



AUTOMOTO

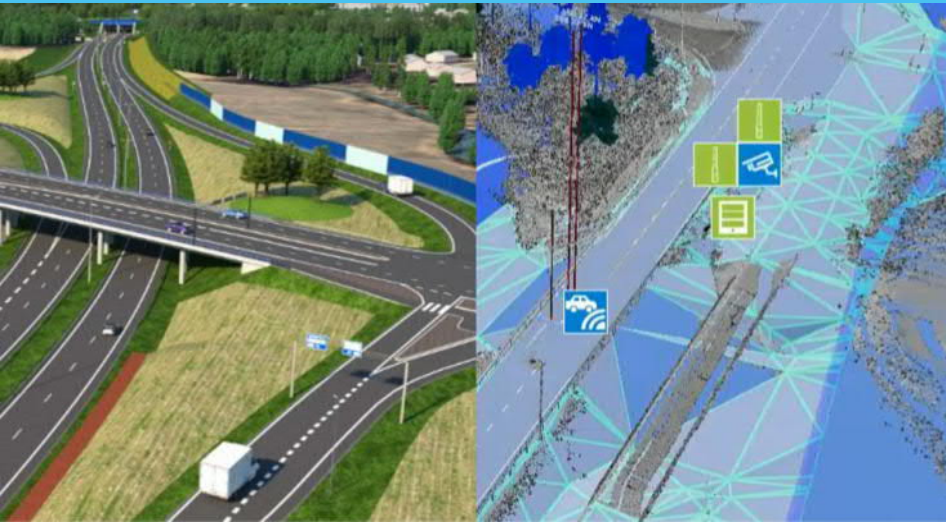
Tieverkon palvelutasot
automaattiliikenteelle

3.6.2021

Nordic
WAY3 

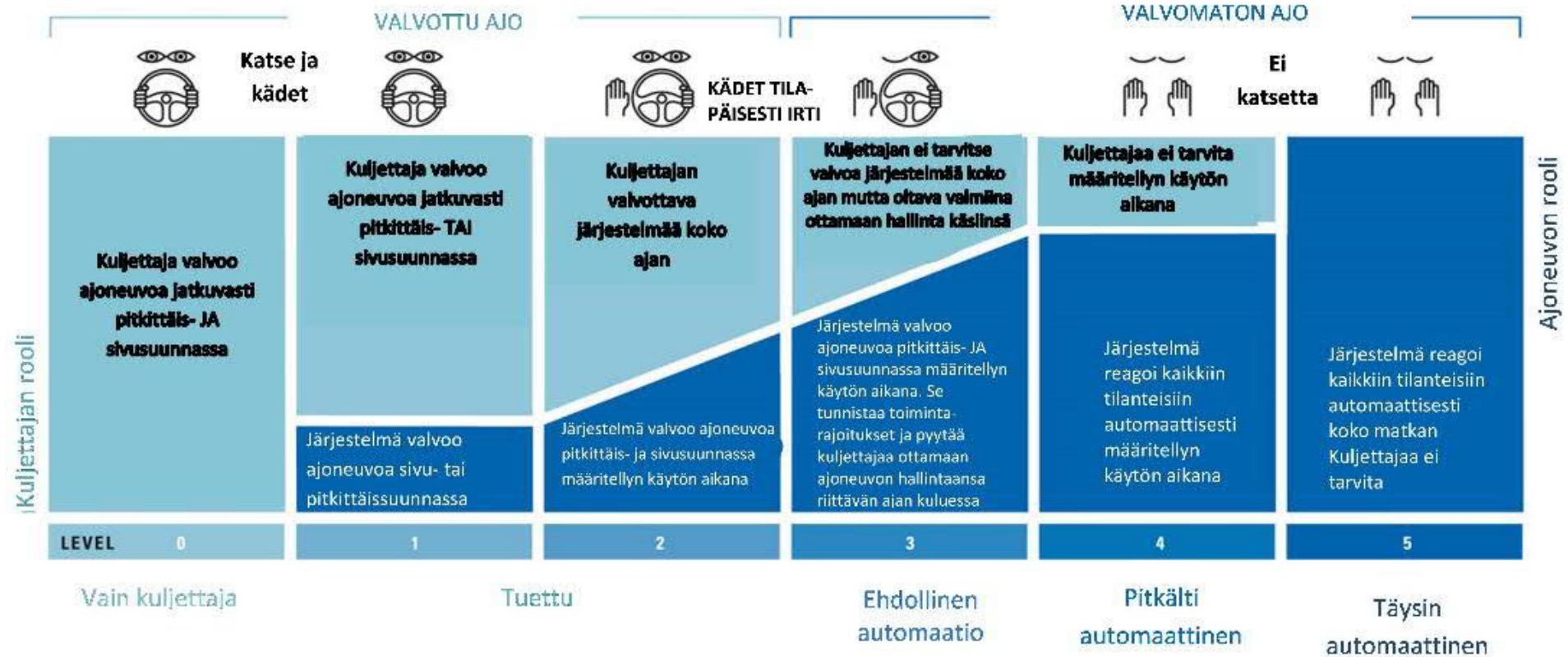
 Co-financed by the Connecting Europe
Facility of the European Union

