

SAVONIA

ammattikorkeakoulu

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIKAN JA LIIKENTEEN ALA

KONENÄÖN HYÖDYNTÄMINEN KUNNOSSAPIDOSSA

TEKIJÄ Simo Urjo

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Tutkinto-ohjelma Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä(t) Simo Urjo	
Työn nimi Konenäön hyödyntäminen kunnossapidossa	
Päiväys 17.03.2022	Sivumäärä/Liitteet 37/0
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Destia Oy, Oiva Huuskonen	
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyössä selvitettiin Jalonne Oy:n kehittämän konenäköjärjestelmän hyödyllisyyttä ja sen käyttöä Destian kunnossapidon hoitourakoissa. Järjestelmän tarkoitus on antaa työnjohdolle realistista tietoa urakka-alueen tilanteesta ja helpottaa fyysisten tietarkastuksien tarvetta. Työssä keskityttiin kahteen konenäköketjuun: lumisiin liikennemerkkeihin ja tien pintakelin tutkimiseen.</p> <p>Työssä käytiin läpi Destian Iin alueurakasta kerättyä aineistoa talvihoitokaudelta 2020-2021. Aineisto sisälsi kuvia, joista arvioitiin liikennemerkkien puhdistustarve sekä tien pintakelin laatua. Kuva-aineisto arvioitiin ihmissilmin, ja konenäkö teki oman arvion samasta aineistosta. Aineiston analysoinnin jälkeen tuotettiin tuloksia vertailevat taulukot.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena huomattiin, että konenäkö soveltuu ja onnistuu lumisten liikennemerkkien arvioinnissa hyvin. Tien pintakelin arvioinnissa onnistumisprosentti on huomattavasti huonompi. Sen osalta järjestelmä vaatii vielä lisää kehittämistä.</p>	
Avainsanat Konenäkö, Talvihoito, Kunnossapito, Hyödyntäminen	

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Degree Programme in Civil Engineering	
Author(s) Simo Urjo	
Title of Thesis Utilization of Machine Vision in Winter Road Maintenance	
Date 17 March 2022	Pages/Appendices 37/0
Client Organisation /Partners Destia Oy, Mr Oiva Huuskonen	
<p>Abstract</p> <p>The thesis investigated the usefulness of the machine vision system developed by Jalonne Oy and its use in Destia Oy's winter road maintenance. The purpose of the system is to provide the management with realistic information on the situation in an area under maintenance and to facilitate the need for physical road inspections. The work focused on studying the utilization of machine vision to find snowy traffic signs and to assess the condition of the road surface.</p> <p>The data was collected from one of Destia's regional maintenance contracts for the winter care period 2020–2021. The data included images that were used to detect the traffic signs to be cleaned from snow, as well as to assess the surface condition of the roads. The image material was evaluated with human eyes, and machine vision made its own evaluation of the same data. After the analysis of the data, tables comparing the results were produced.</p> <p>As a result of the thesis, it was noticed that machine vision is suitable and successful in evaluating snowy traffic signs. The success rate in evaluating the condition of the road surface was significantly worse. In this respect, the system needs further development.</p>	
<p>Keywords</p> <p>Machine vision, Winter maintenance, Utilization</p>	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO.....	7
1.1	Tausta ja tavoitteet.....	7
1.2	Destia Oy	7
1.3	Konenäön käyttö nykypäivänä	9
2	TIEN TALVIOHOITO	10
2.1	Talvihoitoluokitukset	10
2.2	Laatuvaatimukset talvihoitoluokituksissa.....	12
2.2.1	Tien lumisuuden määrittäminen	12
2.2.2	Tien kitka- arvon määrittäminen.....	13
2.2.3	Tien tasaisuuden määrittäminen.....	14
2.2.4	Lumen ja sohjon auraus.....	14
2.2.5	Liukkaudentorjunta	15
2.2.6	Kitka- arvojen vaatimukset	16
2.2.7	Tasaisuuden vaatimukset	16
2.2.8	Liikennemerkkit ja opasteet talvihoidossa.....	17
2.3	Tilannekuvan tarve kunnossapidossa.....	18
2.3.1	Kuva-aineiston lähteet	18
2.3.2	Konenäköratkaisut	20
3	TUTKIMUSASETELMA	23
3.1	Tutkimus ja tavoitteet	23
3.2	Konenäön suorituskyvyn varmuus	23
3.3	Konenäkötulosten hyödyllisyys tienhoidossa	23
4	TIETOPERUSTA	24
4.1	Konenäön tekninen peruserä	24
4.2	Konenäön suorituskyvyn arviointimenetelmät.....	24
5	TUTKIMUKSEN TOTEUTUS JA TULOKSET	26
5.1	Vertailuaineiston annotointi ja vertailutulos.....	26
5.1.1	Lumisten liikennemerkkien tulokset.....	27
5.1.2	Tien pintakelin tulokset	28
5.2	Hyödyllisyys tienhoidossa	33
6	KÄYTTÖKOHTAIDEN SOVELTUVUUDEN ARVIOINTI	34

6.1	Laatuvaatimukset.....	34
6.1.1	Nopeusvalvontakamerat.....	34
6.1.2	Lumivallit	34
6.1.3	Lumitilat.....	34
6.1.4	Sohjo-ojat	35
6.2	Soveltuvuuden arviointi	35
7	POHDINTA	36
	LÄHTEET	37

ESIPUHE

Opinnäytetyöni tekemisen mahdollisti Destia Oy, jota haluan kiittää. Kiitän myös Jalonne Oy:tä yhteistyöstä ja neuvoista aiheeseeni liittyen.

Lisäksi kiitän Pieksämäen alueurakan työnjohtoa, Kelikeskusta ja muita henkilöitä, jotka olivat mukana työni eri vaiheissa ja joustaneet kesätöiden aikataulussa kesän 2021 aikana.

Eriyiskiitos kuuluu Destian Kehittämispäällikkö Oiva Huuskoselle sekä opinnäytetyöni ohjaajalle Kai Auviselle.

Kuopiossa 2022

Simo Urjo

1 JOHDANTO

1.1 Tausta ja tavoitteet

Digitalisaatio on yleistymässä infra-alalla kovaa vauhtia. Teiden ja katujen kunnossapidossa laatua arvioidaan mittauksen lisäksi suurelta osin visuaalisina havaintoina. Koneenäön hyödyntäminen on siten välttämätöntä tiestön kunnan automaattisen seurannan toteuttamiseksi. Koska koneenäkö vaatii suuren laskentaresurssin, sen käyttäminen aiheuttaa kustannuksia. Kun niitä vastaan saadaan riittävän suuri hyöty, on automaattisella seurannalla mahdollista saavuttaa säästöjä ja muita hyötyjä.

Destialla on Ii:n kunnossapidon digiurakassa käytössä koneenäköjärjestelmä, jonka hyödyntämisen mahdollisuuksia arvioitiin opinnäytetyössäni. Opinnäytetyöni liittyy Destian ja Jalonne Oy:n aikaisempaan yhteistyöhön, jossa kehitettiin järjestelmä teiden kuvantamiseen.

Opinnäytetyöni on tutkimustyö, joka auttaa ohjelmiston jatkokehittämisessä ja kehitystyön tulosten käyttöönottamisessa. Työni tarkoituksena on saada huomioitua koneenäön hyödyntämisen edut ja selvittää sen epäkohdat. Työssäni keskitytään tarkkailemaan lumesta puhdistettavien liikennemerkkien ja tien pintakelin tietoa (lumisuus, liukkaus ja tasaisuus). Työssäni käytetään Iin kunnossapidonurakasta vuosien (2020–2021) talvesta kerättyä aineistoa. Tarkoituksena on saada urakan johtamiseen ja laadunvalvontaan merkittäviä säästöjä. Lisäksi järjestelmän pitäisi helpottaa työnjohtoa alihankinnan ohjauksessa ja työtoimenpiteiden kohdentamisessa.

1.2 Destia Oy

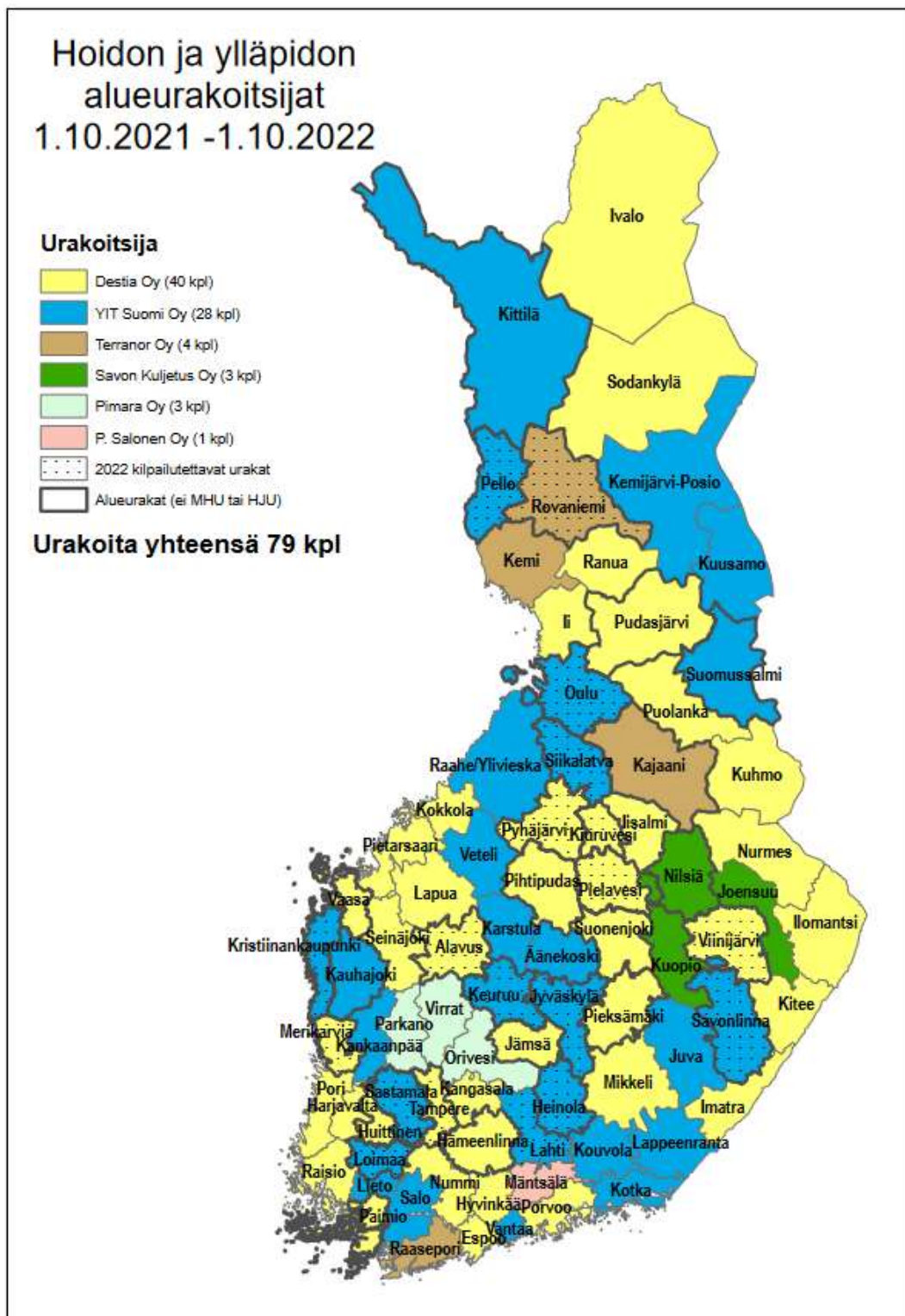
Opinnäytetyöni tilaajana toimi Destia Oy, joka on Suomen suurin infra-alan palveluyhtiö. Destian tarjoamat palvelut kattavat infran elinkaaren kokonaisuudessaan. Destia rakentaa, suunnittelee ja ylläpitää ratoja ja liikenneväyliä sekä liikenne- ja teollisuusympäristöjä. Destia on myös suurimpia teiden kunnossapidon toimijoita. (Destia Oy)

