

Utvärdering av sensorer för personräkning i dörröppningar

Emanuel Johansson
Gustav Wallgren

Division of Fire Safety Engineering
Lund University, Sweden
Brandteknik
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Report 5530, Lund 2016

Utvärdering av sensorer för personräkning i dörröppningar

Emanuel Johansson
Gustav Wallgren

Lund 2016

Utvärdering av sensorer för personräkning i dörröppningar
Evaluation of sensors for people-counting in door openings

Emanuel Johansson
Gustav Wallgren

Report 5530
ISSN: 1402-3504
ISRN: LUTVDG/TVBB--31XX--SE

Number of pages: 65
Illustrations: 17

Keywords

Dynamic Crowd Management, Infrared sensor, People counting, Arduino, Evacuation. Specific flow, Effective width, Sonar, Ultrasound.

Sökord

Dynamisk styrning av människor, Dynamic Crowd Management, Utrymning, Infraröd sensor, Ultraljudssensor, Arduino, Personräkning, Personflöde, Effektiv dörrbredd, Sonar, Ultraljud.

Abstract

If during an emergency, the rescue service have knowledge of how many people are left in a building and where they are located, the rescue service's response could be more effective and reduce the overall risk. Dynamic crowd management is a new way of managing crowd movements during an emergency. For this system to work, sensors capable of tracking people in need of evacuation, is required. In October 2016 an experiment aiming to evaluate one IR- and two ultrasonic based sensors were performed. The participants were mainly students at Lund University. The sensors were set to count passing participants through a door opening. Different door widths, walking speed and specific person flows were tested. Results show that of the two sensor types, the IR-sensor is the most reliable and most suitable for counting people passing through a door opening with a width of up to 100 cm. In a dynamic crowd management system, the IR sensor is capable of reducing risks.

© Copyright: Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet,
Lund 2016.

Brandteknik
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 Lund

Fire Safety Engineering
Faculty of Engineering
Lund University
P.O. Box 118
SE-221 00 Lund
Sweden

<http://www.brand.lth.se>

<http://www.brand.lth.se>

Förord

Denna rapport är ett examensarbete på brandingenjörsutbildningen och riskhanteringsprogrammet vid Lunds Tekniska Högskola, Lund. Rapportens syfte är att vara en pilotstudie för att undersöka potentialen för användning av olika sensorer i ett system med dynamisk styrning av utrymmande i nödsituation. Målgruppen för rapporten utgörs av brandingenjörer och riskhanterare men även yrkesgrupper som arbetar med dynamisk styrning av folkmassor.

Författarna vill särskilt tacka sin handledare *Daniel Nilsson*, universitetslektor på avdelningen för Brandteknik vid Lunds Tekniska högskola. Daniel har varit ovärderlig under arbetets gång med sin kunskap och vägledning.

Vi vill även rikta ett tack till de som deltagit i experimentet.

Sist men inte minst vill vi tacka våra nära och kära som stöttar och inspirerar oss i vått och torrt.

Lund, November, 2016

Emanuel Johansson & Gustav Wallgren

Sammanfattning

Det kan i dagsläget vara svårt att veta hur många som vistas i en byggnad. Detta är problematiskt sett ur räddningstjänstens perspektiv. Om räddningstjänsten under räddningsinsatser vet hur många personer som finns kvar i en byggnad samt var de befinner sig, kan räddningsinsatsen effektiviseras. Utrymningssystem som har kännedom om personers position i en byggnad medger möjlighet att i realtid vägleda utrymmande till den mest lämpliga utrymningsvägen. Dessa dynamiska utrymningssystem kan styra utrymmande personer med hjälp av exempelvis aktiva dynamiska utrymningsskyltar som tänds upp på olika sätt beroende på aktuell situation. En viktig del i dynamiska utrymningssystem är sensorer, vilket krävs för att spåra personerna i en byggnad.

Syftet med studien är att studera potentialen hos ultraljud- och IR-avståndsmätare för att räkna antalet personer som passerar genom en öppning. I det ingår att diskutera hur dessa tekniker kan användas för att minska riskbilden i en byggnad genom att vara en del av ett system för dynamisk styrning av människor i nödsituationer.

Målet med studien är att fastställa om någon av dessa tekniker är lämplig att använda som sensor i system med dynamisk styrning av människor i nödsituationer, samt hur sensorn eventuellt behöver utvecklas för att det ska vara möjligt.

Försök genomfördes med hjälp av en rad högsåp där de mittersta skåpen sårades och fungerade som dörröppning. Öppningen justeras till 85, 100 och 120 cm. Sensorerna placerades ovanför mitten av dörröppningen med hjälp av aluminiumprofiler. Sensorerna var kopplade till en Arduino som registrerade passerande och detta loggades i en dator. Försök genomfördes med sju studenter i V-huset på Lunds Tekniska Högskola. För varje dörrbredd var målet för deltagarna att variera gånghastigheten till 1,2 m/s och 1,5 m/s samt det specifika personflödet till 1,2 p/ms och 1,6 p/ms. De fall då utfallet skiljde sig mer än 15 procent från målet var de högre personflödet för dörrbredderna 100 och 120 cm samt låg gånghastighet för dörrbredden 120 cm.

Resultaten från försöken visar att IR-sensorn har störst potential för användning vid dörröppningar i dynamiska utrymningssystem. IR-sensorn fungerade mindre bra vid 120 cm dörrbredd vilket begränsar användningsområdet till utrymmen dimensionerade för mindre än 150 personer. För dörrbredden att IR-sensorerna ska fungera med dörrbredden 120 cm krävs troligen multipla sensorer vilket är ett lämpligt område för vidare forskning. Med större statistiskt underlag för IR-sensorernas tillförlitlighet kan det vara möjligt att hantera misslyckade registreringar genom att kompensera för bortfallet. Även om IR-sensorerna misslyckas registrera alla passeringar kan de ge användbar information till räddningstjänsten om antalet personer innan påbörjad utrymning är känt. Om kompensering inte är tillräcklig kan det därför behöva kompletteras med andra tekniska system som har högre tillförlitlighet på spårning av personer i eller i delar av en byggnad.

IR-sensorerna kan bidra med statistik om personers placering i byggnaden och personflöden vilket påverkar de olika delarna i riskhanteringsprocessen. Vid en vidareutveckling kan IR-sensorerna i ett DCM-system medföra en riskreducerande åtgärd genom en minskning av individ-, samhälls- och egendomsrisk.

Summary

It can be difficult to know the number of persons visiting a building, which is problematic from the perspective of the rescue service. If the rescue service, during operation, knows the number of persons in the building and their position, the rescue operation may be more efficient. Evacuation systems that know the position of the persons in a building, have a possibility to, in realtime, guide the evacuating persons to the most suitable emergency exit. These dynamic evacuation systems could for example guide evacuating persons with active emergency signs that activate and lights up in different ways depending on the current situation. An important part of dynamic evacuation systems are sensors which is required to track the persons in the building.

The objective of this thesis is to study the potential of ultrasonic- and infrared distance sensors to count the number of persons passing an opening. In the scope of the thesis, there will also be a discussion how the sensors can be used to lower the risks in a building by being a part of a dynamic crowd management system during emergency situations.

The aim of the thesis is to determine if any of the two sensor technologies is suitable in dynamic crowd management systems during emergency situations and if the sensors need development.

An experiment were performed with large cupboards, were the two middle cupboards were separated to simulate a door opening. The opening width was adjusted to 85, 100 and 120 cm. The sensors were placed above the middle of the opening by aluminium sections. The sensors were connected to an Arduino that logged the passing persons in a laptop. The experiment was performed with seven students and took place in the V-building which is part of Lunds Faculty of Engineering. For each door width the aim was for the participants to vary the walking speed to 1,2 m/s and 1,5 m/s, and the specific person flow to 1,2 p/ms and 1,6 p/ms. The situations that the outcome differed by more than 15 percent was with the high specific person flow for the opening widths 100 and 120 cm, and the lower walking speed with the opening width 120 cm.

Results show that the IR-sensor has the greatest potential to be used in door openings with dynamic evacuation systems. The sensor did not perform well with the doorwidth 120 cm, which limits its usability to compartments dimensioned to less than 150 persons. For the sensors to perform well when the doorwidth is 120 cm it will probably require multiple sensor kits. Multiple sensor kits is a suitable area to research. With a larger statistical material for the IR-sensors reliability it might be possible to cope with the failed registrations by compensating them. Even if the IR-sensors fails to register all passing persons, they will still provide usable information to the rescue service, if the number of persons in the building is known before an evacuation starts. If compensating the failed registrations isn't sufficient enough, other technical systems that have higher reliability of tracking persons might be needed.

The IR-sensors can provide statistic data of peoples placement in a building and people flow that in turn affect the different parts of the risk management process. If the usability of the IR-sensors can be expanded, they will provide a risk reduction in a dynamic crowd management system by lowering the individual- society- and property risk.

Nomenklatur

h	Vertikalt avstånd från sensor	[m]
H_0	Nollhypotes	
H_1	Mothypotes	
ℓ	Längd på objekt i färdriktning	[m]
r_A	Radie från sensor A	[m]
r_B	Radie från sensor B	[m]
t_{loop}	Tid mellan loop	[s]
σ	Minsta avstånd mellan objekt	[m]
v_{person}	Gånghastighet	[m/s]
X	Avstånd mellan sensorer	[m]
X_{min}	Minsta avstånd mellan sensorer	[m]
X_{max}	Största avstånd mellan sensorer	[m]

Akronymer och förkortningar

EZ2	Maxbotix MaxSonar LV-EZ2
DCM	Dynamic Crowd Management
IR	Infrarött ljus
RFID	Radio Frequency Identification
UWB	Ultra Wide Band

Innehållsförteckning

1	Inledning	1
1.1	Dynamic crowd management	1
1.2	Sensortyper	2
1.2.1	Piezoelektricitet.....	2
1.2.2	Ultraljud	2
1.2.3	Infrarött ljus	2
1.2.4	Mikrovågsradar	3
1.2.5	Laserskanner	3
1.2.6	Video.....	3
1.2.7	Transpondrar	4
1.3	Avståndsmätare	4
1.4	Riskperspektiv	4
1.5	Syfte och mål	5
1.6	Metod.....	6
1.7	Avgränsningar.....	6
2	Teori	8
2.1	Arduino	8
2.2	Ultraljudsensorn Sharp HC-SR04	9
2.3	Ultraljudsensorn Maxbotix LV-MaxSonar EZ2	9
2.4	IR-sensorn Sharp 2Y0A02YK0F	10
2.5	Gångbanans bredd	10
2.6	Risk.....	12
2.6.1	Riskbegreppet	12
2.6.2	Riskhanteringsprocessen.....	13
3	Proof of concept.....	16
3.1	Koncept.....	16
3.2	Programmering av Arduino	16
3.3	Beräkningar	20
3.4	Funktionstester	21
4	Experiment.....	22
4.1	Försöksdeltagarna	22
4.2	Försöksuppställning	22
4.2.1	Sensoravstånd	24
4.2.2	Dörrbredd	24
4.2.3	Gånghastighet	24
4.2.4	Specifikt personflöde	24
4.2.5	Insamling av data	25
4.3	Genomförande.....	26

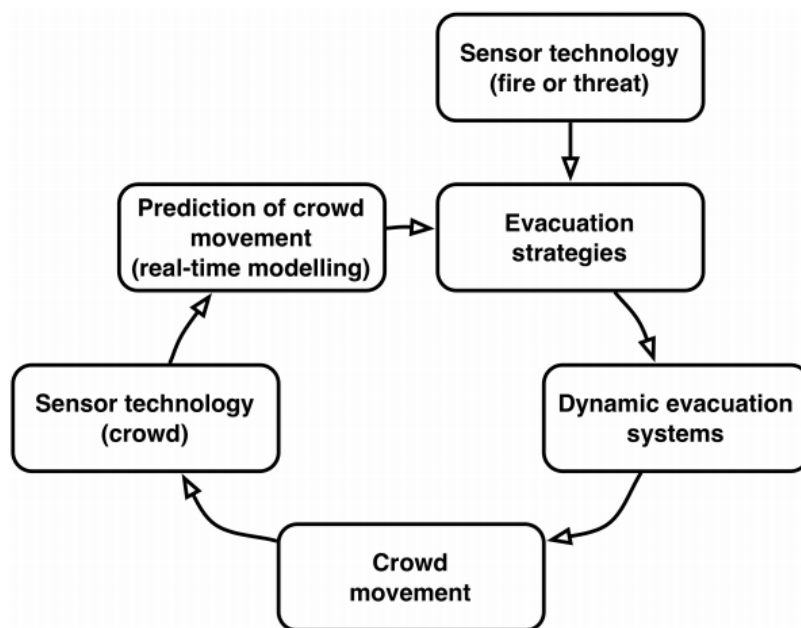
4.3.1	Sensorkalibrering och funktionstest.....	26
4.3.2	Försöksdeltagarnas uppgift.....	27
4.3.3	Delexperiment.....	27
4.3.4	Videoanalys.....	27
5	Resultat.....	30
5.1	Dörrbredden 85 cm.....	30
5.2	Dörrbredden 100 cm.....	32
5.3	Dörrbredden 120 cm.....	34
5.4	Signifikanta skillnader.....	36
6	Diskussion.....	38
6.1	Sensorprestanda i ett DCM-system.....	38
6.2	Riskhantering.....	41
6.2.1	Risk ur ett DCM-perspektiv.....	41
6.2.2	Riskhantering baserat på sensorprestanda från experiment.....	43
6.3	Framtida forskning.....	44
7	Slutsats.....	46
8	Referenser.....	48
	Bilaga A - Etiska riktlinjer för försökspersonerna.....	I
	Bilaga B - Samtycke till experiment.....	II
	Bilaga C - Beräkningar.....	III
	Bilaga D – Arduinokod HC-SR04.....	VI
	Bilaga E – Arduinokod 2Y0A02YK0F.....	IX
	Bilaga F – Arduinokod Maxbotix LV-EZ2.....	XII
	Bilaga I - Resultatsammanställning.....	XV

1 Inledning

Det kan vara svårt att veta hur många som vistas i en byggnad och i vilka delar av byggnaden de befinner sig. Detta är problematiskt sett ur räddningstjänstens perspektiv. Om räddningstjänsten under räddningsinsatser vet hur många personer som finns kvar i en byggnad samt var de befinner sig, kan räddningsinsatsen effektiviseras. Om kvarvarande personer snabbt kan lokaliseras bör risker vid olyckor minskas både för de personer som är kvar och även för räddningstjänstens personal.