Tutkimusprojektin tarkoitus

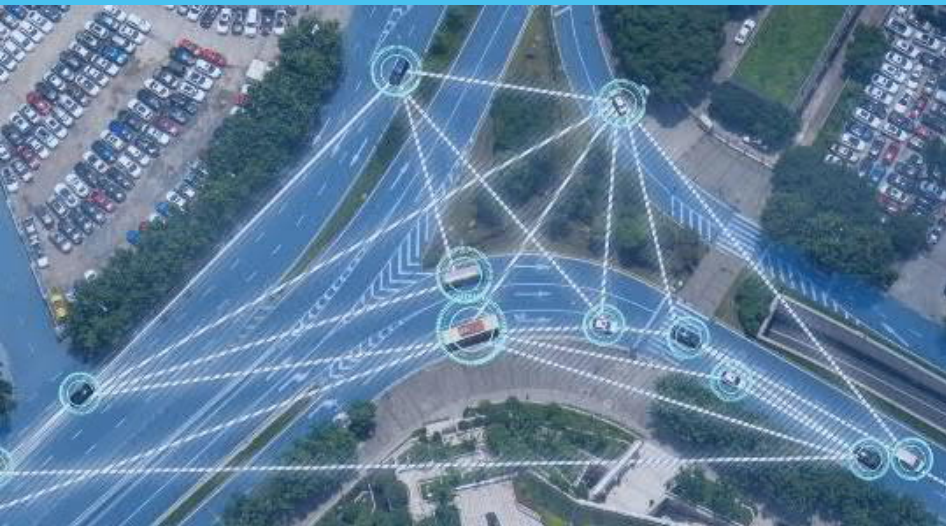


- Selvittää valitun moottoritieosuuden (VT3/E12) soveltuvuus SAE-tason 3 tai 4 (SAE 2018) automaation ajoneuvoille automaattiajossa
- Ehdottaa tapaa luokitella Suomen tieverkko automaattiajamisen näkökulmasta eli tien palvelutasoluokittelu automaattiliikenteelle
- Laatia ehdotus jatkotoimille tutkimus- ja kehitystyössä sekä kansainvälisessä yhteistyössä

SAE-tasot



Tutkimusalue VT3/E12 Hki-Tre



Projektin sisältö

ODD = Operational Design Domain
(suunniteltu toimintaympäristö)

GNSS = Global Navigation Satellite
System (globaali
satelliittinavigointijärjestelmä, mm.
GPS, Glonass, Galileo)

MRM = Minimum Risk Maneuver
(automaattiajoneuvon suorittama
minimiriskimanööveri)

Osa-alue 1 (inventoinnit ja maastomittaukset):

- Tietojärjestelmissä olevat ODD-luokituksen mukaiset olennaiset staattiset ja dynaamiset tiedot
- Viestintäverkkojen ominaisuudet (maastomittaukset & tietojärjestelmäpoiminnot)
- GNSS paikannussignaalien laatu ja paikannuksen parantamispalveluiden saatavuus (maastomittaukset)
- Automaatiota haittaavat & estävät sää- ja keliolosuhteet ja niiden esiintyvyys, tien pinnan kitka (tietojärjestelmäpoiminnot)
- Liikenteen ja liikkujan palveluiden saatavuus (kirjallisuusselvitys)
- Tiestötietoinventointi (laserkeilaus, 4K tiekuvaus, 360-kuvaus, tien pinnan kuntomittaukset, MRM-alueiden kartoitukset)

Osa-alue 2:

- Moottoriteiden palvelutasoluokittelu automaattiliikenteelle

Osa-alue 3:

