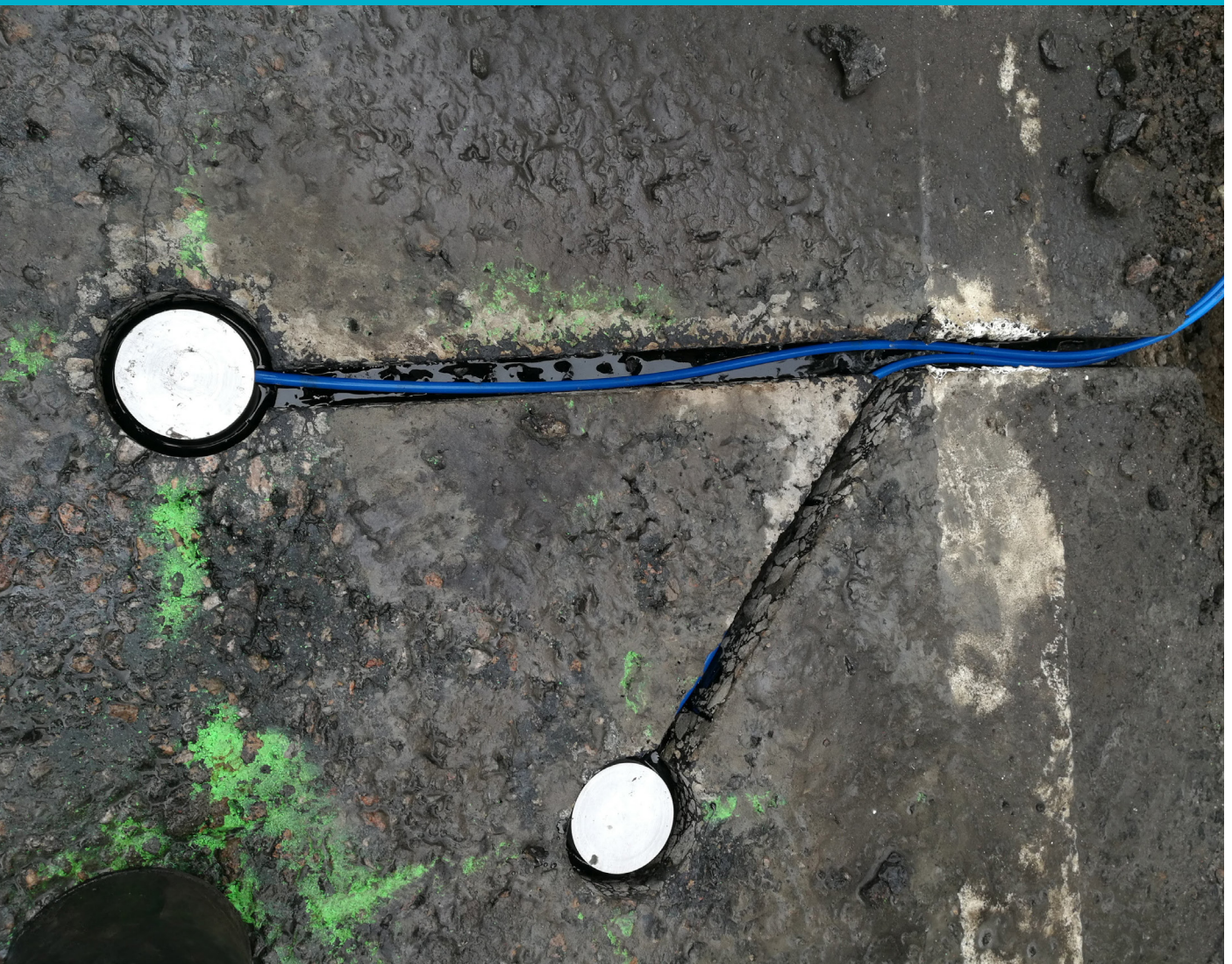


# NASTARENGASLUOKITIN





Ville Liiv, Aapo Hakala, Pauli Kolisoja

## **Nastarengasluokitin**

Väyläviraston julkaisuja 19/2020

Väylävirasto  
Helsinki 2020

*Kannen kuva: Ville Liiv*

Verkojulkaisu pdf ([www.vayla.fi](http://www.vayla.fi))

ISSN 2490-0745

ISBN 978-952-317-770-3

Väylävirasto

PL 33

00521 HELSINKI

Puh. 0295 34 3000

---

**Ville Liiv, Aapo Hakala ja Pauli Kolisoja: Nastarengasluokitin.** Väylävirasto. Helsinki 2020. Väyläviraston julkaisuja 19/2020. 26 sivua. ISSN 2490-0745, ISBN 978-952-317-770-3.

**Avainsanat:** nastarenkaat, talvirenkaat, henkilöautot, tunnistimet, luokitus, algoritmit, päällysteet, katupöly

## Tiivistelmä

Tutkimuksen tarkoituksena oli rakentaa nastarengasluokitin, joka tunnistaa henkilöauton nastarenkaat suoraan liikennevirrasta. Tutkimuksessa tiekohteisiin asennettiin mittauslaitteistot, joiden avulla tallennettiin liikenteen aiheuttamaa ääntä. Mitattuja äänisignaaleita analysoimalla kehitettiin algoritmi, jonka avulla voidaan automaattisesti luokitella mitatuista signaaleista henkilöautot joko nastarenkaisiksi tai ei-nastarenkaisiksi.

Nastarengasluokitinta kehitettiin kevään 2019 renkaanvaihtosesongin aikana koekohteilla mitattujen ja annotoitujen äänisignaalien avulla. Luokittimen toimivuutta testattiin koekohteilla syksyn 2019 renkaanvaihtosesongissa. Laitteiston toimivuustestissä saadut tulokset vaikuttavat rengasvaihtosesongin ajankohtaan nähden uskottavilta. Tutkimuksessa on arvioitu laitteen toimivuuteen vaikuttavia epävarmuustekijöitä, joita ovat esimerkiksi: algoritmin opettaminen, sääolosuhteet, mittalaitteisto sekä laitteiston asennustapa.

---

**Ville Liiv, Aapo Hakala och Pauli Kolisoja: Dubbdäcksidentifierare.** Trafikledsverket. Helsingfors 2020. Trafikledsverkets publikationer 19/2020. 26 sidor. ISSN 2490-0745, ISBN 978-952-317-770-3.

## Sammanfattning

Syftet med studien var att utveckla en applikation som identifierar dubbdäck på personbilar direkt i trafikflödet. I studien installerades mätsystem på vägavsnitt för att mäta trafikbuller. Genom att analysera de uppmätta ljudsignalerna utvecklades en algoritm som möjliggör automatisk identifiering av personbilar med eller utan dubbdäck.

Dubbdäcksidentifieraren utvecklades under däckbytessäsongen våren 2019 med hjälp av uppmätta och annoterade ljudsignaler. Identifieraren testades på testplatserna under däckbytessäsongen hösten 2019. Resultaten av funktions-testet på utrustningen är trovärdiga i förhållande till däckbytessäsongens tidpunkt. I studien estimerades osäkerhetsfaktorer som påverkar enhetens funktion, såsom inlärning av algoritmen, väderförhållanden, mätutrustning och metod för installation av utrustningen.

---

**Ville Liiv, Aapo Hakala and Pauli Kolisoja: Classification of studded tyres.** Finnish Transport Infrastructure Agency. Helsinki 2020. Publications the FTIA 19/2020. 26 pages. ISSN 2490-0745, ISBN 978-952-317-770-3.

## Abstract

The purpose of the study was to construct a classification system for studded tyres in order to identify passenger cars' studded tyres directly from the traffic flow. In the study, measuring systems were installed on road sites to record traffic-induced noise. By analysing the measured audio signals, an algorithm was developed that allows automatic classification of the measured signals either as passenger cars with studded tyres or passenger cars with non-studded tyres.

The studded-tyre classifier was developed during the tyre-changing period in spring 2019 using measured and annotated audio signals. The performance of the classifier was tested on the test sites during the tyre-changing period in autumn 2019. The results obtained from the equipment performance test seem to be plausible with regard to the time of the tyre-changing period. The study assessed the uncertainty factors affecting the functioning of the device, such as the teaching of the algorithm, weather conditions, measuring equipment, and the installation method of the equipment.

