

RF-TIE
Passiivisten RF-tunnisteiden
toimivuus liikenneympäristössä



RF-TIE.

**Passiivisten RF-tunnisteiden toimivuus
liikenneympäristössä**

ISBN 952-201-106-1
FITS-julkaisu
Helsinki 2004

Tekijät (toimielimestä: toimielimen nimi, puheenjohtaja, sihteeri) Räsänen J., Pursula P., Scholliers J., Jaakkola K., Varpula T.		Julkaisun laji	
		Toimeksiantaja Liikenne- ja viestintäministeriö	
		Toimielimen asettamispäivämäärä	
Julkaisun nimi RF-TIE. Passiivisten RF-tunnisteiden toimivuus liikenneympäristössä.			
Tiivistelmä <p>Etätunnisteisiin perustuvien sovellusten määrä kasvaa nopeasti. Passiivisten etätunnistimien edullisuus ja ympäristöystävällisyys tukevat niiden menekkiä tulevaisuudessa useilla yhteiskunnan osa-alueilla, myös liikenteessä. Liikenteessä RFID-tekniologiaa voidaan käyttää usealla eri tavalla. Saattomuisti tai lukijalaite voivat olla ajoneuvossa, tienvarressa, tiessä, matkapuhelimessa, kuljetusvälineessä tai pakkauksessa. Luku-tapahtuma saattomuistin ja lukijalaitteen välillä voidaan toteuttaa joko ajoneuvosta tienvarteen tai tienvarresta ajoneuvoon aina tarpeen mukaan. Tulevaisuudessa kussakin ajoneuvossa voisi olla passiivinen tunnistite ja kussakin matkapuhelimessa lukijalaite. Tienvarteen voitaisiin asentaa sekä tunnistiteita että lukijalaitteita.</p> <p>RF-TIE-projektin tavoitteena oli selvittää, kuinka lukutapahtuma onnistuu maantieolosuhteissa ja -nopeuksilla. Tieympäristössä ongelmia aiheuttavat mm. ajoneuvojen nopeudet, vaihtelevat olosuhteet sekä antennien sijoittaminen ja suuntaus. Tutkimus tarkasteli kahden ratkaisun toimivuutta: 1) etätunnistimet ovat ajoneuvossa ja lukijat väylän vierellä, päällä tai sisällä ja 2) etätunnistimet ovat väylärakenteessa ja lukijat ajoneuvoissa. Teknisenä tavoitteena oli selvittää antenniratkaisujen sekä lähetin- ja vastaanotinyksiköiden toimivuus kenttäolosuhteissa.</p> <p>Ensimmäisessä vaiheessa selvitettiin, mihin etätunniste on ajoneuvossa sijoitettava, jotta lukutapahtuma on mahdollinen. Muovipuskurin sisälle sijoitettu tunnistite kyettiin lukemaan yli 2 metrin etäisyydeltä, vaikka antennia ei ollut erityisesti modifioitu tällaiseen tarkoitukseen ja käytettiin nykyisin sallittua 0,5 watin lukutehoa. Tällainen etätunnisteen sijoitus soveltuu ajoradan reunasta luettavaksi.</p> <p>Myös tuulilasiin sijoitetun tunnisteen lukeminen onnistui, tällainen sijoitus sopii esimerkiksi portaalista tapahtuvaan lukemiseen. Seuraavaksi testattiin menetelmän toimivuus todellisissa olosuhteissa.</p> <p>Vaikka laitteistoa ei vielä ollut viritetty erityisesti tähän tarkoitukseen, osa lukutapahtumista onnistui jopa 100 km/h -nopeudella, tosin vain 1 metrin etäisyydeltä. Lisäksi kokeiltiin tiehen sijoitettujen etätunnistimien toimivuutta. Asfaltin alle soran sisälle noin 15 cm:n syvyyteen sijoitetut etätunnistimet kyettiin lukemaan. Sen sijaan jo 1 cm:n vesikerros asfaltin päällä teki lukemisen mahdottomaksi. Lopuksi kokeita täydennettiin 2 W lukutehon sallivalla laitteistolla, mutta ilmeisesti käytettävissä olleiden laitteiden ja komponenttien yhteensopivuusongelmat ja laatuvaihtelut antoivat osittain vaihtelevia tuloksia mittausten välille. Tekniikka osoittautui toimivaksi liikenteen olosuhteissa, joten tutkimuksen jatkoksi on mahdollista käynnistää erilaisia sovelluskokeiluja. Lupaavimpia sovelluksia lienevät liikenteen seurannan ja valvonnan palvelusovelluksia mahdollistavat käyttökohteet kuten autojen katsastustarrat, joukkoliikenteen seuranta, kevyen liikenteen opastus, pysäköintipaikkojen varaus, maksaminen ja opastus sekä liikennevirran seuranta.</p>			
Avainsanat (asiasanat) RFID, kenttäkoe, etätunnistimet			
Muut tiedot			
Sarjan nimi ja numero FITS-julkaisuja 45/2004		ISSN	ISBN ISBN 952-201-106-1
Kokonaissivumäärä 59	Kieli suomi	Hinta	Luottamuksellisuus julkinen
Jakaja VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka		Kustantaja Liikenne- ja viestintäministeriö	

Authors (from body, name, chairman and secretary of the body) Räsänen J., Pursula P., Scholliers J., Jaakkola K., Varpula T.	Type of publication		
	Assigned by Ministry of Transport and Communications		
	Date when body appointed		
Name of the publication RF-TIE. Suitability of passive RF-ID technology to road and transport environment			
Abstract <p>Decreasing prices and low environmental burden compared to active systems with power source increase the use of passive RFID tags in the near future. In transport applications tags and readers may be located in vehicles, on the roadside, in road infrastructure, in freight units or in mobile phones. Communication can be arranged from the vehicle to the roadside or the other way round. In the future each vehicle may be equipped with a passive identification tag and each mobile phone may include a reader, and there may be both readers and tags on the roadside.</p> <p>The objective of this project was to test how read operation succeeds in real highway environment. Typical problems that arise in transport applications are caused by different vehicle speeds, varying reading distances, weather conditions and location of tags and readers. The aim was to test both 1) identification of by-passing vehicle from the roadside and 2) identification of a tag installed inside road structure. Technical goal was to see how standard equipment (not specifically designed for high speed applications or long distances) performs in a field experiment.</p> <p>Firstly the location of the tag in vehicle was chosen. The reader was able to read a tag installed in vehicle's plastic bumper from a distance over 2 meters using 0.5 W power. This location suits well for reading from the roadside. For portal applications it is better to install the tag behind windscreen.</p> <p>Secondly the tests were done using a moving car. The tags could be read up to speeds of 100 km/h, though only with distances of less than 1 meter.</p> <p>Finally tags installed under 15 cm of asphalt concrete and gravel were tested. They could be read, but even 1 cm of water on asphalt blocked the communication.</p> <p>Some tests were repeated using reading power of 2 watts, but there were still some problems with interoperability of new equipment and tags, as well as some quality deficiencies with the tags.</p> <p>Passive RFID technology was found to be suitable for transport conditions, and therefore pilot applications could be developed. Promising monitoring and information provision applications include vehicle identification tags, public transport monitoring, information for pedestrians and cyclists, parking place reservation, paying and information as well as vehicle flow monitoring.</p>			
Keywords RFID, field test, identification			
Miscellaneous			
Serial name and number FITS publications 45/2004	ISSN	ISBN ISBN 952-201-106-1	
Pages, total 59	Language Finnish	Price	Confidence status Public
Distributed by VTT Building and Transport		Published by Ministry of Transport and Communications	

ESIPUHE

RFID-tunnisteiden yleistymistä eri käyttötarkoituksissa on odotettu jo kauan. Kuitenkin vasta nyt kysyntä, laitteistot ja standardointi ovat edenneet niin pitkälle, että tageja voidaan käyttää yleisestikin. Tähänastiset sovellukset ovat yleensä lähteneet muista kuin liikenteen käyttökohteista, ja ne on suunniteltu alhaisille nopeuksille ja rajoitetuille etäisyyksille. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli testata käytännössä passiivisen RFID-tekniikan soveltuvuutta tieliikenteelle tyypillisiin olosuhteisiin.

Tutkimuksen tekivät yhteistyössä VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, VTT Tuotteet ja tuotanto sekä VTT Tietotekniikka. Projektipäällikkönä toimi erikoistutkija Jukka Räsänen, mittauksista vastasivat erikoistutkijat Timo Varpula, Kaarle Jaakkola ja Pekka Pursula sekä laitteistoista ja standardeista erikoistutkija Johan Scholliers. Hanketta rahoittivat FITS-ohjelman lisäksi Tiehallinto ja VTT. Hankkeen ohjausryhmään kuuluivat yli-insinööri Seppo Öörni liikenne- ja viestintäministeriöstä sekä palvelupäällikkö Sami Luoma ja liikenneinsinööri Timo Karhumäki Tiehallinnosta. Raportin esitarkastajina toimivat Juuso Kummala Tiehallinnosta ja Anna Schirokoff VTT:stä.

Helsinki, 31.5.2004

Seppo Öörni

SISÄLTÖ

ESIPUHE.....	5
KÄSITTEITÄ.....	9
1 JOHDANTO.....	11
1.1 RFID-tekniikasta.....	11
1.2 Tutkimuksen tavoitteet.....	13
2 ESIMERKKEJÄ MIKROAALTOALUEELLA TOIMIVISTA PASSIIVISISTA ETÄTUNNISTEISTA.....	14
2.1.1 PALOMAR.....	14
2.1.2 Muita tuotteita.....	14
3 RF-TUNNISTEIDEN STANDARDIT.....	16
3.1 Yleistä standardeista.....	16
3.2 Standardointihankkeita.....	16
3.3 EVI (Electronic Vehicle Identification) -projekti.....	19
4 MITTAUKSET.....	21
4.1 Yleistä.....	21
4.2 Mittaukset Palomar-järjestelmällä etätunnistin autoon sijoitettuna.....	21
4.2.1 Tavoite.....	21
4.2.2 Etätunnistimen asentaminen autoon.....	21
4.2.3 Mittausjärjestely.....	23
4.2.4 Mittaustulokset.....	27
4.2.5 Johtopäätökset.....	27
4.3 Samsys–Philips-testit.....	28
4.4 Etätunnistimen lukeminen tuulilasin lävitse.....	32
4.4.1 Tavoite.....	32
4.4.2 Mittausjärjestely.....	32
4.4.3 Mittaustulokset ja johtopäätökset.....	35
4.5 Etätunnistimen lukeminen eri tienrakennusmateriaalien lävitse.....	38
4.5.1 Tavoite.....	38
4.5.2 Mittausjärjestely.....	38
4.5.3 Mittaustulokset.....	40
4.5.4 Johtopäätökset.....	42
4.6 Mittaustulosten arviointia.....	45

5 YHTEENVETO JA SUOSITUKSET	48
-----------------------------------	----

KIRJALLISUUSLUETTELO	49
----------------------------	----

LIITTEET

LIITE 1 Mittauspöytäkirja ohiajomittauksista	51
LIITE 2 Mittauspöytäkirja tuulilasin aiheuttamista vaimennuksesta.....	53
LIITE 3 Mittauspöytäkirja tien rakenteen aiheuttamista vaimennuksista.....	55
LIITE 4 SAMSYS-testit.....	57

KÄSITTEITÄ

- RFID on lyhenne sanoista Radio Frequency Identification (radiotaajuustunnistus).
- RFID koostuu lukijasta ja etätunnisteesta.
- Etätunniste sisältää mikropiirin (saattomuistin) ja antennin.
- Etätunnistetta kutsutaan myös tagiksi.
- Passiivinen etätunniste saa käyttöenergian tukiaseman (lukijalaitteen) signaalista.
- Aktiivinen etätunniste on varustettu virtalähteellä, esimerkiksi paristolla.
- Etätunniste voi olla esimerkiksi tarra.
- Etätunniste keskustelee langattomasti tukiaseman kanssa.
- Etätunniste voi olla kertakäyttöinen tai uudelleen kirjoitettava.
- Lukuetaisyys on muutamista senttimetreistä muutamiin metreihin (passiivinen etätunniste) tai jopa kymmeneen metriin (aktiivinen etätunniste).
- CMOS = complementary metal oxide semiconductor
- ERP = Effective Radiated Power, EIRP = Equivalent Isotropic Radiated Power
- Anticollision eli moniluku tarkoittaa kykyä hallita useiden saattomuistien signaaleja samanaikaisesti.

1 JOHDANTO

1.1 RFID-tekniikasta

RFID-järjestelmät koostuvat lukijalaitteista ja etätunnisteista. Etätunniste kiinnitetään tai sulautetaan tunnistettavaan esineeseen. Etätunnisteen tärkein komponentti on puolijohdesiru (saattomuisti), joka on liitetty antenniin. Sirkussa on muistialue, jonne voidaan tallentaa tietoja. Etätunnisteita (tageja) on tarjolla eri kokoisina ja muotoisina. RFID-tekniikan tyypillisiä sovelluksia ovat mm. kuljetusten seuranta, tuotannonohjaus, kulunvalvonta ja elektroninen tietullinkeruu.

Passiivinen etätunniste saa energiansa lukijalaitteen viestistä. Passiiviset etätunnisteet ovat aktiivisia saattomuisteja pienempiä, kevyempiä sekä halvempia, ja niillä on rajaton käyttöaika. Passiivisen etätunnisteen etuna on myös sen ympäristöystävällisyys. Paristottomana se on helppo hävittää ja sen ympäristöhaitat ovat paristollista aktiivitunnistetta pienemmät.

Passiivisia etätunnisteita käytetään mm. älykorteissa, kulunvalvonnassa, matkalaukujen tunnistuksessa ja kierrätettävien laatikoiden tunnistuksessa. Euroopassa käytetään tällä hetkellä eniten induktiivista tekniikkaa (taajuudet 125 kHz ja 13,56 MHz). Suurin saavutettava lukuetaisyys on yleensä alle 2 metriä porttilukijan avulla.

Aktiivinen etätunniste saa energiansa esimerkiksi litiumparistosta. Aktiivisilla etätunnisteilla saavutetaan passiivisia pidempi lukuetaisyys. Varjopuolina ovat suurempi hinta ja rajattu käyttöikä. Useimmissa saattomuisteissa paristo on sen kiinteä osa, eikä sitä voida vaihtaa. Paristo voi myös rajoittaa käytettävää lämpötila-aluetta. Uusi kehityssuunta on litteä paristo, joka voidaan sulauttaa älytarraan. [6]

Passiivinen UHF-tekniikka (taajuudet 300–3 000 MHz) on tällä hetkellä erittäin lupaavaa, ja se saa myös tukea kansainvälisistä organisaatioista kuten EAN.UCC (EAN International ja Uniform Code Council, Inc.). Passiiviselta tekniikalta odotetaan paljon, ja sen odotetaan avaavan todelliset massamarkkinat RFID-tekniikan käytölle. UHF-etätunnisteilla katsotaan olevan seuraavia etuja [6]:

- ♦ Saattomuistien lukeminen ei edellytä näköyhteyttä, ja ne voidaan lukea ei-metallisten materiaalien läpi.
- ♦ RFID antaa paljon enemmän vapauksia saattomuistin asentoon verrattuna esimerkiksi viivakoodiin.
- ♦ Useita saattomuisteja voidaan lukea yhtäaikaisesti.
- ♦ RFID:n avulla tunnistaminen voidaan tehdä langattomasti ja automatisoidusti ilman erillisvalaistusta, kun viivakoodien lukemiseen tarvitaan valoa ja usein myös manuaalista työtä.

- ◆ Saattomuistit kestävät hyvin lämpötilan ja muiden ympäristötekijöiden muutoksia.
- ◆ Saattomuisteja voidaan lukea ja niille voidaan kirjoittaa, eli saattomuistin tietoja voidaan tarvittaessa muokata.
- ◆ Aktiivisten saattomuistien avulla lukuetaisyys (tunnistusetäisyys) voi olla maksimissaan jopa 100 metriä, kun viivakoodeja käytettäessä suurin etäisyys on noin 12 metriä.
- ◆ Saattomuisteihin voidaan liittää antureita.

