



Väylävirasto
Trafikledsverket

Väyläviraston julkaisu
41/2023

T-OMHA Liikennemerkkien kunnonhallinta

Projektiraportti 2



Markku Knuuti, Konsta Sirvio, Tiit Kaal, Tuukka Alavaikko

T-OMHA Liikennemerkkien kunnonhallinta

Projektiraportti 2

Väyläviraston julkaisu 41/2023

Kannen kuva: Väylävirasto

Verkkajulkaisu pdf (www.vayla.fi)

ISSN 2490-0745

ISBN 978-952-405-080-7

Dokumentin sisältö ei ole kaikilta osin saavutettava.

Väylävirasto
PL 33
00521 HELSINKI
puh. 0295 343 000

**Markku Knuuti, Konsta Sirvio, Tiit Kaal, Tuukka Alavaikko. T-OMHA Liikenne-
merkkien kunnonhallinta - Projektiraportti 2.** Väylävirasto Helsinki 2023. Väyläviras-
ton julkaisuja 41/2023. 52 sivua ja 1 liite. ISSN 2490-0745, ISBN 978-952-405-080-7.

Avainsanat: Liikennemerkit, kunnonhallinta, kuntoluokittelu, kunnon ennustaminen, kone-
näkömalli

Tiivistelmä

Väylävirasto hallinnoi tieverkollaan 615 752 liikennemerkkiä (2020). Liikenne-
merkkejä hallinnoidaan Velhossa, jossa on tallennettuna liikennemerkkien perus-
tiedot, ominaisuustiedot sekä kuntoluokka.

Ilman törmäyksestä tai ilkivallasta johtuvia vaurioita, voidaan liikennemerkin käyt-
töiksi arvioida tyypillisesti 7–15 vuotta. Liikennemerkeille on määritelty viisipor-
tainen kuntoluokitus, jonka perusteella liikennemerkkien kunnostus- ja uusimis-
tarve määritellään. Tätä kuntoluokista tarkasteltiin raportissa, ja uudessa ehdotuk-
sessa päädyttiin 3-portaiseen kuntoluokitteluun jossa tarkastellaan kolmea eri
muuttujaa: 1) pintakunto, 2) puhtaus ja 3) rakenteellinen kunto. Raportissa on
esitelty esimerkkikuvien kuntoluokkien arviointia.

Suomen maantieverkolla olevien liikennemerkkien tulevan rahoitustarpeen arvioi-
miseksi mallien lähtötietoina käytettiin yksittäisen liikennemerkin vaihtamisen kus-
tannusarvio sekä eri kuntoluokissa olevien merkkien lukumäärät. Ensimmäinen ar-
vio rahoitustarpeesta laskettiin *T-OMHA / Liikennemerkkien ja kaiteiden kunnon-
hallinta* raportissa 1. Näitä laskelmia on raportissa 2 tarkennettu ottamalla isompi
joukko dataa, tekemällä lisäinventointeja Hyvinkään urakka-alueella, sekä kokeile-
malla uusia ennustemalleja. Jatkomallinnuksien perustella toimivimmaksi ennuste-
malliksi näyttäisi valikoituvan satunnaismetsiin perustuva luokittelumalli. Liikenne-
merkkien kokonaiskorjausvelaksi arvioidaan 7,3 miljoonaa Euroa vuonna 2023.

Hyvinkään alueurakan datasta tehtiin myös vertailumittaukset eri inventoijien ja
urakoitsijan kesken. Tuloksista nähdään, että ihmissilmin tehtävissä inventoin-
neissa voi olla huomattaviakin eroja inventoijien kesken. Inventoineista saatiin
myös laskettua kuntoluokka asennuspäivämäärän mukaan, niiltä osin kuin se oli
saatavilla. Kuntoluokan aleneminen on johdonmukaista ensimmäiset 9 vuotta,
jonka jälkeen kunto heikkenee merkittävästi. Inventointien historiatiedoista seu-
lottiin otos luokittelumallin opetukseen. Mallia sovellettiin liikennemerkkien kunnon
ennustamiseen. Ennusteiden perusteella liikennemerkkien vaihtamiseen tulisi va-
rata 14 miljoonaa euroa vuoteen 2030 mennessä.

Raportissa on myös pohdittu eri kuvaustekniikoiden käyttökelpoisuutta liikenne-
merkkien inventoinnissa ja kuntoluokittelussa. Visiona on siirtyä automatisoituun
kuntoluokitteluun konenäön avulla.

Markku Knuuti, Konsta Sirvio, Tiit Kaal, Tuukka Alavaikko. T-OMHA Skickhantering av vägmärken och skyddsräcken - Projektrapport 2. Trafikledsverket. Helsingfors 2023. Trafikledsverkets publikationer 41/2023. 52 sidor och 1 bilaga. ISSN 2490-0745, ISBN 978-952-405-080-7.

Sammanfattning

Trafikledsverket ansvarar för 615 752 vägmärken i vägnätet (2020). Vägmärken hanteras i Velho som innehåller grundläggande information om vägmärken, deras egenskaper och konditionsklass.

Utan skador orsakade av påkörning eller vandalism kan livslängden för ett vägmärke normalt uppskattas till 7–15 år. För vägmärkena har det definierats fem konditionsklasser på grundval av vilka man fastställer behovet av att reparera och byta ut vägmärken. Denna konditionsklassificering granskades i rapporten och det nya förslaget resulterade i tre konditionsklasser som granskar tre olika variabler: 1) ytans skick, 2) renligheten och 3) konstruktionens skick. I rapporten presenteras bedömningen enligt konditionsklasserna med exempelbilder.

För att bedöma det framtida finansieringsbehovet av vägmärkena i landsvägnätet i Finland användes som utgångsuppgifter för modellerna kostnadskalkylen för att byta ett enskilt vägmärke och antalet vägmärken i olika konditionsklasser. Den första bedömningen av finansieringsbehovet gjordes i projektrapport 1, *T-OMHA/Skickhantering av vägmärken och skyddsräcken*. Dessa kalkyler har specificerats i rapport 2 genom att ta en större datamängd, göra ytterligare inventeringar i Hyvinge entreprenadområde och testa nya prognosmodeller. På grundval av ytterligare modellering torde den klassificeringsmodell som baserar sig på slumpmässiga skogar bli vald som den prognosmodell som fungerar bäst. Det eftersatta underhållet av vägmärken uppskattas uppgå till 7,3 miljoner euro 2023.

Av data om områdesentreprenaden i Hyvinge gjordes också jämförelsemätningar mellan olika inventerare och entreprenören. Resultaten visar att det kan finnas betydande skillnader mellan inventerare i de inventeringar som görs med människoögon. Från inventeringarna kunde man också beräkna konditionsklassen enligt installationsdatumet, om det var tillgängligt. Försämringen av konditionsklassen är konsekvent under de första nio åren, varefter konditionen försämras avsevärt. Ett sampel av inventeringarnas historiska data screenades för undervisning i klassificeringsmodellen. Modellen tillämpades för att förutspå vägmärkenas skick. På grundval av prognoserna bör det avsättas 14 miljoner euro för byte av vägmärken före 2030.

I rapporten diskuteras också användbarheten av olika avbildningstekniker i vägmärkesinventeringen och konditionsklassificeringen. Visionen är att gå över till automatiserad konditionsklassificering med maskinsyn.

Markku Knuuti, Konsta Sirvio, Tiit Kaal, Tuukka Alavaikko T-OMHA/Condition management of traffic signs - Project report 2. Finnish Transport Infrastructure Agency Helsinki 2023. Publications of the FTIA 52 pages and 1 appendix. ISSN 2490-0745, ISBN 978-952-405-080-7.

Abstract

The Finnish Transport Infrastructure Agency manages 615,752 traffic signs in its road network (2020). Traffic signs are managed in Velho, where the basic data, characteristic features and condition class of traffic signs are stored.

Without damage due to collision or vandalism, the service life of a traffic sign can typically be estimated at 7–15 years. A five-step condition classification has been defined for traffic signs, on the basis of which the need for renovation and renewal of traffic signs is determined. This condition classification was examined in the report, and the new proposal included a three-step condition classification examining three different variables: 1) surface condition, 2) cleanliness and 3) structural condition. The report presents the assessment of condition classes with example pictures.

In order to estimate the future financing needs of traffic signs in the Finnish road network, the models were based on an estimate of the cost of changing a single traffic sign and the number of signs in different condition categories. The first estimate of the financing need was calculated in the first report *T-OMHA/Condition management of road signs and railings*. These calculations have been further specified in the second report by examining a larger set of data, making additional inventories in the Hyvinkää contract area and testing new forecast models. On the basis of further modelling, a classification model based on random forests would seem to be the most effective forecast model. The total repair backlog of traffic signs is estimated at EUR 7.3 million in 2023.

Comparative measurements were also made of the Hyvinkää contract area data collected by different people performing the inventory and the contractor. The results show that, in visual inventories, there may be significant differences between people performing the inventory. From the inventories, it was also possible to calculate the condition class according to the installation date, to the extent it was available. The decrease in condition class is consistent for the first nine years, after which the condition deteriorates significantly. A sample of the historical data of the inventories was screened for the instruction of the classification model. The model was applied to forecasting the condition of traffic signs. According to the forecasts, EUR 14 million should be set aside for the replacement of traffic signs by 2030.

The report also discusses the use of different photographing techniques in traffic sign inventory and condition classification. The vision is to move to automated condition classification with the help of computer vision.

Esipuhe

Liikennemerkkien ja kaiteiden kunnonhallinnan kehitysprojekti tilattiin osana puitesopimusta 01HIJ, Tieomaisuuden hallinnan asiantuntijapalvelut. Tilaajana on Väylävirasto ja toimittajana AFRY Finland Oy ja Sirway Oy.

Tässä projektissa oli tarkoitus selvittää ja kehittää liikennemerkkien kuntoluokitusta ja rappeutumismalleja edelleen, raportin 1 työn jatkona. Raportissa tarkennettiin ennustemalleja laajemmalla lähtödatalla, ehdotettiin uusi 3-portainen kuntoluokitus, sekä tutkittiin eri kuvaustekniikoiden käyttökelpoisuutta liikennemerkkien inventoinneissa sekä jatkossa myös automatisoitua kuntoluokittelua konenäön avulla.

Projektin Tilaajan edustajana toimi Tuula Suuronen, ja asiantuntijoina projektissa olivat Markku Knuuti (AFRY-Finland), Konsta Sirvio (SirWay Oy), Tiit Kaal (SirWay Oy) ja Tuukka Alavaikko (SirWay).

Työtä ovat ohjanneet Väylävirastosta Tuula Suuronen, Susanna Suomela, Vesa Männistö, Jarkko Pirinen, Jani Lehenberg, Tuomas Österman sekä Uudenmaan ELY:stä Henri Aaltonen. Lisäksi työssä on avustanut Elina Granqvist Väylävirastosta.

Helsingissä joulukuussa 2023

Väylävirasto
Teiden kunnossapidon ohjausosasto

Sisältö

1	JOHDANTO.....	8
2	VERTAILUMITTAUKSET KUNTOINVENTOINNEISTA.....	10
2.1	Vertailukohteiden valinta.....	10
2.2	Kuntoinventoinnit ja vertailun tulokset.....	11
2.3	Ennustemallien tarkistus.....	14
3	UUSI KUNTOLUOKITUS.....	15
3.1	Pilottikohteen ja teiden valinta.....	15
3.2	Liikennemerkkien kuvaus.....	15
3.3	Liikennemerkkien kuntoluokitus.....	18
3.4	Kuntomuuttajat.....	18
3.5	Automaattinen kuntoluokitus tietokonenäöllä.....	21
3.6	Huomiot luokitustyöstä.....	22
3.7	Johtopäätökset ja suositukset.....	23
4	LIIKENNEMERKKIEN JATKOMALLINNUS.....	24
4.1	Mallinnusperiaatteet.....	24
4.2	Liikennemerkkien lähtötiedot.....	24
4.3	Uusien selittävien muuttujien lisääminen.....	29
4.4	Ennustusmallinnus.....	31
	4.4.1 Lähtötietojen tilastollinen tarkastelu.....	31
	4.4.2 Mallinnusmenetelmät.....	32
	4.4.3 Mallien suorituskyky.....	33
4.5	Rahoitustarveanalyysin päivitys.....	35
5	KUNTOINVENTOINTIEN KEHITTÄMINEN.....	40
5.1	Liikennemerkkien automaattinen tunnistus.....	40
5.2	Havaitut puutteet inventointitiedoissa.....	44
5.3	Havaitut laatuongelmat inventointitiedoissa.....	45
5.4	Havaitut ongelmat kuva-aineistossa.....	45
5.5	Kuvausten mahdolliset toteutustavat.....	47
	5.5.1 Videokuvaus.....	47
	5.5.2 Valokuvaus.....	48
	5.5.3 360° -kuvaus.....	48
	5.5.4 Suositeltu kuvaustapa ja alustavat kuvausspektit.....	48
	5.5.5 Yhteenveto.....	49
6	JOHTOPÄÄTÖKSET.....	50
6.1	Jatkotoimenpiteet.....	51
	LÄHDELUETTELO.....	52
	LIITE	
Liite 1	Vaihdettavat liikennemerkit 2023-2026 urakka-alueittain	

1 Johdanto

Maanteiden kunnossapitoon kuuluvat päällystettyjen teiden, kävely- ja pyöräteiden, sorateiden, siltojen, tieympäristön sekä maanteiden varsilla olevien liikenne-merkkien, laitteiden ja rakenteiden hoito ja ylläpito. Kunnossapidon tarkoituksena on kesä- ja talvihoidolla taata tieverkon turvallisuus ja päivittäinen liikennöinti.

Suomessa on yhteensä 79 maanteiden hoitourakkaa. Urakoitsijan Tehtäviin kuuluvat myös varusteiden ja laitteiden kuten liikennemerkkien kunnossapito. Hoitotöiden valvonnasta vastaavat ELY-keskukset.

Liikennemerkit ovat kuitenkin vain pieni osa Väyläviraston hallinnoimaa omaisuusjoukkoa. Sen rooli ylläpitotoimien ohjelmoinnissa ja budjetoinnissa on jäädä prioriteetiltaan pienemmäksi kuin moni muu omaisuserä. Liikennemerkkien kuntotiedot eivät kaikilta osin ole ajantasaista ja kattavaa. Tämä johtuu osittain harvasta kuntoinventointikierrosta ja toisaalta urakka-alueiden eroavaisuuksista käytännön työssä.

Liikennemerkkien tiedontuotanto Tieräkisteriin tapahtuu kolmen keskenään erilaisen toimintamallin kautta: 1) erilliset inventoinnit, 2) maanteiden hoidon urakat ja 3) investointihankkeet.

Liikennemerkkien kunnon ennustaminen ja tulevan rahoitustarpeen estimointi on monimutkainen yhtälö, jota tässä raportissa on pyritty mallintamaan olemassa olevan datan puitteissa. Normaalialue kulumista liikennemerkeille ja opasteille aiheuttaa muun muassa:

- vesi- ja lumisateet,
- lumiauran lennättämä lumi ja jää,
- tuulen ja liikenteen aiheuttama pölyäminen,
- puhdistustyöt
- auringon UV-säteily

Mallinnuksessa testataan eri tekijöiden tilastollinen merkitsevyys ja testataan regressio- ja luokittelumalleja. Mallin opetetaan opetusdatalla, josta on pyritty seulomaan laadun puolesta riittävän hyvä otos.

Liikennemerkkien kuntoinventoi tehdään vielä nykyisin visuaalisena 5-portaisena kuntoluokka tarkasteluna, urakoitsijan toimesta. Raportissa pohditaan konenäkömallin käyttöä automaattisena kuntoluokan tunnistusmenetelmänä. Sekä ehdotetaan yksinkertaisempaa, 3-portaiseen luokitteluun siirtymistä.

Väylävirasto hallinnoi yli 615 000 liikennemerkkiä tieverkollaan. Tieliikennelaki (729/2018) velvoittaa toimittamaan tietoja liikenteenohjauslaitteista, kuten liikennemerkeistä, Väylän Digiroad-järjestelmään. Tämä velvoite koskee myös Väylää ja ELY-keskuksia valtion omistamien teiden ylläpitäjinä. Tämä tieto ei kuitenkaan sisällä kuntotietoa.

