

EMC for wireless Communication systems in Vehicles - EMCCOM



Projekt inom FFI programområde Fordonsutveckling (diariennr. 2012-00923)

Författare:
Björn Bergqvist
Volvo Car Corporation
Electrics/Electronics & E-propulsion
Dept. 94110 PV35
405 31 Göteborg

Datum: 2015-08-27

Innehåll

1. Sammanfattning.....	3
2. Bakgrund	4
3. Syfte.....	5
4. Genomförande.....	6
5. Resultat	7
5.1 Bidrag till FFI-mål	7
6. Spridning och publicering.....	12
6.1 Kunskaps- och resultatspridning	12
6.2 Publikationer	12
7. Slutsatser och fortsatt forskning.....	13
8. Deltagande parter och kontaktpersoner.....	14

Kort om FFI

FFI är ett samarbete mellan staten och fordonsindustrin om att gemensamt finansiera forsknings-, innovations- och utvecklingsaktiviteter med fokus på områdena Klimat & Miljö samt Säkerhet. Satsningen innebär verksamhet för ca 1 miljard kr per år varav de offentliga medlen utgör hälften.

För närvarande finns fem delprogram Energi & miljö, Fordons- och trafiksäkerhet, Fordonsutveckling, Hållbar produktionsteknik och Transporteffektivitet. Läs mer på www.vinnova.se/ffi

1. Sammanfattning

EMCCOM-projektet (diari.nr. 2012-00923) är ett FFI finansierat projekt inom delprogrammet Fordonsutveckling. EMCCOM är ett treårigt projekt som startade 2012-09-14 och slutade 2015-06-30. Projektet hade en total budget på 7,3 MSEK. Partners i projektet har varit VCC, Volvo AB, Provinn AB, FOI Totalförsvarets Forskningsinstitut och SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut AB.

EMCCOM har utvecklat nya EMC-provmetoder för fordons elektronik och simuleringsmodeller. Dessa ska användas för att säkerställa prestandan på trådlös kommunikation i bilen och därigenom säkerställa hög tillgänglighet på de säkerhets och transporteffektivitetstjänster som är beroende av dessa. Bättre precision i provmetoder och modeller kommer att reducera kostnaderna för provningen. I ett längre perspektiv reduceras behovet kraftigt av komplettvagnsprovning som är mycket tidskrävande och bara kan göras sent i produktutvecklingen.

Frågor som har adresserats i projektet är bl a:

- Vilken detektor har bäst korrelation mellan uppmätta radiofrekventa elektromagnetiska störningar och den resulterande degraderingen av prestanda på de trådlösa radiokommunikationslänkarna?
- Vilken nivå av elektromagnetiska störningar är acceptabel för att inte störa trådlös kommunikation i fordonet?
- Vilken nivå på emissionen av elektromagnetiska störningar är acceptabel från en elektronisk kontrollenhet som ska användas i fordon?
- Vilken mätmetod (detektor, mätbandbredd, ...) är bäst på att karaktärisera radiofrekventa emissioner från elektroniska styrenheter för att möjliggöra en prediktering av hur mycket prestandan på ett exponerat trådlöst kommunikations system?
- Är det möjligt att utveckla enkla modeller som kan användas för att prediktera degraderingen av prestanda på ett exponerat trådlöst kommunikations system?

System som studerats är 3G, 4G, GNSS (GPS), WLAN (802.11g), C-ITS (802.11p).

Resultatet visar att:

- Bästa korrelation har RMS detektorn för de studerade teknologierna och frekvenserna, med en genomsnittlig Pearson korrelationskoefficient på 0,88. Average-detektorn är nästan lika bra, 0,86.
- Acceptabel nivå på en elektromagnetisk störning är ett begrepp som har många ingående parametrar. Vilken datahastighet behövs på länken och därmed vilken modulation krävs? Hur mycket av felrättningen får upptas av för den här typen av störning? I EMCCOMs

mätningar har ståpunkten varit att högsta modulationen och lägsta code rate ska användas.

- Baserat på mätresultaten har enkla binära logistiska regressionsmodeller tagits fram. Dessa kan användas för att prediktera sannolikheten för att få kommunikationsfel (BLER eller PER) i närvaro av en störande signal. Dessa enkla empiriska modeller har utvecklats parallellt med mer komplexa modeller som tagits fram för att förstå de underliggande mekanismerna för att en kommunikationslänk ska bli störd.

