



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Ville Pajunen

Tietunneleiden tutkapohjainen häiriön- havaintojärjestelmä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (YAMK)

Talotekniikan tutkinto-ohjelma

Insinöörityö

21.4.2020

Tekijä Otsikko	Ville Pajunen Tietunneleiden tutkapohjainen häiriönhavaintojärjestelmä
Sivumäärä Aika	39 sivua + 1 liite 21.4.2020
Tutkinto	insinööri (YAMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikan tutkinto-ohjelma.
Ammatillinen pääaine	sähköinen talotekniikka
Ohjaajat	lehtori Jarmo Tapio asennuspäällikkö Matti Poutanen
<p>Tämän opinnäytetyön aiheena on tietunneleiden tutkapohjainen häiriönhavaintojärjestelmä. Opinnäytetyön tavoitteena oli verrata nykyisiin käytössä oleviin tietunneleiden häiriönhavaintojärjestelmiin viime vuosina markkinoille tullutta tutkapohjaista häiriönhavaintojärjestelmää.</p> <p>Työssä käytiin läpi häiriönhavaintojärjestelmille asetettavia vaatimuksia, toimintaperiaatteita sekä järjestelmien komponentteja ja suorituskykyä. Opinnäytetyö tehtiin kirjallisten materiaalien sekä järjestelmistä saatujen kokemusten perusteella. Työssä hyödynnettiin myös kokemuksia Caverion Suomi Oy:n käynnissä olevan projektin Lahden eteläisen kehätien Liipolan tunnelista, jonne ollaan toteuttamassa kyseistä järjestelmää.</p> <p>Lopuksi käytiin tutkapohjaisen häiriönhavaintojärjestelmän toteutusvaiheita läpi, jonka jälkeen eri järjestelmiä vielä vertailtiin keskenään. Vertaaminen tapahtui käytännön aikataulusuista kuitenkin lähinnä teoriatasolla.</p> <p>Ennen tätä opinnäytetyötä aiheesta löytyi vain vähän vastaavia julkaisuja. Opinnäytetyö tuo esille eri häiriönhavaintojärjestelmillä saavutettavia tunnistettavia häiriöitä sekä niiden vahvuuksia ja heikkouksia selkeästi. Työssä käydään läpi myös tarkemmin tutkapohjaisen järjestelmän rakentamista ja toimintaperiaatetta. Työn avulla voidaan perehdyttää eri osapuolia Liipolan tunnelin häiriönhavaintojärjestelmän rakentamiseen liittyvistä vaiheista ja taustatiedosta.</p>	
Avainsanat	häiriönhavaintojärjestelmä, tietunneleiden turvallisuusjärjestelmät, älykäs liikenne, tietunnelit

Author Title	Ville Pajunen Radar based automatic incident detection system for road tunnels
Number of Pages Date	39 pages + 1 appendix 21 April 2020
Degree	Master of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Professional Major	Electrical Building Services
Instructors	Jarmo Tapio, Senior Lecturer Matti Poutanen, Installation Manager
<p>The purpose of this final year project was to compare some commonly used-automatic incident detection systems for road tunnels to a relatively new radar-based automatic incident detection system. The thesis focused on the requirements, operational principles, system components and performance of automatic detection systems.</p> <p>The thesis was based on literary materials and experience of the various automatic incident detection systems. The thesis also highlighted the biggest problems of automatic indication systems in Finland. Comparing the systems was mostly done on a theoretic level because of practical scheduling reasons.</p> <p>This thesis discussed incidents recognized by different automatic incident detection systems. The thesis also listed the strengths and weaknesses of the various automatic incident detection systems. The project established the potential of a radar-based automatic incident detection system. Before this thesis, there was only very little studeis available on the topic.</p> <p>This final year project helps the commissioning company's staff to get familiar with various automatic detection systems and understand how they work. Based on the final year project, the company can build a radar-based automatic indication system to its customers and study how it performs with other technologies.</p>	
Keywords	automatic incident detection system, road tunnel safety systems, intelligent traffic, road tunnels

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Tunnelityypit Suomessa	3
2.1	Moottoritietunneli	3
2.2	Kaupunkiseudun tunneli	3
3	Häiriönhavaintojärjestelmää koskevat vaatimukset	4
4	Häiriönhavaintojärjestelmän suunnittelu	6
5	Tunneleiden häiriönhavaintojärjestelmien eri tekniikat	8
5.1	Kamerapohjainen HHJ	8
5.2	Silmukkapohjainen HHJ	10
6	Tutkapohjainen häiriönhavaintojärjestelmä	13
6.1	Järjestelmän toimintaperiaate	13
6.2	Laitteisto	14
6.3	Infrastruktuuri	16
6.4	Ohjelmisto	17
6.5	Seuranta	19
6.6	Häiriönhavaintojärjestelmän säännöt	20
6.7	Hälytykset	20
7	Tutkapohjaisen häiriönhavaintojärjestelmän projektin vaiheet	21
7.1	Hankinta- ja sopimuksen teko	22
7.2	Alustava suunnittelu	23
7.3	Työmaakatselmus ja tutkien lopullisten sijaintien varmistaminen	23
7.4	Laitteiston asettelut, tehtaalla tehtävät konfiguroinnit ja tehdastestaus	24
7.5	Järjestelmän asennus	25
7.6	Laitteiston käyttöönotto	25
7.7	Ohjelmiston käyttöönotto	26
7.8	Järjestelmän hienosäätö	27

7.9	Järjestelmän hyväksyntätätestaus	28
7.10	Järjestelmän vastaanotto	28
8	HHJ- järjestelmän rakentaminen	29
8.1	Liipolan tunneli	29
8.2	Tunnistettavat häiriöt ja toiminnalliset vaatimukset	29
8.3	Järjestelmän toiminnallisuuden varmistus	30
8.4	Tutkien sijaintien määrittäminen	31
8.5	Asennustyöt	32
9	Häiriöhavaintojärjestelmien tekniikoiden vertailu	33
9.1	Eri häiriöhavaintojärjestelmien tunnistettavat häiriötyypit	34
9.2	Järjestelmien vahvuudet ja heikkoudet	35
10	Yhteenveto	36
	Lähteet	39
	Liitteet	
	Liite 1. Häiriöhavaintojärjestelmän esimerkkiaikataulu	

Lyhenteet

HHJ Häiriönhavaintojärjestelmä.

LML Liikenteenmittauslaite.

SCADA Supervisory control and data acquisition. Tietokoneohjelmistotyyppi, jota käytetään tietunneleiden valvomo-ohjelmistona.

SAT Site acceptance test. Järjestelmän hyväksyntätestaus maastossa.

1 Johdanto

Tietunneleita operoidaan Suomessa Tieliikennekeskuksista jotka toimivat neljässä toimipisteessä: Helsingissä, Tampereella, Turussa ja Oulussa. Tieliikennekeskukset huolehtivat alueellisesti liikenteen sujuvuudesta ja operatiivisesta liikenteenohjaamisesta. [3.]

Tieliikennekeskuksen vastuulle kuuluvat liikenteen ja kelin seuranta, ajantasaisen tilannekuvan ylläpito, liikenteen ohjaaminen, häiriönhallinta yhteistyössä muiden viranomaisten kanssa ja tienpidon tukeminen. Toiminnassa korostuvat häiriötilanteiden ennaltaehkäisy, häiriötilanteiden vaikutusten minimointi, ennakoiva liikenteenohjaus sekä turvallisuuskohdat. [3.]

Uusia tietunneleita on rakennettu Suomessa yhä enemmän ja uusia tietunneleita rakennetaan todennäköisesti myös lähitulevaisuudessa. Tietunneleissa tapahtuvien onnettomuuksien seuraukset ovat todennäköisesti vakavampia kuin normaalilla tieosuudella tapahtuvat onnettomuudet. Pelastustyö on tunneleissa myös huomattavasti haastavampaa.

Onnettomuuksien ehkäisemiseksi on erityisen tärkeää, että kaikki häiriöt tunneleissa havaitaan mahdollisimman nopeasti ja tehokkaasti. Häiriöiden ja onnettomuuksien seuraukset voidaan minimoida erilaisilla muuttuvan liikenteenhallintajärjestelmän ohjaustoimenpiteillä kuten tulevan liikenteen varoittamisella, nopeusrajoituksen laskemisella tai ajokaistojen sulkemisella.

Tunneleissa käytettävät häiriöhavaintojärjestelmät (HHJ) ovat automaattisia järjestelmiä, jotka tunnistavat erilaiset liikennehäiriöt ja tekevät niistä hälytyksen tai herätteen tunnelin valvontajärjestelmään. Tunnistettavia häiriötyyppejä ovat esimerkiksi hitaasti tai väärään suuntaan ajava ja pysähtynyt ajoneuvo. [2, s. 12.]

Tällä hetkellä Suomessa käytetään videokuvan tulkintaan perustuvia häiriöhavainnointijärjestelmiä ja induktiosilmukoihin perustuvia hitaiden ajoneuvojen tunnistavia järjestelmiä.

Videokuvan tulkintaan perustuva järjestelmän toimintaan vaikuttavat erityisesti hankalat valaistus- ja ympäristöolosuhteet. Hankalien olosuhteiden johdosta järjestelmään aiheutuu melko paljon aiheettomia hälytyksiä. Nämä aiheettomat hälytykset tuottavat liikennepäivystäjille ylimääräistä työtä sekä vähentävät niiden uskottavuutta.

Induktiosilmukkaan perustuvassa hitaan ajoneuvon tunnistusjärjestelmässä haasteena on havainnointinopeuden ja tarkkuuden riippuvuus liikennevirrasta.

Viime vuosina markkinoille on tullut myös tutkapohjaisia häiriönhavaintojärjestelmiä. Näitä ei ole vielä käytössä Suomessa, eikä näiden soveltuvuudesta Suomen olosuhteisiin tästä johtuen ole kovinkaan paljon käytännön kokemusta.

Tutkapohjaisella järjestelmällä saadaan kerättyä käytännössä samat tiedot kuin kamerapohjaisella järjestelmällä, eikä ympäristö- ja sääolosuhteet vaikuta järjestelmän toimintaan. Huonona puolena järjestelmässä on mahdolliset katvealueet, joita saattaa syntyä esimerkiksi ison rekka-auton taakse. Mahdolliset katvealueet saadaan kuitenkin minimoitua hyvällä suunnittelulla.

Opinnäytetyön tarkoituksena on verrata tutkapohjaista häiriönhavaintojärjestelmää muihin Suomessa käytössä oleviin häiriönhavaintojärjestelmiin. Tietoa tutkapohjaisesta häiriönhavaintojärjestelmästä on melko vähän saatavilla, joten tietoa hankitaan pääasiassa yhden käynnissä olevan projektin kautta, väyläviraston julkaisujen ja laitevalmistajilta hankittujen materiaalien perusteella. Tutkimustyö on siis tarkoitus suorittaa empiirisenä tutkimuksena keräämällä olemassa olevaa aineistoa sekä esittelemällä tietoa myös itse käynnissä olevan projektin kautta.

Liikennevirasto, nykyinen Väylävirasto on aiemmin laatinut selvityksiä erilaisista häiriönhavaintojärjestelmistä sekä tutkatekniikan soveltuvuudesta suomen olosuhteisiin. Tietolähteenä eri tekniikoista ja niiden kokemuksista käytetäänkin pääasiassa nykyisen Väyläviraston julkaisuja sekä laitetoimittajilta saatua materiaalia. Tutkapohjaiseen häiriönhavaintojärjestelmään hankitaan lisäksi tietoa käynnissä olevan Liipolan tunnelin projektin kautta, jossa ollaan toteuttamassa kyseistä järjestelmää.

2 Tunnelityypit Suomessa

2.1 Moottoritietunneli

Suomalaisen moottoritietunnelin keskeisiä ominaisuuksia ovat seuraavat [2, s. 15]:

- Tunneli on kaksiputkinen.
- Tunnelissa on kaksi kaistaa tunneliputkessa, piennar on leveä.
- Nopeusrajoitus tunnelin kohdalla on enintään 100 km/h, poikkeuksena eräät lyhyet tunnelit.
- Liikenne ruuhkaantuu harvoin ilman häiriötä.

Moottoritiellä esiintyy isoja nopeuseroja hitaasti ajavien tai pysähtyneiden ajoneuvojen välillä verrattuna normaaliin liikenteeseen moottoritien korkeampien ajonopeuksien johdosta. Korkeat nopeuserot aiheuttavat vaaratilanteita. Tästä johtuen liikennehäiriöt on havaittava nopeasti. Erilaiset ajoradalla olevat esteet kuten pudonneet esineet aiheuttavat myös riskin onnettomuudelle. [2, s. 15]

Moottoritietunnelissa ajoneuvot jotka pysähtyvät esimerkiksi teknisestä viasta johtuvasta syystä pystyvät yleensä pysähtymään leveälle pientareelle eli siis ainakin pääosin ajokaistan ulkopuolelle. Leveä piennar nostaa tunnelin turvallisuustasoa, sillä tällöin takana tulevalta liikenteeltä ei välttämättä edellytetä pysähtymistä tai äkkinäisiä kais-tanvaihtoja. [2, s. 15]

Väyläviraston mukaan Suomessa on moottoritietunneleita E18- moottoritiellä, VT3:lla Hämeenlinnassa ja VT9:llä Tampereella. [2, s. 15] Rakenteilla on lisäksi Lahden eteläisen kehätien Liipolan ja Patomäen tunnelit.

