

Kristian Lempinen

# KÄYTÄNNÖN SOVELLUKSIA JA NIIDEN HAASTEITA AUTOMAATTISESSA REKISTERIKILPIEN TUNNISTUKSESSA (ALPR)

Kirjallisuuskatsaus ALPR-tekniikan eri  
käyttötarkoituksista ja kehityskohteista.

Kandidaatin tutkielma

Tieto- ja sähkötekniikan tiedekunta  
Tarkastaja: Henri Lunnikivi  
Joulukuu 2022

# TIIVISTELMÄ

Kristian Lempinen : Käytännön sovelluksia ja niiden haasteita automaattisessa rekisterikilpien tunnistuksessa (ALPR)

Kandidaatin tutkielma

Tampereen yliopisto

Tietotekniikan DI-ohjelma

Joulukuu 2022

---

Automaattisesta rekisterikilpien tunnistuksesta, eli ALPR:stä, on tullut tärkeä työkalu monelle kaupalliselle ja yhteiskunnalliselle toimijalle, sillä nykypäivänä liikenteessä olevien ajoneuvojen määrä kasvaa jatkuvasti. ALPR-sovelluksien käyttö onkin jo vakiintunut erityisesti ajoneuvojen kulunvalvonnassa, pysäköintihalleissa, liikenteenvalvonnassa sekä virkavallan partioajoneuvoissa. Yksittäiset ALPR:n toteutukset erottuvatkin toisistaan käyttötarkoituksen, käyttöympäristön ja laitteiston puolesta, luoden tämän teknologian kehittämiseksi laajan kirjon erilaisia haasteita sekä ongelmakohtia. Tässä kirjallisuuskatsauksessa analysoidaan aihealueen aikaisemmissa tutkimuksissa havaittuja haasteita ALPR:n käytöstä ja esitellään ALPR teknologiana pintapuolisesti, tarkastellen sen historiaa sekä tärkeimpiä toimintaperiaatteita. Työ tuo esille käytännön sovelluksista havaittuja yhdistäviä riskitekijöitä, jotka vaikuttavat tunnistukseen tarkkuuteen ja tehokkuuteen. Lisäksi työssä on pohdittu alan tutkimuksen nykysuuntauksia, niiden kannattavuutta potentiaalisten monialaisten hyötyjen näkökulmasta ja tehty myös havaintoja siitä, mitä osa-alueita on jätetty tutkimuksissa vähemmälle huomiolle. Tämän katsauksen tärkein havainto on se, että ALPR-sovelluksilla on eri käyttötarkoituksissa samankaltaisia haasteita, mutta niihin ei ole yleisesti ottaen ole yhtenäisiä täsmäratkaisuja. Siksi onkin tärkeää, että ALPR:n tutkimustyö jatkaa nykyisellä suuntauksellaan, missä keskitytään ohjelmistokeskeiseen ratkaisuun.

Avainsanat: Automaattinen rekisterikilpien tunnistus (ALPR), tekstintunnistus (OCR), koneoppiminen, neuroverkot, ajoneuvot, valvonta

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

# ABSTRACT

Kristian Lempinen : Käytännön sovelluksia ja niiden haasteita automaattisessa rekisterikilpien tunnistuksessa (ALPR)  
Bachelor's thesis  
Tampere University  
Information and Communication Technologies, Bachelor's and Master's programme  
December 2022

---

Automatic license plate recognition (ALPR) has become an important tool for both businesses and officials, as the number of vehicles on the road continues to rise. The use of ALPR-systems has already been proven and standardized in vehicle access control, parking garages, traffic surveillance and in patrol cars of law enforcement agencies. Because of the wide range of different uses, users and equipment, unique applications of ALPR often face different challenges and problem conditions. The purpose of this literature review is to present a surface-level understanding of what ALPR is and analyze challenges identified in prior scientific studies of license plate recognition systems. This work aims to find common issues and risk factors between different applications, which affect the accuracy and efficiency of the recognition process. In addition, the review looks at the current trends of ALPR-studies and whether these hold solutions that would benefit multiple fields of ALPR use, as well as taking a look at what contemporary studies are prioritizing less. The most important observation from this work is that while different ALPR-systems face similar challenges, there are no commonly applicable precision solutions to them due to the variety of use scenarios. As such, the review concludes that current and mostly software-oriented research work is on the right track for the further development of ALPR.

Keywords: Automatic license plate recognition (ALPR), optical character recognition (OCR), machine learning, neural networks, vehicles, surveillance

The originality of this thesis has been checked using the Turnitin OriginalityCheck service.

# ALKUSANAT

Tämä kandidaatintyö on laadittu kirjallisuuskatsauksena Tieto- ja sähkötekniikan tiedekunnan alaisuudessa.

Haluan esittää rakkaat kiitokset Sannalle, Tiukulle, Hikarulle ja meidän pikkuiselle, joka vielä työn kirjoittamisen aikana odottelee pääsyään maailmaan.

Tampereella, 07.12.2022

Kristian Lempinen

# SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO .....	1
2. TUTKIMUSMENETELMÄT .....	3
3. AUTOMAATTINEN REKISTERIKILPIEN TUNNISTUS (ALPR) .....	4
3.1 ALPR-sovellusten historia lyhyesti .....	4
3.2 Toimintaperiaatteet .....	5
3.3 Esimerkkejä käytännön ALPR-sovelluksista.....	6
3.3.1 Kulunvalvonta .....	7
3.3.2 Pysäköinninvalvonta .....	7
3.3.3 Viranomaistoiminta .....	8
3.3.4 Liikenteenvalvonta .....	9
4. ALPR-SOVELLUSTEN KOHTAAMAT HAASTEET .....	11
4.1 Vaihtelevat olosuhteet.....	11
4.2 Rekisterikilpien erot ja näkyvyyttä haittaavat lisävarusteet .....	12
4.3 Tunnistettavan kohteen nopeus .....	13
4.4 Suorituskyky .....	14
5. YHTEENVETO.....	16
LÄHTEET .....	19

# LYHENTEET JA MERKINNÄT

ALPR	Automatic license plate recognition
ANN	Artificial neural network(s)
CNN	Convolutional neural network(s)
DNN	Deep neural network(s)
FPS	Frames per second
MLP	Multilayer perceptron
OCR	Optical character recognition
RFID	Radio-frequency identifier
ROI	Region of interest
SVM	Support vector machine
WSN	Wireless sensor network
YOLO	You Only Look Once -algoritmi
ALPR-sovellus	Jokin tietty ALPR:n käyttötarkoitus
ALPR-järjestelmä	Jonkin tietyn ALPR-sovelluksen tekninen toteutus

# 1. JOHDANTO

Automaattinen rekisterikilpien tunnistus, eli ALPR (*Automatic License Plate Recognition*, joissakin yhteyksissä *Automatic Number Plate Recognition*), on teknologia, jossa ajoneuvon rekisterikilpi pyritään automaattisesti tunnistamaan digitaalisesta kuvasta tai kuvasarjasta. Rekisterikilven sisältämät tiedot, kuten rekisteröinti- ja maatumnus, pyritään tämän jälkeen lukemaan kuvasta koneellisesti yksilöllistä tunnistusta varten. Rekisterikilvistä tunnistamalla kerättyä tietoa voidaan hyödyntää laajalti eri tarkoituksissa, joissa ALPR toimii signaalien välittäjänä tai tiedon kerääjänä osana laajempaa järjestelmäkokonaisuutta. ALPR-sovellusten taustalla on kattava yhdistelmä eri teknologioita ja menetelmiä, joista keskeisesti hyödynnettyjä ovat esimerkiksi konenäkö (*computer vision*), koneoppiminen (*machine learning*), *neuroverkot* (*artificial neural networks, ANN*), hahmontunnistus (*pattern recognition*) ja tekstin tunnistus (*optical character recognition, OCR*), jotka toimivat yhdessä myös fyysisten toteutusvaatimuksien kanssa. Näitä ovat esimerkiksi kameralaitteisto, valaistus, laskentateho sekä tietoliikenneyhteydet. ALPR-teknologiaa voidaan käyttää verrattaen laajalla skaalalla ottaen huomioon sen erityisyys ja tarkasti rajattu toimintaperiaate [1, s. 11203]. Rekisterikilpiin liittyvää tietoa on pystytty onnistuneesti hyödyntämään muun muassa parkkihallien, satamaterminaalien ja tehdasalueiden kulunvalvonnassa, liikenteenvalvonnan nopeus- ja tiekameroissa, tietullipisteissä, liikkuvan poliisin käytössä sekä rajavalvonnassa. Koska ALPR-järjestelmiä käytetään ympäri maailmaa erilaisissa ympäristöissä sekä käyttötarkoituksissa, kohdistuu niihin myös luonnollisesti monenlaisia haasteita.