Projektets resultat kommer användas för att uppdatera existerande internationella standarder som används för att skydda radiomottagare ombord på fordon. Ett ”White paper” har skickats in till standardiseringsarbetsgruppen CISPR/D/WG2 med input till nästa utgåva.

2. Bakgrund

I början av 2012, när ansökan till det här projektet skrevs, hade VCC och Volvo AB en längre tid upplevt behovet av en djupare kunskap om hur emissioner av elektromagnetiska fält från modern fordonselektronik påverkar prestandan på olika trådlösa kommunikationslänkar som används i fordonen. Moderna fordon innehåller ett flertal olika broadcasting och kommunikations radiosystem som används för både underhållning och fordonets funktioner. I figur 1 visas exempel på olika system som används i en Volvo personbil idag eller i en nära framtid.



Figur 1. Exempel på radio och kommunikationssystem som används i ett modernt fordon idag eller i en nära framtid.

Utvecklingen går mot fler komplexa säkerhetsfunktioner och autonoma fordon. Exempel på sådana funktioner är de Use Cases som finns beskrivna på Car-2-Car Communication Consortiums hemsida (<https://www.car-2-car.org>):

- Location warning
- GLOSA (Green Light Optimal Speed Advisory)
- Motorcycle warning
- Warning lights on
- Warning of roadworks
- Avoidance of traffic jams

Funktioner som dessa kräver information från “off board sensors”, sensorer som inte sitter på det egna fordonet. Dessa sensorer kan sitta placerade på andra fordon eller på infrastrukturen nära eller långt ifrån fordonet. För att upprätthålla en hög tillgänglighet på funktionerna måste prestanda på kommunikationslänkarna, som exempelvis räckvidd och fördröjning, adresseras i högre utsträckning än vad som görs idag under utvecklingen av traditionella radiosystem av broadcastingtyp. EMCCOM-projektet startades för att öka kunskapen, utveckla nya krav och testmetoder samt enkla simuleringsmodeller ämnade att kunna prediktera hur länkprestandan påverkas av elektromagnetiska emissioner från fordonets elektronik.

3. Syfte

Syftet med projektet var att:

- Öka kunskapen hos projektparterna om hur elektromagnetiska störningar degraderar prestandan på digital radiokommunikation
- Utveckla metoder för att karakterisera störningarna
- Utveckla metoder för att störningarnas påverkan på digitala radiomottagare
- Utveckla enkla simuleringsmodeller
- Få input för att kunna delta i det internationella standardiseringsarbetet

Systemen som analyserades var 3G, 4G, GNSS (GPS), WLAN (802.11g), C-ITS (802.11p).

Torbjörn Persson	Provinn AB		1, 2, 3, 5
Kia Wiklundh	FOI		2, 3, 4
Peter Stenumgaard	FOI		2, 3, 4
Karina Fors	FOI		4
Sara Örn Tengstrand	FOI		4
Jan Carlsson	SP		2, 3, 4, 5
Peter Ankarson	SP	4	3, 4, 5
Ulf Carlberg	SP		2, 3
Markel Bertilsson	SP		3, 5
Krister Kilbrandt	SP	5	5

Tabell 2.

5. Resultat

5.1 Bidrag till FFI-mål

Projektet finansierades inom Fordonsutvecklingsprogrammet.

EMCCOM har ökat den kunskap som behövs för att öka effektiviteten i utvecklingsprocessen. Störningar som upptäcks sent tvingar ofta fram dyra omkonstruktioner och ytterligare provning. Resultatet från EMCCOM kommer att:

- Öka tillförlitligheten i mätningar på komponentnivå (Electronic Control Unit, ECU).
Genom att använda mer tillförlitliga provmetoder på ECU nivå ökar sannolikheten att upptäcka misstag i konstruktionen tidigt i projektet.
- Genom att använda modeller kan kraven i specifikationerna för ECUer skrivas mer exakt.
- De tidigare två punkterna kommer att öka tillförlitligheten på viktig radiokommunikation och därigenom öka säkerheten.
- Ökad kunskap kring framtagning av kravnivåer leder till billigare komponenter eftersom extra marginaler i kravnivåerna kan undvikas. Balansering av olika egenskapers krav kan göras med ökad konfidens.
- Kostnadsreduktioner kan göras genom en mer effektiv verifierings process.