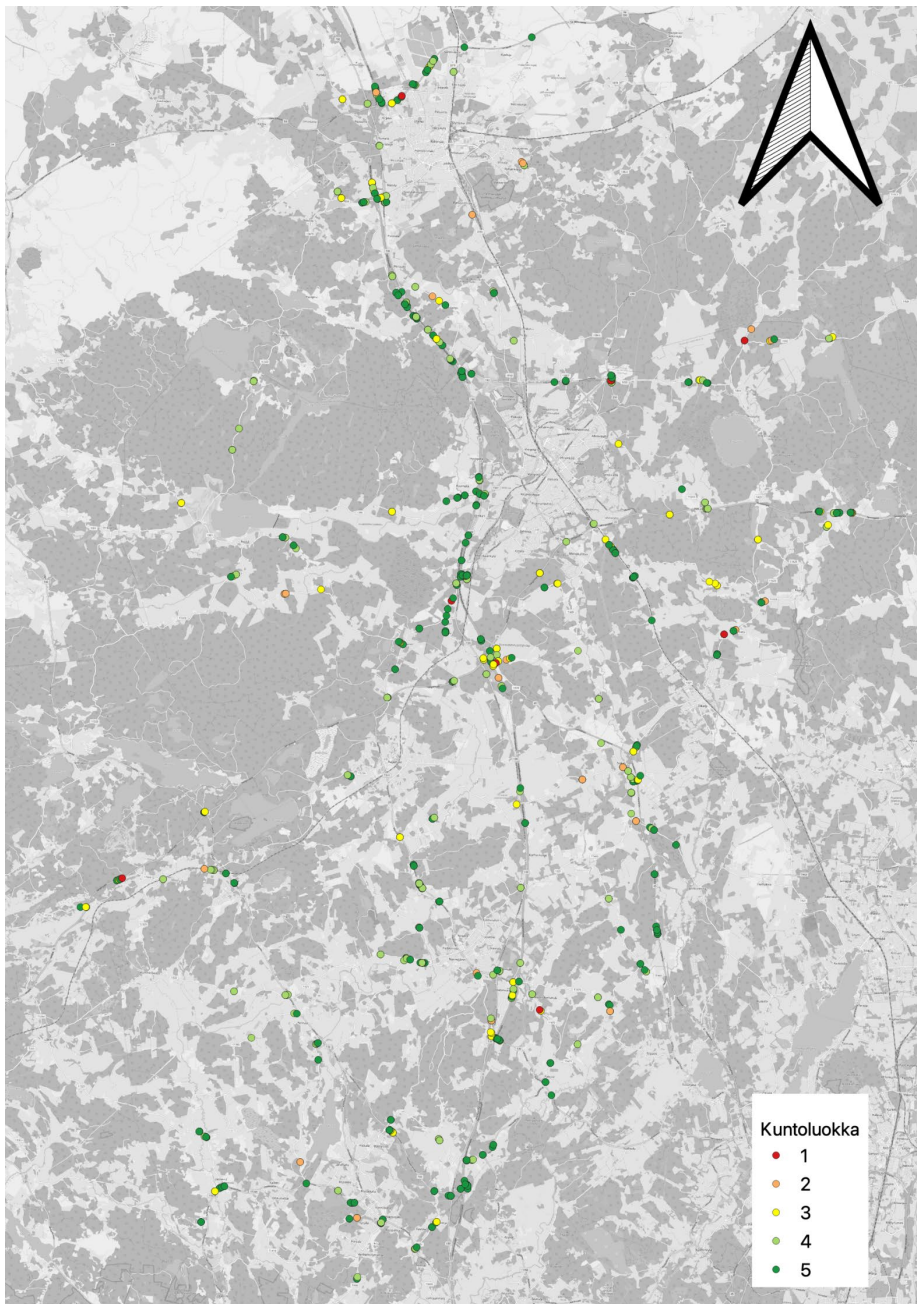
Kesäkuussa 2020 voimaan astunut uusi tieliikennelaki näkyy tieympäristössä päivittyvinä liikennemerkeinä ja tiemerkinä. Tuhansien liikennemerkkien vaihtotyö on käynnissä ja jatkuu pitkään lain sallimien siirtymäaikojen puitteissa. Kielto-merkkien ja pyöräilyn uusien merkkien asennuksessa ollaan jo loppusuoralla.

Väyläviraston omistamien liikennemerkkien tietopohjaa omaisuudenhallinnan näkökulmasta on viimeksi selvitty raportissa *Liikennemerkkiselvitys*, Väyläviraston sisäinen selvitys 01/2021.

2 Vertailumittaukset kuntoinventoinneista

2.1 Vertailukohteiden valinta

Vertailu-inventointien kohteeksi valittiin Hyvinkään urakka-alue, josta poimittiin eri kuntoluokissa olevia liikennemerkkejä noin 700 kpl (kuva 1). Samalla urakka-alueella tehtiin vuonna 2022 liikennemerkkien kuntoinventointi urakoitsijan toimesta ja tulokset olivat valmiina lokakuussa 2022.



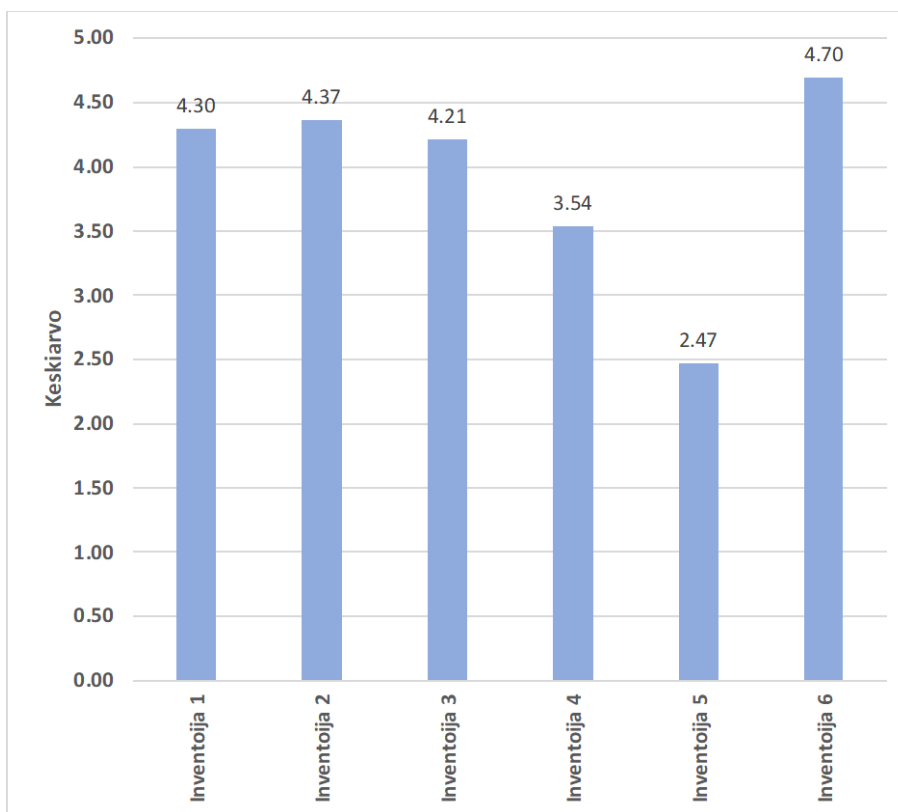
Kuva 1. Vertailuinventoinnin liikennemerkkien sijainti.

Osasta liikennemerkeistä on tiedossa myös asennusvuosi, joka parantaa käsitystä siitä missä ajassa liikennemerkin kunto siirtyy luokasta erittäin hyvä, luokkaan hyvä. Asennusvuosi on merkittynä liikennemerkin taakse tunnistetarralla.

2.2 Kuntoinventoinnit ja vertailun tulokset

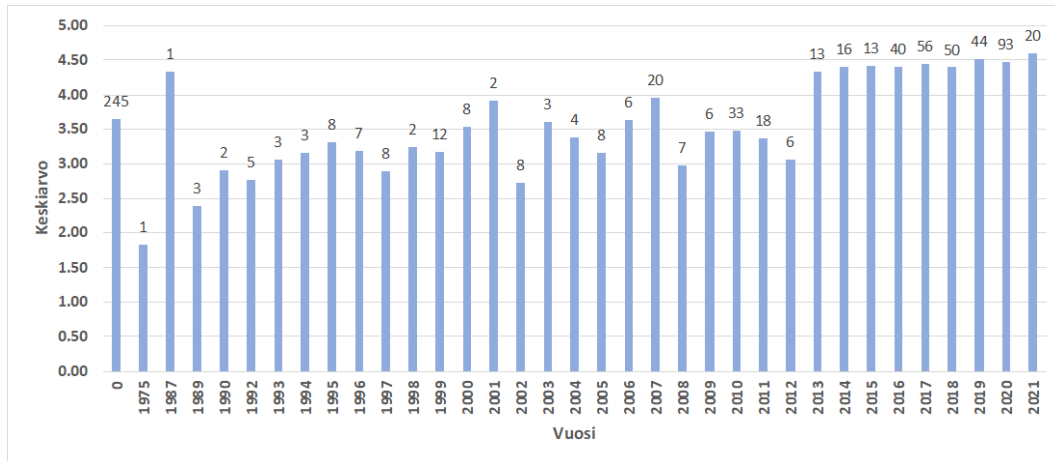
Videokuvamateriaalin käyttöä suunniteltiin kuntoinventointivertailuun, mutta kuvan laatu ei vastannut tarvittavaa tarkkuutta inventoinnin näkökulmasta, joten vertailu tehtiin maastosta kerätyistä kuvista. Kuvat kerättiin Hyvinkään urakka-alueelta, josta tehtiin vuonna 2022 inventointi myös urakoitsijan toimesta. Kuntoinventointi ja siitä tehtävä vertailuanalyysi tehtiin maastossa otetuista liikennemerkkikuvista 6 projektihenkilön tekemänä.

Kuvassa 2 on esitetty eri henkilöiden tekemien kuntoinventointien keskiarvot, joista huomataan, että ihmissilmin tehtävien inventointien välillä on huomattavaa eroa. Mukana oli 774 liikennemerkkiä. Keskimäärin huonoimpikuntoisiksi ja paraskuntoisiksi arvioineiden inventoijien välisten tulosten ero on yli 1 kuntoluokkaa.



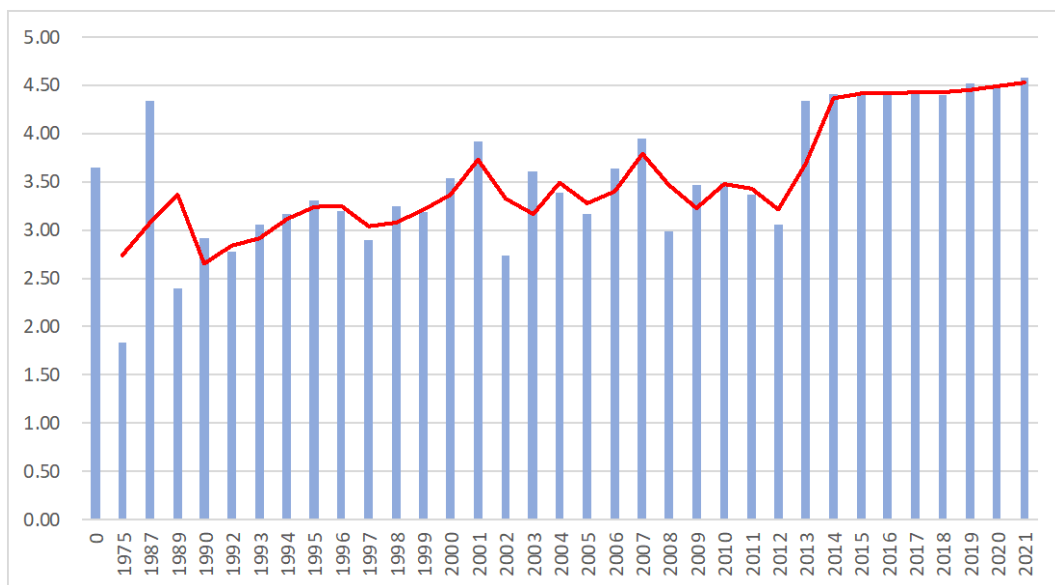
Kuva 2. Inventoitujen liikennemerkkien kuntoluokkien keskiarvo eri inventoijilla.

Kuvassa 3 on puolestaan esitetty liikennemerkkien inventoidun kuntoluokituksen keskiarvo merkkien eri asennusvuosien mukaan. Asennusvuosi 0 tarkoittaa sitä, että tietoa ei ollut saatavilla liikennemerkkiin mahdollisesti kiinnitetystä tarrasta tai merkinnästä. Liikennemerkkejä ei vanhimmista vuosista ollut määrällisesti montaa, esimerkiksi 1987 löytyi vain yksi merkki ja tämän johdosta kuvaaja keskiarvo kyseiseltä vuodelta on niin korkea.



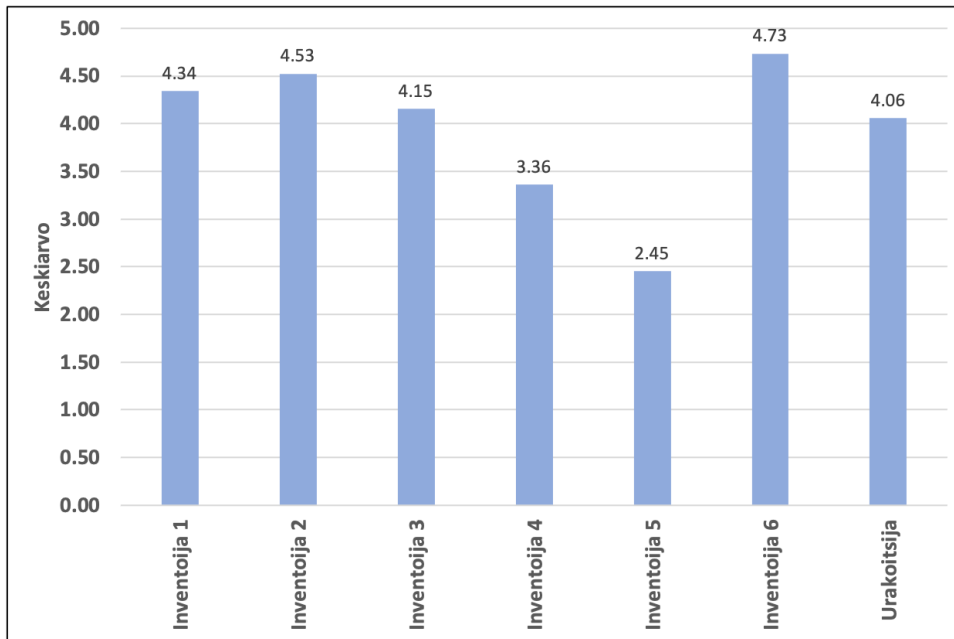
Kuva 3. Inventoitujen liikennemerkkien kuntoluokkien keskiarvot asennusvuoden mukaan.

Kahden vuoden liukuva keskiarvo kuvassa 4 näyttää hieman loogisemmin, miten kuntoarvo kehittyy uudemmissa liikennemerkeissä vertailuinventoinnin pohjalta. Kuvista huomataan, että liikennemerkkien keskimääräinen kunto heikkenee merkittävästi 9 vuoden jälkeen. Tuloksista voidaan myös havaita myös sen vaikutus, että vuoden 2013 jälkeen ei ole asennettu vanerisia liikennemerkkejä, vaan pelkästään alumiinisia.

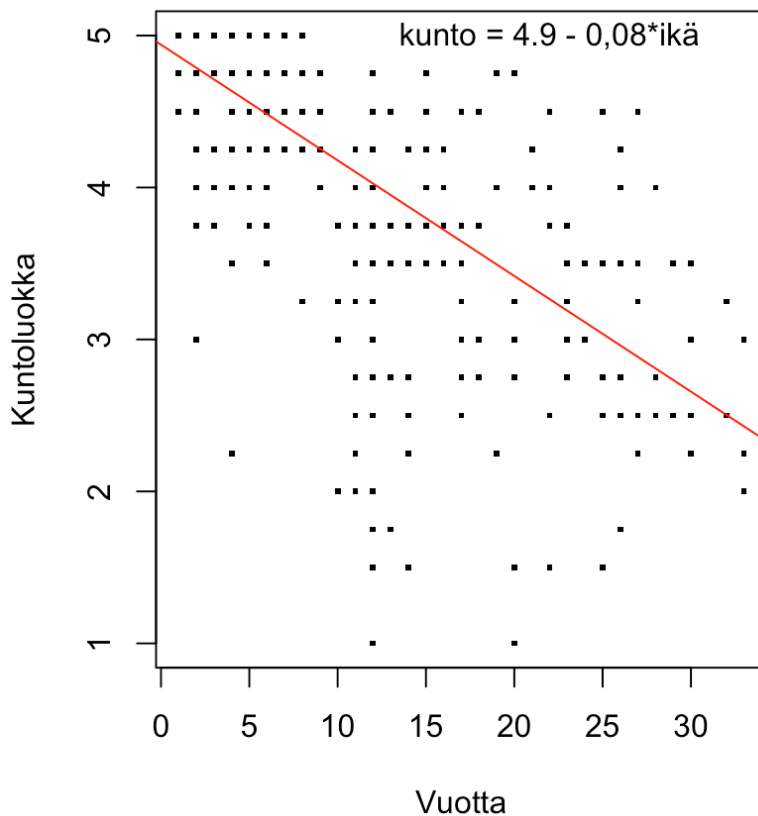


Kuva 4. Inventoitujen liikennemerkkien liukuva keskiarvo.

