



Ajoneuvon tunnistaminen kameralla rekisterikilvestä

Pietari Miettinen

Opinnäytetyö, AMK

Joulukuu 2023

Tekniikan ala

insinööri (AMK), Sähkö- ja automaatiotekniikka tutkinto-ohjelma

Miettinen Pietari

Ajoneuvon tunnistaminen kameralla rekisterikilvestä

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. **Joulukuu 2023**, 21 sivua.

Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: kyllä

Tiivistelmä

Tavoitteena oli ottaa selvää, kuinka hyvin ajoneuvoja voidaan tunnistaa rekisterikilvestä kameran avulla. Kameratunnistuksella oli tarkoitus korvata muita tunnistautumismuotoja ja nopeuttaa tunnistautumista polttoaineenjakelupisteillä. Tunnistamalla ajoneuvoja oli tarkoitus jakaa ajoneuvoille polttoaineiden tankkauslupia automaattisesti. Aikaisemmin saman kaltaisissa järjestelmissä tunnistautuminen on toteutettu muun muassa RFID-tunnisteilla.

Otettiin selvää, millaisia rekisterikilpitunnistus mahdollisuuksia markkinoilta löytyy, miten hyvin ne soveltuvat eri ympäristöihin ja millaisia ongelmia voi tulla vastaan ja miten niitä ratkotaan. Valittiin tarpeisiin sopiva kamera ja integroitiin se muuhun prosessiin.

Tutkimus toteutettiin ensin hankkimalla erilaisia kameroita ja testaamalla niitä ja niiden toimivuutta suljetuissa ympäristöissä. Kameran valitsemisen jälkeen valvomalla toimivuutta koko prosessissa ja ottamalla ylös vastaan tulevat ongelmat ja virhetilanteet. Ongelmiin ja virheisiin pyrittiin löytämään ratkaisuja ja kokeilemaan niitä heti käytännössä.

Lopulta ajoneuvot saatiin tunnistumaan rekisterikilvestä hyväksyttävällä varmuudella, vaikkei jokainen kilpi oikein tunnistukaan. Järjestelmä ei ole täydellinen, mutta toimii kuitenkin tarpeeksi hyvin. Kameratunnistusta ollaan ottamassa käyttöön tulevaisuudessa muissakin asiakkaiden tankkauspisteissä.

Rekisterikilpien lukeminen ja sitä kautta ajoneuvojen tunnistaminen kameralla oli toimiva, muttei kuitenkaan täysin virheetön, tapa tunnistaa eri ajoneuvot toistaan ainakin prosesseissa, joissa olosuhteet pysyvät suopeina ja suhteellisen muuttumattomina.

Avainsanat (asiasanat)

Kamera, rekisterikilpi, rekisterikilpitunnistus, konenäkö

Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)

Esim. opinnäytetyön liitteen salassapitoperuste, ks. raportointiohjeen luku 4.1.2

Miettinen Pietari

Identifying a vehicle with a camera from the license plate

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, December 2023, 21 pages

Degree Programme in Electrical and Automation Engineering. Bachelor's thesis.

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

Abstract

The goal in the thesis was to find out how well vehicles can be recognized from the license plate using a camera. Camera was supposed to replace other ways of identifying a vehicle such as RFID-tags. The main purpose of the identification with a camera was to be able to automatically give refueling permissions to the whitelisted vehicles. Automatically distributed refueling permissions should reduce the amount of paperwork and needed man hours compared to older systems.

Different variations of the possible solutions for license plate recognition and their suitability for the needs were researched. Possible options were tested and a suitable camera and way of using it was chosen. At first the camera was tested in a test space and once they were found to be suitable for the job it was installed to its planned position to continue the tests in a real fuel distribution environment.

The license plate recognition system was monitored daily for a certain time window and all the problems and errors encountered were written down. Solutions for said problems were mostly found and the fixes for errors were tried out in practice.

After plenty of tweaking and fine tuning the license plates were recognized well enough for the project to be called successful. The results weren't perfect and not every vehicle was identified correctly using a camera, but the margin of error was acceptable for this kind of process. This camera-based vehicle identification is already planned to be used in future projects.

Identifying vehicles by their license plates with a camera was found to be a great way to authorize refueling in a constant environment where vehicles come from the same direction every time and brightness and weather conditions do not change too much.

Keywords/tags (subjects)

Camera, license plate, license plate recognition, machine vision

Miscellaneous (Confidential information)

Sisältö

1	Johdanto	5
2	Rekisterikilpitunnistuksen vaihtoehdot ja perusteet.....	6
2.1	Konenäkö.....	6
2.2	Erilaiset kamerat	7
2.3	Rekisterikilpitunnistuskameran ja ohjelmiston valinta	7
2.4	Rekisterikilvet	8
2.5	Power over ethernet	9
2.6	Kameran asetusten perusteet.....	9
3	Laitteiden valinta, ominaisuudet ja asentaminen	10
3.1	Järjestelmäkuvaus	10
3.2	Kameroiden kartoitus ja valinta	10
3.3	Valitun kameran ominaisuuksia	11
3.4	Yhteydenluominen kameraan	11
3.5	Kameran sijoitus.....	14
3.6	Perusasetukset kameralle	15
4	Kameran toiminnan testaus, valvominen ja ongelmanratkaisu	16
4.1	Testaustapa	16
4.2	Tunnistusalue	16
4.3	Tunnistusvarmuus.....	17
4.4	Vaikeuksia aiheuttavat merkit	17
4.5	Kuluneet ja likaiset kilvet	18
4.6	Lopputulokset.....	18
5	Pohdinta.....	19
	Lähteet	20

Kuviot

Kuvio 1.	Power over Ethernet luokitukset.	9
Kuvio 2.	Esimerkkiasetukset kameran http-viestintään	12
Kuvio 3.	Kameran lähettämä json	13
Kuvio 4.	GeoVisionin asennusohje.....	14

1 Johdanto

Teknologian kehitys mahdollistaa nykyään monien eri töiden ja työvaiheiden automatisoinnin. Automaattinen tankkauslupien jakaminen ja tankkausten seuranta vähentää pakollisia työtunteja kyynään ja paperiin perustuvaan käsikirjaukseen verrattuna erilaisten yritysten vilkkailla tankkauspisteillä. Tällaisella järjestelmällä on tarkoitus nopeuttaa tankkaustapahtumia, vähentää inhimillisiä virheitä kirjauksissa, ehkäistä tankkauspisteiden väärinkäyttöä ja helpottaa tankkaustapahtumien seuranta. Tässä työssä keskitytään ajoneuvojen tunnistamiseen rekisterikilvestä kameran avulla tankkauslupia jaettaessa ja tankkauksia ylös kirjatessa.

Tavoitteina työlle oli ottaa selvää rekisterikilpitunnistuksen soveltuvuudesta ajoneuvojen tunnistamiseen ja kuinka kameralla tapahtuva tunnistaminen saadaan mahdollisimman toimintavarmaksi. Toimeksiantaja työlle oli muun muassa polttoainejakelujärjestelmiä toteuttava TechnoSmart Oy. Kameroiden ja muun järjestelmän testaus tapahtui Jyväskylässä erään asiakkaan ajoneuvojen tankkaus- ja pesuhallissa.