I ett längre perspektiv som går bortom EMCCOM projektet är visionen att kraftigt kunna reducera behovet av komplettvagnsprovning som är tidskrävande, dyr och bara kan utföras sent i produktutvecklingen. Det långsiktiga målet är en övergång från fysisk provning till en större andel simuleringar. Det består av:

1. Noggrann karaktärisering av emissionskällor (oavsiktliga så väl som avsiktliga källor) genom mätningar.
2. Simulering av kopplingsvägen från källa till mottagarens antennanslutning.
3. Beräkning av kvaliteten på radiomottagningen.

EMCCOM innehåller aktiviteter som ökar kunskapen inom steg 1 och 3. I första omgången kan steg 2 utföras genom att utföra kopplingsmätningar och genom enkla modeller.

Visionen är att produkter som sätts på marknaden år 2020 kan baseras på ovanstående aktiviteter och att karakteriseringen av emissionskällorna baseras på nya internationella standarder som är bättre anpassade att simulera digital radiomottagning.

5.2 Mätningar och resultat från EMCCOM

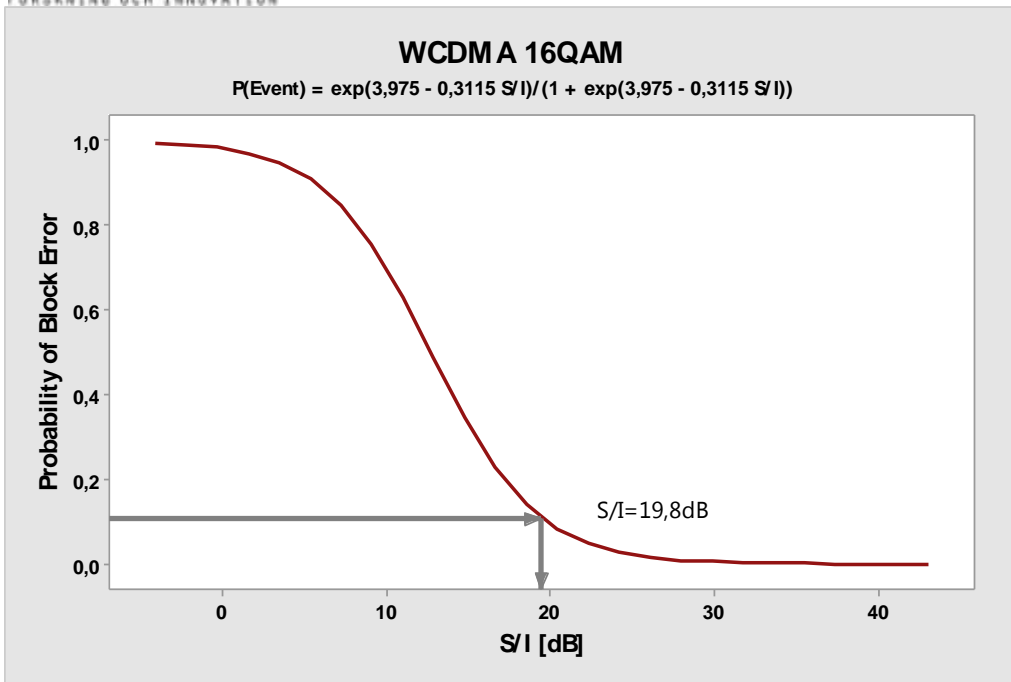
Inom EMCCOM-projektet har det genomförts ledningsbundna mätningar på flera olika digitala radiosystem. Målet har varit att definiera gränsvärden för acceptabla störningsnivåer på radiomottagarens antenningång. Flera olika typer av störningssignaler har undersökts. Mätningar har utförts på följande system och frekvensband:

- 3G (WCDMA), 2112.6 MHz, 16 QAM, Code rate 0.97, 14 Mbit/s
- 4G (LTE), 2140 MHz, 64 QAM, Code rate 0.94, 75 Mbit/s
- WiFi (IEEE 802.11g), 2450 MHz, 64 QAM, Code rate 0.75, 54 Mbit/s
- ITS (IEEE 802.11p), 5900 MHz, QPSK, Code rate 0.5, 6.0 Mbit/s

Mätningarna har utförts vid den högsta modulationen och lägsta code rate. Motiveringen till detta är att vi anser att elektromagnetiska emissioner från fordonets elektronik inte ska degradera prestandan på radiokommunikationssystemen.

