

Henri Manninen

# KONENÄÖN HYÖDYNTÄMINEN TEIDEN JA KATUJEN PÄÄLLYSTEIDEN KUN- NOSSAPIDOSSA

Kandidaatintyö  
Rakennetun ympäristön tiedekunta  
Toukokuu 2021

# TIIVISTELMÄ

Henri Manninen: Konenäön hyödyntäminen teiden ja katujen päällysteiden kunnossapidossa  
(Utilisation of computer vision applications in pavement maintenance)

Kandidaatintyö  
Tampereen yliopisto  
Rakennustekniikka  
Toukokuu 2021

---

Digitalisaatio tuo mukanaan uusia mahdollisuuksia teiden ja katujen kunnossapitoon. Tässä kandidaatintyössä tarkastellaan, miten konenäöllä voidaan tunnistaa päällystevaurioita tie- ja katuverkolla, mitä hyötyjä sillä voidaan kunnossapidossa saavuttaa ja miten sen käyttöönottoa on toteutettu.

Tutkimusaineiston hankinnassa on käytetty kirjallisuuslähteitä, puhelinhaastatteluja ja verkkokyselyä. Puhelinhaastattelut tehtiin Vaisalan ja Pirkanmaan ELY-keskuksen edustajille ja verkkokysely konenäön käytöstä lähetettiin Suomen 15 suurimmalle kaupungille.

Työssä esitellään aluksi konenäköteknologiaa yleisellä tasolla. Hieman yksityiskohtaisemmin perehdytään Vaisalan RoadAI-konenäköjärjestelmään, koska se oli tutkimustulosten perusteella päällysteiden kunnossapidossa käytetyin konenäköjärjestelmä.

Työssä käydään läpi valtion tieverkolla konenäön käytöstä tehtyjä kokeiluprojekteja ja niiden tuloksia. Työssä keskitytään tuoreeseen, Pirkanmaalla vuosina 2019-2020 tehtyyn kokeiluun sekä sen pohjalta vuonna 2021 käynnistyneeseen pilottiurakkaan. Kokeiluprojektin perusteella konenäön suorituskyky todettiin riittäväksi päällysteiden kunnan mittaamiseen. Sen perusteella kehitettiin myös tietomallia, joka soveltuu paremmin muutostiedon seurantaan. Kokeilun pohjalta konenäkö otettiin osaksi uutta Pirkanmaan paikkausurakkaa vuonna 2021.

Konenäön käyttöä suurimmissa kaupungeissa tutkittiin verkkokyselyn avulla, joka lähetettiin Suomen 15 suurimmalle kaupungille, joista vastasi yhdeksän. Kyselyn tulosten perusteella kaupungeilla on kiinnostusta konenäön hyödyntämiseen katujen päällysteiden kunnossapidossa. Konenäkö oli kyselyn perusteella käytössä kolmessa kaupungissa, kahdessa kaupungissa oli tehty kokeiluja ja neljässä kaupungissa konenäköhanke oli suunnitteluvaiheessa. Konenäköä käyttävät kaupungit olivat järjestelmään pääosin tyytyväisiä.

Tutkimuksen perusteella konenäköteknologian suorituskyky on riittävä käytettäväksi päällysteiden kunnan mittauksessa. Sekä valtiolla että kaupungeilla oli kiinnostusta teknologian hyödyntämiseen, ja joissain kaupungeissa ja yhdessä maakunnassa se oli jo otettu käyttöön. Konenäköjärjestelmän eduksi koettiin tehokkuuden ja objektiivisuuden lisäksi kerättävän videokuvan monikäyttöisyys, joka soveltuu myös esimerkiksi liikennemerkkien inventointiin sekä asiakaspalvelu- ja suunnittelutehtäviin.

Avainsanat: konenäkö, kunnossapito, päällyste, katu, maantie.

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

# ALKUSANAT

Tahdon kiittää haastateltaviani, Vaisalan Ben Brownia ja Pirkanmaan ELY-keskuksen Janne Lintilää, sekä kaikkia tutkimuksen verkkokyselyyn vastanneita. Ilman teitä tämän tutkimuksen tekeminen ei olisi ollut mahdollista. Suuret kiitokset myös kandidaatintyöseminaarin pienryhmäläisille arvokkaasta palautteesta sekä ohjaajalleni Markus Pölläselle matkan varrella saamistani ideoista ja tuesta.

Tampereella, 18.5.2021

Henri Manninen

# SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO .....	1
2. KONENÄKÖ .....	3
2.1 Konenäköjärjestelmän kuvaus .....	3
2.2 Vaisala RoadAI .....	4
3. KONENÄÖN KÄYTTÖ MAANTEILLÄ .....	7
3.1 Väyläviraston kokeilu 2019.....	7
3.2 Väyläviraston kokeilu 2020.....	9
3.3 Tilanne keväällä 2021 .....	11
4. KONENÄÖN KÄYTTÖ SUURIMMISSA KAUPUNGEISSA.....	13
4.1 Konenäköä käyttävien kaupunkien vastaukset.....	14
4.2 Konenäköä käyttämättömien kaupunkien vastaukset.....	16
5. PÄÄTELMÄT .....	18
LÄHTEET .....	20
LIITE A: KYSYMYKSET VAISALALLE	
LIITE B: KYSELYLOMAKE KAUPUNGEILLE	

# 1. JOHDANTO

Teiden ja katujen kunto on ollut pitkään ajankohtainen puheenaihe, koska rahoituksen vähentyminen ja lisääntynyt olosuhderasitus aiheuttavat päällysteiden kunnolle haasteita. Digitalisaatio tuo kuitenkin mukanaan uudenlaisia mahdollisuuksia ja menetelmiä teiden ja katujen kunnossapidon toteuttamiseen. Yksi näistä mahdollisuuksista on konenäkö.

Tämän kandidaatintyön tavoitteena on selvittää, miten konenäöllä voidaan tunnistaa päällystevaurioita tie- ja katuverkolla, mitä hyötyjä sillä voidaan saavuttaa ja miten sen käyttöönottoa on toteutettu. Tutkimuskysymyksiä on kolme:

- Miten konenäköteknologia soveltuu päällysteiden kunnan arviointiin?
- Onko konenäköteknologian käytöstä hyötyä päällysteiden kunnossapidossa ja mikäli on, millaisia hyötyjä sen käyttö voi tuoda nykyiseen toimintamalliin verrattuna?
- Miten konenäköteknologiaa on otettu käyttöön ja millaisia jatkokehitystarpeita siihen liittyy?

Esimerkkinä työssä esitellään Vaisalan RoadAI-konenäkösovellusta, joka oli tutkimustulosten perusteella käytetyin konenäkösovellus päällysteiden kunnossapidossa. Työssä käytetty aineisto perustuu aiemmin julkaistuihin tutkimuksiin ja muuhun kirjallisuuteen sekä puhelinhaastatteluihin ja sähköpostikyselyyn. Tietoa Vaisalan RoadAI-järjestelmästä hankittiin puolistrukturoidulla puhelinhaastattelulla Vaisalan edustajalta. Työssä tarkastellaan Väyläviraston Pirkanmaan ELY-keskuksen tieverkolla vuosina 2019-2020 tekemää kokeilua, jonka osalta lähteenä ovat Väyläviraston aiheesta tekemät julkaisut. Tietoa kevään 2021 tilanteesta ja kokeiluprojektista yleisesti hankittiin Pirkanmaan ELY-keskuksen edustajalta puolistrukturoidulla puhelinhaastattelulla. Suomen 15 suurimmalle kaupungille tehtiin kysely konenäön käytöstä katujen kunnossapidossa ja se toteutettiin verkkokyselylomakkeella.