Destialla on ammattitaitoinen ja pitkä kokemus maanteiden hoidosta, sillä sen historia juontaa yli 200 vuoden päähän. Kustaa IV Adolfin perustama Kuninkaallinen Suomen Koskenperkausjohtokunta toimi Suomessa vuosina 1799–1809, jonka jälkeen vuonna 1925 perustettiin Tie- ja vesirakennushallitus (TVH). TVH:N jälkeen tuli TVL (Tie- ja Vesirakennuslaitos) ja myöhemmin Tielaitos. Tielaitoksen aikaan vesirakentaminen siirtyi Merenkulkuhallitukselle. Tielaitoksen varsinaiset tienpidon tehtävät ja hallinnolliset viranomaistehtävät eriteltiin tuotannoksi ja hallinnoksi vuonna 1998. Vuonna 2001 Tielaitos päättyi, kun se jakautui Tiehallinnoksi ja Tieliikelaitokseksi. Tiehallinto jatkoi tienpidon tilaajana. Tieliikelaitos siirtyi kilpailemaan urakoista muiden urakoitsijoiden kanssa ja vuonna 2005 Tieliikelaitos siirtyi kokonaan avoimeen kilpailuun. (Destia Oy)

Vuonna 2014 Ahlström Capital osti Destian Oy:n koko osakekannan, joten Destia siirtyi yksityisomistukseen. (Destia Oy)

Joulukuussa vuonna 2021 Destian omistus siirtyi Ahlström Capitalilta maailman johtaviin kuuluvan liikenneinfrastruktuurin ranskalaisen toimijan Colas konsernin omistukseen. (Destia Oy)

Destialla on tällä hetkellä 40 kpl kunnossapitourakoita hoidettavana, joka on 50 % koko suomen urakoista. Suomi on jaettu 79 kunnossapitourakka alueeseen. Kuvassa 1 on esitetty kunnossapitourakat ja urakoitsijat suomen kartalla.



KUVA 1. Maanteiden hoidon urakoitsijat kartalla 1.10.2021- 1.10.2022. (Väylä 2022)

1.3 Konenäön käyttö nykypäivänä

Ihmisen aistinvaraisien tekemien havaintojen käyttö on keskeisessä asemassa, kun pyritään parantamaan koneita, jotka pystyvät tekemään samanlaisia älykkäitä ratkaisuja ihmisten tavoin.

Konenäön tarkoituksena on saada kone oppimaan ja ymmärtämään kameran tai sensorin kuvaaman sisällön tietoa ja käyttää sitä erilaisissa sovelluksissa. Tarkoituksena on, että kone pystyy tunnistamaan kuvasta kohteita ja määrittämään niiden asennot ja sijainnit sekä tapahtuneet muutokset ja niiden merkitykset. Konenäkö on koneelle opetettua tietoa, jota se tunnistaa, ja jonka perusteella se pystyy tekemään tarvittavia havaintoja tutkittavasta kohteesta. Konenäköä hyödynnetään tutkimaan erilaisia asioita suuresta tietomäärästä, jota ei ihmisen ole mahdollista tai kannattavaa käydä läpi. (Oulun Yliopisto)

Konenäköä ja tekoälyä hyödynnetään jo laajalti teollisuudessa, erityisesti erilaisissa visuaalisissa tunnistuksissa, laadunvalvonnassa ja lajittelu tehtävissä. Visuaalisten tehtävien yhteydessä käytetään termiä konenäkö. Konenäön nykyisiä sovelluskohteita ovat esimerkiksi liukuhihnalla kulkevien komponenttien laskenta ja pintavikojen etsintä. Konenäköä hyödynnetään tiesääasemien kameroissa tunnistamaan erilaisia sääolosuhteita. Konenäköä sovelletaan myös erilaisissa materiaalien lajittelu-, käsittely- ja kokoonpanotehtäviin. Konenäön merkitys kasvaa koko ajan digitalisaation myötä. Konenäköä käytetään yhä enemmän turvallisuussovelluksissa mm. kasvojen, sormenjälkien ja käsialan perusteella tehtäviin biometrisiin henkilöiden tunnistamisiin sekä autojen ajoa helpottavassa tekniikassa. (Oulun Yliopisto)

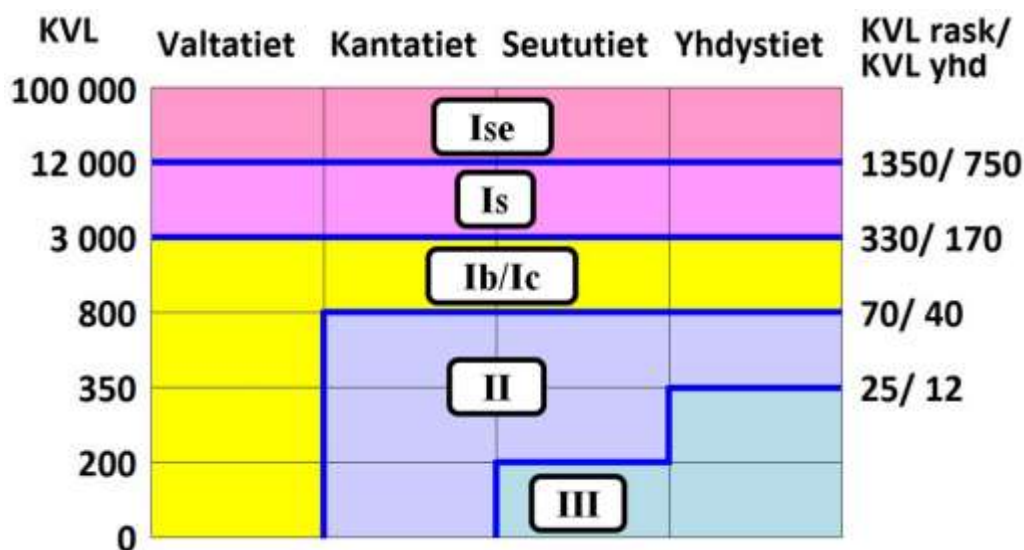
Teiden kunnossapidossa kelin olosuhteiden muutosten seuranta reaaliaikaisesti on kasvanut ja kehittynyt koko ajan vuosikymmenten aikana. Konenäön merkitys kasvaa sen myötä kunnossapidossa.

2 TIEN TALVIOHOITO

2.1 Talvihoitoluokitukset

Tiestön talvikunnossapidossa on käytössä hoitoluokitukset, jotka määrittävät erilaisten teiden laatua. Tiestön hoitoluokka vaatimuksiin ja laadun tasoon vaikuttaa tien liikennemäärät, profiili sekä tien päällyste (kestopäällyste, kevytpäällyste ja sora). Yleiset tiet on jaettu kuuteen eri talvihoitoluokkaan korkeimmasta matalimpaan: Ise, Is, Ib, Ic, II ja III. Valta- ja kantateihin kuuluu luokat Ise-Ib, seututeihin luokat Ic-II ja yhdystiet luokkaan III. Teiden jako eri hoitoluokkiin on esitetty taulukossa 1. Pyöräily- ja kävelyväylillä on pääsääntöisesti kaksi hoitoluokkaa K1 ja K2. Kaupungeissa voidaan käyttää L luokkaa eli laatukäytävää. (Maanteiden talvihoito. Laatuvaatimukset 2018.)