Opinnäytetyössä selvitetään, millainen kamera järjestelmään sopii, mitä on hyvä ottaa huomioon kameran paikkaa valitessa, millaiset ongelmat saattavat estää rekisterikilven oikein lukemisen ja miten näitä ongelmia on mahdollista ennaltaehkäistä. Edellä mainittuihin kysymyksiin etsittiin vastauksia eri tietolähteiden ja käytännön testausten avulla. Järjestelmä todettiin toimivaksi ja on kirjoitushetkellä käytössä ainakin kahdella eri asiakkaan toimipisteellä tankkauspisteellään ja rekisterikilpitunnistusta sovelletaan ja jatkokehitetään osana TechnoSmart Oy:n muita palveluja.

2 Rekisterikilpitunnistuksen vaihtoehdot ja perusteet

2.1 Konenäkö

Konenäkö on moderni ja kasvava teknologia, jossa kameran kuvaa analysoidaan matemaattisesti ja analyysin tulosten perusteella voidaan automaattisesti ohjata muita laitteita (Hirvonen, 2021). Julkaisussaan Konenäköjärjestelmät ja sen mahdollisuudet Gylling (2021) luonnehtii konenäköä käytötarkoituksiltaan monipuoliseksi teknologiaksi ja kertoo esimerkeiksi tästä muun muassa konenäön mahdollistavan tiedon keräämisen ympäröivästä liikenteestä ja liikennemerkkien luvun itseohjautuvalle autolle tai kasvatettavien kalojen kasvutahdin seurannan ja sen hyödyntämisen ruokkimissykliä optimoinnissa. Perinteisesti se perustuu joko ihmisen asettamien sääntöjen pohjalta tapahtuvaan kuvan tulkintaan tai koneoppimista hyödyntävään tietokoneohjelmaan, jossa kone tai ohjelma itse muodostaa säännöt, joiden perusteella kuva-analyysi tehdään (Hirvonen 2021).

Perinteisellä konenäköjärjestelmällä saadaan haluttua dataa prosessista asetettujen sääntöjen mukaisesti. Kuvasta voidaan mitata esimerkiksi kappaleiden muotoja, kokoa tai värejä. Sääntöpohjainen konenäkö on parhaimmillaan, kun kuvaolosuhteiden muutokset ja kuvasta tunnistettavien kohteiden erot pysyvät suhteellisen pieninä. Kameran kiinteä sijainti, etäisyys kuvauskohteeseen ja valaistuksen vähäiset muutokset parantavat sääntöpohjaisen konenäön luotettavuutta. Tämänlainen järjestelmä ei kuitenkaan ota huomioon yhtäkään muuttujaa, jota sen ohjelmoija ei ole osannut etukäteen sille ohjeistaa. Samanlaisina toistuvien tapahtumien analysointiin sääntöpohjainen konenäkö on todella hyvin sopiva työkalu. (Hirvonen 2021; Konenäkö tuo teollisuuteen monipuolisia ja tehokkaita ratkaisuja.)

Koneoppimista hyväksikäyttävä konenäkö soveltuu sääntöpohjaista konenäköä paremmin olosuhteisiin, joissa esimerkiksi sää, vuorokauden aika tai tunnistettavan kohteen materiaali tai väri saattaa muuttua ja täten vaikeuttaa perinteisten analysointiin käytettävien sääntöjen luomista. Koneoppivalle ohjelmalle on tunnistettavien kohteiden monimutkaisuudesta riippuen opetettava hyviä ja huonoja esimerkkikuvia ja tapauksia sadoista tuhansiin tai jopa kymmeniintuhansiin, jotta analyysi kuvasta olisi tarpeeksi luotettava. Koneoppivalle järjestelmälle voi käytännössä opettaa asiat samalla tavalla, kuin videokuvaa valvovalle ihmiselle. Tekoälyratkaisut yleistyvät kovalla tahdilla koneoppimisen kehittyessä koko ajan ja nykyään jo monet prosessit, joiden aikaisemmin oletettiin

olevan automatisoitaviksi liian vaikeita, ovat nykyään mahdollisia automatisoida konenäön ja koneoppimisen avulla. (Hirvonen 2021; Konenäkö tuo teollisuuteen monipuolisia ja tehokkaita ratkaisuja.)

2.2 Erilaiset kamerat

Kameroita on sekä normaaleja konenäkökameroita, jotka vain kuvaavat ja lähettävät kuvadataa eteenpäin, että älykameroita, jotka myös käsittelevät ja analysoivat kuvaa itse. Normaali konenäkökameroiden kanssa muodostetaan yhteys tietokoneeseen, joka hoitaa kuvan käsittelyn, analyysin ja mahdolliset jatkotoimet. Tällaisessa prosessissa on etuna se, että tietokoneohjelman voi itse luoda juuri sellaiseksi ja tilanteeseen sopivaksi, kuin itse haluaa. Ohjelman luonti kuitenkin vaatii ohjelmoijalta tietämystä ja taitoa ja kuvan siirtäminen tietokoneelle analysoitavaksi myös lisää järjestelmään viivettä. (Hirvonen 2021.)

Älykamerasta puhuttaessa viitataan kameraan, joka pystyy kuvaamisen lisäksi myös analysoimaan kuvaa itse. Älykameroissa myös usein on omia sisään- ja ulostuloja. Ohjelmoija pystyy itse muuttamaan älykameran ja sen sisällä pyörivän sovelluksen asetuksia, mutta vain kameravalmistajan tarjoamien työkalujen puitteissa. Älykameran voi myös mahdollisesti kytkeä suoraan toimilaitteeseen, jolloin tietokonetta tai muuta logiikkaa kameran ja toimilaitteen väliin ei tarvita. Älykameran ohjelmointi on huomattavasti helpompaa, kuin itse ohjelman koodaaminen. Laskennan tapahtuessa kamerassa itsessään kuvan siirtämisestä johtuvaa viivettä ei synny yhtä paljoa, kuin normaalilla konenäkökameralla, jolloin prosessin nopeutuu hieman. (Hirvonen, 2021 ja Are Smart Cameras a better Choice Over Traditional Cameras? 2020)

2.3 Rekisterikilpitunnistuskameran ja ohjelmiston valinta

Kameran ja ohjelmiston valinnassa on otettava huomioon kameran soveltuvuus, ohjelmoijan tietotaito ja prosessin luomat muuttujat. Sekä Verkadan(What are ANPR, ALPR, and LPR Cameras? N.d) että Planet recognizerin (Choosing the Best LPR Camera- Alternatives You Should Know, 2022) julkaisuissa muistutetaan kustannustehokkuudesta. Verkada painottaa, että kameran valintaan liittyvissä kustannusarvioissa täytyy ottaa huomioon myös kameran vaatimien mahdollisten lisäkustannusten kuten ulkoisen tallennustilan ja ohjelmistolisenssien aiheuttamat kustannukset, kun taas

Planet recognizerin sivuilla kerrotaan, ettei kalliikaan älykamera välttämättä toimi luvutulla varmuudella. Älykamerat ovat normaaleja kameroita kalliimpia, mutta toisaalta niitä käyttäessä voi mahdollisesti ohittaa erillisen tietokoneen tai logiikan tarpeen ja tulla toimeen pienemmällä ohjelmisto-osaamisella. On tilanteita, joihin löytyy ratkaisu suoraan kaupan hyllyltä älykameran muodossa ja tilanteita, joissa on pakko ohjelmoida itse prosessiin sopiva konenäkösovellus.