Tämän työn tavoitteena on laatia kooste yleisimmistä ALPR-sovelluksiin kohdistuvista ongelmista sekä tarkastella, onko eri käyttötarkoituksissa havaittujen ongelmien välillä yhteneväisyyksiä. Motivaationa tutkimukselle on tuoda esille mahdollisia monialaisia hyötyjä, joita voitaisiin saavuttaa ratkaisemalla haasteita ALPR:n käytännön toteutuksissa. Osoittamalla, että yksi ratkaisu korjaa monta ongelmaa, voitaisiin perustella ALPR:ään liittyvää jatkotutkimusta ja kehitystyötä kannattavaksi. Tutkimusmenetelmäksi työlle on valittu kirjallisuuskatsaus, jossa analysoidaan aikaisemmissa tutkimuksissa tehtyjä havaintoja sekä ratkaisuehdotuksia. Lähtökohtana tarkastelulle ovat kokonaisuudet, jotka hyödyntävät ALPR-tekniikkaa päivittäisissä operaatioissa. Tärkeänä huomiona mainittakoon, että työssä esiteltyjä käytännön

sovelluksia ei kuitenkaan käydä läpi yksityiskohtaisesti teknisellä tasolla, sillä ALPR-järjestelmät ovat pitkälti kaupallisia tuotteita, joiden teknisiä ominaisuuksia ja syvempiä toimintoja suojaavat liikesalaisuudet.

Luvussa 2 aiheen käsittelylle luodaan pohja esittelemällä valittu tutkimusmenetelmä, eli kirjallisuuskatsaus. Lisäksi kerrotaan miten lähteitä on haettu ja millä perusteella lähteitä on valittu. Luvussa 3.1 aloitetaan ALPR:n esittely teknologiana käymällä lyhyesti läpi sen historiaa ja ensimmäisiä käyttötarkoituksia. Luvussa 3.2 esitellään pintapuolisesti ALPR-sovellusten keskeisimmät osat ja niin kutsutut kolme avainvaihetta, joista tunnistusprosessi koostuu. Luku 3.3 käsittää esimerkkejä eri käytännön sovelluksista esimerkkien kera sekä toimialakohtaisia havaintoja ALPR-järjestelmien käytöstä. Luvussa 4 kootaan yhteen yleisimmät ALPR-sovelluksille haasteita aiheuttavat tekijät ja pohditaan, onko aikaisemmissa tutkimuksissa esitetty ratkaisuja, jotka hyödyttäisivät useamman eri käyttötarkoituksen sovelluksia. Luku 5 on yhteenveto ALPR:stä teknologiana, sen käytännön sovelluksista ja haasteista. Lisäksi loppulauselmassa tuodaan esille merkittävät havainnot ja vastataan kysymykseen siitä, voidaanko alan jatkotutkimusta perustella monialaisesti saavutettavissa olevilla hyödyillä.

## 2. TUTKIMUSMENETELMÄT

Tämän työ on toteutettu akateemisena kirjallisuuskatsauksena. Sisällöltään se on kooste aikaisemmista tutkimustuloksista ja löydöksistä sekä niissä esitellyistä ratkaisuehdotuksista. Havainnot ja dataa on otettu akateemisista julkaisuista, ALPR-sovelluksia hyödyntävien tai niitä tuottavien yritysten virallisista julkaisuista sekä myös mediasta, jotta voidaan todentaa sovellusten käyttö julkisissa rajapinnoissa. Työ ei sisällä varsinaista hypoteesia tai uutta tutkimusdataa, eikä sen tarkoituksena ole muodostaa uutta tutkimuskysymystä. Sisältöä tarkastellaan yhteneväisyyksien löytämisen näkökulmasta, joita katsaus pyrkii korostamaan.

Työssä käytettyjen lähteiden hakuun on käytetty ensisijaisesti Tampereen yliopiston sähköistä aineistohakupalvelu Andoria. Tämän lisäksi aineistoa on myös haettu käyttäen Google Scholaria. Kummassakin palvelussa hakuja tehtiin pääasiallisesti käyttäen aiheen avainsanastoa lainausmerkkein sekä Boolean operaattoreita "AND" ja "OR", jotka toimivat sekä Andorissa että Google Scholarissa. Yritysten julkaisuja ja media-artikkeleita varten käytettiin DuckDuckGo-hakukonetta, joka ei painota maksettua sisältöä eikä sisällä selainoptimointiin pohjautuvaa markkinointia. Ajatuksena oli minimoida riskiä, jossa aineistoksi päätyy tavalla tai toisella vaikuttamisen alaista materiaalia.

Kokonaisuudessaan aiheesta on saatavilla paljon ajankohtaista ja mielenkiintoista tutkimusmateriaalia, joista valikoitui pitkälti lähteitä, joissa on joko käsitelty ALPR:n käyttöä tietyllä toimialalla tai tehty aiheesta yleisluotaava katsaus. Teknisempää aineistoa käytettiin pääasiassa vain taustalla toimivien teknologioiden esittelyyn lukijalle pintapuolisesti, sillä työ ei keskity ALPR:n ohjelmistotekniikoiden optimointiin.

### 3. AUTOMAATTINEN REKISTERIKILPIEN TUNNISTUS (ALPR)

ALPR, eli automaattinen rekisterikilpien tunnistus, monivaiheinen prosessi jossa tavoitteena on tunnistaa ajoneuvon rekisterikilpi. Se on monikäyttöinen ja toimivaksi todettu teknologia, joka on nykypäivänä maailman laajiten käytetty ajoneuvojen tunnistusjärjestelmä. Se on myös tärkeä osa älykkäitä infrastruktuureja ja autonomista logistiikkaa. [2]

Vaikka ALPR:n käytännön sovellukset voivatkin erota toisistaan laitteiston ja ohjelmistojen osalta, on niiden pohjalla kuitenkin samat peruseräpäätteet. Tässä luvussa tutkimmekin tarkemmin ALPR:ää teknologiana aloittamalla ensin sen historiasta sekä toimintaperiaatteista. Lopuksi yleiskatsaus ALPR:stä päätetään eri käytännön sovellusten esittelyyn sekä julkisessa että yksityisessä käytössä.

#### 3.1 ALPR-sovellusten historia lyhyesti

ALPR-teknologian uskotaan saaneen alkunsa Isossa-Britanniassa vuonna 1976 poliisin tieteellisen tutkimusosaston (Police Scientific Development Branch in Britain) toimesta. Varhaiset prototyypit olivat ensimmäisen kerran toiminnassa todistettavasti vuonna 1979 ja ensimmäinen ALPR-teknologiaa hyödyntävä pidätys tehtiin vuonna 1981, kun varastetun auton rekisterikilpi tunnistettiin automaattisesti liikenteen seasta [3]. ALPR:n käyttö yleistyi kuitenkin vasta 1990-luvulla, jolloin saatiin kehitettyä edullisempia ja helppokäyttöisempiä ohjelmistoja järjestelmien toteuttamiseksi [4]. ALPR on teknologiana tämän jälkeen kehittynyt tasaista tahtia ja löytänyt yhä enemmän käyttötarkoituksia liikennekameroiden ja viranomaistoiminnan ulkopuolella.