TAULUKKO 1. Tieverkon jako eri talvihoitoluokkiin. (Väylä 2021)



Hoitoluokka Ise

Ise hoitoluokan teitä on Suomessa 1591 km eli 2 % koko tiestöstä. Liikenteen osuus 30 % ja raskaanliikenteen osuus 28 %. Pääosin Ise luokan tiet ovat paljaita ja lumenpoisto aloitetaan sateen alettua. Liikkautta voi esiintyä pitkinä pakkaskausina ja sään muutostilanteissa, jolloin ei voida käyttää suolaa. Laatuvaatimusten edellyttämä kunto tielle saadaan toteutettua, siten että hoitolenkit ovat lyhyitä. (Väylä 2022)

Hoitoluokka Is

Is hoitoluokan teitä on Suomessa 7728 km eli 10 % osuus koko tiestöstä. Liikenteen osuus 37 % ja raskaanliikenteen osuus 42 %. Is luokan tiet ovat myös pääosin paljaita ja lumenpoisto aloitetaan sateen alettua. Tienpinta voi olla osittain liukas pitkinä pakkauskausina ja sään muutostilanteissa. (Väylä 2022)

Hoitoluokka Ib

Ib hoitoluokan teitä on Suomessa 11 962 km eli 15 % koko tiestöstä. Liikenteen ja raskaanliikenteen osuus on 17 %. Ib luokan tiestöllä voi olla kapeita polannekaistoja pakkaskelien aikaan, mutta yleensä ovat pääosin paljaita. Polannekaistat pyritään välttämään nopealla polanteen ja lumen poistolla. (Väylä 2022)

Hoitoluokka Ic

Ic hoitoluokan teitä on 3606 km eli osuus koko Suomen tiestöstä 5 %. Liikenteen osuus 4 % ja raskaanliikenteen osuus 3 %. Ic luokan tiestössä on polanneurat tai ne ovat kokonaan polannepintaisia. Polanne pyritään pitämään mahdollisimman tasaisena. Tien tasaisuuden pitämiseen vaikuttaa tien urautuneisuus, päällysteen kunto ja reunapainumat. (Väylä 2022)

Hoitoluokka II

II luokan teitä on 15 409 km eli osuu koko Suomen tiestöstä 20 %. Liikenteen osuus 7 % ja raskaan liikenneteen osuus 5 %. II luokan tiet ovat pääosin polannepintaisia ja ne voivat olla epätasaisia ja urautuneita. Polannepintaa karhennetaan välillä. Lumenpoiston toimenpiteiden alettua lunta on voinut sataa jo useampi sentti. II luokan teiden lumisuuteen vaikuttaa myös se, että niillä on pidemmät aurasreitit, joihin kuluu enemmän aikaa. (Väylä 2022)

Hoitoluokka III

III luokan teitä on Suomessa 37 422 km eli 48 % koko tiestöstä. Liikenteen ja raskaanliikenteen osuus on 4 %. III luokan tiet ovat laadultaan pääosin samanlaisia kuin II luokan tiet eli ne ovat polannepintaisia ja ne voivat olla urautuneita. III luokan tiestöllä saa kertyä lunta enemmän ja sen auras voi kestää pidempään. (Väylä 2022)

Jalankulku ja pyöräilyväylät

Hoitoluokka K1

K1 hoitoluokan kävely- ja pyöräilyväyliä on 3035 km, jonka osuus Suomen väylistä on 59 %. Talvi aikaan väylät ovat yleisesti polanteisia. Ennen lumenpoiston toimenpiteitä kävely- pyöräilyväylillä saa olla kertynyt lunta pari senttimetriä ja ne on oltava aurattuina kolmessa tunnissa aurasuuren aloitusajankohdasta. Kävely- pyöräilyväylien laatu voi heikentyä yöaikaan, mutta niiden on oltava silti turvallisia liikkua. (Väylä 2022)

Hoitoluokka K2

K2 hoitoluokan kävely- ja pyöräilyväyliä on 2100 km, jonka osuus Suomen väylistä on 40 %. Laatuvaatimukset K2 luokan väylille on samanlaiset kuin K1 luokan väylille, mutta hoitotoimenpiteet voivat kestää tunnin pidempään. (Väylä 2022)

Hoitoluokka L

L hoitoluokan kävely- ja pyöräilyväyliä on 65 km, jonka osuus Suomen väylistä on 1 %. L luokan laatuvaatimukset ovat suurimmissa kaupungeissa ja niiden laatuvaatimukset määritellään yhteensopiviksi kuntien pyöräilyteiden kanssa. Vaatimukset poikkeavat hieman K1 Luokan väylistä ja ovat tietyiltä osin korkeampia. Yöaikaan laatuvaatimuksia ja toimenpideajat ovat lyhyempiä. (Väylä 2022)

Poikkeukset laatuvaatimuksissa

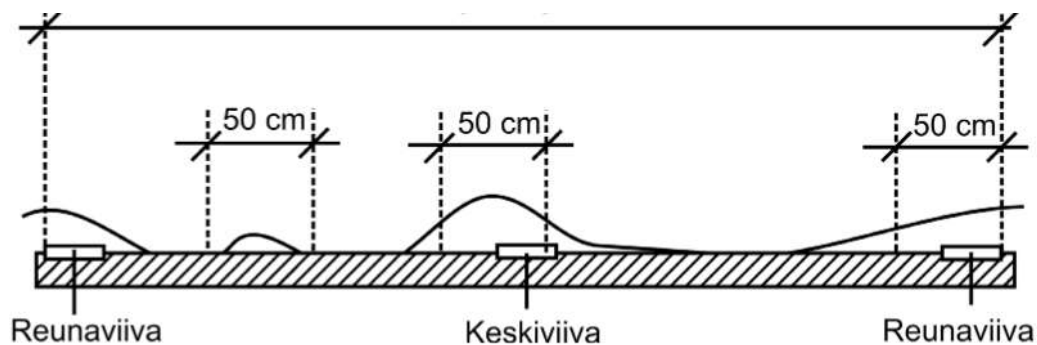
Muuttuvien keliolosuhteiden aikaan talvella esimerkiksi lumimyräkät, alijäähtyneen vesisateen ja runsaan lumisateen aikana laatuvaatimukset eivät ole voimassa ja ne saattavat alittaa laatuvaatimukset. Kunnossapidon hoitourakat määritetään normaalien olosuhteiden mukaan ja talvella kelit saattavat muuttua hyvinkin nopeasti. Hoitourakoitsijan on lähes mahdotonta pitää tie laadun puitteissa ja siksi urakoitsija työskentelee koko kalustolla jatkuvasti laadun saavuttamiseksi. (Väylä 2022)

2.2 Laatuvaatimukset talvihoitoluokituksissa

Laatuvaatimusten tärkein tehtävä on tiestön toimivuus. Talvihoidon ja laatuvaatimusten tarkoituksena on saada tiesto talviolosuhteissa toimivaksi, turvallisiksi sekä tarkentaa hoidettavien teiden laatua toimenpide- ja voimassaoloaikoiheen. Tiestön on oltava aina liikennöitävässä kunnossa.

2.2.1 Tien lumisuuden määrittäminen

Ajoradalle kertyy talviaikaan lunta ja sohjoa. Lumen määrän selvittämiseksi on olemassa suurin keskimääräinen maksimilumisvyvyys, joka saa olla tien ajoradalla, ajourien välissä, ajourassa tai ajokais-tan reunalla tien pituussuuntaisena kaistaleena 50 cm leveydellä. Jos lunta esiintyy ajoradalla alle 50 senttimetriä leveä kaistale, arvioidaan lumen tai sohjon jakautuneen 50 senttimetrin leveydelle tasaisesti. Ajoradalla poikkileikkauksen suuntaisesti oleva 50 senttimetriä oleva kaistale, jossa esiintyy eniten lunta tai sohjoa, mitataan reunaviivojen väliseltä alueelta, mukaan lukien reunaviiva. Lumen ja sohjon syvyys tällä 50 senttimetrin kaistalla on keskimääräinen maksimilumisvyvyys. Yleensä talvella reunaviiva ei välttämättä ole näkyvässä, jolloin mitataan aurausvalliin välinen alue lukuun ottamatta vallin reunassa olevaa 20 senttimetrin kaistaletta. Kuvassa 2 on esitetty tienpoikkileikkaus. (Maanteiden talvihoito. Laatuvaatimukset 2018.)



KUVA 2. Maksimi lumi- ja sohjomäärän arviointi. (Maanteiden talvihoito. Laatuvaatimukset 2018)

2.2.2 Tien kitka- arvon määrittäminen

Kitkan määrittäminen tiellä pohjautuu silmämääräiseen havaintoon ja ajotuntumaan. Taulukossa 2 on esitetty kitka- arvojen ja kelin vastaavuutta. Kitkan määrittämisessä voidaan käyttää hidastuvuuteen perustuvia kitkamittareita, jotka ovat liikenneviraston hyväksymiä. Kitkan mittauksessa on oltava henkilöauto, joka on varustettu ABS- jarruilla. Lisäksi autossa on oltava asianmukaiset jarrut ja talvirenkaat. (Maanteiden talvihoito. Laatuvaatimukset 2018.)

Taulukko 2. Kitka- arvon ja kelin vastaavuus. (Maanteiden talvihoito. Laatuvaatimukset 2018)

0,00 - 0,14	0,15 - 0,19	0,20 - 0,24	0,25 - 0,29	0,30 - 0,44	0,45 - 1,00
pääkallokeli, märkä jää, erittäin liukas	jäinen, liukas	sileä polanne, tydyttävä talvikeli	pitävä jää- ja lumipolanne, hyvä talvikeli	paljas ja märkä, pitävä keli	paljas ja kuiva, pitävä keli

Kitkamittarit täytyy kalibroida kerran talvikaudessa. Kalibroinnissa mittari säädetään näyttämään heikolla pakkasella (n. -5 °C) karkealla lumipolanteella kitka- arvoa 0,29. Jos kalibroinnissa olosuhteet ovat vähän erilaiset voidaan kalibrointi tehdä siitä huolimatta. Tilaajaan hyväksymä kalibroija määrittää oikean kitka- arvon. Mittarin kalibrointi on dokumentoitava. (Maanteiden talvihoito. Laatuvaatimukset 2018.)

Kitkan mittaus tehdään 60 km/h nopeudesta tiellä, joka on suora ja siinä ei ole yli 2 % nousua tai laskua. Puolet mitattavasta ajokaistasta on täytyttävä kitka- arvo ja ajourissa aina. Mittaus tehdään kolme kertaa ja niiden keskiarvo on mittaustulos. Mittauksen tekeminen ei saa aiheuttaa vaaratilanteita liikenteessä. (Maanteiden talvihoito. Laatuvaatimukset 2018.)

2.2.3 Tien tasaisuuden määrittäminen

Tien polanteen tasaisuutta voidaan arvioida metrin mittaisella oikolaudalla, silmämääräisesti tai ajotuntuman perusteella. Kuvassa 3 on esitetty epätasaisuuden mittausta tien poikkileikkaus suunnassa. Tasaisuuden määrittämisessä reunapainumia ja päällysteuraa ei oteta huomioon. Ajoradalla olevat osittain paljaat polannekaistat eivät saa olla paksumpia kuin tasaisuusvaatimukset määrittävät. (Maanteiden talvihoito. Laatuvaatimukset 2018.)

Tiessä esiintyvän epätasaisen polanteen, jossa on havaittavissa kuoppaisuutta, jäänystyröitä tai ohjaleviä uria voidaan arvioida mittaamalla tai silmämääräisesti. (Maanteiden talvihoito. Laatuvaatimukset 2018.)