Gränsvärden för acceptabla störningsnivåer vid radiomottagarens antenningång bestämdes på följande sätt:

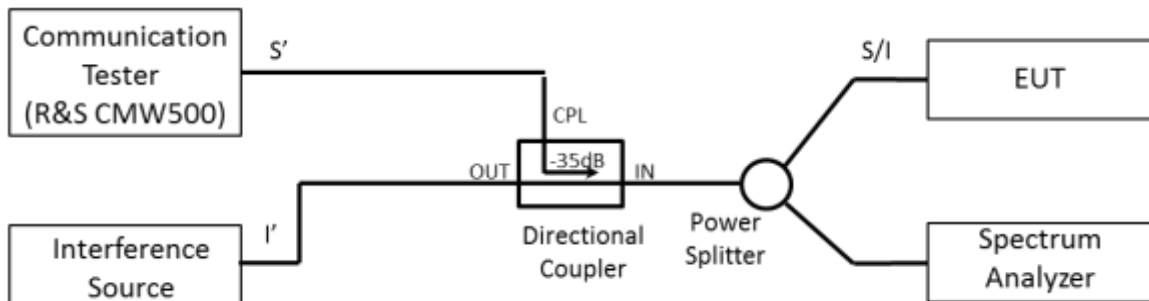
- Signalen (S) justerades till en nivå 10 dB över tröskelnivån där ”Throughput” går från 100% till 0% (ett brant knä). Denna nivå motsvarar ungefär yttre för systemets täckningsområde vid en viss modulation, code rate etc.
- Sannolikheten för fel (BLER or PER) uppmättes som funktion av signal-störförhållandet (S/I) för varje typ av störning.
- En binär logistisk regressionsmodell, baserad på alla störtyper, togs fram. Ett exempel på regressionsmodell för WCDMA visas i figur 2.
- Med regressionsmodellen beräknas signal-störförhållandet vid 10% BLER. Denna nivå på signal-störförhållandet (S/I) definierar ett gränsvärde vid mottagarens antenningång.
- Gränsvärdet för acceptabel störnivå vid mottagarens antenningång i dBm beräknas tröskelnivån +10dB – S/I (definierade ovan).
- Slutligen omvandlas gränsvärdet till acceptabel spänning in i mottagarens antenningång genom att addera 107dB (50 Ohmig system antas).



Figur 2. Exempel på binär logistisk regressionsmodell för WCDMA baserad på mätningar på en Sony Xperia Z1.

MÄTUPPSTÄLLNING

I syfte att få en väldefinierad mätuppställning gjordes ledningsbundna mätningar, se figur 3. I princip samma mätuppställning användes för alla provade radiosystem. Vid mätningarna på GPS och C-ITS byttes ”Communication Tester” ut mot en GPS simulator resp. en sändande IEEE 802.11p nod. Mätningarna var statiska i den bemärkelse att ingen fädning av signalen förekom.



Figur 3. Mätuppställning

De störsignaler som användes under proven finns definierade i tabell 3.

Störningstyp	Modulationsfrekvens (kHz)
CW	NA
AM, 80% sinusoidal	1, 7.5, 15, 30
FM, deviation 30 kHz	7.5, 15, 30, 100, 250
FM, deviation 100 kHz	7.5, 15, 30, 100, 250
Pulse Modulation Pulse width 66.7 μs	1, 2, 5, 10

Tabell 3. Störningstyper

ANTAGANDEN FÖR ATT BERÄKNA GRÄNSVÄRDEN

Uppmätt storhet var acceptabel spänning in i mottagarens antenningång som definierad ovan. För att beräkna ett komponentgränsvärde som i IEC CISPR 25, i dBμV/m, har vi använt oss av antennfaktorn för en kvartsvågs monopol antenn. Vi har använt denna antennfaktor för alla frekvenser. Anledningen till det är att detta är den ”bästa möjliga” antennen för en fordonstillämpning och är oftast referensantenn då fordonsantenner konstrueras. Antennfaktorn som använts ges av ekvation (1):

$$AF_{monopole} = \frac{9.73}{\lambda \sqrt{G_{monopole}}} = \frac{9.73 \cdot f_{MHz}}{300 \cdot \sqrt{G_{monopole}}} \approx 0.018 \cdot f_{MHz} \text{ or in dB as } AF_{monopole, dB} = 20 \cdot \log(f_{MHz}) - 34.9 \quad (1)$$