Urakoitsijan tekemistä tiedoista etsittiin ne liikennemerkit, jotka vastasivat projektiryhmän tekemiä inventointeja. Koska liikennemerkeillä ei ole yksilöivää tunnusta, tunnistamiseen käytettiin tieosoitetta sekä liikennemerkin asetusnumeroa. Kaiken kaikkiaan saatiin 97 liikennemerkin otos ja näiden liikennemerkkien kuntojen keskiarvo eri inventoijien osalta on esitetty kuvassa 5. Kuvassa 6 on esitetty yksinkertainen lineaarinen regressio liikennemerkin kunnon ja iän riippuvuudesta.



Kuva 5. Vertailuinventointi.



Kuva 6. Inventointiotoksen kunnan riippuvuus merkin iästä.

Inventointiotoksesta arvioitiin iän vaikutus kuntoluokitukseen lineaarisella regressiolla käyttäen 4 inventoijan tuloksia. Tulokset, joiden keskiarvo oli paras sekä huonoin poistettiin otoksesta. Lisäksi poistettiin ne liikennemerkkit, joita oli vain yksi kyseiseltä valmistusvuodelta. Tällöin saatiin Kaavan 1 mukainen lineaarinen riippuvuus.

$Kunto = 4.9399 - 0.0761 \times Ikä$	(1)
--------------------------------------	-----

Liikennemerkin iän regressiokertoimen 99-prosentin luottamusväli on [-0,08482; -0,06739]. Vakiotermin 99-prosentin luottamusväli on [4,837; 5], kun kuntoluokan yläraja on 5.

2.3 Ennustemallien tarkistus

Ennustemalleja tarkennetaan hyödyntämällä isompaa liikennemerkkiotosta perustuen kaikkeen saatavilla olevaan liikennemerkkidataan, josta on kuntoluokitustieto vähintään kahdelta vuodelta. Oletuksena on, että kaikki inventointitiedot eivät ole luotettavia, minkä vuoksi sopivan otoksen valintaan käytetään myös maastossa, tämän projektin aikana tehtyjä inventointitietoja. Sopivalla otoksella opetetaan ennustemalli, jota sovelletaan Suomen kaikkiin liikennemerkkeihin, jotta saadaan niiden kuntoarvio vuoteen 2030.

3 Uusi kuntoluokitus

Kuntoluokitukseen on perinteisesti viisiportaista (1–5) asteikkoa. Samanlainen on käytössä pitkälti myös muissa tieomaisuuslajeissa, kulkien erittäin huonosta erittäin hyvään. Usein samankaltaista kuntoluokitusta käytetään myös maailmalla lähes kaikissa omaisuuslajeissa. Vaikka tämän käytölle on monta pätevää syytä, on se monella tapaa liian monimutkainen varsinkin tarkasteltaessa liikennemerkkien kaltaisia omaisuuslajeja, joiden kunto toistaiseksi inventoidaan ihmissilmin.

Liikennemerkkien kuntoon vaikuttaa moni eri asia ja eri organisaatiot käyttävät hieman erilaisia variaatioita tulkitessaan merkkien kuntoa. Likaisuus on esimerkiksi muuttuja, joka ei välttämättä ole suoraan merkin kuntoon vaikuttava tekijä. Kuitenkin, jos merkki on pitkään likainen se todennäköisesti vaikuttaa myös liikennemerkin kuntoon. Pahasti likainen merkki voi myös olla vakava uhka liikenneturvallisudelle ja on jo itsessään tämän takia tärkeä tieto.

3.1 Pilottikohteen ja teiden valinta

Pilottikohteen valinta tapahtui selvittämällä urakka-alue, jossa tehdään tänä vuonna urakoitsijan toimesta liikennemerkkien kuvaus, jotta myös vertailuinventointi on mahdollinen kerättyjen kuvien avulla. Kohteeksi valikoitui Hyvinkään urakka-alue, sen suhteellisen lyhyen etäisyyden Helsingistä, vuoksi.

Tiet kohteesta valikoitiin niin, että reitti on mahdollisimman sujuva ilman pitkiä siirtoajoja kuvattavien teiden välillä. Pyrkimyksenä oli myös valikoida mahdollisimman paljon erilaisia teitä, jotta materiaalia saatiin monista erilaisista skenaarioista. Moottoriteillä ei pysähtyminen luonnollisesti ollut mahdollista, joten hyväksi käytettiin GoPro -mallista kameraa ajoneuvon katolle asennettuna.

3.2 Liikennemerkkien kuvaus

Liikennemerkkien kuvaus tehtiin käyttäen iPhone 13 Pro älypuhelinia ja selfietikua, jonka avulla päästiin ottamaan kuvat mahdollisimman kohtisuoraan myös korkeammalla olevista liikennemerkeistä. Puhelimella otetut kuvat ovat resoluutioltaan 3024×4032, joka on enemmän kuin riittävä kunnon arviointiin, varsinkin kuvien ollessa läheltä merkkiä. Puhelin tallentaa myös sijaintitiedot koordinaatteina, joten kuvien sijoittaminen kartalle onnistuu helposti.

Kuvat otettiin pysäyttämällä auto ja menemällä jalkaisin ottamaan kuva liikennemerkestä. Metodi on luonnollisesti hieman hidas, mutta tähän projektiin vaadittua vertailuinventointia ja kuntoluokituksen tekemistä varten se oli tarpeellista. Vertailun vuoksi kuvia otettiin myös GoPro Hero 10 -kameralla. Kamera asennettiin ajoneuvon katolle imukupin avulla ja suunnattiin kohti tien oikeaa reunaa, jotta liikennemerkeistä saatiin mahdollisimman kohdennettuja kuvia. Tämä on helpompi tapa kuvata jatkossa, eikä vaadi pysähtelyä tai kalliita kuvausajoneuvoja. Kuvasta 7 näkee GoPro kameran asennettuna suojakotelon sisään ja kiinni imukupitelineeseen sekä asennettuna ajoneuvon katolle, osoittaen hieman oikealle. Kuva 8 on esimerkki onnistuneesta kuvasta GoProlla, josta pystyy tekemään liikennemerkin kuntoluokituksen.



Kuva 7. GoPro Hero 10.



Kuva 8. Kuva GoProlla: hyvä.

Vaikka tämä on huomattavasti tehokkaampi tapa, niin siinäkin on omat ongelmansa. Varsinkin moottoriteillä, kun nopeus on korkeampi ja tienreuna on leveämpi, voi kuntoluokituksen määrittäminen osoittautua hankalaksi. Tähän vaikuttaa myös kameran asettamat haasteet, sillä nopeimmillaan kuvia voidaan ottaa 0.5 sekunnin välein. Nopeuden ollessa yli 100 km/h on riskinä, että kuva on otettu liian kaukaa, joka myös vaikeuttaa tulkitsemista. Esimerkkinä tästä on alla oleva kuva 9.



Kuva 9. Kuva GoProlla: huono.

Kuvaamalla liikennemerkit pysähtymällä saatiin otettua kuva myös merkin takaa, josta selviää valmistusvuosi. Tätä tietoa ei kaikista merkeistä löytynyt tai se oli liian hankalassa paikassa kuvata. Liikennemerkin ikä on kuitenkin erittäin tärkeä tieto, ennustemallin tekemiseen ja optimointiin. Jos liikennemerkkien kuvia jatkossa tallennetaan johonkin järjestelmään systemaattisesti, olisi tärkeää saada myös ikätieto mukaan, vähintään uusista asennuksista. Kuvassa 10 näkyy esimerkki liikennemerkin takaa löytyvästä tarrasta, josta käy ilmi valmistusvuosi.



Kuva 10. Liikennemerkin tarra.

3.3 Liikennemerkkien kuntoluokitus

Liikennemerkkien tärkein tehtävä on parantaa ajoturvallisuutta ja tästä näkökulmasta lähdimme pohtimaan myös niiden kuntoluokitusta. Väyläviraston aikaisemmat ohjeet ja monet kansainväliset vastaavat käyttävät viisiportaista kuntoluokitusta. Vuonna 2009 Tiehallinnon julkaisema liikennemerkkien kuntoluokitus kulkee huonosta erittäin hyvään (1–5).

Vaikka aikaisemmin on suosittu viisiportaista asteikkoa, uskomme että kolmiportainen asteikko voisi toimia paremmin liikennemerkkien kanssa. Koska liikennemerkkien kunto ei muutu kovin nopeasti, on viisiportainen ehkä hieman liian tarkka. Jos tiedossa on myös liikennemerkkin valmistusvuosi, riittää kolmiportainen todella hyvin, sillä siten voidaan arvioida ennustemallin avulla, milloin kuntoluokka tulee todennäköisesti tippumaan.

Voidaan myös ajatella, että tarvitaanko tarkempaa kuntoluokitusta ollenkaan. Riittäisikö ainoastaan kaksiportainen, eli joko merkki on riittävän hyvässä kunnossa tai sitten se pitäisi vaihtaa. Tämä kuitenkin vaikeuttaisi ennustemallin tekemistä huomattavasti, kun välivaiheita jää pois, jonka vuoksi kaksiportaista kuntoluokitusta ei nähdä mahdolliseksi.

Tulee kuitenkin muistaa, että liikennemerkkit ovat osa kokonaisuutta, eivätkä läheskään se kallein omaisuususerä. Onkin siis todennäköisesti kustannustehokkaampaa tehdä ennustemalli, jolla päästään riittävään tarkkuuteen, kuin inventoida merkkejä niin usein. Tästä syystä kolmiportainen on parempi vaihtoehto, ollen kuitenkin yksinkertaisempi kuin viisiportainen.

Kuten aikaisemmin julkaistu kuntoluokitus, ei myöskään tämä tule ottamaan kantaa merkkien varsiin tai muihin kiinnityksiin. Arviointi koskee siis pelkästään tauluosaa ja sen kuntoa.

3.4 Kuntomuuttujat

Liikennemerkkin kuntoon vaikuttavat useat eri muuttujat, joista liikennemerkkin kokonaiskunto muodostuu. Tiehallinnon vanhassa ohjeessa nämä oli jaoteltu kolmeen eri osastoon, jotka olivat seuraavat:

- rakenteellinen kunto
- ulkoasu
- vauriot

Kuntoa haluttiin kuitenkin tässä raportissa tarkastella hieman tarkemmalla tasolla, jo sen takia, että se helpottaa mahdollista konenäön kouluttamista. Mitä täsmällisemmin eri muuttujat on eritelty, sitä tarkempiin tuloksiin on mahdollista päästä. Tämä helpottaa myös ihmisen tekemää kuntoarviota.

Eri vaihtoehtojen välillä päädyttiin arvioimaan kolmea eri kuntomuuttujaa, jotka vaikuttavat eniten liikennemerkkin kuntoon ja sitä kautta sen käytettävyyteen. Nämä kolme ovat:

- Taulun kalvon kunto: kalvon pinnan haalistuminen / repeytyminen / halkeilu




- Taulun puhtaus
- Taulun rakenteellinen kunto

Kukin näistä saattaa yksinään vaikuttaa kriittisellä tavalla siihen, kuinka hyvin liikennemerkki toimii tarkoitetulla tavalla ja kuinka selkeä sen ilmaisema merkitys on tien käyttäjälle. Jos yksikin näistä putoaa alimpaan kuntoluokkaan, niin koko liikennemerkki on vaihdon tarpeessa. Tämä voisi toki toteuttaa myös niin, että lasjetaan vain keskiarvo eri muuttujista, mutta koska liikennemerkit ovat niin tärkeitä liikenneturvallisuuden kannalta, kannattaa tämä toteuttaa näin.

Tässä kuntoluokittelussa ei oteta huomioon kalvon heijastavuuden kuntoa, johtuen heijastavuusmittausten hitauden ja kalleuden vuoksi nyky menetelmillä. Valokuvien tai videoiden käyttö ei ole mahdollista heijastavuus inventointien tekemiseen. Heijastavuusmittausten yksinkertaistamista, tekemällä ne maastossa visuaalisesti pimeään vuorokauden aikaan käyttäen auton ajovaloja, voisi antaa suuntaa heijastavuuden kunnosta. Kalvo joko on heijastava, tai ei ole. Tämä on kuitenkin kallis inventointimenetelmä, jos se ei liity mihinkään muuhun inventointiin.

Tässä raportissa ei oteta kantaa tolpan kuntoon, vaikka sekin voi pahimmillaan tehdä liikennemerkestä käyttökelvottoman. Myöskin kiinnityspulttien kunto / ruosteisuus jätetään huomioimatta. Tarkoituksena on keskittyä pelkästään liikennemerkin tauluosaan. Liikenneturvallisuuden näkökulmasta toimenpiteitä aiheutuu myös siitä, jos liikennemerkki on jäänyt esimerkiksi kasvillisuuden taakse eikä täten näy tarpeeksi kauas. Tämä ei kuitenkaan ole liikennemerkin vaurioitumisesta johtuvaa. Tieto tällaisista kohteista tulisi kuitenkin tallentaa toimenpiteitä varten, mutta ei välttämättä liikennemerkkietoihin. Taulukoissa 1-3 on esimerkkikuvien havainnollistettu eri kuntoluokkien arviointia.




Taulukko 1. Hyväkuntoiset liikennemerkit.

Kuntoluokka 3 – Hyvä		
Pintakunto	Puhtaus	Rakenteellinen kunto
		
<p>Kunto erinomainen, kuntoluokka 3</p> <p>Ei näkyvissä heijastinkalvon pinnan halkeilua, rakenteellisia vaurioita eikä likaisuutta</p> <p>Vuodelta 2018</p>	<p>Luokka 3, ei näkyvää likaa ja merkki erottuu selkeästi</p> <p>Vuodelta 2017</p>	<p>Luokka 3, näkyvissä ei mitään rakenteellisia vaurioita</p> <p>Vuodelta 2017</p>

Taulukko 2. Tyydyttäväkuntoiset liikennemerkit.

Kuntoluokka 2 – Tyydyttävä		
Pintakunto	Puhtaus	Rakenne
		
<p>Kunto tyydyttävä, kuntoluokka 2</p> <p>Vasemmassa reunassa havaittavissa kalvon pinnan halkeilua, joka vaikuttaa heijastavuuteen.</p> <p>Valmistusvuotta ei tiedossa</p>	<p>Luokka 2, merkki tummunut liasta, vaikuttaa numeroiden erottamiseen ja myös todennäköisesti heijastavuuteen</p> <p>Vuodelta 2011</p>	<p>Luokka 2, liikennemerkki on selvästi vääntynyt, mutta on kuitenkin vielä tyydyttävässä kunnossa ja luettavissa.</p> <p>Vuodelta 2018</p>

Taulukko 3. Huonokuntoiset liikennemerkkit.

Kuntoluokka 1 - Huono		
Pintakunto	Puhtaus	Rakenne
		
<p>Kunto huono, kuntoluokka 1</p> <p>Runsaasti kalvon pinnan halkeilua koko liikennemerkkin alueella, lisäksi ympäröivä punainen väri haalistunut lähes kokonaan. Musta väri säilynyt melko hyvänä, muttei virheettömänä. Rakenteellinen kunto on hyvä.</p> <p>Vuodelta 1997</p>	<p>Luokka 1, merkki hyvin liikainen, heijastavuus kärsii.</p> <p>Valmistusvuotta ei tiedossa</p>	<p>Luokka 1, rakenteellinen vaurio, merkki vinossa sekä vääntynyt, lisäksi kalvon pinta kulunut</p> <p>Valmistusvuotta ei tiedossa</p>

3.5 Automaattinen kuntoluokitus tietokonenäöllä

Kuntoluokituksen tekeminen manuaalisesti on monesta syystä haasteellista. Ihmissilmän tulkinta on aina hieman epäluotettava, vaikka se olisi kuinka harjaantunut työhön. Se on myös suhteellisen hidasta, eikä se ole monen ihmisen tekemänä vertailukelpoista, sillä tulkinnat kahden ihmisen välillä voivat vaihdella hyvinkin paljon. Tien kuntoluokituksessa onkin jo siirrytty monessa paikassa automaattiseen vaurioiden tunnistukseen, joten olisi luonnollista saada sama kehitys myös liikennemerkkien kuntoluokitukseen.