Kuva 3. Polanteen tasaisuuden mittaaminen tien poikkisuunnassa (Maanteiden talvihoito. Laatuvaatimukset 2018)

2.2.4 Lumen ja sohjon auraus

Laatuvaatimukseen kuuluu myös tien auraus ajoradan lumisuuden kertyessä. Lumen auraukselle on määritetty maksimilumensyvyys sekä toimenpideajat hoitoluokittain, jotka löytyvät taulukosta 3. Lumensyvyyden lähtökynnys, jolloin lähdetään auraamaan, on puolet maksimilumensyvyydestä ja tämän täytyessä aurausreitillä on auraustöiden oltava käynnissä. Sohjoa saa olla puolet lumen määrästä. (Maanteiden talvihoito. Laatuvaatimukset 2018.)

Tiet on aurattava sateen päättymisestä toimenpideaikojen rajoissa, joka on pari tuntia sateen päättymisestä. Urakoitsijalla täytyy olla tieto tien kelistä ja pyrkiä pitämään tie liikennöitävässä kunnossa ennakoivasti sää tietojen perusteella. (Maanteiden talvihoito. Laatuvaatimukset 2018.)

TAULUKKO 3. Lumenpoiston laatuvaatimukset sään ja kelin muutostilanteessa. (Maanteiden talvihoito. Laatuvaatimukset 2018)

Talvihoito- luokka	Maksimilumisyyvyys sateen aikana (cm)		Toimenpideaika (h)	
	Irtolumi	Sohjo	Irtolumi	Sohjo
Ise	4	2	2,5	2
Is	4	2	2,5	2
Ib	4	2	3	2,5
Ic	4	2	3	3
II	8	4	4	4
III	10	5	5	5

2.2.5 Liukkaudentorjunta

Hoitoluokat Ise ja Is kuuluvat teihin, joiden jäätämistilanteet pyritään torjumaan ennakoivalla suolauksella jään ja liukkauden torjumiseksi. Ise luokan tiestössä liukkaus yritetään välttää kokonaan. (Maanteiden talvihoito. Laatuvaatimukset 2018.)

Hoitoluokassa Ib liukkautta torjutaan pääsääntöisesti suolalla, syksyn ja kevään mustanjään aikana. Suolaa käytetään myös talvella tilanteissa, jolloin ilmanlämpötila on useampia vuorokausia peräkkäin lämpimän puolella. Kylminä kausina käytetään yleensä pelkästään suolahiekkaa tai hiekkaa. (Maanteiden talvihoito. Laatuvaatimukset 2018.)

Hoitoluokka Ic liukkaudentorjunta toteutetaan hiekoituksella. Suolausta voidaan käyttää mustan jään torjumiseen ja normaaliin liukkaudentorjuntaan, jos tilaaja ei ole asettanut sille rajoituksia esimerkiksi päällysteen kunnon tai tyyppin vuoksi. (Maanteiden talvihoito. Laatuvaatimukset 2018.)

Hoitoluokat II ja III ovat pienempiä teitä, joiden on oltava liikenneitävissä kunnossa kaikille ajoneuvoille. II ja III luokan teitä ei suolata ollenkaan. Tarvittava liukkaudentorjunta tehdään linja- tai pistehiekoituksella. (Maanteiden talvihoito. Laatuvaatimukset 2018.)

Kävely- ja pyöräilyväylillä liukkaudentorjunta tehdään karhentamalla polannetta ja hiekoittamalla. L. Hoitoluokan laatuikätyvillä voidaan tehdä myös harjasuolausta. (Maanteiden talvihoito. Laatuvaatimukset 2018.)

2.2.6 Kitka- arvojen vaatimukset

Kitka- arvot on pidettävä tiestöllä sellaisena, että liikenne voi liikkua sujuvasti ja turvallisesti. Kitka- vaatimus täyttyy, kun ajokaistan leveydestä puolet täyttää vaatimuksen. Jos ajoradan keskellä ja ajourien välissä kitkavaatimus täyttyy, se ei ole silloin vaatimusten mukainen. Kitkavaatimusten on täytyttävä leveäkaistaisilla teillä myös ohittavan liikenteen ajourissa.

Teiden eri hoitoluokille on määritetty kitkavaatimukset ja niiden alittuessa toimenpidevaatimukset. Kitkavaatimus samalle hoitoluokalle voi olla eri arvo, kun on kylmä sää. Taulukossa 4 on esitetty kitkavaatimukset eri hoitoluokille. (Maanteiden talvihoito. Laatuvaatimukset 2018.)

Taulukko 4. Ajoradan kitkavaatimukset hoitoluokittain. (Maanteiden talvihoito. Laatuvaatimukset 2018)

Talvihoito- luokka	Kitkavaatimus	Kitkavaatimus kylmässä	Toimenpideaika (h)
Ise	0,30	< -6 °C, kitka 0,25	0 h
Is	0,30	< -6 °C, kitka 0,25	2 h
Ib	0,25	< -4 °C, kitka 0,22	3 h (suolaus) 4 h (linjahiekoitus)
Ic	0,25 (toimenpideraja) 0,25 pistehiekoitus 0,22 linjakäsittely		4 h (linjahiekoitus) (3 h suolaus)
II	karhennettu tai hiekoitettu pinta, ongelmakohteet pistehiekoitetaan		5 h (linjahiekoitus)
III	karhennettu tai hiekoitettu pinta, ongelmakohteet pistehiekoitetaan		7 h (linjahiekoitus)

2.2.7 Tasaisuuden vaatimukset

Ajoradat on pidettävä mahdollisimman tasaisena talvikautena. Ise ja Is hoitoluokissa epätasaisuus on 0 cm. Kylminä kausina, jolloin suolaus ei ole mahdollista sallitaan epätasaisuudeksi 1 cm. Polannekaistaleet eivät saa olla paksumpia kuin vaatimukset sekä jyrkkäreunaisia polanneuria ei saisi olla. II ja III hoitoluokissa polanneurien reuna saa olla enintään 1 cm ja epätasaisuus ei saa ylittää 2 senttimetriä. Hoitoluokasta riippumatta polanteen epätasaisuudet esim. kuoppaisuus, jäänystyrät ja

epätasaisuudet eivät saa vaikuttaa ajamiseen häiritsevästi. Huonokuntoisilla päällystetyillä teillä, joissa esiintyy uraisuutta jo ennestään, on harjanteiden kohdat pidettävä mahdollisimman matalina. Taulukossa 5 on esitetty tasaisuusvaatimukset hoitoluokittain.

Korotetut suojatiet eivät saa polanteesta johtuen loiventua. Reunakiveys, joka erottaa ajoradan sekä kävely- ja pyöräilytien pitää olla näkyvissä koko pituudeltaan. (Maanteiden talvihoito. Laatuvaatimukset 2018.)

Taulukko 5. Ajoradan tasaisuusvaatimukset hoitoluokittain. (Maanteiden talvihoito. Laatuvaatimukset 2018)

Talvihoito-luokka	Suurin sallittu epätasaisuus (cm)
Ise	-
Is	-
Ib	1,5
Ic	1,5
II	2
III	2

2.2.8 Liikennemerkkit ja opasteet talvihoidossa

Teitä auratessa ja lumisateesta johtuen liikennemerkkeihin ja opasteisiin kertyy lunta. Lumiset ja kuurautuneet liikennemerkkit ja opasteet on puhdistettava, että ne voidaan havaita liikenteessä.

Kääntymis- ja ohituskieltomerkit sekä ohituskaistoista kertovat opasteet ovat turvallisuuden kannalta tärkeitä puhdistettavia. Lisäksi Ise, Is, Ib ja Ic luokan teiden alle 80 km/h nopeusrajoitukset on puhdistettava välittömästi. Muut liikennemerkkit sekä taajamien merkit on puhdistettava 1 vuorokauden sisällä. Taajamien ulkopuolella ja luokissa II sekä III toimenpideaika puhdistamiselle on 3 vuorokautta. Korotettujen suojateiden, liittymien sekä kävely- ja pyöräilyteiden yhteydessä olevat varoitusmerkit on puhdistettava välittömästi. (Maanteiden talvihoito. Laatuvaatimukset 2018.)

Toimenpideaika liikennemerkkien puhdistamiselle alkaa merkin lumentumisesta, joka haittaa merkin luettavuutta. Puhdistustyö on tehtävä viipymättä ja vaarantamatta muuta liikennettä. Puhdistamattomat liikennemerkkit saattavat aiheuttaa vaaratilanteita liikenteessä. (Maanteiden talvihoito. Laatuvaatimukset 2018.)

2.3 Tilannekuvan tarve kunnossapidossa

Kunnossapitourakan työnjohdon tehtävänä on varmistaa, että laatuvaatimukset urakan-alueella toteutuvat. Laatuvaatimusten toteutumista seurataan tiestötarkastuksilla, jossa työnjohto arvioi laatua visuaalisten havaintojen perusteella. Tarvittavien toimenpiteiden jouheva aloittaminen on kuitenkin haastavaa tien päällä tehtyjen havaintojen perusteella. Nykyinen toimintamalli tuottaa vähän sellaista aineistoa, johon voisi palata myöhemmin. Työnjohdon fyysiset tiestötarkastuksilta tuotetut kuva-aineistot auttavat jo työnjohdon työtä sekä mahdollistaa sen käyttämistä työmääräysten lähtötietoina. Reaaliaikaisempi ja kattavampi tilannetieto saadaan joukkoistetun tiedonkeruun avulla. Reaaliaikainen tieto saadaan osana työprosessia sekä hyödyntämällä eri tienkäyttäjäryhmien tuottamaa tietoa. Tiedon kerääminen on helppo joukkoistaa, sillä se tehdään pääsääntöisesti älypuhelinsovelluksen avulla. Joukkoistamisen eri tahoina voivat olla mm. taksit, maito- ja postiautot, jotka liikkuvat päivittäin samaa reittiä. (Iin urakan loppuraportti 2021)

Kuva-aineisto, joka on hyvälaatuinen ja varustettu paikkatiedolla auttaa useimmissa tapauksissa. Sen avulla voidaan todeta toimenpidetarve sekä käynnistää toimenpiteet. Kuva-aineistoa voidaan hyödyntää myös muissa käyttökohteissa kunnossapidon urakoissa esim. tienkäyttäjien palautteeseen voidaan reagoida nopeammin. Tällöin mahdollinen toimenpidetarve voidaan tarkastaa kuvasta, eikä se vaadi välttämättä paikan päällä käyntiä. (Iin urakan loppuraportti 2021)