1.1 Dynamic crowd management

Dynamic Crowd Management (DCM) är ett dynamiskt system som styr folkgruppers rörelser. Detta är användbart för att styra en evakuering av en byggnad (Nilsson, 2013). DCM-systemet illustreras i Figur 1 nedan.



Figur 1. Dynamic Crowd Management system (Nilsson, 2013).

DCM-systemet består av sex delar, sensorteknologi för att upptäcka eld och rök, utrymningsstrategier, dynamiska utrymningssystem, folkgruppers rörelsemönster, sensorer för att uppskatta var människor befinner sig och slutligen förutsägelse om hur en folkgrupp rör sig. Forskningen kring DCM-system i sin helhet är bristfällig men det finns viss forskning kring de olika delarna. Exempel på sådan forskning är *GETAWAY project* som studerat aktiva dynamiska signalsystem. I projektet utvecklades ett system för att i realtid kunna dirigera en folkgrupps rörelse vid ett utrymningsscenario. Detta gjordes med hjälp av utrymningsskyltar som hade ett rött kryss över sig vid nödutgångar som inte bör användas. Därtill visades med grön pil på annan intilliggande utrymningsskylt mot vilken nödutgång personerna istället bör bege sig. Skyltarna styrdes av en platschef som med hjälp av information om var exempelvis en brand befann sig, styrde vilka utrymningsvägar som skulle användas (Galea, et al., 2015). När en brand eller fara detekteras kan en utrymningsstrategi skapas för att få personer att ta sig ut ur byggnaden via andra vägar än där faran är. För att göra detta används dynamiska evakueringsystem som dirigerar folkmassan så som signalskyltarna i *GETAWAY* projektet. När personer rör sig utåt registrerar personräknande sensorer vilka vägar personer tar samt hur många som lämnat

byggnaden. Om branden eller faran sprider sig eller om de utrymmande har valt en utrymningsväg via faran kan nya utrymningsstrategier beräknas i realtid. De utrymmande styrs då till att välja en bättre utrymningsväg. (Nilsson, 2013). På detta sätt går processen runt så som illustreras i Figur 1 ovan.

1.2 Sensortyper

Med hjälp av sensorer kan personförflyttningar följas vilket är en viktig del för smarta byggnader med dynamiska utrymningsystem. Från ett utrymningsperspektiv är området utforskat och kunskap om vilka sensorer som passar bra för detta ändamål är inte fullständigt. Däremot finns det kunskap om olika sensorteknologier som används för att räkna personer under andra förhållanden som exempelvis fotgängare utomhus. Beskrivning av dessa tekniker presenteras nedan.

1.2.1 Piezoelektricitet

Piezoelektricitet är en egenskap hos vissa material som gör att de producerar en elektrisk signal när de utsätts för ett mekaniskt tryck. För att använda denna egenskap till att räkna personer kan detta material vävas in i en matta som producerar en signal när en person står på den. Piezoelektriska sensorer används vanligen vid övergångsställen, kräver kontakt med fotgängaren och måste därför användas tillsammans med andra sensorer (Chan & Bu, 2005).

1.2.2 Ultraljud

Sensorer baserade på ultraljud sänder en ljudsignal med en frekvens som ligger utanför det hörbara området. När ljudsignalen träffar ett föremål reflekteras en del av signalen tillbaka till en mottagare. Efter behandling av signalen kan avståndet till ett föremål bestämmas tillsammans med dess hastighet. För att minska förlusterna hos den reflekterade signalen bör sensorn placeras rakt ovanför fotgängaren eller vinkelrätt ifrån sidan. En annan faktor som ökar förlusterna då ljudet reflekteras är kläder (Chan & Bu, 2005).

1.2.3 Infrarött ljus

IR-sensorer använder sig av infrarött ljus vilket ligger utanför det synliga spektrumet. Ett av de kommersiellt mer populära aktiva IR-systemen när det kommer till personräkning använder sig av en IR-stråle. Systemet har en sändare som skickar en IR-stråle direkt på mottagaren eller så används en reflektor mellan dem. Om ett passerande objekt bryter strålen upptäcks objektet. Med dubbla uppsättningar kan riktningen på det passerande objektet bestämmas. För att säkerställa att ljusstrålen når mottagaren ställs krav på precis placering vilket kan göra de olika delarna känsliga för mekaniska rörelser (Bu, et al., 2007). Vissa sensorer använder det passerande föremålet som reflektor och mäter intensiteten eller vinkeln på det reflekterade ljuset (Kuuti, 2012).

En annan typ av aktiva IR-system belyser mottagarens synfält med LED eller laserdioder. Ljuset som reflekteras till mottagarelementen av objekt som rör sig i detektionszonen analyseras för att upptäcka objektet (Dharmaraju, et al., 2001).

Passiva IR-system har en mottagare som mäter den energi inom sensorns synfält som utstrålas från omgivningen. När ett objekt som har en annan temperatur än omgivningen kommer in i sensorns synfält ändras den instrålade energin. Förändringen i instrålade energi används för att upptäcka ett objekt. Passiva IR-sensorers prestanda påverkas av skiftningar i omgivningens temperatur, enkel eller

dubbelsensorer kan inte skilja på individer eller grupper (Dharmaraju, et al., 2001; Bu, et al., 2007).

Tillförlitligheten för en passiv IR-sensor med åtta sensorelement där personer går genom en 100cm bred dörr är över 98 procent (Hashimoto, et al., 1997).

1.2.4 Mikrovågsradar

Mikrovågsradar fungerar precis som ultraljudsensorerna men signalen skickas från en antenn. Primärt finns det tre olika typer av mikrovågsradar baserat på vågformen hos den utsända vågformen (Chan & Bu, 2005).

Dopplerradar sänder en kontinuerlig signal med konstant frekvens. När signalen reflekteras mot ett föremål i förflyttning förändras frekvensen och föremålets hastighet kan bestämmas. Dopplerradar kan endast upptäcka föremål som rör sig snabbare än en viss tröskelnivå (Chan & Bu, 2005).

En annan typ av mikrovågsradar är frekvens- eller fasmodulerade signaler som bestämmer avståndet med hjälp av tiden det tar för signalen att reflekteras till mottagaren (Chan & Bu, 2005).

Ultra Wide Band (UWB) radar skickar extremt kortvariga RF-signaler vilket gör vågformen extremt bredbandad. UWB-radar är därför kapabel till att detektera personer och objekt med centimeterprecision (Chan & Bu, 2005).

1.2.5 Laserskanner

Laserskannern sänder infraröda laserpulser och detekterar pulserna som reflekteras. Avståndet till föremålet är proportionellt till tiden det tar från sändare till mottagare. Mätstrålen fungerar med en roterande prisma vilket ger en betraktningvinkel på upp till 360 grader. Laserskanner har tillförlitlig avståndsmätning med hög upplösning längs sin betraktningvinkel. Signalen är komplex jämfört med ultraljud eller mikrovågsradar vilket kräver en dedikerad processor (Chan & Bu, 2005).

1.2.6 Video

Video kan processas i realtid för att räkna antalet passerande personer (Vicente, et al., 2009; Cetinkaya & Akcay, 2015). Två olika typer av algoritmer tenderar att användas. Den ena söker rörelsemönster som människor har vid rörelse och den andra typen letar efter objekt som är formade som fotgängare (Chan & Bu, 2005).

IR-kameror som använder ljus utanför det synliga spektrumet är inte lika känsliga för förändringar i ljusförhållanden (Chan & Bu, 2005).

Att videoövervaka personer kan vara problematiskt av etiska skäl då det kan kränka integriteten för de som blir filmade.

1.2.7 Transpondrar

System kan spåra transpondrar istället för personer. Transpondern kan exempelvis vara mobiltelefoner. Detta kan göras med trådlösa signaler som Bluetooth, Radio Frequency Identification (RFID), eller Wi-Fi. RFID är en teknik för att mäta teknik på ett avstånd från transpondrar och minnen som kallas taggar. De är vanliga vid inpasseringssystem. Tekniken fungerar men kan vara kostsamt vid implementering i stor skala (Do, et al., 2013; Ahmed, et al., 2015). Det finns Wi-Fi-system som fungerar med ungefär 97 procents tillförlitlighet och är billiga (Ahmed, et al., 2015). Försök där Bluetooth har använts detekterade 90 procent (Basalamah, 2016). Dessa tekniker fungerar men en nackdel är att det krävs att alla personer har på sig ett föremål som exempelvis en mobil för att de ska registreras. En avstängd eller trasig mobil skulle kunna få räddningstjänsten att felaktigt tro att en byggnad är utrymd. Alternativt kan en kvarglömd telefon få räddningstjänsten att tro att det finns kvarvarande människor i byggnaden.

1.3 Avståndsmätare

Av de enklare sensorerna som presenterats är det endast ultraljud och i vissa aktiva IR-sensorer som mäter avstånd i en förutbestämd riktning. Denna möjlighet finns hos de mer avancerade sensorerna men de är dyra jämfört med de enklare. År 2012 fanns kommersiella aktiva IR-sensorer från ungefär 500 kronor medan en laserskanner idag utan övriga komponenter kostar ungefär 4000 kronor (Kuuti, 2012; Robotshop, u.d.).

En IR-sensor som mäter avstånd har ett lägsta pris omkring 100 kronor utan övriga komponenter medan avståndsmätare baserade på ultraljud börjar på 30 kronor. (Robotshop, u.d.; Robotshop, u.d.).

Riktbara avståndsmätare kräver inte en fast monterad reflektor vilket gör att de inte kräver lika precis installation och de kan vara små då sändare och mottagare kan byggas in i samma hölje. Andra fördelar med dessa enklare avståndsmätare är att de spårar personer och inte mobiltelefoner samt att de inte har etiska dilemman med avseende på integritet.

De enkla avståndsmätarnas egenskaper kombinerat med deras prisbild betyder att de potentiellt kan vara lämpligt i ett DCM-system. Kunskap om hur bra de olika avståndsmätarteknikerna presterar vid personräkning behöver därför fördjupas.

1.4 Riskperspektiv

Det finns flera olika grupper av människor vars riskbild kan tänkas påverkas där ett införande av DCM-system är aktuellt. Dessa är personer som inte kan förväntas ha god lokalkännedom, personer som exempelvis har sin arbetsplats i byggnaden och därför kan förväntas ha god lokalkännedom och slutligen personal från räddningstjänsten. Ett DCM-system förändrar risken genom lokalisering av personer samt genom styrning av personer i aktuell byggnad. Vanliga personer och personer som arbetar i byggnaden påverkas utav både lokaliseringen och utav styrningen, dock på olika sätt. Lokaliseringen fungerar likadant för båda grupperingarna genom det blir lättare för räddningstjänsten att lokalisera personerna i byggnaden. Styrningen kan tänkas påverka dem olika då de som arbetar i byggnaden antas ha fått en brandutbildning och därmed kunskap om hur DCM-systemet fungerar. De bör därmed vara medvetna om systemet och initialt upptäcka skyltning eller dylikt tidigare än personer utan lokalkännedom. Ett problem som skulle kunna uppstå är att personalen kan känna till alternativa vägar och välja dessa istället för att styras av DCM-systemet. Den direkta påverkan av räddningstjänsten sker genom lokalisering.

För att se hur sensorerna i ett DCM-system påverkar risken för personer i byggnaden och för räddningstjänsten utvärderas riskhanteringsprocessen och hur den kan tänkas förändras av ett införande av systemet.