Toisessa luvussa perehdytään lyhyesti konenäköön ja sen toimintaperiaatteeseen sekä Vaisalan RoadAI -konenäköjärjestelmään. Kolmannessa luvussa tarkastellaan Väylävi-

raston raporttien ja asiantuntijahaastattelun pohjalta konenäön hyödyntämistä maanteiden kunnossapidossa. Neljännessä luvussa tutkitaan konenäön hyödyntämistä kaupunkien katujen kunnossapidossa. Viidennessä luvussa esitellään keskeisimmät päätelmät.

## 2. KONENÄKÖ

Konenäköksi (machine vision) kutsutaan yleensä järjestelmää, jossa tietokonenäköä sovelletaan teolliseen tarkoitukseen. Järjestelmä koostuu kamerasta, tietokoneesta ja siinä toimivasta kuvankäsittelyohjelmasta. Konenäön yleisenä tavoitteena on saada kone ymmärtämään, mitä kamerasen tai muun sensorin kuvaama näkymä sisältää, ja hyödyntää tätä tietoa erilaisissa sovelluksissa. (Mäenpää et al. 2008, s. 11)

Konenäkö tuottaa kuvaan pohjautuvaa uutta, työstettyä muodossa esitettävää tietoa. Konenäkö voi tehdä kuvan sisällöstä kyllä/ei-tulkintoja tai se voi kategorisoida kuvia. Kuvasta tehtävä johtopäätös on kokoelma lukuja. Kirjallisuudessa konenäköä on kahta lajia: tietokonenäköä (computer vision) ja konenäköä (machine vision). Tietokonenäkö on perinteisesti keskittynyt teoreettisempaan ohjelmointimenetelmien tutkimiseen, kun taas konenäön tavoitteena on ollut rakennella käytännön laitteita tehtaiden tuotantolinjoille käyttämällä kameroita, tietokoneita ja tietokonenäön tutkimustuloksia. Molemmilla termeillä tarkoitetaan kuitenkin nykyisin usein sekä tietokonenäön että konenäön koko laajaa kenttää. (Sendelin 2020)

Liikenteeseen ja teiden kunnossapitoon liittyvää konenäköteknologiaa kehitetään ja hyödynnetään aktiivisesti. Erityisesti kuljettajaa avustavien järjestelmien ja autonomisten ajoneuvojen kehityksessä konenäkö on ollut keskeisessä roolissa. (Mäenpää et al. 2008, s. 33)

Digitalisoitumisen vuoksi tien kunnossapidon toteuttamiseen tarjoutuu uusia mahdollisuuksia. Liikkuvia autoja on käytetty kuvamateriaalin keräämiseen tieverkolta jo pitkään, ja materiaalin tulkinnassa käytettävää konenäköteknologiaa on jo kehitteillä. (Väylävirasto 2019, s. 6)

### 2.1 Konenäköjärjestelmän kuvaus

Konenäköjärjestelmän toiminnassa on yleisesti kolme osaa: kuvan hankinta, kuvan analysointi ja kuvan ymmärtäminen (Anand, s. 13-15).

Kuvan hankinta käsittää kamerasen, valaistuksen ja optiikan käytön. Näkymän kuvaamiseksi kameroita voi olla yksi tai useampi, ja ne voivat olla mustavalko-, väri- tai älykameroita. Näköjärjestelmän tavoite on näkymän värin, tekstuurin, liikkeen ja objektien muodon oikeanlainen kuvaaminen. Hankitut kuvat analysoidaan, jotta niistä saadaan merkityksellistä informaatiota. Kuvan analysointi voi vaihdella sovelluskohteen ja vaatimusten mukaan. (Anand 2020, s. 13-15)

Kuvan ymmärtäminen käsittää objektin tunnistuksen, jossa kuvista havaittuja objekteja verrataan tietokantaan aiemmin tallennettuihin kuviin. Ongelmanratkaisussa käytettävät metodit ja tekniikat riippuvat analysoitavan datan luonteesta. (Anand 2020, s. 13-15)

## 2.2 Vaisala RoadAI

Tässä kandidaatintyössä esiteltävä konenäkösovellus perustuu Vaisalan RoadAI-järjestelmään. Tietoa RoadAI-järjestelmästä hankittiin puolistrukturoidulla puhelinhaastattelulla, jossa haastateltavana oli Vaisala Oyj:n Head of Road Asset Management Ben Brown. Haastattelukysymykset ovat esitetty liitteessä A.

RoadAI kerää tietoa tiestä älypuhelimeen ladattavan sovelluksen kautta. Älypuhelin si-  
joitetaan ajoneuvon kojelaudalle, jolloin se kuvaa tietä. Sovellus voidaan määrittää aloit-  
tamaan ja lopettamaan nauhoitus automaattisesti sekä lataamaan videomateriaali pilvi-  
palvelimelle automaattisesti. Pilvipalvelimella videokuva (yleensä 15 FPS [kuvaa sekun-  
nissa]) analysoidaan ruutu kerrallaan tietokonenäköä hyödyntäen. Tietokonenäkö tun-  
nistaa kuvamateriaalista tiettyjä piirteitä ja kohteita, joita sille on opetettu. Nämä piirteet  
ja kohteet merkitään niitä vastaavilla tunnisteilla. (Brown, haastattelu 15.3.2021) Tätä  
avainsanojen ja lukuarvojen liittämistä kuva-aineistoon kutsutaan annotoinniksi (Väylä-  
virasto 2019, s. 6). Esimerkki annotoidusta kuvasta kuvassa 1.

RoadAI:n pääpaino on tien vaurioiden tunnistamisessa, mutta se osaa tunnistaa myös  
muuta ominaisuuksia, kuten liikennemerkkejä. Järjestelmä osaa tunnistaa useita erityypp-  
isiä vaurioita, kuten reikiä, erilaisia halkeamia ja bitumin pintaan nousua. Se tunnistaa  
myös tehdyt paikkaukset ja saumaukset. Tunnistettavia vaurio- ja paikkaustyypppejä on  
yli 20. Vauriotyyppin lisäksi sen vakavuus tunnistetaan. Vaurion vakavuuden ja laajuuden  
perusteella määritetään vaurioitumisaste kyseessä olevalle 10 metrin osuudelle tietä.  
Näitä tietoja voidaan tarkastella karttakäyttöliittymän kautta, jossa tien vaurioitumisaste  
näkyvät lämpökarttana (heat map). Esimerkki käyttöliittymästä kuvassa 2. Saatu data voi-  
daan myös viedä esimerkiksi csv-, Excel- tai Shape-tiedostoksi. (Brown, haastattelu  
15.3.2021)





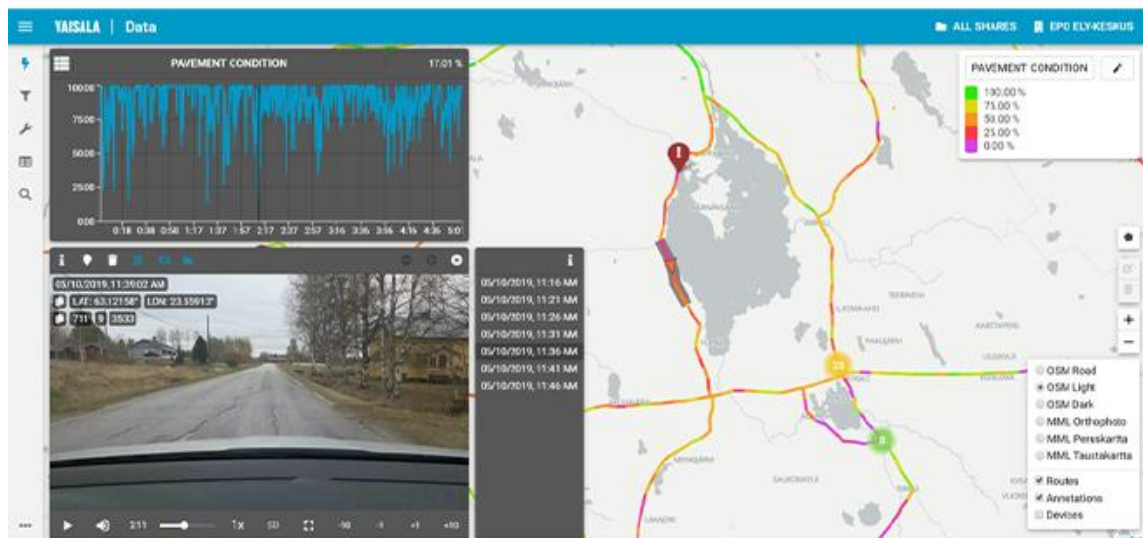
**Kuva 1.** Annotoitu kuva, jossa merkitykseltään erilaiset kohteet kuvattu eri väreillä (Vaisala 2021).

