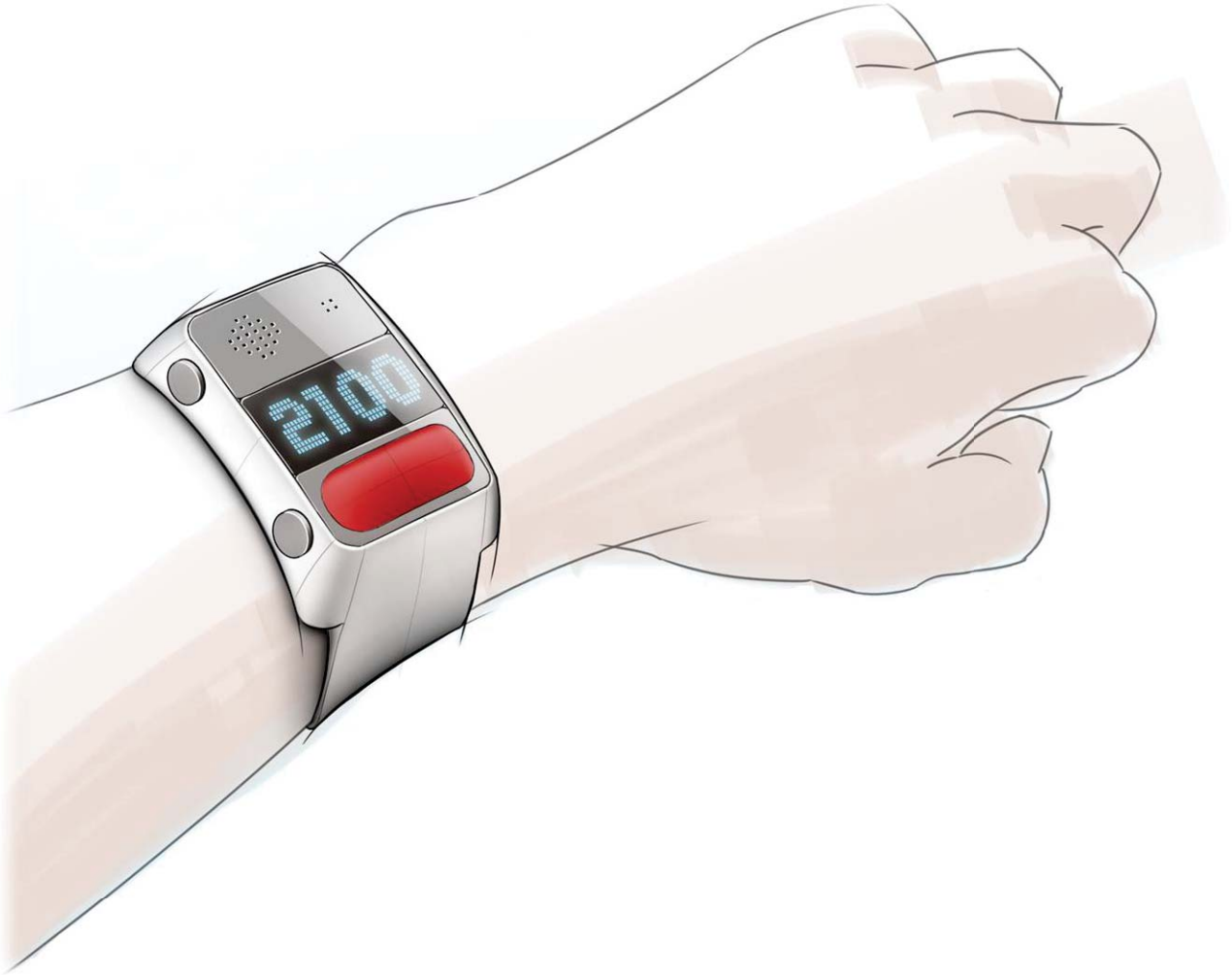




**CHALMERS**

---



# **Ekoutsläckning i handledsburen larmtelefon**

## **Echo cancellation in a wrist carried alarm phone**

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Mekanik

MAX HOLMÉN  
JONATHAN JÖNBRINK

# FÖRORD

Detta examensarbete är den avslutande delen i Chalmers treåriga högskoleingenjörsutbildning inom mekatronik som omfattar 180 högskolepoäng där examensarbetet omfattar 15 högskolepoäng. Examensarbetet ger eleverna möjlighet att tillämpa sina kunskaper på ett verkligt problem. Detta examensarbete är utfört av Max Holmén och Jonathan Jönbrink på företaget BitSim vid deras Göteborgskontor. Stort tack för denna möjlighet.

Vi vill tacka Mats Björklund som varit vår handledare på BitSim och som varit till stor hjälp i arbetet samt Göran Hult, vår handledare på Chalmers som bland annat varit till stor hjälp vid skrivandet av denna rapport. Vi vill också särskilt tacka David Björkman som varit outhärlig under detta projekt och hjälpt oss med allt från projektets början till dess slut.

Göteborg den 4 juni 2014

Max Holmén

Jonathan Jönbrink

## SAMMANFATTNING

BitSim är i huvudsak ett konsultföretag inriktat på avancerad mikroelektronik men utvecklar även en handledsburen larmtelefon som med en GSM-modul upprättar samtal med larmpersonal. Som en följd av att larmtelefonen är handledsburen blir storleken automatiskt begränsad, vilket leder till att avståndet mellan högtalare och mikrofon blir så pass kort att kraftiga ekoeffekter uppstår. Syftet med detta arbete är att undersöka möjliga lösningar för att eliminera ekot och förbättra samtalskvaliteten. Arbetet begränsar sig till mekaniska lösningar, som till exempel dämpande material eller fördröjning av ljudsignal med hjälp av rör, samt lösningar användande GSM-modulens inbyggda funktioner för ekoutsläckning. Lösningförslag togs fram och tester av dessa utfördes efter att olika högtalare köpts in, testats och en högtalare valts att utföra testerna med. Resultatet visade att den bästa lösningen är en kombination av GSM-modulens inbyggda funktioner samt en del mekaniska lösningar. Avslutningsvis lyckades ekoeffekterna framgångsrikt elimineras medan en godtagbar samtalskvalitet uppnåddes.

## **ABSTRACT**

BitSim is primarily a consultancy company oriented towards advanced microelectronics but they are also developing a wrist carried alarm phone that uses a GSM-module to establish calls with emergency personnel. As a consequence of the fact that the alarm phone is wrist carried, the size of the phone is automatically limited, leading to the distance between the speaker and microphone being so short that powerful echo effects occur. The purpose of this project is to examine possible solutions to eliminate the echo effects and improve the general call quality of the phone. The project is limited to mechanical solutions, such as using sound absorbing materials or using pipes to delay the sound signal, as well as solutions using the GSM-modules' built in functions for echo cancellation. Solution proposals were developed and tests of these were executed after speakers were bought, tested and a speaker was chosen to use during the tests. The results showed that the best solution was a combination of the GSM-modules' built in functions and some mechanical solutions. In conclusion the echo effects were successfully eliminated and an acceptable call quality was achieved.

# Innehåll

BETECKNINGAR.....	1
1. INLEDNING .....	2
1.1 Bakgrund .....	2
1.2 Syfte.....	2
1.3 Avgränsningar .....	2
1.4 Precisering av frågeställning.....	2
2. TEORETISK BAKGRUND.....	3
2.1 Ljud.....	3
2.2 GSM.....	3
2.3 Högtalare .....	3
2.4 Mikrofon .....	3
2.5 Hörselnedsättningar .....	4
3. METOD.....	5
4. FRAMTAGNING AV LÖSNINGSFÖRSLAG.....	6
4.1 Olika infästningsplattor för högtalare och mikrofon.....	6
4.2 Dämpande vägg mellan högtalare och mikrofon.....	6
4.3 Fördröjning av ljudsignal användande rör .....	6
4.4 GSM-modulens inbyggda funktioner för ekoutsläckning.....	6
4.4.1 Beskrivning av AGC (Automatic Gain Control).....	7
4.4.2 Beskrivning av EC (Echo Cancellation) .....	8
4.4.2 Beskrivning av NR (Noise Reduction) .....	8
5. UPPSÄTTNING AV TESTUTRUSTNING .....	9
5.1 Utvecklingskort, EVK2.....	9
5.2 Högtalare och mikrofon .....	10
6. VAL AV HÖGTALARE.....	12
6.1 Beskrivning av högtalare.....	12
6.2 Jämförelse av högtalare.....	13
7. TESTER AV LÖSNINGSFÖRSLAG.....	14
7.1 Test av olika infästningsplattor för högtalare och mikrofon.....	14
7.2 Test av dämpande vägg mellan högtalare och mikrofon .....	14
7.3 Test av fördröjning av ljudsignal användande rör .....	15
7.4 Test av GSM-modulens inbyggda funktioner för ekoutsläckning.....	16
7.4.1 Fastställande av RXTX relation .....	17
7.4.2 Fastställande av AGC:ns parametrar.....	17