Tiestöltä kerätyn tiedon automaattinen analysointi on välttämätöntä, sillä tietoa tulee suuria määriä ja ihmisen tekemä analysointi on lähes mahdotonta sekä kannattamatonta. Automaation tulee osata tutkia kerättyä tietoa ja tehdä herätteitä, jotta huomio voidaan kohdistaa oleellisiin asioihin. Automaattisten herätteiden tarkoituksena on, että työnjohto kiinnittäisi huomiota asioihin, jotka saattavat edellyttää toimenpiteitä. Työnjohtajan tehtäväksi jää toimenpidetarpeen arviointi eikä toimenpiteitä aloiteta automaattisesti. (Iin urakan loppuraportti 2021)

2.3.1 Kuva-aineiston lähteet

Kelikamerat

Fintraffic toimii liikenne- ja viestintäministeriön omistajaohjauksessa ja on luonut tiesääsemaverkoston omiin, urakoitsijoiden ja tienkäyttäjien hyödyksi. Suomen tieverkolla on 440 tiesääsemapistettä ja kameroita on käytössä n. 900 kappaletta. Tiesääsemat sijaitsevat pääväylien varsilla mastoissa, joissa on kamera, antureita ja mittauslaitteita ja ne lähettävät kuvia sekä tietoja 10 minuutin välein. Kuvien lisäksi tiesääsemat mittaavat ilman ja tien lämpötilan, tuulen, kosteuden, kastelämpötilan ja sateen tiedot (mm. lumikertymä, olomuoto). Tiesääsemat antavat tietoa tienpinnan tilasta tienpinta-anturien avulla. Kaikkien julkisten kelikameroiden osoitelinkit, tiedot sekä kuvat löytyvät ja ovat yleisesti saatavilla. (Fintraffic julkaisuaika tuntematon)

Tiesääsemia ja kelikameroita käytetään pääsääntöisesti kunnossapidon tarkkailuun ja ennakointiin sekä liikenteen sujuvuuden tarkkailuun. Tiesääsemissa on käytössä paljon tekniikaltaan ja merkiltään erilaisia kameroita, jotka vaikuttavat mm. kuvan laatuun ja terävyyteen.

Kelikameroiden tuottamia tietoja hyödynnetään talvihoidon kunnossapidossa toimenpideaikojen parantamisessa ja hoitotoimenpiteiden oikea-aikaisessa ennakoinnissa. Kelikamerat palvelevat käyttäjiä muuttuvien keliolosuhteiden ennakoinnissa. Jokaisesta kelikamerasta tien kunnossapitäjä saa visuaalista tietoa säästä ja kelistä alueelta, jossa kamera sijaitsee. Tieto helpottaa työnjohtoa reagoimaan kelin muuttuessa ja hälyttämään tiestölle aurausta tarvittaessa.

Tiesääasemien käyttäjinä ja tiedon hyödyntäjinä hoidon alueurakoissa ovat pääasiassa kelikeskus, urakoiden työnjohto ja osa aliurakoitsijoista. Kelikeskukset päivystävät ja seuraavat keliolosuhteita ympäri vuorokauden. Kuvassa 4 on esitetty tiesääasema.



KUVA 4. Tiesääasema (Urjo 2022)

RoadData

RoadData on Jalonne Oy:n kehittämä järjestelmä. Se auttaa teiden kunnossapidon tilannekuvan muodostamista sekä ylläpitämistä. Useissa Destian hoitourakoissa on otettu käyttöön tämä kyseinen järjestelmä. Järjestelmä muodostuu älypuhelinsovelluksesta ja sen avulla tuotetaan tiestöltä kuva- ja sensoriaineistoa, automaattisista analysointitoiminnoista sekä selainkäyttöliittymästä. Tiedon tuottaminen tiestöltä on joukkoistettavissa. Joukkoistamisen avulla saadaan kattava ja ajantasainen tilannekuva ylläpitämiseen kustannustehokkaasti. (Iin urakan loppuraportti 2021)

RoadData- järjestelmällä saadaan urakka-alueen tiestöltä kuvia halutulla tiheydellä. Kuvantamista on mahdollista tarpeen mukaan myös kohdentaa haluttuihin paikkoihin. Tätä toiminto on virtuaalinen tiekamera. Virtuaalikameran sijainti voidaan kohdentaa kartalta tai tieosoitteen avulla. Älypuhelinsovellukset, jotka ohittavat kyseisen sijainnin, ottavat parempilaatuisen kuvan. Kuvassa 5 esitetty Järjestelmän työvalineet. (Iin urakan loppuraportti 2021)



KUVA 5. RoadData- järjestelmä. (Jalonne Oy 2021)

2.3.2 Konenäköratkaisut

Tiestön tarkkailuun ja kunnossapitoon käytetään tiesääsamien kameroita. Destia hyödyntää kelikameroiden konenäköä. Destialla on käytössä kahdenlaisia konenäköratkaisuja. Vanhempi AI1 ja uudempi AI2. (Destia Oy 2021)

Vanhempi AI1 kelikamera konenäköratkaisu perustuu alkavaan lumisateeseen. Kelikameran konenäkö arvioi kuvasta alkavia lumisateita ja yhdistelee lähimpien tiesääsamien säätietoja. Kun sääasema havaitsee lumisateen se esittää käyttöliittymän kartalla lumihiihtale symbolin. Symbolin väri kertoo havaintoajan. (Destia Oy 2021)

Uudempi AI2 kelikamera konenäköratkaisu reagoi kuvassa näkyvän tien lumipeitesyvyyteen ja sen muuttuviin tilanteisiin. Tiesääasema ottaa 10 minuutin välein kuvia, joista konenäkö tulkitsee lumipeitesyvyyttä. Lumipeitesyvyyden perusteella konenäkö luokittelee tien peitteisyyttä prosentteina. Esimerkkejä tien lumipeitesyvyyden luokittelusta esitetty kuvassa 6, 7 ja 8. (Destia Oy 2021)



KUVA 6. Esimerkki tien lumipeitesyvyydestä (Destia Oy 2021)



KUVA 7. Esimerkki tien lumipeitesyvyydestä (Destia Oy 2021)



KUVA 8. Esimerkki tien lumipeitesyvyydestä (Destia Oy 2021)

RoadData

RoadData- järjestelmä tuottaa tällä hetkellä konenäköratkaisuja liikennemerkkien puhdistustarpeen, kelin ja päällystevaurioiden tunnistamiseen. Tien pintakelin ja lumisten liikennemerkkien tunnistaminen on oleellimmat talvihoidon kannalta. Järjestelmä tunnistaa kuvasta, onko tienpinta märkä, kuiva, luminen, jäinen, sohjoinen tai polanteinen. Konenäkö voi tunnistaa kuvasta useamman luokituksen eli olosuhteiden yhdistelmiä eikä ne ole toisistaan poissulkevia. Yhdestä kuvasta voidaan tunnistaa useampi luokitus. Konenäkö pystyy tunnistamaan kuvasta liikennemerkin ja sekä sen onko se puhdas, luminen vai puhdistettava. (Iin urakan loppuraportti 2021)

3 TUTKIMUSASETELMA

3.1 Tutkimus ja tavoitteet

Työ on tutkimustyö, jossa tavoitteena oli saada tietoa, onko konenäöstä merkittävää hyötyä kunnossapidossa työnjohdolle ja tarvitaanko konenäköä kehittää vielä lisää sen oppimisen saavuttamiseksi. Työssä tutkittiin myös konenäön varmuutta ja suoriutuuko se aineiston analysoinnista riittävän hyvin. Tutkimusta rajoitettiin ensisijaisesti keskittymään lumisten liikennemerkkien ja tienpintakelin arviointiin. Tutkimuksessa oleva aineisto tutkittiin ihmissilmin sekä konenäön avulla, mistä sitten saatiin johdettua tutkimustulokset. Samalla opinnäytetyössä yritettiin arvioida konenäön hyödyntämisen mahdollisuuksia kunnossapidon muissakin tehtävissä.

3.2 Konenäön suorituskyvyn varmuus

Tässä opinnäytetyössä konenäön tarkoituksena oli suoriutua tunnistamaan kuvasta kunnossapidon kannalta tärkeitä asioita ja saada varmuus siitä, että konenäkö on pystynyt tunnistamaan oikeat asiat. Konenäön suorituskyky paranee sitä opetettaessa ja opetusaineiston lisääntyessä.

Tien kunnossapidossa käytettävän konenäköjärjestelmän suorituskyvyn varmuus riippuu useista tekijöistä. Kuvantamisen kattavuus ja paranee, kun kuvaus kertoja on useampi ja ainestoa on riittävästi. Älypuhelinsovellus järjestelmä kuvaa vain yhteen suuntaan, jolloin se edellyttää, että tie on kuvattava kumpaankin suuntaan hyvän kattavuuden saavuttamiseksi. Tätä ei kuitenkaan otettu huomioon tässä tutkimuksessa eikä se vaikuttanut tutkimustulokseen.

Suorituskykyyn vaikuttaa myös suurelta osin kuvanlaatu. Kun järjestelmän kuvanlaatu on hyvä, kuvasta voidaan tehdä tarvittavat havainnot ongelmitta. Kuvanlaatua saattaa heikentää mm. ajoneuvon värinä. Esimerkiksi aura-autolla kuvantaminen tuottaa heikompi laatuksia kuvia, sillä aurauksesta aiheutuvaa värinää ja tuulilasin likaantumista esiintyy paljon. Tässä tutkimuksessa esiintyi huonolaatuksia kuvia vähän, joista ei pystynyt tekemään arviointia laisinkaan. Tämä ei kuitenkaan vaikuttanut tutkimustulokseen. Tutkimuksessa käytettävä aineisto oli riittävä ja konenäkö ja ihmisen tekemisissä arvioinnissa päästiin samoihin havaintoihin, joten voidaan todeta konenäön tunnistaminen varmaksi tältä osin.