2.2 Kaupunkiseudun tunneli

Kaupunkiseudun tunnelin tunnusomaisia piirteitä ovat seuraavat [2, s. 15]:

- Tunneli on kaksiputkinen.
- Tunnelissa on 2-4 kaistaa tunneliputkessa.

- Yleensä piennar on niin kapea, että pientareelle pysähtynyt ajoneuvo on osittain ajokaistalla.
- Nopeusrajoitus tyypillisesti 60–80 km/h.
- Liikennemäärät suuria, KVL yleensä yli 20 000.
- Liitynnät ovat yleensä eritasoliittymiä suuren liikennemäärän takia.
- Liitynnät ovat usein lähellä tunnelin sisään tai ulosajoa.
- Liikenne tunnelissa ruuhkaantuu ajoittain suuren liikennemäärän takia, joko tunnelin tai tunnelin jälkeisen tieosuuden välityskyvyn ylittyessä.

Kaupunkiseudun tunneleissa ruuhkautuminen on melko tavallista. Väyläviraston mukaan myös muu normaalista poikkeava ajokäyttäytyminen kuten peruuttaminen, U-käännökset, tarpeeton pysähtyminen on yleisempää kuin moottoritietunneleissa. Pie-nempikokoiset tunnelin kaistalle pudonneet esineet eivät aiheuta yhtä suurta vaaraa kaupunkiseudun tunneleissa kuin moottoritietunneleissa pienempien ajonopeuksien johdosta. [2, s. 15]

Väyläviraston mukaan Suomessa on kaupunkiseudun tunneleita esimerkiksi Mestarin-tunneli (Kehä I), Hiidenkallion tunneli (Kehä II), Vuosaaren tunneli ja Tampereen ranta-väylän tunneli. [2, s. 15]

3 Häiriönhavaintojärjestelmää koskevat vaatimukset

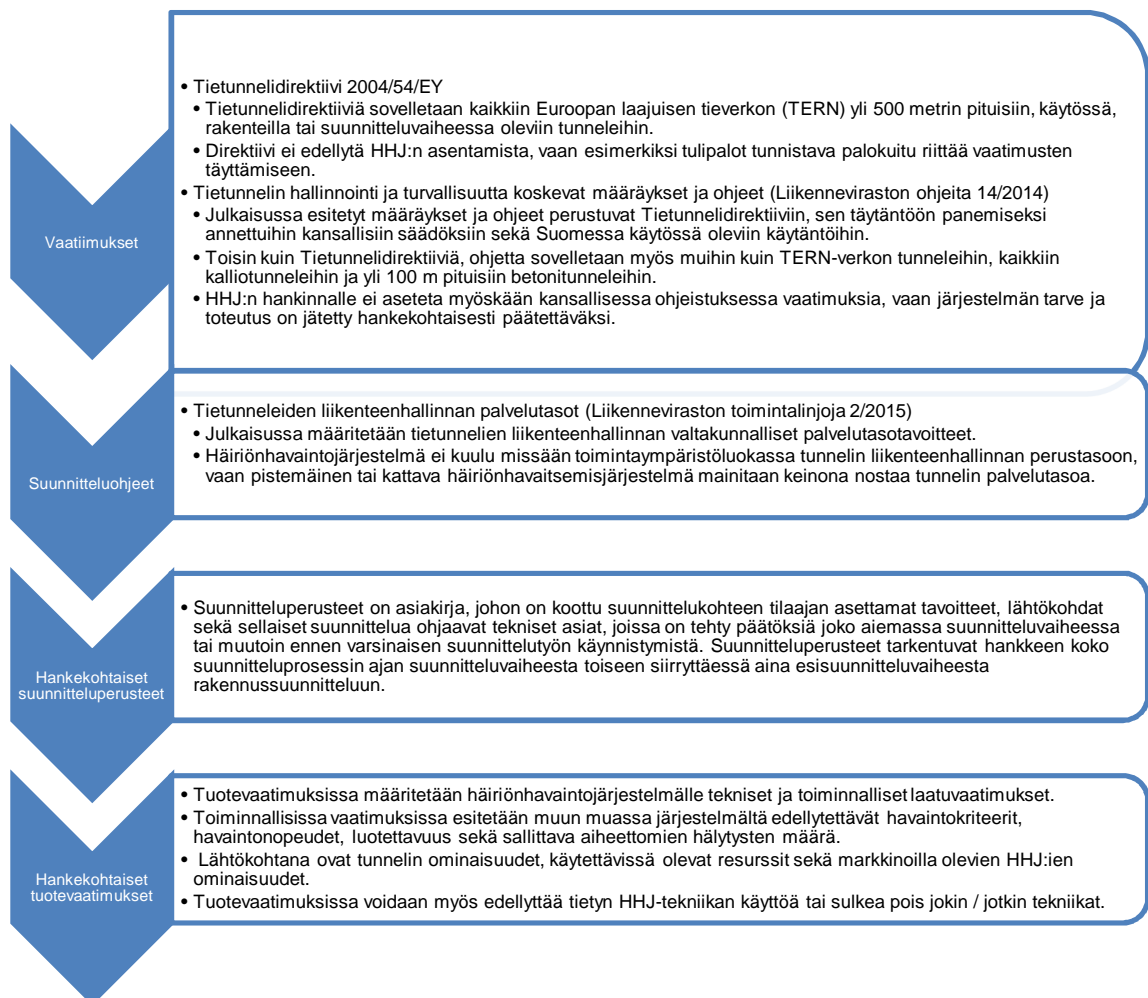
Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2004/54/EY (jäljempänä ”Tietunnelidirek-tiivi”) määrittää häiriönhavaintojärjestelmien hankintaa ja toimintaa koskevat vaatimuk-set. Tietunnelidirektiiviä on täydennetty kansainvälisillä ohjeistuksilla. Direktiivi ja kan-salliset ohjeistukset määrittävät vähimmäisvaatimukset, jotka tunnelin tulee vähintään täyttää.

Tietunnelidirektiivi ja kansainväliset ohjeistukset määrittelevät siis vähimmäisvaatimuk-set, jotka tunnelin tulee vähintään täyttää. Jokaisessa tunnelihankkeessa päätetään kuitenkin tapauskohtaisesti häiriönhavaintojärjestelmälle asetettavat lisävaatimukset, jotka sen pitää täyttää.

HHJ:n hankintaan ja suunnitteluprosessiin on määritetty vaatimuksia ja ohjeita seuraavissa asiakirjoissa [2, s. 17]:

- Tunnelidirektiivi 2004/54/EY
- Tietunnelin hallinnointi ja turvallisuutta koskevat määräykset ja ohjeet, Liikenneviraston ohjeita 14/2014
- Tietunnelien liikenteen hallinnan palvelutasot, liikenneviraston toimintalinjoja 2/2015
- Liikenteen hallinta osana tienpitoa – Suunnitteluohje koekäyttöön
- Tien rakennussuunnitelma – sisältö ja esitystapa, liikenneviraston ohjeita 44/2013
- Tietunnelin suunnitteluohje

Yhteenveto edellä mainittujen asiakirjojen sisällöstä häiriönhavaintojärjestelmään liittyen on esitetty kuvassa 1. [2, s. 18–20]



Kuva 1. Häiriönhavaintojärjestelmää koskevat vaatimukset. [2, s. 18–20]

Asiakirjoista voidaan todeta, että mikään ei suoraan vaadi HHJ:n toteuttamista liikennetunneliin, riittävä palvelutaso voidaan saavuttaa jo paloilmaisinkuidulla. Lähtökohdaksi jää siis hankkeen päätettäväksi, halutaanko palvelutasoa nostaa HHJ:llä erilaisten riskien minimoimiseksi, jos esimerkiksi tunneli on pitkä, liikennemäärät ovat suuret tai häiriöitä on paljon.

4 Häiriöhavaintojärjestelmän suunnittelu

Häiriöhavaintojärjestelmän tarkoitus on havaita automaattisesti liikenteestä johtuvat häiriötilanteet, jotka vaarantavat tunnelin turvallisuutta. Häiriötilanteiden nopea havaitseminen on tärkeää, jotta voidaan käynnistää häiriötilanteita varten suunnitellut ohjaukset.

Häiriöhavaintojärjestelmän tärkein tehtävä onkin saada tieto liikennekeskuksen päivytyäjälle erityisesti isompaan onnettomuuteen johtavista häiriötilanteista.

Mahdollisia häiriötilanteita, jotka voivat aiheuttaa isomman onnettomuuden, ovat:

- tulipaloon johtavat ajoneuvoviat
- tulipaloon johtavat onnettomuudet
- onnettomuudet joihin liittyvät vaaralliset aineet.

Tällaisista onnettomuuksista tai niiden syntymisestä kertovat tunnelissa havaitut pysähtyneet ja poikkeuksellisen hitaat ajoneuvot.

Häiriöhavaintojärjestelmää hyödynnetään myös erilaisten onnettomuuksien ehkäisemiseen havaitsemalla edellä mainittujen lisäksi esimerkiksi väärään suuntaan ajavat ajoneuvot tai erilaiset tiellä olevat esteet.

Liikenneviraston julkaisun Tietunneleiden liikenteen hallinnan toimintaperiaatteen laadintaohjeen mukaan tärkein häiriöhavaintojärjestelmän perusteella tehtävä ohjaus on tunneliputkien hätäsulkeminen, joka estää liikenteen pääsyn vaarapaikalle ja vähentää mahdollisten suuronnettomuuden tai sekundäärionnettomuuksien riskiä.

Ohjeen mukaan HHJ:n suunnittelussa tulee pyrkiä ratkaisuun, jossa turvallisuuden kannalta keskeiset havainnot saadaan ohjausjärjestelmän käyttöön mahdollisimman luotettavasti. Järjestelmää voidaan hyödyntää myös muiden havaintojen tuottamiseen, mikäli se ei heikennä HHJ:n ensisijaista tehtävää.

Häiriöhavaintojärjestelmän vähimmäisvaatimukset on esitetty taulukossa 1. [1, s. 48]

Taulukko 1. Häiriöhavaintojärjestelmän vähimmäisvaatimukset ja kohdekohtaisesti suunniteltavat täydentävät vaatimukset. [1, s. 48]

	Vähimmäisvaatimus jokaisessa kohteessa, johon HHJ suunnitellaan	Täydentävät ominaisuudet (Valitaan kohdekohtaisesti)
Havaittavat häiriöt	<p>Matalan nopeustason tunnelit:</p> <p>Pysähtynyt ajoneuvo (L 1,5 m x K 1,2 x P 3,0 m) ajoradalla tai pientareella</p> <p>Väärään suuntaan ajava ajoneuvo ajoradalla tai pientareella</p> <p>Edellisten lisäksi korkean nopeustason (väh. 80 km/h) tunneleissa:</p> <p>suuri esine (L 1,0 m x K 1,0 x P 1,0 m) ajoradalla</p> <p><i>Vierekkäiset ja peräkkäiset havaintoalueet tulee limittää keskenään, jotta havaintoalueiden reuna-alueilla tapahtuvat häiriöt havaitaan.</i></p>	<p>Poikkeuksellisen hidas ajoneuvo ajoradalla tai pientareella (esim. pistemäisten havaintojen, kuten kuvatulkinnan "virtuaalisilmukoiden" avulla), pienemmät esteet tiellä ja jalankulkijat.</p> <p><i>Hitaan ajoneuvon havainnot tulee kytkeytyä pois päältä säännöllisissä ruuhkatilanteissa</i></p>
Häiriön sijaintitiedon tarkkuus (havaintoalueiden tiheys)	<p>Mahdollistaa automaattiset seurantakameräkäännot häiriökohteeseen.</p> <p><i>Havaintoalueet tulee yhteensovitaa paloalueisiin (HHJ:n havaintoalue saattaa kattaa useamman paloalueen)</i></p>	<p>Em. lisäksi häiriön sijaintitiedon tulee mahdollistaa automaattiset kaistaohjaukset.</p>
Havainnon nopeus	<p>Havainnon tulee olla ohjausautomaatiikan käytössä noin 10...20 sekunnin kuluessa tapahtumasta.</p>	<p>Mahdolliset kohdekohtaisesti tiukennetut vaatimukset</p>
Havaintojen luotettavuus	<p><i>(Määriteltävä kohdekohtaisesti hankintojen yhteydessä hyödyntäen ajantasaista tietoa järjestelmien teknisestä suorituskyvystä.)</i></p>	
Häiriöhavaintojärjestelmän kattavuus	<p>Järjestelmä kattaa koko tunneliputken.</p>	<p>Ajorata ja piennaralueet koko tunneliputken matkalta ja tunneliputkien ulosajoalueet noin 30 m matkalta.</p>

5 Tunneleiden häiriönhavaintojärjestelmien eri tekniikat

Häiriönhavaintojärjestelmän tarkoitus on, että se tekee havaitsemistaan häiriöistä hälytyksen tai herätteen liikennekeskuksen päivystäjälle. Tieto häiriöstä tuodaan liikennekeskuksen päivystäjälle yleensä tunnelia varten rakennetun valvomo käyttöliittymän välityksellä. Tätä varten häiriönhavaintojärjestelmä on myös integroitava osaksi tunnelin käyttöliittymää. Liikennekeskuksen päivystäjän on pystyttävä herätteen avulla todentamaan hälytys reaaliaikaisesta videokuvasta tai tallenteesta. Tämän jälkeen päivystäjä ryhtyy tarvittaviin toimenpiteisiin. [2, s 25.]