Vaurioiden paikannustarkkuus riippuu GPS:n paikannustarkkuudesta, ja vaurion paikannuksessa saattaa olla muutaman metrin epätarkkuus. Kunnostus- ja paikkaustoimenpiteitä suunniteltaessa päällysteiden kuntoa kartoitetaan usein laajemmalla osalla tieverkkoa, jolloin kymmenenkin metrin tarkkuus on riittävä. (Brown, haastattelu 15.3.2021)

RoadAI:n hyödyt Brownin (haastattelu 15.3.2021) mukaan ovat seuraavat:

- Ihmisen suorittamaan silmämääräiseen arviointiin verrattuna nopeampi ja objektiivisempi.
- Mahdollistaa tiheämmän ja laajemman tiedonkeruun, koska menetelmä ei vaadi erikoislaitteistoa tai henkilöstön koulutusta.
- Samasta videokuvasta voidaan mitata muidenkin kohteiden, kuten liikennemerkkien ja ajoratamerkintöjen, sijainnit ja kunto.
- Teiden kuntoa voidaan mitata muiden kunnossapitotehtävien yhteydessä. Tarvetta erilliselle inventointikierrökselle ei siis välttämättä ole.
- Koska tieto tiestön kunnosta on ajantasaista, voidaan mahdollisiin vaurioihin puuttua varhaisemmassa vaiheessa. Vaurioiden aikainen paikkaaminen voi mahdollistaa edullisemman korjausmenetelmän ja estää tierakenteen vakavamman vaurioitumisen.
- Heikkoutena voidaan mainita, että tietokonenäkö ei kykene mittamaan pinnallaisia rakenneongelmia, jotka eivät ole ulospäin näkyviä.

RoadAI:n keräämää videoaineistoa voidaan hyödyntää myös ilman tietokonenäköä graafisen käyttöliittymän avulla. Esimerkiksi jos kansalainen ilmoittaa vauriosta tiellä, voidaan kyseisestä sijainnista kerättyä videoaineistoa tarkastella käyttöliittymän kautta. Näin voidaan välttyä erillisiltä tarkastuskäynneiltä, mikä vähentää ympäristövaikutuksia ja parantaa turvallisuutta. Tämä toisaalta vaatii taajaan kerättyä, ajantasaista videoaineistoa. RoadAI mahdollistaa myös haluttujen kohteiden paikkatiedon tallentamisen ja kuvakaappausten ottamisen ajon aikana. (Brown, haastattelu 15.3.2021)



**Kuva 2.** RoadAI:n karttakäyttöliittymä (Vaisala 2021).

Omaisuuksienhallinnan näkökulmasta keskeistä on se, että vaurioituminen tunnistetaan mahdollisimman varhaisessa vaiheessa. Kun vaurion syntyminen huomataan ajoissa, se voidaan paikata ja näin estää veden pääsy tierakenteeseen. Näin voidaan välttää vakavampi vaurioituminen ja kalliit korjaustoimenpiteet, kuten uudelleenpäällystäminen. RoadAI-järjestelmän suuri etu onkin, että se mahdollistaa aineiston keräämisen taajaan ja edullisesti laajoilta tieverkoilta. Tätä ajantasaista aineistoa voidaan käyttää kunnossapito-ohjelman suunnittelussa, jolloin voidaan keskittyä niihin kohtiin, joissa vaurioituminen on alkuvaiheessa ja joissa voidaan käyttää edullisempia korjaustoimenpiteitä. Näin tieomaisuuden käyttöikä voidaan pidentää. (Brown, haastattelu 15.3.2021)

### 3. KONENÄÖN KÄYTTÖ MAANTEILLÄ

Valtion tieverkolla on tehty kuntomittauksia säännöllisesti ja kattavasti jo 1990-luvulta alkaen. Yleisimmin käytettyinä kuntomuuttujina ovat olleet urasyvyys ja tasaisuus. Näitä palvelutasomittauksia (PTM) on tehty vuosittain päätieverkolle ja noin kolmasosalle alemmasta tieverkosta. Mittaukset on suoritettu ajoneuvoon kiinnitettävillä mittalaitteilla, jotka tuottavat tietoa mekaniikan, optiikan ja lasertekniikan avulla. (Tiehallinto 2007, s. 11-14)

Tiehallinto laati vuonna 2008 selvityksen, jossa tutkittiin konenäön hyödyntämismahdollisuutta teiden ylläpidossa ja hoidossa. Selvityksessä tarkasteltiin automaattista päällystevauriomittausta (APVM), jota tehtiin Ramboll RST:n PAVUE-mittausajoneuvolla. Silloisella tekniikalla ei kuitenkaan päästy riittävään tarkkuuteen, eikä menetelmää otettu käyttöön. (Mäenpää et al. 2008, s. 35, 44)

Tässä työssä tarkastellaan syvällisemmin Väyläviraston Pirkanmaan ELY-keskuksen tieverkolla vuosina 2019-2020 tekemää konenäkökokeilua, jonka osalta lähteenä ovat Väyläviraston aiheesta tekemät julkaisut. Perusteena tälle valinnalle on kokeilun tuoreus ja se, että sen pohjalta konenäköön perustuva vauriomittaus otettiin maanteillä ensimmäistä kertaa osaksi urakkaa. Tietoa kevään 2021 tilanteesta ja kokeiluprojektista yleisesti hankittiin Pirkanmaan ELY-keskuksen Janne Lintilältä puolistrukturoidulla puhelinhaastattelulla. Haastellussa kysyttiin, onko konenäköön perustuvaa teiden kunnon mittausta nyt käytössä maantieverkolla, onko tällaisen järjestelmän käyttöönotto valmisteilla jossain, ja että onko konenäköteknologian suorituskyky parantunut viimevuotisesta kokeilusta.

#### 3.1 Väyläviraston kokeilu 2019

Väylävirasto julkaisi selvityksen vuonna tehdystä 2019 kokeilusta, jossa tutkittiin konenäköteknologian soveltuvuutta teiden kunnon valvontaan. Lisäksi tarkasteltiin teknologian hyödyntämistä paikkausurakoiden hankintamallin kehittämisessä. Kokeilu oli rajattu käsittelemään reikä- ja halkeamavaurioiden sekä paikkauksien tunnistamista konenäön avulla. Selvityksen laatimisesta vastasi Vaisala Oyj:n Mikko Haavisto (Väylävirasto 2020, s. 3-6).