Liikennemerkkien kuntoluokitusalgoritmin luomisessa on ainakin kaksi lähestymistapaa. Ensimmäisessä, vaurioiden määritelmät ovat todella tarkkoja ja algoritmi segmentoi liikennemerkkin kuviot ja vertaa näitä virheettömiin esimerkiksi värisävyjen osalta. Jokaisen vaurion kuntoluokituksen olisi tarkkaan määriteltävä, esimerkiksi prosenttiosuuden liikennemerkkin pinta-alasta ollessa vaurioitunut, tippuu se kuntoluokkaan 2 ja niin edespäin. Yksinkertaisimmillaan tämä voisi mennä tasaisesti 33 prosenttiyksikön välein. Liikennemerkkien tärkeyden vuoksi, jaottelu voisi mennä kuitenkin hieman eri tavalla. Yksi mahdollisuus voisi olla, että paras kuntoiluokka olisi, kun yli 75 % liikennemerkkin pinta-alasta on vaurioitumaton ja toinen

kuntoluokka olisi 50 % - 75 %. Liikennemerkki putoaisi siis alimpaan kuntoluokkaan ja vaihdettavaksi, kun yli 50 % pinta-alasta on vaurioitunut. Kuva 11 on esimerkki liikennemerkestä, joka on liian takia menettänyt todennäköisesti osan heijastavuudestaan, luoden näin uhan liikenneturvallisuudelle.



Kuva 11. Likainen merkki.

Toisessa lähestymistavassa käytetään opetustietoina suurta joukkoa liikennemerkkikuvia ja ihmissilmin tehtyä kuntoluokitus-tietoa. Tässä menetelmässä kuntoluokituksen tulisi olla tehty huolellisesti ja kattaa useita erilaisia vaurioita eri liikennemerkeillä. Tyypillisesti tällainen algoritmi on toteutettu neuroverkoilla, jonka tarkkuutta saadaan parannettua opetusaineistoa lisäämällä. Ongelmana on tarve suu-
relle määrällä (yli 10 000) opetuskuvia kustakin liikennemerkkityypistä ja kunto-
luokasta.

Automaattisen tunnistuksen käyttöönoton ongelmana on erityisesti kaupallisen sovelluksen puute. Liikennemerkkien inventointitietojen laatuun ja vertailtavuuteen ei olla kiinnitetty suurta huomiota, jolloin luokituksen tekeminen visuaalisesti on riittänyt.

Esimerkiksi alla olevassa kuvassa on merkin likaisuus huomattavaa ja selvästi yli 50 prosenttia pinta-alasta on likainen tehden merkistä vaikeasti tunnistettavan. On myös selvää, että merkissä olevien kuvioiden kalvopinta on vaurioitunut merkittävästi. Koska kuviot ovat kuitenkin monessa liikennemermissä se, joka luo merkityksen, voisi konenäön opettaa tunnistamaan erikseen kuvioiden vaurioita. Pohjavärin kalvopintakin on toki tärkeä, mutta kuvioiden vauriot saattavat vaikuttaa enemmän tunnistettavuuteen ja siten liikenneturvallisuuteen.

3.6 Huomiot luokitustyöstä

Liikennemerkkien kuntoluokituksen teko manuaalisesti valokuvien avulla on helposti hidasta eikä kovin innovatiivista. Se on kuitenkin parempi vaihtoehto, kuin tehdä kuntoluokitusta tien päällä vauhdista. Tien päällä tehdessä virheiden määrä nousee helposti, vaikka luokittelija olisi kuinka kokenut. Varsinkin jos tavoitteena on tehdä luokitusta usean eri muuttujan avulla ja kuntoluokkia on jopa viisi.

Valokuvien avulla luokittelijalla on enemmän aikaa tarkastella merkkiä, eikä hänellä ole niin kiire tai tarvitse pysähtyä tienpäällä liikenteellisesti haastaviin kohtiin. Tämä tuo toki hieman lisää kustannuksia, kun ensin merkit kuvataan ja sen jälkeen vielä käydään valokuvat läpi, mutta koska tavoitteena on siirtyä kohti automaattista vauriontunnistusta, on tämä pakollinen välivaihe. Liikennemerkkit ovat kuitenkin tärkeä osa teiden infrastruktuuria, joten niiden inventointi systemaattisesti olisi tärkeää ylipäättänsä, joten valokuvat näistä saataisiin suhteellisen pienellä vaivalla samalla.

3.7 Johtopäätökset ja suositukset

Nykyisessä inventointimallissa ongelmana on kuntoluokituksen laatu, joka vaihtelee inventointitavasta ja inventoijasta riippuen. Selkeästä ohjeistuksesta ja laadunvarmistuksen soveltamisesta huolimatta on ihmissilmin urakoitsijoiden toimesta tehtävillä inventoinneilla vaikea saavuttaa systemaattinen lähestymistapa kautta maan, vaikka kolmiportainen luokitus nykytilannetta todennäköisesti parantaa. Maastokuvausten ja nykyisten inventointitietojen perusteella osa liikennemerkkeistä näyttää inventoidun väärään kuntoluokkaan ja osa huonokuntoisista liikennemerkkeistä on jäänyt vaihtamatta joko rahoituksen puutteen tai epäonnistuneen inventoinnin perusteella. Kuva-aineistojen osalta on myös vaihtelevuutta ja kaikista liikennemerkkeistä ei ole kattavasti kuvia koko maasta. Tällaisen kuva-aineiston kerääminen voisi palvella liikennemerkkien kuntoluokitusalgoritmin kehittämistä.

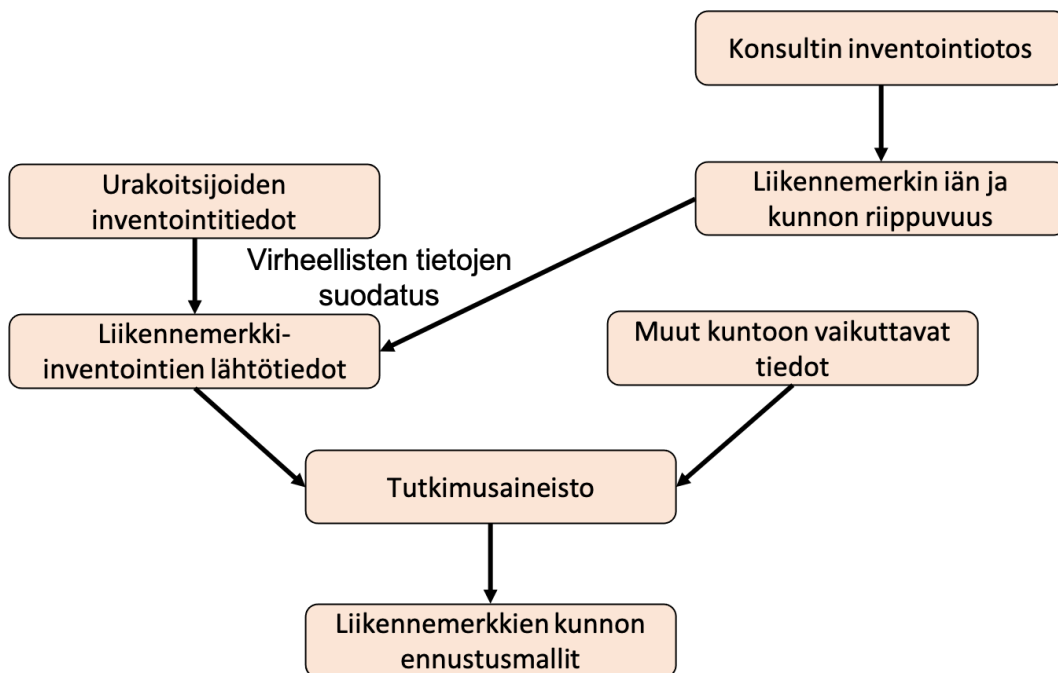
Idealisessa mallissa liikennemerkkien kuntotieto sekä tieto puuttuvasta liikennemerkistä saadaan luotettavasti ja lähes automaattisesti ja näistä olisi hyvä olla valokuva edelliseltä inventointikerralta. Ensimmäisenä lähtökohtana voisi olla päättää kuva-aineistojen tuottamistapa. Liikennemerkkien osalta parhaat kuvat saadaan pysähtymällä ja ottamalla kuva liikennemerkkin edestä mieluiten taulun korkeudelta. Tämä vie kuitenkin paljon aikaa ja luo itsessään liikenneturvallisuusrisikin moottoriteillä. Vaihtoehtona on asettaa kamera esimerkiksi auton katolle ja suunnata tien reunaan, jolloin voidaan säilyttää liikenteen nopeus edellyttäen, että kuvia otetaan tarpeeksi tiheästi, jotta kuvan ottohetkellä ollaan lähellä optimietäisyyttä liikennemerkistä. Halvemmilla kameroilla tämän voi toteuttaa videokuvauksella ja kalliimmilla mahdollisesti ohjelmoimalla sekunnissa otettavien kuvien lukumäärää. Videokuvauksen osalta ongelmaksi muodostuu tiedostojen kokonaiskoko, jota voidaan pienentää hakemalla vain yksittäiset, merkitykselliset kuvat. Oli kyseessä tavallinen kuvaus, videokuvaus tai 360-asteen kuvat tai videokuvat, niin ainakin kameran pikseleiden lukumäärällä on merkitystä ja tulisi minimissään olla 3840×2160 .

Liikennemerkkeistä otetun kuvatieto tulisi laittaa automaattiseen prosessointiin, josta saataisiin tiedot puuttuvista liikennemerkkeistä sekä kuvattujen liikennemerkkien kuntoluokitus. Ideaalitapauksessa tiedot siirtyvät automaattisesti Velhoon. Tieto puuttuvasta liikennemerkistä on vain väliaikainen tieto, sillä uusi liikennemerkki tulisi asentaa ja täten tämä tieto tulisi tulla urakoitsijan käyttöön.

4 Liikennemerkkien jatkomallinnus

4.1 Mallinnusperiaatteet

Vuoden 2021 tutkimuksessa hyödynnettiin neljältä urakka-alueelta eri vuosilta saatuja kuntoinventointitietoja sekä kuntoon vaikuttavia muita muuttujia. Liikennemerkin asennus- tai valmistusvuodet eivät kuitenkaan olleet tiedossa. Mallinnusta tarkennetaan suuremmalla datamäärällä, uusilla muuttujilla sekä merkkidatan suodatuksella käyttäen otoksesta inventoitua asennusvuotta. Kuvassa 12 on esitetty mallinnuksen vaiheet.



Kuva 12. Liikennemerkkien kunnan ennustaminen.

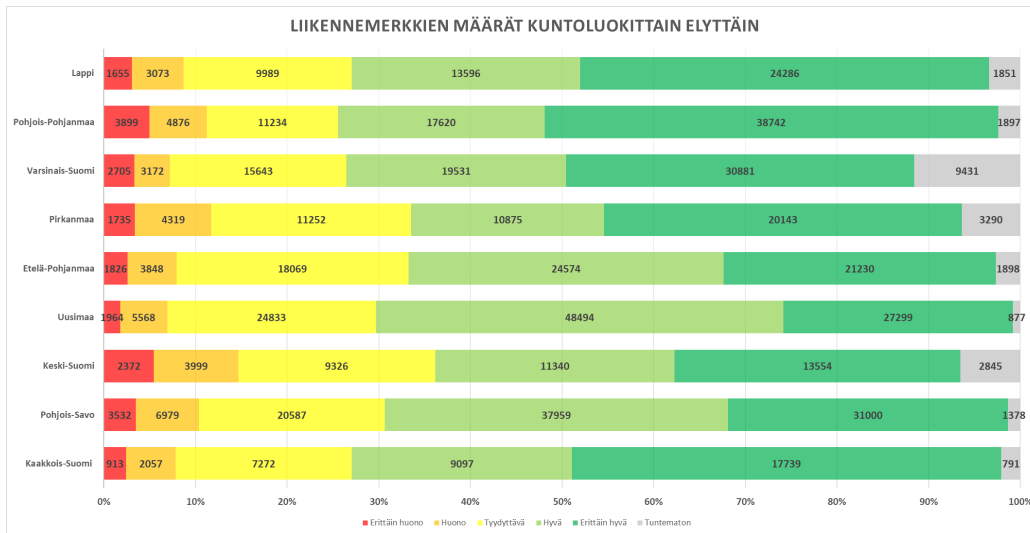
4.2 Liikennemerkkien lähtötiedot

Kaikista Suomen urakka-alueista koottiin kaikki helposti saatavilla oleva inventointitieto lähtötiedoiksi. Kahden inventointivuoden tiedot olivat saatavilla 245 049 liikennemerkistä, kolmen vuoden tiedot 2 092 liikennemerkistä ja neljän vuoden tiedot 16 liikennemerkistä. Liikennemerkkien kuntojakauma ELY-alueittain on esitetty taulukossa 4 ja kuvassa 13.¹ 534 415 liikennemerkin osalta tietojen muutospäivämäärän vuosi oli 2021 ja 92 397 merkin osalta vuosi 2022. Vuodet eivät vastaa täysin inventointivuosia, mutta tätä tietoa ei ollut poistuvassa Tierekisterissä. Velho-järjestelmässä ei ollut toistaiseksi liikennemerkkitietoja kattavasti.

¹ Tierekisteri, 18.1.2023

Taulukko 4. Liikennemerkkien lukumäärä ELY-alueittain ja kuntoluokittain.

ELY	Yhteensä	Kuntoluokka					Tunte- maton
		1	2	3	4	5	
Kaakkois-Suomi	37 869	913	2 057	7 272	9 097	17 739	791
Pohjois-Savo	101 435	3 532	6 979	20 587	37 959	31 000	1 378
Keski-Suomi	43 436	2 372	3 999	9 326	11 340	13 554	2 845
Uusimaa	109 035	1 964	5 568	24 833	48 494	27 299	877
Etelä-Pohjanmaa	71 445	1 826	3 848	18 069	24 574	21 230	1 898
Pirkanmaa	51 614	1 735	4 319	11 252	10 875	20 143	3 290
Varsinais-Suomi	81 363	2 705	3 172	15 643	19 531	30 881	9 431
Pohjois-Pohjanmaa	78 268	3 899	4 876	11 234	17 620	38 742	1 897
Lappi	54 450	1 655	3 073	9 989	13 596	24 286	1 851
Yhteensä	628 915	20 601	37 891	128 205	193 086	224 874	24 258



Kuva 13. Liikennemerkkien kuntoluokat ELY-alueittain.

Taulukossa 5 on esitetty saatavilla olleiden inventointitietojen lukumäärät vuosittain. Kyseessä on kaikkien urakoiden jäädytetyt tiedot, missä liikennemerkkien menneisyyden inventointitiedot ovat mukana. Vuoden 2021 ja 2022 tehtyjen liikennemerkkien inventointien lukumäärä on tietojen mukaan pienentynyt viidesosaan, mikä on ristiriidassa Tierekisterin muutostietojen kanssa.

Taulukko 5. Liikennemerkkietietojen lukumäärä.

Vuosi	Liikennemerkkietietojen lukumäärä
2004	5 881
2009	8 205
2010	65 798
2011	50 976
2012	127 361
2013	94 911
2014	117 651
2015	81 701
2016	122 435
2017	133 954
2018	193 697
2019	140 672
2020	101 470
2021	19 855
2022	26 875

Inventointien laadun osalta ei ole tietoa, mutta oletuksena on, että joidenkin inventointien osalta on kopioitu edellisen inventointikierron kuntoarvo, jolloin liikennemerkkietiedoista tulisi poistaa huonolaatuinen inventointitieto. Absoluuttisen totuuden puuttuessa, käytetään laatukriteerinä samojen liikennemerkkien eri inventointikierrosten keskimääräistä kuntoa tieosakohtaisesti, koska urakka-alueet ja näiden nimet eivät ole pysyneet vakioina. Liikennemerkkietietojen suodatuksessa käytetään seuraavia kriteerejä:

1. Liikennemerkestä on inventointitietoa useammalta kuin yhdeltä vuodelta.
2. Liikennemerkin kunto ei ole parantunut ja on välillä 1-5.
3. Tieosakohtainen liikennemerkkien kuntoluokan keskiarvo ei ole pienempi kuin $4.837 - 0.085 * \text{Ikä} - \text{Kunto}$ alussa eikä suurempi kuin $5 - 0.067 * \text{Ikä} - \text{Kunto}$ alussa.
4. Tieosakohtainen liikennemerkkien kuntoluokan keskiarvo (kuntoluokassa parempaan siirtyneet merkit poistettu) on inventointikierrosten välillä heikentynyt.

Tietojen yhdistelyn jälkeen saatiin kuusi aineistoa, joissa on 17 271 - 329 230 liikennemerkkiä, joista kuntotieto on saatavilla kahdelta erilliseltä vuodelta. Esimerkiksi suurimmassa joukossa 15 742 liikennemerkin arvioitu kuntoluokka on parantunut, 285 638 merkin osalta pysynyt samana ja 27 769 merkillä huonontunut.

Merkeistä valitaan ne, joiden keskimääräinen kunto on heikentynyt eri alueilla taulukon 6 mukaan. Joissain tieosissa on vain vähän liikennemerkkejä, jolloin osa suodattuu pois tieosajakoa käytettäessä, jolloin keskimääräinen kunnan heikkeneminen voi olla liian suuri. Toisaalta, yhdellä urakka-alueella voi olla useampi henkilö inventoimassa ja yksi henkilö tyypillisesti inventoi tieosia kerrallaan.