7.4.3 Fastställande av EC:ns parametrar .....	17
7.4.4 Fastställande av NR:ns parametrar .....	18
7.4.5 Test med kombination av AGC, EC och NR.....	18
8. RESULTAT .....	19
9. Diskussion.....	21
9.1 Analys av olika infästningsplattor för högtalare och mikrofon.....	21
9.2 Analys av dämpande vägg mellan högtalare och mikrofon .....	21
9.3 Analys av fördröjning av ljudsignal användande rör .....	21
9.4 Analys av GSM-modulens inbyggda funktioner för ekoutsläckning.....	22
9.5 Övriga reflektioner.....	22
REFERENSER.....	23

## **BETECKNINGAR**

AEC	Acoustic Echo Control
AGC	Automatic Gain Control
EC	Echo Cancellation
EVK	Evaluation Kit
FIR	Finite Impulse Response
GSM	Global System for Mobile communication
NR	Noise Reduction
RXTX	Receiver to Transmitter relation
SIM	Subscriber Identity Module
SPL	Sound Pressure Level

# 1. INLEDNING

Detta arbete behandlar ekoutsläckning i en handledsburen larmtelefon. I detta kapitel beskrivs mer ingående vad arbetet behandlar.

## 1.1 Bakgrund

BitSim är i huvudsak ett konsultföretag inriktat på avancerad mikroelektronik men som även håller på att utveckla en handledsburen larmtelefon. Då larmtelefonens storlek är begränsad på grund av kravet på att den ska vara handledsburen blir avståndet mellan mikrofon och högtalare mindre än vad GSM-modulen är dimensionerad för med kraftiga ekoeffekter som resultat.

Utvecklingen av larmtelefonen är i ett ganska tidigt stadium och man har inte lagt ned så mycket tid på att ta bort ekot och få tillfredställande samtalskvalitet. Företagets kunskaper om vilka metoder som passar till dessa ändamål är således begränsade och man vill undersöka olika alternativ för ekoutsläckning och på så sätt skaffa sig stadigare grund för vidareutvecklingen av larmtelefonen.

## 1.2 Syfte

I prototypen av larmtelefonen som finns uppkommer ett starkt eko för den som talar i andra änden på grund av att högtalaren och mikrofonen i larmtelefonen sitter så nära varandra. Då företaget inte lagt ner något större arbete för att förbättra samtalskvaliteten och få bort ekot som uppstår, har man ingen större uppfattning om vad som krävs för att åstadkomma detta.

Syftet med detta projekt blir då att undersöka och analysera olika alternativ för ekoutsläckning i deras handledsburna larmtelefon som använder en GSM-modul, för att ge företaget bättre grund i fortsatt utveckling och design av larmtelefonen med hänsyn till utsläckning av eko i denna samt förbättra dess samtalskvalitet.

## 1.3 Avgränsningar

Då larmtelefonen är i ett tidigt utvecklingsstadium kommer tester inte kunna utföras på prototyp. Istället används ett utvecklingskort från GSM-modulens tillverkare, Telit, och förhållanden i larmtelefonen återskapas så långt det går vad gäller storlek på högtalare och mikrofon, samt avståndet dem emellan.

Arbetet kommer endast behandla mekaniska lösningar och GSM-modulens inbyggda funktioner för ekoutsläckning.

## 1.4 Precisering av frågeställning

Detta arbete söker svar på om det går att på ett tillfredställande sätt ta bort ekoeffekter i en handledsburen larmtelefon med mindre avstånd mellan högtalare och mikrofon än vad larmtelefonens GSM-modul är dimensionerad för. Arbetet söker även svar på vilken eller vilka metoder som lämpar sig bäst för detta begränsat till mekaniska lösningar samt GSM-modulens inbyggda ekoutsläckningsfunktioner.



## 2. TEORETISK BAKGRUND

Nedan följer information som är relevant till examensarbetet och gör det lättare att förstå grunderna omkring vad som tas upp i den här rapporten.

### 2.1 Ljud

Vad människan uppfattar som ljud är mekaniska vågor som färdas genom ett medium. När energi tillförs till exempel luft bildas ett tryck som förflyttar luftmolekylerna och sätter de i rörelse. Är kraften tillräckligt stor förflyttas energin genom luften tillräckligt långt att det uppfattas som ljud, då det träffar trumhinnan hos människan. Beroende på hur mycket energi som tillförs svänger molekylerna olika mycket och därmed transporteras ljudet olika långt. Därför uppfattas vissa ljud bättre än andra beroende på vilket avstånd målet befinner sig räknat från energikällan [1].

### 2.2 GSM

GSM står för Global System for Mobile communication. Det är ett globalt digitalt trådlöst nätverk som låter användaren av systemet koppla upp sig mot andra användare och utbyta data. Mest vanligt är såklart data i form av telefonsamtal men eftersom det är digitalt kan man även koppla upp sig mot till exempel internet.

GSM-modulen är enheten i telefonen som kopplar upp sig mot det globala GSM-nätverket och sköter kommunikationen med detta. För att operatören ska kunna veta vilken användare som gör vad krävs ett SIM-kort som innehåller data om användarens konto hos leverantören. GSM-modulen som används i detta arbete är tillverkad av Telit och heter GE865-QUAD [2][3].

### 2.3 Högtalare

Högtalarna som används i detta arbete är uppbyggda av tre delar: en magnet, en spole och ett membran och kallas för elektrodynamiska högtalare. Vad som händer när ström tillförs talspolen är att spolen sätts i rörelse på grund av att den byter sina poler vilket gör att den attraherar alternativt repellerar från magneten. Spolen är i sin tur fäst i membranet som förflyttar sig samtidigt med spolen och orsakar tryckvågor. Med enkla ord används högtalaren för att omvandla elektrisk ström till ljudvågor. Högtalarna i det här arbetet är utformade för frekvenserna inom människans talområde, alltså ~200-8000 Hz [4].

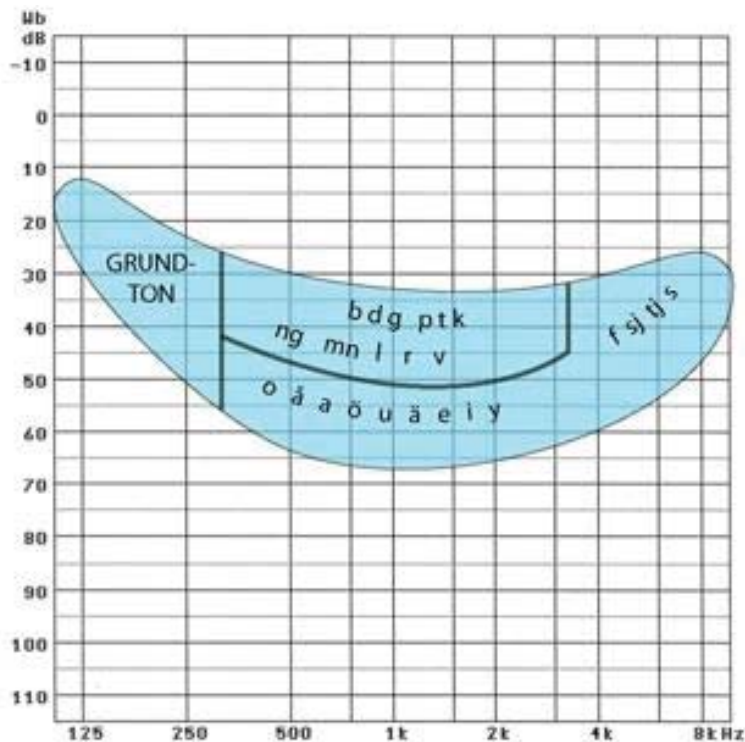
### 2.4 Mikrofon

Mikrofonen som används i det här arbetet är en elektretmikrofon och den fungerar som en omvänd högtalare. Här används istället membranet för att registrera ljudvågorna genom att membranet rör på sig när det träffas av ljudvågor. Membranet är i sin tur fäst i elektretter, ett material med en elektrisk laddning, som inducerar en spänning mot fast platta, även denna av samma material, när de förflyttas av ljudvågorna. Med enkla ord används mikrofonen för att omvandla ljudvågor till en elektrisk signal [5].

## 2.5 Hörselnedsättningar

Hörselnedsättningar är inget ovanligt och kan hända alla. Hörselcellerna förnyas inte utan de kan endast reparera sig själva. Den vanligaste hörselskadan är när örat utsätts för ljud med hög intensitet under en längre tid.

Åldersrelaterad hörselnedsättning, eller presbycusis som det egentligen heter, är något som drabbar ungefär en fjärdedel av alla personer i åldern 55-64 år [6]. Till detta hör inte hörselnedsättningar från buller eller andra, utan det är endast ärftligt. Drabbas man av Presbycusis är det främst de höga frekvenserna som försämras [7].