Varhaiset ALPR-menetelmät perustuivat pitkälti manuaalisesti kirjoitettuihin kuvankäsittelyn ja koneoppimisen algoritmeihin. Yleisiä tekniikoita olivat esimerkiksi reunantunnistus (*edge detection*) ja k-lähin naapuri -algoritmi (*k-nearest neighbour*), sekä varhaisemmat neuroverkkotekniikat, kuten tukivektorikone (*support vector machine, SVM*) ja monikerroksinen perseptroniverkko (*multilayer perceptron, MLP*). [5][6, s. 47] Rajendran *et al.* mukaan SVM-pohjaiset järjestelmät tuottivat parhaimmat tulokset tunnistuksessa sekä luokittelussa ennen konvoluutioneuroverkkojen (convolutional neural networks, CNN) yleistymistä [6, s. 48]. SVM-pohjaisten järjestelmien heikkous kuitenkin oli, että niille annetuista kuvista piti etukäteen käsin

poimia tunnistuksen kannalta oleelliset kokonaisuudet. Iso askel ALPR:n kehittymiselle olivatkin juuri edellä mainitut konvoluutioneuroverkot, jotka kykenivät aikaisemmista neuroverkkomalleista poiketen tehokkaasti käsittelemään moniulotteista dataa, kuten kuvia. Koska konvoluutioneuroverkko on data-lähtöinen algoritmi, pystyttiin sen tarkkuutta parantamaan lisäämällä sille annetun opetusdatan määrää. [5] Seuraavaksi kehitysaskeleeksi ALPR:ssä on kaavailtu syväoppimista (*deep learning*) ja sitä kautta syvien neuroverkkojen (*deep neural networks, DNN*) käyttöä. Syviä konvoluutioneuroverkkoja (*deep convolutional neural networks*) ja niihin pohjautuvia malleja onkin jo tutkittu sekä testattu käytännön kokeissa. [7]

### 3.2 Toimintaperiaatteet

ALPR-menetelmien tarkat toimintaperiaatteet voivat vaihdella saatavilla olevan laitteiston, laskentatehon, ohjelmistojen sekä käytettyjen algoritmien ja menetelmien erojen vuoksi. Yhteinen perusta kaikille ALPR-sovelluksille on kuitenkin yksinkertaistettuna kolmivaiheinen toimintaperiaate, joka koostuu osista: hankinta (*acquisition*), poiminta (*extraction*) ja tunnistus (*recognition*) [8, s. 104]. Tietyissä yhteyksissä on käytetty myös termejä lokalisatio, segmentointi ja identifikaatio. Kumpikaan näistä termiyhdistelmistä ei ole kuitenkaan universaalisti vakiintunut ja on olemassa erilaisia tulkintoja myös siitä, mihin näiden vaiheiden vastuualueet päättyvät.

Jotta mitään voidaan tunnistaa ALPR:llä, tarvitaan luonnollisesti otos tunnistettavasta ympäristöstä ja kohteesta – eli kuva. Tämä on ensimmäinen vaihe eli hankinta. Rekisterikilpien tunnistuksessa kuvan lähteenä käytetään joko väri-, mustavalko- tai infrapunakameraa, josta kuva, kuvasarja tai reaaliaikainen video välitetään tunnistusta tekeväälle tietokoneohjelmalle. Tunnistusohjelma voi toimia paikallisessa verkossa osana samaa järjestelmää tai laitetta sekä kohteen ulkopuolisella palvelimella verkkoyhteyden välityksellä. Jotta kuva otetaan oikea-aikaisesti, eli kun ajoneuvo ja sen rekisterikilpi ovat kameralle näkyvällä paikalla, tarvitaan signaali. Tämä signaali voidaan lähettää erilaisilla antureilla tai esimerkiksi optisilla sensoreilla [10, s. 3526]. Nykyään on myös olemassa ALPR-sovelluksia, jotka käyttävät kokonaan virtuaalisia kaappaussignaalin lähteitä. Tällaisessa sovelluksessa virtuaalinen liipaisinalue lähettää kameralle signaalin, kun se havaitsee liikettä, poistaen kokonaan tarpeen fyysisille sensoreille. [10]

Seuraavassa vaiheessa, eli poiminnassa, tietokoneohjelma prosessoi digitaalista kuvaa konenäön algoritmien avulla, etsien merkityksellisiä kokonaisuuksia, kuten ALPR:n tapauksessa rekisterikilpiä. Poiminnan tavoitteena ei ole pelkästään havaita

rekisterikilpeä, vaan myös rajata kiinnostavia alueita (region of interest, ROI), jotta seuraavalle vaiheelle voidaan antaa pienempi kuva, säästäten prosessointitehoa. [11, s. 314] Lisäksi kuvasta saadaan poistettua tunnistusvaiheessa mahdollisesti häiritsevät, epäoleelliset objektit. [8, s. 104]

Kolmas vaihe, eli tunnistus, pyrkii keräämään rajauksista niiden sisältämän datan. Kuvasta asioiden tunnistaminen voi äkkiseltään vaikuttaa ihmiselle yksinkertaiselta ja luonnolliselta asialta, mutta tietokoneelle se on merkittävä haaste. Kuvassa olevien esineiden, hahmojen tai tekstin tunnistamiseen vaikuttavat muun muuassa kuvan laatu, valaistus, tärinä, skaala, mahdolliset vääristymät, kohteen nopeus tai kuvassa olevien kohteiden osittainen peittyminen, jotka kaikki voivat rajata koneen kykyä tunnistaa ja luokitella kuvasta haluttuja kokonaisuuksia. ALPR:n ytimessä toimii kuitenkin tehokas neuroverkkomalli, joka on koulutettu antamaan haluttuja tuloksia tietyn kaltaisille syötteille, perustuen valmiiksi luokiteltuun dataan [6, s. 47]. Tämä ohjattu oppiminen (supervised learning) mahdollistaa sen, että olemassa olevaa dataa – eli kuvia – annotoimalla ihminen voi auttaa neuroverkkoa tekemään tunnistuksia haastavissa olosuhteissa.

Lopulta kun rekisterikilpi tai -kilvet on tunnistettu kuvasta, sovelletaan niiden sisältämän tiedon lukemiseen, segmentointiin ja käsittelyyn tekstintunnistusta (OCR) tai SVM:n sekä MLP:n tyyliä neuroverkkoja [6, s. 47]. Luokittelussa rekisterikilpien sisältämä tieto voidaan haluttaessa lajitella ennalta määriteltyihin kategorioihin, esimerkiksi rekisterikilven maa- tai maakuntatunnuksen mukaisesti. Luokittelu perustuu parametreihin, jotka neuroverkko on oppinut sille annetuista syötteistä ja niille määräytyistä tuloksista. Kun ALPR-sovellus on lukenut rekisterikilven sisältämät tiedot onnistuneesti, voi se käyttää kerättyjä tietoja esimerkiksi hakujen suorittamiseen tietokannasta tai uusien tunnistetietojen luomisessa tietokantaan. Riippuen käyttötarkoituksesta, voidaan tietokannan palauttamilla tuloksilla välittää oleellista tietoa järjestelmän käyttäjille sekä ohjaussignaaleja linkitetyille järjestelmille tai järjestelmän osille. [8, s. 105]

### **3.3 Esimerkkejä käytännön ALPR-sovelluksista**

Seuraavaksi tarkastellaan ALPR:n eri käyttötarkoituksia, jotta voidaan muodostaa käsitys sen toiminnasta oikean elämän tilanteissa sekä kartoittaa miten erilaiset haasteet korreloivat ALPR:n toimintaperiaatteisiin.

### 3.3.1 Kulunvalvonta

ALPR-sovellukset sopivat toiminnallisuutensa vuoksi tehokkaaseen ajoneuvojen kulunvalvontaan, sillä rekisterikilvistä luettua tietoa voidaan käyttää kulkuoikeuksien tarkastamiseen [8, s. 105]. Etuna on usein myös hallittu ympäristö, jolloin saapuvia sekä lähteviä autoja voidaan ohjata ja asemoida tunnistuspisteisiin nähden optimaalisesti, toisin kuin vapaassa liikenteessä. Loogisesti myös tunnistettavien kohteiden nopeus on vähäisempi ongelma, sillä suljettujen porttien edessä autojen on luonnollisesti hidastettava tai kokonaan pysähdyttävä. Jo pelkästään Suomessa ja Virossa ALPR:ää hyödyntäviä kulunvalvonta järjestelmiä on käytössä teollisuudessa, voimalaitoksissa, satamissa ja logistiikkaterminalleissa, joissa ne vähentävät ruuhkia ja parantavat kohteiden turvallisuutta [12][13].