3.3 Konenäkötulosten hyödyllisyys tienhoidossa

Tutkimuksen tarkoituksena oli saada tietoa, pystyykö konenäköä hyödyntämään käytännössä kunnossapidon alueurakoissa. Konenäön tekemien analysointien tuloksista saatava tieto auttaa tutkimuksessa arvioimaan, suoriutuuko konenäkö lumisten liikennemerkkien ja tien pintakelin tunnistamisessa. Lumisten liikennemerkkien osalta konenäkö on erittäin hyvä apuväline työnjohdolle. Tulokset auttavat ohjelmiston jatkekehittämisessä ja keskittymään sen ongelmakohtiin sekä auttamaan konenäön käyttöä myös muihin käyttökohteisiin ja tunnistamistehtäviin.

4 TIETOPERUSTA

4.1 Konenäön tekninen peruseriaate

Tutkimuksessa käytetyt konenäköratkaisut perustuvat konvoluutioneuroverkkoon. Neuroverkot ovat laskennallisia malleja ja ne koostuvat tietoa välittävistä kerroksista, joiden väliset yhteydet sekä niihin liittyvät painokertoimet määräävät neuroverkon toiminnan. Neuroverkkoja pystytään opettamaan tiettyyn tehtävään säätämällä sen painokertoimia aineiston avulla, kunnes neuroverkko antaa saavutetun tuloksen aineistoon kuuluvilla syönteillä.

Konvoluutioneuroverkossa suurin osa opetettavista kerroksista koostuvat suotimista, joiden avulla syönteestä havaitaan erilaisia paikallisia piirteitä. Konenäkösovelluksissa konvoluutioneuroverkon syönte on kaksiulotteinen kuva, joka koostuu pikseleistä. Aineiston avulla konvoluutioneuroverkko opetetaan tunnistamaan kuvista sovelluksen kannalta tärkeimmät piirteet.

Kuvien luokitteluun käytetyissä konenäkösovelluksissa neuroverkon viimeinen kerros muodostaa kuvasta havaituista piirteistä halutun luokituksen mukaisen tuloksen. Luokittelu voi olla poissulkeva, jolloin tuloksena on aina täsmälleen yksi kuvaa koskeva luokka, tai ei-poissulkeva. Ei poissulkevan tulos voi olla tyhjä tai koostua yhdestä tai useammasta luokasta.

4.2 Konenäön suorituskyvyn arviointimenetelmät

Konenäköön liittyviä tuloksia ja niiden vertailuja esitetään usein konfuusiomatriisi taulukoiden avulla. Aluksi taulukko voi näyttää sekavalta ja vaikealta lukea, mutta kun sitä oppii lukemaan, niin se on helppo ymmärtää. Esimerkissä esitetään kahta luokkaa kuten opinnäytetyön tuloksissakin, jolloin taulukosta tulee neljä alkioinen. Taulukoissa voidaan käyttää myös useampaa luokkaa. Konfuusiomatriisi on taulukko, jota käytetään usein kuvamaan luokitusmallin suorituskykyä perustuen asetettujen testi dataan, jossa oikeat arvot on tunnettu.

Taulukossa 6 on esitetty kaksi mahdollista ennustettua luokkaa kyllä ja ei. Jos ennustetaan esimerkiksi sairauden olemassaoloa, niin "kyllä" tarkoittaisi, että heillä on sairaus, ja "ei" tarkoittaisi, että heillä ei ole sairautta. Luokituksessa on yhteensä 165 ennustetta (esim. 165 potilasta testattiin kyseisen taudin esiintymisen varalta). Näistä 165 tapauksessa on ennustettu "kyllä" 110 kertaa ja "ei" 55 kertaa. Todellisuudessa otoksesta 105 potilaalla on sairaus ja 60 potilaalla ei. (Dataschool 2014)

Taulukko 6. Esimerkki kahden luokituksen konfuusiomatriisista. (Markham 2014)

n=165	Predicted: NO	Predicted: YES
Actual: NO	TN = 50	FP = 10
Actual: YES	FN = 5	TP = 100

True positives (TP): Tapaukset, jossa on ennustettu olevan sairaus ja heillä on todettu sairaus.

True negatives (TN): Tapaukset, jossa ennustettu ei ja heillä ei ole sairautta.

False positives (FP): Ennustus kyllä, mutta heillä ei ole sairautta.

False negatives (FN): Ennustus ei, mutta heillä on sairaus.

(Dataschool 2014)

5 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS JA TULOKSET

5.1 Vertailuaineiston annotointi ja vertailutulos

Vertailuaineistona opinnäytetyössä käytettiin pääasiassa Iin kunnossapidon digiurakan 2020–2021 talvelta kerättyä aineistoa. Aineistoa lisättiin sen vähyyden vuoksi Pudasjärvi – Taivalkoski-urakasta samalta ajankohdalta.

Ensimmäiseksi työssä tehtiin annotointi eli aloitettiin käymään läpi aineistoa, jotka olivat konenäön ottamia kuvia liikennemerkeistä, jotka oli valikoitu eri kohdista Iin alueurakkaa. Kuvista arvioitiin ihmismilmin liikennemerkkien toimenpidetarvetta, eli oliko se puhdistettava, luminen, ei luminen vai liikennemerkki takaa. Jos kuvassa ei ollut liikennemerkkiä arviointiin valittiin ei liikennemerkkiä. Jos kuva oli epäselvä, valittiin EOS eli ei osaa sanoa.

Tien pintakelin arviointi tapahtui samalla tavalla, mutta tässä arvioitiin kuvasta, oliko tie kuiva, märkä, jäinen, sohjoinen, luminen, polanneura, epätasainen polanne, aurausvalli, tuiskukinos tai EOS. Tien pintakelin arviointi vaatii enemmän aikaa, sillä kuvassa on enemmän huomioitavia asioita sekä muuttuvat keliolosuhteet.



KUVA 9. Puhdistettavan liikennemerkin annotointi näkymä. (Jalonne Oy 2021)



KUVA 10. Ei lumisen liikennemerkin annotointi näkymä. (Jalonne Oy 2021)

5.1.1 Lumisten liikennemerkkien tulokset

Liikennemerkkien lumisuuden arvioinnin aineistossa oli yhteensä 1 851 kuvaa. Aineistossa olevat kuvat arvioitiin ihmissilmin ja saman aineiston arvioi konenäkö. Aineiston arvioinnin jälkeen konenäön ja ihmisen tekemistä arvioinnista tuotettiin konfuusiomatriisi taulukot tulosten esittämiseksi. Lumisten liikennemerkkien tuloksessa yhdistettiin puhdistettavat ja lumiset liikennemerkkit samaan taulukkoon. Alla olevassa kuvassa on esitetty tulos. Taulukon pystysarakkeella näkyy ihmisen arviointi ja vaakasarakkeella konenäön arviointi.

Taulukko 7. Lumisten ja puhdistettavien liikennemerkkien tulokset. (Jalonne Oy 2021)

		puhdistettava/luminen	
		ei	kyllä
ihminen	ei	Oikea neg 1623 87.68%	Väärä pos 214 11.56%
	kyllä	Väärä neg 10 0.54%	Oikea pos 4 0.22%
		ei	kyllä
		Kone	

Taulukosta 7 käy ilmi seuraavat asiat: 1 623 kuvassa eli 87,68 % osuus koko aineistosta ihminen ja konenäkö on ollut samaa mieltä, että liikennemerkki ei ole ollut luminen eikä puhdistettava. 214 (11,56 %) kuvassa ihmisen mielestä liikennemerkki ei ole ollut luminen ja konenäön mielestä on ollut. 10 (0,54 %) Ihmisen mielestä merkki on ollut luminen tai puhdistettava ja konenäkö on ollut eri mieltä. 4 (0,22 %) kuvassa ihminen ja konenäkö on ollut samaa mieltä, että merkki on luminen.

Koko aineistosta ihminen ja konenäkö on ollut samaa mieltä 87,89 prosenttisesti ja eri mieltä 12,1 prosenttisesti. Tulos on hyvä. Aineiston kuvien määrästä nähdään se miten vähän puhdistettavia ja lumisia liikennemerkkejä on. Puhdistettavien ja lumisien liikennemerkkien osuus on 0,54 prosenttia.

oikea neg= ihminen ja kone samaa mieltä / ei tunnistettavaa kohdetta

oikea pos= ihminen ja kone samaa mieltä

väärä pos= kone sitä mieltä, että on se luokka ja annotoinnissa ei ole

Väärä neg= kone sitä mieltä, että ei ole ja annotoinnissa on

5.1.2 Tien pintakelin tulokset

Tien pintakelin arvioinnin aineistossa oli yhteensä 1 610 kuvaa. Aineistossa olevat kuvat arvioitiin samoin kuin lumiset liikennemerkit eli ihmisen ja konenäön avulla. Arvioinnin jälkeen tuloksista tuotettiin konfuusiomatriisi taulukot. Taulukot on jaettu erikseen luokitusten mukaan kuiva, märkä, jäinen sohjoinen, luminen, polanneura, epätasainen polanne ja lumivalli.

TAULUKKO 8. Tien Pintakeli kuiva tie (Jalonne Oy 2021)

		kuiva	
		ei	kyllä
ihminen	ei	Oikea neg 742 46.09%	Väärä pos 452 28.07%
	kyllä	Väärä neg 150 9.32%	Oikea pos 266 16.52%
		ei	kyllä
		Kone	

Aineistossa 742 kuvassa ihminen ja koneäkö on ollut samaa mieltä, että tie ei ole kuiva ja 266 kuvassa tie on ollut kuiva. 452 kuvassa ihminen on arvioinut, että tie ei ole kuiva ja kone arvioinut kyllä. 150 kuvassa ihminen on arvioinut tien kuivaksi ja kone ei kuivaksi. Ihminen ja koneäkö on ollut samaa mieltä 1008 kuvassa eli 62,61 prosenttisesti ja eri mieltä 602 kuvassa 37,39 prosenttisesti.

TAULUKKO 9. Tien pintakeli märkä (Jalonne Oy 2021)

		marka	
		ei	kyllä
ihminen	ei	Oikea neg 931 57.83%	Väärä pos 205 12.73%
	kyllä	Väärä neg 197 12.24%	Oikea pos 277 17.20%
		ei	kyllä
		Kone	

Aineistossa 931 kuvassa ihminen ja koneäkö on ollut samaa mieltä, että tie ei ole märkä ja 277 kuvassa tie on ollut märkä. 205 kuvassa ihminen on arvioinut, että tie ei ole märkä ja kone arvioinut kyllä. 197 kuvassa ihminen on arvioinut tien märäksi ja kone ei märäksi. Ihminen ja koneäkö on ollut samaa mieltä 1208 kuvassa eli 75 prosenttisesti ja eri mieltä 402 kuvassa 25 prosenttisesti. Onnistumisprosentti on parempi kuin kuivan tien osalta.

