

# Närvarodetektering i pool



**LUNDS  
UNIVERSITET**

Lunds Tekniska Högskola

**LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg  
Industriell elektroteknik och automation**



**verisure**

ALARMS WITH IQ

Examensarbete:  
Filip Ohlsson  
Rasmus Ågren

© Copyright Filip Ohlsson, Rasmus Ågren

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg  
Lunds universitet  
Box 882  
251 08 Helsingborg

LTH School of Engineering  
Lund University  
Box 882  
SE-251 08 Helsingborg  
Sweden

Tryckt i Sverige  
Avd. för Industriell Elektroteknik och Automation  
Lunds universitet  
Lund, 2016

## Sammanfattning

Detta examensarbetet är genomfört på uppdrag av Verisure Innovation AB i Malmö. Författarna studerade till högskoleingenjör inom Elektroteknik med inriktningen Automationsteknik på Lunds Tekniska Högskola, Campus Helsingborg.

Arbetet gick ut på att utveckla en prototyp av ett larmsystem för hemmapooler, prototypens uppgift var att larma om en människa eller ett djur befinner sig i poolen. Om detta var genomförbart så kunde företaget, om de ansåg det vara i företagets intresse, fortsätta arbetet till en fullt fungerande produkt i deras ekosystem.

Det första som gjordes i arbetet var en studie i vilka typer av sensorer och därigenom studerades även vilka fysikaliska fenomen som skulle kunna användas i arbetet. Efter det så gjordes en kortare marknadsundersökning där fördelar samt nackdelar med befintliga poolarm studerades, detta fortsatte med tester av två poolarm för att studera hur de löste problemet.

Enheten som utvecklades bestod av tre delar, sensorer, hårdvara samt en detektionsalgoritm. Sensorerna som valdes var piezotransducers, hårdvaran bestod av förstärkare, filter samt ett utvecklingskort. Utvecklingskortet var från STMicroelectronics med en ARM-Cortex M4 processor. Mjukvaran utvecklades i onlinekompilatorn, mbed.

Mjukvaran styrde de signaler som skickades till och togs emot av sensorerna, den mottagna signalen digitaliserades genom en ADC för att sedan behandlas av en detekteringsalgoritm som bestämde om enheten skulle larma eller inte.

Nyckelord: **larmsystem, ultraljud, piezotransducer, STM32F411RE, mbed, ADC, signalbehandling**

## **Abstract**

This Bachelor thesis is written on behalf of Verisure Innovation AB in Mamö, Sweden. The authors were studying Bachelors of Science in Electrical Engineering with focus on automation at Lunds Tekniska Högskola, Campus Helsingborg.

The main goal of the thesis was to develop a prototype alarm system for domestic swimming pools. The system was supposed to sound an alarm if a human being or animal were to fall in to the pool. If the prototype was successful the company could decide later to proceed with the development of the product and add it to their product catalog, if they wanted.

The first thing that was done was to study what kind of sensors, and thereby also which physical phenomena, that could be used. After this a short survey of available pool alarms were conducted and the advantages and disadvantages of the products were analyzed. Two alarms were selected and tested to determine their functionality.

The developed device consisted of the following parts: sensors, the hardware, the firmware and the detection algorithm. The sensors that were chosen were Piezoelectric transducers and the hardware was composed of two amplifiers and a development board from STMicroelectronics with an ARM-Cortex M4 processor. The software was developed in the online compiler, mbed

The software controlled the signals that were sent and received by the sensors; the received signals were first digitalized in an ADC and later run through a detection algorithm to determine if the device should sound the alarm.

**Keywords: alarm system, ultra sound, piezotransducer, STM32F411RE, mbed, ADC, signal processing**

## Förord

Det långsiktiga målet med detta arbete har varit att minska antalet drunkningsolyckor som sker i hemmapooler. Det är tragiskt att barn, vuxna och djur omkommer på en plats som kan bringa så mycket glädje till dem som nyttjar den. Vi hoppas att detta arbete kan ligga som grund för en produkt som i framtiden kan rädda liv.

Vi vill tacka personalen på elektronikavdelningen, ett litet extra tack till vår handledare Filip E. Skarp, på Verisure i Malmö för att vi fått komma och genomföra vårt examensarbete hos dem. Vi vill tacka dem för det stöd som dem gett oss under arbetets gång. Vi vill även tacka Rasmus mamma och hennes sambo Tobbe för att vi fått låna deras pool till att utföra tester i.

Ett tack till Mats Lilja och Johan Björnstedt i deras roller som examinator respektive handledare.

## Innehållsförteckning

1	Indelning.....	1
1.1	Bakgrund .....	1
1.2	Syfte och mål.....	1
1.2.1	Slutmål .....	1
1.3	Problemformulering .....	2
1.4	Avgränsningar .....	2
2	Metod .....	4
3	Teoretisk analys.....	5
3.1	Förstudie.....	5
3.1.1	Teknikstudien .....	5
3.1.1.1	Mekaniska vågor .....	5
3.1.1.2	Elektromagnetisk strålning.....	10
3.1.1.3	Elektricitet .....	10
3.1.2	Sensorstudien .....	10
3.1.2.1	Piezotransducer .....	10
3.1.2.2	Accelerometer .....	11
3.1.2.3	PIR, Passiv Infraröd Rörelsedetektor .....	12
3.1.2.4	MIR, Micropower Impulse RADAR.....	12
3.2	Källkritik .....	13
4	Undersökning av befintliga poollarm.....	14
4.1	IR-stängsel.....	14
4.1.1	IR-stängsel, fördelar .....	14
4.1.2	IR-stängsel, nackdelar .....	14
4.2	Mätning av ytvågor .....	14
4.2.1	Mätning av ytvågor, fördelar.....	14
4.2.2	Mätning av ytvågor, nackdelar.....	14
4.3	Mätning av undervattensvågor .....	14
4.3.1	Mätning av undervattensvågor, fördelar .....	14
4.3.2	Mätning av undervattensvågor, nackdelar .....	15
4.4	Kontakt med vatten .....	15
4.4.1	Kontakt med vatten, fördelar.....	15
4.4.2	Kontakt med vatten, nackdelar.....	15
4.5	Öppningskontroll av grind/dörr.....	15
4.5.1	Öppningskontroll av grind/dörr, fördelar .....	15
4.5.2	Öppningskontroll av grind/dörr, nackdelar .....	15

4.6 Avlyssning av plaskljud .....	15
4.6.1 Avlyssning av plaskljud, fördelar.....	15
4.6.2 Avlyssning av plaskljud, nackdelar.....	15
4.7 Undersökning av befintliga poollarm.....	15
4.7.1 Utvärdering av inköpta poollarm .....	16
4.7.2 Funktionstester av inköpta poollarm .....	17
4.7.3 Resultat från funktionstester.....	18
5 Praktiska tester av olika tekniker .....	21
5.1 IR-test .....	21
5.1.1 IR-test, resultat .....	21
5.2 RF-test .....	21
5.2.1 RF-test, resultat .....	21
5.3 Ultraljud i låda.....	21
5.3.1 Ultraljud i låda, resultat .....	21
5.4 Utvärdering av de praktiska testerna .....	23
6 Utveckling av hårdvara .....	24
6.1 Val av sensor .....	24
6.2 Förstärkning till sändaren.....	24
6.3 Förstärkning och filtrering från mottagaren .....	25
6.4 Tester och utvärdering av hårdvara .....	26
6.4.1 Test av hårdvaran i fullskalig pool.....	27
7 Mikrokontroller och utvecklingsmiljö .....	28
8 Utveckling av detekteringsalgoritm .....	29
8.1 Utvärdering av algoritmer .....	29
8.1.1 Sändnings- och inspelningstider.....	29
8.1.2 Signalbehandling .....	30
8.1.2.1 Detektering av toppvärden – ”Peak detection” .....	30
8.1.2.2 Interpolering av toppvärden .....	31
8.1.2.3 Jämförelse av kurvor .....	33
8.2 Implementering av algoritm .....	33
8.2.1 Implementering av toppvärdesdetektion .....	33
8.2.2 Implementering av linjär interpolation.....	33
8.2.3 Implementering av korrelationsalgoritm .....	34
9 Slutttest och slutresultat.....	36
9.1 Slutttest.....	36
9.2 Slutresultat.....	37
10 Slutsats .....	38

10.1 Fortsatt arbete.....	39
11 Terminologi.....	40
12 Referenser.....	41
13 Bilagor.....	44
13.1 Appendix A.....	44
13.2 Appendix B.....	45
13.3 Appendix C.....	46
13.4 Appendix D.....	47
13.5 Appendix E.....	48
13.6 Appendix F.....	50



# 1 Indelning

Detta examensarbete är genomfört på företaget Verisure Innovation AB i Malmö. Verisure utvecklar lösningar och produkter för hemövervakning och smarta hem. Deras plattform består av olika typer av sensorer och enheter som är uppkopplade till en central basenhet i hemmet. Sensorerna används för att övervaka och detektera inbrott, brand, skadedjur samt andra oförutsägbara händelser. Examensarbetet har haft som mål att utveckla ett poolarm som kan övervaka och varna om en människa eller ett djur faller i en hemmapool.

## 1.1 Bakgrund

Mellan åren 1997-2011 så drucknade 42 personer i simbassänger eller pooler i Sverige, av dessa så var 24 stycken under 20 år gamla och 18 av dessa var under 9 år [1]. Detta trots att det enligt lag [2] ska finnas skydd mot att barn ska kunna nå poolen. En av anledningarna bakom lagen är att barn inte skriker då de faller i vattnet [3], vilket gör det svårt för personen som ansvarar över poolen att upptäcka om ett barn trillat i. Detta innebär att poolen konstant måste övervakas av ansvarig person eller vara avgränsad enligt gällande lagar. Det kan räcka med att en ansvarig lämnar poolen obevakad under en kort period, exempelvis för att laga mat, gå på toaletten eller svara i telefon, för att ett barn ska trilla i poolen och drunkna. Att förhindra att vuxna får tillgång till poolen är svårare, då de oftast kan kringgå många av de skydd som idag finns tillgängliga på marknaden och på grund av detta så kvarstår risken för en olycka för vuxna. En tredje grupp som är i farozonen när det gäller drunkningar i hemmapool är djur, ett större djur (ex. rådjur) skulle utan större problem kunna ta sig över ett staket eller falla igenom olika varianter av överdrag som är monterade vid poolen. Även mindre djur kan drunkna i en pool om poolen lämnas öppen och obevakad, bland annat eftersom att de kan ha svårt att komma upp över poolkanten.

## 1.2 Syfte och mål

Syftet med detta examensarbete var att undersöka och utveckla teknik som med stor säkerhet kunde detektera förekomsten av en människa eller ett djur som, med eller utan avsikt, befann sig i en pool för hemmet och om så är fallet så skulle ett larm utlösas. Detta för att minska drunkningsrisken när poolen är inte var under uppsyn. Larmet kan även användas för att larma om det skedde olovligt bad i poolen, det vill säga brott mot hemfriden.

### 1.2.1 Slutmål

Slutmålet med arbetet var att klara av de delmål som satts upp vid arbetets början samt integrera dessa tre med varandra. De tre delmålen var:

1. Undersöka och välja ut en sensor som lämpade sig för ändamålet.
2. Utveckla en detekteringsalgoritm.
3. Välja en hårdvaruplattform som kunde användas för utvecklingsarbetet.

### 1.3 Problemformulering

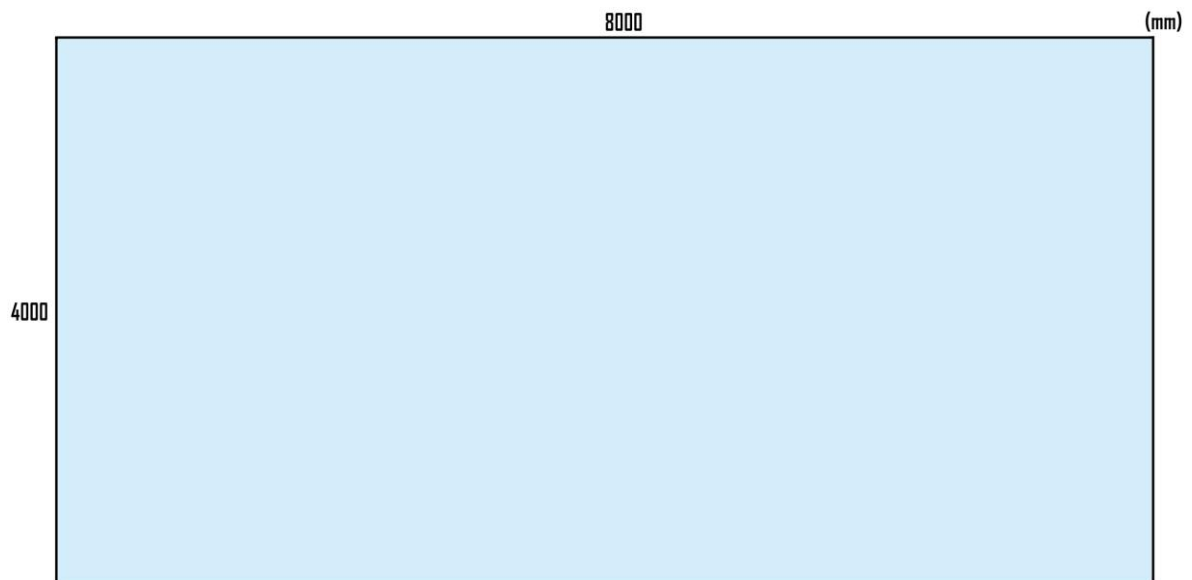
För att få en tydlig struktur i examensarbetet skrevs en problemformulering utifrån syftet och de olika delmålen. Frågor som skulle besvaras med arbetet var:

1. Vilken eller vilka typer av sensorer lämpade sig för detektering av en människa eller ett djur i vatten?
2. Hur implementeras en detekteringsalgoritm som snabbt, säkert och effektivt skulle kunna detektera om en människa eller ett djur befann sig i vattnet?
3. Hur skulle systemet lösa problemet med eventuella falsklarm?
4. Vilken typ av hårdvaruplattform (mikrokontroller) var bäst lämpad för att köra en detekteringsalgoritmen på sensordata?

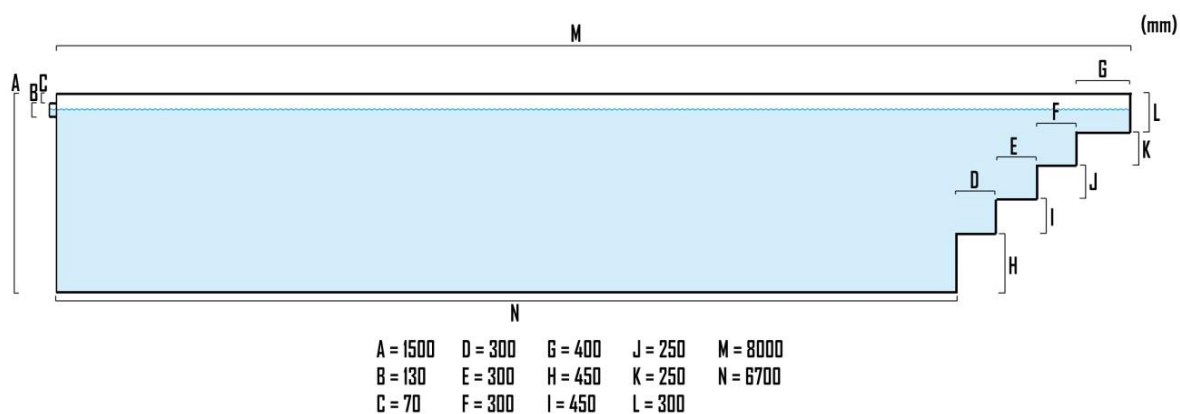
### 1.4 Avgränsningar

Eftersom arbetet hade en tidsgräns så behövde det finnas avgränsningar i vad som skulle göras så att arbetet kunde slutföras i tid. Algoritmen som skrevs begränsades till att endast kunna detektera närvaro i poolen, det vill säga att den skulle larma oberoende av anledning till att en människa eller ett djur befann sig i poolen. Enheten behövde inte heller kunna kommunicera trådlöst och den skulle drivas via kabel istället för batteri. Dock behövdes strömförbrukning tas hänsyn till under arbetet. Det sattes även begränsningar gällande vilken hårdvara som skulle användas och det påverkade i sin tur även hur mjukvaran utvecklades. Tester och utvecklingen begränsades även till en specifik hemmapool, samt att sensorn och algoritmens tålighet mot väder begränsades till att endast klara av en lättare vind. Detta för att enheten inte kunde testas i alla väderförhållanden inom den tidsramen som sattes till arbetet.

Den poolen som utvecklingen skedde i visas i figur 1 samt figur 2.



Figur 1: Poolen, med mått i mm, sedd ovanifrån.



Figur 2: Poolen, med mått i mm, sedd från sidan.

## 2 Metod

Vid arbetets start sattes brytpunkter upp i tidsschemat då olika delar av arbetet skulle ha utförts, dessa var: val av sensor, en fungerande algoritm och integrerande av vald mikrokontroller med sensor och algoritm. Med hjälp av dessa tre så skrevs en tidsplanering i form av ett Gantt-schema, Appendix A. Företaget ville att en kort marknadsundersökning skulle genomföras i början av projektet, detta var ett av de första stegen som genomfördes. Parallellt med detta så påbörjades arbetet med att undersöka vilka typer av fysikaliska fenomen som var möjliga att dra nytta av för att kunna detektera närvaro i en pool. Detta utfördes som en litteraturstudie och när några tänkbara fenomen var undersökta fortsatte arbetet med att undersöka vilka typer av sensorer som kunde registrera fenomenen.

Sensorstudien utfördes växlande mellan litteraturstudie och praktiska undersökningar. Teoretiska undersökningar gjordes på följande tekniker: piezotransducer, accelerometer, PIR och MIR och praktiska tester relaterade till de olika teknikerna utfördes förutom för accelerometer. Efter studien valdes sensorer att utveckla larmet efter.

Parallellt med sensorstudien utfördes även en studie över de befintliga poollarm som hittades i marknadsundersökningen. Studien bestod till största del av en litteraturstudie men två stycken larm köptes in och testades utförligt.

I nästa steg utvecklades två kretskort som skulle användas för att behandla signaler mellan de valda sensorerna och den tänkta mikrokontrollern. Förstärkar- samt filterkretsar designades och löddes sedan på prototypkretskort. Under utvecklingen utfördes diverse funktionstester för att se till att korten fick den önskade funktionen.

Efter att korten blivit klara valdes en mikrokontroller och arbetet med algoritmen påbörjades. Olika möjligheter för en detektionsalgoritm undersöktes i MATLAB och efter att funktionen som eftersöktes hos algoritmen uppfylldes implementerades algoritmen. Implementeringen skrevs i C++ i mbeds onlinekompilator.

## 3 Teoretisk analys

### 3.1 Förstudie

För att kunna välja den sensor som lämpades bäst för ändamålet så behövdes det göras två förstudier, en teknik- samt en sensorstudie. I teknikstudien så undersöktes vilken typ av teknik, exempelvis ljudvågor eller elektromagnetisk strålning, som skulle fungera bäst för arbetet. Efter att ett beslut tagits om vilken teknik som skulle användas så fortsatte arbetet med att hitta en passande sensor som använde sig av den tekniken. Detta involverade en del praktiska tester, detta för att kunna styrka den teori som tagits fram. Det genomfördes även en kortare marknadsundersökning av befintliga produkter för att evaluera deras funktion och vilken teknik som de använde.