Järjestelmän soveltuvuuteen eri tarkoituksiin vaikuttaa käytettävän lukutehon lisäksi taajuus. Mitä pienempi on käytettävä taajuus, sitä helpommin järjestelmä lukee ei-metallisten aineiden läpi. Lisäksi taajuuden pienentäminen kasvattaa lukuetaisyyttä. Pientaajuiset järjestelmät eivät vaadi näköyhteyttä, ja ne kykenevät lukemaan ei-metallisten aineiden kuten rasvan, pölyn, lian, paperin, puun ja betonin läpi. Saattomuistit voidaan upottaa useisiin nesteisiin, ja niitä voidaan käyttää kaikissa sääolosuhteissa [6]. Nesteistä kuitenkin vesi, kuten myös väliaineiden rajapinnat, voivat kuitenkin vaiementaa signaalia merkittävästi.

Metalli vaikuttaa RFID-tunnistuksessa käytettävään signaaliin, minkä vuoksi RFID:n käyttö metallituotteiden tai -pakkausten yhteydessä vaatii harkintaa. Metallin heikentää tai vaiementaa signaalia ja lisäksi signaali heijastuu metallista. Yksinkertaista tarratyypistä etätunnistetta ei voida kiinnittää suoraan metalliin. Jos halutaan kiinnittää etätunniste metallipinnalle, tulee siinä olla tähän suunniteltu, käytännössä kaksikerrosrakenteinen antenni. Korkeilla taajuuksilla etätunnistimen antenni voidaan suunnitella siten, että metallipinnalle kiinnitettävän etätunnisteen kokonaispaksuus pysyy pienenä.

Mikroaaltoalueella (yli 3 GHz) toimivat passiiviset etätunnistimet ovat siis herkkiä ympäristövaikutuksille, kuten heijastuksille ja esineille lukukentän lähellä. Optimaalisia tuloksia varten saattomuistin antenni kannattaa suunnitella erityisesti käyttöympäristöä varten. Lisäksi tagiantennien suuntaavuutta lisäämällä voidaan parantaa lukutapahtuman onnistumista ja pidentää lukuetaisyyttä halutussa suunnassa.

Passiiviset etätunnisteet ovat edullisia, eli niitä voidaan tulevaisuudessa pistää ”mihin tahansa”. Lukulaitteiden hinta näyttäisi olevan ainoa merkittävämpi rajoite passiivisten etätunnistimien yleistymiselle. Säädosmielessä tärkein rajoite passiivisten etätunnistimien käytölle Euroopassa on tällä hetkellä lukutehon rajoittaminen 869 MHz:n taajuudella 0,5 wattiin. Euroopassa ollaan kuitenkin parhaillaan korottamassa lukutehoa ainakin 2 wattiin. Näillä näkymin 2 watin lukuteho on EU-maissa sallittu vuonna 2005. Jos tehoaluetta ei voida kasvattaa ylöspäin, lukuetaisyyden pienuus voi olennaisesti rajoittaa liikennetelematiikan sovelluksia.

Passiivisia etätunnisteita on maailmalla jo käytössä monenlaisissa sovelluksissa, mutta kuitenkin vähän niiden käyttömahdollisuuksiin verrattuna. Etätunnisteisiin perustuvien sovellusten määrä kasvaa nopeasti. Passiivisten etätunnistimien edullisuus ja ympäristö-

ystävällisyys tarjoavat tulevaisuudessa käyttökohteita useille yhteiskunnan osa-alueille, myös liikenteeseen.

1.2 Tutkimuksen tavoitteet

Liikenteessä RFID-tekniikkaa voidaan käyttää usealla eri tavalla. Etätunniste tai lukijalaite voivat olla ajoneuvossa, tienvarressa, tiessä, matkapuhelimessa, kuljetusvälineessä tai pakkauksessa. Lukutapahtuma etätunnisteen ja lukijalaitteen välillä voidaan toteuttaa joko ajoneuvosta tienvarteen tai tienvarresta ajoneuvon aina tarpeen mukaan. Tulevaisuudessa kussakin ajoneuvossa voisi olla passiivinen tunniste ja kussakin matkapuhelimessa lukijalaite. Tienvarteen voitaisiin asentaa sekä tunnisteita että lukijalaitteita. Esimerkiksi Kampin uuden bussiterminaalin kulunvalvonnassa passiiviset RFID-etätunnisteet ovat yksi mahdollinen tunnistusmenetelmä.

RF-TIE -projektin tavoitteena oli selvittää, kuinka lukutapahtuma käytännössä onnistuu maantieolosuhteissa. Tieympäristössä ongelmia aiheuttavat mm. ajoneuvojen nopeudet, vaihtelevat olosuhteet sekä antennien sijainti ja suuntaus. Tutkimus tarkasteli kahden ratkaisun toimivuutta: 1) etätunnistimet ovat ajoneuvoissa ja lukijat väylien vierellä, päällä tai sisällä ja 2) etätunnistimet ovat väylärakenteissa ja lukijat ajoneuvoissa. Teknisenä tavoitteena oli selvittää antenniratkaisujen sekä lähetin- ja vastaanotinyksiköiden toimivuus kenttäolosuhteissa.

2 ESIMERKKEJÄ MIKROALTOALUEELLA TOIMIVISTA PASSIIVISISTA ETÄTUNNISTEISTA

2.1.1 PALOMAR

VTT Tietotekniikka on PALOMAR-tutkimushankkeessa¹ kehittänyt CMOS-tekniikkaan² perustuvan UHF- ja mikroaltoaalueen etätunnistinjärjestelmän. Se koostuu etätunnistinpiiristä, sille optimoidusta antennista sekä lukulaitteesta. Järjestelmälle kehitettiin uusi kommunikointiprotokolla, joka minimoi tehonkulutuksen ja maksimoi signaalikohinasuhteen.

Tunnistimen muisti voidaan lukea neljän metrin etäisyydeltä puolen watin lukutehoa käyttäen. Tämä on selkeästi paras tulos, mitä maailmalla on tällä alalla saavutettu. Piirin muistiin voidaan kirjoittaa jopa kolmen metrin päästä.

Järjestelmän pääominaisuudet ovat:

- ♦ taajuus 868/915 MHz ja 2,45 GHz
- ♦ piirin muistin koko 1 kbit
- ♦ lukuetaisyydet neljään metriin asti (868 MHz ja 500 mW (ERP)³)
- ♦ nopeiden anticollision-proseduurien tuki sadalle etätunnisteelle.

Hanke tehtiin yhteistyössä Atmelin, Idescon ja Rafsecin kanssa. ATMEL on kehittänyt PALOMAR-sirua edelleen, ja tuo vuoden 2004 kesällä uuden, kaupallisen TAGIDU-sirun markkinoille. Idesco tuo kesällä 2004 TAGIDU-lukijan markkinoille. VTT jatkaa yhteistyötä antenninen kehittämiseksi eri sovellutuksiin. (<http://www.vtt.fi/tte/>).

2.1.2 Muita tuotteita

Euroopassa saattomuistisovelluksien käyttöön tuli vasta muutamia vuosia sitten UHF-alue 862–870 MHz. Yhdysvalloissa käytetään 902–928 MHz:n taajuusalueita, mutta Euroopassa kyseinen alue on varattu muuhun käyttöön. Eri taajuuksille soveltuvat älytarrat käyttävät samaa tekniikkaa, joten tuotteille on saatavana useimmiten sekä UHF (862–870 MHz tai 902–928 MHz) - että 2,45 GHz:n vaihtoehdot.

¹ PALOMAR = Passive long distance multiple access high radio frequency identification system

² CMOS = complementary metal oxide semiconductor, mikropiireissä käytetty energiaa säästävää tekniikka

³ ERP = Effective Radiated Power, EIRP = Equivalent Isotropic Radiated Power, tapoja laskea säteilytehoja

Yhdysvalloissa Wal-Mart ja US Department of Defense ovat esittäneet tavaran-toimittajille vaatimuksen, että tavarapaletit varustetaan vuonna 2005 mennessä passiivisille UHF-saattomuisteilla. Tämä vauhdittaa suurimpia RFID-valmistajia kehittämään tuotteita tällä alueella. UHF-siruja valmistavat mm. Philips, EM Marin, ATMEL, Alien Technologies, Matrix, Bistar ja Intermec. Kaikista näistä ei ole versioita Euroopan markkinoille. Uusimmat saattomuistit ovat uusien standardien, kuten ISO-18000-sarjan ja ePC:n spesifikaatioiden mukaisia.

Philips on kehittänyt UCODE-sirun, joka on yhteensopiva ISO 18000-4 (2,45 GHz) ja 6-B (UHF) -standardien kanssa. UCODE soveltuu pitkän kantaman sovelluksiin, kuten konttien ja palettien seurantaan. Kotimainen Rafsec tekee älytarroja, jotka käyttävät Philipsin siruja.

EM Marin on kehittänyt EM4022- ja EM4222-saattomuistit ja on kehittämässä EM4223-saattomuistia, joka on ISO 18000-6A -standardin mukainen.

UHF-lukijoita valmistavat mm. Samsys, AWID, STID ja IPICO. Samsys:n lukija tukee multiprotokollaa, mitä tarkoittaa, että se voi käsitellä erilaisia protokollia, esimerkiksi sekä EM Marin että Philips-protokollaa, tai sekä ISO 18000-6A että -6B -protokollia.

3 RF-TUNNISTEIDEN STANDARDIT

3.1 Yleistä standardeista

RFID-tekniikan standardointi on edennyt hitaasti. Standardeja on olemassa vain muutamille sovelluksille eivätkä ne aina kata kaikkia RFID:n näkökohtia. Vaikka järjestelmät ovat tietyn standardin mukaisia, ei tämä automaattisesti takaa yhteentoimivuutta. Useimmat nykyiset järjestelmät perustuvat siksi suljettuihin järjestelmiin, joissa lukija-laite ja saattomuisti käyttävät valmistajan omaa protokollaa. Näin ollen muiden valmistajien saattomuistien lukeminen ei onnistu. [6]

3.2 Standardointihankkeita

Seuraavassa luetellaan RFID-järjestelmiä koskevia standardointihankkeita (katso myös taulukko 1).

Taajuudet ja lukutehot: ETSI⁴ käsittelee taajuusalueita ja sallittuja tehotasoja. UHF-alueen sallittu lukuteho on tällä hetkellä Euroopassa 500 mW (ERP) (869,4–896,65 MHz) mutta Yhdysvalloissa 4 W. Ehdotus nostaa tehoa Euroopassa 2 wattiin on päätettävänä, ja jos ehdotus hyväksytään, uusi teho voidaan ottaa käyttöön vuoden 2004 kesällä. Ehdotus sisältää kolme kaistaa: 865,0–865,5 MHz, jossa lähetysteho on 500 mW; 865,5–867,5 MHz jossa lähetysteho on 2 W (ERP) jaettuna 10 kanavaan; ja 867,5–868,0 MHz, jossa lähetysteho on 100 mW. Ehdotuksen mukaan lukija voi lähettää signaalia 4 sekunnin ajan, jonka jälkeen täytyy odottaa 100 ms ja hakea vapaa kanava.

Ilmarajapinnat: ISO 18000 -standardisarja määrää fyysiset saattomuistin ja lukijan vuorovaikutukset, ilmarajapinnan ja komennot. Sarjaan kuuluu 6 standardia, yksi kutakin taajuusaluetta varten. ISO 18000 -standardit (1–7) ovat edenneet. Osat 1–4 ovat keväällä 2004 menossa FDIS-äänestykseen⁵, osat 6–7 menevät FCD-äänestykseen⁶. ISO 18000-6 -standardi käsittelee UHF-aluetta. Standardi sallii kaksi erilaista protokollaa: ISO 18000-6A on ALOHA protocol (Pulse Interval Coding) ja ISO 18000-6B on Binary Tree Protocol (Manchester Coding).

⁴ ETSI = European Telecommunications Standards Institute

⁵ FDIS = Final Draft International Standard

⁶ FCD = Final Committee Draft

ePC-spesifikaatiot: MIT Auto-ID Center on kehittänyt ePC-spesifikaatioita, joita EPC-global markkinoi ⁷. Spesifikaatiot käsittelevät mm. elektronisten tuotekoodien tietosisältöä ja lukijan ja saattomuistin välistä kommunikointia. EPC-saattomuistit voidaan toteuttaa 13,56 MHz:n tai UHF-taajuuksilla. Alunperin ePC- ja ISO-standardien välillä oli konflikteja, mutta monet niistä on jo ratkaistu. EPC-saattomuisteilla on eri luokkia: Class 0 on 64-bittinen R/O-saattomuisti⁸; Class 1 on 96-bittinen WORM⁹. Työn alla on nyt Class 1:n toinen versio (Generation 2), joka vastaa mm. Wal-Martin vaatimuksia. Tällä hetkellä on vielä konflikteja ISO 18000-6 ja ePC (UHF) -standardien välillä, mutta on toivottu, että standardit, joita ei vielä ole lopullisesti hyväksytty, olisivat yhteensopivia. Ensimmäiset ePC-spesifikaatioiden mukaiset saattomuistit ovat markkinoilla, mm. Philipsin 13,56 MHz -saattomuisti.

Tiedonsiirtoprotokolla ja tietosisältö: Kaikkia logistisia sovelluksia ei voida hoitaa yhdellä taajuuksialueella. Käytettävien eri tekniikoiden ja standardien pitäisi olla toisiaan häiritsemättömiä ja mahdollisesti yhteentoimivia. ISO:ssa on aloitettu ISO TC 104 (Freight Containers) ja ISO TC 122 (Packaging) -yhteistyö ISO Joint Working Group:ssä¹⁰. Tämän työryhmän tavoite on kehittää mm. standardeja ISO/IEC 15691 ja ISO/IEC 15692, jotka määrittävät protokollan tiedonsiirtoon yhtäältä sovelluksen ja lukijan (ISO/IEC 15691) ja toisaalta lukijan ja saattomuistin välillä (ISO/IEC 15692). Tiedonsiirron protokolla on taajuuksialueesta riippumaton. Kunkin taajuuksialueen ilmarajapinta on määritetty ISO/IEC 18000 -standardeissa.

Toimitusketjussa on eri tasoja (myyntipakkaus, kolli, käsittely-yksikkö, kuljetusyksikkö, ajoneuvo). Tietosisältö, tunnistuksen vaatimukset ja siksi myös käytettävä tekniikka vaihtuvat eri tasoilla. ISO Joint Working Group on alkanut valmistella standardeja toimitusketjun eri tasoille.

Eri toimialoilla on laajalti käytössä erilaisia numerointijärjestelmiä, mm. päivittäistavarakaupoissa EAN/UCC GTIN¹¹. Saattomuistien sisällön pitäisi olla yhteen toimiva nykyisin käytettyjen viivakoodien kanssa, jotta RFID-järjestelmän käyttöönotto onnistuisi saumattomasti. Uusien standardien pitäisi myös huolehtia siitä, että muitakin numerointijärjestelmiä, kuten lääketeollisuudessa käytetty HIBBC-koodi, voidaan toteuttaa.

⁷ EPC (tai ePC) = electronic Product Code

⁸ R/O = Read Only

⁹ WORM = Write Once Read Many

¹⁰ ISO Joint Working Group (JWG) for Supply Chain Applications of RFID

¹¹ GTIN = Global Trade Identification Number

Taulukko 1. Työn alla olevat RFID-tekniikkaan liittyvät standardit.

Taajuus	Lähetys-teho	Tiedon sisältö	ISO ilma-rajapinta	Tietojen prosessointi lukijassa	Lukija-sovellus
125-134 kHz	ETSI	ISO JWG	ISO 18000-2	ISO 15962	ISO 15961
13,56 MHz	ETSI		ISO 18000-3		
860–960 MHz	ETSI	EPC Tag Data	13,56 MHz Class 1 RF Identification Tag Interface Spec.		Reader Protocol
			860-930 MHz Class 1 RF Identification Tag Interface Spec.		
433 MHz	ETSI	ISO JWG	ISO 18000-6	ISO 15962	ISO 15961
2,45 GHz	ETSI		ISO 18000-7		
			ISO 18000-4		

Standardoinnin tilanne heijastuu myös saattomuistien ja lukijoitten ominaisuuksiin ja saatavuuteen. Taulukossa 2 on esitetty tällä hetkellä tai lähitulevaisuudessa saatavana olevia järjestelmän osia. Niiden standardien mukaisuus ja yhteensopivuus vaihtelee.