2.4 Rekisterikilvet

Rekisterikilpi on ajoneuvon tai muun tieliikenteessä liikkuvan laitteen rekisteröintiin luotu tunniste. Suomessa rekisterikilvistä vastaa Traficom. Ensirekisteröinnin yhteydessä ajoneuvo saa automaattisesti EU-kilven seuraavalla vapaana olevalla rekisteritunnuksella. Ajoneuvolla voi myös olla erityiskilpi, jossa on Traficomien asiakkaan itsensä valitsema rekisteritunnus. Ajoneuvoon voi myös saada pienen valkopohjaisen kilven rekisteröintejä tekevältä katsastustoimipaikalta, jos katsastaja on todennut, ettei ajoneuvoon mahdu normaali pitkä rekisterikilpi. Tämä pienempi kilpi myös merkitään ajoneuvon teknisiin tietoihin. (Yleistä rekisterikilvistä, 2021.)

Suomen ajoneuvolain mukaisesti ajoneuvoon ei saa laittaa siihen kuulumattomia rekisterikilpiä, siirtomerkkejä tai muita harhauttavasti rekisterikilpeä muistuttavia tunnuksia. Rekisterikilven tulee olla liikenteessä vaikeudetta luettavissa. Rekisterikilpi tulee puhdistaa tarvittaessa, jotta sen luettavuus pysyy mahdollisena. (Ajoneuvolaki 82/2021, 101 §; Yleistä rekisterikilvistä, 2021.)

Auton kansallisuustunnusmerkillisen rekisterikilven tulee olla 118 mm korkea ja 442 mm leveä ja kansallisuustunnusmerkittömän kilven tulee olla 118 mm korkea ja 397 mm leveä, 118 mm korkea ja 338 mm leveä tai 112 mm korkea ja 300 mm leveä. Kansallisuustunnusmerkillinen rekisterikilpi voi olla myös 200 mm korkea ja 256 mm leveä, jolloin rekisterikilven kirjaimet ovat ylempällä rivillä ja numerot alemmalla rivillä. (Rekisterikilpien ja siirtomerkkien mitat ja muut tekniset ominaisuudet, 2021.)

2.5 Power over ethernet

Power over ethernet (jatkossa PoE) on IEEE standardeissa 802.3af, 802.at ja 802.3bt määritelty verkkotekniikka. PoE mahdollistaa sekä datan että käyttöjännitteen syöttämisen verkkolaitteelle samalla ethernet-kaapelilla. Nykyaikaisista LPR- ja IP-kameroista suuri osa tukee PoE-kytkentää, mikä helpottaa laitteen asennusta. PoE:n eduiksi Netgearin artikkelissa (Mikä on PoE? (Power over Ethernet), 2023) luetaan vain yhden kaapelin tarpeesta koituvat säästöt verkkolaitteiden kaapelointikuluissa, asentamisen helppous ja tilan säästyminen. Käyttöjännite PoE-laitteelle voidaan syöttää joko sitä tukevalla kytkimellä tai injektorilla. (Mikä on PoE? (Power over Ethernet), 2023; PoE, n.d.). Kuviossa 1 näkyy eri PoE standardien tukemat tehorajat, vaatimat jännitteet ja kaapelien luokitukset sekä syötön tehot ja jännitteet (Handy STH Power Over Ethernet PoE Type Reference Chart, n.d).

Handy STH PoE vs. PoE+ vs. PoE++ Table Powered Switch Port to Device				
	PoE	PoE+	PoE++	PoE++
IEEE Standard	IEEE 802.3af	IEEE 802.3at	IEEE 802.3bt	IEEE 802.3bt
PoE Type Designation	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4
Switch Port Power				
Max Port Power	15.4W	30W	60W	100W
Port Voltage Range	44–57V	50–57V	50–57V	52–57V
Cables				
Supported cables	Cat3/ Cat5 (or better)	Cat5 (or better)	Cat5 (or better)	Cat5 (or better)
Twisted Pairs Used	2-pair	2-pair	2-pair or 4-pair	4-pair
Powered Device Power				
Max Power to Device	12.95W	25.5W	51W	71W
Voltage Range to Device	37–57V	42.5–57V	42.5–57V	41.1–57V
©2020 ServeTheHome.com				

Kuvio 1. Power over Ethernet luokitukset.

2.6 Kameran asetusten perusteet

Kuvaa ottaessa kamera luo kuvan kamerasensorille pääsevän valon perusteella. Mitä vähemmän valoa sensorille pääsee, sitä tummempi kuva saadaan. Sensorille pääsevän valon määrän säätämistä kutsutaan valotukseksi. Kolme valotukseen vaikuttavaa tekijää ovat ISO-arvo, aukko ja suljinaika. Aukko vaikuttaa valon määrän lisäksi myös kuvan syvyyserävyteen. Mitä suurempi aukko, sitä valoisampi kuva ja pienempi osa kuvasta on terävä. Pienellä aukolla taas kuva pysyy terävämpänä

suuremmalla alueella, mutta vastaavasti valoisuus laskee. Suljinaikaa eli valotusaikaa muuttamalla saadaan säädettyä sitä, miten pitkään kameran kenno on altistettuna valolle. Mitä pidempi suljinaika sitä valoisampi kuva. Liikkuvia kohteita kuvatessa suljinaikaa pidentämällä kuvatta kohde ehtii liikkua enemmän kuvaa ottaessa ja täten kuvan tarkkuus kärsii. Suljinaikaa lyhentämällä kuva pysyy tarkkana nopeassakin liikkeessä, mutta kuvasta tulee tummempi kennolle pääsevän valon vähentyessä. ISO-arvo kuvaa kameran kennolle pääsevän valon vahvistusta. ISO-arvoa kasvattaessa kuvan valoisuus kasvaa ja vahvistuksesta johtuva kohina lisääntyy. (Valokuvauksen perusteet: valotus, n.d.)