#### 3.1.1 Teknikstudien

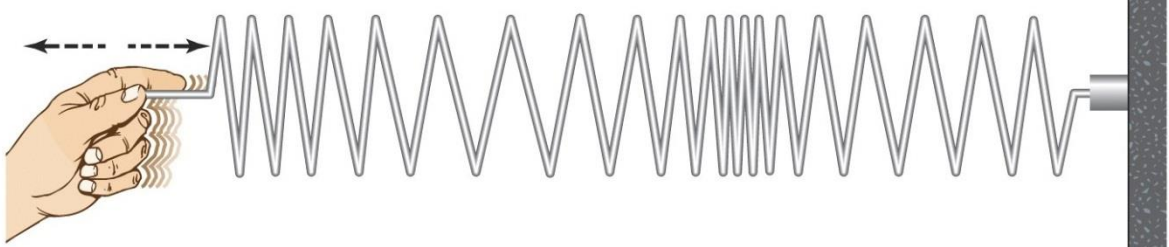
Det första som gjordes i teknikstudien var att ta reda på vilken teknik som skulle kunna användas för närvarodetektering i en pool, där poolens storlek och form varierade kraftigt. Detta innebar att tekniken som valdes skulle kunna detektera om i fall en människa eller ett djur befann sig i poolen. Nedan följer tekniker som skulle kunna använts i arbetet.

##### 3.1.1.1 Mekaniska vågor

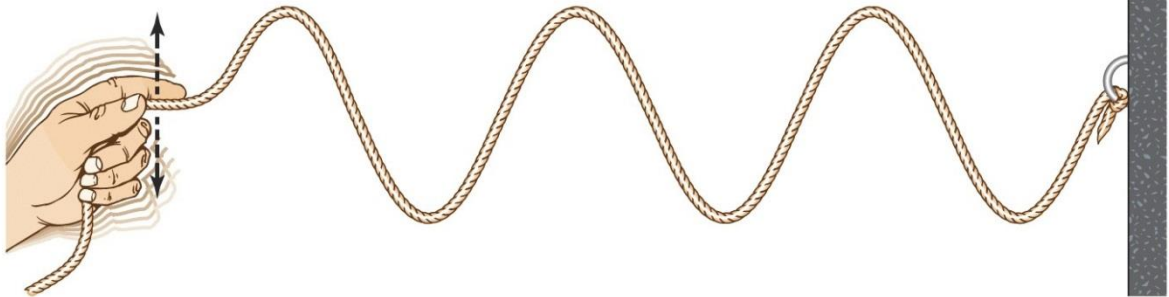
I begreppet mekaniska vågor så ingår två typer som var intressanta för arbetet; vågor i vatten samt ljudvågor. En våg definieras som en rörelse kring ett jämviktstillstånd i ett material, media, som breder ut sig i en utåtgående riktning från en punkt i mediet utan att transportera någon massa. Vågen har en våglängd, en amplitud och en frekvens.

Vågor kan breda ut sig i ett medium på två olika sätt; transversellt och longitudinellt. Transversella vågor uppkommer när en våg rör sig genom ett medium genom att förflytta mediet vinkelrätt mot utbredningsriktningen för att sedan återgå till viloläget. Denna våg kan beskrivas som en sinus-våg som rör sig längs med en uppspänd tråd, där tråden är mediet sett från sidan, figur 3:b. Longitudinella vågor rör sig igenom ett media genom en serie av expansioner och kompressioner av mediet. Hur den longitudinella vågen breder ut sig illustreras i figur 3:a. I material som är elastiska så kan det endast uppstå transversella vågor, medan det i oelastiska material både kan förekomma transversella och longitudinella vågor.

### a) Longitudinell våg



### b) Transversell våg



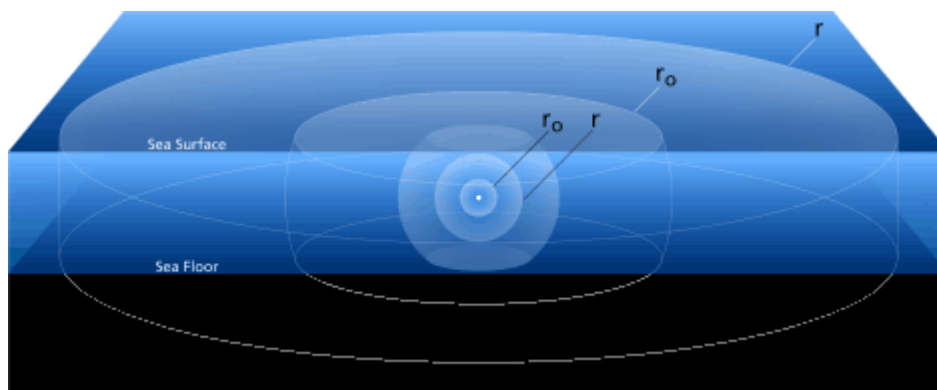
Figur 3: a) Longitudinell våg, b) transversell våg. [4]

De vågor som uppstår i vatten när ett föremål bryter vattenytan i poolen skulle kunna mätas och analyseras för att sen bestämma om de uppkommit för att en människa eller ett djur orsakade den störningen av vattenytan och om så var fallet så utlöses larmet.

Ljudvågor är en väl beprövad metod för att upptäcka och avståndsbestämma föremål under vattenytan och det används flitigt inom både djurvärlden och inom bland annat sjöfart och fiske. Inom de områdena så finns det ett system som kallas SONAR, "Sound Navigation and Ranging" [5]. SONAR utgör en vital roll för navigering till sjöss samt inom fiskeindustrin. De ljudvågor som färdas i vatten är av typen longitudinella. Det finns två olika typer av SONAR, aktiv och passiv. Med aktiv SONAR menas med att ett SONAR-system aktivt sänder en ljudsignal och sedan registrerar det eko som uppstår från föremål som träffas av ljudet. Ett passivt system sänder inte ut några ljudsignaler, utan tar endast emot det ljud som omgivningen avger för att sedan analysera detta.

De mest grundläggande definitionerna som används för att beskriva ett ljud är intensitet och frekvens. Med intensiteten av en ljudvåg menas den amplituden som ljudvågen har sett till jämviktssläget. Det är intensiteten som gör att ett ljud "låter högt", till exempel hög volym från en musikanläggning. Intensiteten av en ljudvåg beskriver hur mycket energi som vågen bär med sig när den träffar en yta och mäts i Watt per kvadratmeter ( $W/m^2$ ) men kan även mätas i decibel (dB). När en ljudvåg träffar en yta utsätts ytan för en tryckförändring, detta eftersom ljudvågen är en serie av tryckförändringar, som mäts i Pascal (P) eller i Newton per kvadratmeter ( $N/m^2$ ). Tryckförändringen kan mätas med hjälp av en mikrofon eller en hydrofon. Frekvensen på en ljudvåg mäts i antalet svängningar per sekund vågen har och mäts i Hertz (Hz).

När en ljudkälla sänder ut en ljudsignal så kommer denna att till en början breda ut sig sfäriskt genom vattnet, när vågen når vattenytan eller botten så övergår vågen till att bredas ut cylindriskt.



Figur 4: Utbredningen av en ljudvåg vid olika tidpunkter från källan (vita prick). [6]

Detta innebär att den energi som ljudvågen har vid avståndet  $r_0$  sprids ut på en större yta vid avståndet  $r_1$ . Den tryckförändring som ljudet orsakar, mätt i pascal  $P$ , sprids ut över en sfär med radien,  $r$ , och har en intensitet  $I$ . Arean för en sfär fås av  $A = 4\pi r^2$  och med hjälp av den areaformeln samt ovanstående förhållande så fås följande formel fram:

$$P = 4\pi r^2 * I$$

Då ljudvågen nått botten eller vattenytan så övergår utbredningen till att vara cylindrisk och detta förändrar utbredningsförlusterna något. Eftersom ljudvågen nu bredds ut över en mindre yta så kommer energiförlusterna att bli mindre. Detta beror på att arean av en cylinder är mindre än arean av en sfär med samma radie, men endast om höjden är mindre än radien vilket den är i detta fallet. Arean av en cylinder fås genom ekvationen:

$$A = 2\pi rH + 2\pi r^2$$

Där  $r$  är radien av cylindern och  $H$  är dess höjd. Likt den sfäriska utbredningen så kan intensiteten vid ett specifikt avstånd från källan beräknas på ett liknande sätt:

$$P = 2\pi rHI$$

Intensiteten av ljudvågen följer den inversa kvadratlagen, vilket innebär att om en våg har intensiteten  $I$  vid avståndet  $r$  från dess ursprungspunkt, så kommer intensiteten vid avståndet  $2r$  att ha sjunkit till  $0,25I$ , vilket ses i nedanstående beräkning samt visas i figur 5.

$$I_2 = I_1 \left( \frac{r_1}{r_2} \right)^2, \text{ då } r_2 = 2r_1 \Rightarrow I_2 = I_1 \left( \frac{r_1^2}{(2r_1)^2} \right) \Leftrightarrow I_2 = \frac{I_1}{4}$$



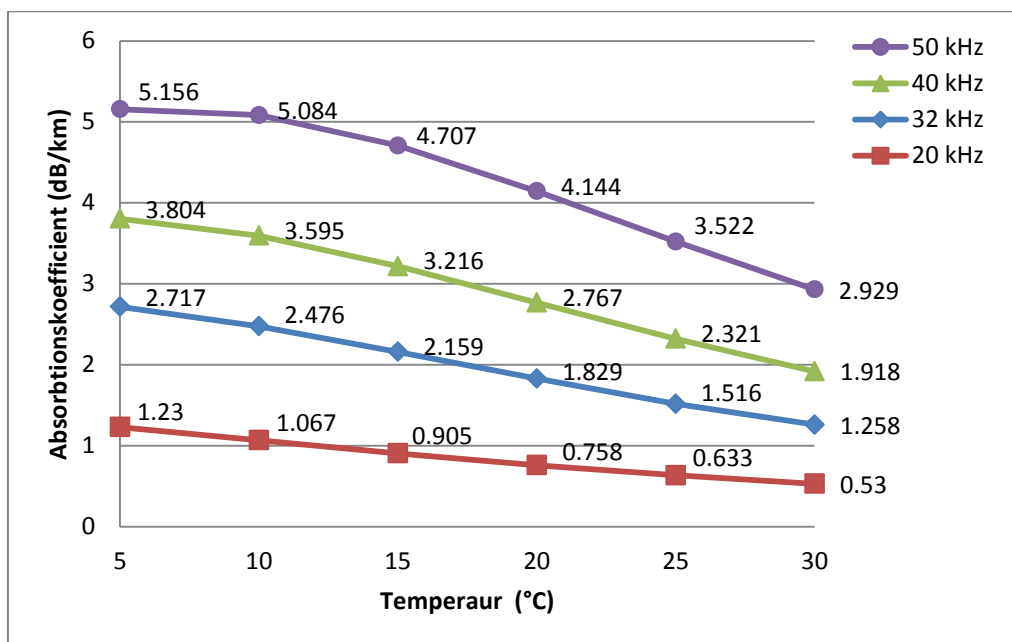
Figur 5:Förhållandet mellan intensiteten I och avståndet r.

$r$	$I_2 = I_1 \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2$
1r	1
2r	0,25
3r	0,111111
4r	0,0625
5r	0,04
6r	0,027778
7r	0,020408
8r	0,015625
9r	0,012346
10r	0,01

Tabell 1: Värdena från figur 5.

Ljudsignalen påverkas även av hur mycket av ljudvågen som absorberas av vattnet. Vatten har, som alla material, en absorptionskoefficient som visar på stor del av det ljud som sänds ut som absorberas av vattnet. Detta mäts i hur många dB som absorberas per distans (dB/m) som ljudet färdats. Storleken av koefficienten bestäms av summan mellan absorptionskoefficienten hos rent vatten samt av de salter som är lösta i vattnet [7]. Även andra faktorer spelar in på hur mycket ljudet absorberas; vilket djup under vattenytan signalen breddas ut på, vattentemperaturen, vilken frekvens ljudet har och de kemiska egenskaperna hos vattnet är några av dessa. I nedanstående figur ses absorptionen hos ljud med olika frekvenser under de förhållanden som väntas i poolen [8][9].





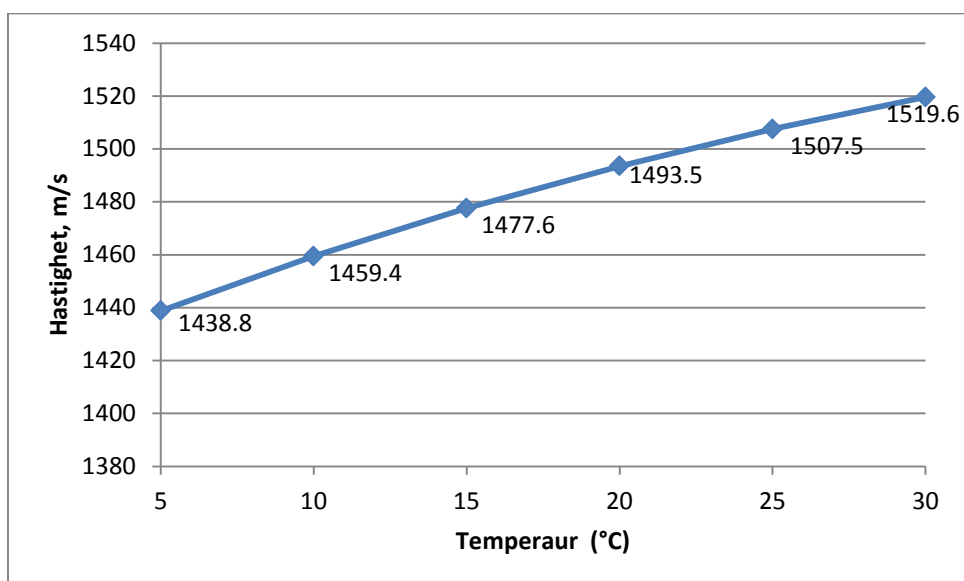
Figur 6: Absorptionskoefficient vid olika temperaturer och frekvenser.

Även ljudets hastighet påverkas av de faktorerna som nämns ovan, för att beräkna hur de påverkar hastigheten så kan Coppers ekvationer [10] användas. Ekvationerna är approximationer av hastigheten, men i detta arbete så är givet ett fullgott resultat. Nedan följer Coppers ekvationer för ljudets hastighet under vatten:

$$c(0, S, t) = 1449,05 + 45,7t - 5,21t^2 + 0,23t^3 + (1,333 - 0,126t + 0,009t^2)(S - 35)$$

$$c(D, S, t) = c(0, S, t) + (16,23 + 0,253t)D + (0,213 - 0,1t)D^2 + [0,016 + 0,0002(S - 35)](S - 35)tD$$

Där  $t = T/10$  och  $T =$  temperaturen i grader Celsius,  $S =$  salthalt i ppt (part per thousand) och  $D =$  djup i km.

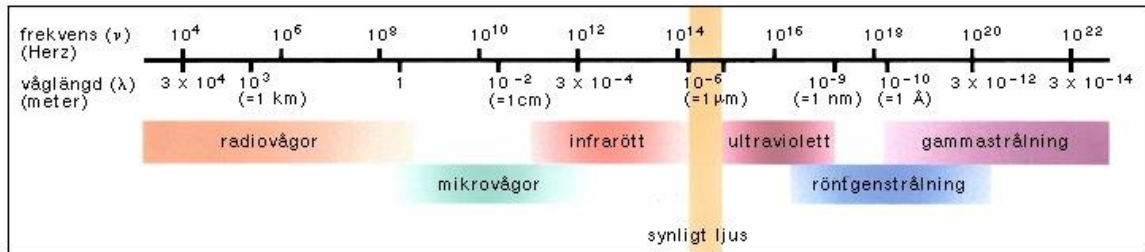


Figur 7: Ljudets hastighet under vatten.

I figur 6 och 7 så har följande värden använts; Salthalt = 10 ppt, Djup = 0,0003 km (30 cm), Surhet = 7,5 pH.

### 3.1.1.2 Elektromagnetisk strålning

Elektromagnetisk strålning är en vågrörelse som överför energi genom att elektrisk och magnetisk energi utstrålas från en källa. Det elektromagnetiska strålningsspektrat spänner över våglängder från kilometer ( $1 \times 10^3$ ) ner till attometrar ( $1 \times 10^{-18}$ ) i längd [11].



Figur 8: Det elektromagnetiska vågspektrat [12].

Det finns system som använder sig av radiovågor för att upptäcka och mäta avståndet till föremål över långa sträckor ovan vatten. Systemet kallas för RADAR, ”Radio Detection And Ranging”, och använder en liknande tillvägagångssätt som SONAR. RADAR använder radiovågor istället för ljudvågor och där mediet är luft istället för vatten. Det finns många likheter mellan hur elektromagnetisk strålning och ljudvågor breder ut sig i ett material, det som är av störst relevans i detta arbetet är hur båda påverkas av att intensiteten sjunker enligt den inversa kvadratlagen och av absorption i mediet de färdas i.

### 3.1.1.3 Elektricitet

I djurriket så finns det vissa arter som lever under vattnet som använder sig av s.k. elektrolokalisering. Detta skulle kunna vara en användbar teknik inom detta arbete. Även inom elektrolokalisering så finns det två varianter, aktiv och passiv. De fungerar på samma sätt som vid SONAR, men använder elektriska fält istället för ljud som teknik.

## 3.1.2 Sensorstudien

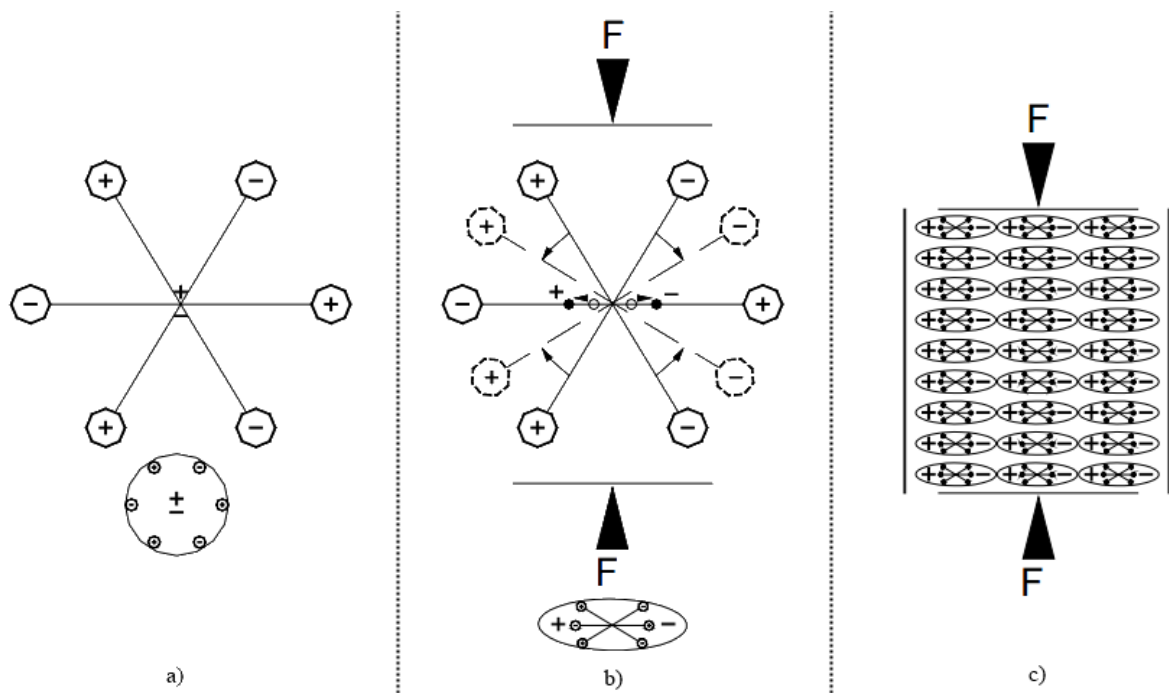
För att ett beslut skulle kunna tas gällande vilken typ av sensor som var bäst lämpad för arbetet så utfödes en studie om vilka olika sensorer som skulle kunna användas i arbetet.