Kokeilussa tutkittiin, miten konenäköteknologia soveltuu tieverkon inventointiin ja kunnon tilannekuvan ylläpitoon. Samalla tunnusteltiin myös, että kuinka teknologia voisi palvella

paikkausurakan hankintamallin kehittämisessä ja mahdollistaako uusi teknologia yleisesti paikkausurakoiden toiminnan ja laadunhallinnan tehostamista. (Väylävirasto 2020, s. 8)

Kokeilussa keskityttiin konenäköpohjaisen kuntoanalyysin ja teknologian avulla jatkuvasti tuotetun tiedon hyödyntämiseen Pirkanmaan paikkausurakan alueella. Tavoitteena oli mahdollisimman aikainen reagointi reikiintymiseen, mahdollisimman nopeasti ja edullisesti. (Väylävirasto 2020, s. 9)

### **Tutkimuksen tiedonkeruu**

Kokeilussa tieverkko kuvattiin Postin autoihin asennetuilla älypuhelimilla. Aineistoa tallennettiin kahdeksan Postin ajoneuvon ajamien reittien perusteella ja kaikki paitsi maantieverkkoa koskeva aineisto rajattiin pois. Kokeilun tuottamaa aineistoa täydennettiin Postin Katudata-palvelulla ja yhdellä urakoitsijan ajoneuvoon sijoitetulla kameralla. Kokeilun aikana kuvattiin tieverkkoa yhteensä noin 72 000 km. (Väylävirasto 2020, s. 21)

Kokeilun tiedonkeruussa oli kaksi vaihetta: 1. vaiheessa raakatiedon keräys ja lähtötilanteen kartoitus (keväällä 2019), ja 2. vaiheessa jatkuvan tiedonkeruun ja toistuvuuden simulointi (syksyllä 2019). Ensimmäisessä vaiheessa suoritettiin tieverkon kertakartoitus, jossa aineistoa kerättiin Postin ajoneuvoista Pirkanmaan ELY-keskuksen alueen jakelureiteiltä. Aineistoa kerättiin kahdeksalla ajoneuvolla kuuden viikon aikana ja videomateriaalia kerättiin yhteensä 14 500 km matkalta. Kokeilussa toteutetun tieverkon kuvauksen perusteella Postin perusjakelun reiteillä pystytään kattamaan tieverkkoa hyvin kaikilta ylläpitoluokilta. Tämä oli mahdollista kahdeksan kameran taajalla toimipakasta toiseen siirtämisellä ja kuivan kesän mahdollistamalla kuvauspäivien suurella määrällä. (Väylävirasto 2020, s. 21-23)

Kokeilun toisessa vaiheessa samoja valittuja tieosuuksia kahdeksan viikon ajan yhtäjaksoisesti. Reiteiltä kerättiin aineistoa kahdeksan Postin ajoneuvon ja yhden urakoitsijan ajoneuvon voimin. Reittien valinnassa ja vaiheen kestossa kiinnitettiin huomiota siihen, että menetelmän toistettavuudesta sekä konenäköanalyysin toimivuudesta eri olosuhteissa saatiin kokemusta. (Väylävirasto 2020, s. 23-24)

### **Tutkimuksen tulokset**

Kokeilussa käytettiin konenäköjärjestelmää, joka tallensi tunnistuksen paikkatiedon 10 metrin tarkkuudella. Vaurioiden suhteelliset leveydet päällysteen leveyteen verrattuna tallennetaan jokaiselle 10 metrin tieosuudelle. (Väylävirasto 2020, s. 25)

Konenäön suorituskyvyn arvioinnissa sen tuottamia tuloksia verrattiin ihmisen tekemiin merkintöihin. Vertailuryhmässä oli kolme ihmistä ja heidän tekemiään merkintöjä verrattiin myös keskenään. Vertailtavia vauriotyyppejä oli kolme: kohtalainen ja vakava reikä, sekä vakava halkeama. (Väylävirasto 2020, s. 25)

Tuloksia arvioitaessa huomattiin, että ihmistenkin tekemissä määritelmissä oli selviä eroja. Tunnistaessa kohtalaisia reikiä konenäön tulokset olivat noin 90 % yhteneväisiä ihmisten tekemien havaintojen kanssa. Vakavien reikien tapauksissa oli suurempaa hajontaa. Vakavien halkeamien havainnot olivat luonteeltaan subjektiivisia ja ne poikkesivat melko paljon toisistaan. Yleisesti tulosten perusteella konenäkö tunnisti reikiä ja halkeamia hyvin. Tunnistustarkkuuksissa esiintyvä vaihtelu kohdistui pääosin kohtalainen- ja vakava-kategorioiden erotteluun. Konenäöltä jäi reikiä havaitsematta ihmiseen verrattuna keskimäärin 2,3 – 10 %, reiän tyypistä riippuen. (Väylävirasto 2020, s. 27-30)

Tuloksien arvioinnissa todettiin, että menetelmän kehityksessä täytyisi jatkossa keskittyä vaurioiden vakavuusasteen erotteluun. Tuloksien arvioinnissa huomionarvoista myös se, että vertailukohtana käytettyjä havaintoja eivät tehneet maastossa ajavat ihmiset, vaan ne tehtiin toimistossa käyttöliittymän avulla. (Väylävirasto 2020, s. 30)

Muutoksia voidaan seurata joko vaurio- tai verkkotasolla. Ensin mainittu edellyttää kohteiden (kuten reikien ja halkeamien) yksilöllisen tunnistamisen. Tämä on hyvin haastavaa, koska vaurioita voi olla jopa kymmenien senttimetrien päässä toisistaan. (Väylävirasto 2020, s. 31)

Ongelma yksinkertaistuu, jos analyysi tehdään verkkotasolla. Tällöin yksittäisten vauriohavaintojen sijaan tarkastellaan ennalta määritettyä tiesegmenttiä, joka voi olla esimerkiksi 10 m osa tietä. Resoluution (tiesegmentin pituuden) valintaan vaikuttavat monet tekijät, kuten mittausmenetelmän resoluutio (kuvien tiheys), tallennusmenetelmän skaalautuvuus ja satelliittipaikannuksen tarkkuus. Kenties merkittävin ajuri segmenttikohtaiselle tietomallille on muutoksen seurannan helppous. Toisaalta koska tiesegmenttien reunat ovat tarkasti määriteltäviä, on menetelmässä edelleen tiesegmenttien reunojen läheisyydessä kohdistamisen haaste. Tämä haaste johtuu siitä, että kun vaurio on kahden tiesegmentin välissä, jo kymmenien senttimetrien poikkeama vaurioiden paikannustarkkuudessa voi aiheuttaa vaurion yhdistämisen kahteen eri tiesegmenttiin ajokertojen välissä. (Väylävirasto 2020, s. 31-32)

### **3.2 Väyläviraston kokeilu 2020**

Pirkanmaalla vuonna 2019 aloitettu konenäköön perustuvan päällysteiden vaurionhavainnoinnin kehitys sai jatkoa vuonna 2020. Kehitystyön toisessa vaiheessa kehitettiin

työkaluja ja kerättiin taustatietoa tuotantokäyttöä varten, analysoitiin niiden soveltuvuutta verkkotasaisen laadunhallinnan ja niihin liittyvän muutosten arviointiin. Myös näiden soveltuvuutta urakoiden onnistumista kuvaavien raja-arvojen määrittämiseen analysoitiin. (Väylävirasto 2021, s. 5)