3 Laitteiden valinta, ominaisuudet ja asentaminen

3.1 Järjestelmäkuvaus

Järjestelmän on tarkoitus tunnistaa tankkauspisteelle ajava ajoneuvo ja lähettää sen rekisterikilven tiedot asematietokoneelle. Asematietokone vertaa tunnistettua kilpeä white listillä olevaan laitteiden listaan. Kilven löytyessä listalta asematietokone etsii tietokannasta ajoneuvon, jolle kilpi kuuluu ja antaa polttoainepumpun ohjaimelle tankkausluvut tietokannassa määritellyille aineille. Pumpulle ajaessa ajoneuvo myös ajaa anturin eteen, jonka avulla asematietokone tietää, että tankkauspisteellä on ajoneuvo, jolloin se ei enää välitä kameran mahdollisesti tunnistamista kilvistä. Nyt ajoneuvon pystyy tankkaamaan. Tankkaustapahtuman tiedot kuten tankattu aine, aineen määrä, tankkauksen aloitus ja lopetus hetket, pumpun ja pistoolin tiedot sekä tietysti tankattu ajoneuvo siirtyvät suoraan tietokantaan, josta niitä voi näppärästi koota ja tarkastella. Ajoneuvon poistuessa tankkauspisteeltä anturi ilmoittaa asematietokoneelle, että tankkauspiste on vapaa ja asematietokone alkaa taas ottamaan vastaan kameran tunnistamia rekisterikilpiä.

3.2 Kameroiden kartoitus ja valinta

Projektin alussa otettiin useampi Milesightin ja Hikvisionin kamera testiin Technosmartin varastolle ja seurattiin, miten hyvin ne tunnistavat yrityksen autojen kilpiä. Näihin kameravalmistajiin päädyttiin hyvän saatavuuden ja internetissä vastaan tulleiden positiivisten arvioiden takia. Näissä testeissä huomattiin nopeasti, että pelkällä rekisterikilpiä tunnistavalla kameralla saadaan selkeissä olosuhteissa tunnistettua ajoneuvojen kilpiä tarpeeksi hyvällä varmuudella, joten tarvetta erilliselle kilpiä tunnistavalle ohjelmalle ei ollut. Tämä oli todella tervetullut huomio, koska jo käytössä olevissa ARK-1124 asematietokoneissa ei mahdollisesti olisi ollut tarvittavaa laskentatehoa

rekisterikilpien tunnistamiseen videokuvasta ja asematietokoneiden uusiminen tekisi projektin integroimisesta jo olemassa oleviin asemiin kalliimpaa.

Varsinkin Hikvisionin kamerat olivat todella päteviä ja niinpä valinta alussa osui Hikvisionin AI Pro Bullet Plus 2 MP Zoom LPR rekisterikilven tunnistus kameraan. Asiaan tuli kuitenkin äkkiä muutos, kun marraskuussa 2022 Yhdysvallat asettivat kiinalaisten Hikvisionin, ZTE, Dahuan ja Huaweiin tuotteet myynti- ja maahantuontikieltoon. Kieltoihin syynä olivat mahdolliset uhkat kansalliselle turvallisuudelle. Hieman ennen tätä IPVM oli uutisoinut Hikvisionin teknologiaa käytettävän Kiinassa Uiguurien ja muiden vähemmistöjen tunnistamiseen ja valvontaan. Sosiaalisessa mediassa Hikvisionin tuotteet ymmärrettävästi tuomittiin tämän takia ja projektiin päästiin valitsemaan uusi kamera, mutta tällä kertaa aikaa testaamiselle ei enää juuri ollut ja kiinalaisen tuotannon välttelyminen johti taiwanilaisen GeoVisionin GV-LPR2800-DL kameran tilaamiseen.