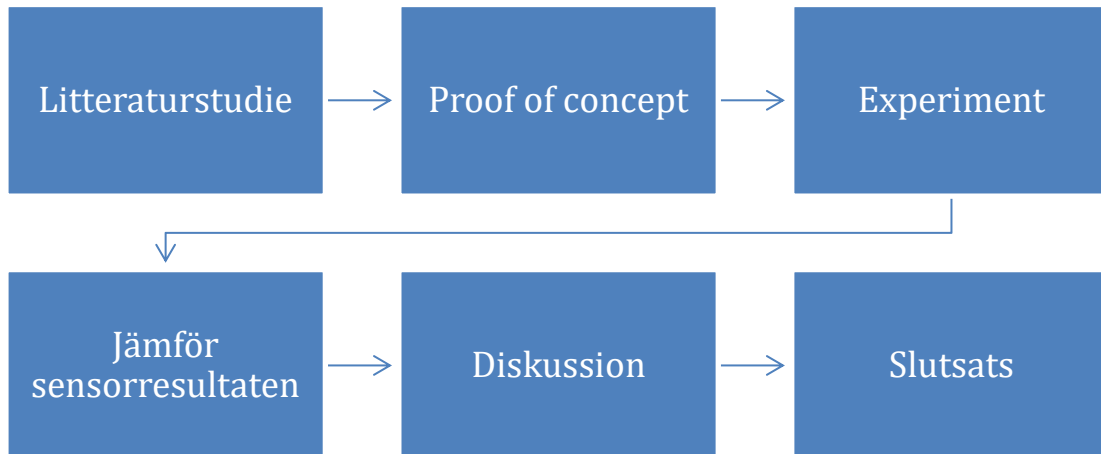
1.5 Syfte och mål

Syftet är att studera potentialen hos ultraljud- och IR-avståndsmätare för att räkna antalet personer som passerar genom en öppning. Potentialen utvärderas genom en diskussion om sensortypernas roll i ett dynamiskt utrymningssystem. I det ingår att diskutera hur användande av dessa tekniker kan beröra de olika delarna i riskhanteringsprocessen.

Målet är att svara på om någon av dessa sensortyper är lämplig att använda som sensorer i ett DCM-system, samt hur den eventuellt behöver utvecklas för att det ska vara möjligt.

1.6 Metod

Metoden kan delas upp i sex steg vilket illustreras i Figur 2 nedan.



Figur 2. Flödesschema över de olika delarna i metoden

Inledningsvis görs en litteraturstudie för insamling av relevant kunskap kring riskhanteringsprocessen, hur gångbanans bredd påverkar, om plattformen Arduino, grundläggande programmering utav Arduino samt tekniska data om sensorerna som ska användas.

I nästa steg byggs *proof of concept* då Arduinon kopplas ihop med sensorerna. Utöver att Arduinon programmeras för att fungera med varje enskild sensor, ska data kunna loggas med dator. Småskaliga tester görs för att verifiera att konceptet fungerar.

I det tredje steget utförs ett experiment där sensorerna installeras vid en dörröppning som försökspersoner går igenom.

Resultaten från experimentet analyseras och de olika sensorerna jämförs med varandra.

När resultaten analyserats är detta underlag för diskussion ur dels ett tekniskt perspektiv om vilken typ som är lämplig i ett dynamiskt utrymningssystem, men även ur ett riskreducerande perspektiv.

Efter diskussionen formuleras en slutsats där sensorernas lämplighet avgörs med avseende på teknisk prestanda, ekonomi samt riskreducering.

1.7 Avgränsningar

Sensorerna baseras på impulser och använder sig inte av mer avancerade tekniker som exempelvis triangulering med ett flertal sonarsensorer. I studien görs ingen avancerad analys av ljud- och ljusvågornas förändring som exempelvis dopplereffekt. Till experimenten kommer endast färdiga sensorer som är tillgängliga för försäljning till konsument att användas. Beräkandet av antalet människor görs endast för passering genom en dörröppning.

2 Teori

Nedan presenteras teknisk information om hårdvaran, därefter teori om gångbanans bredd och riskhanteringsprocessen.

2.1 Arduino

Arduino är en prototypplattform baserad på lättanvänd mjuk- och hårdvara med öppen källkod. Arduino skapades som ett enkelt verktyg för att snabbt kunna göra prototyper, riktad till studenter utan erfarenhet av elektronik eller programmering. För att skriva och ladda upp kod till Arduinostyrkortet används programmet Arduino IDE. Arduinostyrkort kan läsa elektroniska insignaler från inkopplade sensorer och omvandla det till utsignaler (Arduino, 2016). I Figur 3 nedan visas styrkortsmodellen UNO vilken används i denna studie.

Vid kodning av Arduino består koden av två olika delar. I den första delen anges huvudsakligen ingångsvärden och inställningar. Denna del av koden kommer endast exekveras en gång.

Den andra delen av koden består av en loop. Här finns huvuddelen av koden och här anges hur insignaler avläses, hur de ska behandlas och vad Arduinon tar för beslut. Arduinon läser och utför loopkoden och efter all kod exekverats börjar loopen om från början. Loopkoden fortsätter att läsas om så länge Arduinon är igång (Smith, 2011).



Figur 3. Arduino UNO. (Johansson, 2016)

2.2 Ultraljudsensorn Sharp HC-SR04

Den första ultraljudsensorn HC-SR04 i Figur 4 fungerar genom att en 10 mikrosekunder lång ultraljudsignal på 40 kHz avges från sändaren. Denna studsar mot objekt inom detektionsområdet och tas därefter emot av mottagaren som omvandlar signalen till en digital elektrisk signal vilket motsvarar tiden det tog mellan sändare och mottagare. Spridningsvinkeln på denna sensor är 15 grader. Avståndet beräknas fram genom att använda tiden det tar för signalen från sändaren till mottagaren och ljudets hastighet i luft. Begränsningar med denna typ av sensor är att det krävs att signalen tillbaka inte dämpats eller förändrats för mycket, samt att det behövs en viss tid mellan varje mätning för att mottagaren inte ska ta upp ekon. Den rekommenderade tiden mellan varje mätning är 50 millisekunder. För bästa resultat med HC-SR04 bör objektet som mäts, ha släta ytor och ytan ska inte vara mindre än $0,5 \text{ m}^2$ (Elec Freaks, 2016). Sensorn kostar idag ungefär 30 kronor (Robotshop, u.d.). Detta är en av de billigare på marknaden vilket innebär att det är intressant att studera dess potential.



Figur 4. Ultraljudssensorn Sharp HC-SR04. (Johansson, 2016)

2.3 Ultraljudsensorn Maxbotix LV-MaxSonar EZ2

Den dyrare ultraljudsensorn EZ2 i Figur 5 fungerar enligt samma princip som HC-SR04 men skickar ultraljudpulser på 42 kHz och har en kalibrerad stråle, vilket innebär att upptäcksområdet har mindre spridningsvinkel. Den har sändare och mottagare i samma hölje vilket gör den mindre än HC-SR04. Tiden mellan varje mätning för denna modell är 50 millisekunder (Maxbotix, 2016). Sensorn kostar idag omkring 200 kronor (Robotshop, u.d.).

Denna sensor valdes för att ha en bättre presterande ultraljudsensor i en högre prisklass.



Figur 5. Ultraljudssensorn Maxbotix LV-MaxSonar EZ2. (Johansson, 2016)

2.4 IR-sensorn Sharp 2Y0A02YK0F

IR-sensorn 2Y0A02YK0F i Figur 6 använder sig av samma princip som de andra sensorerna men istället för att mäta tiden från sändare till mottagare, ger sensorn ut en analog elektrisk signal med högre volt ju närmre ett objekt är. Sensorn använder sig av triangulering mellan sändare, mottagare och objektet vilket gör sensorn svårpåverkad av objektets reflektans eller omgivningens temperatur. En annan skillnad mot ultraljudssensorerna är att denna sensor har obetydlig spridningsvinkel. Tiden för mätningen från det att sensorn aktiveras ligger mellan 29 millisekunder och 48 millisekunder (Sharp, 2016). IR-sensorerna finns idag till ett styckpris på ungefär 100 kronor (Robotshop, u.d.).

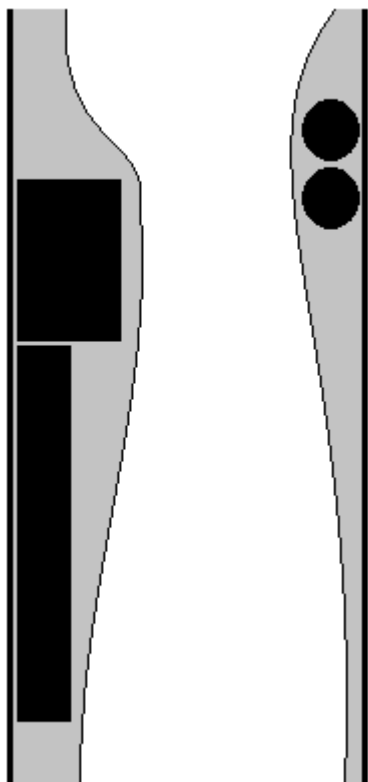
Denna sensor valdes ut för att representera IR-sensortekniken då den har en tillräckligt lång räckvidd, triangulering samt ett pris som passar ändamålet.



Figur 6. IR-sensorn Sharp 2Y0A02YK0F. (Johansson, 2016)

2.5 Gångbanans bredd

Personer som förflyttar sig längs utrymningsvägar i en byggnad utnyttjar inte hela gångbanans fria bredd. Detta beror på att personerna behöver utrymme till väggar och hinder för att kunna svänga på kroppen och hålla balansen när de går. Detta utrymme som inte används kallas i denna studie för svängrum. Den del av gångbanan som personerna utnyttjar kallas effektiv bredd och är mindre än den fria bredden. I Figur 7 nedan illustreras principen för hur den effektiva bredden ändras i en korridor som har olika fasta föremål längs väggarna. Grått område är bredd som inte utnyttjas.



Figur 7. Effektiv bredd i en korridor.

Beroende på vad som finns i utkanten av den fria bredden varierar svängrummet som personerna använder sig av. I Figur 8 nedan visas några vanliga svängrum beroende på vad som finns i utkanten av den fria bredden.

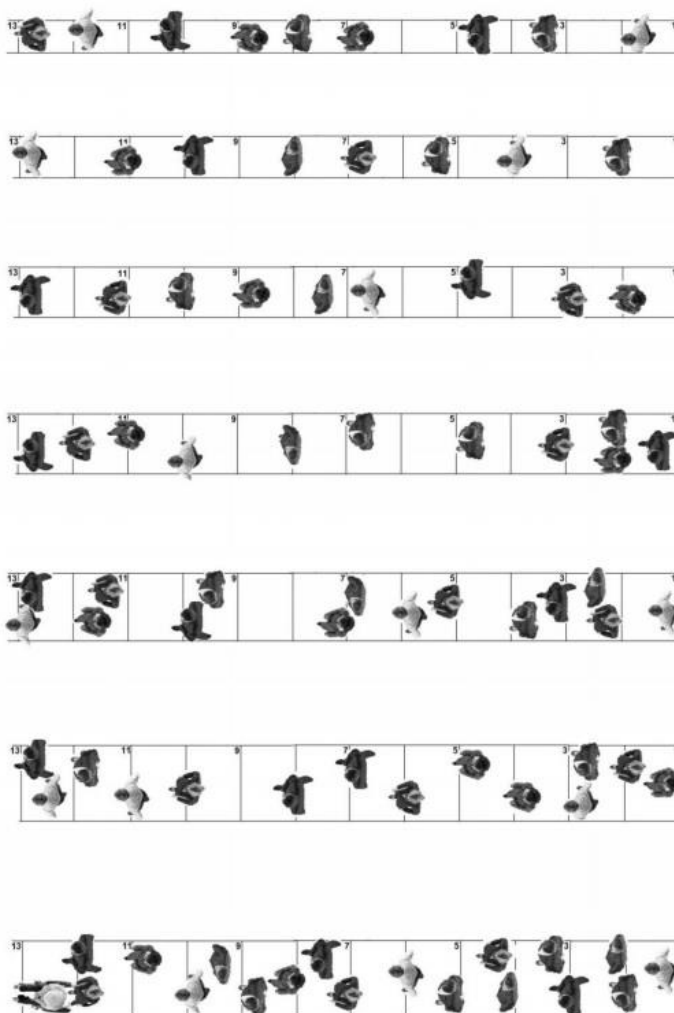
Exit Route Element	Boundary Layer	
	(in.)	(cm)
Stairways—wall or side of tread	6	15
Railings, handrails ^a	3.5	9
Theater chairs, stadium benches	0	0
Corridor, ramp walls	8	20
Obstacles	4	10
Wide concourses, passageways	<18	46
Door, archways	6	15

^aWhere handrails are present, use the value if it results in a lesser effective width.

Figur 8. Svängrum för effektiv bredd (Nelson & Mowrer, 2002).

Dörrar som öppnas mekaniskt kan antas ha en högre effektiv bredd än dörrar som öppnas för hand (Gwynne, et al., 2009).

Figur 9 nedan illustrerar hur personer förflyttar sig beroende på gångbanans bredd. Vid en smal gångbana går personerna på ett led, men när gångbanan vidgas förskjuts personerna i sidled och till slut kan de även börja gå bredvid varandra. I figuren nedan går försöksdeltagarna på en plattform med en vägg på ena sidan. I Figur 9 nedan går personerna bredvid varandra från det fjärde exemplet. Den effektiva bredden var då 85 cm (Ahlfont & Lundström, 2012).



Figur 9. Exempel på gångformationer vid olika breda gångbanor. (Ahlfont & Lundström, 2012).

