

MATTI HUJU
JARI OINAS

Maantietunnelien häiriönhavainto- järjestelmien tekniikat

SELVITYS TUTKATEKNIIKAN SOVELTUVUUDESTA TIELIIKENNEKESKUKSEN
KÄYTTÄJÄTARPEIDEN POHJALTA



Matti Huju, Jari Oinas

Maantietunnelien häiriön- havaintojärjestelmien tekniikat

Selvitys tutkatekniikan soveltuvuudesta
tieliikennekeskuksen käyttäjätarpeiden pohjalta

Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 72/2015

Liikennevirasto

Helsinki 2015

Kannen kuva: Jari Oinas, Traficon Oy

Verkojulkaisu pdf (www.liikennevirasto.fi)

ISSN-L 1798-6656

ISSN 1798-6664

ISBN 978-952-317-190-9

Liikennevirasto

PL 33

00521 HELSINKI

Puhelin 0295 34 3000

Matti Huju ja Jari Oinas: Maantietunnelien häiriönhavaintojärjestelmien tekniikat. Liikennevirasto, liikenne ja tieto -toimiala. Helsinki 2015. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 72/2015. 138 sivua ja 4 liitettä. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-317-190-9.

Avainsanat: häiriönhavaintojärjestelmä, häiriönhavaintojärjestelmä, HHJ, tunneli, maantietunneli, häiriönhallinta

Tiivistelmä

Häiriönhavaintojärjestelmät ovat automaattisesti toimivia järjestelmiä, jotka tunnistavat määrätty liikennehäiriöt ja tekevät niistä hälytyksen väylän operoijalle, Suomessa Liikenneviraston tieliikennekeskukselle. Häiriöiden nopea ja luotettava tunnistaminen on tunneliympäristössä tärkeää onnettomuuksien ennaltaehkäisemiseksi ja seurausten lieventämiseksi. Tärkeimmät tunnistettavat häiriötyypit ovat väärään suuntaan ajava ja pysähtynyt ajoneuvo.

Suomessa tähän asti käytetyn videokuvan tulkintaan perustuvan järjestelmän riittävän luotettava toiminta on todettu haasteelliseksi ja erityisesti hankalat valaistus- ja ympäristöolosuhteet ovat tuottaneet paljon aiheettomia hälytyksiä. Tämä tuottaa liikennepäivystäjille ylimääräistä työtä ja heikentää hälytysten uskottavuutta. Työn tavoitteena oli selvittää, soveltuisivatko viime vuosina markkinoille tulleet mikroaaltotutka tai induktiosilmukoihin perustuvat järjestelmät Suomen olosuhteisiin kamerapohjaista tekniikkaa paremmin.

Kamera- ja tutkatekniikoihin perustuvat järjestelmät seuraavat jatkuvasti koko tunnelia ja häiriöt tunnistetaan suoran havainnon perusteella. Silmukatekniikka sen sijaan havaitsee osan häiriöistä ainoastaan välillisesti silmukoista saatujen pistekohtaisten tietojen perusteella ja havaittavat häiriötyypit ovat rajatut. Tutka- ja silmukatekniikoiden toiminta on lähtökohtaisesti ympäristöolosuhteista riippumaton, toisin kuin kameratekniikan.

Ulkomailla toimintaympäristöt ja odotukset häiriönhavaintojärjestelmälle toiminnalle ovat usein erilaisia kuin Suomessa. Tutka- ja silmukatekniikoiden referenssitoteutuksia ulkomaisissa tunneleissa on vähän. Operaattorien kokemukset niistä ovat pääosin positiivisia.

Navtechin toimittamaa tutkapohjaista järjestelmää testattiin keväällä 2015 Espoossa Kehä I Mestarintunnelin itäisessä tunneliputkessa normaaleissa liikenneoloissa kolme kuukautta kestäneessä pilotissa. Vertailukohtana toimi tunnelin käyttöönotosta v. 2011 lähtien operointikäytössä ollut Flirin toimittama kamerapohjainen järjestelmä. Pilotissa kummankin järjestelmän hälytyksistä suurin osa oli iltapäiväruuhkan aikaisia hitaan ajoneuvon hälytyksiä. Kamerapohjainen järjestelmä havaitsi todelliset häiriöt melko luotettavasti. Tutkan havaintoluotettavuus kärsi häiriöheijastuksista aiheutuvista katvealuista reunimmaisilla ajokaistoilla. Mestarintunnelin geometria on haastava ja järjestelmän luotettava toiminta ja häiriöiden tunnistaminen kaistakohtaisesti olisivat edellyttäneet tutkamäärän kasvattamista pilotissa käytetystä kolmesta tutkasta. Kummankin järjestelmän aiheettomien hälytysten määrä oli alhainen. Pilotin havaintojen perusteella Mestarintunnelin pitkälle viritetty kamerapohjainen järjestelmä toimi kokonaisuutena tutkaa paremmin. Tutkajärjestelmän luotettavaan toimintaan liittyy epävarmuustekijöitä, eikä pilotin perusteella järjestelmän hankinta operointikäyttöön Mestarintunnelin kaltaiseen haastavan geometrian kaupunkiseudun tunneliin ole perusteltua. Geometrialtaan yksinkertaisempiin moottoritietunneleihin tutka voisi soveltua paremmin.

Häiriönhavaintojärjestelmille asetettavat toiminnalliset vaatimukset tulee laatia huolella ja tilaajan tulee tiedostaa eri tekniikoiden ominaisuudet ja rajoitteet. Järjestelmien toiminta on aina kompromissi havaintoluotettavuuden ja -nopeuden sekä aiheettomien hälytysten määrän välillä. Riittävän tiheä laiteväli on edellytys järjestelmien kaikissa olosuhteissa luotettavalle toiminnalle. Kaupunkitunneleissa hitaan ajoneuvon ja pudonneen esineen hälytykset voidaan harkita jätettävän pois vaadituista toiminnoista järjestelmien toiminnan parantamiseksi ja hälytysmäärän vähentämiseksi.

Matti Huju och Jari Oinas: Teknologier för störningsdetektering i landsvägstunnlar. Trafikverket, trafik och information. Helsingfors 2015. Trafikverkets undersökningar och utredningar 72/ 2015. 138 sidor och 4 bilagor. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-317-190-9

Sammanfattning

Störningsdetektering sker med hjälp av automatiska system, som känner igen vissa bestämda trafikstörningar och meddelar om dessa till trafikoperatören, i Finland till Trafikverkets trafikledningscentral. Speciellt i tunnelförhållanden är det viktigt med snabb och pålitlig detektering för att förebygga olyckor och lindra deras följder. De viktigaste störningstyperna är fordon som kör i fel körriktning eller stannat i tunneln.

I Finland har man hittills använt detekteringssystem baserade på videobildtolkning. Det har visat sig vara utmanande att uppnå tillförlitlighet speciellt i dåliga ljus- och omgivningsförhållanden, där de orsakat många onödiga alarm. Detta medför onödigt arbete för dejourerna och sänker alarmens trovärdighet. Målet för denna studie är att reda ut huruvida de radar-system baserade på mikrovågsteknik, som de senaste åren kommit ut på marknaden, eller system baserade på induktionslingor lämpar sig bättre än kamerabaserade system för de finländska förhållandena.

Kamera- och radarbaserade system följer kontinuerligt med händelserna i hela tunneln och störningar identifieras genom direkt detektering. Slingtekniken däremot observerar bara en del av störningarna indirekt på basen av punktvisa observationer och inte heller alla typer av störningar. Radar- och slingdetektorerna fungerar oberoende av omgivningsförhållandena, i motsats till de kamerabaserade.

Utomlands skiljer sig ofta funktionsomgivningen och förväntningarna från de i Finland. Det finns bara ett begränsat antal referensobjekt baserade på radar- och slingteknik i utländska tunnlar. Operatörernas erfarenheter är företrädesvis positiva.

Ett radarbaserat system levererat av Navtech pilottestades i normala trafikförhållanden under tre månader våren 2015 i det östra tunnelröret av Mästartunneln på Ring I i Esbo. Som referenssystem fungerade det kamerabaserade systemet levererat av Flir, som varit operativt i tunneln sedan tunnelns öppnande år 2011. Under pilottiden förorsakades de flesta alarmen i bägge systemen av långsamma fordon under eftermiddagsrusningen. Det kamerabaserade systemet observerade de faktiska störningarna rätt tillförlitligt. Radarsystemets tillförlitlighet stördes av reflexer i körfälten intill tunnelväggarna. Geometrin i Mästartunneln är krävande och en tillförlitlig funktion samt körfältsvis detektion skulle ha krävt fler radardetektorer än de tre, som användes i piloten. Mängden obefogade alarm var lågt i bägge systemen. På basen av piloten fungerade det väl intrimmade kamerasystemet som helhet bättre än radarsystemet. Radarsystemets funktion belastas av ett antal osäkerhetsfaktorer och på basen av piloten kan en anskaffning av radardetektorer inte motiveras i en krävande urban tunnel såsom Mästartunneln. Radardetektorer kan lämpa sig bättre för geometriskt enklare motorvägstunnlar.

De funktionella kraven för störningsdetektering i tunnlar bör uppställas omsorgsfullt och upphandlaren bör vara väl bevandrad i de olika lösningarnas egenskaper och begränsningar. Systemfunktionen är alltid en kompromiss mellan detekteringens tillförlitlighet och snabbhet i förhållande till mängden obefogade alarm. En i alla förhållande tillförlitlig detektering förutsätter korta avstånd mellan installationerna. I urbana tunnlar kan man överväga att utelämna detektering av långsamma fordon och tappade föremål från kravlistan i akt och mening att uppnå en tillförlitligare funktion med färre obefogade detekteringar.

Matti Huju and Jari Oinas: Incident detection system technologies in road tunnels. Finnish Transport Agency, Traffic and Information. Helsinki 2015. Research reports of the Finnish Transport Agency 72/2015. 138 pages and 4 appendices. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-317-190-9.

Summary

Incident detection systems (IDS) are automatic systems that detect pre-defined traffic disruptions and alert the road operator of them. In Finland roads and tunnels are operated centrally by the Finnish Transport Agency's (FTA) road traffic centre. In a tunnel environment it is essential to detect traffic incidents quickly and reliably in order to prevent accidents or mitigate their consequences. The most important incident types to detect are wrong-way drivers (ghost drivers) and stopped vehicles.

In Finland the only IDS technology used so far is based on video image processing. The systems have been problematic in challenging lighting and weather conditions and they have produced many unwanted false alarms. This has meant extra workload for the operator and undermined the credibility of alarms. The objective of this research was to find out if the new IDS technologies that have entered the market in the last years, based on microwave radar and induction loops, are more suitable for the Finnish conditions compared to the current camera based IDS.

Camera and radar based systems constantly monitor all of their observation areas and incidents are directly detected. The loop based system detects some incident types only indirectly based on point information from the loops. Recognizable incident types are also restricted. The radar and loop based systems are in principle independent of lighting and weather conditions unlike camera based system.

Operating environments and expectations abroad for the IDS are often different compared to Finland. There are not many reference tunnels where the relatively new radar and loop systems are used. The operator experiences of both technologies have been fairly positive.

Radar based technology supplied by Navtech was tested in the spring 2015 in a three month pilot in a 500 m long tunnel tube of Helsinki Ring Road I. Both the pilot radar and the current camera based Flir system were used under normal traffic conditions and all traffic alarms were evaluated from video recordings. The settings and parameters of the radar system were fixed a few times during the pilot in order to improve system functionality and test different functions. Most of the alarms of both systems were slow vehicle alarms during the afternoon rush hours. The camera based system detected stopped and wrong-way vehicle incidents fairly reliably. The radar's detection rate suffered from interference reflections and blind areas on the outermost driving lanes. The tunnel geometry was challenging and reliable functioning as well as lane-specific detections would have required more radars than the three used in the pilot. Both systems generated only few false alarms. On the basis of the pilot observations, the highly tuned camera based system worked better as a whole compared to the radar system. There are some uncertainties regarding the radar system's reliable function and it is not recommended to take radar systems in to operating use in urban tunnels with demanding geometry at least not before further testing. Motorway tunnels with simple geometry might be more suitable environments for radar systems.

The functional requirements set for tunnel IDS should be carefully considered and the client (FTA) should be aware of the features and constraints of different IDS technologies. A system's functionality is always a compromise between detection rate, detection delay and false alarm frequency. It is extremely important to use short enough device intervals to ensure reliable functioning in all conditions. In urban tunnels it should be considered to leave out slow vehicle and debris alarm types in order to improve system's functionality and reduce alarm amounts.

Esipuhe

Maantietunnelien häiriönhavaintojärjestelmien (HHJ) tekniikoiden ominaisuuksia ja sopivuutta erilaisiin tunneliympäristöihin Suomessa ei ole aikaisemmin järjestelmällisesti selvitetty. Suomessa tähän asti käytetyn, videokuvan tulkintaan perustuvan tekniikan rinnalle markkinoille on viime vuosina tullut tutka- ja silmukatekniikkaan perustuvia häiriönhavaintojärjestelmiä. Projektin esiselvitysvaiheen kesällä 2013 valmistuneessa loppumuistiossa suositeltiin tutkapohjaisen tekniikan pilotointia Suomessa. Kolme kuukautta kestänyt tutkapohjaisen järjestelmän pilotti järjestettiin keväällä 2015 Kehä I Mestarintunnelin itäisessä tunneliputkessa.

Hankkeen teoriaosassa on selvitetty eri HHJ-tekniikoiden tekninen toiminta ja ominaisuudet sekä niiden käytöstä Suomesta ja ulkomailta saadut kokemukset. Raportin pilottia käsittelevässä osassa on esitetty Mestarintunnelin pilotin tulokset ja niistä tehdyt johtopäätökset. Lisäksi projektissa on kartoitettu tieliikennekeskuksen käyttäjätarpeet HHJ:ille ja arvioitu eri tekniikoiden soveltuvuutta niiden pohjalta pilotin havaintojen ja tekniikoiden yleisten ominaisuuksien ja rajoitteiden perusteella.

Loppuraporttia ja siinä esitettyjä suosituksia on tarkoitus hyödyntää suunnittelun tukena tulevissa HHJ-hankkeissa käytettävää tekniikkaa valittaessa sekä häiriönhavaintojärjestelmien yleisten teknisten ja toiminnallisten laatuvaatimusten laadinnassa.

Selvitys on jakautunut kolmeen osioon seuraavasti:

1. Esiselvitysvaihe vuonna 2013, teettäjä Valtti (KAS-ELY:n valtakunnallinen telematiikkayksikkö), jossa vastuuhenkilönä Raine Sallinen
2. Pilotin tulosten käsittely ja päätelmät vuonna 2015, teettäjä Liikennevirasto, vastuuhenkilönä Kalle Ruottinen
3. Tieliikennekeskuksen käyttäjätarpeiden kartoitus ja eri tekniikoiden soveltuvuuden arviointi niiden pohjalta 2014–2015, teettäjä Liikennevirasto, vastuuhenkilönä Sami Luoma

Liikenneviraston projekteissa (osiot 2 ja 3) työtä ohjasi ohjausryhmä, johon kuului Kalle Ruottisen ja Sami Luoman lisäksi Mika Jaatinen (Liikennevirasto).

Selvitystyön on tehnyt ja raportin kirjoittanut Traficon Oy, jossa siitä pääosin vastasi Matti Huju. Lisäksi työhön ovat osallistuneet Jari Oinas, Kristian Appel, Tomi Ristola ja Caj Holm.

Selvityksen kirjallisia tietolähteitä ovat olleet mm. alan seminaariesitelmien tiivistelmät, eurooppalaisen HHJ-selvitystyöryhmä RAIDERin raportit sekä eri HHJ-valmistajien markkinointimateriaali ja käyttöohjeet. Ulkomaiden kokemuksia ja järjestelmien toiminnan yksityiskohtia on selvitetty sähköposti- ja puhelinhaastatteluin. Suomalaisia kokemuksia ja kamerapohjaisen järjestelmän toimintaa on selvitetty kasvotusten tehdyissä haastatteluissa. Tieliikennekeskuksen käyttäjätarpeet kirjattiin Helsingin tieliikennekeskuksen päällikön Mika Jaatinen ja muun ohjausryhmän kanssa pidetyissä palavereissa.

Helsingissä joulukuussa 2015

Liikennevirasto
Liikenne ja tieto -toimiala

Sisällysluettelo

Terminologia	10
1 JOHDANTO	12
1.1 Selvityksen lähtökohdat ja tavoitteet	12
1.1.1 Tausta 12	
1.1.2 Tavoitteet.....	13
1.2 Työmenetelmä	13
2 MAANTIETUNNELEIDEN TYYBIT JA TUNNELIEN TURVALLISUUS	14
2.1 Moottoritietunneli	15
2.2 Kaupunkiseudun tunneli	15
3 VAATIMUKSET JA OHJEET HHJ:N KÄYTÖLLE	17
3.1 Vaatimukset.....	18
3.2 Suunnitteluohjeet.....	19
3.3 Hankekohtaiset suunnitteluperusteet	20
3.4 Hankekohtaiset tuotevaatimukset	20
4 TUNNELIEN OPEROINTI JA HÄIRIÖNHAVAINTOJÄRJESTELMIEN KÄYTTÖ SUOMESSA JA ULKOMAILLA	21
4.1 Häiriönhavaintojärjestelmien käyttö	21
4.2 Operointiperiaatteet Suomessa.....	22
4.3 Operointiperiaatteet ulkomailla	24
5 PERUSTIEDOT ERI TEKNIKOISTA JA OMINAISUUKSISTA	25
5.1 Kamerapohjainen HHJ	26
5.2 Tutkapohjainen HHJ.....	30
5.3 Silmukkapohjainen HHJ	34
5.4 Muut tekniikat	37
6 HHJ:T SUOMEN TUNNELEISSA	38
6.1 Yleistä	38
6.2 Isokylä (E18).....	38
6.3 Mestarintunneli.....	40
6.4 Vuosaari	42
6.5 Karnaisten tunneli	43
6.6 Yksinkertaiset silmukkapohjaiset ratkaisut	44
7 ULKOMAISET HHJ-SELVITYKSET JA KOKEMUKSET	45
7.1 Tukholma (kamera ja tutka)	45
7.2 Norja (tutka)	46
7.2.1 Esiselvitys.....	46
7.2.2 Käyttökokemukset tutkasta.....	46
7.3 Hindhead, Englanti (tutka)	47
7.4 Hampuri, Saksa (kamera ja silmukka).....	48
7.5 Felbertauern, Itävalta (silmukka).....	50
7.6 Attica, Kreikka (kamera).....	50
8 TIELIIKENNEKESKUKSEN KÄYTTÄJÄTARPEET HHJ:LLE	53
8.1 Yleistä	53
8.2 Haastattelut	54

8.3	Havaintotoimintoihin liittyvät keskeiset käyttäjätarpeet.....	55
9	KÄYTTÄJÄTARPEET ULKOMAILLA	57
9.1	Yleistä	57
9.2	Tukholman toiminnalliset vaatimukset.....	58
10	PILOTTI	60
10.1	Pilotin tavoitteet	60
10.2	Mestarintunnelin geometria ja ominaispiirteet	60
10.3	Tutkajärjestelmän asennus ja käyttöönotto	62
10.3.1	Pilotin osapuolet.....	62
10.3.2	Pilotin käytännön toteutus	62
10.3.3	Järjestelmän asennustyöt	63
10.3.4	Käyttöönottotilaisuus / SAT-testi 23.–24.2.15	63
10.3.5	Kokemukset asennuksesta ja käyttöönotosta.....	64
10.4	Kuvaus järjestelmien asetuksista, havaintokriteereistä ja -ajoista.....	65
10.4.1	Mestarintunnelin tuotevaatimukset.....	65
10.4.2	Flirin toiminta.....	65
10.4.3	Navtechin toiminta.....	68
10.4.4	Navtechin asetusmuutokset pilotin aikana	70
10.4.5	Tekniset haasteet	71
10.5	Tulosten käsittely	72
10.5.1	Periaatteet	72
10.5.2	Kunnossapitotöistä aiheutuvien hälytysten karsinta	73
10.5.3	Ruuhkasta aiheutuneiden hälytysten karsinta 10.–22.3.....	73
10.6	Navtechin palaverit	73
10.7	Liikennehäiriöt pilotin aikana.....	74
10.8	Keskeiset tulokset ja havainnot	80
10.8.1	Hälytysten kokonaismäärä	81
10.8.2	Hitaan ajoneuvon hälytykset.....	81
10.8.3	Pysähtyneen ajoneuvon hälytykset.....	88
10.8.4	Pudonneen esineen hälytykset	94
10.8.5	Väärään suuntaan ajavan ajoneuvon hälytykset	96
10.8.6	Säätötilan vaikutus hälytyksiin	96
10.8.7	Liikennemäärän vaikutus hälytyksiin	102
10.8.8	Keskinopeuden vaikutus hälytyksiin	104
10.8.9	RTJ-silmukoiden varausasteiden vaikutus hälytysmääriin	106
10.8.10	Aiheettomat hälytykset	112
10.8.11	Tunnuslukuja ja tuotevaatimusten täytyminen.....	115
10.9	Yhteenveto pilotin tuloksista.....	119
10.10	Tulosten vertailu	121
10.10.1	Flir 121	
10.10.2	Navtech.....	122
11	TIELIIKENNEKESKUKSEN KÄYTTÄJÄTARPEIDEN TÄYTTYMINEN.....	124
12	MUITA NÄKÖKOHTIA	127
12.1	Kustannukset ja elinkaari.....	127
12.2	Järjestelmien käyttöönotto ja viritys.....	129
12.3	Tekninen luotettavuus	130
13	JOHTOPÄÄTÖKSET JA SUOSITUKSET JATKOTOIMENPITEIKSI	131

LIITTEET

- Liite 1 Pilotin tulokset – esimerkki taulukon käytöstä
- Liite 2 Tulostenkäsittelyperiaatteet / tulostenkeruutaulukon lukuohjeet
- Liite 3 Tieliihennkeskuksen käyttäjätarpeet häiriönhavaintojärjestelmille – taulukko
- Liite 4 Haastatteluiden aiheet

Terminologia

Taulukossa 1 on selitetty raportissa käytetyt keskeiset termit.

Taulukko 1. Termien selitykset.

Termi	Selitys
Aiheeton hälytys	Hälytys, jonka ei voida todeta aiheutuneen liikennehäiriöstä, liikenteen ruuhkautumisesta tai tien tai tunnelin kunnossapitotöistä.
Aiheettomien hälytysten määrä	Aiheettomien hälytysten määrä tietyllä ajanjaksolla koko tunnelissa tai tiettyä tien pituusyksikköä (esim. kilometri) tai havaintolaitetta kohden. Yksi häiriönhavaintojärjestelmän (HHJ) suorituskyvyn mittareista.
Havaintoalue	Ilmaisimen kattama alue (NVF 2012). Alue, jolta häiriönhavaintojärjestelmä tai sen yksittäinen havaintolaite, kuten kamera tai tutka, on asettu havaitsemaan liikennehäiriöt ja tekemään niistä hälytyksen.
Havaintoluotettavuus	Prosenttiluku, joka kertoo, kuinka suuren osan tietyllä seurantajaksolla tapahtuneista todellisista liikennehäiriöistä järjestelmä on havainnut. Yksi HHJ:n suorituskyvyn mittareista.
Havaintonopeus	Häiriön todellisen tapahtuma-ajan ja hälytyksen välinen aikaero. Yksi HHJ:n suorituskyvyn mittareista.
Havaintotarkkuus	Etäisyys järjestelmän ilmoittaman liikennehäiriön tapahtumapaikan ja häiriön todellisen tapahtumapaikan välillä. Yksi HHJ:n suorituskyvyn mittareista.
HHJ / Häiriönhavaintojärjestelmä / Häiriönhavaitsemisjärjestelmä	Automaattinen järjestelmä, joka tunnistaa määrätyt liikennehäiriöt ja tekee niistä hälytyksen tai herätteen tunnelin operoijalle, Suomessa Liikenneviraston tieliikennekeskukselle.
Hidas ajoneuvo	Alle tietyn rajanopeuden tai huomattavasti muuta liikennettä hitaammin ajava ajoneuvo.
Kaistaosuus	Tunnelin tietyn ajokaistan tai pientareen tiettyjen paalulukujen välinen osuus.
Katvealue	Tietyn havaintolaitteen tai järjestelmän havaintoalueen osa, jossa havaintoluotettavuus on merkittävästi heikentynyt.

Liikennehäiriö	Poikkeuksellinen ja ennalta arvaamaton liikennetilanne, joka haittaa liikennettä (mukaan lukien onnettomuus) (NVF 2012). Esimerkkejä ovat onnettomuus; pysähtynyt, hidas tai väärään suuntaan ajava ajoneuvo ja ajoradalle pudonnut esine tai muu este.
Pudonnut esine / ajoradalla oleva este	Ajoradalla oleva esine tai muu este, joka vaikuttaa liikenteen sujuvuuteen ja / tai turvallisuuteen.
Pysähtynyt ajoneuvo	Ajoradalle tai pientareelle pysähtynyt ajoneuvo.
Seurantajakso	Tietty aikaväli, esimerkiksi viikko tai kuukausi, jolta häiriönhavaintojärjestelmän toiminta tilastoidaan. Seurantajaksojen avulla voidaan vertailla eri HHJ:ien toimintaa tai saman järjestelmän toiminnan muutoksia.
Säätöjakso	HHJ:n käyttöönoton jälkeinen ajanjakso, jonka aikana järjestelmän toiminta säädetään vastaamaan mahdollisimman hyvin järjestelmälle ja sen operoinnille asetettuja toiminnallisia vaatimuksia. Pituudeltaan tyypillisesti muutamasta kuukaudesta vuoteen.
Tunnelijakso / Havainto-osuus	Tunneliputken tiettyjen paalulukujen välinen osuus, joka kattaa kaikki ajokaistat ja pientareet.
Väärään suuntaan ajava ajoneuvo	Ajoradan tai -kaistan liikennesuunnan vastaisesti ajava ajoneuvo.

1 Johdanto

1.1 Selvityksen lähtökohdat ja tavoitteet

1.1.1 Tausta

Suomessa on viime vuosina rakennettu lisääntyvässä määrin uusia tietunneleita. Tunnelleiden määrän voidaan olettaa kasvavan myös lähitulevaisuudessa luontorvojen ja kaupunkiseuduilla myös tilanpuutteen, yhdyskuntakuntarakenteen eheyttämisen ja maanhinnan nousun vuoksi.

Tietunneleissa tapahtuvat onnettomuudet voivat olla seurauksiltaan huomattavan vakavia. Häiriöiden nopea havaitseminen tunneleissa on tärkeää, jotta häiriöiden tai onnettomuuksien seuraukset voidaan minimoida liikenteenohjaustoimenpiteillä ja tarvittavat pelastustoimet saadaan käynnistettyä nopeasti. Häiriönhavaintojärjestelmät (HHJ) ovat automaattisia järjestelmiä, jotka tunnistavat määrätyt liikennehäiriöt ja tekevät niistä hälytyksen tai herätteen tunnelin operoijalle, Suomessa Liikenneviraston tieliikennekeskukselle.

Suomessa on tähän asti käytetty vain videokuvan tulkintaan perustuvia kamerapohjaisia HHJ:iä. Nykyisin niitä on käytössä kolmessa maantietunnelissa. Järjestelmät eivät ole toimineet toivotulla tavalla. Erityisesti haastavat valaistus- ja sääolot ovat tuottaneet kamerapohjaiselle järjestelmälle haasteita ja järjestelmät ovat tuottaneet runsaasti aiheettomia hälytyksiä. Aiheettomat hälytykset tuottavat tieliikennekeskuksen päivystäjälle (liikennepäivystäjä) ylimääräistä työtä ja heikentävät hälytysten uskottavuutta.

Viime vuosina markkinoille on tullut tutka- ja silmukkapohjaisia häiriönhavaintojärjestelmiä, joiden toiminta on lähtökohtaisesti riippumaton ympäristöolosuhteista. Näin ne saattaisivat soveltua tieliikennekeskuksen tarpeisiin kameratekniikkaa paremmin. Myös hankinta- ja ylläpitokustannukset saattaisivat olla kameratekniikkaa alhaisempia. Vähäisten ulkomaisten referenssien ja suomalaisten tunnelien ulkomaisista eroavien olosuhteiden ja toimintaodotusten vuoksi luotettavia päätelmiä tutka- ja silmukatekniikoiden soveltuvuudesta Suomeen voidaan tehdä vain niiden testaamisen perusteella.

Kaakkois-Suomen ELY-keskuksen valtakunnallinen telematiikkayksikkö Valtti teetti kesällä 2013 Traficon Oy:llä esiselvityksen, jossa verrattiin eri HHJ-tekniikoiden ominaisuuksia ja ulkomaiden kokemuksia. Esiselvityksen loppumuistiossa suositeltiin tutkapohjaisen järjestelmän pilottia, sillä tekniikalla kyetään vastaamaan Suomessa käytettyihin toiminnallisiin vaatimuksiin lähtökohtaisesti silmukatekniikkaa paremmin.

Liikennevirasto järjesti keväällä 2015 Kehä I Mestarintunnelin itäisessä tunneliputkessa kolme kuukautta kestäneen Navtechin tutkapohjaisen HHJ:n pilotin, jossa verrattiin tutkajärjestelmän ja tunnelin operoinnissa käytetyn Flirin kamerapohjaisen tekniikan toimintaa normaaleissa liikenneoloissa.

1.1.2 Tavoitteet

Selvityksen tavoitteena oli selvittää, toimisiko jokin vaihtoehtoinen HHJ-tekniikka Suomen olosuhteissa tähän asti käytössä ollutta kamerapohjaista tekniikkaa paremmin. Soveltuvuuden arviointi perustuu eri tekniikoiden ominaisuuksiin ja rajoitteisiin, Suomesta ja ulkomailta saatuihin käytännön kokemuksiin sekä Mestarintunnelin pilotin tuloksiin ja havaintoihin.

Pilotin yhteydessä oli tarkoitus saada tutkajärjestelmän toiminnan lisäksi kokemuksia järjestelmän käyttöönotosta ja tarvittavasta säätöjaksosta. Hankkeessa kartoitettiin lisäksi tieliikennekeskuksen HHJ:n toimintaan liittyvät käyttäjätarpeet. Käyttäjätarvelistausta käytettiin myös eri tekniikoiden soveltuvuuden arvioinnissa.

Selvityksen päätelminä esitettiin suositukset eri tekniikoiden soveltuvuudesta erilaisiin tunneliympäristöihin sekä suunnittelussa huomioitavista reunaehdoista ja näkökohdista.

Selvityksen tuloksia ja suosituksia voidaan hyödyntää tulevissa HHJ-hankkeissa suunnittelun tukena käytettävän tekniikan valinnassa sekä laatuvaatimusten laadinnassa.

1.2 Työmenetelmä

Eri HHJ-tekniikoiden tekniset toimintaperiaatteet, ominaisuudet ja rajoitteet kartoitettiin kirjallisuuskatsauksen, järjestelmien markkinointimateriaalin ja käyttöohjeiden sekä laiteoimittajien sähköpostihaastatteluiden perusteella.

Suomalaisista ja ulkomaisista tunneleista saadut kokemukset selvitettiin kasvotusten tai sähköpostitse tehdyillä haastatteluilla. Lisäksi hyödynnettiin HHJ:ien toiminnasta laadittuja raportteja ja muistioita.

Tieliikennekeskuksen käyttäjätarpeet kartoitettiin projektin ohjausryhmän kanssa pidetyissä palavereissa.

Tutkapohjaisen järjestelmän pilotin tulokset käsiteltiin tarkastamalla kamerapohjaisen Flirin ja tutkapohjaisen Navtechin tuottamat liikennetilannehälytykset liikenne- ja HHJ-kameratallenteista. Pilotin toteutus ja tulosten käsittelytavat on kuvattu tarkemmin raportin luvussa 10.

2 Maantietunneleiden tyypit ja tunnelien turvallisuus

Tunneleissa tapahtuvien onnettomuuksien seuraukset voivat olla huomattavan vakavia erityisesti tulipalotilanteissa. Eurooppalaisissa maantietunneleissa tapahtui vuosituhannen vaihteessa useita vakavia tunnelionnettomuuksia. Vakavimpia olivat vuonna 1999 tapahtuneet Mont-Blancin (38 kuollutta) ja Tauernin (12 kuollutta) tunnelien onnettomuudet sekä Gotthardin (11 kuollutta) tunnelin onnettomuus vuonna 2001. Onnettomuuksien jälkeen tunneliturvallisuuteen on alettu kiinnittää aiempaa enemmän huomiota ja EU:n Tietunnelidirektiivissä (2004/54/EY) on esitetty useita tunneliturvallisuuden parantamiseen tähtääviä vaatimuksia.

Kansainvälisten tutkimusten perusteella onnettomuuksien todennäköisyyden ei voida sanoa olevan tunneliympäristössä avo-osuutta suurempi, mutta seurauksiltaan tunnelionnettomuudet ovat usein vakavampia. Tunnelissa olevien liittymis- tai erkänemisrampin on todettu lisäävän onnettomuuksien todennäköisyyttä. Onnettomuudet ovat yleisimpiä tunnelien suuaukoilla ja sukeltavan tunnelin pohjalla. Myös tunneliseinät ajoradan lähellä, lyhyet näkemät ja valaistuserot suuaukoilla ovat tunnelien riskitekijöitä. Turvallisuutta voidaan parantaa huomioimalla em. tekijät tunnelin suunnittelussa, esimerkiksi leveiden pientareiden avulla. (SWOV 2011.)

Nussbaumer (2007) totesi tutkimuksessaan, että liikenneturvallisuus on huomattavasti parempi tunneleissa, joissa eri ajosuunnat ovat omissa tunneliputkissaan, kuin kaksisuuntaisissa tunneliputkissa.

PIARC (Maailman tieyhdistys), UNECE (YK:n Euroopan talouskomissio) ja EU ovat yhteisesti määritelleet tunneliturvallisuuden keskeisimmiksi tavoitteiksi: (PIARC 2015.)

- Vakavien onnettomuuksien ennaltaehkäisy
- Onnettomuuksien seurausten lieventämisen

Molempien tavoitteiden täyttymisen osalta häiriöiden nopea havaitseminen on kriittisen tärkeää, jotta tarvittaviin liikenteenohjaustoimenpiteisiin ja mahdollisiin pelastustoimiin voidaan ryhtyä niin nopeasti kuin mahdollista. Esimerkkejä liikenteenohjaustoimenpiteistä ovat takana tulevan liikenteen varoittaminen, nopeusrajoituksen laskeminen tai tarvittaessa ajokaistojen tai koko tunneliputken sulkeminen.

Suomen tunneleissa keskeisiä turvallisuuteen liittyviä näkökohtia ja havaintoja ovat (Velhonoja 2010):

- Suomessa turvallisuusajattelun tärkein lähtökohta on onnettomuuksien ennaltaehkäisy
- Tärkein turvallisuustekijä on kaksi tunneliputkea
- Tilastojen valossa ajoneuvopaloista vain harva johtaa vakaviin vahinkoihin
- Onnettomuuksien vakavuusaste on tunneleissa yleensä hieman korkeampi kuin avo-osuuksilla
- Riskianalyysien teko ja tunneliturvallisuuden arviointi on haastavaa
- Kaikkia tunnelionnettomuuksia ei voida mitenkään poistaa rakentamisratkaisuilla tai tekniikalla → turvallisuusnäkökulmaa ei tule liioitella tai ylikorostaa, vaan rakentamisen ja ylläpidon kustannustehokkuus tulee huomioida

Tunneleiden ominaispiirteet vaikuttavat niissä tapahtuvien häiriöiden vakavuuteen ja yleisyyteen. Maantietunnelit voidaan luokitella kahteen perusr ryhmään, moottoritietunneleihin ja kaupunkiseudun tunneleiden. Tunnelityyppien ominaispiirteet on kuvattu luvuissa 2.1 ja 2.2. Tunnelityyppien ominaispiirteet kartoitettiin yhdessä projektin ohjausryhmän kanssa.

2.1 Moottoritietunneli

Suomalaisen moottoritietunnelin keskeisiä ominaisuuksia ovat:

- Kaksiputkinen tunneli
- Kaksi kaistaa / tunneliputki, leveä piennar
- Nopeusrajoitus tunnelin kohdalla enintään 100 km/h, poikkeuksena eräät lyhyet tunnelit
- Liikenne ruuhkautuu harvoin ilman erillistä häiriötä

Korkeiden ajonopeuksien vuoksi nopeuserot normaalirajoituksen mukaan ajavan ja hitaan tai pysähtyneen ajoneuvon välillä ovat suuria, mikä aiheuttaa vaaratilanteita. Siksi liikennehäiriöt tulisi moottoritieolosuhteissa havaita mahdollisimman nopeasti. Myös törmäykset ajoradalle pudonneisiin esineisiin ja väistöliikkeet ovat suurissa nopeuksissa vaarallisia.

Moottoritietunnelien leveät pientareet tarkoittavat, että teknisen vian vuoksi pysähtyneet ajoneuvot pääsevät yleensä pysähtymään kokonaan tai pääosin ajokaistojen ulkopuolelle, joten ne eivät välttämättä edellytä takana tulevalta liikenteeltä pysähtymistä tai nopeita kaistanvaihtoja.

Suomessa moottoritietunneleita on E18-moottoritieellä (11 kpl), Vt3:lla Hämeenlinnassa sekä Vt9:lla Tampereella.

2.2 Kaupunkiseudun tunneli

Kaupunkiseudun tunnelin tunnusomaisia piirteitä ovat:

- Kaksiputkinen tunneli.
- 2–4 kaistaa / tunneliputki
- 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
- Liittymät ovat yleensä eritasoliittymiä suuren liikennemäärän takia.
- Liittymät usein lähellä tunnelin sisään- ja ulosajoa
- Liikenne tunnelissa ruuhkautuu ajoittain suuren liikennemäärän takia joko tunnelin tai tunnelin jälkeisen tieosuuden välityskyvyn ylittyessä

Kaupunkiseudun tunnelissa liikenteen ruuhkautuminen ja jonon pysähtyminen tunneliin on yleistä. Normaalista poikkeava ajokäyttäytyminen (peruuttaminen, U-käännökset, tarpeeton pysähtyminen) on yleisempää kuin moottoritietunneleissa. Nopeudet ovat moottoritietunneleita merkittävästi alhaisempia, joten ajoradalle pudonnut pienikokoinen esine ei aiheuta välitöntä vaaraa.

Suomessa kaupunkiseudun tunneleita ovat esimerkiksi Mestarintunneli (Kehä I), Hiidenkallion tunneli (Kehä II) ja Vuosaaren tunneli. Tampereelle rakennetaan parhaillaan Rantaväylän tunnelia, joka tulee olemaan niin ikään kaupunkiseudun suuren liikennemäärän tunneli.

3 Vaatimukset ja ohjeet HHJ:n käytölle

Tunneleiden turvallisuutta ja samalla häiriönhavaintojärjestelmien hankintaa ja toimintaa koskevat vaatimukset ja ohjeet ovat moniportaiset. Ylin porras on Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2004/54/EY (jäljempänä ”Tietunnelidirektiivi”). Tietunnelidirektiiviä on täydennetty kansallisilla ohjeistuksilla. Direktiivi ja kansalliset ohjeistukset määrittävät vähimmäisvaatimukset, jotka tunnelin tulee vähintään täyttää. Lisäksi jokaisessa tunnelihankkeessa määritetään urakkakohtaiset suunnitteluperusteet ja tuotevaatimukset.

HHJ:n hankintaan ja suunnitteluprosessiin on määritetty vaatimuksia ja ohjeita seuraavissa asiakirjoissa:

- Tunnelidirektiivi 2004/54/EY
- Tietunnelin hallinnointi ja turvallisuutta koskevat määräykset ja ohjeet, Liikenneviraston ohjeita 14/2014 (Liikennevirasto 2014.)
- Tietunnelien liikenteenhallinnan palvelutasot, Liikenneviraston toimintalinjoja 2/2015 (Liikennevirasto 2015a.)
- Liikenteen hallinta osana tienpitoa – Suunnitteluohje koekäyttöön (Tiehallinto 2005a.)
- Tien rakennussuunnitelma – sisältö ja esitystapa, Liikenneviraston ohjeita 44/2013 (Liikennevirasto 2013)
- Tietunnelin suunnitteluohje, luonnos 0.92 (Tiehallinto 2005b.)



Kuva 1. HHJ:n hankinta- ja suunnitteluprosessin kulku

3.1 Vaatimukset

Tietunnelidirektiivi 2004/54/EY

Tietunnelidirektiiviä sovelletaan kaikkiin Euroopan laajuisen tieverkon (TERN) yli 500 metrin pituisiin, käytössä, rakenteilla tai suunnitteluvaiheessa oleviin tunneleihin.

Direktiivissä on häiriönhavaintojärjestelmiin liittyen määritetty seuraavaa:

2.13.1 Valvontakeskus on rakennettava kaikkiin yli 3000 metriä pitkiin tunneleihin, joissa liikenteen määrä ylittää 2000 ajoneuvoa kaistaa kohti.

2.13.2 Useiden tunnelien valvonta voidaan keskittää yhteen valvontakeskukseen.

2.14.1 Kaikkiin tunneleihin, joissa on valvontakeskus, on asennettava videoseuranta-järjestelmä ja järjestelmä, joka pystyy automaattisesti havaitsemaan liikenteessä esiintyvät vaaratilanteet (kuten pysähtyneet autot) ja/tai tulipalot.

Suomessa lähes kaikki uudet maantietunnelit ovat tieliikennekeskuksen aktiivisessa seurannassa, eli niissä on direktiivissä tarkoitettu valvontakeskus. Direktiivi edellyttää, että tällaisiin tunneleihin asennetaan automaattinen videoseurantajärjestelmä sekä vaaratilanteet ja/tai tulipalot havaitseva järjestelmä. Direktiivi ei edellytä HHJ:n asentamista, vaan esimerkiksi tulipalot tunnistava palokuitu riittää vaatimusten täyttämiseen.

Tietunnelin hallinnointi ja turvallisuutta koskevat määräykset ja ohjeet (Liikenneviraston ohjeita 14/2014)

Julkaisussa esitetyt määräykset ja ohjeet perustuvat Tietunnelidirektiiviin, sen täytäntöön panemiseksi annettuihin kansallisiin säädöksiin sekä Suomessa käytössä oleviin käytäntöihin. Toisin kuin Tietunnelidirektiiviä, ohjetta sovelletaan myös muihin kuin TERN-verkon tunneleihin, kaikkiin kalliotunneleihin ja yli 100 m pituisiin betonitunneleihin. Dokumentissa määritetään mm. seuraavaa:

Tunneleilla, joiden pituus on yli 3000 m, tulee aina olla valvontakeskus.

Kamerajärjestelmä, jolla seurataan tapahtumia tunnelissa, asennetaan kaikkiin tunneleihin, joissa on valvontakeskus. Automaattinen häiriönhavaintojärjestelmä ja/tai paloilmainsinjärjestelmä, joka pystyy havaitsemaan liikenteessä esiintyvät vaaratilanteet ja/tai tulipalot asennetaan aina yli 3000 metriä pitkiin tunneleihin ja muihin tunneleihin tarpeen mukaan.

HHJ:n hankinnalle ei siis aseteta myöskään kansallisessa ohjeistuksessa vaatimuksia, vaan järjestelmän tarve ja toteutus on jätetty hankekohtaisesti päätettäväksi.

3.2 Suunnitteluohjeet

Tietunneleiden liikenteenhallinnan palvelutasot (Liikenneviraston toimintalinjoja 2/2015)

Julkaisussa määritetään tietunnelien liikenteenhallinnan valtakunnalliset palvelutasotavoitteet. Tietunnelit on jaettu dokumentissa liikenteenhallinnan näkökulmasta kolmeen toimintaympäristöluokkaan: Vilkasliikenteisiin kaupunkiseudun pääväyliin, korkean nopeustason pääväyliin sekä muuhun tieverkkoon.

Häiriönhavaintojärjestelmä ei kuulu missään toimintaympäristöluokassa tunnelin liikenteenhallinnan perustasoon, vaan pistemäinen tai kattava häiriönhavaintojärjestelmä mainitaan keinona nostaa tunnelin palvelutasoa.

Toimintalinjassa listattuja perusteita nostaa palvelutasoa perustasosta:

- Tunneli on pitkä
- Liikennemäärät ovat suuret
- Häiriöitä on paljon (esim. raskaan liikenteen suuren määrän vuoksi)
- Häiriötilanteissa tunneliin jää paljon ajoneuvoja

Liikenteen hallinta osana tienpitoa – Suunnitteluohje koekäyttöön

Kyseessä on yleisohje, joka kuvaa miten liikenteen hallinta huomioidaan hankkeen eri suunnitteluvaiheissa. Ohje on monilta osin vanhentunut ja on tarkoitus uusia lähivuosina.

Tien rakennussuunnitelma – sisältö ja esitystapa (Liikenneviraston ohjeita 44/2013)

Dokumentissa kuvataan tien rakennussuunnitelman asiakirjat sekä niiden sisältö ja esitystapa.

Ohjeen mukaan häiriönhavaintojärjestelmälle asetettavat vaatimukset sisältyvät telematiikkalaitteiden teknisiin ja toiminnallisiin vaatimuksiin.

Tietunnelin suunnitteluohje (luonnos 0.92, 12.1.2005)

Tietunnelin suunnitteluohje on Tiehallinnon laatima ohje, josta viimeisiin saatavilla oleva versio on 12.1.2005 päivätty luonnos. Ohje ei ole enää virallinen, mutta sitä on käytetty tukena tietunneleiden suunnittelussa ja vaatimusten määrittelyssä ja siinä on esitetty hyödyllisiä näkökulmia. Ohjeen HHJ:ien hankintaa ja tarvetta koskevat vaatimukset eivät enää päde, vaan voimassa olevat vaatimukset on määritetty muissa Liikenneviraston dokumenteissa.

3.3 Hankekohtaiset suunnitteluperusteet

Suunnitteluperusteet on asiakirja, johon on koottu suunnittelukohteen tilaajan asettamat tavoitteet, lähtökohdat sekä sellaiset suunnittelua ohjaavat tekniset asiat, joissa on tehty päätöksiä joko aiemassa suunnitteluvaiheessa tai muutoin ennen varsinaisen suunnittelutyön käynnistymistä. Suunnitteluperusteet tarkentuvat hankkeen koko suunnitteluprosessin ajan suunnitteluvaiheesta toiseen siirryttäessä aina esisuunnitteluvaiheesta rakennussuunnitteluun. (Liikennevirasto 2011.)

3.4 Hankekohtaiset tuotevaatimukset

Häiriönhavaintojärjestelmän tuotevaatimukset määritetään väylän ja tunnelin rakennussuunnitteluvaiheessa.

Tuotevaatimuksissa määritetään häiriönhavaintojärjestelmälle tekniset ja toiminnalliset laatuvaatimukset. Toiminnallisissa vaatimuksissa esitetään muun muassa järjestelmältä edellytettävät havaintokriteerit, havaintonopeudet, luotettavuus sekä sallittava aiheettomien hälytysten määrä. Lähtökohdana ovat tunnelin ominaisuudet, käytävissä olevat resurssit sekä markkinoilla olevien HHJ:ien ominaisuudet. Tuotevaatimuksissa voidaan myös edellyttää tietyn HHJ-tekniikan käyttöä tai sulkea pois jokin / jotkin tekniikat.

4 Tunnelien operointi ja häiriönhavaintojärjestelmien käyttö Suomessa ja ulkomailla

4.1 Häiriönhavaintojärjestelmien käyttö

Suomessa on nykyisin käytössä videokuvan tulkintaan perustuva häiriönhavaintojärjestelmä kolmessa tunnelissa: E18 Karnaisten tunnelissa, Kehä I Mestarintunnelissa ja Vuosaaren tunnelissa Vuosaaren satamatiellä. Vastaava kamerapohjainen järjestelmä oli käytössä myös E18 Isokylän tunnelissa vuosina 2003–2011. Parhaillaan rakenteilla olevaan Vt12 Rantaväylän tunneliin Tampereella on myös tulossa kamerapohjainen HHJ. Muita kehittyneitä HHJ-tekniikoita ei Suomessa ole käytetty. Kaikki Suomessa käytettävät kamerapohjaiset häiriönhavaintojärjestelmät ovat yhdysvaltalaisen FLIR Systemsin (aikaisemmin belgialainen Traficon) toimittamia.

Valtatiellä 3 Hämeenlinnan tunnelissa ja valtatiellä 7 (E18) Markkinmäen tunnelissa käytetään yksinkertaisia induktiosilmukoihin perustuvia hitaasti ajoneuvotunnistavia järjestelmiä. Järjestelmät eivät ole valmiita kaupallisia tuotteita vaan a.o. tunnelin automaatiojärjestelmän ohjelmoijan toteuttamia. Yksinkertaisia silmukkapohjaisia ratkaisuja käytetään myös Husulan ja Kolsilan tunneleissa Haminan ohikulkutiellä (Vt7 / E18).

Euroopan tunneleissa kamerapohjainen HHJ on laitetoimittajien referenssien perusteella selvästi yleisin tekniikka.

Viime vuosina tutkapohjaiset HHJ:t ovat yleistyneet ulkomailla. Tutkajärjestelmä on käytössä ainakin Hindheadin tunnelissa Englannissa sekä Byfjordin ja Mastrafjordin tunneleissa Norjassa. Lisäksi tutkia on testattu Södra Länkenin tunnelissa Tukholmassa.

Ilmaisinsilmukoihin perustuva kehittyneempi, myös yksittäiset pysähtyneet ajoneuvotunnistava HHJ on käytössä ainakin Felbertauernin tunnelissa Itävallassa ja Elbetunnelissa Hampurissa. Yksinkertaisia silmukkapohjaisia ratkaisuja, jotka eivät ole kokonaisvaltaisia häiriönhavaintojärjestelmiä, saattaa olla käytössä monessa tunnelissa. Niiden määrästä ei kuitenkaan ole tietoa.

Taulukko 2. Selvityksessä käsitellyt koti- ja ulkomaiset tunnelit ominaispiirteineen.

Tunneli	Pituus (km)	Kais-toja	Nopeus-taso (km/h)	Liikenne-määrä 2014 (KVL)	HHJ
Mestarintunneli, Kehä I	0,5	4+4	60	70 000*	Kamera
Karnaisten tunneli, Vt1 / E18	2,3	2+2	100	14 600	Kamera
Vuosaaren tunneli	1,5	2+2	70	8 500	Kamera
Isokylän tunneli, Vt1 / E18	0,4	2+2	100	12 000	Kamera (2011 asti)
Hämeenlinnan tunneli, Vt3	0,3	2+2	80	27 000*	(Silmukka)
Markkinamäen tunneli, Vt7 / E18	0,5	2+2	100	< 10 000**	(Silmukka)
Södra Länken (Årstatunnel), Tukholma	3,8	2+2	70	-	Kamera
Elbe-tunneli, Hampuri	3,3	2+2+2+2	80	>100 000	Silmukka
Felbertauerntunnel, Itävalta	5,3	1+1 (1 putki)	80 ***	-	Silmukka
Hindhead, Englanti	1,8	2+2	113 (70 mph)	-	Tutka
Byfjord, Norja	5,9	2+1 (1 putki)	80 ***	-	Tutka
Mastrafjord, Norja	4,4	2+1 (1 putki)	80 ***	-	Tutka

* Arvio liikennemäärästä, LAM-piste ei sijaitse samalla liittymävälillä kuin tunneli.

** Hankkeen suunnitelmien ennuste tunnelin liikennemäärästä

*** Arvio tunnelin nopeustasosta

4.2 Operointiperiaatteet Suomessa

Maantietunnelien operoijana Suomessa toimii tieliikennekeskus. Tieliikennekeskuksella on toimipisteet Helsingissä, Oulussa, Tampereella ja Turussa.

Tieliikennekeskuksen päätehtävänä on liikenteen hallinta, mikä tarkoittaa ennen kaikkea liikenteen sujuvuudesta ja turvallisuudesta huolehtimista kaikissa olosuhteissa. Päivystäjien tehtävät liittyvät liikenteen tilannekuvan ylläpitoon, liikenteen ohjaukseen, liikenteessä tapahtuvien häiriöiden hallintaan, liikenne- ja kelitiedottamiseen, tienpidon tukemiseen ja kriisitilanteisiin varautumiseen. Tehtävien suorittamiseksi tehdään yhteistyötä usein samassa liikenteenhallintakeskuksen toimitilassa toimivien kaupungin ja poliisin kanssa. (Liikennevirasto 2012.)

Useimmilla tieliikennekeskusten käyttämillä teknisillä järjestelmillä, esimerkiksi vaihtuvilla nopeusrajoituksilla ja tunnelien häiriönhavaintojärjestelmillä on toistaiseksi omat käyttöliittymänsä ja työasemansa. Näin ollen päivystäjät joutuvat siirtymään toistuvasti työasemalta toiselle toteuttaessaan ohjauksia.

Tieliikennekeskuksissa ollaan siirtymässä tieliikenteen ohjauksen integroituun käyttö-järjestelmään (T-LOIK), joka oli keväällä 2015 testausvaiheessa. T-LOIK otetaan käyttöön vaiheittain lähivuosien aikana. Uudistuksen myötä ohjausjärjestelmien opeointi, tilannekuvan ylläpito ja yhteydenpito sidosryhmiin on mahdollista tehdä yhteisen käyttöliittymän avulla (Liikennevirasto 2012). Tavoitteena on, että päivystäjät pystyisivät tekemään tarpeelliset ohjaukset ja toimenpiteet omalta työasemaltaan, mikä tehostaisi toimintaa huomattavasti.

Häiriönhavaintojärjestelmien tehtävänä on antaa tieliikennekeskuksen päivystäjille heräte tunnelissa tapahtuneista häiriöistä, jolloin päivystäjä voi tilanteen kamerakuvasta tai -tallenteesta tarkistettuaan ryhtyä tarvittaviin toimenpiteisiin. Päivystäjillä ei lukuisten työtehtävien vuoksi ole mahdollisuutta yksittäisten tunnelien jatkuvaan seuraamiseen, joten HHJ:ien merkitys häiriöiden tunnistamisessa on suuri. Kyseessä on paitsi merkittävä tieliikennekeskuksen apuväline, myös tärkeä tunnelin turvallisuutta parantava järjestelmä (Jaatinen 2015).

Suomen kaikkia HHJ:llä varustettuja tunneleita operoidaan tieliikennekeskuksen Helsingin toimipisteestä.

Kunkin tunnelin HHJ:llä on tieliikennekeskuksessa oma erillinen työasemansa ja käyttöliittymänsä. Kaikissa tunneleissa hälytykset tulevat kyseisen tunnelin liikenteenhallintajärjestelmän käyttöliittymään graafisina hälytyksinä sekä ääni-indikaatioina. Päivystäjä käy tarkistamassa hälytyksen HHJ:n työasemalta pysäytyskuvasta tai videotallenteesta ja tämän jälkeen kuittaa hälytyksen liikenteenhallintajärjestelmän käyttöliittymästä. Mestarintunnelin järjestelmässä pysäytyskuva hälytyksestä on asetettu nousemaan automaattisesti valvomon seinälle. Vuosaaren ja Karnaisten toteutuksissa tämä ei ole teknisesti mahdollista (Jaatinen 2015).

Mikäli hälytys on aiheellinen, ryhtyy päivystäjä tarpeellisiin toimenpiteisiin. Tällaisia ovat esimerkiksi nopeusrajoituksen alentaminen, kaistan- tai tunnelinsulku, liikenteen varoittaminen tiedotusopasteilla, kuulutukset tunnelissa sekä poliisin tai pelastuslaitoksen hälyttäminen paikalle. HHJ-hälytyksiä ei ole asetettu käynnistämään automaattiohjauksia, vaan kaikki tarvittavat liikenteenohjaustoimenpiteet tehdään manuaalisesti.

Vuosaaren tunnelissa hitaan ja väärään suuntaan ajavan ajoneuvon hälytystyyppit kuittaautuvat tietyn hälytysajan jälkeen automaattisesti (Tarkki 2015). Vuosaaren järjestelmässä väärään suuntaan ajavan hälytys käynnistää ohjauksen, joka nostaa reaaliaikaisen liikennekamerakuvan kyseisen tunneliputken sisäänajolta valvomon seinälle (Jaatinen 2015).

4.3 Operointiperiaatteet ulkomailla

Ulkomailla tunneleissa on tyypillisesti erillinen ympäri vuorokauden miehitetty tunnelikohtainen valvomo. Näin on esimerkiksi Elben, Felbertauernin ja Hindheadin tunneleissa. Tällöin liikennepäivystäjät pystyvät keskittymään kyseisen tunnelin liikenteen seurantaan.

Selvityksessä käsiteltyjä Norjan ja Ruotsin tunneleita operoidaan sen sijaan keskittämällä valvomosta, kuten Suomessa.

5 Perustiedot eri tekniikoista ja ominaisuuksista

Tunnelien häiriönhavaintojärjestelmien toimintaperiaate on, että HHJ tekee havaitsemistaan häiriöistä hälytyksen tai herätteen päivystäjälle HHJ:n oman käyttöliittymän, tunnelin liikenteenhallintajärjestelmän tai molempien kautta. Päivystäjä todentaa hälytyksen reaaliaikaisesta videokuvasta tai -tallenteesta, kuittaa hälytyksen ja ryhtyy tarvittaviin toimenpiteisiin. Kamerapohjaista HHJ:ää käytettäessä häiriön todentamiseen voidaan käyttää HHJ-kameroita ja niiden tekemiä tallenteita. Muita HHJ-tekniikoita käytettäessä tunnelissa on oltava kattava liikennekameraverkosto häiriöiden todentamista varten.

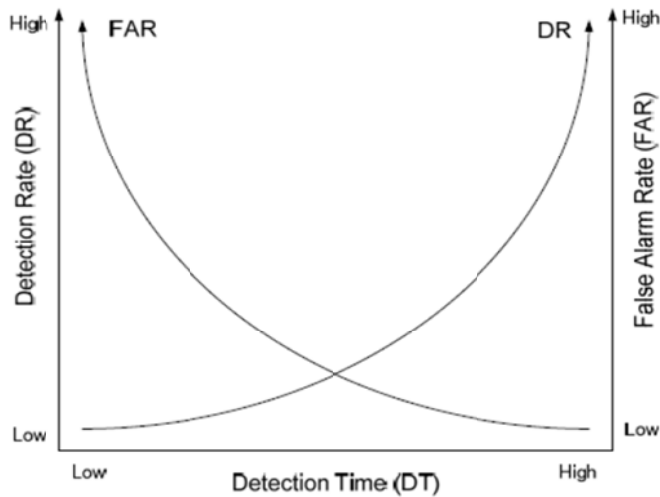
Eurooppalaisten tieviranomaisten rahoittaman HHJ-tutkimusprojekti RAIDERin lopuraportissa todetaan, että tienvarsitekniikan ohella tulevaisuudessa myös ajoneuvolaitteita, matkapuhelimia ja eCall-järjestelmää voidaan hyödyntää häiriönhavaintoon. Raportissa arvioidaan, että ainakin vuoteen 2020 asti ainoastaan kamera- ja tutka-pohjaisilla HHJ:illä saavutetaan riittävä suorituskyky. (RAIDER 2013a.)

Tässä selvityksessä keskitytään häiriönhavaintojärjestelmien yleisimpien tekniikoiden, eli kamera-, tutka- ja silmukkapohjaisten järjestelmien ominaisuuksiin ja vertailuun.

HHJ:n yleisesti käytettyjä suorituskyvyn mittareita ovat (RAIDER 2013b):

- **Havaintoluotettavuus:** Järjestelmän havaitsemien todellisten häiriöiden osuus kaikista tietyllä aikajaksolla tapahtuneista todellisista häiriöistä.
- **Havaintonopeus:** Häiriön tapahtumahetken ja HHJ:n tekemän hälytyksen välinen aika.
- **Havaintotarkkuus**
 - 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.
- **Aiheettomien hälytysten määrä:** Aiheettomien hälytysten määrä tietyssä ajanjaksossa tiettyä tiejaksoa tai havaintolaitetta kohden (esim. X hälytystä / tiekilometri tai laite / vrk)

HHJ:n suorituskyky on aina kompromissi edellä listattujen tekijöiden välillä. Siksi järjestelmälle asetettavat vaatimukset tulee harkita tarkkaan, jotta järjestelmän toiminta vastaisi mahdollisimman hyvin käyttäjän tarpeita. Kuvasta 2 nähdään, että vaadittaessa korkeaa havaintoluotettavuutta (DR), tulee vaadittavaa havaintoaikaa (DT) nostaa tai aiheettomien hälytysten määrä (FAR) kasvaa suureksi. Vaatimus nopeasta havainnosta vaikuttaa negatiivisesti sekä havaintoluotettavuuteen että aiheettomien hälytysten määrään.



Kuva 2. HHJ:n eri suorituskykymittareiden riippuvuus toisistaan (RAIDER 2013b).

5.1 Kamerapohjainen HHJ

Taustaa

Videokuvan tulkintaan perustuvaa tekniikkaa on käytetty liikennelaskennan, keskinopeuksien ja varausasteiden mittauksiin jo 1980-luvulta lähtien. Laite- ja ohjelmistovalmistajat toivat häiriönhavaintoimintoja järjestelmiinsä kasvavassa määrin 1990-luvulta lähtien.

(Prevedouros ym. 2005.)

Järjestelmän rakenne

Kamerapohjaiset HHJ:t koostuvat

- HHJ-kameroista
- kuvankäsittelylaitteistosta ja kuvantulkintakorteista
- keskuspalvelimesta ja hallintaohjelmistosta.

Markkinoilla on nykyisin myös kameroita, joissa kuvantulkintakortti on integroitu HHJ-kameraan (Taskula & Hellroos 2015).

Toimintaperiaate

Kamerapohjaisen HHJ:n toiminta perustuu yksinkertaistettuna HHJ-videokameran kuvaamien peräkkäisten kamerakuvien vertaamiseen erilaisten algoritmien avulla.

Kvantulkinnan kaksi ensimmäistä sukupolvea olivat ”tripwire” ja sen laajennus ”closed-loop”, jotka kykenivät pikselimuutosten perusteella määrittämään ajoneuvojen ajosuunnan ja nopeuden. (Prevedouros ym. 2005; Bossu 2014.)

Uusimman sukupolven kuvantulkintatekniikasta käytetään nimeä ”data association” tai ”tracking” ja se perustuu järjestelmän kykyyn erottaa kamerakuvan muuttuvia pikseleitä yhdistelemällä yksittäiset ajoneuvot tai ajoneuvoryhmät ja seurata niiden liikkeitä. (FHWA 2015; Prevedouros ym. 2005; Bossu 2014.)

Suomessa käytetyn Flirin järjestelmän toimintaperiaate yksinkertaistettuna on tunnistaa häiriöt kamerakuvan kontrastimuutoksista järjestelmään ohjelmoitujen algoritmien avulla. Järjestelmä vertaa jatkuvasti senhetkistä videokuvaa säännöllisesti päivittyvään vertailukuvaan. (Taskula & Hellroos 2015.)

Nykyiset kuvantulkintajärjestelmät eivät hahmota kohteita kolmiulotteisesti, vaan kuvantulkinta tapahtuu kamerakuvan kaksiulotteisessa projektiossa.

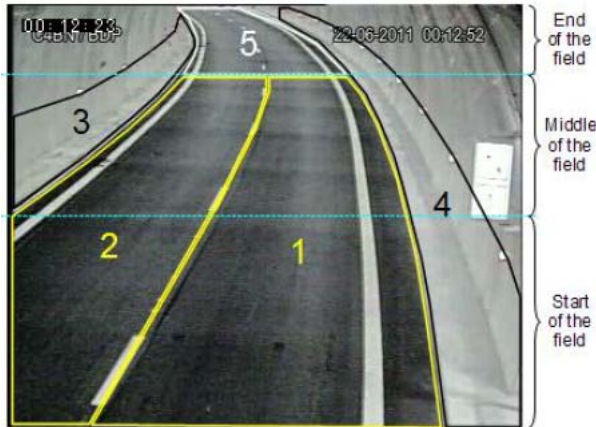
Kuvantulkinnassa jokaisella kameralla on tietty havaintoalue, jonka takaosa näkyy kamerakuvassa suhteessa etuosaa pienempänä. Etualalla käytettävissä olevia pikseleitä on huomattavasti enemmän kuin taka-alalla. Tämän vuoksi kamerakuvaa skaalataan etäisyyden mukaan, jotta havainto-ominaisuudet ovat yhteneväiset koko kameran (kuvantulkintakortin) havaintoalueella. Järjestelmän herkkyys ja havainto-ominaisuudet määräytyvät havaintoalueen takarajan kuvantarkkuuden mukaan. (Taskula & Hellroos 2015.)