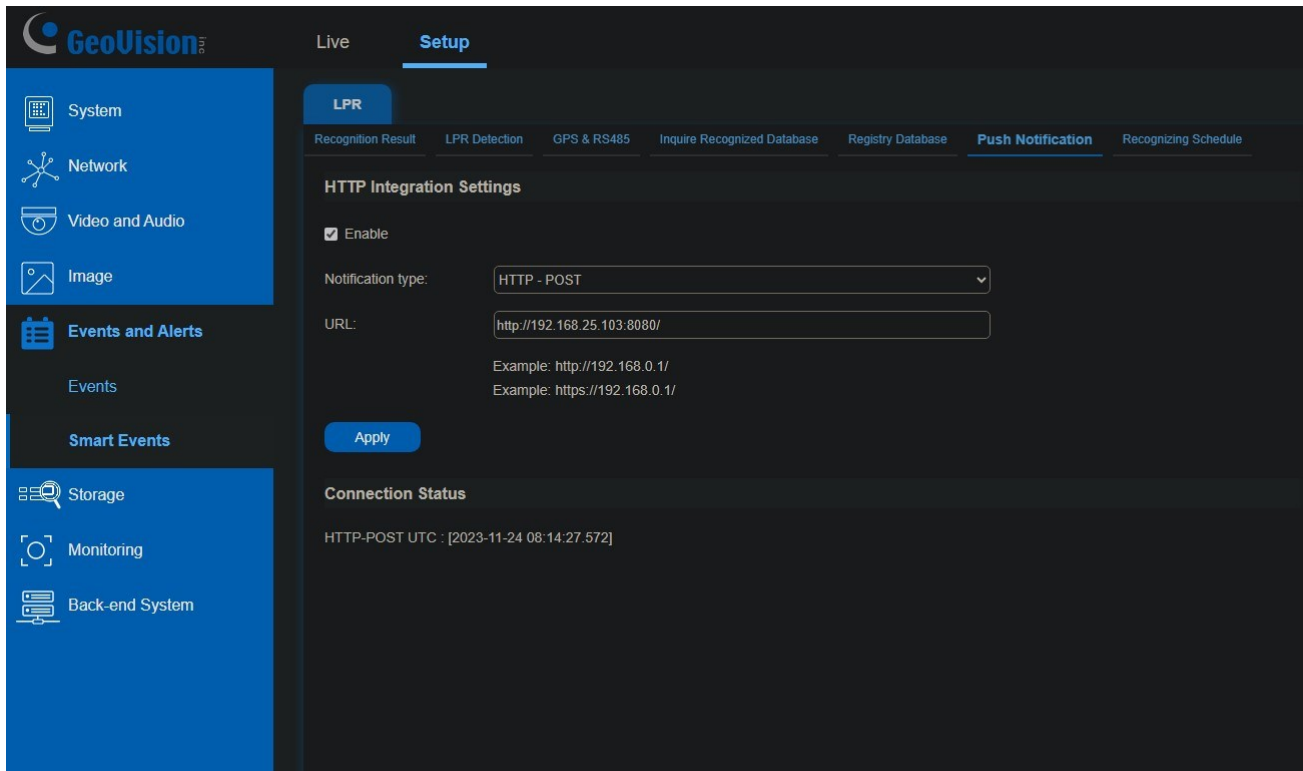
3.3 Valitun kameran ominaisuuksia

GeoVisionin GV-LPR2800-DL on älykamera, joka tunnistaa kilvet itsenäisesti ja kilven tunnistessaan ilmoittaa siitä halutulla tavalla. Kamerassa on infrapuna-LEDit, jotka ainakin mainospuheiden mukaan mahdollistavat paremman toimintavarmuuden pimeällä. Infrapuna-LEDejä ei tässä projektissa kokeiltu, koska kamera sijaitsee valaistussa sisätilassa. Kamerasta löytyy myös lämmitin, jonka ansiosta sen luvataan toimivan vielä -40 °C lämpötiloissa, mutta tätäkään ominaisuutta ei tällä kertaa päästy testaamaan. Sekä infrapuna- että lämmitinominaisuudet ovat kuitenkin tulevaisuuden kannalta tervetulleita ominaisuuksia, koska saman kaltaista järjestelmää on jo suunniteltu useampaankin eri ulkokohteeseen. Oletettavasti näitten lisäominaisuuksien takia kameralle on ilmoitettu maksimi tehoksi 45 W ja se tukee PoE IEEE 802.3bt standardia. Ensimmäisissä testeissä toimiston lämpimissä sisätiloissa kamera kuitenkin toimi normaalisti myös standardin IEEE 802.3at kytkimellä. Tuo suuren tehovaatimuksen epäiltiin todennäköisesti johtuvan lämmittimestä.

3.4 Yhteydenluominen kameraan

Kameraan saa yhteyden internet-selaimella syöttämällä osoitekenttään kameran IP-osoitteen. Laitteen oletus IP on 192.168.0.10, mutta sen voi luonnollisesti halutessaan muuttaa myöhemmin kameran asetuksista. Tätä kautta pääsee muuttamaan kameran asetuksia ja hallinnoimaan muun

muassa kameran SD-kortille tallentamia tunnistuksia. Halutessaan kameran saa tunnistuksen tehdessään lähettämään tunnistukseen liittyvää dataa haluamaansa osoitteeseen. Kuviossa 2 on esimerkki asetuksista, joilla tunnistuksen saa lähetettyä http-viestinä haluamaansa osoitteeseen.



Kuvio 2. Esimerkkiasetukset kameran http-viestintään

Kameran kanssa samassa aliverkossa toimivalla asematietokoneella kameran viestin voi kuunnella vaikkapa Linuxin peruskomentoihin lukeutuvalla tcpdump-komennolla, jolloin vastaanotetaan kuvion 3 mukainen viesti ja json-tiedosto. Json-tiedostosta käy ilmi tunnistettu rekisterikilpi ja sen tunnistamisajankohta. Tässä esimerkissä tunnistettu kilpi oli ABC-123, kuten "PlateID" ja "RecognizedPlateID" kohdista käy ilmi. Kameran lähettämästä json-tiedostosta käy myös ilmi kilven sijainti kameran ottamassa kuvassa kohdassa ""PlateRect":{"left":44,"top":42,"right":74,"bottom":57},"", jota hyödyntämällä toteutettiin myös kahdelle eri tankkauslinjalle tankkauslupia jakeleva versio, jossa vasemmassa laidassa tapahtuvat tunnistukset antavat tankkausluvan kameran vasemmalla puolella ja kuvan oikeasta laidasta tulevat tunnistukset kameran oikealla puolella olevalle linjalle. Vaikkei tätä yhden kameran ja kahden tankkauslinjan versiota tällä kertaa käytettykään, tullaan sitä tulevaisuudessa todennäköisesti hyödyntämään sille soveltuvissa kohteissa.

```

13:54:02.680746 IP (tos 0x0, ttl 64, id 47431, offset 0, flags [DF],
proto TCP (6), length 931)
  192.168.25.33.46770 > 192.168.25.103.8080: Flags [P.], cksum
0x9e02 (correct), seq 1:880, ack 1, win 229, options [nop,nop,TS val
10287355 ecr 1488906423], length 879: HTTP, length: 879
  POST / HTTP/1.1
  User-Agent: curl/7.38.0
  Host: 192.168.25.103:8080
  Accept: */*
  Content-Type: application/json
  Content-Length: 742
  {
    "Success":true,
    "Recycle":true,
    "Device_UTCTime":"2023-11-16 13:53:17.000",
    "Model_Name":"GV-LPR2800-DL",
    "Device_Name":"GV-LPR2800-DL",
    "sd_check":28867,
    "LatestOne":0,
    "getLastTmFlag":4,
    "MaxRetNum":1,
    "iofilter":0,
    "Query_UTCTime":"2023-11-02 05:45:05.973",
    "DataNum":1,
    "data":[
      {
        "CamID":0,
        "PlateID":"ABC123",
        "RecognizedPlateID":"ABC123",
        "Operator":"",
        "OriPlate":"",
        "PhotoName":"20231102054506082_1_ABC123.jpg",
        "Local":"2023-11-02 08:45:06.082",
        "UTC":"2023-11-02 05:45:06.082",
        "PlateRect":{"left":44,"top":42,"right":74,"bottom":57},
        "CardID0":"N/A",
        "CardID1":"N/A",
        "CardID2":"N/A",
        "CardCode":"",
        "CardBits":0,
        "CardCode_Recog":"N/A",
        "CardBits_Recog":0,
        "ExtraInfo":"",
        "GpsInfo":"",
        "MsgID":22,
        "Live":0,
        "$":""
      }
    ]
  }

```

Kuvio 3. Kameran lähettämä json

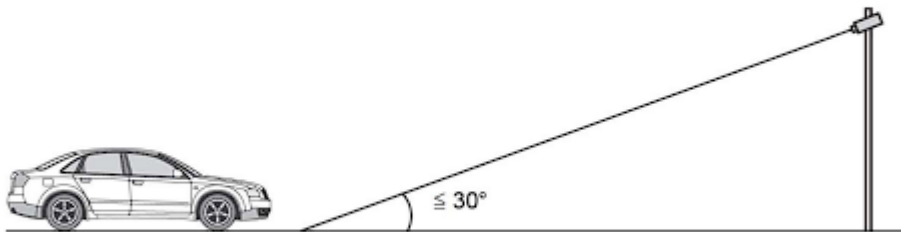
3.5 Kameran sijoitus

Tankkaushallissa kamera pyrittiin sijoittamaan GeoVisionin ohjeiden mukaisesti. Kuten kuvioista 4 käy ilmi, kameran tulisi olla maksimissaan 30° kulmassa maan sekä kuvattavan kohteen kanssa (GV-LPR2800-DL_InstallationGuide 2020, 4). Kulmia laskiessa leveysuunnassa päätettiin ohjeen kuvasta poiketen ottaa kohdepisteeksi rekisterikilven ulompi laita auton laidan sijaan, koska tarkoituksena kameralla ei ole tunnistaa auton keulaa vaan sen rekisterikilpi.

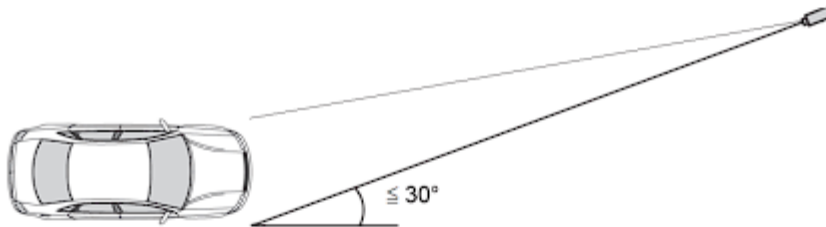
1. Installation and Recognition Parameters

View Angle

- **Vertical View Angle $\leq 30^\circ$:** The vertical view angle of the camera shall be within 30 degrees to the ground.