### 3.1.2.1 Piezotransducer

En transducer är en form av apparat som omvandlar en energiform till en annan, en piezotransducer är en typ av transducer som använder sig av den piezoelektriska effekten, alltså både piezoelektricitet och omvänd piezoelektricitet.

Den piezoelektriska effekten är ett fysikaliskt fenomen som uppstår då ett specifikt material utsätts för tryck/deformation och återfinns i kristaller av olika ämnen. Exempel på dessa är kvarts, bariumtitanat och turmalin [13].

När en fysisk kraft appliceras på ett piezoelektriskt material deformeras detta elastiskt och när detta sker alstras ett elektriskt fält. På så sätt kan man alltså utvinna elektrisk energi ur det piezoelektriska materialet som deformerats. Materialet blir polariserat när deformationen sker vilket visas i figur 9.



Figur 9: a) En modell av en molekyl i vila i ett piezoelektriskt material. b) En molekyl som utsätts för fysisk kraft. c) Piezoelektriskt material utsatt för fysisk kraft. [14]

Ett piezoelektriskt material fungerar även omvänt mot hur det beskrivits ovan, detta på grund av den omvända piezoelektriska effekten. Det innebär att man kan manipulera ett piezoelektrisktmaterial genom att lägga en elektrisk spänning över det vilket då medför att materialet deformeras [14].

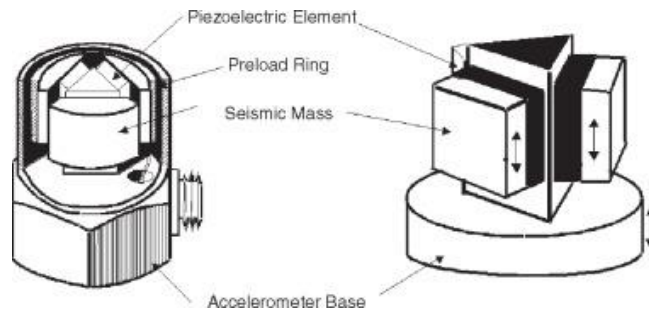
Både den piezoelektriska effekten och den omvända piezoelektriska effekten utnyttjas i många olika typer av produkter idag, främst i piezotransducers. En piezotransducer är, som nämnts, en typ av sensor som kan omvandla mekaniska vågor, till exempel ljudvågor till elektrisk energi men som även kan omvandla elektrisk energi till ljudvågor. Till följd av detta så kan piezotransducers användas som både mottagare och sändare av ljud, vilket tillämpas i exempelvis SONAR-system. Detta i kombination med hur ljud bredds ut i vatten skulle teoretiskt kunna användas för att sända ut en ljudsignal och registrera det eko som uppstår i en behållare av vatten, exempelvis en pool, för att kunna bestämma ifall något befann sig i behållaren.

### 3.1.2.2 Accelerometer

En accelerometer är en typ av sensor som används för att mäta rörelseförändringar, acceleration, av ett föremål. Acceleration av ett föremål kan vara intressant att analysera av olika anledningar och i olika fall. Bland annat så används en accelerometer för att mäta vibrationerna i en byggnad vid en jordbävning.

Den vanligaste typen av accelerometer är den piezoelektriska accelerometern. Den fungerar genom att en vikt inuti sensorn belastar ett piezoelektriskt element vid en förändring i sensorns acceleration vilket leder till att elementet avger en laddningar motsvarande förändringen. Kraften som belastar piezoelementet följer Newtons andra lag:  $F = m * a$  där  $F$  är den resulterande kraften,  $m$  är massan och  $a$  är accelerationen.

Det piezoelektriska elementet ger upphov till platt frekvensrespons och ett linjärt amplitudförhållande vilket är två goda anledningar till användning av piezoelektriska accelerometrar [15].



Figur 10: Typisk konstruktion av en piezoelektrisk accelerometer. [24]

Att använda sig av accelerometrar för att mäta höjd och frekvens på vågor görs bland annat av väderinstitut. Detta för att kunna samla in information om väderförhållanden på havet [16]. En accelerometer monteras då på en typ av boj som sedan skickar kontinuerlig information vågorna till väderinstitutet. Enligt denna princip kan man teoretiskt sett också läsa av vågorna som skapas då något faller i eller rör sig i en pool. Vilket skulle kunna implementeras i en "rörelse/fall i pool"-detektor.

### 3.1.2.3 PIR, Passiv Infraröd Rörelsedetektor

PIR, "Passiv Infraröd Rörelsedetektor", är en typ av infraröd rörelsedetektor som i de flesta fall baseras på ett pyroelektriskt element. De pyroelektriska elementen genererar en elektrisk spänning när de utsätts för termisk energi. Elementen är optimerade så att de reagerar på våglängder mellan 4 till 20  $\mu\text{m}$ , detta eftersom att den termiska energin som människokroppen avger huvudsakligen ligger inom det området.

Det som gör att de pyroelektriska elementen kan generera en elektrisk spänning är att de också är piezoelektriska. När de pyroelektriska elementen hettas upp får de som konsekvens att de expanderar. Det är denna expansion av materialet som skapar potentialskillnaden [17]. PIR-sensorer används nästan utan undantag för rörelsedetektering av olika typer. Hemlarm och rörelseaktiveradbelysning är två exempel på områden där tekniken appliceras.

### 3.1.2.4 MIR, Micropower Impulse RADAR

MIR, "Micropower Impulse RADAR", är en typ av RADAR som används för distansmätning. Detta medför att den även kan implementeras i en rörelsedetektor. MIR fungerar genom att sända ut korta och högfrekventa pulser av elektromagnetisk strålning, dessa träffar och studsar mot föremål i omgivningen. De reflektioner som uppstår tas sedan upp av enhetens mottagare. MIR har normalt en bärfrekvens mellan 1,95GHz och 6,5GHz och används flitigt i allt från backsensorer till industriautomationssystem [18].

### 3.2 Källkritik

De källor som finns med i arbetet är av varierande art, där bland annat vetenskapliga artiklar och arbeten, myndigheters rekommendationer och tillverkare av pooler ingår.

Myndigheterna som används som referenser är MSB (Myndigheten för Samhällsskydd och beredskap), Sveriges Riksdag samt 1177 Vårdguiden. Samtliga anses trovärdiga då de är statliga myndigheter. Även WHO, World Health Organization är trovärdig då det är en underorganisation till FN.

De flesta av de vetenskapliga artiklarna som det refereras till i arbetet är hämtade från betrodda källor som finns i de databaser som biblioteken vid Lunds Universitet tillhandahåller, även de vetenskapliga referenserna som inte finns med i de databaserna anses ha en hög tillförlitlighet.

Kalkylatorn, från hemsidan ”npl.co.uk”, som använts för vissa beräkningar anses även vara en giltig källa, då de som utvecklar kalkylatorn samtidigt publicerat de formler som den använder i sina beräkningar.

Källan “poolguide.se” är en hemsida vars syfte är att informera och underlätta underhållet respektive bygget av en pool och anses vara en fullgod källa till den informationen som inhämtas där ifrån.

## 4 Undersökning av befintliga poolalarm

I arbetet så ingick det även en del som innebar att undersöka om det fanns liknande, befintliga lösningar på marknaden. Detta gjordes som en del av det förberedande arbetet innan den egna utvecklingen påbörjades. Undersökningen började med att söka efter produkter som hade en liknande funktion och ta reda på vilken teknik dessa använde sig av. De produkterna som fanns på marknaden använde flera olika tekniker för att detektera närvaro i poolen:

### 4.1 IR-stängsel

Detta larm fungerar genom att man placerar ut ett antal stolpar runt ett område som ska övervakas och mellan dessa stolpar så sänds en ridå av IR-ljus ut. Om ridån bryts av någon anledning så utlöses larmet [19].

#### 4.1.1 IR-stängsel, fördelar

Fördelarna med detta system var att man skulle kunna förklä stolparna som poolbelysning eller liknande. Man skulle även kunna placera stolparna långt ifrån varandra då IR-ljus kan färdas långa sträckor utan att påverkas av avståndet. En annan fördel med tekniken var att larmet utlöstes innan någon föll i poolen, på så vis upptäcktes en person som var på väg ner i poolen tidigare än med ett larm som har monterats i poolen. Stolparna kunde även stå kvar då ett eventuellt pooltäckte användes på poolen.

#### 4.1.2 IR-stängsel, nackdelar

Nackdelarna var att det var en fast installation som krävde att man monterar stolparna fast i marken och att installationen då kunde lämna kvar hål efter nedmontering. Vidare så skulle systemet kunna falsklarma då det blir stört av exempelvis löv, fåglar eller leksaker.

### 4.2 Mätning av ytvågor

Mätning av ytvågor kan ske på olika sätt men gemensamt för de två produkterna som hittades var att de endast var fastmonterade med en tråd till kanten. Den första produkten larmade om en våg var så pass stor så att de slog över toppen på enheten och därigenom skapade en elektrisk koppling genom vattnet mellan två kontakter och utlöste larmet. Den andra produkten använde en magnetbrytare och en flottör. När en tillräckligt stor våg träffade flottören slog brytaren om vilket resulterade i att larmet utlöstes [20][21].

#### 4.2.1 Mätning av ytvågor, fördelar

Krävde ingen fast installation vilket resulterade i en snabb och enkel installation.

#### 4.2.2 Mätning av ytvågor, nackdelar

Nackdelarna med larmen var att enheterna stördes enkelt av vädret. En kraftig vindpust kunde orsaka vågor som larmen inte kunde skilja från vågor orsakade av att någon fallit i poolen. Enheterna kan även behöva tas upp då ett pooltäckte läggs på samt att de avaktiveras eller plockas upp då poolen ska användas.

### 4.3 Mätning av undervattensvågor

Denna teknik mäter förekomsten av vågor som utbreder sig direkt under vattenytan, de enheter som använder denna teknik är fastmonterade vid poolkanten och har en sensor som sitter ett par cm under vattenytan [22].

#### 4.3.1 Mätning av undervattensvågor, fördelar

Dessa enheter borde vara mindre känsliga mot vind, eftersom de mäter undervattensvågor istället för ytvågor.

### 4.3.2 Mätning av undervattensvågor, nackdelar

Även de här enheterna behöver tas bort om ett pooltäckes läggs på, samt att de var fasta installationer vilket kan lämna hål i marken vid bortmontering. De krävde även att man avaktiverade larmet då man skulle använda poolen.

## 4.4 Kontakt med vatten

Det finns produkter som använder sig av ett system där en sensor fästs på till exempel ett barn och om sensorn kommer i kontakt med vatten så sänder enheten en signal till en huvudenhet som utlöser larmet. Sensorn är ofta fäst på ett armband eller liknande [23].

### 4.4.1 Kontakt med vatten, fördelar

Krävde ingen fast installation och var inte begränsade till endast en pool, utan kunde tas med till andra pooler eller liknande. En annan fördel var att enheten inte behöver avaktiveras vid bad utan det räckte med att den avlägsnades från bäraren.

### 4.4.2 Kontakt med vatten, nackdelar

Om armbandet skulle komma i kontakt med vatten på annat sätt, till exempel vattenstänk av att bäraren drack vatten så kunde även det utlösa larmet. En annan nackdel med denna typ av larm var att det endast skyddade personen som bar larmet.

## 4.5 Öppningskontroll av grind/dörr

Larmet fungerar endast tillsammans med ett staket eller stängsel som sitter runt poolen och larmar när en grind eller en dörr öppnas in till poolen. [24].

### 4.5.1 Öppningskontroll av grind/dörr, fördelar

Likt IR-stolparna så kunde dessa användas utan att behöva monteras ner då bad förekom eller om ett pooltäckes användes. De kunde även vara enkla att aktivera/avaktivera för någon som var behörig att göra så.

### 4.5.2 Öppningskontroll av grind/dörr, nackdelar

Krävde en dörr eller grind att monteras på, säkrade inte heller mot att barn eller vuxna som kunde klättra över staketet. Var även fastmonterade, likt IR-stolparna.

## 4.6 Avlyssning av plaskljud

Denna teknik fungerar genom att en hydrofon sitter monterad under vattenytan och registrerar de ljuden som finns under vattnet. Om ett plaskljud skulle registreras så går larmet. Även dessa enheter är fastmonterade [25].

### 4.6.1 Avlyssning av plaskljud, fördelar

Om sensorn var välutvecklad så kunde denna teknik varit mindre utsatt för olika väderförhållanden och därigenom ge färre falsklarm.

### 4.6.2 Avlyssning av plaskljud, nackdelar

Om en person skulle fallit i poolen på ett sådant sätt så att det inte uppstod några plaskljud så skulle det innebära att larmet inte utlöstes. Larmet skulle även kunna bli stört av föremål som landade på vattenytan.

## 4.7 Undersökning av befintliga poolarm

Efter att ha undersökt vilka tekniker som fanns på marknaden så beställdes det, i samråd med Verisure, tre olika poolarm för att analyseras och testas vid olika förhållanden. Dessvärre så levererades inte ett av larmen, så beslutet togs att endast testa de två som levererats. De två larmen som undersöktes var: "SAFETY BUOY" [21] samt "INGROUND POOL ALARM" [22] från företaget "Poolguard" som var baserat i USA.

#### 4.7.1 Utvärdering av inköpta poolarm

“Safety Buoy” var ett flytande larm som fästs på poolkanten med ett snöre och registrerade ytvågor i poolen. Om bojen skulle registrerat en våg som var stor nog för att vara en svallvåg från ett fall så utlöstes larmet. Då det hände började en siren i bojen att tjuta samt att en signal sänds till en fristående siren som kopplas in i ett vägguttag. “Inground Pool Alarm” fungerade på ett liknande sätt, med skillnaden att den var fastmonterad på poolkanten. Det gemensamma för de två enheterna var att man var tvungen att gå fram till enheten för att avaktivera vid utlöst larm.

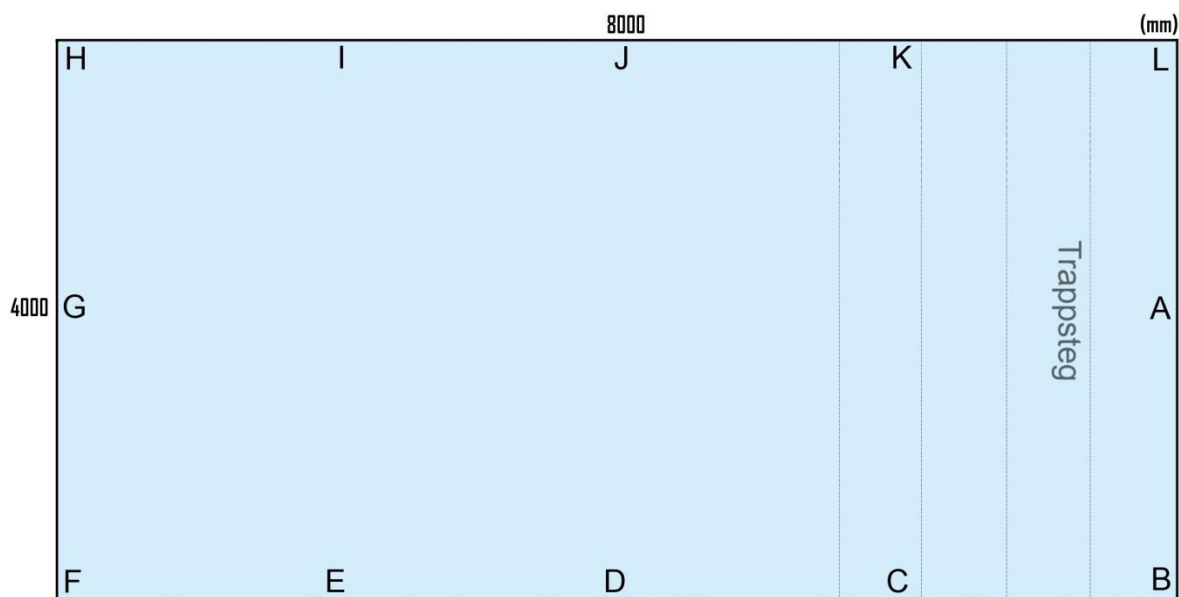


Figur 11a & 14b: Till vänster, Safety Buoy & till höger, Inground Pool Alarm (bilder tagna från samma adresser som ovan).



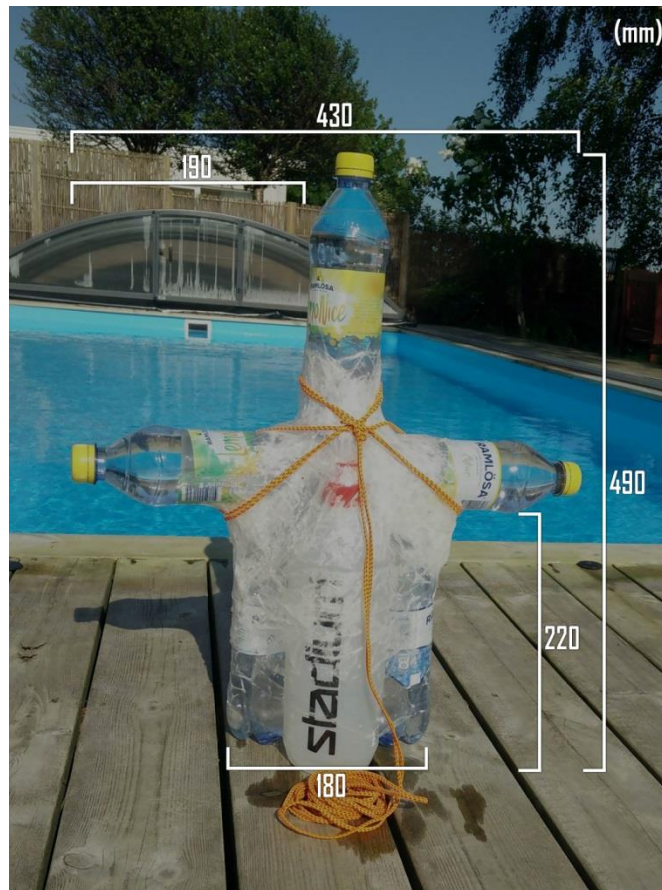
#### 4.7.2 Funktionstester av inköpta poolarm

För att kunna utvärdera larmen till fullo så behövde larmen testas i en verklig miljö med verkliga förhållanden. Enheterna monterades på flertalet olika positioner runt om i poolen, figur 12.