Kamerapohjaisen järjestelmän toimintaedellytykset perustuvat kuvantulkintalaitteiston käytössä olevan kuvan laatuun. Kuvan tarkkuus määräytyy (Bossu 2014):

- Ulkoisista parametreista, kuten kameran sijoituksesta (asennuskorkeus ja -kulma ym.), jotka eivät riipu käytettävästä kameramallista
- Sisäisistä parametreista, kuten kameran sensorin koosta, resoluutiosta ja polttovälistä
- Kameran havaintoalueen pituudesta, joka riippuu käytettävästä kameravälittä.

Kameran havaintoalueen kuvantarkkuuksia on havainnollistettu kuvassa 3. Ensimmäisellä puoliskolla eli havaintoalueen etualalla saavutetaan luonnollisesti paras tarkkuus. Toisen puoliskon alussa resoluutio on vielä keskitasoa, mutta viimeisellä kolmanneksella havaintoluotettavuus kärsii merkittävästi matalan resoluution vuoksi. (Bossu 2014.)

Jokaisen kameran / kuvantulkintakortin havaintoalue jaetaan analyysialueisiin (”analysis area” tai ”mask”). Tyypillisesti jokainen ajokaista ja kumpikin piennar ovat omia analyysialueitaan. Kuvassa 3 analyysialueet on numeroitu 1–4. Analyysialueiden lukumäärän kasvattaminen monimutkaistaa järjestelmää, mikä voi aiheuttaa havaitsematta jääviä hälytyksiä tai kasvattaa aiheettomien hälytysten määrää. (Bossu 2014.)



Kuva 3. Kamera-HHJ:n havaintoalueen kuvantarkkuudet ja analyysialueet (Bossu 2014).

Tunnelin pituussuunnassa peräkkäisten kameroiden havaintoalueet määritetään liittämättä katvealueiden välttämiseksi. Poikittaissuunnassa eri kameroiden havaintoalueet tai saman kameras kaistakohtaiset analyysialueet eivät ole liittämättä.

Kamera-HHJ:n toimintaan vaikuttavia tyypillisiä häiriötekijöitä ovat (Bossu 2014)

- kirkas valo, kuten ajoneuvojen etuvalojen heijastuminen äkisti tummaa taustaa vasten ("blooming" tai "halo effect")
- ajovalojen heijastuminen märästä tienpinnasta tai kameras suojalasista ("smearing" tai "vertical blooming")
- ajoneuvot jäävät kokonaan tai osittain katveeseen toisten ajoneuvojen taakse
- auringonvalo tunnelissa ja tunnelin valaistustason muutokset.

Suomessa on edellä listattujen tekijöiden lisäksi todettu, että tunnelin suuaukoille muodostuvien varjojen muutokset tuottavat aiheettomia hälytyksiä.

Tunnistettavat häiriöt ja suorituskyky

Kamerapohjainen HHJ kykenee tyypillisesti havaitsemaan seuraavat häiriötyypit:

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

Taulukossa 3 on esitetty tyypillinen kamerajärjestelmällä saavutettava suorituskyky (Bossu 2014). Arvio perustuu kaksiputkiseen tunneliin ja keskieuropalaisiin olosuhteisiin.

Taulukko 3. Kamera-HHJ:n tyypillinen suorituskyky (Bossu 2014).

Event	Detection rate (%)	False alarm frequency (FA/camera/day)	Detection delay time (s)
Stopped vehicle	>98	0.05	<12
Congestion	>97	0.025	<10
Wrong-way vehicle	>90	0.025	<2
Appearance of smoke	>95	0.05	<10
Pedestrian	>90	0.05	<10
Object	>80	0.05	<20
Slow vehicle	>90	0.15	<5

Lähitulevaisuuden näkymät

Kamerapohjaisessa tekniikassa on viime vuosina tapahtunut kehitystä erityisesti laitepuolella. Viimeaikaista kehitystä ja lähitulevaisuuden näkymiä käsiteltiin Flirin järjestelmän maahantuoja Sabikin kanssa pidetyssä palaverissa seuraavasti (Taskula&Hellroos 2015):

- *HD-kameroilla saavutetaan lähtökohtaisesti paljon parempi toimivuus, sillä suuremman resoluution vuoksi pikseleitä on paljon enemmän. Tämä parantaa huomattavasti kuvantarkkuutta seuranta-alueen takarajalla ja siten koko järjestelmän havainto-ominaisuuksia (vrt. perinteinen kamera samalla kameravälillä). HD-kameroiden käyttämä laajakuva tarjoaa myös HHJ-käyttöön optimaalisemman leveän näkemäalueen, jossa on leveysuunnassa yli kaksinkertaisesti pikseleitä perinteiseen kameraan verrattuna. Tunneligeometrian sallissa voidaan HHJ-kameroiden määrää joissain tapauksissa vähentää HD-kameroita käyttämällä. Aikaisemmin HD-kameroiden hämäränäkökyky oli huomattavasti huonompi kuin analogikameroilla, mutta ero on kaventunut ja HD-kameroita voidaan jo käyttää laadukkaasti valaistuissa tunneleissa.*
- *Flirillä on nykyään markkinoilla toteutuksia, joissa kuvantulkintalaitteisto on integroitu kameraan (Trafibot) sekä lämpökameroihin perustuvia kuvantulkintalaitteistoja.*
- *Kuvantulkintaa käytettäessä ei voida hyödyntää uusien kameroiden edistyksellisiä kuvanparannustekniikoita silloin, kun kamera ja kuvantulkintakortti ovat erillisiä laitteita. Silloin kun kamera ja kuvantulkintakortti on integroitu samaan laitteeseen, on digitaalisten kuvanparannustekniikoiden käyttö periaatteessa mahdollista, mutta tällaisia toteutuksia ei ole vielä markkinoilla.*

Laitetoimittaja Fliriltä saadun tiedon mukaan HD-kameroiden käyttö perinteisten analogisten kameroiden sijaan parantaa jonkin verran järjestelmän toimivuutta. Lämpökamerat ovat yksi mahdollinen keino parantaa kamerapohjaista järjestelmää, sillä ympäristöolosuhteiden tuottamista aiheettomista hälytyksistä voidaan päästä paljolti eroon. Heikkoutena on, että lämpökamerat eivät tunnista ympäristön lämpöisiä puodonneita esineitä. (Ylikorpi 2015.)

Tampereen Rantaväylän tunnelin HHJ:ssä tullaan käyttämään lämpökameroita tunnelin suuaukoilla.

Ohjeellinen asennus

Flir suosittelee, että Suomessa käytettävä kameraväli olisi noin 10 x kameran asennuskorkeus, mikä tarkoittaa noin 50 m kameraväliä. Kameran tulisi mahdollisuuksien mukaan sijoittaa tunnelin kattoon mahdollisimman keskelle havaintoaluetta ja suunnata liikennevirran suuntaan, paitsi tunnelin loppupään suuaukolla kamera(t) suunnataan vastavirtaan ulkoa tulevan valon aiheuttamien ongelmien vähentämiseksi. Yhdellä kameralla voidaan seurata kahta rinnakkaista kaistaa.

Laitetoimittajia

Tunneliympäristöön soveltuvia kamerapohjaisia häiriönhavaintojärjestelmiä toimittavia yrityksiä ovat mm.

- Flir Systems, <http://www.flir.eu/traffic>
- Citilog, <http://www.citilog.com/products/products.html>
- Econolite (Autoscope), <http://www.econolite.com/>
- Iteris, <http://www.iteris.com/products/>

Vahvuudet ominaisuuksien perusteella

- Pystyy tunnistamaan monentyypisiä häiriöitä suoralla havainnolla ja lyhyillä havaintoajoilla
- Kameroiden ja kuvantulkinnan kehitys on nopeaa, markkinoilla paljon uutta tekniikkaa
- Laitetoimittajia on useita, kilpailu takaa tuotekehityksen ja alentaa hintoja

Heikkoudet ominaisuuksien perusteella

- Ympäristöolosuhteet ja valaistus vaikuttavat järjestelmän toimintaan ja tuottavat aiheettomia hälytyksiä
- Ajoneuvojen taakse syntyvät katveet erityisesti harvaa laiteväliä käytettäessä haittaavat järjestelmän toimintaa
- Kameramäärä on suuri ja ne vaativat usein toistuvaa puhdistusta, mikä nostaa ylläpitokustannuksia ja aiheuttaa haittaa liikenteelle

5.2 Tutkapohjainen HHJ

Taustaa

Tutkia on hyödynnetty erilaisiin liikenteen seuranta ja -valvontasovelluksiin jo pitkään, mutta automaattinen tunneliympäristöön soveltuva HHJ on tullut markkinoille vasta 2000-luvulla. Navtech on ainoa laitetoimittaja, jolla on löydetty referenssejä laajoista tutkapohjaisista tunnelien HHJ-toteutuksista. Lisäksi Saabin valmistamia paneelitutkia on testattu Tukholman kehätiellä tunnelin suuaukoilla kamerapohjaisen HHJ:n rinnalla.

Järjestelmän rakenne

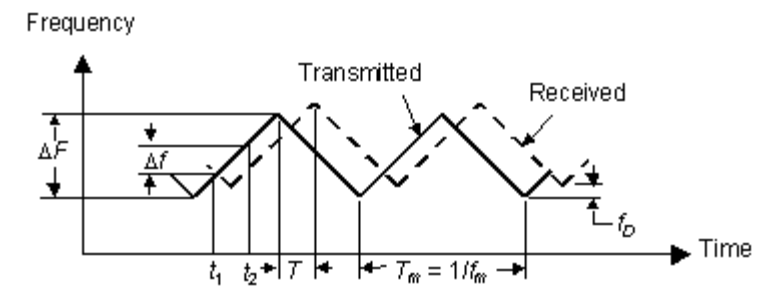
Tutkapohjaiset HHJ:t koostuvat

- tutkista
- tulkinta- ja hallintaohjelmistoista.

Tutkan toimintaperiaate

Tutkan toiminta perustuu ilmaisemiseen ja mittaamiseen radioaaltojen avulla. Tutka lähettää radioaaltoja, jotka heijastuvat kiinteään kohteeseen, kuten ajoneuvoon tai tunnelin seinään osuttuaan tutkakaikuina takaisin tutkan vastaanottimeen. Tutkan virheetön toiminta edellyttää suoraa näköyhteyttä tutkalaitteen ja tunnistettavan objektin välillä. Tutkan avulla voidaan määrittää mm. objektien sijainti, koko, suunta ja nopeus.

Navtechin tutkat ovat taajuusmoduloituja kanta-aaltotutkia (Frequency Modulated Continuous Wave, FMCW). Lähetettävän signaalin taajuus vaihtelee jatkuvasti kuvan 4 mukaisesti ja objektit tunnistetaan lähetettävän signaalin ja takaisin heijastuvan kaiun välisen aika- ja taajuuseron perusteella. Kyseisellä tekniikalla pystytään määrittämään etäisyys objektiin sekä tunnistamaan myös paikallaan olevat kohteet. (FHWA 2015.)



Kuva 4. Taajuusmodulaatiota käyttävän tutkan toimintaperiaate (FHWA 2015)

Navtechin valmistamien tutkien kotelon sisällä on pyörivä antenni ja ne havainnoivat ympäristöään 360°.

Tekniset tiedot uusimmasta tutkamallista CTX350-X (Navtech 2015a):

- Maksimikantama: 350 m (jalankulkijat) ja 500 m (ajoneuvot)
- Tarkkuus: 25 cm
- Keilan leveys: 2°
- Keilan korkeus: vaihtelee
- Pyörimisnopeus: 4 rps
- Sähkönkulutus: 20 W tai 60 W (lämmitin päällä)
- Paino: 6 kg
- Asennuskorkeus: 4–5 m
- Operointitaajuus: 76 – 77 GHz
- Käyttölämpötila: -20 °C – +60 °C

Paneelitutkat

Paneelitutkat ovat nimensä mukaisesti paneelin mallisia tutkia, joiden kantamat ovat lyhyitä. Ne on suunniteltu käytettäväksi erityisesti haastavan geometrian alueilla ja tunnelin suuaukoilla muuta järjestelmää täydentävinä laitteina.

Paneelitutkat ovat Doppler-tutkia, eli ne tunnistavat ainoastaan liikkuvat objektit. Pysähtyneet ajoneuvot tunnistetaan niiden hidastaessa, mutta esimerkiksi pudonneita esineitä tekniikalla ei kyetä havaitsemaan.

Paneelitutkat eivät ole kuitenkaan yleistyneet HHJ-käytössä. Esimerkiksi Navtech on aiemmin markkinoinut paneelitutkia täydentämään 360° tutkiin perustuvaa järjestelmäänsä, mutta niistä on luovuttu heikoiksi todettujen kantaman ja resoluution vuoksi (Flynn 2015).

Tulkintaohjelmiston toiminta

Seuraavassa on kuvattu tutkan tuottaman datan analysointiprosessi Navtechin käyttöohjeen (Navtech 2015b), Navtechin toimintaa käsittelevän seminaariesitelmän (Clark & Perletta 2012) ja sähköpostihaastattelun (Flynn 2015) perusteella.

Navtechin tutkan tuottaman datan käsittely tapahtuu ”Witness” -nimisellä ohjelmistolla, joka koostuu kahdesta ohjelmasta, ”Bloodhoundista” ja ”Piccadillystä”.

”Bloodhound” on kullekin tutkalle erillinen seurantaohjelma (”tracker”). Ohjelma vertaa tutkan tuottamaa dataa tyhjän tunnelin heijastumakarttaan (”clutter map”), jossa näkyvät tunnelirakenteiden ja tekniikan (puhaltimet, kaapelihyllyt, opastetaulut ym.) kiinteät heijastukset. Tuloksena ohjelma tuottaa tunnelissa olevien objektien sijainnin ja koon. Peräkkäisten havaintojen perusteella saadaan määritettyä myös liikkuvien objektien suunta ja nopeus.

”Piccadilly” tallentaa kunkin tutkan ”Bloodhoundin” tuottamat tiedot tietokantaan. Näin saadaan säännöllisesti noin 0,5 s välein päivittyvä aineisto, joka sisältää kaikkien järjestelmän havaintoalueella olevien objektien koot, sijainnit, suunnat ja nopeudet. Piccadilly käsittelee aineiston järjestelmään ohjelmoitujen algoritmien ja parametrien perusteella. Hälytyskynnyksen ylittyessä, esimerkiksi ajoneuvon ajaessa tarpeeksi pitkään alle asetetun rajanopeuden, tekee järjestelmä tilanteesta hälytyksen. Ohjelma seuraa, rikkooko objekti tarpeeksi monta kertaa asetetun hälytyskriteerin (”break count”). Jos objekti rikkoo hälytyskriteerin, nousee ”break count” arvo yhdellä ja jos ei riko, vähenee se yhdellä. Mestarintunnelissa hälytyksen aktivointi edellytti ”break count” -arvoa 16, mikä tarkoittaa että häiriöt voitiin havaita nopeimmillaan 8 sekunnissa.

Navtechin käyttöliittymä ja hallinnointiohjelma on nimeltään ”Sentinel”. Se näyttää hälytysten ja tutkan havaintojälkien sijainnin karttapohjalla sekä listauksen hälytyksistä. Sentinelin kautta pystytään muuttamaan monipuolisesti järjestelmän havaintoasetuksia ja herkkyyttä. Sentineliä ei tähänastisissa ulkomaisissa toteutuksissa ole käytetty operointiin, vaan HHJ:iä on operoitu tunnelin liikenteenhallintajärjestelmien kautta.

Navtechin järjestelmä integroidaan tunnelin liikenteenhallintajärjestelmän tai esimerkiksi liikennekamerajärjestelmän kanssa hälytyspalvelin ”Canaryn” kautta.

Lähitulevaisuuden näkymät

Tutkia on käytetty tunnelien automaattiseen häiriönhavaintoon vasta muutaman vuoden ajan, joten teknistä kehitystä voidaan olettaa vielä tapahtuvan. Mikäli tutkapohjaiset järjestelmät yleistyvät ja menestyvät maailmalla, on oletettavaa että muutkin tutkalaitteiden valmistajat kehittävät omia HHJ-sovelluksiaan.

Tutkalaitteiden tarkkuuden parantuminen tulevaisuudessa voi mahdollistaa häiriöiden tarkan paikannuksen pitkälläkin tutkavälillä.

Ohjeellinen asennus (pitkän kantaman tutka)

Navtechin tutka pystyy valmistajan mukaan tunneligeometrian salliessa havaitsemaan ajoneuvot 500 m ja jalankulkijat 350 m säteellä (360°, eli yhteensä 1000 m / 700 m matkalta). Käytännössä Navtechin tutkan tehokas kantosäde on 200–300 metriä. Sitä pidemmälle etäisyydelle säädettyjen tutkien havaintotehokkuus tutkien alla ja vieressä heikkenee. Parhaaseen toimivuuteen päästään, kun tutkien havaintoalueet ovat limittäisiä. Tutkat suositellaan asennettavaksi tunnelin seinään ulkokaarteeseen tyypillisesti noin 4–5 metrin korkeuteen. Tutkalla on oltava suora näköyhteys koko seuranta-alueelleen. (Navtech 2012; Cewers 2013.)

Navtechin tutkien alle muodostuu katvealue, jonka koko riippuu tutkan asennuskorkeudesta ja havaintoalueen suuruudesta. Esimerkiksi Mestarintunnelissa tämä oli halkaisijaltaan 25–30 m. Nämä alueet tulee kattaa viereisillä tutkilla, jos järjestelmän halutaan kattavan aukottomasti koko tunneli. Mikäli hälytykset halutaan tunnistaa kaistakohtaisesti, tulee tutkavälin olla korkeintaan 150 metriä. (Flynn 2015.)

Ohjeellinen asennus (lyhyen kantaman paneelitutka)

Paneelitutka kykenee tunnistamaan väärään suuntaan ajavat ja pysähtyneet ajoneuvot sekä jalankulkijat noin 100 metrin matkalta. Luotettavan toimivuuden takaamiseksi tutkien havaintoalueet ovat limittäisiä. Tutka asennetaan tunnelin kattoon keskelle seurattavia kaistoja. Yhdellä tutkalla voidaan seurata ainakin neljää rinnakkaista kaistaa. (Swarco Sverige 2013.)

Tunnistettavat häiriöt ja suorituskyky

Navtechin tutka kykenee havaitsemaan seuraavat häiriöt:

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

Häiriöiden havaintonopeus riippuu käytettävistä asetuksista. Esimerkiksi Mestarintunnelin pilotissa häiriöt voitiin tunnistaa nopeimmillaan 8 sekunnissa. Jos kohteessa on paljon aiheettomia hälytyksiä, voidaan minimihavaintoaika nostaa 10–11 sekuntiin. (Flynn 2015).

Laitetoimittajia

Navtechin lisäksi tutkaan perustuvia HHJ:iä toimittavat tai ovat toimittaneet ainakin paneelitutkia valmistavat Saab ja SmartMicro. Saab markkinoi kesällä 2013 paneelitutkaansa erityisesti tunneliympäristöön soveltuvaksi. SmartMicron tutkat ovat markkinointimateriaalin perusteella suunniteltu ensisijaisesti avo-osuuksille.

Vahvuudet ominaisuuksien perusteella

- Pystyy tunnistamaan monentyyppisiä häiriöitä suoralla havainnolla ja lyhyillä havaintoajoilla
- Toiminta riippumattomasta ympäristöolosuhteista (sää, valaistus, näkyvyys esim. savu tai pöly)
- Alhainen aiheettomien hälytysten määrä
- Tunneligeometriasta ja vaadittavasti häiriöiden paikannustarkkuudesta riippuen laitemäärä voi olla alhainen
- Nopea asennus ja käyttöönotto (laitetoimittajan mukaan)
- Ei tarvitse tiheää huoltoa tai puhdistusta, pyörivän tutkan moottorin hihna huollettava tai vaihdettava keskimäärin 3 vuoden välein
- Itse tutka pitkäikäinen, laitetoimittajan arvioima kestoikä 20 vuotta

Heikkoudet ominaisuuksien perusteella

- Ei savun / tulipalon tunnistusta
- Ajoneuvojen väliin sekä tutkien alle syntyy katvealueita, jos laitteita on harvassa

5.3 Silmukkapohjainen HHJ

Taustaa

Induktiosilmukka on vanhin ja maailmanlaajuisesti eniten käytetty tekniikka liikenteen seurantaan ja laskentaan.

Silmukoita käytetään Suomessa liikennevalojen lisäksi esimerkiksi maanteiden liikenteen automaattisissa mittauspisteissä (LAM-piste).

Liikenteen ruuhkautuminen havaitaan induktiosilmukoiden tuottamista nopeustiedoista nopeasti, joten tekniikkaa käytetään ympäri maailman yleisesti vilkkaasti liikennöityjen väylien ruuhkautumisen tunnistamiseen.

Silmukoiden avulla voidaan tunnistaa suoran havainnon perusteella hitaat ja väärään suuntaan ajavat ajoneuvot. Suomessa silmukoita on hyödynnetty lyhyissä moottoritietunneleissa Vt3:lla Hämeenlinnan tunnelissa sekä Vt7:lla Markkinmäen, Husulan ja Kolsilan tunneleissa, joissa kaikissa järjestelmä on asetettu hälyttämään hitaista ajoneuvoista. Hälytys käynnistää tunneleissa automaattiohjauksen, joka alentaa nopeusrajoituksen ja varoittaa tienkäyttäjiä tienvarressa olevien vaihtuvien tiedotuspasteiden avulla. Hitaan ajoneuvon hälytyksen tärkein tarkoitus on saada ennakkotieto mahdollisesti pysähtyvistä ajoneuvosta.

Kehittyneiden algoritmien avulla on mahdollista tunnistaa myös peräkkäisten silmukkapoikkileikkausten välille pysähtyvät ajoneuvot ilman niiden aiempaa hidastamista. Ainoa tällaisen kehittyneen silmukkapohjaisen HHJ:n toimittaja, josta löydettiin kaupallisia referenssitoteutuksia, on saksalainen Ave MAVE-tun -järjestelmällään.

Silmukkapohjaisella HHJ:llä tarkoitetaan tässä raportissa MAVE-tunin kaltaista kehittyntä järjestelmää.

Järjestelmän rakenne

Silmukkapohjainen järjestelmä koostuu

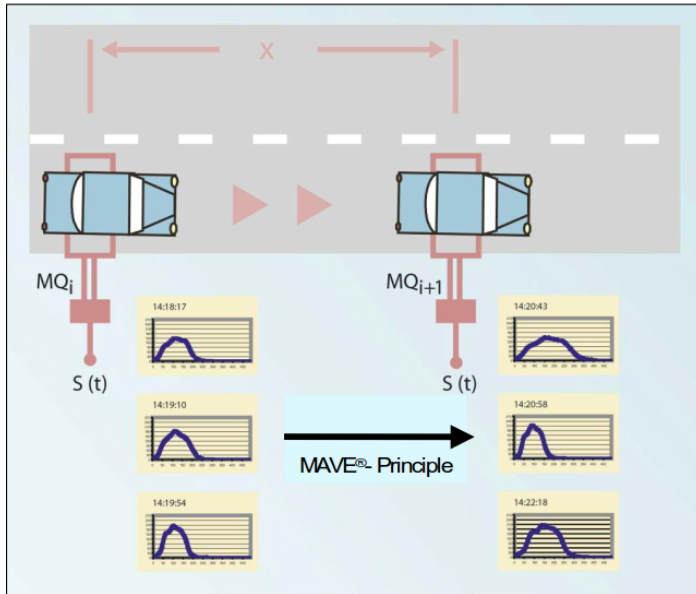
- induktiosilmukoista
- tienvarsi-asemista (1 per silmukkapoikkileikkaus)
- tulkinta- ja hallintaohjelmistosta.

Toimintaperiaate

Induktiosilmukan toiminta perustuu päällysteen alle asennettuun ilmaisinkaapeliin, jonka induktanssi muuttuu, kun ajoneuvo ylittää silmukan. Yksittäisen silmukan avulla voidaan laskea kaistan varausaste ja liikennemäärä. Kahden peräkkäin asennetun silmukan avulla voidaan määrittää ajoneuvojen nopeus, suunta, pituus ja tyyppi sekä ajoneuvoväli. (RAIDER 2013b.)

Kun silmukkaparit asennetaan jokaiselle ajokaistalle samassa poikkileikkauksessa, voidaan peräkkäisistä poikkileikkauksista saatavien ilmaisintietojen perusteella havaita poikkileikkausten välissä tapahtuneen liikennehäiriöt.

MAVE-tunin järjestelmän toiminnan perusperiaate on tunnistaa häiriöt nopeasti liikennevirrassa tapahtuvien muutosten avulla. Esimerkiksi ajokaistalle pysähtynyt ajoneuvo havaitaan vilkkaan liikenteen aikana nopeasti liikennevirran muutoksista. Hitaat ja väärään suuntaan ajavat ajoneuvot tunnistetaan suoraan niiden ylittäessä silmukkaparin. Järjestelmä tallentaa lisäksi kunkin ajoneuvon aiheuttaman ilmaisun yksilöllisen magneettisen profiilin. Järjestelmä olettaa kyseisen ajoneuvon ylittävän myös seuraavan silmukkapoikkileikkauksen tietyssä silmukavälissä ja tunnelin nopeustasosta riippuvassa määrääjässä. Näin silmukavälille pysähtyneistä tai hitaista ajoneuvoista saadaan hälytys, vaikka häiriö ei olisikaan havaittavissa muun liikennevirran perusteella. Ajoneuvojen magneettisen profiilin tunnistusta on havainnollistettu kuvassa 5. Järjestelmässä on myös algoritmit kaistanvaihtotilanteiden ja silmukoiden kohdalla tapahtuvien kiihdytysten ja hidastusten tuottamien ongelmien poistamiseksi. (Böhnke 2011; Dubbert 2013.)



Kuva 5. Ajoneuvojen tunnistus MAVE-tunin järjestelmässä (Böhnke 2011).

Silmukkajärjestelmä ei kykene havaitsemaan pudonneita esineitä tai jalankulkijoita, vaan ainoastaan niiden aiheuttamat muutokset liikennevirrassa.

Lähtöleveysnäköiset

Liikennevirtaa ja sen muutoksia silmukoiden tuottamien tietojen perusteella mallintavia algoritmeja on kehitetty jo vuosikymmeniä, joten merkittävää kehitystä ei voida olettaa lähitulevaisuudessa tapahtuvan.

Ohjeellinen asennus

Silmukkaparit asennetaan MAVE-tunin ohjeiden mukaan noin 300 m välein. Seurattava alue voi ulottua myös tunnelin ulkopuolelle ja silmukat voidaan asentaa myös tunnelin suuaukolle. Mitä tiheämmin silmukoita asennetaan, sitä nopeammin häiriötilanteet havaitaan.

Tunnistettavat häiriöt ja suorituskyky

Silmukkapohjainen HHJ kykenee havaitsemaan seuraavat häiriöt:

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

Vilkaan liikenteen aikana häiriöt havaitaan nopeasti liikennevirran muutoksista. Hiljaisen liikenteen aikana häiriöiden havaitsemisnopeus riippuu paljolti silmukka-poikkileikkausten välistä sekä väylän nopeustasosta. Käytettäessä ohjeellista 300 m silmukkaväliä yksittäiset häiriöt tunnistetaan yleensä 30 sekunnissa (Böhnke 2011). Hitaat tai väärään suuntaan ajavat ajoneuvot voidaan tunnistaa myös tätä nopeammin, jos ne ylittävät silmukkaparin hitaasti tai väärään suuntaan ajaen.

Vahvuudet ominaisuuksien perusteella

- Silmukoiden perustekniikka paljon käytettyä ja varmatoimista
- Järjestelmä havaitsee nopeasti muutokset liikennevirrassa
- Toiminta valmistajan mukaan riippumaton ympäristöolosuhteista (sää, valaistus, näkyvyys esim. savu tai pöly)
- Järjestelmältä mahdollisuus saada tarkkoja liikenne- ja nopeustietoja ajoneuvojakaumiseen
- Oikein asennettujen silmukoiden korjaus- / uusimisväli on pitkä
- Tarkka ajonopeuksien seuranta

Heikkoudet ominaisuuksien perusteella

- Havaintonopeuksien suuri hajonta, hiljaisen liikenteen aikana häiriön tunnistaminen voi kestää n. 30 sekuntia
- Järjestelmä ei kykene tunnistamaan pudonnutta esinettä tai jalankulkijaa muuten kuin liikennevirran häiriön perusteella
- Järjestelmä ei kykene määrittämään hitaan tai pysähtyneen ajoneuvon tarkkaa sijaintia, vaan ainoastaan silmukavälin
- Ei savun / tulipalon tunnistusta (paitsi liikennevirran muutosten perusteella)

5.4 Muut tekniikat

Jäljempänä on listattu muita sellaisia ajoneuvojen tunnistamiseen ulkomailla käytettyjä tekniikoita, jotka perustuvat tienvarsilaitteisiin. Tekniikoiden käytöstä tunnelien häiriönhavaintojärjestelminä ei ole tiedossa referenssitoteutuksia.

- Vaihtoehtoiset ilmaisintekniikat (FHWA 2006)
 - Kaistan varausastetta mittaava kamera
 - Magnetometri
 - Infrapunailmaisin (aktiivinen ja passiivinen)
 - Ultraääni-ilmaisin
 - Akustinen ilmaisim
- Rekisterikilven lukuun perustuva kamerajärjestelmä (RAIDER 2012)
 - Peräkkäisten kameroiden tietojen avulla määritetään kunkin ajoneuvon keskinopeus kyseisellä kameravälillä.
 - Havaitaan mikäli yksittäinen ajoneuvo ei saavu seuraavalle kameralle.

6 HHJ:t Suomen tunneleissa

6.1 Yleistä

Suomessa nykyisin käytössä olevien häiriönhavaintojärjestelmien on edellytetty havaitsevan seuraavat liikennehäiriöt:

- hälytys hitaasti ajavasta ajoneuvosta käyttäjän asettamalla kynnsarvolla ± 5 km/h
- hälytys pysähtyneestä ajoneuvosta
- hälytys väärään suuntaan ajavasta ajoneuvosta
- hälytys ajoradalle pudonneista turvallisuutta vaarantavista esteistä / esineistä, jotka ovat suurempia kuin 1,0 x 0,5 x 0,5 m.

Vaatimukset havaintoluotettavuudelle ja -nopeudelle sekä aiheettomien hälytysten sallitulle määrälle on määritetty hankekohtaisesti. Lähtökohtana on käytetty Isokylän tunnelin vaatimuksia.

6.2 Isokylä (E18)

Hankinta ja käyttöönotto

Seuraavat tiedot perustuvat Varsinais-Suomen ELY-keskuksen telematiikka-asiantuntija Juha Ylikorven haastatteluun (2015).

Isokylän tunneli Vt 1:lla (E18) Salossa on 435 metriä pitkä 2+2-kaistainen moottoritietunneli. Tunnelin kamerapohjainen HHJ oli ensimmäinen laatuaan Suomessa. Järjestelmän tehtävänä oli havaita savu sekä hitaat, pysähtyneet ja väärään suuntaan ajavat ajoneuvot ja tehdä niistä hälytys tieliikennekeskuksen Turun toimipisteeseen. Järjestelmässä oli yhteensä 16 HHJ-kameraa.

Isokylän tunneli toimi Suomen pilottikohteena monille tunnelin teknisille järjestelmille, muun muassa häiriönhavaintojärjestelmälle. Tunneli ja HHJ otettiin käyttöön marraskuussa 2003. Taustana HHJ:n hankinnalle oli kokemusten keruu tulevia tunnelihankkeita varten, sillä valmisteilla olleen Tietunnelidirektiivin tiedettiin tulevaisuudessa edellyttävän HHJ:n asentamista pitkiin tunneleihin. Isokylän HHJ poistettiin käytöstä vuonna 2011, koska järjestelmä olisi vaatinut perusteellista teknistä uudistamista, eivätkä Tietunnelidirektiivi tai kansalliset ohjeet edellyttäneet HHJ:ää kyseiseen tunneliin.

Kamerapohjaiseen tekniikkaan päädyttiin, koska tekniikka oli tuolloin havainto-ominaisuuksiltaan ylivoimainen kilpaileviin tekniikoihin nähden. Esimerkiksi tutkapohjaista järjestelmää ei vielä ollut markkinoilla. Ulkomaisten käyttökokemusten kartoituksen perusteella päädyttiin Traficonin (nykyisin Flir) toimittamaan järjestelmään.

Isokylän HHJ:n käyttöönottoprosessi oli todella työläs. Tunnelin käyttöönoton jälkeen järjestelmään tehtiin useita asetus- ja parametrimuutoksia. Muutosten jälkeen järjestelmän toiminta oli testattava maastossa, mikä edellytti tunneliputkien sulkemista.

Isokylän HHJ:n aiheettomista hälytyksistä suurin osa tuli tunnelin suuaukoilta. Järjestelmässä ei käytetty uudempien tunnelien tapaan haastaviin sääoloihin ja valaistuksenmuutostilanteisiin suunniteltuja skenaarioita, jotka säätelevät järjestelmän herkkyyttä tai suodattavat tiettyjä hälytystyyppejä.

HHJ:n toiminnan seuranta

Isokylän tunnelin HHJ:n toiminnasta on tehty toimivuusanalyysi joulukuun 2004 ja heinäkuun 2005 väliseltä jaksolta. Järjestelmän tuottamat hälytykset käytiin läpi videotallenteiden perusteella. Seuraavassa on esitetty toimivuusanalyysin (Pahlman 2005) keskeiset havainnot ja tulokset.

Taulukossa 4 on esitetty oikeiksi ja vääriksi todennettujen hälytysten määrät joulukuulta sekä kesäkuulta 2004–2005. Toukokuulta analyysia ei tehty, koska laite-toimittaja Traficon käsitteli itse kyseisen kuukauden tulokset. Luvuissa ei ole mukana tunnelin ylläpitotöistä aiheutuneita hälytyksiä eikä suurinta osaa HHJ:n testauksesta aiheutuneista hälytyksistä. Joitakin tavanomaisia liikenneolosuhteita vastaavia järjestelmän testauksesta aiheutuneita hälytyksiä on kuitenkin otettu mukaan otoskoon kasvattamiseksi.

Taulukko 4. Isokylän HHJ:n hälytysmäärät eräinä havaintokuukausina 2004–2005 (Pahlman 2005).

Kuukausi	Yhteensä	Vääriä	Oikeita	Vääriä/vrk
Joulukuu	380	93 %	7 %	11,42
Tammikuu	483	98 %	2 %	15,32
Helmikuu	135	93 %	7 %	4,5
Maaliskuu	81	93 %	7 %	2,42
Huhtikuu	69	96 %	4 %	2,2
Kesäkuu	53	98 %	2 %	1,73
Yhteensä	1201	96 %	4 %	6,34
8.7.-28.7.	76	91 %	9 %	3,45

Laitetoimittaja teki heinäkuun 2005 alussa järjestelmään säätöjä, joiden tarkoitus oli vähentää aiheettomia hälytyksiä erityisesti ulkokameroiden osalta. Säädön jälkeisen lyhyen seurantajakson 8.7.–28.7. perusteella (ks. taulukko 4) muutoksilla ei vaikuta olleen merkittävää vaikutusta järjestelmän toimintaan.

Isokylän HHJ tuotti aiheettomia hälytyksiä erityisesti pysähtyneiden ja väärään suuntaan ajavien hälytystyypeistä. Tyypillinen piirre aiheettomille hälytyksille oli niiden kasautuminen tiettyinä vuorokauden- ja vuodenaikoina tietyille kameroille.

Raportissa on käsitelty yksityiskohtaisesti eri HHJ-kameroiden toiminnasta ja aiheettomien hälytysten syistä tehdyt havainnot. Yleisimmiksi aiheettomien hälytysten syiksi havaittiin rekkojen katoista tulevat heijastukset, lumisade, märästä tiestä tuleva heijastus tai vesisumu, rengasurat märässä tai lumisessa tiessä, tunneliin ajoneuvon katolta pudonnut lumi, ajovalot, varjo tai heijastus.

Järjestelmälle asetettu aiheettomien hälytysten ohjearvo oli 1,2 kpl / vrk, mikä ylittyi useimpina kuukausina selvästi. Keväällä ja kesäkuussa ylitys oli talvikuukausiin verrattuna melko pieni.

Raportin päätelmissä ehdotettiin väärään suuntaan ajavan hälytysten generointia kahden peräkkäisen kameran tekemän havainnot perusteella sekä ulkokameroiden poistamista käytöstä, mikä vähentäisi merkittävästi aiheettomia hälytyksiä, mutta toisaalta myös heikentäisi järjestelmän havainto-ominaisuuksia todellisten häiriöiden osalta.

Isokylän toimivuusraportista nähdään, että aiheettomien hälytysten määrä oli talvikaudella todella suuri, eli haastavilla keliolosuhteilla on selvästi ollut suuri vaikutus järjestelmän toimintaan. Pudonneen esineen hälytys ei ollut Isokylässä lainkaan käytössä. Hälytystyyppin käyttö olisi edellyttänyt järjestelmän huomattavaa herkistämistä ja oletettavasti tarkoittanut aiheettomien hälytysten määrän huomattavaa kasvua. Uudemmissa HHJ-toteutuksissa esimerkiksi Mestarintunnelissa on otettu käyttöön Isokylän raportissa esitetty ehdotus väärään suuntaan ajavan hälytyksen generoinnista vasta kahden peräkkäisen havainnon jälkeen.

6.3 Mestarintunneli

Mestarintunneli otettiin käyttöön vuonna 2011, osa ajokaistoista helmikuussa ja koko tunneli marraskuussa. HHJ otettiin toimintaan tunnelin avautuessa liikenteelle helmikuussa.

Mestarintunneli on noin 500 m pituinen kaksiputkinen, vilkkaasti liikennöity ja säännöllisesti ruuhkautuva kaupunkiseudun tunneli. Molemmissa tunneliputkissa on neljä ajokaistaa ja kapeat pientareet kummallakin sivulla. Molempien ajosuuntien sisäänajoaukoilla on liittymisrampit ja ulosajojen kohdalla erkanemisrampit. Tunnelin perusnopeusrajoitus on 60 km/h.

HHJ:än on tunnelin käyttöönoton jälkeen tehty useita muutoksia. Merkittävimmät asetusmuutokset tehtiin joulukuussa 2011 ja viimeisimmät maaliskuussa 2013 yli kaksi vuotta tunnelin ja järjestelmän käyttöönoton jälkeen. Järjestelmän virittäminen on siis vienyt paljon aikaa.

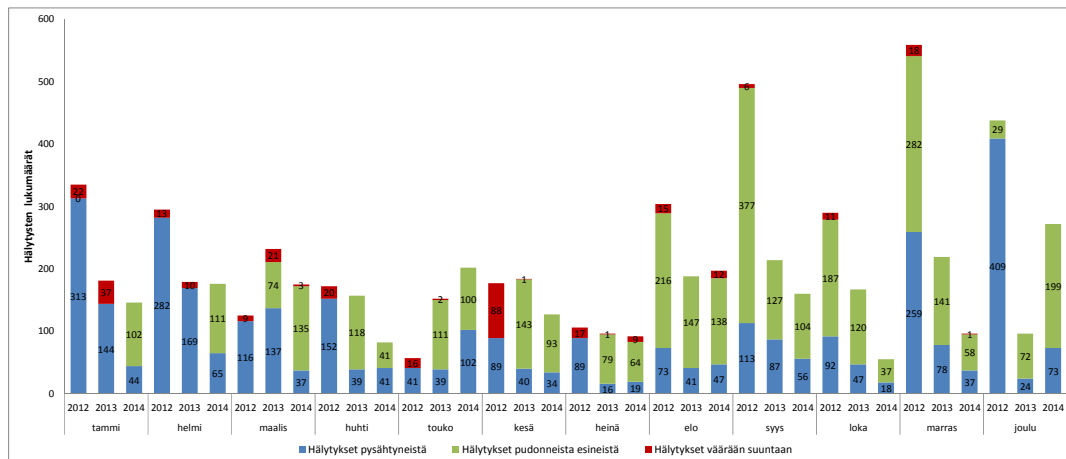
Mestarintunnelin HHJ:n käyttöönotto on kuitenkin ollut muihin Suomen tunneleihin verrattuna melko onnistunut (Ylikorpi 2015).

Tunnelin hallinnoija Uudenmaan ELY-Keskus on seurannut tunnelin turvallisuutta ja HHJ:n toimintaa säännöllisesti tunnelin käyttöönotosta lähtien. HHJ:n toiminnasta on raportoitu kuukausiraporteilla sekä vuosittaisella yhteenvetoraportilla. Seuraavat tiedot perustuvat näihin raportteihin.

Seurannassa pysähtyneen ja väärään suuntaan ajavan ajoneuvon sekä pudonneen esineen (8/2012 lähtien) hälytykset on todennettu videotallenteista. Hitaan ajoneuvon hälytyksiä ei ole käsitelty, eikä niiden määriä tilastoitu.

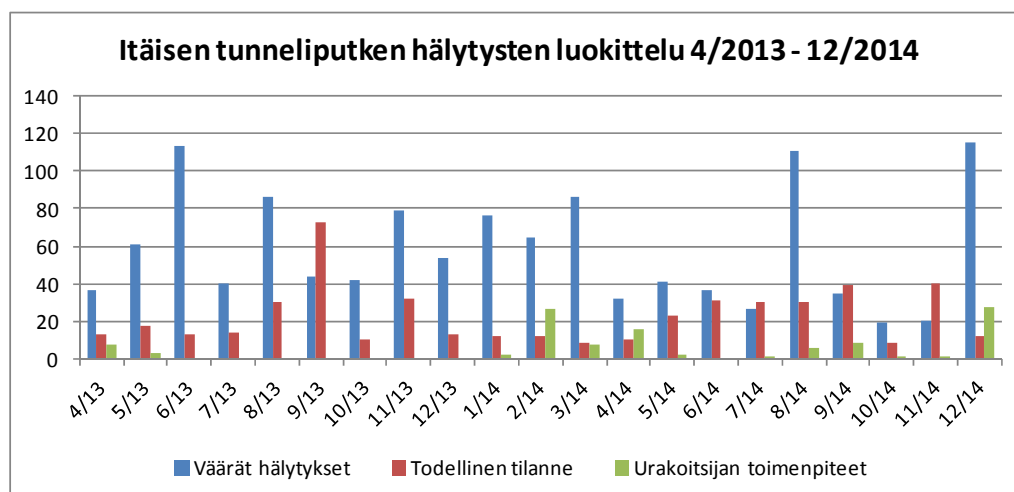
Kuvassa 6 on esitetty HHJ:n eri hälytystyyppien määrät kuukausittain vuosina 2012–2014. Määrät kattavat molemmat tunneliputket. Kuvaajasta nähdään, että hälytysmäärien trendi on ollut laskeva. Pudonneen esineen hälytys on ollut seurattavista hälytystyypeistä selvästi yleisin.

Järjestelmään tehtiin merkittäviä asetusmuutoksia 19.–21.3.2013, jolloin mm. lisättiin ”märkä tie” -skenaario sekä muutettiin väärään suuntaan ajavan ajoneuvon hälytyksen ehdoksi havainto kahdelta peräkkäiseltä kameralta. Kyseinen muutos on vähentänyt selvästi väärään suuntaan ajavan hälytyksiä.



Kuva 6. Mestarintunnelin HHJ-hälytysten määrät kuukausittain 2012–2014. Pysähtyneen ajoneuvon hälytykset ovat kuvaajassa sinisellä (alimmaisena), pudonneen esineen hälytykset vihreällä (keskimmäisenä) ja väärään suuntaan ajavan hälytykset punaisella (ylimpänä). (Uudenmaan ELY-keskus 2015.)

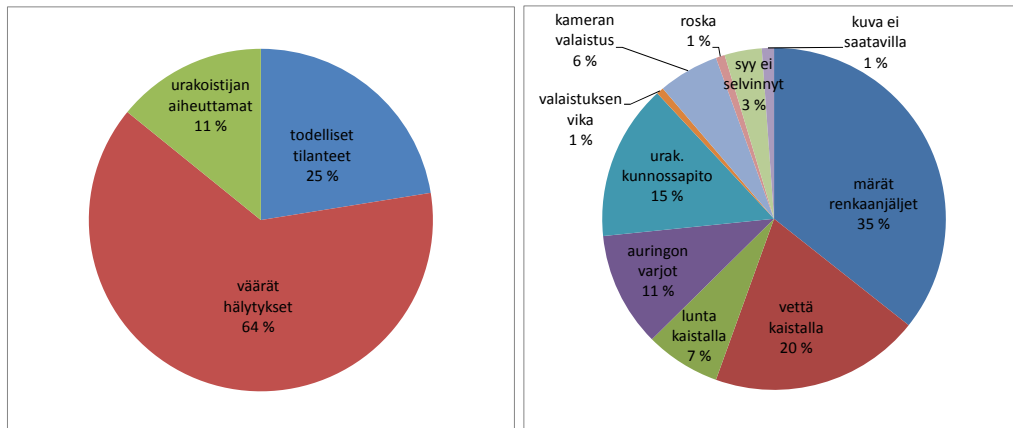
Kuvassa 7 on esitetty hälytysten luokittelu vääriksi, todellisiksi ja urakoitsijan toimista aiheutuneiksi hälytyksiksi kuukausittain 4/2013–12/2014. Useimpina kuukausina väärä hälytyksiä oli selvästi todellisia hälytyksiä enemmän. Väärin hälytysten määrät ovat vaihdelleet voimakkaasti, eikä vaihtelu ole ollut sidoksissa vuodenaikaan, vaan hälytyksiä on tullut niin talvi- kuin kesäoloissa. Urakoitsijan toimenpiteistä aiheutuneita hälytyksiä oli suhteellisen vähän ja ne painoutuivat talvi- ja kevätkaudelle.



Kuva 7. Itäisen tunneliputken hälytysten määrät luokittain 4/2013–12/2014 UUD-ELY:n seurantaraporttien perusteella.

Kuvassa 8 on esitetty vuoden 2014 pysähtyneiden ajoneuvojen ja pudonneiden esineiden yhteenlaskettujen hälytysten jakauma sekä väärin hälytysten syyt. Hälytystyyppit ovat teknisesti rinnasteisia, joten niitä myös aiheuttavat samat tekijät. Hälytyksistä neljännes on tullut todellisista liikennehäiriöistä. Vääristä hälytyksistä suurin

osa on aiheutunut määristä renkaanjäljistä tai kaistalla olevasta vedestä. Urakoitsijan tunneliin auraamasta lumesta aiheutuneet hälytykset laskettiin mukaan väriin hälytyksiin ja ne muodostivat niistä noin 15 %.



Kuva 8. Vasemmalla vuoden 2014 pysähtyneen ajoneuvon ja pudonneen esineen hälytysten jakautuminen todellisiin tilanteisiin ja väriin hälytyksiin. Oikealla vääriksi todettujen hälytysten syyt. Hälytyksiä oli yhteensä 1 755 kappaletta. (Uudenmaan ELY-keskus 2015.)

Mestarintunnelissa tapahtui vuonna 2014 kolme päivystäjän raportoimaa häiriötä, joista HHJ ei ollut tehnyt hälytystä, eikä valaistusskenaario ollut päällä.

Vuonna 2013 vastaavia tapauksia oli niin ikään kolme ja vuonna 2012 seitsemän.

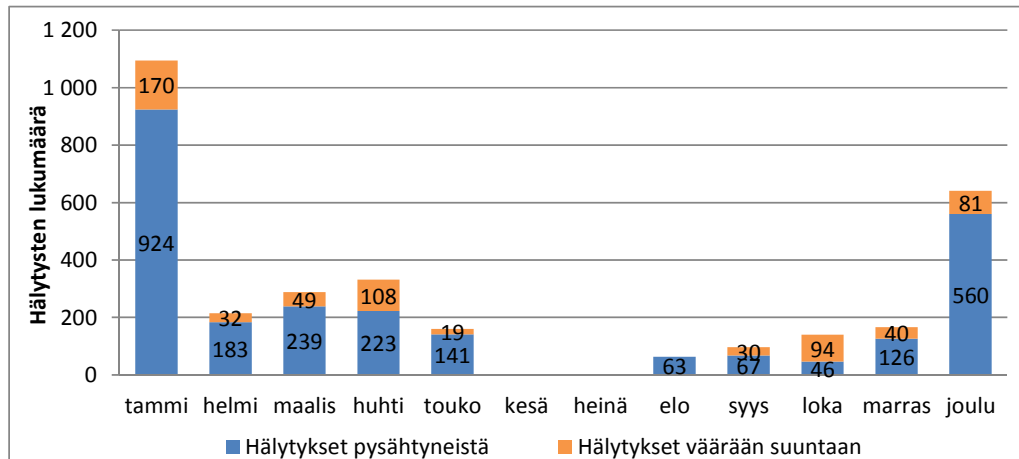
6.4 Vuosaari

Vuosaaren tunneli on vuonna 2007 käyttöönotettu, kaksiputkinen 1,5 km pituinen tunneli. Molemmat putket ovat kaksikaistaisia. Tunnelin perusnopeusrajoitus on 70 km/h.

Vuosaaren tunnelin HHJ-hankinta oli monella tapaa epäonnistunut. Järjestelmän hankintaprosessia ja käyttöönottoa ei ollut suunniteltu ja organisoitu huolellisesti, urakoitsija oli kokematon HHJ:n toteuttamisessa ja tunneli otettiin käyttöön ennen kuin HHJ ehdittiin virittää kunnolla toimintaan. (Ylikorpi 2015.)

Vuosaaren tunnelin HHJ:n toiminta oli erityisesti alkuaikoina ongelmallista. Vuosina 2010–2012 pysähtyneen tai väärään suuntaan ajavan ajoneuvon hälytyksiä tuli talvikaudella tuhansia kuukausittain. Suurin osa näistä oli aiheettomia. Pahimpana kuu-kautena joulukuussa 2010 hälytyksiä tuli lähes 9500, eli keskimäärin yli 300 kpl/vrk. (UUD-ELY:n vuosiyhteenveto 2014.)

Kuvasta 9 nähdään, että vuonna 2014 tammi- ja joulukuussa tuli selvästi enemmän hälytyksiä kuin muina kuukausina. Hälytysten määrä vaikuttaisi siis kasvavan talvikaudella.



Kuva 9. Vuosaaren tunnelin pysähtyneen ja väärään suuntaan ajavan hälytykset (ei todelliset tapahtumat) vuonna 2014. Kesä-heinäkuun tilastot eivät olleet saatavissa. (Uudenmaan ELY-keskus 2015.)

Havaittuja todellisia tapauksia, joista HHJ ei ollut tehnyt hälytyksiä, oli

- vuonna 2012 16 kpl
- vuonna 2013 11 kpl
- vuonna 2014 16 kpl

6.5 Karnaisten tunneli

Karnaisten tunneli on vuonna 2009 käyttöön otettu moottoritietunneli Vt 1:lla (E18). Tunnelin pituus on noin 2,3 km ja siinä on kaksi kaksikaistaista ja leveäpientareista tunneliputkea. Perusnopeusrajoitus on 100 km/h.

Tunneli on toteutettu elinkaarihankkeena, joten HHJ:n hankinnasta ja käyttöönotosta on vastannut Palveluntuottaja Liikenneviraston hankkeelle määrittämien HHJ:n tuotevaatimusten pohjalta. Tunnelin 6-vuotismääräaikaistarkastuksessa toukokuussa 2015 tehdyissä testeissä HHJ:n havaintoluotettavuus todettiin ainakin hitaiden ja pysähtyneiden ajoneuvojen osalta hyväksi. (Ylikorpi 2015.)

Karnaisten tunnelin alkuperäiset tuotevaatimukset HHJ:lle on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. Karnaisten tunnelin alkuperäiset tuotevaatimukset (Muurla–Lohja palvelusopimus – Tekniset vaatimukset).

Karnaisten tunneli	Hankkeen alkuperäinen tuotevaatimus	
	Ilmaistava kaikista tapauksista (%)	Havaintoaikavaatimus (s)
Liikennehäiriö		
Hidas ajoneuvo	ei määritetty	ei määritetty
Pysähtynyt ajoneuvo	90	15
Väärään suuntaan ajava ajoneuvo	90	5
Muu turvallisuutta vaarantava este ajoradalla	90	20

6.6 Yksinkertaiset silmukkapohjaiset ratkaisut

Hämeenlinnan (Vt3) sekä Markkinmäen, Husulan ja Kolsilan (Vt7 / E18) tunneleissa on käytetty yksinkertaisia silmukkapohjaisia ratkaisuja, jotka tunnistavat silmukat ylittävät hitaat ajoneuvot. Järjestelmät tekevät tapauksista hälytyksen liikenteenhallintajärjestelmän käyttöliittymään tieliikennekeskuksessa. Hälytys käynnistää lisäksi nopeusrajoitusta alentavan ja tienkäyttäjiä tien varressa olevilla vaihtuvilla tiedotuspasteilla varoittavan automaattiohjauksen.

Hämeenlinnan tunnelissa oli alun perin myös urakoitsijan aloitteesta toteutettu väärään suuntaan ajavien ajoneuvojen tunnistus, mutta aiheettomien hälytysten suuren määrän vuoksi se poistettiin käytöstä, koska toimintoa ei vaadittu urakan tuotevaatimuksissa. Hämeenlinnan silmukajärjestelmän toimivuutta ei ole viime aikoina järjestelmällisesti testattu, mutta toiminta ei kuitenkaan tähänastisten kokemusten perusteella ole vakuuttanut luotettavuudellaan. (Sallinen 2015.)

Tieliikennekeskukselle Hämeenlinnan ja Markkinmäen silmukajärjestelmien toiminta on ollut pettymys, koska aiheettomia hälytyksiä on ollut paljon (Jaatinen 2015).

7 Ulkomaiset HHJ-selvitykset ja kokemukset

Tässä luvussa on käsitelty ulkomaisia HHJ-selvityksiä, pilotteja sekä kokemuksia ope-
rintikäytössä olevista tutka- ja silmukkapohjaisista HHJ:istä. Kamerapohjaisista jär-
jestelmistä ei ole erikseen selvitetty ulkomaisten kokemuksia suomalaisten referens-
sien vuoksi.

7.1 Tukholma (kamera ja tutka)

Luvun tiedot perustuvat Trafikverketin Kåre Ljungbergin (2013) sähköpostihaastatte-
luun, Navtechin Södra Länkenin testistä laatimaan raporttiin (Navtech 2011) sekä Lii-
kenneviraston liikennekeskuspäällikkö Mika Jaatisen sähköpostihaastatteluun (2015).

Tukholmassa on testattu Södra Länkenin tunnelissa sekä Navtechin että Saabin tut-
kia. Molemmat kokeilut ovat olleet pienimuotoisia ja tutkat ovat olleet täydentämässä
kamerapohjaista järjestelmää.

Navtechin tutkan kokeilu oli Trafikverketin organisoima. Tutkien testaamisen tausta-
na olivat Södra Länkenin tunnelissa käytetyssä kamerapohjaisessa järjestelmässä
havaitut ongelmat, erityisesti kameroiden likaantuminen talvikaudella ja siitä seurane-
et toimintaongelmat ja korkeat puhdistuskustannukset.

Södra Länkenin tunnelin sisäosiin asennettiin syksyllä 2010 kaksi Navtechin tutkaa,
joilla katettiin yhteensä 1015 metrin pituinen osuus tunnelista. Testialueeseen kuului
erkanemis- ja liittymisramppeja. Testi tehtiin osuudella, jolla on usein jonoja ja suuria
nopeuseroja. Tutkien läheisyyteen asennettiin neljä kameraa tutkien toiminnan seu-
rantaan varten. Järjestelmä asetettiin havaitsemaan pysähtyneet, hitaasti liikkuvat ja
peruuttavat ajoneuvot sekä jalankulkijat ja pudonneet esineet.

Navtech laati raportin Tukholman tutkajärjestelmän toiminnasta touko-kesäkuussa
2011. Raportin mukaan järjestelmä antoi testiaikana virheellisiä hälytyksiä keskimää-
rin 0,79 kpl/vrk ja jonoutumisesta aiheutuneita aiheettomia hälytyksiä 0,54 kpl/vrk eli
yhteensä 1,33 aiheetonta hälytystä vuorokaudessa. Todellisista tilanteista aiheutuneita
hälytyksiä sattui keskimäärin 0,88 kpl/vrk. Todellisten häiriötilanteiden havaitse-
misen luotettavuutta ei testissä tutkittu.

Trafikverketin mukaan kokemukset Navtechin tutkien kokeilusta olivat positiivisia;
liikennehäiriöt havaittiin luotettavasti ja aiheettomien hälytysten määrä oli pieni.

Trafikverket päätyi kuitenkin Södra Länkenillä uuden Flirin toimittaman kamerapoh-
jaisen HHJ:n hankintaan.

Trafikverketin näkemyksen mukaan Navtechin tutkamalli ei sopinut Södra Länkenin
mutkaisiin rampeihin kovin hyvin, sillä geometria rajoittaa tutkan kantomatkaa, ei-
vätkä Navtechin kehittyneet mutta kalliit laitteet olleet Trafikverketin mielestä talou-
dellisesti järkevä vaihtoehto. Navtechin tutkan kuitenkin arveltiin olevan suurempiin
tunneleihin erinomainen ratkaisu.

Uuden kamerapohjaisen järjestelmän hankinta ajoittui vuosille 2011–2013. Taustalla oli tarve nopeaan ratkaisuun vanhojen huonokuntoisten kameroiden ja markkinoilta poistuneen kuvantulkintajärjestelmän (Videotrack, Autoscope) korvaamiseksi.

Liikenneviraston Tukholman liikennekeskukseen (keskitetty tunnelivalvomo) talvella 2014–2015 tekemällä vierailulla selvisi, että kamerapohjaiseen HHJ:än ei ollut toteutettu säätöjaksoa, minkä vuoksi aiheettomien hälytysten määrä oli suuri. Operaattori kertoi, että järjestelmän toimintaan ollaan tästä huolimatta tyytyväisiä.

Södra Länkenillä on testattu myös Saabin tutkia kamerajärjestelmän täydennyksenä. Tässä testissä Trafikverket ei ole ollut suoraan mukana. Kokeilun taustalla oli Norra Länkenin tunneliin suunnitteilla ollut järjestelmä, jossa kamerat valvovat tunnelin sisäosia ja suuaukkojen häiriönhavainto hoidetaan tutkilla.

Ruotsissa Navtechin tutka on ollut käytössä avoimessa ympäristössä E4 / E20 -tiellä Vårbyn ja Morabergin välillä loppuvuodesta 2012 lähtien. Järjestelmän toiminnasta ei vielä keväällä 2015 ollut saatavissa raporttia tai muistiota, mutta ensimmäiset kesällä 2013 tiedustellut kokemukset olivat todella hyviä ja tutkat olivat toimineet ensimmäisellä talvikaudella 2012–2013 hyvin.

7.2 Norja (tutka)

7.2.1 Esiselvitys

Norjan liikenneviranomaisen Statens vegvesen teetti vuonna 2013 konsulttitoimisto Vianovalla teoriaselvityksen, jossa esiteltiin yleisimmät tunneliympäristössä käytettävät HHJ:t. Selvityksessä käsiteltiin kattavasti kamera-, tutka- ja silmukkapohjaisten järjestelmien ominaisuuksia, rakennetta, vahvuuksia ja heikkouksia. Norjankielinen selvitys valmistui lokakuussa 2013. Selvityksessä ei esitetty suosituksia tulevilla hankkeilla käytettävästä tekniikasta. (Statens vegvesen 2013.)

7.2.2 Käyttökokemukset tutkasta

Navtechin tutkia on käytetty operointikäytössä Byfjordin ja Mastrafjordin tunneleissa E39-tiellä Stavangerin pohjoispuolella.

Luvussa esitetyt tiedot ja kokemukset perustuvat Navtechin maastokatselmusraporttiin (Navtech 2013), Trafsys AS:n testiraporttiin (Trafsys 2013) ja Arild Puntervoldin (Statens vegvesen) sähköpostihaastatteluun 12.8.2015.

Byfjordin ja Mastrafjordin tunnelit ovat vuonna 1992 avattuja yksiputkisia 2+1 -kaksitaaisia syväälle meren alle sukeltavia tunneleita. Kaksikaistaiset osuudet ovat ylämäen suuntaan. Pientareet ovat kapeita ja jalankulku sekä pyöräily tunneleissa on kielletty. Tunneleita valvotaan keskitetystä valvomosta Bergenistä. Kyseisissä tunneleissa liikenteenseurantakameroiden välimatkat ovat pitkiä, joten häiriöiden havaitseminen tietyiltä alueilta kamerakuvan perusteella on vaikeaa.

Laitetoimittaja suoritti maastokatselmuksen tunneleissa toukokuussa 2013.

5875 m pituiseen Byfjordin tunneliin asennettiin laitetoimittajan suosituksen mukaisesti 13 TS350X-mallista tutkaa. 4424 m pituiseen Mastrafjordin tunneliin samanmallisia tutkia asennettiin 11. Tutkien välimatkat vaihtelivat 250–550 m välillä.

Tutkat on ohjelmoitu havaitsemaan pysähtyneet ja hitaat ajoneuvot sekä jalankulkijat. Alun perin käytössä oli myös pudonneen esineen havainto, mutta se on poistettu käytöstä.

Tutkan havaintoluotettavuutta testattiin joulukuussa 2013 kolmena yönä tunnelin ollessa suljettuna. Tunnelin eri osiin tehtiin keinotekoisesti erityyppisiä häiriötilanteita ja tutkajärjestelmän näistä tekemät hälytykset arvioitiin. Testeissä havaittiin useita epäkohtia järjestelmän toiminnassa ja parametreja ja asetuksia muutettiin jo testien aikana. Testien ensisijaisena tarkoituksena oli siis parantaa järjestelmän toimintaa luotettavien testaustuloksien tavoittelun sijaan. Testeissä havaittiin, että havaintoluotettavuus ja kyky tunnistaa häiriöt oikeantyyppisiksi heikkenivät, kun etäisyys tutkasta kasvoi. Jalankulkijoiden havaitsemisen todettiin toimivan hyvin. Tutkien alla olevien katvealueiden todettiin olevan säteeltään noin 20 metriä. Näitä katvealueita seurataan viereisillä tutkilla.

Tutkajärjestelmän on todettu Norjassa vaativan runsaasti viritystä liikenteelle oton jälkeen. Operaattorien näkemyksen (elokuu 2015) mukaan Byfjordin järjestelmä on viime aikoina toiminut hyvin. Mastrafjordin järjestelmä puolestaan on ollut ylimääräisessä testissä eikä ole hetkeen ollut operointikäytössä.

7.3 Hindhead, Englanti (tutka)

Hindheadin tunneli sijaitsee eteläisessä Englannissa ja on otettu liikennekäyttöön vuonna 2011. Tunneli on 1,8 km pitkä moottoritietunneli, joka koostuu kahdesta kaksikaistaisesta tunneliputkesta.

Seuraavat kirjaukset perustuvat Navtechin laatimaan raporttiin (Navtech 2015c).

Jo tunnelin suunnitteluvaiheessa paikallinen liikenneviranomaisen Highways Agency toi esille, että tunneliin olisi tarkoituksenmukaista hankkia häiriönhavaintojärjestelmä. Tarkoitus oli hankkia järjestelmä, jolla havaittaisiin tapahtuneet onnettomuudet nopeasti, jotta pelastustoimet saataisiin nopeasti käyntiin. Toinen lähtökohta oli, että järjestelmällä tulisi tunnistaa pysähtyneet ja hitaat ajoneuvot, jotka aiheuttavat onnettomuusriskin.

Tärkeimmät vaatimukset HHJ:lle olivat todellisten häiriötilanteiden eli pysähtyneiden ja hitaiden ajoneuvojen, jalankulkijoiden ja pudonneiden esineiden luotettava tunnistus ja samalla alhainen aiheuttomien hälytysten määrä. Kolmas tärkeä tekijä oli järjestelmän riippumattomuus ulkoisista ulkosuhteista, kuten tunnelivalaistuksesta ja säästä.

Ennen HHJ:n hankintapäätöstä Highways Agency testasi Navtechin tutkaa Southwickin tunnelissa lokakuussa 2008 kaksi tutkaa käsittäneessä pilotissa. Tunneli oli pilotin aikana normaalisti liikenteellä ja tutkajärjestelmän tekemät hälytykset todettiin videotallenteista. Lisäksi tehtiin testejä tunnelin ollessa suljettuna.