- **Horizontal View Angle $\leq 30^\circ$:** The horizontal view angle of the camera shall be within 30 degrees relative to the recognition target.



Camera Position

Installation Scenario		Recommended Height in m (ft)	Recognition Distance in m (ft)	Maximum Speed in km/h (mi/h)
Parking Entrance/Exit		1 ~ 2 (3.3 ~ 6.6)	4 ~ 30 (13.1 ~ 98.4)	30 (18)
Roadside	1-Laned	~ 2 (~ 6.6)	5 ~ 30 (16.4 ~ 98.4)	100 (62)
	2-Laned		12 ~ 30 (39.4 ~ 98.4)	60 (37)
Centered-Top	1-Laned	4 ~ 6 (13.1 ~ 19.7)	9 ~ 30 (29.5 ~ 98.4)	100 (62)
	2-Laned			60 (37)

Kuvio 4. GeoVisionin asennusohje.

Hallin seinällä ei kuitenkaan juuri ollut kameran sijoittamispaikalle valinnan varaa, koska seinät olivat jo täynnä laitteita, telineitä ja kylttejä. Tästä johtuen kamera asennettiin siihen kohtaan, mihin se mahtui. Kameran sijoittamista vaikeutti myös se, ettei sitä voitu polttoainemittarin taakse sijoittaa, koska erittäin suurella todennäköisyydellä mittarin letkut tulisivat kuvattavan kilven ja kameran väliin. Kameran lopulliseen paikkaan sijoitettuna kamera on 200 cm korkeudella, ajolinjaa pitkin mitatessa 650 cm päässä hallin ovista, johon tunnistus piste päätettiin aluksi sijoittaa, ja 350 cm päässä ajolinjan keskustasta. Kameran jalka on 20 cm mittainen. Pythagoraan lausetta hyödyntäen saadaan kameran alla olevan pisteen etäisyys ovista laskemalla

$\sqrt{(650 \text{ cm})^2 + (350 \text{ cm} - 20 \text{ cm})^2} = 729 \text{ cm}$. Näillä mitoilla laskiessa kulma pystysuunnassa kameran ja maan välillä tunnistuspisteessä on $\tan^{-1}\left(\frac{200 \text{ cm}}{729 \text{ cm}}\right) = 15,34^\circ$ ja vaakasuunnassa kameran ja rekisterikilven välillä $\tan^{-1}\left(\frac{352 \text{ cm}}{650 \text{ cm}}\right) = 28,44^\circ$ johon tuo 352 cm saatiin lisäämällä linjan keskiviihan etäisyyteen puolet rekisterikilven leveydestä 44,2 cm eli 22,1 cm mikä on laskettu leveimmän sallitun rekisterikilven eli kansallisuustunnusmerkkillisen yksirivisen kilven mukaisesti ja vähentämällä kameran jalan mitta. Laskuissa on oletettu, että ajoneuvon kilpi on leveysuunnassa keskellä ajoneuvoa ja ajoneuvoa ajetaan keskellä linjaa. Kohteen ovien ja linjan ahtauden takia tämä oletus ei ole ainakaan kovin kaukana todellisuudesta. Kamera läheisyyteen seinälle asennettiin myös sähkökaappi, josta löytyy muun muassa asematietokone, PoE-kytkin, ja muut laitteet virtalähteineen.

3.6 Perusasetukset kameralle

Ensi alkuun kameran kohdistettiin hallin ovilla olevan auton rekisterikilpeen käsin pyöritettävillä zoom- ja hienosäätöruuveilla. Kameralle valotuksen säätöön ensin kokeiltiin automaattisia asetuksia, mutta niistä siirryttiin melkein heti pois. Kirkkaana talvipäivänä hallin ovien auetessa valo-olosuhteet muuttuivat niin paljon, että kameran kuva muuttui ensin kokonaan valkoiseksi, siitä suoraan mustaksi ja lopulta kuva alkoi taas selventymään ajoneuvon jo ajettua kameran ohi. Suljinaika asetettiin 1/250, joka tuntuu hyvältä valinnalta kohti kameraa reilua kävelynopeutta kulkevan kohteen tarkkaan kuvaamiseen. ISO-taajuutta säätävä ”video gain” asetettiin niin, että kameran kuva on hieman ihmissilmää tummempi, koska näin kuva pysyi tarkkana ja myöhemmin kameraa testatessa huomattiin, että rekisterikilven mustavalkoinen väritys erottuu selkeästi myös hieman hämärämmässä kuvassa, mutta turhan valoisassa kuvassa, valon osuessa ikävässä kulmassa kilpeen, se voi heijastaa todella pahasti ja pilata kilven luettavuuden. ISO-taajuudesta ei harmillisesti mitään

numeroarvoa saanut pihalle, vaan säätäminen tapahtui kameran asetuksista löytyvällä liukusäädöllä.

4 Kameran toiminnan testaus, valvominen ja ongelmanratkaisu

4.1 Testaustapa

Kameran tunnistamista valvottiin etäyhteyden avulla ja kameran ohittavat ajoneuvot, kameran tekemät tunnistukset ja havaitut ongelmat kirjattiin ylös. Käytännössä tämä tarkoitti sitä, että istuttiin ruutua tuijottaen kello 10.00–13.00 välinen aika, joka oli selkeästi vilkkainta tankkausaikaa kyseisessä kohteessa, kirjaamassa käsin jokaisen kameran ohi ajaneen ajoneuvon rekisterikilpi ja tarkistettiin, oliko kamera tunnistanut rekisterikilven oikein. Tunnistettavia ajoneuvoja oli kymmenestä kahteenkymmeneen per valvontajakso, joten otoskoko oli suhteellisen pieni, mutta tulokset olivat kuitenkin suuntaa antavia.