Liikenneviraston julkaisussa Maantietunneleiden häiriönhavaintojärjestelmien tekniikat on esitetty kuvan 2 mukaiset yleisesti käytetyt suorituskyvyn mittarit. [2, s. 25]

Havaintoluotettavuus	Havaintonopeus	Havaintotarkkuus	Aiheettomien hälytysten määrä
<ul style="list-style-type: none"> Järjestelmän havaitsemien todellisten häiriöiden osuus kaikista tietyllä aikajaksolla tapahtuneista todellisista häiriöistä. 	<ul style="list-style-type: none"> Häiriön tapahtumahetken ja HHJ:n tekemän hälytyksen välinen aika. 	<ul style="list-style-type: none"> Sijainnin määrittäminen: Häiriön todellisen ja havaitun tapahtumapaikan välinen etäisyys. Ajoneuvoluokka: Järjestelmän kyky erotella eri ajoneuvoluokat toisistaan. Ajoneuvomäärä: Järjestelmän kyky määrittää onnettomuustilanteessa mukana olevien ajoneuvojen määrä. 	<ul style="list-style-type: none"> Aiheettomien hälytysten määrä tietyssä ajanjaksossa tiettyä tiejaksoa tai havaintolaitetta kohden (esim. X hälytystä / tiekilometri tai laite / vrk)

Kuva 2. Häiriönhavaintojärjestelmän suorituskyvyn mittarit [2, s. 25]

5.1 Kamerapohjainen HHJ

Kamerapohjainen häiriönhavaintojärjestelmän toiminta perustuu yksinkertaistettuna tunnelin videokuvien vertaamiseen erilaisilla algoritmeilla. Järjestelmä koostuu HHJ-kameroista, kuvankäsittelylaitteistosta ja keskuspalvelimesta sekä hallintaohjelmistosta. [2, s 26.] Kuva 3 havainnollistaa HHJ- kameran ulkonäköä.



Kuva 3. Esimerkki yhden valmistajan häiriöhavaintojärjestelmän kamerasta. [8.]

Tyypillisiä häiriöntekijöitä, jotka vaikuttavat kamerapohjaisen HHJ:n toimintaan, ovat:

- kirkas valo, kuten autojen ajovaloista aiheutuvat heijastumiset tummia pintoja vasten
- märästä tien pinnasta tai kameran suojalasista heijastuvat ajoneuvojen valot
- erityisesti isompien ajoneuvojen aiheuttamat katveet
- auringonvalon aiheuttamat tunnelin valaistustasojen muutokset.

Tunnistettavat häiriöt ja suorituskyky

Kamerapohjainen HHJ kykenee tyypillisesti havaitsemaan seuraavat häiriötyypit [2, s. 28]:

- pysähtynyt ajoneuvo
- hidas ajoneuvo
- väärään suuntaan ajava ajoneuvo
- pudonnut esine tai este tiellä
- jalankulkija
- savu.

Järjestelmän vahvuudet ja heikkoudet

Järjestelmällä on vahvuutena, että se pystyy tunnistamaan monen tyyppisiä häiriöitä suoralla havainnolla ja lyhyillä havaintoajoilla. Lisäksi kameroiden ja kuvantulkinnan kehitys on nopeaa ja markkinoilla on paljon uutta tekniikkaa. Laitetoimittajia on useita, jolloin kilpailu takaa kehityksen ja alentaa hintoja. [2, s. 30]

Järjestelmän heikkoutena on, että ympäristön olosuhteet ja valaistus vaikuttavat sen toimintaan. Edellä mainitut aiheuttavat häiriöitä ja tuottavat paljon aiheettomia hälytyksiä. Ajoneuvojen taakse syntyvät katveet erityisesti harvaa laiteväliä käytettäessä haittaavat myös järjestelmän toimintaa. Kameramäärä on yleensä suuri ja ne vaativat usein toistuvaa puhdistusta, mikä nostaa ylläpitokustannuksia ja aiheuttaa haittaa liikenteelle. [2, s. 30]

5.2 Silmukkapohjainen HHJ

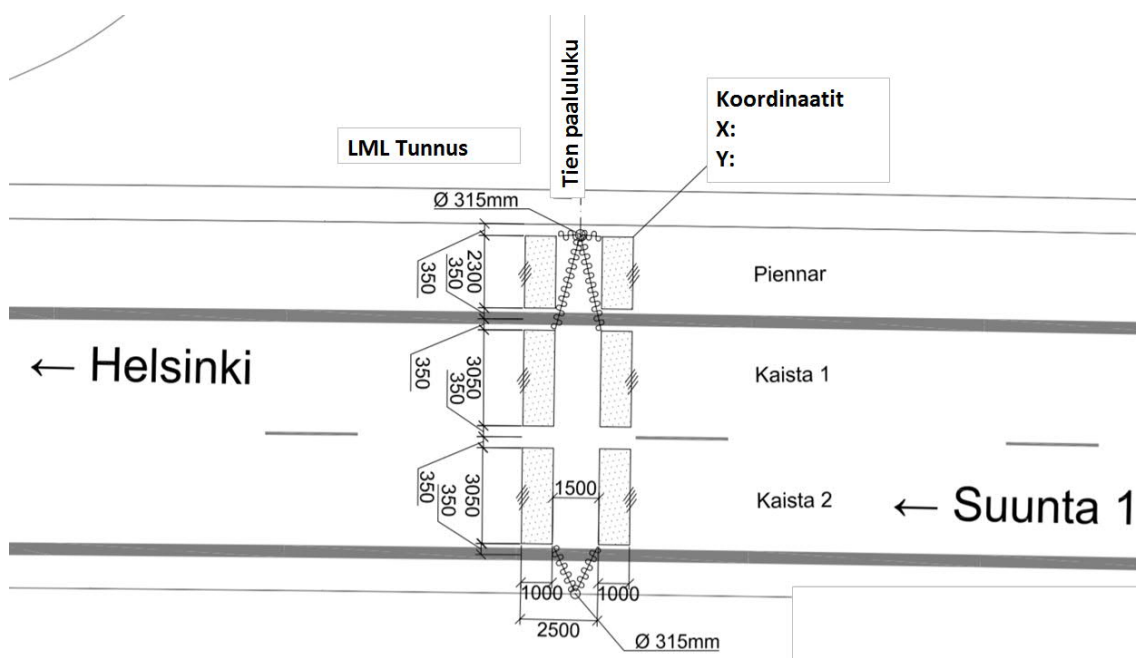
Induktiosilmukka on maailman vanhin ja ylivoimaisesti eniten käytetty tekniikka liikenteen seurantaan ja laskentaan [2, s. 34]. Haasteena induktiosilmukkaan perustuvassa häiriönhavaintojärjestelmässä on erityisesti hidas havaintonopeus ja tarkkuus, jotka ovat riippuvaisia liikennevirrasta.

Hitaiden ja väärään suuntaan ajavien ajoneuvojen tunnistus tapahtuu asfaltissa olevien induktiosilmukoiden avulla. Silmukoiden avulla voidaan tunnistaa hitaat ja väärään

suuntaan ajavat ajoneuvot. Silmukkapohjainen HHJ- järjestelmä koostuu induktiosilmukoista, keskuksiin sijoitettavista silmukoiden aktiivilaitteista ja hallintaohjelmistosta.

Induktiosilmukoilla toteutetun häiriönhavaintojärjestelmän toiminta perustuu asfalttiin asennettuihin ilmaisinkaapeleihin. Ajoneuvon metallimassa muuttaa induktiosilmukan induktanssia ajoneuvon ylittäessä silmukan. Yhden silmukan avulla on mahdollista saada laskettua kaistan varausaste ja liikennemäärä. Häiriönhavaintojärjestelmässä kuitenkin on oleellista saada tiedot ajoneuvojen nopeuksista, jotka saadaan laskettua, kun asennetaan kaksi silmukkaa peräkkäin. Kahden silmukan avulla on mahdollista laskea ajoneuvojen nopeus, suunta, pituus ja tyyppi sekä ajoneuvoväli. [2, s 35.]

Silmukkapohjainen häiriönhavaintojärjestelmä koostuu aina useasta hitaan ajoneuvon tunnistuspisteestä. Kyseinen tunnistuspiste mittaa ajoneuvojen nopeuksia liikenteen mittausrakenteilla (LML). Yksi LML- piste sisältää kaistakohtaiset silmukkaparit, jotka asennetaan samaan poikkileikkaukseen toisiinsa nähden. LML- pisteitä asennetaan useita koko tunnelin matkalle sekä suaukkojen välittömään läheisyyteen. Peräkkäisten LML- pisteiden tietojen perusteella voidaan havaita LML- pisteiden välissä olevat häiriöt. Periaate yksittäisestä LML- pisteestä on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4. Esimerkki yhden LML- pisteen asennussuunnitelmasta. [10.]

On epätodennäköistä, että esimerkiksi vikaantunut ajoneuvo pysähtyisi juuri LML- pisteen kohdalle, mutta havainto saadaan liikennevirrassa tapahtuvan nopeuden alenemisenä. Tämä siis edellyttää että tunnelissa on muutakin liikennettä, eli havaintonopeus on riippuvainen liikennevirrasta. Hitaat sekä väärään suuntaan ajavat ajoneuvot tunnistetaan käytännössä välittömästi niiden ylittäessä LML- pisteen. Tällöin havaintonopeus on riippuvainen LML- pisteiden asennusvälistä tunnelissa.

Väyläviraston mukaan nykyään on olemassa myös järjestelmätoimittajia, joiden valmistama järjestelmä tallentaa jokaisen LML- pisteen ylittävän ajoneuvon magneettisen profiilin. Järjestelmä olettaa kyseisen ajoneuvon ylittävän myös seuraavan LML- pisteen tunnelin nopeustasosta riippuvassa määrääjassa. Näin silmukavälille pysähtyneestä tai hitaasta ajoneuvosta saadaan hälytys, vaikka häiriö ei olisikaan havaittavissa liikennevirran perusteella. Tästä voi kuitenkin aiheutua virheellisiä hälytyksiä, jos ajoneuvot sattuvat vaihtamaan kaistaa juuri LML- pisteen kohdalla, jolloin tunnistusta ajoneuvosta ei saada. [2, s. 35]

Tunnistettavat häiriöt ja suorituskyky

Silmukkapohjainen HHJ kykenee tyyppillisesti havaitsemaan seuraavat häiriötyypit [2, s. 36]:

- hidas ajoneuvo (suora tai epäsuora havainto)
- väärään suuntaan ajava ajoneuvo (suora tai epäsuora havainto)
- pysähtynyt ajoneuvo (suora tai epäsuora havainto)
- pudonnut esine tai este tiellä (epäsuora havainto, jos häiriö erottuu liikennevirrassa)
- jalankulkija (jos häiriö erottuu liikennevirrassa).

Järjestelmän vahvuudet ja heikkoudet [2, s. 37]

Silmukoiden perustekniikka on paljon käytettyä ja varmatoimista. Lisäksi järjestelmä havaitsee nopeasti muutokset liikennevirrassa, eikä ympäristö-olosuhteet vaikuta sen toimintaan. Oikein asennettujen silmukoiden korjaus- ja uusimisväli on pitkä, eli ylläpi-

tokustannukset ovat pienet. Järjestelmällä on myös mahdollista saada tarkkoja liikenne- ja nopeustietoja.

Tekniikassa on havaittu myös heikkouksia. Havaintonopeuksissa on suuri hajonta, pahimmillaan hiljaisen liikenteen aikana häiriön tunnistaminen voi kestää 30 sekuntia. Järjestelmä ei myöskään kykene suoraan tunnistamaan pudonnutta esinettä tai jalankulkijaa. Tunnistus on kuitenkin välillisesti mahdollista liikennevirtojen poikkeamien perusteella. Järjestelmä ei kykene määrittämään hitaan tai pysähtyneen ajoneuvon tarkkaa sijaintia, vaan ainoastaan silmukavälin. Järjestelmä ei kykene suoraan tunnistamaan savua tai tulipaloa. Tunnistus on kuitenkin välillisesti mahdollista liikennevirtojen poikkeamien perusteella.

6 Tutkapohjainen häiriönhavaintojärjestelmä

6.1 Järjestelmän toimintaperiaate

Tutkatekniikkaa on hyödynnetty jo pitkään erilaisissa sovelluksissa. Tutkapohjainen häiriönhavaintojärjestelmä on kuitenkin tullut markkinoille vasta 2000-luvulla. Työssä olen tutustunut Navtech Oy:n toimittamaan tutkapohjaiseen häiriönhavaintojärjestelmään, sillä olen mukana hankkeessa johon toimitetaan Navtechin tutkapohjainen häiriönhavaintojärjestelmä. Sanottakoon kuitenkin, että myös muita tutkapohjaisen häiriönhavaintojärjestelmän toimittajia on olemassa. Navtech Oy:lla oli kuitenkin myös toimittajien verkkosivujen vertailun perusteella parhaat referenssit.

Tutkapohjainen häiriönhavaintojärjestelmä koostuu maantiellä olevista tutkalaiteyksiköistä ja keskitetystä prosessointijärjestelmästä, joka mahdollistaa tunnistuksen ja määrittelyjen tapahtumien raportoinnin määritellyllä tieosuudella. Tapahtumat voivat sisältää hitaan tai pysähtyneen ajoneuvon tunnistuksen, jalankulkijat moottoritiellä, väärään suuntaan ajavat ajoneuvot ja pudotettujen esineiden tunnistuksen moottoritiellä.