Figur 2.1 – Talbanan [8]

I figur 2.1 ovan ses något som kallas talbananen, den beskriver inom vilka frekvenser människans normala pratläge ligger. Vad som kan utläsas är att alla vokaler och de flesta konsonanter ligger inom intervallet 300-4000 Hz. Det intressanta är att f-, sj-, tj- och s-ljuden ligger högt upp i frekvensområdet. Det är i detta område, 4-8 kHz, som äldre personer med Presbycusis hör sämre, vilket är orsaken till att till exempel sj-ljud blir svåra att uppfatta och viktiga att ta hänsyn till i högtalaren.

### 3. METOD

Arbetet utförs på följande sätt:

Både potentiella mekaniska lösningar och lösningar användande GSM-modulens inbyggda ekoutsläckning tas fram för att testas.

Mikrofon och högtalare fästs på en akrylplastplatta med liknande avstånd som i larmtelefonen, cirka 4cm, och kopplas till ett utvecklingskort med en GSM-modul inkopplad. Utvecklingskortet kommer från samma tillverkare som GSM-modulen, Telit. Högtalarvolym och mikrofonförstärkning ställs in i GSM-modulen, användande AT-kommandon, till passande nivåer för samtal på armlängds avstånd till uppsättningen med högtalare och mikrofon för att efterlikna volymen som krävs vid användandet av en handledsburen larmtelefon.

De potentiella lösningarna sätts upp och testas en efter en och skillnaderna i samtalskvalitet och ekoeffekter antecknas för senare utvärdering och jämförelse. När alla tester är utförda analyseras resultatet och lösningarna med bäst resultat väljs ut för vidare test och sedan tas en slutgiltig lösning fram bestående av en eller flera av de bästa lösningarna för så bra resultat som möjligt.

## **4. FRAMTAGNING AV LÖSNINGSFÖRSLAG**

Redan framtagna lösningar på liknande problem undersöktes och ett antal förslag på hur man kan eliminera ekoeffekter och förbättra samtalskvaliteten togs fram. Många av metoderna som används vid ekoutsläckning är avancerade algoritmer eller filter som implementeras med hjälp av mjukvara i CPU:n men som på grund av arbetets begränsningar till att endast undersöka mekaniska lösningar och GSM-modulens inbyggda funktioner inte undersöks vidare. Emellertid finns liknande lösningar implementerade i GSM-modulens inbyggda funktioner för ekoutsläckning. De lösningar som valdes för vidare undersökning följer nedan.

### **4.1 Olika infästningsplattor för högtalare och mikrofon**

Då högtalaren ger ifrån sig ljud genom att vibrera ett membran fortplantas vibrationerna inte endast i luften utan också i högtalarens infästningsplatta. Detta orsakar problem då mikrofonen på grund av larmtelefonens storlek sitter infäst eller i alla fall i förbindelse med samma infästningsplatta, i detta fall larmtelefonens skal, vilket gör att vibrationerna med största sannolikhet fortplantar sig genom materialet och tas upp av mikrofonen vilket ger upphov till ekoeffekter.

Lösningen blir då att hindra vibrationerna från högtalaren från att gå någon annan väg än genom luften för att nå mikrofonen, alltså att fästa högtalaren och mikrofonen i två skilda plattor utan fysisk kontakt mellan varandra eller åtminstone ha ett dämpande material som skiljer högtalarens infästningsplatta från mikrofonens infästningsplatta.

### **4.2 Dämpande vägg mellan högtalare och mikrofon**

Att skärma av högtalaren från mikrofonen för att på så sätt minska styrkan på vibrationerna som når mikrofonen ansågs som en lovande lösning. Tanken är också, förutom att högtalarens vibrationer ska nå mikrofonen med minskad styrka, att erhålla ett större avstånd mellan högtalare och mikrofon eftersom ljudvågorna då får längre resväg. Storleken på en sådan avskärmning begränsas dock avsevärt på grund av larmtelefonens storlek men ansågs ändå intressant att undersöka.

### **4.3 Fördröjning av ljudsignal användande rör**

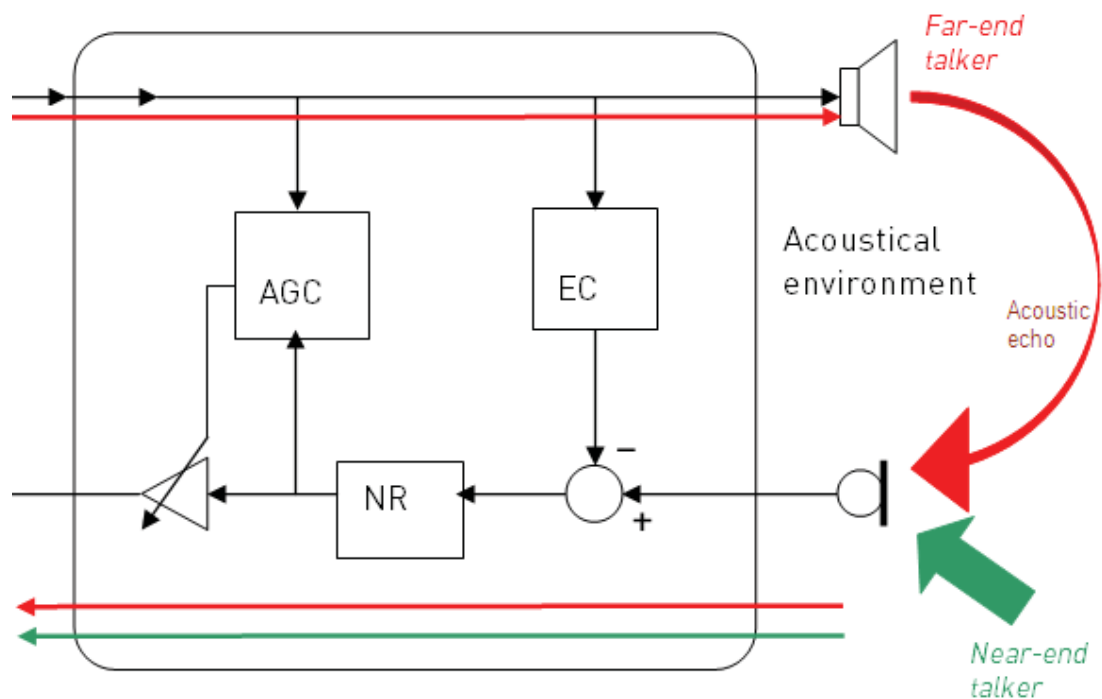
För att erhålla ett större avstånd mellan mikrofon och högtalare kan man fästa mikrofonen i änden av ett rör så ljudet måste färdas genom röret för att nå mikrofonen och på så sätt fördröja ljudvågorna tidsmässigt. Detta tillvägagångssätt ansågs mest lovande i kombination med GSM-modulens inbyggda funktioner då det tydligt stod i en av GSM-modulens manualer att minsta rekommenderade avstånd mellan mikrofon och högtalare var sju centimeter vilket inte kan realiseras då det största möjliga avstånd på larmtelefonen var cirka fyra centimeter [9]. Röret förväntas fördröja ljudvågorna för att erhålla ett större avstånd och förhoppningsvis hjälpa ekoutsläckningen i GSM-modulen att fungera bättre.

### **4.4 GSM-modulens inbyggda funktioner för ekoutsläckning**

Larmtelefonen använder en GSM-modul för att upprätta samtal. GSM-modulen har modellnamnet GE865-QUAD och tillverkas av Telit. GE865-QUAD har ett antal funktioner

för ekoutsläckning. Dessa är Automatic Gain Control (AGC), Echo Cancellation (EC), och Noise Reduction (NR) och de går under samlingsnamnet Acoustic Echo Controller (AEC). Den exakta utformningen av algoritmerna är okänd eftersom de är Telits företagshemligheter.

Alla algoritmer, AGC, EC och NR kan verka självständigt utan inverkan eller medhjälp från de andra. Det är dock rekommenderat att låta AGC:n och EC:n samarbeta för att åstadkomma bästa möjliga eliminering av ekot. Figur 4.1 nedan beskriver hur ekoutsläckningen i GSM-modulen GE865-QUAD fungerar.



Figur 4.1 – Copyright © 2014 - GSM-modulen GE865-QUADs ekoutsläckningsfunktioner. Med tillstånd av Telit Communication PLC. All rights reserved.

I figur 4.1 är Far-end talker (röda pilar) personen i borte änden vars tal återgivs av högtalaren medan Near-end talker (gröna pilar) representerar personen som fysiskt pratar in i mikrofonen. Acoustic echo är ljudet från högtalaren som når mikrofonen och Acoustical environment representerar miljön som ljudet från högtalaren färdas i för att nå mikrofonen.