Vuonna 2020 siirryttiin segmenttikohtaiseen tietomalliin, joka paremmin mahdollistaa muutosten seuraamisen. Tieverkko on jaettu 10 metrin segmentteihin, joista jokaiselta esitetään viimeisin tulos. Segmentin parametreissa ei oteta huomioon vaurioiden määrää, vaan vain se, onko segmentillä vaurio ja kuinka vakava se on. Tämä todettiin paremmaksi tavaksi muutosten seurantaan kuin yksittäisten vaurioiden seuraaminen. Koneen tarkkuus ei riitä yksilöimään vaurioita siten, että se pystyisi peräkkäisistä kuvauskerroista päättelemään, onko kyseessä sama vaurio. (Lintilä, haastattelu 14.4.2021)

Jos vaurio sijaitsee kahden segmentin rajalla, järjestelmän tarkkuus ei riitä määrittämään, kumpaan segmenttiin vaurio kuuluu. Nämä tilanteet ratkaistaan käyttämällä unkarilaista algoritmia, joka määrittää vaurion jompaankumpaan segmenttiin. (Lintilä, haastattelu 14.4.2021)

Kokeilun tavoitteena oli sitoa koneen tulokset segmenttikohtaiseen tietomalliin, jotta urakoitsija saa paikkaustarpeista ajantasaisen kuvan työn priorisointia varten, sekä segmenttikohtaisen muutostiedon laskenta ja esittäminen raporttimaisesti tilaajaa varten (Väylävirasto 2021, s. 7). Sekä urakoitsijalle että seurantatyökalulle määritettiin toimintaperiaatteet. Urakoitsija kuvaa tieverkkoa ja seuraa sen kuntoa, omassa toiminnassaan hyödyntää reaaliaikaista karttanäkymään vauriotunnistuksista, noudattaa toimenpiteissä ylläpitoluokan mukaan määräytyvää tavoitetasoa, ja seurantajakson päättyessä osoittaa laatutason raportilla. Seurantatyökalu tunnistaa vauriot ja laadultaan kelvollisen kuvamateriaalin, noudattaa ylläpitoluokkien määrittämiä raportoinnissa, ja tallentaa seurantajakson tunnistetiedot ja niiden väliset muutostiedot 10 m segmenttien tarkkuudella. (Väylävirasto 2021, s. 9)

Kuvaaminen tehtiin Samsung Galaxy S-sarjan puhelimella, videon laadun ollessa 1080p (15 FPS). Soveltumaton materiaali, kuten sadekelillä tai pimeällä kuvattu materiaali, suodatettiin automaattisesti pois konenäköprosessoinnista. Kone näkö erotteli vaurioille luokat: reikä, vakava reikä ja vakava halkeama. Tunnistuksille määritettiin leveysprosentti suhteessa kaistan leveyteen. Kaistaviivamerkintöjen ja päällysten konenäkö-tunnistusten avulla määritettiin automaattisesti kaistojen lukumäärä ja sijainti. (Väylävirasto 2021, s. 10-11)

Kokeilun perusteella löydettiin suoria ja epäsuoria jatkokehityskohteita. Suoria kehittämiskohteita ovat käyttöliittymän ja reaaliaikaisen muutostiedon hyödyntämisen työkalujen kehittäminen, ja trenditiedon hyödyntäminen päälysteiden ylläpidon muussa suunnittelussa. Kehittämiskohteiksi todettiin myös ennustemallien kehittäminen ja niiden hyödyntäminen toiminnan suunnittelussa sekä toimenpiteiden ja palvelutasotiedon yhteenkytkentä. Epäsuorana kehityskohteena pidettiin muidenkin ongelmien, kuten lammikoitumisen ja kuivatusongelmien, tunnistamista kuvamateriaalista, sekä muiden kohteiden inventointia. (Lintilä, haastattelu 14.4.2021; Väylävirasto 2021, s. 24)

### 3.3 Tilanne keväällä 2021

Vuosien 2019-2020 kokeiluprojektien tavoitteena oli kehittää Pirkanmaalle toimintamalli, jossa konenäköön perustuvaa vauriohavainnointia hyödynnetään erillisen päälysteiden paikkausurakassa ja sen hankinnassa. Paikkausurakan konenäkötulokset myös sidotaan ajantasaiseen verkkotason tilannekuvaan niin, että luodaan edellytykset toiminta-vaatimusten asettamiseen ja laadunhallinnan tehostamiseen. (Väylävirasto 2021, s. 4-5)

Konenäköjärjestelmä otettiin käyttöön Pirkanmaalla uudessa päälysteiden paikkausurakassa huhtikuussa 2021. Koskaan aiemmin säännöllinen ja ajantasainen verkon kunto-tila ei ole ollut palvelusopimustyyppisesti osana urakoiden laadunhallintaa. Palvelusopimuksia on ollut aiemmin, mutta niissä on seurattu vuositasoinen kertaluonteisia mittauksia. Aiemmin konenäkö hyödyntäminen valtion tieverkolla on ollut pilottiluonteista kehitystyötä tai muuten kertaluonteista. (Lintilä, haastattelu 14.4.2021)

Uudessa paikkausurakamallissa on mukana koko Pirkanmaan ELY-keskuksen päällystetty tieverkko. Valittu urakoitsija vastaa tieverkon ajantasaisesta vaurioiden inventoinnista tilaajan tarjoamaa konenäkösovellusta (Vaisala RoadAI) käyttäen. Kunnossapitoluokan 1 tiet kuvataan viikoittain, luokan 2 tiet joka toinen viikko, ja luokan 3 tiet neljän viikon välein. Urakoitsijalla on aiemminkin ollut velvoite kiertää verkko samalla syklillä, mutta nyt kierroksilla täytyy myös kerätä videokuvaa. Urakoitsija vastaa havaittujen reikien paikkaamisesta. (Lintilä, haastattelu 14.4.2021)

Tieverkkoa käsitellään 10 metrin segmenteissä ja tulokset raportoidaan näille segmenteille seuraavilla spesifikaatioilla:

- ei kuvattu
- kuvattu
- kuvattu, mutta ei validia kuvaa.

Lisäksi määritellään, onko 10 m tiesegmentillä reikä, vakava reikä tai reiän alku. Reikien määrä yhdellä 10 m tiesegmentillä ei tässä sovelluksessa vaikuta. (Lintilä, haastattelu 14.4.2021)

Tällä menetelmällä saadaan paikkaustarpeisiin koko ajan riittävän ajantasaista tietoa. Dataa voidaan hyödyntää myös päällystystöiden ohjelmoinnissa. Ajantasainen video kuva tiestöstä on käyttökelpoista myös muuhun tienpitoon liittyvään työhön, kuten lupasioihin. Konenäön etuna on myös se, että se tulkitsee aina samalla tavalla: vaikka vaihtelua johonkin suuntaan oikeasta on, niin määrittely on aina sama. (Lintilä, haastattelu 14.4.2021)



## 4. KONENÄÖN KÄYTTÖ SUURIMMISSA KAUPUNGEISSA

Konenäköön perustuvan päällystevauriomittauksen käyttöä Suomen suurimmissa kaupungeissa tutkittiin sähköpostitse lähetetyn kyselylomakkeen avulla. Kyselylomake toteutettiin käyttäen Microsoft Formsia. Kysely lähetettiin Suomen 15 suurimmalle kaupungille kaupungeille (Helsinki, Espoo, Tampere, Vantaa, Oulu, Turku, Kuopio, Jyväskylä, Lahti, Pori, Kouvola, Joensuu, Lappeenranta, Hämeenlinna ja Vaasa), erityisesti niiden kirjaamoon ja/tai katujen kunnossapidosta vastaavalle taholle. Kyselyssä oli 6-10 kysymystä, riippuen vastaajan antamasta vastauksesta kysymykseen siitä, onko kaupungissa käytössä konenäköön perustuvaa päällystevaurioiden mittausta, vai ei. Kysymykset olivat avoimia, lukuun ottamatta viimeistä kysymystä, joka kysyttiin konenäköä käyttämättömiltä kaupungeilta. Kyselyssä oli myös muutama kysymys vastaajan taustatietojen keräämistä varten. Kyselylomakkeen kysymykset ovat esitetty liitteessä B.