## Esipuhe

Nastarenkaiden käyttö ajoneuvoissa vaikuttaa teiden vaurioitumiseen sekä ympäristöön. Vaikutuksia arvioitaessa on oleellista tuntea nastarenkailla varustettujen ajoneuvojen määrä liikenteessä. Viime vuosikymmenten ajan nastarenkailla varustettujen ajoneuvojen määrää on selvitetty muun muassa keräämällä tietoa rengasliikkeiltä sekä kuuntelemalla ja laskemalla nastarenkain varustettuja ajoneuvoja liikennevirrasta. Tämän tutkimuksen tavoitteena on rakentaa laitteisto, jonka avulla voidaan tunnistaa nastarenkailla varustetut ajoneuvot automaattisesti suoraan liikennevirrasta.

Tutkimuksen tilaajana oli Väylävirasto ja sen puolesta työtä ohjasivat Katri Eskola, Kari Lehtonen ja Sami Petäjä. Tampereen yliopistolta tutkimukseen osallistuivat Maa-, pohja- ja ratarakenteiden tutkimusryhmästä Ville Liiv, Antti Akkanen ja Pauli Kolisoja sekä Äänen- ja signaalikäsittelyn tutkimusryhmästä Aapo Hakala ja Toni Heittola.

Helsingissä maaliskuussa 2020

Väylävirasto  
Kunnossapito



## Sisältö

1	JOHDANTO .....	8
1.1	Tutkimuksen tavoite .....	8
1.2	Tutkimuksen toteutus .....	8
1.3	Liittyvät tutkimukset .....	8
2	KOEKOHTEET .....	9
3	ÄÄNISIGNAALIEN MITTAAMINEN .....	11
3.1	Mittauslaitteisto .....	11
3.2	Mittauslaitteiston asennus .....	12
3.2.1	Työmenetelmät ja olosuhteet .....	12
3.2.2	Olemassa olevat asennukset .....	12
3.2.3	Kontaktimikrofonien asennus .....	12
3.3	Suosittelava asennustapa .....	13
3.4	Mittauksen periaate .....	14
4	NASTARENGASLUOKITIN .....	15
4.1	Signaalinkäsittely .....	15
4.1.1	Ajoneuvon tunnistus, ylitysjankohdan määrittäminen ja leikkaus .....	15
4.1.2	Piirteet ja luokittelu .....	15
4.2	Opetusdatan annotointi .....	16
4.2.1	Annotointimenetelmän valinta .....	16
4.2.2	Äänisignaalien spektrit .....	16
4.2.3	Luokat .....	17
4.2.4	Havainnot annotoiduista signaaleista .....	17
4.2.5	Opetusdata .....	18
4.3	Luokittimen opettaminen ja testaaminen .....	20
4.3.1	Vaihe 1, Opetusdata Alavudelta ja testidata Alavudelta .....	20
4.3.2	Vaihe 2, Opetusdata Alavudelta ja testidata Saaramaalta .....	20
4.3.3	Vaihe 3, Opetusdata Alavudelta ja testidata Ruskontieltä .....	20
5	LUOKITTIMEN TOIMIVUUS .....	21
5.1	Renkaanvaihtosesonki syksy 2019 .....	21
5.2	Epävarmuustekijät .....	22
5.2.1	Sääolosuhteet .....	22
5.2.2	Mittauslaitteisto ja asennustapa .....	24
5.2.3	Opetusdata .....	25
5.3	Yhteenveto .....	25
6	JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKOTUTKIMUSTARPEET .....	26

# 1 Johdanto

## 1.1 Tutkimuksen tavoite

Tutkimuksen tavoitteena on rakentaa laite, joka pystyy automaattisesti tunnistamaan laitteen ohi ajavan henkilöauton nastarenkaat. Laitteen avulla voitaisiin saada tilastollista tietoa, kuinka suuri osuus tietyllä tieosuudella kulkevista henkilöautoista on varustettu nastarenkailla. Laitteen toiminta perustuu tie-rakenteeseen asennettujen kontaktimikrofonien tuottamien äänisignaalien analyysiin.

## 1.2 Tutkimuksen toteutus

Koekohteille asennetaan mittauslaitteistot, jotka äänittävät mittauskohdan ohi ajavan ajoneuvon tuottaman äänen. Mitatut ajoneuvokohtaiset signaalit analysoidaan ja pyritään löytämään toistuvia eroavaisuuksia nastarenkailla varustetun ajoneuvon ja nastattomilla renkailla varustetun ajoneuvon aiheuttamiin signaaleihin. Mikäli signaaleista on havaittavissa selkeitä eroavaisuuksia, joiden perusteella edellä mainitut tapaukset voidaan erotella toisistaan, voidaan laitteen toimintaperiaate rakentaa yksinkertaisilla matemaattisilla malleilla. Mikäli äänisignaaleista ei ole selkeästi havaittavia eroavaisuuksia, laitteen toiminta perustuu neuroverkkoihin ja koneoppimista hyödyntäviin menetelmiin.

## 1.3 Liittyvät tutkimukset

Mittauksia tehdään kohteilla, joilla tehdään saman aikaisesti tien urautumisen seurantaa. Laitteen avulla voidaan saada nykyistä tarkempaa tietoa nastarenkailla varustettujen ajoneuvojen määrästä urautumisen seurantakohteilla.

## 2 Koekohteet

Tutkimuskohteet valikoituivat olemassa olevien LAM-asemien läheisyyteen (LAM=Liikenteen Automaattinen Mittaus). Päällimmäinen syy kyseisten paikkojen valintaan oli mittalaitteiden sähköntarve. LAM-asemilla oli valmiina sähköliitännät, joilta saatiin sähköä mittauksia varten. Lisäksi LAM-asemilta saatavaa tietoa (mm. ajoneuvon pituus, akselien lukumäärä ja nopeus) voidaan mahdollisesti hyödyntää mittauksista saadun datan käsittelyssä. Tutkimuksiin valittiin kaksi LAM-asemaa: LAM 503 Saaramaa sekä LAM 1060 Alavus. Asennukset LAM-asemilla tehtiin keväällä 2019. Edellä mainittujen kohteiden lisäksi valittiin testikohte Lempäälään seututielle 309 välille Hervanta–Sääksjärvi. Asennukset testikohteelle tehtiin syksyllä 2019. Koekohteiden sijainnit sekä yleiskuvat kohteilta ovat esitetty kuvissa 2.1–2.4.



Kuva 2.1 Koekohteiden sijainnit kartalla. LAM 1060 Alavus sijaitsee kantatie 66 varrella välillä Alavus-Kuortane (66-25-2656). LAM 503 Saaramaa sijaitsee valtatie 26 varrella välillä Luumäki-Hamina (26-8-4792). Testikohte sijaitsee seututie 309 varrella välillä Hervanta-Sääksjärvi (309-1-1920)



*Kuva 2.2 Yleiskuva Saaramaan kohteelta. Keskimääräinen vuorokausiliikenne (KVL) vuonna 2018 kohteella oli 1920 ajon. /vrk.*



*Kuva 2.3 Yleiskuva Alavuden kohteelta. Keskimääräinen vuorokausiliikenne (KVL) vuonna 2018 kohteella oli 3548 aj /vrk.*



*Kuva 2.4 Yleiskuva Lempäälän testikohteelta. Keskimääräinen vuorokausiliikenne (KVL) vuonna 2018 kohteella oli 6540 ajon. /vrk.*

## 3 Äänisignaalien mittaaminen

### 3.1 Mittauslaitteisto

Rengasäänien mittaamiseen ja tallentamiseen käytettiin tavanomaisia soitetun musiikin äänen vahvistamiseen sekä tallentamiseen käytettäviä laitteita ja tarvikkeita. Mittauslaitteisto koostui mm. kontaktimikrofoneista, instrumentti-kaapeleista, äänikortista sekä verkkoyhteydessä olevasta tietokoneesta.

Tutkimuksessa testattiin kahta toimintaperiaatteeltaan erilaista kontaktimikrofonia, pietsokontaktimikrofonia sekä kondensaattorikontaktimikrofonia. Tutkimukseen valitut mikrofonit olivat pääasiassa tarkoitettu erilaisten akustisten soittimien äänen vahvistamiseen ja tallentamiseen. Pietso-elementillä varustettu kontaktimikrofoni oli merkiltään DiMarzio ja malliltaan DP130BK. Kondensaattorimikrofoni oli merkiltään AKG ja malliltaan C411. Signaalien vahvistamiseen käytettiin Rolandin valmistamaa äänikorttia malliltaan Rubix 44.

Signaalikäsittelyvaiheeseen valittiin lopulta pelkästään pietso-elementtimikrofonien tuottamaa äänisignaalia, sillä lähinnä sisäkäyttöön tarkoitetut kondensaattorimikrofonit eivät kestäneet tieympäristön olosuhteita, jonka vuoksi ne rikkoontuivat jo muutamien päivien kuluttua asennuksesta.

Mikrofonit sekä äänikortti ovat esitetty kuvissa 3.1 ja 3.2.