Figur 4.1 visar tydligt hur GSM-modulens olika funktioner för ekoutsläckning fungerar. AGC:n jämför högtalarens signalstyrka med mikrofonens signalstyrka och överstiger jämförelsen ett visst värde dämpas mikrofonens signal. EC:n tar helt enkelt högtalarens signal och tar bort den från mikrofonens signal för att minska ekot som tar sig igenom. NR bearbetar mikrofonens signal, bearbetad av EC:n, och reducerar diverse brus [9].

Mer ingående beskrivningar av AGC:n, EC:n och NR:n följer nedan.

#### 4.4.1 Beskrivning av AGC (Automatic Gain Control)

AGC:ns funktion är att beroende på skillnad i signalstyrka mellan högtalarsignal och mikrofonensignal försvaga mikrofonensignalen för att på så sätt dämpa eventuellt eko. Det som avgör när AGC:n aktiveras är parametern RXTX relation (speaker to micro signal power

relation). Tre andra parametrar påverkar också AGC:n och styr hur kraftfull AGC:ns dämpning blir. Dessa är additional attenuation, minimum attenuation och maximum attenuation.

Additional attenuation är hur mycket extra AGC:n dämpar efter sin uträkning av dämpning.

Minimum attenuation är AGC:ns minsta dämpning även om AGC:ns uträkning hamnar på ett lägre värde.

Maximum attenuation är AGC:ns maximala dämpning även om AGC:ns uträkning hamnar på ett större värde [9].

#### **4.4.2 Beskrivning av EC (Echo Cancellation)**

EC:n är baserad på ett så kallat FIR filter som använder högtalarsignalens invers för att eliminera ekot om högtalarsignalen når mikrofonen. EC:n styrs av de tre parametrarna RXTX relation, adaptation speed och FIR filter length.

RXTX relation används för att tala om för EC:ns algoritm hur signalförhållandet mellan högtalare och mikrofon ser ut, alltså hur väl ljudet färdas från högtalare till mikrofon och vilken styrka på ljudet som mikrofonen tar upp.

Adaptation speed beskriver algoritmens förmåga att snabbt ändra sig vid olika variationer av ekoljudet. Ökas snabbheten minskas däremot algoritmens precision.

FIR filter length representerar hur sena ekon som EC:n bearbetar. Har man en miljö där högtalarens ljud tar lång tid att nå mikrofonen krävs ett större värde på denna parameter [9].

#### **4.4.3 Beskrivning av NR (Noise Reduction)**

NR är en brusreducering som med hjälp av en algoritm ska eliminera diverse brus och bakgrundsljud. NR styrs av tre parametrar. De är noise max attenuation, noise weighting factor band 300-500Hz och noise weighting factor band 500-4000Hz. Högre värde ger bättre brusreducering men försämrar samtalskvaliten.

Noise max attenuation är det största värde som NR-algoritmen kan påverka med.

Noise weighting factor band 300-500Hz är hur mycket brus den reducerar i frekvensområdet 300 till 500Hz.

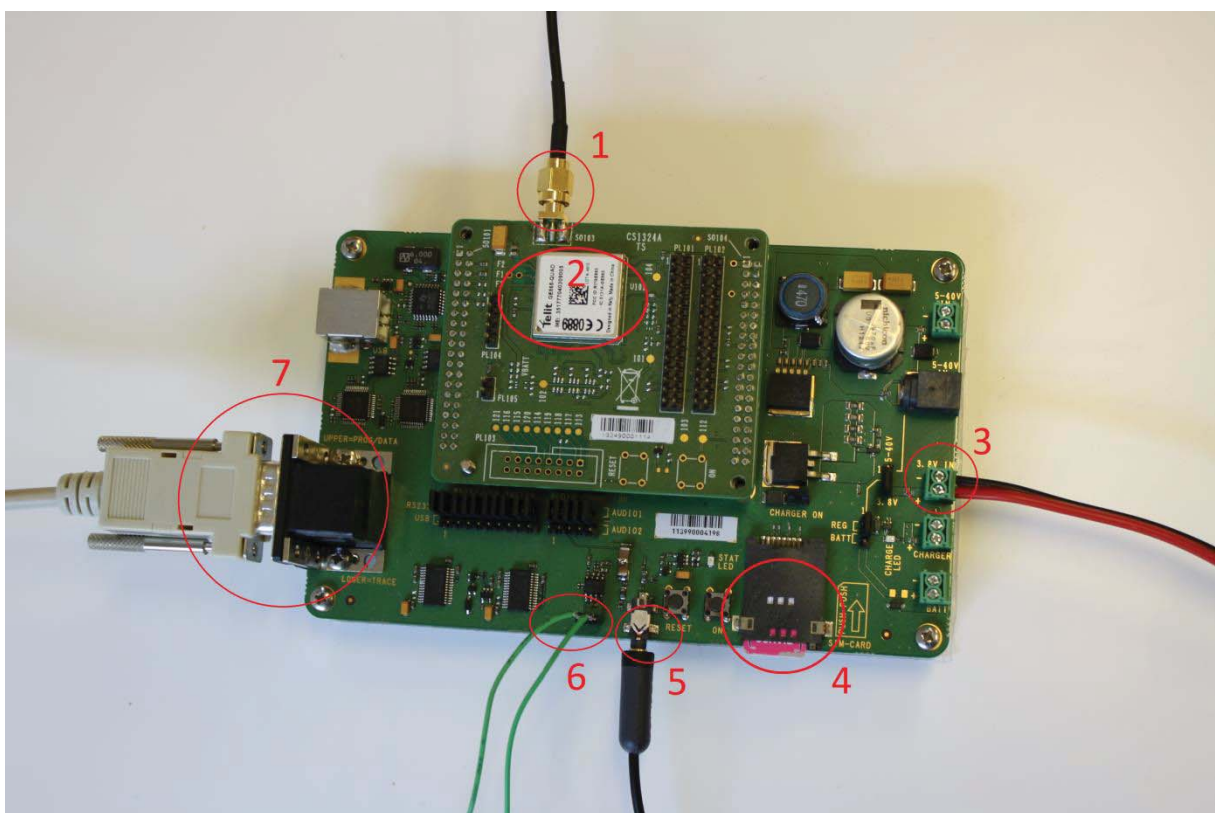
Noise weighting factor band 500-4000Hz är hur mycket brus den reducerar i frekvensområdet 500 till 4000Hz [9].

## 5. UPPSÄTTNING AV TESTUTRUSTNING

Här följer en beskrivning av hur testutrustningen sattes upp, alltså hur utvecklingskortet som användes kopplades in och hur högtalare och mikrofon fästes på akrylplastskivorna.

### 5.1 Utvecklingskort, EVK2

Till testerna användes ett utvecklingskort kallat EVK2, tillverkat av Telit, då larmtelefonen är orealistiskt liten att utföra experiment med. Utvecklingskortet har lättåtkomliga ingångar för både mikrofon och högtalare, samt andra ingångar som skulle kunna behövas. I figur 5.1 nedan visas en bild på utvecklingskortet, samt förklaring till de olika sladdarna som är inkopplade.



Figur 5.1 – Utvecklingskort, EVK2

1. Antenninkoppling
2. GSM-modul GE865-Quad
3. Ströminkoppling, 3.8V
4. SIM-kortshållare med SIM-kort
5. Mikrofoninkoppling
6. Högtalarinkoppling
7. RS232-inkoppling

Först och främst behövs ström för att få kortet att fungera. Kortet har möjlighet till att köra 3.8V eller 5-40V via en annan inkoppling. Då kortet inte behöver mer än 3.8V användes