Kyselyyn vastasivat Lahti, Kuopio, Helsinki, Espoo, Vaasa, Pori, Lappeenranta, Joensuu ja Tampere. Kyselyyn vastasi Lahden kaupungilta Juha Tikka, Kuopion kaupungilta Matti Sutinen, Tampereen kaupungilta Olavi Ujanen ja Vaasan kaupungilta Timo Rajala. Porin kaupungilta vastasi Jyrki Kartastenpää, Lappeenrannan kaupungilta Olli Hirvonen, Espoon kaupungilta Kristoffer Kronlund ja Joensuun kaupungilta Tero Toivanen. Helsingin kaupungilta (Stara) kyselyyn vastasivat Paavo Lehmonen, Kari Laakso ja Juha Ovaska.

### **Konenäköjärjestelmien käyttö**

Ne kaupungit, jotka vastasivat käyttävänsä konenäköä katujen päällysteiden kunnon mittaukseen, voidaan jakaa vastausten perusteella kahteen luokkaan: niihin, joissa se oli jo varsinaisesti käytössä, ja niihin, joissa se oli vielä kokeiluvaiheessa. Konenäköön perustuva katujen päällysteiden kunnon mittaaminen oli käytössä kolmessa kaupungissa: Helsingissä, Espoossa ja Lappeenrannassa. Vaasassa järjestelmän käyttöönotto oli vielä alkuvaiheessa ja koeajosesio oli vielä tulossa. Tampereella oli ollut käytössä konenäköjärjestelmä, mutta sen päällysteiden kunnon mittaukseen liittyvä optio ei ollut vastauskellällä aktiivinen. Tampereella oli kuitenkin järjestetty muutama vuosi sitten aiheesta pilotti. Sovelluksena Helsinki, Espoo, Tampere ja Lappeenranta käyttivät Vaisalan RoadAI:ta, ja Vaasa käytti Carchupaa.

Carchupa, joka tunnetaan nykyään nimellä Crowdchupa, on teiden ja katujen kuntokartoitukseen käytettävä pelimäinen sovellus, jonka avulla autoilijat voivat osallistua tiedonkeruuseen teiden ja katujen kunnosta. Siinä videokuvaa tiestä kerätään älypuhelimien ladattavan sovelluksen avulla. (Crowdchupa 2021; Vuorinen 2020)

Lahdessa, Kuopiossa, Porissa ja Joensuussa ei ollut käytössä konenäköjärjestelmää katujen kunnan mittauksessa. Lahdessa, Porissa ja Joensuussa hanke oli kuitenkin suunnitteluvaiheessa. Kuopiossa valmisteltiin konenäköön perustuvan mittauksen käyttöönottoa.

Kyselyn vastausten tarkastelu on jaettu kahteen osaan: ensin tarkastellaan niitä kaupunkeja, jotka ilmoittivat käyttävänsä konenäköä, ja sen jälkeen niitä kaupunkeja, jotka ilmoittivat, etteivät käytä konenäköä. Niiden kaupunkien, joista oli useita vastaajia, vastauksissa oli muutamassa kohtaa ristiriitaisuuksia. Esimerkiksi Helsingissä mittauksia tehtiin yhden vastaajan mukaan viikoittain, toisen mukaan kahdesti vuodessa ja kolmannen mukaan kerran vuodessa.

## **4.1 Konenäköä käyttävien kaupunkien vastaukset**

Helsingissä, Espoossa ja Lappeenrannassa konenäköä oli jo käytetty päällysteiden kunnossapidossa. Vaasassa järjestelmän koeajo oli vasta tulossa, mutta ensimmäinen ajo liikenteenohjauslaitteiden kartoitukseen oli tehty.

Tampereella Vaisalan RoadAI-järjestelmä oli ollut käytössä manuaalisen/silmämääräisen arvioinnin lisäksi. Järjestelmän tähän asiaan liittyvä optio ei kuitenkaan ollut kyselyn aikaan aktiivinen. Tampereen vastaukset kyselyyn perustuivat muutaman vuoden takaiseen pilottiin.

### **Vaurioiden tunnistustarkkuus**

Vastausten perusteella kaupungit olivat olleet varsin tyytyväisiä vaurioiden tunnistustarkkuuteen. Helsingin vastauksissa tunnistustarkkuutta luonnehdittiin kohtuulliseksi. Lappeenrannan mukaan tarkkuus on ”OK” ja siihen on oltu tyytyväisiä.

### **Vaurioiden paikannustarkkuus**

Vaurioiden paikannustarkkuuteen vaikuttaa paljon GPS:n paikannustarkkuus. Tampereen vastauksessa esitettiin, että pohjana on matkapuhelimen paikannustarkkuus, joka voi olla käytännössä muutamia metrejä, ja korkeiden rakennuksien keskellä jopa kymmenen metriä. Helsingissä tarkkuuden ilmoitettiin olleen metrin luokkaa. Vaasassa ei ollut vielä saatu tuloksia järjestelmän paikannustarkkuudesta.

### **Kuinka usein päällysteiden kunto mitataan?**

Päällysteiden kunnon mittaamisen taajuus vaihteli kaupungeittain. Lappeenrannan kaupunki kuvasi kadut kerran vuodessa. Espoon kaupunki oli kuvannut kaikki kaupungin päällystetyt kadut Vaisala RoadAI:lla kahtena peräkkäisenä vuonna, kerran vuodessa. Helsingin suhteen vastauksissa oli ristiriitaa, sillä mittauksia tehtiin yhden vastaajan mukaan viikoittain, toisen mukaan kahdesti vuodessa ja kolmannen mukaan kerran vuodessa.

Vaasassa järjestelmä oli vielä kokeiluvaiheessa, eikä tulevaa mittaussykliä ollut vielä määritelty. Tampereella tehtiin manuaalisia tarkastuksia vuosittain, mutta konenäköä ei päällysteiden kunnon mittaamisen käytetty. Mahdollisuus olisi kyllä ollut, koska katualueita videoitiin RoadAI:lla kunnossapitotöiden tarkastuskierroksilla päivittäin.

### **Menetelmän hyviä ja huonoja puolia**

Konenäköjärjestelmän hyviä puolia olivat kyselyn mukaan seuraavat:

- Kuvauksesta saatavan videokuvan monikäyttöisyys. Esimerkiksi asiakaspalautetta pystyi tarkastamaan ilman erilliselle tarkastuskäynnille lähtemistä. Konenäöllä voi tunnistaa ja inventoida myös muita kohteita, kuten liikennemerkkejä.
- Karttanäkymä, joka näyttää tilannekuvan visuaalisesti.
- Inventointi on helppoa ja nopeaa, ja sitä voidaan tehdä muun työn yhteydessä.
- Ei vaadi kalliita investointeja, vaan laadukas matkapuhelin riittää. Laite on myös helppo siirtää ajoneuvosta toiseen.
- Käyttö ei vaadi erityistä koulutusta, vaan oikeastaan kuka tahansa henkilöstöstä voi kerätä videomateriaalia.
- Saatavan tiedon tasainen laatu ja vertailtavuus.

Konenäköjärjestelmän huonoja puolia olivat kyselyn mukaan seuraavat:

- Menetelmässä on vielä tunnistuksen suhteen kehitettävää. Esimerkiksi valaistus- ja sääolosuhteet vaikuttavat tunnistukseen.
- Sovellus on optimoitu 15 FPS kuvataajuudelle, joka on kaupunkinopeuksiin turhan suuri. Kaupungissa harvempi näytteenotto, kuten 3-5 FPS, olisi riittävä. Nyt pilvipalvelusta vaaditaan liikaa tilaa.

