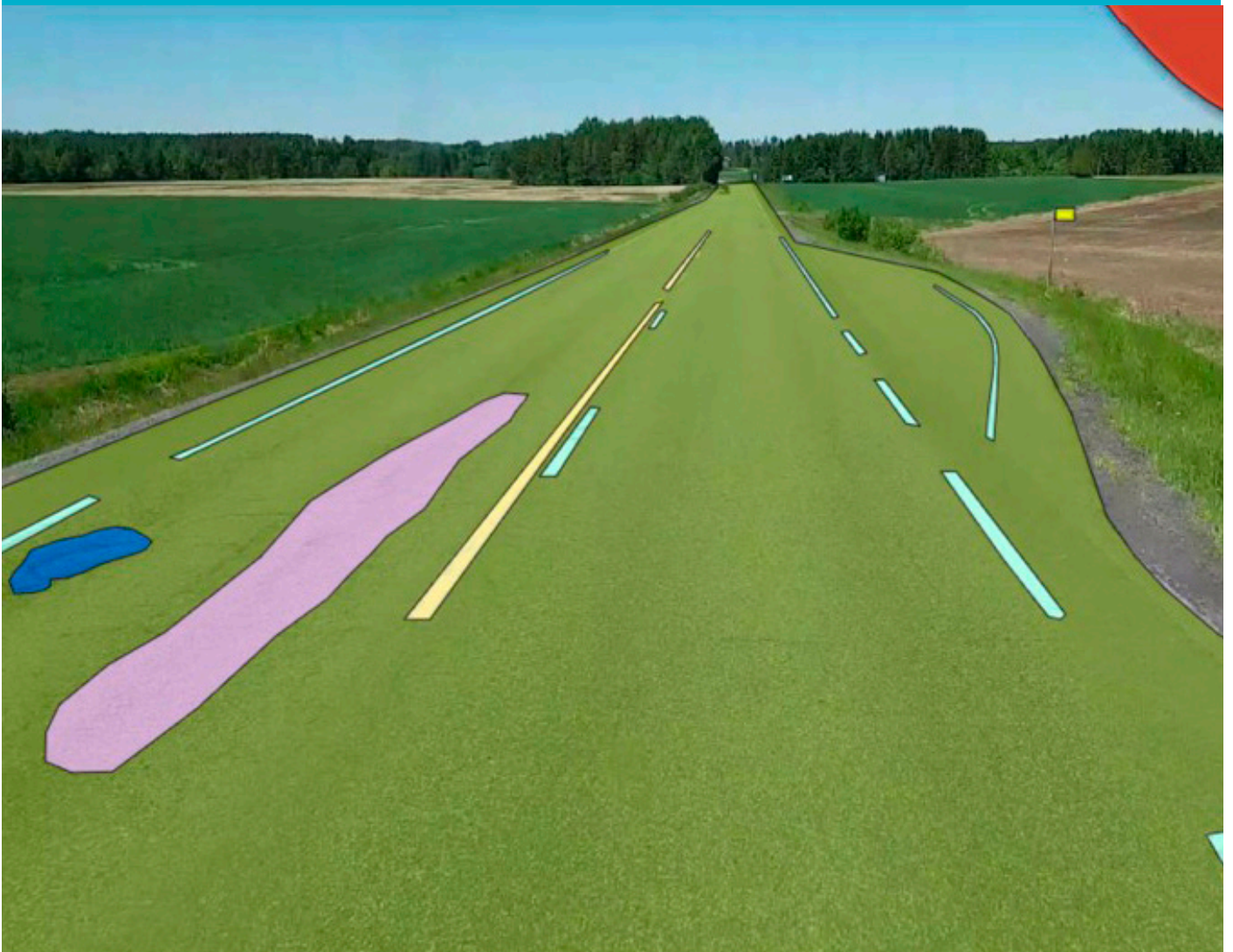


PÄÄLLYSTEEN PAIKKAUS- URAKAN KEHITTÄMINEN KONENÄKÖÄ HYÖDYNTÄEN

Pirkanmaan ELY-keskuksen paikkaus-
urakan kehittämisen konenäköpilotti



Mikko Haavisto, Anne Valkonen, Ville Jurkkola, Antti Hannuksela

Päällysteen paikkausurakan kehittäminen konenäköä hyödyntäen

Pirkanmaan ELY-keskuksen paikkausurakan
kehittämisen konenäköpilotti

Väyläviraston julkaisuja 9/2020

Väylävirasto
Helsinki 2020

Kannen kuva: Vaisala Oyj (RoadAI algoritmin tekemä kuva)

Verkojulkaisu pdf (www.vayla.fi)

ISSN 2490-0745

ISBN 978-952-317-762-8

Väylävirasto

PL 33

00521 HELSINKI

Puh. 0295 34 3000

Mikko Haavisto, Anne Valkonen, Ville Jurkkola, Antti Hannuksela: Päällysteen paikkausurakan kehittäminen konenäköä hyödyntäen – Pirkanmaan ELY-keskuksen paikkausurakan kehittämisen konenäköpilotti. Väylävirasto. Helsinki 2020. Väyläviraston julkaisuja 9/2020. 36 sivua. ISSN 2490-0745, ISBN 978-952-317-762-8.

Avainsanat: tietyöt, päällysteet, paikkaus, urakat, vauriot, konenäkö

Tiivistelmä

Maanteiden kunnonhallinta on ajankohtainen asia, koska määrärahat tienpidossa ovat vähentyneet ja ilmastonlämpeneminen lisää olosuhderasitusta aiheuttaen päällysteille entistä kovemman rasituksen lämpötilan sahatessa yhä enemmän nollan asteen tuntumassa. Tienpidossa on siis järkevää pyrkiä kehittämään ennakoivia, tehostavia ja kustannustehokkuutta lisääviä menetelmiä.

Tämä tutkimus on ollut yhdistelmä modernin koneoppimista hyödyntävän konenäköteknologian sekä operatiivisia urakkamallien kehittämistä selvittävä yhdistävä kokeilu. Tavoitteena on löytää tekninen menetelmä valvoa objektiivisesti teiden reikiintymisen tilaa ja hyödyntää tätä teknologiaa urakoiden hankintamallin kehittämisessä. Kumpaankin asiaan tutkimus ja sen eteen tehty työ on antanut hyvän tulosaineiston.

Konenäön osalta voidaan tutkimuksen pohjalta todeta, että ihmisen ja konenäön tien vaurioinventoinnin tulokset korreloivat hyvin. Vaurion vakavuusasteen tulkinnassa vastaavaa vertailua ei kuitenkaan voitu suorittaa. Tämä johtuu ennen kaikkea siitä, että ihmistenkään näkemys vaurioiden vakavuudesta ei ole yksiselitteinen. Konenäön osalta menetelmän kehitys on jatkossa järkevää tehdä osana operatiivista työtä, jotta ihmisen palautteet vaurioiden vakavuusluokista voidaan yhdistää osaksi automatiikan kehitystä.

Jatkokehityksen kannalta tutkimustoiminta ei ole enää järkevä teknologian kehittämisen lähtökohta. On aika ottaa tekoälysovellukset operatiivisen toiminnan rinnalle ja kehittää niiden käytettävyyttä tuotantokäytössä haluttuun suuntaan.

Paikkausurakan hankintamallin kehittämisen näkökulmasta kokeilun perusteella on mahdollista hyödyntää konenäköä urakka-alueen teiden kuntoindeksin määrittämisessä. Kuitenkin välillä voi olla tarpeellista validoida yksittäisiä tunnistuksia, mutta laajamittaisesti arvioituna konenäkö voi tuottaa jatkuvasti päivittyvää reikiintymisindeksiä, mikä kertoo tien yleiskunnon ja statustietoa urakan tuloksellisuudesta.

Mikko Haavisto, Anne Valkonen, Ville Jurkkola och Antti Hannuksela: NTM-centralen i Birkalands pilotprojekt – utveckling av beläggningsunderhåll med hjälp av maskinseende. Trafikledsverket. Helsinki 2020. Trafikledsverkets publikationer 9/2020. 36 sidor. ISSN 2490-0745, ISBN 978-952-317-762-8.

Sammandrag

Underhållet av landsvägarna är en aktuell fråga eftersom anslagen för väghållningen har minskat och klimatuppvärmningen ökar belastningen och utsätter beläggningshårdare än tidigare när temperaturen allt oftare håller sig kring nollstrecket. I väghållningen är det således förnuftigt att försöka utveckla proaktiva och effektiva metoder som ökar kostnadseffektiviteten.

Denna studie har varit en kombination av maskinseendeteknik som drar nytta av modern maskininlärning och ett experiment för utveckling av operativa entreprenadmodeller. Syftet är att hitta en teknisk metod för att objektivt övervaka hålbildning i vägarna och utnyttja denna teknik för att utveckla upphandlingsmodellen för entreprenader. Studien och det arbete som utförts i båda frågorna har gett ett gott resultatmaterial.

Utifrån studien kan man för maskinseendets del konstatera att resultaten av skadeinventering gjorda av människor och av maskinseende korrelerar väl. Men en motsvarande jämförelse för att tolka skadornas svårighetsgrad kunde inte göras. Detta beror främst på att inte heller olika människors syn på skadornas svårighetsgrad är entydig. När det gäller maskinseende är det i fortsättningen förnuftigt att inkludera metodutvecklingen i det operativa arbetet, så att människans respons på skadornas svårighetsklasser kan förenas och göras till en del av utvecklingen av automatiken.

När det gäller vidareutveckling är forskning inte längre en förnuftig utgångspunkt för teknisk utveckling. Det är dags att ta in AI-program vid sidan av den operativa verksamheten och utveckla deras användbarhet i produktion i önskad riktning.

Ur synvinkeln av utveckling av upphandlingsmodeller för beläggningsunderhåll, är det utifrån experimentet möjligt att utnyttja maskinseende när vägarnas konditionsindex i ett entreprenadområde ska fastställas. Det kan dock vara nödvändigt att validera enskilda upptäckter, men i stor skala kan maskinseende producera ett kontinuerligt uppdaterat hålindex, vilket anger vägens övergripande skick och statusinformation om entreprenadens resultat.

Mikko Haavisto, Anne Valkonen, Ville Jurkkola och Antti Hannuksela: Developing the pavement repair project using computer vision – repair contract computer vision pilot of Pirkanmaa Centre for Economic Development, Transport and the Environment (ELY Centre). Finnish Transport Infrastructure Agency. Helsinki 2020. Publications of the FTIA 9/2020. 36 pages. ISSN 2490-0745, ISBN 978-952-317-762-8.

Abstract

Road condition management is a topical issue as road maintenance appropriations have decreased and global warming increases the weather strain, imposing even more stress on pavements when temperatures vary more and more round zero. In road maintenance, it would thus be sensible to seek to develop proactive methods that increase effectiveness and cost-efficiency.

This study is a combination of modern computer vision technology utilising machine learning and an experiment examining the development of operative contract models. The aim is to find a technical method for objectively controlling the status of holes in roads and to utilise this technology to develop a project procurement model. The study and the work carried out for it have provided good material for both the goals.

As for computer vision, it can be stated on the basis of the study that there is close correlation between the results of the human-made road damage inventory and that made using computer vision. However, a corresponding comparison could not be conducted in the interpretation of the severity of the damage. This is above all due to the fact that not even different people have a unanimous opinion about the severity of damage. In the case of computer vision, methodological development in the future should be carried as part of operational work, so that human feedback about damage severity categories can be combined into the development of automatics.

With regard to further development, research is no longer a viable point of departure for technological development. It is time to take AI applications into use alongside operational work and to develop their usability in production in the desired direction.

From the point of view of developing a repair project procurement model, the experiment suggests that computer vision can be used to determine a road condition index in the project area. However, it may be necessary at times to validate individual detections, though as a whole computer vision can produce a continuously updated hole development index, which indicates the overall condition of the road and provides status data about the success of the project.

Esipuhe

Selvitys on tehty osana Väyläviraston digitalisaatiohanketta, jossa tähdätään väylänpidon kehittämiseen digitaalisten järjestelmien ja toimintamallien kehittämisen avulla.

Selvitystä on ohjannut projektiryhmä, johon ovat kuuluneet Ossi Saarinen Väylävirastosta, Janne Lintilä, Timo Seppänen ja Tomi Keisala Pirkanmaan ELY-keskuksesta sekä Anne Valkonen Via Blanca Oy:stä.