Figur 12: Poolen sedd från ovan, med de positioner där tester utfördes.

Det genomfördes tre olika falltester på några av positionerna med en testdocka som motsvarade ett barns vikt då det börjar lära sig krypa (se figur 13 nedan).



Figur 13: Utseende och dimensioner av testdockan, "Barne".

De tre fallen som utfördes valdes för att simulera hur ett barn kan trilla i poolen och var: ett falltest då dockan släpptes ner i vattnet från en höjd som motsvarade poolkanten, ett plasktest då dockan ställdes på kanten och knuffades i samt ett kryptest då dockan lades på kanten och rullades i för att simulera när ett barn kryper i vattnet. Dockan var utformad likt ett barn i 6-10 månaders ålder och hade en vikt på ca 5 kg [26][27][28][29]. Detta eftersom det är vid den åldern som barn börjar krypa [30] och testerna utfördes vid värsta tänkbara scenario, ett spädbarn som faller ner i vattnet krypandes. Enheterna hade en tidsgräns om 60 sekunder att larma på, då detta satts som mål för den enheten som skulle utvecklas.

#### 4.7.3 Resultat från funktionstester

Redan på den första testdagen så upptäcktes ett problem med de två enheterna, eftersom poolen var en utomhuspool så påverkas enheterna av utomhusmiljön, i detta fall vinden. Efter redan ett par tester så började enheterna larma falskt utan att det hade genomförts ett test, detta trots att testerna utfördes 10 minuter ifrån varandra för att inte de skulle påverka varandra. Vindhastigheten var mellan 9-12 m/s enligt SMHI [31]. För att undkomma påverkan av vinden så rullades pooltaket (som syns i bakgrunden av figur 13 (Barne)) över poolen för skydda vattenytan och enheterna mot vinden. Resultatet från testerna redovisas i nedanstående tabell (se Figur 14).

Fastmonterat larm - <i>Inground Pool Alarm</i>												
Plats C												
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Fall	X	X	•	O	O	O	O	O	O	O	O	O
Plask	T	T	•	O	X	X	O	O	O	O	O	T
Kryp	O	O	•	O	O	O	O	O	O	O	O	O
Plats E												
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Fall	X	-	X	-	•	-	O	-	X	-	O	-
Plask	X	-	X	-	•	-	X	-	O	-	X	-
Kryp	X	-	O	-	•	-	O	-	O	-	O	-
Plats G												
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Fall	-	-	O	-	X	X	•	-	-	-	-	-
Plask	-	-	O	-	X	X	•	-	-	-	-	-
Kryp	-	-	O	-	O	X	•	-	-	-	-	-
Plats J												
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Fall	-	-	-	X	O	O	O	O	-	•	-	-
Plask	-	-	-	O	O	O	O	O	-	•	-	-
Kryp	-	-	-	O	O	O	O	O	-	•	-	-

"X"=Inget larm, "O"=Larm, "•"=Ingen mätning pga. samma plats, "T"=trappa, "-"=överflödig mätning

Bojen - <i>Safety Buoy</i>												
Plats C												
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Fall	•	O	•	-	-	-	-	-	-	O	O	X
Plask	T	T	•	-	-	-	-	-	-	X	O	T
Kryp	O	O	•	-	-	-	-	-	-	O	O	O
Plats E												
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Fall	X	-	X	-	•	-	O	-	O	-	X	-
Plask	X	-	X	-	•	-	O	-	X	-	X	-
Kryp	X	-	O	-	•	-	O	-	O	-	O	-
Plats G												
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Fall	-	-	O	-	O	O	•	-	-	-	-	-
Plask	-	-	X	-	O	O	•	-	-	-	-	-
Kryp	-	-	X	-	O	O	•	-	-	-	-	-
Plats J												
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Fall	-	-	-	O	O	O	O	O	-	•	-	-
Plask	-	-	-	O	X	X	X	X	-	•	-	-
Kryp	-	-	-	O	O	O	O	O	-	•	-	-

"X"=Inget larm, "O"=Larm, "•"=Ingen mätning pga. samma plats, "T"=trappa, "-"=överflödig mätning

Figur 14: Resultat från tester av utvärderingsenheterna.

Anledningen till att det fanns platser där tester inte genomfördes var att de hade varit överflödiga. Ett exempel på detta var då enheterna var monterade på position E och testdockan släpptes från position K. Avståndet mellan enheterna och position K var då kortare än det mellan enheterna och position J. Om enheterna inte larmade då dockan släpptes från position K, så var ett test från position J överflödigt. Vidare så fanns det även positioner som hade samma avstånd mellan enheterna och positionen där dockan släpptes på. På de positionerna så utfördes endast tester från den ena positionen. På positionerna A, B samt J så utfördes inte falltestet eftersom att det fanns trappsteg precis under vattenytan.

Som figur 16 visar gav inte de två enheterna utslag över hela poolen, det förekom flertalet tillfällen då någon eller båda av enheterna inte klarade av att detektera att dockan trillat i vattnet.

## 5 Praktiska tester av olika tekniker

### 5.1 IR-test

För att skapa en större förståelse för hur IR-strålning breds ut under vatten så utfördes ett enklare test för att undersöka detta. Undersökningen gjordes med hjälp av en handhållen IR-kamera samt en vattenfylld behållare. Kameran placerades på ena sidan av behållaren och en hand hölls på motsatt sida av behållaren, det utfördes även tester då handen placerades i vattnet. Anledningen till testet var för att undersöka om en PIR hade kunnat fungera som den sensor som skulle användas i arbetet.

#### 5.1.1 IR-test, resultat

Det konstaterades snabbt att IR-strålningen som en mänsklig hand utstrålar inte kunde penetrera en liten mängd vatten eftersom, oberoende var, handen placerades på den motsatta sidan så kunde inte IR-kameran detektera den.

### 5.2 RF-test

Det utfördes ett test för att undersöka en annan typ av elektromagnetisk strålning, radiovågor. Radiovågor har en våglängd som ligger i spannet mellan 1 mm till 100 km. För att genomföra undersökningen användes två utvärderingskort för trådlös kommunikation. Det ena av korten ställdes in som sändare och det andra som mottagare. Ett testprogram som tillverkaren av korten hade bifogat ställdes in så att sändaren skickade ett antal paket och antalet paket som kom fram till mottagaren räknades. Ett test i luft gjordes för att säkerhetsställa funktionen mellan korten innan de vattensäkrades och sänktes ner på det längsta avståndet som var möjligt under vattnet. För ytterligare information om testet, se Appendix B.

#### 5.2.1 RF-test, resultat

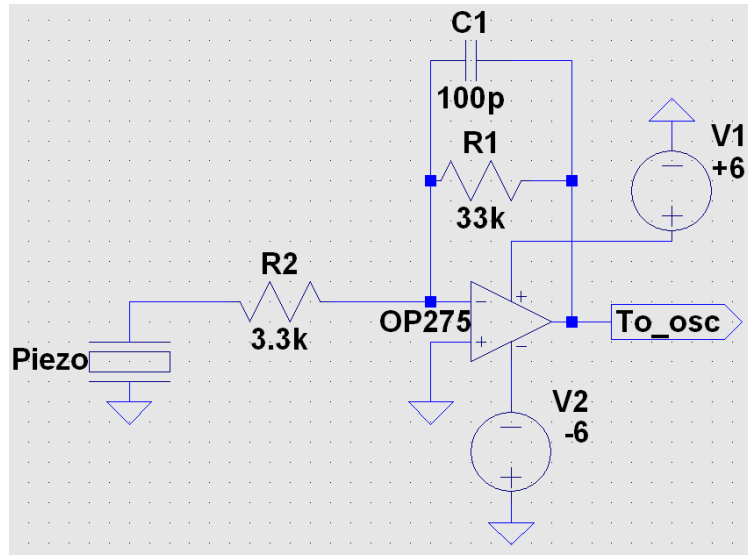
I programmet som kördes på de två enheterna ställde man först in hur många paket som skulle skickas mellan enheterna. Då en iteration av programmet körts så skrevs antalet paket som hade gått förlorade under testets gång ut. Då ett sådant test kördes i luften så kunde enheterna placeras på en sträcka av 140 m utan att några paketet gick förlorade. Men när undervattenstestet genomfördes förlorades samtliga paket, alltså kom det inte fram någon signal under vattnet.

### 5.3 Ultraljud i låda

Det sista praktiska testet som gjordes var ett test av ultraljud och ifall det gick att använda det för att detektera ifall något befann sig i en poolliknande behållare. Behållaren var en låda av plast där ett elektronikkort som sände och tog emot ultraljud monterades. Mottagaren kopplades till ett oscilloskop för att kunna studera de signaler som togs emot och sändaren sände ut en ultraljudssignal. Ett cylindriskt föremål med en diameter på 6 cm placerades ut på olika ställen i lådan för att studera hur ekosignalen förändrades på oscilloskopet. Kortet var ett HC-SR04 och var ursprungligen designat för att mäta avstånd i luft [32], se även Appendix C.

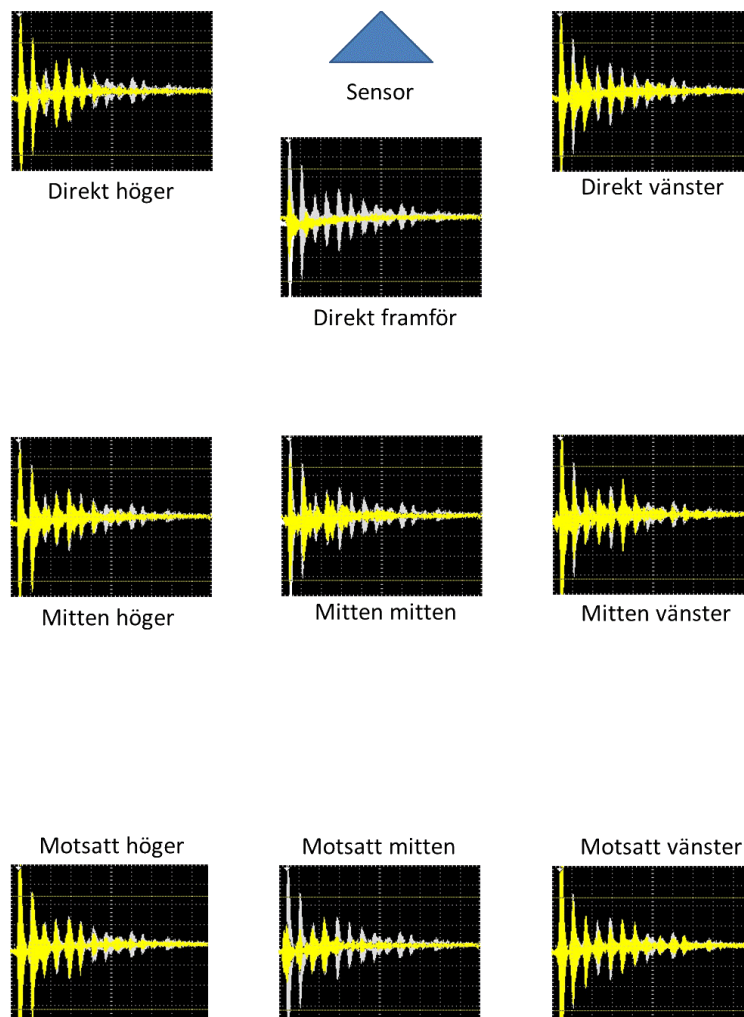
#### 5.3.1 Ultraljud i låda, resultat

När mätningarna började så upptäcktes det snabbt att signalen som mottagaren tog emot inte var tillräckligt stark för att det skulle gå att läsa av något ur den. Detta innebar att signalen behövde förstärkas, vilket gjordes med ett aktivt lågpassfilter som förstärkte signalen 10 gånger och hade en brytfrekvens vid cirka 48 kHz. Operationsförstärkaren som används var av typen OP275 från Analog Devices [33].



Figur 15: Ett aktivt låpassfilter, med de aktuella komponenterna.

På oscilloskopet sparades vågformerna som registrerades då lådan var tom, den gråa vågformen i bilderna nedan, för att användas som referens då ett föremål placerades på olika platser i lådan. Skärmdumparna nedan är placerade på samma position i figuren som testföremålet var placerat i lådan då dumpen togs.

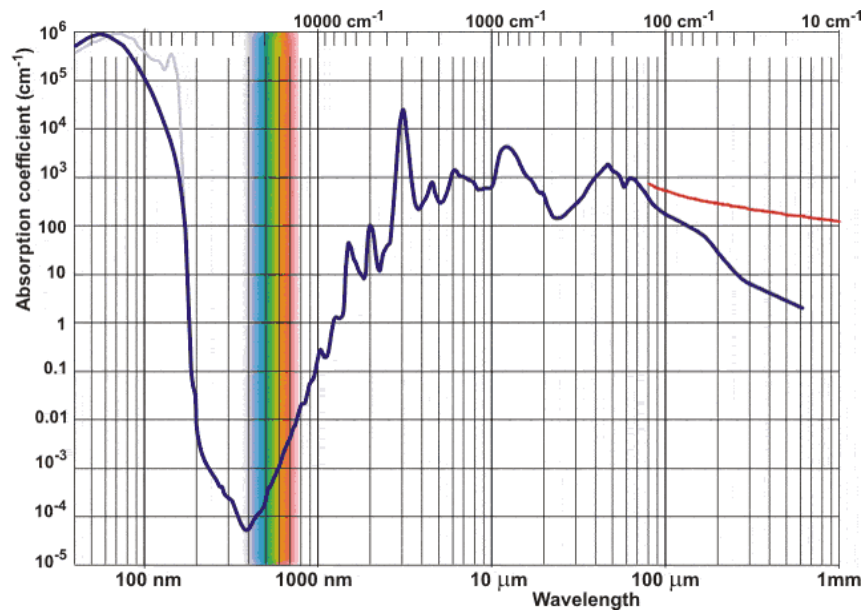


Figur 16: Skärmdumpar från ultraljudstest i testlåda.

Se Appendix D och E för ytterligare information om lådan, vart föremålet placerades samt större exemplar av skärmdumparna från de olika ekobilderna.

#### 5.4 Utvärdering av de praktiska testerna

Efter att ovanstående tester genomförts så analyserades resultaten för att kunna besluta om vilken teknik som ansågs vara bäst lämpad för ändamålet. Elektromagnetisk strålning, det vill säga IR- samt radiostrålning, avfärdades snabbt då dessa inte klarar av att penetrera vatten på de avståndet som krävdes med de hårdvarukraven som ställts, främst med avseende på strömförbrukningen.



Figur 17: Absorptionskoefficienten för elektromagnetisk strålning i vatten [34].

Om en sensor som använder elektromagnetisk strålning, exempel en PIR, monterats i närheten av poolen och designats på ett sådant sätt där den bevakar området kring poolen så hade den kunnat larma om en människa eller ett djur skulle närmat sig poolen eller trillat i. Anledningen till att den tekniken valdes bort var för att den enheten som skulle utvecklas inte ska påverka miljön runt poolen på ett negativt vis. Om en PIR hade installerats vid poolen så hade detta krävt en mer komplex montering än vad målet var.

Efter ultraljudstestet i lådan så verkade ljudvågor vara en lovande kandidat för att användas som teknik till larmet, eftersom ljudvågor breder ut sig i vatten utan större absorptionsförluster och att de skillnader som uppstod i vågformerna såg lovande ut.

## 6 Utveckling av hårdvara

Efter att ha utvärderat de olika tekniker och produkter som fanns tillgängliga så fortsatte arbetet med att utveckla den egna enheten. Det testet som omskriv i kap. 4.3, ”Ultraljud i låda”, visade att avläsning av ekon i en låda (fylld med luft) var ett väl fungerande tillvägagångssätt för att lösa detekteringen. Enheten skulle sända ut samt ta emot en ultraljudssignal, detta skedde med två olika piezotransducrar.

### 6.1 Val av sensor

Beslutet togs att den sensor som skulle användas för att producera den ljudsignal som behövdes skulle vara en piezotransducer. Efter att ha studerat vilka transducers som fanns på marknaden så valdes en transducer, 400ER14D, från tillverkaren Pro-Wave Electronic Corp. [35]. Transducern var en bra kompromiss mellan sändartålighet och mottagarkänslighet, vilket var viktigt då slutenheten planerades att endast ha en transducer. För att underlätta utvecklingen så användes två sensorer, en som sändare och den andra som mottagare. Redan innan de första testerna utfördes så togs beslutet om att sensorerna krävde förstärkning, detta eftersom att en mikrokontroller inte har möjligheten till att mata sändaren med de spänningarna som krävdes för att sända en signal över större avstånd. Även mottagaren behövde förstärkning, men den behövde även filtrering. Detta eftersom att piezoelementet hade en resonansfrekvens vid 40 kHz och allt annat klassades som oönskat brus.

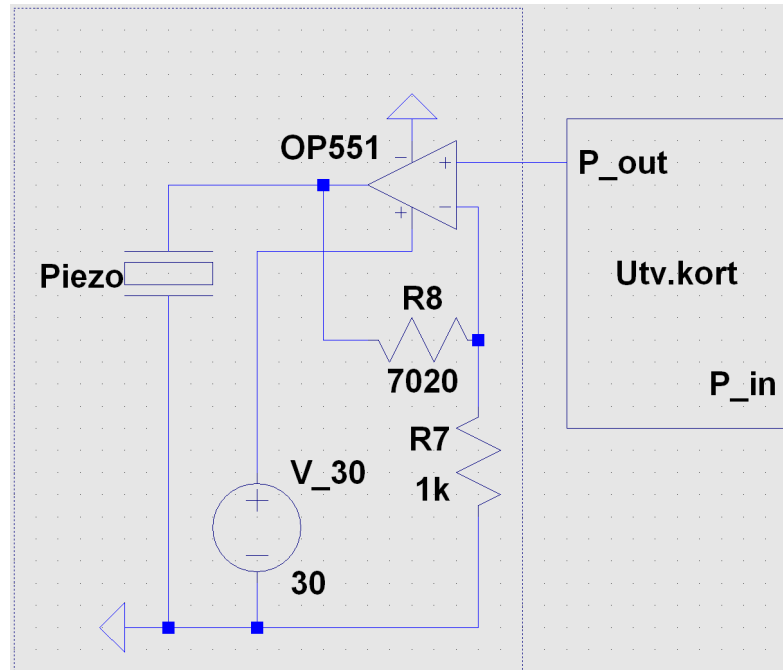
Under de första testerna användes en funktionsgenerator för att simulera en utsignal från mikrokontrollern samt ett oscilloskop för att studera hur mottagaren tog emot signalen, dessa tester utfördes i luft då det inte krävde att kopplingarna till transducern var vattentäta. Efter det så löddes kablage på och kopplingen gjordes vattentät. För att testa så att monteringen blev korrekt så gjordes samma test som ovan igen, men då i en balja med vatten. Under det testet så upptäcktes det att resonansfrekvensen sjunkit till 32 kHz. Anledningen var att vatten har en högre densitet än luft, vilket gör att transducerns resonansfrekvens sjunker. Detta gjorde att de komponenterna som valdes till filtren till både sändaren och mottagaren fick ändras så att det bättre passade den nya frekvensen.