### **Vaurioiden mittaus aiemmin**

Kyselyn tulosten perusteella päällysteiden kuntoa oli aiemmin seurattu silmämääräisesti havainnoimalla ja asukaspalautteen perusteella. Helsingissä oli käytetty myös laserkei-

lausta. Vaasassa oli tehty jatkuvaa kiertävää havainnointia eri lähteitä käyttäen. Tampereella silmämääräisiä arviointoja oli tehty säännöllisesti. Espoossa mittausta oli tehty laajassa mittakaavassa ja jatkuvasti silmämääräisesti.

## **4.2 Konenäköä käyttämättömien kaupunkien vastaukset**

Lahdessa, Porissa ja Joensuussa ei ollut konenäköjärjestelmää käytössä, mutta hanke sellaisen hyödyntämiseksi oli näissä kaupungeissa suunnitteluvaiheessa. Kuopiossa jo valmisteltiin järjestelmän käyttöönottoa.

### **Päällysteiden kunnan ja vaurioiden mittaus nyt**

Porissa, Kuopiossa ja Joensuussa päällysteiden kuntoa mitattiin silmämääräisesti. Kuopiossa seuranta tehtiin jatkuvasti urakoiden yhteydessä, mutta mittaamista ei tehty säännöllisesti. Joensuussa kuntoa seurattiin valvontakierrosten yhteydessä.

Lahdessa oli katuomaisuuden kunnonhallinnan osalta solmittu laaja palvelusopimus asiantuntijakonsultin kanssa. Katujen kunnan tilaa seurattiin vuosittain erikseen päätettävien toimenpitein, muun muassa maatutkauksen, laserkeilauksen ja konenäköpalvelun avulla. Talvikaudella 2020-2021 oli ensimmäisen kerran tehty kevyenliikenteen pääväylästä kuntoinventointi kesän 2020 katunäkymäkuvauksen perusteella. Se, kuinka hyvin tämä työtapa vastaa todellisia maastokäynnillä havaittavia korjaustarpeita, voidaan todeta kesäkaudella 2021.

Lahdessa konenäköä oli käytetty kaupungin liikennemerkkien inventointiin syksyllä 2020. Konenäön avulla saatiin tunnistettua noin 32 000 merkkiä ja reilut 5 000 merkkiä jäi tunnistamatta. Näiden osalta työ vietiin loppuun manuaalisesti. Pääosa tunnistamatta jääneistä merkeistä näytti olevan muita kuin virallisia liikennemerkkejä.

### **Kuinka usein päällysteiden kunto mitataan?**

Kuopiossa päällysteiden kunto ei toistaiseksi kuulunut mittausohjelmaan, vaan seuranta tehtiin jatkuvasti urakoiden yhteydessä. Porissa päällysteiden kuntoa mitattiin viikoittain.

Lahdessa oli kerran tehty koko kaupungin katuverkolle kaikkea käytettävissä olevaa tekniikkaa hyödyntävä kattava mittaus. Tämän mittauksen lisäksi oli tehty täydentäviä mittauksia muun muassa pääkatujen urautumisnopeuden selvittämiseksi, laserkeilaustekniikan kokeilemiseksi ja kunnoltaan epäilyttävien katuosien kantavuuden selvittämiseksi. Säännöllistä mittauskiertoa katuverkolle ei ollut määritelty, vaan mittauksia tehdään tar-

peelliseksi katsottavilla katuosilla katujen kunnonhallintakokonaisuuden osana. Tarkoituksena oli, että täsmäkohteita mittaamalla vain ylläpidetään muita kunnonhallintamenetelmiä tukeva riittävä tietämys.

### **Konenäköön perustuvan päällystevaurioiden mittauksen käyttöönotto**

Kaikissa vastanneissa kaupungeissa suunniteltiin konenäön hyödyntämistä päällysteiden kunnossapidossa. Lahdessa, Porissa ja Joensuussa konenäköhanke oli suunnitelluvaiheessa, ja Kuopiossa järjestelmän käyttöönotto oli valmisteluvaiheessa.

Lahdessa arvioitiin, että konenäön hyödyntäminen on jatkossa ehdottomasti yksi kunnonhallinnan työkaluista. Esimerkiksi ajantasaisen tiedon hankkimiseksi liikennettä vaarantavien päällystevaurioiden nopeasta havainnoimisesta. Toistaiseksi tähän ei ollut saatu kehitettyä aidosti kunnossapitoa palvelevaa menetelmää. Yksittäisenä muista järjestelmistä erillisenä toimenpiteenä konenäön hyödyntäminen ei ole toimiva ratkaisu.

## 5. PÄÄTELMÄT

Tämän kandidaatintyön tarkoituksena oli selvittää, miten konenäköä Suomessa hyödynnetään teiden ja katujen päällysteiden kunnossapidossa. Työssä tutkittiin konenäön käyttöä sekä valtion tieverkolla että suurimmissa kaupungeissa. Valtion maanteiden osalta tilannetta selvitettiin Väyläviraston (ja sen edeltäjien) julkaisujen ja Pirkanmaan ELY-keskuksen edustajalta saadun haastattelun avulla. Kaupunkien tilannetta selvitettiin sähköpostitse lähetetyn verkkokyselyn avulla.

Kyselyyn vastasi yhdeksän kaupunkia, joista kolmessa käytettiin konenäköä päällysteiden kunnossapidossa. Kahdessa kaupungissa menetelmää oli jo kokeiltu ja neljässä kaupungissa konenäköhanke oli suunnitteluvaiheessa. Kaupungit olivat selvästi kiinnostuneita konenäön hyödyntämisestä katujen kunnossapidossa, koska sen käyttö oli ollut kaikissa kaupungeissa vähintäänkin suunnitteilla.

Myös valtiolla on ollut kiinnostusta konenäön hyödyntämisestä maanteiden kunnossapidossa. Pirkanmaan ELY-keskuksessa suoritetun kokeiluprojektin perusteella konenäön suorituskyky on päällysteiden kuntokartoitukseen riittävä. Myös jatkokehityskohteita sille oli pohdittu. Konenäkö on osana keväällä 2021 alkanutta Pirkanmaan uutta paikkausurakkaa. Tämä oli valtion tieverkolla ainutlaatuista.

Tutkimuksen perusteella konenäön tarkkuus on jo suunnilleen yhtä hyvä kuin ihmisen silmämääräinen arvio. Konenäön etuna on sen objektiivisuus, koska se tulkitsee asiat aina samalla tavalla, kun taas eri ihmiset voivat tulkita asioita keskenään eri tavalla. Tämä mahdollistaa aineiston paremman vertailtavuuden. Kaduilta ja teiltä kerättävää kuvamateriaali on monikäyttöistä ja sitä voidaan käyttää päällysteiden kunnan mittaamisen lisäksi esimerkiksi liikennemerkkien inventointiin, asukaspalautteen tarkistamiseen ja suunnittelijoiden apuna. Koska videomateriaalin kerääminen on helppoa, mahdollistaa se ajantasaisemman tilannekuvan tie- ja katuverkolta.

Konenäköjärjestelmään liittyvät jatkokehitystarpeita olivat ainakin tunnistustarkkuuden parantamiseen huonoissa valaistus- ja sääolosuhteissa sekä kuvataajuuden säätämiseen eri ajonopeuksille. Järjestelmän käyttäjillä oli myös kuvamateriaalin hyödyntämiseen ja omiin toimintamalleihin liittyviä kehittämistarpeita.