Selvityksen laatimisesta on vastannut Mikko Haavisto Vaisala Oy:stä ja sen tekemiseen ovat osallistuneet Ville Jurkkola Posti Oy:stä sekä Antti Hannuksela ja Markus Melander Vaisala Oy:stä.

Helsingissä helmikuussa 2020

Väylävirasto
Kunnossapito

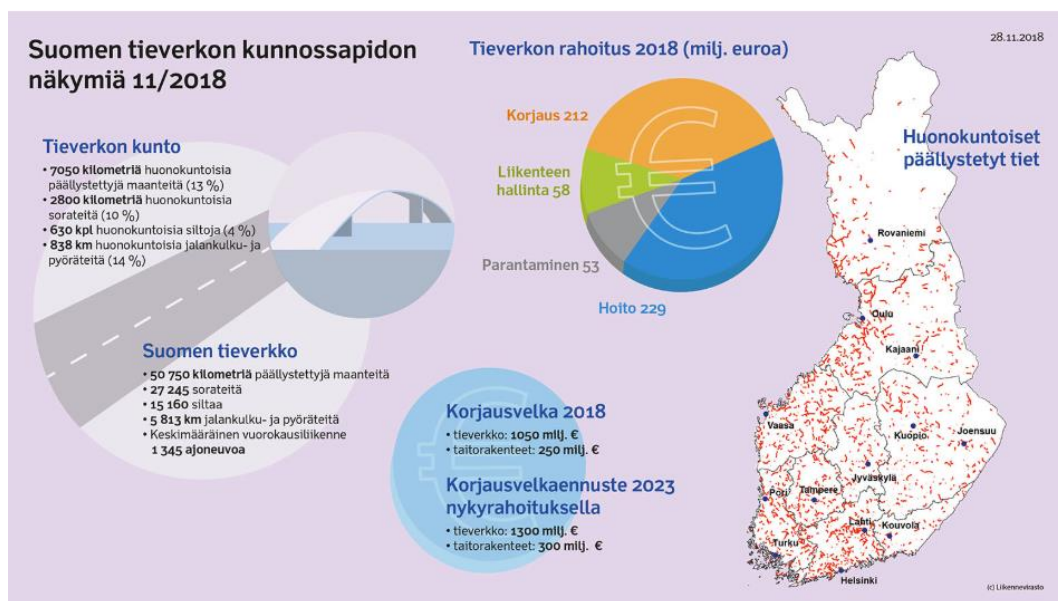
Sisältö

1	TAUSTA	8
1.1	Yleiset tavoitteet	9
1.2	Projektin tavoitteet ja rajaukset.....	10
2	PAIKKAUSURAKOIDEN HANKINTA- JA TOIMINTAMALLIN KEHITTÄMINEN ..	11
3	KONENÄKÖMENETELMÄ	13
3.1	Menetelmän yleiskuvaus	13
3.2	Vaurioluokat	14
3.3	Ajettujen reittien automaattinen suodattaminen	16
3.4	Vaurioiden mittaaminen	18
3.5	Tunnistusalue.....	18
4	VIDEOPALVELUN JA KONENÄKÖALUSTAN MUUT HYÖDYNTÄMISKOHTEET	20
4.1	Videopalvelu ja toimenpiteiden ohjaaminen	20
4.2	Konenäkö apuvälineenä päällysteohjelmoinnissa	20
5	PAIKKAUSURAKAN TIEDONKERUUPROSESSI	21
6	TULOKSET	25
6.1	Käytössä olleen tekniikan yleiset rajoitteet.....	25
6.2	Konenäön suorituskyky.....	25
6.3	Tiedontuotannon vaatimukset	30
6.4	Segmenttikohtainen tietomalli.....	31
7	JATKOKEHITYS	33
7.1	Hankintamallin kehittäminen	33
7.2	Tietomallikehitys.....	33
7.3	Konenäön kyvykkyyden auditointi	33
7.4	Työkalujen kehittäminen	34
7.5	Reikä-tunnistusten yksilöinti ja seuranta.....	34
7.6	Integroituminen muihin järjestelmiin.....	34
8	JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO	35

1 Tausta

Suomen tienverkon kunnossapito on vuositasolla kustannusvaikutuksiltaan noin 500 M€, kun huomioidaan korjaustoimenpiteet (212 M€), parantamistoimenpiteet (53 M€) ja tienhoito (229 M€). Tällä summalla ylläpidetään Suomen valtion tieverkkoa, jonka kokonaispituus on 77 995 km. Päälystetyn verkon osuus tästä on 50 750 km (lähde: Väylävirasto).

Tienverkon yksittäisen tiekilometrin ylläpitokustannus on noin 6200 € vuodessa. Tämän summan Väylävirasto ja ELY-keskukset pyrkivät kohdistamaan mahdollisimman järkevällä ja kustannustehokkaalla tavalla kolmen keskeisen funktion hoidon, parantamisen sekä korjauksen käytettäväksi.



Kuva 1. Tieverkon kunnossapidon kokonaisuutta (lähde: Väylävirasto).

Tieverkon paikkausurakoinnilla on merkittävä asema tien palvelutason, liiketurvallisuuden sekä päällysteen elinkaaren optimoinnissa. Päällysteurakoinnin kehittäminen ja mahdollisimman laadukkaan sekä tehokkaiden toiminta mallien löytäminen on siten erittäin ajankohtainen haaste.

Tämä tutkimus on toteutettu Väyläviraston ja Pirkanmaan ELY-keskuksen toimesta ja siinä tutkitaan konenäön hyödyntämistä päällysteiden paikkausurakassa. Tavoitteena on selvittää, kuinka konenäköteknologia soveltuu inventointiin ja tieverkon kunnan tilannekuvan ylläpitoon. Samalla kokeilussa on tunnusteltu, kuinka teknologia voisi palvella osaltaan paikkausurakan hankintamallin kehittämisessä ja mahdollistaako uusi teknologia paikkausurakoiden toiminnan ja laadunhallinnan tehostamista yleisesti.

Projektissa keskitytään Pirkanmaan paikkausurakan alueella tieverkon kone-näköpohjaiseen kuntoanalyysiin ja teknologian avulla jatkuvasti tuotetun tiedon hyödyntämiseen. Kokeilussa saatujen kokemusten perusteella pyritään kehittämään paikkausurakan hankintamallia. Tieverkon kuntoanalyysissä projekti rajattiin käsittelemään reikä- ja halkeamavaurioiden sekä paikkauksien tunnistamista konenäön avulla. Konenäöllä tuotetun tiedon ja käytössä olleen käyttöliittymän hyödyntäjiä ovat urakoitsijat, tilaajat ja konsultit.

Pirkanmaan alueen paikkausurakassa tehdään kahdenlaisia paikkauksia: ohjelmoituja paikkauksia ja akuutteja paikkauksia. Ohjelmoidut paikkaukset perustuvat inventoituun tietoon tieverkon kunnosta ja paikkaustarpeista. Akuutteihin paikkauksiin toimenpidetarve tulee tällä hetkellä pääosin tieliikennekeskuksen kautta kanavoituina toimeksiantoina.

Teknisestä näkökulmasta katsottuna projektissa paneuduttiin liikenneturvallisuu- ta vaarantavien reikien tunnistukseen sekä alkavien vaurioiden tunnistami- seen, joista voi myöhemmin kehittyä liikenneturvallisuu- ta vaarantavia reikiä. Kokonaistavoitteena luonnollisesti on saavuttaa tilanne, missä reikiintymiseen voitaisiin reagoida mahdollisimman aikaisessa vaiheessa mahdollisimman nopeasti ja pienin kustannuksin.

1.1 Yleiset tavoitteet

Työnkulkutasolla tavoitteeksi projektille oli asetettu toimintamallin pilotointi, missä konenäöllä tuotettu tieto saataisiin urakoitsijalle hyödynnettäväksi ohjel- moinnissa, ja samaa tietoa voitaisiin hyödyntää tilaajan seurantatyössä ja palvelemaan lopulta urakan laadunvarmistusprosessia.

Toimintamallin pilotointi edellyttää luonnollisesti teknologian toimivan halu- tulla tasolla. Siksi haluttiin varmistua, että konenäköteknologian toistettavuus olisi halutulla tasolla. Tämän jälkeen voidaan ruveta miettimään ja kehittämään edelleen käyttöliittymiä ja työprosesseja käytössä olevan tiedon hyödyntä- miseksi paikkausurakan kokonaisvaltaisessa hallinnassa.

Projektiin taustalla on tunnistettavissa seuraavat yleiset tavoitteet:

1. Kannustaminen innovatiivisuuteen
 - Palvelutasojattelun mahdollistaminen urakoitsijalle
2. Toimenpiteiden priorisoinnin mahdollistaminen
 - Ohjelmoinnin tehostaminen ja ennakoinnin parantaminen
3. Toimenpiteiden laadun parantaminen
 - Kestävämmät paikkaukset
4. Liikenneturvallisuuden parantaminen
 - Liikennettä vaarantavien vaurioiden väheneminen
5. Tilannekuvan parantaminen konenäköteknologiaa hyödyntäen
 - Laadun ja toimenpiteiden valvonta
 - Ajantasainen kokonaiskäsitys verkon tilasta
 - Kehityksen seuranta

1.2 Projektin tavoitteet ja rajaukset

Projektiin kohdistuvat seuraavat ensisijaiset tavoitteet ja rajoitukset:

1. Paikkausurakan hankinta- ja toimintamallin kehittäminen
2. Konenäön kehittäminen tuottamaan tietoa paikkausurakan ohjelmointiin ja seurantaan.
 - Työssä keskitytään ensisijaisesti tarkastelemaan liikenneturvalisuutta vaarantavien reikien tunnistamista ja alkavan reikiintymisen sekä halkeamien havaitsemista.
3. Paikkausurakan tiedontuotantarvetta tukevan jatkuvan kuvausprosessin määrittäminen.
 - kustannusrakenteeseen kohdistuvat muutokset, kun kuvaaminen integroidaan osaksi olemassa olevia prosesseja eikä sitä tehtäisi enää pelkästään erillisajoina.

Miten tai mistä prosessista tiestön kunnan tilannekuva kannattaa kerätä?

Miten hyvin konenäköteknologia toimii paikkausurakan tietotarpeiden täyttäjänä?

Miten kehittäisin paikkausurakan hankintamallia ja urakan toimintamallia, jos käytössä on paremmin ajantasaista tietoa?

Kuva 2. Kokeilun tavoitteet esitettynä tutkimuskysymyksinä.

2 Paikkausurakoiden hankinta- ja toimintamallin kehittäminen

Paikkausurakan hankintamallin kehittäminen kumppanuusmallin (KIMPPA) yksikköhintapohjaisesta kokonaisurakasta palvelusopimusmalliseksi edellyttää tien päällysteen kuntoa (eheyttä) mittaavan ja hyvin toistettavan parametrin löytämistä. Parametrin tulee pystyä kuvaamaan (liikenneturvallisuuksiin vaarantavien) reikien ja halkeamien määrää ja sijaintia tieverkolla sellaisella tavalla ja tarkkuudella, että sen perusteella pystytään käynnistämään paikkaustoimenpiteitä ja ohjelmoimaan paikkauksia. Pirkanmaan ELY-keskuksen alueella on tavoitteena selvittää, voidaanko konenäköön perustuen siirtyä hankkimaan päällysteen paikkaamista siten, että yksittäisen paikkojen sijaan hankkitaan esimerkiksi päällysteen eheyttä. Ennen kuin siirrytään kuvatusiin kaltaiseen palvelusopimukseen tai sopimusmalliin, jossa on elementtejä tavoitetilan kaltaisesta toimintamallista, täytyy olla varmaa, että mitattava parametri kuvaa riittävällä tarkkuudella todellista kuntotilaa.

Palvelusopimusmallissa tiestön vaurioitumisen ennustamisen riski siirretään urakoitsijalle. Palvelusopimusmalli nähdään hyödylliseksi, sillä siinä urakoitsija voi omilla toimillaan vaikuttaa paikkojen pysyvyyteen, oikea-aikaiseen paikkaamiseen sekä paikkausmenetelmän valintaan. Lisäksi kyseinen malli kannustaa urakoitsijaa kehittämään entistä tehokkaampia menetelmiä.