- Jatkotutkimusaihiot, syötteet kv-yhteistyöhön

Organisointi

- Tilaaja ja projektin ohjaus:
 - Väylävirasto
- Tukiryhmä:
 - Fintraffic
 - Traficom
 - Ilmatieteen laitos
 - LVM
- Projektikonsultit:
 - Traficon-Ramboll
 - Sitowise
 - VTT

Aikataulu

	2020		2021								
	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0. Projektisuunnitelman laadinta											
1.1 Fyysinen infrastruktuuri ja siihen liittyvät tiedot											
1.2 Viestintäverkot											
1.3 Paikannus ja paikannuspalvelut											
1.4 Sää- ja keliolosuhteet											
1.5 Liikkujan palvelut											
1.6 Tiestötietojen maastomittaukset											
2. Tien palvelutasoluokittelu automaattiliikenteelle											
3. Tutkimus- ja kehitys- sekä kansainvälisen yhteistyön jatkotoimet											
4. Projektinhallinta											
- Hallinnonalan laaja projektiryhmä											
- Väylän ja konsultin ydinryhmä											
- Loppuraportin ja esittelymateriaalin laadinta											
- Tulosten esittely sidosryhmille											

An aerial photograph of a complex highway interchange with multiple lanes and overpasses. Several vehicles, including cars and buses, are visible on the roads. Overlaid on the image are several semi-transparent blue circles and lines, likely representing a traffic analysis or simulation. A large blue banner is at the bottom of the image.

Osaprojektit

Osatehtävä 1.1: Fyysinen infrastruktuuri ja siihen liittyvät staattiset ja dynaamiset tiedot ODD-luokitteluun perustuen

Osaprojektin sisältö

- Tietojärjestelmäpoiminnat
 - Staattiset tiedot
 - Dynaamiset tiedot (mm. onnettomuudet)
- Tien ”pilkkominen” homogeenisiin väleihin
 - Katkoskohta attribuutin arvon vaihtuessa

Keskeiset tulokset

- ODD ympäristön jatkuvuus korridorissa
 - Tieympäristön suunnitteluparametrit ovat riittävät korkean tason automaattiajoneuvoille
 - Kriittisiksi ODD attribuuteiksi nousevat infran ylläpitoon kytkeytyvät asiat, kuten tiemerkintöjen kunto, pinnoitteen kunto jne.
- Turvalliset tilat minimiriskimanöövereihin (MRM)
 - Piennarleveysvaatimus (>2m) täyttyy vain oikean ajokaistan osalta
 - Vasemman kaistan osalta palvelutasotekijä voi olla erillisten levennysten saatavuus
- Tuki keskeisimmille AD käyttötapauksille
 - Tarkasteltu moottoritien autopilottia
 - Rekkojen letka-ajo tuo erilaisia vaatimuksia mm. letkojen kokoamisalueille sekä pientareiden kantavuudelle (MRM:iä ajatellen)