Järjestelmään kuuluu useita yksilöitävissä olevia ohjelmistomoduuleja. Järjestelmän Integrointi kolmannen osapuolen tunnelikäyttöliittymän (SCADA) järjestelmään mahdollista väylän välityksellä. (XML, OPC(UA), Modbus)

6.2 Laitteisto

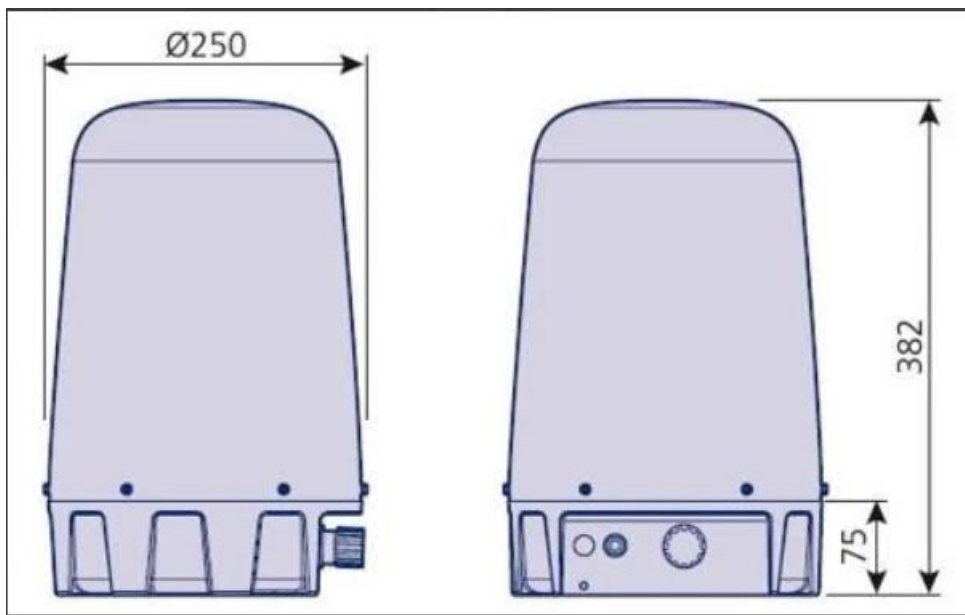
Järjestelmä koostuu hankekohtaisesti riippuvasta määrästä eri tutkayksiköitä. Tutka asennetaan tunneliin sille suunniteltuun säädettävään asennusalustaan, jota kuva 5 havainnollistaa.



Kuva 5. Esimerkki asennetusta tutkasta säädettävään asennusalustaan.

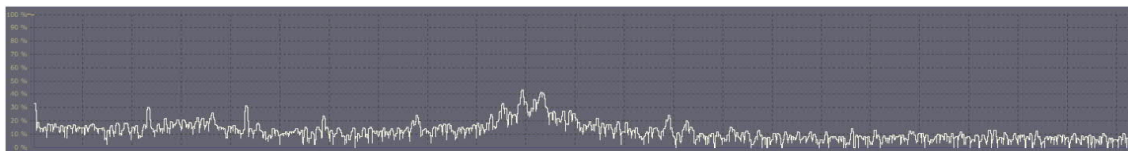
Keskeisimmät tutkalaitteiden ominaisuudet:

- Maksimi havaintoetäisyys 500 m ja 360 astetta
- Suositeltu asennuskorkeus
- 4–5 m tien pinnan yläpuolella avo-osuuksilla
- 3–3,5 m tien pinnan yläpuolelle tunneleissa
- Standardi pyörimisnopeus CTS350-X tutkalla on 4 Hz
- Käyttöjännite 24 V (Alue 18–24 V)
- Virrankulutus 24 V: jatkuva 0,8 A ja maksimi 2.2 A
- Ethernet yhteys vähintään 100Mbit/s
- Tutkayksikkö on halkaisijaltaan 250 mm ja korkeudeltaan 382 mm. Tutkayksikön mitat on havainnollistettu kuvassa 6.



Kuva 6. Tutkayksikön mitat [4].

Tutkayksikön valkoisen suojakuvun alla oleva tutka pyörii 360 astetta neljä kertaa sekunnissa. Yhden täyden tutkasäteen pyörähdysten aikana tehdään 400 yksittäistä tallennusta. Jokainen tallennus sisältää 2856 mittausta jotka on otettu 17,5 cm intervalleilla aina 500 m:iin asti. [4] Tulos yhdestä yksittäisestä tallennuksesta esitetty kuvassa 7.



Kuva 7. Yksi tallennus (2856 mittausta)

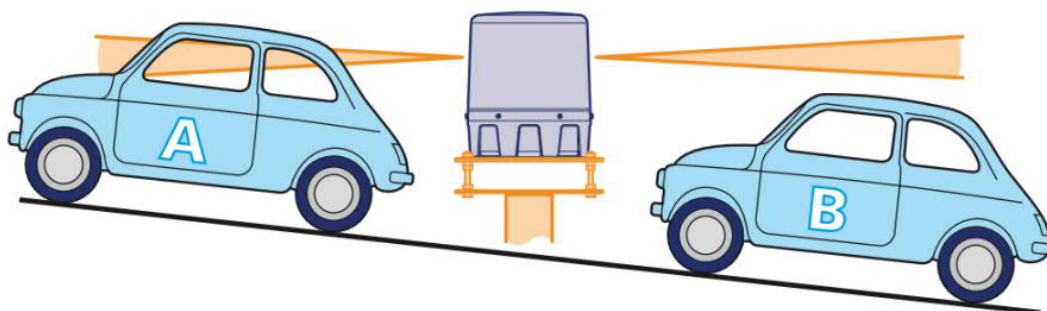
Jokainen yksittäinen tallennus yhden tutkan pyörähdysten aikana tehdystä 400 tallennuksesta ryhmitellään, jotta saadaan pyöreä kuva, jonka tarkkuus on yli 1,1 miljoonaa pikseliä.

Jokaisen pikselin kirkkaus edustaa sitä miten vahvasti tutkan lähettämä energia on heijastunut takaisin päin. Tutka muodostaa siis uuden 360 asteen kuvan 0,25 sekunnin välein.

Kokemukset laitetoimittajan mukaan osoittavat, että järjestelmän paras suorituskyky saavutetaan, kun avo-osuuksilla olevat tutkat asennetaan 4-5m tien pinnan yläpuolelle ja tunneleissa 3–3,5 m tien pinnan yläpuolelle.

Tutkasäteen tekniikka on sellainen, että tutka ei voi tuottaa mittauksia suoraan itsensä alapuolelle. Kapeaa kartiomaista aluetta jolle mittauksia ei voida tehdä, kutsutaan tutkan sokeaksi alueeksi. Samoin mikä tahansa muu kiinteä infrastruktuuri, joka estää tutkasäteen, rajoittaa järjestelmän suorituskykyä.

Jokaisen tutkayksikön suuntaus tien pinnan mukaisesti on tärkeää, jotta saavutetaan oikea järjestelmän oikea toiminta. Kuva 8 demonstroi sitä, jos tutkaa ei suunnata tien pinnan mukaisesti.

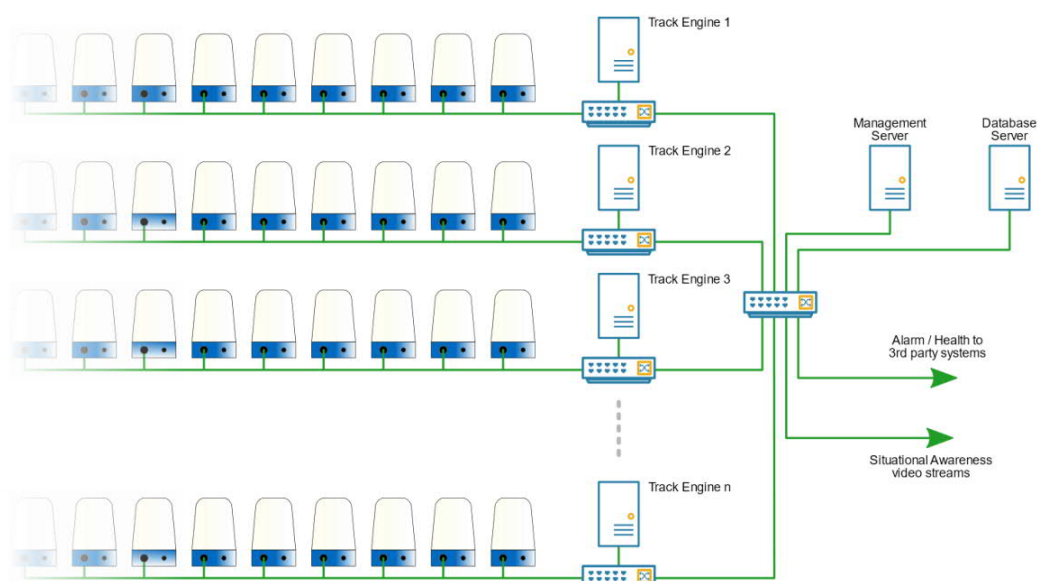


Kuva 8. Tutkat on suunnattava tien pinnan mukaisesti [6].

6.3 Infrastruktuuri

Järjestelmän vaatimuksena on että kaikki palvelimet ja tutkat ovat yhdistetty verkkoon jonka nopeus on vähintään 12 Mbit/s. Riippuen järjestelmälle asetetuista hankekohtaisista vaatimuksista voi verkon nopeus olla myös jossain tapauksissa pienempi. Hyvä lähtökohta kuitenkin on, että verkko täyttää aina vähintään sille laitevalmistajan osoittamat nopeusvaatimukset.

Kuvassa 9 on esitetty järjestelmän esimerkkitopologia. Tutkien määrä, joka voidaan laittaa yhden ”Track engineen” perään, riippuu järjestelmän vaatimuksista. Tämä pitää tarkastaa laitetoimittajalta tapauskohtaisesti.



Kuva 9. Esimerkki järjestelmäkaaviosta.

6.4 Ohjelmisto

Navtech Oy:n tutkapohjaisen häiriöhavaintojärjestelmän ohjelmisto "ClearWay" toimii 64 bit Windows palvelinympäristössä. Palvelimet voivat sijaita kohteessa olevassa laitetilassa tai virtuaalipalvelimena.

ClearWay ohjelmisto jakaantuu neljään eri avainmoduuliin.

Management server service- moduuli koordinoi järjestelmän toimintaa ja esittää hälytykset ja tiedot järjestelmän tilasta asiakkaan käyttöjärjestelmään liittämiseksi.

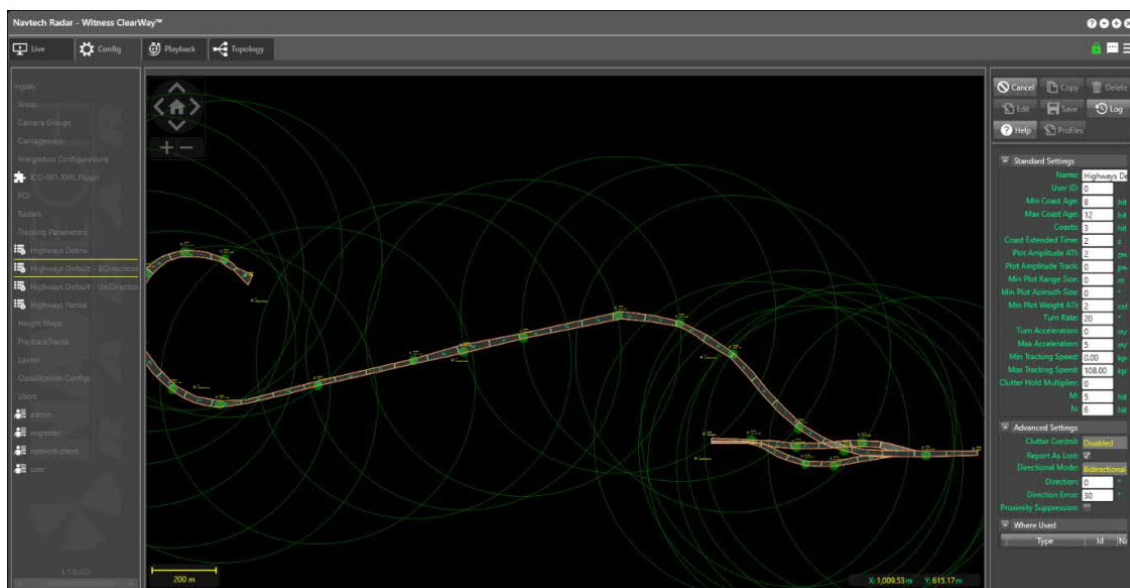
Track engine service- moduuli hallinnoi tutkassa olevan prosessorin suorittamaa laskentaprosessia Tammikuun 2018 jälkeen valmistetuissa tutkissa. Tätä aiemmin valmistetuissa tutkissa moduuli hoitaa saman laskentaprosessin, jonka tammikuun 2018 jälkeen valmistetut tutkat suorittavat itse.

User interface application Clearway järjestelmän käyttöliittymä on Windows- käyttöjärjestelmällä toimiva ohjelmisto. Käyttöjärjestelmä liittyy järjestelmän palvelimeen verk-

koyhteyden avulla. Tyypillisessä järjestelmätoimituksessa käyttäjärjestelmäohjelmisto asennetaan track engine- palvelimeen tai system management- palvelimeen.

Käyttöliittymä esittää järjestelmän reaaliaikaisen tilan sallien sille suojatun asetteluiden säätömahdollisuuden. Tallennetun tietokannan hakeminen onnistuu myös käyttöliittymän kautta.

