Väylävirasto
Trafikledsverket

Nastarengasluokittimen jatkokehitys - Nastarenkaiden automaattinen tunnistaminen

Väyläviraston julkaisuja 66/2021

Ville Liiv ja Pauli Kolisoja

Väyläviraston julkaisuja

66/2021

Verkkojulkaisu pdf (www.vayla.fi)
ISSN 2490-0745
ISBN 978-952-317-914-1

Väylävirasto
Trafikledsverket

Sisällysluettelo

Esipuhe 3
Tiivistelmä 4
Edeltävät tutkimusvaiheet 5
- Infra challenge 2018 5
- Nastarengasluokitin 2019-2020 6

Nastarenkaiden automaattinen tunnistaminen 7
- Tutkimuksen tavoitteet 8
- Tutkimustulosten hyödyntäminen 9
- Mittauslaitteisto ja tiedon keruu 10
- Ajoneuvojen luokittelu 11
- Tunnistustarkkuuteen vaikuttavia tekijöitä 12
- Mittausasemat 13
- Mittausasemilta tuotettu data 14
- Tutkimuksen tulokset 16

Esipuhe

Väylävirasto
Trafikledsverket

Tässä julkaisussa käsitellään nastarenkailla varustettujen henkilöautojen automaattista tunnistusta suoraan liikennevirrasta. Tutkimus on jatkoa Infra Challenge esiselvitykselle (2018) sekä julkaisulle Nastarengasluokitin (Väyläviraston julkaisu 19/2020).

Tutkimuksen tilaajana oli Väylävirasto ja sen puolesta työtä ohjasivat Katri Eskola ja Kari Lehtonen. Tampereen yliopistolta tutkimukseen osallistuivat Tutkimuskeskus Terrasta Ville Liiv, Antti Akkanen ja Pauli Kolisoja sekä Äänen- ja signaalikäsittelyn tutkimusryhmästä Aapo Hakala.

Helsingissä lokakuussa 2021

Väylävirasto

Tiivistelmä

Väylävirasto
Trafikledsverket

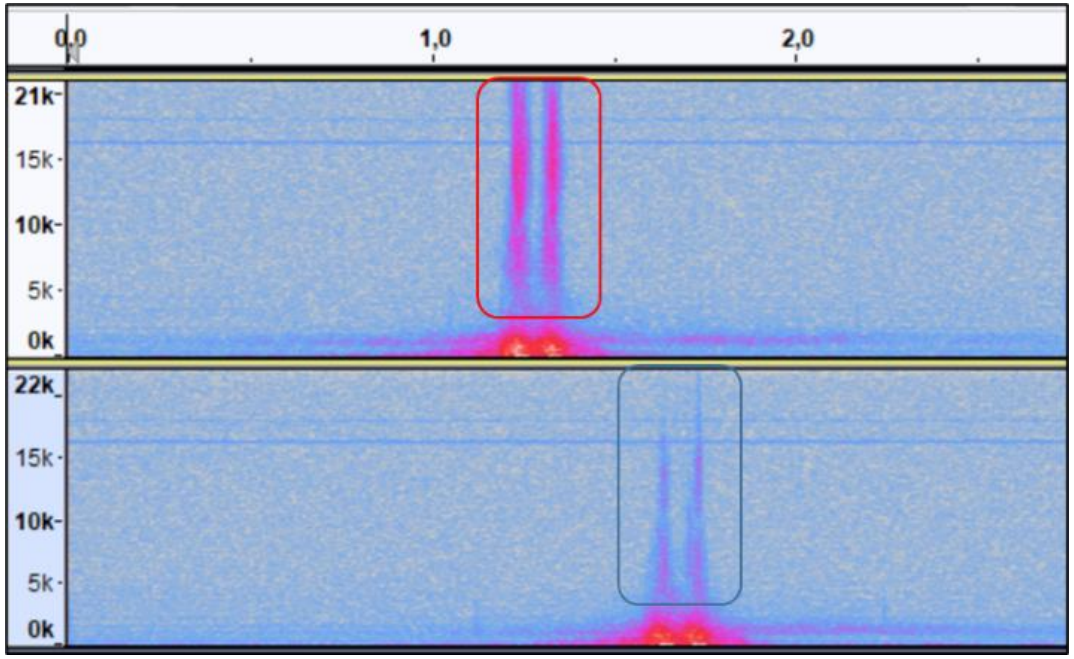
- Tutkimus on jatkoa Infra Challenge 2018 esiselvitykselle sekä julkaisussa Nastarengasluokitin (Väyläviraston julkaisuja 19/2020) raportoidulle edeltävälle tutkimusvaiheelle.
- Tutkimuksessa kehitettiin tiekohteilla itsenäisesti toimiva nastarengasluokittimien verkko. Luokittimien toiminta perustuu ajoneuvoista mitattujen äänisignaalien tulkintaan.
- Luokittimien avulla saadaan paikkakohtainen tieto liikennevirtaan sisältyvien henkilöautojen nastarengasosuudesta eri ajankohtina.
- Tämän tutkimuksen tuloksena saadaan reaaliaikainen tieto henkilöautojen renkaanvaihtosesongin ajankohdasta neljästä mittauspisteestä.
- Tutkimuksen tilaajana oli Väylävirasto ja toteuttajana Tampereen yliopiston Tutkimuskeskus Terra.