Tutkimus onnistui pääosin hyvin ja tutkimuskysymyksiin saatiin mielestäni melko hyvät vastaukset. Tutkimuksessa olisi voinut käydä läpi enemmän myös konenäkösovellusten yhdistämistä urakkaan ja muihin toimintamalleihin, mutta tähän ei tämän työn puitteissa

ollut mahdollisuutta. Tutkimusaineiston hankinta ja erityisesti haastattelujen ja verkkokyselyn toteuttaminen vei enemmän aikaa, kuin alun perin ajateltiin. Aineiston hankintamenetelmänä haastattelut vaikuttivat hyvältä, sillä sain niissä vastaukset esittämiini kysymyksiin. Verkkokyselyn tuloksissa on ehkä suurempaa epävarmuutta, koska ei ole aina tiedossa, kuinka hyvin vastaaja tunsi aiheen, ja toisaalta osa vastaajista vastasi kysymyksiin lyhyesti ja osa laajasti.

Jatkotutkimuskohteena tutkimuksen voisi laajentaa koskemaan kaikkia Suomen kuntia. Myös kyselyn järjestämistapaa voisi kehittää, jotta useammalta mukaan kutsutulta kunnalta saadaan vastaus.

# LÄHTEET

Anand, S. & Priya, L. (2020). A Guide for Machine Vision in Quality Control. 1st edition. [Online]. Milton: CRC Press.

Brown, B. (2021). Head of Road Asset Management, Vaisala Oyj. Haastattelu 15.3.2021.

Crowdchupa (2021). Verkkosivu. Saatavissa: <https://crowdchupa.com/> (viitattu 5.5.2021)

Lintilä, J. (2021). Toiminnanohjauspäällikkö, Pirkanmaan ELY-keskus. Haastattelu 14.4.2021.

Mäenpää, T., Niskanen, M., Pylkkö, H., Roponen, S. & Silven, O. (2008). Konenäön hyödyntämismahdollisuudet teiden ylläpidossa ja hoidossa. Tiehallinnon selvityksiä 26/2008. Saatavissa: [https://julkaisut.vayla.fi/pdf2/3201105-v-intopii\\_konenakopi-lotti.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf2/3201105-v-intopii_konenakopi-lotti.pdf) (viitattu 13.2.2021)

Sendelin, J. (2020). Mitä konenäkö on? LAB University of Applied Sciences, Lahti & Lappeenranta. Verkkosivu 9.4.2020. Saatavissa: <https://blogit.lab.fi/health/2020/04/09/mita-konenako-on/> (viitattu 13.2.2021)

Tiehallinto (2007). Käsikirja päällysteiden pinnan kunnon mittaamiseen. Tiehallinnon selvityksiä 21/2007. Saatavissa: [https://julkaisut.vayla.fi/pdf/3201047-v-kasikirja\\_paallysteiden\\_pinnan\\_kunnon\\_mitt.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf/3201047-v-kasikirja_paallysteiden_pinnan_kunnon_mitt.pdf) (viitattu 2.5.2021)

Tieyhdistys (2021). Tietietoa, verkkosivu. Saatavissa: <https://www.tieyhdistys.fi/tie-tietoa/> (viitattu 18.4.2021)

Vaisala (2021). RoadAI, verkkosivu. Saatavissa: <https://www.vaisala.com/en/products/road-ai> (viitattu 31.3.2021)

Vuorinen, T. (2020). Tartu rattiin ja tienaa jopa 30 euroa tunnissa! Tuleeko päällyste-vaurioiden videoinnista Suomen ”uusi Nokia”? , Ilta-Sanomat. Saatavissa: <https://www.is.fi/tampereen-seutu/art-2000006628707.html> (viitattu 5.5.2021)

Väylävirasto (2019). Konenäön vakiintuva hyödyntäminen tieomaisuuden hallinnassa, Väyläviraston julkaisuja 13/2019. Saatavissa: [https://julkaisut.vayla.fi/pdf12/vj\\_2019-13\\_konenaon\\_vakiintuva\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf12/vj_2019-13_konenaon_vakiintuva_web.pdf) (viitattu 15.2.2021)

Väylävirasto (2020). Päällysteen paikkausurakan kehittäminen konenäköä hyödyntäen, Väyläviraston julkaisuja 9/2020. Saatavissa: [https://julkaisut.vayla.fi/pdf12/vj\\_2020-09\\_paallysteen\\_paikkausurakan\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf12/vj_2020-09_paallysteen_paikkausurakan_web.pdf) (viitattu 21.2.2021)

Väylävirasto (2021). Paikkausurakan seuranta konenäköjärjestelmällä, Väyläviraston julkaisuja 14/2021. Saatavissa: [https://julkaisut.vayla.fi/pdf12/vj\\_2021-14\\_paikkausurakan\\_seuranta\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf12/vj_2021-14_paikkausurakan_seuranta_web.pdf) (viitattu 15.4.2021)



# LIITE A: KYSYMYKSET VAISALALLE

Vaisalalta kysyttiin RoadAI-järjestelmästä seuraavat kysymykset:

1. Mikä on RoadAI-järjestelmä toimintaperiaate ja mistä osista se koostuu?
2. Millaisella tarkkuudella menetelmä tunnistaa päällystevauriot (kuten reiät ja halkeamat)?
3. Millaisella tarkkuudella menetelmä tunnistaa vaurion tyypin ja vakavuuden?
4. Millaisella tarkkuudella menetelmä paikantaa päällystevauriot?
5. Mitkä ovat menetelmän edut ja heikkoudet puolet (verrattuna muihin mittaustapoihin)?
6. Mitkä ovat konenäköjärjestelmän suurimmat hyödyt (teiden kunnossapidossa)?
7. Missä kaupungeissa tai alueilla käytetään RoadAI:ta päällysteiden kunnan kartoittamiseen?

# LIITE B: KYSELYLOMAKE KAUPUNGEILLE

Kysymykset olivat avoimia, paitsi kysymykset 3 ja 13, joihin annettiin vastausvaihtoehdot.

1. Vastaajan nimi ja sähköpostiosoite (ei pakollinen vastaus)
2. Minkä kaupungin puolesta vastaatte?
3. Onko kaupungissa käytössä konenäköön perustuvaa katujen päällysteiden kunnan mittausta? (Kyllä / Ei)

Jos kysymykseen 3 vastasi ”Kyllä”, esitettiin kysymykset 4-10:

4. Mitä menetelmää, järjestelmää tai ohjelmistoa käytätte päällysteiden kunnan ja päällystevaurioiden seurantaan?
5. Millaisella tarkkuudella käyttämänne menetelmä tunnistaa päällystevauriot ja niiden tyyppin?
6. Millaisella tarkkuudella menetelmä paikantaa päällystevauriot? (esim. metreissä)
7. Kuinka usein päällysteiden kunto mitataan?
8. Mitkä ovat menetelmän ja konenäköjärjestelmän hyvät puolet?
9. Mitkä ovat menetelmän ja konenäköjärjestelmän huonot puolet?
10. Kuinka kaupungissa on aiemmin seurattu ja mitattu päällysteiden kuntoa?

Jos kysymykseen 3 vastasi ”Ei”, esitettiin kysymykset 11-13:

11. Kuinka kaupungissa tällä hetkellä seurataan ja mitataan päällysteiden kuntoa?
12. Kuinka usein päällysteiden kunto mitataan?
13. Oletteko suunnitelleet konenäköön perustuvan päällystevaurioiden mittauksen käyttöönottoa? (Kyllä, valmistelemme käyttöönottoa / Kyllä, hanke on suunnitteluvaiheessa / Kyllä, mutta hankkeesta on luovuttu / Ei, asia ei ole ollut esillä / En ole varma)