4.2 Tunnistusalue

Testauksen edetessä nopeasti huomattiin, että tunnistuspisteeksi valittu kohta ovilla ei ollut hyvä, koska ovien avautuessa kamera yritti lukea rekisterikilpeä oven raosta jo ennen, kuin se näkyi kokonaan. Silloin tällöin myös ovien ollessa auki kamera luki kilpiä ovien ohi ajavista autoista, mikä ei ollut toivottavaa. Tällaisessa tilanteessa olisi mahdollista se, että ovista sisään ajavan ajoneuvon rekisterikilpi jää esimerkiksi kilven kuluneisuudesta johtuvan virheen takia kokonaan lukematta ja ovien ohi ajavan ajoneuvon kilpi luetaan samalla ovien avauksella oikein, jolloin tankkauspisteelle tulevan ajoneuvon tankkausluvut on saatu virheellisesti tankkauspisteen ulkopuolella liikkuvan ajoneuvon rekisterikilvellä. Tällaisessa tilanteessa tankkaajan pitäisi huomata näytöllä olevan väärä rekisterinumero, hylättävä tankkausluvut ja tunnistauduttava jollain muulla tavoin uudelleen. Tunnistusaluetta siirrettiin noin 75 cm päähän ovien sisäpuolelle. Tässä vaiheessa kameran etäisyys tunnistuspisteeseen väheni 650 cm:stä noin 575 cm ja vaakasuuntainen kulma tunnistettavaan kilpeen edellisestä $28,44^\circ$ muuttui $\tan^{-1}\left(\frac{352\text{ cm}}{575\text{ cm}}\right) = 31,47^\circ$. Vaikkei muutos ollutkaan suuri, kameran tunnistus varmuus laski huomattavasti välittömästi tunnistusalueen siirtämisen jälkeen, eikä kameran asetuksia säätämällä tahtonut löytyä ratkaisua tunnistus varmuuden nostamiseksi, joten päätettiin kameralle hankkia jatke sen jalkaan. Jalalle teetettiin 30 cm jatke. 30 cm jatkojalan

kanssa kameran etäisyys keskilinjasta laski 350 senttimetrinä 320 senttimetriin ja kulma tuli lähemmäs toivottua alle 30 ° kulmaa. Jatkojalan kanssa kameran vaakasuuntainen kulma kilpeen oli nyt $\tan^{-1}\left(\frac{322\text{ cm}}{575\text{ cm}}\right) = 29,25^\circ$. Tässä vaiheessa myös pystysuuntainen kulma oli muuttunut lattialla kameran alla olevan pisteen ja tunnistuspisteen etäisyyden ollessa nyt

$$\sqrt{(575\text{ cm})^2 + (350\text{ cm} - 20\text{ cm} - 30\text{ cm})^2} = 648,6\text{ cm}$$
 ja uudeksi kulmaksi saatiin

$\tan^{-1}\left(\frac{200\text{ cm}}{648,6\text{ cm}}\right) = 17,14^\circ$. Jatkojalan asennuksen ja kameran uudelleen tarkennuksen jälkeen kamera alkoi taas tunnistaa kiitettävästi rekisterikilpiä. Laskut eivät aivan täydellisesti kuvasta tosi maailmaa, sillä tunnistus alue on oikeasti noin kahden metrin mittainen, jolloin tunnistus kulma alueen sisällä kasvaa auton lähestyessä kameraa ja rekisterikilven sijainti on laskuissa oletettu keskelle väylää, vaikka se todellisuudessa voi kymmenisen senttiä heitellä suuntaansa. Tunnistusvarmuuden kasvu vaakasuuntaisen kulman pienentyessä kuitenkin puhui puolestaan ja osoittautui tärkeäksi osaksi tulevaisuudessa uusiin kohteisiin kameran paikkaa suunniteltaessa.

4.3 Tunnistusvarmuus

Kameran asetuksista löytyy "LPR Confidence level" asetus, jonka avulla voi muuttaa kameran itse määrittelemää tunnistuksen paikkansapitävyyden vaadittua alarajaa. Valinta tapahtuu asteikolla yhdestä viiteen, jossa suurempi luku tarkoittaa korkeampaa vaatimustasoa tunnistukselle. Tämä asetus oli vakiona laitettu tasolle kolme. Varmuuden ollessa tasolla yksi kamera näkee kilpiä kaikkialla ja tunnistaa olemassaolemattomia kilpiä seinillä, lattiassa ja missä tahansa. Kolmosen ylittävillä varmuuksilla kamera mielivaltaisesti jättää välillä tunnistamatta jotkin selvästikin luettavista kilvistä. Tässä päädyttiin nopeasti tasolle 2, jolloin kamera silloin tällöin lukee saman kilven yhdellä kertaa parilla eri tavalla. Päätettiin, että kerran oikein ja pari kertaa väärin luettu kilpi on pienempi haitta kuin se, että kamera vain jättäisi rekisterikilven tunnistamatta kokonaan.

4.4 Vaikeuksia aiheuttavat merkit

Kameralla havaittiin olevan silloin tällöin ongelmia tiettyjen merkkien toisistaan tunnistamisen kanssa. Kirjaimista eniten ongelmia tuotti V- ja Y-kirjaimet, jotka vähänkin kuluneemmissa kilvissä usein tunnistui molemmilla tavoilla eli esim. kuvitteellinen kilpi ABV-123 tunnistuisi sekä ABV-123 että ABY-123 kilpinä. Tästä ei varsinaisesti ole haittaa, koska white listiin verratessa ei löytynyt kahta kilpeä, joiden ainoana erona olisi V- ja Y-kirjaimet. Myös K-kirjaimen kanssa on vaikeuksia,

jos se on kilven ensimmäisenä kirjaimena ja kilpi on kiinnitetty ajoneuvoon isoilla valkoisilla ruuveilla. Tällaisessa tilanteessa, kameran ollessa ajajasta katsottuna oikealla puolella, saattaa kameran kulmasta johtuen valkoinen ruuvinkanta tulla hieman K-kirjaimen keskikohdan tielle ja kamera tunnistaa sen X-kirjaimena. Numeroista vaikeuksia tuotti odottamattomasti numerot 3 ja 5. Näiden ristiin tunnistautuminen on sinänsä ikävää, että rekisterikilpiä, joiden ainoana erona toisistaan on numero 3 tai 5, on white listillä parikin kappaletta, jolloin kuvitteellinen auto ABC-123 ja ABC-125 voivat harmillisesti tunnistua virheellisesti ristiin. Tämän kaltaisessa tilanteessa kuskin tulisi huomattava tankatessaan, että näytöllä näkyvä rekisterikilpi on eri kuin tankattavassa autossa ja tunnistauduttava jollain muulla tavalla järjestelmään. Näitä virheellisiä lukuja tullaan mahdollisesti tulevaisuudessa ratkaisemaan ohjelmiston puolella. Esim. kameran ilmoittaessa rekisterikilvestä XBC-123, joka ei löydy white listiltä, voitaisiin testata löytyykö white listiltä kilpeä XBC-125, KBC-123 tai KBC-125 ja vain yhden osuman sattuessa antaa tankkausluvut kyseisellä rekisterikilvellä varustetulle ajoneuvolle.

4.5 Kuluneet ja likaiset kilvet

Luonnollisesti kameralla on vaikeuksia tunnistaa kuluneita ja likaisin rekisterikilpiä samalla tavalla, kuin ihmissilmälläkin on. Järjestelmän toimintaa valvottaessa ei liian likaisia tai lumisia rekisterikilpiä tullut vastaan, mutta kuluneita rekisterikilpiä kamera jätti tunnistamatta muutaman. Varsinkin kamerasta katsottuna merkit rekisterikilven oikealla laidalla ovat joskus kuluneet lähes kokonaan pois. Tällaisessa tilanteessa luonnollisestikaan kamera ei kilpeä tunnista oikein, vaan jättää sen joko kokonaan tunnistamatta tai tunnistaa pois kuluneet merkit väärin. Usein kulunut merkki oli kameran mukaan "1". Näille tapauksille ei paljoa mahda muuta, kuin toivoa rekisterikilpien uusimista.