Edeltävät tutkimusvaiheet

Väylävirasto
Trafikledsverket

2018: Infra Challenge

- Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, voidaanko liikkuvasta ajoneuvosta tunnistaa nastarenkaat ja nastattomat renkaat
- Tutkimuksessa mitattiin liikkuvan henkilöauton aiheuttamaa ääntä tiehen asennettujen kontaktinmikrofonien avulla.
- Nastarenkaiden ja nastattomien renkaiden mitatuista äänisignaaleista löydettiin eroavaisuuksia. Nastarenkaiden äänispektrissä havaittiin voimakkaita äänenpainetasoja korkeilla taajuusalueilla verrattuna nastattomien renkaiden äänispektriin. Näin ollen todettiin, että ääneen perustuvalla menetelmällä voisi olla mahdollista tunnistaa nastarenkailla ja nastattomilla renkailla kulkevia ajoneuvoja liikennevirrasta.



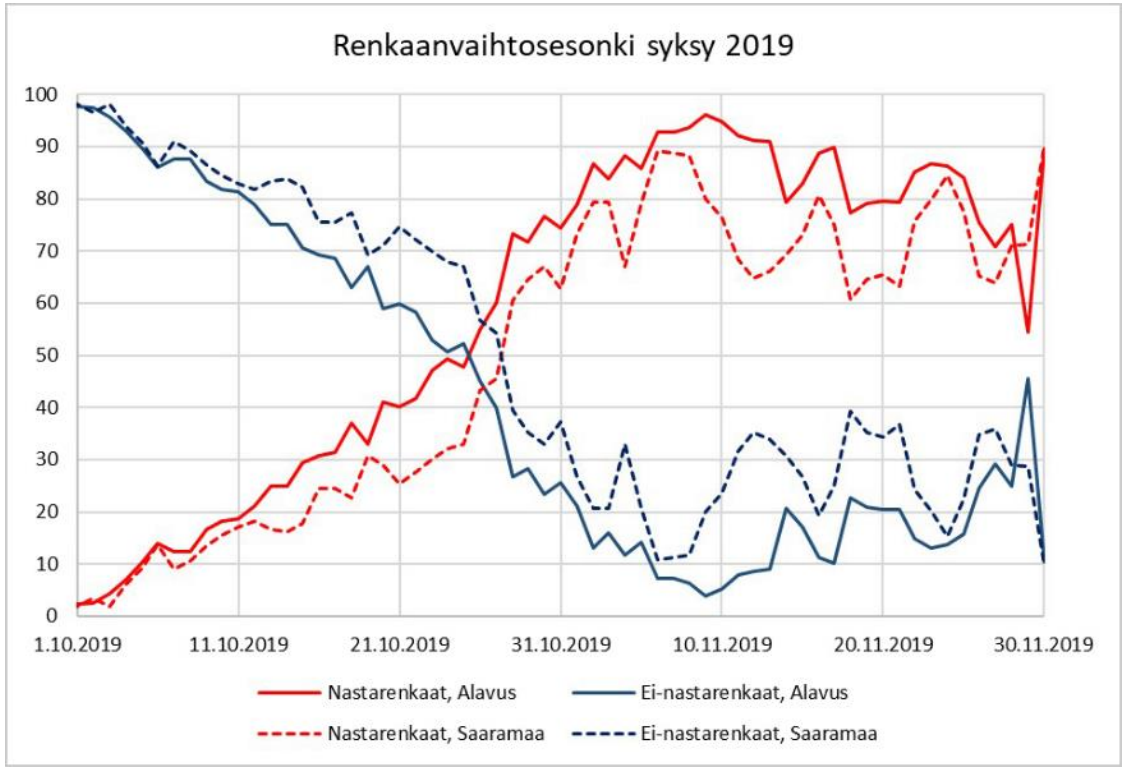
Kuva 1. Äänispektrit. Pystyakseli: äänen taajuus [Hz], vaaka-akseli aika [s]. Nastarenkailla (ylempi) äänispektrissä korkeat taajuudet ovat voimakkaammat kuin nastattomilla renkailla (alempi).