Pilotin keskeiset tulokset laitetoimittajan laatiman raportin mukaan olivat, että tutkat havaitsivat keinotekoisesti toteutetut häiriöt ja aiheettomien hälytysten määrä oli alhainen, noin 1 aiheeton hälytys 24 tuntia kohden.

Pilotin tulosten perusteella tehtiin päätös Navtechin tutkien hankinnasta Hindheadin tunneliin.

Liikennevirasto ja Valtti-yksikkö (KAS-ELY:n valtakunnallinen telematiikkayksikkö) tekivät Navtechin isännöimän vierailun Hindheadin tunneliin kesäkuussa 2013. Vierailun keskeisimmät havainnot olivat vierailusta laaditun muistion (Nieminen 2013) perusteella seuraavat:

- Tutkien havaintoalueet ovat osittain päällekkäisiä. Yhteen tunneliputkeen olisi periaatteessa riittänyt 3 tutkaa, mutta niitä asennettiin 6 mahdollisen laiterikon aikaisen toimivuuden varmistamiseksi. Tutkien limittäinen sijoitus vähentää myös ajoneuvojen väleihin syntyviä katveja.
- Järjestelmällä ei ole erillistä käyttöliittymää tunnelin valvomossa, vaan tutkan hälytykset välitetään tunnelin liikenteenhallintajärjestelmä SCADA:an.
- SCADA laskee hitaan tai pysähtyneen ajoneuvon hälytyksestä tunnelin nopeusrajoituksen automaattisesti 70 mph → 40 mph (n. 113 → 64 km/h)
- Hindheadin tunnelilla on erillinen valvomo, jossa on jatkuvasti kolme päivystäjää.
- Valvomohenkilökunnan arvion mukaan järjestelmä tunnistaa todelliset häiriö-tilanteet tehokkaasti, eikä ongelmia esimerkiksi suuaukoilla ole havaittu. Aiheettomia hälytyksiä tulee arviolta 1 hälytys / ajosuunta / vrk. Tilastoja hälytyksistä ei ollut saatavilla.
- Tunnelin yhdestä tutkasta oli rikkoutunut moottorin hihna, jonka vuoksi kaikkiin tutkiin oli vaihdettu hihnat varotoimenpiteenä. Tunneli oli ollut vierailun aikana liikennekäytössä noin 2 vuotta. Laitetoimittajan ilmoittama hihnan keskimääräinen kestoikä on 75 000 tuntia (vajaa yhdeksän vuotta).
- Tutka on joutunut Hindheadissa maksimissaan -10 °C pakkaseen. Toimintaongelmia ei havaittu. Valmistajan mukaan tutkan on testattu toimivan normaalisti -20 °C lämpötilassa ja se on suunniteltu toimimaan aina -30 °C lämpötilaan asti.

7.4 Hampuri, Saksa (kamera ja silmukka)

Elbe-tunnelin tiedot ja kokemukset perustuvat testiraporttiin (LSBG 2012) ja Rainer Petersenin (Hampurin kaupunki) sähköpostihaastatteluun 2013.

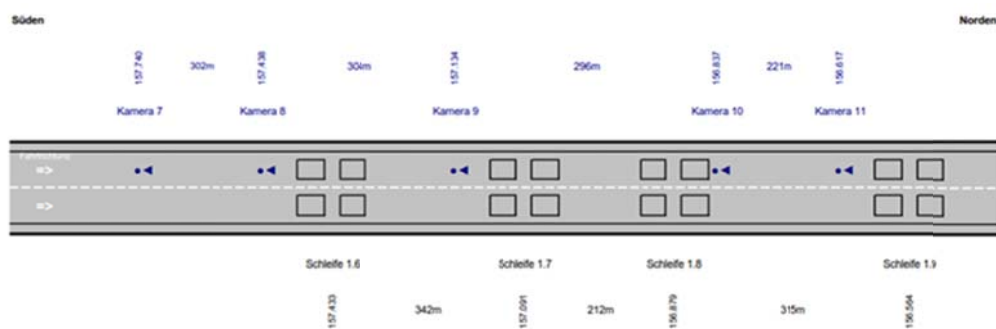
Hampurin Elbe-tunnelin HHJ-hankintaa varten keväällä 2007 tehtiin kenttäkoe, jossa testattiin Traficonin (nykyisin Flir) kamerapohjaista ja MAVE-tunin silmukkapohjaista HHJ:ä. Testi toteutettiin, sillä kansallinen tietunneliohje edellytti häiriönhavaintojärjestelmän hankintaa Elbe-tunneliin.

Elbe-tunneli on noin 3,3 km pitkä ja erittäin vilkkaasti liikennöity kaupunkiseudun tunneli. Keskimääräinen liikenne arkipäivisin on yli 120 000 ajoneuvoa vuorokaudessa. Tunnelissa on neljä kaksikaistaista tunneliputkea. Tunnelilla on erillinen ympäri vuorokauden toimiva miehitetty valvomo.

Kenttäkoe järjestettiin itäisimmässä tunneliputkessa noin kilometrin pituisella koealueella.

Kamerapohjaisen järjestelmän testaamiseen käytettiin viittä olemassa olevaa liikenne-kameraa, joiden väliset etäisyydet olivat 221–304 metriä. Kameraväli on HHJ:n aukottomalle toiminnalle aivan liian pitkä, joten testi kattoi vain yksittäisiä havainto-alueita.

Silmukkapohjaisen järjestelmän testaamiseksi tunneliin sahattiin mittaussilmukat neljään eri poikkileikkaukseen, joiden väliset etäisyydet vaihtelivat 212–342 m välillä.



Kuva 10. Elbe-tunnelin testin kameroiden ja silmukoiden sijoitus (LSBG 2012).

Traficonin järjestelmää testattiin 29.3.–12.4.2007 ja MAVE-tunia 30.3.–7.4.2007. Testaukset tehtiin sekä normaaleissa liikenneoloissa että erillisillä kokeilla tunnelin ollessa suljettuna.

Testauksen aikana kamerajärjestelmän havaintoalueilla ei tapahtunut yhtään pysähtyneen ajoneuvon tapausta tai onnettomuutta, joten järjestelmien havainto-ominaisuuksien vertailu perustui pääasiassa kokeisiin.

Molempien järjestelmien todettiin tunnistavan luotettavasti pysähtyneen ajoneuvon ja väärään suuntaan ajavien tapaukset.

Kameratekniikan havaittiin tunnistavan luotettavasti jalankulkijat ja savun. Pudonneen esineen tunnistus toimi, kun esineen ulkomitat ylittivät 50 cm. Silmukatekniikka ei ominaisuuksiensa puolesta pysty tunnistamaan suoraan edellä mainittuja häiriöitä, mutta mikäli tilanne on vakava ja häiriö vaikuttaa liikennevirran sujuvuuteen, pystyy MAVE -tun silmukajärjestelmä havaitsemaan sen perusteella häiriötilanteen.

Kameratekniikan ongelmaksi testeissä havaittiin ajoneuvojen taakse muodostuvat katveet, mikä haittaa erityisesti ajoneuvojen laskentaa ja luokittelua.

Elbe-tunnelissa päädyttiin testin tulosten perusteella silmukapohjaisen järjestelmän hankintaan. Ratkaiseva tekijä tekniikkaa valittaessa oli silmukajärjestelmän nopea ja luotettava reagointi tunnelin liikennevirrassa tapahtuviin muutoksiin.

Elbe-tunnelin liikennemäärät ovat suuria ja silmukajärjestelmällä arvioitiin voitavan tunnistaa ruuhkautuminen nopeasti, jolloin tarvittavat ohjaustoimenpiteet voidaan käynnistää nopeasti ja tienkäyttäjää voidaan varoittaa tilanteesta ajoissa. Elbe-tunnelilla on erillinen valvomo, jossa on kolme päivystäjää ympäri vuorokauden. Häly-

tyksiin kyetään siten reagoimaan nopeasti. Hampurissa pidettiin tärkeänä myös silmukajärjestelmän kykyä luokitella ajoneuvotyypit ja laskea liikennemäärät luotettavasti. Näin onnettomuustilanteessa pystytään määrittämään tunnelissa olevien erityyppisten ajoneuvojen määrä ja siten arvioimaan tunnelissa olevien henkilöiden määrä.

7.5 Felbertauern, Itävalta (silmukka)

MAVE-tunin silmukkapohjainen järjestelmä on käytössä Felbertauernin tunnelissa (5,3 km; 1+1 kaistaa).

Seuraavat tiedot perustuvat Felbertauernstrasse AG:n Michael Köllin haastatteluun 2013.

Silmukajärjestelmään päädyttiin, koska pitkäaikaisen kamerapohjaisen HHJ:n kokeilun tulokset eivät olleet tyydyttäviä. Ongelmia olivat aiheuttaneet mm. heijastukset, tiheä vesi sekä huoltojen ja korjausten aikana muuttuneet kameroiden kuvakulmat. Silmukajärjestelmää testattiin intensiivisesti muutaman kuukauden ajan ja tuloksiin oltiin tyytyväisiä.

Järjestelmä havaitsi liikennehäiriöt luotettavasti ja aiheettomien hälytysten määrä oli häviävän pieni.

Felbertauernin tunnelissa silmukat on sijoitettu hätäpoistumisteiden kohdalle, jolloin tekniikka on voitu sijoittaa suojaan yhdyskäytäviin ja laitteistoon pääsee helposti käsiksi ilman ajoradalle menoa. Ohjelmiston kanssa on ollut ajoittain ongelmia, valmistaja on joutunut ottamaan etäyhteyden järjestelmään keskimäärin viidesti vuodessa. Etähuollon tarve on johtunut useimmiten aikasynkronointiongelma.

7.6 Attica, Kreikka (kamera)

Kreikassa tehtiin vuonna 2005 kattava kirjallisuustutkimuksen ja kenttäkokeen sisältävä selvitys kamerapohjaisista HHJ:istä. Tavoitteena oli selvittää, sopisiko jokin järjestelmä mahdollisesti operointikäyttöön Attican edellisenä vuonna valmistuneen 65 km pitkän maksullisen kaupunkimoottoritien tunneliosuuksille. Luvun sisältö perustuu selvityksen loppuraporttiin. (Prevedouros ym. 2005.)

Selvityksen kirjallisuuskatsauksessa on kuvattu kamerapohjaisten järjestelmien teknisten toimintaperiaatteiden lisäksi lyhyesti aikaisempien pienimuotoisten kenttäkokeiden / pilottien tuloksia 2000-luvun alkupuolelta, joissa kameroita on käytetty liikennemäärien, keskinopeuksien, varausasteiden ym. laskentaan, mutta ei häiriöhavaintojärjestelmänä. Ajoneuvojen luotettava tunnistus toimii kuitenkin lähtökohtana HHJ:n toiminnalle, joten kenttäkokeissa tehdyt havainnot kameroiden toimivuudesta ovat hyödyllisiä.

Keskeiset Attican selvityksen kirjallisuuskatsauksessa tehdyt havainnot olivat:

- Tärkeimmät kameran toimivuuteen vaikuttavat tekijät ovat
 - kameran sijoitus
 - kameran näkemäalue
 - vuorokaudenaika
 - ympäristötekijät
- Tärkein tekijä järjestelmän toimivuudelle on kameran sijoituspaikka. Ajoneuvojen jääminen katveeseen muiden ajoneuvojen taakse on yleisin ongelmia aiheuttava tekijä.
- Kameroiden optimaalinen sijoituskorkeus olisi 9–12 metriä, mutta tunneliolosuhteissa tämä ei ole lähes koskaan mahdollista.
- Kameran havaintoalueen kalibrointi asennuskulman ja zoomauksen avulla parantaa toimivuutta huomattavasti.
- Tyypillisiä havaintotarkkuutta heikentäviä tekijöitä ovat
 - kirkaat valot yöaikaan
 - märkä sää
 - varjot
 - auringon ja tunnelivalaistuksen heijastukset tienpinnasta.
- Toiminnan heikkeneminen voidaan havaita joko todellisen ajoneuvon havaitsematta jättämisenä tai esim. varjon aiheuttamana ylimääräisenä tunnistuksena

Attican tutkimuksen testissä oli mukana kolme laitetoimittajaa: Autoscope, Citilog ja Traficon. Järjestelmät käyttivät testissä kahdeksan olemassa olevan liikennekameran tuottamaa videokuvaa. Kameran oli sijoitettu tunneleihin tieosuuden eri osiin. Kaikki kamerat oli sijoitettu, HHJ-laitetoimittajien suosituksista poiketen, tunnelin oikeaan seinään, eikä kattoon. Kaikki kamerat oli suunnattu liikennevirran suuntaisesti. Testattavat kamerat oli valittu tarkoituksella siten, että osassa kameroista valaistusolosuhteet olivat haastavia.

Testijärjestelmien asennuksen ja laitetoimittajille annetun kalibrointiajan jälkeen järjestelmät olivat 96 päivää testattavana normaaleissa liikenneoloissa. Kaikki järjestelmien tuottamat hälytykset todennettiin kameratallenteista.

Järjestelmät olivat tulosten käsittelyssä anonyymejä ja ne nimettiin kirjaimilla A, B ja C. Kukin laitetoimittaja sai luonnollisesti tietää oman tuloksensa.

Tutkimuksessa tulosten käsittelyssä kunkin järjestelmän arviointi perustui havaintoluotettavuuteen, aiheettomien hälytysten osuuteen sekä näiden suhteeseen.

Attican valvomohenkilökunta piti lähtökohtana, että häiriönhavaintojärjestelmän toimivuus olisi täysin epähyväksyttävää, jos aiheettomien hälytysten osuus kaikista järjestelmän tekemistä hälytyksistä olisi suurempi kuin järjestelmän havaintoluotettavuus. Järjestelmä luokiteltaisiin vastaavasti hyvin toimivaksi kun suhde olisi $\leq 0,1$.

Testissä ilmeni, että järjestelmien suorituskyvyt vaihtelivat huomattavasti kameroittain. Havaintoluotettavuudet vaihtelivat 14,3 % ja 85,7 % välillä ja aiheettomien hälytysten osuudet välillä 9,1–85,7 %. Kokonaisuutena kaikkien järjestelmien suorituskyky arvioitiin heikoksi.

Kaksi laitetoimittajaa kalibroi järjestelmäänsä pilotin aikana kahdesti ja yksi kerran. Muutosten vaikuttavuus vaihteli, mutta mikään järjestelmä ei pilotin lopussakaan toiminut tyydyttävästi.

Eri tekijöiden tilastollista merkittävyyttä testaamalla havaittiin, että havaintoluotettavuudet ja aiheettomien hälytysten osuudet vaihtelivat merkittävästi liikennemäärän ja valaistusolosuhteiden (luonnonvalo, keinovalo) mukaan.

Attican selvityksessä tutkittiin järjestelmien toimintaa myös erillisin testein kolmena päivänä osan kaistoista ollessa suljettuna. Yksi tavoite oli verrata järjestelmien havaintonopeuksia, koska palvelimien kellonajat eivät olleet 96 päivän pilottijakson aikana yhteneväisiä. Testattuja tapauksia oli yhteensä 34 ja ne sisälsivät hitaan, pysähtyneen ja väärään suuntaan ajavan ajoneuvon sekä jalankulkijan testin. Järjestelmä A havaitsi tapauksista 7, B 24 ja C 9 kpl. Järjestelmien B ja C keskimääräinen havaintonopeus oli alle 20 sekuntia, järjestelmä A:lla se oli yli 50 s.

Attican testin tulokset olivat tieoperaattorille pettymys. Syyksi huonoille tuloksille tutkimuksessa mainittiin seuraavat tekijät:

- Tekniikan alhainen kehitysaste
- Liian monimutkaiset algoritmit, kun laitetoimittajat tavoittelevat mahdollisimman monipuolisia havainto-ominaisuuksia. Pysähtyneiden ajoneuvojen ja pudonneiden esineiden havaitseminen riittäisi operaattoreille useimmissa ympäristöissä, sillä esim. savu on mahdollista havaita erillisillä sensoreilla.
- Kameroiden sijoituspaikat olivat testissä järjestelmien toiminnan kannalta epäsuotuisia. Laitetoimittajien tulisi ottaa huomioon, että tunneliympäristössä kamerat joudutaan yleensä sijoittamaan matalalle.

Päätelminä selvityksessä todettiin, että järjestelmien suorituskyky riippuu paljolti tunnelin geometriasta, liikenneolosuhteista ja kameroiden sijoituspaikoista. Käyttäjien odotukset ratkaisevat, ollaanko järjestelmiin tyytyväisiä vai ei. Ennen järjestelmien hankintaa on suositeltavaa testata niitä paikallisissa oloissa. Attican olosuhteissa järjestelmien havaittu toimivuus ei ollut sillä tasolla, että mitään testatuista järjestelmistä voitaisiin ottaa operointikäyttöön.

8 Tieliikennekeskuksen käyttäjätarpeet HHJ:lle

8.1 Yleistä

HHJ on tunnelien liikenteenohjauksen operoijana toimivan Liikenneviraston tieliikennekeskuksen tärkeä apuväline liikennehäiriöiden havaitsemisessa ja tunnelin turvallisuuden varmistamisessa. Siksi on tärkeää, että järjestelmän suunnittelussa ja toteutuksessa huomioidaan tieliikennekeskuksen tarpeet.

HHJ:n toimivuus on aina kompromissi havaintoluotettavuuden ja -nopeuden sekä aiheettomien hälytysten määrän välillä, kuten luvussa 5 on selitetty. Näin ollen 100 % havaintoluotettavuutta ja toimintavarmuutta ei voida vaatia tai odottaa.

HHJ:n teknisesti luotettava toiminta on erittäin tärkeää. Mikäli järjestelmä on pois käytöstä esimerkiksi teknisen vian vuoksi, vastuukysymysten vuoksi yksi tieliikennekeskuksen päivystäjistä joutuu seuraamaan kyseistä tunnelia jatkuvasti liikennekamerakuvista tai tunneliin joudutaan lähettämään maastopartio.

Selvityksen keskeinen osa on ollut tieliikennekeskuksen HHJ:iin liittyvien käyttäjätarpeiden kartoittaminen. Käyttäjätarpeet on kirjattu taulukkoon (liite 3).

Käyttäjätarpeiden laadinnan ensimmäisessä vaiheessa konsultti listasi tieliikennekeskukselle keskeisiksi oletettuihin käyttäjätarpeita Mestarintunnelin ja Karnaisten tunnelin toiminnallisten vaatimusten, järjestelmien esitteissä ja käyttöohjeissa mainittujen ominaisuuksien ja projektin esiselvitysvaiheessa esiin tulleiden näkökohtien perusteella.

Käyttäjätarpeisiin liittyviä kysymyksiä käytiin läpi projektin ohjausryhmän kokouksissa. Lisäksi käyttäjätarpeet käytiin yksityiskohtaisesti läpi Helsingin liikennekeskuksen päällikön Mika Jaatisen kanssa.

Käyttäjätarpeet on luokiteltu havaintotoimintoihin liittyviin käyttäjätarpeisiin, HHJ:n ja muiden teknisten järjestelmien yhteistoimintaan liittyviin käyttäjätarpeisiin, HHJ:n käyttöliittymään liittyviin käyttäjätarpeisiin sekä huolto- ja ylläpitotoimiin liittyviin käyttäjätarpeisiin.

Käyttäjätarvetaulukossa lähtökohtaisesti pakolliset käyttäjätarpeet on kirjattu sanamuodolla ”tulee” ja sanamuodolla ”tulee olla mahdollista” on kirjattu toivottavat, mutta ei välttämättömät ominaisuudet.

Käyttäjätarpeisiin liittyvät tarkennukset ja perustelut on kuvattu taulukossa omissa sarakkeissaan.

Havaintotoimintoihin liittyvät käyttäjätarpeet ja vaatimukset havaintoluotettavuudelle ja -nopeudelle vaihtelevat hankekohtaisesti riippuen mm. tunneliympäristöstä, liikennemääristä, geometriasta ja yhdyskäytävävälillä.

Koska tieliikennekeskus on ottamassa lähivuosina käyttöön tieliikenteen ohjauksen integroidun käyttöliittymän (T-LOIK), osa päivittäiseen operointiin liittyvistä HHJ-käyttöliittymän käyttäjätarpeista kohdistuu ennemminkin T-LOIK:iin, josta HHJ:iä tul-taisiin operoimaan. Päivittäiseen operointiin kuulumattomat asiat, kuten lokitietojen tulostaminen, liikenne- ja nopeustilastointi ym., tul-taisiin todennäköisesti jatkossakin tekemään HHJ:n oman käyttöliittymän kautta.

Pilotin perusteella pystyttiin arvioimaan pääasiassa havaintotoimintoihin liittyviä käyttäjätarpeita. Järjestelmien yhteistoimintaan, HHJ:n käyttöliittymään ja huolto- ja ylläpitotoimenpiteisiin liittyvien käyttäjätarpeiden täyttymisedellytyksiä ei ollut pilo-tin perusteella mahdollista järjestelmällisesti arvioida, sillä Navtech toimi pilotissa itsenäisesti eikä se ollut operointikäytössä. Kirjallisuuskatsauksessa ja pilotissa il-menneet havainnot on kuitenkin kirjattu taulukkoon myös näiden ryhmien osalta.

8.2 Haastattelut

Käyttäjätarvelistaus käytiin osittain läpi myös liikennepäivystäjä Kari Tarkin kanssa ja VAR-ELYn/Valtti-yksikön telematiikka-asiantuntija Juha Ylikorven kanssa. Tarkin kanssa käytiin läpi päivittäiseen operointiin liittyvät osiot, Ylikorven kanssa havainto-toimintoihin sekä huoltoon ja ylläpitoon liittyvät asiat. Haastatteluissa ilmenneet nä-kökohdat on huomioitu käyttäjätarvetaulukossa.

Tarkin ja Ylikorven mukaan kriittisimmät ja tärkeimmät havaittavat häiriötyypit ovat väärään suuntaan ajava ja pysähtynyt ajoneuvo. Nämä häiriötyypit tulisi tunnistaa luotettavasti ja nopeasti.

Ylikorven haastattelun keskeiset toteamukset:

- Tieliikennekeskuksen käyttäjätarpeita ei ole kartoitettu tähänastisten HHJ-toteutusten yhteydessä. Ensimmäisessä HHJ-toteutuksessa Isokylän tunne-lissa teknisten tai toiminnallisten vaatimusten perusteina käytettiin laiteval-mistajan ilmoittamia teknisiä tietoja suoritusarvoja hieman alennettuina. Ky-seessä oli ennen kaikkea pilottikohde, jonka tarkoituksena oli saada koke-muksia HHJ:n toiminnasta.
- Tieliikennekeskuksen käyttäjätarpeita käsiteltäessä on huomioitava, että käyttäjätarpeet ovat kehittyneet paljolti Suomen tunneleissa käytössä olleen Flirin kamerajärjestelmän ominaisuuksien ja toiminnan perusteella.
- Isokylän tunnelin vaatimuksia on sittemmin sovellettu myös muissa tunne-leissa eli E18 Karnaisten tunnelin, Mestarintunnelin ja Vuosaaren tunnelin hankkeissa, vaikka kaikki ovat kohteina hyvin erilaisia kuin Isokylän lyhyt tunneli.
- Tulevien tunnelihankkeiden vaatimusten laadinnassa olisi järkevää lähteä tie-liikennekeskuksen käyttäjätarpeista, mutta myös huomioida tekniikoiden asettamat reunaehdot. Vaatimukset eivät saisi olla niin tiukkoja, että poten-tiaalisia laitetoimittajia rajautuisi ulos kilpailusta.
- Ylikorven mukaan useimmat markkinoilla olevat tekniikat eivät pysty vastaa-maan käyttäjätarvetaulukossa listattuihin käyttäjätarpeisiin.

Päivystäjä Kari Tarkin haastattelun tärkeimpiä näkökohtia oli, että jalankulkijoista olisi tarpeellista saada hälytys. Nykyisellään jalankulkijoiden tunnistusta ei erikseen vaadita, tosin jalankulkijasta tulee joskus toisentyypinen hälytys. Päivystäjien kannalta HHJ:n on tärkeää toimia siten, että reaaliaikainen videokuva tapahtumapaikalta tulee automaattisesti näkyviin valvomon seinälle. Oikean liikennekameran manuaalinen etsintä hidastaisi tarvittavien liikenteenohjaustoimien käynnistämistä.

8.3 Havaintotoimintoihin liittyvät keskeiset käyttäjätarpeet

Seuraavassa on selostettu lyhyesti tärkeimmät havaintotoimintoihin liittyvät käyttäjätarpeet ja niihin liittyvät näkökohdat.

Väärään suuntaan ajavan ajoneuvon tunnistus

- Todella tärkeä tunnistettava sekä moottoritie- että kaupunkiseudun tunneleissa, koska voi aiheuttaa vakavan onnettomuuden.
- Väärään suuntaan ajava ajoneuvo on koko ajan liikkeessä, joten HHJ:n on aiheellista tehdä uusi hälytys ajoneuvon siirtyessä havaintoalueelta toiselle.
- Nykyisin käytössä olevissa kamera-HHJ:issä hälytys aktivoituu vasta kun havainto on saatu kahdelta peräkkäiseltä kameralta. Tällainen tunnistus on osoittautunut luotettavaksi ja aiheettomien hälytysten määrä on ollut vähäinen, mutta havaintonopeus on luonnollisesti hieman pidentynyt.

Pysähtyneen ajoneuvon tunnistus

- Kriittinen hälytystyyppi. Pysähtynyt ajoneuvo aiheuttaa potentiaalisen onnettomuusvaaran.
- Nopea tunnistus erityisen tärkeää korkeiden ajonopeuksien moottoritie-tunneleissa.
- Teknisen vian vuoksi pysähtynyt ajoneuvo on myös potentiaalinen tulipaloriski.
- Tunneliin jalkautuvat kuljettaja ja matkustajat aiheuttavat onnettomuusriskin.
- Leveälle pientareelle pysähtyneet ajoneuvot eivät ole niin suuri riski kuin ajo-kaistoille pysähtyneet.

Hitaan ajoneuvon tunnistus

- Tärkeää tunnistaa moottoritietunneleissa, joissa ajonopeudet ja nopeuserot ovat suuria.
- Toimii usein ennakkotietona pian pysähtyvistä ajoneuvosta.
- Kaupunkiseudun tunneleissa, joissa ajonopeudet ovat alhaisia, ei hitaan ajoneuvon tunnistus ole pakollinen vaatimus.

Ajoradalla oleva este / pudonnut esine

- Tärkeää tunnistaa moottoritietunneleissa, jossa ajonopeudet ovat suuria ja esteet voivat aiheuttaa vaarallisia väistöliikkeitä.
- Kaupunkiseudun tunneleissa ei välttämätön vaatimus tai tunnistettavan esteen koko voi olla luokkaa mopoauto.

Hälytyksen sijainnin määrittäminen

- Hälytykset tulee tunnistaa kaistakohtaisesti, kapea piennar lasketaan mukaan reunimmaiseen ajokaistaan, leveä piennar on oma havaintoalueensa.
- Vaadittava havaintotarkkuus on puolet yhdyskäytävälistä, jolloin pelastuslaitos osaa onnettomuustilanteissa lähestyä paikkaa oikeasta suunnasta. Tyypillisesti tämä on noin 75 m.

Toiminta erilaisissa olosuhteissa

- Järjestelmän tulee toimia luotettavasti myös erilaisissa sää- ja valaistusoloissa.
- Poikkeuksellisia olosuhteita, kuten rankkoja vesi- tai lumisateita varten, voidaan määrittää poikkeuksia havaintotarkkuudesta ja -nopeudesta pysähtyneen ajoneuvon ja pudonneen esineen hälytysten osalta.

Hälytystyyppistä väärään suuntaan ajavan tunnistus oikeantyyppiseksi hälytykseksi on tärkeää. Sen sijaan esim. pudonneen esineen ja pysähtyneen ajoneuvon, jotka ovat havaintoteknisesti lähellä toisiaan, hälytystyyppien tunnistuksesta ristiin ei ole merkittävää haittaa.

9 Käyttäjätarpeet ulkomailla

9.1 Yleistä

Ulkomaisissa tietunneleissa on usein erillinen ympäri vuorokauden miehitetty tunnelivalvomo. Tällaisissa tapauksissa päivystäjien mahdollisuudet seurata tunnelin tapahtumia videotallenteista ja reagoida HHJ:n tuottamiin hälytyksiin ovat paljon paremmat verrattuna Suomessa olevaan toimintamalliin, jossa tietyn tunnelin operointi ja valvonta on vain yksi työtehtävä lukuisten muiden joukossa.

Erillisen valvomon tapauksessa HHJ:n tärkein funktio on yleensä tunnistaa mahdolliset poikkeavuudet ja häiriöt nopeasti, jolloin päivystäjät tarkistavat tunnelissa vallitsevan tilanteen. Koska päivystäjän tehtävä on valvoa nimenomaan kyseistä tunnelia, voi tieto liikenteen hetkellisestä ruuhkautumisesta, hitaasta työkoneesta tms. tilanteesta olla hyödyllinen, vaikka se ei edellyttäisikään välittömiä toimenpiteitä. Aiheettomat hälytykset ovat luonnollisesti turhia ja vievät uskottavuutta todellisilta hälytyksiltä, mutta niiden todentamisesta päivystäjille aiheutuva vaiva on suhteessa vähäisempi kuin keskitetyn valvomon tapauksessa.

Elbe-tunnelissa Hampurissa HHJ:n tärkein funktio on tunnistaa liikennevirrassa tapahtuvat muutokset sekunneissa, jolloin päivystäjät osaavat tarkistaa liikennekameravideosta tunnelissa vallitsevan tilanteen ja tehdä tarvittavat liikenteenohjaustoimenpiteet.

Liikenneviraston Tukholman liikennekeskukseen (keskitetty tunnelivalvomo) talvella 2014–2015 tekemän vierailun havaintojen perusteella paikallinen kamerapohjainen HHJ tuotti runsaasti aiheettomia hälytyksiä, mutta operaattori ei pitänyt niitä merkittävänä häirtana (Jaatinen 2015).

Ulkomailla kamera- ja tutkapohjaisia tekniikoita käytetään häiriönhavainnon ohella tai sijaan myös esimerkiksi pientareen käytön tai turvavälien valvontaan.

RAIDER-projektissa haastatellut tieoperaattorit totesivat häiriön nopean havainnon olevan tärkeää ennen kaikkea tarvittavien pelastustoimenpiteiden nopean käynnistämisen sekä tilanteen vakavoitumisen ja uusien onnettomuuksien ehkäisemisen vuoksi. (RAIDER 2012).

RAIDER-projektin työryhmä on luokitellut taulukossa 6 osin kirjallisuuslähteisiin perustuen HHJ:n toiminnan eri tasoihin suorituskykyymmäreihin perustuen (RAIDER 2013a). Taulukko koskee HHJ:iä yleisesti, ei pelkästään tunneliympäristöä.

Suomessa käytetyt toiminnalliset vaatimukset sijoittuvat taulukossa 6 keltaisen ja vihreän luokan välimaastoon.

Taulukko 6. HHJ:ien luokittelu eri suorituskykymittareiden perusteella (RAIDER 2013a).

Detection Rate (DR)	Low <= 50%	Medium > 50%	High > 80%	Very High > 99%
Detection Time (DT)	Very High ≥ 5 min	High < 5 min	Medium < 1 min	Low < 10 sec
Location Accuracy (LA)	Low ≥ 100 m	Medium < 100 m	High < 10 m	Very High < 1 m ¹⁾
False Alarm Rate (FAR) [False Alarms/day/km]	Very High ≥ 25	High < 25	Medium < 2.5	Low < 0.25

¹⁾ Häiriöiden kaistakohtainen tunnistus

Kamerapohjaisten HHJ:ien toimintaa ja järjestelmiin liittyviä näkökohtia selvittäneessä ranskalaisessa selvityksessä häiriöt on luokiteltu havaintotärkeyden mukaan laite-toimittajien, suunnittelijoiden ja operaattorien haastatteluiden perusteella seuraavasti (Bossu 2014):

Luokka 1:

- pysähtynyt ajoneuvo (paikoillaan n. 10 sekuntia)
- savu

Luokka 2:

- liikenteen ruuhkautuminen
- väärään suuntaan ajava ajoneuvo

Luokka 3:

- jalankulkijat

Luokka 4:

- pudonnut esine > 0,5 m³
- hidas ajoneuvo

Pudonneen esineen hälytys on todettu tärkeäksi vain kun liikennemäärät ovat alhaisia, koska vilkkaasti liikennöidyissä tunneleissa on todennäköistä, että esine on aiheuttanut toisen häiriön tai poistettu, ennen kuin operaattori ehtii tehdä toimenpiteitä. Hitaan ajoneuvon tunnistus ei useimmissa kohteissa ole kovin hyödyllinen, eikä sitä yleensä vaadita. (Bossu 2014.)

9.2 Tukholman toiminnalliset vaatimukset

Tukholmassa Södra Länkenin kaupunkitunnelin viimeisimmässä HHJ-hankinnassa käytetyt keskeisimmät toiminnalliset laatuvaatimukset olivat seuraavat (Vägverket 2010):

- Häiriöt on havaittava kaikilta kaistoilta koko tunnelin pituudelta, mukaan lukien suuaukot, pientareet ja huoltovälikkeet.
- Pysähtyneen ajoneuvon (tai muun suurikokoisen esineen) havaitsemisaika on pystyttävä säätämään 5–90 sekunnin välillä.
- Tunnelivalaistuksen säädön aikainen pysähtyneen ajoneuvon hälytysten tilapäinen poiskytkentä sallitaan.

- Pudonneen esineen havaitsemista ei vaadita, mutta se on toivottava lisäominaisuus.
- Pysähtyneen ajoneuvon aiheettomia hälytyksiä sallitaan tunnelin sisällä yksi 40:tä päivää kohden / ilmaisoin.
- Pysähtyneen ajoneuvon aiheettomia hälytyksiä sallitaan tunnelin suuaukolla yksi 20:tä päivää kohden / ilmaisoin.
- Väärään suuntaan ajavan ajoneuvon aiheettomia hälytyksiä sallitaan yksi 20:ä hälytystä kohden.
- Aiheettomia savuhälytyksiä sallitaan 0,03 ilmaisinta ja päivää kohden.

Taulukko 7. Södra Länkenin tunnelin toiminnalliset vaatimukset (Vägverket 2010).

Södra Länken	Hankkeen alkuperäinen tuotevaatimus	
	Ilmaistava kaikkien tapauksista (%)	Havaintoaikavaatimus (s)
Hidas ajoneuvo	ei vaadita	ei vaadita
Pysähtynyt ajoneuvo	99	30
Väärään suuntaan ajava ajoneuvo	99	ei määritetty
Pudonnut esine	ei vaadita	ei vaadita
Savu	99	ei määritetty

Södra Länkenin toiminnalliset vaatimukset eroavat Suomessa käytetyistä vaatimuksista selvästi, sillä hitaan ajoneuvon tai pudonneen esineen tunnistusta ei vaadita lainkaan.

10 Pilotti

10.1 Pilotin tavoitteet

Hankkeeseen sisältyvässä pilotissa testattiin Navtechin tutkapohjaisen HHJ:n toimintaa Espoossa Kehä I:llä Mestarintunnelin itäisessä tunneliputkessa keväällä 2015 järjestetyssä pilotissa.

Pilotin keskeisenä tavoitteena oli selvittää, toimiiko tutkapohjainen HHJ Mestarintunnelin tyyppisessä tunnelissa paremmin kuin tunnelissa nykyisin käytössä oleva kamerapohjainen järjestelmä. Järjestelmien toimintaa arvioitiin niiden tuottamien hälytysten perusteella ja arviointikriteereinä käytettiin HHJ:n suorituskykykymittareita, eli havaintoluotettavuutta, -tarkkuutta, -nopeutta sekä aiheettomien hälytysten määrää. Lisäksi arvioitiin erilaisten ympäristö- ja liikenneolosuhteiden vaikutusta järjestelmien toimintaan.

Pilotin avulla oli tarkoitus saada myös kokemuksia tutkan käyttöönotosta ja virityksestä, tutkajärjestelmän teknisestä toiminnasta sekä rajoitteista.

Pilotin tulosten ja havaintojen perusteella päästiin arvioimaan kamera- ja tutkapohjaisten järjestelmien kykyä täyttää tieliikennekeskuksen HHJ:iin liittyvät käyttäjätarpeet.

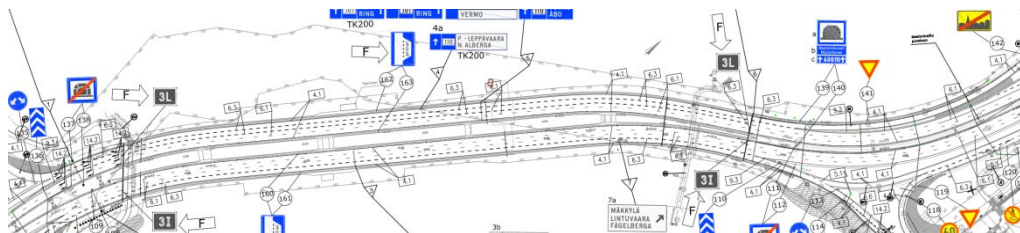
10.2 Mestarintunnelin geometria ja ominaispiirteet

Mestarintunneli on noin 500 metrin pituinen kaksiputkinen 4+4-kaistainen vilkkaasti liikennöity kaupunkiseudun tunneli Kehä I:llä Espoon Leppävaarassa.

Molempien tunneliputkien ajokaistat on numeroitu ajosuunnassa katsoen oikealta kaistoiksi 1–4.

Tunnelin molempien suuaukkojen tuntumassa on liittymis- ja erkanemisrampit, eli käytännössä koko tunneli on sekoittumisaluetta. Itään päin menevän tunneliputken kaistoista kaksi vasemmanpuoleisinta (kaistat 3 ja 4) tulevat Kehä I:ltä etelän suunnasta ja sisältävät lisäksi suurimman osan Turunväylältä lännen suunnasta kehälle kääntyneestä liikenteestä. Oikeanpuoleiset kaistat 1 ja 2 kattavat mm. Vanhalta Turuntieltä (mt. 110) ja Leppävaarasta tulevan liikenteen.

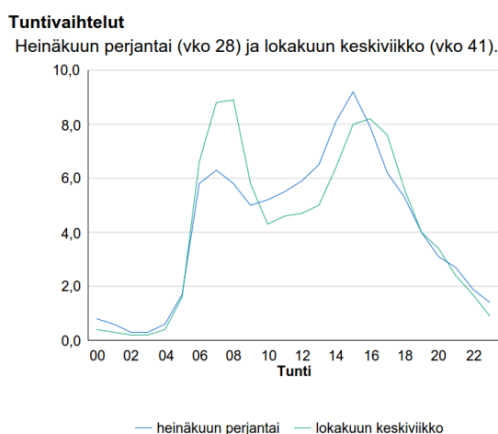
Itään päin suuntautuvan liikenteen tunneliputkessa on kolme suoraan jatkavaa kaistaa, joista oikeanpuoleisin (kaista 2) päättyy noin 950 m tunnelin jälkeen. Kehää suoraan jatkava liikenne ryhmittäytyy yleensä jo tunnelin alussa kaistoille 3 ja 4, joten kaistan 2 liikennemäärät ovat näitä huomattavasti alhaisempia.



Kuva 11. Ote Mestari-tunnelin liikenteenohjauksen suunnitelmapakartasta (Tiehallinto 25.6.2009).

Tunnelin itäpuolella Konalassa sijaitsevan LAM-pisteen 126 keskimääräinen vuorokausiliikenne vuonna 2014 oli 69 859. Keskimääräinen arkivuorokausiliikenne oli 80 190. Raskaiden ajoneuvojen osuus kaikesta liikenteestä oli 4,9 %. (Liikennevirasto 2015b).

Liikennemäärien tuntivaihtelu on voimakasta (kuva 12) ja arki-aamuisin ja ilta-päivisin liikennemäärät ovat todella suuria. Aamuisin vilkkaampi liikennevirta suuntautuu länteen ja ilta-päivisin itään.



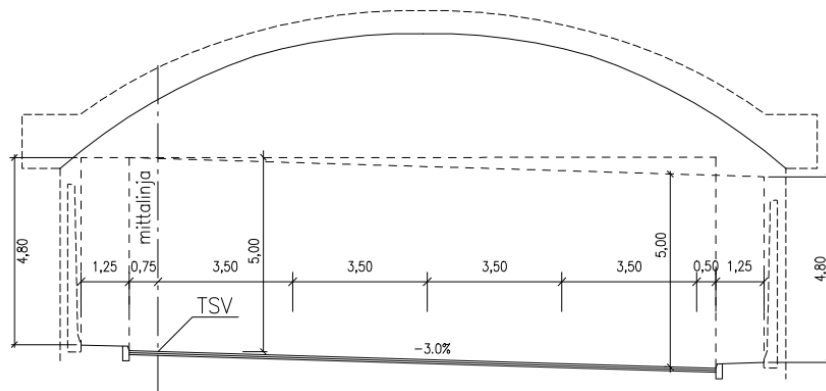
Kuva 12. Konalan LAM-pisteen (nro 126) tuntivaihtelut 2014 (Liikennevirasto 2015b).

Kehä I:n itäinen ajorata ruuhkautuu tunnelin itäpuolella arki-ilta-päivisin ajoradan kaaventuessa kaksikaistaiseksi. Välityskyvyn ylittyessä ruuhka näkyy myös itäiseen tunneliputkeen asti ulottuvana pysähtelevänä tai seisovana jonona.

Seisovan jonon ulottumista tunneliin pyritään turvallisuussyistä rajoittamaan automaattisen pääsäättelyn avulla. Tunnelin itäpuolella on ruuhkan tunnistavia RTJ-silmukoita ja tunnelin liikenteenhallintajärjestelmä sulkee tarvittaessa tunnelin sisäänajoaukolla olevien liikennevalojen avulla.

Mestari-tunneli on sukeltava tunneli. Itäisen ajoradan pituuskaltevuus on kummassakin päässä 5 %. Jyrkät mäet vaikuttavat ajonopeuksiin erityisesti raskaan liikenteen ja jonoutuneen liikenteen osalta.

Itäisen ajoradan kukin ajokaista on 3,5 metriä leveä. Kummallakin reunalla on kapea piennar ja koroke kuvan 13 mukaisesti.



Kuva 13. Mestarintunnelin itäisen ajoradan poikkileikkaus plv. 6565–6770.

10.3 Tutkajärjestelmän asennus ja käyttöönotto

Tässä luvussa on kuvattu pilottilaitteiston asennuksen ja käyttöönoton kulku sekä niistä tehdyt havainnot. Koska kyseessä oli pilottihanke, ei tutkajärjestelmää integroitu osaksi tunnelin liikenteenhallintajärjestelmää, mutta maastossa ja tunnelin laite-tilalla tehdyt asennus- ja muutostyöt vastasivat paljolti operointikäyttöön otettavan järjestelmän vaatimia toimenpiteitä.

Asennuksen- ja käyttöönoton kulkua ja kokemuksia koskevat tiedot perustuvat tilaa-
jan projektipäällikkönä toimineen ja pilotin järjestämisestä vastanneen Kalle Ruotti-
sen (Liikennevirasto) haastatteluun (2015).

10.3.1 Pilotin osapuolet

Pilottihankkeen osapuolet ja niiden tehtävät olivat seuraavat:

- **Liikennevirasto** ja **Valtti** (Liikenteen telematiikka ja tietopalvelut -yksikkö) toimivat yhteistyössä tilaajaorganisaationa.
- **Navtech** toimi laitetoimittajana, käyttöönottajana ja järjestelmäasiantuntijana. Yritys vastasi myös tutkajärjestelmän asetus- ja parametrimuutoksista ja ylläpidosta.
- **Imtech** toimi pilotissa tutkalaitteiston maahantuoja ja vastasi järjestelmän asennuksen ja kaapeloinnin suunnittelusta ja toteutuksesta. Imtech vastasi myös pilotin sopimusasioista ja toimi yhteystahona tilaajan ja Navtechin välillä.
- **YSP** ja **Suomen Sähkörakennus** vastasivat tunnelissa tapahtuvista asennus- töistä. Yritykset kuuluvat samaan konserniin Imtechin kanssa.

10.3.2 Pilotin käytännön toteutus

Testattavan tutkateknologian ominaisuudet ja rajoitteet olivat pääpiirteittäin etukä-
teen tilaajan (Liikennevirasto) tiedossa. Pilotin suunnitteluvaiheessa tilaaja ei ollut
asettanut laitteiston toiminnalle erityisiä vaatimuksia. Päätös pilotin toteutuksesta ja
laajuudesta tehtiin laitetoimittajan elokuussa 2014 tekemän maastokatselmuksen
jälkeen.

Pilottilaitteisto hankittiin vuokraamalla ja sopimukseen sisältyi optio laitteiden ostamisesta pilotin päätyttyä. Päätös option käytöstä oli tarkoitus tehdä pilotin kokemusten perusteella. Pilottilaitteiston vuokraus ja asennustyöt toteutettiin kiinteällä kokonaishinnalla tietyn reunaehdoin.

Alun perin pilotin tavoitteena oli testata Navtechin häiriönhavaintojärjestelmän kykyä vastata Mestarintunnelin HHJ:n nykyisiin toiminnallisiin vaatimuksiin. Navtech kuitenkin toi jo varhaisessa vaiheessa esille, että tutkajärjestelmä ei kykene täyttämään näitä vaatimuksia, sillä esimerkiksi häiriöiden kaistakohtainen tunnistus ei pilotissa käytetyllä tutkavälillä ollut mahdollista. Laitetoimittaja ei pitänyt myöskään järjestelmän kykyä havaita pudonneita esineitä kovin hyvänä kyseisellä tutkavälillä.

Pilotin valmisteluvaiheessa hanke muuttui tilaajan näkökulmasta tutkatekniikan toimintafilosofiaa, ominaisuuksia ja suorituskykyä Mestarintunnelin kaltaisessa kaupunkitunnelissa selvittäväksi testiksi. Tutkajärjestelmän havaintotoimintoja ei räätälöity tarkalleen Fliriä vastaaviksi. Yksi syy lähestymistavan muutokseen oli se näkökohta, että suomalaiset odotukset ja käyttäjätarpeet ovat kehittyneet kamera-pohjaisen HHJ:n ominaisuuksien perusteella. Navtechin toimintaperiaatteista voitaisiin saada uusia, hyödyllisiä näkökulmia tulevia HHJ-hankkeita varten myös muita tekniikoita kuin tutkaa käytettäessä.

Eri hälytystoimintojen toimintaodotuksia ja yksityiskohtia ei ollut käyty laitetoimittajan kanssa järjestelmällisesti läpi ennen järjestelmän käyttöönottoa. Esimerkiksi väärään suuntaan ajavan ajoneuvon tunnistuksen Fliristä poikkeava toimintatapa ilmeni vasta järjestelmän käyttöönotossa (ks. luku 10.3.4). Myöskään suomalainen toimintaympäristö, eli tunneleiden operointi keskitetystä valvomosta erillisen tunnelivalvomon sijaan, ei välttämättä ole ollut Navtechilla tiedossa ennen tutkan käyttöönottoa.

10.3.3 Järjestelmän asennustyöt

Tutkien asennustyöt tunnelissa edellyttivät muutaman lyhyen kaistansulun tunnelissa. Tutkan ja sen käyttämien palvelimien asennukset edellyttivät melko suuria muutoksia Mestarintunnelin paikallisverkkoon. Muutosten vuoksi itäisen tunneliputken sisäänajoaukulle sijoitettu liikennekamera I1 meni pois toiminnasta ja saatiin korjatuksi vasta pilotin lopussa.

Jos järjestelmä olisi otettu operointikäyttöön, olisi se integroitu osaksi tunnelin liikenteenhallintajärjestelmää. Pilottihankkeessa ei saatu kokemuksia integroinnin teknisestä toteutuksesta.

10.3.4 Käyttöönottilaisuus / SAT-testi 23.–24.2.15

Käyttöönottilaisuudessa 23.–24.2.2015 välisenä yönä testattiin eri hälytystyyppien toimivuus testiajoneuvojen ja -henkilöiden avulla, säädettiin havaintoasetuksia sekä yritettiin minimoida testissä havaitut katvealueet.

SAT-testissä tehtiin seuraavat maastotestit ja havainnot puutteellisesti toimivuudesta:

- Hidas ajoneuvo ajoi tunnelin läpi 15–20 km/h nopeudella vuorollaan kullakin kaistalla 1–4
 - Kaistan 1 havainto-osuudelta 4 ei saatu havaintoa häiriöheijastumien vuoksi. Havainto-osuudelta 2 havainto saatiin vasta toisella yrityksellä.
 - Kaistan 4 havainto-osuudelta 5 ei saatu havaintoa häiriöheijastumien vuoksi.
- Ajoneuvo ajoi tunnelin läpi 15–20 km/h nopeudella ja pysähtyi kullakin havainto-osuudella noin 20 sekunniksi. Testi tehtiin kullakin ajokaistalla 1–4.
 - Kaistan 1 havainto-osuudelta 4 ei saatu havaintoa häiriöheijastumien vuoksi. Havainto-osuudelta 1 havainto saatiin vasta toisella yrityksellä.

Testaussuunnitelman mukaan tarkoitus oli testata myös kaistojen 1 ja 3 kultakin havaintoalueelta pysähtyvän ja 5–10 km/h nopeudella peruuttavan ajoneuvon havaitseminen. Peruuttavan ajoneuvon havaitsemista ei kuitenkaan testattu, kun keskustelussa kävi ilmi Liikenneviraston ja Navtechin erilaiset käsitykset väärään suuntaan ajavan ajoneuvon tunnistamisesta. Väärään suuntaan ajavan tunnistus tarkoitti Navtechin järjestelmässä peruuttavan ajoneuvon tunnistamista, mikä edellyttäisi ajoneuvon ajoa ensin oikeaan suuntaan, pysähtymistä ja peruuttamista. Tällöin tunnelin läpi väärään suuntaan ajavaa ajoneuvoa ei tunnistettaisi. Navtech teki väärään suuntaan ajavan ajoneuvon tunnistamisen mahdollistavat muutokset SAT-testin jälkeisenä päivänä (Flynn 2015).

Käyttöönottotilaisuudessa käytiin läpi myös Navtechin käyttöliittymän toiminta ja hälytyslokien käyttäminen.

10.3.5 Kokemukset asennuksesta ja käyttöönotosta

Järjestelmän ja laitteiden asennuksessa ja käyttöönotossa ei ilmennyt suurempia ongelmia tai haasteita.

Käyttöönoton jälkeinen säätöjakso osoittautui yllättävän pitkäksi. Järjestelmän viritäminen vaatii aikaa ja testaamista. Muutosten väliin on järkevää jättää muutaman viikon testausjakso, jotta muutosten vaikuttavuus saadaan selville. Alkuvaiheessa tarkoituksenmukainen väli olisi noin kaksi viikkoa, säätöjakson loppupuolella noin kuukausi.

Eri osapuolten välisten väärinkäsitysten välttämiseksi olisi järkevää käydä heti hankintaprosessin aluksi läpi tilaajan tarpeet ja tekniset asiat kaikkien osapuolten kesken järjestettävässä palaverissa.

10.4 Kuvaus järjestelmien asetuksista, havaintokriteereistä ja -ajoista

Tässä luvussa on selostettu Mestarintunnelin HHJ:n tuotevaatimukset sekä Flirin ja Navtechin havaintoasetukset. Järjestelmien yleinen tekninen toiminta ja niiden asettamat rajoitteet on käsitelty raportin luvussa 5.

10.4.1 Mestarintunnelin tuotevaatimukset

Flirin kamerapohjaisen HHJ:n toiminnalliset vaatimukset on alun perin laadittu Isokylän tunnelin (E18) vaatimusten pohjalta. Isokylä oli moottoritietunnelina toimintaympäristöltään hyvin erilainen kuin Mestarintunneli. (Ylikorpi 2015.)

Mestarintunnelin toiminnallisia vaatimuksia on sittemmin lievennetty tunnelin operaattorin eli tieliikennekeskuksen toiveesta hälytysmäärän ja ennen kaikkea aiheettomien hälytysten määrän alentamiseksi. Esimerkiksi pysähtyneen ajoneuvon havaintoaikaa on kasvatettu, jotta hetkeksi aikaa pysähtyvistä ajoneuvoista ei tulisi hälytyksiä. Alkuperäiset ja nykyään käytössä olevat tuotevaatimukset on esitetty taulukossa 8. Taulukossa esitetyt vaatimukset koskevat kaikkia kaistoja koko tunnelin pituudelta. Häiriöt on havaittava kaistakohtaisesti. Pientareilta ei edellytetä erillistä tunnistusta, vaan yhdistetty hälytys esimerkiksi ”Kaista 1 / piennar” riittää. Alkuperäiset tuotevaatimukset määrittävät aiheettomien hälytysten sallituksi määräksi 0,025 * (tunnistus-toimintojen lukumäärä) * (kameroiden lukumäärä).

Taulukko 8. Mestarintunnelin alkuperäiset ja käytössä olevat tuotevaatimukset 2013.

Mestarintunneli	Urakan alkuperäinen tuotevaatimus		Käytössä oleva vaatimus	
	Ilmaistava kaikkista tapauksista (%)	Havaintoaikavaatimus (s)	Ilmaistava kaikkista tapauksista (%)	Havaintoaikavaatimus (s)
Liikennehäiriö				
Hidas ajoneuvo	90	20	90	20
Pysähtynyt ajoneuvo	98	10	98	20
Väärään suuntaan ajava ajoneuvo	95	5	95	5
Muu turvallisuutta vaarantava este ajoradalla	90	20	90	25

10.4.2 Flirin toiminta

Mestarintunnelissa on yhteensä 44 HHJ-kameraa, 22 kameraa per tunneliputki. Kamerrat ovat analogisia värikameroita (Bosch Dinion 2X LTC 0630/11). Itäisen tunneliputken kamerrat on sijoitettu pareittain siten, että toinen kamera on asennettu kaistan 1 ja toinen kaistan 4 yläpuolelle. Toinen kamera kuvaa kaistoja 1 ja 2 sekä oikeaa piennarta ja toinen vastaavasti kaistoja 3 ja 4 sekä vasenta piennarta. Tunnelin itäpäässä ulostulosuuaukolla oleva kamerapari on suunnattu ajosuunnan vastaisesti auringonpaisteen ja heijastusten aiheuttamien ongelmien vähentämiseksi. Muut kameraparit on suunnattu liikenteen suuntaisesti. Kameraparien välinen etäisyys on pääosin 55 metriä, suuaukkojen tuntumassa hieman alhaisempi.

Flir on yhdistetty tunnelin liikenteenhallintajärjestelmään OPC-rajapinnan kautta. Flirin hallinta- ja käyttöliittymää kutsutaan FLUXiksi.

FLUX tallentaa jokaisesta liikennetilannehälytyksestä palvelimelle kuvakaappauksen sekä 70 sekunnin pituisen videotallenteen hälyttävältä HHJ-kameralta. Tallenne alkaa 35 s ennen hälytystä ja päättyy 35 s hälytyksen jälkeen. Hälytys hetki on merkitty videotallenteisiin. Pysähtyneiden ajoneuvojen ja pudonneiden esineiden hälytysten osalta häiriön/havainnon sijainti on merkitty videotallenteeseen sekä pysäytyskuvaan valkoisella laatikolla.

Flir ilmoittaa hälytyslokissa hälytyksen sijainnin havaintokameran ja kaistan (neljä ajokaistaa sekä pientareet) tarkkuudella.

Flirin ilmaisutyypit / havaittavat häiriöt (Sabik 2015; Taskula & Hellroos 2015):

1) Pysähtynyt ajoneuvo

- Havaitaan kaikilta ajokaistoilta ja pientareilta.
- Ilmaisu tulee 20 s kuluessa ajoneuvon pysähtymisestä paikalleen
- Ilmaistavan objektin koko n. 1 x 1 x 1 m

2) Hidas ajoneuvo (alinopeus)

- Havaitaan kaikilta ajokaistoilta.
- Ilmaisaika n. 10 s
- Ilmaistavan objektin koko n. 1 x 1 x 1 m.
- Hitaan ajoneuvon on ajettava selvästi muuta liikennettä hitaammin
- Hitaat henkilö- ja pakettiautot tunnistetaan vain, jos ne hidastavat voimakkaasti tunnelissa. Esimerkki hälytyksen aktivoivasta hidastamisesta on 50 km/h → 20 km/h. Hitaat raskaat ajoneuvot tunnistetaan vaikka ne ajaisivat tasaisella nopeudella.

3) Väärään suuntaan ajava ajoneuvo

- Havaitaan kaikilta ajokaistoilta ja pientareilta.
- Vaatii väärään suuntaan ajavan ilmaisuuden kahdelta peräkkäiseltä kameralta.
- Hälytys aktivoituu 1–2 s kuluessa ajoneuvon ylittäessä toisen kameran ilmaisuusalueen
- Ilmaistavan objektin koko n. 1 x 1 x 1 m

4) Pudonnut esine

- Havaitaan kaikilta ajokaistoilta ja pientareilta.
- Ilmaisaika n. 20 s
- Ilmaistavan objektin koko n. 1 x 0,5 x 0,5 m

5) Ruuhkautunut liikenne

- Havaitaan kaikilta ajokaistoilta.
- Ilmaisu tulee n. 30 s kuluessa ruuhkautumisen alkamisesta
- Tunnistus perustuu liikennevirran keskinopeuden, varausasteen sekä niiden muutosten seurantaan.
- Ei varsinainen hälytys, graafinen ilmaisu FLUXin ja liikenteenhallintajärjestelmän käyttöliittymässä.
 - palvelutaso 3 = hitaasti liikkuva jono, keskinopeus 20–40 km/h
 - palvelutaso 4 = pysähtelevä jono, liikennevirran keskinopeus < 20 km/h
- Ilmaisutyyppejä ei tarkistettu videotallenteista pilotin aikana.

Pysähtyneen ajoneuvon ja pudonneen esineen hälytysten tapauksessa samalta kameralta ja kaistalta tulevaa uutta hälytystä ei välitetä tunnelin liikenteenhallintajärjestelmälle n. 30 sekuntiin, eli niin kauan kuin edellinen hälytys on aktiivinen. Pysähtyneen ajoneuvon ja pudonneen esineen hälytykset rinnastetaan toisiinsa tämän ominaisuuden toiminnan osalta.

Liikennetilanteiden lisäksi Flir tunnistaa komponenttien vikaantumisen tai rajoittuneen toimintakyvyn ja tekee niistä teknisen hälytyksen. Tyypillinen esimerkki on kameran vikaantuminen tai huono kuvanlaatu.

FLUXiin on ohjelmoitu erilaisia erikoisohjelmia, ns. ”skenaarioita”, jotka säätelevät järjestelmän havaintoparametreja ja tunnelin liikenteenhallintajärjestelmälle välitettäviä hälytyksiä. Osa skenaarioista käynnistyy automaattisesti liikenteenhallintajärjestelmältä tulevien ohjaukskomentojen perusteella ja osan päivystäjä kytkee päälle manuaalisesti. Itse kuvantulkintakortit toimivat koko ajan normaalisti ja skenaariot säätelevät, mitä hälytyksiä suodatetaan pois. Järjestelmä tallentaa suodatettujen hälytysten tiedot, pysäytyskuvat ja videotallenteet ”Rejected” -kansioon.

Skenaariot ja niiden keskeiset ominaisuudet ovat pääpiirteittäin seuraavat (Sabik 2015; Taskula & Hellroos 2015):

- **Kaistansulkuskenaario:** Jos jotkin tunnelin kaistat tai koko tunneli suljetaan esimerkiksi onnettomuuden tai kunnossapitotöiden vuoksi, FLUX saa automaattisesti tiedon tunnelin liikenteenhallintajärjestelmältä ja kytkee päälle kaistansulkuskenaarion suljetuille kaistoille. Skenaarion ollessa päällä FLUX ei välitä suljetuilta kaistoilta tulevia hälytyksiä liikenteenhallintajärjestelmälle.
- **Sadeskenaario:** Kun tunnelin liikenteenhallintajärjestelmä saa tunnelin ulkopuolelle sijoitetulta tiesääasemalta tiedon voimakkaasta vesi- tai lumisateesta, antaa liikenteenhallintajärjestelmä FLUXille ohjauksen käynnistää sadeskenaario. Skenaarion aikana FLUX epäherkistää pudonneiden esineiden ja pysähtyneiden ajoneuvojen havaitsemisen asetuksia tunnelin suuaukkojen ensimmäisillä kahdella kameraparilla. Tarkoituksena on vähentää märistä renkaanjäljistä aiheutuvien aiheettomien hälytysten määrää. Sateen loppuessa FLUX saa ohjauksen skenaarion kytkemisestä pois päältä.
- **Märkä tie:** Skenaarion tarkoituksena on vähentää vesilätäköiden ja märkien renkaanjälkien tuottamia aiheettomia hälytyksiä sadekelillä. Liikennepäivystäjä kytkee skenaarion manuaalisesti päälle FLUXista ja sen on päällä 3 tuntia, jollei päivystäjä kytke sitä pois päältä aiemmin. Skenaario muuttaa kaikkien ilmaisukorttien asetuksia epäherkemmiksi pudonneiden esineiden ja pysähtyneiden ajoneuvojen ilmaisujen osalta.
- **Valaistusskenaario:** Tunnelin valaistusmuutokset muuttavat kamerakuvien kontrastia, mistä seuraa aiheettomia pudonneiden esineiden ja pysähtyneiden ajoneuvojen hälytyksiä. Valaistusskenaarion päällä ollessa järjestelmä havaitsee kaikki häiriöt normaalisti, mutta pysähtyneen ajoneuvon ja pudonneen esineen hälytyksiä ei välitetä tunnelin liikenteenhallintajärjestelmälle. Valaistusskenaario käynnistyy automaattisesti liikenteenhallintajärjestelmän juuri ennen valaistusmuutosta tekemän ohjauksen perusteella ja on päällä 65 sekuntia. Mikäli tunneliin on valaistusskenaarion aikana pysähtynyt ajoneuvo tai pudonnut esine, ei järjestelmä tee tästä hälytystä, ellei kamerakuvassa tapahdu uutta muutosta skenaarion poiskytkemisen jälkeen.

- **Ruuhkaskenaario:** Järjestelmä seuraa jatkuvasti kamerakohtaisesti liikennevirran keskinopeutta, varausastetta sekä niissä tapahtuvia muutoksia. Mikäli liikenteen havaitaan jonoutuneen ja hidastuneen selvästi jollain kaistalla, käynnistää järjestelmä ruuhkaskenaarion kyseiselle tunnelijaksolle (rinnakkaisen kameraparin havaintoalue). Skenaarion aikana järjestelmä ei välitä kyseiseltä tunnelijaksolta tulevia pysähtyneen ja hitaan ajoneuvon tai pudonneen esineen hälytyksiä tunnelin liikenteenhallintajärjestelmälle. Ruuhkaskenaario kytkeytyy päälle ja pois päältä automaattisesti noin 10 s viiveellä liikennetilanteen muuttuessa.
- **Saman kameran peräkkäiset ilmaisut:** Pysähtyneen ajoneuvon ja pudonneen esineen hälytykset ovat järjestelmässä rinnasteisia. Mikäli jonkin kameran havaintoalueelta tulee useampia tämän tyyppisiä hälytyksiä lyhyen ajan sisään, ainoastaan ensimmäinen välitetään tunnelin liikenteenhallintajärjestelmälle. Suodatus on voimassa niin kauan kuin ensimmäinen hälytys on aktiivinen, eli noin 30 sekuntia.

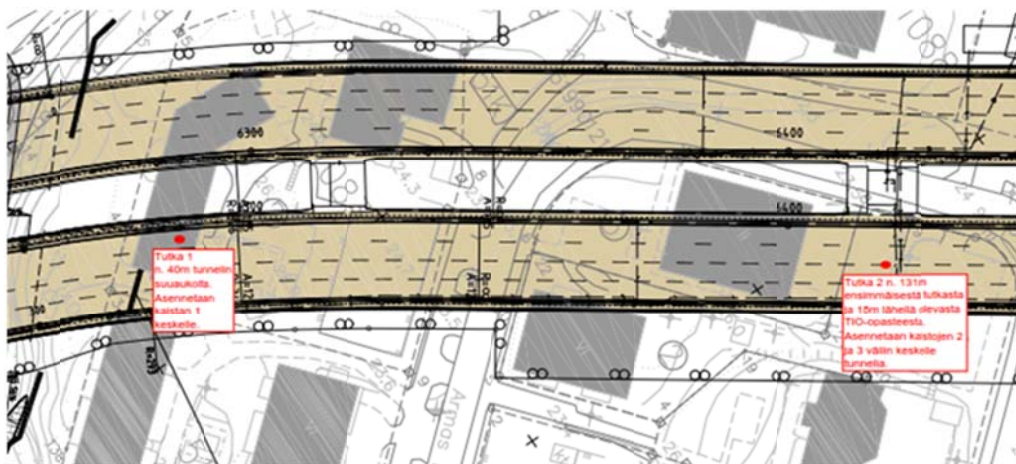
10.4.3 Navtechin toiminta

Mestarintunneliin asennettiin 3 kpl Navtechin CTS350-X-mallista tutkaa. Tutkilla on 360° havaintoalue.