Käyttöliittymä on tavallisesti ainoastaan huollon käytettävissä järjestelmän asetteluiden muutoksiin ja diagnostiikkaan. Esimerkki käyttöliittymänäkymästä on esitetty kuvassa 10.



Kuva 10. Esimerkki kuvakaappaus käyttöliittymästä näyttäen tien ulkolinjan ja tutkien sijainnit (vihreät pisteet)

Mongo database service- moduuli tarjoaa pääsyn järjestelmän tietokantaan, joka tallentaa tehdyt asetukset ja niiden muutoshistorian (Järjestelmät jotka toteutettu tammikuun 2019 jälkeen). Lisäksi tietokanta ylläpitää juoksevaa tallennusta hälytyksistä, jotka ovat aiheutuneet havaituista tapahtumista. Järjestelmä on myös mahdollista konfiguroida niin, että se ylläpitää tietokantaa kaikista sen havaitsemien esineiden liikkeistä järjestelmän peittoalueella.

6.5 Seuranta

Kuten edellä kuvattiin, tutka tuottaa ympyrän muotoisen kuvan, jonka tarkkuus on yli 1,1 miljoonaa pikseliä, 0,25 sekunnin välein.

Valvottavasta alueesta ylläpidetään vertailukuvaa, josta laitetoimittaja käyttää termiä ”Clutter map”. Vertailukuva perustuu tyhjän tien tallennukseen. Vertailukuva muodostetaan tyhjästä alueesta tutkien ottamasta monesta peräkkäisestä kuvasta muodostetusta keskiarvotuloksesta. Vertailukuva esittää kaikki tutkan havaintoalueella olevat staattiset esineet.

Järjestelmästä halutaan saada tieto tunnelin muuttuvista objekteista, kuten autoista. Tieto saadaan, kun tutkalaitteiston reaaliaikaisesta käsittelemättömän datan kuvasta vähennetään jokainen vertauskuvan pikseli jo siis aiemmin tyhjässä tunnelissa muodostetun vertauskuvan perusteella. Edellä mainittujen kahden saadun kuvan erotuksesta muodostettua kuvaa kutsutaan prosessoidun datakerroksen kuvaksi, joka jättää jäljelle ainoastaan muuttuvat objektit, joita halutaan havainnoida. Kuva 11 havainnollistaa käsittelemättömän datan, vertauskuvan ja prosessoidun datan näkymän.

On tärkeää varmistaa, että vertauskuva tyhjän tien olosuhteissa on aina ajantasainen, jos esimerkiksi kiinteitä rakenteita, kuten opasteita, tutkien havaintoalueella muutetaan. Kuva 11 havainnollistaa datasta muodostettuja erilaisia kuvia.



Kuva 11. Tutkien datasta muodostetut kuvat.

Yksityiskohtaisten sääntöjen perusteella, seurantaohjelmisto määrittää prosessoidun datan pikseliryhmistä auton tai henkilön ja seuraa sen liikkeitä jokaisen uuden muodostetun kuvan perusteella.

6.6 Häiriönhavaintojärjestelmän säännöt

Jokaiseen ajorataan jota valvotaan, sovelletaan ennalta määrättyä sääntöjoukkoa. Kynnysarvoja erilaisille parametreille ovat esimerkiksi nopeus, kuljettu matka, esineen koko tai mikä tahansa muu mitattavissa tai laskettavissa oleva parametri. Järjestelmään asetettujen sääntöjen mukaan mikä tahansa ajorata, joka ylittää määritellyt parametrikynnykset riittävän kauan, laukaisee se tapahtumasta hälytyksen.

6.7 Hälytykset

Kun järjestelmä tunnistaa, että jokin tietty kappale tai ryhmä kappaleita käyttäytyy tavalla, joka poikkeaa säännöstä, järjestelmä laukaisee hälytyksen. Hälytyksien yksityiskohdat tallennetaan järjestelmän tietokantaan.

Riippuen häiriönhavaintojärjestelmään integroitavasta käyttöliittymästä hälytyksien yksityiskohdat näytetään tunnelia operoivan tahon käyttöliittymässä. Operoija on Suomessa tieliikennekeskus, joka saatujen hälytyksien mukaan suorittaa määrättyjä toimenpiteitä riskien ja vahinkojen minimoimiseksi.

Tutkapohjaisen järjestelmän tunnistamat häiriöt ja sen suorituskyky [2, s. 33]:

- pysähtynyt ajoneuvo
- hidas ajoneuvo
- väärään suuntaan ajava ajoneuvo
- pudonnut esine tai este tiellä
- jalankulkija.

Järjestelmän vahvuudet ja heikkoudet

Tutkapohjaisella häiriönhavaintojärjestelmällä on useita erilaisia vahvuuksia [2, s. 34]:

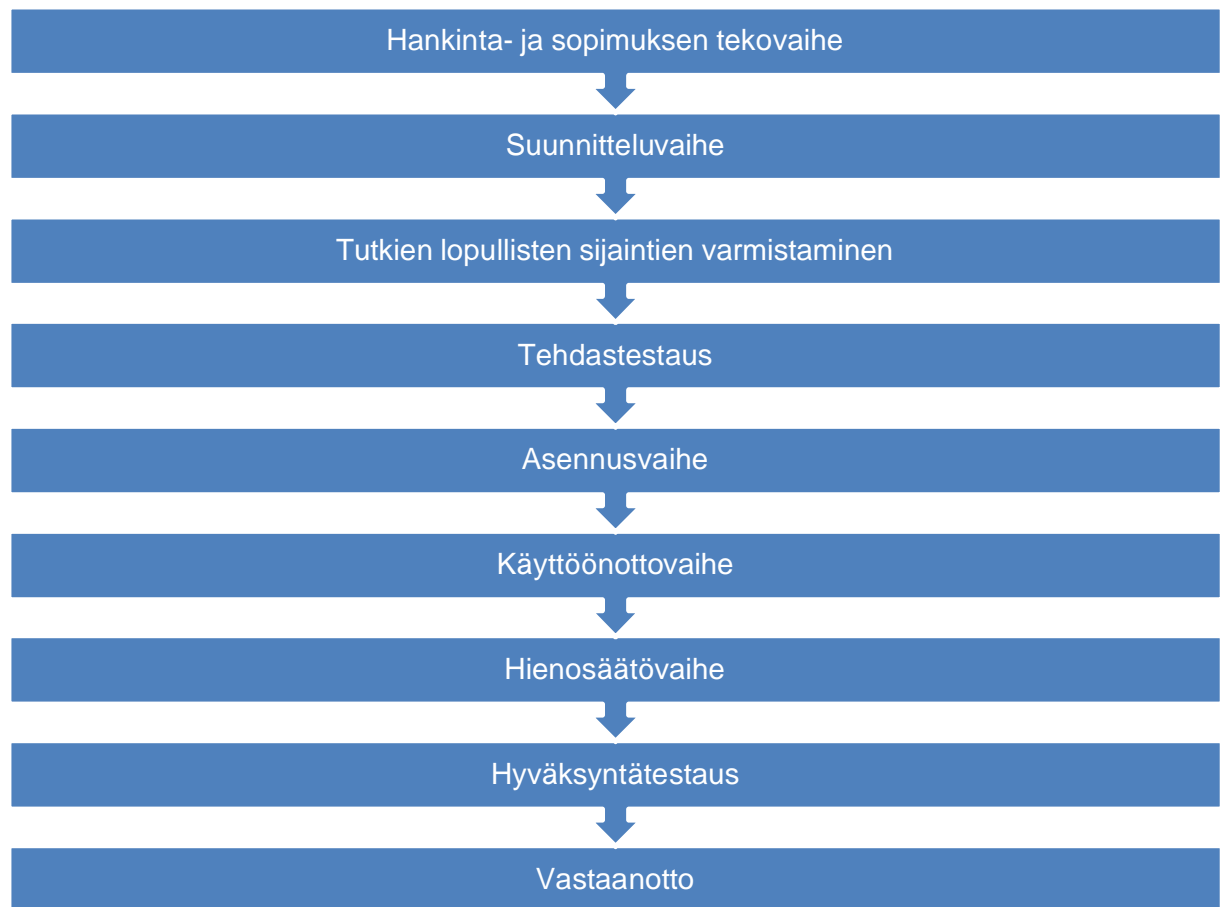
- Monen tyyppisten häiriöiden tunnistus, joka tapahtuu lyhyillä havaintoajoilla.
- Ympäristöolosuhteet eivät vaikuta järjestelmän toimintaan (Pölyävä lumi, muuttuva valaistus, savu).
- Alhainen aiheettomien hälytysten määrä, tekniikka kuormittaa hyvin vähän liikennekeskuksen päivystäjiä.
- Laitemäärä on alhainen verrattuna kamerapohjaiseen häiriönhavaintojärjestelmään, joten ylläpitokustannukset ovat pienet.

Tutkapohjaisella häiriönhavaintojärjestelmällä esiintyy myös erilaisia heikkouksia [2, s. 34]:

- Ei savun tai tulipalon tunnistusta, järjestelmä voi tunnistaa nämä ainoastaan välillisesti liikennevirran vaikutuksista.
- Mahdolliset katvealueet, jotka kuitenkin saadaan minimoitua hyvällä suunnittelulla.

7 Tutkapohjaisen häiriönhavaintojärjestelmän projektin vaiheet

Tyypillinen järjestelmätoimitus koostuu useasta eri välitavoitteesta. Kuvassa 12 kuvataan vaiheet, jotka liittyvät tyypilliseen järjestelmän rakentamiseen, mukaan lukien jokaisen eri vaiheen aloituksen edellytykset.



Kuva 12. Tutkapohjaisen häiriönhavaintojärjestelmän projektin vaiheet.

7.1 Hankinta- ja sopimuksen teko

Aluksi on selvitettävä kaikki hankekohtaiset vaatimukset häiriönhavaintojärjestelmälle. Järjestelmästä laaditaan riittävän kattava tarjouspyyntömateriaali, jolla järjestelmätoimittaja pystyy tarjoamaan järjestelmää. Oleellista on saada järjestelmätoimittajalle mahdollisimman tarkat tiedot tunnelin geometriasta ja muista rakenteista, kuten kiinteistä portaaleista ja opasteista.

Järjestelmätoimittajan kanssa on syytä laatia projektin aloitusdokumentti, jossa on esitetty kaikki tärkeimmät projektiin liittyvät tiedot.

Seuraavassa on esimerkki dokumentin sisällöstä:

- Projektin määrittely
- Taustatietoa
- Projektin vaatimukset
- Järjestelmän yleiskatsaus
- Organisaation rakenne ja avainhenkilöt
- Järjestelmätoimittaja
- Tilaaja
- Projektisuunnitelma
- Tehtävät ja suoritukset (Vastuunjako)
- Kokouskäytännöt
- Projektin aikataulu

Hankinta- ja sopimuksetekovaihe on suoritettu, kun tilaus järjestelmästä on tehty sekä projektin aloitusdokumentti on laadittu ja hyväksytty kaikkien tarvittavien osapuolien toimesta.

7.2 Alustava suunnittelu

Häiriöhavaintojärjestelmän valvomasta tiealueesta on toimitettava järjestelmätoimittajalle tarkat suunnitelmat. Kaikki tilaajan ja loppukäyttäjän vaatimukset pitäisi olla tässä vaiheessa tiedossa.

Tiealueen ja tunnelin suunnitelmien sekä järjestelmän vaatimusten pohjalta laitetoimittaja laatii alustavan suunnitelman tutkien sijoittelusta. Tässä vaiheessa on työmaan muistettava huomioida, että tutkien lopulliset sijainnit on vielä myöhemmin varmistettava ennen kuin tutkalaitteiden kaapelointi voidaan aloittaa.

Kun alustava suunnitelma tutkien sijoittelusta on laadittu, voidaan edetä seuraavaan vaiheeseen.

7.3 Työmaakatselmus ja tutkien lopullisten sijaintien varmistaminen

Ennen työmaakatselmusta ja tutkien lopullisten sijaintien varmistamista, kaikki merkittävä infrastruktuuri on oltava rakennettu kuten sillat, tunnelin seinät jne.

Järjestelmätoimittaja katselmoi yhdessä tilaajan urakoitsijan kanssa alustavan suunnitelman työmaalla. Katselmuksessa tarkistetaan tutkien näkemäalueet jokaisesta ehdotetusta tutkasijainnista esimerkiksi akkukäyttöisten valojen avulla. Valot sijoitetaan väliaikaisesti ehdotettuun tutkan asennuspaikkaan. Katselmuksessa voidaan käyttää myös testitutkaa, joka voidaan asentaa väliaikaisesti. Testitutkan tuottamaa dataa analysoidaan testiohjelmiston perusteella, jotta voidaan varmistua, että ehdotetulla asennuspaikalla saavutetaan vaadittu suoritustaso.

Katselmuksen onnistumiseen vaikuttavat seuraavat asiat, jotka on otettava etukäteen huomioon:

- Kaikille järjestelmän valvomille alueille on oltava esteetön pääsy joten katselmuksesta on sovittava myös muiden työmaalla olevien urakoitsijoiden kanssa.
- Paaluluvut on oltava merkitty maastoon tarvittavilta osin, jotta voidaan välttää mahdolliset sijaintivirheet.
- Muut alueella käynnissä olevat työt, jotka saattavat vaikuttaa esimerkiksi näkemätarkasteluihin.

Työmaakatselmusvaihe on suoritettu, kun kaikki tutkien lopulliset sijainnit on selvillä. Sijainnit merkitään tunneliin, valokuvataan ja dokumentoidaan.