Road id	Drivingside name	Start Road id	Start date	End Road id	End date	SPEED LIMIT (km/h)	WIDTH OF CARRIAGEWAY (m)	SHOULDER WIDTH (m)	SHOULDER WIDTH 2 (m)	RC LID	ROAD LIGHT	FENCES (urban side 1)	ROAD TYPE	TYPE OF PAVEMENT	WINTER MAINTENANCE CLASS	AVERAGE DESIGN CAPACITY	Length of the segment	TRAFFIC MANAGEMENT SYSTEM	VARIABLE SPEED LIMIT	SLOW VEHICLE DETECT STATE	TRAVEL TIME INFORMATION	TRAFFIC ANNOUNCEMENT RATE (url/m/s)	ANIMAL WARNING ACCOUNTEMENT RATE (url/m/s)	ROAD WORK RATE (url/h)	OBSTACLE ON ROAD
1	1	100	0	100	200	10	700	150	50	Y	Var	na	Motorway	hard asphalt	1	Good	300	Kaksipiletti	Var	Na	Var	1.50	1.50	2.01	1.10
2	1	100	200	100	550	10	750	150	125	Y	Var	na	Motorway	hard asphalt	1	Good	475	Kaksipiletti	Var	Na	Var	1.50	1.50	2.01	1.10
3	1	100	550	100	1920	120	750	150	125	Y	Var	na	Motorway	hard asphalt	1	Good	1345	Kaksipiletti	Var	Na	Var	1.50	1.50	2.01	1.10
4	1	100	1920	100	4404	120	750	150	125	Y	Var	na	Motorway	hard asphalt	1	Good	4934	Kaksipiletti	Var	Na	Var	1.50	1.50	1.14	0.75
5	1	100	4404	100	6105	120	750	150	125	Y	Var	all fence	Motorway	hard asphalt	1	Good	351	Kaksipiletti	Var	Na	Var	1.50	1.50	1.14	0.75
6	1	100	6105	100	7332	120	750	150	125	Y	Var	na	Motorway	hard asphalt	1	Good	521	Kaksipiletti	Var	Na	Var	1.50	1.50	1.14	0.75
7	1	100	7332	100	8	120	750	150	100	Y	Var	na	Motorway	hard asphalt	1	Good	135	Kaksipiletti	Var	Na	Var	1.50	1.50	1.14	0.75
8	1	100	8	100	4197	120	750	150	100	Y	Var	all fence	Motorway	hard asphalt	1	Good	4197	Kaksipiletti	Var	Na	Var	1.50	1.50	1.14	0.75
9	1	100	4197	100	0	120	750	150	100	Y	Var	all fence	Motorway	hard asphalt	1	Good	7103	Na	Na	Na	Na	0.23	0.05	0.92	0.04
10	1	110	0	110	0	120	750	150	100	Y	Var	all fence	Motorway	hard asphalt	1	Good	2532	Na	Na	Na	Na	0.25	0.11	1.49	0.03
11	1	110	0	110	0	120	750	150	100	Y	Var	all fence	Motorway	hard asphalt	1	Good	4905	Na	Na	Na	Na	0.50	0.50	0.62	0.01
12	1	110	0	110	4239	120	750	150	100	Y	Var	all fence	Motorway	hard asphalt	1	Good	4239	Na	Na	Na	Na	0.21	0.32	0.39	0.00
13	1	110	4239	110	6102	120	750	150	100	Y	Var	all fence	Motorway	hard asphalt	1	Good	1742	Na	Na	Na	Na	0.21	0.32	0.39	0.00
14	1	110	6102	110	0	120	750	150	100	Y	Var	all fence	Motorway	hard asphalt	1	Good	6329	Na	Na	Na	Na	0.20	0.32	0.39	0.00
15	1	110	0	110	4359	120	750	150	100	Y	Var	all fence	Motorway	hard asphalt	1	Good	4359	Na	Na	Na	Na	0.30	0.30	0.65	0.29
16	1	110	4359	110	6250	120	750	150	100	Y	Var	na	Motorway	hard asphalt	1	Good	220	Na	Na	Na	Na	0.30	0.30	0.65	0.29
17	1	110	6250	110	0	120	750	150	100	Y	Var	na	Motorway	hard asphalt	1	Good	1100	Na	Na	Na	Na	0.30	0.30	0.65	0.29
18	1	110	0	110	320	120	750	150	100	Y	Var	na	Motorway	hard asphalt	1	Good	320	Na	Na	Na	Na	1.12	0.03	2.30	2.04
19	1	110	320	110	120	100	750	150	100	Y	Var	na	Motorway	hard asphalt	1	Good	500	Na	Na	Na	Na	1.12	0.03	2.30	2.04
20	1	110	120	110	10594	100	700	125	75	Y	Var	na	Motorway	hard asphalt	1	Good	239	Na	Na	Na	Na	1.12	0.03	2.30	2.04
21	1	110	10594	110	1241	100	700	125	75	Y	Var	na	Motorway	hard asphalt	1	Good	202	Homoclinic	Na	Na	Na	1.12	0.03	2.30	2.04
22	1	110	1241	110	2500	100	700	125	75	Y	Var	na	Motorway	hard asphalt	1	Good	1279	Homoclinic	Var	Na	Na	1.12	0.03	2.30	2.04
23	1	110	2500	110	2400	100	700	125	75	Y	Var	na	Motorway	hard asphalt	1	Good	500	Homoclinic	Var	Na	Na	1.50	0.00	16.52	4.50
24	1	110	2400	110	2524	100	700	125	75	Y	Var	na	Motorway	hard asphalt	1	Good	524	Homoclinic	Var	Na	Na	0.76	0.00	2.16	1.10
25	1	110	2524	110	4700	100	700	125	75	Y	Var	na	Motorway	hard asphalt	1	Good	1174	Na	Na	Na	Na	0.76	0.00	2.16	1.10
26	1	110	4700	110	0	100	750	150	125	Y	Var	na	Motorway	hard asphalt	1	Good	1050	Na	Na	Na	Na	0.76	0.00	2.16	1.10
27	1	110	0	110	450	100	750	150	125	Y	Var	all fence	Motorway	hard asphalt	1	Good	450	Na	Na	Na	Na	0.41	0.21	1.10	0.56
28	1	110	450	110	0	120	750	150	125	Y	Var	all fence	Motorway	hard asphalt	1	Good	390	Na	Na	Na	Na	0.41	0.21	1.10	0.56
29	1	110	0	110	0	120	750	150	125	Y	Var	all fence	Motorway	hard asphalt	1	Good	4375	Na	Na	Na	Na	0.41	0.21	1.10	0.56