Liikenneturvallisuuksiin vaarantavat ja ajomukavuutta haittaavat vauriot on määritelty sekä maanteiden hoidon alueurakoiden että erillisten paikkausurakoiden laatuvaatimuksissa samalla tavalla. Riippumatta siitä, kuinka paikkausta hankitaan, paikattavien vaurioiden määrittely pitäisi olla valtakunnallisesti yhtenäinen.

Joulukuussa 2019 on valtakunnallisesti käynnissä tai käynnistymässä useita erillisiä päällysteiden paikkausurakoita, joissa hankitaan maanteiden hoidon alueurakoissa aiemmin tehtyjä paikkaustöitä. Osittain tehtävät saattavat olla vielä päällekkäinkin eli samaa työtä voidaan teettää sekä maanteiden hoidon alueurakassa että erillisessä paikkausurakassa.

Tilaaajan ensisijainen tahtotila on se, että maanteiden ja kävely- ja pyöräilyväylien käyttäjien turvallisuus ei vaarannu päällysteen vaurioista johtuen. Tästä syystä päällysteen kunto tulee tuntea riittävän tarkasti ja kuntotila pitää pystyä osoittamaan riittävällä tarkkuudella. Mikäli päällystevaurio on liikenneturvallisuuksiin vaarantava, vaurio paikataan välittömästi tiedoksisaannin jälkeen tai vauriosta varoitetaan liikennemerkillä. Tilanteen vaatiessa voidaan tilapäisesti alentaa voimassa olevaa nopeusrajoitusta. Lähtökohtaisesti hyvä toimintamalli olisi, että ajomukavuutta haittaavat vauriot urakoitsija voisi, ja olisi kannattavaa, paikata ohjelmoituna työnä ennen kuin niistä syntyy liikenneturvallisuuksiin vaarantavia akuutisti paikattavia vaurioita.

Uuden palvelusopimukseen perustuvan paikkausurakan hankintamallin kehittämisen edellytys on siis kuntotilaa kuvaavan parametrin olemassaolo. Tämän jälkeen on mahdollista selvittää esimerkiksi markkinavuoropuhelun avulla urakoitsijoiden valmius palvelusopimuksiin. Viime vuosina toteutetuissa erillisissä paikkausurakoissa on ollut kilpailua. Toimijoita on useita ja vaikka osa

urakoitsijoista on keskittynyt vain yhteen tai kahteen paikkauslajiin, tarjouksia on saatu riittävästi.

Paikkaustyöt voidaan jakaa käsin tehtäviin paikkauksiin ja koneellisiin paikkauksiin. Käsin tehtävät paikkaukset ovat tyypillisesti akuutteja paikkauksia ja yleensä liikenneturvallisuutta vaarantaviksi luokiteltuja joko toimenpidepyyntöjä tai muun kanavan kautta tiedoksi tulleita vaurioita. Koneelliset paikkaukset ovat yleensä ohjelmoituja paikkauksia, joilla paikataan koko tien tai tieosan vauriot samalla kertaa.

Palvelusopimusmallisessa hankinnassa tilaaja ei määrittele paikkausmenetelmää, -materiaalia tai paikkaamisen taajuutta. Seuraavia vaatimuksia voidaan kuitenkin asettaa:

- paikkausten laadulle kuten paikan pykälälle eli tasoerolle paikan ja ehjän pinnan välillä
- työ- ja liikenneturvallisuudelle
- paikkausmateriaalin ympäristökelpoisuudelle ja kierrätettävyydelle
- vaurioiden määrälle ja laadulle.

Myös kolmannelle osapuolelle paikkaustyöstä aiheutuvien haittojen, vaarojen tai vahinkojen välttämiseksi tilaaja voi asettaa vaatimuksia tai rajoituksia.

Palvelusopimuksessa laadun osoittaminen on tyypillisesti urakoitsijan vastuulla ja laatu tulee osoittaa ajantasaisen tilannetiedon (kuntotiedon) avulla. Lisäksi tulee osoittaa, kuinka tilannetietoon reagoidaan. Tilaajan laadunvalvonta perustuu tilannekuvan ja siihen reagoinnin seurannasta.

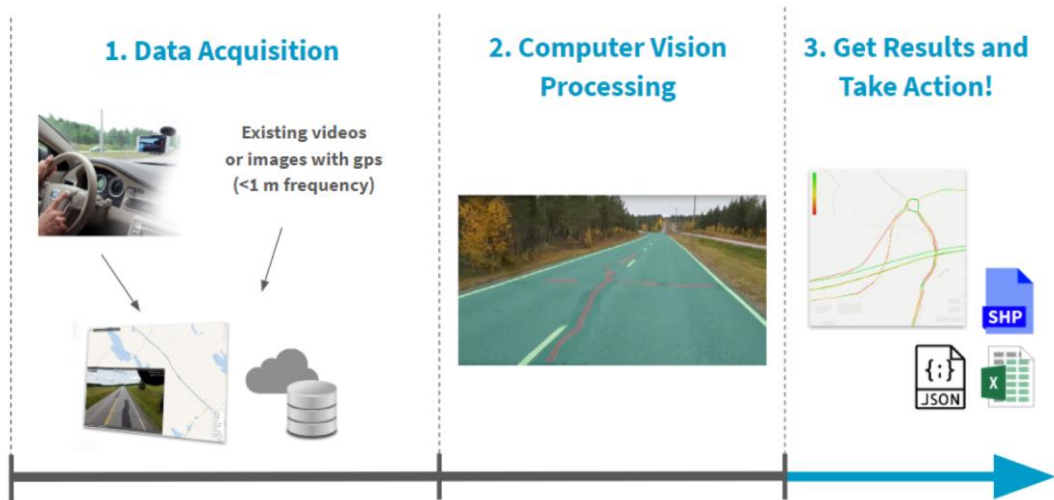
Osalla maanteistä päällyste on käyttöikänsä päässä, eikä kauttaaltaan reikiintyneen päällysteen paikkaaminen ole kannattavaa. Näitä teitä ei tule ottaa kokonaishintaiseen palvelusopimuksen piiriin, sillä niiden paikkaamisesta tai muusta kunnossapidosta tulee tilaajan päättää tapauskohtaisesti. Nämä tiet voivat toki olla integroituna palvelusopimukseen ns. yksikköhintaisen osan kautta. Luonnollisesti on myös mahdollista, että tiet päällystetään uudelleen tai muutetaan jossain tapauksissa sorateiksi.

Palvelusopimuksessa tulee olla muutosmekanismeja, joita käytetään toimintaympäristön muuttuessa. Uusien päällysteiden määrä vaihtelee vuosittain ja päällystysmäärä vaikuttaa luonnollisesti paikattavan verkon laajuuteen. Tästä syystä päällystysmäärän muutokset täytyy pystyä liittämään sopimuksen hinnanmuodostusmekanismiin. Säätilassa tai liikennemäärissä voi sopimusaikana tapahtua sellaisia muutoksia, jotka vaikuttavat päällysteiden vaurioitumisnopeuteen riippumatta siitä, kuinka urakoitsija paikkausurakkaa toteuttaa. Ennen uuden hankintamallin käyttöönottoa tulee riskinjakomalli simuloida hyödyntäen olemassa olevaa tietoa toteutetusta kokonaishintaisista ja pitkäaikaisista palvelusopimuksista.

3 Konenäkömenetelmä

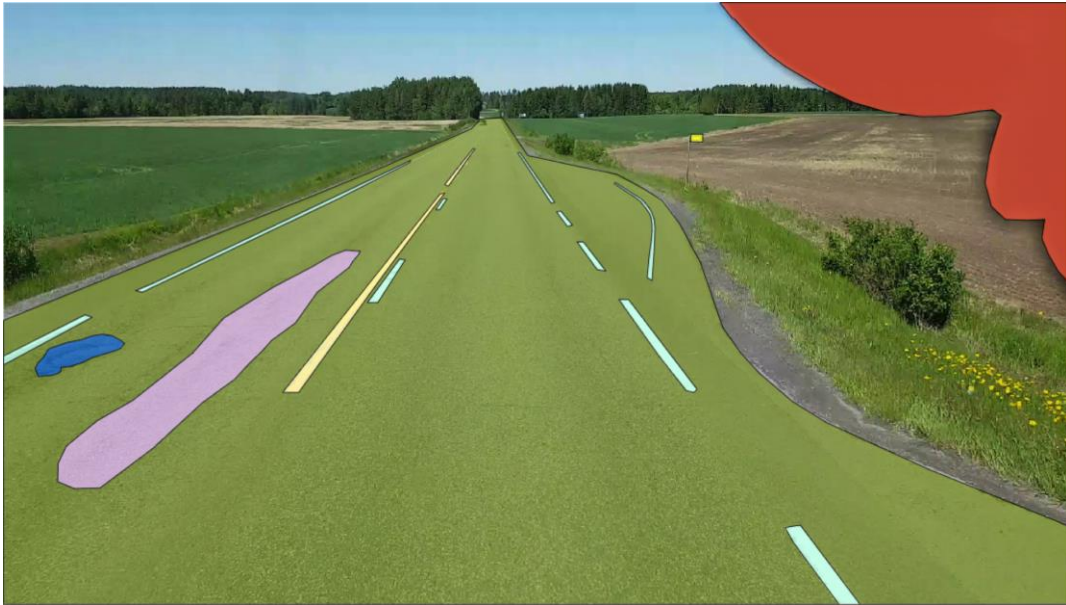
3.1 Menetelmän yleiskuvaus

Konenäköjärjestelmän kokonaisarkkitehtuuri (kuva 3) koostuu kolmesta osaluokasta: Video- ja sijaintitiedon keräämisestä älypuhelimella, palvelimilla tapahtuvasta konenäköanalyysistä sekä videoiden ja analyysin tulosten esittämisen sekä raporttien generoinnin mahdollistavasta käyttöliittymästä.



Kuva 3. Konenäköjärjestelmän kokonaisarkkitehtuuri.

Konenäköanalyysi perustuu esimerkkikuvien avulla koulutettuun tilastolliseen menetelmään, joka kykenee tunnistamaan mallille opetettuja kategorioita kuvamateriaalista, jota se ei ole aikaisemmin nähnyt. Toisin sanoen konenäkömallin suorituskyky on täysin riippuvainen sen kouluttamiseen käytetystä materiaalista. Tämä koulutusmateriaali koostuu kuva- ja annotointipareista. Annotoinnilla tarkoitetaan kuvatasolle piirrettyä aluetta, joka rajaa tietyn merkityksen sisäänsä. Esimerkkejä tällaisista merkityksistä tiestökuvissa voivat olla tie, kaistamerkinnyt, liikennemerkitt, halkeamat, rei'ät, paikat, kasvusto ja niin edelleen. Kuvassa 4 on esitetty esimerkki annotoidusta kuvasta.




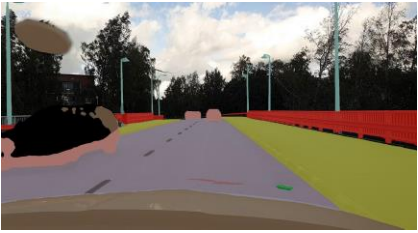










Kuva 4. Annotoitu tiestökuva, jossa eri värit kuvaavat merkitykseltään eri kohteita.

3.2 Vaurioluokat

Taulukossa 1 on esitetty havainnekuvien kautta, minkälaisiin vauriotunnistuksiin tässä työssä on keskitytty. Tunnistuskyykyttä on kehitetty erityisesti niiden vaurioiden osalta, joilla on liikenneturvallisuuden näkökulmasta kriittinen vaikutus. Työn aikana konenäön kyykyttä laajennettiin erottelemaan reikä- ja halkeamavauriot tarkempiin kategorioihin niiden vakavuusasteen mukaisesti (vakava ja kohtalainen). Haasteena on turvallisuuskriittisten vaurioiden verrattain vähäinen esiintyminen, erityisesti vakava reikä kategorian tapauksessa, sekä riittävän toistettavuusasteen saavuttaminen, mikä mahdollistaa edelleen kehittää konenäön tuloksia hyödyntäviä palveluja, joissa aikaisempia tuloksia verrataan uudempiin tuloksiin. Näin voitaisiin luoda esimerkiksi automaattista raportointia tien vaurioiden määrän kehittämisestä.