7.4 Laitteiston asettelut, tehtaalla tehtävät konfiguroinnit ja tehdastestaus

Järjestelmätoimittaja valmistaa tutkayksiköt, joille jokaiselle tehdään lopputestaus. Testaus tehdään toimittajan käytäntöjen mukaisesti, huomioiden tilaajan mahdolliset lisävaatimukset.

Järjestelmän palvelimiin asennetaan laitteiston vaatima ohjelmisto sekä käyttöjärjestelmä.

Järjestelmän laitteisiin on suositeltavaa ohjelmoida lopulliset IP- osoitteet jo tehtaalla ennen toimitusta. Laitetoimittajalle on tällöin toimitettava hyvissä ajoin lista IP- osoitteista.

Vaihe on suoritettu, kun järjestelmän laitteet on toimitettu työmaalle ja mahdolliset testiraportit on toimitettu tilaajalle.

7.5 Järjestelmän asennus

Asennusvaihe voidaan aloittaa, kun tilaajan urakoitsija on vastaanottanut laitetoimittajan lähettämän laitteiston, sekä tutkien lopulliset sijainnit on päätetty työmaakatselmuksessa. Tutkien säädettävät asennusalustat on oltava myös hankittu.

Asennusvaiheessa tutkat kaapeloidaan suunnitelmien mukaisesti. Tässä vaiheessa on hyvä vielä tarkistaa tutkan tietoliikenneyhteyden toteutustapa. Jos tietoliikennekaapelin pituus on yli 100 m, on yhteys tällöin kaapeloitava kuitukaapelilla, johon on lisättävä tarvittavat mediamuuntimet.

Tutkat asennetaan säädettäville asennusalustoille aiemmassa työmaakatselmuksessa päätettyjen sijaintien mukaisesti. Asennusvaiheessa tutkat suunnataan tien pinnan mukaisesti.

Jos laitteiden IP- osoitteet on aseteltu valmiiksi tehtaalla, jokaiseen tutkayksikköön kytketään sähkö ja tietoliikennekaapeli. Järjestelmän palvelimet asennetaan ja kytketään verkkoon. Tämän jälkeen varmistetaan, että tietoliikenneyhteys kaikissa järjestelmän laitteissa toimii.

Jos laitteiden IP- osoitteita ei ole aseteltu valmiiksi tehtaalla, tehdään ensin tarvittavat asetellut, jonka jälkeen varmistetaan, että tietoliikenneyhteys kaikissa järjestelmän laitteissa toimii.

Asennusvaihe on valmis, kun kaikki järjestelmän laitteet on asennettu ja tietoliikenneyhteys laitteiden välillä on todettu toimivaksi.

7.6 Laitteiston käyttöönotto

Kun järjestelmän kaikki laitteet on asennettu ja tietoliikenneyhteydet on todettu toimivaksi, voidaan aloittaa käyttöönotto vaihe. Suositeltavaa on, että kaikki muu tiealueella

oleva infrastruktuuri on tässä vaiheessa asennettu, kuten tien törmäselementit, kai-teet, valaisimet ja opasteet.

Käyttöönoton alkuvaiheessa tarkastetaan vielä tutkien suuntaukset jokaiselle tutkayksikölle. Tutkien oikea suuntaus on varmistettava, jotta saavutetaan riittävän selkeät mit-taustulokset ja voidaan maksimoida jokaisen tutkan mittausetäisyys.

Jokaiseen tutkaan muodostetaan erikseen verkkoyhteys, jonka avulla tarkastellaan tutkakohtaisesti näiltä saatua käsittelemätöntä dataa. Projektin vaatimuksista riippuen kaikki vaaditut havaitsemistapahtumat luodaan tiealueelle.

Järjestelmän palvelimien asennukset ja ohjelmistolisenssit testataan myös tässä vai-heessa. Häiriönhavaintojärjestelmän liityntä tunnelin valvontajärjestelmään testataan käytännössä.

Laitteiston käyttöönottovaihe on valmis, kun kaikki tutkat on suunnattu parhaan tulok-sen varmistamiseksi, datatallenteet jokaiselta tutkalta on tehty. Tutkien verkkoyhteydet järjestelmän palvelimiin toimivat ja yhteys häiriönhavaintojärjestelmän ja tunnelin valvon-tajärjestelmän välillä on todettu toimivaksi. Tunnelin valvontajärjestelmään välitetään projektin vaatimusten mukaiset tiedot, kuten hälytykset ja häiriönhavaintojärjestelmän vikatiedot.

7.7 Ohjelmiston käyttöönotto

Ohjelmiston käyttöönottoon liittyvät määrittelytyö tehdään yleensä etäyhteydellä verkon kautta. Laitetoimittaja toteuttaa tarvittavat ohjelmiston määritykset laitteiston käyttöö-nottovaiheessa saadun datan perusteella.

Ajoradan ääriviivat määritellään järjestelmään ja havaitsemiskynnykset kullekin yksit-täiselle säännölle asetellaan ohjelmistoon. Tässä vaiheessa tutkien seurantaprossia liikkuville kohteille optimoidaan, jotta saadaan varmistettua järjestelmän toiminta liikku-ville kohteille valvotuilla alueilla.

Tässä vaiheessa häiriöhavaintojärjestelmän graafinen käyttöliittymä, joka esittää valvo-
tuilla alueilla liikkuvat ajoneuvot ja muut tärkeimmät tiedot, otetaan käyttöön. Graafista
käyttöliittymää ei ole välttämätöntä toteuttaa, eli tämä on järjestelmän lisäominaisuus,
jonka toteutus vaihtelee projektikohtaisesti.

Laitteiston käyttöönottovaiheessa tallennetut tutkakohtaiset käsittelemättömän datan
tiedot eri havaitsemistilanteista toistetaan järjestelmään lopullisten ohjelmiston asettelu-
jen jälkeen, jotta voidaan varmistaa järjestelmän kyky havaita jokainen tapahtuma.

Ohjelmiston käyttöönottovaihe on valmis kun siihen tehtävät asetusmäärittelyt on tehty,
tunnelin valvontajärjestelmään välitettävät tiedot on testattu ja järjestelmä on käytän-
nössä toimintavalmiina.

7.8 Järjestelmän hienosäätö

Edellytys järjestelmän hienosäätövaiheelle on, että kaikki tätä edeltävät työt on tehty
valmiiksi ja järjestelmä on valmis käyttöön. Hienosäätö pystytään aloittamaan kun tie-
alue on avattu normaalille tieliikenteelle. Hienosäätövaiheen aikana on tärkeä muistaa
pitää järjestelmätoimittaja ajan tasalla tiealueen mahdollista sulkemisista ja muista tie-
alueella tehtävistä töistä jotka poikkeavat normaalista liikenteestä.

Hienosäätöjakson aikana tapahtuneista häiriöhavaintojärjestelmän hälytyksistä tulisi
saada myös kameratallenne käyttöön tapahtuman analysointia varten. Jokainen häly-
tystapahtuma analysoidaan ja verrataan tätä saatuun videotallenteeseen, onko hälytys
ollut aiheellinen vai aiheeton. Jos hälytys havaitaan aiheettomaksi, on ohjelmiston aset-
teluita vielä hienosäädettävä, jotta saadaan jatkossa karsittua aiheettomat hälytykset
pois.

Järjestelmän hienosäätövaihe kestää normaalisti järjestelmän kokoluokasta riippuen
kahdesta neljään viikkoa. Hienosäätövaiheen pituus riippuu kuitenkin hankkeesta ja
siihen liittyvistä sopimuksista.

Hienosäätövaiheen lopuksi järjestelmätoimittaja laatii raportin saaduista hälytyksistä ja virheellisten hälytyksien määrästä. Hienosäätövaihe katsotaan päättyneeksi, kun virheellisten hälytyksien määrä on sopimuksen mukaisella tasolla.

7.9 Järjestelmän hyväksyntätestaus

Järjestelmän hyväksyntätestaus eli site acceptance test (SAT) voidaan aloittaa, kun laitteiston ja ohjelmiston käyttöönotto vaihe on kokonaisuudessaan valmis. Tunnelin valvontajärjestelmän, jolla loppukäyttäjä tulee tunnelia hallinnoimaan, on oltava myös siinä valmiudessa, että häiriöhavaintojärjestelmään liittyvät tapahtumat pystytään toteamaan.

Hyväksyntätestauksen tarkempi sisältö riippuu sopimuksesta ja siinä esitetyissä teknisissä määrittelyissä. Häiriöhavaintojärjestelmän tiealueella demonstroidaan vaaditut hälytystapahtumat järjestelmän oikean toimintakyvyn todistamiseksi. Vaaditut hälytykset on näytettävä testauksen aikana lopullisessa tunnelin valvontakäyttöliittymässä.

Järjestelmän hyväksyntätestauksesta laaditaan etukäteen dokumentti joka toimii testaussuunnitelmana. Hyväksyntätestauksen dokumentin sisältö hyväksytetään etukäteen tilaajalla. Dokumenttiin kirjataan testaustulokset ja muut mahdolliset kommentit testauksessa havaituista asioista.

Järjestelmän hyväksyntätestaus katsotaan suoritetuksi, kun kaikki testaussuunnitelman mukaiset kohdat on käyty hyväksytysti läpi ja kaikki testauksessa olleet osapuolet ovat hyväksyneet testauksen suoritetuksi.

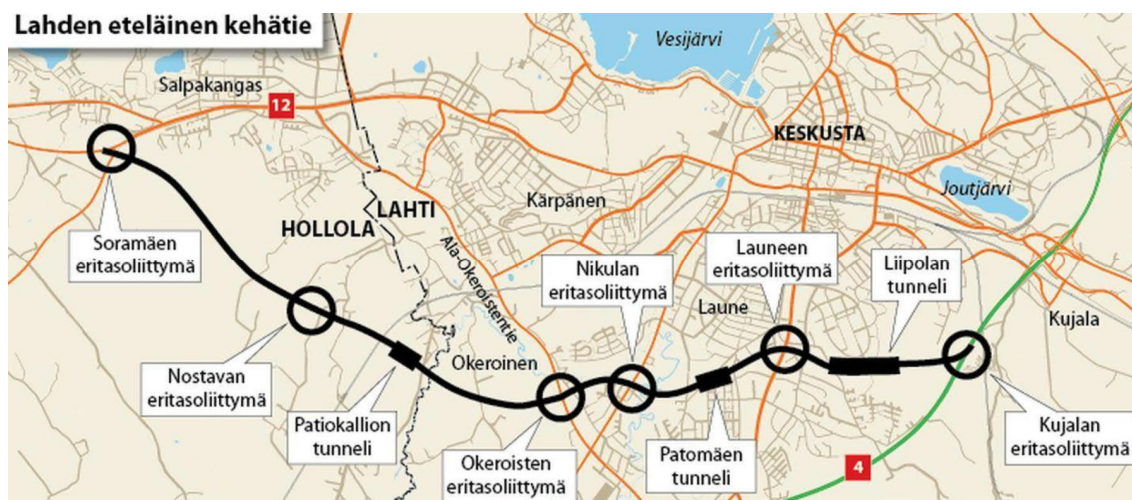
7.10 Järjestelmän vastaanotto

Edellytys järjestelmän vastaanotolle on, että kaikki edellä esitetyt aiemmat projektin vaiheet on suoritettu ja niissä mahdolliset havaitut puutteet on korjattu.

8 HHJ- järjestelmän rakentaminen

8.1 Liipolan tunneli

Liipolan tunneli on osa uutta Lahden eteläistä kehätietä VT 12. Hankkeen tavoitteena on varmistaa sujuvampi ja turvallisempi liikenne vilkkaasti liikennöidyllä valtatiellä 12 sekä edistää maankäytön ja elinkeinoelämän kehittymismahdollisuuksia koko Lahden seudulla. Kuva 13 havainnollistaa Lahden eteläisen kehätien hankkeen kartalla.



Kuva 13. Lahden eteläinen kehätie kartalla [9].

Liipolan tunneli on noin 1000 m pitkä kaksiputkinen tunneli, joka koostuu sekä kallio-tunnelista ja betonirakenteisesta tunnelista. Molemmilla ajosuunnilla on omat tunneli-putket, 80 km/h nopeusrajoitus, raskaiden ajoneuvojen ohituskielto ja pyöräily sekä jalankulku kielletty. Onnettomuustilanteessa poistumisreitteinä toimivat ajoneuvotunnelien väliset hätäpoistumisovet ja yhdyskäytävät, joista pääsee toiseen, puhtaaseen ja turvalliseen tunneli-putkeen. Tunneliin tulee vaihtuvat nopeusrajoitukset (arvot 50, 60, 80 km/h) ja kaistaohjaus, jolla voidaan sulkea häiriötilanteessa toinen kaista.

8.2 Tunnistettavat häiriöt ja toiminnalliset vaatimukset

Liipolan tunnelin häiriönhavaintojärjestelmän tulee havaita seuraavat liikennehäiriöt ja tuottaa niistä hälytys koko tunnelin alueelta:

- pysähtynyt ajoneuvo (tunnistettava koko 1,5*1,5*3,0 m)
- hidas ajoneuvo, jonka raja-arvot (nopeuden raja-arvo on oltava käyttäjän säädettävissä)
- väärään suuntaan liikkuva ajoneuvo.

Järjestelmän tulee tuottaa em. hälytykset seuraavalla nopeudella:

- pysähtynyt ajoneuvo 20 s
- hidas ajoneuvo 20 s
- väärään suuntaan liikkuva ajoneuvo 10 s.