Edeltävät tutkimusvaiheet

Väylävirasto
Trafikledsverket

2019-2020: Nastarengasluokitin (Väyläviraston julkaisu 19/2020)

- Tutkimuksessa kehitettiin nastarengasluokitin, jonka avulla pystyttiin mittaamaan sekä tunnistamaan suoraan liikennevirrasta henkilöautojen nastarenkaita sekä nastattomia renkaita.
- Tutkimuksen aikana asennettiin tiedonkeruulaitteistot kahdelle tiekohteelle Suomessa.
- Laitteistojen tuottaman datan avulla pystyttiin arvioimaan renkaanvaihtosesongin kehittymistä nastarenkaiden sekä nastattomien renkaiden osuuksia vertailemalla.



Kuva 2. Renkaanvaihtosesongin kulku tutkimuksen tiekohteilla.

Nastarenkaiden automaattinen tunnistaminen

Tutkimuksen tavoitteet

Väylävirasto
Trafikledsverket

- Tutkimuksen päätavoitteena oli tuottaa reaaliaikainen tieto renkaidenvaihtosesongin kulusta eri puolella Suomea hyödyntäen edeltäneessä tutkimusvaiheessa kehitettyä nastarengasluokitinta.
- Edeltäneessä tutkimusvaiheessa asennetuista mittausasemista haluttiin tehdä itsenäisesti toimivia siten, että päiväkohtainen tieto renkaanvaihtosesongin kulusta päivittyy verkkosivulle automaattisesti.
- Maantieteellisesti kattavamman mittausverkoston saavuttamiseksi tutkimuksen aikana päätettiin asentaa uusia mittausasemia.
- Lisäksi tutkimuksella haluttiin parantaa nastarengasluokittimen luotettavuutta.

Tutkimustulosten hyödyntäminen

Väylävirasto
Trafikledsverket

- Tutkimustulosten pääasiallinen hyödyntäminen liittyy tien pinnan urautumiseen vaikuttavien tekijöiden arviointiin
  - Mittausasemilta saadaan tietoa nastarenkain varustettujen henkilöautojen määristä, jolloin tien uraseurantamittauksia hyödyntäen voidaan paremmin arvioida, aiheutuuko urautuminen nastarenkaiden aiheuttamasta kulumisesta vai raskaiden ajoneuvojen aiheuttamasta rakenteen deformaatiosta.
- Tutkimustuloksia voidaan hyödyntää myös henkilöautojen talvirengastyyppien (nastarenkaat ja kitkarenkaat) pitkäaikaisseurantaan.
  - Mittausasemilta kerätyn tiedon avulla voidaan määrittää kyseisten rengastyyppien osuuksia eri puolella Suomea ja seurata trendejä - kuten kitkarenkaiden käytön yleistyvyyttä.