Kuva 3.1 Tutkimuksessa käytetyt kontaktimikrofonit. Vasemmalla DiMarzio DP130BK ja oikealla AKG C411.



Kuva 3.2 Tutkimuksessa käytetty äänikortti Roland Rubix 44.

## 3.2 Mittauslaitteiston asennus

### 3.2.1 Työmenetelmät ja olosuhteet

Asennusta varten tierakennetta, pengertä sekä tien reunassa kulkevaa ojaa jouduttiin mm. kaivamaan, poraamaan ja leikkaamaan. Koska pääosa asennuksista tehtiin kevättalvesta, jäätyneen maan sekä lumen tiedettiin aiheuttavan omat haasteensa laitteiden asentamiseen.



*Kuva 3.3 Asennusolosuhteet Saaramaan koekohteella. Tien penkereellä oli lunta enimmillään 1,5 m paksuinen kerros.*

### 3.2.2 Olemassa olevat asennukset

Koska asennuksia tehtiin LAM-asemien yhteyteen, piti varmistua, ettei rengasäänien mittaamiseen liittyvien asennusten tekemisessä vahingoiteta LAM-asemiin liittyviä instrumentointeja. Etsinnässä hyödynnettiin metallinpaljastinta. Saaramaalla LAM-aseman instrumentoinnit löytyivät varsin kohtuullisella vaivalla, mutta Alavudella instrumentointeja ei löydetty. Asennusten aikana ei havaittu, että olisi vaurioitettu LAM-asemaan liittyviä instrumentointeja ja asennusten jälkeen tarkistettiin, että LAM-asemat molemmilla kohteilla toimivat normaalisti.

### 3.2.3 Kontaktimikrofonien asennus

Kontaktimikrofonit sekä johdot asennettiin tien päällysteen sisään. Mikrofonien kestävyys sekä taltioitavan äänisignaalin laatuun liittyen asennuksissa vaihdeltiin mm. mikrofonien sijoittelua tien poikkileikkauksessa, mikrofonien suojakotelointia sekä asennusten viimeistelytapoja.

Mikrofonien asentamista varten tien päällysteeseen porattiin timanttikoralla halkaisijaltaan 55–75 mm reikiä mikrofonien asennuskohtiin. Reikien syvyys oli noin 40 mm. Asfalttimassa koverrettiin pois reiästä ja reiän pohja tasoitettiin taltalla ja vasaralla. Seuraavaksi tehtiin timanttikulmahiomakoneella päällysteeseen roilot mikrofoneilta tulevia johtoja varten. Roilojen leveydet olivat 7–

15 mm ja syvyydet 20–30 mm. Tämän lisäksi tien penkereeseen kaivettiin pisto-lapion levyiset ja noin 200 mm syvyiset ojat asennuspaikalta mittauskaapille.

Kuvassa 3.4 on esitetty kontaktimikrofonien asennusta Alavuden kohteelta.



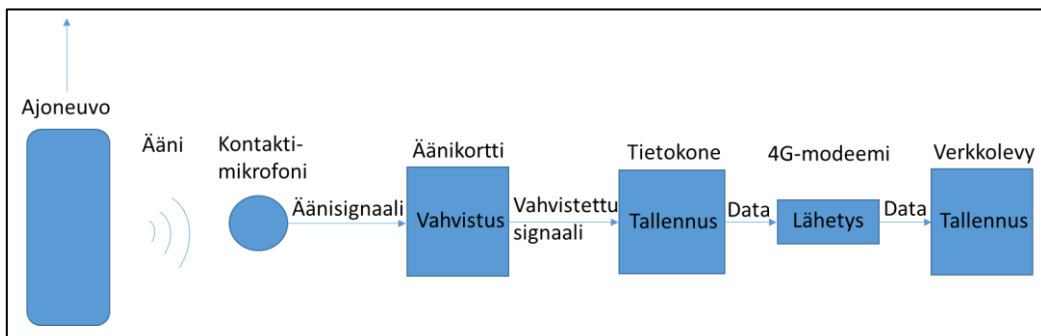
*Kuva 3.4 Kontaktimikrofonien asennusta puuta muistuttavaan muotoon Alavuden kohteella. Uloimmat mikrofonit ovat tien reunaviivan tuntumassa, latvassa oleva mikrofoni on lähellä ajouraa. Osa mikrofoneista suojattiin muovikoteloilla, osa jätettiin suojaamatta.*

### 3.3 Suositeltava asennustapa

Asennuskokemusten ja äänisignaalien tarkastelun perusteella suositeltava asennustapa on liimata kuumalla bitumilla pietso-elementillä varustetut kontaktimikrofonit suojakotelon sisään asennusreiän pohjalle. Mikrofonilta lähtevän kaapelin ympärille laitetaan suojaputki ja johto liimataan bitumilla tien päällysteeseen tehdyn roilon pohjalle. Liimausten jälkeen sekä mikrofonille tehty reikä, että johdoille tehdyt roilot täytetään kuumalla bitumilla. Mikrofonin sijoittelu tien poikkisuunnassa on kompromissi signaalin laadun ja mikrofonin kestävyysvälin välillä. Tien reunaviivan tuntumassa ajoneuvojen aiheuttamat raskitukset mikrofonin ovat pienempiä verrattuna ajouran tuntumassa sijaitsevaan, mutta tällöin myös ajoneuvon aiheuttama äänisignaali on vaimeampi. Etenkin nastarenkaiden aiheuttamat korkeataajuiset äänet vaimenevat voimakkaasti mikrofonin ja ajoneuvon välisen etäisyyden kasvaessa. Toisaalta myös, mikäli mikrofoni on etäällä ajoneuvosta, laitteistosta johtuvat häiriöäänet ovat suhteessa voimakkaampia ajoneuvosta aiheutuvaan ääneen, mikä saattaa aiheuttaa ongelmia rengastuksen tunnistamiseen.

### 3.4 Mittauksen periaate

Mittauksen periaate on seuraava: Ajoneuvo kulkee mittauskohdan ohi tuottaen äänen. Tierakenteeseen asennettu kontaktimikrofoni reagoi ajoneuvon ääneen tuottaen äänisignaalin. Signaali kulkee kaapelia pitkin äänikortille, joka vahvistaa signaalin. Äänikortilta vahvistettu signaali kulkee tietokoneelle, jossa signaali tallennetaan tiedostona tietokoneen kovalevylle. Kovalevyltä tiedostot lähetetään mobiiliverkkoyhteyden kautta verkkolevylle. Tallennetun äänisignaalin resoluutio oli 24 bittiä ja äänitystaajuus oli 44,1 kHz. Mittauksen periaate on esitetty kuvassa 3.5.



Kuva 3.5 Mittauksen periaate.

Mittauksen tallennus ohjelmoitiin käynnistymään, kun tietyn mikrofonin havaitsema ennalta asetettu raja-arvo saavutettiin. Tiedostoon tallennettiin tätä hetkeä edeltävä sekunti ja seuraavat kolme sekuntia. Mikäli raja-arvo ylitettiin tallennusaikana, tallennusta jatkettiin, kunnes signaaliin ei seuraavan kolmen sekunnin aikana tullut enää raja-arvon ylittäviä ääniä. Tällöin yksittäiseen tiedostoon saattoi tallentua yksittäisten ajoneuvojen ohitusten asemesta useiden ajoneuvojen ohituksia. Ajoittain mitattuun äänisignaaliin saattoi myös tallentua viereisen kaistan liikennettä.



## 4 Nastarengasluokitin

### 4.1 Signaalinkäsittely

Toimivan nastarengasluokittimen toteutus edellyttää digitaalista signaalinkäsittelyä sekä yksinkertaisia koneoppimisen menetelmiä. Prosessin vaiheet äänitetystä ajoneuvon ylityksestä luotettavaksi luokittelupäätelmäksi voidaan jakaa kahteen vaiheeseen. Ensin tunnistetaan äänitteessä oleva ajoneuvo ja sen ajoneuvotyyppi sekä määritetään sen tarkka ylitysajankohta. Toisessa vaiheessa ajoneuvon ylityksestä muodostetaan piirteet luokittimelle, joka antaa lopputuloksena arvion kysytyn ajoneuvon rengastyypistä.

Prototyypivaiheen nastarengasluokitin on ongelman yksinkertaistamiseksi suunniteltu tunnistamaan ainoastaan kaksiakselisten ajoneuvojen ylityksiä. Lisäksi luokitin on suunniteltu toimimaan osana suurempaa ohjelmistokokonaisuutta lopputuotteen vaatimusten mukaisesti.