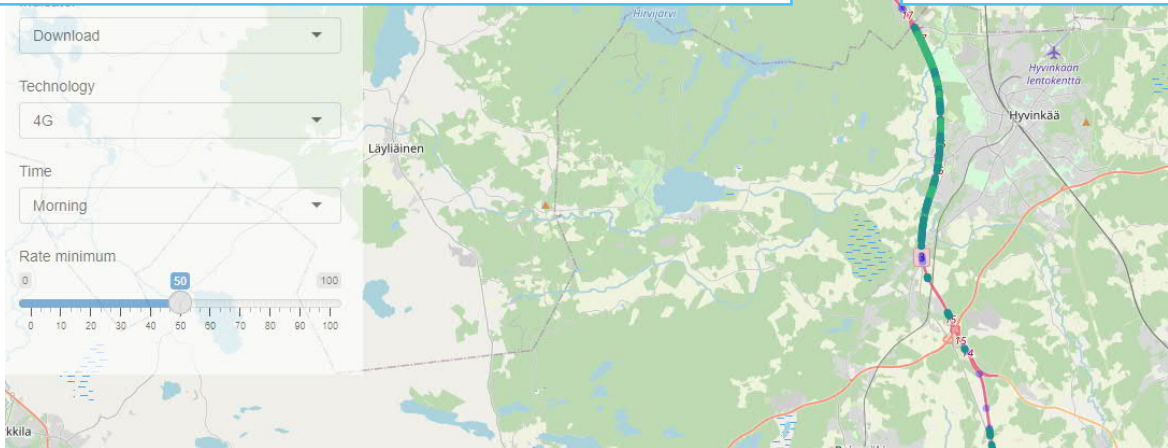
Osatehtävä 1.2: Viestintäverkot

Osaprojektin sisältö

- Viestintäverkkojen maastomittaukset
 - Tietä pitkin ajaen, molemmat suunnat
 - Elisa, Dna, Telia → 4G, 5G
 - Useampi ajo eri vrk-aikoina
- Valokuidun ja sähkön saatavuus (verkkojen lisärakentaminen)
 - Epävirallinen tietopyyntö operaattoreille

Keskeiset tulokset eivät ole vielä käytettävissä

- Viestintäverkkojen epäjatkuvuuskohdat?
 - Katvealueet 1-3 operaattorin osalta
 - Selkeä drop keskeisissä suorituskyvyn tunnusluvuissa (download, upload, latency, jne.)



Osatehtävä 1.3: Paikannus ja -palvelut

Osaprojektin sisältö

- Paikannussignaalien maastomittaukset
 - Tietä pitkin ajaen, molemmat suunnat
 - GPS, Glonass, Galileo
 - Useampi ajo, referenssi Sapcorda PPP
- Paikannuksen korjauspalveluiden saatavuus

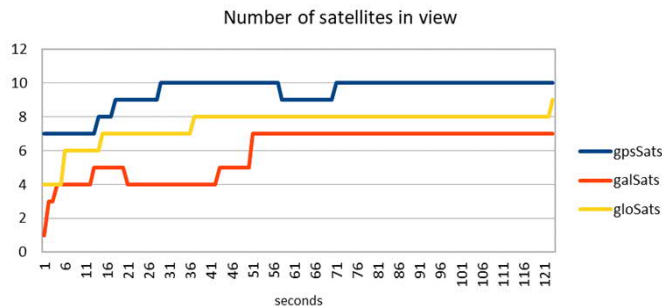


Figure. ArduSimple PPP Sapcorda satellites in view after startup. Galileo is much slower than GPS and Glonass.