Taulukko 2. Saatavilla olevia RFID-siruja ja lukijoita.

sirun valmistaja	UHF-siru	Standardi
Philips	I.CODE HSL	ISO-18000-6B
	ePC 1.19 (tulossa)	ePC 1.1
EM Marin	EM 4022, EM 4223	
	EM 4223 (tulossa)	ISO-18000-6A
ATMEL	PALOMAR	-
	TAGIDU	?

lukijan valmistaja	lukija	Sirut	teho
SAMSYS	MP9320 (multiprotocol)	ISO-18000-A&B EM Marin 4022,4222	0,5-2W
IDESCO	PALOMAR	PALOMAR	0,5 W
	IR8000	TAGIDU	0,5 W
STID	UHF reader	EM	0,5 W

3.3 EVI (Electronic Vehicle Identification) -projekti

EVI on järjestelmä joka tunnistaa yksittäiset ajoneuvot sähköisesti. Erticon vetämässä Euroopan komission tukemassa EVI-projektissa on päätavoitteena selvittää EU-laajuisen EVI-järjestelmän toteuttavuutta. EVI-projekti on kannattavuus selvitys, joka tutkii teknisiä ja ei-teknisiä kysymyksiä. Se keskittyy EVIn hyötyihin, tunnistaa sen rajoituksia ja tekee suosituksia Euroopan komissiolle ja jäsenvaltioille. Konsortio koostuu 12 partnereista (liikenneministeriöitä, poliisilaitoksia ja muutamia yrityksiä). Projekti alkoi tammikuussa 2003, ja se kestää kesäkuuhun 2004.

EVI on ajoneuvoon kiinnitettävä elektroninen laite, joka sallii ajoneuvon parametrien langattoman tiedonsiirron. Järjestelmä koostuu ajoneuvoon kiinnitetystä tallennuslaitteesta, rajapinnasta ja ajoneuvosta–infraan-tiedonsiirtokomponentista. EVI mahdollistaa julkisia palveluita, jotka täyttävät tiukat turvallisuuteen, tietosuojaan ja väärinkäyttöön liittyvät vaatimukset. EVIn avulla voidaan [3]:

- ♦ kerätä tarkempia ja luotettavampia tietoa ajoneuvoista
- ♦ tukea liikenteen ja ajoneuvon turvallisuutta
- ♦ tukea rikosten vähentämistä ja lain noudattamista
- ♦ parantaa julkisen hallinnon operatiivista tehokkuutta
- ♦ tarjota lisäarvopalveluita.
- ♦ tukea ADAS-ominaisuuksia¹².

EVI ei salli vain ajoneuvojen sähköistä tunnistusta, vaan auttaa myös toteuttamaan muita palveluita. EVI-projekti on tunnistanut mm. seuraavat palvelut [3]:

- ♦ rikollisten käyttämien ajoneuvojen tai rikoksille alttiiden ajoneuvojen seuranta ja paikannus
- ♦ kulunvalvonta (Access Control)
- ♦ ruuhkamaksujen keräys
- ♦ ajoneuvon rekisteröinti (Vehicle Registration Ownership Obligation)
- ♦ valmistevero (Excise Duty)
- ♦ liikenteenhallinta (traffic management) ja liikennetieto kuljettajalle
- ♦ liikenteenvalvonta (enforcement)
- ♦ ajoneuvon elinkaari (vehicle life cycle)
- ♦ liikenteen ohjaus (traffic regulation).

EVI-projekti tutkii erilaisia tiedonsiirron toteuttamisvaihtoehtoja [4], kuten RFID, DSRC¹³, infrapuna, WLAN, Bluetooth ja mobiilit kommunikoinnit (GSM Data, SMS, GPRS, UMTS). Tekniikan valinta vaikuttaa siihen, minkälaisia sovelluksia voidaan to-

¹² ADAS = Advanced Driver Assistance

¹³ DSRC = Dedicated Short Range Communications

teuttaa. EVI-laitteessa voi olla pelkästään ajoneuvon tunniste tai se voi sisältää kaikki sovelluksessa tarvittavat tiedot. Jos vain tunniste on tallennettu, ajoneuvon tietoja on helppo päivittää taustajärjestelmässä, mutta tällöin tarvitaan jatkuvasti yhteys taustajärjestelmään, jotta kyetään hakemaan tarvittavaa tietoa reaaliajassa. Taustajärjestelmien ominaisuudet vaihtelevat maasta toiseen. Siksi olisi parempi, jos ainakin perustietoa olisi tallennettu ajoneuvossa olevaan tagiin, mutta tietoturvasuus täytyy tällöin ottaa huomioon, jotta tagiin talletettuja tietoja ei voida muuttaa ilman lupaa.

Teollisuus on kuitenkin hieman varuillaan EVIn suhteen [5], koska siitä aiheutuu mm. lisäkustannuksia. Autoteollisuuden on vaikea hahmottaa omaa ansaintalogiikkamalliaan EVIin liittyen eikä se välttämättä tarvitsisi EVIä kaupallisten sovellutusten kehittämiseen. Esimerkiksi matkapuhelimet sallivat jo monia sovelluksia, jotka EVIkin mahdollistaisi. Kuitenkin yhtenäistä tapaa tunnistaa ajoneuvo kaivataan Euroopassa, samoin kuin turvallista tiedonsiirtomenetelmää tienvarren ja auton välillä.

4 MITTAUKSET

4.1 Yleistä

Projektissa keskityttiin RFID-tekniikan mahdollisuuksien kartoittamiseen. Pyrkimyksenä oli etsiä etätunnistuksen fysikaalisia rajoja, siis saada tuntuma siitä, mitä RFID-järjestelmin on mahdollista tehdä ja mitä ei. Tuloksissa on myös yritetty painottaa kohdattujen raja-aitojen laatua: Onko kyse kaikkia järjestelmiä koskevasta rajoituksesta, kuten viranomaisten asettamasta lähetystehorajoituksesta, vai mahdollisesti kyseisen, mittauksissa käytetyn järjestelmän ominaisuudesta.

Tässä luvussa on esitelty kolme erillistä mittausta. Ensimmäisenä esitellään ohiajavan auton tunnistamista tien pientareelle sijoitetun lukijalaitteen avulla. Toiseksi tarkastellaan ajoneuvon tunnistusta tien päälle portaaliin sijoitetulla lukijalaitteella. Kolmanneksi esitellään tien rakenteeseen piilotetun etätunnistimen lukemista autoon sijoitetulla lukijalaitteella.

4.2 Mittaukset Palomar-järjestelmällä etätunnistin autoon sijoitettuna

4.2.1 Tavoite

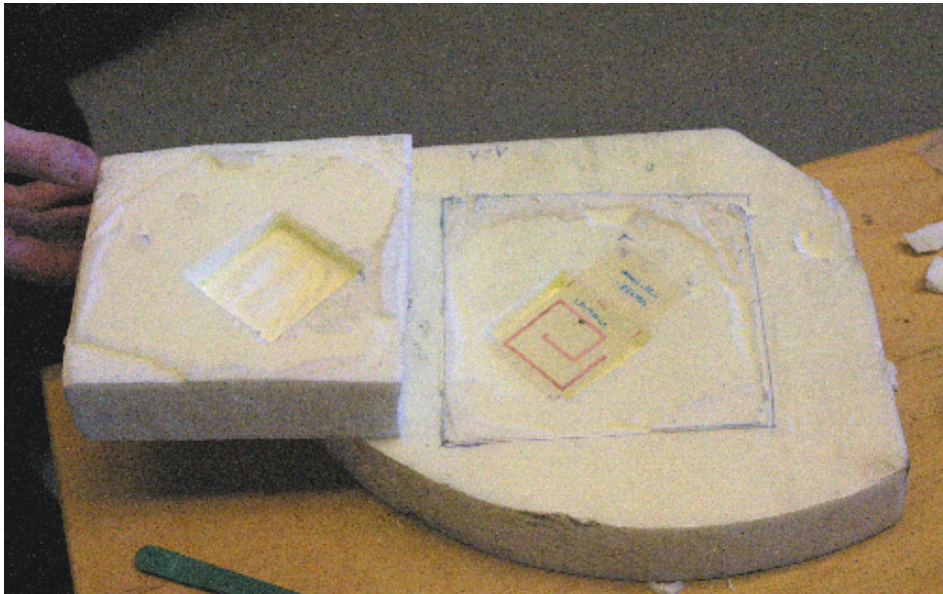
Ensimmäisen vaiheen tavoitteena oli selvittää etätunnistimen eli etätunnisteen optimaalinen sijoituspaikka autossa. Toisessa vaiheessa järjestelmää testattiin toiminnallisesti siten, että auto oli lukijalaitteeseen nähden paikallaan. Kolmannessa vaiheessa autolla ajettiin eri etäisyyksillä ja ajonopeuksilla lukijalaitteen antennien ohi. Kunkin ajon tuloksena kirjattiin tieto siitä, onnistuiko etätunnistimen muistisisällön lukeminen. Tässä luvussa on kuvattu näiden kolmen ensivaiheen valmistelu, suorittaminen ja tulokset.

4.2.2 Etätunnistimen asentaminen autoon

Nykyautojen runsas muoviosien käyttö tarjoaa hyvät mahdollisuudet sijoittaa etätunnistin auton rakenteiden sisään siten, ettei tämän toimintaetäisyys olennaisesti laske vapaan tilan arvosta. Testiautossa (Toyota Corolla 1.6 Terra) etätunnistin päädyttiin sijoittamaan oikean etupyörän edessä sijaitsevaan koteloon muovisen puskurirakenteen sisään. Tästä paikasta tunnistin voidaan lukea tien oikeaan laitaan sijoitetulla lukijalaitteella. Tunnistin oli suunnattu siten, että sen antennin pääsäteilysuunta oli noin 45 asteen kulmassa auton pituusakseliin nähden. Etuna tästä verrattuna tilanteeseen, jossa tunnistin olisi suunnattu suoraan sivulle oli se, että ohi ajettaessa etätunnistimen antennin toiminta-alue viipyi kauemmin lukijalaitteen antennin keilassa.

Vallitseva lämpötila vaikuttaa etätunnisteen suorituskykyyn. Erityisesti matalat lämpötilat heikentävät puolijohteiden toimintaa vapaiden varauksenkuljettajien vähentyessä. Esimerkiksi Palomar-etätunniste on optimoitu ajatellen normaalin käyttöympäristön olevan 20 °C:n lämpötilassa. Vallitsevat talviolosuhteet asettivat siis lisähaasteen järjestelmälle.

Etätunnistin kiinnitettiin kahden yhteen liimatun vaahtomuovilevyn väliin. Vaahtomuovin vaikutuksen etätunnisteen toimintaan minimoitiin siten, että vaahtomuoviprofiilin sisään kaiverrettiin onkalo, jolloin etätunniste oli vapaana ilmassa. Tämä oli todettu tarpeelliseksi vertaamalla saavutettua lukuetaisyysyttä tilanteeseen, jossa etätunniste oli puristettu kahden täyteen vaahtomuovilevyn väliin. Etätunniste avonaisine kiinnitysprofileineen on esitetty kuvassa 1. Tämän varsinaisen kiinnitysprofilin lisäksi koteloon työnnettiin ylimääräinen vaahtomuovilevy tukemaan profiili paikalleen. Kuvassa 2 näkyy etätunniste tukirakenteineen sijoitettuna autoon, kun kotelon alhaalta sulkeva muovilevy on vielä irrotettuna. Kuvasta ilmenee myös etätunnisteen suuntaus. Etätunnisteen keskikohta on auton seistessä tasaisella alustalla kevyesti kuormattuna noin 46 senttimetrin korkeudella maasta.



Kuva 1. Etätunniste kiinnitysprofileineen.



Kuva 2. Etätunniste kiinnitysprofüleineen sijoitettuna autoon.

Mittauksissa käytettiin 869 MHz:n taajuudella toimivaa Palomar-järjestelmää, joka sisälsi Idescon valmistaman lukijalaitteen ohjelmistoineen, tähän liitettävät antennit sekä ympärisäteilevällä antennilla varustetun etätunnistimen. Lukijalaitteen lähetysteho oli 0,5 W (ERP), joka on ko. taajuuskaistalla suurin sallittu. Järjestelmän suurin toiminta-etaisyys tällä teholla vapaassa tilassa on noin neljä metriä.

4.2.3 Mittausjärjestely

Autoon asennetun etätunnisteen lukua kokeiltiin vaiheen kaksi mukaisesti ensin paikallaan sekä hitailla nopeuksilla 20 ja 30 km/h pysäköintialueella. Kokeissa saavutettiin yli kahden metrin lukuetaisyys, mikä mahdollisti vaiheeseen kolme siirtymisen. Näillä nopeuksilla auton liike ei vielä vaikuttanut tulokseen, ei myöskään vallitseva $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$:n lämpötila. Samalla todettiin kuitenkin irrallista etätunnistetta käyttäen, että vallitsevassa lämpötilassa lukuetaisyys oli laskenut noin yhteen metriin. Autoon asennettu etätunniste ei tässä mittauksessa ehtinyt jäähtyä runsaan eristyksensä vuoksi.

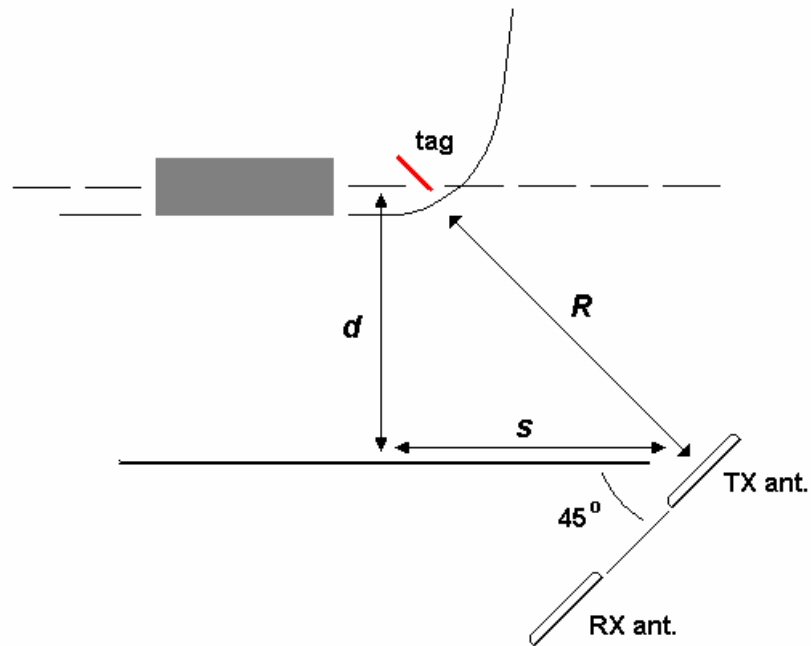
Vaiheen kolme mittaukset suoritettiin Hyvinkään pienlentokentän kiitotiellä. Tien pintaan oli luminen asfaltti. Lämpötila oli $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja sää oli pilvinen. Kuivaa pakkaslunta satoi hieman. Lukijalaitteen ohi ajettiin nopeuksilla 40, 50, 60, 70, 80 ja 100 km/h. Tavoitellut ajoetaisyydet olivat aluksi 1, 2 ja 3 metriä. Maksimilukuetaisyys varmennettiin auton ollessa paikallaan. Koska maksimilukuetaisyudeksi osoittautui noin 2,5 metriä, 3 metrin tavoite-etaisyys korvattiin tällä arvolla. Ajo kullakin nopeudella ja tavoite-etaisyydellä toistettiin viisi kertaa. Tarkka etisyys mitattiin kunkin ajon jälkeen mittanauhan avulla. Laitteiston asemointi mittauksessa sekä etäisyysparametrit on esitetty kuvassa 3. Etisyys d on määritelty lukijalaitteen lähetinantennin (TX ant.) kautta kulkevan ajolinjan suuntaisen suoran (paksu viiva) ja oikean renkaan keskilinjan (katkovii-

va) välisenä etäisyytenä. Koska käytännössä etätunnisteen toiminnan kannalta kriittinen tekijä on riittävän tehon saaminen lukijalaitteen säteilemästä kentästä, ei vastaanotintennin (RX ant.) sijoittaminen ole yhtä kriittistä kuin lähetinantennin. Siksi lähetinantennia käytetään referenssinä kuvaamaan lukijalaitteen sijoitusta. Olennaisinta antennien sijoittelussa toistensa suhteen on, ettei suora kytkeytyminen lähetinantennista vastaanotintenniin kyllästä vastaanotinta ja näin estä järjestelmää toimimasta. Käytännössä tämä estetään asettamalla antennit rinnakkain yhdensuuntaisesti. Antennit olivat korkeussuunnassa keskikohdaltaan mitattuna 46 senttimetrin korkeudella maasta kuten myös etätunniste autossa.