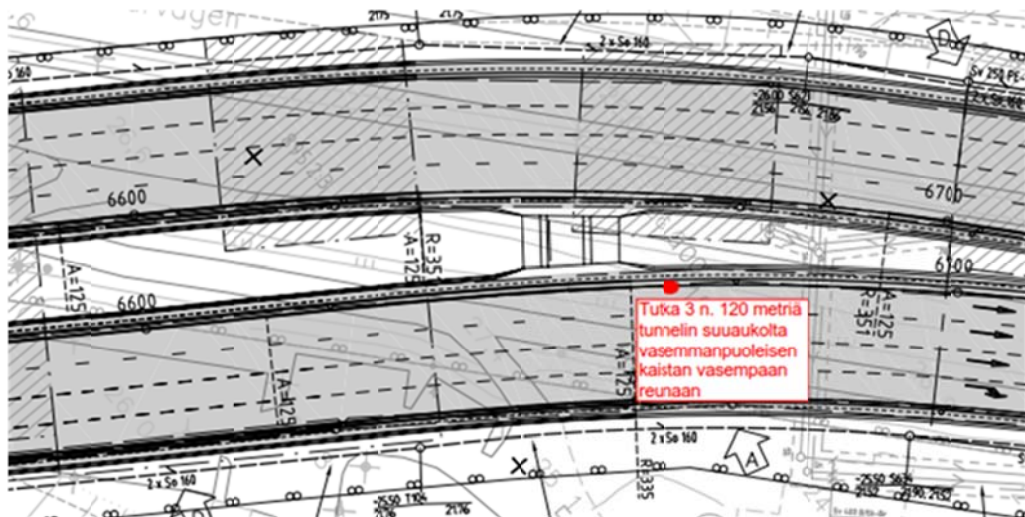
Tutka 1 sijoitettiin noin 40 m tunnelin sisäänajoaukosta tunnelin kattoon kaistan 4 puolivälin kohdalle.

Tutka 2 sijoitettiin noin 170 m sisäänajon jälkeen tunnelin kattoon keskelle tunnelia.

Tutka 3 sijoitettiin noin 120 metriä ennen tunnelin ulosajoaukkoa kaistan 4 vasempaan reunaan. Etäisyyttä tutkaan 2 on noin 230 metriä.

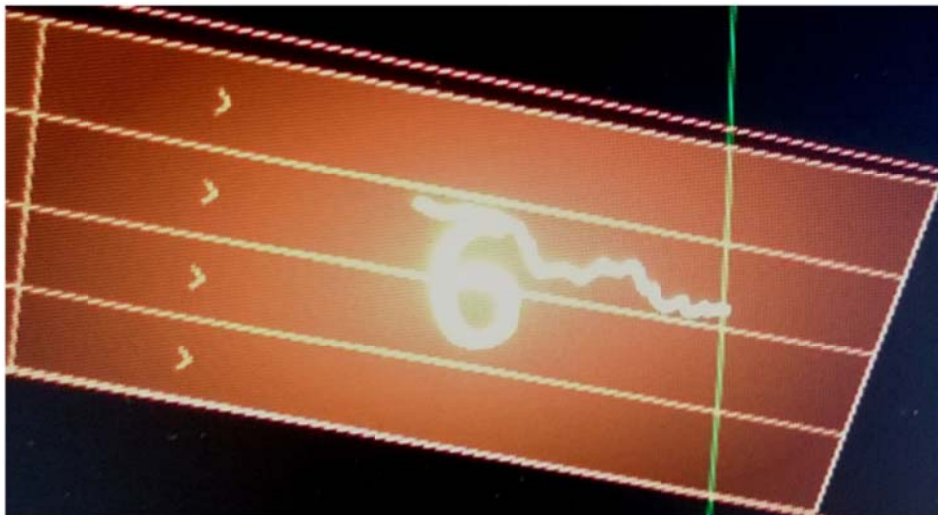


Kuva 14. Tutkien 1 ja 2 sijoituspaikat (YSP 2015).



Kuva 15. Tutkan 3 sijoituspaikka (YSP 2015).

Hälytysten havaintojäljellä tarkoitetaan järjestelmän tallentamaa dataa hälytyksen tuottaneesta ajoneuvosta. Esimerkki havaintojäljestä on kuvassa 16.



Kuva 16. Tutkan havaintojälki liikennetilannehälytyksestä Mestarintunnelin havainto-osuudelta 6.

Jos tutkajärjestelmä olisi operointikäytössä, pystyisi liikennepäivystäjä tutkan havaintojäljen avulla määrittämään häiriön tarkemman sijainnin havaintoalueen sisällä. Pilottijärjestelmässä havaintojälki oli liian epätarkka, että järjestelmä olisi pystynyt luokittelemaan sen perusteella luotettavasti, mille ajokaistalle häiriö sijoittuu.

Pilottitoteutuksessa hälytysten havaintojäljet tallentuivat vain noin kahden vuorokauden ajaksi, joten niitä ei voitu hyödyntää keskimäärin viikon välein tehdyssä tulosten käsittelyssä.

Navtech ilmoittaa lokitiedoissa häiriön sijainnin havainto-osuuden tarkkuudella. Kukin havainto-osuus on noin 100 metrin pituinen ja reunimaiset ulottuvat tunnelin suuaukkojen ulkopuolelle.

Navtechin ilmaisutyypit / havaittavat häiriöt pilotin aikana on listattu jäljempänä. Kunkin hälytyksen nopein mahdollinen havaintoaika on 8 sekuntia.

1) Pysähtynyt ajoneuvo

- Havaitaan kaikilta ajokaistoilta ja pientareilta
- Hälytys aktivoituu, kun ajoneuvon nopeus laskee alle asetetun rajan (5 km/h) asetetuksi ajaksi

2) Hidas ajoneuvo

- Havaitaan kaikilta ajokaistoilta ja pientareilta
- Hitaan ajoneuvon hälytysraja on 30 km/h

3) Väärään suuntaan ajava ajoneuvo

- Havaitaan kaikilta ajokaistoilta ja pientareilta
- Toiminto on suunniteltu Navtechin järjestelmässä ensisijaisesti peruuttavan ajoneuvon tunnistamiseen
- Väärään suuntaan ajavan ajoneuvon maksiminopeus ja väärään suuntaan ajon minimikesto ovat säädettävissä. Pilotin alkupuolella maksiminopeus oli 36 km/h, 16.4.15 tehdyn muutoksen jälkeen 72 km/h

4) Pudonnut esine

- Havaitaan kaikilta ajokaistoilta ja pientareilta
- Ilmaistavan objektin koko n. 0,5 x 0,4 x 0,75m
- Ilmaisutyyppi aktivoitiin 28.4.2015

5) Ruuhkautunut liikenne

- Havaitaan kaikilta ajokaistoilta
- Ei varsinainen hälytys, vaan graafinen ilmaisu käyttöliittymä Sentinelin karttakuvassa
- Ei seurattu pilotin aikana

10.4.4 Navtechin asetusmuutokset pilotin aikana

Tutkan havaintokriteereihin tehtiin pilotin aikana useita asetus- ja parametrimuutoksia, joiden tavoitteena oli parantaa järjestelmän toimintaa ja testata eri ominaisuuksia. Laite-toimittajan ilmoittamat muutokset aktivointiajankohtineen (Flynn 2015):

- 23.3. klo 10:00: "Heavy traffic window" 3 → 4: Muutos ruuhkantunnistukseen. "Heavy traffic window" tarkoittaa, kuinka montaa peräkkäistä havaintosuutta käytetään ruuhkantunnistukseen (ClearWay Commissioning guide).
- 2.4. klo 16:45: "Clutter map time" 0.90 → 0.88. "Clutter map time" tarkoittaa, kuinka suuri osa (prosenttiosuus) tutkat tuottamasta datasta käytetään liikkeen-tunnistukseen. Esimerkiksi arvo 0.90 tarkoittaa, että 90 % datasta hyödynnetään.
- 15.4. klo 17:20: "Congestion detection" "4 slow tracks <9 m/s" → "5 slow tracks <11 m/s". Tällä tarkoitetaan, monenko ajoneuvon tulee ajaa alle rajanopeuden, jotta järjestelmä tulkitsisi kyseisen havainto-osuuden ruuhkautuneeksi.

- 16.4. klo 17:45: ”Rule break count” -muutos: Asetuksia muutettiin siten, että järjestelmä tunnistaa väärään suuntaan ajavat 72 km/h (20 m/s) nopeuteen asti (aiemmin 36 km/h / 10 m/s) ja väärään suuntaan ajavien minimaiaika siirtyy havainto-osuudelta toiselle, toisin kuin aiemmin.
- 27.4. klo 18:45: Tutkan 1 kantamaa suuaukolla lyhennettiin 48 → 42 m kaistaopastimien eteen pysähtyneen jonon aiheuttamien hälytysten poistamiseksi.
- 28.4. at 11:44: Pudonneen esineen hälytys aktivoitiin, havaittava esinekoko 0,5 x 0,4 x 0,75 m.

10.4.5 Tekniset haasteet

Pilotin aikana Navtechin järjestelmä tai yksittäiset tutkat olivat teknisten ongelmien ja järjestelmän asetusmuutosten vuoksi pois toiminnasta seuraavasti.

Navtechin järjestelmä poissa toiminnasta:

- 27.4. 18:20–18:25 (järjestelmän uudelleenkäynnistys asetusmuutosten tekoa varten)
- 28.4. 11:39–11:44 (pudonneen esineen tunnistuksen aktivointi)

Tutka 1 pois toiminnasta:

- 25.3. 23:40–2.4. 13:00 (tutkassa 1 sähkönsyöttöongelma)
- 5.4. 2:23–8.4. 12:28 (tutkan 1 tracker / jäljitin meni pois toiminnasta yöllisen ”snapshotin” oton yhteydessä ja vika huomattiin muutamaa päivää myöhemmin)

Pilotin alkuvaiheessa Navtechin palvelimen ja liikennekamerajärjestelmän käyttämän palvelimen kellonajat eivät olleet yhtenevät. Ajat säädettiin manuaalisesti samoiksi pilotin alkaessa, mutta aikaeroa alkoi kertyä vähitellen. Palvelinten ajat synkronoitiin 7.4. klo 16:15. Tällöin Navtechin palvelin oli n. 50 s liikennekamerajärjestelmän aikaa edellä. Palvelinten välinen aikaero kullakin hetkellä ei ole jälkikäteen selvitettävissä. Kellonaikaeron vuoksi Navtechin havaintonopeudet eivät olleet selvitettävissä, eivät-kä siten myöskään vertailukelpoisia Flirin havaintonopeuksiin pilotin alkupuolella.

Liikennekamera I1 oli pois toiminnasta pilotin alusta aina 12.5. asti. Tämän vuoksi heti tunnelin sisäänajon jälkeen oli yli 100 metriä pitkä alue, jolta hälytyksiä ei voitu aukottomasti todentaa. Osa Navtechin osuuskien 1 ja 2 hälytyksistä eivät siis olleet todennettavissa. Hälytysten syy yritettiin kuitenkin tällaisissa tapauksissa määrittää tunnelin länsipuolen liikennekameran ja liikennekameran I2 tallenteista.

Liikennetilannehälytysten lisäksi Navtech tuotti koko pilotin ajan öisin kello kahden tienoilla lukuisia teknisiä hälytyksiä yhteysongelmista, jotka aiheutuivat Liikenneviraston palvelinten ottamista varmuuskopioista (”Snapshot”).

Varmuuskopioiden oton ajaksi käyttöjärjestelmän avoimet sovellukset pysäytetään hetkellisesti, mikä laukaisi Navtechin yhteysongelmahälytyksiä. Liikennevirasto ja Navtech tunnistivat ongelman jo pilotin alussa, mutta ratkaisua ei pilotin aikana haettu, sillä ongelmalla ei ollut pilotin kannalta merkitystä. Asian todettiin olevan tavalla tai toisella ratkaistavissa, mikäli järjestelmä päätettäisiin ottaa operointikäyttöön. (Seppinen 2015.)

10.5 Tulosten käsittely

10.5.1 Periaatteet

Flirin ja Navtechin tekemät liikennetilannehälytykset käytiin järjestelmällisesti läpi videotallenteista, arvioitiin hälytysten syyt ja aiheellisuus sekä kerättiin erilaisia taustatietoja järjestelmien toimintaan vaikuttavien tekijöiden ja reunaehto- jen selvittämiseksi.

Pilotin tulokset on kerätty Excel- taulukkoon. Taulukon lukuohjeet ja hälytysten yksityiskohtaiset tulkinta- ja luokitteluperusteet eri tilanteisiin on esitetty liitteessä 2.

Tulostenkeruuprosessi jakautui neljään vaiheeseen. Vaiheet 1–3 tehtiin tieliikennekeskuksen tiloissa Helsingin Pasilassa:

- 1) Hälytyslokien haku Flirin ja Navtechin käyttöliittymästä ja hälytystietojen siirto tulosten käsittelyssä käytettävään Excel- taulukkoon. Hälytystiedot sisältävät hälytyksen ajankohdan, hälytystyyppin sekä sijainnin.
- 2) Hälytyshetken skenaariotietojen (ruuhka, kaistansulku, valaistus, muut) tarkistaminen FLUXista ja kirjaaminen tulostenkeruutaulukkoon. Tämä tehtiin sekä Flirin että Navtechin hälytyksiin.
- 3) Hälytysten todentaminen kameratallenteista ja havaintojen kirjaus tulostenkeruutaulukkoon.
- 4) Tiesääaseman, LAM-pisteen ja ruuhkatunnistussilmukan tietojen kirjaaminen kunkin hälytyksen hälytyshetkeltä.

Kohtien 2) ja 4) osalta on huomioitava, että hälytysten taustatiedot kerättiin hälytyslokien mukaisilta hälytysajankohdilta. Navtechin ja Liikenneviraston palvelinten kellonaikaeroja pilotin alkupuolella ei ole ollut mahdollista huomioida (ks. luku 10.4.5).

Flirin hälytykset on tarkistettu FLUXin automaattisesti tallentamista HHJ-kameratallenteista. Tallenteet alkavat 35 sekuntia ennen hälytystä ja jatkuvat 35 sekuntia hälytyshetken jälkeen. Videot ovat sen HHJ-kameran kuvaamia, jolta hälytys on tullut. FLUX on merkinnyt hälytyksen sijainnin pysähtyneiden ajoneuvojen ja pudonneiden esineiden hälytyksissä valkoisella laatikolla.

Navtechin hälytykset todennettiin liikennekameratallenteista (VMX-tallenne). VMX-tallenne halutulta kameralta ja ajankohdalta haettiin hälytyslokissa ilmoitetun osuuden ja kellonajan perusteella. Liikennekameroiden näkemät ja Navtechin havaintosuudet eivät olleet yhtenevät. Jos häiriötä ei havaittu ensiksi haetun liikennekameran tallenteesta, tarkistettiin muiden kyseeseen tulevien liikennekameroiden tallenteet.

Liikennekameratallenteista katsottiin aluksi hälytyshetkeä edeltävät 20 s ja jos häiriö ei ollut havaittavissa, kelattiin tallennetta taaksepäin. Pilotin alkuvaiheessa, kun palvelinten välinen aikaero ei ollut tiedossa, tallenteita katsottiin vähintään 90 s jaksolta, jos häiriötä ei aikaisemmin havaittu. Palvelinten kellonaikojen synkronoinnin (7.4.15) jälkeen videotallennetarkastelu tehtiin vähintään 60 s ajalta ennen hälytystä.

Järjestelmien tuottamista hälytyksistä todennettiin seuraavat liikennetilannehälytykset:

- pysähtynyt ajoneuvo
- hidas ajoneuvo
- väärään suuntaan ajava ajoneuvo
- pudonnut esine / ajoradalla oleva este

Järjestelmien tuottamia teknisiä hälytyksiä tai Flirin lokitietoihin tallentuneita ilmoituksia liikenteen palvelutason muutoksista ei tarkistettu.

10.5.2 Kunnossapitotöistä aiheutuvien hälytysten karsinta

Navtechin hälytyksiä tilanteissa, joissa tunnelissa oli meneillään kunnossapitotöistä aiheutunut kaistansulku, ei resurssien säästämiseksi todennettu videolta. Näin meneteltiin siksi, että Navtech ei tunnistanut pilotissa häiriöitä kaistakohtaisesti ja kunnossapitotöiden aikaisia, yöaikaan painottuvia hälytyksiä oli pilotin aikana sadoittain. Nämä hälytykset aiheutuivat suurella todennäköisyydellä nimenomaan kunnossapitotöistä. Hälytykset jätettiin todentamatta, mikäli kaistansulun aikaisia hälytyksiä oli useita peräkkäin ja kaistansulku todettiin pistokoemaisella liikennekameratallenteen tarkastelulla kunnossapitotöiden vuoksi tehdyksi. Tällaisista hälytyksistä ei myöskään kirjattu taustatietoja.

Flirin kaistansulkuskenaario suodatti suljetuilla kaistoilla tapahtuvat hälytykset automaattisesti.

10.5.3 Ruuhkasta aiheutuneiden hälytysten karsinta 10.–22.3.

Seurantajaksolla 10.3.–22.3.2015 Navtechin hitaan ajoneuvon hälytyksiä ruuhkatilanteessa (FLUXin ruuhkaskenaario päällä hälytyshetkellä jossain kohdin tunnelia) ei todennettu videolta. Tällaisia hälytyksiä oli yhteensä 41 kpl. Syynä oli resurssien säästäminen, sillä ko. hälytysten määrä oli pilotin alkuvaiheessa suuri. Navtechin tekemien asetusmuutosten myötä hitaan ajoneuvon hälytysten määrät ruuhka-aikoina laskivat ja hälytysten todentaminen otettiin uudelleen käyttöön.

10.6 Navtechin palaverit

Pilotin aikana pidettiin Liikenneviraston, Navtechin, Imtechin ja konsultti Traficonin edustajien kesken neljä välipalaveria ja loppupalaveri, joissa käytiin läpi tutkajärjestelmän toimintaa, saatuja tuloksia ja tehtyjen asetusmuutosten vaikuttavuutta sekä päätettiin tulevista muutoksista.

Palavereissa ja sähköpostikirjeenvaihdossa (Flynn 2015) ilmenneet keskeisimmät asiat:

- Laitetoimittajan mukaan järjestelmän katvealueet reunimmaisilla ajokaistoilla olisivat voineet pienentyä ja viriheijastukset vähentyä, jos tutkien asennuskulmia olisi säädetty.

- Loppupalaverissa tuli esille, että vaikka pilotissa käytetyllä kameravälillä häiriöiden kaistakohtainen tunnistus ei ollut mahdollista, olisi tunnelin jako poikittaissuunnassa kahteen osaan voinut tulla kyseeseen (kaista 1+2 ja 3+4 omia havaintoalueitaan).
- Kaistakohtainen tunnistus voisi laitetoimittajan mukaan olla mahdollista, mikä tutkaväli olisi korkeintaan 150 m (Flynn 2015).
- Jos käytettävä tutkaväli ei mahdollista häiriöiden kaistakohtaista tunnistusta, myöskään ruuhkautumista ei tunnisteta kaistoittain. Tällöin ruuhkautuneen liikenteen keskelle pysähtynyttä yksittäistä ajoneuvoa ei tunnisteta, jos liikenne viereisellä kaistalla etenee. Kaistakohtaisella tunnistuksella tällainen häiriö tuottaisi hälytyksen. (Flynn 2015)
- Laitetoimittajan mukaan pudonneen esineen hälytyksen käyttöönnotolla voi olla vaikutusta muiden häiriötyyppien tunnistukseen.
- Tutkien alla oli noin 25–30 m halkaisijaltaan olevat katvealueet, jotka havainnoitiin viereisillä tutkilla.

10.7 Liikennehäiriöt pilotin aikana

Tässä luvussa on listattu aikajärjestyksessä sellaiset tulosten käsittelyn yhteydessä havaitut liikennehäiriöt ja muut tilanteet, joista olisi Mestarintunnelin HHJ:n nykyisten toiminnallisten vaatimusten (ks. luku 10.4.1) perusteella pitänyt tulla hälytys tai jotka ovat järjestelmien toiminnan tai vertailun kannalta mielenkiintoisia. Ruuhkatileteista aiheutuneita hälytyksiä ei ole huomioitu.

Tunnelin hallinnoija (Uudenmaan ELY-keskus) seuraa säännöllisesti Mestarintunnelin HHJ:n toimintaa ja kirjaa mm. havainnot häiriötilanteista sekä päivystäjien toimenpiteistä niissä. Mikäli listatusta häiriöstä on merkintä tunnelin hallinnoijan seurantaraportissa, on lainaus esitetty kursiivitekstillä.

Jokaisen luvussa käsitellyn häiriötilanteen kohdalla on kuvattu kummankin järjestelmän toiminta ao. tilanteessa sekä arvioitu syy, miksi jompikumpi tai molemmat järjestelmät ovat mahdollisesti jättäneet hälyttämättä. Lisäksi on arvioitu, olisivatko Mestarintunnelin toiminnalliset vaatimukset edellyttäneet hälytystä tilanteesta.

Laitetoimittaja Navtech toimitti kustakin tutkasta häiriöheijastumakartan, josta ilmenee häiriöheijastusten määrä tunnelin eri osissa. Häiriöheijastusten määrä häiriön tapahtuma-paikalla on arvioitu kunkin listatun häiriön osalta.

1) 3.3. klo 19:25 Jalankulkija

Jalankulkija kävelee tunnelin läpi oikealla pientareella liikenteen suuntaisesti.

- Flir: Ei hälytyksiä.
- Navtech: 2 pysähtyneen ajoneuvon hälytystä osuuksilta 2 ja 6. Oikealla pientareella on paikoin runsaasti häiriöheijastuksia.
- Toiminnallisten vaatimusten perusteella jalankulkijasta ei tarvitse tulla hälytystä.

2) 12.3. klo 11:54 Pysähtynyt ajoneuvo

HHJ-seuranta: *Henkilöauto pysähtyi kaistalle 1, yhdyskäytävä 4: Henkilöauto pysähtyi kaistalle 1 yhdyskäytävän 4 kohdalla. Päivystäjä sulki kaistat 1 ja 2 klo 11:54 ja soitti hätäkeskukseen. Hinausauto poisti ajoneuvon klo 12:15, jonka jälkeen kaistat avattiin liikenteelle ja ilmoitettiin hätäkeskukseen. Tilanne oli sama tallenteen päättyessä. Tilanteesta aiheutui yksi pysähtyneen ajoneuvon hälytys.*

- Flir: Pysähtyneen ajoneuvon hälytys 20 sekunnissa
- Navtech: Ei hälytyksiä. Tapahtumapaikka sijaitsee lähes samassa poikkeileikkauksessa tutkan 3 kanssa, alueella paljon häiriöheijastuksia
- Toiminnallisten vaatimusten perusteella tilanteesta pitää tulla hälytys.

3) 27.3. klo 16:11 Pysähtynyt ajoneuvo

HHJ-seuranta: *Henkilöauto pysähtyi kaistalle 4, ennen tunnelin ulosajoa: Henkilöauto pysähtyi lyhyeksi aikaa kaistalle 4 vilkku päällä. Pysähtyneiden ajoneuvojen jono ylsi yhdyskäytävälle neljä asti. Ajoneuvo jatkoi matkaansa ulos tunnelista. Tilanteesta aiheutui kuusi pysähtyneen ajoneuvon hälytystä. Ei merkintöjä päivystäjän toimenpiteistä.*

Häiriö tapahtui iltapäiväruuhkan aikana. Henkilöauto ajoi hitaasti liikkuvassa jonossa, mutta pysähtyi vaikka jono edessä samalla kaistalla purkautui. Ajoneuvo on paikallaan n. 50 sekuntia.

- Flir: Pysähtyneen ajoneuvon hälytys 27 sekunnissa, lisäksi 4 muuta pysähtyneen ajoneuvon hälytystä ja 1 pudonneen esineen hälytys. Osa hälytyksistä tulee taakse kertyvästä jonosta.
- Navtech: Ei hälytyksiä. Ajoneuvo pysähtyi jo ennestään ruuhkautuneelle kaistalle ja liikenne mateli myös häiriön aikana viereisellä kaistalla. Navtech ei kykene laitetoimittajan mukaan ko. tilanteessa tunnistamaan häiriötä. Tapahtumapaikalla on lisäksi jonkin verran häiriöheijastuksia.
- Toiminnallisten vaatimusten perusteella tilanteesta pitää tulla hälytys.

4) 29.3. klo 23:05 Pysähtynyt ajoneuvo

HHJ-seuranta: *Kaksi henkilöautoa oli pysähtyneenä kaistalle 1, ennen tunnelin ulosajoa: Kaksi henkilöautoa oli pysähtyneenä kaistalle 1. Päivystäjä sulki kaistat 1 ja 2 ja kuulutti poistumaan. Ensimmäisen auton kuljettaja kävi sanomassa jälkimmäisen auton kuljettajalle jotain, jonka jälkeen auto siirtyi ensimmäisen auton eteen ja peruutti muutaman metrin hätävilkut päällä. Päivystäjä soitti hätäkeskukseen klo 23:16. Hinausauto saapui paikalle klo 23:30. Poliisi ilmoitti klo 23:35, ettei ole tulossa paikalle. Tilanteesta aiheutui yksi pysähtyneen ajoneuvon hälytys. Ajoneuvojen poistuttua kaistat avattiin liikenteelle klo 23:40.*

- Flir: Pysähtyneen ajoneuvon hälytys 26 sekunnissa
- Navtech antoi pysähtyneen ajoneuvon hälytyksen. Havaintonopeus ei ole määritettävissä palvelimien kellonaikaerojen vuoksi. Tapahtumapaikalla on jonkin verran häiriöheijastuksia.
- Toiminnallisten vaatimusten perusteella tilanteesta pitää tulla hälytys.

5) 30.3. klo 7:48 Pysähtynyt ajoneuvo

HHJ-seuranta: *Kaksi henkilöautoa oli pysähtyneenä kaistalle 4, ennen tunnelin ulosajoaukkoa: Kaksi henkilöautoa oli pysähtyneenä kaistalle 4 ja vasemmalle reunakaistalle. Päivystäjä sulki kaistan 4 liikenteeltä klo 7:49 ja soitti hätäkeskukseen klo 7:50. Partio saapui paikalle klo 8:25 ja autojen poistuttua kaista avattiin liikenteelle klo 8:27. Tilanteesta aiheutui yksi pysähtyneen ajoneuvon hälytys.*

- Flir: Pysähtyneen ajoneuvon hälytys 30 sekunnissa
- Navtech: Ei hälytystä pysähtyneestä ajoneuvosta. Navtech teki hitaan ajoneuvon hälytyksen ennen kyseistä häiriötä, mutta palvelinten aikaeron vuoksi ei ole mahdollista arvioida, liittyikö se tähän tilanteeseen vai normaaliin aamuruuhkaan. Tapahtumapaikalla on jonkin verran häiriöheijastuksia.
- Toiminnallisten vaatimusten perusteella tilanteesta pitää tulla hälytys.

6) 12.4. klo 1:14 Väärään suuntaan ajava ajoneuvo

HHJ-seuranta: *Henkilöauto ajoi väärään suuntaan kaistalla 4, tunnelissa: Henkilöauto ajoi kaistaa 2 pitkin ja teki levikkeen jälkeen U-käännöksen ajaen tunnelista ulos kaistaa 4 pitkin ajaen Perkkäälle, jossa teki uudelleen U-käännöksen ja poistui Turuntielle. Tilanteesta aiheutui neljä väärään suuntaan ajaneen hälytystä.*

Henkilöauto ajoi väärään suuntaan arviolta 60 km/h nopeudella.

- Flir antoi tilanteesta neljä väärään suuntaan ajavan hälytystä eri kaista-osuuksilta, ensimmäinen hälytys 10 s havaintonopeudella
- Navtech: Ei hälytyksiä. Laitetoimittajan mukaan järjestelmä oli asetettu tunnistamaan korkeintaan 36 km/h nopeudella väärään suuntaan kulkevat ajoneuvot ja ajoneuvo ajoi tätä hitaammin liian lyhyen matkaa. Havaintoasetuksia muutettiin tilanteen jälkeen. Tapahtuma-alueella eli kaistoilla 1 ja 4 on jonkin verran häiriöheijastuksia.
- Toiminnallisten vaatimusten perusteella tilanteesta pitää tulla hälytys.

7) 14.4. klo 15:15 Pysähtynyt ajoneuvo

HHJ-seuranta: *Henkilöauto oli pysähtyneenä kaistalle 4, ennen tunnelin ulosajoaukkoa: Henkilöauto oli pysähtyneenä hätävilkut päällä osin vasemmalle kaistalle 4 ja reunakaistalle tunnelissa ennen ulosajoaukkoa. Päivystäjä sulki kaistan 4 klo 15:17. Hinausauto saapui paikalle klo 15:35 ja vei ajoneuvon pois klo 15:43, jolloin ajoneuvosta valui kaistalle 4 jotain. Päivystäjä pyysi urakoitsijan tarkistamaan ulos valuneen aineen, poliisipartiota ei ollut vapaana. Urakoitsija tarkisti aineen ja totesi sen jäähdytysnesteeksi. Päivystäjä avasi kaistan liikenteelle klo 16:12. Tilanteesta aiheutui pysähtyneen ajoneuvon hälytys.*

- Flir: Pysähtyneen ajoneuvon hälytys 43 sekunnissa. Syynä pitkään havainto-aikaan lienee ainakin osittain se, että ajoneuvo oli puoliksi pientareella ja puoliksi kaistalla 4, eikä kaistan 4 pysähtyneiden ajoneuvojen hälytysten välitys ollut ruuhkaskenaarion vuoksi käytössä.
- Navtech teki tilanteesta pysähtyneen ajoneuvon hälytyksen 17 s havaintonopeudella ja lisäksi hitaan ajoneuvon hälytyksen sekuntia aiemmin. Tapahtumapaikalla on jonkin verran häiriöheijastuksia.
- Toiminnallisten vaatimusten perusteella tilanteesta pitää tulla hälytys.

8) 14.4. klo 23.01 Pysähtynyt ajoneuvo

HHJ-seuranta: *Urakoitsijan raskas ajoneuvo pysähtyi kaistalle 4, tunnelin suuaukolle: Urakoitsijan raskas ajoneuvo pysähtyi vasemmalle kaistalle 4 tunnelin suuaukolle. Ei tiedossa, mistä oli kyse, todennäköisesti kunnossapitotyö. Ei merkintää, että urakoitsija olisi ollut yhteydessä tieliikennekeskukseen. Ei merkintöjä päivystäjän toimenpiteistä. Tilanteesta ei aiheutunut HHJ-hälytystä (kamera oli huonolla kuvanlaadulla). Tehty VMX-tallenne.*

Ennen pysähtymistään kunnossapitoajoneuvo ajoi tunnelin läpi hitaalla nopeudella. Ajoneuvo käytti keltaisia vilkkuvaloja. Ajoneuvo poistui tunnelista 23:18 oltuaan paikoillaan 17 min 35 s.

- Flir ei antanut hälytyksiä. Syynä tähän olivat todennäköisesti kunnossapitoajoneuvon keltaiset vilkkuvalot sekä itäisen suuaukon liikenteen kulkusuuntaan kuvaavan HHJ-kameran huono kuvanlaatu.
- Navtech antoi kunnossapitoajoneuvon hitaasta ajosta tunnelissa hitaan ja pysähtyneen ajoneuvon hälytyksiä useilta havainto-osuuksilta. Ajoneuvon pysähtymisen jälkeen ensimmäinen hälytys tuli 5 min 29 s havaintonopeudella. Navtech antoi lisäksi paikallaan olleesta ajoneuvosta vielä 3 pysähtyneen ajoneuvon hälytystä ja liikkeellelähdistä 1 lisää. Häiriöheijastumakartta ei ulotu tapahtumapaikalle asti.
- Tilanteesta olisi toiminnallisten vaatimusten perusteella pitänyt tulla hälytys

9) 20.4. klo 23:28 Pysähtynyt ajoneuvo

HHJ-seuranta: *Urakoitsijan raskas ajoneuvo pysähtyi kaistalle 1, ennen tunnelin ulosajoa: Raskas ajoneuvo oli pysähtyneenä varoitusvalot päällä oikealle kaistalle ennen tunnelin suuaukkoa. Päivystäjä sulki kaistan 1 liikenteeltä klo 23:34 ja avasi liikenteelle klo 23:38. Urakoitsija oli ollut yhteydessä tieliikennekeskukseen. Tilanteesta aiheutui pudonneen esineen hälytys.*

Ennen pysähtymistään ajoneuvon ajoi n. 25–30 km/h nopeudella tunnelin läpi kaistaa 1.

- Flir antoi pudonneen esineen hälytyksen 3 min 30 s havaintonopeudella. Syynä pitkään havaintoaikaan oli todennäköisesti kunnossapitoajoneuvon keltaiset vilkkuvalot. Ajoneuvo oli pysähtynyt aivan hälyttävän HHJ-kameran etualalle.
- Navtech antoi pysähtyneestä ajoneuvosta hälytyksen 2 s havaintonopeudella. Hälytys oli aktivoitunut jo ajoneuvon hidastaessa. Lisäksi Navtech antoi 2 hitaan ajoneuvon hälytystä ajoneuvon ajaessa tunnelin läpi ennen pysähtymistä. Tapahtumapaikalla on jonkin verran häiriöheijastuksia.
- Toiminnallisten vaatimusten perusteella tilanteesta pitää tulla hälytys.

10) 24.4. klo 10:57 Hidas ajoneuvo

Pakettiauto ajaa kaistalla 1 todella hitaasti ainakin tunnelin puolivälistä tunnelin loppuun, arviolta 10–20 km/h.

- Flir: Ei hälytyksiä. Flir on ohjelmoitu tunnistamaan vain voimakkaasti hidastavat henkilö- ja pakettiautot.
- Navtech antoi pysähtyneen ajoneuvon hälytyksen osuudelta 6 ajoneuvon nopeuden laskiessa tarpeeksi alhaiseksi. Ajoneuvo ei kuitenkaan missään vaiheessa pysähtynyt. Oikealla pientareella on paikoin paljon häiriöheijastuksia.
- Toiminnallisten vaatimusten perusteella tilanteesta pitää tulla hälytys.

11) 25.4. klo 13:17 Pysähtynyt ajoneuvo

HHJ-seuranta: *Henkilöauto oli pysähtyneenä kaistalle 3, yhdyskäytävän 4 kohdalla: Henkilöauto oli pysähtyneenä kaistalle 3 lyhyen aikaa hätävilkut päällä, liikenne jonoutui kaistojen 3 ja 4 osalta. Päivystäjä sulki kaistat 4 ja 3 ja avasi ne liikenteelle klo 13.20 auton poistuttua. Tilanteesta aiheutui yksi pysähtyneen ajoneuvon hälytys.*

Henkilöauto oli paikoillaan n. 55 sekuntia.

- Flir antoi pysähtyneen ajoneuvon hälytyksen 36 s havaintonopeudella.
- Navtech antoi pysähtyneen ajoneuvon hälytyksen 21 sekunnissa. Tapahtumapaikalla ei ole häiriöheijastuksia.
- Toiminnallisten vaatimusten perusteella tilanteesta pitää tulla hälytys.

12) 29.4. klo 12:34 Pysähtynyt ajoneuvo

HHJ-seuranta: *Urakoitsijan henkilöauto pysähtyi levikkeelle, Henkilöauto pysähtyi levikkeelle. Urakoitsijan henkilö meni levikkeellä olevaan tilaan. Ei merkintöjä, että urakoitsija olisi ollut yhteydessä tieliikennekeskukseen. Ei merkintöjä päivystäjän toimenpiteistä. Tilanteesta aiheutui pysähtyneen ajoneuvon hälytys ja kaksi pudonneen esineen hälytystä.*

- Flir antoi pysähtyneen ajoneuvon hälytyksen 20 s havaintonopeudella ja lisäksi 2 pudonneen esineen hälytystä samasta tilanteesta, vaikka ajoneuvo ei välissä liikkunut
- Navtech: Ei hälytyksiä. Tapahtumapaikka on aivan tutkan 2 vieressä ja häiriöheijastuksia on paljon.
- Toiminnallisten vaatimusten perusteella tilanteesta pitää tulla hälytys.

13) 30.4. klo 9:20 Pysähtynyt ajoneuvo

HHJ-seuranta: *Henkilöauto oli pysähtyneenä kaistalle 3, tunnelin suuaukolla: Henkilöauto oli pysähtyneenä kaistalle 3 ennen tunnelin ulosajoa. Kuljettaja asensi auton katolle varoituskolmiota. Päivystäjä sulki tunnelin (kaista 1 oli suljettuna huollon vuoksi). Poliisipartio työnsi ajoneuvon pois n. klo 9:30, jonka jälkeen päivystäjä avasi kaistat 2-4 liikenteelle klo 9:35. Tilanteesta aiheutui kaksi pudonneen esineen hälytystä.*

Henkilöauto oli pysähtyneenä kaistalla 3 noin 50 metriä ennen tunnelin itäistä suuaukkoa.

- Flir antoi tilanteesta 2 pudonneen esineen hälytystä, ensimmäisen 49 s havaintonopeudella. Mahdollinen syy hitaaseen havaintoon oli, että auto pysähtyi kahden peräkkäisen HHJ-kameran havaintoalueiden rajalle. Hälytys tuli itäisemmältä kameralta, jonka havaintoalueella oli vain ajoneuvon etuosa.
- Navtech antoi hitaan ajoneuvon hälytyksen 23 s havaintonopeudella, todennäköisesti taakse kertyneen jonon vuoksi. Tapahtumapaikalla ei ole häiriöheijastuksia.
- Toiminnallisten vaatimusten perusteella tilanteesta pitää tulla hälytys.

14) 6.5. klo 0:01 Jalankulkija

Kunnossapitourakoitsijan työntekijä ylitti jalkaisin ajoradan Lintuvaaran rampilta keskialueelle hieman tunnelin itäisen suuaukon ulkopuolella.

- Flir ei antanut hälytyksiä.
- Navtech antoi pysähtyneen ajoneuvon hälytyksen. Havaintonopeus ei ole määritettävissä, koska kyseessä oli liikkuva kohde ja havaintoalueen rajat eivät ole tarkasti määritettävissä liikennekameratallenteesta.
- Toiminnalliset vaatimukset eivät edellytä hälytystä jalankulkijasta ja lisäksi tapahtumapaikka oli tunnelin suuaukon ulkopuolella. Tapaus toimii kuitenkin esimerkkinä Navtechin havainto-ominaisuuksista.

15) 6.5. klo 14:48 Pysähtynyt ajoneuvo

Pakettiauto pysähtyy kaistalle 1 tunnelin ylämäkiosuudelle ennen yhdyskäytävää 4 noin 20 sekunniksi.

- Flir ei antanut hälytyksiä.
- Navtech antoi pysähtyneen ajoneuvon hälytyksen 10 sekunnin havaintonopeudella. Tapahtumapaikalla on melko voimakkaita häiriöheijastuksia.
- Toiminnalliset vaatimukset edellyttävät pysähtyneen ajoneuvon havaitsemista 20 sekunnissa. Koska ajoneuvo oli paikoillaan n. 20 sekuntia, voidaan molempien järjestelmien katsoa toimineen vaatimusten mukaisesti.

16) 10.5. klo 12:58 Pysähtynyt ajoneuvo / Jalankulkija

Pyöräilijä ajaa tunnelin alkuosan kaistan 1 oikeaa reunaa, pysähtyy ennen tunnelin puoliväliä ja taluttaa loppumatkan oikealla pientareella.

- Flir ei antanut hälytyksiä.
- Navtech antoi pysähtyneen ajoneuvon hälytyksen pyöräilijän pysähtymisestä 6 s havaintonopeudella ja 2 muuta pysähtyneen ajoneuvon hälytystä talutuksesta tunnelin loppuosuudelta. Tapahtumapaikalla on jonkin verran häiriöheijastuksia.
- Toiminnalliset vaatimukset eivät edellytä hälytystä jalankulkijasta. Polku-pyörää ei ole vaatimuksissa erikseen mainittu. Pyöräilijä oli paikoillaan vain muutamia sekunteja, joten pysähtyneen ajoneuvon / pudonneen esineen havaitsemista ei edellytetä.

17) 17.5. klo 17:55 Pysähtynyt ajoneuvo

Pakettiauto pysähtyy ylämäessä kaistalle 1 n. 50 m ennen tunnelin itäistä suuaukkoa. Ajoneuvo on paikallaan n. 30 sekuntia, siirtyy hieman eteenpäin ja pysähtyy uudelleen 25 sekunniksi. Tämän jälkeen ajoneuvo ajaa pois tunnelista, mutta pysähtyy tunnelin jälkeen Lintuvaaran rampille osittain ajokaistalle.

- Flir ei antanut hälytyksiä.
- Navtech ei tehnyt ensimmäisestä pysähtymisestä hälytyksiä. Ajoneuvon siirtyttyä hieman eteenpäin järjestelmä teki hitaan ajoneuvon hälytyksen 1 s ennen ja pysähtyneen ajoneuvon hälytyksen 3 s pysähtymisen jälkeen. Pakettiauton poistuessa tunnelista ja pysähtyessä rampin reunaan Navtech teki vielä hitaan ja pysähtyneen ajoneuvon hälytykset. Tapahtuma-alueilla on jonkin verran häiriöheijastuksia.
- Toiminnallisten vaatimusten perusteella tilanteesta pitää tulla hälytys.

10.8 Keskeiset tulokset ja havainnot

Tässä luvussa on esitetty pilotin tulokset ja keskeiset havainnot tulostenkeruutaulukon pohjalta. Pilotin tulosten seuranta alkoi tiistaina 24.2.15 klo 04:00 ja päättyi tiistaina 19.5.15 klo 04:00. Taulukoissa ja kuvaajissa mainituilla päivämäärillä tarkoitetaan kyseisen päivän kelloaikaa 04:00.

Kummankin järjestelmän tuottamat hälytykset on käsitelty erikseen.

Ensiksi on analysoitu hälytystyypeittäin kummankin järjestelmän tuottamien hälytysten määrät, niiden jakautuminen hälytyksen todellisen syyn mukaan sekä kirjattu muut havainnot. Pysähtyneen ja hitaan ajoneuvon hälytysten, joiden otanta on kummallakin järjestelmällä suuri, osalta on arvioitu lisäksi häiriön sijainnin, viikonpäivän, kellonajan, hälytysviikon sekä Navtechin asetus- ja parametrimuutosten vaikutusta hälytysmääriin.

Erilaisten sää- ja liikenneolosuhteiden vaikutusta järjestelmien toimintaan on arvioitu tie-sääasemien, LAM-pisteiden ja RTJ-ruuhkantunnistussilmukoiden tuottamien tietojen perusteella. Mikäli järjestelmät vaikuttivat toimivan eri tavoin joissakin sää- tai liikenneoloissa, on näiden tekijöiden vaikutusta tarkasteltu tarkemmin tilastollisin menetelmin.

Järjestelmien hälytysmäärät eivät ole suoraan vertailukelpoisia erilaisten havaintoasetusten ja pilotissa ilmenneiden teknisten vaikeuksien (ks. luku 10.4.5) vuoksi.

Aiheettomien hälytysten määriä ja niihin vaikuttavia tekijöitä on arvioitu tarkemmin omassa alaluvussa 10.8.10, sillä aiheettomien hälytysten suuri määrä on ollut merkittävin operointikäytössä havaittu kamerapohjaisen järjestelmän ongelma.

Järjestelmien havaintoluotettavuudesta ja aiheettomien hälytysten määristä on lisäksi laskettu tunnusluvut ja verrattu niitä Mestarintunnelin tuotevaatimuksiin.

10.8.1 Hälytysten kokonaismäärä

Flirin ja Navtechin pilotin aikana tekemien erityyppisten hälytysten määrät järjestelmien loki-tietojen perusteella sekä 84 vrk kestäneen pilotin vuorokausikohtaiset keskiarvot on esitetty taulukossa 8.

Navtechin hälytyksiä, jotka tapahtuivat tunnelin kunnossapitotöistä aiheutuneiden kaistansulkutilanteiden aikana, ei todennettu videotallenteista. Tällaisia hälytyksiä tapahtui pilotin aikana 607 kpl. Kyseiset hälytykset eivät ole mukana jäljempänä esitettyjen taulukoiden ja kuvaajien hälytysmäärissä.

Taulukosta 8 nähdään, että molempien järjestelmien hälytyksistä suurin osa on hitaan ajoneuvon hälytyksiä, joita tuli arki-iltapäivisin runsaasti tunnelin ruuhkautuessa. Ruuhkautumisen syynä on riittämätön välityskyky tunnelin jälkeisellä tieosuudella.

Taulukko 8. Järjestelmien tekemien erityyppisten hälytysten ja kaistansulkutilanteen aikaisten hälytysten määrät 24.2. – 19.5. sekä vuorokausikohtaiset keskiarvot.

	FLIR	ka. / d	Navtech	ka. / d
Hälytyksiä (kpl)	357	4,25	578	6,88
Hidas ajoneuvo	212	2,52	429	5,11
Pysähtynyt ajoneuvo	43	0,51	143	1,70
Pudonnut esine	98	1,17	-	-
Väärään suuntaan ajava	4	0,05	6	0,07
Kaistansulkutilanne, ei käsitelty	-	-	(607)	(7,23)

Eri hälytystyyppit ominaispiirteinen on käsitelty yksityiskohtaisemmin jäljempänä tässä luvussa.

10.8.2 Hitaan ajoneuvon hälytykset

Pilotin aikana Flir teki 212 ja Navtech 429 hitaan ajoneuvon hälytystä.

Flir ei tee hälytystä tasaisella hitaalla nopeudella ajavista henkilö- ja pakettiautoista (ks. luku 10.4.2). Navtech puolestaan on asetettu hälyttämään kaikista alle 30 km/h nopeudella ajavista ajoneuvoista.

Ajanjaksolla 10.3.–22.3.15 tulleita Navtechin iltapäiväruuhkan aikaisia hitaan ajoneuvon hälytyksiä ei todennettu videolta resurssien säästämiseksi. Näiden on oletettu jäljempänä esitetyissä kuvaajissa aiheutuneen ruuhkasta.

Järjestelmien tekemien hitaan ajoneuvon hälytysten luokittelu on esitetty taulukossa 9.

Taulukko 9. Hitaan ajoneuvon hälytykset 24.2.–19.5. luokiteltuna syyn perusteella.

	FLIR	Navtech
Hälytyksiä (kpl)	212	429
Ei käsitelty, ruuhkatilanne	-	41
Aiheellinen hälytys, ruuhkasta johtuva	211	215
Aiheellinen, muu syy kuin ruuhka	1	159 (98*)
Hidastyökone	-	115 (59*)
Muu tilanne	1	44 (39*)
Aiheeton hälytys	-	8 (6**)
Ei todennettavissa	-	2
Kunnossapitotyö	-	3
Pysähtynyt ajoneuvo	-	1

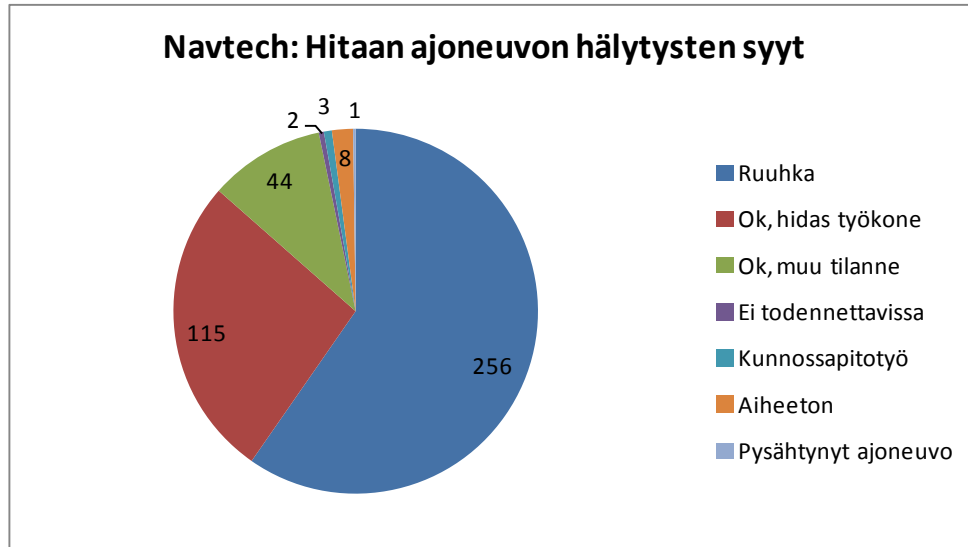
* Eri tapausten lukumäärä, samasta hitaasta ajoneuvosta voi tulla hälytyksiä usealta havaintosuudelta

** Eri aikoihin tulleiden hälytysten lukumäärä, yhdessä tapauksessa kolme aiheetonta hälytystä samalla sekunnilla

Taulukon 9 tiedot on esitetty myös seuraavissa ympyräkuvaajissa (kuvat 17 ja 18).



Kuva 17. Arvioidut syyt Flirin hitaan ajoneuvon hälytyksiin ja hälytysten määrät (yht. 212 kpl).



Kuva 18. Arvioidut syyt Navtechin hitaan ajoneuvon hälytyksiin ja hälytysten määrät (yht. 429 kpl).

Flirin hitaan ajoneuvon hälytysten tulkinta ja havaintoja:

- Yhtä lukuun ottamatta kaikki Flirin hälytykset aiheutuivat tunnelin ruuhkautumisesta.
- 195 tapauksessa kaikkiaan 211 ruuhkasta aiheutuneesta hälytyksestä Flirin ruuhkaskenaario oli hälytyshetkellä päällä jollain itäisen ajoradan kaistalla.
- Yksi tilanne tulkittiin aiheelliseksi hitaan ajoneuvon hälytykseksi. Tilanteessa henkilöauto oli pysähtynyt välittömästi tunnelin itäpuolelle kaistalle 3 ja takana tuleva liikenne joutui hidastamaan tunnelissa.

Navtechin hitaan ajoneuvon hälytysten tulkinta ja havaintoja:

- Noin 60 % hälytyksistä aiheutui ruuhkasta.
- Ruuhkautumistapauksista valtaosa tapahtui tunnelin vasemmanpuoleisilla kaistoilla 3 ja 4, jotka ovat Kehä I:n jatkuvat kaistat. Muutamassa tapauksessa Lintuvaaran erkanemisrampin seisova jono ulottui tunnelin itäiselle suuaukolle kaistalle 1.
- 9 ruuhkautumistapauksessa tunneli oli hälytyshetkellä suljettuna tunnelin liikenteenhallintajärjestelmän automaattisen pääsäättely-toiminnon takia, joka pysäyttää liikenteen tunnelin sisäänajoaukolle
- Tunnelin läpi n. 30 km/h nopeudella ajaneet kaivinkoneet, traktorit ym. työkoneet aiheuttivat runsaasti hälytyksiä. Monesti samasta ajoneuvosta tuli hälytys useammalta havainto-osuudelta
- Lisäksi hitaan ajoneuvon hälytyksiä aiheuttivat tunnelin läpi hitaasti ajavat kunnossapito- ja törmäysturva-autot, ylämäessä hidastavat raskaat ajoneuvot, epätietoiset kuljettajat, jotka eivät tienneet poistua Lintuvaaran rampista vai ei sekä yksittäisten pysähtyvien ajoneuvojen hidastaminen ja liikellelähtö
- Aiheellisiksi tulkitut hälytykset (muu syy kuin ruuhka) jakautuivat melko tasan kaistoille 1, 2 ja 3. Vain 4 % tällaisista hälytyksistä tapahtui kaistalla 4.

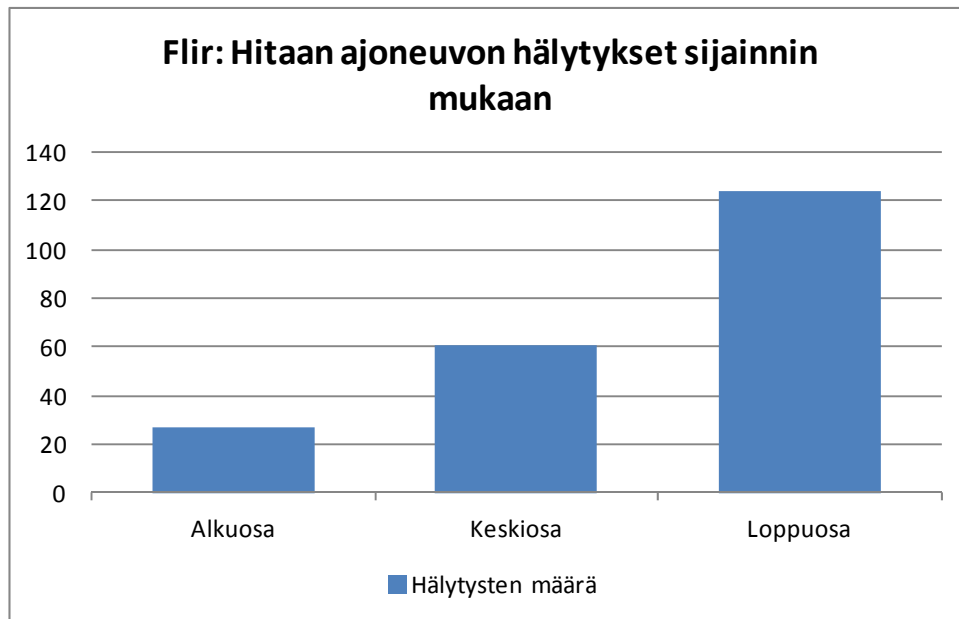
- Hitaan ajoneuvon hälytykset eivät välttämättä tule juuri häiriön aiheuttavasta ajoneuvosta. Esimerkiksi rekan hidastaessa 30 km/h nopeuteen ylämäessä takana tuleva liikenne hidastuu vielä voimakkaammin, jos kaistanvaihtomahdollisuutta ei muun liikenteen vuoksi ole. Jos ensimmäisen ajoneuvon hidastaminen ei aiheutunut tunnelin ruuhkautumisesta, tulkittiin hälytys aiheelliseksi hitaan ajoneuvon hälytykseksi.
- Kunnossapitotyöstä aiheutuneet 3 hälytystä tulivat tilanteesta, jossa tunnelissa on todellisen liikennehäiriön aikana tehty samanaikaisesti ennalta suunniteltuja kaistansulun vaativia kunnossapitotöitä.
- Pysähtyneen ajoneuvon tapauksessa Navtech ei tehnyt ajoneuvosta erillistä pysähtyneen ajoneuvon hälytystä, mutta hitaan ajoneuvon hälytys toimi kuitenkin indikaationa häiriöstä. Ko. hälytys aktivoitui todennäköisesti takana tulevan liikenteen hidastamisesta.
- Aiheettomat hälytykset jakautuivat osuuksille 3–6. Osuuksien 1–2 hälytyksiä, joiden syy ei ilmennyt videotallenteista, ei voitu osoittaa aiheettomiksi liikennekamera I1:n ollessa pois toiminnasta.
- Aiheettomien hälytysten syyn arviointi ei useimmissa tapauksissa ollut mahdollista, sillä videotallenteista ei pääsääntöisesti ollut havaittavissa mitään poikkeavaa. Aiheettomista hitaan ajoneuvon hälytyksistä tehtiin seuraavat havainnot:
 - Yhdessä tapauksessa perävaunullinen henkilöauto ajoi rekkojen välissä kaistalla 3 osuudella 5. Henkilöauton joutuminen katveeseen rekkojen väliin oli mahdollinen syy hälytykseen.
 - 3 hälytystä tapahtui samalla sekunnilla osuuksilla 4, 5 ja 6. Kyseisten aiheettomien hälytysten syyt eivät olleet pääteltävissä.

Hälytysten jakautuminen tapahtumapaikan mukaan

Flirin järjestelmässä itäisessä tunneliputkessa on 11 kameraparia. Tunneli on tulosten seurantaan varten jaettu kolmeen osaan. Tunnelin

- alkuosaan kuuluu neljä ensimmäistä kameraparia
- keskiosaan kolme seuraavaa kameraparia
- loppuosaan neljä viimeistä kameraparia.

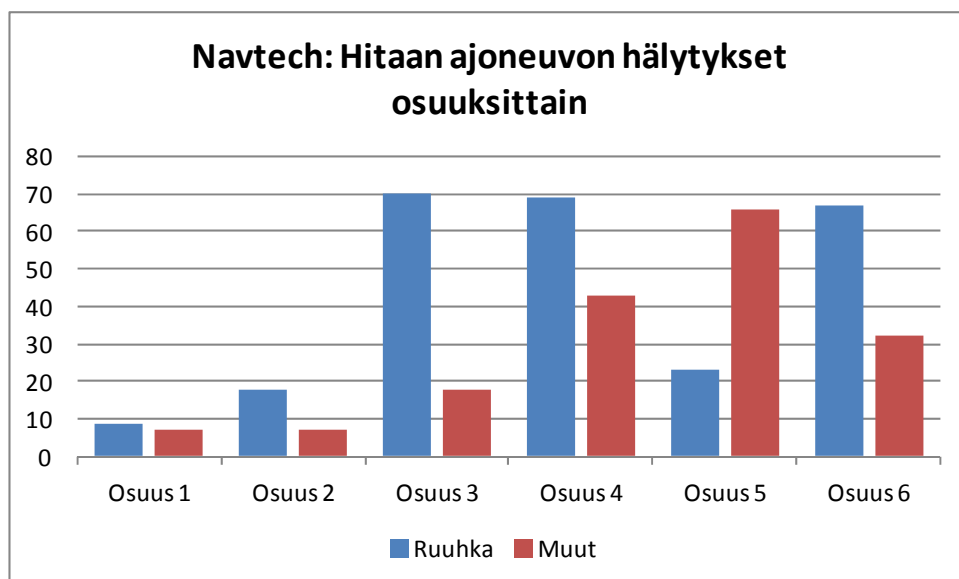
Kuvassa 19 on esitetty Flirin hitaan ajoneuvon hälytysten sijoittuminen tunnelin eri osiin. Yhtä lukuun ottamatta kaikki hälytykset aiheutuivat liikenteen ruuhkautumisesta. Hälytyksistä suurin osa tapahtui tunnelin loppuosassa, missä ruuhkautuminen on voimakkainta.



Kuva 19. Flirin hitaan ajoneuvon hälytykset sijainnin mukaan (yht. 212 kpl).

Kuvassa 20 on esitetty Navtechin ruuhkasta aiheutuneiden sekä muiden hitaan ajoneuvon hälytysten sijoittuminen eri havainto-osuuksille.

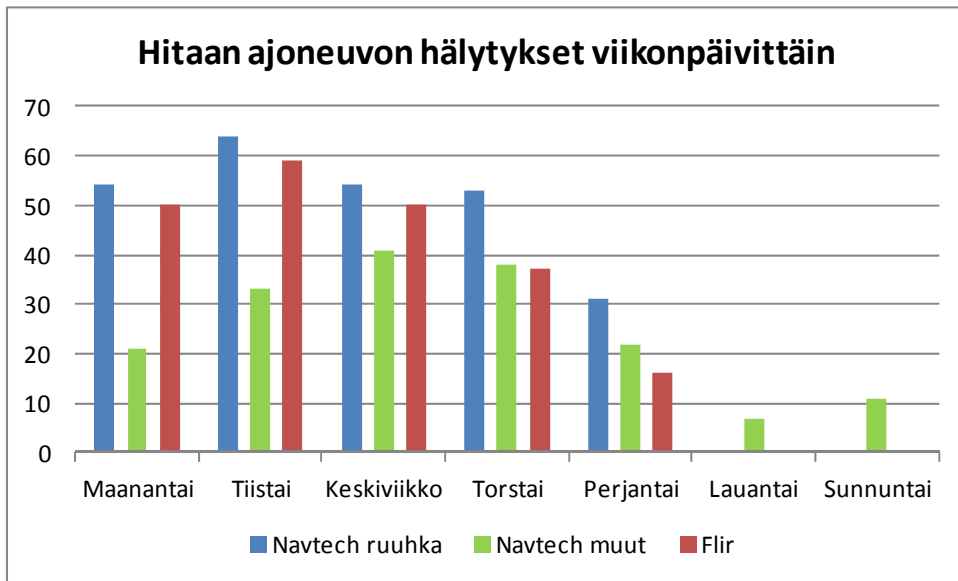
Ruuhkasta aiheutuvista hälytyksistä suurin osa tapahtui tunnelin loppupäässä, missä ruuhkautuminen on voimakkainta. Hälytysten jakautuminen osuudella 5 eroaa muista havainto-osuuksista. Ero selittynee tunnelin geometrialla, sillä tunnelin jyrkkä ylämäkiosuus sijoittuu tälle osuudelle. Jyrkkä ylämäki laskee ajoneuvojen nopeuksia, jolloin ajoneuvovälit pienentyvät. Tämä vaikuttaisi parantaneen Navtechin ruuhkautumisen toimintaa ja alentaneen ruuhkautuneesta liikenteestä aiheutuneita hitaan ajoneuvon hälytyksiä. Yksittäisistä ajoneuvoista, erityisesti hitaista työkoneista tulevien hälytysten määrä oli puolestaan erityisen suuri osuudella 5. Muutenkin hitaiden ajoneuvojen nopeus laski ilmeisesti ylämäessä alle Navtechin hälytysrajan 30 km/h.



Kuva 20. Navtechin ruuhkasta ja muista syistä aiheutuneet hitaan ajoneuvon hälytykset havainto-osuuksittain (yht. 429 kpl).

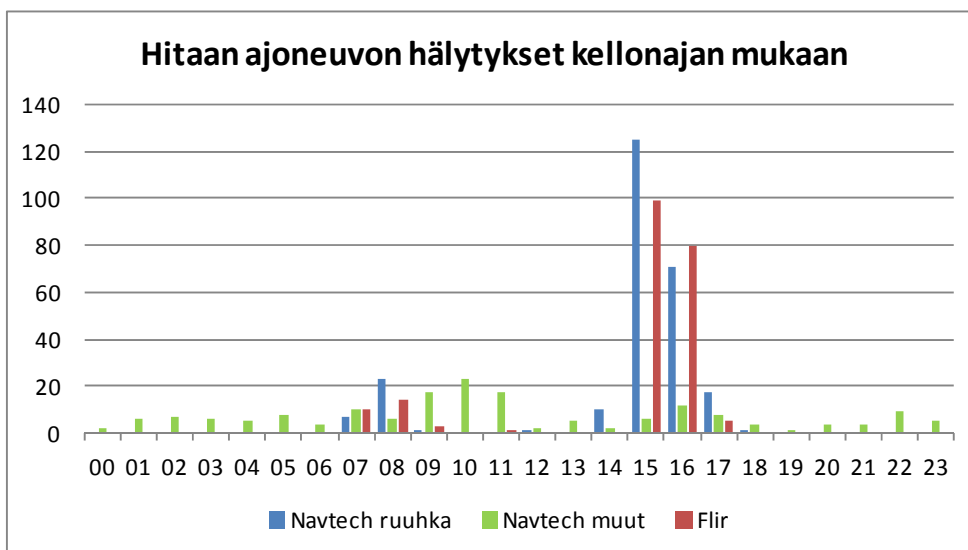
Hälytysten jakautuminen kellonajan, viikonpäivän ja viikon mukaan

Kuvassa 21 on esitetty hitaan ajoneuvon hälytysten määrät eri viikonpäivinä. Navtechin osalta on eritelty ruuhkasta aiheutuneet hälytykset. Kaikki Navtechin ruuhkasta aiheutuneet hälytykset ja Flirin hälytykset tapahtuivat arkipäivinä. Perjantaisin hälytysmäärät olivat huomattavasti muita arkipäiviä alhaisempia. Myös muista syistä aiheutuneet hälytykset painottuvat arkipäiviin, todennäköisesti hitaiden työkoneiden arkipäiviin painottuvan liikenteen vuoksi.



Kuva 21. Hitaan ajoneuvon hälytysten määrät viikonpäivittäin.