Taulukko 1. Listaus alkuperäisestä sekä tunnistuskuvasta vaurioluokittain.

Vaurio	Alkuperäinen kuva	Tunnistuskuva
Vakava reikä (vihreä)		
Kohtalainen reikä (vihreä)		
Vakava Halkeama (ruskea)		
Kohtalainen halkeama (punainen)		
Geometrisen paikka (violetti)		
Vaurionmuotoinen paikka (violetti)		

Vakava vaurio -luokan kategoriat tarkoittavat liikenneturvallisuudelle vaarallista tai ajoneuvolle potentiaalisesti vahinkoa synnyttävää vauriota. Kohtalainen-luokan vauriot ovat sellaisia, että hoitamattomana niistä todennäköisesti kehittyy vakava-kategorian vauriota. **Toisin sanoen: vakavat vauriot tulisi lähtökohtaisesti paikata kiireellisenä ja kohtalainen-luokan vaurioita voidaan hyödyntää paikkausurakan ohjelmoinnissa ennaltaehkäisevänä toimenpiteenä.**

Tarkasteltaessa kokeilun aikana käytettyä konenäkömallia huomataan, että absoluuttisten raja-arvojen sijaan menetelmä on oppinut erottelemaan nämä vakavuuskategoriat ihmisten merkkiaamien esimerkkikuvien avulla. Kategorioiden erottelua varten ihmiset hyödyntävät seuraavassa taulukossa kuvattuja ohjeellisia raja-arvoja.

Taulukko 2. Nykyisten paikkausurakoiden ohjeelliset raja-arvot.

Vauriotyyppi	Lievä	Kohtalainen	Vakava
Reikä	halkaisija alle 5 cm, vain päällimmäinen päällystekerros purkautunut	halkaisija 5–20cm	halkaisija yli 20 cm, syvä
Halkeama	leveys alle 1cm	leveys 1–5cm	leveys yli 5cm

3.3 Ajettujen reittien automaattinen suodattaminen

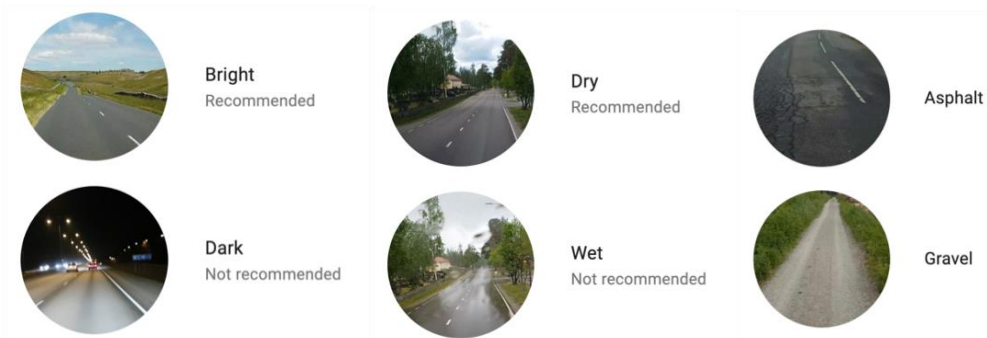
Kokeilussa käytetty järjestelmä huomioi automaattisesti paikkatiedon ja kuvaolosuhteiden vaihtelua tehdessään päällystevauriokartoitusta. Tämä on tärkeä esivaihe, jotta järjestelmän tuottama tieto voisi lähtökohtaisesti olla luotettavaa. Kun konenäköä hyödyntävien automatisoitujen inventointien osalta valmistaudutaan operatiivisiin toimintamalleihin, tulee seuraavat kaksi näkökulmaa huomioida.

Paikkatieto tulee kyetä sitomaan luotettavasti oikeaan tiegeometriaan ja tieosoitteeseen. Kokeilussa käytetty järjestelmä tuottaa video- ja GPS-tiedon viiden minuutin jaksoissa. Tiedot lähetetään palvelimille tämän mittaisina "paloina", jotta varmistetaan eheys ja tiedon toimitusprosessia on helpompi hallita. Järjestelmässä on automaationa ohjelmoitu toimintamalli, että mikäli yli 75 % GPS-reitistä sijaitsee valtion päällystetyn tieverkon ulkopuolella, kyseinen raakamateriaali suodatetaan pois karttakäyttöliittymästä.

Edellä kuvatun automatiikan heikkoutena on se, että mikäli nauhoitusta ei katkaista katuverkolle tai yksityistielle siirryttäessä voi osa käyttökelpoista inventointivideota jäädä hyödyntämättä tulosten visualisoinnissa. Ratkaisuna kuvattuun ongelmaan kokeilussa käytössä ollut järjestelmä on päätetty kehittää tietojen tallennuksen osalta erilaiseen tietomalliin. Uudessa tietomallissa tieto on tallennettu tieverkon lyhyille pätkille eli tiesegmenteille. Siirtyminen ns. segmenttikohtaiseen tietomalliin mahdollistaa sen, että inventointikuvaus voidaan katkaista tarkasti valtion päällystetyn tieverkon päättymiskohtiin, eikä vaaraa menettää merkityksellistä tietoa enää jatkossa ilmene.

Kokeilussa käytetty vauriotunnistus on kehitetty päällystetyille tielle ja se toimii parhaiten hyvissä inventointiolosuhteissa eli valoisassa ja kuivalla tiellä. Tavoiteltavissa olevassa toimintamallissa ymmärretään, että tiestökuvaus tulee olla mahdollisimman pitkälle automaattista, eikä joukkoistetussa toimintamallissa ajoneuvon käyttäjien halua joutua pohtimaan kuvamateriaalin käytettävyyttä vauriokartoitukseen tarkemmin.

Konenäkö tarjoaa tällaiseen raakadatan suodatukseen erinomaiset mahdollisuudet. Käytettyyn tiedonkeruualustaan on kehitetty konenäköön perustuva sääolosuhteiden tunnistaminen, jota voidaan talvikunnossapidon tiedontuotantotarpeen lisäksi soveltaa myös päällystevauriotunnistukseen soveltuvan materiaalin automaattiseen suodattamiseen. Käytännön tasolla tämä tarkoittaa sitä, että huonosti päällystevauriokartoitukseen soveltuva kuva-aineisto suodatetaan automaattisesti pois teknisestä analyysistä, eikä vauriota siten pyritä tunnistamaan esimerkiksi pimeässä. Kuvassa 5 havainnollistetaan materiaalin suodattamiseen liittyvät olosuhdekategoriat ja suositukset näiden soveltuvuudesta.



Kuva 5. Käytetyt konenäkösuodattimet raakavideoiden esiprosessoinnissa

Kirkkaalla kelillä syntyvät heijastukset tuulilasissa tarjoavat myös haasteen kuvamateriaalin tuottamiselle (kuva 6). Tähän tarkoitukseen sovelletaan fyysistä polarisaatio-suodinta, joka asennetaan puhelimen kameran päälle. Oheisen kuvaparin avulla on havainnollistettu heijastuksen aiheuttamaa virhettä vauriotunnistuksessa. Sinällään yksinkertaisella polarisaatio-suodimen avulla tuulilasiheijastuksista päästään eroon. Toisaalta on myös tärkeää, että tarkoituksella ei kojelaudalle jätetä esineitä tai papereita, mitkä ovat omiaan synnyttämään heijasteita.



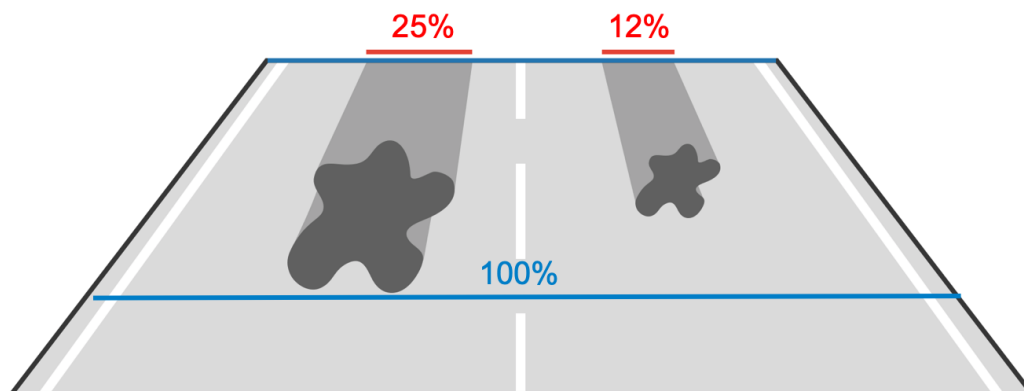
Kuva 6. Esimerkki kuinka kojelaudalla olevat esineet voivat häiritä konenäköä, kun kameran linssin edessä ei käytetä polarisaatio-suodatinta.

3.4 Vaurioiden mittaaminen

Tässä kappaleessa kuvataan, kuinka kokeilussa käytössä ollut järjestelmä toimii tienpinnan vaurioiden tunnistuksessa.

Konenäkötunnistus ajetaan lähtökohtaisesti jokaiselle pysäytyskuvalle eli videon ruudulle (frame). Ajonopeuden ollessa 80 km/h ja videon keruun tapahtuessa 15fps (frames per second) syntyy noin 1,5 m tiheydellä olevaa kuvasarjaa. Koska tunnistustarkkuus heikentyy kohteiden ollessa kauempana kamerasta, on kokeilussa olleen järjestelmän osalta päädytty ratkaisuun, että kuvatasosta konenäöllä poimitaan vaurioita vain n. 2–5 metrin väliseltä alueelta auton etupuolelta. Tämän tunnistusalueen kohdalta poimitut vauriot luokitellaan ja määritetään vaurioluokakohtaisesti vaurioalueen/vaurion laajuus suhteessa tien leveyteen. Lopulta vauriokartoituksen tulokset tallennetaan 10 metrin mittaisina pätkinä tietokantaan. Kukin pätkä saa tieosoitteeseen sidotun alku- ja päättymiskohdan.

Vaurion suhteellinen leveys tarkoittaa kuvatasolla mitattua vaurion leveyttä suhteessa tien leveyteen (Kuva 5). Tämä tieto auttaa edelleen erottelamaan vaurioita kategorioiden sisällä. Vakavuusmäärittystä hyödynnetään myös virheellisten konenäkö-tunnistusten suodattamiseen; esimerkiksi alle 1 % reikähavainnot ovat tyypillisesti vain kohinaa kuvassa.

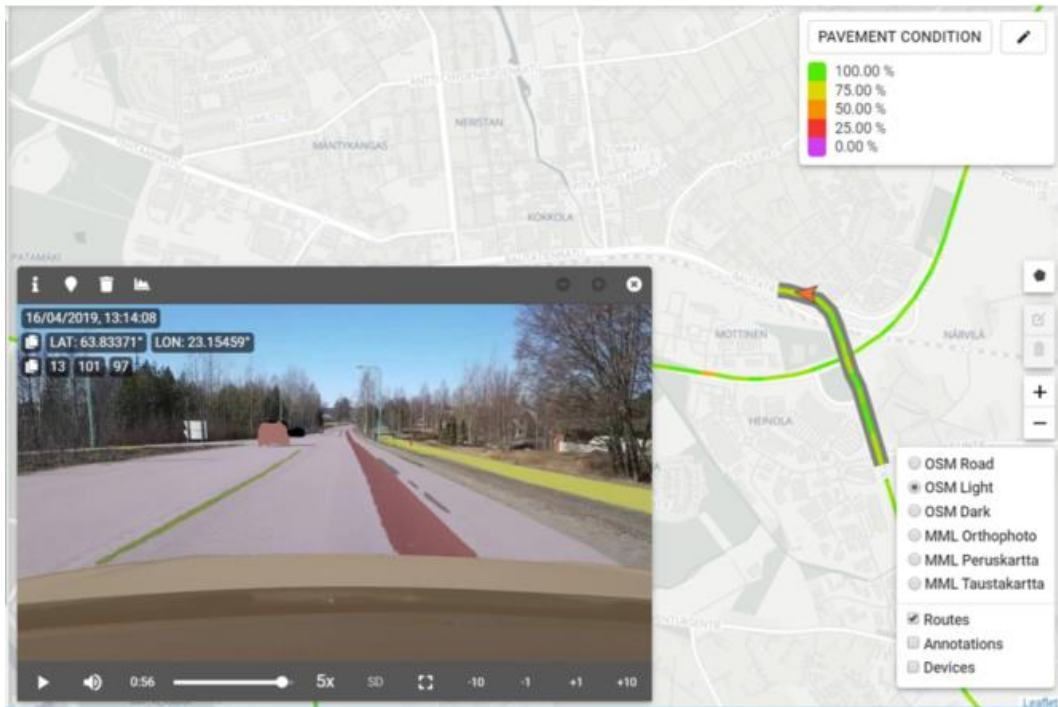


Kuva 5. Vaurioiden leveys tien leveyden suhteen.