TAULUKKO 10. Tien pintakeli jäinen (Jalonne Oy 2021)

		jää	
		ei	kyllä
ihminen	ei	Oikea neg 957 59.44%	Väärä pos 188 11.68%
	kyllä	Väärä neg 209 12.98%	Oikea pos 256 15.90%
		ei	kyllä
		Kone	

Aineistossa 957 kuvassa ihminen ja konenäkö on ollut samaa mieltä, että tie ei ole jäinen ja 256 kuvassa tie on ollut jäinen. 188 kuvassa ihminen on arvioinut, että tie ei ole jäinen ja kone arvioinut kyllä. 209 kuvassa ihminen on arvioinut tien jäiseksi ja kone ei. Ihminen ja konenäkö on ollut samaa mieltä 1213 kuvassa eli 75,34 prosenttisesti ja eri mieltä 397 kuvassa 24,66 prosenttisesti. Tässäkin onnistumisprosentti on hyvä. Mustan jään erottaminen on vaikeaa kuivasta tiestä.

TAULUKKO 11. Tien pintakeli sohjo (Jalonne Oy 2021)

		sohjo	
		ei	kyllä
ihminen	ei	Oikea neg 1484 92.17%	Väärä pos 16 0.99%
	kyllä	Väärä neg 105 6.52%	Oikea pos 5 0.31%
		ei	kyllä
		Kone	

Aineistossa 1 484 kuvassa ihminen ja konenäkö on ollut samaa mieltä, että tie ei ole sohjoinen ja 5 kuvassa tie on ollut sohjoinen. 16 kuvassa ihminen on arvioinut, että tie ei ole sohjoinen ja kone arvioinut kyllä. 105 kuvassa ihminen on arvioinut tien sohjoiseksi ja kone ei. Ihminen ja konenäkö on ollut samaa mieltä 1 489 kuvassa eli 92,48 prosenttisesti ja eri mieltä 121 kuvassa 7,52 prosenttisesti. Tuloksesta nähdään, että onnistumisprosentti on hyvä, mutta konenäkö ei ole tunnistanut kuvista sohjoa. Ihminen on arvioinut 105 kuvassa olevan sohjoa ja konenäkö viidessä kuvassa. Sen osalta tunnistamisen prosenttiosuus on huono. Konenäön tunnistamisprosentti sohjon osalta on 4,54.

TAULUKKO 12. Tien pintakeli luminen (Jalonne Oy 2021)

		lumi	
		ei	kyllä
Ihminen	ei	Oikea neg 888 55.16%	Väärä pos 240 14.91%
	kyllä	Väärä neg 106 6.58%	Oikea pos 376 23.35%
		ei	kyllä
		Kone	

Aineistossa 888 kuvassa ihminen ja konenäkö on ollut samaa mieltä, että tie ei ole luminen ja 376 kuvassa tie on ollut luminen. 240 kuvassa ihminen on arvioinut, että tie ei ole luminen ja kone arvioinut kyllä. 106 kuvassa ihminen on arvioinut tien lumiseksi ja kone ei. Ihminen ja konenäkö on ollut samaa mieltä 1 264 kuvassa eli 78,5 prosenttisesti ja eri mieltä 346 kuvassa 21,5 prosenttisesti.

TAULUKKO 13. Tien pintakeli polanneura (Jalonne Oy 2021)

		polanneura	
		ei	kyllä
ihminen	ei	Oikea neg 1454 90.31%	Väärä pos 0 0.00%
	kyllä	Väärä neg 156 9.69%	Oikea pos 0 0.00%
		ei	kyllä
		Kone	

Ihminen ja konenäkö on ollut samaa mieltä 1 454 kuvassa, että tiessä ei ole polanneuraa. 156 kuvassa ihminen on arvioinut tiessä olevan polanneuraa ja konenäkö on arvioinut, että ei olisi polanneuraa. Polanneuran kohdalla konenäkö ei ole onnistunut arvioimaan kuvasta, onko siinä polanneuraa. Tämän osalta tulos ei ole onnistunut. Polanneuraa esiintyy niin paljon erilaisena, joten sen tunnistaminen konenäköille voi olla vaikeaa.

TAULUKKO 14. Tien pintakeli epätasainen polanne (Jalonne Oy 2021)

		epätasainen_polanne	
		ei	kyllä
ihminen	ei	Oikea neg 1362 84.60%	Väärä pos 0 0.00%
	kyllä	Väärä neg 248 15.40%	Oikea pos 0 0.00%
		ei	kyllä
		Kone	

Ihminen ja konenäkö on ollut samaa mieltä 1 362 kuvassa, että tiessä ei ole epätasaista polannetta. 248 kuvassa ihminen on arvioinut tiessä olevan epätasaista polannetta ja konenäkö on arvioinut, että ei olisi. Epätasaisen polanteen kohdallakin konenäkö ei ole onnistunut arvioimaan kuvasta, onko siinä epätasaista polannetta. Tämän osalta tulos ei ole onnistunut. Epätasainen polanne on vaikea havaita kuvasta. Tässä olisi hyvä hyödyntää inertiadataa, joka antaa tietoa ajoneuvon tärinästä.

TAULUKKO 15. Tien pintakeli aurasvalli (Jalonne Oy 2021)

		aurausvalli	
		ei	kyllä
ihminen	ei	Oikea neg 802 49.81%	Väärä pos 0 0.00%
	kyllä	Väärä neg 808 50.19%	Oikea pos 0 0.00%
		ei	kyllä
		Kone	

Ihminen ja konenäkö on ollut samaa mieltä 802 kuvassa, että tiessä ei ole lumivallia. 808 kuvassa ihminen on arvioinut tiessä olevan lumivalli ja konenäkö on arvioinut, että ei olisi. lumivallinkin kohdalla konenäkö ei ole onnistunut arvioimaan kuvasta, onko siinä lumivallia. Tämän osalta tulos ei ole onnistunut. Kuvissa lumivalli voi olla koneelle vaikea tunnistaa, sillä kuvassa on niin paljon valkoista ja lumivalli voi olla myös kävelytien puolella.

5.2 Hyödyllisyys tienhoidossa

Konenäön käyttö tienhoidossa auttaa työnjohtoa pitämään yllä tietoa urakka- alueesta ja sen tilanteesta vallitsevassa säätilanteessa. Työnjohto voi itse tietarkastuksien yhteydessä tuottaa aineistoa, joka helpottaa esimerkiksi palamaan aineistoon, jos jokin asia on jäänyt huomioimatta. Joukkoistetun datan kerääminen antaa lisää mahdollisuuksia ja reaaliaikaisempaa tietoa alueesta. Konenäön aineiston kuvat auttavat visuaalisessa tarkastelussa ja toimenpiteen arvioinnissa myös kesähoidossa. Kuvat ovat helposti tarkasteltavissa ja silloin ei välttämättä tarvitse käydä paikan päällä. Konenäön automaattiset herätteet helpottavat työnjohdon keskittymään muihin alueurakan tärkeisiin työtehtäviin.

6 KÄYTTÖKOHTEIDEN SOVELTUVUUDEN ARVIOINTI

Opinnäytetyössä tehtiin lisäksi arviointia konenäön soveltuvuudesta muihin käyttökohteisiin. Arvioinnissa pohdittiin tuloksen hyödyllisyyttä, konenäön tyyppiä sekä sovellettavuutta. Työn kannalta merkittäviksi käyttökohteiksi valittiin seitsemän eri kohdetta liittyen talvihoitoon ja jotka voisivat soveltua käyttöön tulevaisuudessa.

Arvioitavat kohteet:

Lumen esiintyminen ajoradalla ja pientareella (kelikamera)

Lumen esiintyminen ajoradalla ja pientareella (mobiili)

Nopeusvalvonnan kamerakotelon lumisuus

Liittymien näkemäesteenä olevat lumivallit

Keskikasitalla olevan lumitilan täyttyminen

Sohjo-ojien tarve, reunapalle- tunnistetaan sulamisvedestä

Jäätienkunto, noussut vesi

6.1 Laatuvaatimukset

6.1.1 Nopeusvalvontakamerat

Nopeusvalvontakameroiden yhteydessä olevat levikkeet on puhdistettava samalla kuin tien pientareet ja linja-autopysäkit. Kameratolpan edestä lumi on puhdistettava siten, että levikkeelle voidaan pysäköidä huoltoauto turvallisesti reunaviivan ulkopuolelle. Kameran takaa on puhdistettava vähintään 2 m alue, että tolppa voidaan taittaa. Kolhimisen välttämiseksi tolpan ympäriltä ei aurata puolen metrin säteeltä. Valvontakameran linssi on puhdistettava välittömästi sekä kotelon päällä oleva lumi on poistettava. (Maanteiden talvihoito. Laatuvaatimukset 2018.)

6.1.2 Lumivallit

Laatuvaatimuksissa on määritelty lumivalleille korkeusvaatimukset ja toimenpideajat. Tien pinnasta mitattuna 80 cm ja 5 metriä lähempänä suojateitä 50 cm on suurin sallittu korkeus lumivalleille. Lumivallin korkeuden ylittyessä raja-arvot on valli madallettava 5 vuorokauden toimenpideajassa. (Maanteiden talvihoito. Laatuvaatimukset 2018.)

6.1.3 Lumitilat

Lumitilan täyttyessä lumi on poistettava keski- ja välikaistoilta silloin, kun seuraavasta lumisateesta aurattava lumi ei enää mahdu lumitilaan. Lumitilan täyttyminen vaikuttaa liikenteen turvallisuuteen. Kävely- ja pyöräilyväylien läheisyydessä sijaitsevien rakennusten rakenteita haittaavat lumivallit on poistettava. Lumi siirretään pois hiljaisen liikenteen aikaan. (Maanteiden talvihoito. Laatuvaatimukset 2018.)

6.1.4 Sohjo-ojat

Tiestöllä on aloitettava sohjo-ojien tekeminen sulamiskauden alussa ennakoiden. Sohjo- ojien tekemisellä vältetään vesien valuminen ajoradalle sekä jäätämistilanteet, jotka vaarantavat liikennettä.