Mittauslaitteisto ja tiedon kerääminen

Väylävirasto
Trafikledsverket

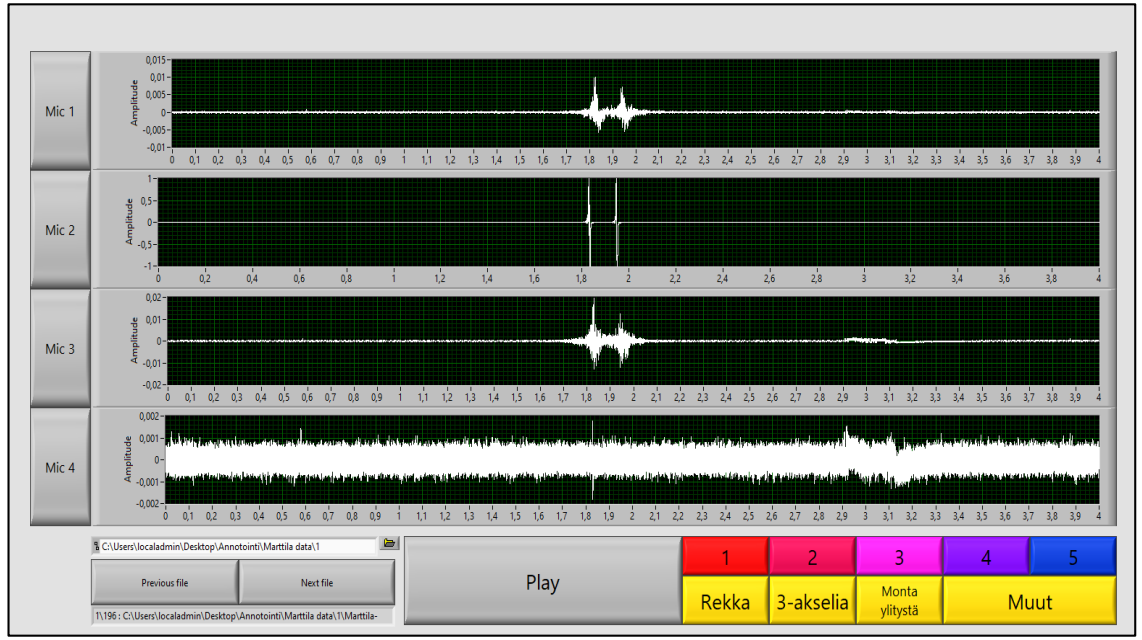
- Laitteisto koostuu tien päällysteen sisään asennettavista kontaktimikrofoneista sekä tierakenteen ulkopuolelle asennettavista tiedonkeruulaitteista.
- Laitteiston asennus ei aiheuta tierakenteeseen juurikaan näkyviä (eikä toiminnallisia) muutoksia.
- Ajoneuvon ohittaessa mittauskohteen, mikrofonit tallentavat äänisignaalin, jolloin ohjelmisto muodostaa noin sekunnin mittaisen äänitiedoston ajoneuvon ylityshetkeltä.
- Lisätietoa laitteistosta sekä mittausperiaatteesta löytyy julkaisusta Nastarengasluokitin 19/2020 luku 3.

Kuva 3. Asennettu mittauslaitteisto Saaramaan mittauspisteellä. Kuvan oikeassa alakulmassa tien päällysteen sisään asennetut kontaktimikrofonit ja ylhäällä tiedonkeruulaitteisto.

Ajoneuvojen luokittelu

Väylävirasto
Trafikledsverket

- Mittauspisteiltä tallennetuista äänitiedostosta tunnistetaan signaalin muodon/olemuksen perusteella kaksiakseliset ajoneuvot, jotka luokitellaan henkilöautoiksi. Henkilöautoista tehdään äänisignaalin spektrin tarkastelu (ks. kuva 1), jonka perusteella henkilöautot tunnistetaan joko nastarenkailla tai nastattomilla renkailla varustetuiksi.
- Ajoneuvojen rengastukset tunnistetaan oppivan algoritmin avulla. Algoritmi on opetettu datalla, joka perustuu ihmisen kuuloaistimuksen avulla tehtyyn tulkintaan mitatuista rengasäänistä.
- Lisätietoa luokittelusta löytyy julkaisusta Nastarengasluokitin 19/2020 luku 4.



Kuva 4. Luokittelussa käytetyn algoritmin opetusdatan tekemistä varten kehitetty ohjelmisto, jolla voidaan luokitella äänisignaalit ihmisen kuuloaistimuksen avulla.