Myös valtiolliset toimijat ovat esittäneet kiinnostuksensa ALPR-sovelluksien käyttöönotosta tieverkkojen valvomiseen. Esimerkiksi Saudi-Arabiassa paikallinen liikenneministeriö oli mukana koordinoimassa tutkimusta, jossa esiteltiin pyhinvaelluskaudelle tarkastuspisteisiin kulunvalvontajärjestelmä, jonka keskeisiä tekniikoita olivat radiotaajuinen etätunnistus (Radio-frequency identification, RFID) sekä ALPR. [9, s. 3523] Esitellyssä järjestelmässä ALPR:n roolina on tunnistaa kaikki ajoneuvot, joilla ei ollut RFID-tunnistetta ajoneuvossa. Tämä kyseinen, teoreettinen ALPR-sovellus on tässä katsauksessa laskettu kulunvalvonnan alaisuuteen liikenteenvalvonnan sijasta, sillä järjestelmän tarkoituksena olisi täysin evätä pääsy ei-toivotuilta ajoneuvoilta, eikä ohjata liikennettä.

### 3.3.2 Pysäköinninvalvonta

Digitalisaation myötä ALPR-tekniologiasta on tullut olennainen osa sähköistä pysäköinnin valvontaa. Moni on saattanut huomata, että nykyaikaisia parkkihalleja urbaaneilla alueilla, kauppakeskuksissa sekä uudemmissa asuinrakennuksissa on pystytty käyttämään osittain tai kokonaan ilman fyysistä parkkilipuketta tai maksuautomaattia. Tämän on mahdollistanut ALPR:n käyttöönotto, jonka avulla saapuvien sekä lähtevien ajoneuvojen rekisterikilvet voidaan lukea pysäköintialueen sisään- ja uloskäynneillä ja veloittamaan pysäköintimaksu automaattisesti, niin kauan kun käyttäjän rekisterikilpi on sovelluksen tiedossa. Näin portin läpäisy on vain muutaman sekunnin prosessi. [14] Vaihtoehtoisesti kamera voi tarkistaa portilla, onko kyseiselle ajoneuvolle myönnetty pysäköintilipuke maksettu, ja avata portin, jos maksu on suoritettu [15].

Maailmalla ALPR-sovelluksia on hyödynnetty myös instituutioiden alueellisessa pysäköinninvalvonnassa, esimerkiksi sairaaloissa ja yliopistoissa, joissa sähköisen ALPR-vetoisten pysäköintijärjestelmien käyttöönotto paransi ruuhkatilanteita, pysäköintilupalveluita sekä mahdollisti useammalla autolla ajavien henkilöiden siirtymisen autokohtaisista luvista yhteen henkilökohtaiseen lupaprofiiliin [16][17].

Älykkäissä pysäköintijärjestelmissä ALPR voi operoida myös tukitoimintona tai redundanssina. Hans *et al.* tutkivat ja testasivat pilviympäristössä (*cloud environment*) toimivaa kokonaisuutta, jossa passiiviset RFID-tunnisteet langattomassa sensoriverkossa (*wireless sensor network, WSN*) olivat pääasiallinen tunnistusmenetelmä. Passiivisten RFID-tunnisteiden heikkous on kuitenkin kantama, eikä virtalähdettä käyttävien aktiivisten RFID-tunnisteiden käyttöä koettu energiatehokkaaksi ratkaisuksi, joten ALPR otettiin käyttöön varmistamaan pysäköintiluvat pysäköintipaikkakohtaisesti. [18]

### 3.3.3 Viranomaistoiminta

Kuten todettu jo tämän katsauksen luvussa 3.1, ALPR-tekniikan juuret ja ensimmäiset käytännön sovellukset ovat lähtöisin viranomaiskäytöstä. Vaikka nykypäivän ALPR-sovellukset ovat hyvinkin paljon kehittyneempiä laitteiston, ohjelmiston ja algoritmien puolesta, on sen käytön periaate silti pitkälti sama. Tänäkin päivänä liikenteessä kulkijoiden on mahdollista huomata liikenne- ja nopeuskameroita tieverkoston laidoilla eri puolella maailmaa. Liikenteen ja nopeuden valvonnan lisäksi ALPR on tunnistettu merkittäväksi osaksi 2000-luvun lainvalvontatekniikkaa, sekä poliisin arkipäiväistä toimintaa, johon tämä osion sisältö painottuu. ALPR:llä onkin yhä tärkeämpi rooli epäiltyjen ajoneuvojen ja henkilöiden välittömässä kiinniotossa, tiedustelussa, sekä tiedon keräämisessä rikostutkinnan tukena [19, s. 252]. Ozerin vuonna 2016 tekemän arvion mukaan ALPR-sovellusten avulla onnistuttiin tekemään enemmän pidätyksiä vähemmällä määrällä poliiseja, kuin perinteisin menetelmin [20]. Lisäksi ALPR-sovellusten käyttöä on ainakin teoreettisella tasolla tutkittu ratkaisuna rajavalvonnan hallintaan [21], mutta ymmärrettävistä syistä todisteita jo käyttöönotetuista järjestelmistä on vaikea löytää. Myös virkavallan erikoisosastojen, kuten terrorismin vastaisten yksiköiden, käyttöön on myönnetty erityisluvalla yleisiä liikennekameroita [22].

Monista muista ALPR-sovelluksista poiketen, viranomaiskäytössä on liikkuvia ALPR-järjestelmiä. Staattisten, tiettyihin sijainteihin ja ympäristöihin kalibroijujen kameroiden sijasta poliisin ja muun virkavallan ajoneuvoissa on kiinni järjestelmiä, jotka liikkuvat

auton mukana. Vaikka tunnistusta haittaavat tekijät ovat pitkälti samat kuin staattisissakin järjestelmissä, on niiden vaikutus suurempi liikkeen, nopeuden ja kontrolloimattoman ympäristön vuoksi. Poliisiautoissa käytettyjen ALPR-sovellusten arvioidaan teoreettisesti pystyvän tunnistamaan keskimäärin 3 600 rekisterikilpeä tunnissa, mutta tässä arvioissa oletetaan, että liikenne on tasainen ilman häiriötekijöitä. Erään kanadalaisen paikallishallinnon viranomaiset kuitenkin arvioivat käyttökokemusten perusteella realistiseksi lukemaksi noin 245 rekisterikilpeä päiväsaikaan ja noin 64 rekisterikilpeä yöaikaan. [19, s. 258] Brittiläisessä Kolumbiassa, joka on niin ikään Kanadalainen paikallishallintoalue, tunnistettiin virkavallan käyttämän ALPR-sovelluksen osumatarkkuudeksi 1,5 % - 2 %. kaikista luetuista rekisterikilvistä, osumatarkkuus tarkoittaen tässä tapauksessa sitä, että luettu rekisteritunnus löytyy etsittyjen tunnusten listalta. Moriarty kuitenkin argumentoi, että huono osumatarkkuus ei ole peruste tuomita ALPR-teknologiana ja että osumatarkkuuden syynä on merkittävästi suurempi määrä rekisterikilpiä, jotka ALPR ehtii lukemaan verrattuna ihmisoperaattoriin, joka syöttää kyselyitä järjestelmään käsin ja usein perustellun epäilyksen pohjalta. Tällöin osumatarkkuudessa on suuri ero, mutta kumpikin kykenee saamaan arviolta saman määrän osumia etsittyjen ajoneuvojen listalta. [19, s. 259]

Liikkuvassa ympäristössä toimimisen lisäksi ALPR-teknologialla on viranomaiskäytössä muita haasteita, kuten kerätyn datan säilytys, yhteensopivuus eri virkavallan organisaatioiden ja organisaatiotasojen välillä, sekä korjaus- ja ylläpitokustannukset [23]. Liikkuvissa poliisiautoissa olevat järjestelmät myös todennäköisemmin vaurioituvat verrattuna staattisiin järjestelmiin. Yksittäisen ALPR-yksikön hinnaksi onkin arvioitu vuonna 2016 noin 20 000 dollaria [29].