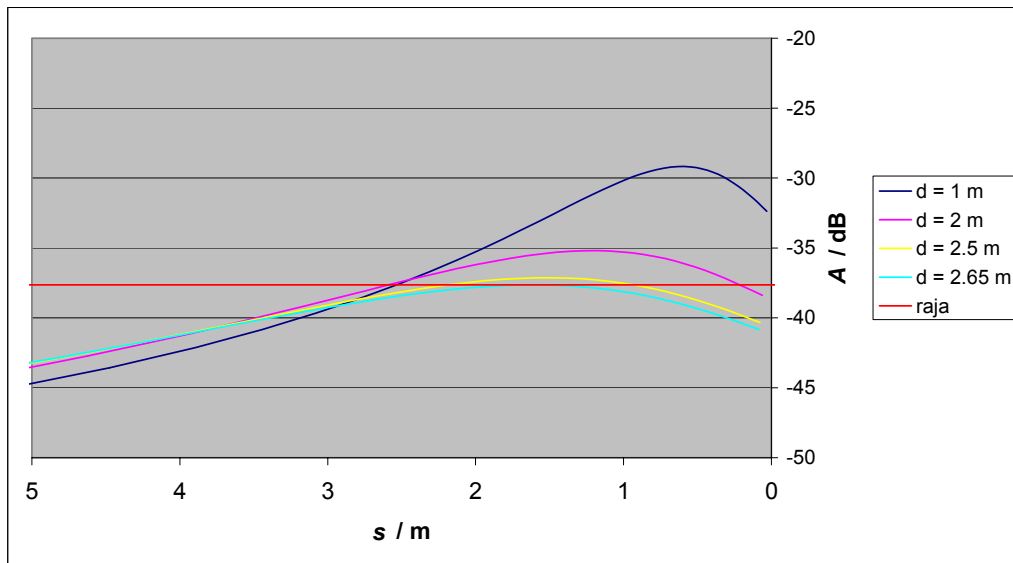
Mittauksessa ei voitu määrittää tarkkaa etätunnisteen lukuhetkeä. Näin ei myöskään tiedetä auton tarkkaa paikkaa tämän kulkusuunnassa lukuhetkellä. Tästä seuraa, että myös etätunnisteen ja lähetysantennin välinen tarkka etäisyys lukuhetkellä on epämääräinen. Kuvassa 4 on esitetty lähetinantennin ja etätunnisteen välisen yhteyden vaimennus kuvan 3 mukaisen pitkittäisetäisyyden s funktiona käytetyillä ajoetäisyyksillä (d). Vaimennus koostuu lähetin- ja etätunnisteantennien suuntakeilojen muodosta sekä vapaan tilan vaimennuksesta. Kuvan dB-asteikko on määritelty siten, että lähetinantennin maksimivahvistukseksi on skaalattu puolialtodipolin maksimivahvistus 2,15 dB, jolloin kertomalla kuvaajasta saatu vaimennusarvo lähetetyllä ERP-teholla saadaan suoraan etätunnisteen käytettävissä oleva RF-teho.

Kuvan 4 käyrien perusteella voidaan arvioida sen alueen pituus, jossa etätunnisteen luku voi kentänvoimakkuuden riittäessä onnistua. Suurilla nopeuksilla ja pitkillä etäisyyksillä luvun onnistumista rajoittava tekijä on käytössä olevan lukijalaitteen rajoittama lähetettyjen lukupulssien väli, joka oli 100 ms. Itse lukutapahtuma kestää vain noin 10 ms, joten tämä ongelma on teknisesti ratkaistavissa tihentämällä pulssien lähetystä.

Kuva 5 esittää mittaustilannetta. Kumolleen käännetyn ahkion autonpuoleinen sivu vastaa kuvan 3 paksua viivaa, josta ohiajoetäisyys on mitattu. Kuvassa 6 näkyy antennien lisäksi myös muu mittaustilanne: lukijalaite, tietokone sekä järjestelmän virtalähteenä käytetyt auton akut.



Kuva 3. Mittausjärjestely ja siihen liittyvät etäisyydet. Kaareva viiva kuvaa auton etupuskuria ylhäältä päin katsottuna.



Kuva 4. Etätunnisteen ja lukijalaitteen välisen yhteyden vaimennus A eri ohiajoetäisyyksillä d .



Kuva 5. Mittaus Hyvinkään pienlentokentällä.

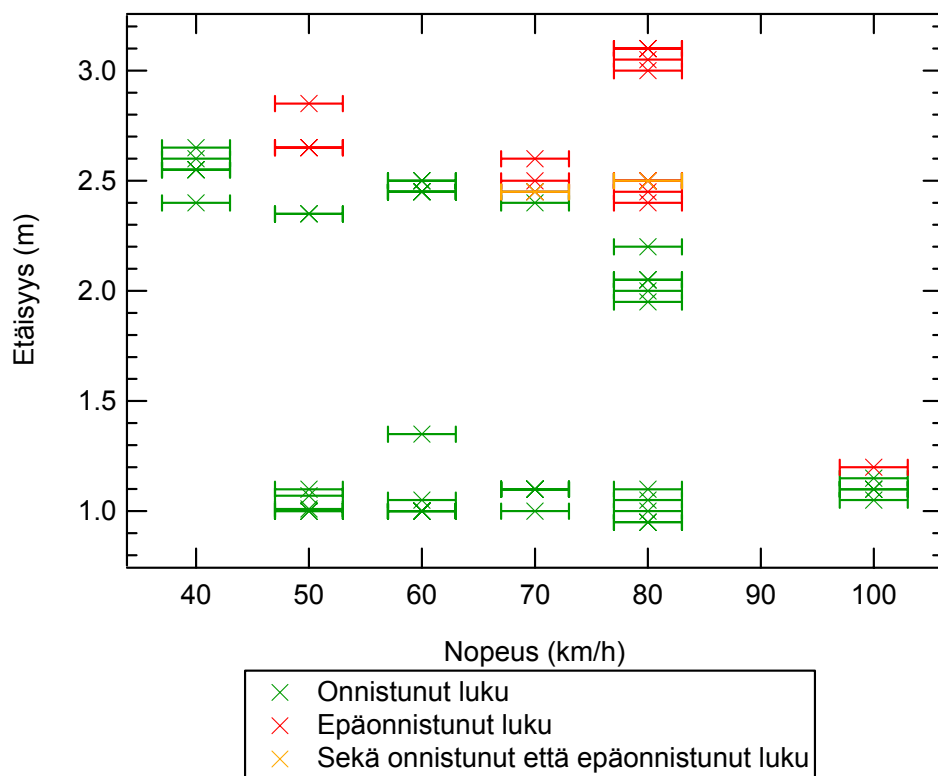


Kuva 6. Mittauslaitteisto Hyvinkään pienlentokentällä.

4.2.4 Mittaustulokset

Kuvassa 7 on esitetty jokaisen testiajon parametrit, nopeus ja mitattu ohiajoetäisyys d , sekä ko. ajon tulos. Onnistunut luku on merkitty vihreällä, epäonnistunut punaisella. Kahdessa pisteessä on sekä onnistunut että epäonnistunut luku osunut samalle nopeus–etäisyys-arvoparille. Nämä pisteet on merkitty keltaisella. Nopeuden epävarmuudeksi on arvioitu ± 3 km/h.

Liitteessä 1 on kopio mittauspöytäkirjasta, josta ilmenee myös onnistuneiden lukujen määrä ajokertaa kohti. Hitaimmilla nopeuksilla ja lyhimmillä etäisyyksillä luku ehti tapahtua tyypillisesti kahdesti ajon aikana.



Kuva 7. Mittaustulokset: etätunnisteen luku eri nopeuksilla ja ohiajoetäisyyksillä.

4.2.5 Johtopäätökset

Kuvan 7 perusteella saadaan käsitys nopeuden ja etäisyyden vaikutuksesta järjestelmän toimintaan. Nopeuden kasvaessa pienenee onnistuneen luvun rajaetäisyys systemaattisesti. Staattisena rajana voidaan pitää 2,65 metrin etäisyyttä. Tältä etäisyydeltä ajamalla saadaan onnistunut luku 40 km/h -nopeudella, mutta ei enää nopeudella 50 km/h.

Kuvan 4 avulla voidaan arvioida se etätunnisteen ja lukijalaitteen välisen vaimennuksen raja-arvo, jolla etätunnisteen luku ei enää onnistu. Tämä nähdään kriittisen etäisyyden

2,65 metrin huippuarvosta. Käytetyllä asteikolla tämä on noin $-37,6$ dB, joka on merkitty viivalla kuvaan 4. Tämän perusteella voidaan arvioida, että ajettaessa 1 metrin päästä lukijalaitteesta tulisi luvun tapahtua noin 2,5 metrin matkalla. Ajettaessa nopeudella 100 km/h tämä vastaa 90 ms:n aikaikkunaa, mikä selittää sen, että tällä nopeudella luku jäi viiden ajon sarjassa myös kerran onnistumatta. Voidaan siis todeta laitteistorajoituksen vuoksi käytetyn 100 ms:n lukuvälin olevan liian pitkä maantienopeuksia ajatellen. 2,5 metrin etäisyydellä vastaava mahdollinen lukumatka on 1,3 metriä, jolloin esimerkiksi 50 km/h -nopeudellakin luvun tulisi tapahtua 90 ms:n aikaikkunassa. Luvun onnistumistodennäköisyys on siis sama näissä kahdessa esimerkkitalanteessa.

Suurimpia nopeuksia ajatellen tarpeettoman pitkistä lukupulssien välistä huolimatta laitteisto näyttäisi teknisesti soveltuvan liikkuvan auton tunnistamiseen. Mitään yllättäviä rajoituksia tai toimintahäiriöitä ei mittauksissa vallinneissa olosuhteissa ilmennyt. Kuvan 4 käyrien perusteella voidaan laskea staattiseksi lähetinantennin ja etätunnisteen väliseksi maksimitoimintaetäisyydeksi (R kuvassa 3) 3,1 m, jota voidaan verrata ideaalisen Palomar-etätunnisteen (resonanssitaajuudeltaan 869 MHz) huoneenlämpötilassa saavutettuun arvoon 4 m. Käytetty asennusympäristö tai vallinnut lämpötila ei siis merkittävästi häirinnyt etätunnisteen toimintaa. 869 MHz:n järjestelmälle sallitun lähetystehon nostaminen lähitulevaisuudessa arvoon 2 wattia (ERP) parantaa vielä järjestelmän toimintaa. Tämän vaikutuksen suuruutta käytetyn mittausjärjestelyn mukaisessa tilanteessa voi arvioida esimerkiksi siirtämällä kuvaan 4 piirrettyä rajaviivaa 6 dB alaspäin.

4.3 Samsys–Philips-testit

PALOMAR-siru on ominaisuuksiltaan erinomainen, mutta sen haittapuolena on, ettei sen nykyinen versio tue standardia. Projektin aikana haluttiin testata myös laitteita ja järjestelmiä, jotka ovat yhteensopivia nykyiseen standardiin.

Siruksi valittiin Philips I.CODE HSL -saattomuisti, joka on ISO 18000-6 -standardin mukainen. Rafsec Oy tekee etätunnistimia, joissa käytetään tätä sirua. Rafsecilta ja lukijan valmistajilta (Samsys) saatiin yhteensä 5 etätunnistinta (kuva 8).



Kuva 8. Rafsec-etätunnistimen siru Philips I.CODE HSL.

Lukijaksi valittiin Samsys UHF MP9320 Long Range Reader (kuva 9). Tämä lukija tukee useimpia protokollia, esimerkiksi ISO 18000-6B (Philips I.CODE), ISO 18000-6A

ja EM Marin 4022/4222. Protokollien lisääminen lukijalle onnistuu ohjelmistopäivityksellä. Lukija toimii nykyisten ETSI-sääntöjen mukaan. Tehoa voidaan säätää ohjelmallisesti, joten on mahdollista testata järjestelmän toiminnallisuutta tulevien ETSI-sääntöjen mukaisella 2 watin lähetysteholla.



Kuva 9. SAMSYS UHF MP9320 Long Range Reader.

Lukijaan voidaan kytkeä 4 antennia. Antenniksi valittiin vertikaalipolarisoitu MAX-RAD MP8246PT. Järjestelmä suosii ympäripolarisoituja antennia Euroopassa, mutta 865–870 MHz:n kaistalle niitä on tällä hetkellä vielä vaikea löytää.

Ensimmäiseksi testattiin lukuetaisyys ilmassa. Saavutettu lukuetaisyys oli 1,5 metriä 0,5 watin lähetystasolla. Kun lähetystaso kasvatettiin 2 wattiin, saavutettu lukuetaisyys oli antennin eri asennoilla 3–5 metriä. Pakkaamattomat älytarrat ovat herkkiä, ja voivat kärsiä käsittelystä. Tämän vuoksi muutamien älytarrojen lukuetaisyys laski 2 metrin tasolle.

Etätunnistin kiinnitettiin sitten VTT/TUO:n tutkimusautoon (Opel Zafira). Asennuspaikka valittiin empiirisesti: yritettiin löytää paikka, jossa mahdollisen metallin läheisyys ei vaikuttanut lukuetaisyyteen. Etätunnistin kiinnitettiin sekä etu- että takapuskuriin lähelle pyörää niin, että etätunnistimen akseli oli ajosuuntaan (kuva 10).



Kuva 10. Etätunnistin kiinnitetty etupuskuriin.

Staattisissa testeissä etätunnistimen ollessa etu- tai takapuskurissa saavutettiin samansuuruisia lukuetaisyyksiä kuin etätunnistimen ollessa ilmassa. Tätä ei voida kuitenkaan yleistää, koska muissa automalleissa voi olla metallia lähellä tunnistinta. Silloin tällaista yleiskäyttöistä etätunnistinta ei voida käyttää, vaan tarvitaan etätunnistin, joka on suunniteltu asennettavaksi metallipinnalle.

Ensimmäiset ajotestit tehtiin VTT-talon pysäköintipaikalla 35–40 km/h nopeudella 1,5 metrin lukuetaisyydellä (kuva 11). Testit onnistuivat: Sekä etäpuskurin että takapuskurin etätunnistimet kyettiin lukemaan.



Kuva 11. Mittaustestit VTT-talon parkkipaikalla, etäisyys 1,5 metriä.

Koska testit onnistuivat alhaisilla nopeuksilla, kokeiluja jatkettiin Tampereen poliisikoulun radalla. Testit suoritettiin toukokuussa 2004 kuivalla kelillä. Testit suoritettiin sekä 2 että 0,5 watin lähetysteholla. Renkaan ja antennin välinen haluttu etäisyys merkittiin liidulla radalle. Mittaustulokset on koottu liitteeseen 4.

Staattisissa testeissä ei kaikkia viittä etätunnistinta tunnistettu 3 metrin etäisyydellä. Autoon kiinnitettiin kaksi etätunnistinta, toinen etupuskuriin ja toinen takapuskuriin. Aloitusetäisyys oli 3 metriä. Testit suoritettiin 2 watin lähetysteholla staattisesti sekä 40 km/h ja 80 km/h -nopeuksilla. Nopeuksilla 40 km/h ja 80 km/h vain etupuskurin etätunnistin tunnistettiin. Jotta voitiin testata suurempia nopeuksia, lukijalaitteen antennia siirrettiin koeajoradalla n. 10 metriä. Uudessa asennuspaikassa laitteisto tunnistati saattomuistit vain 40 km/h nopeudessa. Olosuhteet uudessa asennuspaikassa vaikuttivat samoilta kuin aikaisemmassa, ja häiriölähteitä ei ollut näkyvissä. Samanlainen tulos saatiin kuitenkin myös ajoneuvon ja antennin etäisyyksien ollessa 2 metriä ja 1,5 metriä.

Testit suoritettiin myös 0,5 watin teholla. Silloin 1,5 metrin lukuetaisyydellä auton molemmat etätunnistimet tunnistettiin jopa 80 km/h ohitusnopeuksille. Yllättäen myös 2 metrin lukuetaisyydellä ja 80 km/h -ohitusnopeudella molemmat etätunnistimet tunnistettiin. Kun etäisyys nostettiin 3 metriin, takapuskurin etätunnistin tunnistettiin vielä 80 km/h -ohitusnopeuksilla, mutta etupuskurin saattomuistia ei lainkaan.