3.5 Tunnistusalue

Vaurioiden tunnistus tehdään tällä hetkellä koko ajoradan leveydeltä. Kevyen liikenteen väylä ei kuulu mukaan tunnistusalueeseen ja se suodatetaan automaattisesti pois tunnistusalueesta. Tulevaisuudessa tunnistusta on mahdollista rajoittaa kaistakohtaiseksi, jolloin suhteellisen leveyden arvoja pystytään paremmin vertailemaan eri teiden välillä. Myös toistettavuus oletettavasti paranisi, mikäli tunnistus rajataan vain ajetuille kaistalle. Ajettu kaista on lähempänä kameraan nähden ja näin ollen siitä syntyvät tunnistukset ovat kuvatasolla suurempia ja luotettavampia. Haittapuolena kaistakohtaisessa tunnistamisessa on se, että kuvamateriaali tulisi tuottaa jokaiselta kaistalta,

mikä lisäisi tarvetta tiedonkeruujoukoille. Kuvassa 6 on esitetty, kuinka kartta-käyttöliittymä esittää pyörätiet keltaisella osoittaen, että tunnistus on toiminut ja tuloksia tältä alueelta ei käytetä päällystevaurioiden tunnistamiseen.



Kuva 6. Tunnistusaluetta rajataan usealla tavalla. Kuvassa keltaisella näkyvä alue on luokiteltu pyörätieksi.

4 Videopalvelun ja konenäköalustan muut hyödyntämiskohteet

4.1 Videopalvelu ja toimenpiteiden ohjaaminen

Lähtökohtana tulee olla, että kaikilla päällysteurakan osapuolilla on pääsy ajantasaiseen videopalveluun sekä vakavien vaurioiden ja paikkojen visualisointiin karttasovelluksessa. Sovelluksen avulla saadaan sekä kokonaiskuva vaurioiden kokonaismäärästä kartalla, että videoiden kautta on mahdollisuus verifioida korjausoperaatiotarve ja osoittaa tehdyt toimenpiteet työpisteellä ilman erillistä maastokäyntiä.

Korjaustoimenpiteiden vaikutukset raportoidaan järjestelmään kuvaamalla kyseinen tie toimenpiteen jälkeen, jolloin esimerkiksi reikähavainnot korvaantuvat paikkatunnistuksilla.

Toimenpiteiden ohjaamisen tueksi urakoitsija voi luoda videoiden kohtiin havaintomerkintöjä, esimerkiksi välittömästi korjattavista tai seurattavista reikähavainnoista, joista edelleen järjestelmä pystyy tuottamaan PDF-raportin kartta- ja maastokuvineen. PDF-raportti toimii helposti jaettavana dokumentointina sähköisesti tai esimerkiksi toimenpideohjeena käteen annettavana työohjeena maastotyöntekijöille.

4.2 Konenäkö apuvälineenä päällysteohjelmoinnissa

Konenäköjärjestelmän tuottamaa aineistoa voidaan hyödyntää myös muihin tarpeisiin paikkausurakan ulkopuolella. Paikkausurakan tai hoidon prosessista tuotetun kuvamateriaalin tuotantocykli on huomattavasti tiheämpi kuin esimerkiksi päällysteohjelmointia varten kerättävä aineisto. Tästä syystä samasta videoaineistosta voidaan tunnistaa laajemmin vaurioluokkia tukemaan vuosittaista päällysteohjelmointia. Laajempien vaurioluokkien tunnistaminen ja video-materiaali mahdollistavat toimenpidevalintojen suunnittelun monin paikoin jopa ilman erillisiä maastokäyntejä. Tästä prosessisynergiasta kertyvät tehostamishyödyt tieverkon omistajalle verrattuna nykytilaan, jossa tiedontuotanto päällysteohjelmointia varten tuotetaan täysin erillään muista prosesseista.

Muita potentiaalisia hyödyntämiskohteita ovat kaistamerkintöjen kuntoarvio, tielle syntyvä lätäköityminen, vieraslajien ja vesakointitarpeen tunnistaminen sekä mahdollinen oijen kuivatuspuutteiden havainnointi.

5 Paikkausurakan tiedonkeruuprosessi

Projektissa tieverkko suunniteltiin pääosin kuvattavaksi Postin autoihin asennettavilla älypuhelimilla. Valinta oli luontevaa, koska Postin reitit kattavat Pirkanmaan ELY-keskuksen päällystetystä tieverkosta noin 90 %. Mikäli olisi haluttu kattaa koko ELY-keskuksen tieverkko, olisi tämä ollut määrältään Postin näkökulmasta yli 200 erillistä reittiä. Tässä projektissa päädyttiin tallentamaan materiaali Postin kahdeksan ajoneuvon ajamien reittien perusteella siten, että kaikki muu kuin maantieverkkoa koskeva aineisto poistettiin datan käsittelystä.

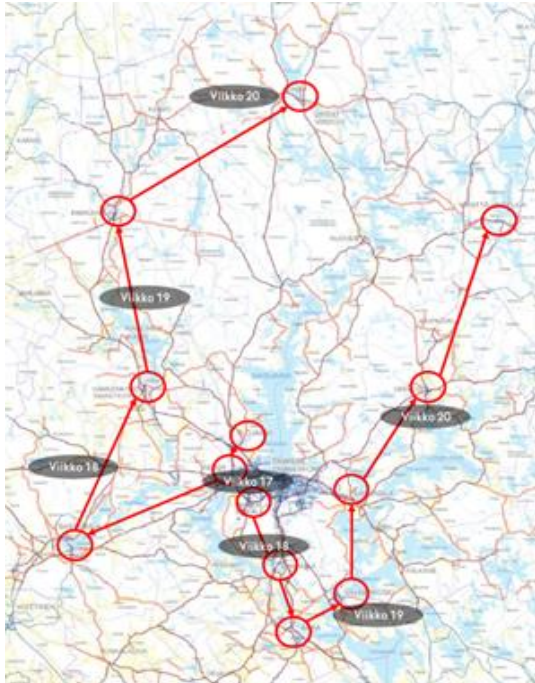
Projektin tuottamaa perusaineistoa täydennettiin Postin Katudata-palvelun aineistolla sekä lisäksi yhdellä kameralla, joka sijoitettiin urakoitsijan ajoneuvoon. Palvelun lähtökohtana onkin, että useiden datalähteiden hyödyntäminen mahdollistaa kustannustehokkaan verkon kattavuuden asiakkaan tarpeiden mukaan. Tällä mallilla pystytään suunnittelemaan priorisointia kuvaukselle, jossa korkeamman ylläpitoluokan tiet voidaan kattaa useammin ja toisaalta kunnossapitäjän omat ajot voidaan kohdistaa erikseen valitulle alueelle, josta tietoa tarvitaan erikseen kohdennettuna. Yksi hyvä tiedonkeruuprosessi tilaajan organisaation näkökulmasta olisi selkeästi hoitourakoinnin aluevastaavien valvonta-ajot.

Projektin aikana kuvatut määrät:

- Yhteensä noin 72 000 kilometriä
- Ajallisesti noin 1410 tuntia

Projektin vaihe 1. Raakatiedon keräys ja lähtötilanteen kartoitus – kevät 2019

Projektin ensimmäisessä vaiheessa keväällä 2019 oli tarkoitus suorittaa kerta-kartoitus tieverkosta. Tietoa kerättiin Postin perusjakelun ajoneuvoista Pirkanmaan ELY-keskuksen alueella kulkevilta jakelureiteiltä. Tallennetun tiedon perusteella laskettuna yhden ajon pituus Pirkanmaan alueella oli keskimäärin 118 kilometriä. Tiedonkeruu toteutettiin 8:lla ajoneuvolla 6:n viikon aikana, alkaen 22.4.2019. Videomateriaali kuvattiin kevään aikana yhteensä 14 500 km. Tiedon keräämisen käytettiin yhteensä 380 tuntia. Tämä tarkoittaa viikkotasolla keskimäärin 2 416 km ja ajallisesti 63 tuntia. Kuvassa 7 on esitetty Postin ehdotuksen perustella toteutettu kameroiden siirtämisaikataulu, jolla varmistettiin hyvä kattavuus kuvaukseen.



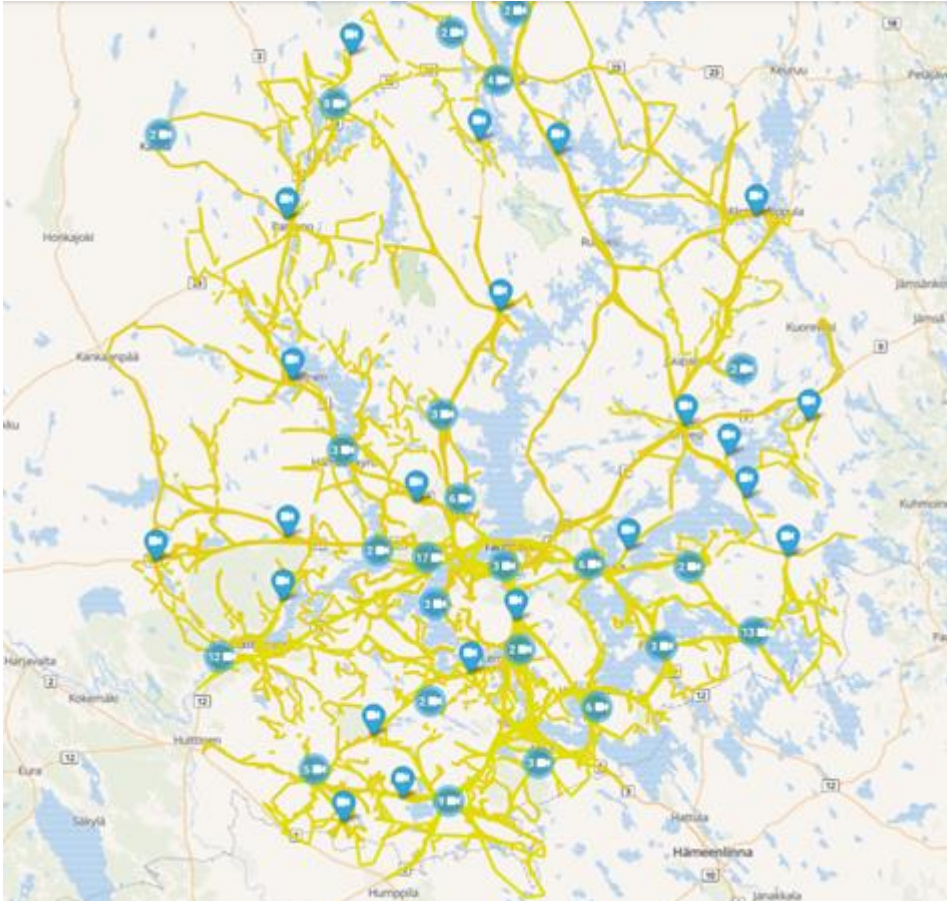
Kuva 7. Postin suunnitelma siirtää kameroita alueen kattamiseksi.

Kuvassa 8 on erikseen havainnollistettu Postin kaikkien Pirkanmaan alueella kulkevien perusjakelun ajoneuvojen kattavuus. Kuvattavat reitit valittiin niin, että sovittuna aikana saatiin mahdollisimman iso kattavuus kuvaukseen. Karttapohjalla on Pirkanmaan tieverkko kunnossapitoluokittain, jonka päälle on visualisoitu mustalla värillä kohdat, joita Posti ei kattanut perusjakelun osalta.