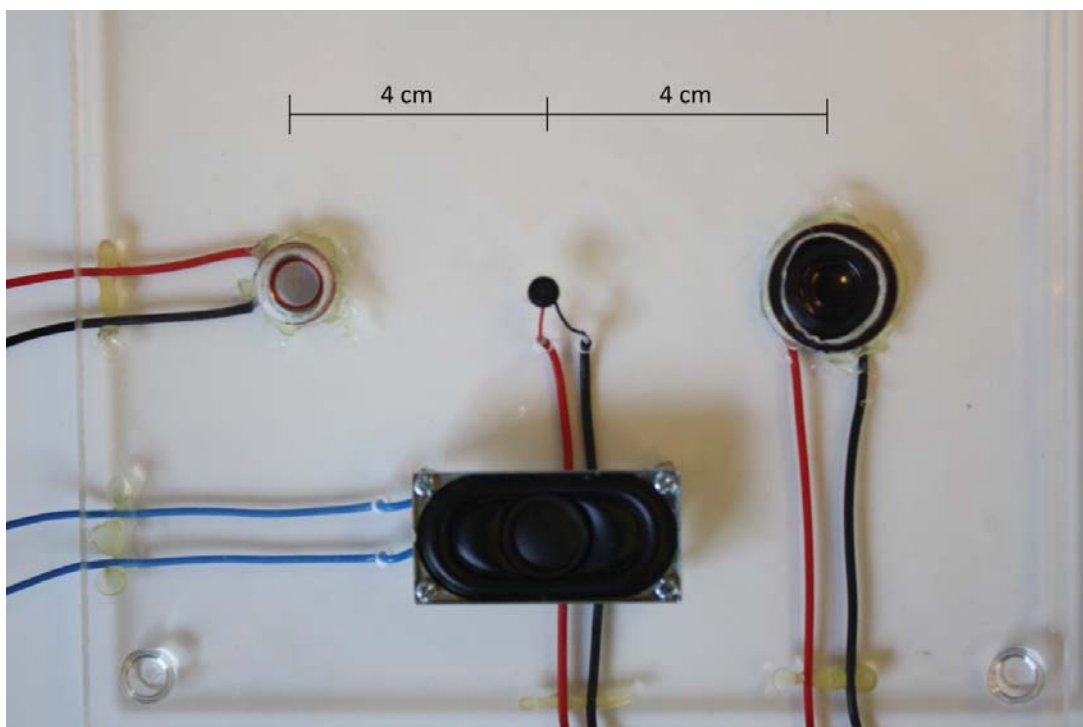
detta. En antenn och ett SIM-kort är nödvändigt för att GSM-modulen ska få kontakt med telenätet vilket behövs för att utvecklingskortet ska kunna ringa och ta emot samtal. GSM-modulen GE865-Quad bidrar med all styrteknik för kortet vad gäller att ta emot signaler, bearbeta dem och sedan skicka dem vidare. Den har också hand om all programkod för ljudnivåer och inbyggda funktioner.

För överföring av data till och från kortet användes en PC-dator som seriellt kommunicerade genom en RS232-sladd till kortet. Det var även via PC-datorn som samtal kopplades upp genom specifika AT-kommandon.

Högtalar- och mikrofoninkopplingar är enkelt åtkomliga genom pinnar och en 2.5 millimeters utgång. Kortet har även möjlighet att använda digitala utgångar. Det här projektet använder istället analoga utgångar på grund av smidighet och pris. Skulle en digital mikrofon användas hade en extern styrkrets för denna behövt kopplas in vilket kräver ytterligare programmering och resurser.

## 5.2 Högtalare och mikrofon

När utvecklingskortet fungerade som det skulle var nästa steg att fästa högtalare och mikrofon på en akrylplastskiva. Högtalarna kräver alla olika infästningar för att få bästa möjliga ljud, vilket togs i åtanke när högtalarna fästes på skivan. Mikrofonen som användes är analog, tillverkas av PRO SIGNAL och har modellnamnet ABM-715-RC. Mikrofonen valdes av företaget och var inget som kunde påverkas.



Figur 5.2 – Högtalare och mikrofon infästa på akrylplastskiva



Larmtelefonen har ungefär fyra centimeter mellan högtalare och mikrofon, vilket gör det naturligt att även testerna använder dessa mått. I figur 5.2 ovan visas hur mikrofonen och tre av de högtalare som senare testades fästs på akrylplastskivan, alla med ett avstånd fyra centimeter mellan högtalare och mikrofon för att efterlikna avståndet i slutprodukten. Högtalarna kräver, som tidigare nämnts, rätt infästning för att få bra kvalitet och volym varför de fästs som de gjort i figur 5.2 ovan. Mikrofonen sattes enkelt fast med lim då den inte krävde någon speciell infästning.

## 6. VAL AV HÖGTALARE

Efter att testutrustningen hade satts upp upptäcktes att högtalarmodellen som företaget preliminärt hade valt inte mötte kraven som ställdes på ljudkvaliteten. Högtalaren presterade bra vid uppspelning av ringsignaler med hög frekvens men lät mycket dåligt vid vanligt tal. Detta berodde på att högtalaren fick en stark distorsionseffekt vid frekvenser under 1000Hz och talområdet går så långt ner som till åtminstone 200Hz. Denna högtalare valdes att inte gå vidare med fortsättningsvis. Det bestämdes att det behövdes ny högtalare för att kunna utföra testerna på ett tillfredställande vis och då arbetet även skulle behandla den allmänna samtalskvaliteten förutom eoeffekter bestämdes det att val av ny högtalare föll inom arbetets ramar. Här var det även viktigt att tänka på att högtalarna presterade bra vid högre frekvenser för att ta hänsyn till personer med hörselskador som till exempel presbycusis då många av de som kommer använda larmtelefonen lider av detta.

På grund av detta valdes några olika lovande högtalarmodeller ut i samråd med handledaren och dessa beställdes. Därefter jämfördes de för att se vilken som bäst tillgodosåg larmtelefonens behov och därmed skulle arbetas vidare med. Beskrivningar av de olika högtalarna samt en jämförelse dem emellan följer nedan.

### 6.1 Beskrivning av högtalare

Här följer en kort beskrivning av varje högtalare som beställdes, testades och jämfördes.

#### **KDMG20008** [10]

Tillverkare: KINGSTATE  
SPL (Sound Pressure Level): 78dB vid 1m och 1W  
Resonant frequency: 560Hz  
Frequenzy response max: 7kHz  
Pris/st: 15,52kr  
En rund högtalare med en diameter på 20mm och en tjocklek på 3,1mm.



Figur 6.1 – KDMG20008

#### **KDMG13008L-02** [11]

Tillverkare: KINGSTATE  
SPL: 75dB vid 1m och 1W  
Resonant frequency: 1050Hz  
Frequenzy response max: 20kHz  
Pris/st: 22,17kr  
En mindre modell av KDMG20008 (se ovan) med diametern 13mm och tjockleken 2mm.



Figur 6.2 – KDMG13008L-02

#### **ABS-216-RC** [12]

Tillverkare: PRO SIGNAL  
SPL: 83dB vid 0,5m och 1W  
Resonant frequency: 400Hz  
Frequenzy response max: 20kHz  
Pris/st: 27,28kr  
En rektangulär högtalare med längden 40mm,



bredden 20mm och höjden 5,8mm.

Figur 6.3 – ABS-216-RC

### **2901-K50** [13]

Tillverkare: VISATON

SPL: 83dB vid 1m och 1W

Resonant frequency: 400Hz

Frequenzy response max: 10kHz

Pris/st: 21,52kr

En rund högtalare med diametern 50mm och tjockleken 19,2mm.



Figur 6.4 – 2901-K50

OBS! För stor för att användas i handledsburen larmtelefon men företaget ansåg det vara intressant med en jämförelse av denna ändå.

## 6.2 Jämförelse av högtalare

De olika högtalarna sattes fast på en akrylplastplatta med liknande insättning och kopplades en efter en till utvärderingskortet EVK2 och testades genom att ringa upp GSM-modulen på utvärderingskortet och se hur bra högtalaren presterade vid vanligt tal. De parametrar som ansågs intressanta för jämförelse var ljudvolym, ljudkvalitet, storlek och pris. KDMG20008 användes som referens. De andra högtalarna jämfördes med referensen och gavs betygen plus (+) eller minus (-). En redogörelse för jämförelsen ges i tabell 6.1 nedan.

Tabell 6.1 – Jämförelse mellan högtalare

	ABS-216-RC	KDMG20008	KDMG13008L-02	2901-K50
Ljudvolym	-	Ref.	-	+
Ljudkvalitet	+	Ref.	-	+
Storlek	-	Ref.	+	-
Pris	-	Ref.	-	-
Totalt	-2	Ref.	-2	±0

Som tabell 6.1 ovan visar ansågs referenshögtalaren, KDMS20008, bäst tillgodose larmtelefonens behov. Högtalaren 2901-K50 fick i jämförelsen samma totalpoäng men ansågs redan från början oralistisk på grund av sin storlek. Den togs ändå med i jämförelsen då handledaren ansåg det intressant med en jämförelse med en betydligt större högtalare. Som det kom fram i jämförelsen presterade denna bättre än de andra både vad gäller ljudvolym och ljudkvalitet, men plockades automatiskt bort på grund av sin storlek.