MÄTRESULTAT OCH JÄMFÖRELSE MED VCC, VOLVO AB OCH IEC CISPR25

Acceptabel spänning in i mottagarens antenningång beräknad som ovan blir då:

System	Frequency [MHz]	VCC		CISPR 25/ Volvo AB		EMCCOM	
		BW	Level [dBμV]	BW	Level [dBμV]	BW	Level [dBμV]
WCDMA	2112,6	120kHz	6	120kHz	6	20MHz	6
LTE	2140	120kHz	6	120kHz	6	20MHz	12
IEEE 802.11g	2450	120kHz	6	120kHz	6	20MHz	6
IEEE 802.11p	5900	120kHz	6	120kHz	N/A	20MHz	30

Tabell 4. Gränsvärden för fordon beräknat som ovan.

Baserat på fordonsgränsvärdena ovan och antennfaktor i ekvation (1) blir då komponentgränsvärdena:

System	Frequency [MHz]	VCC		CISPR 25/AB Volvo		EMCCOM	
		BW	Level [dB μ V/m]	BW	Level [dB μ V/m]	BW	Level [dB μ V/m]
WCDMA	2112,6	120kHz	18	120kHz	24	20MHz	38
LTE	2140	120kHz	18	120kHz	24	20MHz	44
IEEE 802.11g	2450	120kHz	18	120kHz	24	20MHz	39
IEEE 802.11p	5900	120kHz	25	120kHz	N/A	20MHz	70

Tabell 5. Komponentgränsvärden beräknat som ovan.

Det ska noteras att den IEEE 802.11p radio som mättes på under projektet var en prototyp baserad på en modifierad IEEE 802.11a mottagare.

MÄTDETEKTOR OCH MÄTBANDBREDD

Korrelationen mellan den uppmätta radiofrekventa elektromagnetiska störningen (I) och sannolikheten för fel (BLER eller PER) beräknades för Peak, RMS och Average detektorerna.

System	Modulation	Corr Error-Ampl Peak	Corr Error-Ampl RMS	Corr Error-Ampl Avg
WCDMA	16QAM	0,939	0,918	0,873
LTE	64QAM	0,941	0,959	0,944
IEEE802.11g	64QAM	0,936	0,942	0,939
IEEE802.11g	QPSK	0,824	0,815	0,808
IEEE802.11p	QPSK	0,671	0,747	0,757
Average Correlation		0,8622	0,8762	0,8642

Table 6. Korrelation mellan uppmätt radiofrekvent elektromagnetisk störning (I) och sannolikheten för fel (BLER eller PER) för 3 olika detektorer på spektrumanalysatorn.

En mätbandbredd på 20 MHz har använts under mätningarna.

Rekommendationen är att använda:

1. Radiosystemets mottagningsbandbredd. Problem: mätsystemets brus kan vara för högt. Alla spektrumanalysatorer har inte tillräckligt hög mätbandbredd.
2. 1 MHz är en acceptabel kompromiss för de störningar från fordonets elektronik som uppmätts i dagens fordon.
3. Om mätsystemets brusnivå är för högt kan mätbandbredden minskas till 120 kHz eller 10 kHz för att få erforderlig marginal mellan brusnivån och det gränsvärde som mätningen skall bedömas emot.

6. Spridning och publicering

6.1 Kunskaps- och resultatspridning

Under projekttiden har två öppna seminarier arrangerats för att sprida resultatet. Det första seminariet hölls i juni 2013 och på detta presenterades resultatet från litteraturstudien och kommentarer från deltagarna samlades in som input till det fortsatta projektarbetet. Det andra seminariet hölls i juni 2015. På detta presenterades resultaten och slutsatserna från projektet och jämfördes med existerande specifikationer och standarder. Vid bägge seminarierna deltog runt 40 personer. Många av dem var inte deltagare i projektet. Projektets resultat har även presenterats vid ett antal konferenser, Electronic Environment 2013, EMC Europe 2014 and EMC Europe 2015. See publikationslistan under avsnitt 6.2.