Seuraavissa alaluvuissa on esitelty yksityiskohtaisemmin kunkin vaiheen toimintaa.

#### 4.1.1 Ajoneuvon tunnistus, ylitysajankohdan määrittäminen ja leikkaus

LAM-asemien äänittämä raakamateriaali pitää sisällään eri ajoneuvotyyppien ylityksiä sekä mahdollisia häiriösignaaleja, kuten esimerkiksi vastakkaisen kaistan liikenteestä aiheutuvaa melua. Äänitetyistä ylityksistä on kuitenkin selkeästi kuultavissa ajoneuvon akselien ylitykset, joten akselien lukumäärän perusteella pystytään päättelemään tunnistettavan kohteen ajoneuvotyyppi.

Ajoneuvon tunnistus ja ylitysajankohdan määrittäminen perustuvat äänitteen energiatasojen tarkasteluun lyhyillä aikaväleillä. Jos äänitteen tarkastelun ja häiriösuodatusten jälkeen saadaan tulokseksi kaksi toisistaan sopivan etäisyyden päässä olevaa energiapiikkiä, todetaan kyseinen ylitys kaksiakseliseksi ajoneuvoksi. Akselinylitysten aikaleimat tallennetaan ja äänite merkitään luokiteltavaksi ylitykseksi jatkokäsittelyä varten.

Automaattisen äänitysohjelman tallentamat äänitteet ovat kestoiltaan vähintään neljä sekuntia pitkiä. Äänitteen hiljaisesta alusta ja lopusta ei ole hyötyä luokittelijalle, joten ajoneuvon tunnistamisen jälkeen äänitteestä poistetaan ylimääräinen informaatio. Leikkaus toteutetaan ajoneuvon tunnistuksen yhteydessä saatujen aikaleimojen perusteella. Leikkauksen lopputuloksena saadaan lyhyt äänileike, joka pitää sisällään ainoastaan ajoneuvon akselinylitykset.

#### 4.1.2 Piirteet ja luokittelu

Luokittimen tehtävänä on jakaa sille esitetyt testinäytteet kahteen luokkaan, tässä tapauksessa nastarengasluokittimen ja ei-nastarengasluokittimen. Aluksi luokitin opetetaan tunnistamaan eroavaisuudet eri luokkien välillä syöttämällä sille ihmiskorvin annotoituja esimerkkiäänitteitä ja kertomalla sille kunkin esimerkin kohdalla kumpaan luokkaan kyseinen äänite kuuluu. Koulutusvaiheen jälkeen luokittelija kykenee tunnistamaan sille esitetyt näytteet itsenäisesti.

Käytännössä eroavaisuudet eri luokkien välillä johtuvat luokkakohtaisista piirre-eroista. Nastarenkaiden aikaansaama ääni eroaa ei-nastarenkaiden äänestä nastojen aiheuttaman korkeataajuisen kohinan vuoksi. Tämä tieto välittyy luokittelijalle äänileikkeistä muodostettujen piirteiden välityksellä. Piirteet ovat yksinkertaistettu esitys ajoneuvon ylityksestä luokittelijan ymmärtämässä muodossa. Projektissa käytettävä nastarengasluokitin on tyypiltään tuki-vektorikone.

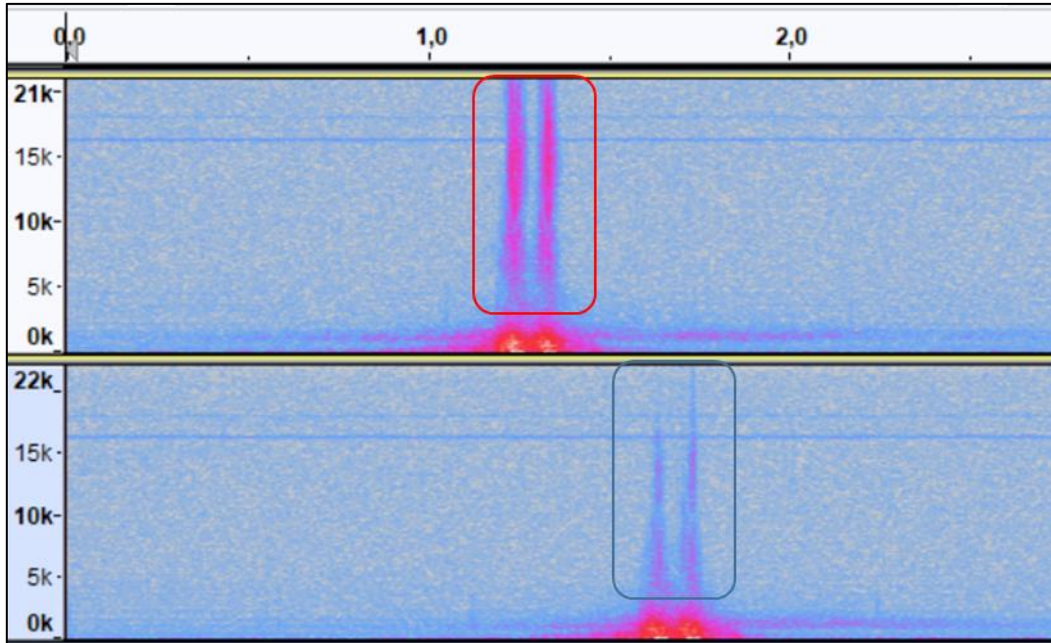
## 4.2 Opetusdatan annotointi

### 4.2.1 Annotointimenetelmän valinta

Kokemus on osoittanut, että nastareнкаat voidaan tunnistaa tien vieressä ajoneuvoja kuuntelemalla. Mittauskohteilta kontaktimikrofonien avulla kerättyjen tallenteiden kuuntelun perusteella käsitys korvakuulolla tunnistamisesta vahvistui entisestään. Tämän vuoksi opetusdatan muodostamismenetelmäksi valittiin korvakuulolla annotointi tallennetuista äänisignaaleista. Verrattuna tien vieressä kuuntelemiseen tierakenteen sisällä olevat kontaktimikrofonit välittävät vain rakenteeseen aiheutuvan äänen, jolloin ilman kautta kulkeutuvat äänet (mm. tuuli, sade tai ajoneuvon moottori) eivät häiritse tunnistamista. Lisäksi tallenteita voidaan tarvittaessa toistaa, mikäli tietyn ääninäytteen tulkitseminen on haastavaa. Pääasiassa kuitenkin tunnistaminen oli varsin suoraviivaista ja selkeää.

### 4.2.2 Äänisignaalien spektrit

Äänisignaalien spektrejä tarkastelemalla havaittiin, että nastarenkaiden ja ei-nastarenkaiden äänisignaaleista muodostetut spektrit vaikuttaisivat olevan pääsääntöisesti toisistaan poikkeavat: Nastareнкаilla varustetun ajoneuvon mittausignaalista muodostetussa spektrogrammissa (ks. kuva 4.1) on selkeästi voimistuneita korkeita taajuuksia verrattuna ajoneuvon ylitykseen ei-nastareнкаilla. Korvakuulon perusteella tehty havainto vastasi lähes poikkeuksetta spektrogrammin perusteella tehtyä visuaalista havaintoa, mikä osaltaan antoi vahvistuksen opetusdatan tekemisestä korvakuulolla.



Kuva 4.1 Henkilöauton ohituksesta muodostuva ääni esitetty spektrogrammina. Pystyakselilla on äänen taajuus kilohertseinä ja vaak akselilla aika sekunteina.

Kuvassa 4.1 pystyakselilla on äänen taajuus kilohertseinä ja vaak akselilla aika sekunteina. Äänenpainetaso on esitetty liukuvana värinä sinisestä valkoiseen. Ylempi spektrogrammi on muodostettu oletetusti nastarenkailla varustetun ajoneuvon ohituksesta mitatusta äänisignaalista. Nastarenkaat aiheuttavat äänenpaineentason nousun korkeilla taajuusalueilla, mikä erottuu kuvaajasta kahtena purppuran värisenä huippuna. Alapuolinen spektrogrammi on muodostettu äänisignaalista, joka mitattiin ohiajavasta ajoneuvosta, jossa oletetusti ei ollut nastarenkaita. Spektrogrammissa on havaittavissa vastaavat kaksi huippua kuin ylempässä spektrogrammissa, mutta huiput ovat huomattavasti kapeammat ja haaleamman väriset johtuen matalammasta äänenpainetasosta korkeilla taajuuksilla.