K1 -ryhmissä kunnan heikkeneminen on maltillisempaa kuin K2 -ryhmissä, koska mukana on myös tieosat, joissa kunto on heikentynyt edes yhden merkin osalta. Linear Discriminant Analysis -luokittelijan perusteella luokitteluvirhe on pienin ryhmälle A1K1, mutta tämän otoksen merkeistä muodostettu vain edellisen kunnan ja

ajan sisältävä regressiomalli antaa vuosittaiseksi merkin kunnan heikkenemiseksi -0,013, kun taas joukolla A2K2 tämä on -0,07.

Taulukko 6. Liikennemerkkien otoskoot alueiden ja rappeutumisen mukaan.

	Merkkien keskimääräinen kunto heikentynyt (K1)	Merkkien keskimääräinen kunto heikentynyt rajoitettusti (K2)
Tieosittain (A1)	<p>Lukumäärä: 85 662 Kunnan muutos inventointien välillä: -0.423 $Kunto_2 = 0.09 + 0.85Kunto_1 + 0.017Aika$ MAE: 0.574</p> <p style="text-align: center;">Inventoinin kuntoluokka</p>	<p>Lukumäärä: 17 271 Kunnan muutos inventointien välillä: -0.467 $Kunto_2 = 0.44 + 0.83Kunto_1 - 0.046Aika$ MAE: 0.579</p> <p style="text-align: center;">Inventoinin kuntoluokka</p>
Urakka-alueittain (A)	<p>Lukumäärä: 313 366 Kunnan muutos inventointien välillä: -0.133 $Kunto_2 = 0.14 + 0.94Kunto_1 - 0.013Aika$ MAE: 0.251</p> <p style="text-align: center;">Inventoinin kuntoluokka</p>	<p>Lukumäärä: 17 913 Kunnan muutos inventointien välillä: -0.488 $Kunto_2 = 0.07 + 0.80Kunto_1 - 0.07Aika$ MAE: 0.597</p> <p style="text-align: center;">Inventoinin kuntoluokka</p>
Kunnittain (A3)	<p>Lukumäärä: 146 158 Kunnan muutos inventointien välillä: -0.231 $Kunto_2 = 0.17 + 0.91Kunto_1 - 0.01Aika$ MAE: 0.395</p>	<p>Lukumäärä: 23 884 Kunnan muutos inventointien välillä: -0.503 $Kunto_2 = 0.36 + 0.84Kunto_1 - 0.04Aika$ MAE: 0.626</p>

	Merkkien keskimääräinen kunto heikentynyt (K1)						Merkkien keskimääräinen kunto heikentynyt rajoitettusti (K2)					
	0.76	0.16	0	0	0	1	0.39	0.28	0	0	0	1
	0.04	0.51	0	0	0	2	0.04	0.04	0.02	0	0	2
	0.09	0.14	0.73	0	0	3	0.2	0.26	0.42	0.07	0	3
	0.08	0.14	0.21	0.89	0.01	4	0.36	0.4	0.5	0.81	0.35	4
	0.03	0.05	0.07	0.11	0.99	5	0.01	0.02	0.07	0.12	0.65	5
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5	
	Inventoinin kuntoluokka						Inventoinin kuntoluokka					
	Ernusteiden kuntoluokka						Ernusteiden kuntoluokka					

Suurimman tutkimusjoukon liikennemerkkien kahden inventoinnin välinen aika ja keskimääräisen kunnan muutos on esitetty taulukossa 7. Inventointien väliajan ollessa 1-2 vuotta, ei datan mukaan kuntoluokituksessa ole tapahtunut muutosta samoin kuin, jos inventointien välillä on kulunut 10 vuotta. Toinen huomio on se, että keskimääräinen kunnan muutos on huomattavasti merkittävämpi, kun inventointien välinen aika on 8, 9 tai 11 vuotta. Tällaisella tietoaineistolla tehty luokitin vääristää kuntoennusteita riippuen valittavasta ennustevuodesta.

Taulukko 7. Liikennemerkkien kunnan muutos inventointien välillä ryhmällä A2K1.

Inventointien välinen aika	Liikennemerkkien lukumäärä	Kuntoluokan keskiarvo alussa	Kuntoluokan keskiarvo lopussa	Keskimääräinen vuotuisen muutos
1	416	3.35	3.35	0.00
2	7 937	3.91	3.91	0.00
3	3 001	3.89	3.74	-0.05
4	127 534	3.82	3.66	-0.04
5	112 457	3.85	3.72	-0.03
6	34 955	3.63	3.56	-0.01
7	24 439	3.64	3.57	-0.01
8	209	4.42	3.42	-0.13
9	2 192	4.28	3.32	-0.11
10	9	3.33	3.33	0.00
11	217	3.65	2.59	-0.10

Ryhmän A2K2 regressiomallin kunnan heikentyminen on voimakkainta ja lähimpänä käytännön kokemuksia liikennemerkkien rappeutumisesta. Tämän joukon liikennemerkkien inventointien lukumäärä ja keskimääräinen muutos on esitetty taulukossa 8. Tämä joukko valitaan mallin opetusdataksi.

Taulukko 8. Liikennemerkkien kunnon muutos inventointien välillä ryhmällä A2K2.

Inventointien välinen aika	Liikennemerkkien lukumäärä	Kuntoluokan keskiarvo alussa	Kuntoluokan keskiarvo lopussa	Keskimääräinen vuotuinen muutos
2	5	3.80	3.80	0
3	1	3.00	4.00	-0,33
4	6757	3.57	3.98	-0,10
5	7188	3.62	4.11	-0,10
6	2568	3.26	3.82	-0,09
8	196	3.47	4.49	-0,13
9	1001	3.58	4.37	-0,09

Lähtödatan laadulla on suurin merkitys tulosten luotettavuuteen ja täten tämän tulevan laadun varmistamista tulisi tehostaa. Suositeltavaa on lisätä inventointitietoihin myös inventoiva taho eli inventointihenkilön tai inventointiorganisaation yksilöivä tunniste. Tällöin voidaan suodattaa tietoaineistoja pois tunnisteiden perusteella, mikäli joidenkin inventoijien kohdalla epäillään laatuongelmia.

4.3 Uusien selittävien muuttujien lisääminen

Mahdolliset selittävät muuttujat sisältävät vuoden 2021 tutkimusraportin muuttujien lisäksi uusia, mahdollisesti kunnon heikkenemistä selittäviä muuttujia. Aineisto on otettu vanhan Tierekisterin siirtotiedostosta ja esitetty taulukossa 9.

Taulukko 9. Mahdolliset selittävät muuttujat.

Muuttuja	Oletettu vaikutus	Huomioitavaa
Vuoden keskimääräinen vuorokausiliikenne	Suurempi liikennemäärä rapioittaa liikennemerkkejä nopeammin (Päästöt, pöly, il-mavirtaus, kivet)	
Arkipäivän keskimääräinen vuorokausiliikenne		
Kesän keskimääräinen vuorokausiliikenne		
Raskaiden ajoneuvojen vuoden keskimääräinen vuorokausiliikenne		
Raskaiden ajoneuvojen arkipäivän keskimääräinen vuorokausiliikenne		
Yhdistelmäajoneuvojen vuoden keskimääräinen vuorokausiliikenne		
Yhdistelmäajoneuvojen arkipäivän keskimääräinen vuorokausiliikenne		
Tien suunta	Indikoi liikennemerkkien suuntaa. Auringon valo lisää liikennemerkkien rappeutumista	Tien suuntatieto on otettu Digiroadista ja muutettu kaavalla $2 - \cos(\theta)$, missä kulma θ on muutettu radiaaneiksi

Muuttuja	Oletettu vaikutus	Huomioitavaa
Materiaali	Vaneriset liikennemerkit rappeutuvat nopeammin	Materiaali on muutettu dikotomisiksi muuttujiksi (materiaalivaneri, materiaalialumiini) siten, että a) materiaalivaneri = 1 ja materiaalialumiini = 0, kun materiaalina on vaneri; b) materiaalivaneri = 0 ja materiaalialumiini = 1, kun materiaalina on alumiini ja c) materiaalivaneri = 0 ja materiaalialumiini = 0, kun materiaalina on joku muu.
Puoli	Liikenteen suuntaan nähden oikealla puolella olevat liikennemerkit rappeutuvat nopeammin ilmavirran ja roiskeiden suuremmasta kuormituksesta johtuen	Asennuspuoli muutettu dikotomisiksi muuttujiksi (vasenpuoli, oikeapuoli) siten, että a) vasenpuoli = 1 ja oikeapuoli = 0, kun asennuspuoli on vasen; b) vasenpuoli = 0 ja oikeapuoli = 1, kun asennuspuoli on oikea ja c) vasenpuoli = 0 ja oikeapuoli = 0 muussa tapauksessa.
Kuntoluokka edellisellä inventointikierroksella	Edellinen kunto on lähtötaso ja liikennemerkin kunto ei voi parantua ollettikin jos inventointitieto on luotettavaa	
Päälysteluokka	Sorateillä pöly ja lentävä sora voi nopeuttaa liikennemerkkien vaurioitumista	Soratie = 1, Päälyste = 0
Nopeusrajoitus	Nopeampi liikenne aiheuttaa enemmän ilmavirtaa ja voi vaikuttaa vaurioitumiseen	
Päälysteen leveys	Rengaspöly, nopea urautuminen?	
Liikennemerkin väri	Puna-keltaiset merkit voivat rappeutua nopeammin kuin muut värit	Liikennemerkin asetusnumero muutettu dikotomisiksi muuttujiksi liikennemerkin pohjaväriin perusteella. Uusia muuttujia ovat <i>keltatausta</i> , <i>punatausta</i> , <i>mustatausta</i> , <i>valkotausta</i> , <i>vihertausta</i> , <i>ruskeatausta</i> , <i>sinitausta</i> saaden joko arvon 0 tai 1.
Kalvotyyppi	Oletuksena on, että suurempi kalvon paluuheijastavuus rappeutuu hitaammin	Kuntohistoria ja kalvotyyppitietoja vain kalvotyypeille R1 ja R2 2956 liikennemerkistä. Kalvotyyppi muutettu dikotomisiksi muuttujiksi (kalvo1, kalvo2) siten, että a) kalvo1 = 1 ja kalvo2 = 0, kun kalvotyyppi = 1 (R1); b) kalvo1 = 0 ja kalvo2 = 1, kun kalvotyyppi = 2 (R2)
Talvihoitoluokka	Oletuksena on, että tehokkaampi talvihoito aiheuttaa nopeampaa liikennemerkkien kunnan heikkenemistä	

4.4 Ennustusmallinnus

4.4.1 Lähtötietojen tilastollinen tarkastelu

Taulukon 5 lähtötietojen lineaarisen riippuvuuden tilastollinen merkitsevyys testattiin SISAL-algoritmilla (Sequential Input Selection Algorithm) käyttäen 100 kertaa 10-ristiinvalidointia.² Taulukon 10 tulosten perusteella useimmat muuttujat ovat tilastollisesti merkityksellisiä riippuen lähtötietojoukosta.

Taulukko 10. SISAL-estimoinnin tulokset. Arvot esitetty joukolle A2K2 ja tilastollinen merkitsevyys esitetty myös muille joukoille.

Muuttuja	Regressi- okerroin	Keskivirhe	P-arvo	VIF	Mer- kitsevyys
Vakiotermi	0	0,0055	1	-	-
Vasen puoli	-0,0785	0,0118	0	4,3	A1K1, A2K1, A3K1, A1K2, A2K2, A3K2
Oikea puoli	-0,0909	0,0118	0	4,3	A1K1, A2K1, A3K1, A1K2, A2K2, A3K2
Materiaali, alumiini	0,0931	0,0495	0,0602	78,4	A1K1, A2K1, A3K1
Materiaali, vaneri	0,0441	0,0495	0,3728	78,3	-
Vuoden keskimääräinen vuorokausiliikenne	-0,5377	0,3418	0,1157	3866,0	A2K1
Arkipäivän keski- määräinen vuorokausiliikenne	0,7274	0,2641	0,0059	2298,3	A1K1, A2K1, A2K2
Kesän keskimääräinen vuorokausiliikenne	-0,1352	0,1267	0,2856	533,1	A1K1, A3K1
Yhdistelmäajoneuvojen vuoden keskimääräinen vuorokausiliikenne	0,6370	0,3447	0,0647	3914,8	A3K1
Yhdistelmäajoneuvojen arkipäivän keskimääräinen vuorokausiliikenne	-0,5179	0,3447	0,1329	3911,5	A3K1
Raskaiden ajoneuvojen vuoden keskimääräinen vuorokausiliikenne	0,4258	0,2546	0,0945	2162,5	A1K1, A2K1, A3K1, A3K2
Raskaiden ajoneuvo- jen arkipäivän keski- määräinen vuoro- kausiliikenne	-0,5734	0,2568	0,0255	2195,6	A1K1, A2K1, A3K1, A2K2, A3K2
Nopeusrajoitus	-0,0369	0,0067	0	1,2	A3K1, A2K2
Päällysteen leveys	-0,0268	0,0090	0,0028	2,2	A1K1, A2K1, A3K1, A2K2
Tien suunta	-0,0127	0,0056	0,0233	1,1	A1K1, A3K1, A2K2

² Tikka, J., Hollmén, J.: Sequential input selection algorithm for long-term prediction of time series. Neurocomputing 71, 2604–2615 (2008).

Muuttuja	Regressiokerroin	Keskivirhe	P-arvo	VIF	Merkitsevyys
Tie päällystämätön	-0,0133	0,0064	0,0371	1,2	A1K1, A2K1, A3K1, A1K2, A2K2, A3K2
Taustaväri, keltainen	0,0223	0,0208	0,2831	13,9	-
Taustaväri, punainen	0,0014	0,0075	0,8531	1,9	A3K1, A2K1
Taustaväri, musta	-0,0031	0,0082	0,7070	2,4	-
Taustaväri, valkoinen	-0,0085	0,0084	0,3078	2,4	A2K1, A1K2
Taustaväri, vihreä	0,0012	0,0064	0,8501	1,3	A3K1, A2K1
Taustaväri, sininen	-0,0038	0,0210	0,8580	14,1	A2K1, A1K2
Taustaväri, ruskea	0,0238	0,0068	0,0004	1,5	A1K1, A2K1, A3K1, A2K2, A3K2
Kuntoluokka edellisellä inventointikierroksella	0,6658	0,0057	0	1,1	A1K1, A2K1, A3K1, A1K2, A2K2, A3K2
Vuosien lukumäärä edellisestä inventoinnista	-0,1374	0,0056	0	1,0	A1K1, A2K1, A3K1, A1K2, A2K2, A3K2
Hoitoluokka	-0,0685	0,0096	0	2,7	A3K1, A2K1, A2K2, A3K2
Kalvotyyppi R1	0,0000	0,0055	1	-	Ei merkitsevä
Kalvotyyppi R2	-0,0785	0,0118	0	-	Merkitsevä

Tilastollisesti merkitsevien muuttujien keskinäistä riippuvuutta arvioitiin VIF (Variation Inflation Factor) -mittarilla. Mikäli VIF-mittari antaa muuttujalle korkeat lukemat (> 10), kyseisen muuttujan regressiokerroin on ongelmallista, mutta mallin ennustetarkkuuteen sillä ei ole vaikutusta. Taulukossa esitettyjen lukujen osalta voidaan todeta eri liikennemäärätietojen riippuvan vahvasti toisistaan. Mikäli kaikki tilastollisesti merkitsevät muuttujat valitaan lineaarisen regression malliin, saadaan keskivirheeksi 0,67 ja mallin korjattu selitysaste 0,97 (97%). Muuttujien lukumäärää laskemalla kunto- ja aikamuuttujiin, keskivirhe nousee vain sadasosan. Lineaarisen regressiomallin yhtälöksi saadaan täten Kaavan 2 mukainen tulos.

$$kunto_{t+1} = 0.93kunto_t - 0.04aika \quad (2)$$

Regressiokerroin ilmaisee vaikutuksen suuruutta. Edellisen mittauskierroksen kunto selittää noin 93% seuraavan mittauskierroksen kuntoa. Kuntoa ennustettaessa kokeillaan lineaarisen mallin eri muuttujavaihtoehtojen vaikutusta tuloksiin, jotta jatkossa sovellettavasta mallista saataisiin sopivan yksinkertainen.