Elektrolokalisering som nämns i kap. 3.1.1.3 kunde avfärdas efter att ha studerat ett arbete om det som sensorteknik eftersom att den tekniken inte klarar av de avstånden som krävdes av en sensor till den applikationen i detta arbete [36].

### 6.2 Förstärkning till sändaren

För att uppnå den ljudnivå som ansågs behövas för att få fram en bra signal till mottagaren så behövdes en spänningsnivå på 30 V, detta gjordes med en icke-inverterande förstärkarkrets som ses i Figur 15 nedan. Den signalen som sändes ut från mikrokontrollern förstärks 8 gånger innan den når piezotransducern. Operationsförstärkaren som användes förkretsen var från Analog Devices och var en OP551 [37].





Figur 18: Sändarkrets.

### 6.3 Förstärkning och filtrering från mottagaren

Redan vid arbetets början så insågs det att den signalen som mottagaren tog emot behövde både filtreras och förstärkas. Eftersom att piezotransducerns resonansfrekvens var 32 kHz under vattnet så designades en filter- och förstärkarkrets där ett lågpasfilter kaskadkopplades med ett bandpassfilter. Lågpasfiltrets funktion var att filtrera bort högfrekventa störningar, och samtidigt förstärka signalen. Brytfrekvensen för lågpasfiltret var 40 kHz och förstärkningen var  $G = \frac{R_2}{R_1} \approx -22$  eftersom att filtret var inverterande.

Vidare så var bandpassfiltrets funktion att filtrera bort eventuella DC-komponenter i signalen samt att förstärka signalen runt 32kHz. Bandpassfiltret designades så att centerfrekvensen,  $f_c$ , var vid 32kHz och så att passbandet var 4kHz brett. Förstärkningen för bandpassfiltret vid centerfrekvensen beräknades ur överföringsfunktionen:

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = H(j\omega) = \frac{-1}{\left(\frac{1}{j\omega C_2 R_5} + \frac{C_3 R_3}{C_2 R_5} + j\omega C_3 R_3 + \frac{R_3}{R_5} + \frac{R_3}{j\omega C_2 R_4 R_5}\right)} \text{ där } C = C_2 = C_3 = 1 \times 10^{-9} F,$$

$$R_3 = 5 \times 10^3 \Omega, R_4 = 260 \Omega, R_5 = 100 \times 10^3 \Omega \text{ och } \omega = 2 \times \pi \times 32 \times 10^3 \text{ rad/s.}$$

Observera att absolutbeloppet av  $H(j\omega)$  egentligen blir positivt nedan men eftersom förstärkarkretsen är inverterande behålls det negativt. Infört i överföringsfunktionen:

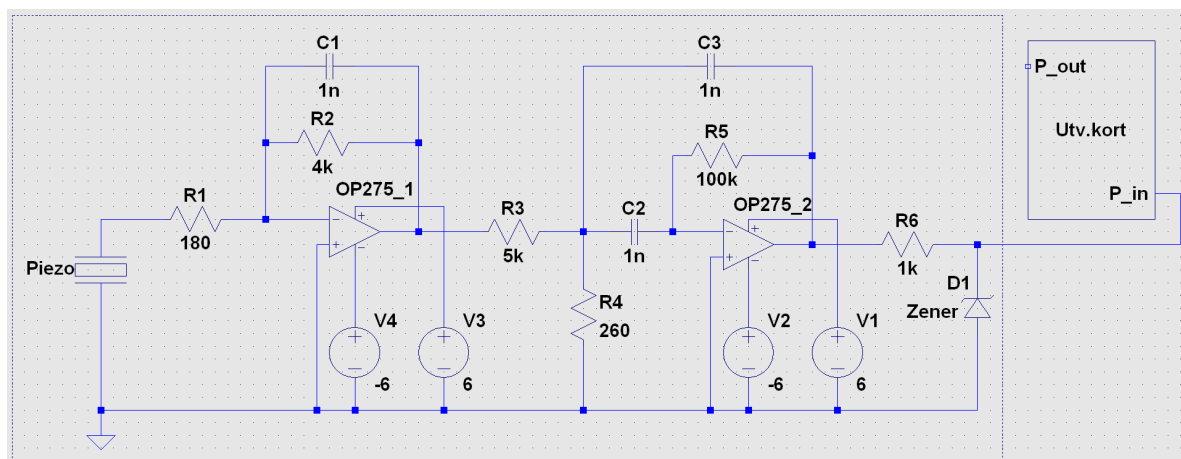
$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = H(j\omega) = \frac{-1}{\left(\frac{2R_3}{R_5} + \frac{R_4 + R_3}{j\omega C R_4 R_5} + j\omega C R_3\right)}$$

där  $\left(\frac{R_4 + R_3}{j\omega C R_4 R_5}\right) \approx -1,006j$ ,  $j\omega C R_3 \approx 1,005j$  och  $\frac{2R_3}{R_5} = 0,1$

$$\begin{aligned}
\text{Detta medför att } H(j\omega) &= \frac{-1}{0,1 - j0,001} \text{ där } G = |H(j\omega)| \\
&= \frac{-1}{\sqrt{(0,1 + j0,001) \times (0,1 - j0,001)}} = \frac{-1}{\sqrt{0,01 - j^2 0,000001}} \\
&= \frac{-1}{\sqrt{0,010001}} = \frac{-1}{0,10000499987} = -9,9995000375 \approx -10.
\end{aligned}$$

Eftersom att den frekvensberoende faktorn var så pass liten kan förstärkningen förenklat skrivas som  $G = -\frac{1}{2 \times (R_3/R_5)}$ . Kvalitetsfaktorn var  $Q = \frac{1}{2} \times \sqrt{\frac{R_5}{R_3 || R_4}} \approx 10$ . Då två filter kaskadkopplas så innebär det att den teoretiska förstärkningen blir produkten av de två förstärkningarna, i detta fall så innebär det att kretsen gav en teoretisk förstärkning på cirka  $-22 \times -10 = 220$ .

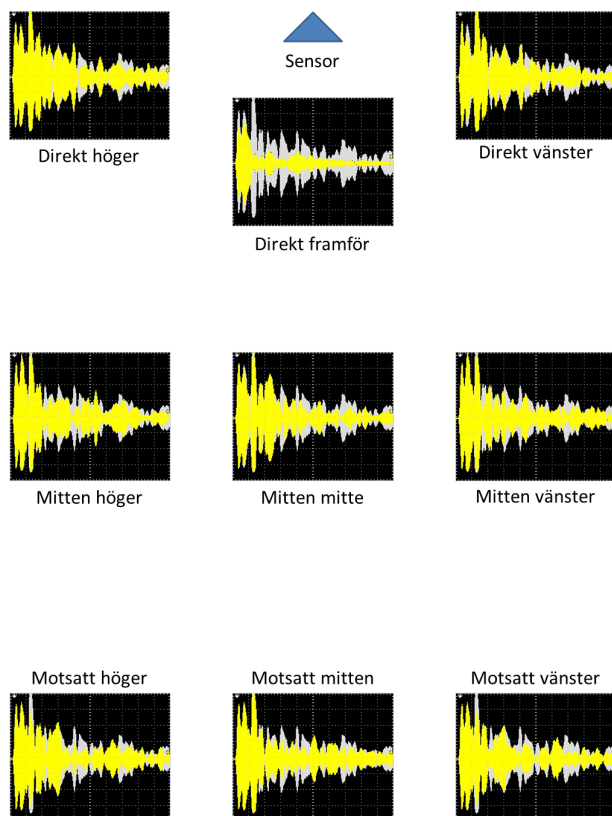
Eftersom att standard på de flesta utvecklingskort är 3.3V och 5V logik sattes en BZX79 2,7V Zenerdiod [38] som skydd innan utvecklingskortet. Denna skyddade så att inga större spänningsspikar av positiv såväl som negativ karaktär kunde levereras till ingången på utvecklingskortet. Operationsförstärkaren som användes i sändarkretsen var en OP275 från Texas Instrument.



Figur 19: Mottagarkrets.

## 6.4 Tester och utvärdering av hårdvara

För att testa den hårdvaran som designats så utfördes funktionstester, eftersom det sedan tidigare genomförts tester i en plastlåda, se Kap. 4.3, så utfördes testerna under liknande premisser. Det som skilde detta testet från det andra testet var att de sensorerna som testades i detta var de som utvecklats och att lådan nu innehöll vatten istället. Sensorn placerades dock på samma position som i det tidigare testet och kopplades upp mot ett oscilloskop, samma föremål placerades ut i lådan och de ljudsignalerna som mottagaren tog emot sparades via oscilloskopet. En annan skillnad i detta test var att föremålet placerades på fler platser i lådan, detta för att hårdvaran skulle kunna utvärderas noggrannare. Figur 17 nedan visar de ekobilderna som sparats på samma platser som i det testet som genomfördes i kap. 4.3. Likt de tidigare ekobilderna så är även här den gråa vågformen bakom de gula vågformerna en referensbild tagen då lådan var fri från föremål.



Figur 20: Skärmdumpar från ultraljudstest i testlåda fylld med vatten.

Större samt resterande bilder återfinns i Appendix F.

På ekobilderna så syntes det tydligt om föremålet befann sig i lådan eller inte. Vid jämförelse av resultaten från de två lådtesterna så syntes det att vid testet under vatten så hade den signalen som togs emot ekon med högre amplitud under en längre tid. Vid undersökningarna användes en tidsram på oscilloskopet på 10ms, detta för att spela in ljud som färdats upp till cirka 15m i lådan.

#### 6.4.1 Test av hårdvaran i fullskalig pool

För att undersöka hur hårdvaran fungerade i en verklig miljö testades den i en fullskalig pool, mottagaren var då stationärt placerad medan sändaren placerades på olika avstånd från mottagaren. För att kunna studera den mottagna signalen så kopplades mottagaren upp till ett oscilloskop. Testet visade, likt testerna i lådan, att hårdvaran fungerade på korta avstånd. Men då avståndet mellan sändaren och mottagaren ökade så minskade amplituden av ljudsignalen kraftigt. Minskningen var så kraftig så att efter 140 cm så gick inte signalen att urskilja från det interna brus i oscilloskopet. Resultatet från testet redovisas vidare under kapitel 9.1.

## 7 Mikrokontroller och utvecklingsmiljö

Valet av mikrokontroller baserades på flera olika faktorer och eftersom att det var okänt vilken beräkningskapacitet och minneskapacitet som behövdes för algoritmen valdes en mikrokontroller som gav stort utrymme för båda. Vad som var känt var att en högupplöst analog till digital-omvandlare behövdes och möjligheten för att sända ut pulsbreddsmodulerade signaler. Företaget hade även önskemål om att utvecklingen skulle ske på ARM-arkitektur, vilket togs i åtanke vid valet av mikrokontroller. Valet blev en STM32F411RE Nucleo från STMicroelectronics. Nucleon var utrustad med en Cortex M4 med flyttalsprocessor, 128 kB SRAM, operationsfrekvens på upp till 100MHz och en 12 bitars analog till digital-omvandlare [39].

Tillverkaren av utvecklingsbrädet hade även en utvecklingsmiljö, mbed, som kördes via en webbläsare. Denna miljö valdes eftersom att den gav fullt stöd för utvecklingsbrädet vid start samt friheten att arbeta på ett projekt från flera datorer samtidigt. Språket som användes var C++.

## 8 Utveckling av detekteringsalgoritm

För att möjliggöra detektering av skillnader i ekobilder så behövdes en detekteringsalgoritm skrivas. Målet med algoritmen var att den skulle gå att implementera på det utvecklingskortet som valts, kunna utföra jämförelseberäkningar mellan två ekobilder tillräckligt fort och med en hög säkerhet samt att vara tillräckligt känslig för att kunna detektera något så litet som ett barn. Algoritmen skulle vara så pass effektiv så att den inte blev en begränsning med avseende på den tiden som det tog för enheten att utlösa ett larm vid en situation, så som en olycka.

### 8.1 Utvärdering av algoritmer

Utvärderingar av olika detekteringsalgoritmer utfördes med hjälp av Signal Processing Toolbox i MATLAB, detta gjordes genom att skicka data från hårdvaran till en dator med hjälp av seriell kommunikation.

För att göra det möjligt för överföring av data från utvecklingskortet till en dator utvecklades en programvara till utvecklingskortet. Programvaran skrevs så att den vid en knapptryckning genererade en kort ultraljudspuls från den ena piezotransducern, för att sedan spela in de ekon som uppstod med den andra piezotransducern. Den inspelade datan skickades sedan via seriell kommunikation till en dator. I datorn skrevs en kort programvara i MATLAB för att kunna ta emot den överförda datan, lagra den och sedan skapa ett diagram över datan.

#### 8.1.1 Sändnings- och inspelningstider

Eftersom framtagningen av algoritmen baserades på mätningar utförda i en låda fylld med vatten så utfördes en undersökning av vilka sändningstider och inspelningstider som var mest passande för denna omgivning.

Det huvudsakliga syftet med undersökningen var att ta reda på vid vilken sändningstid, inspelningstid och samplingsfrekvens som den bästa mätningen kunde göras. Detta gjordes genom att testa olika sändningstider, inspelningstider och samplingsfrekvenser för att sedan analysera resultaten i MATLAB.

Utifrån de testerna som utfördes med oscilloskop i kapitel 6.4 sattes inspelningstiden till cirka 10ms, detta för att förändringar skulle kunna observeras oberoende av var i lådan testföremålet placerades. För att kunna spela in data var samplingsfrekvensen och antalet önskade samplingspunkter även anpassade efter detta. Eftersom att frekvensen på ljudet som undersöktes var 32 kHz valdes samplingsfrekvenser som heltalsmultiplar av detta. Några av de undersökta kombinationerna var följande:

Samplingsfrekvens (kHz)	Antal samplingspunkter	Inspelningstid (s)
64	750	$750/64000 \approx 0,01172$
128	1500	$1500/128000 \approx 0,01172$
256	3000	$3000/256000 \approx 0,01172$
512	6000	$6000/512000 \approx 0,01172$

Tabell 2: Samplingsinformation.

Efter testerna så sattes samplingsfrekvensen till 512 kHz och antalet samplingspunkter till 6000 då detta medförde högst upplösning på datan. Storleken på datan ökade också linjärt med ökningen av samplingspunkter vilket antecknades för att ta hänsyn till den begränsade minnesstorleken på utvecklingskortet.

Den optimala sändningstiden undersöktes också genom att först beräkna hur lång tid det tog för det första ljudvågorna som lämnade sändaren att nå mottagaren. Genom att använda de värdena för ljudets hastighet från figur 7 tillsammans med lådans dimensioner, se Appendix D, beräknades sändningstiden enligt formlerna nedan.

$$t_1 = \frac{l}{v_1} = \frac{1,061}{1438,8} \approx 0,737 \text{ ms}$$

$$t_2 = \frac{l}{v_2} = \frac{1,061}{1519,6} \approx 0,6982 \text{ ms}$$

Där  $t_1$  och  $t_2$  är den tiden som det tar för ljud under vatten att färdas lådans längd gånger två.  $l$  = lådans längd,  $v_1$  = ljudhastighet under vatten med temperaturen 5°C,  $v_2$  = ljudhastighet under vatten med temperaturen 30 °C.

När detta var beräknat utfördes tester med sändningstider som var kortare än 737µs.

Undersökningen visade att sändningstider så korta som 320µs (det vill säga 10 våglängder vid  $f=32$  kHz) gav tillräckligt goda resultat för att en noggrann jämförelse skulle vara möjlig.

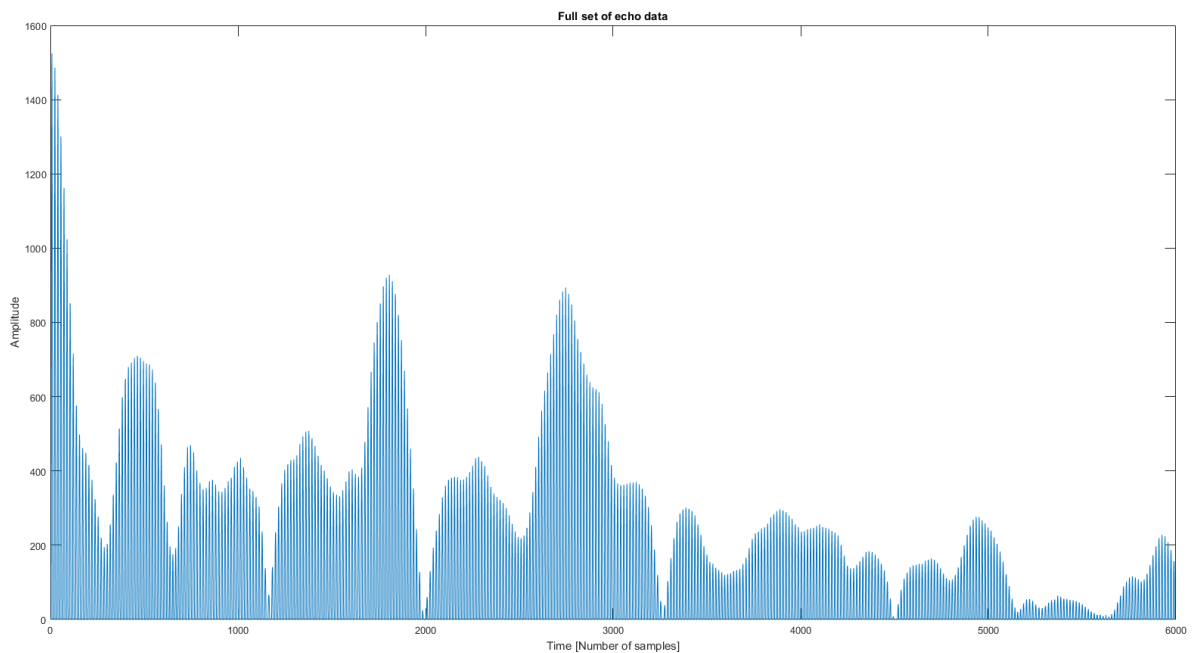
### 8.1.2 Signalbehandling

Efter att anpassningar gjorts i sändnings- och inspelningstider samt samplingsfrekvens utvärderades det hur datan skulle behandlas för att kunna jämföra endast de relevanta delarna av ekobilderna.