Kuva 8. Postin perusjakelun reittien kattavuus Pirkanmaalla.

Vastaavasti kuvassa 9 on esitetty kokeilussa toteutunut Pirkanmaan tieverkon kuvaus. Postin perusjakelun reiteillä saadaan katettua erittäin hyvin tieverkkoa kaikilta päällysteiden ylläpitoluokilta. Tämä mahdollistettiin 8 kameran tiuhalla siirtämisellä toimipaikasta toiseen sekä kuivan kesän tuomilla kuvauspäivien riittävyydellä. Sadepäivät olisivat tarkoittaneet kuvauksen venymistä, jolloin se olisi sovitun ajan puitteissa tarkoittanut toki kattavuuden pienentymistä. Reittien hyvä kattavuus kaikilta ylläpitoluokilta tarkoitti, että pystyimme kuvaamaan sekä hyvä- että huonompikuntoisia teitä sillä oletuksella, että ylläpitoluokat korreloivat yleisesti tien kuntotason.



Kuva 9. Postin keräämän video-materiaalin kattavuus keväällä 2019.

Projektin vaihe 2. Jatkuvan tiedonkeruun ja toistuvuuden simulointi – syksy 2019

Projektin seuraavassa vaiheessa tarkoitus oli kuvata yhtäjaksoisesti kahdeksan viikon ajan samoja valittuja tieosuuksia. Tätä varten valittiin kahdeksan Postin ajoneuvoa, joilla saatiin halutut tieosuudet mukaan inventoinnin piiriin.

Projektin 2. vaiheen aikana materiaalia kuvattiin yhteensä 57 600 km ja 1 030 tuntia. Viikkotasolla tämä tarkoitti keskimäärin 7 200 km ja 130 tuntia. Postin ajoneuvot jakautuivat Postilla sisäisesti kahden organisaation kesken ns. logistiikka toimintojen kuljetukselle ja päivittäisjakelusta vastaavalle perusjakelulle. Valituilta reiteiltä kerättiin tietoa Postin normaalin ajo-ohjelman mukaan 8 viikon ajan käyttäen ainoastaan näitä valittuja ajoneuvoja. Postin ajoneuvojen lisäksi varustettiin yksi Asfalttikallion ajoneuvo kameralla. Reittivalinnoissa

6 Tulokset

6.1 Käytössä olleen tekniikan yleiset rajoitteet

Kokeilussa käytetyn järjestelmän nykytilassa konenäkö-tunnistusten tallentamisessa käytetään 10 metrin resoluutiota. Jokaiselle 10 metrin tieosuudelle tallennetaan vaurion suhteellinen leveys verrattuna päällysteen leveyteen. Jatkokehitys kappaleessa on kuvattu menetelmä, joka voisi mahdollistaa reikien lukumäärän määrittämisen kappalemääräisenä.

Vauriotunnistus on sitä tarkempi, mitä lähempänä kameraa vaurio sijaitsee. Esimerkiksi ajetun kaistan vauriot tunnistuvat tästä syystä tarkemmin verrattuna viereiseen ajokaistaan. Sama rajoitus pätee myös ihmisen silmään varsinkin tapauksessa, jossa vaurioiden tunnistaminen tehdään liikkuvasta ajoneuvosta.

6.2 Konenäön suorituskyky

Konenäön suorituskykyä arvioitiin vertaamalla konenäön tuottamia tuloksia kolmen eri ihmisen tekemiin merkintöihin. Lisäksi ihmisten merkintöjä verrattiin myös keskenään, jotta saatiin selville, minkä verran eri ihmisten tekemät merkinnät poikkeavat toisistaan. Ihmisten tekemät vauriomerkinnot kohdistuvat aina yksittäiseen kuvaan videossa, kun taas konenäön tuottamat tulokset kertovat vaurioista 10 m osuuksilla. Lisäksi sama vaurio on yleensä näkyvissä useammassa perättäisessä kuvassa. Tästä syystä voi käydä esimerkiksi niin, että ihmisen merkitsemä vaurio on kohdassa 169 m ja konenäkö sijoittaa vaurion seuraavalle eli 170–180 m osuudelle. Tästä syystä vauriotunnistukset hyväksytään vastaaviksi, jos ne sijaitsevat joko samalla 10 m osuudella tai jommalla kummalla viereisistä osuuksista. Samasta syystä kahden ihmisen tekemiä havaintoja vertailtaessa keskenään, sallitaan vastaava poikkeama sijainnissa.

Vertailut vauriotyypit olivat kohtalainen reikä, vakava reikä ja vakava halkeama. Vertailun tulokset on esitetty seuraavassa taulukossa. Vertailussa ensin mainitun tunnistusta on verrattu toisena mainitun tunnistuksiin. Eri sarakkeista selviää osuudet kustakin tunnistuksesta. Taulukossa AI tarkoittaa konenäköä ja 1, 2 ja 3 kolmea eri henkilöä, jotka ovat annotoinnit suorittaneet. Reikien osalta kaikissa tapauksissa on ilmoitettu myös, miten suuri osa tunnistuksista osui väärään vakavuusluokkaan. Halkeamien osalta kohtalaisia halkeamia ei ollut saatavilla ihmisten osalta, mutta konenäköä vastaan verratessa myös virheellisen vakavuuden tunnistusten osuus kerrotaan erikseen.

Taulukko 3. Konenäkövertailun tulokset.

Kohtalaiset reiät			
	Vastaava tunnistus	Tunnistettu vakavaksi reiäksi	Ei reikää tunnistettu
1: 237 havaintoa			
1 vs 2	0,97	0,03	0,00
1 vs 3	0,97	0,01	0,02
1 vs AI	0,93	0,01	0,06
2: 298 havaintoa			
2 vs 1	0,91	0,02	0,07
2 vs 3	0,96	0,01	0,04
2 vs AI	0,87	0,01	0,12
3: 382 havaintoa			
3 vs 1	0,88	0,04	0,08
3 vs 2	0,94	0,02	0,04
3 vs AI	0,87	0,01	0,12
AI: 188 havaintoa			
AI vs 1	0,88	0,08	0,04
AI vs 2	0,90	0,07	0,03
AI vs 3	0,94	0,03	0,03
Vakavat reiät			
	Vastaava tunnistus	Tunnistettu kohtalaiseksi reiäksi	Ei reikää tunnistettu
1: 117 havaintoa			
1 vs 2	0,88	0,11	0,01
1 vs 3	0,65	0,35	0,00
1 vs AI	0,47	0,51	0,02
2: 130 havaintoa			
2 vs 1	0,83	0,15	0,02
2 vs 3	0,54	0,45	0,02
2 vs AI	0,45	0,52	0,02
3: 65 havaintoa			
3 vs 1	0,94	0,06	0,00
3 vs 2	0,86	0,11	0,03
3 vs AI	0,48	0,49	0,03
AI: 45 havaintoa			
AI vs 1	0,73	0,24	0,02
AI vs 2	0,87	0,07	0,07
AI vs 3	0,64	0,33	0,02

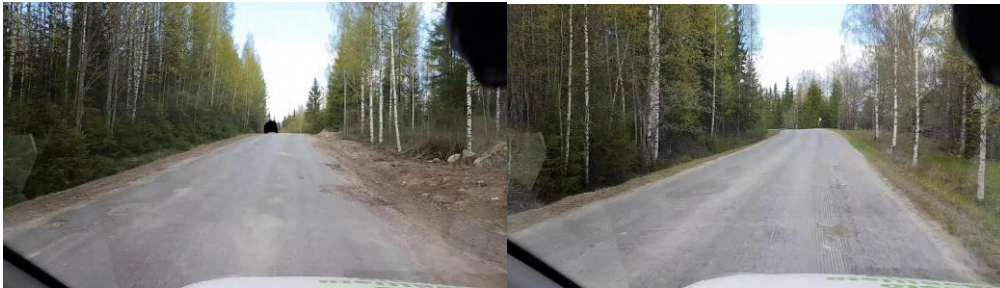
Vakavat halkeamat			
1: 47 havaintoa	Vastaava tunnistus	Tunnistettu kohtalaiseksi halkeamaksi (Tätä luokkaa ei ihmiset inventoinut ollenkaan)	AI kohtalainen halkeama/ Ihminen vakava
1 vs 2	0,45		0,55
1 vs 3	0,38		0,62
1 vs AI	0,43	0,53	0,04
2: 43 havaintoa			
2 vs 1	0,49		0,51
2 vs 3	0,28		0,72
2 vs AI	0,40	0,58	0,02
3: 29 havaintoa			
3 vs 1	0,62		0,38
3 vs 2	0,45		0,55
3 vs AI	0,38	0,55	0,07
AI: 40 havaintoa			
AI vs 1	0,58		0,43
AI vs 2	0,48		0,53
AI vs 3	0,30		0,70

Jo pelkästään eri vauriohavaintojen määriä katsomalla huomataan, että ihmistenkin välillä määritelmässä on selkeitä eroja. Kohtalaisia reikiä henkilö 1 havaitsi 237, 2 henkilö 298, 3 henkilö 382 ja konenäkö 188 kappaletta. Vakavia reikiä taas henkilö 1 havaitsi 117, 2 henkilö 130, 3 henkilö 65 ja konenäkö 45 kappaletta. Konenäön muita pienempää tunnistusten määrää selittää ainakin osittain se, että kultakin 10 m osuudelta saadaan vain yksi havainto vaurioluokkaa kohti, vaikka reikiä olisi samalla alueella enemmänkin. Sen sijaan henkilön 3 havainnot painottuvat muita selkeästi enemmän kohtalaiseihin reikiin. Vakavien halkeamien osalta havaintojen määrä vaihteli 29 ja 47 välillä.

Kohtalaisten reikien tunnistuksessa eri ihmisten tekemät havainnot olivat yleisesti hieman yhteneväisempiä kuin konenäön ja ihmisen välillä, mutta myös konenäön osalta tulokset olivat keskimäärin noin 90-prosenttisesti yhteneväisiä ihmisten havaintojen kanssa. Vakavissa rei'issä taas hajonta oli suurempaa. Yhteneväisimmät havainnot olivat henkilöillä 1 ja 2, joilla myös havaintojen määrä oli lähellä toisiaan. Henkilö 3 ja konenäkö taas useammin määrittivät näissä tapauksissa reiän vakavuuden kohtalaiseksi. Sen sijaan kokonaan tunnistamatta jääneitä vakavia reikiä oli hyvin vähän.

Vakavien halkeamien osalta havainnot poikkesivat kaikilla melko selkeästi toisistaan, erottelukyvystä ei voi sanoa mitään yksiselitteistä. Tämän luokituksen osalta oli selkeästi havaittavissa, että vakava halkeama on luonteeltaan hyvin subjektiivinen. Ihmiset tulkitsivat halkeaman vakavuudet eri tavalla. Ihmisten tekemiä vakava halkeama -havaintoja konenäön tuloksiin vertailtaessa saatavilla oli myös konenäön kohtalainen halkeama -tunnistukset, joten vakavien halkeamien osalta viimeisessä sarakkeessa ilmoitetaan ne tilanteet, joissa ihminen on tunnistanut vakavan halkeaman, mutta konenäön mukaan kyseessä on kohtalainen halkeama.

Seuraavissa kuvissa (kuvat 11, 12, 13, 14, 15 ja 16) on esimerkkejä tilanteista, joissa henkilö 1 ja konenäkö ovat tulkinneet vaurion eri tavalla.



Kuva 11. Henkilö 1: kohtalainen reikä. Konenäkö: ei reikä-tunnistusta (2 esimerkkiä)



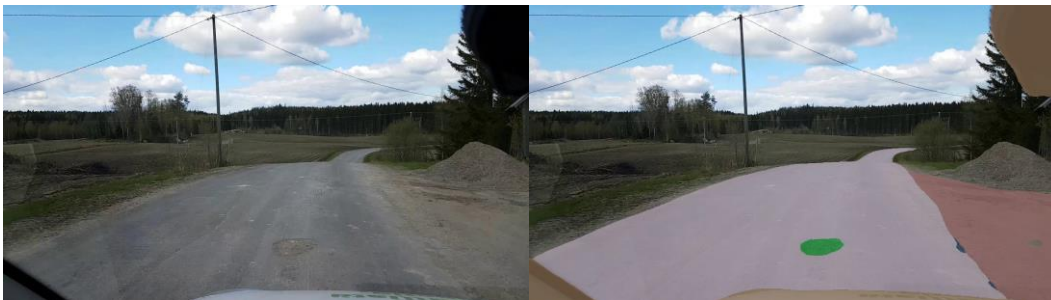
Kuva 12. Henkilö 1: vakava reikä. Konenäkö ei reikä-tunnistusta (2 esimerkkiä).