Järjestelmän toiminnallisuusvaatimukset toiminnan varmistusjakson päättyessä:

- aiheettomien havaintojen/hälytysten enimmäismäärä saa olla 5 kpl / viikko
- havaitsemattomien häiriöiden enimmäismäärä saa olla 1 kpl / viikko.

Koko tunnelin ala tulee olla jatkuvassa seurannassa, eikä sinne saa jäädä katvealueita. Tunnelin ala jaetaan 150 metrin havaintoalueisiin, ja hälytykset kohdennetaan ko. alueisiin. Tilaaja määrittelee havaintoalueet.

8.3 Järjestelmän toiminnallisuuden varmistus

Järjestelmän toiminta varmistetaan 6 kk kestäväen toiminnan varmistusjakson aikana. Toimittaja tekee vuoden 2020 aikana etämonitorointia ja hienosäätää järjestelmän toimintaa liikenteellä olevassa tunnelissa (with live traffic). Toimittaja raportoi järjestelmään tehdyt hienosäädöt.

Toimittaja tarkistaa järjestelmän toiminnan tämän jälkeen kerran kuukaudessa (yhteensä neljä kertaa) ja raportoi siitä tilaajalle. Toimittaja raportoi kaikki hälytykset sekä havaitut häiriöt. Toimittaja esittää järjestelmän toiminnan parantamiseksi tarvittavat säätötyöt tilaajalle, ja tekee ne tilaajan hyväksytyä esityksen.

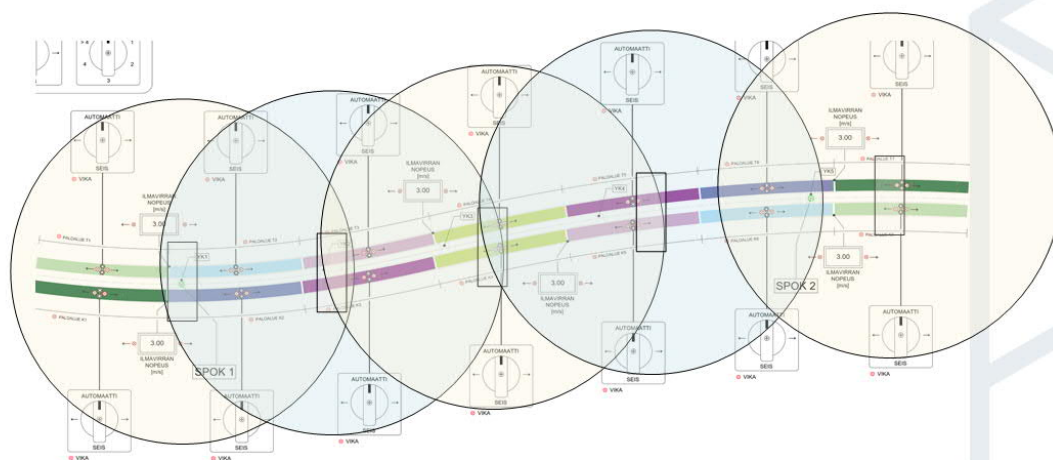
Toimittajan tulee laatia loppuraportti, jossa kuvataan lähtötilanne sekä huomiot ja järjestelmään tehdyt muutokset. Tilaaja varmistaa toiminnan varmistusjakson päätteeksi touko- kesäkuussa 2021, että järjestelmä toimii tehtyjen säätötoimien jälkeen edelleen

vaatimusten mukaisesti. Toimittaja ottaa osaa tilaajan kanssa suoritettavaan maastotestaukseen (Site acceptance test).

8.4 Tutkien sijaintien määrittäminen

Toimittaja laatii esityksen tutkien lopullisista sijainnista maastokatselmuksen perusteella. Sijaintien määrittämisessä on otettava huomioon kaikki tunnelissa olevat rakenteet, kuten liikennemerkkit, jotka voivat estää tutkan signaalin. Myös erilaiset portaalit ja muut rakenteet voivat aiheuttaa heijastumia, joten optimaalisinta olisi, jos tutkat pystytään sijoittamaan tällaisten rakenteiden alapuolelle.

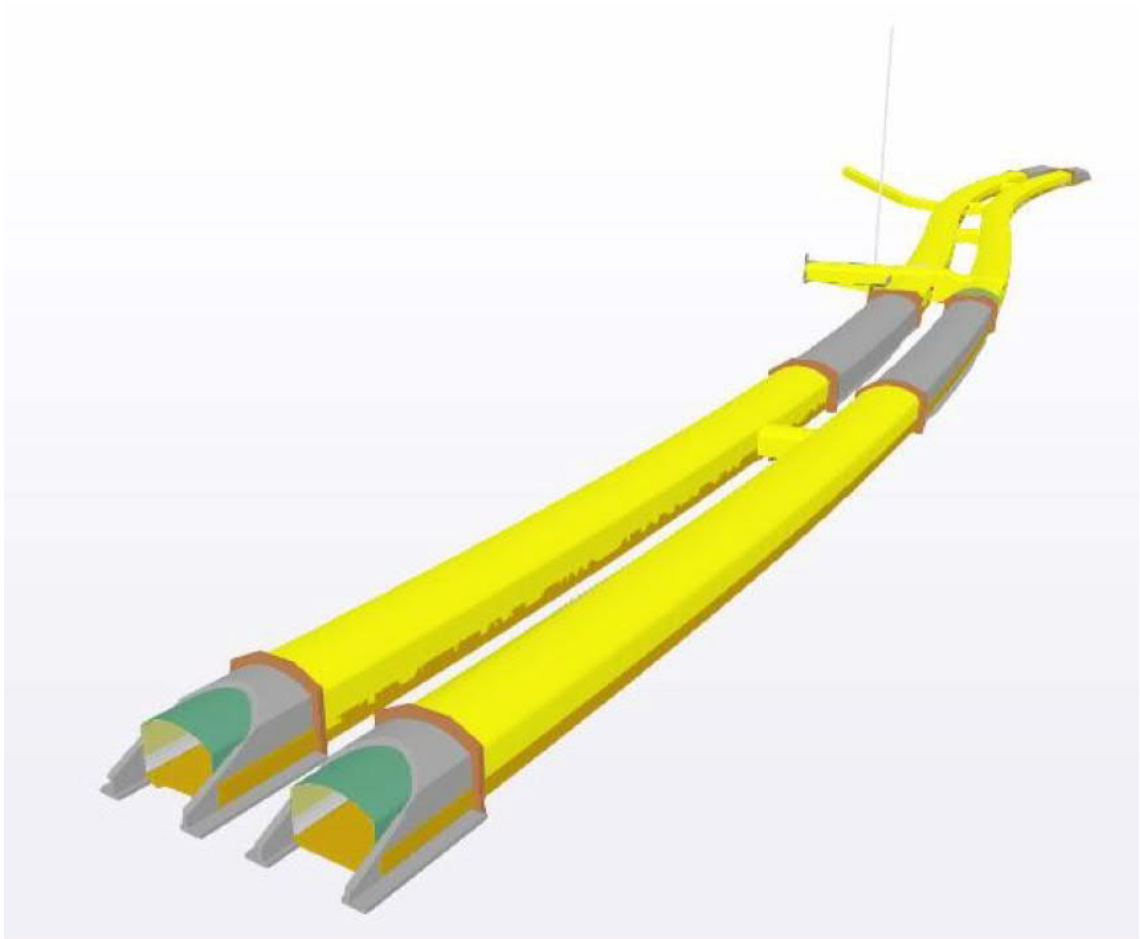
Liipolan tunneliin tutkat sijoitellaan siten, että yhden tutkan rikkoontuminen ei aiheuta vielä katvealuetta tunneliin. Jos tutka rikkoontuu suuaukolta, voidaan tunnelista siirtää väliaikaisesti yksi ehjä tutka suuaukolle rikkoontuneen tilalle. Periaate tutkien sijoittelusta ja näiden havaintoalueista on esitetty kuvassa 14.



Kuva 14. HHJ- tutkien sijoitteluperiaate ja havaintoalueet.

Tutkien lopullisten sijaintien määrittäminen tehdään normaalisti toimittajan työmaakatselmuksessa. Maailmalla vallitsevan koronaviruspandemian johdosta tämä ei tällä hetkellä kuitenkaan ole mahdollista. Ratkaisuna on käyttää suunnitelmia, valokuvia ja tunnelin

tietomallia, jotta voidaan varmistua riittävästä suorituskyvystä. Kuvakaappaus tunnelin tietomallista, jonka avulla näkemä-alueita tarkastellaan kuvassa 15.

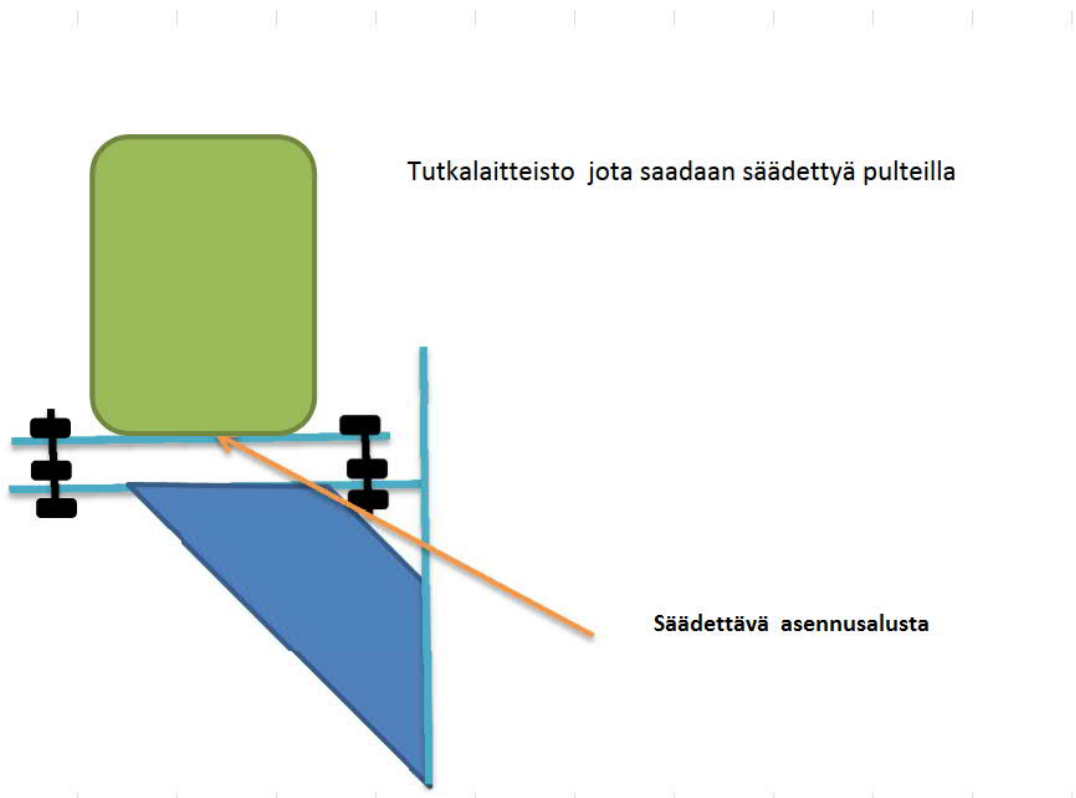


Kuva 15. Liipolan tunnelin tietomalli.

Kyseessä on Suomen ensimmäinen tutkapohjainen häiriöntunnistusjärjestelmä ja maailman ensimmäinen tai ainakin ensimmäisiä tutkapohjaisia järjestelmiä, joiden tutkien lopulliset sijainnit päätetään ilman järjestelmätoimittajan työmaakäyntiä.

8.5 Asennustyöt

Tutkat asennetaan tunneliin säädettävälle alustalle, joka kiinnitetään tunnelin verhousrakenteeseen. Säädettävän alustan materiaali on oltava korroosion kestävä kuormittavan ympäristön johdosta. Tutkien esisäätö pyritään tekemään asennusvaiheessa ja lopullinen hienosäätö käyttöönottoaiheessa.



Kuva 16. HHJ- tutkien asennusperiaate.

Kun tutkien asennus ja kaapelointivaihe on suoritettu, testataan tietoliikenneyhteyksien toiminta, kuten tyypillisessä tutkapohjaisen järjestelmän projektin vaiheissa on kuvattu.

9 Häiriöhavaintojärjestelmien tekniikoiden vertailu

Eri häiriöhavaintojärjestelmien luotettava vertailu edellyttäisi seurantaä käytössä olevien järjestelmien toiminnasta riittävän pitkältä ajanjaksolta. Seurattava ajanjakso tulisi kattaa myös eri vuodenaikoja. Mielestäni seurattava ajanjakso tulisi olla vähintään puoli vuotta, jonka aikana kerättyä dataa analysoitaisiin.

Tämän opinnäytetyön ja Liipolan tunnelin projektin aikataulujen ristiriidan vuoksi kuitenkin edellä mainittu seuranta ei ole mahdollista. Tunnelin valmistuminen ja riittävän tiedon kerääminen olisi viivästyttänyt opinnäytetyön valmistumista noin 1,5 vuodella. Tästä syystä vertailu suoritetaan teoriapainotteisesti.

9.1 Eri häiriönhavaintojärjestelmien tunnistettavat häiriötyypit

Eri häiriönhavaintojärjestelmien suoraan tunnistavat häiriötyypit on esitetty taulukossa 2, joka on koottu työssä aikaisemmin käsiteltyjen eri häiriönhavaintojärjestelmien teknien perusteella. Taulukossa ei ole huomioitu järjestelmien välillisesti tunnistamia häiriöitä, jotta vertailu olisi selkeämpää.