### 4.2.3 Luokat

Opetusdatan annotointia varten tarkasteltavat äänisignaalit jaettiin tulkinnan perusteella yhdeksään luokkaan, joista viisi luokkaa oli tarkoitettu signaaleille, joista oli havaittavissa selkeästi yksittäinen 2-akselinen ajoneuvo. Luokitus oli 1-5, missä 1=varma nastarengas, 2=epävarma nastarengas, 3=ei osaa sanoa, 4=epävarma ei-nastarengas, 5=varma ei-nastarengas. Loput neljä luokkaa olivat: raskaat ajoneuvot, henkilöautot peräkärryllä, useiden ohitusten tapaukset ja muut tapaukset.

### 4.2.4 Havainnot annotoiduista signaaleista

Luokittelua tehdessä havaittiin, että oletettujen nastarenkaiden tapauksissa kuullussa äänessä oli huomattavia eroavaisuuksia nastarenkaiden aiheuttaman "ropinan" suhteen. "Ropinan" voimakkuus vaihteli hyvin erottuvasta erittäin vaimeaan. Vaihtelua voisi selittää ohiajaneen ajoneuvon nastarenkaiden kunto, nastojen tyyppi ja ajoneuvon etäisyys mikrofoneista ohitushetkellä. Lisäksi

datassa oli signaaleja, joista havaittiin vain muutama "ropsahdus", jotka saattaisivat johtua nastojen ohella myös ei-nastarenkaiden kuvioihin kiinni jääneistä kivistä.

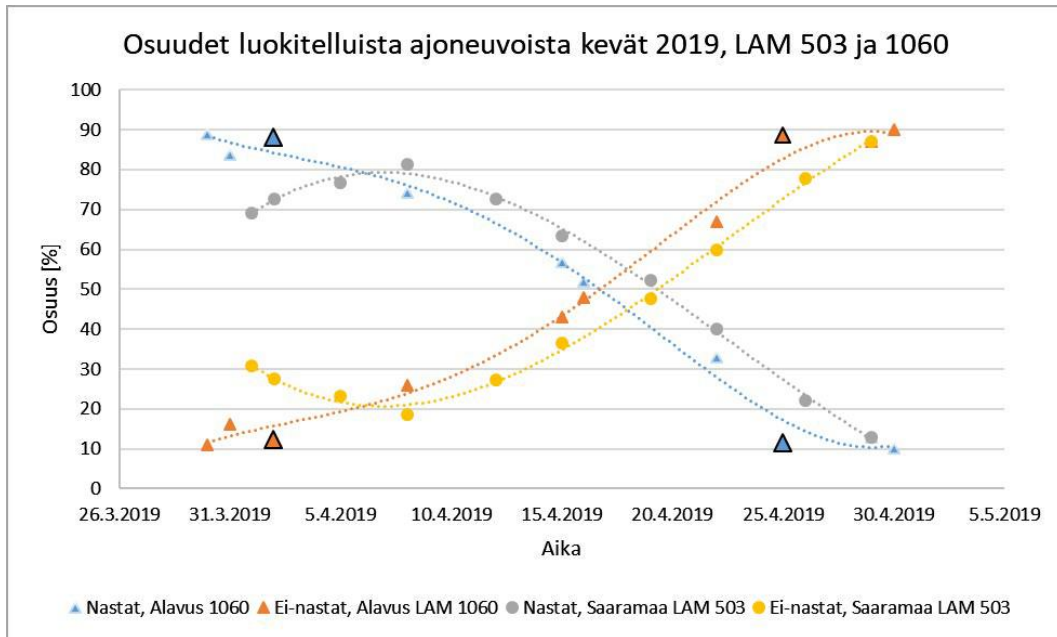
Vaihtelua oli havaittavissa myös oletettujen ei- nastarenkaiden tapauksissa. Oletetuista ei-nastareнкаista mitatuista äänisignaaleista kuului tyypillisesti matalataajuuksinen "humaus", jonka voimakkuus vaihteli vaimeasta voimakkaaseen. Tämä lisäksi signaaleista saattoi humahduksen lisäksi tunnistaa ajoittain "pehmeää ropinaa", mikä saattaisi johtua esimerkiksi ei-nastareнкаan karkeasta pintakuvioidinnista. Mikäli signaalissa ei kuitenkaan havaittu nastarengastapauksille tyypillistä korkeataajuista ropinaa, kyseinen signaali luokiteltiin ei-nastareнкаaksi luokkaan 5. Jos kuitenkin signaalista oli kuultavissa yksittäinen pieni rasahdus tai ropsahdus, kyseinen signaali luokiteltiin luokkaan 4.

Pääsääntöisesti yksittäisen ajoneuvon molempien akselien äänissä oli kuultavissa joko nastarengas tai ei-nastarengas. Mutta varsinkin renkaanvaihtosesongin aikoihin oli havaittavissa jonkin verran tapauksia, joissa ajoneuvon toisesta akselista oli kuultavissa nastarengas ja toisesta ei-nastarengas. Useimmiten vielä niin, että etuakselilla oli nastarengas ja taka-akselilla ei-nastarengas. Tämä saattaisi selittyä sillä, että kuljettajat haluavat säästää talvirenkaita ja vaihtavat ei-vetävälle akselille kesärenkaat, mutta samalla varmistavat, että vetävällä akselilla on pitoa, mikäli keväällä liukkaus yllättäisikin.

#### 4.2.5 Opetusdata

Opetusdataksi valittiin mitattuja äänisignaaleja kahdeksalta päivältä keväältä 2019, maaliskuun loppupuolelta huhtikuun loppuun. Päivät valittiin hajautetusti koko ajalta, jotta saataisiin samalla käsitys, miten renkaanvaihtosesonki näyttäytyy annotoinnissa. Kuvassa 4.2 on esitetty Alavuden ja Saaramaan kohdeelta mitatuista signaaleista edellä mainitun luokittelutavan mukaan määritettyjen nastareнкаilla ja ei-nastareнкаilla varustettujen ajoneuvojen prosentuaaliset osuudet. Kuvassa esitetyissä osuuksissa on huomioitu vain varmasti tunnistettavat yksittäisen henkilöauton tapaukset eli kyseiset signaalit ovat annotoitu joko luokkaan 1 tai 5.

Kuvaajassa on lisäksi esitetty neljä merkkiä mustalla ääriiviivalla. Kyseiset päivät valittiin annotointia tehneelle henkilölle siten, että kuuntelija ei tiennyt, mitkä päivät ovat kyseessä. Tällä toimenpiteellä haluttiin tutkia, vaikuttaako tieto signaalien mittausajankohdasta annotointiin. Kyseisistä päivistä muodostetut rengastuksen osuudet sopivat sovitekäyrille, joten voidaan todeta, että annotoitavan data ajankohdan tietäminen ei näyttäisi vaikuttavan annotoinnin tulokseen.



Kuva 4.2 Korvakuulolla annotoitujen henkilöautojen renkaiden osuudet Alavuden ja Saaramaan koekohteilla keväällä 2019. Annotoituja tapauksia oli Alavudelta yhteensä 3005 kpl ja Saaramaalta 1323 kpl.

Kuvassa 4.2 esitetyn kuvaajan perusteella korvakuulolla tehdyt annotoinnit ovat varsin loogisia kevätkauden renkaanvaihdon ajankohtaan nähden. Annotoinnin perusteella huhtikuun alkupuolella nastarenkailla varustettujen autojen osuus henkilöautoista molemmilla koekohteilla oli 70-88%, jonka jälkeen huhtikuun puolivälin tietämällä osuudet ovat tasan, ja huhtikuun lopulla nastarenkaiden osuudet ovat enää 10 % luokkaa. Annotoitujen päivien rengastusten osuudet sopivat varsin hyvin sovitekäyrälle ja hajonta on pientä.

Saaramaan kohteella kuunneltujen henkilöautojen nastarenkaiden osuus nousi huhtikuun alusta noin 10%-yksikköä. Tämä todennäköisesti johtuu takatalvesta, jolloin Itä-Suomessa satoi runsaasti lunta etenkin 8.4.2019. Tämän vuoksi todennäköisesti kesärenkailla varustetut ajoneuvot eivät olleet liikenteessä ja mahdollisesti myös jo kertaalleen vaihdetut kesärenkaat vaihdettiin takaisin talvirenkaisiin, mikä saattaisi selittää nastarenkailla varustettujen ajoneuvojen osuuden kasvamista.

Takatalven jälkeen Saaramaan signaaleista annotoitujen nastarenkaiden ja ei-nastarenkaiden päivittäisistä osuuksista tehty sovitekäyrä kulkee lähes yhdensuuntaisesti Alavuden sovitekäyrän kanssa. Kuvaajan perusteella näyttäisi siltä, että Saaramaalla renkaanvaihtosesonki ajoittuisi viikkoa myöhemmäksi verrattuna Alavuteen. Tämä saattaisi selittyä takatalvella ja sillä, että Itä-Suomessa kevät pääsääntöisesti alkaa hieman myöhemmin kuin Länsi-Suomessa.