Tunnistustarkkuuteen vaikuttavia tekijöitä

Väylävirasto
Trafikledsverket

- **Ulkoiset häiriölähteet**

  Mittauksessa käytettävien mikrofonien kaapelit toimivat antennin tavoin ja voivat reagoida ympäristössä oleviin häiriölähteisiin (esimerkiksi maakaapelit, modeemit, telemastot, radiolähettimet) heikentäen mittaussignaalin laatua huomattavasti. Ulkoinen häiriölähde, tässä tapauksessa lähietäisyydellä oleva sähkömuuntaja, aiheutti merkittäviä haasteita Saaramaan mittausasemalla.

- **Suuri ajoneuvon nopeus**

  Tutkimuksessa havaittiin, että ajoneuvon suuri nopeus (yli 90 km/h) hankaloittaa tunnistusta. Erityisesti ilmiö tuli esiin Marttilan mittausaseman datojen tulkinnassa.

- **Lumi ja jääpeite**

  Lumi ja jää tien pinnassa vaimentavat äänisignaaliin ”nastaääniä”, jolloin tunnistuksen tarkkuus saattaa heiketä.

- **Ajoneuvon renkaiden kunto**

  Mikäli nastarenkaissa on hyvin vähän nastoja jäljellä, nastojen aiheuttama ääni jää vaimeammaksi ja vaikeuttaa tunnistusta. Myös renkaiden väliin jääneet kivet saattavat aiheuttaa nastamaisen äänispektrin, jolloin nastattomatkin renkaat saatetaan tulkita nastallisiksi.

- **Mikrofonien kontakti ja sijoittelu asennuksessa**

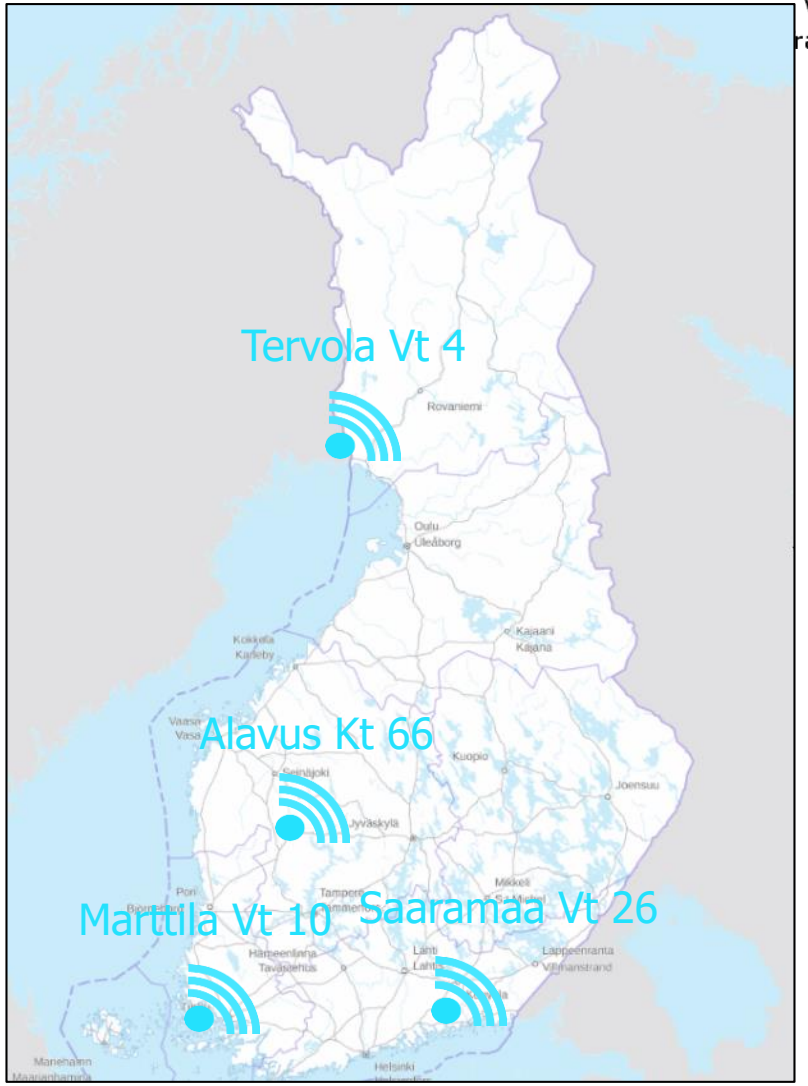
  Mikrofonin ja päällysteen mahdollinen huono kontakti vaimentaa taltioitavaa signaalia ja heikentää tunnistamisen tarkkuutta. Samoin käy, mikäli mikrofonin ohittavan ajoneuvon etäisyys mikrofonista kasvaa liian suureksi.