2.6 Risk

Risk kan ha olika definitioner beroende på tolkning och användning och därför är det viktigt med en del där olika perspektiv av risk introduceras.

2.6.1 Riskbegreppet

Hur risk uppfattas varierar från person till person. Allmänhetens och experters uppfattning av vad som är en risk samt vilken risk som är störst kan ofta skilja sig åt (Slovic, 2001; Renn, 1998; Garrick, 1998). Riskperception är hur personer upplever, känner till, värderar och i någon mån hanterar olika typer av risker (MSB, 2003).

Risk består av en kombination av sannolikhet och konsekvens av möjliga framtida händelser (Hassel, 2014).

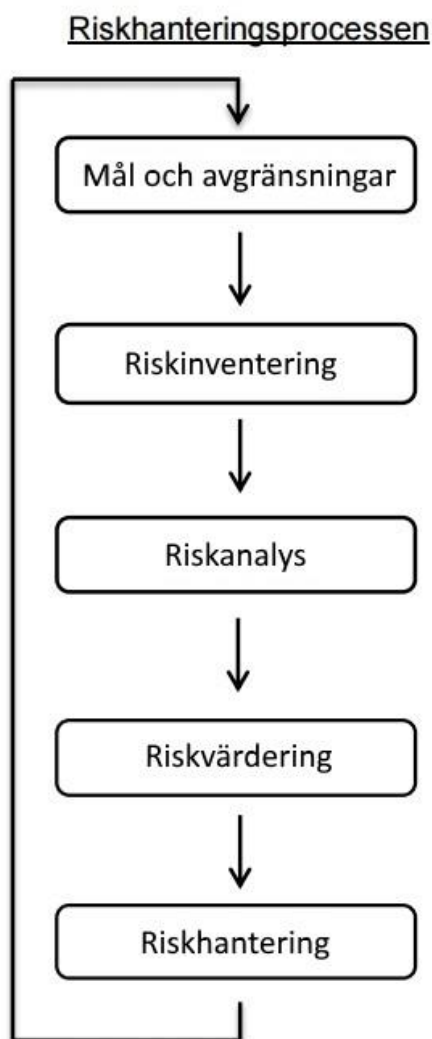
En definition av risk är svaret på nedan tre följande frågorna

- Vad kan hända?
- Hur troligt är det?
- Vad blir konsekvenserna?

Dessa tre frågor kallas för risktrippletten och kan användas för att kartlägga risker (Hassel, 2014).

2.6.2 Riskhanteringsprocessen

Riskhanteringsprocessen är en kedja som består av flera steg vilket illustreras i Figur 10 nedan.



Figur 10. Riskhanteringsprocessen (ISO 31000:2009).

I det första steget definieras mål och avgränsningar. Kriterier för tillåten storlek på riskerna, tidsgränser, och vilka risker som ska beaktas bör definieras här.

I det andra steget sker en identifiering av riskerna. Detta ligger till grund för vidare analys och de risker som inte identifieras här, analyseras inte vidare.

Det tredje steget är en riskanalys där de risker som tidigare identifierats analyseras. Sannolikheter och konsekvenser för olika risker bedöms kvalitativt eller kvantitativt. I en kvalitativ analys görs bedömningar baserat på erfarenhet och relativa termer som låg och hög. I en kvantitativ analys används tal på exempelvis frekvenser och

konsekvenser ifrån tidigare olyckor. Riskerna kan därefter presenteras så det är möjligt att rangordna de olika scenariernas risker. Riskanalysen kan ofta behandla både individrisk och samhällsrisk. Individrisk syftar vanligtvis till risken för en enskild individ att omkomma per år. Individrisken ger för en enskild individ ett mått på hur stor risken är att exempelvis bo i närheten av en processteknisk anläggning. Individrisken säger ingenting om hur stor risken och/eller konsekvensen är för samhället. För att få en bild över hur samhället påverkas används samhällsrisk vilket är risken för att någon i samhället drabbas av en olycka. Samhällsrisk visar även hur stor konsekvensen av olyckan blir, exempelvis hur många som kan omkomma. Detta kan uttryckas med sambandet mellan frekvens för en händelse och antalet omkomna då den sker samt med FN-kurvor vilket visar sambandet mellan antalet omkomna och den frekvens som en olycka sker med. Genom riskanalysen skapas alltså ett mått på risken som exempelvis en verksamhet medför (MSB, 2003).

I det fjärde steget av riskhanteringsprocessen sker en värdering av riskerna. När värderingarna sker vägs nyttan av verksamheten som ger upphov till risken in. Hur individer och samhället upplever en risk behöver inte stämma med verkligheten och bör tas med i riskvärderingen. När riskvärderingen görs kan detta ske på individnivå, organisationsnivå eller samhällsnivå. Riskvärderingen kan vara komplicerad då mindre olyckor med en hög frekvens jämförs med allvarliga olyckor med låg frekvens. För att underlätta denna värdering kan riskkriterier användas.

Riskkriterierna har en stor betydelse för att resultatet från riskanalysen korrekt förmedlas till beslutsfattare och allmänhet. Förmedlas informationen inte korrekt kan deras riskperception baseras på felaktig information. Det är viktigt att kriteriernas tillämpning och utformning är likadan hos politiker, myndigheter etc. och därför finns några allmänna utgångspunkter för dessa (MSB, 2003).

Rimlighetsprincipen innebär att då det är rimligt att med tekniska eller ekonomiska medel reducera eller eliminera en risk, ska detta alltid utföras.

Proportionalitetsprincipen innebär att en verksamhets totala risker inte bör vara oproportionerligt stora jämfört med dess nytta.

Fördelningsprincipen innebär att de risker enskilda grupper eller personer utsätts för från verksamheten inte bör vara oproportionerligt stora i förhållande till fördelarna för dem.

Principen om undvikande av katastrofer innebär att de olyckor som sker hellre bör vara från en risk med låg konsekvens än en risk med stora konsekvenser. Det innebär att samhället hellre vill att olyckor som går att hantera med tillgängliga räddningsresurser inträffar än stora katastrofer (MSB, 2003).

Definitionen av en stor olycka är en allvarlig händelse där tillgängliga resurser är otillräckliga i förhållande till det akuta behovet, men där det genom omfördelning av resurser och förändrad teknik är möjligt att upprätthålla normala kvalitetskrav. Skillnaden mellan en stor olycka och en katastrof är att belastningen är så hög att normala kvalitetskrav trots adekvata åtgärder inte längre kan upprätthållas (Socialstyrelsen, u.d.).

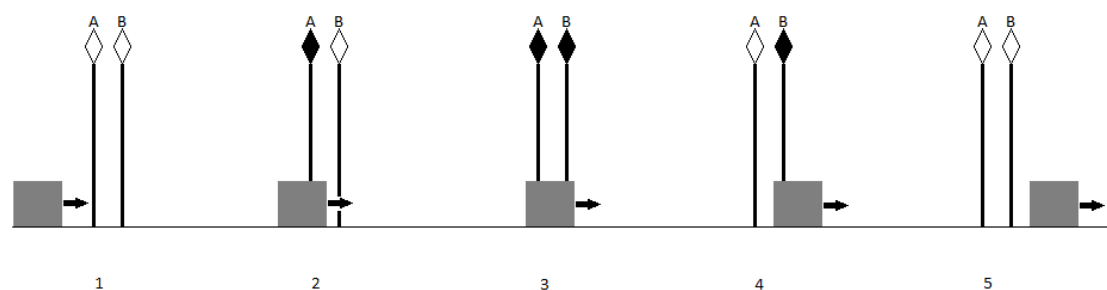
I det femte steget behandlas riskerna och riskreducerande åtgärder genomförs. En uppföljning för att utvärdera om åtgärderna haft effekt bör genomföras och kontrollera om nya risker tillkommit eller om förhållandena kring verksamheten förändrats. Efter riskhanteringen börjar därför riskhanteringsprocessen om från början. Återkoppling och värdering är viktiga moment i riskhanteringsprocessen och bör göras kontinuerligt under och efter arbetets gång (MSB, 2003).

3 Proof of concept

I det här kapitlet redogörs hur sensorerna konceptuellt fungerar och hur författarna skapat programmet för att styra sensorerna. Därefter beskrivs de första testen i mindre skala och sedan beräkningar för sensorernas placering.

3.1 Koncept

För att bedöma vilken riktning ett objekt rör sig i behövs två sensorer som aktiveras och avaktiveras i en viss ordning vilket exemplifieras i fem olika steg i Figur 11. I exemplet förflyttas ett objekt i form av en grå låda från vänster till höger. När en sensor registrerar objektet under sig aktiveras den vilket illustreras genom att sensorn byter färg från vit till svart. Sensorn är endast aktiverad så länge den känner av ett objekt under den. För att sensorerna ska aktiveras i den turordning som visas i exemplet måste sensorerna hinna läsa av vad som finns under dem minst en gång per steg.



Figur 11. Turordningen för hur sensorerna A och B aktiveras och avaktiveras.

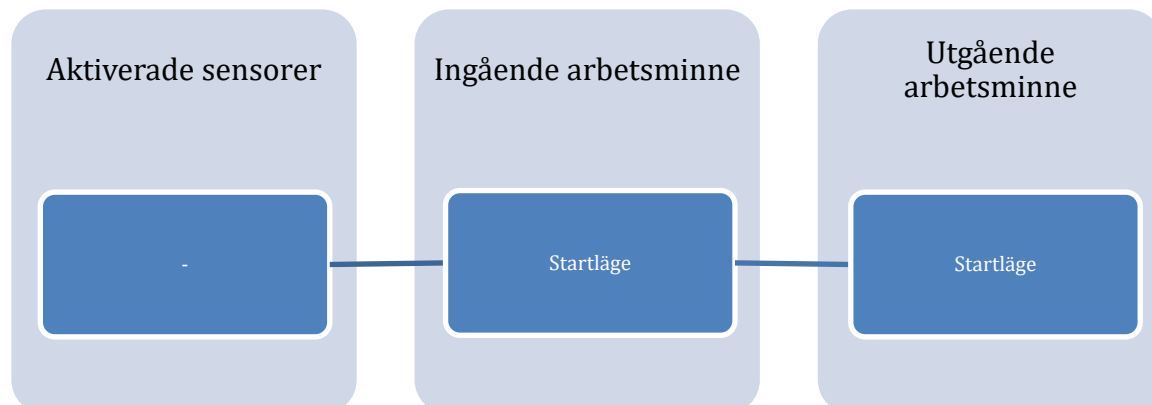
3.2 Programmering av Arduino

Oavsett vilken sensorteknik som används i exemplet ovan måste Arduinon programmeras så att en passering registreras när ett objekt rör sig som i exemplet ovan. Eftersom kunskap om programmering av Arduino saknades, utfördes inledningsvis enklare programmering för nybörjare. Uppgifter från Intro to Arduino gjordes för inläring av den mest grundläggande programmeringen. Uppgifterna i boken börjar med grunderna och lägger till nya kommandon för varje ny uppgift. När tillräcklig kunskap lärts in funktionstestades HC-SR04 sensorn med exempelkod. Efter att sensorerna funktionstestats modifierades koden så att två sensorer kunde kopplas in samtidigt till en Arduino. När det fungerade skrevs en grundkod som används till samtliga sensortyper. Grundkodens funktion beskrivs nedan och det enda som ändras i den är mindre anpassningar för den sensortyp som för tillfället används.

För att grundkoden ska klara av att registrera ett objekt som passerar sensorerna enligt de fem olika stegen i Figur 11 måste grundkoden hantera de fyra olika kombinationerna som de två sensorerna kan vara aktiverade på. De fyra kombinationerna är att ingen sensor är aktiverad, endast sensor A är aktiverad, både sensor A och B är aktiverade och slutligen att endast sensor B är aktiverad.

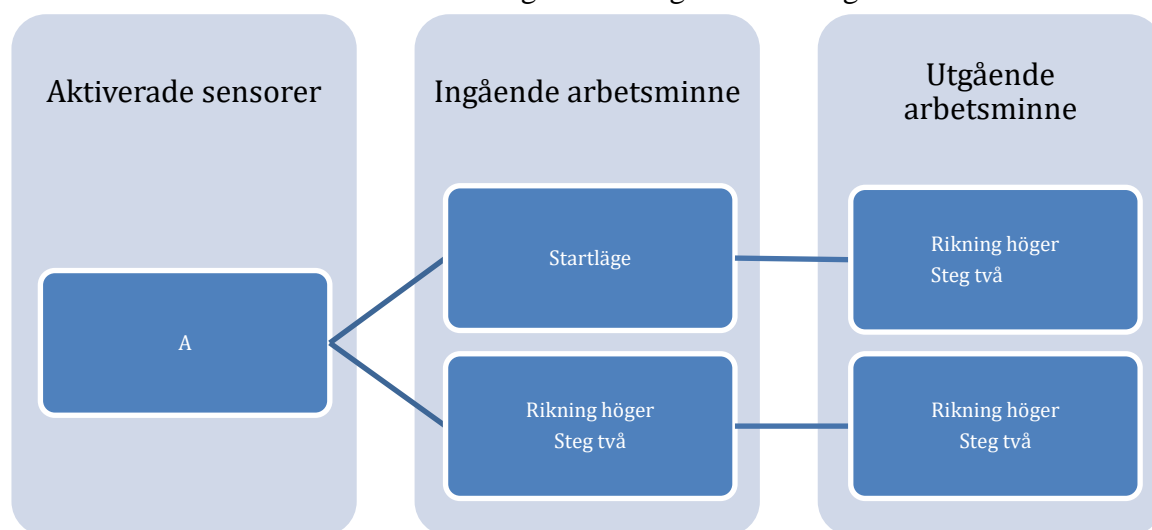
För att beskriva hur programmet kodats används exemplet från Figur 11 om inte annat anges.