Keskeiset tulokset

- GNSS-konstellaatio, joka käyttää kaikkia 3 satelliittijärjestelmää, operoi 83% ajasta cm-tarkkuudessa (moodi 4) ja 96% ajasta vähintään dm-tarkkuudessa (moodi 4/5)
- Keskeiseksi palvelutasotekijäksi nousee paikannuksen signaalivoimakkuus (SNR) > 40 dB perustuen vähintään 5 satelliittiin kustakin kolmesta konstellaatiosta
- Sinänsä paikannustarkkuudessa ei ole eroa konstellaatioiden välillä
- Kallioleikkaukset ja tunneli aiheuttavat katveen, rekat ja isot ajoneuvot ei

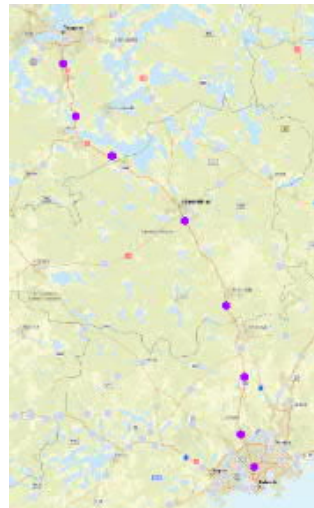
Mode		GPS	Galileo	Glonass	GNSS PPP
0	No fix	0,1	0,1	0,2	0,1
1	3D	7,3	11,4	11,5	0,0
2	DGNSS	3,8	3,9	10,0	4,1
4	Fixed	54,6	64,7	38,8	83,4
5	Float	34,2	20,0	42,0	12,6

Table 2. Availability percentages of the different modes.

Osatehtävä 1.4: Sää- ja keliolosuhteet

Osaprojektin sisältö

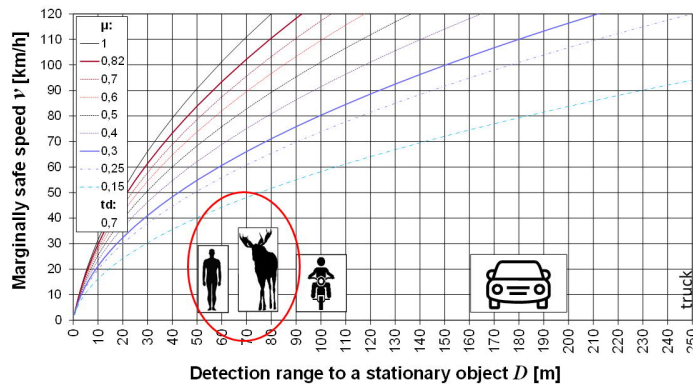
- Tiesääasemien data
 - 8 havaintopaikkaa
 - Näkyvyysmittaukset ja kitkatiedot useamman vuoden ajalta
- Analysointi poimintaehtojen mukaisesti



Havaintoja/tuloksia

- Näkyvyyden kannalta kriittinen havaittava objekti on ajoradalla oleva ihminen tummissa vaatteissa
 - Radiotaajuisella tutkalla ei saada luotettavaa havaintoa riittävän etäältä moottoritienopeuksissa
 - Optisilla antureilla (kamera, Lidar) oletettu, että anturin maksimietäisyys luotettavalle tunnistukselle on 150 m. Tunnistus voi olla mahdollista etäisyyksillä 120-135 m, mutta kenties hieman epäluotettavaa.
- Tutkitaan sellaisten kitka-näkyvyystilanteiden yhdistelmien esiintymistä, joissa turvallinen havaintoetäisyys ei toteudu

Safe speed vs. detection range; response time: t_d [s]



Radar detection ranges

μ range	120 km/h (1.4. - 31.10.)		100 km/h (1.11. - 31.3.)	
	D [m]	min Visibility [m] (= $D/0,5$)	D [m]	min Visibility [m] (= $D/0,5$)
$0,3 \leq \mu < 0,4$	210	420	150	300
$0,4 \leq \mu < 0,5$	165	330	120	240
$0,5 \leq \mu < 0,6$	135	270	100	200
$0,6 \leq \mu < 0,7$	120	240	85	170
$0,7 \leq \mu < 0,8$	105	210	75	150
$0,8 \leq \mu$	95	190	70	140