Mittausasemien sijainti

- Mittausasemien sijainti valittiin siten, että voitaisiin saada maanlaajuista tietoa renkaanvaihtosesongin kulusta.
- Mittausasemat on sijoitettu liikenteen automaattisten seuranta-asemien (LAM-asemien) läheisyyteen.
- Alavuden ja Saaramaan mittausasemat on asennettu edellisessä tutkimusprojektissa vuonna 2019. Saaramaan asema uusittiin vuonna 2020 LAM-aseman muutostöiden vuoksi. Marttilan ja Tervolan mittausasemat asennettiin syksyllä 2020.
- Mittausasemilta kerätään päivittäin tieto verkko-palvelimelle mitatuista äänisignaaleista, tulkittujen ajoneuvojen määristä sekä rengastuksista.

Asemat	Tieosoite	LAM-asema	Asennus-ajankohta
Alavus	66-25-2656	LAM 1060	04/2019
Saaramaa	26-8-4853	LAM 503	09/2020
Tervola	4-435-716	LAM 1041	09/2020
Marttila	10-7-4084	LAM 209	10/2020

Taulukko 1. Mittausasemien tiedot.

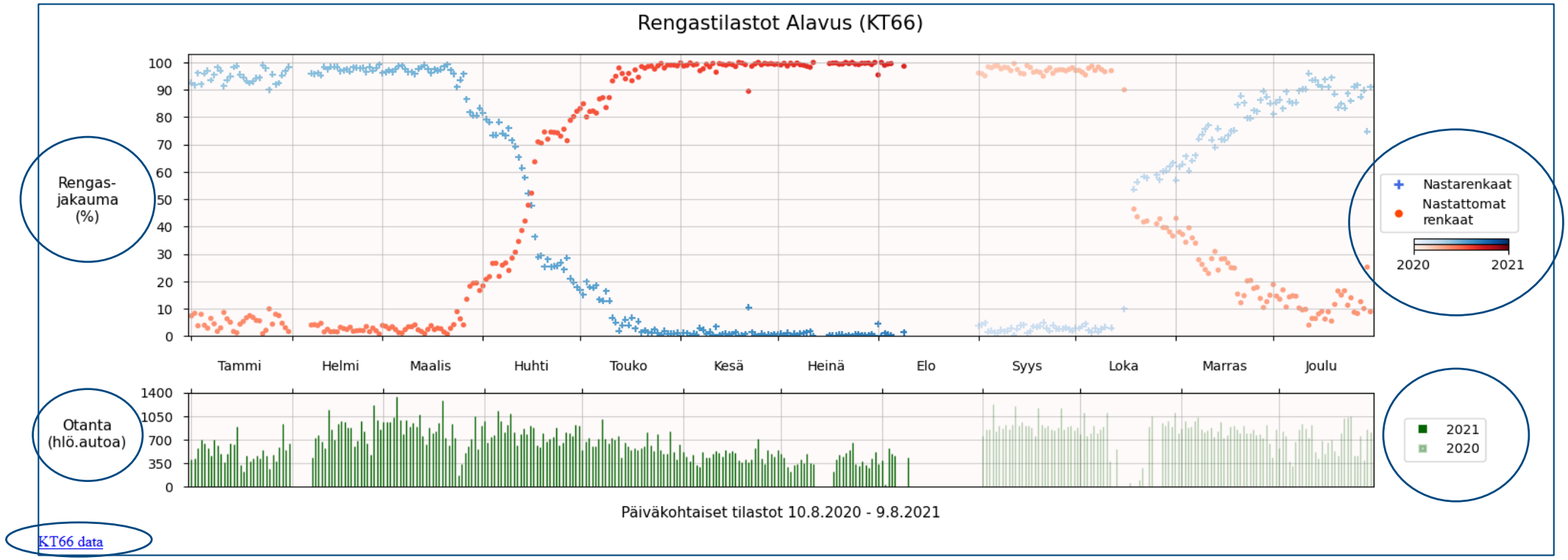


Kuva 5. Mittausasemien sijainti kartalla.
Pohjakartta ladattu: https://asiointi.maanmittauslaitos.fi/karttapaikka/