4.4.2 Mallinnusmenetelmät

Vuonna 2021-2022 liikennemerkkimallinnuksen tulosten perusteella mallinnusmenetelmiksi valittiin lineaarinen regressio sekä pienimmän neliön vektoritukiregressio. Koska ongelmaa voi ajatella ennustamistehtävän lisäksi luokittelutehtävänä, missä pyritään lähtömuuttujien avulla päättämään seuraava kuntoluokka, ongelman ratkaisuun valitaan myös usea luokittelumenetelmä. Taulukossa 11 luokittelumenetelmät lyhyine selityksineen. Luokittelumenetelmien osalta käytetään kaikkia muuttujia, sillä menetelmät ovat osittain epälineaarisia ja tilastollinen merkitsevyys riippuu valitusta lähtöjoukosta.

Taulukko 11. Testatut luokittelumallit.

Mallin nimi	Lyhenne	Menetelmän kuvaus
Linear Discriminant Analysis	LDA	Etsitään lineaariset tasot luokkien välille oletuksena samat luokkien sisäiset kovarianssit ja normaalijakautuvuus.
Extreme Learning Machine	ELM	Eteenpäin syöttävä neuroverkko, jossa piilotason painot opetetaan yhdellä askeleella
Random Forest	RF	Joukko päätöksentekopuita, joiden luokittelutulos on useimman puun valitsema tulos
Parallel Random Forest	PRF	Rinnakaistetuksi laskettu satunnaismetsä
K-lähin naapuri	KNN	Havainnon luokittelu suoraan lähimpänä piirreavaruudessa olevien havaintojen painotettuna keskiarvona
Naiivi Bayes	NB	Bayesilainen luokittelija, jolla pyritään maksimoimaan luokkamuuttujien posteriotodennäköisyyttä oletuksena kunkin selittävän muuttujan keskinäinen riippumattomuus

Regressionpohjaiset ennustusmenetelmät antavat kuntotiedon jatkuvana muuttujana, mikä voi olla hyödyllistä etenkin siirryttäessä konenäkömalleihin. Pyöristämällä jatkuva muuttuja saadaan kunto luokitteluasteikolla.

4.4.3 Mallien suorituskyky

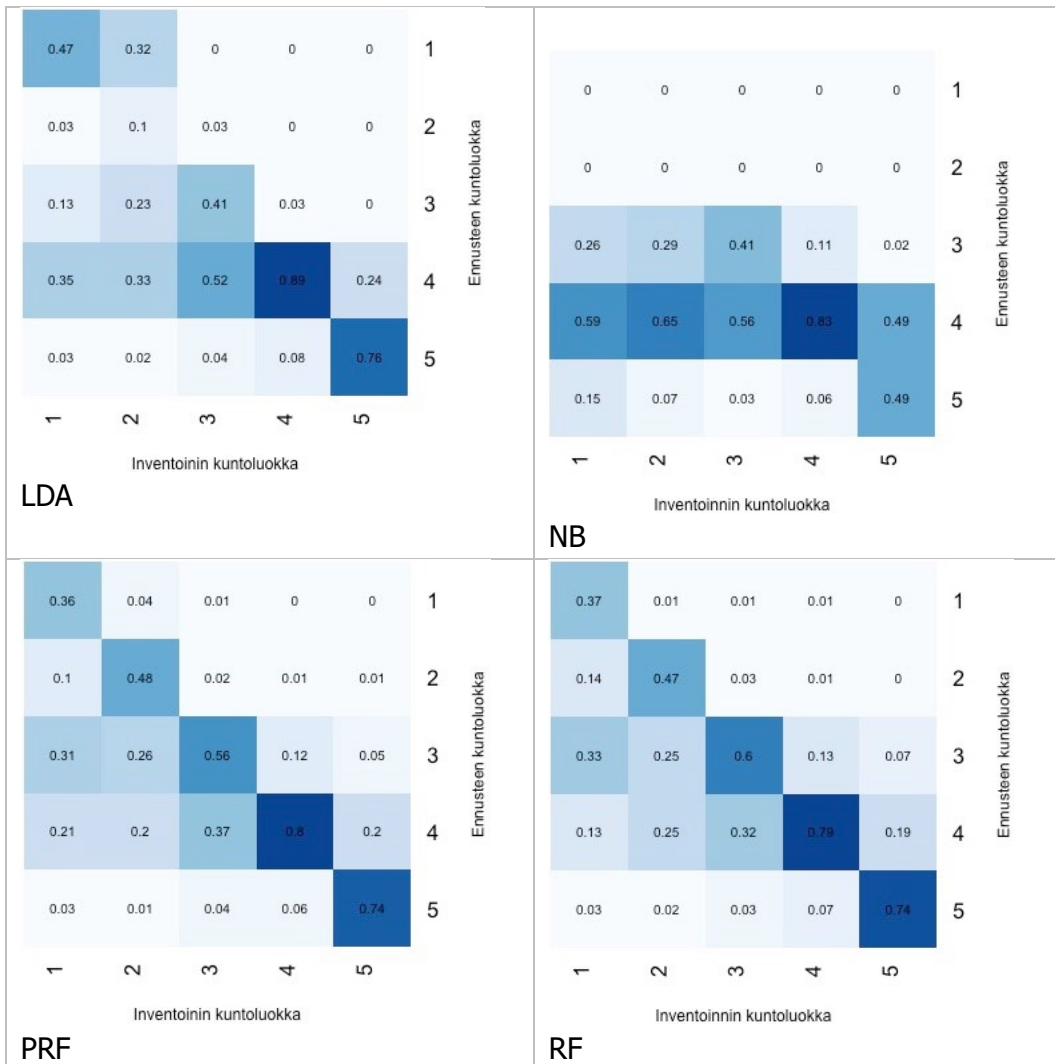
Eri mallien suorituskykyä arvioidaan usealla tavalla. Luokittelu- ja ennustemalleissa olennaista on mallien tulosten mahdollisimman pieni virhe. Virheistä on raportoitu virheen itseisarvon keskiarvo (Mean Absolute Error, MAE) ja ulkoinen tarkkuus (Accuracy). Ulkoinen tarkkuus on oikein menneiden luokittelujen lukumäärä jaettuna kaikkien luokittelujen lukumäärällä. Mallinnuksen tulokset on näiden osalta esitetty taulukossa 12.

Taulukko 12. Eri mallien virheet: A2K2.

Malli	Virheen itseisarvon keskiarvo testidatalla	Ulkoinen tarkkuus opetusdatalla	Ulkoinen tarkkuus testidatalla
LDA	0.396	0.649	0.669
PRF	0.380	0.693	0.690
ELM	0.643	0.483	0.483
RF	0.378	0.693	0.693
NB	0.535	0.577	0.585
EGBT	0.367	0.706	0.702

Luokitteluvirheet on kuvattu myös kuvan 14 mukaisilla sekaannusmatriiseilla (Confusion matrix), jotka kertovat kuntoluokakohtaisesti mallin antaman tarkkuuden. Vaaka-akselilla on todellinen inventointiarvo ja kuntoluokat 1 ja 5 välillä. Pystyakselilla on puolestaan ennusteet. Kunkin neliön sisällä oleva luku kuvaa luokittelutarkkuutta jakamalla ennustettuun luokkaan kuuluvat merkit tähän luokkaan inventoitujen lukumäärällä. Diagonaalilla on oikein menneet ennusteet.

Taulukko 14. Sekaannusmatriisit.



Yhteenvedon malleista voidaan todeta, että kuntoluokan 5 ennusteet ovat tarkimpia kaikilla malleilla. Parhaimmissa malleissa kuntoluokkien 1, 3 ja 4 ennusteet ovat keskenään melkein yhtä tarkkoja ja kuntoluokan 2 ennusteet ovat melkein kaikissa epätarkimpia.

Mallin virheen vaikutukset riippuvat mallin käyttötarkoituksesta. Mikäli mallia käytetään vuosittaisen tarvittavan rahoitustason ennustamiseen, niin olennaista olisi pystyä ennustamaan vaihdettaviksi tuomittujen liikennemerkkien lukumäärä oikein eli liikennemerkit, jotka aikaisemmin olivat vähintään kuntoluokassa 3 ja tulevaisuudessa alle kuntoluokan 3. Mikäli malli antaa systemaattisesti liian hyviä kuntoluokkaennusteita, niin rahoitustasoennuste jää todellista pienemmäksi ja päinvastoin. Mikäli ennuste jää pienemmäksi, niin osa liikennemerkeistä jää vaihtamatta tai rahoitusta tulisi vuoden aikana lisätä. Tässä tapauksessa tärkeintä on saada luokkien 1 ja 2 ennusteet tarkimmiksi. Mikäli ennustemalleja käytetään merkkien vaihdon ohjelmoinnissa, niin todellisuutta huonommat ennusteet aiheuttavat joko liian aikaisia liikennemerkkien vaihtoja tai turhaa ajoa vaihdettaviksi aiotuille liikennemerkeille. Toisaalta, jos liikennemerkkien kunto näyttää liian hyvää, niin liian huonokuntoisia merkkejä jää vaihtamatta.

4.5 Rahoitustarveanalyysin päivitys

Vuotuinen rahoitustarve arvioidaan ennustamalla kaikkien liikennemerkkien kunto-
luokituksen muuttuminen vuosien 2023-2031 välillä käyttäen Parallel Random Fo-
rest -menetelmää, joka opetettiin edellisten kappaleiden esityksen mukaisesti.
Kunnon ennustamisessa ennustettiin tyypilliselle inventointiaikaväleille eli vuosille
2027 ja 2031, että ennustettu kuntomuuttuja oli lähtötietona seuraavalle ja kun-
tomuuttujien arvoissa ei sallittu kunnon parantumista. Ennustetut liikennemerkkien
vaihdot ennustevuosille on oletettu jakautuvan tasaisesti ennusteiden välisille vuo-
sille. Ennusteissa ei otettu huomioon tulevaisuudessa mahdollisesti vaihdettavien
liikennemerkkien mahdollista kuntoluokan heikentymistä. Mallin tuloksia korjattiin
validointidatalla havaitulla luokitteluvirheellä Kaavan 3 mukaisesti.

$$N_{vaihto} = N_f + N(p_{f=3;i=1} + p_{f=3;i=2} + p_{f=4;i=1} + p_{f=4;i=2} + p_{f=5;i=1} + p_{f=5;i=2} - p_{f=1;i=3} - p_{f=1;i=4} - p_{f=1;i=5} - p_{f=2;i=3} - p_{f=2;i=4} - p_{f=2;i=5}) \quad (3)$$

jossa

- N_{vaihto} = vaihdettavien merkkien lukumäärä
 N_f = luokittelijan tulos vaihdettavien merkkien lukumäärästä
 N = kaikkien merkkien lukumäärä
 $p_{f=x;i=y}$ = validointidatan perusteella todennäköisyys, että merkin ennustettu kunto on luokassa x ja inventoitu kunto luokassa y

Lähtötilanne on esitetty taulukossa 13, missä on kunkin ELYn osalta vaihdettavaksi arvioitujen liikennemerkkien lukumäärä ja korjausvelka, joka on yhteensä yli 7 miljoonaa euroa.

Taulukko 13. Liikennemerkkien korjausvelka.

ELY	Lukumäärä	Hinta (Euroa)
Uusimaa	7 534	949 284 €
Varsinais-Suomi	5 877	740 502 €
Kaakkois-Suomi	2 970	374 220 €
Pirkanmaa	6 055	762 930 €
Pohjois-Savo	10 512	1 324 512 €
Keski-Suomi	6 365	801 990 €
Etelä-Pohjanmaa	5 675	715 050 €
Pohjois-Pohjanmaa	8 776	1 105 776 €
Lappi	4 728	595 728 €
Yhteensä	58 492	7 369 992 €

Taulukossa 14 on esitetty tiedot vaihdettujen liikennemerkkien lukumääristä HARJA-järjestelmästä.

Taulukko 14. Vaihdetujen liikennemerkkien lukumäärä.

Vuosi	Määrä
2010-2011	15 172
2011-2012	15 770
2012-2013	16 740
2013-2014	23 145
2014-2015	22 726
2015-2016	23 241
2016-2017	16 750
2017-2018	6 628
2018-2019	8 715
2019-2020	10 695
2020-2021	10 611
2021-2022	5 174

Taulukossa 15 on esitetty ennusteet vaihdettavien lukumääristä vuosina 2023–2026 ELY-alueittain ja taulukossa 16 puolestaan vuosien 2027–2030 osalta. Lukumääräarvot ovat eri vuosien välillä samat inventointikierroksen aikana, sillä luokittelemennuste on tehty 4 vuoden välein, koska tämä on tyypillinen inventointifrekvenssi lähtödatalla ja mallin oletetaan antavan luotettavimmat tulokset näille aikaväleille. Ajan ollessa merkittävin muuttuja ja luotettavaa kunnon heikentymistietoa lyhyellä aikavälillä ei ole saatavilla ja muutenkin luokkien erottelutarkkuus lyhyellä aikavälillä on huono.

Taulukko 15. Vaihdettavien merkkien lukumäärä vuosina 2023–2026.

ELY	2023	2024	2025	2026
Uusimaa	1 825	1 825	1 825	1 825
Varsinais-Suomi	1 389	1 389	1 389	1 389
Kaakkois-Suomi	676	676	676	676
Pirkanmaa	1 172	1 172	1 172	1 172
Pohjois-Savo	2 129	2 129	2 129	2 129
Keski-Suomi	1 145	1 145	1 145	1 145
Etelä-Pohjanmaa	1 283	1 283	1 283	1 283
Pohjois-Pohjanmaa	1 726	1 726	1 726	1 726
Lappi	1 031	1 031	1 031	1 031
Yhteensä	12 376	12 376	12 376	12 376

Taulukko 16. Vaihdeettävien merkkien lukumäärä vuosina 2027–2030.

ELY	2027	2028	2029	2030
Uusimaa	2 134	2 134	2 134	2 134
Varsinais-Suomi	2 254	2 254	2 254	2 254
Kaakkois-Suomi	808	808	808	808
Pirkanmaa	1 326	1 326	1 326	1 326
Pohjois-Savo	2 454	2 454	2 454	2 454
Keski-Suomi	1 328	1 328	1 328	1 328
Etelä-Pohjanmaa	1 503	1 503	1 503	1 503
Pohjois-Pohjanmaa	2 016	2 016	2 016	2 016
Lappi	1 358	1 358	1 358	1 358
Yhteensä	15 181	15 181	15 181	15 181

Taulukoissa 17 ja 18 on esitetty liikennemerkkien vaihdon kustannukset, jotka ovat yhteensä noin 14 miljoonaa euroa vuosina 2023–2030.

Taulukko 17. Vaihdeettävien merkkien kustannukset vuosina 2023–2026.

ELY	2023	2024	2025	2026
Uusimaa	229 950 €	229 950 €	229 950 €	229 950 €
Varsinais-Suomi	175 014 €	175 014 €	175 014 €	175 014 €
Kaakkois-Suomi	85 176 €	85 176 €	85 176 €	85 176 €
Pirkanmaa	147 672 €	147 672 €	147 672 €	147 672 €
Pohjois-Savo	268 254 €	268 254 €	268 254 €	268 254 €
Keski-Suomi	144 270 €	144 270 €	144 270 €	144 270 €
Etelä-Pohjanmaa	161 658 €	161 658 €	161 658 €	161 658 €
Pohjois-Pohjanmaa	217 476 €	217 476 €	217 476 €	217 476 €
Lappi	129 906 €	129 906 €	129 906 €	129 906 €
Yhteensä	1 559 376 €	1 559 376 €	1 559 376 €	1 559 376 €

Taulukko 18. Vaihdeettävien merkkien kustannukset vuosina 2027–2030.

ELY	2027	2028	2029	2030
Uusimaa	268 884 €	268 884 €	268 884 €	268 884 €
Varsinais-Suomi	284 004 €	284 004 €	284 004 €	284 004 €
Kaakkois-Suomi	101 808 €	101 808 €	101 808 €	101 808 €
Pirkanmaa	167 076 €	167 076 €	167 076 €	167 076 €
Pohjois-Savo	309 204 €	309 204 €	309 204 €	309 204 €
Keski-Suomi	167 328 €	167 328 €	167 328 €	167 328 €
Etelä-Pohjanmaa	189 378 €	189 378 €	189 378 €	189 378 €
Pohjois-Pohjanmaa	254 016 €	254 016 €	254 016 €	254 016 €
Lappi	171 108 €	171 108 €	171 108 €	171 108 €
Yhteensä	1 912 806 €	1 912 806 €	1 912 806 €	1 912 806 €

Mikäli liikennemerkkejä ei vaihdettaisi lainkaan tulisi arvioitu kunto kehittymään 5-portaisella kuntoluokituksella kuten taulukossa 19 on esitetty.

Taulukko 19. Liikennemerkkien keskimääräinen kunto ilman huonokuntoisten vaihtoa.