Kuvassa 22 on esitetty järjestelmien tuottamien hälytysten jakautuminen eri kellonaikoina tunneittain. Ruuhkautumisesta aiheutuvat hälytykset painottuvat iltopäiviin välille 15–18. Muista syistä aiheutuneet Navtechin hälytykset jakautuvat melko tasaisesti ympäri vuorokauden.



Kuva 22. Hitaan ajoneuvon hälytysten määrät kellonajan mukaan. Vaakselilla alkavat tunnit.

Kuvassa 23 on esitetty hitaan ajoneuvon hälytysten määrät viikoittain. Punaisilla pystyviivoilla on merkitty Navtechin järjestelmään tehdyt merkittävimpään asetusten ajankohdat (23.3, 2.4., 15.–16.4., 27.–28.4.).

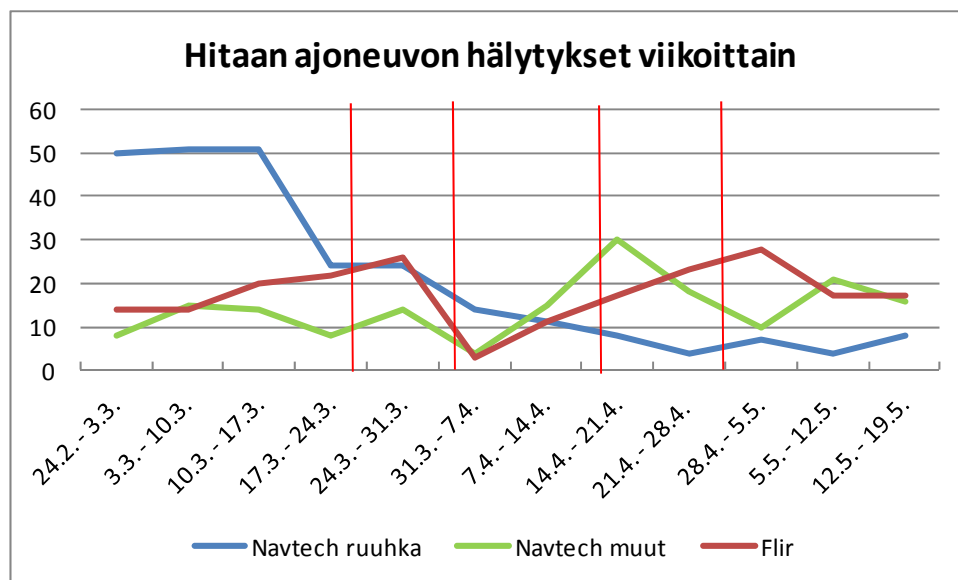
Navtechin ruuhkautumisesta aiheutuneita hälytyksiä on pilotin alkuvaiheessa ollut runsaasti, mutta trendi on maaliskuun puolivälistä eteenpäin ollut tasaisen laskeva. Pilotin loppuvaiheessa ruuhkautumishälytyksiä oli vain muutamia viikoittain.

Muiden kuin ruuhkautumisesta aiheutuneiden Navtechin hälytysten määrässä ei pilotin aikana tapahtunut merkittäviä muutoksia. Seurantaviikon 14.4.–21.4. piikki selittyi hitaiden työkoneiden poikkeuksellisen suurella määrällä kyseisellä viikolla.

Hälytysmäärissä esiintyy melko paljon vaihtelua. Liikennemäärillä vaikuttaisi olevan suuri merkitys, sillä liikenteellisesti hiljaisella pääsiäisviikolla 31.3.–7.4. kummankin järjestelmän hälytysmäärät olivat todella alhaisia.

Flirin hälytysmäärät vaihtelivat maltillisesti. Kuvasta 23 nähdään, että hälytysmäärissä on havaittavissa piikki kahtena viikkona. Kummassakin tapauksessa puolet viikon hälytyksistä tuli yhtenä arkipäivänä, jolloin tunnelin ruuhkautuminen on ollut ilmeisen voimakasta.

Navtechin järjestelmään tehdyt asetus- ja parametrimuutokset vaikuttavat alentaneen ruuhkasta aiheutuneiden hälytysten määrää. Muutos ruuhkantunnistukseen 23.3. on vaikuttavuudeltaan selvin. Ko. muutos tehtiin tosin seurantaviikon lopussa, joten vaikutus ei ole niin selvä, mitä kuvaajasta voisi päätellä.



Kuva 23. Hitaan ajoneuvon hälytykset viikoittain, punaisilla pystyviivoilla on merkitty Navtechin järjestelmään tehtyjen merkittävimpään asetusten ajankohdat.

10.8.3 Pysähtyneen ajoneuvon hälytykset

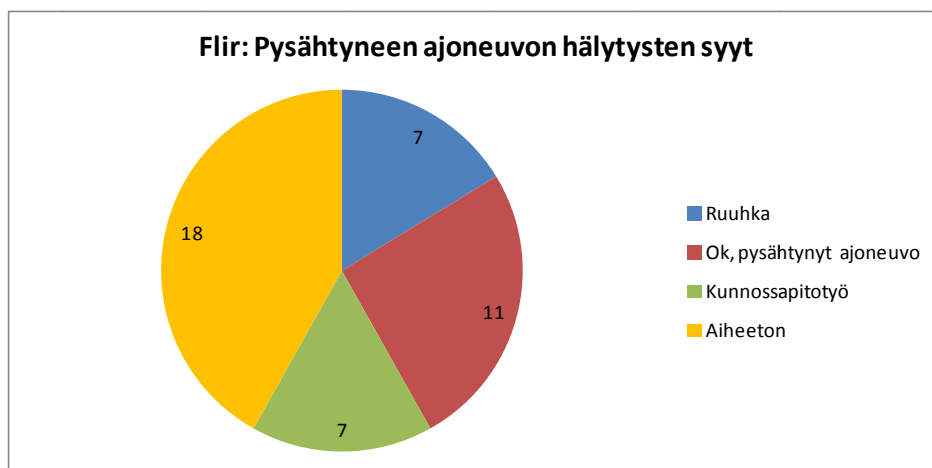
Pilotin aikana Flir teki 43 ja Navtech 143 pysähtyneen ajoneuvon hälytystä.

Taulukko 10. Pysähtyneen ajoneuvon hälytykset luokiteltuna syyn perusteella.

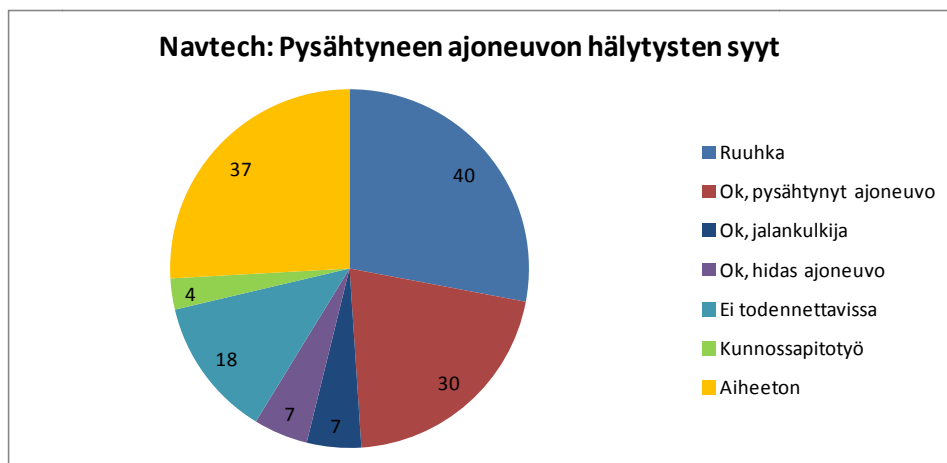
	FLIR	Navtech
Hälytyksiä (kpl)	43	143
Aiheellinen hälytys, ruuhkasta johtuva	7	40
Aiheellinen, muusyy kuin ruuhka	11 (7*)	44 (37*)
Pysähtynyt ajoneuvo	11 (7*)	30 (26*)
Jalankulkija	-	7 (5*)
Hidas ajoneuvo	-	7 (6*)
Aiheeton hälytys	18	37 (36**)
Ei todennettavissa	-	18
Kunnossapitotyö	7 (5*)	4

*Eri tapausten lukumäärä, samasta ajoneuvosta / häiriöstä voi tulla useampia hälytyksiä

** Eri aikoihin tulleiden hälytysten lukumäärä, yhdessä tapauksessa kaksi aiheetonta hälytystä samalla sekunnilla



Kuva 24. Arvioidut syyt Flirin pysähtyneen ajoneuvon hälytyksiin ja hälytysten määrät (yht. 43kpl).



Kuva 25. Arvioidut syyt Navtechin pysähtyneen ajoneuvon hälytyksiin ja hälytysten määrät (yht. 143kpl).

Flirin hälytysten tulkinta ja havainnot:

- Kaikki 7 ruuhkasta aiheutunutta hälytystä tulivat pysähtyneistä jonoista kaistoilta 3 tai 4. Kahdessa tapauksessa ruuhkasta aiheutuneita hälytyksiä tuli kaksi kappaletta saman minuutin sisään eri havaintoalueilta.
- Aiheellisista pysähtyneen ajoneuvon tapauksista (muu syy kuin ruuhka, 11 kpl) tehtiin seuraavat havainnot:
 - Hälytykset tulivat lähinnä reunimmaisilla ajokaistoilta 1 ja 4, yksi tapaus kaistalta 3.
 - 4 hälytystä aiheutui samasta iltapäiväruuhkan aikana ajokais- talle pysähtyneestä ajoneuvosta, mikä ruuhkautti pahoin takana tulevan liikenteen.
 - Eri tapauksia/pysähtyneitä ajoneuvoja oli seitsemän. Näistä neljä johti liikennepäivystäjän tekemään kaistan- tai tunnelin- sulkuun.
- 18 aiheuttomasta hälytyksestä
 - 13 aiheutui märästä renkaanjäljestä
 - 2 aiheutui märästä tienpinnasta heijastuvasta auringosta
 - 2 aiheutui kaistaopastimien varjoista tunnelin suuaukolla.
 - Yhdessä tapauksessa linja-auto roiskaisi vettä märältä ajokais- talta pientareelle.
- Kunnossapitotöistä aiheutuneet hälytykset olivat tilanteita, joissa kunnossa- pito-ajoneuvo levitti ajoradalle vettä tai suolaliuosta tai tunnelin pesuvesi valui suljetulta kaistalta käytössä olevalle kaistalle.

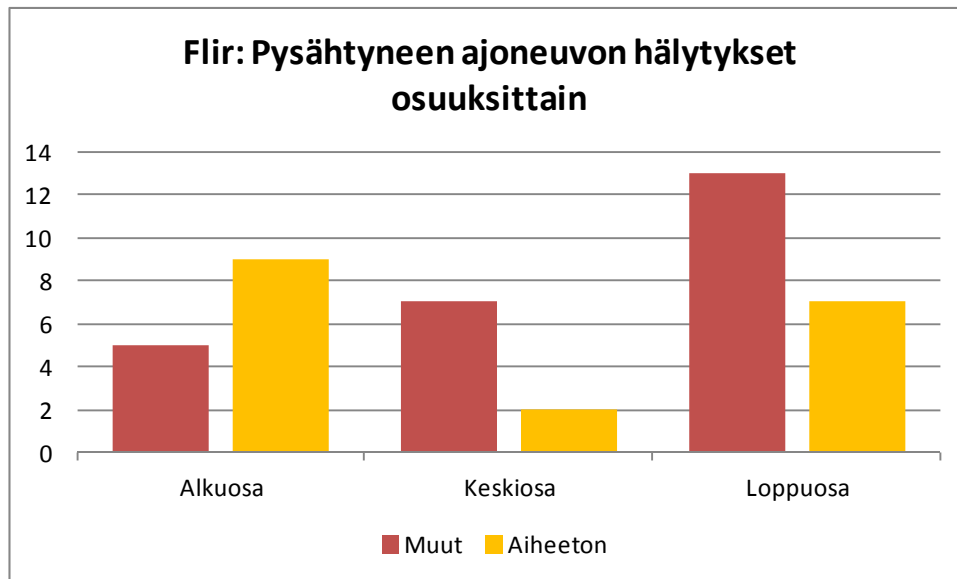
Navtechin hälytysten tulkinta ja havainnot:

- Ruuhkasta aiheutuneista 40 hälytyksestä:
 - 34 tapauksessa jollain itäisen tunneliputken tunnelijaksolla oli hälytyshetkellä Flirin ruuhkaskenaarion perusteella ruuhkaa.
 - 29 tapauksessa tunneli oli hälytyshetkellä suljettuna pääsyn- säätelyn vuoksi.
 - 14 tapauksessa hälytys aiheutui tunnelin sisäänajon ulkopuo- lelle kaistaopastimien avulla pysäytetyistä ajoneuvoista. Tutkan 1 havaintoaluetta tunnelin suuaukolla lyhennettiin 27.4.15, eikä vastaavia hälytyksiä tullut tämän jälkeen.
 - 37 tapauksessa hälytyksen aiheuttanut ruuhkautuminen tapah- tui kaistoilla 3 ja 4.
 - Kolmessa tapauksessa Lintuvaaran erkanemisrampin jono ulot- tui tunneliin asti kaistalle 1.
- Aiheellisista pysähtyneen ajoneuvon hälytyksistä (muu syy kuin ruuhka, 30 kpl)
 - 9 tapauksessa häiriö tapahtui tunnelin ulkopuo- lella, eli Flirin havaintoalueen ulkopuo- lella.
 - 7 tapauksessa ajoneuvo pysähtyi tunnelin sisä- puolella, mutta oli paikoillaan alle 20 s (Flirin havaintoraja)
 - 13 tapauksessa pysähtynyt ajoneuvo oli tunnelissa pysähtyneenä vähintään 20 s
 - 1 tapaus oli tunnelin keskiosassa pysähtynyt polkupyöräilijä

- Jalankulkijoista aiheutuneita hälytyksiä oli 7 kpl, jotka tulivat 5 eri tapauksesta. Yhdessä tapauksessa jalankulkija käveli tunnelin läpi oikeaa piennarta pitkin, kahdesti kunnossapitourakoitsijan työntekijä ylitti ajoradan jalkaisin tunnelin ulkopuolella ja kerran pyöräilijä talutti pyörää tunnelin puolivälistä tunnelin loppuun oikeaa piennarta pitkin.
- 7 hälytyksessä kyseessä oli hidas ajoneuvo, joka ajoi todella hitaasti, mutta ei pysähtynyt. Navtech antoi havaintoasetustensa mukaisesti näistä pysähtyneen ajoneuvon hälytyksen.
- Aiheettomista hälytyksistä (yht. 37 kpl)
 - 20 kpl tapahtui osuudella 4 ja 15 kpl osuudella 3
 - Ainoastaan yhdessä tapauksessa liikenne oli hieman hidastunut ruuhkautumisen vuoksi, muuten hälytykset tulivat sujuvan liikenteen ajalta.
 - Useimmissa tapauksissa hälytyksen syy ei ollut pääteltävissä videotallenteista. Muutamassa tapauksessa korkea rekka tai kuorma-auto ajoi tunnelissa hetkeä ennen hälytystä, mikä on saattanut aiheuttaa tutkalle hälytyksen aiheuttavan katveen.
- 18 tapauksessa hälytyslokien mukaan havainto-osuuksille 1 ja 2 sijoittunutta häiriötä ei pystytty todentamaan, koska liikennekamera I1 oli pois toiminnasta. Nämä hälytykset olivat suurella todennäköisyydellä aiheuttomia, koska tunnelin länsipuolen liikennekamerasta tai kamerasta I2 ei voitu havaita mitään poikkeavaa. Todentamattomista hälytyksistä tehtiin seuraavat havainnot:
 - Neljässä tapauksessa tunneli oli hälytyshetkellä suljettuna pääsynsäätelyn vuoksi.
 - Ainakin kahdessa tapauksessa hälytystä edelsi tyhjän perävaukun maansiirtoaajoneuvon, jossa perävauku on vetoautoa korkeampi, ajo tunnelin läpi.
- Neljä hälytystä kirjattiin kunnossapitotöistä aiheutuneiksi. Kaikki tulivat tilanteesta, jossa todellinen pysähtyneen ajoneuvon tapaus sattui tunnelin kunnossapitotöistä aiheutuneen kaistansulun aikaan. Hälytykset todennettiin videolta, jotta saatiin selvyys, aiheutuivatko ne kunnossapitotöistä vai liikennehäiriöstä.

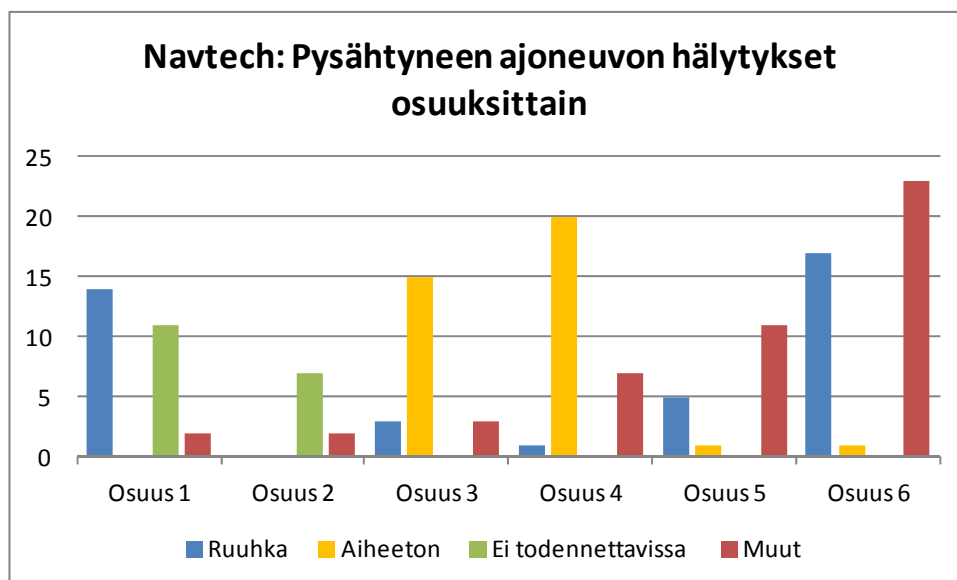
Hälytysten jakautuminen tapahtumapaikan mukaan

Kuvassa 26 on esitetty Flirin pysähtyneen ajoneuvon hälytysten sijoittuminen tunnelin eri osiin. Aiheettomat hälytykset, joiden osuus oli merkittävä, on luokiteltu erikseen. Aiheettomat hälytykset painottuivat tunnelin alku- ja loppuosiin, todellisia ja ruuhkasta aiheutuneita tilanteita oli eniten tunnelin loppuosassa. Hälytysmäärät olivat kuitenkin niin alhaisia, ettei niistä ole mielekäästä tehdä päätelmiä.



Kuva 26. Flirin pysähtyneen ajoneuvon hälytykset sijainnin mukaan (yht. 43 kpl).

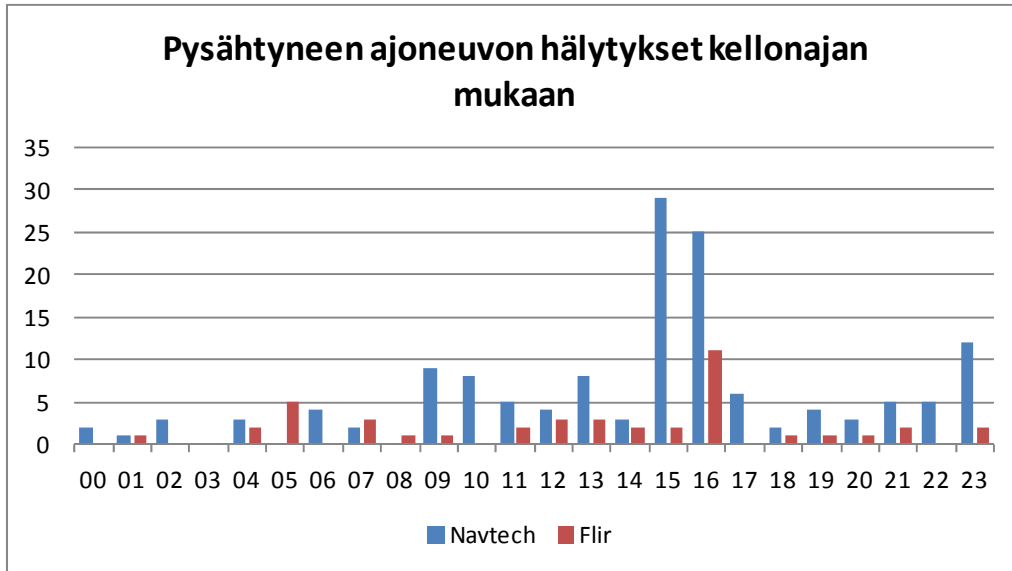
Kuvasta 27 nähdään, että Navtechin ruuhkasta aiheutuneet pysähtyneen ajoneuvon hälytykset painottuivat osuiksille 1 ja 6. Osuuden 1 hälytykset olivat tapauksia, joissa tunneli oli suljettu ja liikenne pysäytetty suuaukon ulkopuolelle kaistaopastimien eteen tutkan 1 kantaman takarajalle. Aiheettomat hälytykset painottuivat osuiksille 3 ja 4. Todellisia liikennehäiriöitä tapahtui eniten osuudella 6. Osasta todellisesta häiriöstä tuli useampia pysähtyneen ajoneuvon hälytyksiä.



Kuva 27. Navtechin pysähtyneen ajoneuvon hälytykset sijainnin mukaan (yht. 143 kpl).

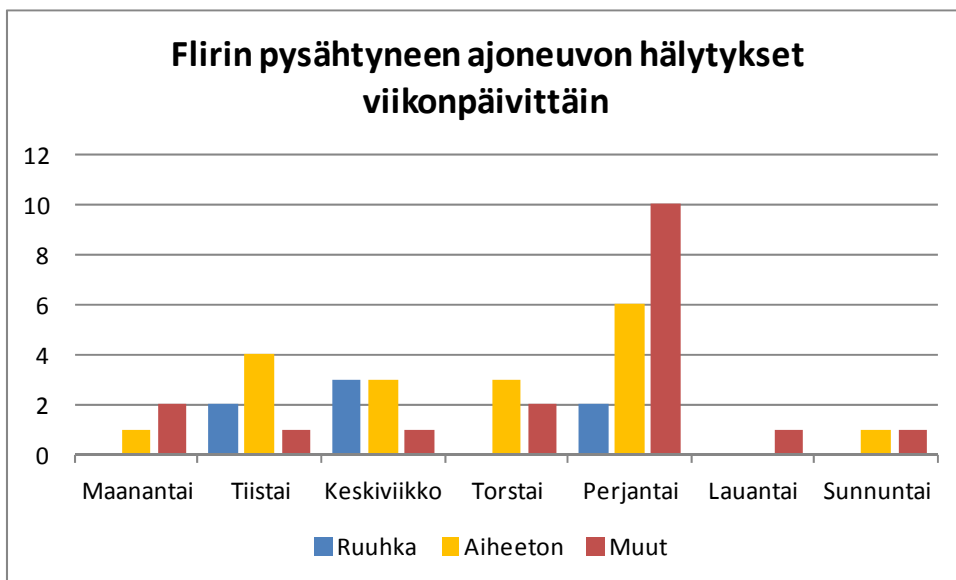
Hälytysten jakautuminen kellonajan, viikonpäivän ja viikon mukaan

Kuvassa 28 on esitetty molempien järjestelmien tuottamien hälytysten määrät eri kellonaikoina. Iltapäiväruuhkan aikaan molemmissa järjestelmissä on piikki ruuhkautumisesta aiheutuneiden hälytysten vuoksi, muuten hälytykset jakautuivat melko tasaisesti eri ympäri vuorokauden.



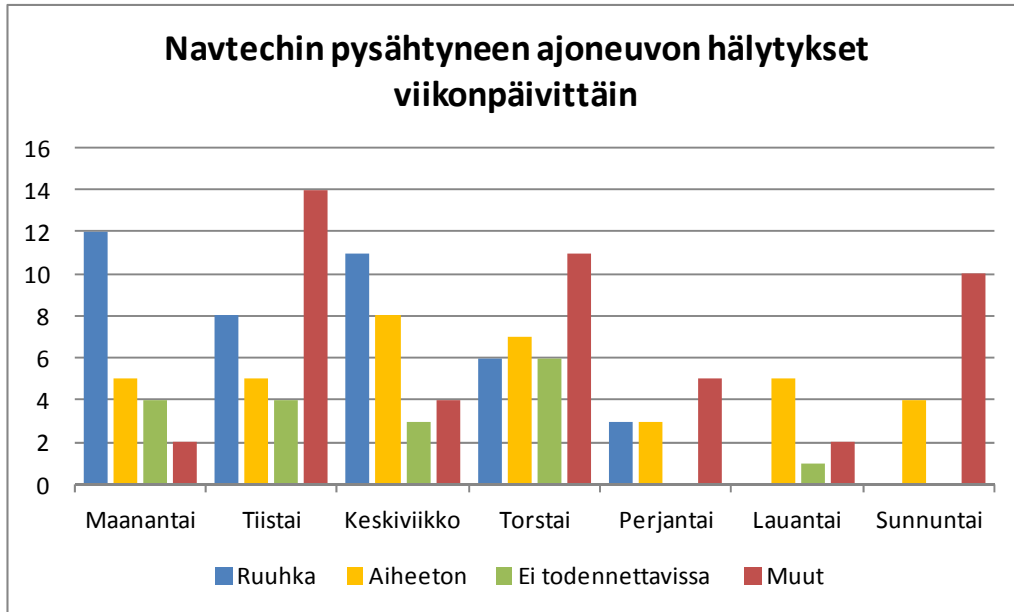
Kuva 28. Pysähtyneen ajoneuvon hälytysten määrät kellonajan mukaan. Vaakakselilla alkavat tunnit.

Kuvassa 29 on esitetty Flirin hälytysten jakautuminen viikonpäivittäin. Perjantain kohdalla kuvaajassa on havaittavissa piikki todellisten ja kunnossapitotöistä aiheutuneiden hälytysten määrissä. Nämä hälytykset tulivat ajoradan suolaamisesta sekä yhdestä todellisesta liikennehäiriöstä, josta aiheutui useita hälytyksiä. Hälytysmäärät olivat jälleen hyvin alhaisia.



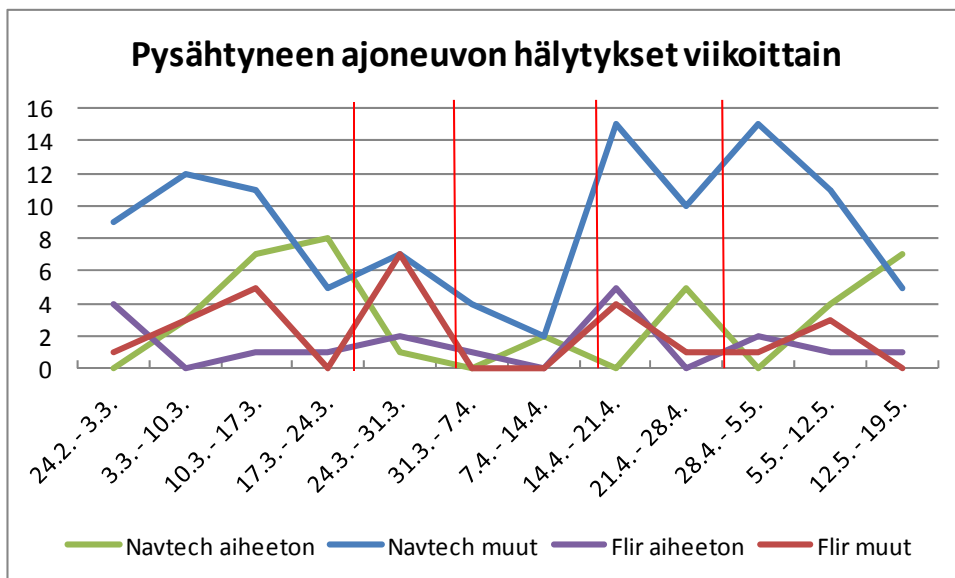
Kuva 29. Flirin pysähtyneen ajoneuvon hälytykset viikonpäivittäin.

Kuvassa 30 on esitetty Navtechin pysähtyneen ajoneuvon hälytysten jakautuminen eri viikonpäiville. Hälytykset on luokiteltu niiden videotallenteista todettujen syiden perusteella. Ruuhkautumisesta aiheutuvat hälytykset painoutuivat ymmärrettävästi arkipäiviin. Aiheettomat ja ei todennettavissa olevat hälytykset jakoutuivat melko tasaisesti eri viikonpäiville. Muiden hälytysten aiheellisten ja kunnossapitotöistä aiheutuneiden hälytysten kohdalla on piikit tiistain, torstain ja sunnuntain kohdalla. Syynä tähän on todellisten tilanteiden painottuminen satunnaisvaihtelun vuoksi tiettyihin viikonpäiviin.



Kuva 30. Navtechin pysähtyneen ajoneuvon hälytykset viikonpäivittäin.

Kuvassa 31 on esitetty Flirin ja Navtechin aiheettomien sekä muiden pysähtyneiden ajoneuvon hälytysten määrät viikoittain sekä punaisiin pystyviivoihin Navtechin järjestelmään tehtyjen parametrimuutosten ajankohdat. Merkittävintä viikkokohtainen vaihtelu oli Navtechin muista syistä kuin ruuhkautumisesta aiheutuvien hälytysten osalta. Kuvaajan jyrkimmät piikit selittyvät kyseisten viikkojen aikana tapahtuneilla yksittäisillä liikennehäiriöillä, joista tuli useita hälytyksiä. Navtechin parametrimuutosten vaikutusta hälytyksiin ei pystytä arvioimaan pienen otannan vuoksi.



Kuva 31. Pysähtyneen ajoneuvon hälytykset viikoittain. Punaisilla pystyviivoilla merkitty Navtechin järjestelmään tehtyjen merkittävimpien muutosten ajankohdat.

10.8.4 Pudonneen esineen hälytykset

Pudonneen esineen hälytys on ollut Flirissä käytössä tunnelin ja HHJ:n käyttöönotosta lähtien.

Navtechin pudonneen esineen hälytys otettiin käyttöön 28.4., mutta pilotin aikana Navtech ei antanut yhtään ko. hälytystyyppin hälytystä. Myöskään todellisia pudonneen esineen tapauksia, joista olisi toiminnallisten vaatimusten mukaan pitänyt tulla hälytys, ei ollut pilotin aikana lainkaan. Navtechin pudonneen esineen hälytyksen aktiivoinnin ei havaittu vaikuttaneen muiden hälytystyyppien havaintoluotettavuuteen.

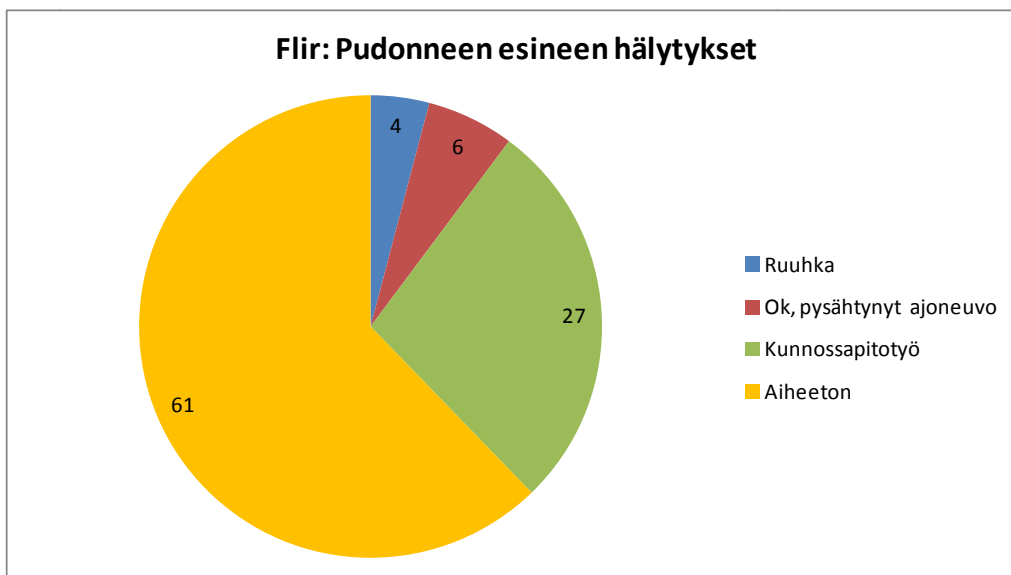
Flirin pudonneen esineen hälytysten määrät ja luokittelu videotallenteiden perusteella on esitetty taulukossa 11.

Taulukko 11. Flirin pudonneen esineen hälytykset.

	FLIR
Hälytyksiä (kpl)	98
Aiheellinen hälytys, ruuhkasta johtuva	4
Aiheellinen, pysähtynyt ajoneuvo	6 (**2)
Aiheeton hälytys	61 (*57)
Kunnossapitotyö	27 (*13)

* Eri tapausten lukumäärä, samasta häiriöstä / ajoneuvosta voi tulla useampia hälytyksiä

** Tapaukset, joissa tilanteesta ei ole tullut aikaisempaa pysähtyneen ajoneuvon hälytystä



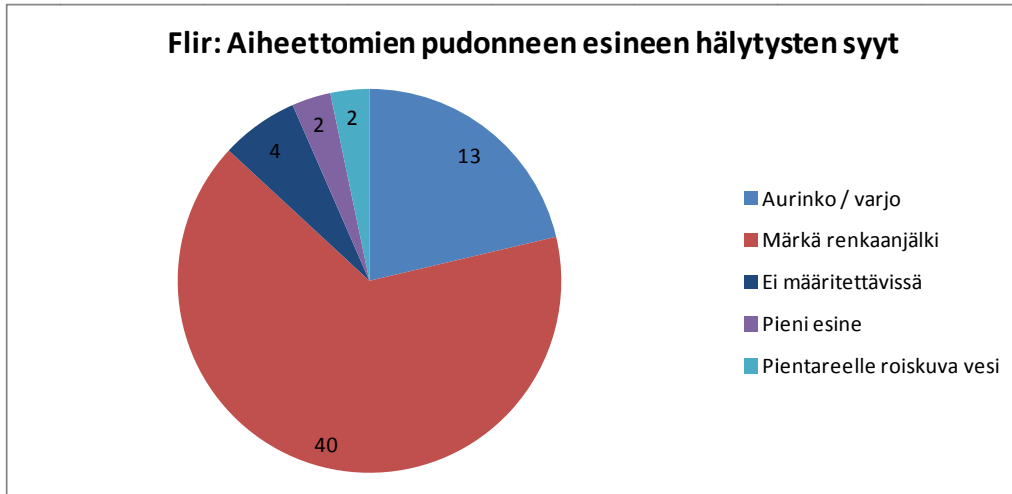
Kuva 32. Flirin pudonneen esineen hälytysten syyt (yht. 98 kpl).

Flirin hälytysten tulkinta ja havainnot:

- Suurin osa pudonneen esineen hälytyksistä oli aiheettomia. Aiheettomien hälytysten syyt on arvioitu jäljempänä
- Kunnossapitotöistä aiheutui reilu neljännes hälytyksistä. Havainnot ko. hälytyksistä:
 - Yhteensä 27 hälytyksestä 22 aiheutui kunnossapitoajoneuvon levittämästä suolaliuoksesta tai vedestä, mikä muutti tienpinnan kontrastia kamerakuvassa. Suuri osa tilanteista tapahtui kaistalla 1 ja muutama kaistalla 4. Monessa tapauksessa saman kunnossapitoajoneuvon toimenpiteistä tuli hälytyksiä useammalta peräkkäiseltä havaintoalueelta.
 - Muut kunnossapitohälytykset aiheutuivat tunnelin pesun vuoksi virtaavasta vedestä, huoltoajoneuvojen vilkkuvaloista ja huoltoajoneuvojen kirkkaiden kohdevalojen heijastumisesta märästä tienpinnasta.
- Hälytyksistä 4 kpl arvioitiin ruuhkasta aiheutuneeksi. Kaikissa kyseisissä tapauksissa tapahtumakaistalla oli seisova jono.
- Pysähtyneen ajoneuvon tapaukset olivat tilanteita, joista olisi pitänyt tulla pysähtyneen ajoneuvon hälytys. Muutamassa tilanteessa Flir oli antanut jo aiemmin samasta häiriöstä pysähtyneen ajoneuvon hälytyksen. Pysähtyneen ajoneuvon ja pudonneen esineen hälytykset ovat Flirille teknisesti rinnasteisia.

Aiheettomien pudonneen esineen hälytysten luokittelu hälytyksen syyn perusteella on esitetty kuvassa 33. Aiheettomista hälytyksistä tehtiin seuraavat havainnot:

- Suurin osa hälytyksistä aiheutui märistä renkaanjäljistä. Noin kaksi kolmasosaa näistä tapahtui kaistalla 1. Syynä tähän lienee mm. tunneliputken oikealle kallistuva geometria, joka kerää veden reunimmaiselle ajokaistalle.
- Aiheettomia hälytyksiä tuli runsaasti myös tunnelin läntisellä suuaukolla tunnelirakenteiden ja laitteiden varjojen voimakkaista muutoksista auringon tullessa pilven takaa esiin.
- Kahdessa tapauksessa kyse oli oikealla pientareella olevasta pienestä esineestä. Toinen oli litistynyt pahvilaatikko, toinen sanomalehti tai muovipussi. Esineet olivat selvästi tuotevaatimuksien havaintovaatimusta pienempiä, joten hälytykset luokiteltiin aiheettomiksi. Kamerapohjainen HHJ ei kykene määrittämään esineen tilavuutta, vaan ainoastaan kamerakuvassa näkyvän kaksiulotteisen projektion koon.
- Kahdessa tapauksessa linja-auto roiskaisi vettä ajokaistalta pientareelle, mikä aiheutti pudonneen esineen hälytyksen pientareelta.
- Neljässä tapauksessa hälytyksen syy ei ollut arvioitavissa videotallenteen perusteella.
- Suurimmassa osassa aiheettomia hälytyksiä havainto tuli kameran havaintoalueen takaosasta, missä kamerakuvan tarkkuus on etualaa heikompi.



Kuva 33. Flirin aiheettomien pudonneen esineen hälytysten syyt (yht. 61 kpl).

10.8.5 Väärään suuntaan ajavan ajoneuvon hälytykset

Väärään suuntaan ajavan ajoneuvon hälytysten määrät ja luokittelu on esitetty taulukossa 12.

Taulukko 12. Väärään suuntaan ajavan ajoneuvon hälytysten arviointi.

	FLIR	Navtech
Hälytyksiä (kpl)	4 (*1)	6
Aiheellinen, väärään suuntaan ajava	4 (*1)	-
Aiheeton hälytys	-	3
Ei todennettavissa	-	3

* Eri tapausten lukumäärä, samasta häiriöstä / ajoneuvosta voi tulla useampia hälytyksiä

Flirin hälytysten tulkinta ja havainnot:

- Kaikki neljä Flirin hälytystä tulivat yhdestä todellisesta tapauksesta. Tapaus on kuvattu luvussa 10.7.

Navtechin hälytysten tulkinta ja havainnot:

- Navtechin aiheettomat hälytykset tulivat osuudelta 3. Ainakin kahdessa tapauksesta tyhjä perävaunullinen maansiirtoajoneuvo ajoi tunnelissa hetkeä ennen hälytystä.
- Ei todennettavissa olevat hälytykset tulivat osuudelta 2.

10.8.6 Säätilan vaikutus hälytyksiin

Kevät 2015 oli poikkeuksellisen leuto, eikä pilotin aikana saatu kunnollisia kokemuksia järjestelmien toiminnasta talviolosuhteissa. Yksittäisinä päivinä tunnelissa ja suuaukolla oli hetkellisesti loskaa ja sohjoa, mutta kunnolla lumisia olosuhteita ei ollut lainkaan.

Taulukossa 13 on esitetty kevään 2015 kuukausittaiset keskilämpötilat ja sademäärät Helsinki-Vantaan lentoasemalta sekä vuosien 1981–2010 keskiarvot. Helmi- ja maaliskuu olivat huomattavasti keskimääräistä lämpimämpiä. Sademäärät olivat keskimääräistä suurempia.

Taulukko 13. Keskilämpötilat ja sademäärät Helsinki-Vantaan lentoaseman mittauspisteestä keväältä 2015 sekä vuosien 1981–2010 keskiarvot (Ilmatieteen laitos 2015).

Kuukausi	Keskilämpötila (°C)		Sademäärä (mm)	
	2015	1981-2010	2015	1981-2010
Helmikuu	-0,1	-5,7	44	37
Maaliskuu	1,8	-1,9	60	37
Huhtikuu	5,1	4,1	56	32
Toukokuu	9,7	10,4	41	39

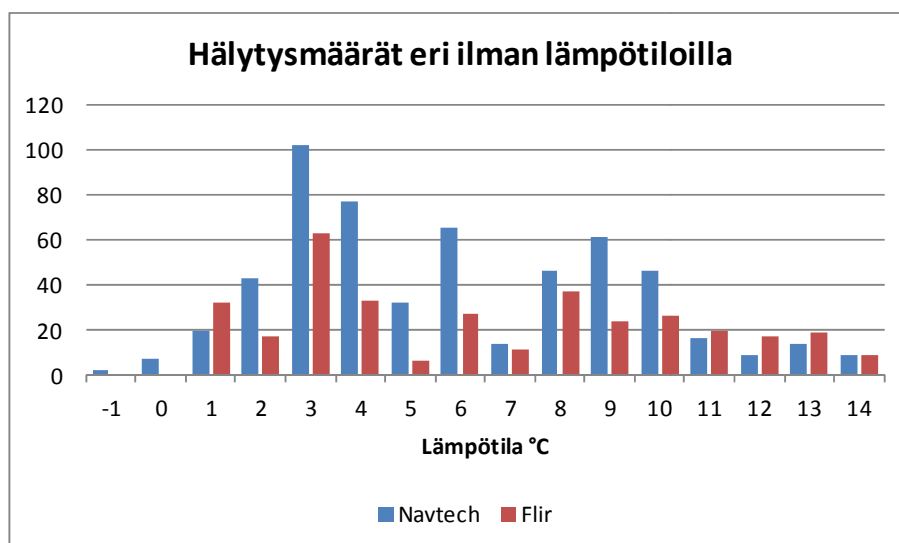
Erialaisten säätilojen vaikutusta järjestelmien toimintaan on arvioitu Mestarintunnelin ja Vallikallion tiesääasemien lokitietojen perusteella.

10.8.6.1 Lämpötila

Seuraavien kuvaajien lämpötilat ovat Mestarintunnelin tiesääaseman R_1092 mitaamia ilman lämpötiloja. Tiesääaseman mittaa lämpötilatiedot 0,1 °C tarkkuudella. Luvun kuvaajissa lämpötilat on luokiteltu siten, että esim. 1 °C kattaa lämpötilat 0,5–1,4 °C. Mikäli tiesääaseman mittaustietoa ei ollut saatavissa hälytystä edeltävän puolen tunnin ajalta, ei kyseistä hälytystä ole huomioitu kuvaajissa.

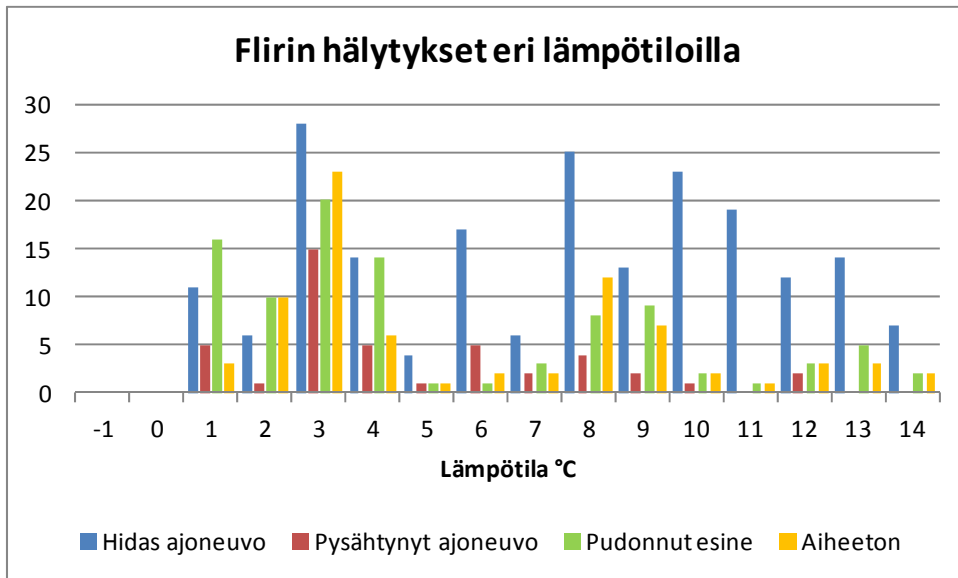
Flirin hälytyshetkiltä mitattujen lämpötilojen keskiarvo oli 6,5 °C ja Navtechin vastaava 5,9 °C. Aiheettomien hälytysten osalta lämpötilojen keskiarvot olivat Flirillä 5,7 °C ja Navtechilla 7,4 °C. Flirin aiheettomat hälytykset tulevat siis hieman alhaisemmissa lämpötiloissa kuin Navtechin.

Kuvassa 34 on esitetty järjestelmien hälytysmäärät eri lämpötila-alueilla. Eri lämpötilojen jakaumaa pilotin ajalta ei ole saatavissa, joten päätelmien tekeminen hälytysten todennäköisyyksistä eri lämpötila-alueilla ei ole mahdollista.



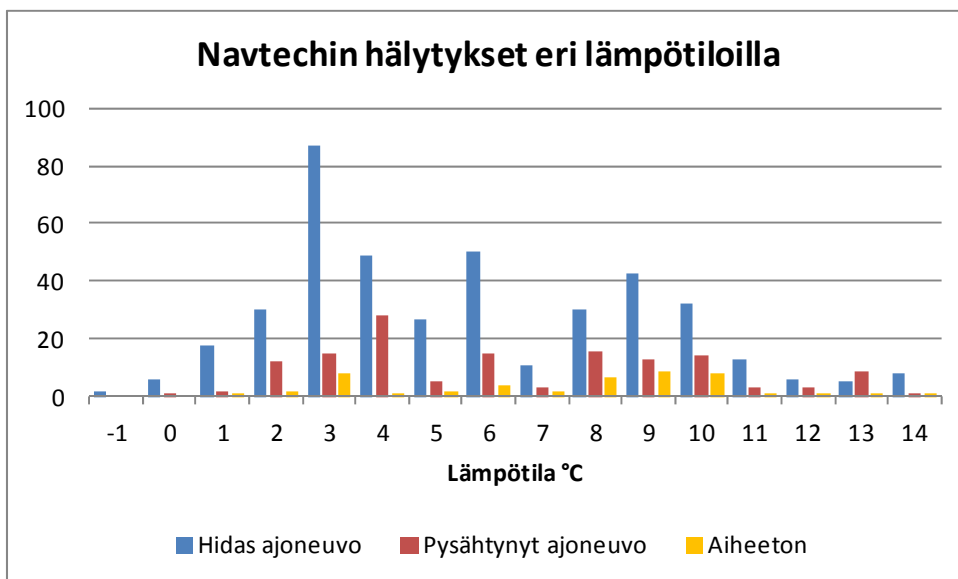
Kuva 34. Hälytysmäärät eri ilman lämpötiloilla (tiesääasema Mestarintunneli R_1092).

Flirin lokitietojen mukaisten hälytysten jakautuminen sekä aiheettomiksi todennettujen hälytysten määrät on esitetty kuvassa 35. Kuvasta havaitaan, että pudonneen esineen ja pysähtyneen ajoneuvon hälytykset painottuivat alhaisiin lämpötiloihin, kun taas hitaan ajoneuvon hälytykset jakautuivat melko tasaisesti eri lämpötiloihin. Aiheettomien hälytysten määrät seuraavat melko tarkasti pudonneen esineen hälytyksiä, paitsi 1 °C lämpötila-alueella, jossa suurin osa pudonneen esineen hälytyksistä aiheutui kunnossapitotöistä.



Kuva 35. Flirin tekemät hitaan ja pysähtyneen ajoneuvon ja pudonneen esineen hälytysten sekä aiheettomiksi todettujen hälytysten määrät eri ilman lämpötiloilla (tiesääasema Mestarintunneli R_1092).

Kuvassa 36 on esitetty Navtechin hitaan ja pysähtyneen ajoneuvon hälytysten määrät lokitietojen perusteella sekä aiheettomiksi todettujen hälytysten määrät eri lämpötila-alueilla. Kuvaajan perusteella aiheettomat hälytykset jakautuivat melko tasaisesti kaikille lämpötila-alueille.

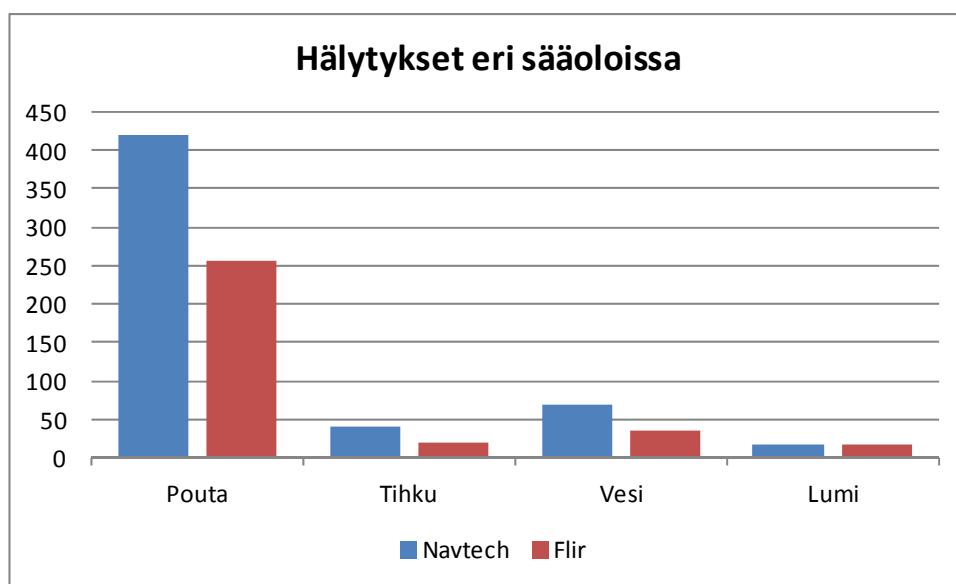


Kuva 36. Navtechin tekemät hitaan ja pysähtyneen ajoneuvon sekä aiheettomiksi todettujen hälytysten määrät eri ilman lämpötiloilla (tiesääasema Mestarintunneli R_1092).

10.8.6.2 Sade

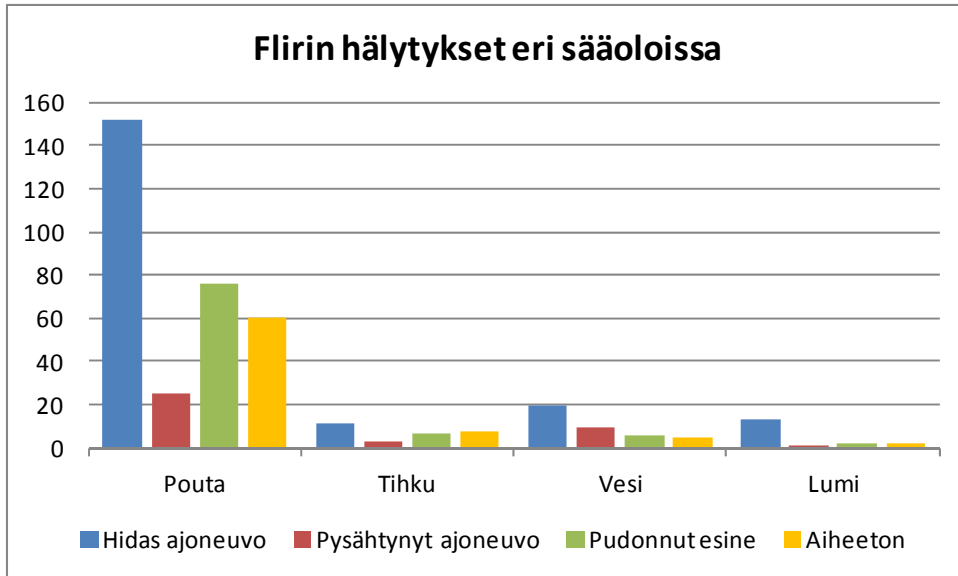
Seuraavien kuvaajien sadetiedot ovat tunnelin itäpuolella sijaitsevat Vallikallion tiesääaseman R_1096 määrittämiä. Mikäli mittaustietoa ei ollut saatavissa hälytystä edeltävän puolen tunnin ajalta, ei hälytystä ole huomioitu kuvaajissa. Tiesääaseman mittaamien sääolojen jakaumaa pilotin ajalta ei ole saatavissa, mikä vaikeuttaa päätelmien tekoa.

Kuvan 37 perusteella selvästi suurin osa hälytyksistä tapahtui poudan aikana. Navtechin hälytysten määrä eri sääoloissa on samassa suhteessa Fliriä suurempia. Lumessa hälytysten määrät ovat samaa luokkaa, mutta otanta on hyvin pieni.



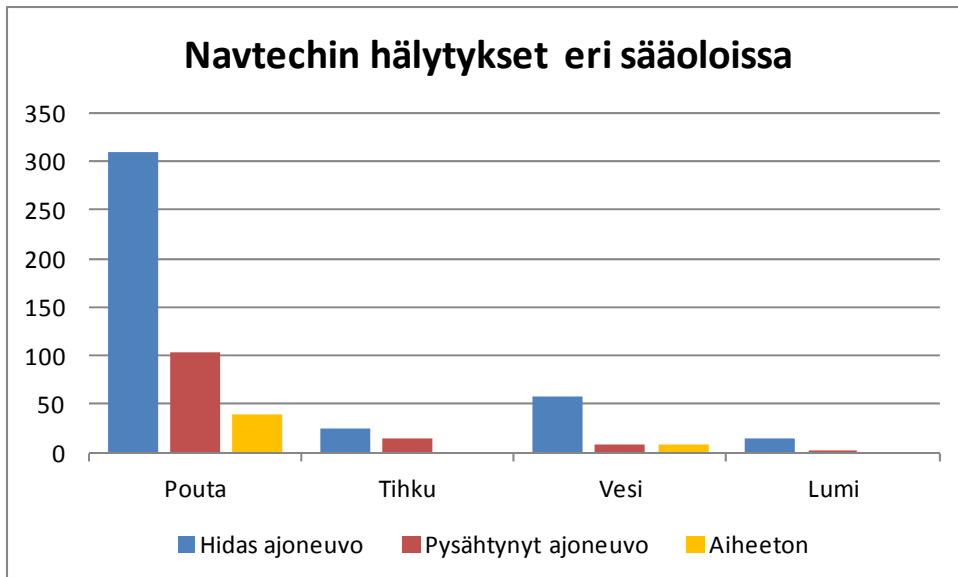
Kuva 37. Hälytysten määrät eri sääoloissa (tiesääasema Vallikallio R_1096).

Flirin lokitietojen mukaiset eri hälytystyyppien määrät sekä aiheettomien hälytysten määrät on esitetty kuvassa 38. Sääoloilla ei vaikuta olleen selvää vaikutusta hälytystyyppien jakaumaan. Koska suurin osa pudonneen esineen hälytyksistä aiheutui märistä renkaanjäljistä eli tiepinta oli kostea tai märkä, mutta tiesääasema määritteli olosuhteet samanaikaisesti poudaksi, eivät tiesääaseman sadetiedot korreloi suoraan tunnelin tienpinnan kosteuden kanssa.



Kuva 38. *Flirin tekemien hitaan ja pysähtyneen ajoneuvon ja pudonneen esineen hälytysten sekä aiheettomiksi todettujen hälytysten määrät eri sääoloissa (tiesäasema Vallikallio R_1096).*

Kuvassa 39 on esitetty Navtechin hitaan ja pysähtyneen ajoneuvon hälytysten määrät lokitietojen perusteella sekä videotallenteista aiheettomiksi todettujen hälytysten määrät eri sääoloissa. Sääoloilla ei kuvaajan perusteella vaikuta olleen vaikutusta aiheettomien hälytysten määrään, sillä niitä tapahtui eri sääoloissa samassa suhteessa.

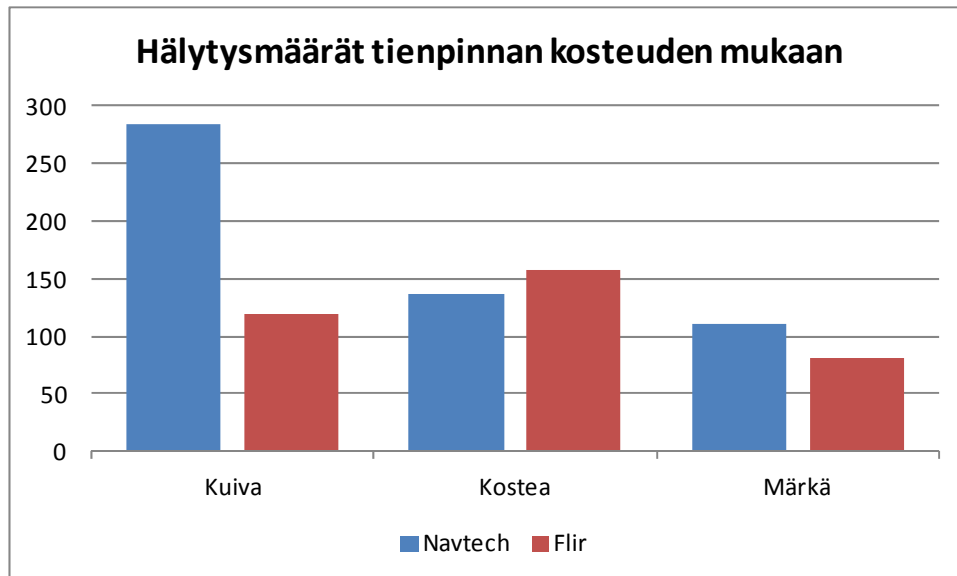


Kuva 39. *Navtechin tekemät hitaan ja pysähtyneen ajoneuvon sekä aiheettomiksi todettujen hälytysten määrät eri sääoloissa (tiesäasema Vallikallio R_1096).*

10.8.6.3 Tienpinnan kosteus

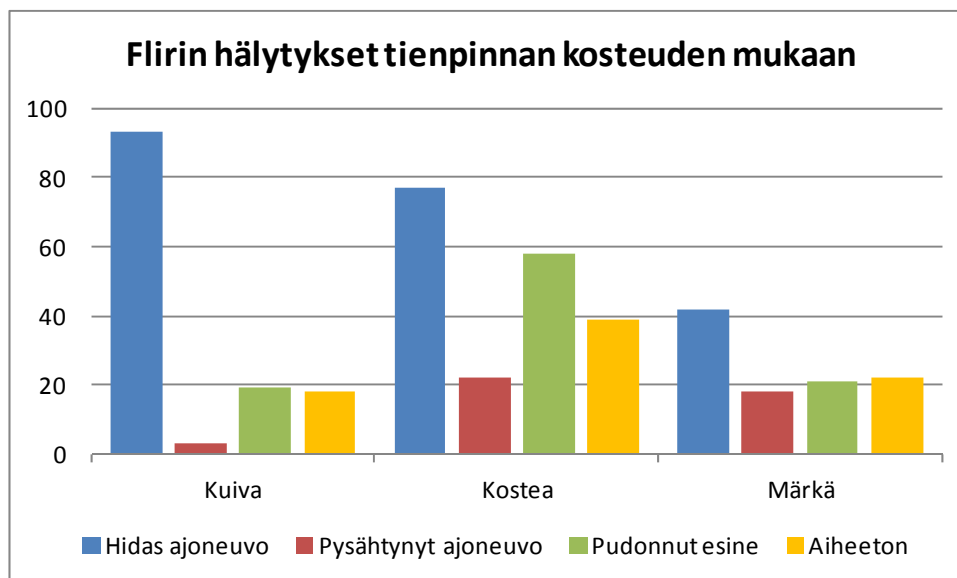
Jokaisen hälytyksen videotarkastelun yhteydessä arvioitiin, oliko tienpinta hälytys-hetkellä kuiva, kostea vai märkä. Tienpinnan luokittelu kuivan ja kostean välillä oli useimmissa tapauksissa haastavaa, sillä erottelu perustui lähinnä tienpinnan heijastuvuuteen videotallenteessa. Näin ollen luokittelua ei voida pitää kovin luotettavana. Ymmärrettävästi eri olosuhteiden jakaumaa pilotin aikana ei myöskään ollut saatavissa.

Kuvassa 40 on esitetty Flirin ja Navtechin hälytysten määrät eri kosteusasteilla. Kostealla tai märällä tienpinnalla Flirin hälytyksiä suhteessa Navtechiin oli huomattavasti enemmän kuivaan keliin verrattuna.



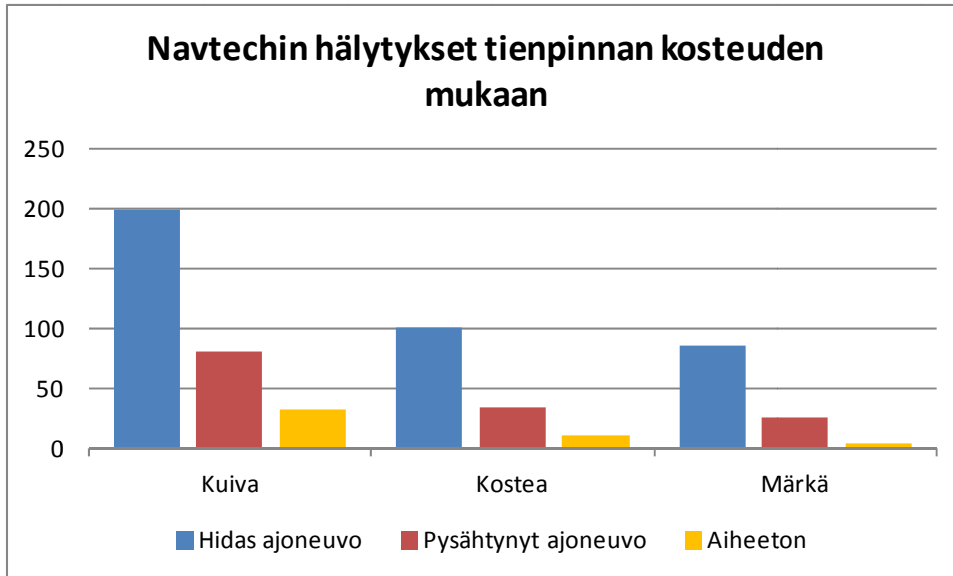
Kuva 40. Hälytysten määrät tienpinnan eri kosteusasteilla.

Flirin hälytysjakaumasta (kuva 41) nähdään, että pudonneen esineen hälytyksiä ja aiheettomia hälytyksiä tuli eniten tienpinnan ollessa kostea. Lähes kaikki kostealla tienpinnalla tulleet aiheettomat hälytykset olivat seurausta märistä renkaanjäljistä.



Kuva 41. Flirin hälytysten määrät tienpinnan eri kosteusasteilla.

Navtechin hitaiden ja pysähtyneiden ajoneuvojen sekä aiheettomiksi todettujen hälytysten määrät on esitetty kuvassa 42. Eri hälytystyyppien määrien suhde on kutakuinkin sama kaikissa olosuhteissa.



Kuva 42. Navtechin hälytysten määrät tienpinnan kosteuden mukaan.

10.8.7 Liikennemäärän vaikutus hälytyksiin

Liikennemäärät saatiin noin 1 km tunnelin itäpuolella sijaitsevan Konalan LAM-pisteen (LAM126) mittaustiedoista. Mittauspiste sijaitsee Lintuvaaran liittymän jälkeen, eli liikennemäärät eivät vastaa tunnelin liikennemääriä. LAM-pisteen kohdalla itäinen ajorata on kaventunut kaksikaistaiseksi. Liikennemäärät saatiin 5 minuutin tarkkuudella.

Taulukossa 14 on esitetty järjestelmien tuottamien kaikkien hälytysten sekä ruuhkasta aiheutuneiden sekä aiheettomiksi todettujen hälytysten 5 min liikennemääräkeskiarvot. Kummankin järjestelmän keskiarvot ovat kaikissa kolmessa vertailuryhmässä hyvin lähellä toisiaan.

Taulukko 14. 5 min liikennemääräkeskiarvot kaikille sekä ruuhkautumisesta aiheutuneille ja aiheettomiksi todetuille hälytyksille.