Mittausasemilta tuotettu data

Väylävirasto
Trafikledsverket

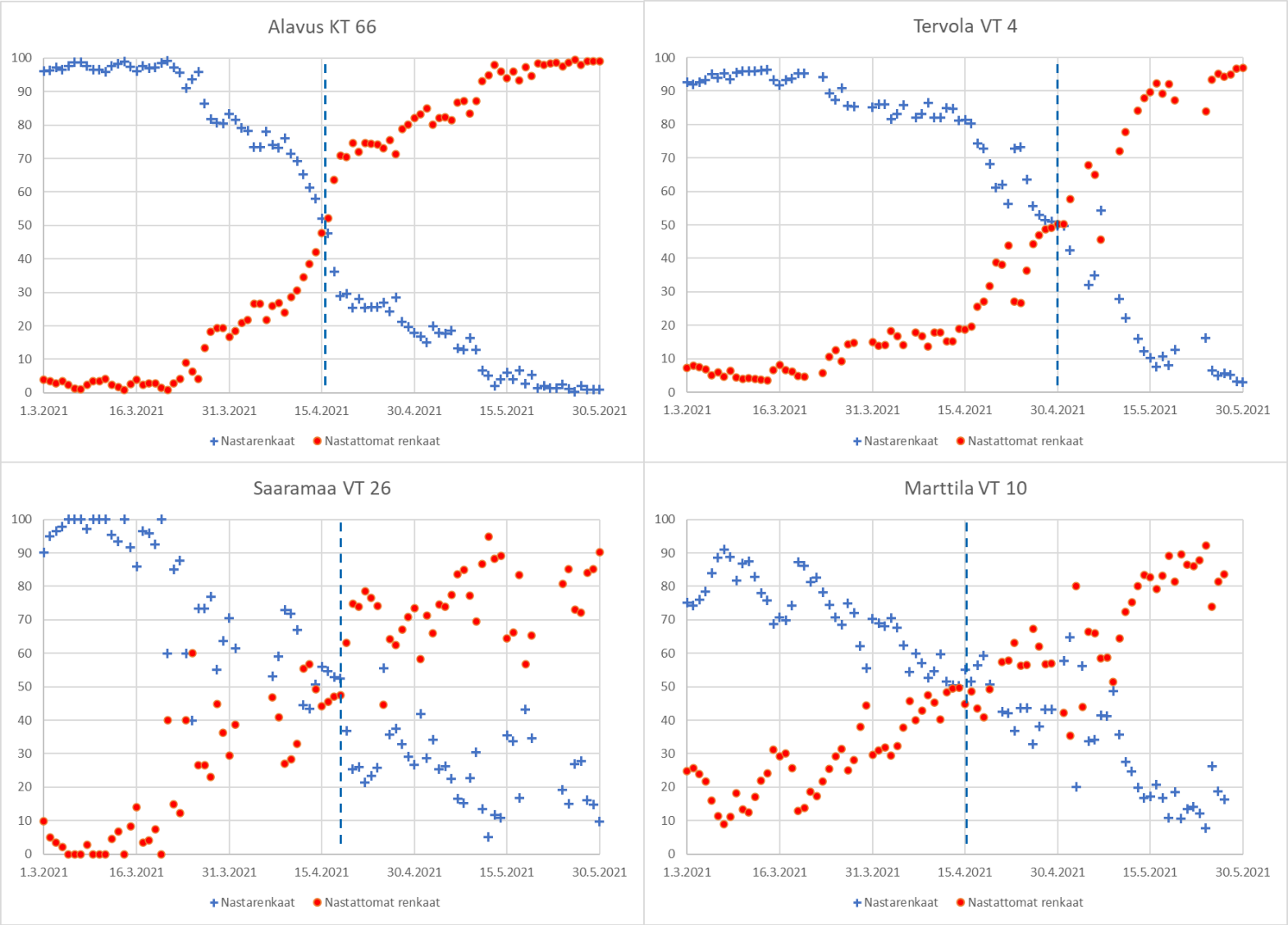
- Mittausasemilta saadut päiväkohtaiset tiedot on esitetty verkko-osoitteessa: https://rak-luokitin.rd.tuni.fi/luokitin/kaikki
- Mittausasemalta saadut päiväkohtaiset tiedot on koostettu kahteen kuvaajaan: rengasjakauma ja otanta.
- Rengasjakauman kuvaajassa nastarenkaiden osuudet on esitetty sinisinä rasteina ja nastattomien renkaiden osuus punaisina pisteinä.
- Otannan kuvaajassa on esitetty luokiteltujen ajoneuvojen päiväkohtaiset lukumäärät.
- Kuvaajissa on käytetty haalistuvaa väriä havainnollistamaan nykyhetkeä ja menneisyyttä.
- Päiväkohtaiset tiedot on myös ladattavissa taulukkomuodossa kuvaajan vasemmasta alareunasta.