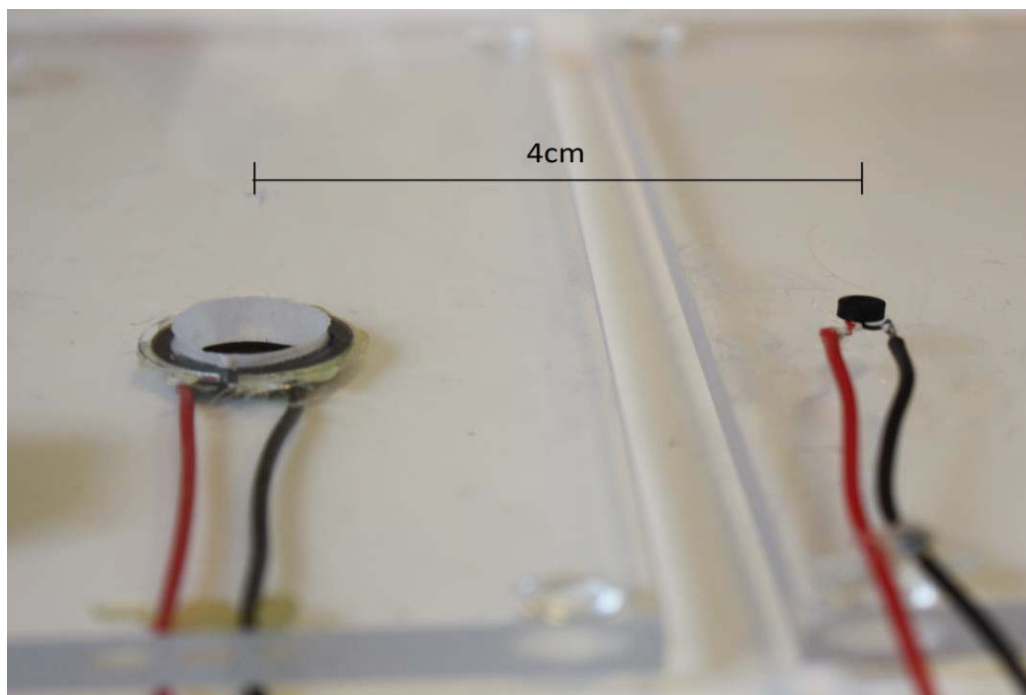
Då högtalaren KDMG20008 bäst tillgodosåg larmtelefonens behov användes denna i alla efterföljande test.

## 7. TESTER AV LÖSNINGSFÖRSLAG

Alla tester utfördes med samma inställningar av mikrofon- och högtalarförstärkning i GSM-modulen. Mikrofonförstärkningen ställdes in till 5 av 7 och högtalarförstärkningen till 10 av 14 eftersom detta var nivåer som passade för samtal på armlängds avstånd.

### 7.1 Test av olika infästningsplattor för högtalare och mikrofon

Uppsättningen av testet gjordes genom att fästa en mikrofon på samma akrylplastplatta fyra centimeter från högtalaren, samt en mikrofon på en separat akrylplastplatta. Infästningarna gjordes så att även mikrofonen på den separata plattan hade avståndet fyra centimeter till högtalaren, se figur 7.1 nedan. Detta för att efterlikna avståndet mellan mikrofon och högtalare i larmtelefonen.



Figur 7.1 – Högtalare och mikrofon på olika infästningsplattor

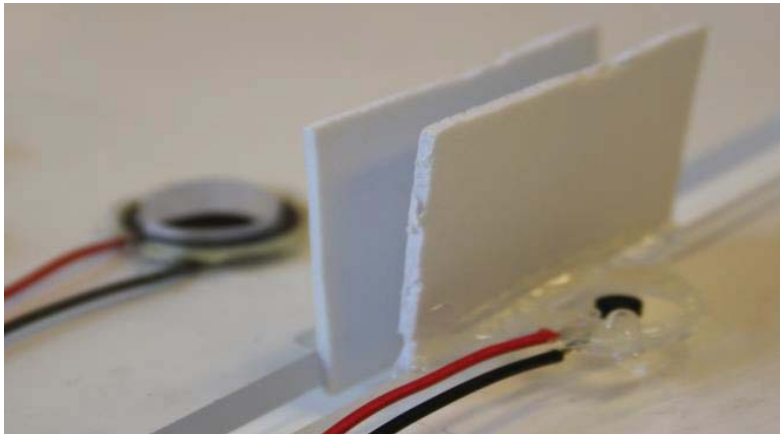
Testet utfördes genom att med samma mikrofon- och högtalarförstärkning testa de olika mikrofonerna vid ett samtal och jämföra skillnad i både ljudvolym och ljudkvalitet på ekot. Det märktes en märkbar skillnad i ljudvolym samt en större skillnad i ljudkvaliteten, detta på grund av att när ljudsignalerna transporterades igenom infästningsplattan gjorde plattans material ekot mer raspigt. Då det är rimligt att anta att ljudet transporteras olika snabbt i luft och akrylplast är det också rimligt att anta att detta försvårar för GSM-modulens funktioner för ekoutsläckning. När man hade mikrofonen på separat platta försvann den effekten vilket gjorde att ekot blev klarare och också fick något lägre volym.

### 7.2 Test av dämpande vägg mellan högtalare och mikrofon

En dämpande vägg av dekorgummi sattes mellan mikrofon och högtalare fastsatta i samma material. Det blev ingen märkbar skillnad på grund av att vibrationerna från högtalaren inte

behövde ta sig runt väggen utan kunde gå direkt genom infästningsplattan in i mikrofonen vilket gjorde att den dämpande väggen inte fick någon effekt.

För att eliminera denna effekt så att testet endast tog hänsyn till väggens inverkan användes uppsättningen från föregående test med olika infästningsplattor för högtalare och mikrofon med skillnaden att en vägg av dämpande material fästes mellan plattorna och därmed mellan högtalare och mikrofon. Se figur 7.2 till nedan.



*Figur 7.2 – Dämpande vägg*

Det märktes nu en tydlig skillnad då ekots ljudvolym blev lägre samt något dovare vilket gav ett mjukare ljud. Detta antas bero på att väggen dämpar de höga frekvenserna bättre. Det var mycket viktigt att det var tätt mellan väggen och materialet den fästes i så att inga vibrationer kunde ta sig genom luften i eventuell glipa under väggen och på så vis förstöra testet.

Testet utfördes med olika storlek på den dämpande väggen för att se hur liten väggen kunde vara men ändå ge effekt. Det första testet utfördes med en vägg med dimensionerna 10x15 centimeter. Övriga tester inkluderade väggar med dimensionerna 7.5x10, 5x7.5 och 3.75x5 centimeter. Ju mindre vägg desto mindre inverkan på ekot men en tydlig skillnad märktes även med den minsta väggen vilket var den mest realistiska storleken med hänsyn till larmtelefonens storlek.

### **7.3 Test av fördröjning av ljudsignal användande rör**

För att erhålla ett längre avstånd mellan mikrofon och högtalare användes rör i olika längder och utförande för att tvinga ljudvågorna att gå igenom röret och på så sätt färdas ett längre avstånd. Likt tidigare användes två separata akrylplastsivor för att eliminera några överföringar av ljud via vibrationer i plattorna. Rören, med innerdiametern 12mm, limmades fast på plattorna för att få infästningen tät och på så sätt inte släppa igenom någon luft.

Det första testet utfördes med ett L-format rör med längden 15mm, 90 graders vinkel och sedan ytterligare 15mm, se figur 7.3 nedan. Röret riktades bort från högtalaren och vad som upptäcktes var att ljudet förvrängdes och blev mer burkigt och skrovligt. Detta antogs bero på hur ljudet studsade inne i röret samt att röret självt tog upp vibrationer från luften.



*Figur 7.3 – L-format rör*

Nästa test gjordes med ett U-format rör, se figur 7.4. Ingången var riktad uppåt. Ljudkvaliteten samt ljudvolymen blev märkbart sämre än tidigare och detta antas bero på att röret tar upp vibrationerna från luften och ljudet går via dessa vibrationer i röret ned till micken, snarare än att allt ljud tvingas gå via den fria vägen inne i röret.



*Figur 7.4 – U-format rör*

Testerna visade att längre rör bidrog till både sämre ljudvolym och ljudkvalitet, vilket på ett sätt förbättrar ekoutsläckningen, men på ett annat försämrar samtalskvaliteten till den grad att ekot inte längre var det största problemet utan istället ljudkvaliteten.

## **7.4 Test av GSM-modulens inbyggda funktioner för ekoutsläckning**

Innan testerna med GSM-modulens inbyggda ekoutsläckning påbörjades gjordes vissa inställningar i GSM-modulen. GSM-modulens sidetone stängdes av. Sidetone är en funktion som gör att signalen till högtalaren också direkt kopplas till mikrofonens signal så att ljudet som tas emot direkt skickas tillbaka så att talaren hör sig själv. Detta i kombination med det akustiska ekot gav en okontrollerbar rundgång. När sidetonen stängdes av kunde däremot

tester utföras på endast det akustiska ekot. Det ansågs dessutom osannolikt att sidetone skulle användas i slutprodukten varför det inte var relevant att använda sidetone i testerna.

### 7.4.1 Fastställande av RXTX relation

RXTX relation påverkar både AGC:n och EC:n och har de möjliga värdena  $-90\text{dB}$  till  $+90\text{dB}$ . För att ställa in denna parameter aktiverades AGC:n med maximala värden på additional attenuation och maximum attenuation medan minimum attenuation hade kvar ursprungsvärdet noll. Eftersom RXTX relation avgör när AGC:n aktiveras söktes det värde där AGC:n precis aktiverades, det i manualen så kallade threshold value eller tröskelvärdet. AGC:n aktiverades och parametern RXTX relation sänktes gradvis tills tröskelvärdet hittades.