4.6 Lopputulokset

Rekisterikilpien tunnistuksen havaittiin olevan varsin toimiva vaihtoehto ajoneuvojen tunnistamiseen. Aloittaessa testejä rekisterikilvistä vain noin 85 % tunnistui oikein, mutta asetuksia ja kameran paikkaa viilaamalla tunnistusvarmuutta saatiin nostettua korkeammaksi. Satunaisesti valittuna viiden päivän mittaisen tarkkailujakson aikana järjestelmään kirjattuja tankkauksia ja kameran tunnistuksia toisiinsa vertaamalla 179 ajoneuvosta 173 eli noin 96,6 % ajoneuvoista tunnistui oikein. Näistä kuudesta väärin tunnistetusta ajoneuvosta yhdessä oli todella kulunut rekisterikilpi. Jos

tämä kulunut rekisterikilpi otetaan pois laskuista tunnistusvarmuus olisi 178 rekisterikilvestä 173 oikein eli 97,2 %, mikä on jo vallan hyvä tulos.

5 Pohdinta

Opinnäytetyön tavoitteena oli ottaa selvää, miten hyvin ajoneuvojen tunnistaminen kameralla rekisterikilvistä onnistuu. Tavoitteena oli myös selvittää mitä rajoitteita ja vaikeuksia kameralla ajoneuvoja tunnistaessa voi ilmetä ja miten näitä voi ratkaista.

Prosessia testatessa, säätäessä ja lopputuloksia kerätessä otoskoot pysyivät suhteellisen pieninä, joten johtopäätöksiä tekeminen eri vaiheiden onnistumisesta ja tarpeellisuudesta voi olla sattuman kauppaa ja olosuhteet sekä asiakkaan ympäristössä että kameraa hankkiessa määräisivät tehtyjä toimenpiteitä todella paljon.

Työssä onnistuttiin ja tavoitteet savutettiin kiitettävästi, muttei kuitenkaan täydellisesti. Edelleen silloin tällöin kilpiä tunnistuu väärin ja kaikkia havaittuja ongelmia ei saatu ratkaistua, kuten numeroiden kolme ja viisi ristikkäin tunnistuminen ja siitä koituvat mahdolliset virheet tankkausdatassa. Näitä ongelmia voisi mahdollisesti pyrkiä ratkaisemaan taustalla pyörivää ohjelmistoa kehittämällä vikatilanteiden ympärille. Rekisterikilpien tunnistaminen kameralla osoittautui sen verran toimivaksi systeemiksi, että sitä ollaan jo asentamassa ja suunnittelemassa useampaan eri tankkauspaikkaan ympäri Suomea.

Lähteet

Ajoneuvolaki 82/2021. Rekisterikilpien käyttö. Annettu 15.1.2021. Viim. Muutos 23.3.2023. Viitattu 19.5.2023. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2021/20210082/>.

Are Smart Cameras a Better Choice Over Traditional Cameras? 2020. Phase1vision verkkosivuilla julkaistu blogi 13.8.2020. Viitattu 19.5.2023. <https://www.phase1vision.com/blog/are-smart-cameras-a-better-choice-over-traditional-cameras/>.

Choosing the Best LPR camera – Alternatives You Should Know. 2022. Plate Recognizer:n verkkosivu. Viitattu 19.5.2023. <https://platerecognizer.com/best-lpr-camera-alternatives/>.

Gylling, J. 2021 Konenäkö ja sen mahdollisuudet. Unkie verkkosivu. Viitattu 19.5.2023. <https://www.unikie.com/fi/stories/konenako-ja-sen-mahdollisuudet/>.

GV-LPR2800-DL_InstallationGuide. 2020. Viitattu 10.11.2023. https://s3.amazonaws.com/geovision_downloads/Manual/LPR-Cam/LPR-DL/GV-LPR2800-DL_InstallationGuide.pdf/.

Handy STH Power Over Ethernet PoE Type Reference Char. Viitattu 10.11.2023. <https://www.servethehome.com/key-differences-of-poe-vs-poe-vs-poe-switches/handy-sth-power-over-ethernet-poe-type-reference-chart/>.

Hirvonen, J. 2021. Konenäköjärjestelmät ja -menetelmät tutuksi. SeAMK-verkkolehti. Viitattu 13.5.2023. <https://lehti.seamk.fi/alykkaat-ja-energiatehokkaat-jarjestelmat/konenakojarjestelmat-ja-menetelmat-tutuksi/>.

Konenäkö tuo teollisuuteen monipuolisia ja tehokkaita ratkaisuja. 2021. AFRY AB:n verkkosivu. Viitattu 19.5.2023. <https://afry.com/fi-fi/artikkeli/konenako-tuo-teollisuuteen-monipuolisia-ja-tehokkaita-ratkaisuja/>.

LPR, ANPR, ALPR Cameras. N.d. Verkada Inc:n verkkosivu. Viitattu 19.5.2023. <https://info.verkada.com/security-cameras/lpr-anpr-alpr-camera/>.

Mikä on PoE? (Power over Ethernet), 18.9.2023. Netgearin verkkosivu. Viitattu 1.10.2023. https://kb.netgear.com/fi/209/Mik%C3%A4-on-PoE-Power-over-Ethernet?language=fi&ref_url=https%3A%2F%2Fyle.fi%2Fa%2F74-20017670%2F%22%2F/.

PoE. N.d. Tilavaadin verkkosivu. Viitattu 1.10.2023. <https://www.tilavahti.com/page/22/poe/>.

Rekisterikilpien ja siirtomerkkien mitat ja muut tekniset ominaisuudet. 2021. Liikenne- ja vietintävirasto Traficom:n määräys. Viitattu 20.10.2023. Ladattavissa osoitteesta https://www.finlex.fi/data/normit/46854/01_Rekisterikilpien_ja_siirtomerkkien_mitat_ja_muut_tekniset_ominaisuudet.pdf

Syväoppiminen mahdollistaa tuotannon automatisoinnin ennennäkemättömin tavoin. 2021. AFRY AB:n verkkosivu. Viitattu 19.5.2023. <https://afry.com/fi-fi/artikkeli/syvaoppiminen-mahdollistaa-tuotannon-automatisoinnin-ennennakemattomin-tavoin/>.

Valokuvauksen perusteet: valotus. N.d. Kamerakoulun verkkosivut. Viitattu 10.11.2023. <https://kamerakoulu.fi/valokuvauksen-perusteet-valotus/>

Yleistä rekisterikilvistä. 2021. Traficom:n verkkosivu. Viitattu 19.5.2023. <https://www.traficom.fi/fi/liikenne/tieliikenne/yleista-rekisterikilvista/>.