Osatehtävä 1.4: Sää- ja keliolosuhteet

Havainnot/tuloksia – pölyävä lumi

Pölyävä lumi heikentää anturien toimintaa. On oletettu, että pölyävää lunta esiin seuraavissa olosuhteissa rankan lumisateen aikana

- Jatkuva lumisade >10 cm 4 tunnin aikana
- Jatkuva lumisade >5 cm 4 tunnin aikana ja ilman lämpötila <-2 C sekä tuulen nopeus >8 m/s

Tulosten perusteella keskimääräisen talvikuukauden aikana on vain muutama tunti, jona aikana automaattiauto ei voi operoida pölyävän lumen takia automaattisesti

Havainnot/tuloksia – kitka

Alhaisen kitkan osalta tutkittiin tien pinnan tilaa ja oletettiin, että tienpinnan ollessa jäinen kitka on korkeintaan 0.3

Oletuksena on että ensimmäisen sukupolven ajoneuvot ovat tässä tilanteessa ODD:n ulkopuolella

Kuukausikohtaiset keskiarvot jäisen tienpinnan kestolle ajasta:
Joulukuu 1.5% , Tammikuu 3.4% , Helmikuu 2.4% ,
Maaliskuu 1%

Havainnot/tuloksia - näkyvyys

Näkyvyyden osalta tutkittu tilanteita, joissa näkyvyys alle 500 m

Kriittiseksi raja-arvoksi AV:lle arvioitu 300 m

Heikoimmassa kuukaudessa syyskuussa on keskimäärin 12h, jolloin näkyvyys alle 300 m

Syyskaudella näkyvyys on keskimäärin 1.3% ajasta raja-arvoa heikompi

Osatehtävä 1.5: C-ITS ja muut liikkumisen- ja liikkujan palvelut

Osaprojektin sisältö

- Liikenteen ja liikkujan palveluiden kartoitus kohdealueelta

SP	Service	Data			Free or open data	Licence / fee
		Traffic, disturbances	Weather & road conditions	Other		
Fintraffic	DigiTraffic	x	x	x	x	
FTIA	Digiroad			x		
FMI	Open data		x		x	
FMI	Road Weather Forecasts		x			x
Infotripla	DATEX2 Premium Feed	x	x			x
Infotripla	Crowdsourced traffic warning data	x	x			x
EEE	E3 REST API	x	x			x
Safety4traffic	Accident, Crosswind, Elk, Deer, Reindeer, Road weather and Road work warning services	x	x			x
Roadcloud	Premium connected vehicle data service		x			x
Sitowise	Carrio, Routa	x	x	x		x
Here	Traffic API	x				x
TomTom	Intermediate Traffic service, Traffic API	x				x
Waze	Transport SDK, Connected Citizens Program	x				
OEM & public authorities	Safety Related Traffic Information Ecosystem	x	x			

Keskeiset tulokset;

- Lähes kaikki tarkastellut palvelut saatavilla koko korridorissa
- Tietopalveluilla voidaan tukea automaattiajamista laajentamalla "horisonttia" anturien näkemän ulkopuolelle
- Nykyisten tietolähteiden laatu ei välttämättä ole automaattiajamisen vaatimalla tarkkuustasolla. Esim. C-ITS:ään liittyvä Car2Car vaatii, että tarkkuus pitää olla 10m tasolla, jotta viesti esitetään muille.
 - Myös viranomaislähtöisessä tiedossa, esim. tietyöt ja häiriöt, voi olla tarkennettavaa, jotta laatu on riittävä
 - Tarkistettava, ovatko tietolähteissä kaikki (C-ITS) standardien mukaiset tietokentät saatavilla
- Muistettava, että standardit C-ITS viestit on suunniteltu nostamaan kuljettajan tietoisuutta, ei suoraan vaikuttamaan automaattiajoneuvon toimintaan.
- ETSI:ssä työn alla Release2 viestit, jotka suunniteltu CAV:ēja varten

Osatehtävä 1.6: Tiestötietojen maastomittaukset

Osaprojektin sisältö

- Reuna- ja keskiviivojen kunto, paluuheijastavuus ja MobilEye-näkyvyys (kevätolosuhteet)
- Liikennemerkkien MobilEye- luettavuus
- Eteenpäin otetut 4K tiekuvat
- Panoraamakuvat 360-astetta
- Laserkeilaus, molemmat ajoradat (MRM-alueet, esteet)
- Päällysteen kuntotutkimus (mm. uraisuus)