Tröskelvärdet låg vid cirka  $5\text{-}10\text{dB}$  precis som manualen angav. Det rekommenderades att hålla sig något under detta värde varför vi fortsatte testerna med RXTX relation på värdet  $5\text{dB}$  med avsikten att om möjligt försöka sänka den ytterligare när de andra parametrarna blivit inställda [9].

### 7.4.2 Fastställande av AGC:ns parametrar

Maximum, minimum och additional attenuation hade samma möjliga värden,  $0\text{-}90\text{dB}$ . För att bestämma parametern maximum attenuation gjordes tester där maximum attenuation och additional attenuation hade samma värde och gradvis sänktes till ekot precis försvann. Detta skulle alltså vara så mycket som AGC:n maximalt skulle dämpa. Detta värde var  $40\text{dB}$ .

I GSM-modulens manualer ges rekommendationer att sätta additional attenuation till halva maximum attenuations värde medan minimum attenuation konstant är noll. Dessa rekommendationer följdes varvid additional attenuation ställdes in till  $20\text{dB}$  och minimum attenuation till  $0\text{dB}$ . [9]

### 7.4.3 Fastställande av EC:ns parametrar

AGC:n avaktiverades och EC:n aktiverades för att tydligare höra vilken påverkan EC:n hade på ekot. Parametern adaptation speed har noll till två som möjliga värden där två är snabb anpassningsförmåga och noll är långsam anpassningsförmåga. Ingen skillnad märktes då parametern ändrades mellan de möjliga värdena och då det är önskvärt med så snabb anpassningsförmåga som möjligt, såvida inte kvaliteten blir lidande, valdes värdet två på parametern. Detta stöddes även av manualen som i alla lägen valde värdet två. [9]

FIR filter length, med möjliga värden på  $10\text{-}50\text{ms}$ , ställdes in till  $20\text{ms}$ . Eftersom ljudet från högtalaren mycket snabbt tas upp av mikrofonen och inga reflektioner av ljudet leder till större fördröjning av ekot kan det därför tänkas att ett litet värde på denna parameter borde ge bäst resultat. Vid test presterade EC:n bättre vid lägre värden på denna parameter. Det var dock ingen större skillnad mellan  $10\text{ms}$  och  $20\text{ms}$  utan det var först vid värden över  $20\text{ms}$  som EC:n började prestera sämre.  $20\text{ms}$  valdes därför för att ge utrymme åt eventuella oväntade fördröjningar av ekot.

Vid dessa tester med enbart EC:n aktiverad märktes en tydlig skillnad i ekots styrka även om ekot inte försvann helt. Det är rimligt att anta att både AGC:n och EC:n behöver vara aktiverade för att ta bort ekot fullständigt men ändå behålla en godtagbar samtalskvalitet.

#### **7.4.4 Fastställande av NR:ns parametrar**

NR är GSM-modulens brusreducering. När denna aktiverades hördes ingen märkbar skillnad i vare sig samtalskvalitet, eko eller bakgrundsbrus. Då parametrarna för NR höjdes började dock samtalskvaliteten bli lidande eftersom en del av talet tolkades som brus och då togs bort. Det rekommenderas i manualen att ha NR aktiverad men inte med för höga värden på parametrarna varvid dessa fortsatt hade grundinställningarna kvar. Noise max attenuation hade då värdet 6dB av möjliga 0-90dB, medan både Noise weighting factor band 300-500Hz och Noise weighting factor band 500-4000Hz hade värdet 2 av möjliga 0 till 9 [9].

Dock är det värt att nämna att testmiljön inte hade särskilt höga brusnivåer.

#### **7.4.5 Test med kombination av AGC, EC och NR**

Då parametrarna för AEC:ns olika funktioner, AGC, EC och NR, var inställda aktiverades alla samtidigt och testades. Då manualen rekommenderade att RXTX relation sänktes något under tröskelvärdet undersöktes om resultatet blev bättre med lägre värde på RXTX relation [9]. Det bästa resultatet uppnåddes med värdet minus 10 på RXTX relation. AEC:n verkade då aktiveras tidigare men inte med full kraft tills det behövdes vilket gav en mjukare ekoutsläckning.



## 8. RESULTAT

Detta projekt syftade till att ge företaget bättre grund för fortsatt arbete med ekoutsläckning och samtalskvalitet i deras handledsburna larmtelefon. Detta gjordes genom att ta fram lösningsförslag och sedan testa dessa, begränsat till mekaniska lösningar och GSM-modulens inbyggda funktioner.

Att sätta mikrofon och högtalare på olika infästningsplattor gav ett bra resultat. Det blev en tydlig skillnad i ekots styrka men främst i ekots ljudkvalitet. Detta underlättar för GSM-modulens ekoutsläckningsfunktioner som har lättare att ta bort ett eko som är så lik ursprungssignalen som möjligt. När andra lösningar som till exempel den dämpande väggen testades utan att tillämpa denna lösning behövde ljudet inte ta sig runt väggen utan kunde transporteras genom den gemensamma infästningsplattan vilket gjorde att väggen inte hjälpte. Separerade infästningsplattor bidrog alltså mest till att underlätta för andra lösningar. Därför tillämpades detta vid test av de andra lösningarna för att bättre kunna urskilja just deras inverkan på ekot.

Lösningen som innefattade rör för att fördröja ljudsignalen försämrade samtalskvaliteten markant och tog inte bort något eko. Röret verkade ta upp vibrationer från luften vilket gjorde att ljudet inte behövde ta den långa vägen till rörets öppning och sedan färdas genom röret till mikrofonen. När ljudet sedan studsade inuti röret förvrängdes det vilket gjorde att både samtalskvaliteten och ljudkvaliteten på ekot försämrades. Denna lösning presterade alltså inte som avsett.

Test med dämpande vägg mellan högtalare och mikrofon visade att den dämpande väggen hade stor inverkan på ekots styrka. Då tester utfördes med olika storlek på väggen visade det sig som väntat att mindre vägg hade mindre effekt. Det är dock viktigt att notera att även den minsta vägg som testades hade en tydlig dämpande effekt på ekot.

Det som presterade bäst var GSM-modulens inbyggda funktioner för ekoutsläckning, AEC, då dess parametrar var rätt inställda. GSM-modulens brusreducering (NR) hade ingen inverkan på ekot och ökades värdena på dess parametrar blev samtalskvaliteten lidande då den började tolka en del av det vanliga talet som brus och började därför ta bort tal vilket försämrade samtalskvaliteten. Detta hände dock inte vid brusreduceringens standardvärden vilka var ganska låga. EC:n presterade bra och tog bort en del av ekot, dock inte allt. GSM-modulens AGC gjorde störst skillnad då den kunde ta bort allt eko när den aktiverades och dess parametrar var rätt inställda. För höga värden på AGC:ns parametrar ledde dock till försämrad samtalskvalitet. Det var först när alla AEC:ns delar var aktiverade samtidigt som resultatet blev riktigt tillfredställande. När EC:n tog bort en del av ekot kunde AGC:ns parametrar sänkas något vilket ledde till något bättre samtalskvalitet.

Då lösningarna med olika infästningsplattor för högtalare och mikrofon, dämpande vägg och GSM-modulens AEC kombinerades uppnåddes bäst resultat. Olika infästningsplattor för högtalare och mikrofon förbättrade ekots ljudkvalitet vilket gjorde det lättare för GSM-modulens EC att eliminera mer av ekot, den dämpande väggen sänkte ekots volym så att GSM-modulens AGC inte behövde aktiveras med samma kraft vilket gjorde att samtalskvaliteten blev bättre. Brusreduceringen förbättrade också samtalskvaliteten.

Projektets frågeställning var om det på ett tillfredställande sätt går att ta bort ekoeffekter i en handledsburen larmtelefon med mindre avstånd mellan högtalare och mikrofon än vad larmtelefonens GSM-modul är dimensionerad för och vilken eller vilka metoder som lämpar sig bäst för detta, begränsat till mekaniska lösningar samt GSM-modulens inbyggda

ekoutsläckningsfunktion. Detta uppnåddes på ett tillfredställande vis användande lösningarna olika infästningsplattor för högtalare och mikrofon, dämpande vägg mellan högtalare och mikrofon samt GSM-modulens inbyggda funktioner för ekoutsläckning.

## 9. Diskussion

Här följer analys av de olika lösningsförslagen samt övriga reflektioner.