	FLIR	Navtech
Kaikki	241	224
Ruuhka	299	300
Aiheeton	176	168

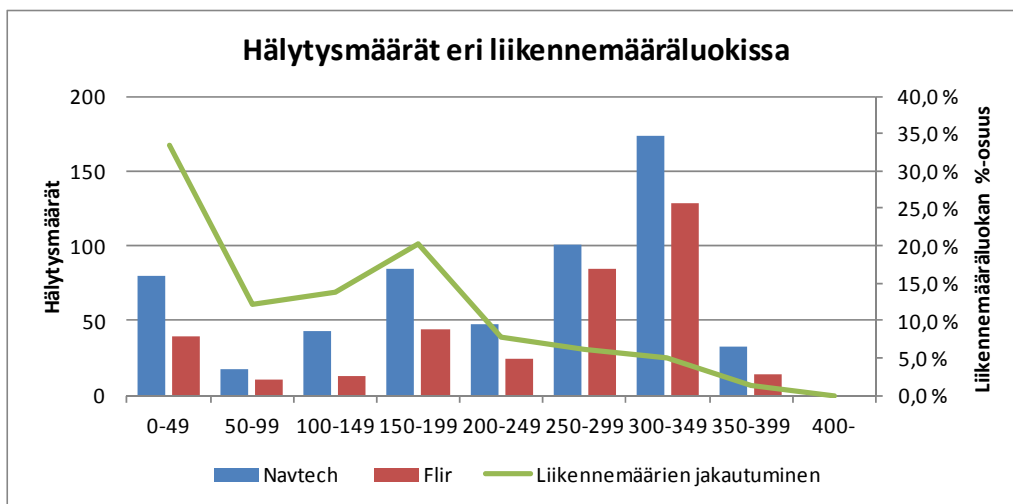
Kuvassa 43 on esitetty järjestelmien hälytysmäärät eri 5 minuutin liikennemääräluokissa. Vihreällä viivalla on merkitty kyseisen liikennemääräluokan esiintymisen osuus koko 84 vuorokauden pilotin aikana.

Ajallisesti eniten esiintyvät liikennemääräluokat ovat 0–49 ja 150–199. Suurien liikennemäärien suhteellinen osuus on melko pieni.

Kummatkin järjestelmät tuottivat eniten hälytyksiä suurilla liikennemäärillä, mikä on ymmärrettävää, sillä suurin osa järjestelmien hälytyksistä aiheutui ruuhkasta. Liikennemääräluokat eivät tosin ole suoraan verrannollisia liikenteen sujuvuuteen ja ruuhkautumiseen tunnelissa, sillä etäisyyttä mittauspisteeseen on noin kilometri ja kolmannen itään menevän ajokaistan loppuminen ennen LAM-pistettä aiheuttaa kais-

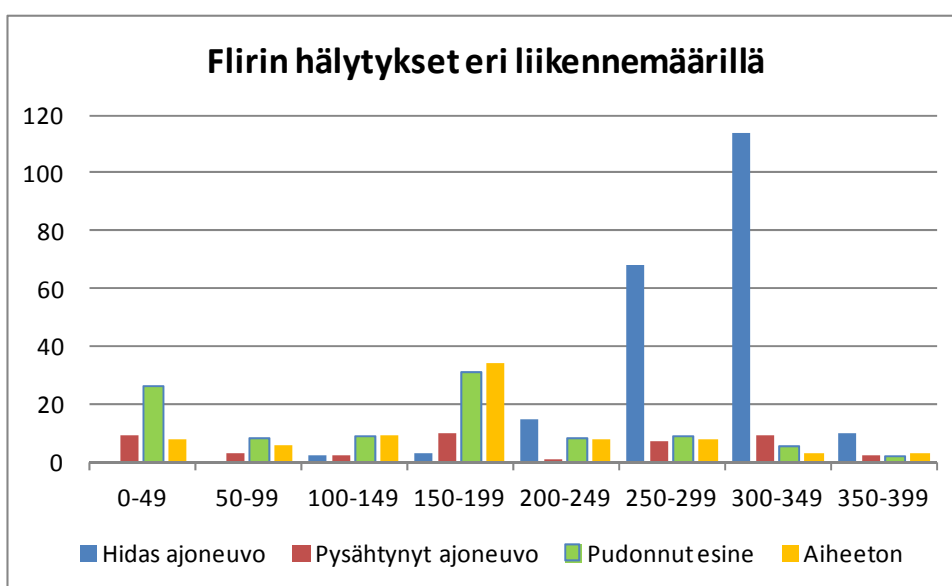
tanvaihtoja ja tunneliin asti ulottuvaa haitariliikettä. Lisäksi liikenteen ruuhkautuessa tarpeeksi tunnelin automaattinen pääsyn säätely sulkee tunnelin.

Alhaisilla ja keskiuurilla liikennemäärillä 0–249 ajoneuvoa järjestelmien hälytysmäärät mukailevat paljolti liikennemääräluokkien esiintymistiheyksiä. Näissä luokissa myös Navtechin hälytysmäärät ovat suhteessa paljon Fliriä suurempia ruuhkahuippujen liikennemääriin 250–349 ajoneuvoa / 5 min verrattuna.



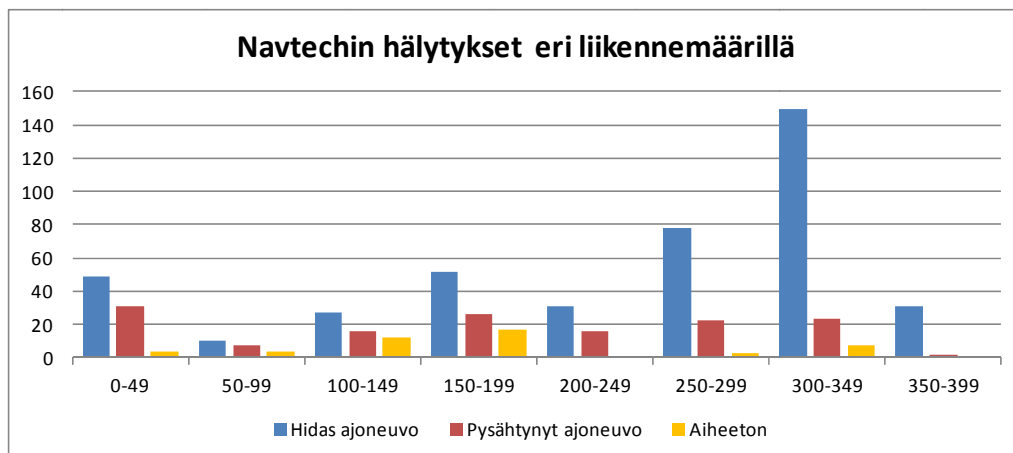
Kuva 43. Hälytysten määrät eri 5 min liikennemääräluokissa on esitetty pylväillä. Viiva kuvaa 5 min jaksojen liikennemäärien jakautumista eri luokkiin pitkin aikaa.

Kuvassa on 44 on esitetty Flirin lokitietojen mukaisten sekä aiheettomiksi todennettujen hälytysten määrät eri liikennemääräluokissa. Liikennemäärän muutokset vaikuttivat ennen kaikkea hitaan ajoneuvon hälytysten määrään, jotka Flirillä aiheutuivat lähes kaikki ruuhkautumisesta. Hitaan ajoneuvon hälytyksiä ei ole näin ollen lainkaan alhaisten liikennemäärien luokissa.



Kuva 44. Flirin tekemien hitaan ja pysähtyneen ajoneuvon ja pudonneen esineen hälytysten määrät sekä aiheettomiksi todettujen hälytysten määrät eri liikennemääräluokissa.

Kuvassa 45 on esitetty Navtechin lokitietojen mukaiset hitaan ja pysähtyneen ajoneuvon hälytysten määrät sekä aiheettomiksi todennettujen hälytysten määrät eri liikennemääräluokissa. Hitaan ajoneuvon hälytyksiä on selvästi eniten suurilla liikennemäärillä. Pysähtyneen ajoneuvon ja aiheettomien hälytysten määrät ovat samaa suuruusluokkaa eri liikennemääräluokissa.



Kuva 45. Navtechin hitaan ja pysähtyneen ajoneuvon hälytysten sekä aiheettomiksi todettujen hälytysten määrät eri liikennemääräluokissa.

10.8.8 Keskinopeuden vaikutus hälytyksiin

Konalan LAM-pisteen (LAM126) lokitiedoista saatiin liikennemäärien lisäksi itäisen ajoradan keskinopeudet 5 minuutin jaksoissa.

Taulukossa 15 on esitetty järjestelmien tuottamien kaikkien hälytysten sekä ruuhkasta aiheutuneiden sekä aiheettomiksi todettujen hälytysten hälytyshetkeltä selvitettyjen 5 min keskinopeuksien keskiarvot. Kaikkien sekä ruuhkautumisesta aiheutuneiden hälytysten ryhmässä Flirin hälytykset tulivat selvästi alemmilla keskinopeuksilla kuin Navtechin. Aiheettomien hälytysten osalta ero on marginaalinen.

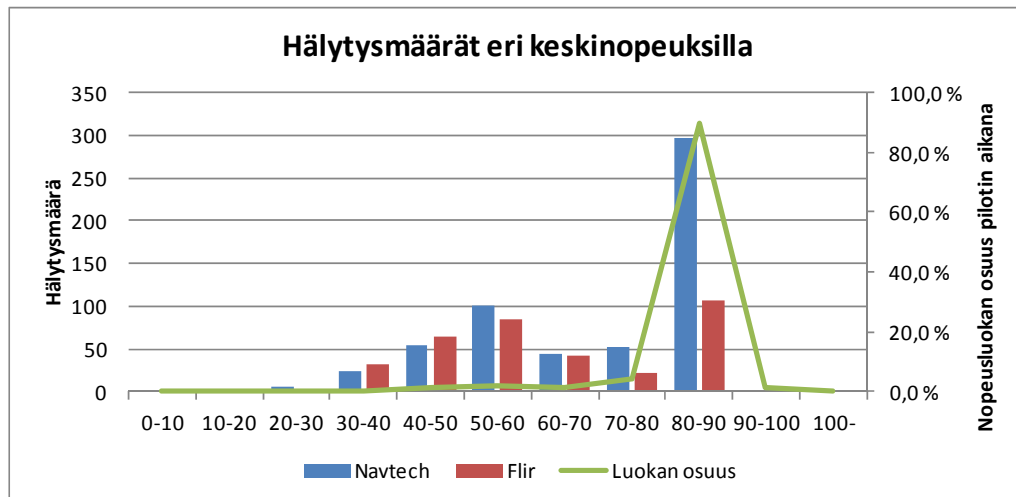
Taulukko 15. 5 min keskinopeuksien keskiarvot kaikille sekä ruuhkautumisesta aiheutuneille ja aiheettomiksi todetuille hälytyksille.

	FLIR	Navtech
Kaikki	62,1	70,7
Ruuhka	50,7	59,7
Aiheeton	80,7	82,1

Kuvassa 46 on esitetty Navtechin ja Flirin hälytysmäärät eri keskinopeusluokissa sekä kyseisen nopeusluokan suhteellinen osuus koko pilotin ajalta.

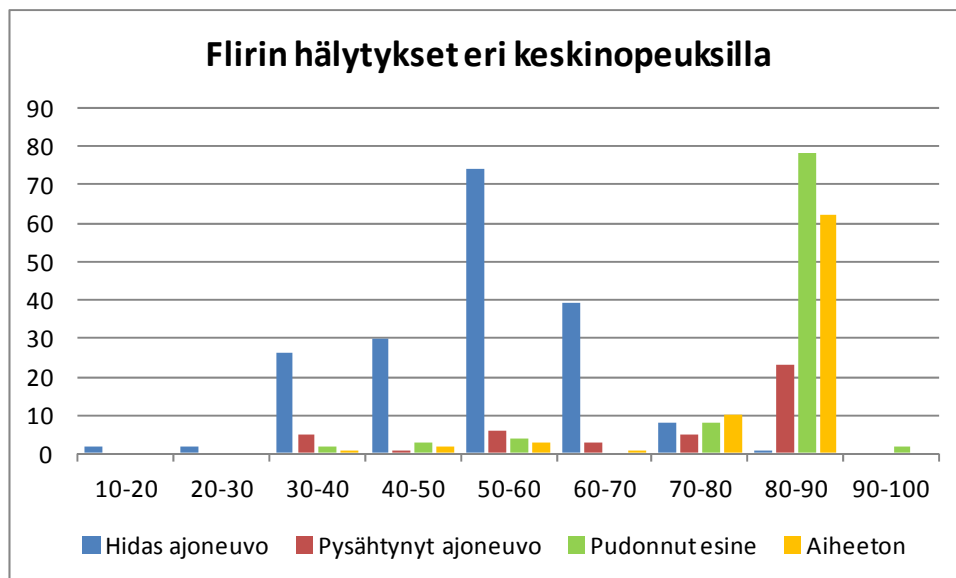
Yli 80 % ajasta keskinopeus on luokassa 80–90 km/h eli liikenne virtaa vapaalla nopeudella. Muiden luokkien osuudet ovat joitakin prosentteja.

Navtechin hälytyksistä 51 % tulee nopeusluokassa 80–90 km/h, muut hidastuneen tai ruuhkautuneen liikenteen ajalta. Flirillä vapaan nopeuden luokassa on 30 % hälytyksistä.



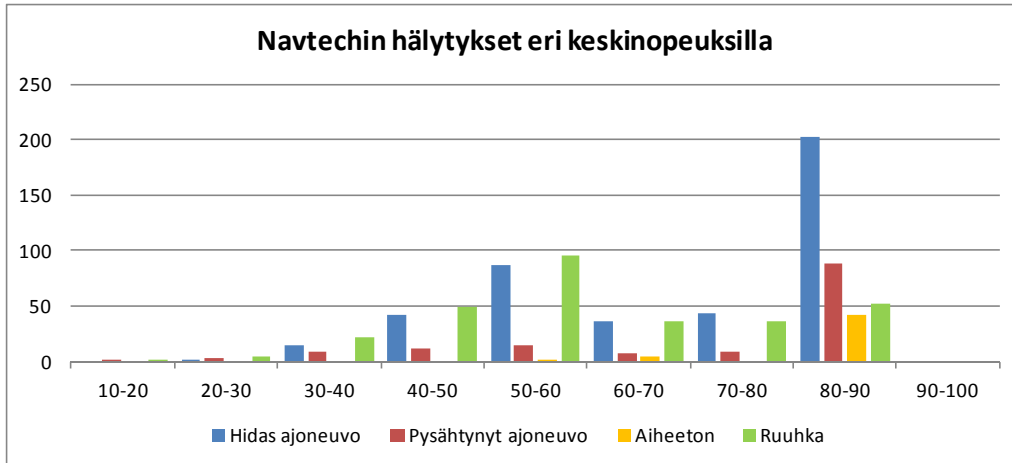
Kuva 46. Hälytysten määrät eri 5 min keskinopeuksilla on esitetty pylväillä. Viiva kuvaa 5 min jaksojen keskinopeuksien jakautumista eri luokkiin pilotin aikana.

Flirin hälytysten määrät sekä aiheettomiksi todettujen hälytysten määrät eri keskinopeusluokissa on esitetty kuvassa 47. Hitaan ajoneuvot hälytykset yhtä lukuun ottamatta aiheutuivat ruuhkasta. Ruuhkautumisella ja keskinopeuden alenemisella ei vaikuta o selvää vaikutusta pysähtyneen ajoneuvon tai pudonneiden esineiden hälytysten määriin. Pudonneen esineen hälytykset ja aiheettomat hälytykset, joita suurin osa pudonneen esineen hälytyksistä on, painottuivat sujuvan liikenteen aikaan.



Kuva 47. Flirin tekemien hitaan ja pysähtyneen ajoneuvon ja pudonneen esineen hälytysten määrät sekä aiheettomiksi todettujen hälytysten määrät eri keskinopeusluokissa.

Navtechin erityyppiset hälytykset sekä ruuhkautumisesta aiheutuneiden hälytysten määrät on esitetty kuvassa 48. Hitaan ajoneuvon hälytyksiä tuli selvästi eniten sujuvan liikenteen aikaan nopeusluokassa 80–90 km/h. Näistä alle neljäsosa aiheutui ruuhkasta; suurin osa oli yksittäisiä hitaita ajoneuvoja.



Kuva 48. Navtechin hitaan ja pysähtyneen ajoneuvon hälytysten sekä aiheettomiksi ja ruuhkasta aiheutuneiksi todettujen hälytysten määrät eri keskinopeusluokissa.

Ruuhkautumisesta aiheutuneiden hälytysten määrät keskinopeuksilla 10–70 km/h jakautuivat molemmilla järjestelmillä samaan tapaan, mutta yli 80 km/h keskinopeuksilla Navtech tuotti ruuhkautumishälytyksiä huomattavasti enemmän. Vaikuttaisi, että Navtech hälyttää vähäisestä tai alkavasta ruuhkautumisesta Fliriä herkemmin.

10.8.9 RTJ-silmukoiden varausasteiden vaikutus hälytysmääriin

Pysähtyneen jonon ulottumista tunneliin pyritään ehkäisemään automaattisen pääsyn-säätelyn avulla, joka seuraa liikenteen ruuhkautumista tunnelin ulosajon jälkeisellä tieosuudella RTJ (ruuhkantunnistus) -silmukoiden varausasteisiin perustuen.

Liikennetietojen vaikuttavuutta HHJ:ien toimintaan arvioitaessa täytyy huomioida, että automaattinen pääsynsäätely sulkee tunnelin liikenteen ruuhkautuessa. Järjestelmän alku-peräisten asetusten mukaan tunneli suljetaan, kun jokaisen kaistan varausaste RTJ103-mittauspisteessä on yli 50 %. Pääsynsäätelyn automatiikka avaa tunnelin, kun mittauspisteen RTJ103 kaikilla kaistoilla varausaste on alle 30 % ja kauempana tunnelista sijaitsevassa RTJ104 pisteessä kahdella kaistalla kolmesta varausaste on alle 30 %.

Arkipäivien iltapäiväruuhkassa pääsyn säätely sulkee tunneliputken yleensä useita kertoja. Tunnelinsulun jälkeen kaistoilla 3 ja 4 on tyypillisesti seisova jono. Tunnelin avautuessa uudelleen liikenteelle jonot ovat purkautuneet ja tunneliputki on tyhjä.

Seuraavissa kuvaajissa on esitetty hälytysten määrät RTJ-mittauspisteen 103 eri varausasteilla. Mittauspiste sijaitsee noin 330 metriä tunnelin itäpuolella. Varausastetiedot on kerätty minuutin tarkkuudella. Varausaste kuvaa, kuinka suuren osan tietystä ajasta, tässä tapauksessa minuutissa, ilmaisina on ollut varattuna. Jos tiellä on seisova jono ja pysähtynyt ajoneuvo on paikallaan silmukan päällä minuutin, on varausaste 100 %. Vastaavasti keskinopeuden ollessa suuri kukin ajoneuvo puolestaan on silmukan päällä vain lyhyen aikaa, joten varausaste jää alhaiseksi.

Kaista 2

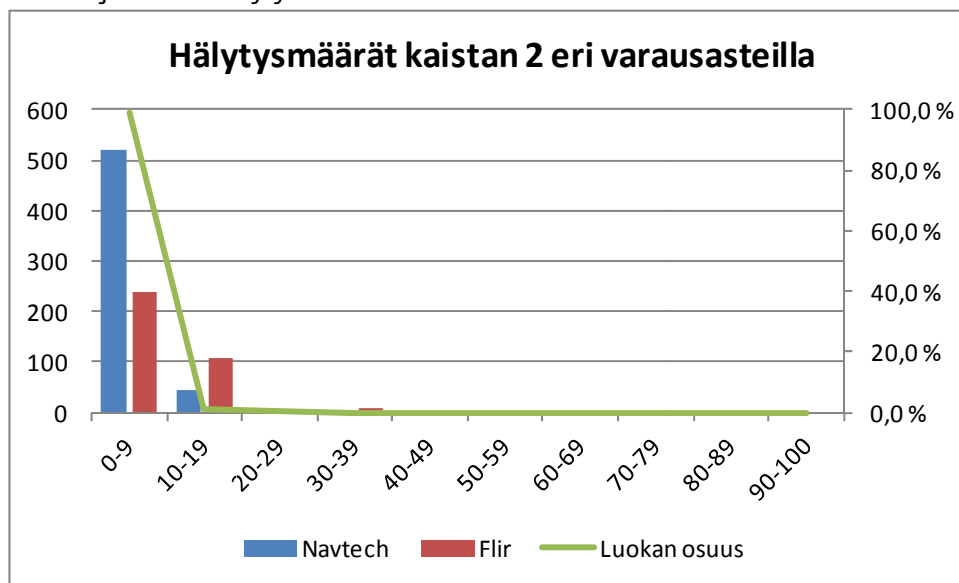
Kaista 2 on oikeanpuoleisin Kehä I:n jatkuvista kaistoista, joka päättyy noin 600 metriä mittauspisteen jälkeen. Kaistan liikennemäärät ovat ruuhka-aikanakin melko vähäisiä, koska ajoneuvot vaihtavat pääsääntöisesti kaistaa jo aikaisemmin.

Taulukossa 16 on esitetty kaistan 2 ruuhkantunnistussilmukoiden varausasteiden keskiarvot eri tilanteissa. Kaistan varausasteet olivat keskimäärin hyvin alhaisia, myös iltapäiväruuhkan aikana. Aiheettomien hälytysten aikana liikennettä oli todella vähän kummankin järjestelmän osalta.

Taulukko 16. Kaistan 2 varausasteiden (%) keskiarvot kaikille sekä ruuhkautumisesta aiheutuneille ja aiheettomiksi todetuille hälytyksille.

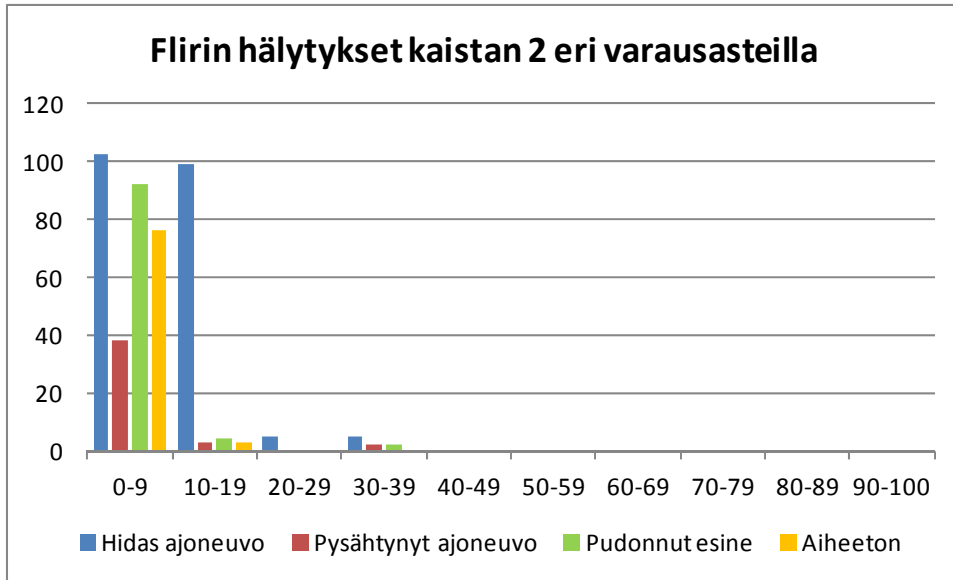
	FLIR	Navtech
Kaikki	7,0	3,8
Ruuhka	10,5	6,3
Aiheeton	1,5	1,8

Kuvassa 49 on esitetty Navtechin ja Flirin hälytysmäärät kaistan 2 eri varausasteiluokissa sekä varausasteiluokkien suhteelliset osuudet pilotin aikana. Kaistan 2 ruuhkantunnistussilmukan varausaste oli yli 98 % ajasta alle 10 %. Flirin hälytyksistä noin kolmannes tuli varausasteilla 10 – 19 %, sillä ruuhkautumisesta aiheutuneiden hitaan ajoneuvon hälytysten osuus oli suuri.



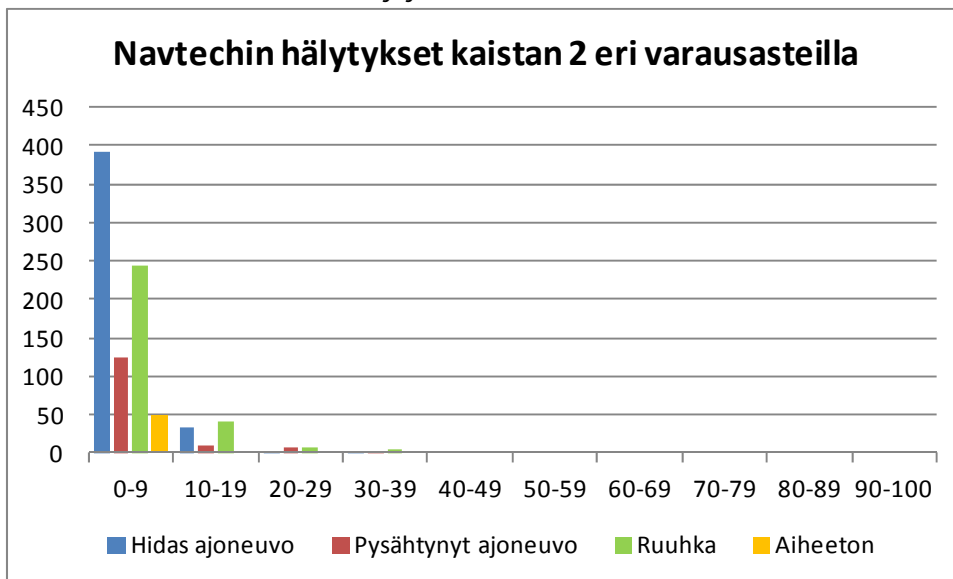
Kuva 49. Hälytysten määrät kaistan 2 eri varausasteiluokissa on esitetty pylväillä. Viiva kuvaa varausasteiden jakautumista eri luokkiin pilotin aikana.

Flirin hälytysjakaumasta (kuva 50) nähdään, että hitaan ajoneuvon hälytykset, jotka olivat lähes kaikki liikenteen ruuhkautumisesta aiheutuneita, jakoutuivat lähes tasan kahteen ensimmäiseen varausasteiluokkaan. Lähes kaikki pysähtyneen ajoneuvon ja pudonneen esineen hälytykset sekä aiheettomaksi todetut hälytykset tapahtuivat alimmassa varausasteiluokassa.



Kuva 50. Flirin tekemien hitaan ja pysähtyneen ajoneuvon ja pudonneen esineen hälytysten määrät sekä aiheettomiksi todettujen hälytysten määrät eri varausasteilla kaistalta 2.

Kuvassa 51 on esitetty Navtechin hitaan ja pysähtyneen ajoneuvon hälytysten sekä ruuhkasta aiheutuneiksi ja aiheettomiksi todettujen hälytysten määrät. Ruuhkasta aiheutuneet hälytykset sijoittuvat pääosin alimpaan varausasteluokkaan, kuten myös kaikki aiheettomiksi todetut hälytykset.



Kuva 51. Navtechin hitaan ja pysähtyneen ajoneuvon hälytysten sekä aiheettomiksi todettujen hälytysten määrät eri varausasteilla kaistalta 2.

Kaista 3

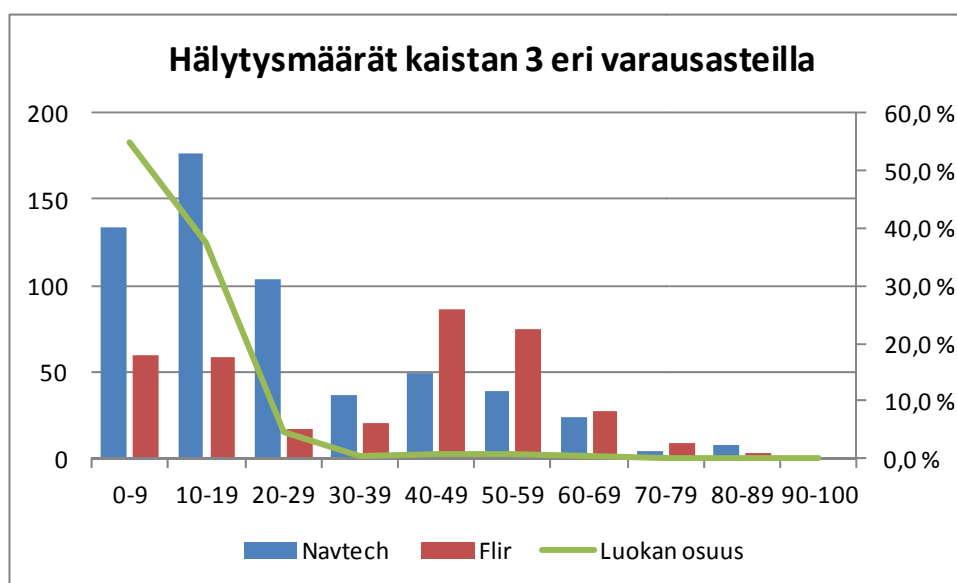
Kaista 3 on Kehän itään menevistä kaistoista vilkkain, sillä se on oikeanpuoleinen kahdesta Vihdintielle aste ulottuvasta suoraan menevästä kaistasta. Valtaosa raskaasta liikenteestä kulkee kyseisellä kaistalla.

Taulukosta 17 nähdään, että ruuhkautumisesta aiheutuneissa hälytyksissä kaistan 3 varausaste oli Flirin hälytyksissä huomattavasti Navtechin vastaavaa korkeampi. Aiheettomien hälytysten osalta ero oli suhteellisen pieni.

Taulukko 17. Kaistan 3 varausasteiden (%) keskiarvot kaikille sekä ruuhkautumisesta aiheutuneille ja aiheettomiksi todetuille hälytyksille.

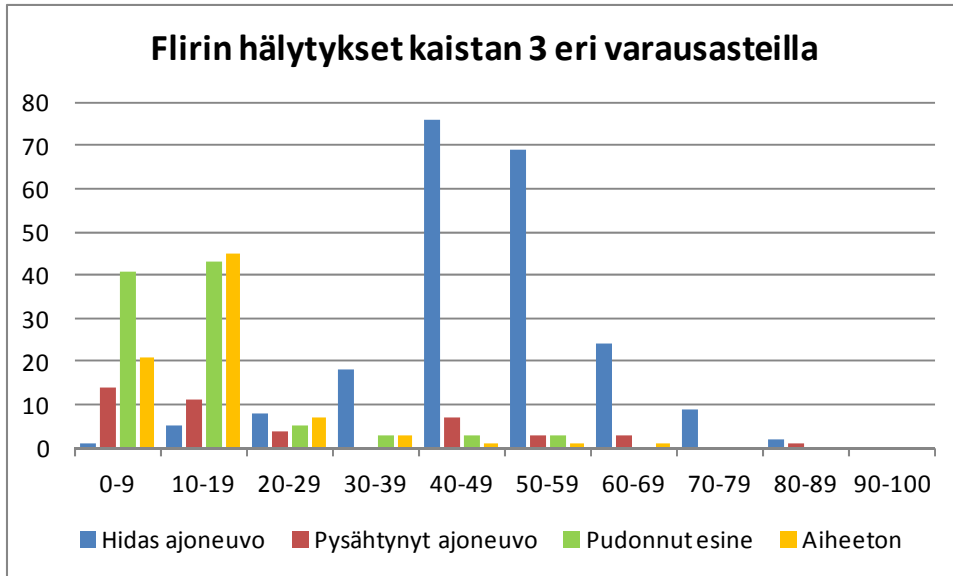
	FLIR	Navtech
Kaikki	36,0	23,6
Ruuhka	50,1	35,6
Aiheeton	14,6	13,2

Kuvassa 52 on esitetty Navtechin ja Flirin hälytysmäärät ajokaistan 3 eri varausaste-luokilla sekä varausasteluokkien suhteellinen osuus pilotin aikana. Kaistan 3 varausasteluokista ensimmäinen muodostaa n. 55 % kaikista tapauksista ja varausaste-luokka 10–19 % noin 38 % kaikista tapauksista. Navtechin hälytyksistä suurin osa tapahtui alhaisilla varausasteilla. Flirillä huippu on 40–60 % välillä.



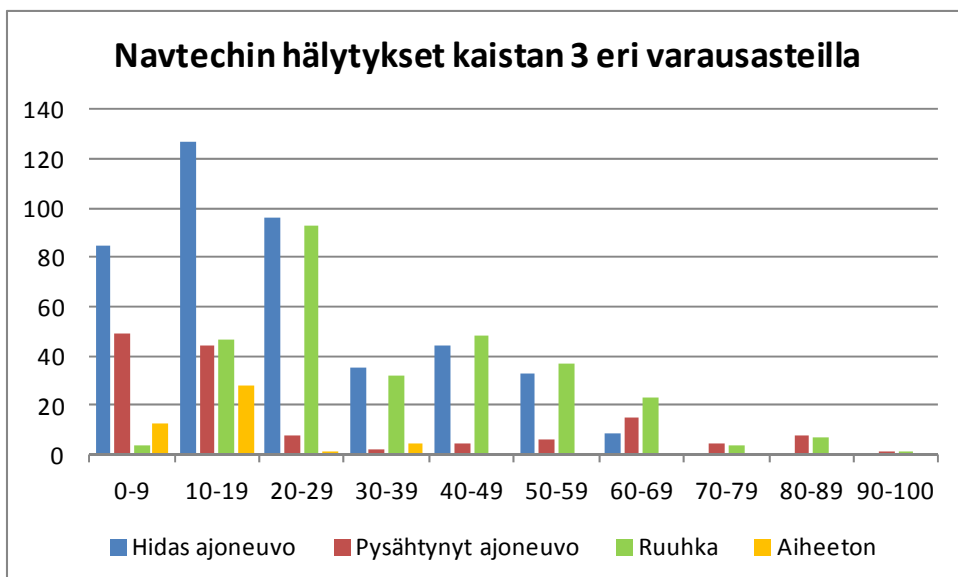
Kuva 52. Hälytysten määrät kaistan 3 eri varausasteluokissa on esitetty pylväillä. Viiva kuvaa varausasteiden jakautumista eri luokkiin pilotin aikana.

Flirin hälytykset on esitetty kuvassa 53. Valtaosa hitaan ajoneuvon hälytyksistä, jotka lähes kaikki aiheutuivat ruuhkautumisesta, tapahtuivat kaistan 3 varausasteilla 40 – 60 %. Pudonneen esineen hälytykset ja aiheettomiksi todetut hälytykset painottuivat alhaisille varausasteille.



Kuva 53. Flirin hitaan ja pysähtyneen ajoneuvon ja pudonneen esineen hälytysten määrät sekä aiheettomiksi todettujen hälytysten määrät RTJ103 eri varausasteilla kaistalta 3.

Kuvasta 54 nähdään, että Navtechin hitaan ja pysähtyneen ajoneuvon hälytyksiä oli selvästi eniten alhaisissa varausasteluokissa. Varausasteen ollessa 20 % tai suurempi lähes kaikki hälytykset ovat aiheutuneet ruuhkautumisesta. Aiheettomia hälytyksiä on eniten alhaisilla varausasteilla.



Kuva 54. Navtechin hitaan ja pysähtyneen ajoneuvon hälytysten sekä ruuhkasta aiheutuneiksi ja aiheettomiksi todettujen hälytysten määrät RTJ103 eri varausasteilla kaistalta 3.

Kaistan 3 varausastekuvaajia vertailtaessa nähdään, että Navtechin ruuhkautumisesta aiheutuneet hälytykset tulivat keskimäärin pienemmistä varausasteluokista kuin Flirillä. Tämä tukee jo aiemmin tehtyä havaintoa, että Navtech tekee hälytyksiä herkemmin lievästä tai alkavasta ruuhkautumisesta, kun Flirillä hälytyksiä tulee enemmän liikenteen ollessa jo ruuhkautunut.

Kaista 4

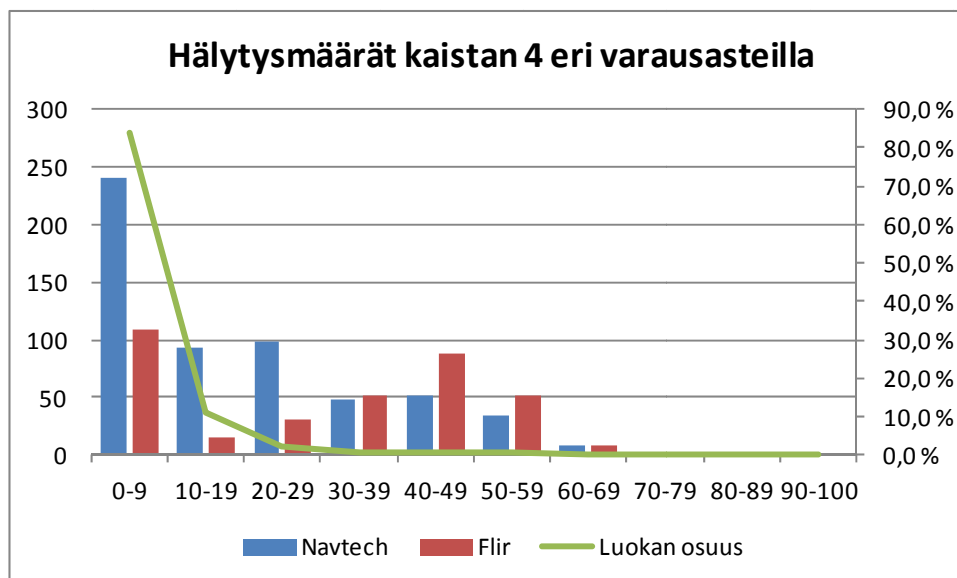
Kaista 4 on ajokaistoista vasemmanpuoleisin ja toinen Kehän Vihdintielle jatkuvista kaistoista. Kaistan liikennemäärät ovat pilotin aikana tehtyjen havaintojen perusteella ruuhka-aikana samaa suuruusluokkaa kaistan 3 kanssa. Raskasta liikennettä kaistalla 4 on selvästi kaistaa 3 vähemmän.

Taulukosta 18 nähdään, että Flirin ruuhkautumisesta aiheutuneiden hälytysten kohdalla varausasteet olivat keskimäärin paljon Navtechia korkeampia.

Taulukko 18. Kaistan 4 varausasteiden (%) keskiarvot kaikille sekä ruuhkautumisesta aiheutuneille ja aiheettomiksi todetuille hälytyksille.

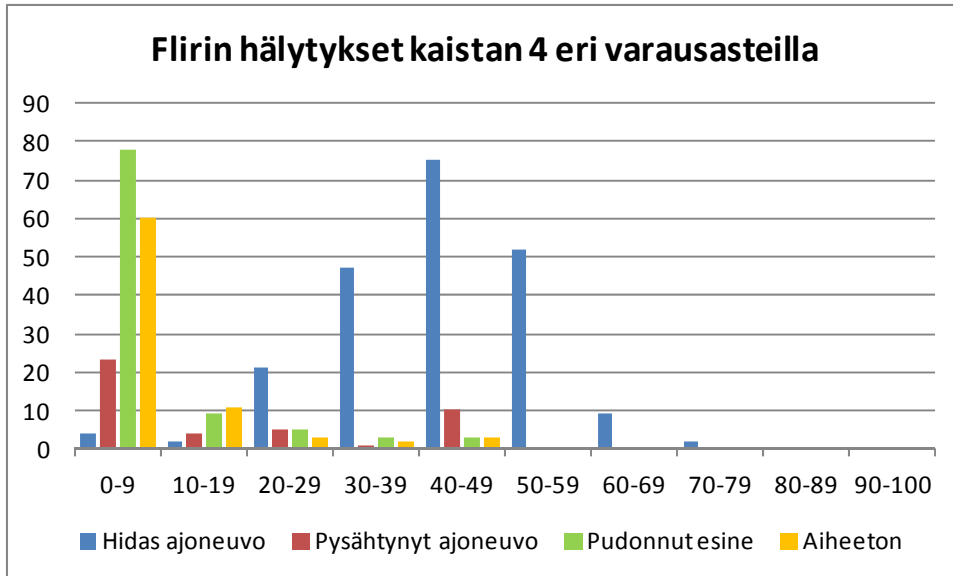
	FLIR	Navtech
Kaikki	29,4	18,8
Ruuhka	42,8	30,6
Aiheeton	8,4	6,7

Kaistan 4 varausastekuvaajat muistuttavat huomattavasti kaistaa 3, paitsi alimman varausasteluokan suhteellinen osuus ja hälytysmäärät painottuvat toiseksi alimman luokan kustannuksella (kuva 55).



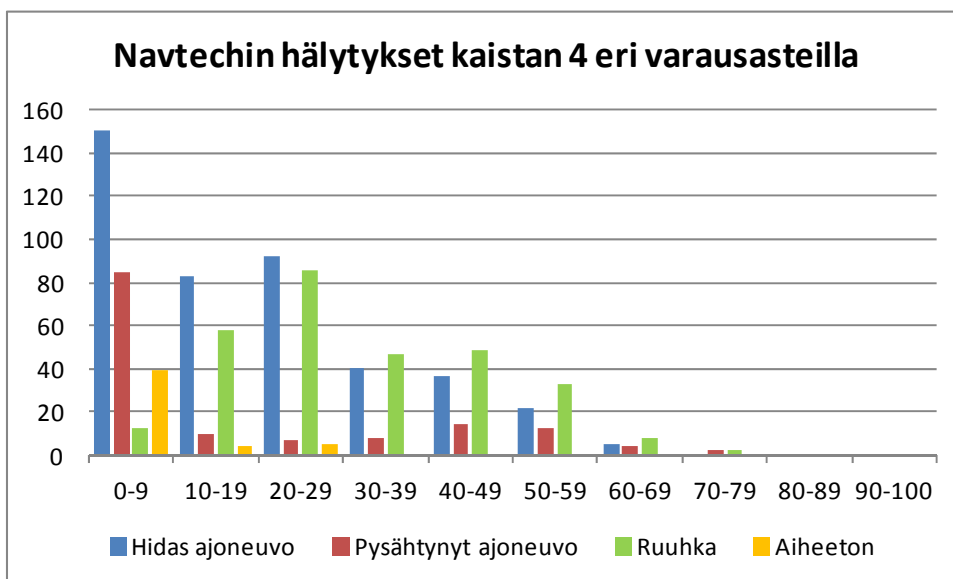
Kuva 55. Hälytysten määrät kaistan 4 eri varausasteluokissa on esitetty pylväillä. Viiva kuvaa varausasteiden jakautumista eri luokkiin pilotin aikana.

Flirin hälytysten jakautuminen (kuva 56) muistuttaa huomattavasti kaistan 3 vastaavaa. Hitaan ajoneuvon hälytykset painottuvat suuriin varausasteisiin, muut hälytystyytit ja aiheettomat hälytykset pieniin varausasteisiin.



Kuva 56. Flirin hitaan ja pysähtyneen ajoneuvon ja pudonneen esineen hälytysten määrät sekä aiheettomiksi todettujen hälytysten määrät eri varausasteilla kaistalta 4.

Navtechin hälytysjakaumasta (kuva 57) nähdään, että hitaan ja pysähtyneen ajoneuvon sekä aiheettomiksi todettujen hälytysten määrä painottui alhaisiin varausasteisiin. Ruuhkautumisesta aiheutuneet hälytykset painoutuivat suurille varausasteille.



Kuva 57. Navtechin hitaan ja pysähtyneen ajoneuvon hälytysten sekä ruuhkasta aiheutuneiksi ja aiheettomiksi todettujen hälytysten määrät eri varausasteilla kaistalta 4.

10.8.10 Aiheettomat hälytykset

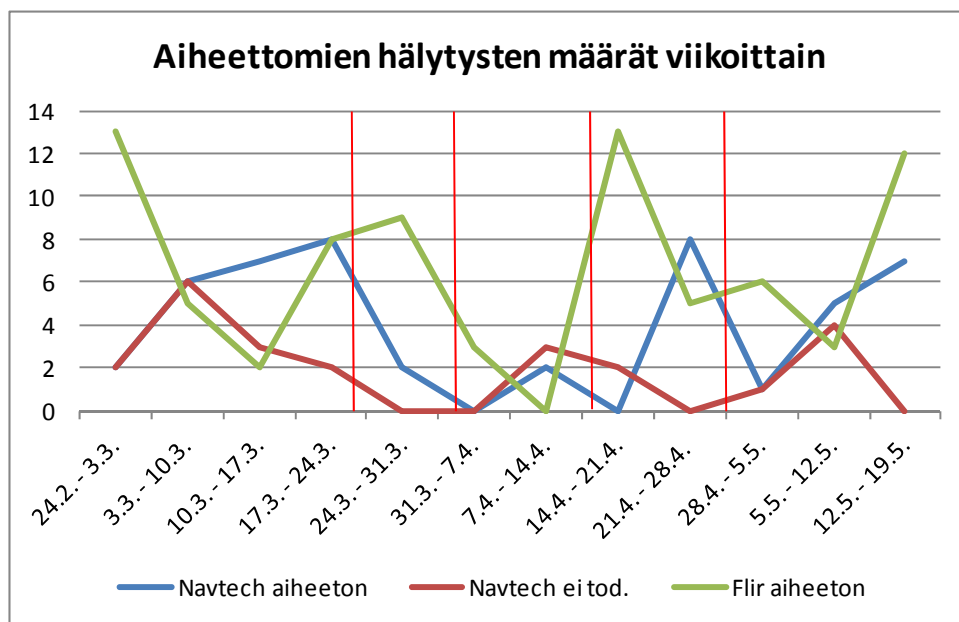
Aiheettomien hälytysten määrä on tärkeä kriteeri HHJ:n toiminnan arvioinnissa, sillä aiheettomat hälytykset aiheuttavat liikennepäivystäjälle ylimääräistä työtä ja heikentävät hälytysten uskottavuutta.

Aiheettomien hälytysten taso voitaisiin myös laskea suhteessa kaikkiin järjestelmän tuottamiin hälytyksiin tai suhteessa tiejakson pituuteen tai havaintolaitteiden mää-

rään. Suomessa aiheettomien hälytysten vuorokausikohtainen määrä on järkevin mittari, koska se kuvaa liikennepäivystäjille aiheutuvaa työkuormaa.

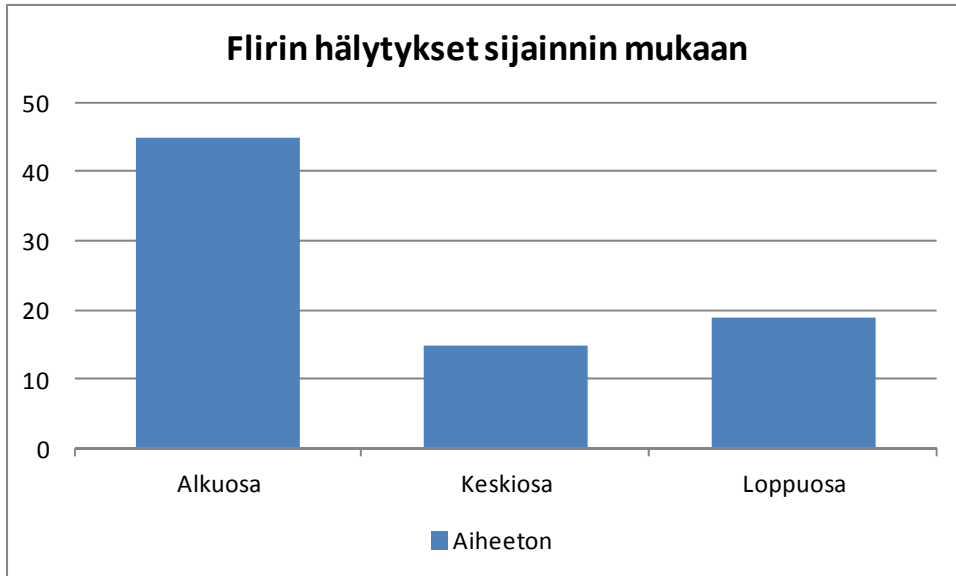
Molempien järjestelmien aiheettomien hälytysten määrät olivat koko pilotin ajan melko alhaisella tasolla. Aiheettomien ja Navtechin ei todennettavissa olevien (liikennekamera I1 pois toiminnasta) hälytysten määrät on esitetty kuvassa 58.

Aiheettomia hälytyksiä oli vilkkaimmillakin viikoilla keskimäärin alle 2 kpl/vrk. Hälytysten alhaisen määrän vuoksi Navtechin järjestelmään tehtyjen asetusmuutosten vaikuttavuudesta ei voida tehdä luotettavia päätelmiä. Piikit Navtechin aiheettomien hälytysten määrissä eivät ole selitettävissä kyseisen viikon poikkeuksellisilla sää- tai liikenneoloilla.



Kuva 58. Navtechin ja Flirin aiheettomien hälytysten ja Navtechin ei todennettavissa olevien hälytysten määrät viikoittain, punaisilla pystyviivoilla merkitty Navtechin järjestelmään tehtyjen merkittävimpien muutosten ajankohdat.

Flirin aiheettomista hälytyksistä suurin osa tapahtui tunnelin alkuosassa (kuva 59). Tämä selittyy osittain tunnelin suuaukolle tulevien varjojen tuottamilla hälytyksillä. Myös märistä renkaanjäljistä aiheutuneita hälytyksiä tuli enemmän tunnelin alkuosassa, todennäköisesti tunnelin ulkopuolelta tunneliin valuneen veden vuoksi.

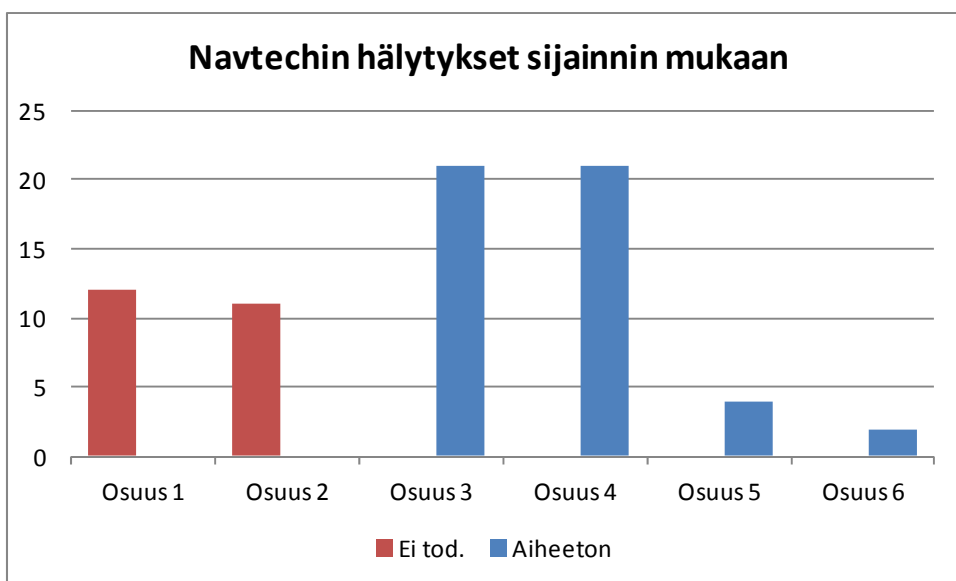


Kuva 59. Flirin aiheettomien hälytysten määrät tunnelin eri osissa.

Navtechin aiheettomat hälytykset painoutuivat tunnelin puoliväliin, tunnelin loppuosassa niitä oli vain yksittäisiä. Ei todennettavissa olevat hälytykset jakautuivat lähes tasan osuuksien 1 ja 2 välillä. (Kuva 60.)

Syyt Navtechin aiheettomiin hälytyksiin eivät useimmissa tapauksissa olleet pääteltävissä. Pilotin loppupuolella havaittiin, että monessa tunnelin puolivälistä tulleessa hälytyksessä tunnelissa oli korkea kuorma-auto tai rekka hetkeä ennen hälytystä, mikä on saattanut tuottaa taakseen tutkan toimintaa häiritsevän katveen. Korkeat ajoneuvot olivat todennäköisesti syynä ainakin osaan aiheettomista hälytyksistä.

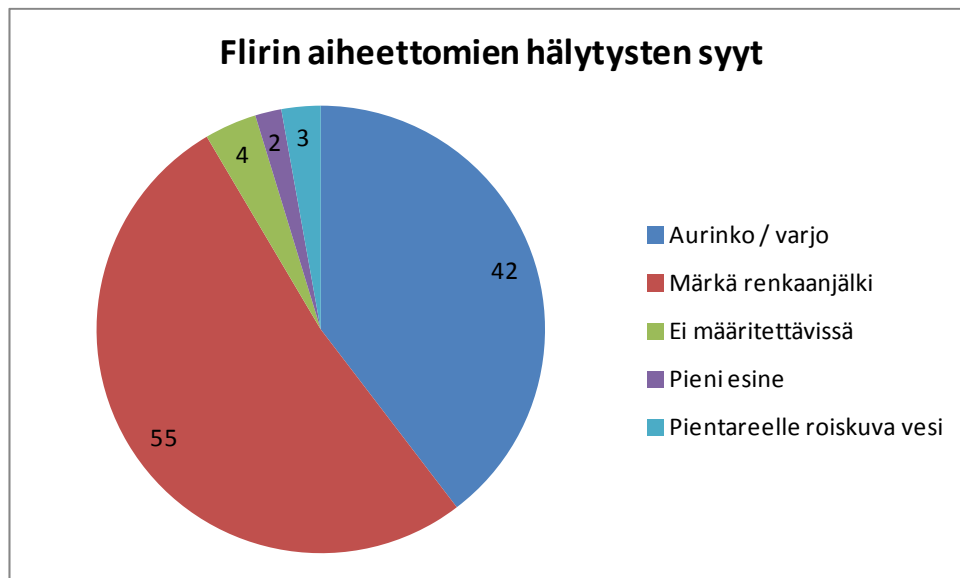
Ei todennettavissa olleista hälytyksistä ainakin osa oli suurella todennäköisyydellä aiheettomia, koska muista liikennekameroista tehdyt havainnot eivät näissä viittaneet häiriöön.



Kuva 60. Navtechin aiheettomien ja ei todennettavissa olevien hälytysten määrät sijainnin mukaan.

Flirin eri syistä aiheutuneiden aiheettomien hälytysten lukumäärät on esitetty kuvassa 61. Hieman yli puolet hälytyksistä aiheutui märistä renkaanjäljistä. Auringon heijastumien ja varjojen osuus oli noin 40 %.

Märistä renkaanjäljistä johtuneiden aiheettomien hälytysten osalta oli tyypillistä, että havainto tuli kameroiden seuranta-alueen takarajalta, missä kamerakuvan tarkkuus on selvästi heikempi kuin etualalla.



Kuva 61. Flirin aiheettomien hälytysten lukumäärät arvioitun syyn mukaan luokiteltuna (yht.106 kpl).

10.8.11 Tunnuslukuja ja tuotevaatimusten täyttyminen

Todellisten häiriöiden havaitseminen

Pilotin kesto oli 12 viikkoa eli 84 päivää. Pilotin aikana havaittiin 11 sellaista ruuhkatilanteiden ulkopuolista pysähtyneen ajoneuvon tapausta ja 1 väärään suuntaan ajavan ajoneuvon tapaus, joista olisi toiminnallisten vaatimusten perusteella pitänyt tulla hälytys. Hälytykset on listattu luvussa 10.7. Näiden lisäksi oli melko paljon hitaan ajoneuvon tapauksia, joista Navtech teki hälytyksen, mutta Flir ei erilaisten havaintoasetusten vuoksi. Todellisia pudonneen esineen häiriöitä ei pilotin aikana tapahtunut.

11 havaitusta havaintovaatimusten mukaisesta pysähtyneen ajoneuvon hälytyksestä:

- Flir teki jonkin hälytyksen 9 tapauksessa. Havaintonopeudet vaihtelivat 20 s ja 3 min 30 s välillä. Havaintonopeuksien mediaani oli 30 s. Pysähtyneen ajoneuvon vilkkuvalot ja ajoneuvon pysähtyminen osittain ajokaistalle ja osittain pientareelle hidastivat havaintoa tai estivät havainnon.
- Navtech teki hälytyksen 7 tapauksessa. Yhdessä pilotin alkupuolella tapahtuneessa häiriössä havaintoaika ei palvelimien kellonaikaerojen vuoksi ollut määritettävissä. Muuten havaintoajat vaihtelivat 2 s ja 5 min 29 s välillä. Hittaimman havainnon tapauksessa samasta ajoneuvosta oli tosin tullut hitaan ajoneuvon hälytyksiä aiemmilta osuuksilta.

Ainoan todellisen vääriin suuntaan ajavan tapauksessa:

- Flir teki hälytyksen 10 sekunnissa
- Navtech ei tehnyt hälytystä

Tuotevaatimusten mukaiset vaatimukset havaintoluotettavuudelle ja -nopeudelle on esitetty sekä vaatimusten täyttymisprosentit todellisten tilanteiden osalta laskettu taulukossa 19.

Vaatus havaintoluotettavuudesta täyttyi vain vääriin suuntaan ajavan ajoneuvon osalta, mutta otos käsittää vain yhden hälytyksen. Havaintonopeusvaatimukset täyttyivät sekä Flirillä että Navtechilla todella heikosti. Vaatimusten täyttymistä arvioitaessa tulee huomioida, että tilanteiden määrä oli alhainen.

Pysähtyneen ajoneuvon havaintovaatus lievennettiin Flirin käyttöönoton jälkeen 20 sekunnista 10 sekuntiin ja sen täsmennettiin tarkoittavan pysähtyneen ajoneuvon tilanteen päälläoloaika.

Taulukko 19. Mestarintunnelin tuotevaatimukset havaintoluotettavuudelle ja -nopeudelle sekä toteutumat tuotevaatimusten mukaisten todellisten tilanteiden osalta.

	Havaintovaatus	Toteutus	
		Flir	Navtech
Hidas ajoneuvo	90 % 20 s		
Pysähtynyt ajoneuvo	98 % 20 s	9/11 = 82 % 2/11 = 18 %	7/11 = 54 % 2*/11 = 18 %
Pudonnut esine	90 % 25 s		
Vääriin suuntaan ajava	95 % 5 s	1/1 = 100 % 0/1 = 0%	0/1 = 0% 0/1 = 0%

**Lisäksi yhdessä tapauksessa havaintonopeus ei määritettävissä*

Aiheettomat hälytykset

Mestarintunnelin tuotevaatimuksissa vaatimukset aiheettomien hälytysten sallitulle määrälle on määritetty seuraavasti:

”Järjestelmä saa tuottaa virheellisiä hälytyksiä vuorokaudessa enintään $0,025 \times (\text{tunnistustoimintojen lukumäärä}) \times (\text{kameroiden lukumäärä})$. Tunnistustoiminnot ovat: pysähtynyt, hidas ja vääriin suuntaan ajava ajoneuvo.”

”Vuorokausikohtainen tunnusluku lasketaan jakamalla kuukauden aikana kerätyneiden virheellisten hälytysten lukumäärä luvulla 30. Maksimissaan vääriä hälytyksiä saa olla vuorokaudessa kaksi (2) kertaa em. tavalla laskettu keskimääräinen virrehälytysten vuorokausimäärä.”

Itäisessä tunneliputkessa on 22 HHJ-kameraa, joten sallittu aiheettomien hälytysten määrä vuorokaudessa neljällä hälytysluokalla on tuotevaatimusten perusteella

$$0,025 \times 4 \times 22 = 2,2.$$

Tuotevaatimuksissa esitetty vuorokausikohtaisia sallittuja aiheettomia hälytyksiä koskevan vaatimuksen tarkoituksena on välttää tilanne, jossa järjestelmä toimisi tietyissä oloissa, esim. sadesäällä, luvattoman huonosti ja aiheettomia hälytyksiä tulisi tällöin kohtuuttoman paljon yhden vuorokauden aikana. Pilotin aikaiset aiheettomien hälytysten määrät olivat kuitenkin niin alhaisia, että vuorokausikohtaisesta rajasta tulee kohtuuttoman alhainen, jotta se olisi saavutettavissa.

Taulukossa 20 on esitetty järjestelmien aiheettomien hälytysten ja Navtechin ei todennettavissa olevien hälytysten määrän pilotin ensimmäiseltä ja toiselta 30 päivän jaksolta ja viimeiseltä 24 päivän jaksolta sekä koko pilotin ajalta.

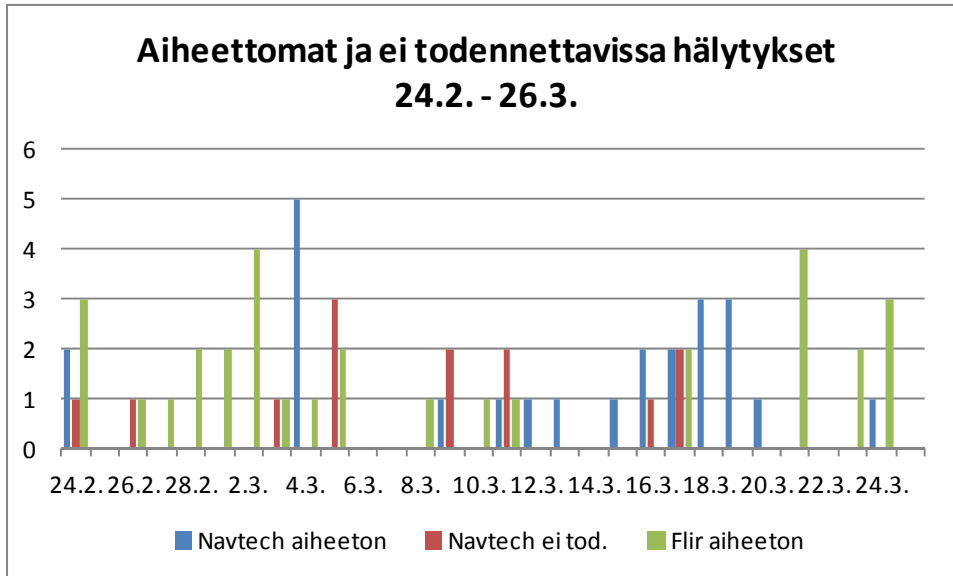
Taulukossa ja kuvaajissa esitetyt Navtechin, ei todennettavissa olevat hälytykset, ovat mukana vertailukohtana, mutta niitä ei käsitellä tarkemmin, koska aiheettomien hälytysten osuutta niistä ei pystytä määrittämään.

Taulukko 20. Aiheettomien ja ei todennettavissa olevien hälytysten määrät ja keskiarvot pilotin kahdella ensimmäisellä 30 päivän jaksolta, pilotin lopusta sekä koko pilotin ajalta.

		FLIR		Navtech	
		Yht.	ka. / d	Yht.	ka. / d
24.2. – 26.3.	Aiheeton	31	1,03	24	0,8
	Ei tod.	-		13	0,43
	Aiheeton + ei tod.	31	1,03	37	1,23
26.3. – 25.4.	Aiheeton	24	0,8	9	0,3
	Ei tod.	-		5	0,17
	Aiheeton + ei tod.	24	0,8	14	0,47
25.4. – 19.5.	Aiheeton	24	1,0	15	0,5
	Ei tod.	-		5	0,17
	Aiheeton + ei tod.	24	1,0	20	0,67
24.2. – 19.5.	Aiheeton	79	0,94	48	0,57
	Ei tod.	-		23	0,27
	Aiheeton + ei tod.	79	0,94	71	0,85

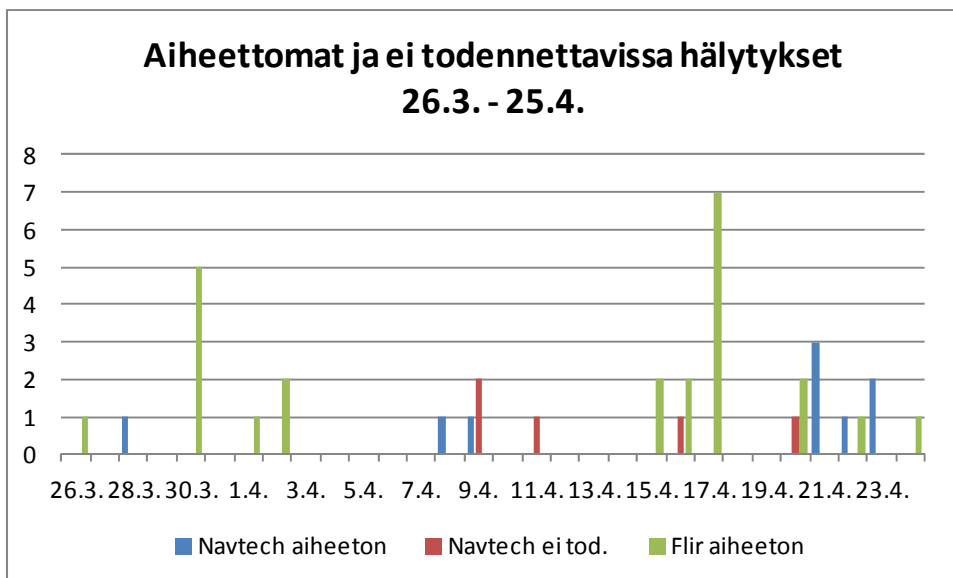
Seuraavissa kuvaajissa (62–64) on esitetty järjestelmien tuottamien aiheettomien hälytysten ja Navtechin ei todennettavissa olevien hälytysten määrät päivittäin.

