksissa tulee lisäksi pohtia lennätysten turvallisuutta ja viranomaismääräyksiä aiheuttamia reunaehtoja. Automaattista vaurioiden tunnistusta kuvien perustella on myös tutkittu /5/ ja muita ajankohtaisia rakennetarkastuksiin liittyviä tutkimuksia on listattu lähteessä /6/.

## Lähdeviitteet

---

- /1/ Taitorakenteiden tarkastusohje. 2013. Liikenneviraston ohjeita 17/2013. 150 s. [https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf3/lo\\_2013-17\\_taitorakenteiden\\_tarkastusohje\\_web.pdf](https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf3/lo_2013-17_taitorakenteiden_tarkastusohje_web.pdf).
- /2/ Kauko-ohjatun ilma-aluksen ja lennonkin lennättäminen. 2017. Määräys 03.04.00.00/2016 TRAFI/90924/03.04.00.00/2016, OPS M1-32. Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi. 8 s. [https://www.trafi.fi/filebank/a/1482415412/c34a1bef37860a2559d61acf4fdebb3a/23514-OPS\\_M1-32\\_VALMIS\\_maarays\\_RPAS\\_fi.pdf](https://www.trafi.fi/filebank/a/1482415412/c34a1bef37860a2559d61acf4fdebb3a/23514-OPS_M1-32_VALMIS_maarays_RPAS_fi.pdf).
- /3/ Wells, J. and Lovelace, B. 2017. Unmanned Aircraft System Bridge Inspection Demonstration Project Phase II (MN/RC 2017-18). Minnesota Department of Transportation. 174 p. <http://dot.state.mn.us/research/reports/2017/201718.pdf>.
- /4/ Clemmensen, L. H., Hansen, M. E. and Ersbøll, B. K. 2010. A comparison of dimension reduction methods with application to multi-spectral images of sand used in concrete. *Machine Vision and Applications* 21(6), p. 959–968.
- /5/ Ellenberg, A., Kontsos, A., Moon, F., Bartoli, I. 2016. Bridge related damage quantification using unmanned aerial vehicle imagery. *Struct. Control Health Monit.* 23, p. 1168–1179. DOI: 10.1002/stc.1831 <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/stc.1831/epdf>.
- /6/ Ham, Y., Han, K.K., Lin, J.J., and Mani Golparvar-Fard, M. 2016. Visual monitoring of civil infrastructure systems via camera-equipped Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): a review of related works. *Visualization in Engineering* 4(1), 8 p. DOI 10.1186/s40327-015-0029-z. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1186%2Fs40327-015-0029-z.pdf>.
- /7/ Wells, J. and Lovelace, B. 2015. Unmanned Aerial Vehicle Bridge Inspection Demonstration on Project (MN/RC 2015-40). Minnesota Department of Transportation. 214 p. <http://www.dot.state.mn.us/research/TS/2015/201540.pdf>.
- /8/ Chan, B., Guan, H., Jo, J. and Blumenstein, M. 2015. Towards UAV-based bridge inspection systems: a review and an application perspective. *Structural Monitoring and Maintenance* 2(3), p. 283–300. DOI: <http://dx.doi.org/10.12989/smm.2015.2.3.283>.
- /9/ DRONES to Play Greater Role in Wind Turbine Inspections. 2015. *Power Engineering* 119(10), 1 p. [http://ku4jd9mg2y.search.serialssolutions.com/?ctx\\_ver=Z39.88-2004&ctx\\_enc=info%3Aofi%2Fenc%3AUTF-8&rft\\_id=info%3Aasid%2Fsummon.serialssolutions.com&rft\\_val\\_fmt=info%3Aofi%2Ffmt%3Akev%3Amtx%3Ajournal&rft.genre=article&rft.atitle=DRONES+to+play+greater+role+in+wind+turbine+inspections&rft.jtitle=Power+Engineering&rft.date=2015-10-01&rft.pub=PennWell+Publishing+Corp&rft.issn=0032-5961&rft.volume=119&rft.issue=10&rft.spage=46&rft.externalDBID=BKMMT&rft.externalDocID=444876141&paramdict=en-US](http://ku4jd9mg2y.search.serialssolutions.com/?ctx_ver=Z39.88-2004&ctx_enc=info%3Aofi%2Fenc%3AUTF-8&rft_id=info%3Aasid%2Fsummon.serialssolutions.com&rft_val_fmt=info%3Aofi%2Ffmt%3Akev%3Amtx%3Ajournal&rft.genre=article&rft.atitle=DRONES+to+play+greater+role+in+wind+turbine+inspections&rft.jtitle=Power+Engineering&rft.date=2015-10-01&rft.pub=PennWell+Publishing+Corp&rft.issn=0032-5961&rft.volume=119&rft.issue=10&rft.spage=46&rft.externalDBID=BKMMT&rft.externalDocID=444876141&paramdict=en-US).
- /10/ Stokkeland, M., Klausen, K. and Johansen, T.A. 2015. Autonomous visual navigation of Unmanned Aerial Vehicle for wind turbine inspection. 2015 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), 9–12 June 2015, Denver, CO, USA. DOI: 10.1109/ICUAS.2015.7152389. <http://ieeexplore.ieee.org/document/7152389/>.
- /11/ DJI. 2017. Viitattu 11.12.2017. <https://www.dji.com/>.
- /12/ Niemelä, M., 2017. Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy Miehittämättömän ilmailun toimintaohje rakennetarkastuksiin. VTT:n muu dokumentti VTT-M-06639-17.

- /13/ Niemelä, M. 2017. Dronet rakennetarkastuksissa: Hessundinsalmen silta. VTT:n asiakasraportti VTT-CR-05346-17.
- /14/ Niemelä, M. 2017. Dronet rakennetarkastuksissa: ratasillat. VTT:n asiakasraportti VTT-CR-05765-17.
- /15/ Koski, K. 2017. Dronet rakennetarkastuksissa: Linjataulumerkit. VTT:n asiakasraportti VTT-CR-05831-17.