I steg ett när programmet startar är programmet i startläge då programmet väntar på att en av sensorerna ska aktivera. Så länge ingen sensor aktiverats fortsätter programmet ställa in sig i startläge vilket visas i Figur 12 nedan.



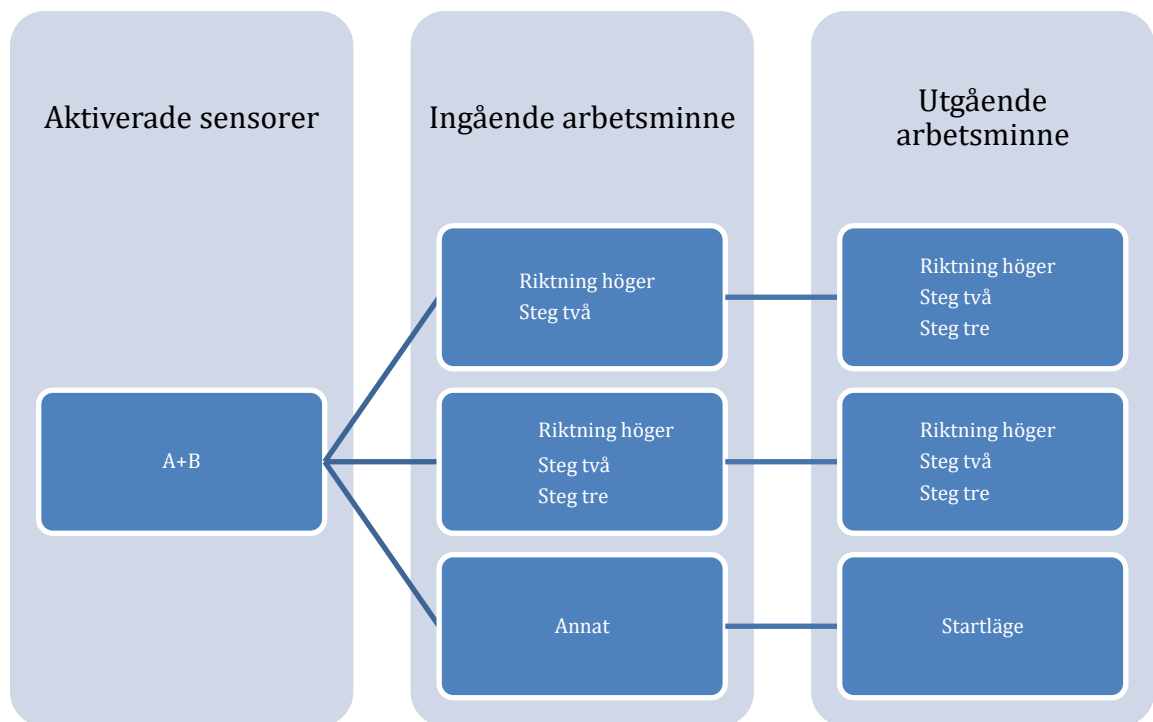
Figur 12. Programmets åtgärder då ingen sensor är aktiverad enligt steg ett.

Figur 13 nedan visar hur programmet fungerar då endast sensor A är aktiverad enligt steg två. När steg ett övergår till steg två och endast sensor A aktiverad sparas det i arbetsminnet att objektet rör sig mot höger samt att steg två har inträffat. Om endast sensor A är aktiverad vid nästa avläsning blir det ingen förändring av arbetsminnet.



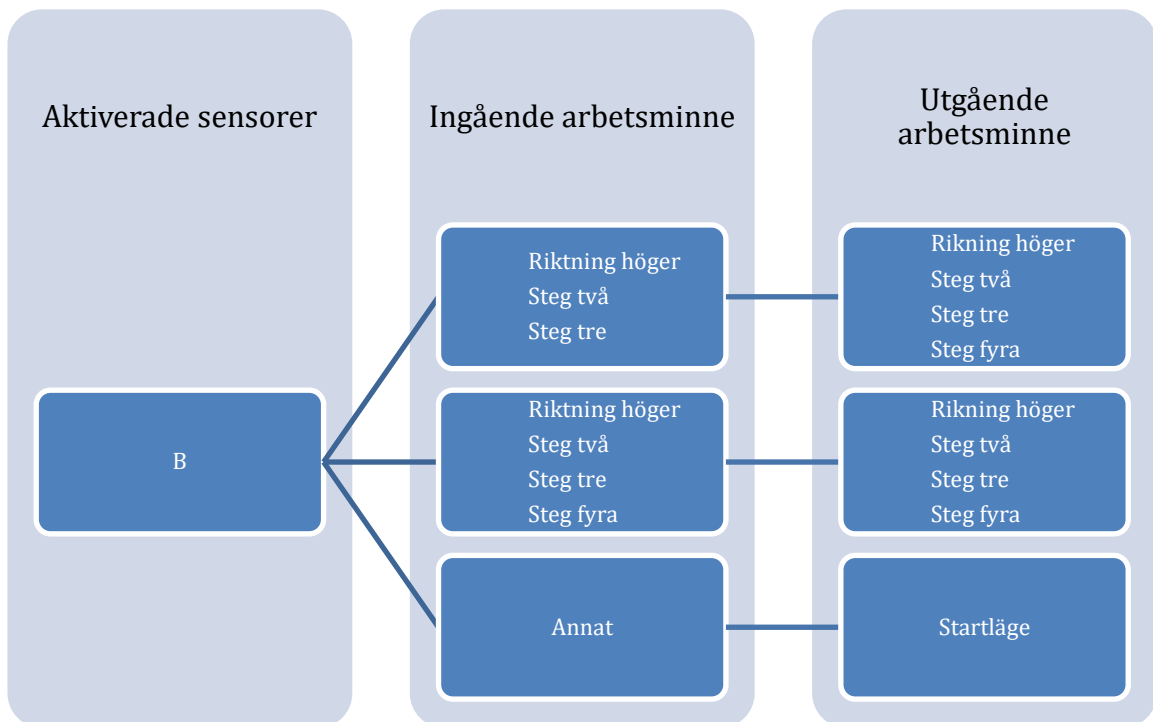
Figur 13. Programmets åtgärder då endast sensor A är aktiverad.

Figur 14 nedan visar hur programmet fungerar när både sensor A och B är aktiverade enligt steg tre. När objektet förflyttats så att det befinner sig i steg tre och både sensorer A och B är aktiverade kontrollerar programmet med arbetsminnet om objektet rör sig mot höger och om steg två är sparad. Om så är fallet, sparas det i arbetsminnet att även steg tre har inträffat. Om båda sensorerna är aktiverade vid nästa avläsning sker ingen förändring av arbetsminnet.



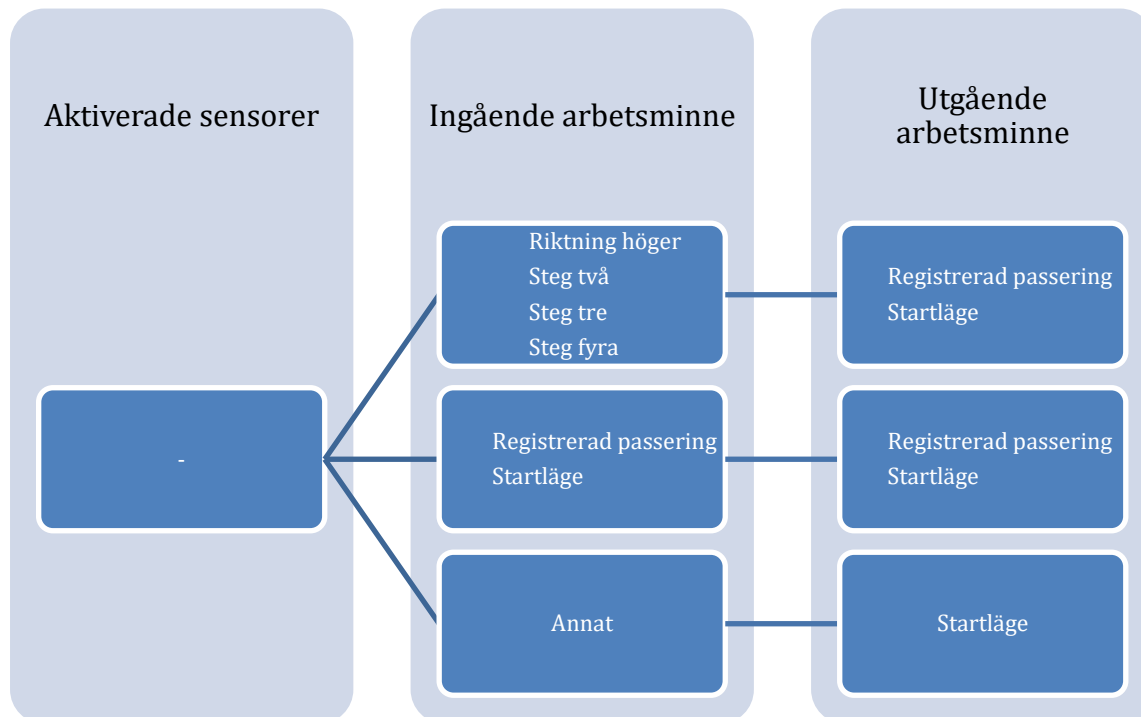
Figur 14. Programmets åtgärder då både sensor A och B är aktiverade.

Figur 15 nedan visar programmets åtgärder när objektet förflyttats ytterligare så att endast sensor B är aktiverad enligt steg fyra. Om sensor B är aktiverad även vid nästa avläsning sker ingen förändring av arbetsminnet.



Figur 15. Programmets åtgärder då endast sensor B är aktiverad.

Figur 16 nedan visar programmets åtgärder när objektet förflyttats så att ingen av sensorerna är aktiverade enligt steg fem. Om steg två, tre och fyra samt riktningen höger är sparad i arbetsminnet utan att någon sensor är aktiverad, sparas en passering i arbetsminnet innan det totala antalet passeringar rapporteras genom USB-porten. Därefter töms arbetsminnet på all information förutom det totala antalet passeringar innan programmet ställer sig i startläge.



Figur 16. Programmets åtgärder då ingen sensor är aktiverad enligt steg fem.

Robusthet byggdes in i programmet för de fall sensorerna inte aktiveras i en optimal turordning på grund av exempelvis svängande armar eller störningar hos sensorerna som kan leda till felaktig aktivering eller att en sensor avaktiveras. Det fungerar genom att programmet kan backa steg i de fall sensoraktiveringen går från exempelvis steg fyra till steg tre enligt Figur 11, utan att gå helt tillbaka till startläget. I det fallet skulle arbetsminnet radera att steg fyra inträffat. Eftersom det krävs att sensorerna aktiveras i korrekt turordning och arbetsminnet töms när ingen av sensorerna är aktiverade, blir det svårt för programmet att registrera fler objekt än vad som faktiskt passerar under sensorerna.

Under tiden programmet utvecklades var utformningen av experimentet inte bestämt. Därför kodades programmet till att även klara av objekt som förflyttas i motsatt riktning. Om ett objekt rör sig i motsatt riktning jämfört med Figur 11 kommer programmets startläge brytas av att endast sensor B är aktiverad. Det innebär att i exempelvis Figur 15 under ingående minne är startläge utbrutet från annat. Programmet kan med andra ord utföra åtgärder för fyra olika ingående arbetsminnen i Figur 15. I det fjärde utgående arbetsminnesvarianten sparas steg fyra samt att objektet inte rör sig mot höger i arbetsminnet. Därefter kontrollerar programmet de olika stegen baklänges vilket exempelvis innebär att steg fyra måste ha inträffat innan steg tre. När ett objekt registrerats i motsatt riktning registreras passeringen negativt. Det som rapporteras genom USB-porten till datorn är därför nettoflödet i en bestämd riktning.

När grundkodningen var klar gjordes modifieringar av exempelkod som finns till kvarvarande sensorer. Exempelkoderna modifierades så istället för att sensorn rapporterar ett avstånd rapporteras det om ett objekt finns inom ett visst avstånd, eller om det inte gör det.

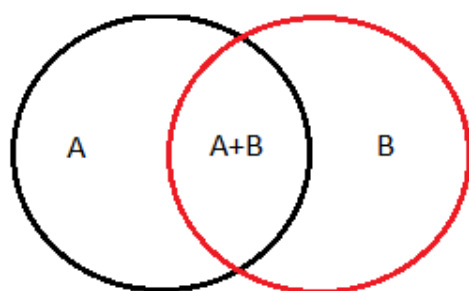
3.3 Beräkningar

För att bestämma hur sensorerna placeras för att registrera passerande objekt utfördes beräkningar för olika parametrar. I nedanstående beräkningar antas det att objektet som passerar sensorerna gör det i en rät linje mellan de två sensorerna enligt Figur 11. De parametrar som påverkar minsta monteringsavstånd mellan sensorerna A och B är tiden mellan varje avläsning, gånghastigheten, avståndet som sensorn mäter och sensortypens spridningsvinkel.