Vuorokausikohtainen sallittu aiheettomien hälytysten määrä pilotin ensimmäisen 30 päivän aikana on Flirillä $2 \cdot 1,03 = 2,06 \rightarrow 2$ ja Navtechilla $2 \cdot 0,8 = 1,6 \rightarrow 2$. Flirillä tuotevaatimuksissa määritetty raja ylittyi 4 päivänä ja Navtechilla 3 päivänä (kuva 62).



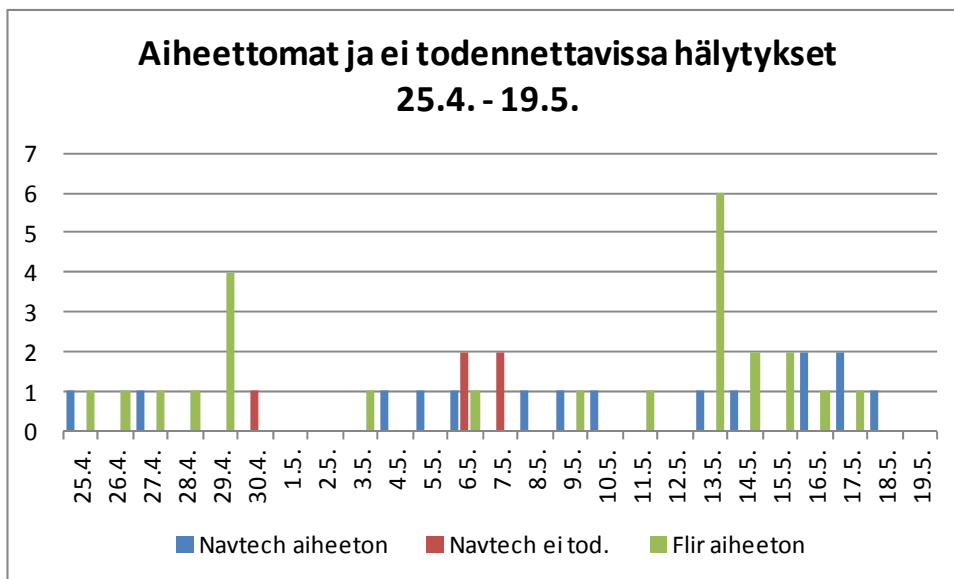
Kuva 62. Pilotin ensimmäisen 30 päivän aiheettomat ja ei todennettavissa olevien hälytysten määrät.

Toisella 30 päivän jaksolla sallittu vuorokausikohtainen aiheettomien hälytysten määrä oli Flirillä $2 \cdot 0,8 = 1,6 \rightarrow 2$ ja Navtechillä $2 \cdot 0,3 = 0,6 \rightarrow 1$. Molemmilla järjestelmillä tuotevaatimus ylittyi 2 päivänä (kuva 63).



Kuva 63. Pilotin toisen 30 päivän aiheettomat ja ei todennettavissa olevien hälytysten määrät.

Jäljelle jäävällä 24 päivän jaksolla samaa vuorokausikohtaista vaatimusta käytettäessä Flirille sallittiin $2 \cdot 1,0 = 2,0 \rightarrow 2$ ja Navtechille $2 \cdot 0,5 = 1,0 \rightarrow 1$ aiheetonta hälytystä vuorokaudessa. Tuotevaatimus ylittyi molemmilla järjestelmillä kahtena päivänä (kuva 64).



Kuva 64. Pilotin viimeisen 24 päivän jakson aiheettomien ja ei todennettavissa olleiden hälytysten määrät.

Pilotin aikana korkein Navtechin vuorokausikohtainen aiheettomien hälytysten määrä oli 5 ja Flirin 7. Navtechin tapauksessa kaikki viisi hälytystä tulivat 2 sekunnin sisään. Flirin tapauksessa kuusi seitsemästä aiheettomasta hälytyksestä oli aamuyön tunteina tulleita määristä renkaanjäljestä aiheutuneita hälytyksiä kaistalta 1.

10.9 Yhteenveto pilotin tuloksista

Pilotin tulosten perusteella molemmilla järjestelmillä on omat vahvuutensa ja heikkoutensa. Järjestelmien toiminta-asetukset poikkesivat toisistaan merkittävästi lähes kaikkien hälytystyyppien osalta. Molemmat järjestelmät tuottivat selvästi eniten hälytyksiä liikenteen ruuhkautumisesta. Seuraavassa on esitetty keskeiset havainnot hälytystyyppittäin lyhyesti.

Hidas ajoneuvo:

- Flirin hälytykset aiheutuivat lähes yksinomaan liikenteen ruuhkautumisesta. Järjestelmä asetettiin käyttöönottovaiheessa hälyttämään hitaista henkilö- ja pakettiautoista vain, kun ne hidastavat voimakkaasti, mikä ei ole Mestarin-tunnelin HHJ:n alkuperäisten toiminnallisten vaatimusten mukaista. Järjestelmätoimittajan mukaan tasaisella nopeudella ajavista raskaista ajoneuvoista hälytys tulee, mutta tätä ei pystytty pilotissa todentamaan.
- Navtech tunnisti tehokkaasti yksittäiset hitaat ajoneuvot, kuten työkoneet. Pilotin alussa ruuhkautumishälytyksiä oli paljon, mutta järjestelmään tehtyjen asetusmuutosten jälkeen ruuhkautumisesta aiheutuneita hälytyksiä tuli vain muutamia viikoittain.

Pysähtynyt ajoneuvo:

- Flir tunnisti yksittäiset pysähtyneet ajoneuvot melko tehokkaasti. Pysähtyneen ajoneuvon hälytys edellyttää, että tilanne on päällä 20 sekuntia. Havaintoaikojen vaihtelu oli suurta. Vilkkuvalot ja ajokaistojen väliin pysähtyneet ajoneuvot tuottivat haasteita. Ruuhkautumisesta aiheutuvien ja aiheettomien hälytysten määrä oli pieni.

- Navtechin havaintoluotettavuus tuotevaatimusten mukaisten tapausten osalta jäi alhaiseksi. Pysähtyneet ajoneuvot olivat usein ajoradan reunakaistoilla, missä järjestelmällä on häiriöheijastumista johtuvia katveja. Pilotissa käytetyllä tutkavälillä häiriöiden kaistakohtainen tunnistus ei ole mahdollista, minkä vuoksi järjestelmä ei kykene havaitsemaan ruuhkautuneen liikenteen keskelle esim. teknisen vian vuoksi pysähtynyttä yksittäistä ajoneuvoa. Navtech havaitsi pilotin aikana useita alle 20 s pysähtyneenä olleita ajoneuvoja. Tapausten keskimääräiset havaintoaajat olivat 10 s luokkaa.

Väärään suuntaan ajava ajoneuvo:

- Flir havaitsi ainoan todellisen tapauksen luotettavasti. Järjestelmän käyttönoottovaiheessa määritetty 5 s havaintonopeus ei tosin täyttynyt. Yhtään aiheetonta väärään suuntaan ajavan hälytystä ei tullut.
- Navtech ei havainnut ainoaa todellista tapausta järjestelmän suomalaisittain poikkeavien tunnistusasetusten vuoksi. Asetuksia muutettiin tilanteen jälkeen, mutta toimivuutta ei päästy enää testaamaan.
- Toimintaa ei voida arvioida tai verrata luotettavasti pilotin perusteella.

Pudonnut esine:

- Yhtään todellista tuotevaatimusten mukaista tapausta ei tullut pilotin aikana.
- Flir tuotti runsaasti aiheettomia pudonneen esineen hälytyksiä. Järjestelmä on hälytystyyppin käytön vuoksi huomattavasti herkempi, kuin mitä se muuten olisi.
- Navtechin pudonneen esineen hälytys aktivoitiin 28.4. Yhtään kyseisen hälytystyyppin hälytystä ei tullut. Muutoksen ei ole havaittu vaikuttaneen muiden hälytystyyppien havaintoluotettavuuteen.
- Toimintaa ei voida arvioida tai verrata luotettavasti pilotin perusteella.

Muita keskeisiä havaintoja järjestelmien toimivuudesta:

- Navtech havaitsi muutamia jalankulkijoita ja pyöräilijöitä. Niistä tehdyt hälytykset olivat pysähtyneen ajoneuvon hälytyksiä.
- Kosteaa tai märkää tienpintaa kasvattivat Flirin pudonneen esineen ja aiheettomien hälytysten määriä. Navtechin hälytyksiin tienpinnan kosteudella ei ollut havaittavaa vaikutusta.
- Tunnelin itäpuolella sijaitsevan tiesääaseman sadetietojen perusteella saateella ei ollut havaittavaa vaikutusta kummankaan järjestelmän hälytysjakaumaan. Rankkasateita tai talviolosuhteita oli pilotin aikana tosin todella vähän.
- Tunnelin itäpuolelta saatujen varausaste- ja keskinopeustietojen perusteella Navtechin ruuhkautumisesta aiheutuneet hälytykset tulivat selvästi pienemmillä varausasteilla ja suuremmilla keskinopeuksilla kuin Flirillä.
- Navtech antoi korkeista rekoista aiheettomia hälytyksiä sujuvan liikenteen aikaan.
- Flirin aiheettomista hälytyksistä suuri osa tuli kameran havaintoalueen takaosasta.

Havaintoja Flirin skenaarioiden toiminnasta:

- Sadeskenaario tai märkä tie -skenaario eivät olleet päällä yhdenkään Flirin hälytyksen aikana. Sadeskenaario oli päällä yhden Navtechin hälytyksen aikana. Vaikka haasteellisia kelioloja olikin pilotin aikana vähän, voidaan tästä päätellä että automaattisesti käynnistyvä sadeskenaario on päällä harvoin. Manuaalisesti käynnistettävää märkä tie -skenaariota käytetään ymmärrettävästi vain silloin, kun aiheettomia hälytyksiä tulee lyhyen ajan sisään ongelmallisen paljon.

Navtechin asetus- ja parametrimuutosten vaikutus

Navtechin järjestelmään tehdyt asetus- ja parametrimuutokset on esitetty luvussa 10.4.4. Muutoksista ainoastaan ruuhkantunnistukseen 23.3.2015 tehdyllä muutoksella voidaan katsoa olleen merkittävää vaikutusta järjestelmän toimintaan, sillä muutoksen jälkeen ruuhkautumisesta aiheutuneiden hitaan ajoneuvon hälytysten määrät olivat alhaisia. Pudonneen esineen tunnistuksen aktivointi ei vaikuttanut järjestelmän toimintaan.

Keskeiset suorituskyvyn mittarit

RAIDER-tutkimusprojektin mukaan häiriönhavaintojärjestelmien vertailun keskeiset tekijät ovat todellisten häiriöiden havaitsemisen luotettavuus, häiriön sijainnin määrittelyn tarkkuus, havaintonopeus sekä aiheettomien hälytysten määrä. Pilotin tulosten perusteella järjestelmien toimivuudesta Mestarintunnelissa pilotin kaltaisella toteutuksella ja asetuksilla voidaan tehdä seuraavat päätelmät:

- **Luotettavuus:** Flirin luotettavuus todellisten häiriöiden tunnistamisessa oli selvästi parempi kuin Navtechilla kyseisellä toteutuksella ja asetuksilla.
- **Tarkkuus:** Häiriön sijainnin määrittelyn tarkkuus oli molemmissa järjestelmissä hyvä, häiriöt paikannettiin sieltä minne ne oli ilmoitettu.
- **Havaintonopeus:** Tätä ei pystytty pilotin perusteella luotettavasti vertailemaan, koska järjestelmien havaintoasetukset poikkesivat niin merkittävästi toisistaan ja palvelinten kellonajoissa oli eroa. Molemmilla järjestelmillä hajonta oli suurta ja havaintoaika saattoi yksittäisissä tapauksissa olla useita minutteja, vaikka kohde oli paikoillaan.
- **Aiheettomien hälytysten määrä:** Kumpikin järjestelmä tuotti aiheettomia hälytyksiä vähän, keskimäärin alle 1 kpl / vrk. Navtech tuotti aiheettomia hälytyksiä vähemmän, vaikka kaikki ei todennettavissa olleet hälytykset olisivat olleet aiheettomia.

10.10 Tulosten vertailu

10.10.1 Flir

Flirin järjestelmän oletettu suorituskyky laitetoimittajan ilmoittamana on esitetty taulukossa 21. Lähdedokumentin julkaisuvuosi ei ole tiedossa, mutta se on julkaistu arviolta Mestarintunnelin HHJ:n hankintapäätökset tienoilla.

Pilotin otannan perusteella Flir tunnisti todelliset pysähtyneen ajoneuvon tapaukset 82 % luotettavuudella ja väärään suuntaan ajavat 100 % luotettavuudella. Ensiksi mainitun osalta mainostettu luotettavuustaso ei siis täyty.

Aiheettomia hälytyksiä Mestarintunnelin neljällä hälytystyypillä olisi itäisessä putkessa taulukon perusteella arviolta $4 \cdot 22 \cdot 0,025 = 2,2$ / vrk. Pilotin aikana aiheettomia hälytyksiä oli keskimäärin selvästi vähemmän eli 0,94 kpl / vrk.

Laitetoimittajan ilmoittamien havaintonopeuksien täyttymistä ei voida arvioida, sillä Mestarintunnelissa havaintonopeudet on määritetty hankekohtaisesti ja nykyään esimerkiksi pysähtyneen ajoneuvon hälytyksessä tilanteen tulee olla päällä vähintään 20 sekuntia. Tätä lyhytkestoisemmista pysähdyksistä järjestelmä ei anna hälytyksiä.

Taulukko 21. Flirin järjestelmän odotettu suorituskyky tunnelin sisällä, kun kamerat on sijoitettu oikein (Traficon VIP-T / E-COM / TMS Functional description).

	Detection Rate	False Alarm Frequency	Time to Detect
Stopped Vehicle Detection	>99%	0,025 per camera/day	8-10sec
Queue Detection	>99%	0,025 per camera/day	< 10 sec
Inverse Direction Detection	>95%	0,025 per camera/day	< 10 sec
Smoke	>98%	0,025 per camera/day	< 10 sec
Pedestrians	>90%	0,025 per camera/day	< 10 sec
Debris	>90%	0,025 per camera/day	< 20 sec

Mestarintunnelin aiempien vuosien hälytysmäärät on esitetty luvussa 6.3. Mestarintunnelin HHJ:n säännöllisissä seurantaraporteissa ei ole käsitelty hitaan ajoneuvon hälytyksiä, joten kattava vertailu ei ole mahdollista.

Vuoden 2014 helmi-toukokuussa pysähtyneen ajoneuvon, pudonneen esineen ja väärään suuntaan ajavan ajoneuvon hälytyksiä oli itäisessä tunneliputkessa keskimäärin 2,75 kpl / vrk. Pilotin aikana vastaavia hälytyksiä tuli 1,73 kpl / vrk, eli hieman edellisvuoden vertailujaksoa vähemmän. Ajanjaksolla 4/2013–12/2014 hälytyksiä tuli yksittäisinä kuukausina enimmillään vajaa 150 eli noin 5 kpl/vrk.

Mestarintunnelin HHJ:n hälytysmäärät ovat alhaisia verrattuna esim. ongelmalliseksi osoittautuneeseen Vuosaaren tunneliin, jossa tuli vielä joulukuussa 2014 yhteensä 641 pysähtyneen tai väärään suuntaan ajavan ajoneuvon tai pudonneen esineen hälytystä vuorokaudessa. Vuosaaren tunneli on Mestarintunnelia selvästi pidempi ja olosuhteiltaan muutenkin erilainen.

10.10.2 Navtech

Navtechin markkinointimateriaalissa ei ole mainittu suoritusarvoja havaintoluotettavuudelle.

Aiheettomien hälytysten määräksi mainostetaan noin 1 kpl/tunnelikilometri/vrk. Pilotin aikana aiheettomia hälytyksiä oli keskimäärin 0,57 kpl/vrk ja ei todennettavissa olleita hälytyksiä, joista osa oli todennäköisesti aiheettomia, 0,27 kpl/vrk. Huomioiden 500 metrin pituisen Mestarintunnelin kaistamäärä, voi mainostetun aiheettomien hälytysten määrän katsoa täyttyvän.

Aiheettomien hälytysten määrä on samassa suuruusluokassa kuin Hindheadin tunnelissa Englannissa ja Södra Länkenillä Tukholmassa. Hindheadin kaksiputkisessa 1,8 km pitkässä tunnelissa aiheettomia hälytyksiä tuli noin 1 kpl/vrk ja Södra Länkenillä kahden tutkan toteutuksessa 0,79 kpl/vrk. Lisäksi liikenteen ruuhkautumisesta tulleita aiheettomiksi tulkittuja hälytyksiä oli 0,54 kpl/vrk. Todellisten häiriöiden havaintoluotettavuutta ei näissä ulkomaisissa tunneleissa ollut tilastoitu.

11 Tieliikennekeskuksen käyttäjätarpeiden täytyminen

Tässä luvussa on arvioitu eri HHJ-tekniikoiden edellytyksiä täyttää tieliikennekeskuksen käyttäjätarpeet teoriaselvityksen, ulkomaiden kokemusten ja pilotin perusteella.

Tieliikennekeskuksen käyttäjätarpeiden kartoituksen kulku ja keskeiset näkökohdat on esitetty raportin luvussa 8. Käyttäjätarpeet sekä arvio kamera- ja tutkatekniikoiden kyvystä täyttää ne on kirjattu käyttäjätarvetaulukkoon (liite 3).

Pilotin perusteella ei pystytty arvioimaan väärään suuntaan ajavan ajoneuvon ja pudonneen esineen hälytysten havaintoluotettavuuksia pienen tai puuttuvan otannan vuoksi.

Seuraavassa on kuvattu yhteenvedona tärkeimpien havaintotoimintoihin liittyvien käyttäjätarpeiden täyttymisedellytykset kamera-, tutka- ja silmukatekniikoiden osalta.

Väärään suuntaan ajavan ajoneuvon tunnistus

- Havaintoluotettavuuksia ei pystytty pilotin perusteella arvioimaan.
- Flirin osalta Suomessa on todettu toimivaksi hälytyksen generointi kahden peräkkäisen HHJ-kameran havaintojen perusteella. Tämä tosin pidentää havaintoaikaa. Yhden kameran havaintoja hälytysperusteena käytettäessä aiheettomien hälytysten määrän on todettu olevan suuri.
- Navtechin järjestelmä on suunniteltu ensisijaisesti peruuttavien ajoneuvojen tunnistamiseen. Teknisiä esteitä väärään suuntaan ajavan ajoneuvon havaitsemiselle ei kuitenkaan pitäisi olla.
- Silmukatekniikalla väärään suuntaan ajava ajoneuvo kyetään tunnistamaan ajoneuvon ylittäessä silmukkaparin väärään suuntaan, liikennevirrassa tapahtuvien muutosten perusteella tai jos ajoneuvo ei etene silmukkapoikkileikkaukselta toiselle silmukkavälillä ja nopeustasosta riippuvassa aikavälissä.

Pysähtyneen ajoneuvon tunnistus

- Pilotissa Flirin havaintoluotettavuus osoittautui melko hyväksi, Navtechilla katvealueet tuottivat ongelmia. Molemmilla järjestelmillä havaintonopeuksien hajonta oli melko suurta.
- Kamera- ja tutkatekniikoilla korkeiden ajoneuvojen taakse katveeseen jäävät ajoneuvot pidentävät havaintoaikaa.
- Silmukkapohjaisella järjestelmällä tunnistus tapahtuu joko liikennevirran muutosten perusteella tai jos ajoneuvo ei tietystä aikavälissä ylitä silmukkapoikkileikkauksenväliä. Ajoneuvon pysähtyessä silmukoiden päälle hälytys saadaan nopeasti.

Hitaan ajoneuvon tunnistus

- Pilotissa suurimman osan hitaan ajoneuvon hälytyksistä havaittiin aiheutuneen tunnelin ruuhkautumisesta. Hälytystyyppin toimintaperiaate oli Flirin ja Navtechin järjestelmissä erilainen.
- Flirin Mestarintunnelissa käyttämä hitaan ajoneuvon tunnistus ei tunnista yksittäisiä hitaita henkilö- ja pakettiautoja, jos nämä eivät hidasta voimakkaasti. Teknisiä esteitä yksittäisen hitaan henkilö- tai pakettiauton tunnistamiseen ei ole.
- Navtech tunnistaa myös yksittäiset hitaat ajoneuvot pilotin perusteella hyvin.
- Silmukkapohjaisella järjestelmällä havainto saadaan hitaan ajoneuvon ylitäessä silmukkararin hitaalla nopeudella, liikennevirran muutoksista tai jos ajoneuvo ei ylitä silmukaväliä tietyssä aikavälissä.

Ajoradalla oleva este / pudonnut esine

- Todellisia tapauksia ei pilotin aikana ollut, joten päätelmiä havaintoluotettavuudesta ei pilotin perusteella voida tehdä.
- Flirin järjestelmässä tunnistus on mahdollista vain esineen kaksiulotteisen projektion perusteella. Järjestelmä ei siksi pysty määrittämään esineen tilavuutta, vaan hälytys tulee myös suurista, litteistä esineistä kuten pahveista.
- Navtechin järjestelmä asetetaan laitetoimittajan mukaan tyypillisesti tunnistamaan 0,5 x 0,4 x 0,75m kokoiset pudonneet esineet. Tutkavälistä riippuen myös pienemmät kohteet voidaan tunnistaa. Tutka havaitsee esineiden todellisen koon, eli esimerkiksi ajoradalla olevasta litteästä pahvista ei laitetoimittajan mukaan tule hälytystä.
- Silmukkapohjaisella ratkaisulla pudonneet esineet havaitaan vain, jos ne aiheuttavat muutoksia liikennevirtaan.

Hälytyksen sijainnin määrittäminen

- Flir ilmoittaa hälytysten sijainnin noin kameravälin pituisen kaistaosuuden tarkkuudella. Lisäksi pysähtyneiden ajoneuvojen ja pudonneiden esineiden hälytyksissä kohde on merkitty hälytyskuvaan ja videotallenteeseen.
- Navtechin kaistakohtainen tunnistus edellyttäisi laitetoimittajan mukaan maksimissaan noin 150 m tutkaväliä. Hälytyksen sijainnin tunnelin pituus-suuntainen tarkkuus riippuu siitä, montako havainto-osuutta järjestelmään ohjelmoidaan. Hälytyksen tarkempi sijainti on määritettävissä järjestelmän tallentaman havaintojäljen perusteella.
- Silmukkapohjaisella järjestelmällä häiriön sijainti voidaan määrittää vain silmukavälin tarkkuudella, joka on tyypillisesti noin 300 metriä. Tiheämmät silmukavälit ovat mahdollisia, mutta nostavat luonnollisesti järjestelmän kustannuksia.

Toiminta erilaisissa olosuhteissa

- Suomen käyttökokemusten perusteella tunnelivalaistuksen muutokset, kostea tienpinta, auringon heijastukset, tunnelissa virtaava vesi ja lumi heikentävät Flirin toimintaa ja aiheuttavat aiheettomia hälytyksiä. Ongelmia voidaan lieventää erilaisia olosuhteita varten kehitettyjen järjestelmän toimintaa ja parametreja säätelevien erikoisohjelmien avulla. Tunnelin suunnittelu- ja ratkaisuilla voidaan vaikuttaa kamera-HHJ:n toimintaedellytyksiin.

- Valaistus- tai ympäristöolosuhteilla ei ole pilotin tai ulkomaisten kokemusten perusteella vaikutusta Navtechin toimintaan.
- Silmukkejärjestelmän toimintaan valaistus- tai ympäristöolosuhteilla ei laiteoimittajan mukaan ole vaikutusta.

Sekä Flir että Navtech tunnistivat pilotissa muutamia häiriöitä väärentyyppisiksi. Flirillä yleisin virheellinen luokittelu oli pysähtyneestä ajoneuvosta tuleva pudonneen esineen hälytys. Navtechilla pysähtyneen ajoneuvon hälytyksiä tuli muutamista jalankulkijoista ja hitaasti ajavista ajoneuvoista. Järjestelmä on asetettu tekemään pysähtyneen ajoneuvon hälytys kävelynopeudella ajavasta ajoneuvosta. Tällaiset väärentyyppisiksi tunnistetut todelliset häiriöt eivät ole tieliikennekeskukselle suuri haitta. Tärkeintä on, että päivystäjä saa todellisesta häiriöstä indikaation nopeasti. Väärään suuntaan ajavan hälytystyyppin tunnistaminen oikein on häiriötyyppin kriittisyyden ja erilaisen todentamisen vuoksi tärkeää, mutta pilotin aikana virheellisiä tunnistuksia ei ollut.

Flir ja Navtech tuottivat kumpikin runsaasti tunnelin ruuhkautumisesta aiheutuneita hälytyksiä. Molemmat järjestelmät tunnistavat liikenteen ruuhkautumisen ja suodatavat suurimman osan ruuhkanaikaisista hitaan ja pysähtyneen ajoneuvon hälytyksistä. Järjestelmät olisi mahdollista asettaa hälyttämään ruuhkautumisesta. Mestarin-tunnelin iltapäiväruuhkassa liikenteen sujuvuus, ajoneuvojen nopeudet ja ajoneuvovälit vaihtelevat suuresti, joten on ilmeistä, että joistain tilanteista pysähtyneen ja hitaan ajoneuvon hälytyksiä tulee. Pilotin havaintojen perusteella Navtechin ruuhkanaikaisista pysähtyneen ja hitaan ajoneuvon hälytyksistä suurin osa tulee alkavasta tai päättyvästä ruuhkautumisesta, Flirillä puolestaan liikenteen ollessa jo ruuhkautunut.

Käyttäjätarvekartoituksen perusteella tieliikennekeskus toivoo HHJ:ltä pysähtyneen ajoneuvon hälytystä kyseiseltä kaistaosuudelta liikenteen sujuvuusluokan alentuessa pysähteleväksi (käyttäjätarve 1.15). Samalta osuudelta ei tarvita uusia pysähtyneen ajoneuvon hälytyksiä ennen kuin liikenne on välissä ollut sujuvaa. Hitaan ajoneuvon hälytykset ruuhkassa eivät ole toivottavia. Tieliikennekeskus ei kuitenkaan ole kokenut Flirin tekemiä Mestarin-tunnelin iltapäiväruuhkasta tulleet hälytyksiä suureksi haitaksi.

Ajoradan suolaus ja kastelu, tunnelissa virtaava vesi, suuaukoille muodostuvien varjojen äkilliset muutokset ym. tuottavat jonkin verran Flirin hälytyksiä, jotka ovat kamerapohjaisen järjestelmän teknisen toiminnan kannalta täysin aiheellisia. Nämä eivät kuitenkaan ole liikennehäiriötilanteita, eikä tieliikennekeskus tarvitse näistä tietoa. Tutka- ja silmukatekniikoilla vastaavia hälytyksiä ei oletettavasti tule. Tieliikennekeskuksen mukaan kunnossapitotöistä aiheutuvat hälytykset eivät ole haitallisia, sillä päivystäjä saa samalla tiedon esimerkiksi tien suolauksesta. Sen sijaan tulosten käsittelyssä aiheettomiksi luokitellut, esimerkiksi varjoista aiheutuvat hälytykset ovat täysin turhia ja ylimääräisiä.

12 Muita näkökohtia

12.1 Kustannukset ja elinkaari

HHJ:n kustannukset voidaan jakaa hankintakustannuksiin, ylläpitokustannuksiin ja operointikustannuksiin (RAIDER 2013b).

Hankintakustannukset (setup costs) kattavat kaikki uuden HHJ:n asennukseen tai nykyisen järjestelmän uusimiseen tai parantamiseen liittyvät laite-, ohjelmisto- ja henkilötyökustannukset tunnelissa, laitetilalla ja liikennekeskuksessa.

Järjestelmien hankintakustannukset ovat paljolti riippuvaisia toteutuksen laajuudesta. Suomessa tähän asti tehdyissä kamerapohjaisen HHJ:n hankinnoissa häiriönhavainnon osuutta ei ole eritelty tunnelin muiden telematiikkahankintojen kustannuksista.

Hampurin kaupungin laatimassa Elbe-tunnelin (3,3 km; 4-putkinen tunneli, 2 kaistaa/putki) HHJ-pilotin raportissa (LSBG 2012) Traficonin (Flir) kamerapohjaisen järjestelmän investointikustannuksiksi arvioitiin 1 950 000 € ja MAVE-tunin silmukkapohjaisen järjestelmän hinnaksi 1 800 000 €. Kamerapohjaisen järjestelmän arviossa käytettiin 70 m kameraväliä, joka on Suomen oloissa todettu liian harvaksi. Mainittujen toimitusten laajuus ja yksityiskohdat eivät ole tiedossa, mutta kustannukset ovat kuitenkin vertailukelpoisia keskenään.

Operointikäyttöön hankittavan tutkajärjestelmän hankintakustannusten suhde muihin tekniikoihin ei ole tiedossa. Pilottilaitteiston osto-option tarjouksen perusteella kustannukset asettuvat samaan suuruusluokkaan kamerapohjaisen tekniikan kanssa (Ruottinen 2015).

Kaikissa HHJ-tekniikoissa käytettävällä laitemäärällä on ratkaiseva merkitys järjestelmän hankintahintaan. Tarvittava laitemäärä puolestaan riippuu järjestelmästä vaadittavasta suorituskyvystä ja tunnelin geometriasta.

Tunnelin geometria vaikuttaa erityisesti tutkajärjestelmän kustannuksiin. Melko suorissa ja tasaisissa tunneleissa on mahdollista hyödyntää tutkien pitkää kantamaa. Korkean nopeustason moottoritietunnelit ovat yleensä geometrialtaan tällaisia. Mestarintunnelin kaltaisissa haastavan geometrian tunneleissa tutkajärjestelmän luotettava toiminta puolestaan edellyttää tiheää laiteväliä. Kamerapohjaisessa järjestelmässä tunnelin mutkaisuudella ja pystygeometrialla ei ole suurta merkitystä tarvittavaan kameramäärään. Tunnelin kaistamäärällä sen sijaan on merkitystä. Kaksikaistaisessa tunnelissa yksi HHJ-kamera poikkileikkausta kohden riittää, mutta esimerkiksi 4+4-kaistaisessa Mestarintunnelissa tarvitaan kaksi kameraa tunneliputken poikkileikkausta kohden. Silmukkapohjaisessa järjestelmässä tarvittavaan laitemäärään tunnelin pysty- ja vaakageometrialla ei ole vaikutusta.

Kamerapohjaista tekniikkaa käytettäessä HHJ-kameroiden välin on järjestelmän toimivuuden parantamiseksi syytä olla jatkossa pienempi kuin tähänastisissa Suomen toteutuksissa. Järjestelmien käyttöönotto ja viritys ovat todennäköisesti tällöin myös paljon tähänastisia toteutuksia helpompia.

On tärkeää, että tilaajalla on asiantuntemusta vertailla eri laitetoimittajien tai urakoitsijoiden tarjoamia ratkaisuja. Nykyään on melko tyypillistä, että urakoitsija valitsee HHJ:n toteuttajaksi halvinta kokonaisuutta tarjoavan kokemattoman toteuttajan, mikä johtaa yleensä laitemäärän alimitoitukseen (Ylikorpi 2015).

Kaikkien tekniikoiden osalta eri laitetoimittajien esittämien toteutusten laajuudet ja hinnat tulee arvioida tapauskohtaisesti.

Hankintakustannuksia vertailtaessa tulee huomioida, että kamerapohjaista HHJ:ä käytettäessä tunneliin ei ole välttämätöntä hankkia erillisiä liikennekameroita. HHJ-kamerat eivät tosin käytettävyydeltään vastaa liikennekameroita, sillä niitä ei voi kääntää tai zoomata. Muita HHJ-tekniikoita käytettäessä tunneliin on hankittava erilliset liikenteenseurantakamerat.

HHJ:n asennus ja yhteensovittaminen osaksi tunnelin liikenteenhallintajärjestelmää sekä toimintaan säätäminen on työlästä. Tilaajan on varattava riittävästi asiantuntijaresursseja ennen käyttöönottoa tapahtuvaan testausvaiheeseen ja käyttöönoton jälkeiseen säätöjaksoon valvomaan tuotevaatimusten täyttymistä. Näin vähennetään riskiä, että tieliikenne-keskuksen operointi vaikeutuu heikosti toimivan järjestelmän takia ja järjestelmän uskottavuus liikennepäivystäjien näkökulmasta kärsii.

Ylläpitokustannukset kattavat järjestelmän elinkaaren aikaiset huollot, puhdistukset, korjaukset, ohjelmistopäivitykset, yksittäisten laitteiden uusimiset ja käytön aikaisen kalibroinnin (RAIDER 2013b).

Ylläpitokustannusten vertailu eri tekniikoiden välillä on pääasiassa laitevalmistajien esittämien tietojen varassa, sillä varsinkaan tutka- ja silmukkapohjaisista järjestelmistä ei ole saatavissa käytännön kokemuksia pidemmältä ajalta.

Kamerapohjaisessa järjestelmässä HHJ-kamerat vaativat jatkuvaa puhdistusta erityisesti talvikaudella, mikä aiheuttaa kustannuksia ja haittaa liikenteelle. Tutkat ja silmukat eivät vaadi laitetoimittajien mukaan oikein asennettuina tiheää puhdistusta tai huoltoa. Esimerkiksi Navtechin tutkiin tulisi valmistajan mukaan vaihtaa moottorin hihna 3 vuoden välein.

Silmukkajärjestelmässä induktiosilmukat edellyttävät säännöllistä uusimista.

On huomioitava, että tutka- ja silmukkapohjaiset järjestelmät vaativat myös toimintakuntoisia kameroita hälytysten todentamiseen. Tähän tarkoitukseen voidaan käyttää liikennekameroita, joita Suomessa on tähän saakka asennettu tunneleihin melko tiheästi. Liikennekameroiden puhdistuskustannuksia ei ole tarpeen lukea HHJ-kustannuksiin.

On todennäköistä, että järjestelmät uusitaan jo ennen niiden varsinaisen käyttöiän loppumista, sillä vanhoihin järjestelmiin ei välttämättä tarjota enää varaosia ja käyttötukea. Varaosien ja tuen saatavuus tulee huomioida järjestelmien teknisiä vaatimuksia laadittaessa. Lisäksi uudella tekniikalla voidaan päästä huomattavasti vanhaa järjestelmää parempaan toimivuuteen. Esimerkiksi Tukholmassa Södra Länkenin tunnelissa vuonna 2004 käyttöönotettu kamerapohjainen järjestelmä vaihdettiin uuteen vuonna 2013 varaosien puutteen vuoksi (Ljungberg 2013). Isokylän tunnelin kamerajärjestelmä poistettiin vuonna 2011 käytöstä 8 vuoden ikäisenä tekniikan ollessa vanhentunutta.

Operointikustannukset kattavat järjestelmän päivittäiseen operointiin liittyvät kustannukset, kuten häiriöiden todentamiseen tarvittavan työpanoksen (RAIDER 2013b).

Operointikustannukset riippuvat järjestelmän päivystäjille tuottaman ylimääräisen työn eli aiheettomien ja epäolennaisten hälytysten määrästä. Tällaisten hälytysten määrä on lähtökohtaisesti suurin kamerapohjaisista tekniikasta käytettäessä, sillä tekniikka on altis valaistus- ja ympäristöolosuhteista (esimerkiksi kostea tienpinta) aiheutuville hälytyksille.

12.2 Järjestelmien käyttöönotto ja viritys

Kaikilla vertailtavilla tekniikoilla tunnelissa tapahtuvat asennustyöt voidaan toteuttaa melko nopeasti, mutta ne vaativat kaistansulkuja, mikäli tunneli on jo otettu liikenteelle. Kameratekniikkaa käytettäessä laitemäärä on lähtökohtaisesti suurin ja jokainen kamera on kohdistettava tarkasti, joten kameratekniikkaa käytettäessä fyysisiin asennuksiin kuuluva aika on oletettavasti suurin.

Tunneliputkessa tehtävien asennustöiden lisäksi asennuksia joudutaan tekemään tunnelin laitetilalla ja liikennekeskuksessa. Lisäksi järjestelmät on yhteensovitettava tunnelin liikenteenhallintajärjestelmän ja tulevaisuudessa T-LOIKin (tieliikenteen ohjauksen integroitu käyttäjärjestelmä) kanssa.

Järjestelmien käyttöönotto ja kalibrointi koostuvat kahdesta vaiheesta: Ennen tunnelin liikenteelle ottoa tehtävistä testeistä ja asetuksista sekä liikenteelle oton jälkeen tehtävistä muutoksista ja säädöistä (Bossu 2014).

Järjestelmien viritys toteutetaan laitteistosta riippuen tunnelin laitetilalta tai liikennekeskuksesta käsin. Osan toimenpiteistä laitetoimittaja tai -asentaja voi tehdä etäyhteyden kautta.

Kameratekniikan käyttöönotoista ja virityksistä sekä tutkapilotista saatujen kokemusten perusteella järjestelmien viritykseen tulee varata aikaa kuukausia. Huolellisesti toteutetun säätöjakson on todettu olevan edellytys kamerapohjaisen järjestelmän asianmukaiselle toiminnalle ja erityisesti aiheettomien hälytysten määrän pitämiseksi kohtuullisena. Osa säädöistä voidaan tehdä ennen tunnelin liikenteelle ottoa ja osa voidaan tehdä vasta järjestelmän toiminnasta erilaisissa liikenne- ja ympäristöolosuhteissa saatujen kokemusten perusteella.

Uudessa tunnelissa HHJ:n säätöjaksoon olisi aiheellista varata vähintään puoli vuotta, mielellään vuosi. Järjestelmiin tehtävien asetus- ja parametrimuutoksien vaikuttavuuden arvioimiseksi muutosten väliin tulee jättää muutama viikko. Alkuvaiheessa väli voi olla noin kaksi viikkoa, säätöjakson loppupuolella noin kuukausi. (Ruottinen 2015.)

12.3 Tekninen luotettavuus

Pilotissa ei seurattu järjestelmällisesti tutka- ja kamerajärjestelmien teknistä luotettavuutta.

Yksi pilotin kolmesta tutkasta oli kahteen otteeseen muutamia päiviä pois toiminnasta teknisten ongelmien vuoksi. Koska järjestelmä ei ollut operointikäytössä, teknisiä hälytyksiä ei huomattu ja viat havaittiin vasta vuorokausien päästä. Toisessa tapauksessa laitetoimittaja korjasi vian etäyhteydellä. Toinen tapaus oli sähkönsyöttöongelma, joka jouduttiin korjaamaan maastossa.

Flirin järjestelmä oli pilotin aikana vakaa. Ainoat havaittu ongelma oli joidenkin HHJ-kameroiden likaantuminen. Varsinkin tunnelin itäisellä suuaukolla olevien kameroiden kuvanlaatu oli lokitietojen perusteella heikko useaan otteeseen.

Tieliikennekeskuksen kokemusten mukaan Flirin järjestelmä on ollut käytössä melko luotettava. Merkittävin todettu ongelma on ollut käyttöjärjestelmä FLUXin satunnainen jumiutuminen, jolloin liikennepäivystäjä on joutunut käynnistämään järjestelmän uudelleen tai järjestelmä on käynnistynyt uudelleen automaattisesti. FLUXin ollessa jumiutunut tai pois päältä HHJ:n hälytykset eivät ole välittyneet myöskään tunnelin liikenteenhallintajärjestelmälle.

13 Johtopäätökset ja suositukset jatkoimenpiteiksi

Tässä luvussa on esitetty selvityksen päätelmät ja suositukset jatkoimenpiteistä ja tulevilla HHJ-hankkeissa huomioitavista näkökohdista.

Tutka-HHJ

Keskeiset havainnot Navtechin toiminnasta Mestarintunnelissa:

- Tutka toimi jo lyhyen säätöjakson jälkeen kohtuullisesti, vertailukohteeseen Fliriin tehtiin muutoksia vielä yli 2 vuotta käyttöönoton jälkeen.
- Tutkan todettiin havaitsevan nopeasti erityyppisiä häiriöitä ja myös pieniä objekteja, kuten jalankulkijoita havaintoalueen takarajalta, mutta runsaiden häiriöheijastusten ja katvealueiden vuoksi havaintoluotettavuus jäi heikoksi.
- Tutkan luotettava toiminta vaatii suoran näkemän koko havaintoalueelle, kuten kamerallakin. Raskaiden ajoneuvojen taakse jää katveja.
- Tunnelin tekniset rakenteet, laitteet ja opasteet aiheuttavat häiriöheijastuksia ja katveja.
- Tutkalaitteiden alapuolella ja vieressä on katvealue, joten järjestelmän koko tunnelin kattava havainnointi edellyttää eri tutkien havaintoalueiden päällekkäisyyttä.
- Pilotin perusteella ei voida tehdä päätelmiä järjestelmien kyvystä havaita väärään suuntaan ajavia ajoneuvoja tai pudonneita esineitä. Tämä olisi vaatinut erillisen maastotestin / kenttäkokeen järjestämisen.
- Tutkan häiriöiden paikannustarkkuus ei mahdollista häiriöiden paikallistamista kaistakohtaisesti nykyisellä tutkamäärällä, mikä on tärkeä toiminnallinen vaatimus. Kunnossapitotöiden aikaisia hälytyksiä ei siksi pystytä suodattamaan ainakaan kaistan tarkkuudella.
- Ruuhkanaikaisten hitaiden ja pysähtyneiden ajoneuvojen hälytysten määrä oli pilotin lopussa melko alhainen.
- Ympäristöolosuhteet eivät pilotin perusteella vaikuta tutkan toimivuuteen.
- Aiheettomien hälytysten määrä on alhainen.

Pilotin tulosten ja havaintojen perusteella tutkapohjaisen järjestelmän luotettava toiminta Mestarintunnelin kaltaisessa geometrialtaan haastavassa ja monikaistaisessa tunnelissa edellyttäisi tutkamäärän kasvattamista pilotissa käytetystä kolmesta tutkasta. Tällöin katvealueita saataisiin pienennettyä ja tutkien päällekkäiset havaintoalueet parantaisivat järjestelmän luotettavuutta. Laitetoimittajan mukaan 150 m tutkaväli voisi olla riittävä häiriöiden luotettavaan kaistakohtaiseen tunnistukseen. Pilotissa tutkaväli oli pisimmillään 230 m.

Tutkien määrän kasvattaminen nostaa luonnollisesti järjestelmän hankintakustannuksia suhteellisesti paljon, mutta se on edellytys sille että järjestelmän toiminta ja luotettavuus voidaan saada hyväksyttävälle tasolle.

Kamera-HHJ

Keskeiset havainnot Flirin toiminnasta pilotissa:

- Todellisten häiriöiden havaintoluotettavuus oli pilotissa huomattavasti Navtechia parempi.
- Kunnossapitotyöt, märät renkaanjäljet, auringon heijastumat ja varjot aiheuttivat pudonneen esineen hälytyksiä.
- Hitaan ajoneuvon hälytykset aiheutuvat lähes yksinomaan tunnelin ruuhkautumisesta. Tämä oli pilotin aikana selvästi yleisin hälytystyyppi. Järjestelmä on käyttöönottovaiheessa asetettu hälyttämään hitaista henkilö- ja paketti-autoista vain, kun ne hidastavat voimakkaasti. Järjestelmätoimittajan mukaan tasaisella nopeudella ajavista raskaista ajoneuvoista hälytys tulee, mutta tätä ei pystytty pilotissa todentamaan.

Flir toimi pilotin perusteella melko luotettavasti ja kamera-HHJ:n Suomessa aiemmin todettu merkittävä ongelma, aiheettomien hälytysten määrä, oli pilotin aikana kohutuullinen, keskimäärin alle 1 per päivä. On tosin huomioitava, että järjestelmän toiminnalle kaikkein haastavimpia olosuhteita, eli rankkasateita ja talvikelejä oli pilotin aikana vain hetkellisesti.

Kamera-HHJ:n tekniikka on kehittynyt jonkin verran sitten Mestarintunnelin toteutuksen. Markkinoille tulleilla laajakuvaa ja korkeaa resoluutiota käyttävillä HD-kameroilla ja hankalissa sääoloissa tavallista kameraa tehokkaammin toimivilla lämpökameroilla voidaan päästä Mestarintunnelin toteutusta parempaan toimivuuteen.

Kamerapohjaista HHJ:ä käytettäessä järjestelmän toimintaedellytyksiä on uusissa toteutuksissa mahdollista parantaa käyttämällä portaattomasti säädettävää LED-valaistusta.

Silmukka-HHJ

Silmukkapohjaista HHJ:ä ei testattu Mestarintunnelin pilotissa.

Kehittynyt, ajoneuvojen yksilöllisen magneettisen profiilin tunnistava silmukka-järjestelmä on tunnelien HHJ:nä kansainvälisten referenssien perusteella harvinainen. Hampurin pilotin tulokset ja Itävallan käyttäjäkokemukset silmukasta ovat positiivisia, mutta tunneliympäristöt ja käyttäjätarpeet niissä ovat varsin erilaisia kuin Suomessa. Silmukkapohjaisen järjestelmän heikkoudet ovat, että pudonneita esineitä ei ole mahdollista havaita muuten kuin niistä liikennevirtaan aiheutuvien muutosten perusteella ja liikennehäiriöiden sijainnit on mahdollista määrittää vain silmukka-
välin, tyypillisesti 300 metrin, tarkkuudella. Pysähtyneen, hitaan ja väärään suuntaan ajavan ajoneuvon havaintonopeudet ovat myös riippuvaisia silmukka-
välistä. Silmukka-
väliä on mahdollista pienentää, mutta se luonnollisesti lisää silmukkamäärää ja nostaa järjestelmän hankinta- ja ylläpitokustannuksia.

Päätelmät

Pilotin tulosten ja havaintojen perusteella nykytilanteessa kamera-HHJ soveltuu Mestarintunnelin kaltaiseen kaupunkiseudun tunneliin tutkaa paremmin.

Tutkalla ei pilotin perusteella saavuteta merkittävästi kameratekniikkaa parempaa toimivuutta millään osa-alueella, osittain sen vuoksi että kameratekniikka on Mestarintunnelissa saatu viritettyä hyvin toimivaksi. Tutkan havaintoluotettavuuteen ja katveiden määrään liittyy epävarmuustekijöitä.

Tutkalla ei Mestarintunnelin tyyppisessä ympäristössä oletettavasti saavuteta myöskään merkittäviä kustannussäästöjä, sillä luotettava toiminta edellyttää tiheää tutkaväliä.

Kamera- ja tutkatekniikoiden voi olettaa kehittyvän voimakkaasti sekä laite- että ohjelmistopuolella lähitulevaisuudessa. Kameratekniikalla on useita suuria laiteoimittajia maailmanlaajuisesti. Tutka puolestaan on tekniikkana verraten uusi ja järjestelmää kehitetään referenssikohteista saatavien kokemusten perusteella.

Pilotin havaintojen ja haastatteluissa ilmenneiden näkökohtien perusteella Mestarintunnelin ja muiden kaupunkiseudun tunnelien osalta esitetään seuraavat suositukset:

- Kamera- ja tutka-HHJ:t tuottavat tunnelin ruuhka-aikoina useita hitaan ajoneuvon hälytyksiä, koska ajoneuudet ja ajoneuvovälit ruuhkaliikenteessä vaihtelevat. Hälytykset kuormittavat liikennepäivystäjiä muutenkin kiireisimpinä työtunteina. Hitaan ajoneuvon hälytykset voitaisiin poistaa kokonaan käytöstä tai suodattaa erikoisohjelman ("skenaario") avulla pois tiettyinä kellonaikoina pahimpina ruuhka-aikoina. Liikennepäivystäjä voi saada indikaation ruuhkautumisesta pysähtyneen ajoneuvon hälytyksenä tai jonkin muun järjestelmän, esimerkiksi RTJ-ruuhkantunnistussilmukoiden kautta.
- Todelliset pudonneen esineen tapaukset ovat verrattain harvinaisia, joten niistä voitaisiin kaupunkiseudun tunneleissa luopua varsinkin kamera-HHJ:ä käytettäessä. Kamera-HHJ:ä joudutaan herkistämään hälytystyyppin vuoksi huomattavasti, mistä seuraa ylimääräisiä hälytyksiä kunnossapitotöistä sekä määristä renkaanjäljistä, varjoista ja heijastuksista seuraavia aiheettomia hälytyksiä. Pilotin aikana todellisia pudonneen esineen tapauksia ei ollut ainutakaan. Alhaisen ajoneuvon kaupunki-tunnelissa esineet eivät aiheuta yhtä suurta onnettomuusriskiä kuin moottoritietunneleissa ja pudonneista esineistä saadaan yleensä melko nopeasti tieto tienkäyttäjän linjan kautta, päivystäjän kamerahavaintona tai esteen vuoksi pysähtyneestä ajoneuvosta tulevana hälytyksenä.

Kameratekniikkaa käytettäessä tunnelivalaistuksella on merkitystä järjestelmän luotettavaan toimintaan. Kamera-HHJ:n toiminnan kannalta tunnelin normaalivalaistus tulisi pyrkiä suunnittelemaan ja toteuttamaan siten, että valaistustaso on mahdollisimman tasainen ja valaistustason muutokset tapahtuvat portaattomasti. Tähän LED-tekniikka antaa hyvät mahdollisuudet, mistä on järjestelmätoimittajien mukaan hyviä kokemuksia ulkomailta.

Kaikissa työssä käsitellyissä tekniikoissa havaintolaitteiden tai mittauspisteiden määrän kasvattamisella voidaan parantaa järjestelmien toimintaedellytyksiä. Suomalaisissa kamera-HHJ-toteutuksissa on havaittu, että järjestelmien toiminta haastavis-

sa sääoloissa edellyttää huomattavasti tiheämpää laiteväliä, kuin mitä laitetoimittajien markkinointimateriaalissa tai teknisissä tiedoissa esitetään. Tutkaa käytettäessä pilottia tiheämpi laiteväli mahdollistaisi häiriöiden kaistakohtaisen tunnistuksen ja parantaisi todennäköisesti havaintoluotettavuutta. Silmukajärjestelmässä silmukavälillä on suora yhteys häiriöiden paikannustarkkuuteen sekä useimpien häiriöiden havaintonopeuksiin. Laitemäärien kasvattaminen nostaa luonnollisesti järjestelmien hankintakustannuksia, mutta parempi toimivuus ja aiheettomien hälytysten pienempi määrä alentavat operointikustannuksia, lisäävät järjestelmän uskottavuutta sekä parantavat tunnelin turvallisuutta. Myös järjestelmien käyttöönotto ja säätöjakso voivat helpottaa.

Yleisiä näkökohtia tuleviin HHJ-hankintoihin:

- HHJ:n havaintoluotettavuudelle ja -nopeudelle sekä aiheettomien hälytysten määrälle asetettavat vaatimukset ovat aina kompromissi.
- Mikäli käytettävä tekniikka mahdollistaa jalankulkijan tunnistuksen, tulisi ominaisuus ottaa käyttöön, mikäli se ei heikennä merkittävästi järjestelmän muuta toimintaa tai lisää aiheettomien hälytysten määrää.
- Järjestelmien suunnittelussa tulee lähteä liikkeelle tieliikennekeskuksen käyttäjätarpeista, koska laitteisto hankitaan nimenomaan tieliikennekeskuksen apuvälineeksi ja tieliikennekeskus on järjestelmän ainoa käyttäjä.
- Järjestelmille asetettavia teknisiä ja toiminnallisia vaatimuksia suunniteltaessa tulee huomioida markkinoilla olevien järjestelmien tekniset rajoitukset. Epärealistisen tiukat vaatimukset karsivat potentiaalisia laadukkaiden järjestelmien tarjoajia ja voivat nostaa hankintahintaa. Myöskään kohtuuttoman tiukkoja toiminnallisten puutteiden sanktorajoja ja sanktioita ei ole järkevää asettaa, koska urakoitsija hinnoittelee ne urakkahinnassa ja mahdolliset riita-tilanteet aiheuttavat työtä ja kustannuksia kaikille osapuolille.
- Tilaajalla tai tilaajan edustajalla tulee olla HHJ-hankinnassa asiantuntemusta ja HHJ-tekniikoiden realiteetit tulee ymmärtää. Urakoitsijalla tai urakoitsijan käyttämällä suunnittelijalla ei välttämättä ole kokemusta HHJ:istä, jolloin järjestelmä usein mitoitetaan mahdollisimman edulliseksi laitetoimittajan ilmoittamiin teknisiin suoritusarvoihin perustuen ja laitevälistä tulee Suomen olosuhteisiin ja käyttäjätarpeisiin nähden liian harva.
- Monet HHJ:n toimintaan liittyvät ongelmat aiheutuvat eri osapuolten välisistä epäselvyyksistä ja virheellisistä käsityksistä, mitä tilaaja ja käyttäjä järjestelmältä odottavat. Tämän vuoksi hankinnan alussa on tarkoituksenmukaista pitää kaikkien osapuolten kesken tarvittava määrä palavereita, joissa käsitellään toiminnalliset ja tekniset yksityiskohdat, eri järjestelmien yhteensopivuudet ja eri osapuolten tehtävät.
- HHJ:ien luotettava toiminta edellyttää huolella toteutettua käyttöönottoa ja käyttöönoton jälkeistä säätöjaksoa ja niihin tulee varata aikaa ja resursseja.

Suosituksat jatkotoimenpiteistä

Työn tulosten perusteella Suomen tietunneleissa on toistaiseksi suositeltavaa käyttää kamerapohjaista häiriönhavaintojärjestelmää.

Tutkapohjaisen HHJ:n merkittävimpiä vahvuuksia sen teknisten ominaisuuksien perusteella on harva laiteväli ja siitä seuraava kustannustehokkuus kamera-HHJ:än

verrattuna. Siksi tutka voisi olla varteenotettava vaihtoehto pitkiin, melko suoriin ja tasaisiin tunneleihin. Monet korkeiden ajonopeuksien moottoritietunnelit ovat tällaisia. Moottoritietunneleissa edellytetään myös häiriöiden nopeaa havaitsemista, mikä on yksi tutkatekniikan vahvuuksista. Kaksikaistaisessa moottoritietunnelissa korkeiden ajoneuvojen tuottamat katvealueet olisivat oletettavasti pienempi ongelma kuin nelikaistaisessa Mestarintunnelissa.

Tutkapohjainen HHJ on tulossa käyttöön avo-osuudella Hamina–Vaalimaa-moottoritieellä muutaman vuoden sisällä. Avo-osuus on toimintaympäristöltään aivan erilainen kuin tunneli, mutta tutkatekniikan toiminnasta avo-osuudelta saatavat kokemukset on järkevää arvioida ennen päätöstä mahdollisista jatkotoimista. Mikäli tutkatekniikka toimii kyseisellä osuudella hyvin, voisi pienimuotoisen, yhden tai kahden tutkalaitteen pilotin järjestämistä harkita jossakin moottoritietunnelissa, jossa on ennestään kamerapohjainen HHJ vertailukohtaksi. Ainoa tällainen tunneli Suomessa on tällä hetkellä Karnaisten (Vt 1 / E18) tunneli.

Mikäli tutkapohjaista HHJ:ä päädytään vielä pilotoimaan, on siinä yhteydessä suositeltavaa järjestää maastotesti, jolla selvitetään eri häiriötyyppien havaintoluotettavuudet ja -nopeudet sekä tutkan kyky havaita pudonneet esineet ja väärään suuntaan ajavat ajoneuvot.

Uusimman teknologian kamerapohjaisen HHJ:n toiminnasta saadaan uusia kokemuksia Tampereen Rantaväylän tunnelista, jonka suuaukoille asennetaan lämpökamerat. Mikäli kokemukset ovat positiivisia, voidaan lämpökameroita harkita käytettävän muissakin uusissa HHJ-hankkeissa.

Silmukkatekniikan soveltuvuudesta Suomeen ei voida esittää suosituksia tai päätelmiä ennen tekniikan testaamista Suomessa. Tekniikka olisi ympäristöolosuhteista riippumattomana potentiaalinen Suomen haasteellisiin olosuhteisiin, mutta pistekohtaisena mittausjärjestelmänä sen havainto-ominaisuudet ovat kameraan ja tutkaan verrattuna rajatut. Pilotin mielekkyys riippuu paljolti siitä, voidaanko tieliikennekeskuksen käyttäjätarpeet huomioiden silmukkapohjaista HHJ:ä siinä olevin rajoittein harkita otettavan operointikäyttöön edes hyvin toimivana minkään tyyppisessä tunnelissa.

Lähteet

Bossu, J. 2014. Optimising Automatic Incident Detection (AID) based on image processing to ensure road tunnel safety: combining performance and robustness. Transport Research Arena 2014, Paris.

Böhnke, P. 2011. Automatical incident detection in tunnels based on loop sensors. 4.5.2011. Tunnels and ITS symposium 2011 Bergen.

Clark, S. & Perletta, L. 2012. ClearWay Radar, for the Detection and Enforcement of illegal vehicle Lane Change and Tail-Gating events. ITS World Congress Vienna 2012. [Viitattu 7.9.2015]. Saatavissa: <http://media.brintex.com/Occurrence/27/Brochure/1454/brochure.pdf>

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2004/54/EY.

FHWA 2006. Traffic Detector Handbook – Third Edition – Volume I. 10/2006.

FHWA 2015. A Summary of Vehicle Detection and Surveillance Technologies used in Intelligent Transportation Systems, Chapter 5. [Viitattu 7.9.2015]. Saatavissa: <https://www.fhwa.dot.gov/policyinformation/pubs/vdstits2007/05.cfm>

Ilmatieteen laitos 2015. Lämpötila- ja sadetiedot Helsinki-Vantaan Lentoaseman mitauspisteestä. [Viitattu 21.9.2015]. Saatavissa: <http://ilmatieteenlaitos.fi/kuukausitilastot>

Liikennevirasto 2011. Väylähankkeiden suunnitteluperusteiden menettelykuvaus. Liikenneviraston ohjeita 24/2011.

Liikennevirasto 2012. Tieliikennekeskuksen operatiivisen toiminnan kehittäminen T-LOIK:n tuomat mahdollisuudet huomioiden. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 49/2012.

Liikennevirasto 2013. Tien rakennussuunnitelma – sisältö ja esitystapa. Liikenneviraston ohjeita 44/2013.

Liikennevirasto 2014. Tietunnelin hallinnointi ja turvallisuutta koskevat määräykset ja ohjeet. Liikenneviraston ohjeita 14/2014.

Liikennevirasto 2015a. Tietunnelien liikenteenhallinnan palvelutasot. Liikenneviraston toimintalinjoja 2/2015.

Liikennevirasto 2015b. LAM-kirja 2014 Uusimaa. [Viitattu 21.9.2015]. Saatavissa: <http://portal.liikennevirasto.fi/portal/page/portal/f/aineistopalvelut/tilastot/tietilastot/lam-kirja/Uusimaa%20%28pdf%29.pdf>

LSBG 2012. Feldversuch – Störfalldetektion am Elbtunnel. 3.2.2012.

Navtech 2011. Case Study – ClearWay Radar Incident detection in the Södra Länken Tunnel, Stockholm, Sweden.

- Navtech 2012. Installation Guide for Navtech Radar TS Series Radar Sensors. 1.6.2012.
- Navtech 2013. Mastrafjord and Byfjord Tunnels – Site Survey report. 18.6.2013.
- Navtech 2015a. Navtech Radar CTS350-X. [Viitattu 7.9.2015]. Saatavissa <http://www.navtechradar.com/wp-content/uploads/2015/06/CTS350-X-Datasheet.pdf>
- Navtech 2015b. Witness Commissioning Guide, versio 3.0b.
- Navtech 2015c. Case Study Hindhead. [Viitattu 20.9.2015]. Saatavissa <http://www.navtechradar.com/wp-content/uploads/2015/03/Hindhead-Case-Study.pdf>
- Nieminen, J. 2013. Hindhead -vierailun muistio 27.6.2013.
- Nussbaumer, C. 2007. Comparative analysis of safety in tunnels. Young Researchers Seminar 2007, Brno. [Viitattu 6.9.2015]. Saatavissa: <http://www.ectri.org/YRS07/Papiers/Session-9/Nussbaumer.pdf>
- NVF 2012. ITS Terminology. Rapport 4/2012.
- Pahlman, S. 2005. Isokylän tunnelin häiriönhavaitsemisjärjestelmän toimivuusanalyysi. 8.8.2005.
- PIARC 2015. PIARC Road Tunnels Manual, luku 2.1. [Viitattu 6.9.2015]. Saatavissa: <http://tunnels.piarc.org/en/safety/general-principles.htm>
- Prevedouros, P. & Ji, X. & Papandreou, K. & Kopelias, P. & Vegiri, V. 2005. Video Incident Detection Tests in Freeway Tunnels. TRB 2006 Annual Meeting.
- RAIDER 2012. User Needs and Requirements for Incident Detection Systems. Versio 2.1. 16.5.2012.
- RAIDER 2013a. Summary Report with Final Results and Recommendations. Versio 5.1. 27.9.2013.
- RAIDER 2013b. Generic Specifications for Incident Detection Systems. Luonnosversio 4.1. 06/2013.
- Sabik 2015. FLUXin käyttöohje, versio 2.4. 5.3.2015.
- Statens vegvesen 2013. AID i tunnel – Teknologisammenligning. 10/2013.
- Swarco Sverige 2013. Incident detektering med pulsdoppler radar för att förbättra ITS tillämpningar i tunnlar. 19.6.2013.
- SWOV 2011. SVOW Fact Sheet: The road safety of motorway tunnels. 08/2011. [Viitattu 6.9.2015]. Saatavissa: https://www.swov.nl/rapport/Factsheets/UK/FS_Tunnels_UK.pdf
- Tiehallinto 2005a. Liikenteen hallinta osana tienpitoa – Suunnitteluohje koekäyttöön.
- Tiehallinto 2005b. Tietunnelin suunnitteluohje (luonnos 0.92, 12.1.2005, ei virallinen).

Trafsys AS 2013. AID Test Report Rennfast. 16.12.2013.

Uudenmaan ELY-keskus 2015. Mestarintunnelin ja Vuosaaren tunnelin HHJ:n kuukausi- ja vuosiraportit 2012–2014.

Velhonoja, P. 2010. Tunneliasioista - kokemuksia, havaintoja, neuvoja. Tiesuunnitelupäivä 2.9.2010. [Viitattu 6.9.2015]. Saatavissa:
http://portal.liikennevirasto.fi/portal/page/portal/f/uutiset/tapahtumat/20110517_tiesuunnitelu/Velhonoja_Tunnelit_.pdf

Vägverket 2010. Södra Länken – Utbyte av kameror och Detekteringsystem – Kravspecifikation. 15.3.2010.

YSP 2015. Mestarintunnelin tunnelikatselmusraportti. 5.9.2015.

Haastattelut

Ruottinen, K. 2015. Ylitarkastaja, Liikennevirasto. Haastattelu 2.7.2015.

Tarkki, K. 2015. Liikennepäivystäjä, Liikennevirasto. Haastattelu 29.5.2015.

Taskula, K. & Hellroos, M. 2015. Sabik Oy. Haastattelu 12.5.2015 ja puhelinhaastattelu 5.8.2015.

Ylikorpi, J. 2015. Telematiikka-asiantuntija, Varsinais-Suomen ELY-keskus. Haastattelu 9.6.2015.

Sähköpostihaastattelut

Cewers, M. 2013. Swarco Sverige, Ruotsi. Sähköpostihaastattelu 2013.

Dubbert, J. 2013. Ave Verkehrs- und Informationstechnik GmbH, Saksa. Sähköpostihaastattelu 2013.

Flynn, P. 2015. Navtech, Englanti. Sähköpostihaastattelu 2015.

Jaatinen, M. 2015. Liikennekeskuspäällikkö, Liikennevirasto. Sähköpostihaastattelu 2015.

Köll, M. 2013. Felbertauernstrasse AG, Itävalta. Sähköpostihaastattelu 2013.

Ljungberg, K. 2013. Trafikverket, Ruotsi. Sähköpostihaastattelu 2013.

Petersen, R. 2013. Hampurin kaupunki, Saksa. Sähköpostihaastattelu 2013.