### 9.1 Analys av olika infästningsplattor för högtalare och mikrofon

Separerade infästningsplattor för högtalare och mikrofon visade sig vara viktigt för ekoutsläckningen under arbetets tester. Detta på grund av att vibrationerna då inte kunde transporteras från högtalare till mikrofon genom den gemensamma infästningsplattan. Dessa skivor transporterade vibrationerna från högtalaren mycket bra men i den slutgiltiga produkten kommer med största sannolikhet ett annat material att användas som förhoppningsvis inte transporterar vibrationer lika bra. Dessutom kommer larmtelefonen vara kompakt vilket borde ge andra förutsättningar för transport av vibrationer. Trots detta rekommenderas ändå att placera högtalare och mikrofon på olika infästningsmaterial. På grund av larmtelefonens storlek blir lösningen svår att realisera men en kompromiss skulle kunna nås genom att sätta ett dämpande material mellan högtalarens och mikrofonens respektive infästningsplatta för att absorbera så mycket av vibrationerna som möjligt.

### 9.2 Analys av dämpande vägg mellan högtalare och mikrofon

Större vägg bidrar till mindre eko. Med andra ord, med en ljudisolerande vägg som ljudet inte kan ta sig igenom tvingas ljudet gå runt väggen och är väggen större blir det en längre väg för ljudet att transporteras. Detta är i sig relativt uppenbart och talar egentligen bara om att ju mindre larmtelefonen blir i storlek desto svårare är det att släcka ut ekot.

Vad väggen också visade var att olika vinklar hos väggen bidrog till olika effekter hos ekot. Att isolera runt mikrofon eller högtalare bidrog till en positiv effekt gällande ekots volym, men en negativ effekt för personen som talar. Detta för att ljudet nu var tvunget att vara mycket mer riktat mot den öppna sidan av mikrofonen i och med att ljudet dämpas om ljudet kommer från andra sidan av väggen. Detta säger sig självt med tanke på att ljudet från högtalaren kan ses som en annan person som talar då volymen från högtalaren är så pass stark. Stänger man ute ljudet från högtalaren med hjälp av en isolerande vägg istället för en fördröjande funktion, stänger man även ut allt annat ljud som kommer från denna riktning, även vanligt tal.

### 9.3 Analys av fördröjning av ljudsignal användande rör

Det första som är värt att nämna är att röret som användes i testet var av gummi vilket antagligen inte är det mest optimala materialet för ändamålet. Tanken var att gummit skulle agera dämpande mot vibrationerna på utsidan så att de enda ljudvågorna som nådde mikrofonen gick genom rörets öppning. Detta blev tyvärr inte fallet, då röret ändå verkade ta upp vibrationer från luften och leda dem till mikrofonen. Skulle detta däremot kunna förhindras skulle fördröjningen lyckas och syftet med röret skulle uppfyllas. Om röret skulle byggas in i larmtelefonens skal borde röret bli bättre isolerat och få en stabilare grund och därmed ta upp färre vibrationer från luften.

## 9.4 Analys av GSM-modulens inbyggda funktioner för ekoutsläckning

GSM-modulens inbyggda funktioner för ekoutsläckning fungerade mycket bra trots att tillverkaren rekommenderade ett avstånd på minst sju centimeter mellan högtalare och mikrofon för att ekoutsläckningen skulle prestera tillfredställande medan larmtelefonen hade maximalt fyra centimeter mellan högtalare och mikrofon [9]. Detta visar att godtagbar samtalskvalitet och eliminering av eko är möjligt även för små avstånd mellan högtalare och mikrofon.

Försiktighet måste ändå iakttas då ju kraftigare åtgärder man låter GSM-modulen ta mot ekot, desto mer av det vanliga talet elimineras tillsammans med ekot vilket leder till försämrad samtalskvalitet. En prioritering måste göras för att hitta den rätta balansen mellan eliminering av eko och bibehållning av samtalskvalitet. Det kan vara godtagbart att släppa igenom eko med så låg volym att det inte stör samtalet om det i sin tur betyder att samtalskvaliteten blir markant bättre. Eftersom det är väldigt subjektivt hur mycket eko som är godtagbart att släppa igenom måste varje enskilt fall utvärderas för att hitta den rätta balansen för just den situationen.

## 9.5 Övriga reflektioner

I efterhand hade det varit intressant att testa rikta mikrofon och högtalare i olika vinklar och åt olika håll. Detta är mer realiserbart i larmtelefonen, snarare än med testutrustningen, varför detta inte testades i detta arbete. Effekten kan tänkas bli snarlik den som uppnåddes med en dämpande vägg då ljudet får en längre väg att transporteras.

Arbetet var väldigt begränsat vad gäller mätutrustning då någon sådan inte fanns att tillgå. Detta ledde till att alla test subjektivt fick bedömmas och skillnaderna jämföras. Detta ansågs inte vara ett allt för stort problem då produkten ska användas av människor och om inte testens utförare kunde uppfatta något eko skulle heller inte slutproduktens användare göra det. Testerna ansågs därför ge tillräckligt god grund för att slutsatser skulle kunna dras. Det hade dock varit mycket användbart att ha tillgång till testutrustning för att kunna mäta ekots volym i decibel för att få tydliga kurvor och lättare kunna jämföra olika test.

Noggrannheten i detta arbetes tester kan naturligtvis diskuteras då frånvaron av testutrustning betydde att inga ordentliga testdata producerades, förutom anteckningar av testens utförare. Skulle testerna utföras igen av andra personer skulle kanske testerna bedömmas annorlunda. Testernas utförare anser däremot att testernas noggrannhet var god.

Då arbetet testat olika lösningar som till största del skulle gå att realisera i den handledsburna larmtelefonen anses syftet med detta arbete vara uppnått. Företaget har genom detta arbete fått en god grund att stå på vad gäller ekoutsläckning och samtalskvalitet i vidareutvecklingen av sin handledsburna larmtelefon.

Avslutningsvis eliminerades ekot på ett tillfredställande sätt medan god samtalskvalitet uppnåddes. De metoder som lämpade sig bäst, som också användes, var separerade infästningsmaterial för högtalare och mikrofon, dämpande vägg mellan högtalare och mikrofon samt GSM-modulens inbyggda funktioner för ekoutsläckning.

## REFERENSER

- [1] What is sound, Prof. Jeffrey Hass, 2003  
<http://www.indiana.edu/~emusic/acoustics/sound.htm> (Acc 2014-06-11)
- [2] GSM: Global System for Mobile Communications Tutorial, Ian Poole  
[http://www.radio-electronics.com/info/cellulartelecomms/gsm\\_technical/gsm\\_introduction.php](http://www.radio-electronics.com/info/cellulartelecomms/gsm_technical/gsm_introduction.php) (Acc 2014-06-09)
- [3] GSM Description, Emory  
<http://www.emory.edu/BUSINESS/et/P98/gsm/description.html> (Acc 2014-06-09)
- [4] How Speakers Work, Tom Harris  
<http://electronics.howstuffworks.com/speaker.htm> (Acc 2014-05-26)
- [5] Insight – How Electret Condenser Microphone Works, Ashok Sharma  
<http://www.engineersgarage.com/insight/how-electret-condenser-microphone-works>  
(Acc 2014-06-11)
- [6] Hörselnedsättning – orsaker och diagnoser, Hörsellinjen  
<http://horsellinjen.se/horsellinjen/horselnedsattning-orsaker-diagnoser> (Acc 2014-05-29)
- [7] Ulf Rosenhall: Presbyacusic – hörselnedsättning på äldre dar, Läkartidningen, Volym 98, Nr 23, sid 2802-2806, 2003  
<http://larkiv.lakartidningen.se/2001/temp/pda23052.pdf> (Acc 2014-05-29)
- [8] Talbananen, Hörsel och Balans (Acc 2014-05-29)  
<http://www.karolinska.se/Verksamheternas/Kliniker--enheter/Horsel-och-balans/Diagnostik-och-yrsel/Orats-funktion/Audiogrammet/>
- [9] Audio Settings Application Note 80000NT10007a Rev.4 - 2010-10-04, Telit Communication PLC
- 10] KINGSTATE – KDMG20008 – LOUDSPEKAR, MICRO, Farnell element14  
<http://se.farnell.com/kingstate/kdmg20008/loudspeaker-micro/dp/1502730?ref=lookahead>  
(Acc 2014-05-22)
- [11] KINGSTATE - KDMG13008L-02 - LOUDSPEAKER, MICRO, 13MM, Farnell element14  
<http://se.farnell.com/kingstate/kdmg13008l-02/loudspeaker-micro-13mm/dp/1299881?ref=lookahead> (Acc 2014-05-22)
- [12] VISATON – 2901. – SPEAKER, MINIATURE, K50, 8OHM, Farnell element14  
<http://se.farnell.com/visaton/2901/speaker-miniature-k50-8ohm/dp/4662064> (Acc 2014-05-22)
- [13] PRO SIGNAL – ABS-216-RC – LOUDSPEKAER, MINIATURE, Farnell element14  
<http://se.farnell.com/pro-signal/abs-216-rc/loudspeaker-miniature/dp/1504105?ref=lookahead>  
(Acc 2014-05-22)