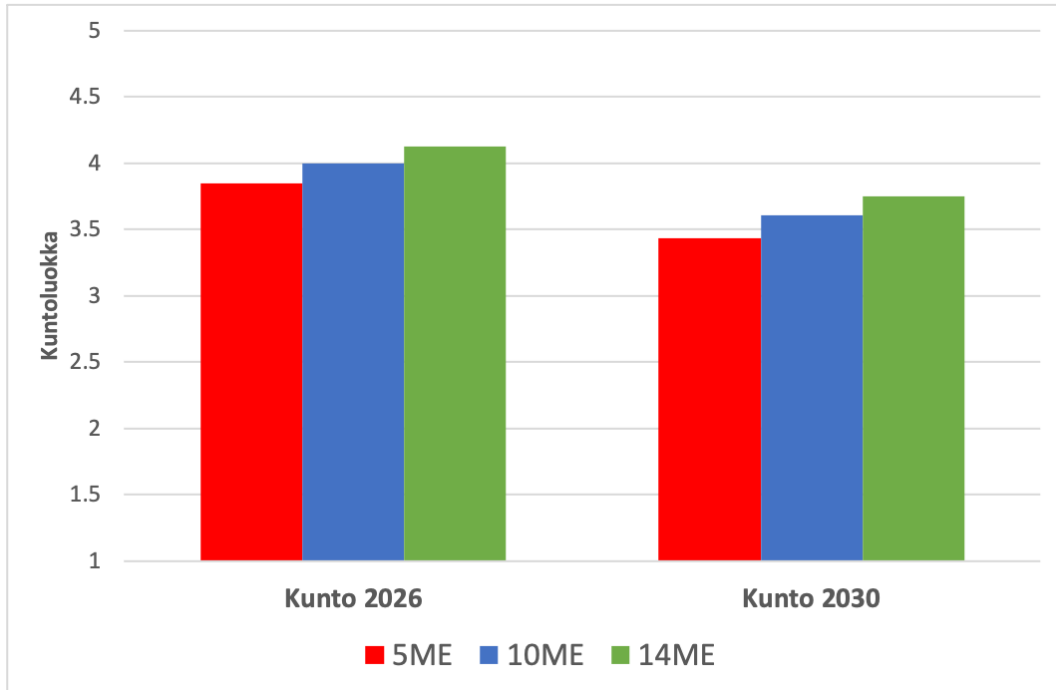
ELY	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Uusimaa	3.86	3.81	3.76	3.71	3.66	3.58	3.51	3.43	3.36
Varsinais-Suomi	3.89	3.81	3.77	3.73	3.68	3.57	3.47	3.36	3.25
Kaakkois-Suomi	4.07	3.86	3.86	3.86	3.86	3.73	3.60	3.46	3.33
Pirkanmaa	3.84	3.80	3.74	3.68	3.62	3.52	3.42	3.31	3.21
Pohjois-Savo	3.85	3.81	3.77	3.72	3.68	3.57	3.45	3.34	3.23
Keski-Suomi	3.68	3.77	3.68	3.58	3.49	3.40	3.31	3.22	3.13
Etelä-Pohjanmaa	3.83	3.81	3.76	3.71	3.66	3.56	3.46	3.36	3.26
Pohjois-Pohjanmaa	4.05	3.85	3.85	3.85	3.84	3.70	3.55	3.40	3.26
Lappi	4.02	3.85	3.85	3.84	3.84	3.69	3.54	3.39	3.24
Yhteensä	3.90	3.82	3.78	3.74	3.70	3.59	3.48	3.37	3.26

Mikäli liikennemerkkejä vaihdetaan ennusteen mukaisesti, arvioitu kunto kehittyisi kuten taulukossa 20 on esitetty.

Taulukko 20. Liikennemerkkien keskimääräinen kunto huonokuntoisten vaihdon kanssa.

ELY	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Uusimaa	3.86	3.89	3.93	3.96	3.99	3.93	3.87	3.81	3.74
Varsinais-Suomi	3.89	3.93	3.97	4.01	4.04	3.97	3.90	3.83	3.75
Kaakkois-Suomi	4.07	4.11	4.15	4.19	4.23	4.11	3.99	3.88	3.76
Pirkanmaa	3.84	3.91	3.98	4.05	4.12	4.03	3.94	3.85	3.76
Pohjois-Savo	3.85	3.92	3.99	4.06	4.14	4.04	3.94	3.84	3.74
Keski-Suomi	3.68	3.79	3.89	3.99	4.10	4.02	3.95	3.88	3.80
Etelä-Pohjanmaa	3.83	3.88	3.93	3.98	4.03	3.95	3.86	3.78	3.69
Pohjois-Pohjanmaa	4.05	4.12	4.20	4.27	4.34	4.21	4.08	3.95	3.82
Lappi	4.02	4.08	4.13	4.19	4.24	4.11	3.99	3.86	3.73
Yhteensä	3.90	3.95	4.01	4.07	4.12	4.03	3.94	3.85	3.75

Kuvassa 15 on esitetty kolme rahoitusskenaarioita ja arvioidut vaikutukset liikennemerkkien kuntoon. Rahoitustasoiksi on valittu 5 miljoonaa euroa, 10 miljoonaa euroa ja 14 miljoonaa euroa.



Kuva 15. Rahoitusskenaariot.

Liikennemerkkien inventoinnin osalta voisi mahdollisesti säästää jättämällä inventoimatta merkit, joiden kuntoluokituksen ennustetaan pysyvän hyvänä, jolloin inventointiväli voisi olla esimerkiksi 8 vuotta. Taulukossa 21 on esitetty näiden liikennemerkkien lukumääräarviot.

Taulukko 21. Kuntoluokissa 4 ja 5 olevien merkkien lukumäärät vuoteen 2030.

ELY	2029	Osuus kokonaismäärästä
Uusimaa	61 865	56.7 %
Varsinais-Suomi	40 757	50.1 %
Kaakkois-Suomi	21 093	55.7 %
Pirkanmaa	24 941	48.3 %
Pohjois-Savo	49 951	49.2 %
Keski-Suomi	19 740	45.4 %
Etelä-Pohjanmaa	35 078	49.1 %
Pohjois-Pohjanmaa	42 220	53.9 %
Lappi	26 697	49.0 %
Yhteensä	322 342	51.1 %

5 Kuntoinventointien kehittäminen

5.1 Liikennemerkkien automaattinen tunnistus

Mikäli kuvauksessa päädytään videokuvaukseen, kuva-aineiston luominen liikennemerkkeistä onnistuu kustannustehokkaimmin siten, että videokuvista tunnistetaan liikennemerkkit automaattisesti. Tunnistusta varten tarvitaan kuvantunnistus-algoritmi, joka tunnistaa liikennemerkkin ja tyypin.

Liikennemerkkien tunnistamiseksi luotiin testialgoritmi, jota varten kerättiin kuvia 73 erityyppisestä liikennemerkistä, jotka luokiteltiin. Aineiston analysoinnin jälkeen valittiin jatkotyöskentelyn pohjaksi 24 luokkaa. Merkit koostuivat usein esiintyvistä merkeistä, ja jokaista luokkaa täydennettiin manuaalisesti Internetistä otetuilla kuvilla. Jokaiselle luokalle saatiin vähintään 70 ainoalaatuista valokuvaa. Kuvia oli yhteensä 2 121.

Manuaalisessa tietojen merkintävaiheessa tehtiin monikulmiot kuvien jokaisen liikennemerkkin ympärille (kuva 16) ja merkittiin oikeat liikennemerkkien luokat sekä suunnat. Tämän vaiheen jälkeen kaikissa 2 121 valokuvassa oli polygoneja ja ne oli merkitty ja suunnattu oikein.

Kuvat valmisteltiin automaattista tunnistusta varten seuraavin vaihein:

- Annotaation oikeellisuuden tarkistaminen
- Kuvien koon muuttaminen
- Värinkorjauksen suorittaminen
- Annotaatioiden muuttaminen mallin syöttötietojen vaatimusten mukaisesti
- Tietojen lisäyksen (data augmentation) suorittaminen lopullisen mallin suorituskyvyn parantamiseksi

Tietojen lisäys on tekniikka, jota käytetään lisäämään tietojoukon monimuotoisuutta soveltamalla kuviin satunnaisia mutta realistisia muunnoksia, kuten kiertoa, zoomausta tai kääntämistä. Tätä tekniikkaa käytetään parantamaan lopullisen mallin suorituskykyä luomalla useampia muunnelmia samoista tiedoista.

Tietojen käsittelyn jälkeen luotiin valmis tietojoukko mallin opetusta varten.



Kuva 16. Liikennemerkkien merkintä valokuvista.

Lopullinen tutkimustietoaineisto jakautui seuraavasti:

- 4500 opetuskuva
- 419 validointikuva
- 215 testikuva

Tärkeä osa työtä oli automatisoida taustan poistoprosessi jo opetetuista kuvista (kuva 17). Tämä oli keskeinen vaihe koko prosessissa, koska se paransi kohteen havaitsemisen tarkkuutta poistamalla kaikki taustan häiriötekijät.



Kuva 17. Liikennemerkkien taustan poisto.

Kaikki kuvat eivät kuitenkaan sovellu automaattiseen käsittelyyn. Joissakin tapauksissa algoritmi ei pysty poistamaan tehokkaasti tiettyjä esineitä taustalta, kuten pylviä tai liikennemerkkien kiinnikkeitä. Nämä kuvat vaatisivat ylimääräistä manuaalista käsittelyä halutun tuloksen saavuttamiseksi. Tämä manuaalinen prosessi voi olla aikaa vievä ja vaatii lisäresursseja.

Taustan poistamisen jälkeen seuraava askel oli poistaa kyltin vinous alkuperäiseen kulmaan ja mittasuhteisiin (kuva 18). Kuvan oikaisuprosessi sisälsi geometrisia muunnoksia kuten kierto, skaalaus ja vinouttaminen. Nämä laskelmat auttoivat korjaamaan kuvan mahdolliset vääristymät ja kohdistamaan merkin alkuperäiseen asentonsa.

Joidenkin liikennemerkkien osalta ongelmana oli, ne olivat niin vinoja, että niitä oli mahdotonta oikaista. Kylttien poikkeama voi johtua kuvaustavasta, merkin kunnosta tai ulkoisista tekijöistä kuten valaistuksesta.



Kuva 18. Liikennemerkkien vinouden poisto.

Tunnistusalgoritmina käytettiin konvoluutioneuroverkkoja. Mallia opetettiin opetusdatajoukolla ja mallin lopullinen testitietojen tarkkuus oli 98,4 %. Kuvassa 19 on esitetty esimerkki lopullisesta tunnistuksesta. Liikennemerkkitunnistus algoritmin opetuksessa on suositeltavaa käyttää vähintään 50 kuvaa jokaisesta liikennemerkkityypistä.



Kuva 19. Esimerkkejä tunnistetuista liikennemerkkeistä.

Automaattisen kuntoluokituksen tunnistamiseen tarvitaan suurempi otos liikennemerkkikuvia erilaisine vaurioineen. Tunnistusalgoritmin kehittäminen kannattaa tehdä sitten, kun liikennemerkkien kuvaustapa on päätetty ja kuvamateriaalia on saatavilla.

5.2 Havaitut puutteet inventointitiedoissa

Liikennemerkkien inventointitiedoista on puuttunut yksilöivä tunniste, valmistuspäivämäärä, asennuspäivämäärä, sijaintikoordinaatit sekä inventoivan tahon yksilöivä tunniste. Myös kalvon tyypin osalta tiedoissa on merkittäviä puutteita. Yksilöivä tunniste on sikäli tärkeä, että tämän avulla voidaan varmemmin verrata nimenomaan samaa liikennemerkkiä eri vuosien inventointitietojen osalta. Valmistuspäivämäärä ja asennuspäivämäärä ovat erityisen tärkeitä, mikäli tarkempaa tiedolla johtamista halutaan tehdä käyttäen ennustemalleja, sillä liikennemerkkin ikä on tärkein jatkuvaan rappeutumiseen vaikuttava tekijä. Sijaintikoordinaatit on hyvä olla mukana varmuuden vuoksi mahdollisten datan laadun varmistamiseksi. Inventoivan tahon yksilöivä tunniste on erityisen tärkeä, mikäli halutaan varmistaa in-

ventointitietojen sekä tulevaisuudessa käytettävien ennustemallien laatu. Olisi suotavaa, että myös inventoinnin historiatieto on keskitetysti samassa tietokannassa saman käyttöliittymän kautta haettavissa.

5.3 Havaitut laatuongelmat inventointitiedoissa

Inventointitietojen laatuongelmia olivat liikennemerkkien sijaintien epätarkkuuksien lisäksi erityisesti kuntoinventointitiedoissa. Kuntoinventointitietojen osalta yksi ongelma on puuttuvat inventointitiedot joidenkin liikennemerkkien osalta. Suurempi ongelma on kuntoluokituksen laatu ihmissilmin tehtynä ja vaihtelu eri inventoijien toimesta tehtynä. Tämä ilmenee siten, että eri vuosien kuntoluokituksessa ei useiden liikennemerkkien osalta näytä tapahtuneen muutosta, eikä ole luotettavaa keinoa todentaa, että onko inventointi tehty riittävällä vakavuudella ja tarkkuudella.

5.4 Havaitut ongelmat kuva-aineistossa

Kuva-aineiston tutkiminen Extranetissä sekä Väyläviraston Tiekuvausohjeen tarkastelu osoittavat, että nykyiset ohjeet eivät ole riittäviä liikennemerkkien inventointiin. Kuvausohjeessa mainittu resoluutio 3840x2160 on toki riittävä tunnistamaan liikennemerkkejä sekä niiden kuntoa sekä ihmissilmin, että konenäön avulla, mutta minimi kuvaustiheyden ollessa 20+-5 metriä on selvää, että tulee olemaan liikennemerkkejä, jotka ovat yksinkertaisesti liian kaukana kamerasta kuvaushetkellä.

Kuva-aineiston tutkiminen osoittaa myös tietyissä tapauksissa kuvien resoluution riittämättömyyden, vaikka kuvaus olisikin toteutettu sen jälkeen, kun Tiekuvausohje on otettu käyttöön.

Esimerkkinä (kuvat 21 ja 22) tästä kuvausurakka "Tiekuvat 2022 EPO" (Tiestötieto). Ainakin tiellä 697 olevat kuvat ovat resoluutioltaan vain 1024x768.



Kuva 20. Kuva liian alhaisella resoluutiolla.



Kuva 21. Kuva hyvällä resoluutiolla, mutta liian kaukana.

5.5 Kuvausten mahdolliset toteutustavat

5.5.1 Videokuvaus

Tieverkon videokuvaus on erittäin hyvä tapa toteuttaa liikennemerkkiaineiston tuottaminen. Mahdollisia tapoja videon kuvaamiseen ovat pienet action-kamerat kuten GoPro, älypuhelimien kamerat tai kalliimmat erikoiskamerat, joita urakoitsijoilla on mahdollisesti käytössään.

Suurin haaste videokuvauksessa liittyy kameroiden riittävään resoluutioon sekä kameran kohdentamiseen oikein. Resoluution tulisi olla minimissään 3840×2160 . Vaikka uusimmissa älypuhelimissa resoluutio on tarpeeksi tarkka myös mahdolliseen konenäön tuottamaan kuntotietoon, voi haasteeksi muodostua se, että kamera on ajoneuvon sisällä. Tuulilasin heijastukset voivat vaikuttaa huomattavasti ja myös kohdentaminen on hankalampaa verrattuna esimerkiksi GoPro-kameraan ajoneuvon katolla. Myös riittävän tarkka GPS vaaditaan, mutta alle kaksi vuotta vanhat puhelimet ja tuoreimmat GoPro-mallit kykenevät jo täysin riittävään tarkkuuteen, puhumattakaan järeämmistä kameroista.

Videokuvauksen yksi haaste, varsinkin korkearesoluutioisen videomateriaalin kanssa, on sen suuri koko. Jos videokuvaus toteutettaisiin koko Väyläviraston hallinnoimalla verkolla lukuun ottamatta kevyen liikenteen väyliä, eli noin 72 000 kilometrillä ja resoluutio olisi 3840×2160 tulisi dataa 60 kilometrin tuntivauhdilla hieman yli 25 teratavua. Tämän määrän varastointi vaatii tehokkaan serverin ja nopean internetyhteyden, jotta sen käsitteleminen olisi mielekäästä.

Toki on mahdollista tallentaa pelkästään leikatut kuvat liikennemerkeistä, ilman muuta dataa mutta tällöin menetetään hyöty muusta kuva-aineistosta. Tämä myös vaatisi kehitystyötä ja tavan, jolla kuvista saadaan leikattua liikennemerkit erikseen. Myös videon pilkkominen kuviksi ja vain jokaisen liikennemerkin kohdalta kuvan tallentaminen on mahdollista.

Toinen, tosin pienempi, haaste liittyy myös datan käsittelyyn. Videoista pitäisi pystyä etsimään ne kohdat, joissa on liikennemerkki. Tämä vaatii jonkin verran kehitystyötä, mutta tämä ei ole suuri kompastuskivi.