Käytössä olleissa Rafsecin etätunnisteissa oli yksilökohtaisia eroja luettavuudessa, osittain ilmeisesti valmistustoleranssien, osittain sirun ja antennin kiinnityksen vahingoittumisherkkyuden vuoksi. Kapseloimalla etätunniste vahingoittumisherkkyyttä voidaan vähentää huomattavasti. Testejä varten valittiin etätunnistimien joukosta niitä, jotka mitausten mukaan toimivat parhaiten. Etätunnistimet olivat vakiomallisia, eikä niitä oltu erikoisesti suunniteltu metallipitoiseen ympäristöön. Näiden tunnistinyksilöiden kanssa auto tunnistettiin 80 km/h -ohitusnopeudella yli 2 metrin lukuetaisyydellä. Testin tuloksia ei voida täysin yleistää, koska myös valitun auton rakenne ja antennin asento tien varrella vaikuttavat niihin.

Testit kuitenkin todistivat, että auto on mahdollista tunnistaa useiden metrien päästä maantienopeuksilla, mutta jotta voidaan taata 100 %:n lukuvarmuus, on kaikki luku tapahtumaan vaikuttavat parametrit (etätunnistimen suunnittelu ja kiinnitys, antennin asento tien varrella, lukupaikan ympärillä olevat rakenteet, jne.) tutkittava ja optimoituva sovelluskohtaisesti.

4.4 Etätunnistimen lukeminen tuulilasin lävitse

4.4.1 Tavoite

Etätunnistin olisi kiinnitettävä autoon siten, että lukutapahtuma onnistuu varmasti valitusta suunnasta. Mahdollisia kiinnityspaikkoja ovat esimerkiksi etupuskurin muovikotelon sisus, jolloin lukija voitaisiin sijoittaa tien sivuun, tai tuulilasin sisäpinta, jolloin lukija voisi olla joko kaistan päällä portaalissa tai tien sivussa. Tämä luku käsittelee tilannetta, jossa etätunnistin on kiinnitetty auton tuulilasiin.

Auton tuulilasi on yleensä noin 5–10 mm paksu kerrosrakenne, jossa kahden lasilevyn välissä on muovikerros. Lasi on melko häviötöntä sähköisesti, mutta muovi voi olla hyvinkin häviöllistä. Lasin suhteellinen permittiivisyys on noin 4, mikä vaikuttaa etätunnistimen antennin viritukseen, jos tunnistin kiinnitetään suoraan lasipinnalle. Lisäksi lasissa voi olla erilaisia sävytyksiä, jotka muuttavat lasin ominaisuuksia. Tuulilasiin voidaan myös upottaa sähkölämmitysjohtimet.

Mittauksissa pyrittiin mittaamaan kahden erilaisen tuulilasin vaimennus 869 MHz:n radiosignaalille Palomar-järjestelmän avulla. Toinen mitattavista autoista oli Ford Mondeo, jonka tuulilasissa on sähkölämmitys, muttei sävytystä. Tämän oletetaan olevan ns. pahin mahdollinen tapaus radioaalloille. Toisena mitattavana autonä oli Oldsmobile Cutlass Ciera S, jonka tuulilasi on ns. tavallinen eli lasissa ei ollut sähkölämmitystä eikä sävytystä.

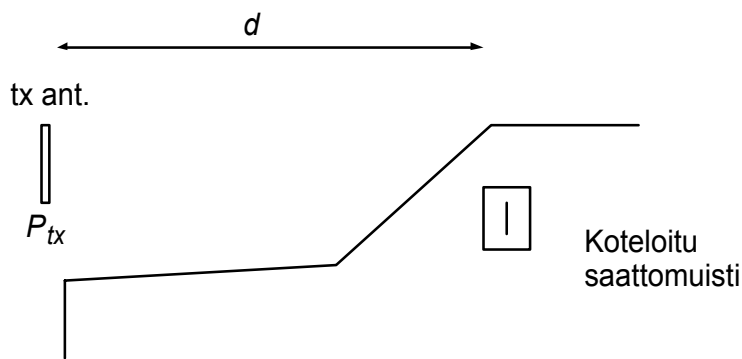
4.4.2 Mittausjärjestely

Mittauksia suoritettiin kahdella eri geometrialla: Ensiksikin mitattiin lasin vaimennusta sijoittamalla koteloitu etätunnistin auton sisälle, kauas tuulilasista. Toisekseen tutkittiin etätunnistimen kiinnitystä tuulilasiin. Molemmat mittaukset suoritettiin oskilloivalla etätunnistimella, joka moduloi takaisinheijastuvaa signaalia 200 kHz:n taajuudella aina, kun se saa riittävästi tehoa lukijalaitteelta. Tälle rajateholle on mittauksissa saatu arvo $-12,3$ dBm. Varsinainen muistillinen etätunniste voidaan lukea $-14,3$ dB:n RF-teholla. Mittauksissa lähetystehoa kasvatettiin, kunnes etätunnistin aktivoitui. Aktivoitumiseen tarvittava lähetysteho kirjoitettiin muistiin. Etätunnistimen aktivoituminen nähtiin vastaanottoantenniin kiinnitetyn spektrianalysaattorin näytöllä 200 kHz:n sivunauhojen syttymisenä kantoaaltotaajuuden ympärille.

Kuvassa 12 on esitetty tuulilasin vaimennuksen mittaamiseen käytetty geometria. Vertaamalla vaadittavaa lähetystehoa P_{tx} ja matkaa d vapaassa tilassa lähetysteholla $P_0 = 25,8$ dBm (eirp) saavutettavaan toimintaetäisyyteen $d_0 = 2,22$ m, voidaan laskea tuulilasin vaimennus A yhtälöstä

$$A = \frac{P_0}{P_{tx}} \left(\frac{d}{d_0} \right)^2.$$

Vaimennus A on negatiivinen signaalin vaimetessa. Kuvassa 13 on esitetty valokuvin mittaustapahtuma tavallisella tuulilasilla. Lukijalaitteen antennien polarisaationa käytettiin sekä vaaka- että pystypolarisaatiota, koska heijastukset konepellistä ja tuulilasista käyttäytyvät eri tavalla eri polarisaatioille. Lisäksi molemmilla lähetyspolarisaatioilla mitattiin kynnysteho etätunnistimen ollessa vaaka- ja pystypolarisaatioissa. Liitteessä 2 on esitetty kopio mittauspöytäkirjasta.



Kuva 12. Tuulilasin vaimennuksen mittaus.



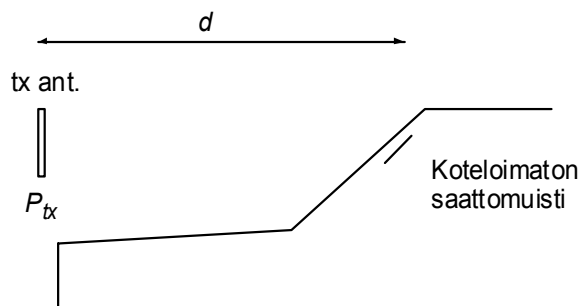
Kuva 13. Tuulilasin vaimennuksen mittaus tavallisella tuulilasilla. Autona Oldsmobile Cutlass Ciera S. Autossa sininen koteloitu etätunnistin.

Lisäksi tutkittiin etätunnistimen kiinnittämistä tuulilasiin. Tätä varten etätunnistimen kotelointi purettiin ja tunnistin kiinnitettiin yhden senttimetrin päähän ikkunalasista ku-

van 14 osoittamalla tavalla. Mittaus suoritettiin Ford Mondeon sähkölämmitteisellä tuulilasilla. Muuten mittausjärjestely ja -geometria ovat muuttumattomat, kuten kuva 15 osoittaa. Kuvassa 16 nähdään Ford Mondeon tuulilasin sähkölämmityksen vastusjohdot, jotka kulkevat pystysuoraan tuulilasissa.



Kuva 14. Etätunnistimen kiinnittäminen tuulilasiin.



Kuva 15. Tuulilasiin kiinnitetyn etätunnistimen mittaaminen. Yllä geometria ja alla valokuva mittajärjestelystä. Autona on Ford Mondeo, jonka tuulilasi on sähköisesti lämmitetty.



Kuva 16. Ford Mondeon tuulilasin sähkölämmitysvastukset kulkevat pystysuoraan.

4.4.3 Mittaustulokset ja johtopäätökset

Taulukossa 3 on esitetty tulokset tuulilasin vaimennusmittauksista sekä laskettu tuulilasin vaimennus. Tuloksissa huomattavaa on, että negatiivinen vaimennuksen A arvo tarkoittaa signaalin vaimenemista vapaan tilan etenemisen suhteen ja positiivinen signaalin voimistumista. Tehon vahvistuminen taas varsinkin vaakapolarisoidulla signaalilla johtuneen konepellin aiheuttamista heijastuksista. Koko signaalin teho ei läpäise signaalin etenemissuuntaan nähden vinoa tuulilasia, vaan osa heijastuu pois. Heijastuskertoimet ovat erisuuruisia eri polarisaatioille. Teoriassa nämä heijastuskertoimet voitaisiin laskea, jos tarkka tulokulma olisi tiedossa. Signaalin vahvistuminen vapaan tilan etenemiseen nähden kertoo kuitenkin sen, että heijastukset ovat mittaustilanteessa olennaisia. Koska heijastuneiden signaalien tarkkaa kulkureittiä ei tunneta, ei heijastuskertoimikaan voida luotettavasti laskea. Yleisesti voidaan todeta, että vaakapolarisaation heijastuskerroin on pystypolarisaation heijastuskerrointa suurempi tai yhtä suuri kaikilla tulokulman arvoilla.

Taulukko 3. Tuulilasin vaimennus eri mittaustilanteissa. Mittaus suoritettu koteloidulla etätunnistimella.

Polarisaatio		Oldsmobile Cutlass Ciera S			Ford Mondeo		
Lukija	Etätunnistin	P_{tx} (dBm)	d (m)	A (dB)	P_{tx} (dBm)	d (m)	A (dB)
Vaaka	Vaaka	22,7	2,15	3,5	21,0	1,98	4,5
Vaaka	Pysty	ei toimi	2,15	$-\infty$	22,1	1,98	3,4
Pysty	Vaaka	ei toimi	2,15	$-\infty$	37,0	1,98	-11,5
Pysty	Pysty	25,7	2,15	0,5	30,5	1,98	-5,0

Koska signaalin ympäristö muuttuu mitattavan auton muuttuessa, ei vaimennusten absoluuttisia arvoja voida verrata eri autojen välillä, vaan vertailua voidaan tehdä vain saman tuulilasin eri polarisaatioiden välillä.

Taulukossa 3 esitettyä vaimennusta A ei siis voida pitää absoluuttisena, vaan ainoastaan suhteellisena. Oldsmobilen tuulilasissa ei ole mitään polarisaatioon vaikuttavia rakenteita, joten havaittu 3 dB:n ero vaaka ja pystypolarisaatioilla johtunee puhtaasti sekä konepelliltä että tuulilasista syntyvien heijastusten eroavaisuuksista. Se, että etätunnistin ei toimi ns. ristipolarisaatioissa (mittauksen kaksi keskimmäistä riviä), on normaalia ja odotettavaa. Tämä vahvistaa käsitystämme siitä, että tuulilasissa ei ole mitään polarisaatioon vaikuttavia rakenteita.

Ford Mondeon tuulilasissa olevat pystysuuntaiset johtimet sen sijaan muodostavat polarisaatioon vaikuttavan rakenteen. Teoriassa johdinten pitäisi vaimentaa pystypolarisoitua aaltoa, ja päästää vaakapolarisoitu vaimentumatta lävitseen. Mittauksissa tämä nähdään huomattavan suurena vaimennuksena pystypolarisaatioissa. Yllättävää on kuitenkin se, että tehoa saadaan siirretyksi myös ristipolarisaatioon. Tämä johtunee siitä, että lämmitysjohtimet eivät ole viivasuoria, vaan ne aaltoilevat hiukan.

Toisessa mittausosiossa testattiin etätunnistimen kiinnitystä tuulilasiin. Kuten kuvasta 10 nähdään, on etätunnistin kiinnitetty noin yhden senttimetrin päähän Ford Mondeon tuulilasista, auton sisäpuolelle. Mittaukset suoritettiin kuten tuulilasin vaimennusta tutkittaessakin. Mittauksen tulokset on esitetty taulukossa 4.

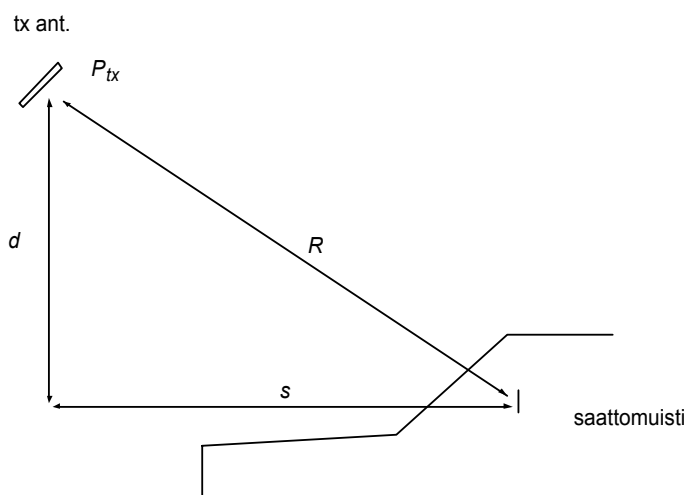
Taulukko 4. Tuulilasin aiheuttama vaimennus, kun etätunnistin oli kiinnitettynä tuulilasiin.

Polarisaatio		Ford Mondeo		
Lukija	Etätunnistin	P_{tx} (dBm)	d (m)	A (dB)
Vaaka	Vaaka	38	1,27	-16,4
Pysty	Pysty	33	1,27	-11,4

Taulukossa 4 esitetyt vaimennukset A ovat hyvin suuria. Etätunnistin on mitä ilmeisimmin ollut liian lähellä tuulilasia, jonka ilmasta poikkeavat sähköiset ominaisuudet ovat heikentäneet antennin toimintaa. On epäselvää, johtuuko tämä tuulilasin lasin ominaisuuksista vai lämmitinjohdoista. Joka tapauksessa etätunnistin on kiinnitettävä kauemmas tuulilasista. Toinen mahdollisuus on kiinnittää tunnistin tuulilasin sijasta kojelaudan päälle, tuulilasin alle.

Tehtyjen mittausten perusteella on vaikea tehdä johtopäätöksiä tuulilasin absoluuttisesta vaimennuksesta, mutta selvästi havaitaan, että käytettävän polarisaation on oltava tuulilasinlämmitysjohtoja vastaan kohtisuora, jotta signaali etenisi tuulilasin läpi. Testiauto Ford Mondeon tapauksessa tämä tarkoittaa vaakapolarisaatiota.

Mittauksista nähdään kuitenkin selvästi, ettei tuulilasi ole vahvasti häviöllistä materiaalia. Tällöin voidaan arvio tuulilasin vaimennukselle laskea heijastuskertoimesta ilmalasi rajapinnalla. Jos lasin suhteellinen permittiivisyys on suuruusluokkaa $\epsilon_r = 4$, saadaan heijastuksen aiheuttamaksi vaimennukseksi $-0,5$ dB aallon tullessa kohtisuoraan tuulilasiin. Kohtisuoruus on hyvä arvio, jos tarkastellaan tunnistimen lukemista portaalisiin kiinnitetyllä lukijalaitteella (kuva 17). Näillä merkinnöillä tilanne redusoituinkin edellä kuvattuun ohiajotutkimukseen (luku 4.1). Tuulilasin vaimennus on samaa luokkaa kuin auton etupuskurin muovikotelon vaimennus.



Kuva 17. Etätunnistimen lukeminen portaalista.

Luvussa 4.1 todettiin, että maksimilukuetäisyys on $d = 2,65$ m lähetysteholla $P_{tx} = 0,5$ W (ERP). Tämä on liian lyhyt etäisyys portaalilukuun, koska portaalit ovat yleensä yli neljän metrin korkeudessa. Tulevaisuudessa, jos lähetysteho 2 W (ERP) sallitaan, saadaan lukuetäisyys d likimain kaksinkertaistettua $5,3$ metriin. Jos oletetaan portaalin ja etätunnistimen väliseksi pystysuoraksi etäisyydeksi $d = 4$ m, voidaan ohiajotutkimuksen perusteella esittää arvio siitä vaakasuurasta pituudesta s , jolla lukijan tuottama teho riittää etätunnistimen toimintaan: kuvan 4 mukaan etäisyydellä $d = 2$ m saavutetaan arvo $s = 2,5$ m. Yksinkertaisella ekstrapolaatiolla voidaan arvioida, että nelinkertaisella lähetysteholla ja kaksinkertaisella etäisyydellä päästäisiin vastaavaan pituuteen $s = 2,5$ m.