Sohjo-ojat tehdään koko tien pituudelle siirtämällä lumivallia. Päälystetyillä teillä vähintään 1 metrin ja sorateilla 0,5 metrin leveydeltä sisäluiskan kaltevuudessa. Sohjo-ojien teon yhteydessä tulee poistaa lumi- ja jääpolanne tien reunasta.

Sohjo-ojilla ehkäistään päälystetyillä teillä vedestä ja liikenteestä aiheutuvia päälystevaurioita ja sorateilla pintakelirikkoa. Sohjo-ojien teon ajankohdan voi määrätä tilaaja ja niiden tekemisen toimenpideaika on viikko. (Maanteiden talvihoito. Laatuvaatimukset 2018.)

6.2 Soveltuvuuden arviointi

Arvioinnissa käsiteltiin kohteiden soveltuvuutta konenäölle ja siihen käytettävää konenäkötyyppiä sekä tuloksen hyödyllisyyttä. Kaikkia arvioituja kohteita pystytään käyttämään ja hyödyntämään tulevaisuudessa teiden kunnossapidossa.

Nopeusvalvontakameroiden lumisuuden huomiointi on helppo toteuttaa. Se toimii samalla tavalla kuin konenäön liikennemerkin lumisuuden arviointi.

Lumivallien ja lumisuuden arviointi on tärkeää varsinkin keväällä lumitilojen täytyessä. Lumivallien tunnistamiseen tarvitaan vielä konenäön kehittämistä, sillä opinnäytetyössä tehtyjen tutkimusten mukaan se ei tunnistanut lumivalleja lainkaan.

Konenäköä voidaan hyödyntää myös reunapalteiden tunnistamisessa. Konenäkö tunnistaa talvella ajoradalle kertyneen sulamisveden ja kesällä tien ajoradan reunoille sateesta aiheutuneet lätäköt. Näin huomataan, missä on talvella sohjo-ojien teon tarve ja kesällä reunapalteiden poistotarve. Lätäköiden tunnistamista voidaan hyödyntää myös jääteiden kunnan arvioinnissa, jos jäätielle on esi-merkiksi noussut vettä. Arvioinnissa huomattiin, että konenäköä voi hyödyntää useissa eri käyttökohteissa ja tulevaisuudessa sen käyttö tulee lisääntymään.

7 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, pystyykö konenäkö arvioimaan kuvasta lumisten liikenne-merkkien puhdistus tarpeen ja tien pintakelin olosuhteet. Työssä käytettiin älypuhelinsovelluksella toimivaa järjestelmää, jonka Jalonne Oy on kehittänyt. Tutkimuksessa käytettävä aineisto oli riittävä ja konenäön sekä ihmisen tekemissä arvioinnissa päästiin samoihin havaintoihin, joten voidaan todeta konenäön tunnistaminen varmaksi tältä osin.

Lumisten liikennemerkkien osalta konenäkö onnistuu suoriutumaan tähän mennessä tehdyn kehityksen perusteella hyvin ja sen tulokset ovat lupaavia. Kun kuitenkin aineistoa lisätään, konenäön jatkok kehittäminen tulee vielä toimivammaksi ja luotettavammaksi. Liikennemerkkien osalta tulos voisi olla vieläkin parempi. Kymmenestä kuvasta ihminen ja konenäkö on ollut eri mieltä. Kuvien annotoinnissa ihminen on arvioinut linja-auto pysäkkien merkit lumiseksi tai puhdistettavaksi, vaikka näin ei olisi tarvinnut, sillä linja-auto pysäkkien merkkien puhdistus ei ole niin kriittinen. Tätä tietoa konenäölle ei ollut opetettu. Tutkimuksessa havaittiin, että tien pintakelin arviointi ei toimi vielä niin hyvin, vaikka aineisto oli kattava. Konenäkö ei pystynyt löytämään kuvista riittävästi oikeaa tietoa. Mielestäni tien pintakelin arviointi kuvasta on myös ihmiselle haastavaa. Esimerkiksi tien pinnan epätasainen polanne on hankala arvioida kuvasta. Epätasaisuuden arviointi vaatii useimmiten paikan päällä käynnin. Tutkimuksessa selvisi, että sohjon ja lumivallien tunnistaminen on konenäölle vaikeaa ja se vaatii vielä sen osalta kehittämistä. Tien pintakelin tulokset eivät olleet niin luotettavia kuin lumisten liikennemerkkien. Pintakelin osalta konenäön tunnistamista täytyisi vielä kehittää. Se, onko se kannattavaa ja järkevää on toinen kysymys, sillä tiesääasemat antavat tästä kattavampaa tietoa. Järjestelmän kehittämistä ja kannattavuutta täytyy sen osalta arvioida uudelleen.

Tiesääasemissa konenäkö on helpompi toteuttaa tien pintakelin arvioinnissa, sillä kuva tulee aina samasta kohdasta. Tällöin muuttuvia tekijöitä ei ole muita kuin sääolosuhteet. Lisäksi tiesääasemissa on anturit ja mittalaitteet, jotka tukevat konenäköä. Tätä työnjohto käyttää hyödyksi jo enimmäsmäärin.

Vaikka tutkimuksessa huomasin puutteita ja epäkohtia konenäön tulkinnoissa, konenäkö uutena tulokkaana tulee yleistymään ja se tulee olemaan merkittävä tekijä kunnossapidossa. Se on yksi tärkeä työnjohdon apuväline. Konenäön hyödyntämisen merkitys kasvaa koko ajan, sillä se helpottaa työnjohdon työskentelyä ja nopeuttaa ratkaisujen tekemistä. Älypuhelinsovelluksella toimiva järjestelmä on helppo joukkoistaa. Joukkoistamisen lisääntyessä saadaan lisää aineistoa sekä kattavampaa ja reaaliaikaisempaa tietoa tiestöltä.

Oma kokemukseni RoadData järjestelmän käytön osalta on, että sen tuottama kuva-aineisto helpottaa työskentelyä mm. inventoinneissa. Kesällä 2021 tehtyjen varusteiden ja laitteiden inventoinneissa käytettiin mm. konenäköjärjestelmää ja se helpotti työskentelyä ja vähensi tiellä liikkumista. Kuvasta pystyi tarkastelemaan liikennemerkit ja reunakiveykset sekä arvioimaan niiden kunnan. Pelkästään konenäön ottama kuva helpottaa työnjohtoa tekemään tarvittaessa arviointeja ilman, että konenäkö on tulkinnut kuvaa.

LÄHTEET

- Dataschool 2014. Markham Kevin. Verkkojulkaisu. <https://www.dataschool.io/simple-guide-to-confusion-matrix-terminology/>. Viitattu 24.1.2022
- Destia Oy 2021. Verkkojulkaisu. <https://www.destia.fi/>. Viitattu 11.1.2022
- Destia Oy 2021. Esimerkki tien lumipeitesyvydestä. Valokuva. Sisäinen tutkimusprojekti aineisto. Viitattu 15.2.2022
- Destia Oy 2021. Esimerkki tien lumipeitesyvydestä. Valokuva. Sisäinen tutkimusprojekti aineisto. Viitattu 15.2.2022
- Destia Oy 2021. Esimerkki tien lumipeitesyvydestä. Valokuva. Sisäinen tutkimusprojekti aineisto. Viitattu 15.2.2022
- Fintraffic julkaisuaika tuntematon. Verkkojulkaisu. <https://www.fintraffic.fi/fi/tie/tiesaa palvelut>. Viitattu 15.12.2021
- Goodfellow Ian, Bengio Yoshua ja Courville Aaron. Deep Learning. MIT Press. 2016. Verkkojulkaisu. <https://www.deeplearningbook.org>. Viitattu 16.2.2022
- Iin digiurakka 2016–2021: Data tiedoksi, tieto työksi. (tulossa) Väyläviraston julkaisuja. Viitattu 16.2.2022
- Jalonne Oy 2021. RoadData-järjestelmä. Valokuva. Sisäinen tutkimusprojekti aineisto. Viitattu 16.2.2022
- Jalonne Oy 2021. Puhdistettavan liikennemerkin annotointi näkymä. Valokuva. Sisäinen tutkimusprojekti aineisto. Viitattu 15.2.2022
- Jalonne Oy 2021. Ei lumisen liikennemerkin annotointi näkymä. Valokuva. Sisäinen tutkimusprojekti aineisto. Viitattu 15.2.2022
- Jalonne Oy 2021. Verkkojulkaisu. <https://jalonne.fi/>. Viitattu 15.12.2021
- Maanteiden talvihoito. Laatuvaatimukset 2018. Liikenneviraston ohjeita 33/2018. Liikennevirasto. Pdf-tiedosto. https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2018-33_maanteiden_talvihoito_web.pdf. Viitattu 13.12.2021.
- Maanteiden talvihoito. Laatuvaatimukset 2018. Liikenneviraston ohjeita 33/2018. Liikennevirasto. Pdf-tiedosto. Maksimi lumi- ja sohjomäärän arviointi. Valokuva. https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2018-33_maanteiden_talvihoito_web.pdf. Viitattu 19.1.2022
- Maanteiden talvihoito. Laatuvaatimukset 2018. Liikenneviraston ohjeita 33/2018. Liikennevirasto. Pdf-tiedosto. Polanteen tasaisuuden mittaaminen tien poikkisuunnassa. Valokuva. https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2018-33_maanteiden_talvihoito_web.pdf. Viitattu 19.1.2022
- Oulun Yliopisto. Pentikäinen Matti. Silven Olli. pdf. <https://www oulu.fi/sites/default/files/content/konnenako.pdf>. Viitattu 16.12.2021
- Urjo, Simo 2022. Tiesääasema. Valokuva. 17.2.2022. Paikkakunta: Leppävirta
- Väylä 2022. Maanteiden hoidon urakoitsijat kartalla 1.10.2021- 1.10.2022. Valokuva. Pdf-tiedosto. https://vayla.fi/documents/25230764/35411132/alueurakat21_v4.pdf/da51e6cf-5ab4-66c4-eb1-4ce6929d10d5/alueurakat21_v4.pdf?t=1617884081854. Viitattu 19.1.2022
- Väylä 2021. Teiden sekä kävelyn ja pyöräilyn väylien talvihoito. Verkkojulkaisu. <https://vayla.fi/kunnossapito/tieverkon-kunnossapito/talvihoito>. Viitattu 12.1.2022