Jos videokuvaus toteutettaisiin GoPro-kameralla, tulisi se asettaa ajoneuvon katolle ja suunnata tien reunaan kohti, jotta kuva olisi mahdollisimman läheltä liikennemerkkiä. Tämä helpottaa huomattavasti sekä ihmissilmin tehtävää kuntoinventointia, että konenäön avulla tehtävää kuntoinventointia. Jotta videokuvauksesta saataisiin mahdollisimman paljon hyötyä, voitaisiin samalla kuvata myös toisella kameralla, joka olisi suunnattu kohtisuoraan tiehen. Tästä voitaisiin tehdä myös päällysteen kuntoarviota, sekä saataisiin myös muita omaisuuseriä inventoituja, kuten meluaitoja ja kaiteita.

Videokuvaaminen on myös turvallisuuden kannalta parempi vaihtoehto, kuin pysähdellä ja ottaa valokuvia jokaisesta liikennemerkestä. Tämä korostuu varsinkin korkeamman nopeuden teillä. Liikenneturvallisuus on myös yksi pääsyy, miksi emme välttämättä suosittelisi joukkoistamista tämän tiedon keräämiseen muualta kuin kevyen liikenteen väyliltä, joilla nopeudet ovat maltillisempia ja etäisyydet lyhyempiä.

5.5.2 Valokuvaus

Valokuvaus tieverkolla on toinen tapa toteuttaa liikennemerkkien inventointia. Verrattuna videokuvaukseen siinä on kuitenkin tiettyjä aspekteja, jotka eroavat videokuvauksesta. Valokuvauksen voi toteuttaa kahdella eri tavalla, joko pysähtymällä jokaisen liikennemerkin kohdalla ja nousemalla ajoneuvosta ottamaan liikennemerkestä kuvan, tai asettamalla GoPron samalla tavalla ajoneuvon katolle osoittamaan viistoon ja ajastamaan sen ottamaan kuvia puolen sekunnin välein, joka on tihein mahdollinen kuvausväli.

Molemmissa tavoissa on kuitenkin omat ongelmansa. Pysähtyminen on paitsi huomattavasti hitaampaa, myös liikenneturvallisuuden kannalta vaarallisempaa eikä sitä käytännössä voi toteuttaa moottoriteillä. Ajastetuissa kuvissa taas ongelmana on se, että välttämättä kuvaa ei saada sellaisesta kohdasta, jossa liikennemerkki näkyy tarpeeksi selkeästi. Tämä on ongelma erityisesti kovemmissa nopeuksissa.

Toisaalta tiedon määrä on pienempi. GoProlla otettujen kuvien resoluutio on 5568x4176 pikseliä, mutta tämän saa pienemmäksi. Jos kuvien resoluutio on 3840x2160 ja niitä otetaan puolen sekunnin välein koko Väyläviraston hallinnoimalta tieverkolta, tarvittaisiin tallennustilaa noin 13 teratavua, eli noin puolet siitä, mitä videokuvauksessa.

Tiedon määrä olisi vieläkin pienempi, jos kuvat otetattisiin pysähtymällä, sillä silloin kuvia tulisi vain jokaisesta liikennemerkestä eli yhteensä noin 615 000 kuvaa, joka olisi vain noin teratavun verran tallennustilaa.

5.5.3 360° -kuvaus

Kolmas vaihtoehto liikennemerkkien inventointiin on 360° -kuvaus. Tämän voi toteuttaa joko videona tai valokuvina ja oli tapa kumpi tahansa, on se kallein vaihtoehtoista, mutta toisaalta tarjoaisi myös eniten dataa. Se myös vaatii erityisiä kameroita, joita ei välttämättä ole niin helposti saatavilla.

Etuna 360° -kuvauksessa olisi tiedon määrä, josta pystyttäisiin inventoimaan helposti lähes kaikki tieverkon omaisuususerät. Se myös visualisoisi selkeimmin väylän ympäristön ja tuottaisi arvokasta aineistoa väylän ylläpitäjälle. Sitä voisi hyödyntää myös muiden organisaatioiden toimesta.

Ongelmaksi muodostuu korkean hinnan lisäksi myös valtavat tiedostokoot. Esimerkiksi yksi 360° -kuva, jonka resoluutio on 7680 x 3840 on kooltaan viisinkertainen tavalliseen kuvaan verrattuna. Videoiden koko olisi luonnollisesti vieläkin suurempi ja näiden tallennustila olisi jo merkittävä menoerä.

5.5.4 Suositeltu kuvaustapa ja alustavat kuvausspekstit

Tulevissa kuvauksissa on olennaista, että kuva-aineisto vastaa suunniteltuihin tarpeisiin. Liikennemerkkien osalta on osoitettavissa seuraavat tarpeet kuva-aineistolle:

- Automaattinen kuntoluokitus
- Laadunvarmistus

Kuvauksen toteuttamisen näkökulmasta seuraavat seikat ovat olennaisia:

- Laatu
- Luotettavuus
- Vaivattomuus
- Kustannustehokkuus
- Automatisoitavuus

Esimerkiksi GoPro Hero 7:n 2.7K -kameralla otettuna kuvat jäävät liian pieniksi liikennemerkkien kunnan arvioimiseksi, vaikka kamera olisi sijoitettu ajoneuvon katolle oikealle puolelle ja suunnattu tien reunoille. Onko 4K -kamera tähän riittävä? GoPro Hero 10:n tuottamat kuvat ovat laadukkaampia, mutta varsinkin moottoreilla, ovat kuvat hieman liian kaukaa, johtuen leveämmistä pientareista, jolloin kunnan arviointi muuttuu hankalammaksi. Konenäölle tämä ei välttämättä ole ongelma, mutta se vaatii lisää tutkimuksia. Videon ottaminen helpottaisi tätä ongelmaa, koska siitä voitaisiin jälkiprosessoinnin avulla ottaa tarvittavat kohdat, joissa liikennemerkki näkyy tarpeeksi selvästi.

5.5.5 Yhteenveto

Taulukossa 22 on yhteenveto eri kuvaustavoista, käytettävästä laitteesta tallennustilasta ja soveltamisesta muihin omaisuuslajien inventointiin.

Taulukko 22. Kuvausvaihtoehdot.

Kuvaustapa	Laite	Tallennustila koko tieverkolle	Soveltaminen muihin omaisuuslajeihin
Video tieverkosta	GoPro / Älypuhelin / muu kamera	25 Teratavua	Jos kamera on ajoneuvon katolla / konepellillä
Valokuvat tieverkosta	GoPro / Älypuhelin / muu kamera	13 Teratavua	Jos kamera on ajoneuvon katolla / konepellillä
Valokuvat liikennemerkeistä	GoPro / Älypuhelin / muu kamera	1 Teratavu	Jos kamera on ajoneuvon katolla / konepellillä
360° - kuvat tieverkosta	360° kamera	65 Teratavua	Kyllä
360° - video tieverkosta	360° kamera	125 Teratavua	Kyllä

6 Johtopäätökset

Liikennemerkeistä on melko kattavasti tietoja saatavilla, mutta isoin kysymysmerkki on inventointien laatu, johon tulisi jatkossa kiinnittää huomiota. Pyrkimyksenä tulisi olla kohti konenäköpohjaista inventointia. Tätä ennen tulisi tulevista inventoinneista olla saatavilla inventoijan yksilöivä tunniste, liikennemerkin yksilöivä tunniste sekä GPS-koordinaatit. Inventointia tehdessä ei tulisi vanhat kuntotiedot olla suoraan kopioitavissa uusiksi.

Projektin aikana huomattiin, että Tietovelhossa olevat tietoaineistot ovat hyödyllisiä ennustemallien tekoon ja tulokset ovat rohkaisevia. Mallien käytännön tulokset ja käyttökelpoisuus tulisi testata todellisessa toiminnassa, mikä mahdollistaisi myös mallien mahdollisen parantamisen jatkossa.

Tietoaineiston osalta taulukossa 23 on esitetty havaitut vahvuudet ja heikkoudet.

Taulukko 23. Käytettyjen tietojen heikkoudet ja vahvuudet.

Vahvuudet	Heikkoudet
<ul style="list-style-type: none"> Liikennemerkki-inventaario saatavilla (lähes) kaikista liikennemerkeistä Kuntotieto liikennemerkeistä on hyvin kattavaa Velhossa (Tierekisterissä) on kattavasti muita tietoja, joita kannattaa käyttää hyväksi 	<ul style="list-style-type: none"> Liikennemerkkien kalvotietoa ei ole kattavasti saatavilla Liikennemerkeillä ei ole yksilöivää tunnistetta Liikennemerkkien inventoijalla ei ole yksilöivää tunnistetta Liikennemerkeillä ei koordinaattitietoa Liikennemerkkien asennus- tai valmistuspäivämäärä ei ole tiedossa Liikennemäärät eivät olleet kaikkien teiden osalta saatavilla Kaikista liikennemerkeistä ei ollut kunto- luokitustietoa Liikennemerkkien kuntoluokituksen laadussa ongelmia Liikennemerkkien todellisten vaihtomäärätietojen hallinnassa ongelmia Liikennemerkkien kuntoluokituksen historiatietojen hallinnassa ongelmia Nykyinen kuvamateriaali on osittain laadultaan heikkoa ja ei kattavaa

Satunnaismetsäpohjainen luokittelumalli soveltuu kunnan ennustamiseen, mutta tulosten luotettavuus riippuu lähtötietojen laadusta. Kuntotiedon laatuun tulee kiinnittää erityistä huomiota tulevaisuudessa.

Projektissa luotuja malleja voidaan soveltaa pitkän aikavälin rahoituksen suunnittelussa ja liikennemerkkien kunnossapidon strategisessa analyysissä valitsemalla tuleva tavoitetaso ja laskemalla kustannukset. Lisäksi mallien avulla voidaan rahoitus jakaa ELY-alueittain.

Ennustemalleja voidaan käyttää myös liikennemerkkien vaihtojen suunnittelussa sekä inventointien optimoinnissa. Tämä kuitenkin edellyttää joko nykyisten urak-

kasopimusasiakirjojen muuttamista tai urakoitsijoiden toimintaa mallien hyväksikäytössä. Suositeltavaa on luoda mallit kaikkien ELYjen ja urakoitsijoiden käyttöön tarkoitettuun tietojärjestelmään, jonka avulla liikennemerkkien vaihtovuosi voidaan ennustaa ja tietoa hyödyntää töiden suunnittelussa.

Inventointien kehittäminen kohti automaatiota voi tarjota usein päivittyvää ajantasaista kuntotietoa liikennemerkeistä. Tällöinkin kuntoennusteista voi olla hyötyä töiden optimoinnissa siten, että samana vuonna vaihtoon arvioituja liikennemerkkejä vaihdetaan samalla alueella kattavasti sen sijaan, että varta vasten ajetaan yksittäistä liikennemerkkiä vaihtamaan. Ennusteet eivät löydä merkkejä, jotka ovat vaurioituneet esimerkiksi kolareiden tai ilkivallan seurauksena, joten inventoinneista ei tule myöskään kokonaan luopua.

6.1 Jatkotoimenpiteet

Työn tulosten perusteella suositellaan seuraavia toimenpiteitä:

1. Pilottiprojekti konenäköpohjaisen tunnistuksen edistämiseksi. Pilotissa voitaisiin testata sekä liikennemerkin tyyppin sekä kuntoluokan tunnistamista ja tarkkuutta uudella, kolmiportaisella luokituksella.
2. Pilottiprojektissa videokuvauus ja videoiden prosessointi osana inventointia. Kuvaamisen menetelmän uudistamisen osalta on suositeltavaa ottaa tarkemmat kuvat kaikista liikennemerkeistä, minkä automatisoimiseksi tulisi videoiden prosessointi systematisoida ja automatisoida.
3. Liikennemerkkien kuvaamisen uudistaminen. Kuvaamisessa suositellaan erillisiä kuvia varusteista ja tämä tulisi ottaa huomioon urakka-asiakirjoissa sekä tietojärjestelmissä.
4. Liikennemerkkien tietomallin uudistaminen. Liikennemerkkien osalta tulisi lisätä raportissa mainitut puutteet ja uudistaa inventointia.
5. Liikennemerkkien kuntoennustemallin implementointi käytäntöön.

Lähdeluettelo

Tikka, J., Hollmén, J.: Sequential input selection algorithm for long-term prediction of time series. *Neurocomputing* 71, 2604–2615 (2008).

Vaihdettavat liikennemerkit 2023–2026 urakka- alueittain³

Urakka-alueen numero	Urakka-alueen nimi	Merkkien lukumäärä	Vaihtokustannus
140	Hyvinkää	981	123 606 €
141	Hämeenlinna	1820	229 320 €
142	Espoo	897	113 022 €
143	Vantaa	782	98 532 €
144	Porvoo	1190	149 940 €
145	Mäntsälä	1395	175 770 €
146	Nummi	1059	133 434 €
147	Raasepori	823	103 698 €
148	Lahti	946	119 196 €
149	Heinola	781	98 406 €
237	Huittinen	986	124 236 €
238	Paimio	806	101 556 €
239	Salo	1366	172 116 €
240	Raisio	1203	151 578 €
241	Pori	997	125 622 €
242	Kankaanpää	479	60 354 €
243	Lieto	915	115 290 €
244	Harjavalta	396	49 896 €
245	Loimaa	761	95 886 €
246	Merikarvia	661	83 286 €
390	Kouvola	1345	169 470 €
391	Kotka	1151	145 026 €
392	Imatra	967	121 842 €
393	Lappeenranta	887	111 762 €
458	Parkano	726	91 476 €
459	Virrat	919	115 794 €
461	Orivesi	1583	199 458 €
462	Kangasala	1149	144 774 €
463	Sastamala	1160	146 160 €
464	Tampere	2078	261 828 €
844	Suonenjoki	582	73 332 €
845	Nilsjä	823	103 698 €
846	Pieksämäki	504	63 504 €
847	Kitee	1633	205 758 €
848	Iisalmi	845	106 470 €

³ Urakka-alueet ja numerointi: Väylä Extranet / Kilpailutustietojen latauspalvelu / Tilannepäivämäärä 25.02.2023

Urakka-alueen numero	Urakka-alueen nimi	Merkkien lukumäärä	Vaihtokustannus
849	Joensuu	1513	190 638 €
850	Mikkeli	797	100 422 €
851	Nurmes	1016	128 016 €
852	Juva	291	36 666 €
853	Ilomantsi	923	116 298 €
854	Kuopio	1207	152 082 €
855	Savonlinna	865	108 990 €
856	Pielavesi	898	113 148 €
857	Viinijärvi	1305	164 430 €
858	Kiuruvesi	424	53 424 €
931	Pihtipudas	486	61 236 €
932	Jämsä	353	44 478 €
933	Äänekoski	497	62 622 €
934	Karstula	1148	144 648 €
935	Keuruu	1834	231 084 €
936	Jyväskylä	3431	432 306 €
1065	Kauhajoki	754	95 004 €
1066	Vaasa	765	96 390 €
1067	Kokkola	641	80 766 €
1068	Seinäjoki	1473	185 598 €
1069	Lapua	1879	236 754 €
1070	Veteli	443	55 818 €
1071	Pietarsaari	400	50 400 €
1072	Alavus	661	83 286 €
1073	Kristiinankaupunki	833	104 958 €
1252	Kajaani	1588	200 088 €
1253	Pudasjärvi ja Taivalkoski	394	49 644 €
1254	Suomussalmi	319	40 194 €
1256	Kuhmo	403	50 778 €
1257	Kuusamo	424	53 424 €
1258	Puolanka	572	72 072 €
1259	Raahe ja Ylivieska	4189	527 814 €
1260	Ii	301	37 926 €
1262	Pyhäjärvi	1370	172 620 €
1263	Oulu	1316	165 816 €
1264	Siikalatva	340	42 840 €
1436	Kittilä	1371	172 746 €
1437	Ivalo	553	69 678 €
1438	Sodankylä	643	81 018 €
1439	Kemijärvi ja Posio	950	119 700 €

Urakka-alueen numero	Urakka-alueen nimi	Merkkien lukumäärä	Vaihtokustannus
1440	Kemi	694	87 444 €
1441	Ranua	252	31 752 €
1442	Pello	740	93 240 €
1442	Rovaniemi	1261	158 886 €

Lisäksi lähtödatan perusteella seuraavat urakka-alueet:

Urakka-alueen numero	Urakka-alueen nimi	Merkkien lukumäärä	Vaihtokustannus
129	Koskenkylä-Kotka	15	1 890 €
219	E18 Muurla-Lohja	15	1 890 €
389	Hamina-Vaalimaa	26	3 276 €
400	Kuntien hoidossa olevat merkit	519	65 394 €
1261	Oulun pyöräilyreitit	52	6 552 €



Väylävirasto
Trafikledsverket

ISSN 2490-0745
ISBN 978-952-405-080-7
www.vayla.fi