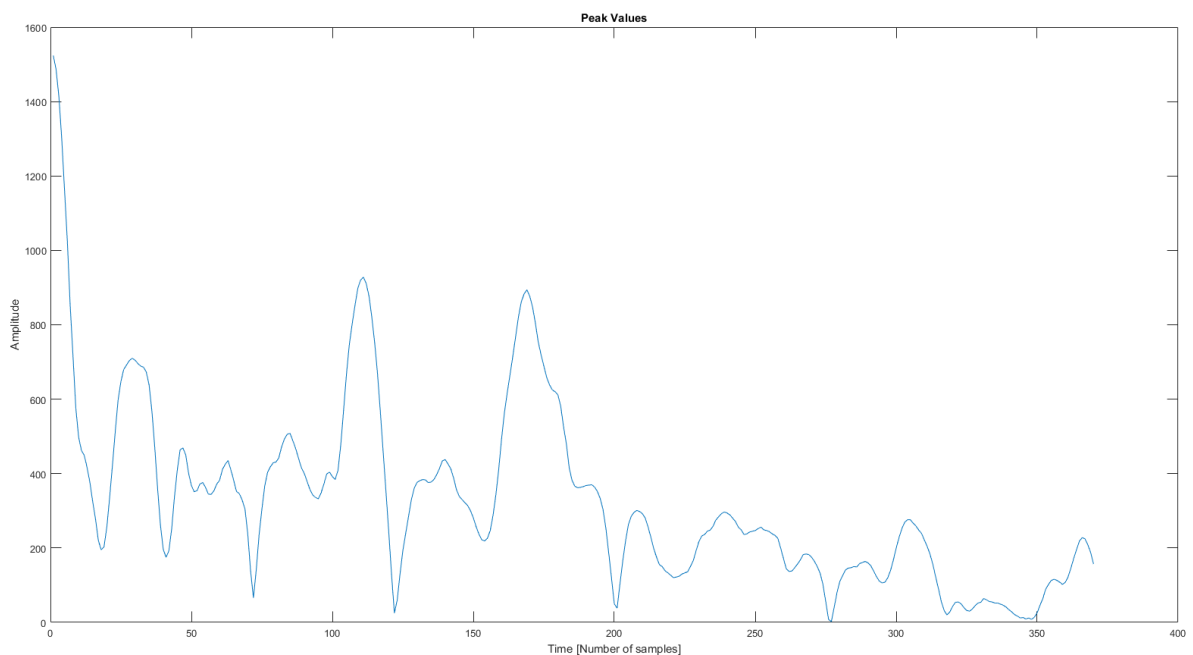
#### 8.1.2.1 Detektering av toppvärden – "Peak detection"

Eftersom att tidigare undersökningar entydigt visade att amplituden vid olika tidpunkter på ekobilderna förändrades kraftigt var det naturligt att basera detekteringsalgoritmen på dessa förändringar.

I MATLAB kördes funktionen "findpeaks" för att ta fram alla toppvärden av en specifik ekobild. Följande bilder visar ett exempel på en hel ekobild och en ekobild där alla samplingspunkter mellan toppvärdena tagits bort. Amplitudstegen är (3300mV/4095)/steg.



Figur 21: En inspelning.



Figur 22: Endast toppvärden från inspelningen i figur 21.

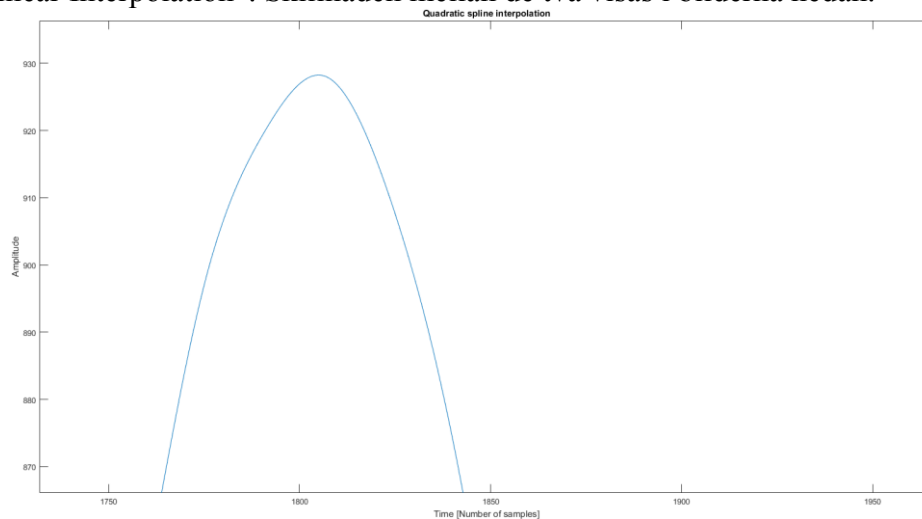
Som det tydligt syns på bilderna gav algoritmen bakom ”findpeaks”-funktionen den övre enveloppen av ekobildskurvan. Eftersom att det var förändringarna i amplitud vid olika tidpunkter som skulle ligga till grund för hur algoritmen detekterade förändringar så ansågs detta som en lämplig behandling av datan.

### 8.1.2.2 Interpolering av toppvärden

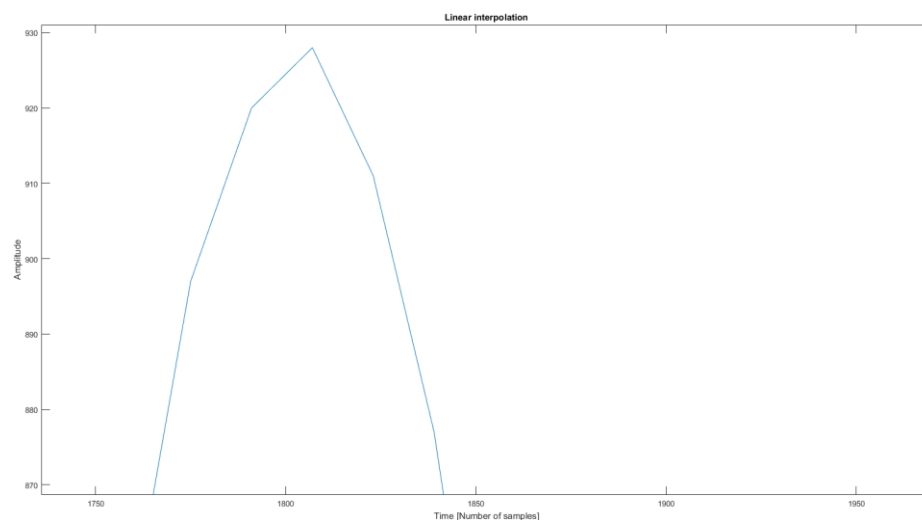
Med hjälp av den skrivna ”Peak detection”-algoritmen kunde en ekobilds alla toppar sorteras ut men eftersom att ekobilderna kunde få olika antal toppar resulterade det i att toppvärdesbilderna kunde bli olika långa. För att korrigera detta användes funktionen ”interp1” i MATLAB. Detta möjliggjorde för interpolering mellan toppvärdena så att ekobilderna återfick sin ursprungliga samplingslängd.

Interpolering innebär att man genererar nya datapunkter mellan kända datapunkter. I det här fallet innebar det att istället för att behålla de värden som låg mellan topparna i ekobildskurvan, så genererades det nya för att skapa toppenveloppen av kurvan och få alla kurvor att bli ett specifikt antal samplingspunkter långa.

Det finns flera olika sätt att interpolera på var av två olika sätt testades med hjälp av ”interp1”-funktionen i MATLAB. Det ena var ”Quadratic Spline Interpolation” och det andra ”Linear Interpolation”. Skillnaden mellan de två visas i bilderna nedan.



Figur 23: Exempel av ”Quadratic Spline Interpolation”.



Figur 24: Exempel av ”Lineär Interpolation”.

Vid ”Quadratic Spline Interpolation” tillämpas en avancerad matematisk algoritm som med hjälp av polynom av högre grad anpassar delkurvor mellan varje punkt. Som figur 22 visar ger detta en väldigt mjuk interpolering som i de flesta fall även väl approximerar hur den riktiga kurvan ser ut. ”Linear Interpolation” är en mycket mindre sofistikerad typ av signalbehandlingsalgoritm. Denna skapar ett linjärt förhållande mellan två punkter. Mellan de punkter som skapas av interpolationen blir alltså endast ett sträck draget från punkt ett till punkt två, vilket tydligt syns i figur 23 ovan.

Eftersom att algoritmen som krävs för ”Quadratic Spline Interpolation” är mycket mer krävande för en processor att köra än ”Linear Interpolation” så beslutades det att fortsätta algoritmutvärderingen med hjälp av den sistnämnda tekniken.



### 8.1.2.3 Jämförelse av kurvor

Efter återskapandet av en kurva med standardlängd gjorts med hjälp av interpolation behövdes en metod för att jämföra kurvor från olika mätningar, detta eftersom att det var skillnaden i kurvorna som låg som grund för om larmet skulle utlösas.

För att mäta likheten mellan två kurvor testades en funktion, ”corrcoef”, i MATLAB. Denna beräknade en korrelationskoefficient mellan kurvorna.

Korrelationskoefficienten enligt ”Pearson product-moment correlation coefficient” [40] för två variabler fås genom att dividera kovariansen hos de två variablerna med produkten av deras standardavvikelse. Korrelationskoefficienten antar ett värde mellan -1 och 1 där -1 är 100 procent negativ korrelation och 1 är 100 procent positiv korrelation, värdet 0 är innebär ingen korrelation alls. Vid 100 procentig negativ korrelation innebär det att den ena variabeln sjunker under helt linjära förhållande med den andra variabeln när den stiger. Vid positiv korrelation innebär det att båda variablerna sjunker/stiger linjärt med varandra. När ingen korrelation existerar innebär det att det inte finns något linjärt förhållande mellan variablernas beteende.

Efter att undersökningar gjorts på hur korrelationskoefficienten förändrades vid jämförelse av ekobilder från en vattenfylld låda utan objekt med samma låda och med objekt av olika storlek på olika platser drogs slutsatsen att algoritmen var tillräckligt känslig för att detektera även små objekt.

## 8.2 Implementering av algoritmen

Efter att beslutet togs om att algoritmen var känslig nog för ändamålet påbörjades implementeringsfasen. Den innebar att funktioner skulle skrivas för detektering av toppar, interpolering samt för beräkning av korrelationskoefficienten. Utvecklingskortet, STM32F411RE, satte inga direkta begränsningar för implementation då både flyttalsprocessor och ett SRAM på 128 kB fanns tillgå. Implementeringen skrevs i C++ i mbeds onlineutvecklingsmiljö.

### 8.2.1 Implementering av toppvärdesdetektion

Första delen av algoritmen bestod av toppvärdesdetektering där intentionen var att skapa en vektor med index till vilka samplingspunkter som var toppar i mätvärdesvektorn.

Implementeringen skrevs så att en funktion fick ta in en vektor med en inspelning (6000 samplingspunkter), och sedan jämfördes varje samplingspunkt med punkterna precis till höger och vänster om denna. Om samplingspunkten som var föremål för undersökning visade sig vara större än punkten närmst till vänster och närmst till höger klassificerades denna som ett toppvärde. Platsen där toppvärdet låg fördes sedan in i en ny vektor som fick agera index över var topparna låg i vektorn med inspelningen.

### 8.2.2 Implementering av linjär interpolation

Fortsättningsvis gjordes implementeringen av interpoleringsfunktionen. Denna skrevs in i funktionen för toppvärdesdetektion. För att interpolera två toppvärden beräknades deltat mellan dessa, sedan beräknades även deltat mellan deras platser i vektorn. Beräkningarna gjordes på följande sätt:

$$\begin{aligned}
 x_1 &= \text{platsen första toppen låg på}, x_2 = \text{platsen andra toppen låg på.} \\
 y_1 &= \text{första toppens amplitud}, y_2 = \text{andra toppens amplitud.} \\
 \Delta x &= |x_1 - x_2|, \Delta y = |y_1 - y_2|
 \end{aligned}$$

Sedan beräknades inkrementering-/dekrementeringsvärdet genom att ta  $\frac{\Delta y}{\Delta x}$ . Efter det kontrollerades det vilken av topparna som var störst för att bestämma om en linje med negativ eller positiv lutning skulle ansluta topp ett med topp två. Samplingspunkterna mellan de två topparna ersattes sedan genom att i en for-loop räkna upp ett värde från 1 till  $(\Delta x - 1)$ . Detta värde multiplicerades sedan med inkrementering-/dekrementeringsvärdet och sedan adderades det till  $x_1$  för varje varv i for-loopen. Ett exempel på hur en interpolation mellan två toppar kan gå till följer nedan.

$$x_1 = 10, x_2 = 20, y_1 = 50, y_2 = 40, \Delta x = |10 - 20| = 10, \Delta y = |50 - 40| = 10$$

Kontroll av vilken topp som är störst, i detta fall första toppen vilket leder till en negativ lutning.

$$\text{decrementationValue} = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{10}{10} = 1$$

For-loopen räknar sedan från 1 till 9 eftersom att det är 9 samplingspunkter som ska få nya värden. For-loopens räknare representeras med  $i$ . I varje varv tas ett steg längre fram i inspelningsvektorn och dekrementeringen sker enligt följande:

$$\text{inspelningsvektor}[x_1 + i] = \text{inspelningsvektor}[x_1] - \text{decrementationValue} \times i$$

Detta utförs sedan mellan alla toppvärden i inspelningsvektorn och när det är utfört är hela inspelningsvektorn omgjord till en kurva med linjär interpolation mellan topparna.

### 8.2.3 Implementering av korrelationsalgoritm

Slutligen implementerades en algoritm för beräkning av korrelationskoefficienten mellan två inspelningar. Implementationen baserades på den matematiska algoritmen framtagen av Karl Pearson. Nedan följer den matematiska algoritmen för korrelationskoefficienten mellan två set av data.

$$\begin{aligned}
 \bar{x} &= \text{medelvärdet av alla samplingspunkter i } x \\
 \bar{y} &= \text{medelvärdet av alla samplingspunkter i } y \\
 s_x &= \text{standardavvikelsen i } x, s_y = \text{standardavvikelsen i } y
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \bar{x} &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, & \bar{y} &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \\
 s_x &= \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, & s_y &= \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \\
 r &= \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left( \left( \frac{x_i - \bar{x}}{s_x} \right) \times \left( \frac{y_i - \bar{y}}{s_y} \right) \right)
 \end{aligned}$$

Beräkningar sker i följande steg:

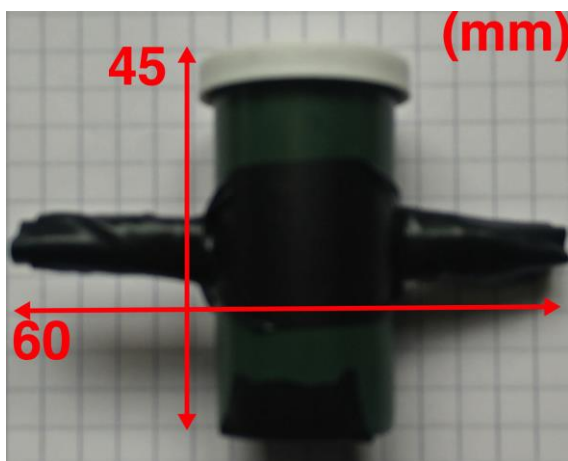
1. Beräkning av medelvärdena
2. Beräkning av standardavvikelse
3. Korrelationskoefficienten

## 9 Sluttest och slutresultat

### 9.1 Sluttest

En mätserie á 60 stycken mätningar gjordes på korrelationskoefficienter mellan ekobilder från lådan när den endast innehöll vatten. En inspelning gjordes, programmet väntade i 10 sekunder sedan gjordes en ny inspelning. Efter att två inspelningar gjorts beräknades korrelationskoefficienten. Mätserien innebar alltså att denna process upprepades 60 gånger.

Som sluttest av enheten så gjordes tre olika tester i den låda som använts under tidigare tester. Tre olika testobjekt placerades på samma platser och enhetens funktion testades. Det första objektet var flaskan som använts under tidigare tester, det andra objektet var tre stycken fingrar som placerades pekandes neråt cirka 5 cm under ytan och det sista var en testdocka (se figur 25) som hade samma relativa storlek till lådan som den stora testdockan hade till poolen. Testet gick ut på att se hur mycket korrelationskoefficienten skiljde sig från värdena för en tom låda när de olika föremålen sattes i.



Figur 25: Testdocka, Barne 2.0.

## 9.2 Slutresultat

Den lägst registrerade korrelationskoefficienten mellan två inspelningar i lådan var 0,992.

<b>Position</b>	<b>Flaska</b>	<b>Tre fingrar</b>	<b>Barne 2.0</b>
1	0,741	0,953	0,955
2	0,794	0,967	0,950
3	0,715	0,962	0,939
4	0,779	0,970	0,901
5	0,560	0,970	0,920
6	0,683	0,976	0,899
7	0,674	0,985	0,912
8	0,664	0,972	0,954
9	0,684	0,988	0,938
10	0,785	0,975	0,912
11	0,683	0,980	0,962
12	0,657	0,983	0,915
13	0,765	0,984	0,951
14	0,705	0,989	0,940
15	0,708	0,967	0,955
16	0,702	0,988	0,959
17	0,763	0,972	0,917

Tabell 3: Resultat från slutttest, för positioner se Appendix D.

## 10 Slutsats

De frågorna som ställdes i problemformuleringen och som skulle besvaras under arbetet var:

1. Vilken eller vilka typer av sensorer lämpar sig för detektering av en människa eller ett djur i vatten?
2. Hur implementeras en detekteringsalgoritm som kan snabbt, säkert och effektivt detektera om en människa eller ett djur befinner sig i vattnet?
3. Hur ska systemet lösa problemet med eventuella falsklarm?
4. Vilken typ av hårdvaruplattform (mikrokontroller) lämpar sig bäst för att köra detekteringsalgoritmen på sensordatan?

Det finns många typer av sensorer som skulle kunna användas för att detektera om en människa eller ett djur befinner sig i en pool, där det finns bättre och sämre lämpade för ändamålet. Anledningen till att just en ultraljudsensor valdes var för att det var en väl beprövad teknik som redan fanns inom liknande områden, till exempel ubåtsnavigering. Annan teknik skulle kunna användas men många av de lösningarna innebär en större påverkan på miljön runt om poolen, det vill säga fast montering av stolpar eller liknande.

Den detekteringsalgoritm som skrevs visar på att det finns möjlighet att, med rätt hårdvara, behandla den data som sensorerna plockar upp utan större svårighet. Detta medför att enheten inte blir begränsad av den tiden som algoritmen kräver för att köras, vilket innebär att det som påverkar hur snabbt enheten upptäcker något i poolen begränsas av hur ofta enheten ska kontrollera poolen. Algoritmen har dock inte testats under en längre sammanhängande tid då detta inte har varit möjligt.

När det kommer till val av hårdvaruplattform så är det utvecklingsbrädet som användes under arbetet något för välutrustat. Enheten hade kunnat klara sig med färre fysiska anslutningsportar och med en något långsammare processor. Det behövs fortfarande en snabb analog till digital-konverterare med hög upplösning för att få med så små förändringar som möjligt i inspelningarna av ekon. Minneskapaciteten skulle kunna ha varit mindre även den, detta eftersom att i det programmet som skrevs så prioriterades funktion före effektivitet.

Som tabell 3 under kapitel 9.2 visar så fanns det tillräckligt stora skillnader i koefficienten för att enheten skulle kunna utlösa ett larm relativt till mätserien som gjordes. Dock sattes larmnivån till 0,980 eftersom att mätserien inte var tillräckligt omfattande för att garantera att inte lägre värden skulle uppkomma. En direkt följd av detta är att ”Tre fingrar”-testet inte är godkänt för den inställda känsligheten men godkänt om man utgår från mätserien för tom låda.

Risken för falsklarm från yttre störningar har inte tagits hänsyn till i larmets nuvarande form då fokus låg på att få fram en teknik för att möjliggöra produkten. Eftersom att larmet är i ett prototypstadium så har det inte varit möjligt att testa tekniken under optimala förhållanden. Exempelvis så var inte monteringen av sensorerna optimal, vibrationsstörningar från rörelse i närheten av utrustningen och simulering av väderförhållande på ett korrekt sätt var inte möjligt.