Kun tiedetään riittävän tehon alueen pituus s etätunnisteen korkeudella, voidaan arvioida lukutapahtuman onnistumista eri nopeuksilla. Käytetään tässä esimerkkinä Palomarlaitteistoa, joka lähettää lukukäskyn kerran 100 ms:ssä. Jotta ohiajava auto ehdittäisiin tunnistaa, saa auto kulkea korkeintaan matkan $s = 2,5$ m tässä ajassa. Tämä vastaa nopeutta 25 m/s eli 90 km/h. On huomioitava, että tämä nopeusrajoitus ei ole luonnonlakien asettama rajoitus, vaan seurausta viranomais määräyksistä, sallitusta lähetystehosta ja käyttösuhteesta. Itse lukutapahtuma saadaan tapahtumaan 10 ms:ssa, mutta lähetyste-

ho saa olla päällä vain 10 % laitteen käyttöajasta, joten lukukäsky voidaan toistaa vain 100 ms:n välein.

Portaaliluku vaikuttaisi toimivalta ratkaisulta myös maantienopeuksilla. Etätunnistimen kiinnittäminen tuulilasiin mahdollistaisi auton tunnistamisen myös tien pientareelle sijoitetulla lukijalaitteella.

4.5 Etätunnistimen lukeminen eri tienrakennusmateriaalien lävitse

4.5.1 Tavoite

RFID-järjestelmiä voidaan tieliikenteessä soveltaa periaatteessa kahdella eri tavalla. Autoon kiinnitetyn etätunnistimen toiminnasta tehdyt mittaukset on esitelty luvuissa 4.1, 4.2 ja 4.3. Tässä luvussa käsitellään tierakenteeseen upotetun etätunnistimen lukemista. Mittauksissa tutkittiin RF-signaalin vaimennusta eri tienrakennusmateriaaleissa, sekä tämän vaimennuksen vaikutusta etätunnistimen lukutapahtumaan. Mittaukset suoritettiin siten, että lukija oli etätunnistimeen nähden paikallaan.

4.5.2 Mittausjärjestely

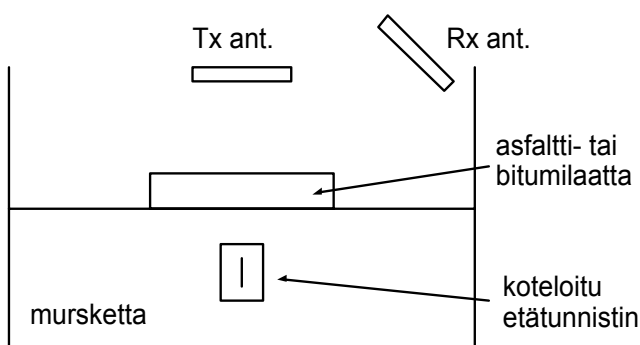
Etätunnistimen upottaminen tierakenteeseen monimutkaistaa RF-signaalin kulkemista lukijan ja etätunnistimen välillä. Mittauksissa keskityttiin tarkastelemaan tehonsiirtoa lukijalaitteelta etätunnistimelle, koska tämä teholinkki on laitteiston toiminnan kannalta kriittisin. Jos etätunnistimelle saadaan riittävästi tehoa, sen lähettämä vastaus on havaittavissa lukijalla. Siirtyvää tehoa pienentävät etätunnistimen ja lukijan välissä olevat häviölliset materiaalit sekä materiaalien rajapinnoista syntyvät heijastukset.

Etätunnistin voidaan upottaa asfalttitiiehen joko rakennusvaiheessa tai jälkiasennuksena. Rakennusvaiheessa asennetun etätunnisteen päälle syntyy asfaltointivaiheessa saumaton asfalttikerros. Jälkiasennuksessa etätunnistin voidaan sijoittaa asfalttiin porattuun reikään ja reikä täytetään bitumilla. Molemmissa tapauksissa etätunnistimen virheetön toiminta varmistetaan koteloimalla tunnistin esimerkiksi polypropyleenimuovin sisään.

Tierakenne on yleensä noin metrin syvyinen. Tien perustuksina käytetään erilaisia murskekerroksia, joiden päälle asfaltti levitetään. Etätunnistimen asennussyvyyden on oltava vähintään 10 cm, jotta etätunnistin ei tuhoudu tienpinnan kuluessa eikä huolto- toimien, kuten uudelleen-asfaltoinnin, aikana.

Mittauksissa pyrittiin selvittämään eripaksuisten asfaltti- ja bitumikerrosten vaikutusta etätunnistimen toimintaan. Kuvassa 18 esitetyllä järjestelyllä mitattiin eripaksuisten tienrakennusmateriaalikerrosten vaikutusta 869 MHz:n radiosignaalin etenemiseen. Mittauksessa ei ainoastaan tutkittu lukutapahtuman onnistumista, vaan pyrittiin mittaamaan

erilaisten tienrakennusmateriaalikerrosten vaikutus tehon siirtymiseen lukijasta upotettuun etätunnistimeen.



Kuva 18. Mittausjärjestely: Yllä kaavakuva, alla mittalaitteisto ja koteloitu etätunnistin murskeessa.

Murskeeseen upotettu etätunnistin moduloi takaisinsiroavaa 869 MHz:n signaalia 200 kHz:n taajuudella aina, kun etätunnistimen lukijalta saama RF-teho ylittää tunnetun arvon. Tälle rajateholle on mittauksissa saatu arvo $-12,3$ dBm. Varsinainen muistillinen etätunniste voidaan lukea $-14,3$ dB:n RF-teholla. Mittauksissa lähetystehoa kasvatettiin, kunnes etätunnistin aktivoitui. Aktivoitumiseen tarvittava lähetysteho kirjoitettiin muistiin. Etätunnistimen aktivoituminen nähtiin vastaanottoantenniin kiinnitetyn spektrianalysaattorin näytöllä 200 kHz:n sivunauhojen syttymisenä kantoaaltotaajuuden ympärille.

Eripaksuisten asfaltti-, bitumi- ja vesikerrosten vaikutus tarvittavaan lähetystehoon mitattiin. Vertaamalla vaadittavaa lähetystehoa P_{tx} ja matkaa d vapaassa tilassa lähetysteholla $P_0 = 25,8$ dBm (eirp) saavutettavaan lukuetaisyyteen $d_0 = 2,22$ m voidaan laskea materiaalikerrosten vaimennus A yhtälöstä

$$A = \frac{P_0}{P_{tx}} \left(\frac{d}{d_0} \right)^2.$$

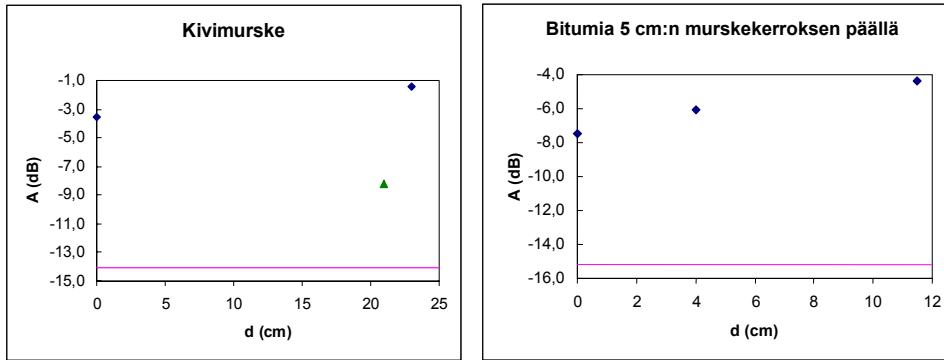
Vaimennus A on negatiivinen signaalin vaimetessa. Mittauspöytäkirjan kopio on esitetty liitteessä 3. Kunkin materiaalin mittauksen ajan etätunnistimen ja lähetysantennin välinen etäisyys pidettiin vakiona. Tämä etäisyys oli 56 cm kaikissa mittausarjoissa, paitsi kivimursketta mitatessa, jolloin etäisyys oli 63 cm. Kuvassa 19 on esitetty asfalttilaattojen mittaus sekä bitumin mittaus.



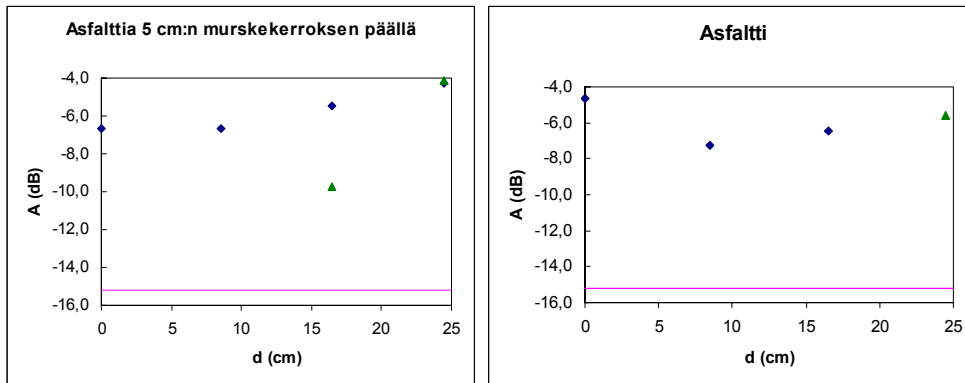
Kuva 19. Vasemmalla mittaus asfalttilaatoilla, oikealla muovilaatikkoon valettu bitumilaatta.

4.5.3 Mittaustulokset

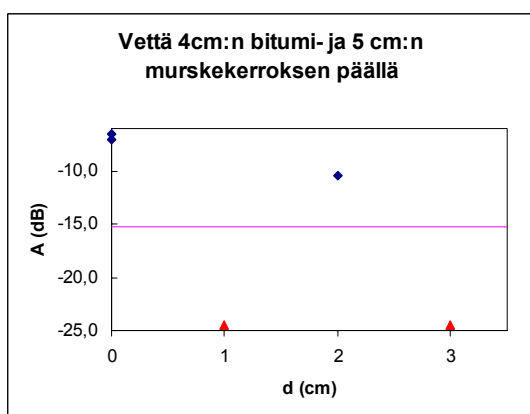
Kuvissa 20–22 on esitetty eri materiaalien vaimennus A materiaalikerroksen paksuuden d funktiona. Kuvissa viivalla on esitetty suurin vaimennus, millä viranomaisten sallima korkein lähetysteho + 29 dBm (eirp) riittää etätunnistimen toimintaan kyseisellä mitaustäisyydellä.



Kuva 20. Kivimurskeen ja bitumin vaimennukset eri materiaalikerroksen paksuuksilla. Kivimurskeen tapauksessa vihreällä kolmiolla merkitty mittaus on tehty kaatamalla 23 cm:n paksuisen kivimurskekerroksen päälle 10 litraa vettä, jonka imeytyttyä mittaus on tehty. Vesi tiivisti 23 cm paksun murskekerroksen 21 cm:iin.



Kuva 21. Vaimennus asfalttikerroksen paksuuden funktiona. Paksuudella 17 cm havaitaan suuri ero normaalilla bitumisella asfalttipinnalla (siniset timantit) ja hiekkapuhalletulla pinnalla (vihreät kolmiot).



Kuva 22. Veden vaimennus. Paksuuksilla 1 ja 3 cm etätunnistinta ei saatu lainkaan heräämään. Vaimennus oli vähintään punaisten kolmioiden osoittamien arvojen suuruinen.

Kivimurskeen, asfaltin ja bitumin tapauksissa huomataan, että kyseisissä mittauksissa materiaalikerroksen paksuus ei vaikuta suoraan vaimennusta kasvattavasti. Suurimmat häviöt eivät siis tapahdu itse materiaalikerroksessa, vaan eri kerrosten rajapinnoilla. Kaikissa mittauksissa on vähintään kaksi rajapintaa: ilma–tutkittava materiaali ja tutkittava materiaali–solumuovi. Näistä rajapinnoista syntyvät heijastukset tekevät materiaalikerroksesta resonaattorin, johon syntyy seisovaa aaltoliikettä. Tällainen rakenne toimii kuin kaistanpäästösuodin: joillakin taajuuksilla teho läpäisee rakenteen hyvin, toisilla taajuuksilla teho heijastuu lähes täysin.

Materiaalikerroksen paksuus ja sähköiset ominaisuudet, lähinnä suhteellinen permittiivisyys ϵ_r , määräävät rakenteen päästökaistat, eli ne taajuudet, joilla teho läpäisee rakenteen. Päästökaistat toistuvat aallonpituuden puolikkaan välein materiaalin paksuuden funktiona. Käytetyn 869 MHz:n signaalin aallonpituus ilmassa on $\lambda_0 = 35$ cm. Aallonpituus tutkittavassa materiaalissa λ_g voidaan laskea materiaalin suhteellisen permittiivisyyden ϵ_r avulla:

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

Esimerkiksi asfaltin suhteellinen permittiivisyys on suuruusluokkaa $\epsilon_r = 3$ ja veden $\epsilon_r = 80$ [1]. Tästä voidaan laskea, että aallonpituus asfaltissa on $\lambda_g = 20$ cm ja vedessä $\lambda_g = 4$ cm. Rakenteen päästö- ja estokaistojen toistuminen aallonpituuden λ_g puolikkaan välein nähtiin erityisen selvästi veden vaikutusta tehonsiirtoon mitattaessa (kuva 24). Asfaltin tapauksessa tulkinta ei ole yhtä selvää, koska asfalttikerros koottiin noin 8 cm paksuista laatoista. Laattojen väli ei ollut täysin tiivis, vaan väliin pääsi hiukan ilmaa.

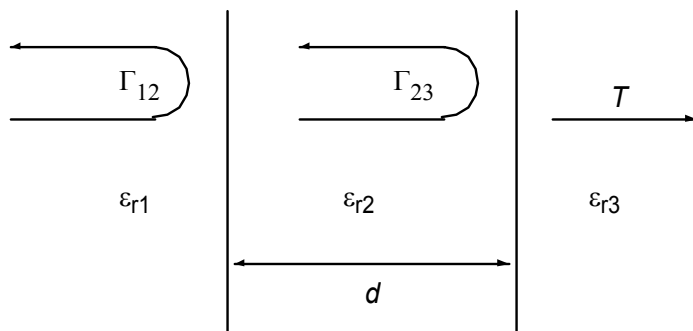
Huomattavaa on, että lähes kaikissa mittauksissa sallittu lähetysteho riitti etätunnistimen toimintaan. Ainoastaan tietynpaksuisten vesikerrosten vaimennus oli niin suuri, että etätunnistinta ei saatu toimimaan sallituilla lähetystehoilla.