## 4.3 Luokittimen opettaminen ja testaaminen

Luokittimen tarkkuus perustuu kerätyn datan vastaavuuteen opetusdatan kanssa. Koska Saaramaan kohteella (LAM 503) mitatuissa äänisignaaleissa esiintyi runsaasti häiriötä mm. viallisesta sähköpylvästä ja LAM-aseman modeemista johtuen, päädyttiin opetusdatan muodostamiseen käyttämään Alavudelta (LAM 1060) mitattuja signaaleita (ks. kuva 4.2). Luokittimen opettaminen ja luokitustarkkuuden testaus jaettiin kolmeen vaiheeseen.

Luokitustarkkuuden lisäksi haluttiin selvittää, kuinka suuren osuuden luokitin tunnistaa mittauspaikan ohi ajavista henkilöautoista. Asiaa tarkastellaan syöttämällä mitatut äänisignaalit Alavuden koekohteelta syksyn 2019 rengasvaihtosesongin ajalta (loka-marraskuu). Luokiteltujen ajoneuvojen lukumäärää verrataan LAM-asemalta saatavaan päiväkohtaiseen tietoon henkilöautojen lukumäärästä.

### 4.3.1 Vaihe 1, Opetusdata Alavudelta ja testidata Alavudelta

Ensimmäisessä vaiheessa luokitin opetettiin Alavudelta mitatuilla annotoiduilla äänisignaaleilla joka toisena päivänä ja jäljelle jäävät päivät käytettiin testaamiseen. Luokitin luokitteli testissä tapaukset 99,5 prosenttisesti samoin kuin annotoija.

### 4.3.2 Vaihe 2, Opetusdata Alavudelta ja testidata Saaramaalta

Toisessa vaiheessa luokitin opetettiin loppuilla Alavuden kohteen annotoiduilla signaaleilla ja testattiin Saaramaan annotoiduilla signaaleilla. Luokitin luokitteli testissä tapaukset 95,9 prosenttisesti samoin kuin annotoija.

### 4.3.3 Vaihe 3, Opetusdata Alavudelta ja testidata Ruskontieltä

Kolmannessa vaiheessa Alavuden datoilla opetettu luokitin testattiin syksyllä 2019 Ruskontien kohteelta mitatuilla ja annotoiduilla signaaleilla. Signaaleja mitattiin kahdelta päivältä (21.10. ja 13.11) ja luokiteltuja äänisignaaleja oli yhteensä 256 kpl. Luokitin luokitteli testissä nastarengastapaukset 92 prosenttisesti samoin kuin annotoija. Luokitin luokitteli ei-nastarengastapaukset 57 prosenttisesti samoin kuin annotoija. Heikkoa tunnistustarkkuutta testi-kohteella on käsitelty kappaleessa 5.2.2.

## 5 Luokittimen toimivuus

### 5.1 Renkaanvaihtosesonki syksy 2019

Tutkimuksessa kehitetyn nastarengasluokittimen toimivuutta testattiin syksyn 2019 renkaanvaihtosesongin aikana. Tarkasteltavaksi ajankohdaksi valittiin 1.10.30.11.2019. Kyseisen ajankohdan aikana mitattujen äänisignaalien, nastarengasluokittimen avulla luokiteltujen tapausten sekä LAM-aseman rekisteröimien 2-akselisten ajoneuvojen lukumäärät on esitetty taulukossa 4.1.

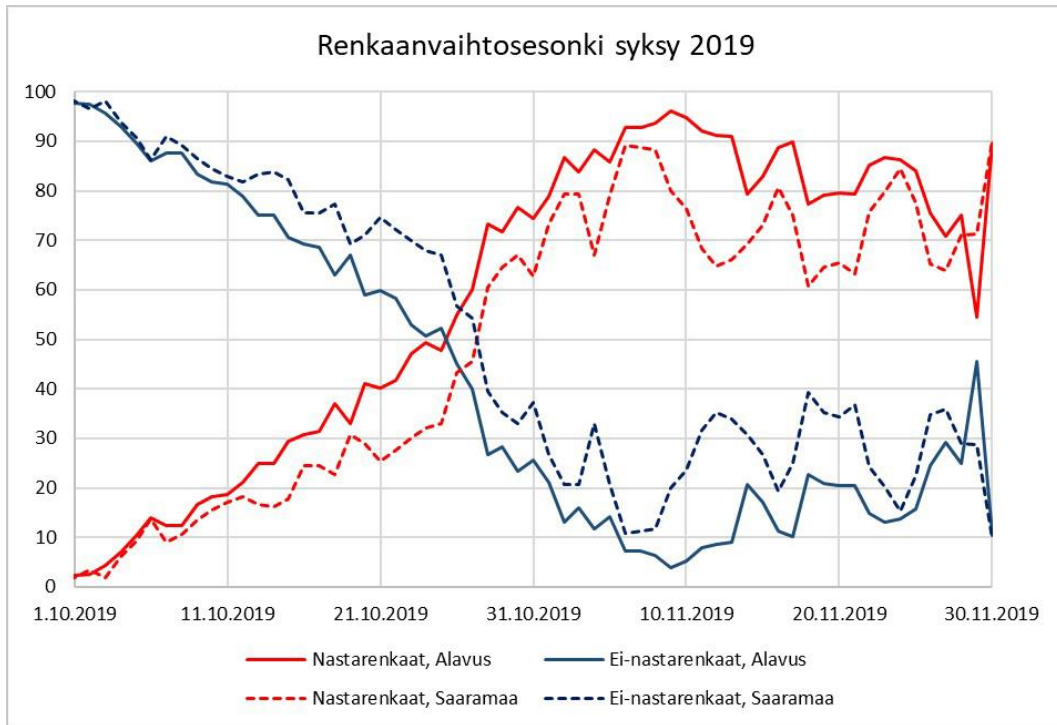
Taulukko 5.1 Syksyn 2019 renkaanvaihtosesonki lukuina.

	Alavus	Saaramaa	Yhteensä
Mitattuja äänisignaaleja	69364	38077	107441
Luokiteltuja ajoneuvoja	56073	23313	79386
LAM-aseman rekisteröimät ajoneuvot	87312	43539	130851
Luokiteltujen ajoneuvojen osuus LAM-aseman rekisteröimistä ajoneuvoista	64%	54%	61%

Yleisesti ottaen mitattujen äänitteiden ja luokitettujen ajoneuvojen määrä on aina vähäisempi kuin LAM-aseman rekisteröimä 2-akselisten ajoneuvojen määrä esimerkiksi seuraavista syistä:

- Ajoneuvot ajavat peräkkäin, jolloin yksittäisessä tiedostossa on useamman ajoneuvon ohitus. Luokitin on ohjelmoitu niin, että se hylkää useamman ajoneuvon ohituksen sisältävän tiedoston, jolloin kyseisiä ajoneuvoja ei luokitella.
- Ajoneuvot kulkevat niin kaukaa mittauspisteestä, minkä vuoksi laitteisto ei "kuule" ohi ajavaa ajoneuvoa, jolloin äänitiedostoa ei muodostu.

Kuvassa 5.1 on esitetty nastarengaiden ja ei-nastarengaiden päiväkohtaiset suhteelliset osuudet renkaanvaihtosesongilla syksyllä 2019. Suhteelliset osuudet on muodostettu nastarengasluokittimen tulkinnan perusteella kohteilla mitatuista äänisignaaleista.



Kuva 5.1 *Nastarenkaiden ja ei-nastarenkaiden suhteelliset osuudet syksyllä 2019 Alavuden ja Saaramaan koekohteilla.*

Kuvasta 5.1 havaitaan, että lokakuun alkupuolella suurimmassa osassa ajoneuvoista on ei-nastarenkaat. Talvea kohti mennessä nastarenkaiden osuus kasvaa lineaarisesti ja vastaavasti ei-nastarenkaiden osuus pienenee. Lokakuun loppupuolella osuudet ovat lähes tasan. Marraskuun alkupuolella nastarenkaiden osuus saavuttaa huippunsa ja tällöin nastarenkaiden osuus koekohteilla on yli 90%. Huipun jälkeen nastarenkaiden osuus pienenee ja marraskuun aikana vaihtelee hyvinkin voimakkaasti. Vaihtelua voisi selittää osaltaan sääolosuhteiden, erityisesti lumisateen ja liukkaan tien pinnan vaikutus vallitseviin ajo-olosuhteisiin. Huonot ajo-olosuhteet vaikuttavat todennäköisesti ihmisten liikennekäyttäytymiseen siten, että nastarenkaiden osuus kasvaa. Toisaalta sääolosuhteiden, etenkin tien pintaan jäävän lumen, havaittiin vaikuttavan mittauslaitteiston toimintaan, mikä saattaa osaltaan vaikuttaa luokiteltujen ajoneuvojen suhteellisiin osuuksiin. Sääolosuhteiden vaikutusta mittauslaitteiston toimintaan on käsitelty kappaleessa 5.2.1.