### 3.3.4 Liikenteenvalvonta

Poliisit ja rajavartiolaitos eivät ole ainoita ALPR:n käyttäjiä liikenteenvalvonnassa. Li et al. mukaan ALPR:n keräämä data on muun muassa tehnyt mahdolliseksi tutkia liikenteen mikro- ja makroskooppisia ominaisuuksia [24]. Vaikka yksittäisten autoilijoiden seuraamisesta on oikeutettua esittää yksityisyydensuojaan liittyviä huolia, ei silti voida laskea pois ALPR:n kykyä tehostaa liikenteen kulun ja ruuhkien tutkimusta. Myös Agarwal et al. esittivät ALPR-sovelluksia sopivaksi ratkaisuksi esimerkiksi yritysten tai kampusten autoliikenteen valvontaan [25]. Lisäksi Yhdysvalloissa ALPR on toiminut apuvälineenä tietullien tehostamisessa, jossa tullimaksuja on voitu periä

rekisteritunnukseen sidonnaiselta tiiltä. Maksamatta jättäneiden autoilijoiden jäljittämiseen järjestelmää on käytetty jo tätäkin aikaisemmin. [26]

Rekisterikilpien lukua hyödyntävistä liikenteenvalvontajärjestelmistä yksi tunnetuimpia on Lontoon ULEZ-vyöhyke (ultra-low emission zone). ULEZ-vyöhykkeen tehtävänä on vähentää ilma- ja äänipäästöjä Lontoon ydinkeskustassa veloittamalla maksu ei-vähäpäästöisiltä autoilta, jotka haluavat käyttää ydinkeskustan autoteitä tiettyinä kellonaikoina. Jotta tämä olisi mahdollista, Lontoossa on otettu käyttöön laaja ALPR-järjestelmien verkosto, joka koostuu staattisista sekä liikkuvista valvontayksiköistä [26]. ULEZ korvasi aikaisemman päästömaksualueen (low-emission zone) vuonna 2019 [27], jonka tekninen toteutus oli täysin identtinen.

## 4. ALPR-SOVELLUSTEN KOHTAAMAT HAASTEET

Tässä luvussa käsitellään käytännön sovelluksissa tunnistettuja haasteita sekä riskitekijöitä ALPR:n tarkkuuden tai toiminnan kannalta. Ensiksi tarkastellaan vaihtelevien olosuhteiden ja toimintaympäristöjen aiheuttamia haasteita. Toiseksi käydään läpi rekisterikilpien monimuotoisuutta, sivuten myös lyhyesti rekisterikilpeä peittäviä lisävarusteita. Kolmanneksi analysoidaan tunnistettavan kohteen nopeuden tuomia ongelmia ja vielä lopuksi tehdään pintapuolinen tarkastelu ALPR-sovellusten suorituskykyyn kahden tehokkuutta kuormittavan tekijän kautta.

### 4.1 Vaihtelevat olosuhteet

ALPR-sovellusten suurimpiin haasteisiin lukeutuvat muuttuvat olosuhteet, sillä sovelluksia on käytössä ympäri maailmaa erilaisissa ilmastoissa ja toimintaympäristöissä. Äärimmäinen kuumuus, kosteus tai lumisade voivat kaikki hankaloittaa tunnistusta tai kuormittaa rajapinnassa sijaitsevaa laitteistoa. Esimerkiksi lumen, jään tai mudan peitossa olevaa rekisterikilpeä on mahdotonta lukea. Lumi tai sade voi myös sotkea kameran optiikkaa haitaten tai täysin estäen selkeiden kuvien keräämistä. Lisäksi sovelluksia on käytössä sisä- ja ulkotiloissa, joissa valon määrä voi vaihdella ja vaikuttaa tunnistuksessa käytettävien kuvien laatuun. Myös pöly, sumu ja tärinä hankaloittavat ALPR:lle riittävän laadukkaan kuvan saamista. [1, s. 11203] On myös huomioitava, että edellämainitut tekijät saattavat sotkea rekisterikilpeä tunnistamattomaksi, vaikka sovelluksella saataisiinkin riittävän laadukas kuva [8, s. 104].

Ympäristöolosuhteiden muutokset voivat muodostua ongelmaksi lähes kaikissa käytännön sovelluksissa, sillä sään tai lämpötilojen vaikutukset ovat luonnollisesti läsnä kaikissa ulkoilmaan sijoitetuissa järjestelmissä, joita ei ole erikseen suojattu. Olosuhteiden muuttumisen voidaan kuitenkin olettaa olevan ennakoitavissa; esimerkiksi Skandinaavisessa ilmastossa on odotettavissa, että lumisade tai jää saattavat häiritä rekisterikilpien sekä kameroiden näkyvyyttä. Myös Lähi-Idän tai Pohjois-Afrikan ilmastossa irtohiekka ja hiekkamyrskyt voivat aiheuttaa saman ongelman. Kummallakin alueella on lisäksi omat ääriämpötilansa, joilla voi olla vaikutus komponenttien toimintakykyyn pitkällä tähtäimellä.

Ympäristön vaikutukset ovat luonnostaan läsnä isolle osalle ALPR-sovelluksia, sillä ne toimivat pääasiassa ulkoilmassa. Tästä huolimatta tätä katsausta varten luetuista lähteistä ei löydy merkittäviä tai riittävän yksiselitteisiä ratkaisuehdotuksia ongelmalle. Edes erittäin spesifeille, sijaintikohtaisille sovelluksille ei tutkimusten yhteydessä ole esitetty sääsuojusratkaisuja. Shashirangana et al. nostivat myös omassa katsauksessaan esille, että olisi kriittistä huomioida laitteiston koko, energiankulutus ja tietoliikenneyhteydet ympäristön vaatimusten mukaisesti [1, s. 11204].

On kuitenkin selvää, ettei yhtä globaalisti toimivaa ratkaisua voida toteuttaa kustannustehokkaasti, sillä ALPR-järjestelmiä operoidaan vahvasti toisistaan poikkeavissa ilmastoissa ja käyttötarkoituksissa. Iso osa alan tutkimuksista suuntaakin katseensa ALPR:n ohjelmistojen ja neuroverkkomallien kehittämiseen, jossa kilven lukemiseen liittyviä ongelmia pyritään ratkaisemaan prosessoinnin voimin.

## **4.2 Rekisterikilpien erot ja näkyvyyttä haittaavat lisävarusteet**

Rekisterikilpien monimuotoisuus on oikea haaste ALPR:ssä. Kansainvälisissä ympäristöissä on todennäköistä, että ajoneuvoilla ei ole aina yhtenäisiä rekisterikilpiä. ALPR-sovellusten onkin kyettävä tunnistamaan useamman eri maan tunnuksia ja rekisterinumeroita – esimerkiksi Lähi-Idän tai Kiinan tapauksessa myös kokonaan erilaista typografiaa.

Maiden välisten erojen lisäksi rekisterikilvet voivat poiketa myös paikallistasolla, jossa niiden ulkomuoto, fontti, väri tai rekisteritunnuksen asettelu voi poiketa muista maan sisäisistä alueista [8, s. 104][1, s. 11204]. Myös meillä Suomessa Ahvenanmaan rekisterikilvissä on käytössä erilainen fontti, väritys ja ulkoasu. Suomen liikenteessä on lisäksi edelleen ajoneuvoja, joiden kilvissä ei ole näkyvissä rekisteritunnuksen vasemmalla puolella olevaa Euroopan Unionin maatunnusta, jonka kuuluu olla sinisellä pohjavärillä. Autojen keuloille asennetut lisävalot, vinssit tai muut lisälaitteet voivat myös heikentää kilven näkyvyyttä, pahimmassa tapauksessa estäen kilven näkyvyyden kameralle kokonaan tietyistä kulmasta katsottuna. [11, s. 311] Rekisterikilpiin liittyvät haittatekijät onkin tunnistettu laskennallisesti vaativiksi sekä monimutkaisiksi ongelmiksi ALPR:n tekniikoiden kehityksessä [1, s. 11204].

Vaikka ajoneuvojen rekisterikilvet eivät ole tekijä, johon sovellusten käyttäjät voivat suoraan vaikuttaa, rekisterikilvet ovat pohjimmiltaan neuroverkolle opetettua tietoa. On siis syytä olettaa, että tunnistusongelma ei ole lähtökohtaisesti kiinni ALPR:n teknologisista rajoitteista, vaan annotoidun koulutusdatan puutteesta. Rajoittavana

tekijänä voi esimerkiksi olla riittämätön määrä koulutusdataksi soveltuvaa kuvamateriaalia tai se, että annotointia tekevä henkilö ei osaa vierasta typografiaa.