4.5.4 Johtopäätökset

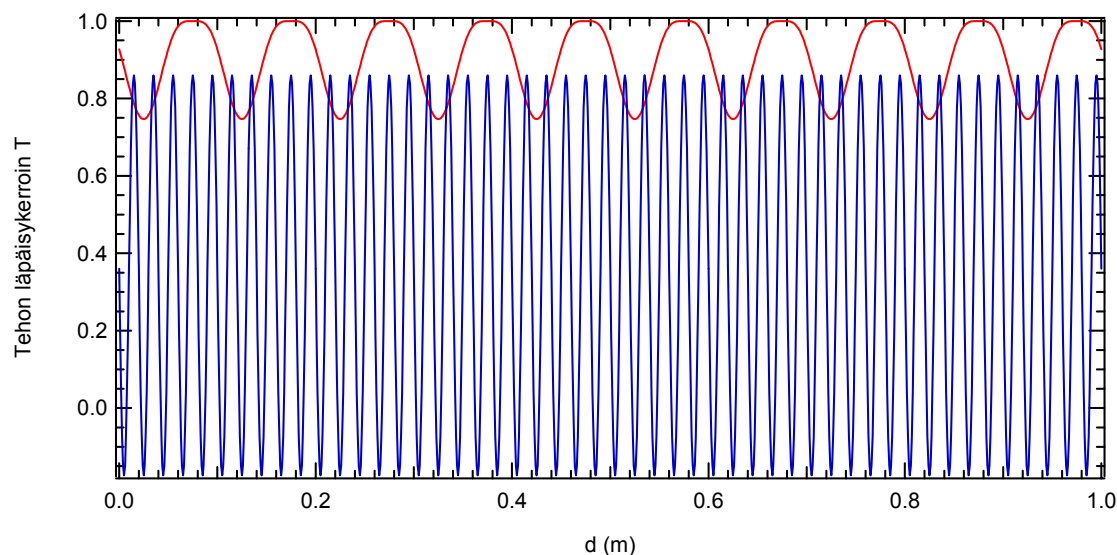
Mittauksissa havaittiin, että rakennekerrosten paksuus vaikuttaa huomattavasti tehonsiirtoon. Tietyillä materiaalipaksuuksilla tien rakenne voi heijastaa hyvin suuren osan tehosta. Tulosta havainnollistettiin laskemalla ilma–asfaltti–ilma- ja ilma–vesi–asfaltti-rakenteiden tehon läpäisykertoimet T asfaltti- ja vesikerroksen paksuuden funktiona. Olettamalla vesi ja asfaltti häviöttömiksi voidaan tehon läpäisykertoimen itseisarvo laskea yhtälöstä [2]

$$T = 1 - \left(\frac{\Gamma_{12} + \Gamma_{23} \sin(-4\pi d / \lambda_g)}{1 + \Gamma_{12}\Gamma_{23} \sin(-4\pi d / \lambda_g)} \right)^2,$$

missä Γ_{12} on ensimmäisen ja Γ_{23} toisen rajapinnan (sähkökentän) heijastuskerroin, sekä d materiaalikerroksen paksuus (Kuva 23). Kuvassa 24 on esitetty lasketut läpäisyker-
toimet. Asfaltille on käytetty permittiivisyyttä $\epsilon_r = 3$ ja vedelle $\epsilon_r = 80$.



Kuva 23. Tehon läpäisykerroimen laskemiseen käytetty geometria.

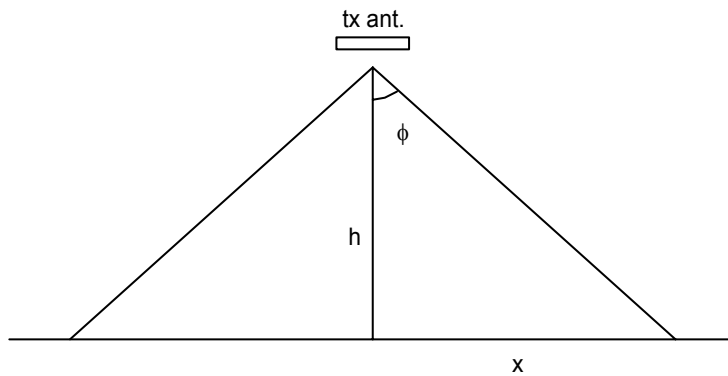


Kuva 24. Rakenteiden ilma-asfaltti-ilma (punainen) ja ilma-vesi-asfaltti (sininen) te-
hon läpäisykerroimet materiaalin paksuuden funktiona.

Kuvasta 24 nähdään helposti, että asfaltin tapauksessa seisovan aallon aiheuttama vai-
mennus jää aina suhteellisen pieneksi, ja täten riittävästi tehoa saadaan siirretyksi asfal-
tin läpi. Sen sijaan vesi saa aikaan hyvin voimakkaan vaimennuksen, joka vielä muuttuu
voimakkaasti vesikerroksen paksuuden funktiona. Jos etätunnistin upotetaan tieraken-
teeseen, erityistä huomiota on kiinnitettävä siihen, että tielle satava vesi valuu tehok-
kaasti pois etätunnistimen kohdalta.

Lisäksi on hyvä pohtia lukijalaitteen kiinnitystä autoon. Mittauksissa etätunnistimen ja
antennin välinen etäisyys oli noin puoli metriä. Tällöin, jos tiellä ei ole vettä, pahim-
massa havaitussa tapauksessa asfalttikerroksen vaimennukseksi saatiin $A = -10$ dB. Ver-
taamalla vaadittavaan lähetysteho P_{tx} ja saavutettua matkaa d vapaan tilan arvoihin

$P_{max} = 29$ dBm (eirp) ja $d_{max} = 4$ m, jotka saavutetaan normaalilla, muistillisella etätunnisteella, voidaan kuvan 25 merkinnöin laskea sen vaakasuoran matkan x pituus, johon korkeudelle h kiinnitetty antenni luo riittävän vahvan RF-kentän etätunnistimen toiminnalle. Antennin normitetuksi suuntakuvioksi on oletettu $\cos^2 \phi$ ja asfalttikerroksen vaimennuksen, joka johtuu sekä heijastuksista että materiaalin häviöistä, oletetaan pysyvän kulman ϕ funktiona vakiona.

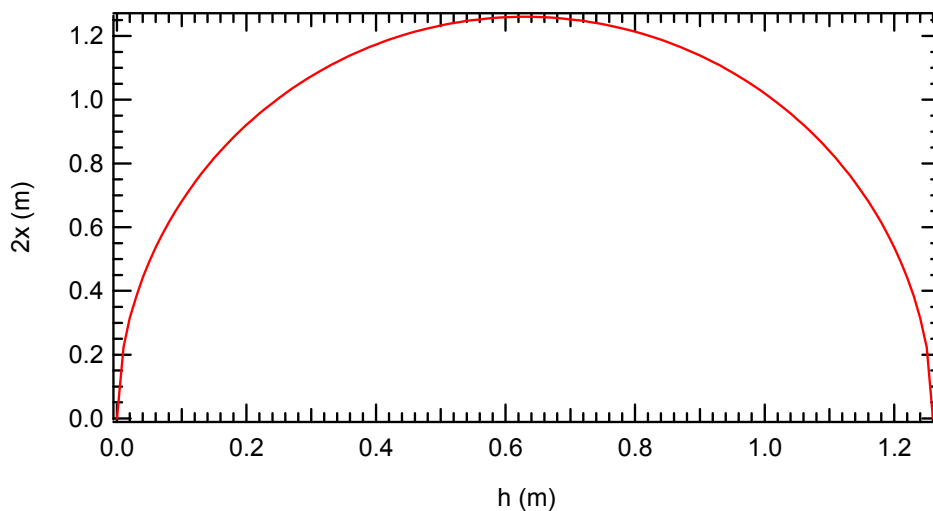


Kuva 25. Antennin valaiseman alueen pituuden $2x$ laskemiseen käytetty geometria.

Pituudelle x saadaan nyt lauseke

$$x = \sqrt{\sqrt{Ahd_{max}} - h^2},$$

missä $A = -10$ dB on asfalttikerroksen vaimennus pahimmassa tapauksessa ja $d_{max} = 4$ m on vapaassa tilassa mitattu maksimilukuetäisyys. Kuvassa 26 on esitetty kokonaismatka $2x$, jolla teho riittää etätunnistimen toimintaan asfaltin läpi eri antennin etäisyyksillä h .



Kuva 26. Vaakasuoran pituus $2x$, jolla asfaltin läpi valaistava etätunnistin toimii antennin eri etäisyyksillä h .

Kuvasta 26 nähdään, että suurin pituus saadaan antennin ja etätunnistimen välisellä etäisyydellä $h = 60$ cm, mikä vastaa 1,2 metrin mittaista riittävän tehon keilaa etätunnistimen kohdalla.

Palomar-laitteistossa lukukomentoja toistetaan 100 ms:n välein. Jotta ohiajava auto onnistuisi lukemaan tiehen upotetun etätunnistimen, on etätunnistimen saatava ohi ajettaessa riittävästi tehoa toimiakseen vähintään 100 ms:n ajan. Tässä ajassa auto saa siis liikkua korkeintaan 1,2 metriä, mikä vastaa nopeutta 12 m/s eli 43 km/h. On huomioitava, että tämä nopeusrajoitus ei ole luonnonlakien asettama rajoitus, vaan seurausta viranomais määräyksistä, sallitusta lähetystehosta ja käyttösuhteesta. Itse lukutapahtuma saadaan tapahtumaan 10 ms:ssa, mutta lähetysteho saa olla päällä vain 10 % laitteen käyttöajasta, joten lukukäsky voidaan toistaa vain 100 ms:n välein.

4.6 Mittaustulosten arviointia

Mittauksissa tutkittiin kolmea eri tapausta: Ohiajavan ajoneuvon tunnistusta pientareelle sijoitetulla lukijalla, etätunnistimen sijoittamista tuulilasiin portaalista tapahtuvaa lukemista varten sekä tierakenteeseen upotetun etätunnistimen lukemista.

Ensimmäisessä mittauksessa etätunnistin kiinnitettiin auton etupuskurin muovien taakse ja lukijalaite tien pientareelle. Tutkimus tehtiin Palomar-laitteistolla 0,5 watin (ERP) lähetysteholla. Mittauksessa tutkittiin onnistuneiden lukutapahtumien määrää eri ohiajonopeuksilla ja -etäisyyksillä. Lukeminen onnistuu hitailla nopeuksilla 2,5 metrin kohtisuoralta etäisyydeltä lukijalaitteesta. Tämä rajoitus perustuu viranomaisten säätämään maksimilähetystehoon, mutta myös järjestelmäkohtainen etätunnistimen tehonkulutus vaikuttaa maksimilukuetäisyyteen. Jos 2 watin (ERP) lähetysteho lähiaikoina sallitaan, pitäisi lukuetaisyyden noin kaksinkertaistua.

Käytetty Palomar-järjestelmä lähettää lukukäskyn korkeintaan kerran 100 ms:ssa. Tämä rajoittaa lukuetaisyysuutta suurilla nopeuksilla: Jos auto ei ole 100 ms:a lukijan ”näkökentässä”, luku ei aina onnistu. Tämä rajoitus johtuu osin laitteistosta ja osin viranomaismääräyksistä. Taajuusalueella 869 MHz viranomaiset sallivat 10 %:n käyttöajan: Palomar-järjestelmässä lukukomennon suorittaminen vaatii noin 10 ms lähetysaikaa, jonka jälkeen on käyttöaika-rajituksen vuoksi oltava 90 ms hiljaa.

Toisessa mittauksessa pohdittiin etätunnistimen kiinnittämistä auton etulasiin, jotta lukeminen voitaisiin suorittaa tien päällä olevasta portaalista tai myös pientareelta. Etulasin vaimennus havaittiin suhteellisen pieneksi, eli lasin läpi lukeminen on mahdollista. Tuulilasin sähköinen lämmitys ei häiritse lukutapahtumaa, jos lähetetyn signaalin polarisaatiotaso on kohtisuorassa tuulilasissa kulkeviin lämmitysjohtimiin nähden.

Tehtyjen mittausten mukaan portaalista lukeminen on mahdollista myös maantienopeuksissa 2 watin (ERP) lähetysteholla. Nykyinen sallittu lähetysteho 0,5 wattia ei riitä takaamaan riittävää lukuetaisyysuutta yleensä yli neljän metrin korkuisista portaaleista. Ohiajavan auton tunnistamista portaalista käsin koskevat samat rajoitukset kuin pientareelta tapahtuvaa tunnistustakin.

Kolmanneksi tutkittiin etätunnistimen upottamista tierakenteeseen, josta tunnistin voitaisiin lukea autoon sijoitetulla lukijalaitteella. Tässä tilanteessa havaittiin, että suurin osa lukutapahtumaa rajoittavasta vaimennuksesta aiheutuu eri tienrakennusmateriaalien rajapinnoista syntyvistä heijastuksista, kun etätunnistin on upotettu korkeintaan muutama kymmenen senttimetrin syvyyteen. Asfaltti, bitumi ja kostea kivimurske aiheuttavat suuruusluokaltaan -10 dB vaimennuksen. Tästä voidaan laskea, että lukija-antenni pitää sijoittaa noin 60 cm:n päähän etätunnistimesta (esimerkiksi auton puskuriin), jotta mahdollisimman suuri alue tiestä valaistaan riittävällä teholla. Tällöin Palomarlaitteistolla etätunnistin voitaisiin toimintavarmasti lukea korkeintaan 40 km/h -nopeudella kulkevasta ajoneuvosta. Tämä nopeusrajoitus johtuu jälleen sekä Palomarlaitteiston että viranomaisten asettamista rajoista.

Tienrakenteeseen etätunnistinta upotettaessa tulee ottaa huomioon se, että lähetysteho lisättäessä antennin optimikorkeuskin kasvaa. Autoon lukijaa ei kuitenkaan voida kiinnittää juurikaan puolta metriä korkeammalla. Näin ollen nelinkertaisella lähetysteholla ei välttämättä saada aikaan kaksinkertaista valaisualuetta, eikä ohiajonopeutta.

Tierakenteen vaikutusta mitattaessa havaittiin myös, että hyvinkin ohut vesikerros voi estää tiehen upotetun etätunnistimen lukemisen täydellisesti. Etätunnistin on siis sijoitettava tierakenteessa kohtaan, josta vesi valuu tehokkaasti pois.

Tehtyjen mittausten perusteella voidaan todeta, että etätunnistimen kiinnittäminen autoon mahdollistaa ohiajavan auton tunnistuksen. Tutkimuksessa käytettiin enimmäkseen 0,5 watin lähetystehoa, mutta tuloksista voidaan päätellä, että tunnistus onnistuu riittävän etäältä lukijasta myös maantienopeuksilla 2 watin lähetysteholla. Etätunnistin voi-

daan kiinnittää joko auton puskuriin, jolloin lukeminen tapahtuu pientareelta, tai auton tuulilasin taakse, jolloin lukeminen voi tapahtua sekä ylhäältä portaalista että pientareelta.

5 YHTEENVETO JA SUOSITUKSET

Tutkimuksessa kokeiltiin passiivisten RFID-saattomuistien luettavuutta tieliikenteessä käytettävillä nopeuksilla ja etäisyyksillä. Vaikka käytetyt laitteistot, saattomuistit ja antennit olivat yleiskäyttöisiä, saatiin lukutapahtuma onnistumaan sekä liikkuvaan autoon muovipuskurin ja tuulilasin läpi että asfaltti- ja murskekerroksen läpi.

Koska tekniikka on osoittautunut toimivaksi ja etätunnisteiden hinnat ovat laskussa, voidaan seuraavaksi kokeilla mm. seuraavia liikenteen seurannan ja valvonnan käytännön palvelusovelluksia:

- ♦ matka-aikamittaukset
- ♦ logistiikan ohjausjärjestelmät
- ♦ autojen katsastustarrat
- ♦ joukkoliikenteen seuranta
- ♦ kevyen liikenteen opastus
- ♦ pysäköintipaikkojen varaus, laskutus ja opastus
- ♦ rautatieliikenteen sovellukset.

Matka-aikamittauskokeilut voitaisiin käynnistää valittavalla tieosuudella nopeastikin hankkimalla 2–4 lukulaitetta sekä asentamalla etätunnisteet vapaaehtoisten koehenkilöitten ajoneuvoihin. Joukkoliikenneinformaation kehittämisessä esimerkiksi pikavuoro-liikenteeseen tarvittaisiin aluksi vähemmän etätunnisteita, mutta hieman enemmän tiedonsiirto- ja näyttölaitteita. Laitteistojen ja ohjelmistojen osalta kehitystarpeita voidaan osoittaa ainakin lukemisfrekvenssin ja metallipinnoille kiinnitettävien etätunnisteiden suhteen.

KIRJALLISUUSLUETTELO

- [1] TransTech Systems, Inc.: Technical Note 0301: Effect of Water and Temperature on Hot Mix Asphalt Density Measurement using Electromagnetic Sensing, 15.1.2003. Saatavilla:
www.transtechsys.com/Technical%20Brief%20%20Water%20-%20Temperature.pdf.
- [2] David M. Pozar, Microwave Engineering, John Wiley & Sons, toinen painos, 1998.
- [3] EVI Project Consortium, EVI Requirements and User Needs, 2003
- [4] EVI Project Consortium, Discussion document, EVI Work Shop 18 December 2003, 'High level architecture & technology options'
- [5] EVI Project Consortium, Minutes/outcome EVI Consultation Workshop 'EVI feasibility', 26 March 2004, Brussels
- [6] TASKU2002: Tavarakuljetusten seuranta. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, Liikenne ja logistiikka, Tutkimusraportti RTE 4059/02. 75 s. + liitt. 39 s. Espoo 2002.