## 5.2 Epävarmuustekijät

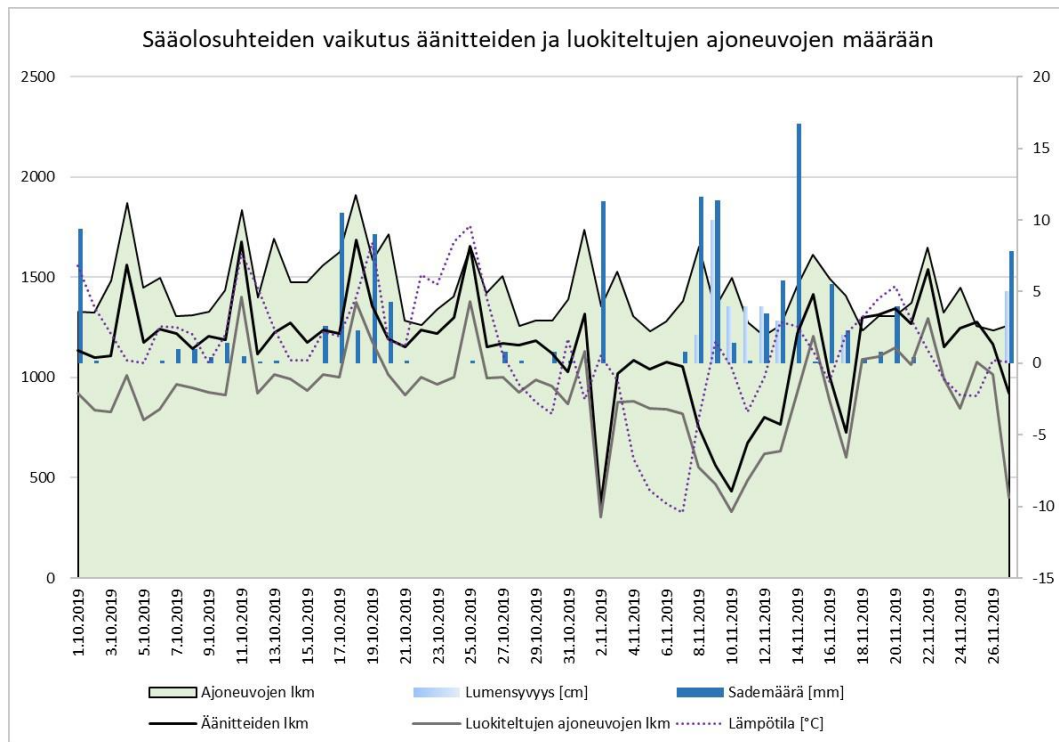
Luokittimen toimivuuteen havaittiin vaikuttavan epävarmuustekijöitä, joita olivat mm. sääolosuhteet, mittalaitteisto sekä laitteiston asennustapa ja opetusdatan muodostamismenetelmä. Edellä mainittuja epävarmuustekijöitä on pohdittu kappaleissa 5.2.1–5.2.3.

### 5.2.1 Sääolosuhteet

Sääolosuhteet kuten lämpötila, sademäärä ja sateen olomuoto koekohteilla vaihtelevat. Etenkin rengasvaihtosesonkien aikaan (kevällä ja syksyllä) on tyypillistä, että sääolosuhteet voivat vaihdella erittäin paljon – lämpötila



vaihtelee nollan molemmin puoliin ja sateen olomuoto vedestä lumeen. Sääolosuhteiden vaikutusta Alavuden koekohteella tehtyihin mittauksiin syksyllä 2019 on esitetty kuvassa 5.2. Kuvaajassa esitetyt sääparametrit on poimittu Ilmatieteenlaitoksen tarjoamasta palvelusta (<https://ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus#!/>). Tiedot lumensyvyydestä ja sademäärästä ovat havaintoasemalta Alavus Sulkavankylä ja tiedot lämpötilasta ovat havaintoasemalta Virrat Äijäneva. Päiväkohtaiset ajoneuvojen (henkilö- ja pakettiautot) lukumäärät perustuvat LAM-asemalta saatuihin tietoihin.



Kuva 5.2 Sääolosuhteiden vaikutus äänitteiden ja luokiteltujen ajoneuvojen määrään Alavuden koekohteella (LAM-1060) syksyllä 2019.

Kuvaajasta havaitaan, LAM-aseman rekisteröimä 2-akselisten ajoneuvojen (henkilö- ja pakettiautot) lukumäärä vaihtelee toistuvalla syklillä 1200 ja 1800 ajoneuvon välillä. Syklin huippu ajoittuu perjantaille ja sitä seuraava pienempi huippu sunnuntaille. Huippujen jälkeen LAM-aseman ohi ajaneiden henkilöautojen lukumäärä pienenee ja on pienimmillään tyypillisesti keskellä viikkoa. Lokakuun ajan mitattujen äänitteiden sekä luokiteltujen ajoneuvojen lukumäärä seuraa samaista sykliä. Lokakuussa Ilmatieteenlaitoksen aineiston perusteella lämpötila pysyi lähes koko kuukauden ajan nollan yläpuolella ja sateen olomuoto oli vesi. Vesisade ei näyttäisi vaikuttavan mittauksiin. Esimerkiksi viiden päivän sateisella ajanjaksolla 16.-20.10.2019 havaitaan, että äänitteiden ja luokiteltujen ajoneuvojen lukumäärä noudattaa LAM-aseman rekisteröimää ajoneuvojen lukumäärän sykliä.

Marraskuun alussa tilanne muuttuu, kun lämpötilaa pysyttelee nollan tuntumassa (hetkellisesti myös alapuolella) ja samalla 2.11.2019 on sateinen päivä (sateen määrä 11,3 mm/vrk). Sateen olomuoto on todennäköisesti ollut lumi, mutta lumensyvyys on havaintoasemilla ollut 0, joten lumi on sulanut saman päivän aikana. Kyseisenä päivänä mitattujen äänitteiden sekä luokiteltujen ajoneuvojen lukumäärä putosi merkittävästi. Seuraavina päivinä kuitenkin äänitteiden ja luokiteltujen ajoneuvojen määrät nousivat syklin mukaiselle

oletetulle tasolle, kunnes 8.11 saapui uusi sadealue, ja sateen olomuoto oli pääasiassa lumi, mikä näkyy myös tällä kertaa lumensyvyysarvon kasvuna. Äänitteiden ja luokiteltujen ajoneuvojen lukumäärä pieneni merkittävästi suhteessa LAM-aseman rekisteröimiin ajoneuvoihin. Erityisesti lumisateen, mutta ei niinkään vesisateen äänitteiden sekä luokiteltujen ajoneuvojen määrään havaitaan lumisen ajan jälkeen sateisena päivänä 13.11 (sademäärä 16,3 mm/vrk), jolloin äänitteiden sekä luokiteltujen ajoneuvojen lukumäärä palaa noudattamaan normaalia sykliä. Kunnes taas 17.11.2019 pieni lumisade poikkeuttaa äänitteiden ja luokiteltujen ajoneuvojen käyrän pois sykliltä. Sama ilmiö toistuu vielä loppukuusta 27.11.2019.

Saaramaan koekohteella ei ollut havaittavissa niin selkeää yhteyttä äänitteiden määrän vähenemiseen sääolosuhteista (erityisesti lumisateesta) johtuen. Toisaalta Saaramaan koekohteen välittömässä läheisyydessä ei ollut sääasemia ja lähimpien sääasemien tiedot poikkesivat toisistaan - etenkin sademäärien ja sateen olomuodon suhteen. Myöskään lähimpien sääasemien havaintojen perusteella Saaramaalla ei ollut syksyn renkaanvaihtosesongin aikana niin lumisia jaksoja kuin Alavudella. Lisäksi Saaramaan koekohte on ylempiarvoisella tiellä, missä kulkee runsaasti raskaita ajoneuvoja, joka saattaa pitää tien pinnan paremmin sulana, vähintään urien kohdalta, eikä tällöin kevyt lumisade pääse vaikuttamaan mittauksiin. Toisaalta myös ylempiarvoisella tiellä on todennäköisesti enemmän talvikunnossapitoa, mikä osaltaan pitää tien pinnan sulana.