### 4.3 Tunnistettavan kohteen nopeus

Yksi tunnistukseen vaikuttava tekijä on kohteen nopeus. Liiallisen nopeuden luotettavalle tunnistukselle määrittää kohteessa olevan kameran tai kameroiden kuvataajuus (frames per second, FPS). Jos kuvataajuus on liian pieni nopeuteen nähden, ei kamera ehdi saamaan tarkkaa kuvaa, jolloin ylinopeutta kulkeva kohde näkyy epätarkkana tai muuten vääristyneenä. Kohteen nopeuden aiheuttamia ongelmia voi pahentaa myös käytetty kuvakulma tai kohteen valaistus [1, s. 11204]. Badawy et al. toivat esille erityisesti kameralaitteiston vaatimuksien huomioimisen ALPR-järjestelmiä kehitettäessä, sillä riittävän laadukkaat kuvat ovat elintärkeä vaatimus toimivalle rekisterikilpien tunnistukselle. Tärkeitä ominaisuuksia ALPR:ssä käytetyille kameroille ovat erityisesti resoluutio ja kameran valotusaika (*shutter speed*). [11, s. 319]

Ratkaisuksi eräässä vuonna 2020 tehdyssä tutkimuksessa [11, s. 321] myös pohdittiin videon käyttämistä erikseen laukaistujen, yksittäisten kuvien sijaan. Tätä perusteltiin videon tarjoamalla temporaalisella datalla sekä mahdollisuudella rekonstruoida tarkempi superresoluutiokuva käyttämällä apuna kaapattua kuvasarjaa tapahtuman ympäriltä. Shashirangana et al. esittivät aikaisempiin tutkimustuloksiin pohjautuen, että reunojentunnistusmenetelmät (*edge-based methods*) sopisi ratkaisuksi sovelluksiin, joissa on liikkuvia ajoneuvoja sekä kohteisiin, joissa rekisterikilvestä ei saada selkeää rajausta [1, s. 11207]. Molemmat ovat ongelmia, joita syntyy kun kuvatulla ajoneuvolla on toivottua suurempi nopeus. Rekisterikilvillä on yleisesti ottaen melko universaalinen ulkomuoto, selkeät reunukset sekä ajoneuvosta poikkeava väri, joten reunojentunnistuksen käyttö on loogista. Suunnitellessaan ALPR-pohjaista kulunvalvontajärjestelmää vuonna 2015, Di Nardo et al. käyttivät 3dSOBS+-algoritmia [28], sillä se pystyi tarkasti käsittelemään liikkuvien kohteiden tunnistamisen taustalla olevia ongelmia, kuten liikkuvia taustoja, tasaista valaistuksen muutosta sekä liikkuvien kohteiden luomia varjoja [8, s. 105]. Tunnistettavien kohteiden nopeuteen liittyville ongelmille ei tutkimuksissa kuitenkaan asetettu tarkkoja parametrejä tai rajoja, jolloin pohdinta keskittyi lähinnä nopeuden aiheuttamien ongelmia (epätarkkojen kuvien) käsittelyyn ohjelmallisesti. Ottaen huomioon kohdekohtaiset erot ALPR-sovelluksissa, voi tätä lähestymistapaa pitää perustellusti järkevänä.

## 4.4 Suorituskyky

Olennainen osa mitä tahansa aikakriittistä järjestelmää on suorituskyky. ALPR:n tapauksessa sen suorituskykyä arvioidaan yleensä vaihekohtaisesti, sillä sen erilliset vaiheet on helppo eritellä toisistaan. Myös ALPR:ssä käytetyt kone- ja syväoppimisen menetelmät ovat tarkasti määriteltyjä kunkin vaiheen toiminnoille. [1, s. 11215] ALPR-järjestelmien kokonaisuutta määritteleekin pitkälti suorituskykyvaatimukset suhteessa kustannuksiin. Tämä on luonnollista, sillä muutoin käytössä olisi aina tehokkain mahdollinen teknologia. ALPR:n taustalla olevien tekniikoiden, kuten digitaalisen kuvankäsittelyn, konenäön, koneoppimisen ja neuroverkkojen suorituskykyyn sekä optimointiin liittyvät haasteet – sekä niiden tarjoamat ratkaisut – ovat niin laaja osa-alue, ettei niitä olisi kuitenkaan tämän työn mittakaavassa järkevää käsitellä. Lisäksi nämä ratkaisut tähtäävät yleisesti tehokkaamman ALPR-teknologian kehittämiseen, joten niiden tarkasteleminen käytännön sovellusten kohtaamien ongelmien näkökulmasta kannattavaa. ALPR:n tarkkuuden ja havainnointikyvyn parantaminen on parannus kaikkien sovellusten osa-alueelta, joten siitä ei ole mahdollista löytää yksityiskohtaista ratkaisua jollekin tietylle käyttötarkoitukselle. Sen sijaan voidaan tarkastella ulkoisia tekijöitä, jotka haastavat suorituskykyä käytännön toteutuksissa.

Yksi merkittävä suorituskykyyn liittyvistä käytännön ongelmista on ALPR:n toiminta pimeällä. Aikaisemmat tutkimukset ovat osoittaneet, että ALPR ei yllä samanlaiseen tehokkuuteen sekä tarkkuuteen yöllä, kuin mitä se saavuttaisi päivällä, infrapunakameroista huolimatta [1, s. 11218]. Rekisterikilpien lukeminen rajatussa valaistuksessa on ympäristön aiheuttama ongelma, mutta luvussa 4.1 sitä käsiteltiin ympäristöön vaikuttamisen näkökulmasta, esimerkiksi käytössä olevan valaistuksen kannalta. Tapaukset, jossa tunnistuksen tulisi toimia pimeässä, on tunnistettu suorituskyky- ja optimointiongelmaksi [1, s. 11218].

Toinen suorituskykyyn vaikuttava käytännön ongelma on joissakin tapauksissa useamman rekisterikilven päätyminen kuvalle. Kun Saif et al. kehittivät uutta konvoluutioneuroverkkoon pohjautuvaa ALPR-sovellusta, joka toimisi Bangladeshin rekisterikilpien kanssa, havaitsivat he prosessointinopeuden laskevan kun kuvassa oli useampi rekisterikilpi, tehokkaaksi todetusta mallista huolimatta [29, s. 929]. Yleisesti useamman rekisterikilven päätymiseen kuvalle on esitetty ratkaisuksi useita algoritmeja, mutta vain murto-osa on todettu toimivaksi [1, s. 11220]. Saif et al. saivat kuitenkin useamman rekisterikilven yhtäaikaista tunnistuksen toimimaan käyttäen YOLO-

algoritmia (*You Only Look Once*), vaikka nopeus hidastuikin yhteen rekisterikilpeen verrattuna [29, s. 925].

Useamman rekisterikilven tunnistaminen kuvasta on ohjelmointiin liittyvä ongelma, joten sitä ei käsitellä käytännönläheisesti. Yksi mahdollinen ratkaisu on pyrkiä rajaamaan tilanne siten, että useamman kilven päätyminen kameralle ei olisi mahdollista, niissä sovelluksissa missä se on toteutettavissa. Esimerkiksi kulunvalvonnassa, logistiikassa ja pysäköinnissä, jossa suurella todennäköisyydellä käsitellään tietyille alueelle pysähtyneitä ajoneuvoja, voisi olla mahdollista rajata kameran kulmaa siten, että vain ensimmäisen ajoneuvon rekisterikilpi näkyisi. Vielä enemmän ALPR:n ulkopuolella olevana ratkaisuna voitaisiin myös rajoittaa ajoneuvojen liikkumista siten, että useampi ajoneuvo ei pääse ajamaan kameran tunnistusalueelle.