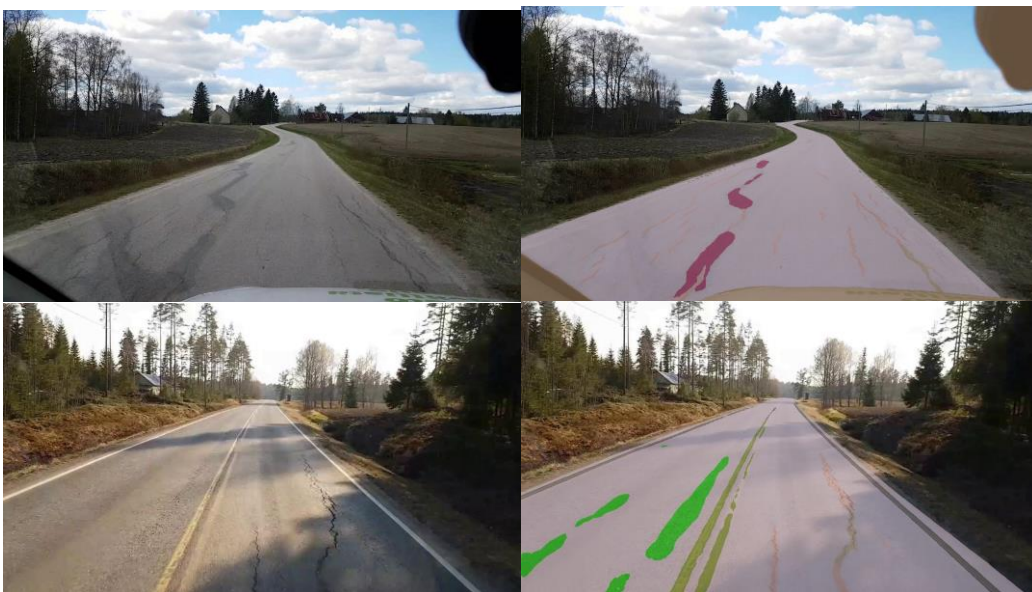
Kuva 13. Henkilö 1: vakava halkeama. Konenäkö: ei halkeamatunnistusta (2 esimerkkiä).



Kuva 14. Konenäkö: kohtalainen reikä. Henkilö 1: ei reikä tunnista (2 esimerkkiä, segmentointikuvassa vihreä väri).



Kuva 15. Konenäkö: vakava reikä. Henkilö 1: ei reikä tunnista (1 esimerkki, segmentointikuvassa vihreä väri).



Kuva 16. Konenäkö: vakava halkeama. Henkilö 1: ei halkeamatunnista (2 esimerkkiä, segmentointikuvassa ruskea väri).

Tulosten perusteella konenäön reikien ja halkeamien tunnistaminen on hyvällä tasolla ja vaihtelu tunnistustarkkuuksissa kohdistuu lähinnä vakava ja kohtalainen kategorioiden erotteluun. Vertailun perusteella voidaan tunnistaa, että konenäön ja ihmisen tekemien tunnistusten välinen ero oli vauriotyyppien osalta seuraava:

- Konenäöltä jäi vakavia reikiä havaitsematta keskimäärin 2,3 % verrattuna kolmen ihmisen tunnistuksiin vakavien reikien osalta.
- Konenäöltä jäi kohtalaisia reikiä tunnistamatta keskimäärin 10 % verrattuna kolmen ihmisen tunnistuskyvykkyyteen.
- Halkeamien osalta vertailu ja johtopäätösten tekeminen ei ollut tutkimuksessa mielekäästä, koska ihmistenkin tulokset poikkesivat niin paljon toisistaan.

Menetelmäkehityksessä tulisi jatkossa keskittyä vakavuusasteiden erottelukykyyneen, jotta tunnistus tukisi vaurioiden vakavuustiedon kautta paikkausurakan priorisointia. Arvioitaessa tuloksia on syytä ottaa huomioon, että vertailukohtana käytettiin havaintoja, jotka ihmiset tekivät toimistossa käyttöliittymän havaintotyökalulla eikä maastossa ajaessaan. Mikäli halutaan verrata ihmisen maastossa tapahtuvaa inventointia ja konenäköä toisiinsa, on tästä syytä tehdä lyhyt maastossa tapahtuva vertailu erillisenä tutkimuksena.

6.3 Tiedontuotannon vaatimukset

Ylläpitoluokittain määritettiin teille seuraavat inventoinnin kattavuusvaatimukset ja yhteenvetoraporttien syklit.

- Ylläpitoluokka 1: 4x/kuukausi
- Ylläpitoluokka 2: 2x/kuukausi (pois lukien talvi)
- Ylläpitoluokka 3: 1x/kuukausi (pois lukien talvi)

Syksyn aikana toteutunut kuvausmäärä vastaa tarkemmin todellista tuotantokäyttöä. Kahdeksan ajoneuvoa kuvasi arkipäivisin keskimäärin 130 tuntia tuottaen 7 200 km tievideota viikossa. Tämä tarkoittaa ajoneuvokohtaisesti 3 tuntia 15 min päivässä. Vuositasolla tämän materiaalin säilyttäminen tarkoittaisi noin 50 TB tallennuskapasiteettia. Kun mietitään tässä kuvattua toimintamallia jatkuvana palveluna, on hyvä tunnistaa, että käytännössä kaikkea kuvattua materiaalia tuskin tarvitsisi tallettaa, vaan toistuvien reittien osalta voidaan ylläpitoluokkien vaatimusten perusteella keventää päällekkäistä materiaalia. Tämä vähentäisi vuosittaista todellista tallennuskapasiteettia arviolta 60–80 %, mikä tekisi tiedon tallentamisesta kustannusten näkökulmasta käytännöllisemmän. Raportit ja seurantatilastot ovat mahdollista tallennustilan puolesta säilyttää koko sopimuskauden ajan.

Postin tiedontuotanto perustuu alueellisten reittien määrään ja näin täysin rinnastettavissa myös ajoneuvojen määrään. Postin kattavuus Pirkanmaan tieverkon osalta marraskuussa 2019 tehdyn analyysin osalta oli 3 300 km, kun koko tieverkko on laajuudeltaan noin 3 700 km. Tämä tarkoitti reittien määrän osalta toki yli 200 jakelureittiä.

Postin esitys perustuu parhaaseen kattavuuteen 50 reitin osalta. Ne on valittu ylläpitoluokkien mukaan niin, että Y1 luokan tiestö on prioriteetilla korkein ja Y3 matalin. Alla olevan taulukon mukaisesti Y3 luokka saadaan tehokkaimmin katettua Postin toimesta 38 ajoneuvolla, jolloin kattavuus tieverkosta olisi 491 km. Nämä reitit ajetaan Postin toimesta vähintään kerran viikossa. Samalla 38 reitillä katetaan myös Y2 ja Y3 teitä. Alla olevassa Taulukossa 4. on tarkemmat tiedot eri tieluokkien määristä, Postin koko kattavuuden sekä kattavuus 50 reitin osalta.

Taulukko 4. Postin 50 ajoneuvon jakelureittien kattavuus

	Pirkanmaan ELYn päälllystetyt tiet	Postin kattavuus	50 ajoneuvon kattavuus	Ajoneuvojen jakautuminen per tieluokka
Yhteensä (km)	3659	3305	2203	50
Y1	872	672	491	38
Y2	1221	1141	699	43
Y3	1566	1492	1013	50

Kuva-aineistosta tuotetun raportin säilytysaika on sopimuskohtainen. Mahdollisia tienkäyttäjien vahingonkorvaushakemuksia varten raportointi tulee säilyttää vähintään 3 vuotta. Urakoitsijan ja urakan valvojan täytyy pystyä pyydettäessä laatimaan tien kuntoa ja sen korjaus toimenpiteitä koskeva lausunto viimeisen kolmen vuoden ajalta. Kuva-aineistoa tulee säilyttää sopimuksen mukaisesti mutta vähimmäisaika voisi olla esimerkiksi 3 kuukautta jonka aikana tilaaja ja urakoitsija ovat työmaakokouksessa käsitelleet kuntotilan parametrit ja kuntotilassa tapahtuneet muutokset.

6.4 Segmenttikohtainen tietomalli

Muutoksen seuranta voi tehdä joko vaurio- tai verkkotasolla. Ensimmäinen edellyttää seurannassa olevien kohteiden yksilöimisen tunnistamistasolla, niin yksittäisen videon sisällä kuin eri ajokerroilla tuotettujen videoiden välillä. Tämä tekee ongelmasta todella haastavan reikien tapauksessa, kun reikiä voi todellisuudessa esiintyä jopa kymmenien senttimetrien läheisyydessä toisiinsa nähden. Mikäli reikiä esiintyy useita kappaleita esimerkiksi kymmenen metrin alueella, on realistista olettaa, ettei tällä hetkellä ole olemassa luotettavaa menetelmää reikien muutoksen seurantaan. Käytännössä tällaisessa tapauksessa ratkaisu supistuu eri ajanhetkillä esitettyjen pistehavaintojen analyysiin.

Ongelmaa voidaan yksinkertaistaa merkittävästi tekemällä analyysi verkkotasolla. Tällä tavoin yksittäisten reikähavaintojen sijaan, tarkastelun kohteena on ennalta määritetty tiesegmentti. Tiesegmentillä tarkoitetaan tietyn mittaista tieverkon osaa. (esimerkiksi tieosat voisivat jakautua 10m segmenteiksi). Tiesegmentit mahdollistavat edelleen metriikoiden rakentamisen verkon kunnan seurantaan. Tiegeometria voidaan jakaa tiesegmentteihin halutun resoluution mukaisesti esimerkiksi niin, että vauriotietoa tallennetaan 10 metrin tai

100 metrin tarkkuudella. Resoluution valintaan vaikuttavat monet käytännön tekijät, kuten mittausmenetelmän resoluutio (kuvien tiheys), tallennusmenetelmän skaalautuvuus (tietokanta) sekä GPS:n/Glonass/Galileon tarkkuus eri ajokertojen välillä. Resoluutiota pienentämällä ratkaisu lähestyy käytännössä instanssitason seurantaan ja resoluutiota suurentamalla instanssitason seurantaan liittyviä teknisiä haasteita pyritään lieventämään.

Segmenttikohtaisen tietomallin ehkä merkittävin ajuri on muutoksen seurannan helppous. Siinä vaiheessa, kun tieverkko on jaettu tasamittaisiin tiesegmentteihin, joita käytetään tiedon tallentamiseen, on muutoksen seuranta käytännössä vain vähennyslasku eri ajanhetkillä kerätyistä tiedoista. Koska tiesegmenttien reunat ovat sijainniltaan tarkkaan määritettyjä, menetelmässä on edelleen seuraava kohdistamisen haaste tiesegmentin reunojen läheisyydessä: Jo kymmenien senttimetrien heitto vaurion paikannustarkkuudessa silloin kun vaurio on todellisuudessa kahden tiesegmentin välissä, voi aiheuttaa kyseisen reiän liittämisen kahteen eri tiesegmenttiin eri ajokertojen välillä. Tämä kohdentamisen ongelma ei myöskään häviä tarkemmalla paikannustarkkuudella tai tiesegmentin resoluutiota kasvattamalla, vaikka jälkimmäinen vähentääkin segmenttien reunojen lukumäärää suhteessa kokonaisverkon kokoon.

Ikkunointimenetelmä voisi olla yksi ratkaisu tiesegmenttien kohdistamisongelmaan muutoksen seurannan yhteydessä. Sen sijaan, että tiesegmenttejä verrataan suoraan toisiinsa, tulisi ottaa huomioon myös naapurusto: eli järjestyksessä edellinen ja seuraava tiesegmentti. Oikean resoluution valinta ja ikkunointimenetelmä mahdollistavat yhdessä ratkaisun, jossa pystytään edelleen hyödyntämään kustannustehokasta kuluttajatason tiedonkeruulaitteistoa. Jokainen segmentti sisältää lisäksi tiedon ylläpitoluokasta, joka määrittää seuraavat kattavuusvaatimukset ja yhteenvetoraporttien julkaisusykliä.