Kuva 6. Mittausasemilta tuotettua dataa. Linkki sivustoon: https://rak-luokitin.rd.tuni.fi/luokitin/alavus

Renkaanvaihtosesonki kevät 2021

Väylävirasto
Trafikledsverket



Kuva 7. Renkaanvaihtosesongin kulku mittausasemilla keväällä 2021. Kuvaajiin on erotettu katkoviivalle tilanne, jolloin nastarenkaiden ja nastattomien renkaiden osuus on 50/50. Mittausten perusteella tilanne saavutetaan ensimmäisenä Alavudella ja Marttilassa huhtikuun puolessa välissä ja viimeisenä Tervolassa huhtikuun lopulla. Saaramaan ja Marttilan tuloksissa on hajontaa, joka johtuu Saaramaan tapauksessa ulkoisista häiriölähteistä ja Marttilan tapauksessa suurista ajoneuvojen nopeuksista.

Tutkimuksen tulokset

Väylävirasto
Trafikledsverket

- Kuten edeltävissäkin tutkimusvaiheissa havaittiin, liikennevirrasta mitattujen ajoneuvojen nastarenkaiden ja nastattomien renkaiden äänispektreissä on eroavaisuuksia, joita voidaan hyödyntää ajoneuvojen luokitteluun rengastuksen perusteella. Luokittelu onnistuu sekä ihmisen kuuloaistimuksen avulla että tunnistimessa käytetyn oppivan algoritmin keinoin.
- Tutkimusten aikana onnistuttiin kehittämään menetelmä, jolla saadaan maanlaajuisesti tietoa henkilöautoliikenteen nastarenkaiden määrästä ja renkaanvaihtosesongin ajoittumisesta.
- Osalla laitteista niiden pitkäaikaiskestävyydestä on saatu kokemusta kahden talven yli, eikä laitteiden toiminnassa ole havaittu selvää muutosta.
- Signaalin laatuun ja edelleen tunnistuksen luotettavuuteen voidaan vaikuttaa huomattavasti kohteen valinnalla sekä mikrofonien sijoittelulla. Kohteen valinnassa tulisi huomioida, ettei alueella ole sähkömagneettista häiriötä aiheuttavia laitteita, kuten muuntajia tai telemastoja/modeemeja. Lisäksi ajoneuvojen nopeudessa ei saisi olla suurta vaihtelua ja ajoneuvojen todellinen suurin nopeus ei saisi ylittää 90 km/h. Mikrofoneilla tulee olla hyvä tartunta päällysteeseen ja ne tulisi sijoittaa riittävän lähelle ajouraa, jotta mittauslaitteisto havaitsee kaikki kohteen ohi kulkevat ajoneuvot.

VÄYLÄ

Verkkojulkaisu pdf (www.vayla.fi)
ISSN 2490-0745
ISBN 978-952-317-914-1

Tutkimuskeskus TERRA Geo Road Rail