För att räkna ut ett minsta avstånd mellan sensor A och sensor B används Ekvation 1 där v_{person} är gånghastighet och t_{loop} är tiden mellan varje avläsning. Om sensorerna placeras närmare varandra än X_{min} ökar sannolikheten att något steg i Figur 11 inte hinner läsas av vilket medför misslyckad registrering av ett passerande objekt.

$$X_{min} = v_{person} * t_{loop} \quad \text{Ekvation 1}$$

För att beräkna ett maximalt avstånd mellan sensorer A och sensor B studeras steg tre i Figur 11 vilket innebär att objektet måste befinna sig i båda sensorernas detektionsområde under minst en avläsning. Objektet behöver inte vara rakt under en sensor för att den ska aktivera utan objektet kan vara förskjutet ända upp till sensorns spridningsvinkel vilket visas i Figur 17 nedan. Figuren visar båda sensorernas spridningsvinkel projicerad på det horisontella plan som är i höjd med sensorernas längsta mätavstånd. Objekt inom svart cirkel detekteras av sensor A och objekt inom röd cirkel detekteras av sensor B. Objekt som detekteras av båda sensorerna befinner sig i cirkelarnas överlappning.



Figur 17. Principskiss på detektionsområdet under sensorerna A och B.

Sensortypernas spridningsvinkel ökar det horisontella detektionsområdet när sensorernas mätavstånd i ökas. Sensorernas detektionsområde måste vara fritt när det inte är ett objekt i vägen vilket innebär att diametern på varje sensors horisontella detektionsområde inte får överstiga dörröppningens bredd. Den billigaste ultraljudssensorn hade högst spridningsvinkel varför en beräkning i Bilaga C gjordes för att säkerställa att den gick att använda utan detektionsområdet överskred dörrbredden.

Om ett objekts längd, i förflyttningens riktning är kort, så är X_{min} minsta längd i förflyttningens riktning på området A+B i Figur 17. Ju längre ett passerande objekt är, ju längre avstånd är det möjligt att ha mellan sensor A och B. Det maximala avståndet mellan sensorerna X_{max} , beräknas med Ekvation 2 nedan där r är radien för respektive sensors mätområde och ℓ är objektets längd i förflyttningens riktning.

$$X_{max} = r_A + r_B - X_{min} + \ell \quad \text{Ekvation 2}$$

När ett objekt har passerat måste det vara fritt under sensorerna i en avläsning innan nästa objekt kan räknas. Det kortaste avståndet mellan varje objekt σ beräknas med Ekvation 3 nedan. r_A och r_B är knutna till vilka sensorer som används vilket gör att avståndet mellan sensorerna är den enda variabeln för att minska avståndet mellan varje objekt som ska räknas.

$$\sigma = r_A + r_B + X \quad \text{Ekvation 3}$$

3.4 Funktionstester

När grundkoden var färdigställd kopplades sensorerna till Arduinon med en kopplingsplatta avsedd för snabbkoppling av komponenter vid prototypbyggning. Sensorn HC-SR04 och kod testades genom att hålla händer över sensorerna i turordningen som visas i Figur 11.

När registreringen fungerade tillfredsställande funktionstestades även IR-sensorn. Denna kopplades in analogt vilket gjorde att det fanns störningar i signalen. Brus av varierande styrka med höga toppar gjorde att den ibland registrerade att sensorn aktiverades trots att det inte fanns ett objekt under den. Bakgrundsbruset minskades genom att en resistor kopplades in. Störningstopparna beror delvis på induktans och därför kopplas kondensatorer in. Topparna försvann inte helt men IR-sensorn fungerade bra då störningarna kunde hållas utanför intervallet som påverkar sensorns aktivering.

EZ2-sensorn levereras utan kopplingspinnar. Dessa var därför tvungna att lödas fast innan sensormodellen gick att använda. När alla tre sensorer fungerade på kopplingsplattan med händer som objekt monterades kopplingsplattan på en träplanka som i sin tur fästs på undersidan av en 80 cm bred dörrkarm inomhus i hemmiljö. Därefter justerades tiden mellan varje sensoravläsning.

Slutligen testades varje sensor genom att läsa av 30 passeringar av författarna, där de hade en gånghastighet på 1 m/s. HC-SR04 klarade endast av att registrera fem passeringar. EZ2 klarade av att registrera 24 medan IR-sensorn klarade av att registrera 28 stycken. Därefter gjordes även ett fåtal funktionstester för att se om sensorerna även registrerade objekt som har annan form än människor. Under dessa funktionstester hade personerna ryggsäck, hjälm, jacka eller bär på en gitarr. Samtliga sensorer presterade likvärdigt som testerna utan extraföremål. Därför togs beslutet att inte använda HC-SR04 under experimentet.

Fördelar med beslutet är att antalet försök halveras eftersom enbart en sensormodell baserad på ultraljud går att använda parallellt med IR modellen under försöken. Detta eftersom de inte stör ut varandra med interferens eller ekon. Dessutom är det en mer rättvis jämförelse mellan de olika sensormodellerna eftersom resultaten kommer från samma försök.

Förutom mätavståndet som sensorerna ska aktivera på är koden identisk med den som används under experimentet.

4 Experiment

I detta kapitel presenteras först hur experimentet utformades och sedan hur experimentet genomfördes.

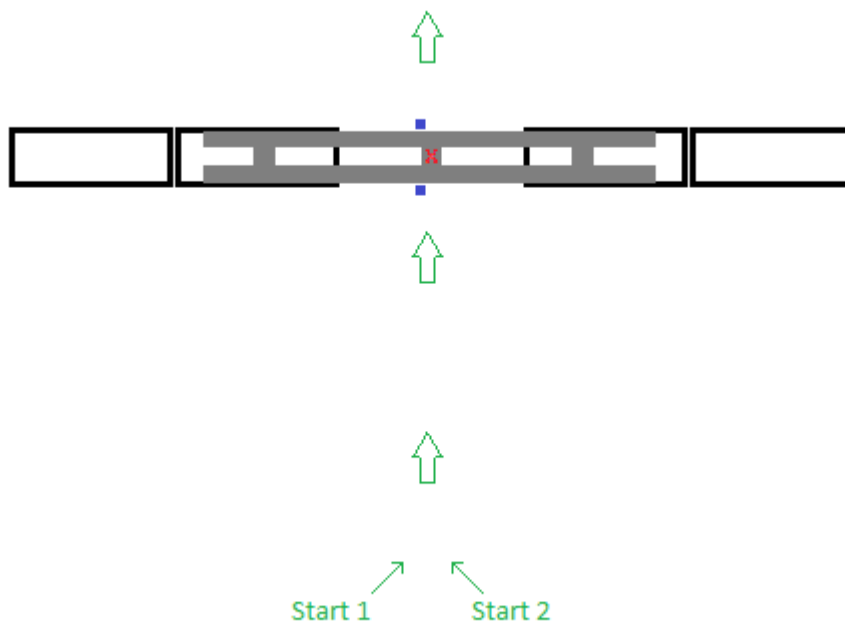
4.1 Försöksdeltagarna

Experimentet använde sig av deltagare och följde etiska riktlinjer som finns sammanställda i Bilaga B - Samtycke till experiment. Försökspersonerna bestod av studenter på LTH som rekryterats via mailutskick till studenter, bekanta som tackat ja till deltagande samt en av författarna som gick sist efter att startintervallen kontrollerats med tidtagarur. Innan deltagarna kunde delta i experimentet fyllde de i en samtyckesblankett som kan ses i Bilaga B - Samtycke till experiment. Totalt deltog sju personer i experimentet. Efter experimentet fick försöksdeltagarna ersättning i form av en biobiljett.

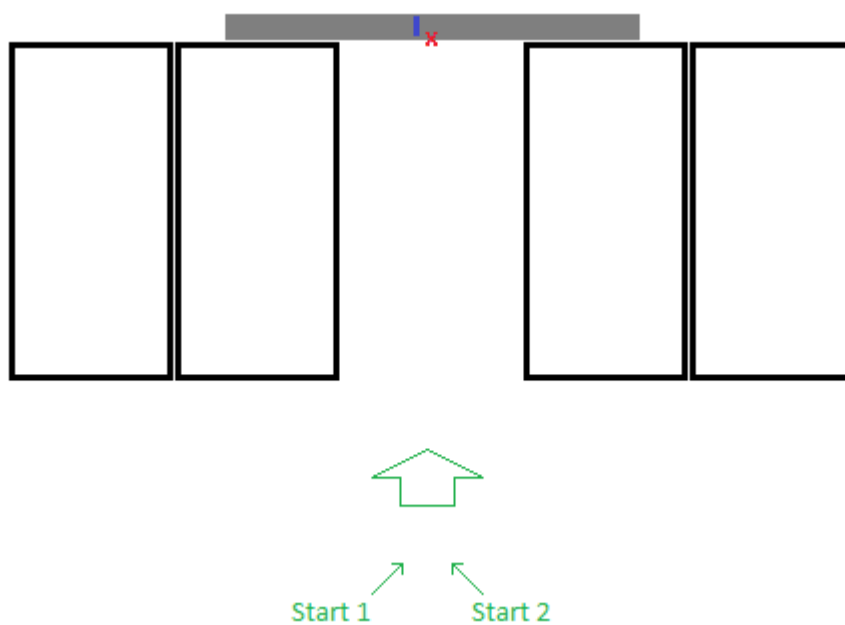
4.2 Försöksuppställning

Experimentet utfördes i V-huset som tillhör Lunds Tekniska Högskola. Väggen med dörröppningen som försökspersonerna passerade genom byggdes upp med fyra skåp med höjden 210 centimeter. Skåpen placerades först med gavlarna mot varandra och dörröppningen skapades genom att de två mittersta högskåpen separerades. Beroende på vilken dörrbredd som önskades så ökades eller minskades avståndet mellan de två mittersta skåpen.

Ställningen som sensorerna monterades på byggdes av aluminiumprofiler. Ställningen kan ses som en horisontell stege där sensorerna placerades på det mittersta steget riktade ner mot golvet. Ställningen med de olika sensorerna lades ovanpå skåpen och två videokameror monterades på ställningen. Videokamerornas syfte var att studera rörelsemönster och eventuella avvikelser i experimentet. I Figur 18 och Figur 19 nedan visas skisser på experimentets utformning ovanifrån samt från deltagarnas startpositioner. Två startpositioner användes för att uppmuntra förskjutningar i rörelsemönstret. I figurerna är det röda krysset sensorernas placering, de blå rektanglarna är kameror och de gröna markeringarna visar hur försöksdeltagarna förflyttar sig under försöken.



Figur 18. Principskiss på experimentuppställningen sett uppifrån.



Figur 19. Experimentuppställningen sett från deltagarnas startposition.

I figurerna visas även hur försöksdeltagarna rörde på sig under försöken. På golvet tejpades markeringar med en meters mellanrum som referenspunkter för videokamerorna. Markeringarna användes även för att träna deltagarna att gå i önskad gånghastighet.

4.2.1 Sensoravstånd

Det beräknade avståndet mellan sensorerna beräknas i Bilaga C - Beräkningar och resultaten presenteras i Tabell 1. Detta är det minsta avstånd som sensorerna hinner läsa av två gånger för varje steg enligt Figur 11. Två avläsningar per steg valdes för att få mer tillförlitliga registreringar.

Tabell 1. Beräknat avstånd mellan sensorerna där två avläsningar hinner ske under varje steg.

Sensortyp (Modell)	Avstånd [cm]
IR (2Y0A02YK0F)	17
Ultraljud (Maxsonar EZ2)	29

4.2.2 Dörrbredd

Experimentet delades upp i tre delexperiment där dörrbredden varierades med 85 cm, 100 cm och 120 cm. Dörrbredden 80 cm är minimimått för en dörr (BBR 5:334, 2015). Myndigheten för delaktighet rekommenderar att dörrar vid nybygge har fritt passagemått minst 84 centimeter för bland annat entrédörrar, korridorörrar samt dörrar till samlingshall, föreläsningssal och mötesrum (Myndigheten för delaktighet, 2015). Även om 80 centimeter är minimimåttet i BBR valdes 85 cm som minsta dörrbredd då det antogs vara svårare för sensorerna att registrera passeringar ju större dörrbredden är.

När personerna går förskjutet bör sensorernas prestanda försämrats. Det är därför intressant att studera sensorernas prestanda där den effektiva dörrbredden medger att personerna kan gå så förskjutet att de har möjlighet att gå bredvid varandra. Eftersom detta sker vid den effektiva bredden 85 cm valdes dörrbredden 100 cm. Detta eftersom 15 cm dras av från dörröppningen enligt Figur 8 ovan för att få den effektiva dörrbredden.

Dörrbredden 120 cm är rekommenderade minsta dörrbredd för utrymningsvägar som ska användas av 150 personer eller mer (BBRAD:3.2.4, 2011). Tre olika dörrbredder undersöks för att se hur den effektiva dörrbredden påverkar sensorernas prestanda. Som illustreras i Figur 19 ovan är det ingen dörr utan endast en öppning. Den effektiva dörrbredden antas därför vara jämförbar med en dörr som öppnas mekaniskt. Det innebär att den effektiva dörrbredden är något större än för vanliga dörrar vilket gav försöksdeltagarna möjligheten att gå mer förskjutet.