## 5. YHTEENVETO

Tässä työssä esiteltiin automaattista rekisterikilpien tunnistusta teknologiana, sen käytännön sovelluksia sekä niiden kohtaamia haasteita. Työn tavoitteena oli tunnistaa käytännön sovellusten väliltä yhtenäisiä haasteita – tai ratkaisuehdotuksia – jotta voitaisiin perustella ALPR:n jatkokehityksen kannattavuutta monialaisilla hyödyillä. Tarkastelun menetelmänä toimi kirjallisuuskatsaus, jossa tutkittiin aihettä käsitteleviä akateemisia sekä ALPR:ää hyödyntävien alojen julkaisuja. Työssä kerrottiin lukijalle mitä ALPR käytännössä ja teoriassa on, sen lyhyt historia ja sen toimintaperiaatteet yleisellä tasolla. Automaattisen rekisterikilpien tunnistuksen mahdollistavien teknologioiden ja tekniikoiden läpikäyminen enemmän kuin pintapuolisesti olisi laajentanut katsauksen viitekehystä huomattavasti, joten tämän vuoksi pysyttiin yleisissä toimintavaatimuksissa ja lyhyesti esiteltiin ALPR:n tärkeimmät vaiheet.

Käytännön sovellusten tarkasteluun valikoituivat kulunvalvonta, pysäköinninvalvonta, viranomaistominta (poliisit, rajavartiosto) sekä muu liikenteenvalvonta, eli esimerkiksi liikenteenkulun tutkiminen tai Lontoon päästörajoitusalueet. Nämä menetelmät valittiin, koska ne ovat vakiintuneita, yleisiä sekä akateemisesti ainakin spesifien toteutusten kautta tutkittuja. Jokaisen käyttötarkoituksen esimerkeistä poimittiin haasteita ja ongelmatekijöitä, jotka on tunnistettu aikaisemmissa tutkimuksissa.

Päällimmäisenä nousivat esille välittömän toimintaympäristön aiheuttamat ongelmat ALPR:lle, erityisesti kameroiden kaappaaman kuvan laadulle, joka on kriittinen edellytys rekisterikilpien onnistuneelle tunnistukselle. Viitattujen tutkimusten mukaan ympäristön aiheuttamat riskit ALPR-sovelluksen toiminnalle koostuivat erityisesti vaihtelevasta valaistuksesta ja kameran tai rekisterikilven näkyvyyttä haittaavista luonnonilmiöistä. Erikseen mainittuja olivat pöly (tai hiekka), lumi ja sumu. Myös kosteudella ja lämpötilalla on omat vaikutuksensa laitteiston luotettavuuteen. Sääolosuhteet ja muut välittömän ympäristön aiheuttamat haasteet ovat yhtä lailla päteviä sekä staattisiin että liikkuviin ALPR-sovelluksiin. Osittain myös tämän takia yksinkertaisia ratkaisuja, jotka pätsivät useampaan eri käyttötarkoitukseen, on vaikea esittää, sillä ALPR on käytössä globaalisti ja vahvasti toisistaan poikkeavissa olosuhteissa. Vaikka näille ongelmille ei voidakaan tavoitteen mukaisesti esittää yhteneviä ratkaisuja, pystytään silti näiden haasteiden samankaltaisuudella osoittamaan, että esimerkiksi sääsuojaukseen keskittyvä tuotekehitys (ALPR:ssä) hyödyttäisi useampaa eri käyttäjäryhmää. Ehkä kriittisimpänä nostona tämän katsauksen perspektiivistä onkin se, että aikaisemmissa tutkimuksissa on keskitytty hyvin vähän ympäristön aiheuttamien haasteiden ratkaisemiseen

ympäristöön vaikuttamalla. Tällä tarkoitetaan esimerkiksi valaistuksen parantamista kohteessa tai lumelta suojaavia huppuja kameroille. ALPR-sovellusten tutkimus keskittyykin pitkälti neuroverkkomallien tehostamiseen, jotta ohjelma pystyisi tunnistamaan rekisterikilven paremmin haasteellisissakin olosuhteissa. Tämän tutkimuksen suuntaus on perusteltua, sillä se hyödyttää ALPR-teknologian kehitystä muidenkin haasteiden osalta.

Toinen haaste on rekisterikilpien monimuotoisuus. Alati kansainvälistyvässä liikenteessä ulkomaisten (minkä tahansa maan perspektiivistä) rekisterikilpien näkeminen on yhä todennäköisempää. Kilpien kansainväliset ja paikalliset variaatiot vaativat ALPR-järjestelmiltä yhä laajempaa tunnistuskykyä eri muotojen, värien ja typografioiden osalta. Koska ALPR on oppiva teknologia, on riittävän opetusdatan merkitys tässä tapauksessa kriittinen. Suurin haaste opetusdatan hankinnassa voi olla kuvamateriaalin puute, esimerkiksi vähemmän tunnetuista maista. Siksi olisi perusteltavaa, että eri maiden liikennekuville olisi materiaalipankki, sillä eri ALPR-sovellusten kehittäjien ei tarvitsisi miettiä, mistä opetusdata hankitaan. Tässä on todennäköisesti myös kaupalliset puolensa (kuvamateriaalin hankinta ja myynti), mutta ehdotettu ratkaisu on vahvasti makrotasolla eikä lähellä itse sovellusta.

Kuvan laatuun vaikuttava tekijä useissa sovelluksissa on myös kuvattavan kohteen nopeus. Jos nopeus on liiallinen kameralaitteiston suorituskykyyn nähden, ei rekisterikilvestä välttämättä saada tarpeeksi tarkkaa kuvaa. Käytännönläheinen ratkaisu on hallita toimintaympäristöä esimerkiksi hidasteilla, esteillä tai passiivisella liikenteenohjauksella. Ongelmaa on kuitenkin syytä tarkastella tilanteen kannalta, jossa nopeus on jo haastava tai liiallinen, sillä ennaltaehkäisy ei tuottaisi kestäväää ratkaisua. Lyhyesti, aikaisemmat tutkimukset painottivat tiettyjen kuvankäsittelytekniikoiden, kuten reunojentunnistuksen ja 3dSOBS+-algoritmin käyttöä. Tämän työn tavoitteen kannalta ei kuitenkaan löytynyt ratkaisuja jotka olisivat spesifejä tietyille sovelluksille ja siten verrattavissa muiden sovellusten kohtaamiin haasteisiin. Hallitun ympäristön käyttötarkoituksissa, kuten kulunvalvonnassa tai pysäköinninvalvonnassa, on paljon todennäköisempää pystyä rajaamaan lähestyvien ajoneuvojen nopeutta. Luonnollisesti taas liikkuvan poliisin tai liikennettä tutkivien kameroiden ei ole yhtä helppoa ennaltaehkäistä ongelman syntymistä. Siksi ALPR:n taustalla toimivien algoritmien ja kuvankäsittelytekniikoiden tutkiminen on jälleen perusteltu suuntaus, joskin yleisellä tasolla eikä niinkään tiettyjen sovellusten kantilta, vaikka nopeuden aiheuttamien haasteiden todennäköisyys painottuukin tiettyihin käyttötarkoituksiin.

Pohjimmiltaan kaikkien näiden ongelmien taustalla on suorituskyky, tarkemmin ottaen suorituskykyvaatimukset suhteessa kustannuksiin. Suorituskyvyn haasteisiin ei tämän

työn mittakaavassa mennä tarkemmin, joten luvussa 4.4 käytiinkin läpi ympäristön aiheuttamia kuormituksia ALPR-järjestelmän suorituskyvylle. Näitä olivat pimeys ja useamman rekisterikilven päätyminen kuvalle. Kumpikin on kuitenkin käytännön toteutusta lähempänä oleva ongelma, jossa riskitekijöitä voidaan poistaa toimintaympäristöä hallitsemalla. Useamman rekisterikilven lukeminen yhtäaikaaisesti todettiin suorituskykyä hidastavaksi ongelmaksi, mutta siihen oltiin myös löydetty ratkaisuja konvoluutioneuroverkoista. Suorituskyvyn optimointi ALPR:ssä on kuitenkin aiheena niin laaja ja riippuvainen kunkin toteutuksen budjetista, että sen pohjalta ei tässä työssä lähdetä vertailemaan ratkaisuja.