Yhteenvedona mainittakoon, että sääolosuhteista tien pinnalle kertynyt lumi näyttäisi vaikuttavan eniten tallennettujen äänisignaalien määrään. Tutkimuksessa pohdinnan aiheena oli myös, kuinka tien pintaan kertynyt lumi vaikuttaa mitatun äänisignaalin laatuun ja tallennukseen. Ensimmäinen kysymys on, vaimentaako tien pintaan kertynyt lumi nastarenkaille tyypillistä korkeataajuisia ääniä, jolloin mittauskohdan ohi ajanut nastarenkalla varustettu ajoneuvo luokiteltaisiinkin ei-nastarenkaiseksi. Toinen kysymys on, vaimentaako tien pinnalle kertynyt lumi ei-nastarenkaiden tuottamaa ääntä niin paljon, ettei mittauslaitteisto "kuule" kyseistä ajoneuvoa, jolloin äänite jää muodostamatta.

### 5.2.2 Mittauslaitteisto ja asennustapa

Mittauslaitteiston laatu ja asennustapa vaikuttavat äänitteiden muodostamiseen sekä äänisignaalin laatuun. Tässä tutkimuksessa käytetyn mittausohjelmiston puutteet vaikuttivat siten, että kaikilla koekohteilla mitattuihin äänisignaaleihin muodostui ajoittain epäjatkuvuuskohtia, jotka saattavat jossain määrin vaikuttaa nastarengasluokittimen luokittelutarkkuuteen. Mittalaitteiston laadulla on luonnollisesti vaikutuksensa signaalin laatuun, mutta tämän tutkimuksen osalta valittu laitteisto (ks. luku 3) toimi tarkoitukseen varsin hyvin.

Suurin merkitys äänisignaalin laatuun perusteella näyttäisi olevan laitteiston asennustavoilla. Erityisesti mittauslaitteiston asennuksesta johtuvat ongelmat korostuivat testikohteella Ruskontiellä (ks. luku 4.3.3). Selityksenä heikolle luokitustarkkuudelle Ruskontien koekohteella on todennäköisesti mikrofonien asennustapa sekä sijainti tien poikkileikkauksen suunnassa verrattuna Alavuden ja Saaramaan koekohteisiin. Ruskontiellä mikrofonit asennettiin tien reunaviivan tuntumaan, jolloin äänilähteen ja mittauspisteen etäisyydestä johtuen ääni vaimenee niin merkittävästi, että laitteistosta tulevat korkeataajuiset häiriöäänet (esimerkiksi äänikortin kohina) ovat mitattuun äänisignaaliin verrattuna huomattavan voimakkaita, jolloin korkeataajuisista ylimääräisistä äänistä

johtuen luokitin luokittelee ei-nastarenkaan nastarenkaaksi. Mikrofonit asennettiin lisäksi ilman suojakoteloita, mikä todennäköisesti alentaa mitatun äänisignaalin voimakkuutta sekä lisää mikrofonin vaurioitumisherkkyttä.

Mikrofonien asennustavan lisäksi Ruskontien testikohteella ei ollut kiinteää mittausasemaa, jolloin mm. sääolosuhteet aiheuttivat omat haasteensa mittauksille. Mitatuissa äänisignaaleissa havaittiin ajoittain voimakkaita rasahduksia, jolloin signaalit olivat luokittimelle hankalampia tulkittavia. Todennäköisesti häiriöäänet johtuvat kosteudesta mikrofonien ja johtojen liittimissä.

### 5.2.3 Opetusdata

Opetusdatan laadulla, määrällä sekä luokittelutavalla on vaikutuksensa luokittimen toimivuuteen. Kokemus on osoittanut, että vastavaanlaisten luokittimien toimivuus yleisessä tapauksessa paranee, mitä enemmän ja mitä useammalta koekohteelta opetusdataa on käytettävissä luokittimen opettamiseen. Tutkimuksessa käytetty opetusdata arvioitiin olevan määrältään kohtuullinen, mutta vain yhdeltä koekohteelta, jolloin opetusdatan puitteissa tutkimuksessa tehdyn luokittimen luokittelutarkkuuteen jää vielä parantamisen varaa.

Opetusdata muodostettiin tässä tutkimuksessa annotoijan henkilökohtaisen mielipiteen pohjalta, mikä aiheuttaa epäilyksen opetusdatan luotettavuudesta. Opetusdatan annotointitavan luotettavuutta on pohdittu kappaleissa 4.2.1 ja 4.2.5. Yhteenvetona mainittakoon, että tutkimuksessa käytetty ihmisen kuuloaistumukseen perustuva annotointitapa todettiin toimivaksi.

## 5.3 Yhteenvedo

Tutkimuksessa tehdyn nastarengasluokittimen toimivuutta testattiin kahdella koekohteella (Alavus ja Saaramaa) syksyn renkaanvaihtosesongissa 1.10.–30.11.2019 välisenä aikana. Luokittelun perusteella tehtiin kuvaaja nasta- ja ei-nastarenkailla varustettujen ajoneuvojen osuuksista edellä mainittuna ajanjaksona. Nastarengaiden osuus oli tarkastelujakson alussa vähäinen ja alkoi kasvaa marraskuun alkupuolelle asti. Vastaavasti ei-nastarengaiden osuus väheni. Marraskuun loppupuolella osuudet vaihtelivat, mikä saattaisi selittyä sääolosuhteiden vaikutuksella sekä ihmisten käyttäytymiseen, että mittauslaitteiden toimivuuteen. Sääolosuhteilla, etenkin lumella, näytti olevan selkeä yhteys edellä mainittuihin tekijöihin. Myös mittalaitteistolla sekä asennustavoilla havaittiin olevan merkittävä vaikutus mitattuihin äänisignaaleihin ja sitä kautta edelleen luokittimen tarkkuuteen.

## 6 Johtopäätökset ja jatkotutkimustarpeet

Tutkimuksessa tehtiin nastarengasluokitin, joka pystyy automaattisesti tunnistamaan nastarenkailla varustetun ajoneuvon liikennevirrasta. Tutkimusta varten kerättiin ääninäytteitä kahdelta koekohteelta sekä yhdeltä testikohteelta. Ääninäytteiden keräämistä varten tierakenteen päällystekerroksen sisään asennettiin kontaktimikrofoneja asennustapoja varten.

Mitatuista ääninäytteistä annotoitiin ihmisen kuuloaistimuksen perusteella opetusaineisto, joka syötettiin luokittimelle. Syötetyn opetusaineiston avulla luokitin kykeni luokittelemaan koekohteilta mitattuja ääninäytteitä, jotka olivat luokittimelle entuudestaan tuntemattomia. Varsinaisilla koekohteilla luokittimen luokittelutarkkuus oli 95,9–99 %, verrattuna annotoijan tekemään luokitteluun samoista ääninäytteistä. Ruskontien testikohteella luokittelutarkkuus oli samaa luokkaa nastarengaiden osalta, mutta ei-nastarengaiden osalta luokittelutarkkuus jäi vaatimattomaksi.

Koekohteilta mitattujen ja luokiteltujen äänitteiden perusteella muodostettiin kuvaaja syksyn 2019 renkaanvaihtosesongin ajalta, josta voidaan havaita, kuinka nastarengaiden ja ei-nastarengaiden osuudet muuttuvat ajan funktiona. Kokemukseen ja sääolosuhteisiin nähden rengastusten osuudet tarkasteluajanjaksolla ovat uskottavia. Renkaanvaihtosesongin lopulla osuudet vaihtelevat voimakkaasti, mikä voisi selittyä sään ja ajo-olosuhteiden, etenkin lumen ja tien pinnan liukkauden, vaikutuksesta ihmisten käyttäytymiseen sekä mittauslaitteiston toimintaan.

Tässä tutkimuksessa kehitetty nastarengasluokitin toimii varsin hyvin. Epävarmuustekijät luokittimen luotettavuuteen liittyvät suurimmaksi osaksi mittausmekaniikan toimivuuteen eri olosuhteissa sekä luokittimen yleistyvyyteen. Luokittimen kehitystä varten tulisi nykyisiltä koekohteilta vertailla mitattujen äänitteiden määrää LAM-asemilta tunnistettujen ajoneuvojen määrään sekä arvioida perusteellisemmin sääolosuhteiden vaikutusta luokittimen avulla määritettyjen rengastusten osuuksiin. Luokittimen yleistämistä varten tulisi kerätä ja annotoida ääninäytteitä uusilta koekohteilta.





ISSN 2490-0745  
ISBN 978-952-317-770-3  
[www.vayla.fi](http://www.vayla.fi)