Punternold, A. 2015. Statens vegvesen, Norja. Sähköpostihaastattelu 2015.

Sallinen, R. 2015. Valtti-yksikkö. Sähköpostihaastattelu 2015.

Seppinen, H. 2015. Järjestelmäasiantuntija, Valtti-yksikkö. Sähköpostihaastattelu 2015.

Tulostenkäsittelyperiaatteet/ tulostenkeruutaulukon lukuohjeet

Flirin ja Navtechin hälytysten käsittelyn yleiset periaatteet pilotissa on kuvattu työn luvussa 10.5.

Tässä liitteessä on selitetty yksityiskohtaisesti hälytysten arviointiperusteet ja tietojen kirjaamisen periaatteet tulosten käsittelyssä käytettyyn Excel-taulukkoon (esimerkki taulukon käytöstä on liitteenä 1).

Navtechin kunnossapitotöiden vuoksi tehdyn kaistansulun aikaisia hälytyksiä tai ilta-päivä-ruuhkan aikaisia hitaan ajoneuvon hälytyksiä 10.–22.3. ei ole käsitelty pilotissa sen tarkemmin, joten niistä ei ole ollut tarpeellista kerätä kaikkia lähtötietoja.

Sarakkeet A – G: Perustiedot hälytyksistä

Jokaisesta hälytyksestä on kirjattu seuraavat perustiedot hälytyslokien perusteella:

- Päivämäärä ja kellonaika
- Viikonpäivä
- Hälyttävä HHJ
- HHJ:n ilmoittama hälytystyyppi
- HHJ:n ilmoittama häiriön sijainti
 - Flirin hälytyksissä ajokaista tai piennar ja hälyttävä kamera
 - Navtechin hälytyksissä havainto-osuus

Sarake H: Sijainti tunnelissa

Järjestelmien toiminnan arviointia ja vertailua varten kustakin hälytyksestä on kirjattu, missä osassa tunnelia häiriön on ilmoitettu tapahtuneen. Tunneliputki on tätä varten jaettu kolmeen osaan. Flirin 11 HHJ-kameraparista neljä ensimmäistä on luokiteltu kuuluvaksi tunnelin alkuosaan ja neljä viimeistä loppuosaan.

”Alkuosa”: Hälytys on tullut Flirin HHJ-kameroilta K101-K104 tai K201-K204 tai Navtechin havaintoalueelta 1 tai 2.

”Keskiosa”: Hälytys on tullut Flirin HHJ-kameroilta K105-K107 tai K205-K207 tai Navtechin havaintoalueelta 3 tai 4.

”Loppuosa”: Hälytys on tullut Flirin HHJ-kameroilta K108-K111 tai K208-K211 tai Navtechin havaintoalueelta 5 tai 6.

Sarake I: Hälytys samasta tilanteesta kuin edellinen

”Kyllä”: Kyseessä on aiheellinen hitaan, pysähtyneen tai väärään suuntaan ajavan ajoneuvon tai pudonneen esineen hälytys ja samasta ajoneuvosta tai esineestä on tullut saman hälytystyyppin hälytys jo aiemmin. Pysähtyneen ajoneuvon ja pudonneen esineen hälytys on tulkittu tässä samaksi hälytystyyppiksi, sillä ne ovat kamera-HHJ:lle havaintoteknisesti rinnasteisia. Jos liikenne on ruuhkautunut tunnelissa olevan yksit-

täisen hitaan tai pysähtyneen ajoneuvon vuoksi (ei siis tien välityskykyongelmista aiheutuvan ruuhkautumisen), on hälytyksen tulkittu tulleen häiriön aiheuttaneesta ajoneuvosta, vaikka se teknisesti onkin voinut tulla takana tulevan jonon hidastamisesta tai pysähtymisestä.

Sarake J: Muiden järjestelmien hälytykset samasta tilanteesta

Jos kyseessä on aiheellinen yksittäisestä ajoneuvosta tai pudonneesta esineestä tullut hälytys, on sarakkeeseen kirjattu, jos myös toinen järjestelmä (Flir tai Navtech) on tehnyt samasta tilanteesta hälytyksen.

Silmämääräinen arviointi

Tunnelissa häiriön tapahtumahetkellä vallinneet ympäristö- ja liikenneolosuhteet on arvioitu silmämääräisesti HHJ- tai liikennekameratallenteista. Silmämääräisille arvioille ei ole mahdollista määrittää yksiselitteisiä rajoja, mikä tulee huomioida tulosten arvioinnissa.

Sarake K: Näkyvyys heikentynyt

"Kyllä": Tunnelin näkyvyys on heikentynyt HHJ- tai liikennekameratallenteiden perusteella niin merkittävästi, että se vaikeuttaa hälytysten todentamista tallenteista.

"Ei": Muussa tapauksessa.

Sarake L: Tienpinta tunnelissa

Tienpinnan kosteuden arviointi kamerakuvasta on haastavaa, sillä arvio perustuu paljolti tienpinnasta tuleviin heijastuksiin, ellei tunnelissa ole selvästi erottuvia lätäköitä, roiskeita tai virtaavaa vettä.

"Märkä": Ajourata on kauttaaltaan märkä tai sohjoinen ja veden liike tienpinnassa on erotettavissa.

"Kosteaa": Tienpinta on kostea tai siinä on erotettavissa kosteita tai märkiä renkaanjälkiä.

"Kuiva": Tienpinnalla ei ole nähtävissä vettä tai kosteutta.

Sarake M: Liikenteen sujuvuus

"Ei liikennettä": Hälytyslokin mukaisella tunnelijaksolla ei ole häiriöön osallisena olevien ajoneuvojen lisäksi muuta liikennettä.

"Sujuu hyvin": Liikenne sujuu vapaalla nopeudella, eivätkä ajoneuvot joudu hidastamaan muun liikenteen vuoksi.

"Liikenne jonoutunut ja hidastunut": Liikennettä on paljon ja ajoneuvot joutuvat hidastamaan, mutta väylän välityskyky ei ole merkittävästi alentunut.

”Ruuhkautunut”: Liikenne hidastuu selvästi suuren liikennemäärän ja väylän rajallisen välityskyvyn vuoksi. Joidenkin kaistojen keskinopeus laskee selvästi alle 40 km/h tasolle tai kaistalla on mateleva tai pysähtynyt jono.

Lokitiedot FLUX:ista

Molempien järjestelmien hälytyslokien mukaisilta hälytyshetkiltä on tarkistettu Flirin käyttöliittymä FLUX:in päällä olevat skenaariot (erikoisohjelmat).

Kunnossapitotöiden vuoksi tehtyjen kaistansulkujen aikaisista Navtechin hälytyksistä on kirjattu vain suljetut ajokaistat.

Hälytyshetkellä vallinneet olosuhteet eivät välttämättä kuvaa häiriön tapahtumahetken tilannetta, sillä itse häiriötilanne on tapahtunut tyypillisesti 10 – 20 sekuntia ennen hälytystä.

Lisäksi pilotin alkuvaiheessa liikennekamerajärjestelmän ja Navtechin palvelimen kelloaikojen välinen ero oli suurimmillaan 50 sekuntia.

Sarake N: Valaistuksensäätö

”Kyllä”: Flirin valaistusskenaario on ollut hälytyshetkellä päällä. Jos hälytys on tullut joitakin sekunteja valaistusskenaarion päättymisen jälkeen, on tämä kirjattu erikseen sanallisesti sarakkeeseen AC ”Huomioitavaa / Selitys”.

”Ei”: Muussa tapauksessa.

Sarake O: Muut skenaariot

”Sade”: Sadeskenaario on ollut päällä hälytyshetkellä.

”Märkä tie”: Märkä tie -skenaario on ollut päällä hälytyshetkellä.

”Ei”: Muussa tapauksessa

Sarake P: Ruuhkaskenaario

”Kyllä”: Ruuhkaskenaario on ollut hälytyshetkellä päällä jollakin itäisen tunneliputken kaistaosuudella. Lisäksi on kirjattu, millä kaistalla tai kaistoilla ruuhkaskenaario on ollut päällä.

”Ei”: Muussa tapauksessa.

Sarake Q: Ajokaistoja suljettu

”Kyllä”: Joitakin ajokaistoja on suljettu kunnossapitotöiden tai liikennehäiriön vuoksi. Suljetut kaistat on eritelty.

”Tunneli suljettu”: Koko itäinen tunneliputki on suljettu liikenteen ruuhkautumisen, liikennehäiriön tai kunnossapitotöiden vuoksi.

”Ei”: Muussa tapauksessa.

Sarake R: Todellinen häiriö

Sarakkeessa on kirjattu, mistä tilanteesta hälytys on kameratallenteiden perusteella toden-näköisesti aiheutunut.

"Liikenteen ruuhkautuminen": Tunnelin liikenne on ruuhkautunut välityskykyongelmi-en vuoksi ennen hälytystä ja on ilmeistä, että hälytys on aiheutunut ruuhkautumisesta.

"Pysähtynyt ajoneuvo": Tunnelissa on pysähtynyt ajoneuvo, joka ei ole paikallaan liikenteen ruuhkautumisen vuoksi.

"Hidas ajoneuvo": Tunnelissa on selvästi muuta liikennettä hitaammin ajava ajoneuvo, jonka nopeus on arviolta alle 30 km/h, eikä hidastaminen ole aiheutunut liikenteen ruuhkautumisesta.

"Väärään suuntaan ajava": Hälytys on aiheutunut väärään suuntaan ajavasta ajoneuvosta.

"Jalankulkija": Hälytys on aiheutunut jalankulkijasta.

"Kunnossapitotyö": Hälytys on aiheutunut lumen aurauksesta tai tunnelin pesun, kastelun tai suolan levityksen vuoksi kastuneesta ajoradasta.

"Ei todennettavissa": Navtech on tehnyt hälytyksen tunnelin alussa sijaitsevilta havainto-osuuksilta 1 tai 2, mutta hälystä ei ole voitu luotettavasti todentaa, koska liikennekamera I1 on ollut pois toiminnasta 12.5. saakka. Tunnelin länsipuolella sijaitsevan liikennekameran tai tunnelissa sijaitsevan liikennekamera I2 tallenteista ei myöskään ole havaittu mitään liikennehäiriöön viittaavaa.

"Ei häiriötä": Häiriötä ei ole pystytty luokittelemaan mihinkään edellä mainituista luokista.

Sarake S: Häiriön tapahtuma-aika

Häiriön todellinen tapahtuma-aika on kirjattu pysähtyneiden ja väärään suuntaan ajavien ajoneuvojen osalta. Flirin hälytyksissä tapahtuma-aika on laskettu hälytyslokin mukaisen hälytysajan ja kameratallenteesta määritetyn havaintonopeuden erotuksena. Navtechin hälytyksissä tapahtuma-aika on kirjattu suoraan liikennekameratallenteen perusteella.

Väärään suuntaan ajavien ajoneuvojen osalta tapahtuma-ajaksi on määritetty ajan-kohta, jolloin ajoneuvo ensimmäisen kerran ajaa tunnelissa väärään suuntaan.

Hitaiden ajoneuvojen osalta tapahtuma-aikaa ei ole kirjattu, sillä kameratallenteiden perusteella ei ole mahdollista määrittää, milloin ajoneuvon nopeus alittaa tietyn rajanopeuden.

Navtechin hälytysten tapahtuma-ajat on määritetty vasta Navtechin palvelimen ja liikenne-kamerajärjestelmän kellonaikojen synkronoinnin 7.4.15 klo 16:15 jälkeen. Tätä ennen kirjatut havaintoajat eivät olisi olleet vertailukelpoisia.

"Ei määritettävissä": Häiriön tapahtuma-aikaa ei ole pystytty määrittämään.

Sarake T: Havaintonopeus (s)

Havaintonopeus sekunteina on hälytysajankohdan ja häiriön todellisen tapahtumajan erotus.

"Ei määritettävissä": Havaintonopeutta ei ole pystytty määrittämään.

Sarake U: Häiriö ilmoitetulla alueella (arvio)

"Kyllä": Yksittäinen liikennehäiriö tai liikenteen ruuhkautuminen on havaittu Flirin HHJ-kameratallenteesta tai Navtechin hälytyslokiteidoissa ilmoitettua havaintosuutta vastaavan / vastaavien liikennekameroiden tallenteista.

"Ei määritettävissä": Muussa tapauksessa.

Sarake V: Aiheellisuus

Sarakkeessa on arvioitu, onko hälytys ollut operaattorin eli tieliikennekeskuksen näkökulmasta aiheellinen. Arvioinnissa ei ole huomioitu eri tekniikoiden toimintaperiaatteiden asettamia rajoitteita. Jalankulkijoista ja tunnelin kunnossapitotöistä aiheutuneet hälytykset on tieliikennekeskuksen kanssa sovittu tulkittavan aiheellisiksi.

"Ok": Hälytys on luokiteltu sarakkeessa R ("Todellinen häiriö") johonkin seuraavista ryhmistä:

- Pysähtynyt ajoneuvo
- Hidas ajoneuvo
- Väärään suuntaan ajava
- Jalankulkija
- Kunnossapitotyö

"Ok, ruuhka": Hälytys on luokiteltu sarakkeessa R ("Todellinen häiriö") ryhmään "Liikenteen ruuhkautuminen".

"Ei toden.": Hälytys on luokiteltu sarakkeessa R ("Todellinen häiriö") ryhmään "Ei todennettavissa".

"Aiheeton": Hälytys on luokiteltu sarakkeessa R ("Todellinen häiriö") ryhmään "Ei häiriötä".

Sarake X: Tarkennus

"Väärä hälytystyyppi": Hälytys on ollut aiheellinen, mutta HHJ:n ilmoittama hälytystyyppi on väärä.

Sarake Y: Tapahtumakaista

Sarakkeeseen on kirjattu aiheellisten hitaan, pysähtyneen ja väärään suuntaan ajavan ajoneuvon hälytysten tapahtumakaista(t), mikäli ne ovat videotallenteiden perusteella määritettävissä. Ruuhkautumisesta aiheutuneissa hälytyksissä tapahtumakaistaa

ei ole määritetty, koska liikenne hidastuu tai pysähtyy lähes poikkeuksetta useammalla kaistalla.

Sarake Z: Havaintonopeus vaatimusten mukainen

"Kyllä": Havaintonopeus on ollut määritettävissä ja se täyttää Flirin järjestelmälle asetetut toiminnalliset vaatimukset.

Sarake AA: Aiheettoman hälytyksen syyn arviointi

Sarakkeeseen on kirjattu Flirin aiheettomaksi todetun hälytyksen todennäköinen syy, mikäli se on HHJ-tallenteen perusteella ollut pääteltävissä.

Navtechin aiheettomissa hälytyksissä syyt eivät yleensä olleet arvioitavissa, sillä hälytyksen aiheuttaneen tilanteen tarkka sijainti ja tapahtuma-aika eivät olleet tiedossa.

Tunnelissa hälytyshetkellä vallinnut tilanne, olosuhteet ja havainnot on kirjattu sarakkeeseen AC "Huomioitavaa / Selitys".

Sarake AB: Tilanne Navtechin katvealueella

Tarkastelu on tehty sellaisten Flirin tekemien aiheellisten liikennehäiriöhälytysten (ei ruuhkautuminen) osalta, joista Navtech ei ole hälyttänyt. Sarakkeessa on arvioitu, kuinka paljon häiriön tapahtumapaikalla on tutkan toimintaan vaikuttavia häiriöheijastuksia. Arvio on tehty Navtechin toimittaman heijastumakartan ("clutter map") avulla.

"Kyllä": Tapahtuma-alueella on runsaasti häiriöheijastuksia, eli alue on pääosin katveessa.

"Osittain": Tapahtuma-alueella on jonkin verran häiriöheijastuksia, eli tutkan toimintakyky on alentunut.

"Ei": Tapahtuma-alueella ei ole häiriöheijastuksia.

"Ei määritettävissä": Heijastumakartat eivät ulotu häiriön tapahtumapaikalle asti.

Sarake AC: Huomioitavaa / Selitys

Sarakkeessa on kuvattu tunnelissa ennen hälytystä vallinneet olosuhteet, havainnot ja häiriöön liittyvät huomiot. Mikäli kenttä on tyhjä, ei tunnelissa ole havaittu tapahtuneen mitään poikkeavaa tai havainnot on kirjattu samasta tilanteesta tullessiin aikaisempiin hälytyksiin.

Pilotin alkuvaiheessa liikenteen ruuhkautumisesta aiheutuneista hälytyksistä ei kirjattu tarkemmin, millä kaistoilla liikenne oli pysähtynyt tai hidastunut.

Tiesääasema Mestarintunneli (R_1092)

Itäisen tunneliputken (pilottiputki) puolivälissä sijaitseva tiesääasema R_1092 mittaa säännöllisesti ilman ja tienpinnan lämpötilan.

Lämpötilatiedot on haettu Liikenneviraston Extranetin web-tiesää-palvelusta. Lämpötila-tiedot tallentuvat palveluun pääsääntöisesti 10 minuutin välein, mutta välillä talennusväli on suurempi ja ajoittain havainnoissa voi olla jopa vuorokauden pituisia katkoksia.

Taulukkoon on kirjattu lämpötilat, mikäli havainto on ollut saatavilla hälytystä edeltävän puolen tunnin ajalta.

Sarake AD: Lämpötila, ilma (°C)

Sarakkeeseen on kirjattu tiesääaseman hälytystä edeltävä havainto ilman lämpötilasta.

"Ei hav.": Lämpötilatietoa ei ole ollut saatavissa hälytystä edeltävän puolen tunnin ajalta.

Sarake AE: Lämpötila, tienpinta (°C)

Sarakkeeseen on kirjattu tiesääaseman hälytystä edeltävä havainto tienpinnan lämpötilasta.

"Ei hav.": Lämpötilatietoa ei ole ollut saatavissa hälytystä edeltävän puolen tunnin ajalta.

Tiesääasema Vallikallio (R_1096)

Tunnelin itäpuolella sijaitseva Vallikallion tiesääasema R_1096 mittaa säännöllisesti tiedon mahdollisesta sateesta ja sen olomuodosta.

Olosuhdetiedot on haettu Liikenneviraston Extranetin web-tiesää-palvelusta. Olosuhdetiedot tallentuvat palveluun pääsääntöisesti 10 minuutin välein, mutta välillä talennusväli on suurempi ja ajoittain havainnoissa voi olla pitkiä katkoksia.

Sarake AF: Sade

Sarakkeeseen on kirjattu tiesääaseman hälytystä edeltävä havainto sateen voimakkuudesta.

Tiesääasema luokittelee sateen voimakkuuden tyyppeihin "pouta", "heikko" ja "kohdalainen".

"Ei hav.": Olosuhdetietoa ei ole ollut saatavissa hälytystä edeltävän puolen tunnin ajalta.

Sarake AG: Sateen olomuoto

Sarakkeeseen on kirjattu tiesääaseman hälytystä edeltävä havainto sateen olomuodosta.

Tiesääasema luokittelee sateen olomuodon tyyppeihin "pouta", "vesi", "tihku" ja "lumi".

"Ei hav.": Olosuhdetietoa ei ole ollut saatavissa hälytystä edeltävän puolen tunnin ajalta.

LAM-piste 126 Konala, itä

Tunnelin itäpuolella Konalassa sijaitseva LAM-piste 126 määrittää itäisen ajoradan liikennemäärä- ja keskinopeustiedot 5 minuutin jaksoissa. Tiedot on haettu Liikenneviraston Extranetin Tiira-tietopalvelusta.

LAM-pisteen mittaamat liikennetiedot eivät ole yhtenevät itäisen tunneliputken liikenne-määrien ja keskinopeuksien kanssa, sillä mittauspiste sijaitsee yli kilometrin päässä tunne-lista ja välissä on Lintuvaaran eritasoliittymä. Lisäksi ajorata on ennen mittauspistettä kaventunut kolmikaistaisesta kaksikaistaiseksi.

Sarake AH: Liikennemäärä, kuluva 5 min

Sarakkeeseen on kirjattu itäisen ajoradan liikennemäärä kuluvalta 5 min jaksolta hälytys-hetkeltä.

Sarake AI: Keskinopeus (km/h), kuluva 5 min

Sarakkeeseen on kirjattu itäisen ajoradan keskinopeus kuluvalta 5 min jaksolta hälytys-hetkeltä.

RTJ103 varausasteet (%)

Noin 330 m tunnelin itäpuolella sijaitsevat RTJ -ruuhkantunnistussilmukat mittaavat kunkin kaistan varausasteen, eli kuinka suuren osan tietystä aikayksiköstä silmukka on ollut varattuna, eli sen päällä on ollut ajoneuvo.

RTJ-silmukoiden kaistakohtaiset varausastetiedot on saatu tietokannasta minuutin tarkkuudella.

Sarake AJ: Ajokaistan 2 varausaste

Sarakkeeseen on kirjattu hälytys-hetkeä edeltävä varausastehavainto (%) kaistalta 2.

Sarake AK: Ajokaistan 3 varausaste

Sarakkeeseen on kirjattu hälytys-hetkeä edeltävä varausastehavainto (%) kaistalta 3.

Sarake AL: Ajokaistan 4 varausaste

Sarakkeeseen on kirjattu hälytys-hetkeä edeltävä varausastehavainto (%) kaistalta 4.

Tieliikennekeskuksen käyttäjätarpeet HHJ:lle

Selitteet

Verbi "tulee..." tarkoittaa, että käyttäjätarve on pakollinen

"Tulee olla mahdollista..." tarkoittaa, että käyttäjätarve on toivottava, mutta ei pakollinen

"Käyttäjällä" tarkoitetaan tunnelin operaattorin henkilökuntaa, eli tieliikennekeskuksen päivystäjiä

"Pääkäyttäjällä" tarkoitetaan tunnelin hallinnoijaa ja operaattorin eli tieliikennekeskuksen HHJ-vastuuhenkilöä

"Kaistaosuudella" tarkoitetaan tunnelin tietyn kaistan tiettyjen paalulukujen välistä osuutta, joka on HHJ:n havaintotarkkuusvaatimuksen (tyypillisesti puolet yhdyskäytävävälistä) pituinen (esim. kaista 2, pl. 150 - 225)

Kaupunkiseudun tunneli: 2 tunneliputkea, 2-4 kaistaa/putki, kapea piennar, nopeusrajoitus 60-80 km/h, välityskyngelmat tyypillisiä

Moottorietunneli: 2 tunneliputkea, 2 kaistaa/putki, leveä piennar, nopeusrajoitus yleensä max. 100 km/h, välityskyngelmat harvinaisia

Käyttäjätarpeiden täyttymisen arviointi

K	Tekniikka kykenee täyttämään käyttäjätarpeen
O	Tekniikalla voidaan täyttää käyttäjätarpeen osittain
E	Tekniikalla ei voida täyttää käyttäjätarvetta
EOS	Käyttäjätarpeen täyttymistä ei voida arvioida pilotin tulosten, tekniikan rajoitteiden tai muiden tunnelien kokemusten pohjalta
-	Käyttäjätarpeen toteutumista ei arvioitu työssä

1. HHJ:n havaintotoiminnot				Arvio käyttäjätarpeiden täyttymisestä			
nro	Käyttäjätarpeen kuvaus	Tarkennuksia käyttäjätarpeeseen	Perustelut / kommentit	Arvio			Kommentit tekniikoiden asettamista rajoituksista / muiden tunneleiden kokemuksista
				Flir	Nav.	Pilotin havainnot	
Havaintotoiminnot							
1.1	HHJ:n tulee havaita väärään suuntaan ajavat ajoneuvot X % luotettavuudella Y sekunnin kuluessa.	HHJ:n tulee tehdä uusi hälytys, kun väärään suuntaan ajava ajoneuvo havaitaan toisella kaistaosuudella. Näin käyttäjä pystyy paikallistamaan ajoneuvon viimeisimmän sijainnin. Jos havaintolaitteiden väli on tiheä, voidaan aiheettomien hälytysten määrän vähentämiseksi sallia hälytys kahden peräkkäisen havaintolaitteen ilmaisujen perusteella.	Väärään suuntaan ajavat ajoneuvot ovat vakava onnettomuusriski, joten niiden nopea havaitseminen on tärkeää. X ja Y määritetään hankekohtaisesti. Lähtökohtaisesti tulisi pyrkiä 100 % ilmaisuluotettavuuteen todellisten tilanteiden osalta.	K	EOS	Flir havaitsi luotettavasti ainoan väärään suuntaan ajavan tapauksen. Navtechin toimivuutta asetusmuutosten jälkeen ei päästy testaamaan.	Flirin hälytys on luotettava ja aiheettomien hälytysten määrä vähäinen, kun hälytys edellyttää havaintoa kahdelta peräkkäiseltä kameralta. Tämä tosin hidastaa havaintonopeutta. Navtechin järjestelmä on lähtökohtaisesti suunniteltu peruuttavien ajoneuvojen tunnistamiseen, mutta teknisiä esteitä väärään suuntaan ajavan tunnistukselle ei pitäisi olla.
1.2	HHJ:n tulee havaita hitaat ajoneuvot X % luotettavuudella Y sekunnin kuluessa.	Hitaiden ajoneuvojen havaitseminen on pakollinen vaatimus moottorietunneleissa. Kaupunkiseudun tunneleissa hitaat ajoneuvot tulee olla mahdollista havaita (ei pakollinen vaatimus). HHJ:n tulee tehdä uusi hälytys, kun hidas ajoneuvo havaitaan toisella kaistaosuudella. Näin käyttäjä pystyy paikallistamaan ajoneuvon viimeisimmän sijainnin.	Moottorietunneleissa ajoneuudet ovat suuria, joten hitaat ajoneuvot aiheuttavat vaaratilanteita. X ja Y määritetään hankekohtaisesti.	O	K	Flirin hitaan ajoneuvon tunnistus on Mestarintunnelissa asetettu toimimaan henkilö- ja pakettiautojen osalta vain ajoneuvon hidastaessa voimakkaasti. Käytännössä kaikki pilotin aikaiset tilanteet olivat ruuhkautumisesta aiheutuvia. Navtech vaikuttaa tunnistavan myös yksittäiset hitaat ajoneuvot luotettavasti.	Molemmat järjestelmät kykenevät tunnistamaan hitaat ajoneuvot säädettyväällä havaintorajalla. Flirin toteutuksissa hälytystyypissä huomioidaan myös muun liikennevirran nopeus.
1.3	HHJ:n tulee havaita pysähtyneet ajoneuvot X % luotettavuudella Y sekunnin kuluessa.		Leveälle pientareelle (n.3 m) pysähtyneet ajoneuvot eivät aiheuta niin suurta välitöntä vaaraa kuin kaistoille pysähtyneet. Moottoritunnelissa onnettomuusriski on kaupunkitunnelia suurempi korkeiden nopeuksien vuoksi. Pysähtyneiden ajoneuvojen tunnistaminen on erittäin tärkeää, sillä teknisen vian vuoksi pysähtynyt ajoneuvo on potentiaalinen tulipaloriski ja lisäksi tunneliin jalkautuvat kuljettaja ja matkustajat aiheuttavat onnettomuusriskin. X ja Y määritetään hankekohtaisesti. Lähtökohtaisesti tulisi pyrkiä 100 % ilmaisuluotettavuuteen todellisten tilanteiden osalta (riippumatta pientareen leveydestä).	O	O	Flir tunnistaa pysähtyneet ajoneuvot melko luotettavasti. Navtechillä ongelmana oli katvealueiden ja häiriöheijastusten suuri määrä reunakaistoilla. Molemmilla järjestelmillä havaintonopeuksien hajonta on suurta. Kummankin järjestelmän ongelmana on, että pysähtyneet ajoneuvot jäävät helposti katveeseen muiden ajoneuvojen taakse.	Riittäväällä laitemäärällä ja oikein suunnatuilla laitteilla molemmat tekniikat havaitsevat pysähtyneet ajoneuvot luotettavasti.

nro	Käyttäjätarpeen kuvaus	Tarkennuksia käyttäjätarpeeseen	Perustelut / kommentit	Arvio käyttäjätarpeiden täyttymisestä			Kommentit tekniikoiden asettamista rajoituksista / muiden tunneleiden kokemuksista
				Flir	Nav.	Pilotin havainnot	
1.4	HHJ:n tulee havaita ajoradalla olevat liikennettä vaarantavat esteet X % luotettavuudella Y sekunnin kuluessa. Havaittavan esteen minimikoko on A*B*C.	Ajoradalla olevien esteiden havaitseminen on tärkeää moottoritietunneleissa. Kaupunkiseudun tunneleissa tämä ei ole ehdoton vaatimus.	Moottoritietunneleissa ajonopeudet ovat suuria, joten pienikokoisetkin esteet ajoradalla voivat aiheuttaa vaarallisia väistöliikkeitä. X ja Y sekä esteen koko määritetään hankekohtaisesti. Kaupunkiseutujen tunneleissa tunnistettavan esineen minimikoko on luokkaa mopoauto. Kaupunkiseudun tunneleissa voi tapauskohtaisesti riittää vaatimus pysähtyneiden ajoneuvojen havaitsemisesta.	O	EOS	Todellisia tapauksia ei pilotin aikana ollut joten päätelmiä havaintoluotettavuudesta ei voida tehdä. Flir tuotti paljon sekä aiheettomia että kunnossapidosta aiheutuneita pudonneen esineen häilytyksiä. Navtechissa häilytystyyppi aktivoitiin pilotin loppupuolella, yhtään aiheetonta häilytystä ei tullut.	Flir kykenee havaitsemaan pudonneet esineet vain niiden kamerakuussa näkyvän projektion perusteella, eli se ei kykene tunnistamaan esineen tilavuutta. Navtechin edustajan mukaan häilytystyyppiin aktivointi lisää todennäköisyyttä muiden liikennehäiriöiden tunnistamisesta väärintyyppiseksi.
1.5	HHJ:n tulee paikantaa häiriöt kohdissa 1.1 - 1.4 kuvatut häiriöt kaistakohtaisesti X metrin tarkkuudella.	Kapea piennar sisältyy samaan havaintoalueeseen viereisen ajokaistan kanssa. Leveä piennar on oma havaintoalueensa.	Sijainnin määrittämisen tarkkuus määritetään hankekohtaisesti sen mukaan, mihin häiriötietoa tarvitaan ja käytetään. Esim. Tampereen Rantaväylän tunnelissa X = 75 m. Yleensä vaadittava tarkkuus on puolet tunnelin yhdyskäytävävälillä, jolloin pelastuslaitos osaa lähestyä onnettomuuspaikkaa oikeasta yhdyskäytävästä. Havaintovaatimukset pientareelta määritetään myös hankekohtaisesti.	K	E	Flir täyttää vaatimukset. Navtechin pilottilaitteisto ei kykene määrittämään häiriön sijaintia tarpeeksi tarkasti kaistakohtaiseen tunnistukseen.	Navtechin mukaan häiriöiden kaistakohtainen tunnistus on mahdollista kun tutkaväli on < 150 m. Häiriön suuripirteinen sijainti on mahdollista tarkistaa tutkan havaintojälkien perusteella.
1.6	HHJ:n tulee tunnistaa liikenteen sujuvuusluokka (liikennevirran keskinopeus vapaan liikennevirran keskinopeudesta) kaistakohtaisesti ja osa-alueittain.	Määritellään kohdekohtaisesti.	Osa-alueiden määrä määritellään tunnelikohtaisesti. Esim. sisäänajoalue, sisäalue, ulosajoalue.	K	K	-	Molemmat järjestelmät kykenevät tunnistamaan liikenteen ruuhkautumisen havaintoalueittain.
1.7	HHJ:n tulee tunnistaa liikenteen sujuvuusluokan muutos X % luotettavuudella Y sekunnin kuluessa muutoksesta maastossa. HHJ:n tulee hälyttää sujuvuusluokan alenemisesta käyttäjän asettamilla kaista- ja kaistaosuusrajoituksilla ja häilytysrajoilla. Järjestelmä saa tuottaa samalta kaistalta uuden sujuvuushäilytyksen vasta, kun kyseisen kaistan liikenne on edellisen häilytyksen jälkeen ollut luokassa "sujuvaa".		Tieto ruuhkautumisesta on tärkeää erityisesti silloin, kun se tapahtuu tunnelin normaalien ruuhka-aikojen ulkopuolella. X ja Y määritetään hankekohtaisesti.	EOS	EOS	-	Molemmat järjestelmät voidaan asettaa hälyttämään ruuhkautumisen alkamisesta. Kaista- tai havainto-osuuskohtaisista rajaumasuorituksista ei ole tietoa. Navtechissa kaistakohtainen tunnistus edellyttää tarpeeksi tiheää laiteväliä.
1.8	HHJ:n tulee toimia siten, että pääkäyttäjä voi valita, antaanko HHJ liikenteen sujuvuusluokan alenemisesta normaalin häiriöhäilytyksen vai lievemmän luokan 2 herätteen.	Luokan 2 heräte ei saa olla äänihäilytys. Häilytysindikaation tulee olla selvästi näkyvissä HHJ-käyttöliittymän aloitusnäkyvässä.		-	-	-	-
1.9	HHJ:n tulee havaita järjestelmän laite- ja ohjelmavika X % luotettavuudella Y sekunnin kuluessa.		X ja Y määritetään hankekohtaisesti. Laitevika tulee havaita nopeasti ja luotettavasti, jotta tunnelin operoija on tietoinen viasta ja voi järjestää tarvittaessa korvaavan tilapäisen liikenteen seurannan.	K	K	-	Molemmat järjestelmät tunnistavat laitteiden vikaantumisen ja yhteysongelmat.

nro	Käyttäjätarpeen kuvaus	Tarkennuksia käyttäjätarpeeseen	Perustelut / kommentit	Arvio käyttäjätarpeiden täyttymisestä			Kommentit tekniikoiden asettamista rajoituksista / muiden tunneleiden kokemuksista
				Flir	Nav.	Pilotin havainnot	
1.10	HHJ:llä tulee olla mahdollista havaita HHJ-laitteen merkittävä toimintakyvyn alentuminen (tunnistamisen luotettavuuden heikkeneminen), estää automaattisesti kyseiseltä laitteelta tulevat hälytykset ja tehdä hälytys laiteviasta. Käyttäjän tulee pystyä kytkemään kyseisen laitteen hälytykset takaisin päälle, jolloin samalta laitteelta ei saa tulla uutta likaantumisen johtuvaa hälytystä X tuntiin.	Esimerkkinä HHJ-kameran likaantuminen.	X määritetään hankekohtaisesti.	O	EOS	-	Flir tunnistaa kameran heikentyneen toimintakyvyn ja tekee siitä teknisen hälytyksen. Mikäli videosignaali on kuitenkin olemassa, kamera pysyy toiminnassa alentuneella toimintakyvyllä. Navtechin toiminnasta ei ole tietoa.
1.11	HHJ:n tulee toimia luotettavasti siten, että aiheettomia hälytyksiä tulee korkeintaan X kpl / vrk.	Aiheeton hälytys tarkoittaa tilannetta, jossa HHJ on tehnyt hälytyksen liikennehäiriöstä, mutta reaaliaikaisen videokuvan, videotallenteen tai muiden käytettävissä olevien tietojen perusteella tunnelissa ei voida todeta tapahtuneen liikennehäiriötä eikä sellaista poikkeustilannetta (esim. voimakkaasti virtaava vesi), jonka perusteella hälytys voitaisiin luokitella aiheelliseksi.	Hyväksyttävä aiheettomien hälytysten määrä määritetään hankekohtaisesti huomioiden mm. tunnelin pituus, kaistamäärä, geometria ja liikennemäärä. Hyväksyttävä määrä tulee valita tarkasti harkiten, sillä liian tiukka vaatimus pienentää todellisten häiriöiden havaitsemisen luotettavuutta. Toisaalta liian löysä vaatimus voi johtaa liian harvan laitevälin käyttöön, mistä seuraa paljon aiheettomia hälytyksiä ilmaisualueiden ääriarajoilta.	K / O	K	Molemmat järjestelmät täyttivät pilotissa Mestarintunnelin tuotevaatimuksissa aiheettomien hälytysten sallitulle määrälle asetetut rajat.	Flirin on todettu Suomessa tuottavan runsaasti aiheettomia hälytyksiä haastavissa kelioloissa. Navtechin hälytysten määrät ovat ulkomaisissa referenssiakohteissa olleet alhaisia.
1.12	HHJ:ä tulee olla mahdollista käyttää liikennelaskentaan (liikennemäärä ajoneuvotyypeittäin) ja ajoneuvojen tilastointiin.		Liikennelaskennassa HHJ:ällä voidaan täyttää LAM-pisteen tarve ja ajoneuvojen tilastointia voidaan hyödyntää esim. poliisin tarpeisiin (valvonnan kohdistaminen).	O	E	-	Flir määrittää liikennemäärä- ja keskinopeustiedot, mutta niitä ei voida pitää kovin luotettavina, koska häiriötekijät (sää, valaistus jne.) aiheuttavat ylimäärisiä ja puuttuvia ilmaisuja ja lisäksi ajoneuvoja jää usein katveeseen toisten ajoneuvojen taakse. Navtech ei markkinoi laskenta- / tilastointiominaisuuksia.
1.13	HHJ:llä tulee olla mahdollista havaita jalankulkijat.		Jalankulkijoiden havaitseminen on tärkeä ominaisuus edellyttäen, että se ei lisää merkittävästi aiheettomien hälytysten määrää. Merkitystä lähinnä kaupunkiseudun tunneleissa. Maantietunneleissa harvoin tunnelin ulkopuolelta tulevia jalankulkijoita.	O	O	Navtechin teki muutamassa tapauksessa pysähtyneen ajoneuvon hälytyksen jalankulkijasta. Erillinen jalankulkijan tunnistus ei ollut käytössä.	Flirissä on olemassa myös jalankulkijan tunnistus, mutta toimintoa ei ole käytetty Suomessa. Jalankulkijoiden on todettu tuottaneen satunnaisesti vääriä suuntaan ajavan hälytyksiä. Navtechissa on olemassa erillinen jalankulkijan tunnistamisen häiriötyyppi.
1.14	HHJ:n tulee täyttää käyttäjätarpeet / vaatimukset 1.1 - 1.13 myös						
a)	Vesirateella		Poikkeuksellisia olosuhteita (esim. lumimyräkkä, rankkasade) varten voidaan tunnelikohtaisesti määrittää poikkeukset havaintotarkkuudesta ja -nopeudesta pysähtyneiden ajoneuvojen ja ajoradalla olevien esteiden osalta aiheettomien hälytysten määrän pienentämiseksi. X määritetään vähintään ao. tunnelin pysähtymismatkan suuruiseksi.	K / O	K	Vesirate ei pilotin perusteella vaikuta merkittävästi kummankaan järjestelmän toimintaan.	Rankka vesirate voi häiritä HHJ-kameroiden näkemä ja toimivuutta. Vesirateella ei pitäisi olla vaikutusta Navtechin toimintaan.
b)	Ajoradan ollessa märkä			O	K	Ajoradan ollessa märkä Flir tuottaa aiheettomia hälytyksiä tavallista enemmän. Navtechin toimintaan märällä tienpinnalla ei ole havaittu olleen vaikutusta.	Myös suomalaiset kokemukset Fliristä ja ulkomaiset kokemukset Navtechista ovat pilotin havaintoja vastaavat.
c)	Lumisateella			O	EOS	Lumisista olosuhteista ei pilotin aikana saatu riittävä otantaa päätelmien tekemiseksi.	Rankka lumisate voi häiritä HHJ-kameroiden näkemä ja toimivuutta. Lumisateella ei pitäisi olla vaikutusta Navtechin toimintaan.

				Arvio käyttäjätarpeiden täyttymisestä			
nro	Käyttäjätarpeen kuvaus	Tarkennuksia käyttäjätarpeeseen	Perustelut / kommentit	Flir	Nav.	Pilotin havainnot	Kommentit tekniikoiden asettamista rajoituksista / muiden tunneleiden kokemukista
d)	Ajoradan ollessa luminen			O	EOS	Lumisista olosuhteista ei pilotin aikana saatu riittävää otantaa päätelmien tekemiseksi.	Ajoradalla olevan lumen ja erityisesti aurauksen on operointikäytössä havaittu tuottavan runsaasti Flirin aiheettomia ja kunnossapitotoimista johtuvia hälytyksiä. Navtechin toiminnasta ei ole ulkomaisia kokemuksia, lähtökohtaisesti lumella ei pitäisi olla vaikutusta toimintaan.
e)	Lämpötilan ollessa -30 - + 30 °C			EOS	EOS	-	Lämpötilan vaikutuksesta järjestelmien toimintaan ei ole tietoa. Flirin toimintaedellytykset riippuvat käytettävän kameran ominaisuuksista. Navtech on ilmoittanut suunnitelleensa tutkat toimimaan vielä -30 °C pakkasessa.
f)	Tunnelivalaistuksen säätyessä			O	K	Flirin hälytykset suodatetaan valaistuksen säädön aikana. Navtechin järjestelmän toimintaan valaistuksen säädöllä ei havaittu olevan vaikutusta.	Mestarintunnelin kaltainen tunnelivalaistus, jossa valaistusta säädetään valaisimia syyttämällä ja sammuttamalla, aiheuttaa Flirille suuria vaikeuksia ja sen vuoksi hälytykset joudutaan suodattamaan noin minuutin ajan valaistussäädön yhteydessä. Portaattomasti säädettävää LED-valaistusta käytettäessä ongelmaa ei Suomen maahantuoja Sabikin mukaan pitäisi olla. Valaistuksella ei ole vaikutusta Navtechin toimintaan.
g)	Matalalta paistavassa auringossa			O	K	Matalalta paistava aurinko tuotti muutamia Flirin aiheettomia hälytyksiä heijastuksista kosteasta ajoradasta. Navtechin toimintaan tällä ei havaittu olevan vaikutusta.	Matalalta paistavan auringon heijastukset tai auringonpaiste suoraan kameraan häiritsevät merkittävästi Flirin toimintaa. Navtechiin auringonpaisteella ei ole vaikutusta.
h)	Näkyvyyden ollessa vähintään X metriä			O	K	Pilotin aikana ei saatu kokemuksia järjestelmien toiminnasta rajoitetusta näkyvyydestä.	Rajoittunut näkyvyys esim. savun tai sumun vuoksi heikentää Flirin toimintaa. Navtechiin tällä ei ole vaikutusta.
1.15	HHJ:n tulee toimia siten, että jos jonkin osa-alueen kaistakohtainen liikenteen sujuvuusluokka alenee pysähteleväksi (liikennevirran keskinopeus 10-25 % vapaan virran keskinopeudesta), niin...						
a)	HHJ ei tuota hitaan ajoneuvon hälytyksiä kyseiseltä kaistalta.			O	O	-	Molemmissa järjestelmissä on ruuhkantunnistustoiminto, joka suodattaa useimmat ruuhkanaikaiset hitaan ajoneuvon hälytykset pois.
b)	HHJ tuottaa yhdestä pysähtyneestä jonosta vain yhden pysähtyneen ajoneuvon hälytyksen. Järjestelmä saa tuottaa kyseiseltä osa-alueelta ja kaistalta uuden pysähtyneen ajoneuvon hälytyksen vasta, kun liikenne on välissä ollut luokassa "sujuvaa".			O	O	-	Molemmissa järjestelmissä on ruuhkantunnistustoiminnot, jotka suodattavat ruuhkan aikana useimmat pysähtyneen ajoneuvon hälytykset pois.
1.16	HHJ:n tulee toimia siten, että järjestelmä antaa yhdestä ja samasta häiriöstä vain yhden hälytystyyppin hälytyksen.	HHJ ei saa antaa esim. pudonneen esineen ja pysähtyneen ajoneuvon hälytystä samasta tilanteesta.		O	O	Flir antoi pitkään paikallaan olleista pysähtyneistä ajoneuvoista joissain tapauksissa sekä pysähtyneen ajoneuvon että pudonneen esineen hälytyksiä. Navtech antoi osasta hitaista ajoneuvoista sekä hitaan että pysähtyneen ajoneuvon hälytykset.	Flir ei anna samasta pysähtyneestä ajoneuvosta tai pudonneesta esineestä uutta hälytystä niin kauan kuin edellinen on aktiivinen eli 30 s aikana. Navtech puolestaan antaa kävelynopeudella ajavasta ajoneuvosta pysähtyneen ajoneuvon hälytyksen.

nro	Käyttäjätarpeen kuvaus	Tarkennuksia käyttäjätarpeeseen	Perustelut / kommentit	Arvio käyttäjätarpeiden täyttymisestä			Kommentit tekniikoiden asettamista rajoituksista / muiden tunneleiden kokemuksista
				Flir	Nav.	Pilotin havainnot	
1.17	HHJ:ssa tulee olla mahdollista käyttää poikkeustilannekohtaisia poikkeusohjelmointeja ("Skenaario"), jotka muuttavat järjestelmän toimintaparametrejä ja kytkeytyvät päälle ja pois päältä sekä automaattisesti että käyttäjän asettamana.			K	EOS	-	Flirissä on useita skenaarioita, joista osa on hankekohtaisia. Myös Navtechissa järjestelmä esimerkiksi suodattaa ruuhkanaikaiset hälytykset.
1.18	HHJ:lle asetettavat hitaan ajoneuvon hälytysrajat tulee olla järjestelmän pääkäyttäjän säädettävissä (kynnysarvo X... Y km/h, mittaustarkeus ±Z km/h).		X,Y ja Z määritetään hankekohtaisesti.	-	-	-	Molemmissa järjestelmissä asetukset ovat muutettavissa.
1.19	HHJ:n tulee toimia siten, että järjestelmä ei tuota hälytyksiä suljetuilta kaistaosuuksilta tai pois toiminnasta kytkettyjen laitteiden (esim. HHJ-kamerat) osalta.			K	O	-	Flirissä hälytykset suljetuilta kaistoilta suodatetaan. Myöskään pois toiminnasta kytketyiltä laitteilta hälytyksiä ei tule. Navtechissa laitekohtainen suodatus onnistuu. Kaistakohtainen suodatus on todennäköisesti mahdollista, jos käytetään tarpeeksi tiheää laiteväliä.
2. Yhteistoiminta muiden järjestelmien kanssa							
2.1	HHJ:n tulee kyetä vastaanottamaan tilannetietoa (esim. suljetut kaistaosuudet), ohjauksia (esim. huonon sään erikoistoiminnon käynnistys) ja toimintaparametrien raja-arvoja tunnelin liikenteenhallintajärjestelmältä.			-	-	-	Flirissä toiminto on olemassa.
2.2	HHJ:n tulee kytkeytyä kokonaan ja yksittäisen havaintolaitteen (esim. HHJ-kamera) osalta ja tietyn hälytystyyppin osalta pois toiminnasta tunnelin liikenteenhallintajärjestelmän kautta annetun komennon perusteella.			-	-	-	-
2.3	HHJ:n tulee toimia siten, että häiriöhälytysten kuittauksia voidaan tehdä HHJ:n oman käyttöliittymän ohella tunnelin liikenteenhallintajärjestelmän kautta.			-	-	-	Suomen toteutuksissa Flirin hälytykset kuitataan tunnelin liikenteenhallintajärjestelmän kautta.
2.4	HHJ:n tulee kyetä lähettämään hälytystiedot (häiriötyyppi, tunneliputki, kaistaosuuksien tunnelin liikenteenhallintajärjestelmälle).			-	-	-	Toiminto on toteutettavissa kumpaankin järjestelmään.
2.5	HHJ:llä tulee olla mahdollista lähettää hälytystiedot erilliselle liikennekamerajärjestelmälle järjestelmäkohtaisesti määritellyn rajapinnan kautta.			-	-	-	Flir lähettää hälytystiedot tunnelin liikenteenhallintajärjestelmälle. Navtechin järjestelmä on käyttöliittymän käyttöohjeen mukaan integroitavissa liikennekamerajärjestelmän kanssa.
2.6	HHJ:n käyttöliittymään tulee olla mahdollista käyttää etäyhteydellä myös muualta kuin pääkäyttöpaikasta.			-	-	-	Molempia järjestelmiä on mahdollista käyttää etäyhteydellä.
2.7	HHJ:n tulee toimia siten, että HHJ-kameroiden reaaliaikaista videokuvaa voidaan käyttää myös muissa liikennekeskuksen järjestelmissä.	Vaatus koskee vain kamerapohjaista HHJ:ä.		-	-	-	FLUX:in hälytyskuvat heijastetaan automaattisesti liikennekeskuksen valvomon seinälle.
3. HHJ:n käyttöliittymä							

nro	Käyttäjätarpeen kuvaus	Tarkennuksia käyttäjätarpeeseen	Perustelut / kommentit	Arvio käyttäjätarpeiden täyttymisestä			Kommentit tekniikoiden asettamista rajoituksista / muiden tunneleiden kokemuksista
				Flir	Nav.	Pilotin havainnot	
3.1	HHJ:n tulee näyttää listaus kuittaamattomista hälytyksistä HHJ:n käyttöliittymän päänäkyvässä.			-	-	FLUX:in kuittaamattomat hälytykset ovat listattuna käyttöliittymän päänäkyvässä. Myös Navtechin päänäkyvässä hälytykset on listattu, pilotin aikana niitä ei tosin kuitattu.	-
3.2	HHJ:n tulee esittää HHJ:n käyttöliittymässä hälytykset väärään suuntaan ajavasta tai pysähtyneestä ajoneuvosta selvästi muista hälytyksistä eroteltuna.	Esimerkiksi hälytyslistan ylimpänä tai selkeä huomioväri.		-	-	-	-
3.3	HHJ:n tulee esittää HHJ:n käyttöliittymässä liikenteen sujuvuusluokka kaistoittain ja tunnelijaksoittain.			-	-	FLUX:issa kyseinen toiminto on. Navtechilla liikenteen ruuhkautuminen ilmaistaan käyttöliittymän karttanäkyvässä, sujuvuusluokkatiedotkin todennäköisesti saa näkyviin.	-
3.4	Pääkäyttäjällä tulee olla mahdollista valita HHJ:n käyttöliittymän asetuksista, minkälaisen indikaation järjestelmä antaa liikenteen sujuvuusluokan laskusta ja mitä kaista- ja aluerajauksia ja hälytyskriteereitä liikenteen sujuvuuden seurannassa käytetään.			-	-	-	-
3.5	HHJ:n tulee esittää HHJ:n käyttöliittymässä hälytyksen yhteydessä tieto häiriötyypistä, tunneliputkesta ja kaistaosuudesta.			-	-	Toiminto on molemmissa järjestelmissä.	-
3.6	HHJ:n tulee toimia siten, että HHJ-käyttöliittymästä voidaan seurata reaaliaikaista videokuvaa vähintään viidestä eri HHJ-kamerasta samanaikaisesti.	Vaatus koskee vain kamerapohjaista HHJ:ä.		-	-	-	-
3.7	HHJ:n tulee toimia siten, että HHJ:n käyttöliittymän hälytyslistauksesta saadaan näkyviin reaaliaikainen videokuva, hälytyshetken pysäytyskuva ja videotallenne tapahtumapaikalta. Videotallenteen tulee alkaa vähintään X s ennen ja päättyä vähintään Y s häiriön havaitsemishetken jälkeen. Hälytyksen havaitsemishetki ja hälytyksen paikka tulee ilmetä videotallenteesta. Hälytyksen paikka tulee esittää myös hälytyshetken pysäytyskuvasssa.		Sopivat arvot X:lle ja Y:lle määritetään hankekohtaisesti. Esimerkiksi Mestarintunnelissa X = Y = 35 s.	-	-	FLUX:issa on kyseinen toiminto. Hälytyksen sijainti esitetään paikallaan olevien objektien eli pysähtyneen ajoneuvon ja pudonneen esineen hälytyksissä.	Navtechin järjestelmä on käyttöjärjestelmän käyttöohjeen mukaan integroitavissa liikennekamerajärjestelmän kanssa.
3.8	HHJ:n tulee tallentaa hälytysloki sekä videotallenteet hälytyksistä vähintään X kuukauden ajaksi.		X määritetään hankekohtaisesti, vähintään kuitenkin 1 kk.	-	-	-	Hälytysloki ja videotallenteiden tallennukset toteutetaan hankekohtaisesti. Tallennusaika voi olla periaatteessa miten pitkä hyvänsä, jos palvelimelle varataan tallennustilaa.
3.9	HHJ:n tulee toimia siten, että kohdan 3.8 tietojen tulee olla helposti kopioitavissa palvelimelta yleisesti käytössä olevassa muodossa (esim. Excel).			-	-	-	Molempien järjestelmien hälytyslokot saadaan tulostettu Excel-formaatissa. Flirin kameratallenteet saadaan yleisessä .avi -formaattissa.

nro	Käyttäjätarpeen kuvaus	Tarkennuksia käyttäjätarpeeseen	Perustelut / kommentit	Arvio käyttäjätarpeiden täyttymisestä			Kommentit tekniikoiden asettamista rajoituksista / muiden tunneleiden kokemuksista
				Flir	Nav.	Pilotin havainnot	
3.10	HHJ:n tulee toimia siten, että käyttäjä pystyy kuittaamaan HHJ:n antaman hälytyksen, jolloin kuitattu hälytys poistuu järjestelmän aloitusnäkyvästä.			-	-	-	Toiminto on toteutettavissa kummassakin järjestelmässä.
3.11	HHJ:n tulee toimia siten, että käyttäjä pystyy kuittaamaan HHJ:n toimintahäiriöstä antaman vikailmoituksen.			-	-	-	-
3.12	HHJ:n tulee toimia siten, että käyttäjä pystyy selaamaan käyttöliittymästä myös kuitattuja hälytyksiä sekä hälytyksiä, joita ei ole välitetty tunnelin liha-järjestelmälle (esim. valaistuksen säätötilanne).			-	-	-	Kaikki hälytykset ovat selattavissa järjestelmien hälytyslokeissa. FLUX:issa hälytykset, joista ei ole lähetetty tietoa tunnelin liikenteenhallintajärjestelmälle, tallennetaan "rejected" -kansioon.
3.13	HHJ:n tulee toimia siten, että käyttäjä voi kytkeä HHJ:n osittain pois päältä tietyksi määräajaksi ja välittömästi takaisin päälle (tietty kaista / tieosuus / HHJ-kamera tai tutka).		Käyttäjän tekemien muutosten tulee olla voimassa vain tietyn, lyhyen määräajan, koska erikoistoiminnot unohtuvat helposti päälle. Vrt. myös vaatimus 2.2.	-	-	-	Flirissä tietyt HHJ-kamerat voi kytkeä pois toiminnasta.
3.14	HHJ:ssa tulee olla mahdollista käyttäjän käynnistää poikkeuksellisia liikenne- tai ympäristöolosuhteita varten tehty erikoisohjelma tietyksi määräajaksi (esim. "märkä tie" -skenaario) sekä ottaa erikoisohjelma välittömästi pois käytöstä.		Vrt. myös vaatimus 1.14.	-	-	-	FLUX:issa toiminto on.
3.15	HHJ:n tulee toimia siten, että pääkäyttäjällä pystyy tekemään kohdissa 3.13 ja 3.14 mainitut muutokset myös ilman määräaika.			-	-	-	-
3.16	HHJ:n tulee toimia siten, että pääkäyttäjällä pystyy kytkemään tietyt hälytystyypit pois päältä (määräajaksi tai ilman).			-	-	-	-
3.17	HHJ:n tulee toimia siten, että käyttöliittymässä on valmiina useita erilaisia hälytysten ääni-indikaatioita, joista yksi on kokonaan ääneton indikaatio. Pääkäyttäjän tulee voida valita käytettävä ääni-indikaatio hälytystyyppikohtaisesti.			-	-	-	-
3.18	HHJ:n käyttöliittymän avulla tulee olla mahdollista hakea kohdassa 1.12 mainittuja tilastoja liikennemääristä ja ajonopeuksista.			-	-	-	FLUX:in liikennemäärä- ja keskinopeustilastot ovat haettavissa ainakin graafisina, taulukkomuotoisen haun mahdollisuudesta ei ole tietoa. Navtech ei tilastoi liikennemääriä ja keskinopeuksia.
3.19	HHJ:n tulee toimia siten, että HHJ:n käyttöliittymässä on näkyvä, josta ilmenee käytössä olevat erikoisohjelmat ("skenaariot"), niiden käynnistysajankohta ja mahdollinen käynnistäjä sekä voimassa olevat käyttäjän / pääkäyttäjän säädettävissä olevat parametrit.			-	-	-	-
4. Käyttäjätarpeet HHJ:n huolto- ja ylläpitotoimenpiteille							
4.1	HHJ:n tulee toimia siten, että se ei vaadi tieliikennekeskukselta huoltotoimenpiteitä.			-	-	-	Kumpikaan järjestelmä ei lähtökohtaisesti aiheuta huoltotoimia tieliikennekeskukselta.

nro	Käyttäjätarpeen kuvaus	Tarkennuksia käyttäjätarpeeseen	Perustelut / kommentit	Arvio käyttäjätarpeiden täyttymisestä			
				Flir	Nav.	Pilotin havainnot	Kommentit tekniikoiden asettamista rajoituksista / muiden tunneleiden kokemuksista
4.2	HHJ tulee olla toteutettavissa siten, että järjestelmän vaatimat huolto- ja ylläpitotoimenpiteet tunnelissa ovat...						
a)	mahdollisimman hyvin ennakoitavissa.			-	-	-	Flirillä huoltotoimenpiteet ovat heikommin ennakoitavissa, koska kameroiden pesutarve riippuu olosuhteista.
b)	mahdollisimman lyhytkestoisia.			-	-	-	Yksittäisten laitteiden huollot ja pesut ovat melko nopeasti toteutettavissa.
c)	toimenpidevälin osalta kohtuullisia.			-	-	-	Flir vaatii säännöllistä kameroiden puhdistusta. Puhdistusväli riippuu vuodenajasta ja sääoloista. Navtechin ainoa tunnelissa tehtävä säännöllinen huoltotoimenpide on tutkien moottoreiden hihnavaihto 3 vuoden välein.
4.3	HHJ tulee olla toteutettavissa siten, että huolto- ja ylläpitotoimenpiteiden vaatimat kaistansulut voidaan minimoida.			-	-	-	Tarvittavat kaistansulut riippuvat kameroiden ja tutkien asennuspaikoista. Seinään sijoitetut laitteet eivät välttämättä vaadi kuin reunimmaisien kaistan sulun, keskeimmällä olevan laitteet edellyttävät useamman ajokaistan sulun.
4.4	HHJ:n tulee olla yksittäisen laitteen huolto- ja ylläpitotoimenpiteiden aikana muilta osin normaalisti käytettävissä. Järjestelmään tunnelin operoinnin aikana tehtävät pienet asetusmuutokset tulee olla tehtävissä siten, että ne eivät edellytä HHJ:n kytkemistä pois toiminnasta kuin korkeintaan hetkellisesti. Ks. myös vaatimus 4.6.			-	-	-	Molemmissa järjestelmissä muut laitteet ovat toiminnassa yhden kameran tai tutkan ollessa pois toiminnasta. Laitteen poissaolon vaikutus järjestelmän havainto-ominaisuuksiin riippuu laitetiheydestä ja eri laitteiden havaintoalueiden mahdollisesta päällekkäisyydestä.
4.5	HHJ:n asetuksia tulee voida säätää ja vikoja diagnosoida tai kuitata laitetoimittajan etäyhteyden avulla.			-	-	-	Etäyhteydet ovat mahdollisia kummallakin järjestelmällä.
4.6	HHJ:n toiminta tulee olla säädettävissä ja kalibroituva käyttöönoton jälkeen siten, että yhtäjaksoinen käyttökatkos on enintään X tuntia.		X määritetään hankekohtaisesti, mutta on enintään 12 tuntia .	-	-	-	Tämä riippuu tehtävien toimenpiteiden laajuudesta.

Haastatteluiden aiheet

Ruottinen, K. 2015. Ylitarkastaja, Liikennevirasto. Haastattelu 2.7.2015. Muistio löytyy selvityksen taustamateriaalista.

- Pilottihankkeen käytännön toteutus
- Navtechille ennen pilottia ilmoitetut toiminnalliset vaatimukset ja toiveet
- Tutkan käyttöönottilaisuuden kulku 24.2.2015 aamuyöllä
- Havainnot ja näkemykset pilotin sujuvuudesta ja Navtechin toiminnasta.

Tarkki, K. 2015. Liikennepäivystäjä, Liikennevirasto. Haastattelu 29.5.2015. Muistio löytyy selvityksen taustamateriaalista.

- Liikennepäivystäjän toimintatavat HHJ-hälytyksissä
- Näkemykset eri hälytystyyppien tärkeydestä
- Kokemukset eri tunneleiden HHJ:istä
- Kehitysehdotukset HHJ:ien toiminnan ja käytettävyyden parantamiseksi.

Taskula, K. & Hellroos, M. 2015. Sabik Oy. Haastattelu 12.5.2015 ja puhelinhaastattelu 5.8.2015. Muistio löytyy selvityksen taustamateriaalista.

- Flirin järjestelmän tekninen toiminta
- Flirin eri hälytystyyppien toiminta ja hälytysten raja-arvot
- Kokemukset Mestarintunnelin HHJ:n käyttöönotosta, virityksestä ja järjestelmän toiminnasta
- Keinot kamerapohjaisen HHJ:n toimintaedellytysten parantamiseksi
- Kamerapohjaisen HHJ:n tekninen kehitys ja tulevaisuudennäkymät.

Ylikorpi, J. 2015. Telematiikka-asiantuntija, Varsinais-Suomen ELY-keskus. Haastattelu 9.6.2015. Muistio löytyy selvityksen taustamateriaalista.

- Kokemukset Isokylän tunnelin HHJ:n hankinnasta ja toiminnasta
- Näkemykset muiden Suomen tunneleiden HHJ:istä
- HHJ:lle asetettavien tuotevaatimusten määrittämisprosessin kulku
- Havainnot kamera-HHJ:n toiminnasta
- Arvio muiden HHJ-tekniikoiden soveltuvuudesta Suomen tunneleihin
- Kommentit tieliikennekeskuksen kanssa kartoitettuun käyttäjätarvelistaukseen
- Tulevissa HHJ-toteutuksissa huomioitavat näkökohdat.

Sähköpostihaastattelut

Cewers, M. 2013. Swarco Sverige, Ruotsi. Sähköpostihaastattelu 2013.

- Navtechin ja Saabin tutkien toiminta ja kantamat.

Dubbert, J. 2013. Ave Verkehrs- und Informationstechnik GmbH, Saksa. Sähköpostihaastattelu 2013.

- MAVE -tun silmukajärjestelmän tekninen toiminta ja ominaisuudet.

Flynn, P. 2015. Navtech, Englanti. Sähköpostihaastattelu 2015.

- Navtechin järjestelmän tekninen toiminta ja ominaisuudet
- Pilottilaitteiston rakenne, asetukset ja pilotin aikana tehdyt asetusmuutokset.

Jaatinen, M. 2015. Liikennekeskuspäällikkö, Liikennevirasto. Sähköpostihaastattelu 2015.

- Tieliikennekeskuksen kokemukset kamera-HHJ:n toiminnasta Suomen tunneleissa
- Kokemukset yksinkertaisten hitaat ajoneuvot tunnistavien silmukajärjestelmien toiminnasta
- Havainnot kamera-HHJ:n toiminnasta Tukholman tunneleissa Liikenneviraston Tukholman liikennekeskukseen tekemältä vierailulta talvelta 2014 – 15.

Köll, M. 2013. Felbertauernstrasse AG, Itävalta. Sähköpostihaastattelu 2013.

- Kokemukset MAVE -tun silmukajärjestelmän toiminnasta Felbertauerntunnelissa Itävallassa.

Ljungberg, K. 2013. Trafikverket, Ruotsi. Sähköpostihaastattelu 2013.

- Trafikverketin kokemukset Navtechin tutkajärjestelmän pilotista Södra Länkenin tunnelissa.

Petersen, R. 2013. Hampurin kaupunki, Saksa. Sähköpostihaastattelu 2013.

- Kokemukset Elbe-tunnelin Flirin kamerapohjaista ja MAVE -tunin silmukapohjaista järjestelmää vertaileesta pilotista.

Punternold, A. 2015. Statens vegvesen, Norja. Sähköpostihaastattelu 2015.

- Kokemukset Navtechin tutkan toiminnasta Byfjordin ja Mastrafjordin tunneleissa Norjassa.

Sallinen, R. 2015. Valtti-yksikkö. Sähköpostihaastattelu 2015.

- Kokemukset Hämeenlinnan tunnelin yksinkertaisen hitaat ajoneuvot tunnistavan silmukajärjestelmän toiminnasta.

Seppinen, H. 2015. Järjestelmäasiantuntija, Valtti-yksikkö. Sähköpostihaastattelu 2015.

- Liikenneviraston teknisten järjestelmien ja palvelimien toiminta.