Taulukko 2. Eri häiriönhavaintojärjestelmien tunnistettavat häiriötyypit.

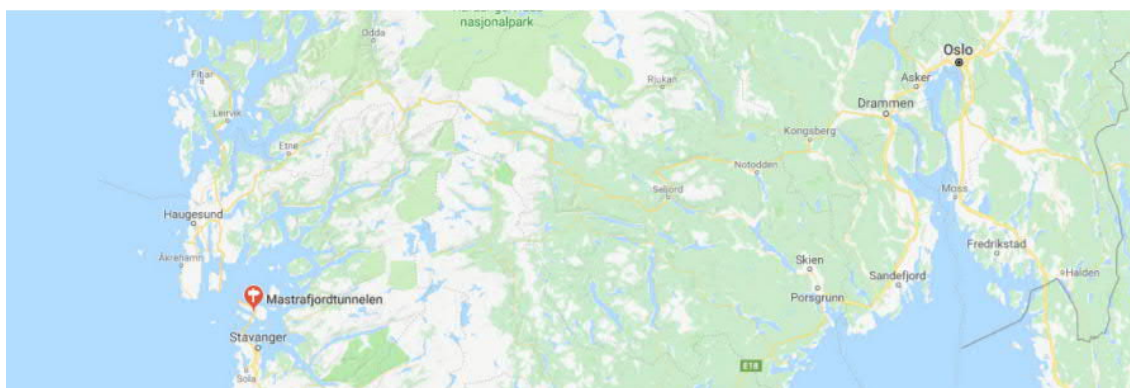
Tunnistettavat häiriötyypit			
	Tutkapohjainen HHJ	Kamerapohjainen HHJ	Silmukkapohjainen HHJ
Pysähtynyt ajoneuvo	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Hidas ajoneuvo	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Väärään suuntaan ajava ajoneuvo	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Pudonnut esine tai este tiellä	Kyllä	Kyllä	Ei
Jalankulkija	Kyllä	Kyllä	Ei
Savu	Ei	Kyllä	Ei

Silmukkapohjaisella häiriönhavaintojärjestelmällä ei pystytä saavuttamaan kaikkia vaatimuksia, joita on mahdollista saavuttaa kamera- ja tutkapohjaisella häiriönhavaintojärjestelmällä. Vaikuttaisi siis siltä, että tutkapohjainen häiriönhavaintojärjestelmä toimisi kamerapohjaisen häiriönhavaintojärjestelmän vaihtoehtona. Tästä johtuen keskityn vertailemaan erityisesti tutka- ja kamerapohjaista häiriönhavaintojärjestelmää keskenään.

Teoriatasolla tutkapohjaisella häiriönhavaintojärjestelmällä voidaan saavuttaa kaikki samat vaatimukset kuin kamerapohjaisella häiriönhavaintojärjestelmällä, lukuun ottamatta savun tunnistusta. Opinnäytetyön aikataulusta johtuen en kuitenkaan pystynyt tutkimaan tämän toteutumista käytännön tasolla. Hyvät kokemukset kuitenkin esimerkiksi Norjasta osoittavat, että vaatimuksen on tutkapohjaisella häiriönhavaintojärjestelmällä mahdollista saavuttaa myös käytännössä.

Hyvillä kokemuksilla esimerkiksi Norjasta viittaa Mastrafjordin ja Rennesøyn tunneleihin. Nämä ovat Norjassa sijaitsevat, meren alittavat tunnelit, jossa on Navtechin tutkapohjainen häiriönhavaintojärjestelmä. Norjassa on vastaavanlaiset ilmasto-olosuhteet kuten Suomessa.

Mastrafjordin ja Rennesøyen tunneleihin haluttiin häiriönhavaintojärjestelmä, joka selviytyisi haastavista sää- ja valaistusolosuhteista. Kyseisten tunneleiden suuaukoilla olevat isot kontrastierot aiheuttaisivat myös haasteita kamerapohjaisen häiriönhavaintojärjestelmän toiminnalle. Järjestelmän täytyi kyetä toimimaan luotettavasti sateessa, sumussa, lumisateessa ja suurissa valaistustasojen muutoksissa sekä kontrastieroissa. Tunnelin häiriönhavaintojärjestelmä on Navtechin mukaan täyttänyt sille osoitetut toiminnalliset vaatimukset. [7, s. 2.] Rennesøyen tunnelin sijainti on esitetty kuvassa 17..



Kuva 17. Rennesøyen tunneli kartalla.

9.2 Järjestelmien vahvuudet ja heikkoudet

Suurin etu tutkapohjaisessa järjestelmässä on virheellisten havaintojen määrän vähyys. Kamerapohjaisessa häiriönhavaintojärjestelmässä virheellisiä havaintoja syntyy kokemuksen mukaan väistämättä liian paljon järjestelmän optimoinneista huolimatta. Toistuvat virheelliset havainnot vähentävät järjestelmän uskottavuutta ja kuormittavat liikennekeskuksen päivystäjiä. Kun virheellisten hälytyksien määrä ja uskottavuus vähenee, nousee myös riski että todelliseen hälytykseen ei pystytä reagoimaan riittävän nopeasti tai pahimmillaan se jää jopa huomaamatta.

Yksinkertainen taulukon 3 vertailu järjestelmien vahvuuksista ja heikkouksista osoittaa, että tutkapohjaisella häiriönhavaintojärjestelmä on enemmän vahvuuksia kuin kamerapohjaisella häiriönhavaintojärjestelmällä. Heikkouksia taulukukossa molemmilla järjestelmillä on sama määrä. Kuitenkin riippumatta siitä paljon jokaiselle heikkoudelle antaa painoarvoa, on tutkapohjainen häiriönhavaintojärjestelmä vähintäänkin samalla tasolla kamerapohjaisen häiriönhavaintojärjestelmän kanssa.

Taulukko 3. Tutka- ja kamerapohjaisen häiriönhavaintojärjestelmän vahvuudet sekä heikkoudet [2, s. 30-34].

Vahvuudet	
Tutkapohjainen HHJ	Kamerapohjainen HHJ
Monen tyyppisten häiriöiden nopea tunnistus	Monen tyyppisten häiriöiden nopea tunnistus
Laitteiston kehitysnäkymät hyvät	Laitteiston kehitysnäkymät hyvät
Alhainen aiheettomien hälytysten määrä	
Alhainen laitemäärä	
Pitkä huoltoväli ja pienet ylläpitokustannukset	
Ympäristöolosuhteet eivät vaikuta järjestelmän toimintaan	
Heikkoudet	
Tutkapohjainen HHJ	Kamerapohjainen HHJ
Ei savun tai tulipalon tunnistusta	Paljon aiheettomia hälytyksiä
Mahdolliset katvealueet	Mahdolliset katvealueet
Tekniikasta vielä vähän kokemusta Suomen tunneleissa	Ylläpitokustannukset

Vertailutaulukosta saadut tiedot pohjautuvat Väyläviraston julkaisuun maantietunneleiden häiriönhavaintojärjestelmien eri tekniikat. [2, s. 30-34]

10 Yhteenveto

Tässä opinnäytetyössä tutustuttiin Suomessa käytössä oleviin häiriönhavaintojärjestelmien tekniikoihin sekä syvennyttiin uuteen Liipolan tunneliin rakenteilla olevaan tutkapohjaiseen häiriönhavaintojärjestelmään.

Työssä haluttiin erityisesti tuoda esille miksi häiriönhavaintojärjestelmiä tunneleihin rakennetaan. Järjestelmän merkitystä tunnelin turvallisuuteen haluttiin myös korostaa ja tuoda esille että kyseessä on kriittinen järjestelmä. Lukijan on helpompi lukea opinnäytetyötä, kun ymmärtää järjestelmän tarkoituksen ja miksi se on niin tärkeä.

Häiriönhavaintojärjestelmien vaatimuksista kerrottiin myös yleisellä tasolla, sekä mitkä asiat vaikuttavat hankekohtaisten tuotevaatimuksien määrittelyyn. Koska häiriönhavaintojärjestelmälle on olemassa erilaisia toteutustekniikoita, opinnäytetyössä käsiteltiin

myös muita yleisesti Suomessa käytettyjä häiriönhavaintojärjestelmien tekniikoita, sekä näiden vahvuuksia ja heikkouksia. Tutkapohjaisen häiriönhavaintojärjestelmän toimintaperiaatetta käsiteltiin tarkemmin. Tutkapohjaisen häiriönhavaintojärjestelmän projektin vaiheita työssä käytiin myös tarkemmin läpi. Vastaavat projektin vaiheet sopivat hieman sovellettuna myös muiden häiriönhavaintojärjestelmien projektien vaiheeseen, mutta opinnäytetyössä haluttiin keskittyä erityisesti tutkapohjaisen häiriönhavaintojärjestelmän projektin vaiheisiin.

Opinnäytetyön aikataulun johdosta alun perin tarkoitus oli saada työhön mukaan myös Liipolan tunnelin tutkien asennus, mutta ei varsinaista käyttöönotto- ja seurantajaksovaihetta. Maailmalla vallitsevan koronapandemian johdosta kuitenkin asennus viivästy, sillä laitetoimittajan insinöörit eivät pysty tulemaan työmaalle. Tällä hetkellä pohditaan vaihtoehtoja, joilla tutkien lopulliset asennuspaikat saataisiin päätettyä siten että laitevalmistajan insinöörit voisivat hyväksyä lopulliset asennuspaikat ilman työmaakäyntiä. Kukaan ei vielä myöskään tiedä miten koronavirus aiheuttaa haasteita järjestelmän käyttöönottovaiheeseen. Matkustamis- ja kokoontumisrajoitukset ovat isoja haasteita järjestelmän käyttöönotolle. Muuttuvat tilanteet vaativat joskus luovia ratkaisuja, joten haasteita varmasti riittää, mutta en usko, että mikään näistä on ylitsepääsemätön.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli verrata tutkapohjaista järjestelmää muihin Suomessa käytössä oleviin häiriönhavaintojärjestelmiin. Järjestelmien vertailu tapahtui varsinaisesti työn lopussa, jossa suoritettiin eri häiriönhavaintojärjestelmien tekniikoiden vertailu yleisellä tasolla. Tarkempaan eri järjestelmien tekniseen vertailuun ei ollut mielestäni syytä lähteä, sillä mielestäni sellaiselle ei ole esiintynyt erityistä tarvetta.

Erityisesti kamerapohjaisella häiriönhavaintojärjestelmällä havaitut haasteet virheellisten hälytyksien määrästä loivat pohjan sille, että työssä olisi järkevintä keskittyä erityisesti järjestelmien toiminnalliseen vertailuun. Mielestäni uuden tutkapohjaisen järjestelmän potentiaali nousi vertailussa hyvin esiin. Teoriatasolla tutkapohjainen järjestelmä vaikuttaa erittäin kilpailukykyiseltä verrattuna mihin tahansa häiriönhavaintojärjestelmään.

Teoriatasolla tutkapohjainen järjestelmä suoriutui parhaiten erityisesti virheellisten hälytyksien alhaisessa määrässä. Kokemuksia tutkapohjaisen häiriönhavaintojärjestelmän suorituskyvystä saadaan Liipolan tunnelissa jo ensi vuonna.

Mielestäni opinnäytetyö selventää tutkapohjaisen häiriönhavaintojärjestelmän toimintaperiaatetta ja sen suorituskykyä muihin häiriönhavaintojärjestelmiin verrattuna.

Lähteet

- 1 Sakari Lindholm. 2018. Tietunneleiden liikenteenhallinnan toimintaperiaatteen laadinta. Liikennevirasto.
- 2 Matti Huju. 2015. Maantietunneleiden häiriönhavaintojärjestelmien tekniikat. Liikennevirasto.
- 3 Liikennekeskukset. Verkkoaineisto. Traffic Management Finland.. <<https://tmfg.fi/fi/itm/liikennekeskukset>>. Luettu 17.2.2020.
- 4 CTS350-X Radar Specifications. Verkkoaineisto. Navtech Limited. <<https://navtechradar.atlassian.net/wiki/spaces/PROD/pages/12353572/CTS350-X+Radar+Specifications>>. Luettu 7.3.2020.
- 5 John Marshall. 2019. Navtech Radar ClearWay Typical System Delivery. Document version 1.0. Navtech radar limited. Saatavissa rajoitetusti.
- 6 John Marshall. 2019. Navtech Radar ClearWay System Basics. Document version 1.1. Navtech radar limited. Saatavissa rajoitetusti.
- 7 Case Study - Mastrafjord tunnel. Verkkoaineisto. Navtech Limited. <<https://navtechradar.com/case-study/mastrafjord/>> Luettu 19.2.2020.
- 8 Traffic Detection Systems. Verkkoaineisto. FLIR Systems Inc. <<https://www.flir.com/browse/public-safety/traffic-sensors/>>. Luettu 7.3.2020.
- 9 Lahden eteläinen kehätie ei menekään kiven sisään, kustannukset laskevat 5 miljoonaa. Verkkoaineisto. Eteläsuomen sanomat. <<https://www.ess.fi/paikalliset/312730>>. Luettu 21.3.2020.
- 10 Väärään suuntaan ajavien tunnistusilmaisimien sijoitus ja mitoitus. Yrityksen sisäinen dokumentti. Caverion Suomi Oy.

Häiriöhavaintojärjestelmän esimerkkiaikataulu