LIITE 1

Mittauspöytäkirja ohiajomittauksista

Kunkin alitaulukon otsikkorivillä on käytetty ajonopeus sekä sulkeissa tavoitteena ollut nimellisetäisyys. Näiden alla on vasemmalla renkaanjäljen keskeltä mitattu todellinen etäisyys (d) sekä oikealla tämän ajon onnistuneiden lukukertojen määrä.

50 km/h	(1 m)	60 km/h	(1 m)	70 km/h	(1 m)	80 km/h	(1 m)
1,1 m	2	1,05 m	2	1 m	2	1,1 m	1
1,07 m	2	1 m	1	1,1 m	2	1 m	1
1 m	2	1 m	1	1,1 m	1	0,95 m	1
1,01 m	2	1 m	1	1,1 m	1	0,95 m	1
1 m	2	1 m	2	1,1 m	1	1,05 m	1

80 km/h	(2 m)	80 km/h	(3 m)	50 km/h	(2,5 m)	40 km/h	(2,5 m)
2,2 m	1	3,3 m	0	2,35 m	1	2,55 m	1
1,95 m	1	3 m	0	2,65 m	0	2,55 m	1
2 m	1	3,05 m	0	2,65 m	0	2,65 m	1
2,05 m	1	3,1 m	0	2,85 m	0	2,4 m	1
2,05 m	1	3,1 m	0	2,35 m	1	2,6 m	3

60 km/h	(2,5 m)	70 km/h	(2,5 m)	80 km/h	(2,5 m)	100 km/h	(1 m)
2,5 m	1	2,45 m	1	2,5 m	1	1,1 m	1
2,45 m	1	2,45 m	0	2,5 m	0	1,05 m	1
2,5 m	1	2,4 m	1	2,4 m	0	1,1 m	1
2,45 m	2	2,5 m	0	2,45 m	0	1,2 m	0
2,45 m	1	2,6 m	0	2,5 m	0	1,15 m	1

LIITE 2

Mittauspöytäkirja tuulilasin aiheuttamista vaimennuksista

Tuulilasimittaus 2.4.2004

Auto: Ford Mondeo, tuulilasi sähkölämmitetty

koteloitu etätunniste auton sisällä, kaukana tuulilasista

Polarisaatio		Teho, jolla etätunniste alkoi toimia		Tuulilasin vaimennus	
Lähetys vaaka	Tägi vaaka	Posc (dBm)	Ptx (dBm)	A (dB)	Ptx = Ptx (eirp)
		-18	20,3	4,5	
vaaka	pysty	-16,9	21,4	3,4	Etäisyys etätunnisteen ja lähettimen välillä on 1,98 m
pysty	vaaka	-2	36,3	-11,5	
pysty	pysty	-8,5	29,8	-5,0	

Auto: Oldsmobile Cutlass Ciera S, tuulilasi ilman sähkölämmitystä

koteloitu etätunniste auton sisällä, kaukana tuulilasista

Polarisaatio		Teho, jolla etätunniste alkoi toimia		Tuulilasin vaimennus	
Lähetys vaaka	Tägi vaaka	Posc (dBm)	Ptx (dBm)	A (dB)	Ptx = Ptx (eirp)
		-16,3	22,0	3,5	
vaaka	pysty	>0	ei toimi		Etäisyys etätunnisteen ja lähettimen välillä on 2,15 m
pysty	vaaka	>0	ei toimi		
pysty	pysty	-13,3	25,0	0,5	

Auto: Ford Mondeo, tuulilasi sähkölämmitetty

Tägi kiinnitetty 1 cm etäisyydelle tuulilasista, auton sisäpuolelle

Polarisaatio		Teho, jolla etätunniste alkoi toimia		Tuulilasin vaimennus	
Lähetys vaaka	Tägi vaaka	Posc (dBm)	Ptx (dBm)	A (dB)	Ptx = Ptx (eirp)
		-1	37,3	-16,4	
vaaka	pysty	ei mitattu			Etäisyys etätunnisteen ja lähettimen välillä on 1,27 m
pysty	vaaka	ei mitattu			
pysty	pysty	-6	32,3	-11,4	

Käytetään normitusta, joka on mittaus kaiuttomassa huoneessa:

d = 2,22 m
Posc = -12,5 dBm systeemin gaini
Ptx = 25,8 dBm 38,3

LIITE 3

Mittauspöytäkirja tien rakenteen aiheuttamista vaimennuksista

RF-tie: Etätunnistimen hautaaminen tierakenteeseen

Asfaltin ja bitumin vaimennus

Etätunnisteen kotelon mitat: 20 cm × 18 cm × 7,5 cm (leveys × korkeus × paksuus)
Etätunnisteen keskikohta noin 8 cm yläpintaa alempana

Etäisyys 1: Maanpinnan ja lähetinantennin väli on 23 cm (kun maata on 5 cm etätunnisteen kotelon päällä)

Murskeen paksuuden vaikutus

Murske kosteaa

maata kotelon yläreunan päällä

d (cm)	P sign.gen (dBm)	Ptx (eirp) (dBm)	Vaimennus A (dB)	Suurin sallittu lähetysteho Ptx, max = 27 dBm erp = 29 dBm eirp	Etäisyys d
0	-22,4	15,9	-5,9		36 cm
5	-22,7	15,6	-5,6		
10	-23,1	15,2	-5,2		
15	-23	15,3	-5,3		

Etäisyys 2: Maanpinnan ja lähetinantennin väli on 43 cm (kun maata on 5 cm etätunnisteen kotelon päällä)

5 cm maata kotelon päällä + Asfalttia d (cm)

Etäisyys d
56 cm

d (cm)	P sign.gen (dBm)	Ptx (eirp) (dBm)	Vaimennus A (dB)	
0	-17,8	20,5	-6,7	
8,5	-17,8	20,5	-6,7	normaali 8,5 mm
16,5	-14,7	23,6	-9,8	normaali 8,5 cm + hiekkapuhallettu 8 cm
24,5	-20,2	18,1	-4,3	normaali 8,5 cm + hiekkapuhallettu 8 cm + normaali 8 cm
16,5	-19	19,3	-5,5	normaali 8,5 cm + normaali 8 cm
24,5	-20,3	18	-4,2	normaali 8,5 cm + normaali 8 cm + hiekkapuhallettu 8 cm

5 cm maata kotelon päällä + Bitumia d (cm)

d (cm)	P sign.gen (dBm)	Ptx (eirp) (dBm)	Vaimennus A (dB)
0	-17	21,3	-7,5
4	-18,4	19,9	-6,1
11,5	-20,1	18,2	-4,4
7,5 ?	?		

5 cm maata kotelon päällä + Bitumia 4 cm +d (cm) vettä

d (cm)	P sign.gen (dBm)	Ptx (eirp) (dBm)	Vaimennus A (dB)	
0	-17,4	20,9	-7,1	
1	>0		-24,5	ei toiminut
2	-14,1	24,2	-10,4	
3	>0		-24,5	ei toiminut
0	-17,9	20,4	-6,6	

0 cm maata kotelon päällä + Asfalttia d (cm)

d (cm)	P sign.gen (dBm)	Ptx (eirp) (dBm)	Vaimennus A (dB)	
0	-19,8	18,5	-4,7	
8,5	-17,2	21,1	-7,3	normaali 8,5 mm
16,5	-18	20,3	-6,5	normaali 8,5 cm + normaali 8 cm
24,5	-18,9	19,4	-5,6	normaali 8,5 cm + normaali 8 cm + hiekkapuhallettu 8 cm

Etäisyys 3: Etätunnisteen kotelon yläreunasta 55 cm tx-antenniin

maata d(cm)	P sign.gen (dBm)	Ptx (eirp) (dBm)	Vaimennus A (dB)	Etäisyys d 63 cm
0	-19,9	18,4	-3,5	
23	-22	16,3	-1,4	
21	-15,2	23,1	-8,2	kaadettiin edellisen päälle 10 l vettä

Käytetty etätunniste "180F" tarvitsee -12.3 dBm toimiakseen
Ideaali RC2 tarvitsee -14,3 dBm toimiakseen

Referenssimittaus:

d =	222 cm	systemin gaini
Posc	-12,5 dBm	38,3
Ptx	25,8 dBm	

LIITE 4

SAMSYS-testit

Autoon kiinnitettiin kaksi saattomuistia, ensimmäinen etupuskuriin ja toinen takapuskuriin.

Ensimmäiset testit suoritettiin 2 watin lähetysteholla. Auton nopeus luettiin auton nopeusmittarista. Etäisyys antennin ja auton renkaan reunan välillä merkattiin asfalttiin liidulla. Jos auto oli lukukentällä, SAMSYS:n demosofta luki saattomuistin muutaman kerran, niin kauan kun etätunniste on lukukentässä. Sekä etupuskurin että takapuskurin etätunnisteiden lukukertojen määrä kirjattiin.

Etäisyys	Nopeus	Etupuskurin etätunnistimen luku	Takapuskurin etätunnistimen luku
3 m	0 km/h	ok	Ok
	40 km/h	5	0
		4	0
		5	0
	80 km/h	3	0
		3	0
		2	0
		3	0

Lukulaitetta siirrettiin n. 10 metriä suurempien ohitusnopeuksien saavuttamiseksi.

Etäisyys	Nopeus	Etupuskurin etätunnistimen luku	Takapuskurin etätunnistimen luku
3 m	80 km/h	0	0
	80 km/h	0	0
	60 km/h	0	0
	50 km/h	0	0
	40 km/h	1	0
		2	0
		2	0
2 m	60 km/h	0	0
	50 km/h	1	0
1,5 m	60 km/h	0	0
		0	0
	50 km/h	0	0
	40 km/h	2	2

Teho muutettiin 0,5 wattiin.

Etäisyys	Nopeus	Etupuskurin etätunnistimen luku	Takapuskurin etätunnistimen luku
1,5 m	40 km/h	3	5
	60 km/h	3	4
	80 km/h	2	3
	90 km/h	2	3
2 m	40 km/h	3	6
	80 km/h	2	3
3 m	40 km/h	0	5
	80 km/h	0	2

Syytä laitteen luotettavammalle toiminnalle pienemmällä teholla ei kyetty selvittämään, eikä myöskään laitteiston siirtämisen aiheuttamaa muutosta tuloksissa.

FITS-julkaisuja

Sarjassa aiemmin ilmestyneet raportit

- 1/2002. Ajoneuvoissa käytettävien tieto- ja viestintäjärjestelmien sääntely turvallisuuden kannalta. 69 s. ISBN 951-723-760-X
- 2/2002 IP-järjestelmän kehittäminen osaksi Port@Net-kokonaisuutta. 55 s. ISBN 951-723-761-8
- 3/2002 Liikennetelematiikkahankkeiden arviointiohjeet. 85 s. ISBN 951-723-762-6
- 4/2002 Guidelines for the evaluation of ITS projects. 87 p. ISBN 951-723-763-4
- 5/2002 Liikenteen automaattinen kameravalvonta. Esiselvitys. 61 s. ISBN 951-723-764-2
- 6/2002 Tiedottaminen ruuhkatilanteiden hallinnassa. 143 s. ISBN 951-723-765-0
- 7/2002 Reaaliaikaisen matkustajainformaatiojärjestelmän (ELMI) vaikutusten ja yhteiskuntataloudellisen kannattavuuden arviointi. 111 s. ISBN 951-723-767-7
- 8/2002 Toimintakuvaus häiriönhallinnan tilanteesta. 36 s. ISBN 951-723-768-5
- 9/2002 Automaattivalvonnan tekniset ratkaisut. Selvitys soveltamismahdollisuuksista Suomessa. 59 s. ISBN 951-723-769-3
- 10/2002 Tavaraliikenteen telematiikka-arkkitehtuuri. Esiselvitys. 77 s. ISBN 951-723-770-7
- 11/2002 AirportNet. Toiminnallinen määrittely. 33 s. ISBN 951-723-771-5
- 12/2002 Matkapuhelinpohjaiset pysäköinnin maksupalvelut. 69 s. ISBN 951-723-772-3
- 13/2003 Liikennetelemaattisten tuotteiden ja palvelujen pelisäännöt. 77 s. ISBN 951-723-774-X
- 14/2003 Digitaalisen radio- ja televisioverkon hyödyntäminen henkilöliikenteen telematiikassa. Esiselvitys. 43 s. ISBN 951-723-775-8
- 15/2003 PortNetin vaikuttavuuden arviointi. 81 s. ISBN 951-723-776-6
- 16/2003 ITS Finland esiselvitys. 49 s. ISBN 951-723-777-4
- 17/2003 DARC-palvelu liikennetelematiikassa. Esiselvitys. 65 s. ISBN 951-723-778-2
- 18/2003 Joukkoliikenteen häiriönhallinnan kehittäminen. 37 s. ISBN 951-723-799-0
- 19/2003 Telemaattisten palveluiden tarpeellisuus. Käyttäjien mielipiteet ja liikennepoliittiset tavoitteet. 111 s. ISBN 951-723-880-0
- 20/2003 Tavaraliikenteen telematiikka-arkkitehtuuri. Loppuraportti. 123 s. ISBN 951-723-881-9
- 21/2003 Tieliikennetiedotus. Esiselvitys. 81 s. ISBN 951-723-882-7
- 22/2003 Joukkoliikenteen internet-reittineuvontapalvelun vaikutusten ja kannattavuuden arviointi. 95 s. ISBN 951-723-883-5
- 23/2003 Matkapuhelinpohjaiset pysäköinnin informaatiopalvelut. 59 s. ISBN 951-723-884-3
- 24/2003 Liikenteen tietopalvelujen käyttäjakeskeinen tuotekehitys. 61 s. ISBN 951-723-885-1
- 25/2003 Freight transport telematics architecture. Final Report. 123 p. ISBN 951-723-886-X
- 26/2003 Joukkoliikenteen hoito, informaatio ja käyttö Kampin työmaan aikana. 107 s. ISBN 951-723-887-8
- 27/2003 Standardoitu kolliosoitelappu. 53 s. ISBN 951-723-888-6
- 28/2003 Henkilöliikenteen tietovarastot. 37 s. ISBN 951-723-889-4
- 29/2003 Esiselvitys IPv6:n sovelluksista liikenteessä ja logistiikassa. 39 s. ISBN 951-723-890-8
- 30/2004 DigiTraffic - Liikenteen mallinnus- ja paikannusjärjestelmä. Esiselvitys. 109 s. ISBN 951-723-891-6
- 31/2004 Sumea alueohjaus. ISBN 951-723-892-4
- 32/2004 Älykkään nopeudensäätelyn kehitys Suomessa. Yhteenvetoraportti. 43 s. ISBN 951-723-893-2
- 33/2004 EN 13149 -standardin sovellusohje. Ohjeita liikennöijälaitteiden väliseen väyläpohjaiseen tiedonsiirtoon joukkoliikennevälineissä. 13 s. ISBN 951-723-894-0
- 34/2004 Merenkulun telematiikka-arkkitehtuurin ydinprosessit. ISBN 951-723-895-9

- 35/2004 Eräiden joukko- ja tieliikenteen telematiikkasovellusten kannattavuus Suomen oloissa. 115 s. ISBN 951-723-896-7
- 36/2004 Digiroadin hyödyntäminen liikennetelematiikan palveluissa. Esiselvitys. 54 s. ISBN 951-723-897-5
- 37/2004 Sähköisen sinetin käyttö Suomen satamien konttiliikenteessä. Loppuraportti. 31 s. ISBN 951-723-898-3
- 38/2004 Infolaituri. Kuljettajien tietopiste liikenteen solmukohdissa. 40 s. ISBN 951-723-899-1
- 45/2004 RF-TIE. Passiivisten RF-tunnisteiden toimivuus liikenneympäristössä. 59 s. ISBN 952-201-106-1

Lisätietoja

Ohjelman internetsivut
www.vtt.fi/rte/projects/fits

Ministeriön internetsivut
www.mintc.fi

Ohjelman johtoryhmän puheenjohtaja
Liikenneneuvos **Matti Roine**
liikenne- ja viestintäministeriö
PL 31, 00023 VALTIONEUVOSTO
puhelin (09) 160 28577
telekopio (09) 160 28592
sähköposti matti.roine@mintc.fi

Ohjelman koordinaattori
Tutkimusprofessori **Risto Kulmala**
VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
PL 1800, 02044 VTT
puhelin (09) 456 4990
telekopio (09) 464 850
sähköposti risto.kulmala@vtt.fi tai fits@vtt.fi