En sak som stod klart efter att ha börjat med arbete och de första testerna hade genomförts, var hur mycket ljudets intensitet minskas med ett ökande avstånd. Det beror på den

geometrisk utbredning av ljudet, som nämns i kapitel 3.1.1.1. Vi räknade inte med att det skulle ha så stor påverkan som det hade under tiden hårdvaran designades, vilket resulterade i att beslutet togs att fortsätta med utvecklingen men i en mindre behållare. Detta eftersom sensorn inte kunde registrera någon ljudsignal på avstånd större än 1,5 m med den valda hårdvaran. Det föremålet som testades i lådan, Barne 2.0, utformades så att det relativa förhållandet mellan poolen, lådan, Barne och Barne 2.0 förblev det samma.

Syftet med arbetet var att utveckla ett fungerande poolarm. Enhet som utvecklades under arbetet gav en så kallad "proof of concept", ett fungerande larm men i en kropp med vatten som var mindre än den som vi ursprungligen planerade att använda. I detta lyckades vi med uppgiften, men inte i att konstruera en hårdvara som klarade av att skicka och ta emot en ljudsignal över det avståndet som krävdes i en pool.

Hur detta skulle kunna lösas står skrivet i kapitel 10.1 "Fortsatt arbete".

### **10.1 Fortsatt arbete**

Det som kan göras för att förbättra enheten är att välja transducers som är bättre lämpade för användning under vatten och att se till så att sändaren får tillgång till den drivningen som krävs för att skicka en ljudsignal genom de dimensionerna som en pool har. För att öka känsligheten i mottagaren så hade man även kunnat placera dennes filter- och förstärkarkrets närmre själva transducern. Detta hade resulterat i att man inte förstärkte det brus som uppstod i kabeln mellan transducern och kretsen.

För att inkorporera enheten i Verisures ekosystem så behöver den även anpassas något, både i mjukvaran och i hårdvaran. Enheten har ingen lösning på trådlös kommunikation men det skulle kunna lösas om företaget anser att vidare utveckling är i deras intresse.

## **11 Terminologi**

**ADC** - Analog till digital konverterare

**Ekobild** - Tid-amplitud graf över en inspelad ljudsignal

**Topp envelopp** - En kurva som följer topparna i en vågform

**Hydrofon** – Undervattensmikrofon

**MCU** - Mikrokontroller



## 12 Referenser

- [1] J. Gustavsson, L. Olsson and R. Andersson, ”*Drunkning i Sverige 1997-2011*”, 1st ed. Karlstad, 2013, p. 28.
- [2] Justitiedepartementet, ”*Svensk författningssamling 1993:1617, 3 kap.§5* ”, 1993.
- [3] Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap, MSB, ”*Barnsäker pool och trädgårdsdamm*”, MSB248, 2014.
- [4] ”*Light Coalition, Longitudal & transverse compression waves*”. 2016. [Online] Available: <http://lightcoalition.org/wp-content/uploads/2015/01/longitudal-compression-waves.jpg> [Accessed: 08- Aug- 2016].
- [5] ”*What is sonar?*”, Oceanservice.noaa.gov, 2016. [Online]. Available: <http://oceanservice.noaa.gov/facts/sonar.html>. [Accessed: 08- Aug- 2016].
- [6] ”*Cylindrical Spreading*”, University of Rhode Island's (URI) Graduate School of Oceanography (GSO). 2016. [Online]. Available: <http://www.dosits.org/images/dosits/spread-dwsi.gif> [Accessed: 22- Jul- 2016].
- [7] ”*Calculation of absorption of sound in seawater - Underlying Physics*”, Resource.npl.co.uk, 2016. [Online]. Available: <http://resource.npl.co.uk/acoustics/techguides/seaabsorption/physics.html>. [Accessed: 22- Jul- 2016].
- [8] ”*Calculation of absorption of sound in seawater*”, Resource.npl.co.uk, 2016. [Online]. Available: <http://resource.npl.co.uk/acoustics/techguides/seaabsorption/>. [Accessed: 02- Aug- 2016].
- [9] ”*Pool riktvärden pH, klor, salt, alkalinitet - PoolGuide*”, PoolGuide. [Online] Available: <http://poolguide.se/riktvarden/>. [Accessed: 22- Jul- 2016].
- [10] A. Coppens, ”*Simple equations for the speed of sound in Neptunian waters*”, The Journal of the Acoustical Society of America, vol. 69, no. 3, p. 862, 1981.
- [11] ”*Elektromagnetisk strålning*”, Nationalencyklopedin, NE. [Online]. Available: <http://www.ne.se.ludwig.lub.lu.se/uppslagsverk/encyklopedi/lang/elektromagnetisk-stralning>. [Accessed: 18- Jul- 2016]
- [12] ”*Elektromagnetisk strålning - Bild*”, Nationalencyklopedin, NE. [Online]. Available: <http://www.ne.se.ludwig.lub.lu.se/uppslagsverk/bild/fotografi/elektromagnetisk-str%C3%A5lning>. [Accessed: 18- Jul- 2016]
- [13] P. Lindahl and W. Sandqvist, ”*Mätgivare*”. Lund: Studentlitteratur, 1996, p. 152.
- [14] A. Arnau, ”*Piezoelectric transducers and applications*”. New York: Springer, 2008, p. 1-4.

- [15] J. Wilson, “*Sensor technology handbook*”. Amsterdam: Elsevier, 2005, pp. 137–159.
- [16] “*How are spectral wave data derived from buoy motion measurements?*”, National Data Buoy Center. [Online]. Available: <http://www.ndbc.noaa.gov/wave.shtml>. [Accessed 16- Aug- 2016]
- [17] J. Fraden, “*Handbook of modern sensors*”, 4th ed. New York: Springer New York, 2010, pp. 247-278.
- [18] J. Fraden, “*Handbook of modern sensors*”, 4th ed. New York: Springer New York, 2010, pp. 316-318.
- [19] “*Garden Outdoor Infrared Beam detector - Active IR Sensor*”, Mitech. [Online]. Available: <http://www.mitech-security.com/en/prodotto/garden-e-tower-ir/>. [Accessed: 04- Aug- 2016].
- [20] “*Swimming Pool Alarm System*”, Pool Patrol. [Online]. Available: <http://www.poolpatrol.com/swimming-pool-alarm-system/>. [Accessed: 04- Aug- 2016].
- [21] “*Poolguard Alarms - Safety Buoy, Model PGRM-SB*”, Poolguard.com. [Online]. Available: <http://poolguard.com/SafetyBuoy.asp>. [Accessed: 04- Aug- 2016].
- [22] “*Poolguard Alarms - Inground Pool Alarm, Model PGRM-2*”, Poolguard.com. [Online]. Available: <http://poolguard.com/inground.asp>. [Accessed: 04- Aug- 2016].
- [23] “*Aqua Alert - Water Activated Safety Band*”, Aquaalerts.com. [Online]. Available: <http://www.aquaalerts.com/>. [Accessed: 04- Aug- 2016].
- [24] “*Pool Gate Alarm*”, Pool Patrol, 2015. [Online]. Available: <http://www.poolpatrol.com/pool-gate-alarm/>. [Accessed: 04- Aug- 2016].
- [25] “*Maytronics France - Precisio / Aqualarm / Aquasensor / Espio*”, Maytronics.fr, 2014. [Online]. Available: <http://maytronics.fr/alarmes-de-piscine.php>. [Accessed: 04- Aug- 2016].
- [26] World Health Organization, WHO, “*Weight for age, GIRLS*”. [Online]. Available: [http://www.who.int/childgrowth/standards/cht\\_wfa\\_girls\\_z\\_0\\_2.pdf](http://www.who.int/childgrowth/standards/cht_wfa_girls_z_0_2.pdf). [Accessed: 01- Aug- 2016].
- [27] World Health Organization, WHO, “*Length for age, GIRLS*”. [Online]. Available: [http://www.who.int/childgrowth/standards/cht\\_lfa\\_girls\\_z\\_0\\_2.pdf](http://www.who.int/childgrowth/standards/cht_lfa_girls_z_0_2.pdf). [Accessed: 01- Aug- 2016].
- [28] World Health Organization, WHO, “*Weight for age, BOYS*”. [Online]. Available: [http://www.who.int/childgrowth/standards/cht\\_wfa\\_boys\\_z\\_0\\_2.pdf](http://www.who.int/childgrowth/standards/cht_wfa_boys_z_0_2.pdf). [Accessed: 01- Aug- 2016].
- [29] World Health Organization, WHO, “*Length for age, BOYS*”. [Online]. Available: [http://www.who.int/childgrowth/standards/cht\\_lfa\\_boys\\_z\\_0\\_2.pdf](http://www.who.int/childgrowth/standards/cht_lfa_boys_z_0_2.pdf). [Accessed: 01- Aug- 2016].

- [30] T. Lindberg, "När barnet lär sig olika rörelser", 1177.se, 2011. [Online]. Available: <https://www.1177.se/Stockholm/Tema/Barn-och-foraldrar/Vaxa-och-utvecklas/Det-forsta-levnadsaret/Utveckling-av-rorelseformagan/?ar=True>. [Accessed: 01- Aug- 2016].
- [31] Sveriges meteorologiska och hydrologiska institute, SMHI. "SMHI Öppna Data" [Online]. Available: <http://opendata-catalog.smhi.se/explore/>, Sökord: "Falsterbo", "byvind", 6-7 juni. [Accessed: 01- Aug- 2016].
- [32] "Avståndsmätare för Arduino", Kjell.com. [Online]. Available: <https://www.kjell.com/se/sortiment/el-verktyg/elektronik/arduino/moduler/avstandsmatare-for-arduino-p87891>. [Accessed: 08- Aug- 2016].
- [33] "OP275 - Datasheet and Product Info", Analog.com, 2016. [Online] Available: <http://www.analog.com/en/products/amplifiers/operational-amplifiers/high-voltage-amplifiers-greaterthanequalto-12v/op275.html#product-overview>. [Accessed: 13- Jun- 2016].
- [34] T. Jacobson, Physics.umd.edu, 2008. "The absorption coefficient of electromagnetic radiation by liquid water" [Online] Available: <http://www.physics.umd.edu/grt/taj/104a/watopt.gif>. [Accessed: 28- Jul- 2016].
- [35] "400EP14D - Transducer", Prowave.com.tw, 2005. [Online]. Available: <http://www.prowave.com.tw/english/products/ut/ep/40ep14d.htm>. [Accessed: 15- Jun- 2016].
- [36] J. Solberg, K. Lynch and M. MacIver, "Active Electrolocation for Underwater Target Localization", The International Journal of Robotics Research, vol. 27, no. 5, p. 544, 2008.
- [37] "OPA551 | Precision Amplifier | Operational Amplifier | Description & parametrics", Ti.com, 2016. [Online] Available: <http://www.ti.com/product/OPA551>. [Accessed: 23- Jul- 2016].
- [38] "Voltage regulator diode - BZX79-C2V7.133", Nxp.com, 2016. [Online] Available: <http://www.nxp.com/products/discretes-and-logic/diodes/zenor-diodes/voltage-regulator-diodes:BZX79-C2V7?fsrch=1&sr=1&pageNum=1>. [Accessed: 23- Jul- 2016].
- [39] "STM32F411RE - Datasheet", St.com, 2016. [Online] Available: [http://www.st.com/content/st\\_com/en/products/microcontrollers/stm32-32-bit-arm-cortex-mcus/stm32f4-series/stm32f411/stm32f411re.html](http://www.st.com/content/st_com/en/products/microcontrollers/stm32-32-bit-arm-cortex-mcus/stm32f4-series/stm32f411/stm32f411re.html). [Accessed: 15- Jun- 2016].
- [40] "Basic Concepts of Correlation", Real Statistics Using Excel, 2016. [Online] Available: [www.real-statistics.com/correlation/basic-concepts-correlation/](http://www.real-statistics.com/correlation/basic-concepts-correlation/). [Accessed: 11- Aug- 2016].



## 13.2 Appendix B

RF-test:

Korten var två "Tranciever evaluationboard SmartRF TRXEB rev. 1,7" från Texas Instrument med ett expansionskort för trådlös kommunikation av typen "CC112xEM, rev. 1,1".

Vattentemperatur	12 °C
Testdjup	40 cm
Distans under vatten	8000 cm
Sändningsfrekvens	868 MHz
Bitrate	1,20 kB
Sändningsstyrka	14 dBm

Tabell 4: Testparametrar.

### 13.3 Appendix C

Ultraljudskortet HC-SR04 från referens 18.



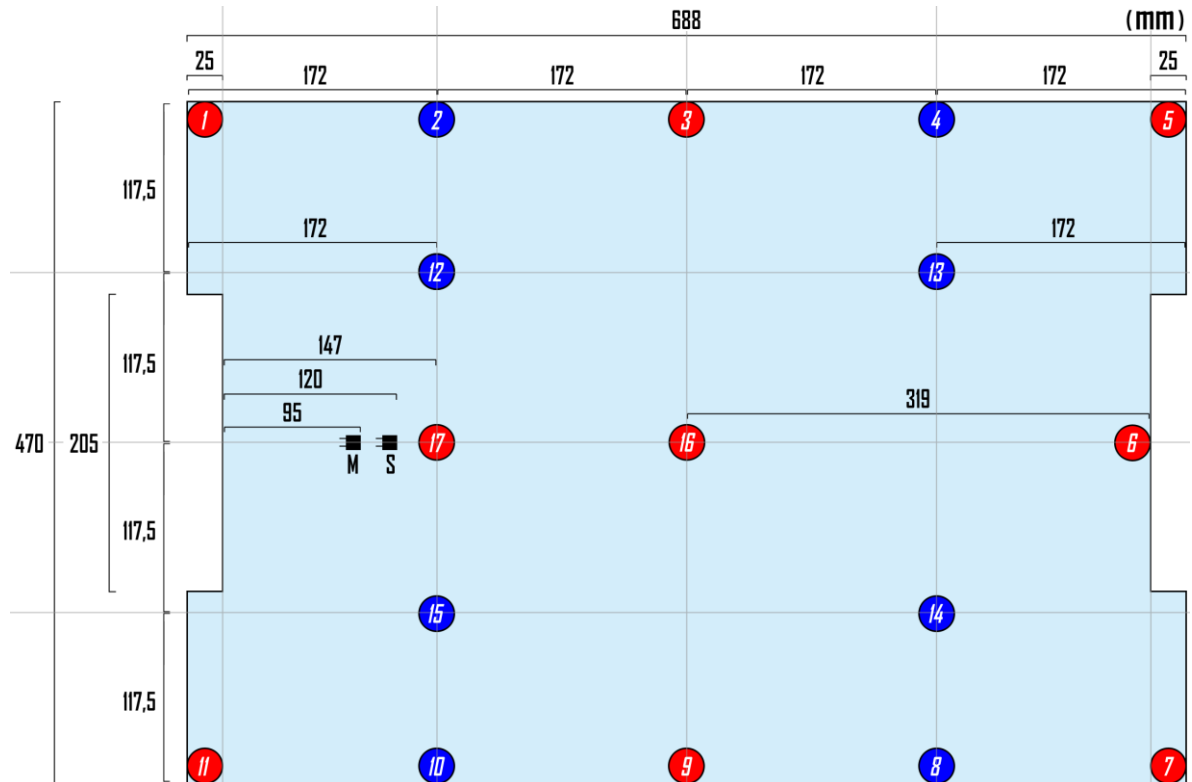
Figur 27: Bild på HC-SR04 [17].

$V_s$	5 Vdc
$I_s$	2 mA
Frekvens	40 kHz
Maximalt mätavstånd	400 cm
Upplösning	0,3 cm
Max sändningsvinkel	15°

Tabell 5: Data till HC-SR04.

### 13.4 Appendix D

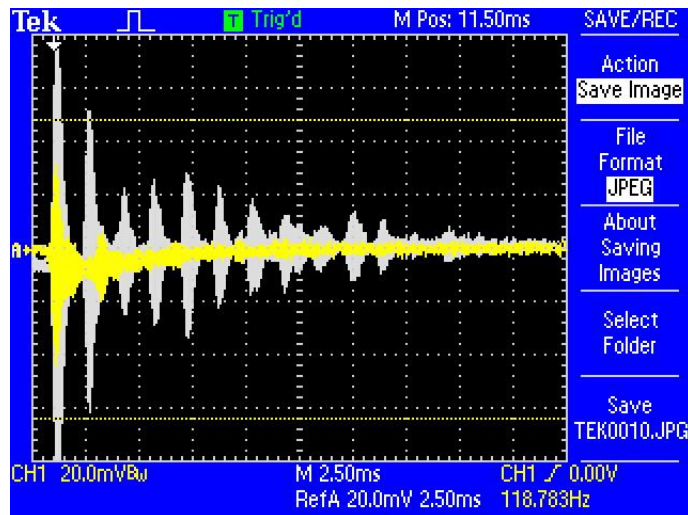
Skiss av lådan där testerna genomfördes samt placering av testföremålet i den. De rödmarkerade platserna är de positionerna som testerna i kap. 4.3 "Ultraljud i låda" utfördes på, medan de blå-färgade tillsammans med de röd-färgade är de platserna där testerna i kap. 6.4 "Tester och utvärdering av hårdvara" utfördes på. Sändaren, S, samt mottagaren, M, var monterade 10 cm från botten av lådan och vattendjupet var 18 cm.



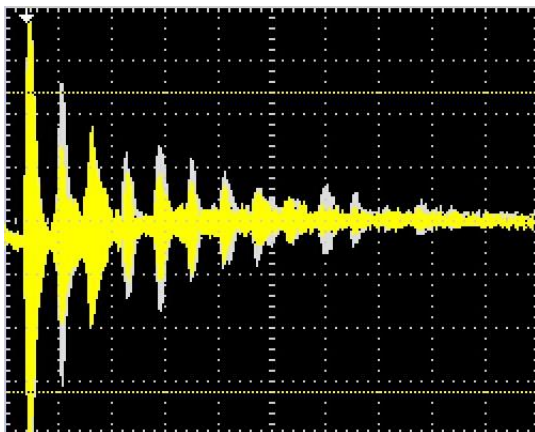
Figur 28: Lådans dimensioner samt var föremålet placerades, S=Sändaren, M=mottagaren.

### 13.5 Appendix E

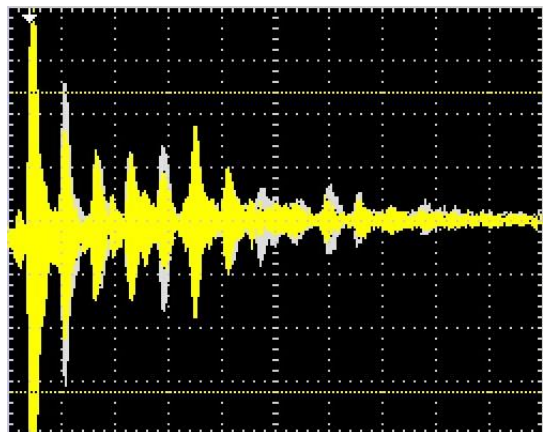
Vågformer från tester i lådan i Appendix C. Den första bilden innehåller de inställningarna som oscilloskopet var inställt till då vågformsbilderna sparades.