För att få en interaktion med andra pågående projekt inom området har EMCCOM-projektet och dess resultat presenterats vid IEEE EMC Sweden's möte i September 2014, FFI projekt WCAE workshop på Lindholmen Oktober 2014 och FFI projekt RelCommH workshop på ASTA ZERO Oktober 2014. Ett "White paper" har skickats in till standardiseringsarbetsgruppen CISPR/D/WG2 med kommentarer till arbetet med en uppdaterad CISPR 25 standard.

6.2 Publikationer

S. Örn Tengstrand, K. Fors, P. Stenumgaard, K. Wiklundh, "Jamming and interference vulnerability of IEEE 802.11p", EMC Europe 2014, Gothenburg, Sweden, 1-4 Sept., 2014.

P. Ankarson, U. Carlberg, J. Carlsson, S. Larsson, B. Bergqvist, "Impact of Different Interference Types on an IEEE 802.11p Communication Link Using Conducted Measurement", EMC Europe 2014, Gothenburg, Sweden, 1-4 Sept., 2014.

S. Örn Tengstrand, P. Stenumgaard, "Performance Estimation of DSSS Wireless Systems in Impulsive Interference", Accepted for presentation at IEEE/EMC Europe 2015, Dresden, Germany, 18-22 Aug., 2015.

P. Ankarson, J. Carlsson, B. Bergqvist, S. Larsson, M. Bertilsson, "Impact of Different Interference Types on an LTE Communication Link Using Conducted Measurements", Accepted for presentation at IEEE/EMC Europe 2015, Dresden, Germany, 18-22 Aug., 2015.

Dengzheng Huang, Ragad Majeed, "Development of IEEE 802.11p Transceiver in Simulink & Evaluation of the Electromagnetic Interference Effects"
Report number: EX047/2015, Master thesis at Department of Signals and Systems

B. Bergqvist, T Persson "Vehicle development-an EMC challenge" Electronic Environment #3 2013

B. Bergqvist, K. Kilbrandt, P. Ankarson, J. Carlsson "CISPR/D/WG2 N315-Comments on CISPR/D/WG2 N296" 2015-05-13

7. Slutsatser och fortsatt forskning

Som kan ses i tabell 4 och 5 så är det skillnader i de gränsvärden som tagits fram i EMCCOM projektet och de nuvarande VCC, Volvo AB och CISPR 25 gränsvärdena. Det pågår också ett arbete i standardiseringsarbetsgruppen CISPR/D/WG2 där förslag till nya gränsvärden även lämnats in av andra grupper. Våra gränsvärden baseras på mätningar på kommersiellt tillgängliga modem eller prototypmaterial. I EMCCOM har vi också haft ett fundamentalt annat sätt att beräkna komponentgränsvärden utifrån de uppmätta fordonsgränsvärdena jämfört med dagens CISPR 25 standard. Vi har använt antennfaktorn för en kvartsvågs monopolantenn, som ökar linjärt med frekvensen medan den nuvarande standarden använder en konstant antennfaktor på 18 dB/m. Detta resulterar i avsevärda skillnader på höga frekvenser. Till exempel blir skillnaden i antennfaktor 23 dB vid 5,9 GHz. Tidigare i rapporten har vi motiverat varför vi väljer den antennfaktorn i våra beräkningar. Arbetet kommer att fortsätta i CISPR arbetsgruppen för att uppdatera standarden för mäta störningar på de digitala kommunikationsbanden.

Det ska noteras att den IEEE 802.11p radio som mättes på under projektet var en prototyp baserad på en modifierad IEEE 802.11a mottagare.

8. Deltagande parter och kontaktpersoner

Partners i projektet har varit:

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut AB	(556464-6874)
Totalförsvarets Forskningsinstitut (FOI)	(202100-5182)
Volvo Car Corporation	(566074-3089)
AB Volvo	(556542-4321)
Provinc AB	(556842-1423)

Kontaktpersoner på företagen är:

Företag	Kontaktperson	Email-adress
SP	Peter Ankarson	peter.ankarson@sp.se
FOI	Kia Wiklundh	kia.wiklundh@foi.se
VCC	Björn Bergqvist	bjorn.bergqvist@volvocars.com
Volvo AB	Tomas Gustafsson	tomas.gustafsson.3@volvo.com
Provinc AB	Torbjörn Persson	torbjorn.persson@provinc.se

Tabell 7.