4.2.3 Gånghastighet

Vid utrymningsdimensionering användes 1,5 m/s för horisontella plan (BBRAD:3.2.4, 2011). Hastigheten antas vara lägre genom en dörröppning än i ett horisontellt plan. Därför användes både 1,2 m/s och 1,5 m/s för att testa sensorerna.

4.2.4 Specifikt personflöde

Det specifika personflödet anger flödet av personer genom öppningens bredd. Med specifikt personflöde för en given dörrbredd kan medelavståndet mellan de passerande personerna räknas fram. Avståndet mellan personerna i förflyttningens riktning bör vara större än σ från Ekvation 3 för att hinna registrera en passering. Enheten för specifikt personflöde är p/ms (person/meter och sekund).

Vid utrymningsdimensionering för en horisontell yta används 1,2 p/ms . Flödet minskar genom dörrar till mellan 0,75 – 1,1 p/ms (BBRAD:3.2.4, 2011). Mellan dessa personflöden valdes 1,2 p/ms då detta ansågs vara minst optimalt för att registrera passeringar.

För att studera sensorernas prestanda vid sämre förhållanden valdes även ett högre personflöde. Det högre värdet bestämdes utifrån data från experiment av Frantzich, Nilsson och Eriksson där personflödet mättes vid olika breda öppningar. I deras experiment var en av öppningsbredderna mellan 85 och 120 cm. Denna bredd var 90 cm och det uppmätta medelflödet genom öppningen var 1,6 p/ms. var försökspersonerna unga och friska vilket kan ha orsakat ett högre värde (Frantzich, et al., 2007). Ett relevant högt specifikt personflöde att testa anses därmed vara 1,6 p/ms. I undersökningen användes 1,2 p/ms samt 1,6 p/ms för att testa sensorernas kapacitet. Det specifika personflödet varierades genom att bestämma tidsintervallet mellan varje startande deltagare. I Tabell 2 nedan sammanställs den beräknade tiden mellan varje deltagare när de gick från startplatsen.

Tabell 2. Tidsintervall mellan deltagarna för olika dörrbredder då specifikt personflöde är 1,2 p/ms och 1,6 p/ms.

Dörrbredd [cm]	Tid vid 1,2 p/ms [s]	Tid vid 1,6 p/ms [s]
85	1	0,7
100	0,8	0,6
120	0,7	0,5

Med värden från Tabell 2 kan medelavståndet mellan deltagarna beräknas. Medelavstånden presenteras i Tabell 3. Det minsta uträknade personavståndet som respektive sensor bör klara av beräknas i Bilaga C - Beräkningar och presenteras i Tabell 4. Spridningsvinkeln för IR-sensorn antas vara liten medan spridningsvinkeln för EZ2 antas vara 10 grader. När medelavståndet mellan deltagarna är större än minsta uträknade personavstånd bör sensorn teoretiskt klara av att räkna deltagarna.

Tabell 3. Medelavstånd mellan deltagarna för olika dörrbredder då specifikt personflöde är 1,2 p/ms och 1,6 p/ms.

Dörrbredd [cm]	Avstånd vid 1,2 p/ms [m]	Avstånd vid 1,6 p/ms [m]
85	0,8	0,4
100	0,7	0,4
120	0,6	0,3

Tabell 4. Minsta objektavstånd respektive sensor bör klara vid en gånghastighet på 1,5 m/s.

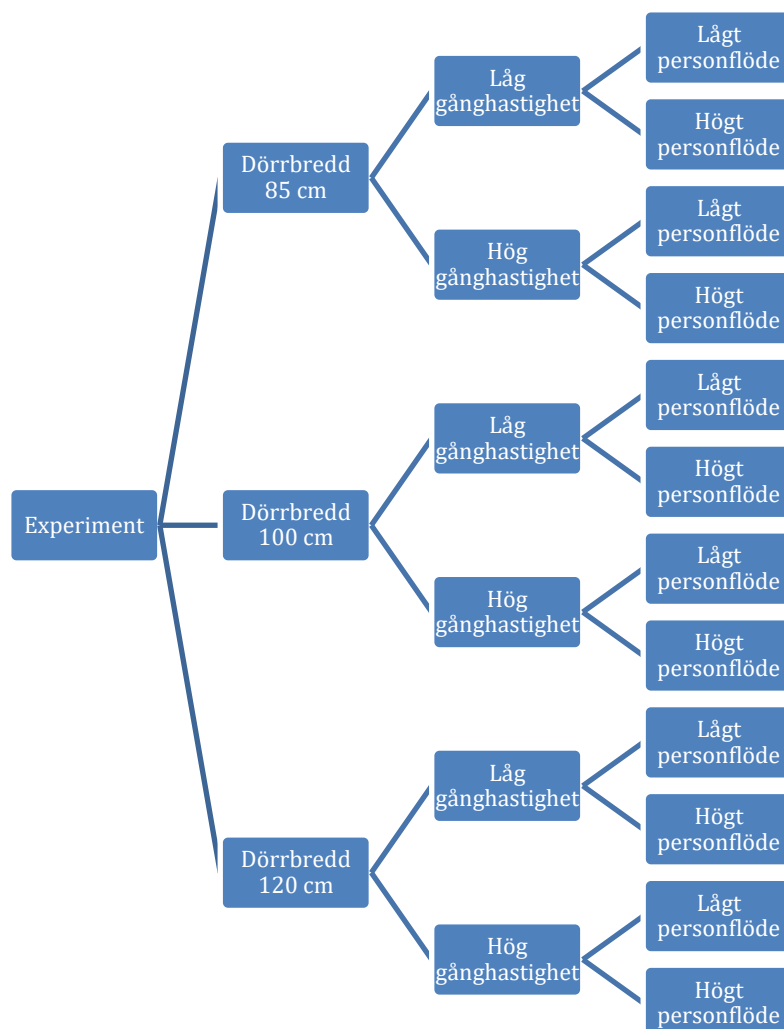
Sensormodell	Minsta uträknade personavstånd [m]
2Y0A02YK0F	0,2
Maxsonar EZ2	0,5

4.2.5 Insamling av data

IR-sensorn användes parallellt med ultraljudssensorn vid varje försök eftersom de inte stör ut varandra. De olika sensortyperna var inkopplade i varsin Arduino. De två Arduinokorten var i sin tur kopplade till en laptop med varsin USB-kabel. När någon av sensortyperna registrerade att en person gått förbi loggades detta av programmet Arduino IDE v. 1.7.10 på en laptop. Data överfördes sedan manuellt till en Excel-fil. Då Arduinokoden som användes gör att sensorerna registrerade inom ett visst längdspektrum kan längden på människor vara en variabel. Majoriteten av vuxna människor i Sverige är över 150 cm långa (Statistiska Centralbyrån, 2011).

4.3 Genomförande

För att testa variablerna dörrbredd, gånghastighet och specifikt personflöde delades experimentet upp i tre delexperiment med olika dörrbredder. För varje delexperiment gjordes fyra försök vilket kan illustreras med ett organisationsschema i Figur 20 nedan. Under de fyra försöken i varje delexperiment testades gånghastigheterna 1,2 och 1,5 m/s med de specifika personflödena 1,2 och 1,6 p/ms.



Figur 20. Organisationsschema för experimentet med dess tre delexperiment då dörrbredden ändras.

4.3.1 Sensorkalibrering och funktionstest

Ställningen placerades på högskåpen 210 cm över golvet men på grund av kopplingsplattor och dubbelhäftande tejp blev sensorernas effektiva placering ungefär 207 cm från golvet. Största avstånd som sensorerna ska registrera på bestämdes till 140 cm från golvet. För att kalibrera sensorerna hölls en wellpapplåda på önskad höjd under sensorerna. Avläst mätvärde för respektive sensor, ställdes in som gränsvärde under experimentet. Det betyder att sensorerna inte reagerade på objekt som var längre bort från sensorn än vad som kalibrerats. Detta var sista justeringen av koden som gjordes vilket presenteras i Bilaga E – Arduinokod 2Y0A02YK0F och Bilaga F – Arduinokod Maxbotix LV-EZ2. Sensorerna placerades alltid i mitten av dörröppningen. Tejpmarkeringarna på golvet som användes som referenspunkter för videokamerorna hade en totallängd på fyra meter. Gångtest med tidtagarur gjordes längs med markeringarna tills de två gånghastigheterna tränats in av författarna. Slutligen gjordes de sista funktionstesten med författarna innan försöksdeltagarna

anlände. För att kontrollera om sensorerna även i försöksuppställningen reagerade på objekt som inte var formade som en människokropp testades om sensorerna klarade av att registrera passeringar med personer som hade ryggsäck på sig, använde ytterkläder, hade en bygghjälm på sig eller när en stadvagn passerade. Sensorerna klarade av att inte registrera dubbelt även i den miljö där försöksuppställningen sker.

4.3.2 Försöksdeltagarnas uppgift

Efter att försöksdeltagarna fått en introduktion om vad experimentet gick ut på övades de två olika hastigheterna. Deltagarna fick inte reda på vilka hastigheter som användes utan de tränades in som låg respektive hög hastighet. Under varje försök gick deltagarna från startpositionen, genom dörröppningen till en samlingsplats cirka tio meter från dörröppningen. När alla nått samlingsplatsen gick alla tillbaka på utsidan av högskåpen tillbaka till startpositionerna. Deltagarna gick sex varv, vilket innebär totalt 42 passeringar per försök. Inför sista delexperimentet avbröt en försöksdeltagare sin medverkan i experimentet och resterande deltagare fick därför passera ett extra varv under efterföljande försök.

4.3.3 Delexperiment

För varje dörrbredd gjordes fyra försök. I det första två försöken för varje dörrbredd instruerades försöksdeltagarna att gå med låg gånghastighet.

I det första försöket för varje dörrbredd startades deltagarna med tidsintervall från Tabell 2 för att nå det specifika personflödet $1,2 p/ms$. I det andra försöket ökades personflödet genom att använda tidsintervallet för $1,6 p/ms$.

I försök tre och fyra gjordes samma sak men försöksdeltagarna instruerades att gå med hög gånghastighet. Detta upprepades för de tre olika dörrbredderna.

4.3.4 Videoanalys

En videoanalys fastställde den genomsnittliga gånghastigheten och det genomsnittliga personflödet. Vid dörrbredden 100 cm saknas video helt för låg gånghastighet, samt de första varven med högt personflöde. Videoanalys för dörrbredden 100 cm har därför inte kunnat genomföras för låg gånghastighet och analys av det lägre personflödet baseras på två varv. Resultatet från videoanalysen presenteras i

Tabell 5 och Tabell 6 nedan. Tabellerna visar det faktiska utfallet av gånghastighet och personflöde. Avvikelsekolumnerna visar den procentuella avvikelsen från målet till utfallet. Det var tre fall som avvek från målet med mer än 15 procent. Dessa var högt personflöde för dörrbredderna 100 och 120 cm samt låg gånghastighet för dörrbredden 120 cm.

Tabell 5. Videoanalys av genomsnittligt specifikt personflöde

Dörrbredd	Lågt specifikt personflöde [p/ms]	Högt specifikt personflöde [p/ms]	Avvikelse lågt [%]	Avvikelse högt [%]
85 cm	1,15	1,48	-4	-8
100 cm	1,22	1,32	2	-21
120 cm	1,12	1,24	-7	-29

Tabell 6. Videoanalys av genomsnittlig gånghastighet

Dörrbredd	Låg gånghastighet [m/s]	Hög gånghastighet [m/s]	Avvikelse låg [%]	Avvikelse hög [%]
85 cm	1,25	1,63	4	8
100 cm	-	1,59	-	6
120 cm	1,47	1,75	18	14

5 Resultat

I detta kapitel presenteras resultatet från experimentet med de två sensormodellerna. Resultaten presenteras uppdelat efter dörrbredd. Utifrån videoanalysens resultat byts faktiska värden ut mot lågt respektive högt för specifikt personflöde och gånghastighet. I slutet av kapitlet visas även statistiska beräkningar som görs för att se om det finns en signifikant skillnad mellan de två sensormodellerna.

5.1 Dörrbredden 85 cm

Resultaten nedan baseras på 42 passager per försök. Sju deltagare passerade dörröppningen sex gånger var. I Figur 21 nedan illustreras ett av försöken med 85 centimeters dörrbredd. I bilden går försökspersonerna i en förhållandevis rak linje under försöket. Det är relativt långa avstånd mellan försökspersonerna under delexperimentet.



Figur 21. Vid 85 centimeters dörrbredd går deltagarna centrerat på linje.

Lyckade registreringar i antal och procent redovisas i Tabell 7 och Tabell 8 nedan. I tabellerna står IR för IR-sensorerna och EZ2 för ultraljudsensorn från Maxbotix. I tabellerna syns att högre gånghastighet påverkar EZ2 betydligt mer än vad det påverkar IR-sensorerna. I samtliga försök klarar IR-sensorerna av att registrera omkring 90 procent av passeringarna.

Tabell 7. Registreringar under delexperimentet med dörrbredd 85 cm.