Luotettavien yhteenvetoraporttien luomista varten tulee ottaa lisäksi huomioon seuraavat poikkeustapaukset.

- Kuvaamisen kattavuus tulee ylittää tiekohtaisesti tietty raja-arvo, jotta tie voidaan ottaa mukaan seurantaan. Muussa tapauksessa käytetään edellisen seurantajakson tulosta.
- Mikäli tie on niin täynnä vaurioita, ettei sen korjaaminen ole mahdollista, tulee se seurannan näkökulmasta erotella muusta tieverkosta, jotta tällaiset tiet eivät dominoi seurantametriikkaa.

7 Jatkokehitys

7.1 Hankintamallin kehittäminen

Kun kuntotilaa tai vaurioiden määrää kuvaava havaintotyökalu on käytettävissä, voidaan nykyisen yksikköhintaisen paikkausurakan sijaan päällysteiden paikkaaminen hankkia kokonaan tai osittain tavoite- tai kokonaishintaisessa palvelusopimuksessa. Tällöin tiestön kunto vaurioiden määrällä mitattuna on ensisijaisena toimivuusvaatimuksena. Tämä edellyttää, että kunto pystytään kuvaamaan riittävän tarkasti ja tarkoituksenmukaisesti. Koska pääasiallinen paikkaustoimenpide on päällysteen reikäpaikkaus, tulee urakan hankintamallia suunniteltaessa kiinnittää huomio nimenomaan päällysteen reikiintymisen ehkäisemiseen ja syntyneiden reikien tehokkaaseen paikkaamiseen ennen kuin vaurioista tulee liikenneturvallisuutta vaarantavia. Hankintamallin täytyy ohjata urakoitsijan toimintaa siten, että urakoitsijan kannattaa ehkäistä reikiintymistä ja paikata reikiä sulan kauden aikana hyvässä säässä. Mallin tulee myös kannustaa kehittämiseen ja tiestön tilan jatkuvan seurantaan, joka mahdollistaa entistä tehokkaamman toiminnan.

Ennen uuden hankintamallin kehittämistä ja käyttöönottoa tarvitaan kriteerejä, jolla arvioidaan hankintamallin toimivuutta ja kyvykkyyttä verrattuna vanhoihin yksikköhintaisiin malleihin. Kriteerejä voisivat olla esimerkiksi:

- kokonaishinta
- paikkaustyön jakauma eri vuodenaikoina
- käsin ja koneellisesti tehtävien paikkojen määrän jakauma
- Harja-palautteet ja vahingonkorvaushakemusten määrä
- saman vaurion toistuvan paikkaamisen tarkastelu.

7.2 Tietomallikehitys

Tässä työssä hahmoteltiin tietomalliin peruslogiikka ja perusteltiin sen hyödyllisyys. Tietomallin käytännön toteuttaminen ja soveltaminen raportointikäyttöön etenee tämän työn jälkeen osana Vaisala RoadAI kehitystyötä. Tietomallin soveltaminen ja todentaminen Pirkanmaan ELY-keskuksen paikkausurakan seurantaan jää jatkokehityskohteeksi.

7.3 Konenäön kyvykkyyden auditointi

Kokeilussa toteutetussa tutkimuksessa ihmisen ja konenäön tunnistus ja luokitte- luryky olivat lähellä toisiaan. Eikä teknologian toimivuutta voida sinällään kiistää. Kuitenkin on kokonaisuuden kannalta tärkeää, että konenäön laadun osoittaminen ja auditoinnin voidaan toteuttaa kilpailutilanteessa. Sen sijaan, että konenäköä käsitellään erillisenä menetelmänä, auditoinnin tulisi pohjautua sellaiseen menetelmään, että myös ihminen selviää siitä manuaalisesti. Tällöin abstraktiotaso nousisi ja auditointi keskittyisi lopputulosten vertailuun, eikä laadun osoitus prosessissa sitouduttaisi liikaa tietyn toimittajan tekniseen ratkaisuun. Ihmisen suorittama manuaaliratkaisu toimisi ikään kuin auditoinnin regulointimenetelmänä ja varmistuksena, jotta menetelmä pysyy riittävän

yksinkertaisena. Lisäksi on hyödyllistä kehittää prosesseja suuntaan, jossa mahdollistetaan uusi teknologia, mutta se ei ole välttämättömyys.

7.4 Työkalujen kehittäminen

Vaurioiden oikeellisuuden varmistaminen ja havaintotyökalu ovat oleellinen osa käyttöliittymää, mutta ei suinkaan ainoat käyttötapaukset paikkausurakassa. Nykytilanteen ja historian esittäminen kojelauta -näkyvässä on urakassa toimivien tahojen tärkein yhteenvedonäkymä. Työn aikana havaittiin lisäksi tarve, että käyttöliittymästä tulisi pystyä merkkamaan tehtyjä korjaustoimenpiteitä sekä mahdollisuus korjata virheellisiä konenäkötulintoja.

Kokeilun aikana urakoitsijalta saadun palautteen osalta keskeiseksi nousi myös havainto, että mobiiliapplikaatiota olisi hyödyllistä kehittää suuntaan, missä esimerkiksi kirjaukset paikkauksista voitaisiin syöttää maastokäynnin yhteydessä.

7.5 Reikä tunnistusten yksilöinti ja seuranta

Reikien yksilöinti videomateriaalista edellyttää reikä tunnistusten luotettavaa seuraamista (tracking) eri kuvien (frame) välillä. Haasteeksi muodostuu tunnistusten lukumäärä: Siinä missä esimerkiksi liikennemerkkit näkyvät jo kaukaa ja tunnistuksia kertyy lukuisista peräkkäisistä kuvista, syntyy reikien tapauksessa tunnistuksia usein vain 1–2 kuvasta aivan vaurion vierestä. Pääsyyinä on se, että reiät muodostuvat tienpinnan tasoon, kun liikennemerkkit on suunniteltu asennettavaksi 90 asteen kulmaan tienpinnan tasoon nähden, jotta ne nimenomaan näkyisivät mahdollisimman pitkälle tienkäyttäjälle.

Reikä tunnistusten yksilöinti ja segmenttikohtainen tietomalli eivät ole toisensa poissulkevia malleja. Instanssitason (yksilöllinen) seuranta lisäisi segmenttikohtaisen tietomallin tarkkuuta sekä tämän avulla segmenttiin pystyisi liittämään tiedon reikien lukumäärästä.

7.6 Integroituminen muihin järjestelmiin

Tällä hetkellä kokeilussa käytössä ollut järjestelmä tarjoaa tiedon viennin csv/excel tiedostoksi sekä käyttöliittymän tiedon oikeellisuuden varmistamiseksi ja tievideoiden katseluun. Jollain aikavälillä on kuitenkin ilmeistä, että tiedon lopullinen tallennuspaikka tulisi olla kansallisissa järjestelmissä, kuten esimerkiksi Harjassa.

8 Johtopäätökset ja yhteenveto

Uuden paikkausurakan hankintamallin kehittäminen edellyttää luotettavaa kuntotason tai vaurioiden mittaamenetelmää. Suunnitellussa hankintamallissa halutaan edistää uusien paikkaus- ja laadunosoitusteknologioiden kehittämistä ja käyttöönottoa. Tavoitteena on menettely, mikä kannustaa urakoitsijaa tehokkaaseen, laadukkaaseen ja oikea-aikaiseen paikkaustyöhön.

Uuteen hankintamalliin siirtyminen edellyttää, että tieverkon päällysteen kunto ja kunnan muutos tulee pystyä osoittamaan luotettavasti. Konenäkö tarjoaa tähän hyvän mahdollisuuden, kustannustehokkaana ja helposti jalkautettavana ratkaisuna. Tiedontuotantoprosessin näkökulmasta Postin ajoneuvoista tuotettu tieto soveltuu parhaiten ylläpitoluokan Y1 kattavuusvaatimusten täyttämiseen, kun tiedon tulee olla jatkuvasti päivittyvää ja palvelutasovaatimus on korkea. Ylläpitoluokkien Y2 ja Y3 kuntotaso ja kuntotason muutos kannattaa kuvata joko urakoitsijan tai jonkun muun palveluntarjoajan kalustoa käyttäen.

Suoritetussa kokeilussa haluttiin selvittää, voiko tekoälyä käyttää päällysteen kunnan jatkuvassa valvonnassa. Tulosten perusteella konenäön reikien ja halkeamien tunnistus on hyvällä tasolla ja kokeilussa käytössä ollut järjestelmä on jo nyt lisäarvoa tuova ajantasainen tievideoiden ja tunnistustarkkuutensa ansiosta, vaikka täydelliseen pistekohtaiseen seurantaan järjestelmä ei vielä sovellu.

Konenäön vertailu tehtiin kolmen ihmisen tunnistuksiin. Tilanteita, joissa konenäkö ei tunnistanut reikää ja ihminen reiän tunnisti, oli kolmen ihmisen tunnistusten keskiarvona vakavien reikien osalta vain 2,3 % ja kohtalaisten reikien osalta 10 %. Suurempaa vaihtelua tunnistustarkkuuksissa kohdistuu vaurioiden vakavuusasteen määrittämiseen. Se, onko tunnistettu vaurio vakava vai kohtalainen, on selvästi haastava määrittystehtävä ihmiselle ja sitä kautta asian opettaminen myöskään konenäölle ei ole suoraviivaista. Tulosten valossa ihmisten vertailu keskenään tai konenäköön tuotti yhtäläisesti vaihtelua vakavuusasteen määrittämisessä.

Laadukkaan menetelmän kehityksen varmistamiseksi olisi hyvä jatkaa teknologian käyttöä paikkausurakassa sekä luoda prosessit konenäön ja ihmistulkinnan välisen eron harmonisoimiseksi. Tietojen raportoinnin osalta kokeilussa on tunnistettu, että tiesegmentteihin perustuva tietomalli on tärkeä asia seurattaessa tien reikiintymistä. Tietomallin perustana olevat 5–10 metrin tiepätkät mahdollistavat tiedontuotannon kattavuuden ja päällysteen kunnan seurannan sekä yhteenvetoraportoinnin kokeilussa käytettyä raportointimenetelmää tarkemmin.

Kokeilun aikana nousi selkeästi esiin, että paikkausurakan laadunvalvontaa varten tuotettu videomateriaali soveltuu ja sitä kannattaa hyödyntää myös päällysteohjelmoinnissa. Ajantasainen kuvamateriaali on erittäin hyödyllistä päällystystöiden suunnittelussa ja se mahdollistaa lopullisten päällystysurakoiden priorisoinnin ja arvioinnin yksinkertaisella tavalla. Lisäksi on selkeä ja merkittävä taloudellinen lisäarvo kokonaisuuden kannalta, jos tievideot syntyvät olemassa olevan toiminnan yhteydessä.

Konenäkö toimii käytännön sovelluksen kannalta riittävän hyvin. Vaikka tulokset eivät ole ihmisvertailua vastaan täydellisiä, on perusteltua todeta, että tutkimustoiminnalla voidaan saavuttaa vain pientä kehitystä tulosten harmonisoinnin näkökulmasta. Jotta pyrkimystenmukaista kustannustehokkuutta voidaan lähteä aidosti tavoittelemaan, kannattaa tutkimus- ja kokeilutoiminnasta siirtyä operatiiviseen käyttöön. Optimaalista paikkausurakan hankintamallin ja käytännön prosessien kehittämisen kannalta olisi edetä askelittain kohti tavoitetilaa. Uudessa mallissa konenäkö toimii jatkuvasti, tietyin määräväleihin, tuotettavan tien kuntotiedon lähteenä ja ihmisen validointiprosessi kulkee rinnalla niin kauan, kuin koneoppivan järjestelmän nähdään tarvitsevan palautetta. Tällaisen mestari-kisälli-mallin avulla saavutetaan aidosti objektiivinen ja laadukas päällystetyn tieverkon kuntoa itsenäisesti valvova "sovellusrobotti".



ISSN 2490-0745
ISBN 978-952-317-762-8
www.vayla.fi