Keskeiset tulokset

- Retroreflektiivisyyden raja-arvo 100 mcd/m²/lx toteutui hyvin ajoradalla pohjoiseen, ajoradalla etelään tulos jäi pääosin alle raja-arvon johtuen tiemeraintöjen likaisuudesta
- Tiemeraintönnän kunnon raja-arvo 55-70% toteutui vain osittain, mutta tulos ei edusta meraintönnän todellista kuntoa likaisuudesta johtuen
- Preview timen minimivaatimus 1.8s (manuaalisille kuljettajille) toteutui keskimäärin oikealle ja vasemmalle reunaviivalle, mutta keskiviivan osalta tulos jäi kokonaisuudessaan alle raja-arvon
- Likaisuudesta huolimatta MobilEye tunnisti tiemeraintönnät jatkuvasti, lukuun ottamatta hyvin lyhyitä poikkeuksia
- MobilEye löysi liikennemerkit huonoimmillaankin 70%:sti
- MobilEyen hyvät tulokset kevään heikoissa olosuhteissa ovat lupaavia automaattiajamisen kannalta

Osatehtävä 2: Tien palvelutasoluokittelu automaattiliikenteelle

Osaprojektin sisältö

- Osatehtävä on käynnistynyt olemassa olevien palvelutaso- ja ODD-luokitusten tarkastelulla
 - ODD requirements to physical and digital infrastructure based on OEM and ADS statements - MANTRA & EU EIP
 - R&I projects involving OEMs – L3Pilot, 5GMOBIX
 - ISAD – INFRAMIX, supported by CEDR and ASECAP
 - Lisäksi: Austroads, EuroRAP
 - BSI (2020). Operational Design Domain (ODD) taxonomy for an automated driving system (ADS) – Specification. The British Standards Institution PAS 1883:2020.

Keskeiset tulokset

- Laadittu kattava kehikko ISAD-luokittelua varten
- Automaattiajamisen käyttötapaukset:
 - Moottoritie-autopilotti
 - Rekkojen letka-ajo
- Kehikko muodostuu seuraavien pääluokkien perusteella:
 - Fyysinen infra
 - Digitaalinen infra (sis. paikannus ja HD-kartat)
 - Ympäristötekijät
 - Dynaamiset elementit
- Pääluokka jakaantuu n kpl attribuutteihin ja jokainen attribuutti luokkiin A-E
- Jokaisella attribuutilla on minimitaso (käyttötapauksen näkökulmasta)
- Minimitason ylittävät ominaisuudet (tai lisäominaisuudet) nostavat attribuutin ylempään luokkaan
- Raja-arvot asetettu alustavasti osatehtävien inputtien ja ohjausryhmätyön pohjalta

Palvelutasokehikko

1	ISAD/ODD attribute: Digital infrastructure			ISAD level				ADS task facilitated	Alternative attributes or measures	Source document(s)	Comment	
2	Top level	Lower level	E	D	C	B	A					
3			Conventional (physical) infrastructure only, no AV support	Static digital information / map support	Dynamic digital information	Cooperative perception	Cooperative driving			ISAD-HADRIAN		
13		Short-range communication (ITS-G5, C-V2X,...)			Available at selected hot spots	Available at hot spots			High-quality cellular communications	BSI (2020)		
14	Positioning	Positioning: Galileo	ISAD/ODD attribute: Physical infrastructure				ISAD level			ADS task facilitated	Alternative attributes or measures	Source document(s)
15		Localisation assisted	Top level	Lower level	E	D	C	B	A			
16		Localisation assisted satellite										
17		Localisation assisted										
18		HD map of the road										
19		Road type										
20		Number of lanes										
21		Lanes dedicated										
22		Sight distance reduction										
23		Lane markings (road)										
24		Lidar sensors										
25		Horizontal symbols										
26												
27												
28												
29												
30												
31												
32												
33												
34												
35												
36												
37												
38												
39												
40												
41												
42												
43												
44												
45												
46												
47												
48												
49												
50												
51												
52												
53												
54												
55												
56												
57												
58												
59												
60												
61												
62												
63												
64												
65												
66												
67												
68												
69												
70												
71												
72												
73												
74												
75												
76												
77												
78												
79												
80												
81												
82												
83												
84												
85												
86												
87												
88												
89												
90												
91												
92												
93												
94												
95												
96												
97												
98												
99												
100												