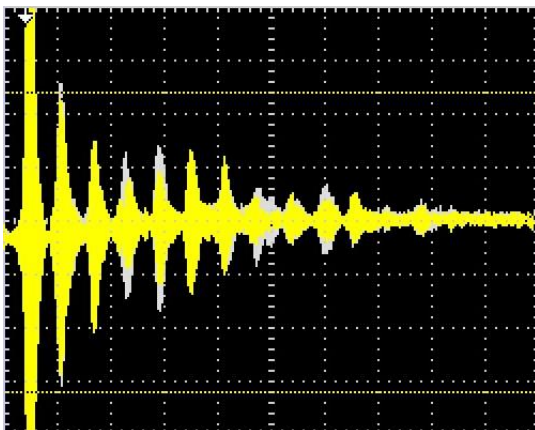
Figur 29: Direkt framför sensorn, position 17.



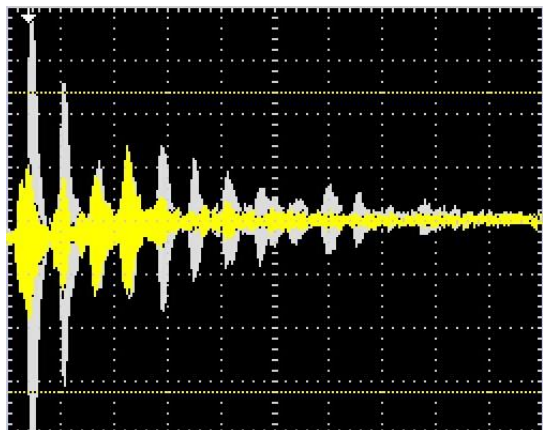
Figur 30: Direkt vänster om sensorn, position 1.



Figur 32: Mitten till vänster om sensorn, position 3.

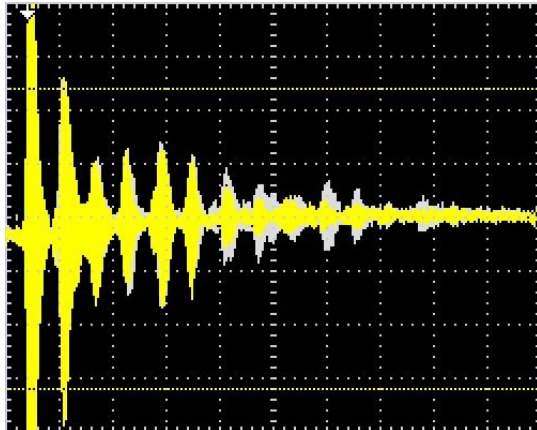


Figur 31: Vänster motsatt sensorn, position 5.

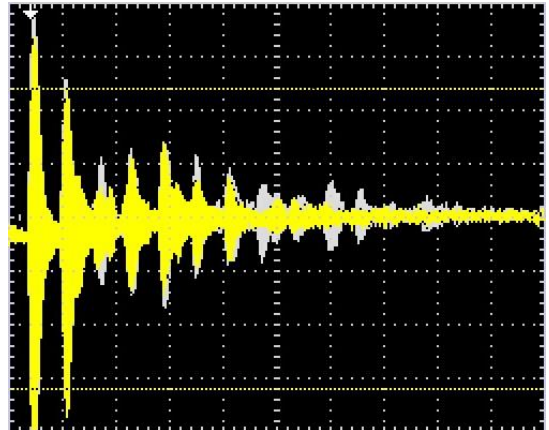


Figur 33: Mitten motsatt sensorn, position 6.

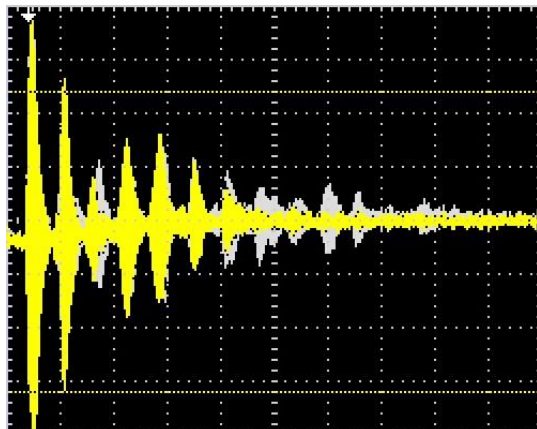




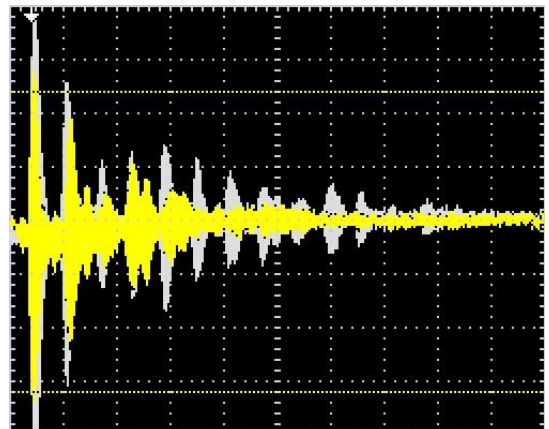
Figur 34: Höger motsatt sensorn, position 7.



Figur 36: Mitten till höger om sensorn, position 9.



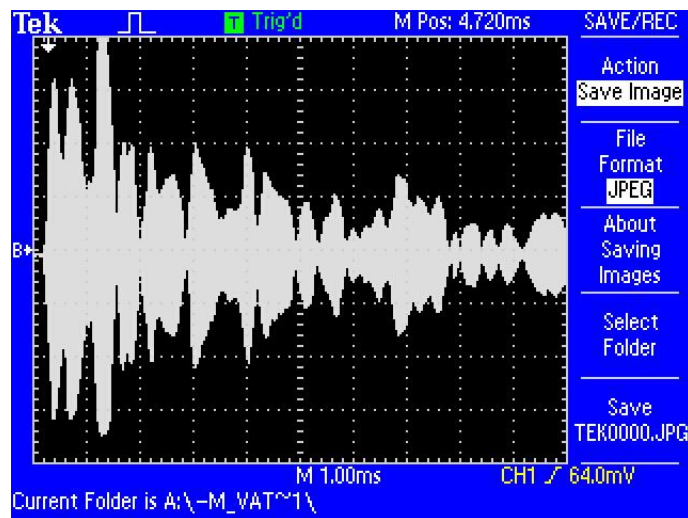
Figur 35: Direkt höger om sensorn, position 11.



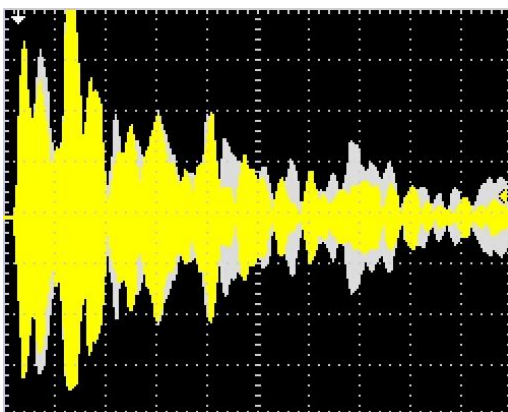
Figur 37: Mitt i lådan, position 16.

## 13.6 Appendix F

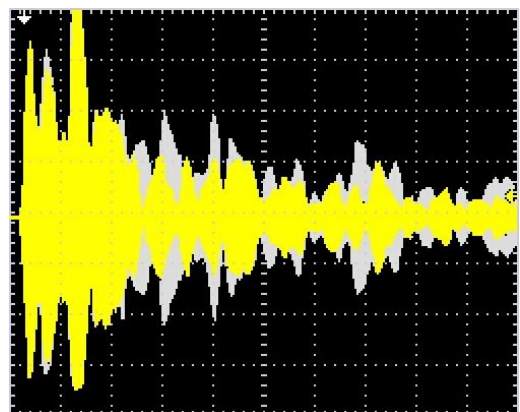
Ekobilderna tagna under testet i kap. 6.4. Den första bilden innehåller de inställningar som oscilloskopet hade.



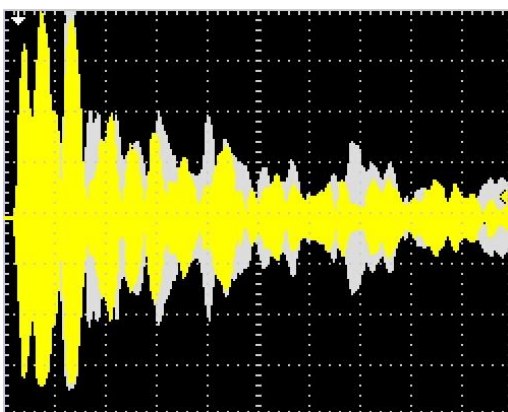
Figur 38: Ekobild i tom låda med vatten.



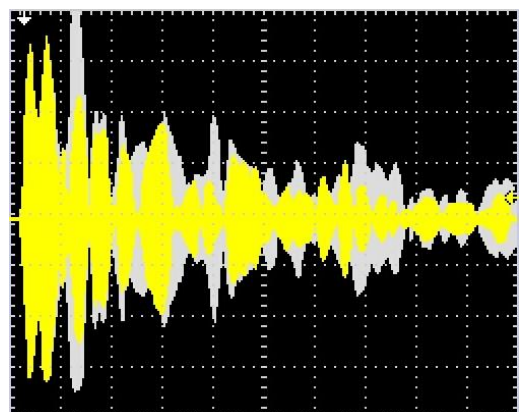
Figur 39: Ekobild, position 1.



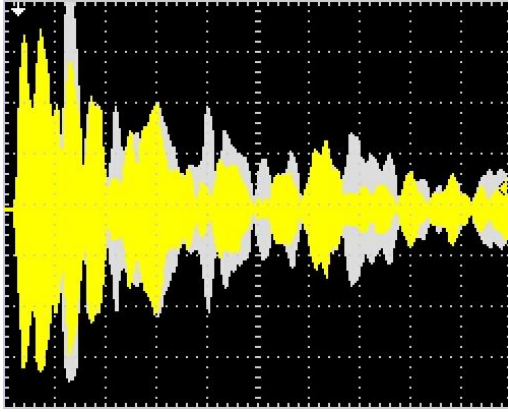
Figur 41: Ekobild, position 2.



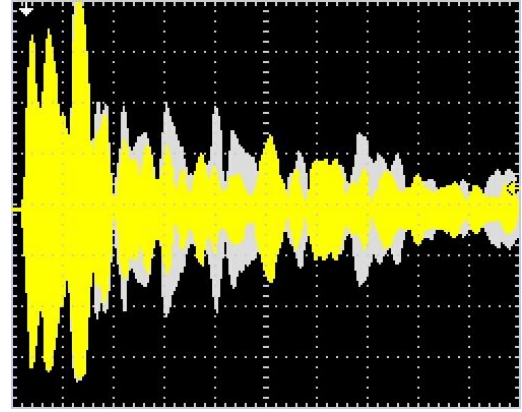
Figur 40: Ekobild, position 3.



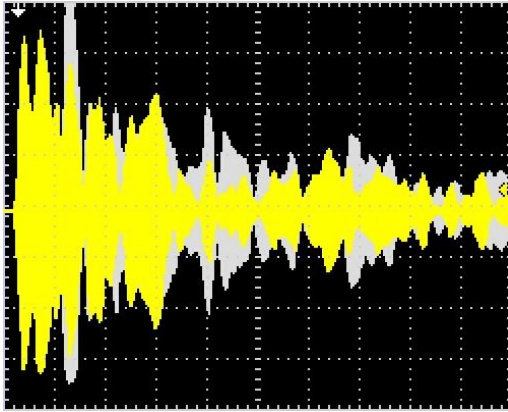
Figur 42: Ekobild, position 4.



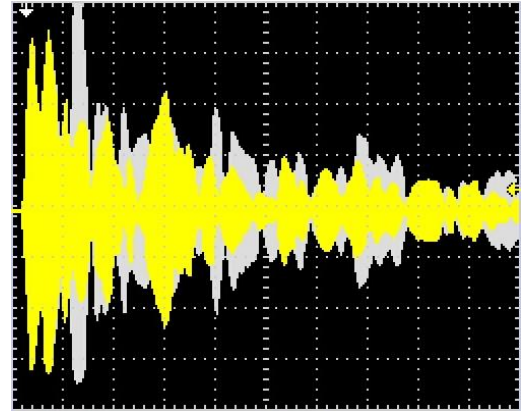
Figur 43: Ekobild, position 5.



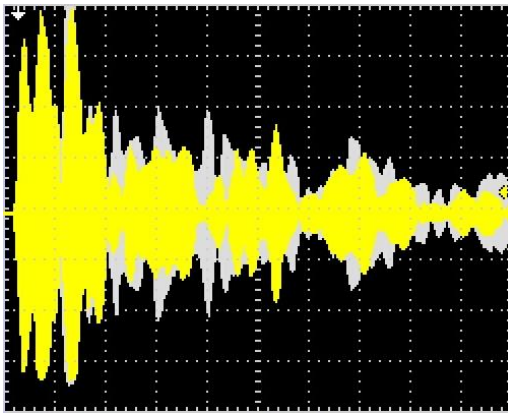
Figur 47: Ekobild, position 6.



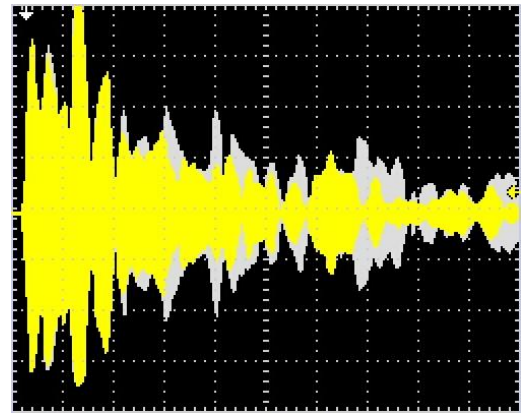
Figur 44: Ekobild, position 7.



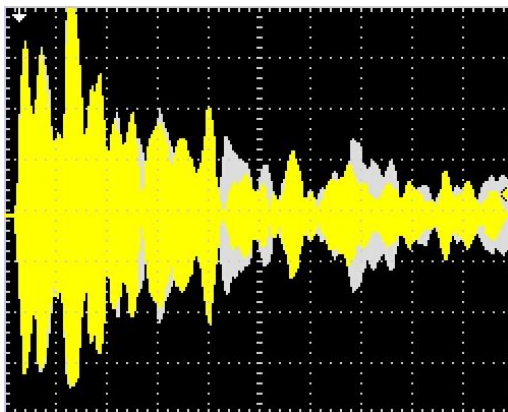
Figur 48: Ekobild, position 8.



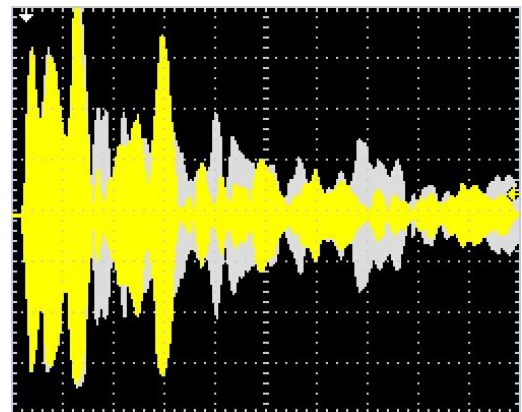
Figur 45: Ekobild, position 9.



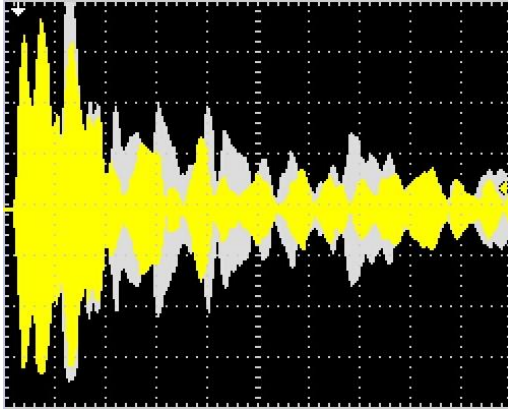
Figur 49: Ekobild, position 10.



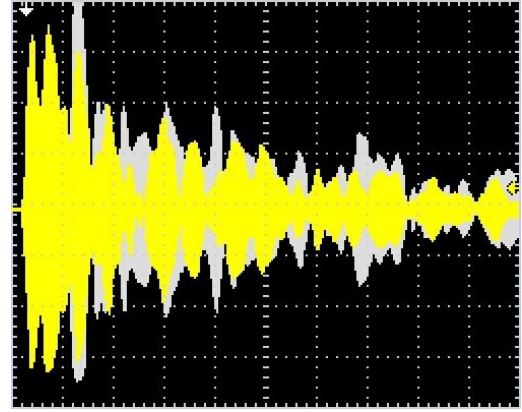
Figur 46: Ekobild, position 11.



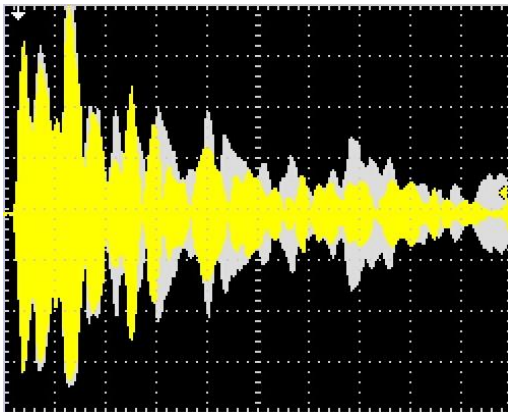
Figur 50: Ekobild, position 12.



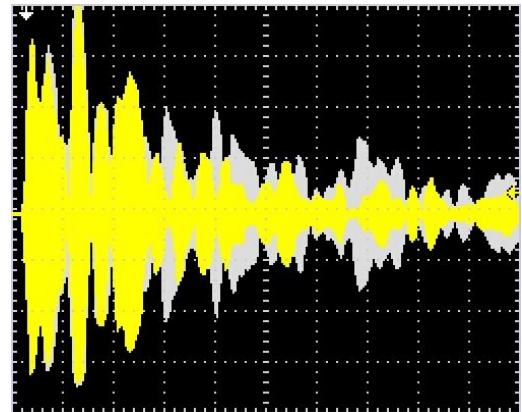
Figur 51: Ekobild, position 13.



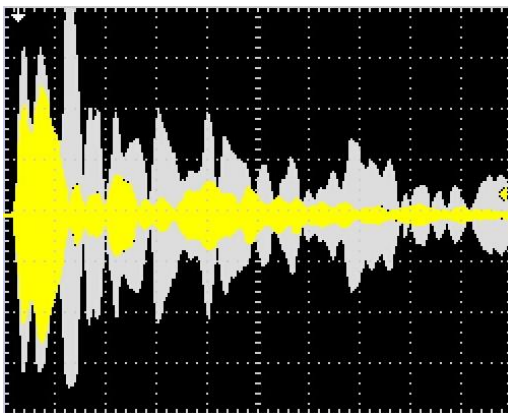
Figur 54: Ekobild, position 14.



Figur 52: Ekobild, position 15.



Figur 55: Ekobild, position 16.



Figur 53: Ekobild, position 17.