Kokonaisuudessaan tässä katsauksessa tunnistettiin yhteneviä ongelmia, jotka vaikuttavat ALPR:n käyttöön lähes joka toimialueella. On kuitenkin myös todettava, että käyttötarkoitukset ovat usein niin räätälöityjä kohteeseensa, että haasteet ja niiden ratkaisut ovat hyvin paikallisia. Nykyinen ALPR:n tutkimus pyrkiikin kehittämään sen tarkkuutta sekä tehokkuutta, sillä niiden voidaan todeta edistävän tämän teknologian käyttöä parhaiten. Mitä tutkimuksissa kuitenkin ilmenee huomattavasti vähemmän on itse riskitekijöihin puuttuminen, siinä missä suuntaus nyt on päihittää kaikki laskennan ja prosessoinnin kautta. Ympäristön hallinta ALPR:n kenttälaitteiston näkökulmasta on kuitenkin paljon lähempänä koneteknisiä kuin tietoteknisiä ratkaisuja, joten niiden tarkka toteutus ja laadinta jätetään tulevien tutkimusten pohdittavaksi.

Tämän katsauksen päätöslauselmaksi todettakoon, että eri ALPR-sovellusten välillä on yhteneviä ongelmia, mutta ei yhteisiä, kohdennettuja ratkaisuja. Alan tutkimuksen nykysuunta ja tuleva kehitystyö voidaankin perustella kannattavaksi potentiaalisten monialaisten hyötyjen vuoksi.

# LÄHTEET

- [1] Shashirangana, J., Padmasiri, H., Meedeniya D. & Perera, C., (2021). Automated License Plate Recognition: A Survey on Methods and Techniques. IEEE Access. Vol. 9, s. 11203-11220.
- [2] Akpojotor, P., Adetunmbi, A., Alese, B. & Oluwatope A., (2021). Automatic license plate recognition on microprocessors and custom computing platforms: A review. IET Image Processing. Vol.15 (12), s.2717.
- [3] History of ANPR. ANPR International. Luettu 3.12.2022. <http://www.anpr-international.com/history-of-anpr/>
- [4] Automatic number-plate recognition. Wikipedia. Luettu 3.12.2022. [https://en.wikipedia.org/wiki/Automatic\\_number-plate\\_recognition#Development](https://en.wikipedia.org/wiki/Automatic_number-plate_recognition#Development)
- [5] Lee, Y.Y., Abdul Halim, Z. & Ab Wahab, M.N., (2022). License Plate Detection Using Convolutional Neural Network–Back to the Basic With Design of Experiments. IEEE Access. Vol. 10, s.22578.
- [6] Rajendra, P., Sudheer, K. & Boadh, R. (2017). Design of a Recognition System Automatic Vehicle License Plate through a Convolution Neural Network. International journal of computer applications. Vol.177 (3), s.47-48.
- [7] Zherzdev, S. & Gruzdev, A. (2018). LPRNet: License Plate Recognition via Deep Neural Networks. Intel IOTG Computer Vision Group. s.5. Saatavissa: <https://deepai.org/publication/lprnet-license-plate-recognition-via-deep-neural-networks>
- [8] Di Nardo, E., Maddalena, L. & Petrosino, A. (2015). Video-based Access Control by Automatic License Plate Recognition. Smart Innovation, Systems and Technologies. Vol.37, s.104-105.
- [9] Mohandes, M., Deriche, M., Ahmadi, H., Kousa, M. & Balghonaim, A. (2016). An Intelligent System for Vehicle Access Control using RFID and ALPR Technologies. Arabian Journal for Science and Engineering. Vol.41 (9), s.3523-3526.
- [10] Virtual Trigger – Minimizing Infrastructure. (2022). Visy Oy. Luettu 13.11.2022. <https://www.visy.fi/minimal-infrastructure-the-virtual-trigger/>
- [11] Du, S., Ibrahim, M., Shehata, M. & Badawy, W. (2013). Automatic License Plate Recognition: A state of the art review. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology. Vol.23 (2), s.311-321.
- [12] Visy Access Gate – A system which combines logistics, security and production. (2021). Visy Oy. Saatavissa: [https://www.visy.fi/wp-content/uploads/2021/11/Visy-Access-Gate\\_eng.pdf](https://www.visy.fi/wp-content/uploads/2021/11/Visy-Access-Gate_eng.pdf)
- [13] Lauttasatamien automaattinen kulunvalvonta ja liikenteen hallintajärjestelmä. (2017). Hansab Oy. Luettu 30.11.2022. <https://www.hansab.fi/fi/lauttasatamien-automattinen-kulunvalvonta-ja-liikenteen-hallintajarjestelma>

- [14] Pysäköintihalli tunnistaa rekisterinumerosi ja avaa puomin – mutta miten se tapahtuu? (2018). Finnpark Oy. Luettu 2.12.2022. <https://moovy.fi/pysakointihalli-tunnistaa-rekisterinumerosi-ja-avaa-puomin-mutta-miten-se-tapahtuu/>
- [15] Parkkihallit automatisoituvat vauhdilla – kamera tunnistaa rekisterikilvet. (2015). YLE. Luettu 2.12.2022. <https://yle.fi/a/3-8025585>
- [16] How ALPR solved parking challenges at the Montreal Heart Institute. Genetec Inc. Luettu 3.12.2022. <https://www.genetec.com/blog/products/how-alpr-solved-parking-challenges-at-the-montreal-heart-institute>
- [17] Carleton University Goes Full Virtual Permit. (2020). Tomahawk Technologies Inc. Luettu 3.12.2022. <https://ops-com.com/blog/carleton-university-goes-full-virtual-permit/>
- [18] Chandra, H., Michael, Hadisaputra, K.R., Santoso, H. & Anggadaja, E. (2017). Smart Parking Management System: An integration of RFID, ALPR and WSN. IEEE 3<sup>rd</sup> International Conference on Engineering Technologies and Social Sciences (ICETSS). s.1. Saatavissa: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8324174>.
- [19] Moriarty, L.J. (2017). Criminal Justice Technology in the 21<sup>st</sup> Century. Springfield, Illinois. Charles C Thomas, Publisher Ltd. Third edition. s. 252-259.
- [20] Ozer, M. (2016). Automatic licence plate reader (ALPR) technology: Is ALPR a smart choice in policing? The Police Journal: Theory, Practice and Principles. Vol.89 (2), s.118-130.
- [21] Weissenfeld, A., Kriechbaum-Zabini, A. & Szklarski, L. (2014). Security Components in a One-Stop-Shop Border Control System. IEEE Joint Intelligence and Security Informatics Conference. s.231. Saatavissa: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6975579>
- [22] Met given real time c-charge data. (2007). BBC News. Luettu 2.12.2022. [http://news.bbc.co.uk/2/hi/uk\\_news/politics/6902543.stm](http://news.bbc.co.uk/2/hi/uk_news/politics/6902543.stm)
- [23] Thirty Years of ALPR. (2016). Police and Security News. Luettu 7.12.2022. <https://policeandsecuritynews.com/2016/09/02/thirty-years-of-alpr>
- [24] Li, J., van Zuylen, H., Deng, Y. & Zhou, Y. (2020). Urban travel time data cleaning and analysis for Automatic Number Plate Recognition. Transportation Research Procedia. Vol.47, s.718.
- [25] Agarwal, P., Chopra, K., Kashif, M. & Kumari, V. (2018). Implementing ALPR for detection of traffic violations: a step towards sustainability. Procedia computer science. Vol.132, s.742.
- [26] Technologies That Enable Congestion Pricing – A Primer (2008), United States Department of Transportation Federal Highway Administration. s.9. Saatavissa: <http://sites.tufts.edu/carscultureplace2010/files/2010/10/conf-pricing-tech.pdf>
- [27] Ultra Low Emission Zone. Wikipedia. Luettu 5.12.2022. [https://en.wikipedia.org/wiki/Ultra\\_Low\\_Emission\\_Zone](https://en.wikipedia.org/wiki/Ultra_Low_Emission_Zone)

- [28] Maddalena, L. & Petrosino, A. (2014). The 3dSOBS+ algorithm for moving object detection. *Computer vision and image understanding*. Vol.122, s.73.
- [29] Saif, N., Ahmmed, N., Pasha, S., Shahrim, S., Hasan, M., Islam, S. & Jameel, S. (2019). Automatic License Plate Recognition System for Bangla License Plate using Convolutional Neural Network. *TENCON 2019 – 2019 IEEE Region 10 Conference (TENCON)*. s.925-929. Saatavissa: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8929280>