Låg gånghastighet				
Specifikt personflöde	Lågt		Högt	
Sensortyp	IR	EZ2	IR	EZ2
Antal passeringar	42	42	42	42
Antal registrerade	40	31	38	24
Procent	95	74	90	57

Tabell 8. Registreringar under delexperimentet med dörrbredd 85 cm.

Hög gånghastighet				
Specifikt personflöde	Lågt		Högt	
Sensortyp	IR	EZ2	IR	EZ2
Antal passeringar	42	42	42	42
Antal registrerade	40	14	37	15
Procent	95	33	88	36

Mer detaljerat resultat finns i Tabell 18 i Bilaga I.

5.2 Dörrbredden 100 cm

Resultaten nedan baseras på 42 passager per försök. Sju deltagare passerade dörröppningen sex gånger var. I Figur 22 nedan illustreras ett försök med dörrbredd 100 cm där det syns att försökspersonerna går mer förskjutet åt sidan än vid 85 cm dörrbredd. Försökspersonerna går samtidigt närmare varandra jämfört med 85 cm dörrbredden.



Figur 22. Med dörrbredden 100 centimeter finns utrymme för deltagarna att gå mer förskjutet.

Lyckade registreringar i antal och procent redovisas i Tabell 9 och Tabell 10 nedan. Ultraljudssensorerna klarar av att registrera ungefär hälften eller mer medan IR-sensorerna klarar av mer än 80 procent. I tabellerna syns att i försöket med låg gånghastighet och lågt personflöde presterar IR-sensorerna sämre än de gör när antingen gånghastighet eller personflödet höjs. Vid djupare analys framkom det att en stor del av de misslyckade registreringarna skedde under ett varv.

Ultraljudssensorerna minskar antalet registreringar när gånghastigheten, det specifika personflödet eller båda två ökar. I samtliga försök har IR-sensorerna fler lyckade registreringar än vad ultraljudssensorerna har.

Tabell 9. Registreringar under delexperimentet med dörrbredd 100 cm.

Låg gånghastighet				
Specifikt personflöde	Lågt		Högt	
Sensortyp	IR	EZ2	IR	EZ2
Antal passeringar	42	42	42	42
Antal registrerade	34	26	35	23
Procent	81	62	83	55

Tabell 10. Registreringar under delexperimentet med dörrbredd 100 cm.

Hög gånghastighet				
Specifikt personflöde	Lågt		Högt	
Sensortyp	IR	EZ2	IR	EZ2
Antal passeringar	42	42	42	42
Antal registrerade	38	20	36	21
Procent	90	48	86	50

Mer detaljerat resultat finns i Tabell 19 i Bilaga I

5.3 Dörrbredden 120 cm

Resultaten nedan baseras på 42 passager per försök. Då en deltagare avbröt sin medverkan fick övriga sex deltagare passera dörröppningen sju gånger var. I Figur 23 nedan illustreras försök med 120 cm dörrbredd och där syns det att försökspersonerna går ännu mer förskjutet än vad de gjorde vid 100 cm dörröppningen. De går även här närmare varandra än vad de gjorde i försöken med 100 cm dörröppningen.



Figur 23. Deltagarna går förskjutet när dörrbredden ökas till 120 centimeter.

Lyckade registreringar i antal och procent redovisas i Tabell 11 och Tabell 12 nedan. När nedanstående tabeller jämförs med föregående tabeller syns att båda sensortyperna missar många fler registreringar. IR-sensorn registrerar omkring hälften av passeringarna medan ultraljudssensorn vid hög gånghastighet endast klarar av att registrera var tredje.

Tabell 11. Registreringar under delexperimentet med dörrbredd 120 cm.

Låg gånghastighet				
Specifikt personflöde	Lågt		Högt	
Sensortyp	IR	EZ2	IR	EZ2
Antal passeringar	42	42	42	42
Antal registrerade	25	25	22	18
Procent	60	60	52	43

Tabell 12. Registreringar under delexperimentet med dörrbredd 120 cm.

Hög gånghastighet				
Specifikt personflöde	Lågt		Högt	
Sensortyp	IR	EZ2	IR	EZ2
Antal passeringar	42	42	42	42
Antal registrerade	27	14	18	14
Procent	64	33	43	33

Mer detaljerat resultat finns i Tabell 20 i Bilaga I

5.4 Signifikanta skillnader

Eftersom ingen av sensorerna lyckades räkna mer än 64 procent av passagerarna när dörrbredden översteg 120 cm, genomförs inga statistiska beräkningar på den dörrbreddens resultat då de var för dåliga. För att kontrollera om det finns en signifikant prestandaskillnad mellan sensorerna vid övriga dörrbredder används Fishers exakta test. Beskrivning av Fishers exakta test och hur det används finns i Bilaga C.

De två hypoteserna H_0 och H_1 ställs mot varandra och de presenteras nedan.

H_0 : Det är inte någon signifikant prestandaskillnad mellan sensorerna.

H_1 : Det är en signifikant skillnad i prestanda mellan sensorerna

Nivån för att förkasta nollhypotesen har valts till 0,05. Det innebär att när p-värdet är mindre än 0,05 är det mindre än 5 procents sannolikhet att H_0 stämmer. I de fallen nollhypotesen kan förkastas är p-värdena rödmarkerade och grönmarkerade ifall nollhypotesen inte kan förkastas. I Tabell 13 nedan redovisas resultaten. Värdena under respektive sensor är antalet misslyckade registreringar. Resultaten visar att IR-sensorn är signifikant bättre än EZ2 i alla försök förutom ett. Det försöket är det första delexperimentet med 100 cm dörrbredd. Vid mer detaljerad analys av resultatet från detta försök upptäcktes det att tre av totalt 8 misslyckade registreringar skedde under sista varvet. Detta är nästan hälften av totala antalet misslyckade registreringarna under det försöket. Eftersom det saknas videoupptagning under försöket saknas möjlighet att presentera vad som skiljer detta varv från de övriga. I Tabell 19 i Bilaga I - Resultatsammanställning presenteras antalet misslyckade registreringar för de enskilda varven.

Tabell 13. Signifikanta prestandaskillnader mellan sensorerna för de olika försöken

Försöksbeskrivning	IR	EZ2	p-värde
85 cm, låg hastighet, lågt personflöde	2	11	0,0133
85 cm, låg hastighet, högt personflöde	4	18	0,001
85 cm, hög hastighet, lågt personflöde	2	28	0,0001
85 cm, hög hastighet, högt personflöde	5	27	0,0001
100 cm, låg hastighet, lågt personflöde	8	16	0,0898
100 cm, låg hastighet, högt personflöde	7	19	0,0087
100 cm, hög hastighet, lågt personflöde	4	22	0,0001
100 cm, hög hastighet, högt personflöde	6	21	0,0009

6 Diskussion

Nedan diskuteras vad resultaten från experimentet betyder för sensorernas roll i ett DCM-system och avslutningsvis om sensorerna bedöms kunna minska risken.

6.1 Sensorprestanda i ett DCM-system

Med en dörrbredd på 85 cm klarade IR-sensorerna av att räkna de passerande deltagarna med en genomsnittlig tillförlitlighet på 92 procent. Prestandan var signifikant bättre jämfört med ultraljudsensorn. Med dörrbredden 100 cm, låg gånghastighet och lågt specifikt personflöde var skillnaden inte signifikant. Under de första fem varven under detta försök missade IR-sensorerna fem passeringar. Sista varvet missades tre stycken. Det betyder att något hände under sista varvet vilket gjorde att en stor del av de misslyckade registreringarna skedde då. Dessvärre fungerade inte videokamerorna under detta försök vilket betyder att vi inte vet anledningen till resultatet under sista varvet. Eftersom högre gånghastighet och personflöde teoretiskt har negativ inverkan på sensorernas prestanda borde det senare försöken registrera färre passeringar. Så är inte fallet med 100 cm dörrbredd, men kan förklaras av att någon enstaka misslyckad registrering har relativt stor procentuell påverkan av andelen misslyckade registreringar. Detta eftersom antalet misslyckade registreringar totalt sett är få. Avsaknaden av en signifikant skillnad mellan sensorerna bör vara en statistisk avvikelse. I sådana fall har IR-sensorn en potential som ligger över resultaten för försöken då gånghastighet eller personflöde ökas. I övriga försök på dörrbredden var det en signifikant skillnad mellan sensortyperna till IR-sensors fördel. Bortsett från den eventuella avvikelsen klarade IR-sensorerna av att registrera mellan 83 och 90 procent av de passerande deltagarna med ett genomsnitt på 87 procent. För dessa dörrbredder anses IR-sensorerna ha potential att användas för att räkna passerande personer, speciellt ifall det med olika optimeringar går att förbättra tillförlitligheten. Vid dessa dörrbredder presterar IR-sensorerna i samma härad som andra tekniker baserade på passiv IR, Wi-Fi eller Bluetooth som klarat av att registrera 98, 97 respektive 90 procent.

Med dörrbredden 120 cm missades så många passeringar att det är tydligt att det inte är tillräckligt med en uppsättning sensorer i dörröppningens mitt. Skillnaden i andelen registreringar för IR-sensorerna skiljer sig kraftigt från de andra två dörrbredderna. Detta beror sannolikt på att deltagarna börjar gå förskjutet vilket innebär att de ibland inte går i sensors detektionsområde, att de passerar sensorerna med en mindre optimal vinkel men även att personavståndet i färdriktningen minskar. För att avgöra största lämpliga dörrbredder för en uppsättning IR-sensorer behövs den kritiska dörrbredd då deltagarna går utanför IR-sensorernas mätområde. Även ultraljudssensorerna presterade dåligt vid denna dörrbredd men resultatet skiljer sig inte lika mycket från de mindre dörrbredderna som det gör för IR-sensorerna. Om det används flera uppsättningar sensorer per dörröppning bör sensorernas spridningsvinkel vara liten för att undvika dubbelräkningar.

Eftersom IR-sensorn presterade signifikant bättre än ultraljudsensorn i samtliga fall förutom den eventuella avvikelsen görs ingen vidare analys av dess resultat.

Om IR-sensorerna fungerar som i denna studie och antalet personer i byggnaden är känt innan utrymning påbörjas, så kommer värdet på antalet utrymda vara konservativt. Även om IR-sensorerna inte räknar alla som utrymmer, kan räddningsarbetet ändå utföras med kunskap om var personer eventuellt finns kvar eller med en indikation på hur många som totalt kan finnas kvar. Det antal som IR-sensorerna räknar kan troligen tolkas som minsta antal utrymmande då vi i denna

undersökning inte lyckats få sensorerna att registrera fler personer än vad som passerat. Om de utrymmande är på säker plats och kan lämna klartecken till räddningstjänsten att alla utrymt bör detta vara överordnat DCM systemet. Då behöver räddningstjänsten troligen inte kontrollera om alla utrymt enligt DCM-systemet eftersom det beroende på antalet i byggnaden är troligt att sensorerna missat registreringar. Problemet är att användande av enbart sensorerna inte kommer ge en helt tydlig bild av vart personer befinner sig i byggnaden före en utrymning påbörjas. Detta eftersom passeringar missades under alla förhållanden. Det finns därför en risk att det befinner sig fler personer i byggnaden före utrymning än vad räddningstjänsten tror och vidare kan de därför tro att alla utrymt trots att så inte är fallet. Viktigt är därför att det finns tillförlitlig information om hur många som befinner sig i byggnaden innan den behöver utrymmas.

Eftersom IR-sensorerna inte fungerade felfritt i denna studie kan ett alternativ vara att komplettera med andra system för att beräkna antalet i byggnaden innan utrymning påbörjas. Detta skulle kunna göras med exempelvis befintliga passeringssystem baserade på exempelvis RFID. Passeringssystem kan fungera bra för att räkna personer som beträder låsta delar av en byggnad. Vid en utrymningsituation kan det tänkas att en del taggar eller passerkort lämnas kvar vilket innebär att IR-sensorerna kan vara bättre på att räkna de utrymmande. Där det inte finns ett passersystem skulle det behövas ett annat komplement.

I de fall frekvensen för IR-sensorernas misslyckade registreringar är relativt konstant för de två mindre dörrbredderna skulle det gå att kompensera genom att lägga till fler passeringar. Detta skulle kunna göras på olika sätt beroende på vilken tillförlitlighet som önskas. En konservativ kompensering kan vara att addera upp till den procent som sensorerna misslyckas registrera under sensorernas mest optimala förhållanden. Baserat på resultatet från experimentet skulle sensorerna vid 85 cm dörrbredd kompenseras för maximalt 5 procent misslyckade registreringar då sensorerna vid lågt personflöde hade 95 procents tillförlitlighet. Fördelen med en konservativ kompensering är att det inte blir mycket överregistreringar. Detta borde vara fördelaktigt ur insatssynpunkt då det minskar sannolikheten att systemet felaktigt anger att byggnaden eller delar av byggnaden är utrymda.

Nackdelen med denna kompensering är att det saknas registreringar så fort det inte är optimala förhållanden för sensorerna. Det gör det svårare att bestämma antalet i en byggnad om sensorerna skulle användas för att spåra personflödena under vardaglig verksamhet.

Ett annat sätt att kompensera misslyckade registreringar skulle kunna vara att addera den genomsnittliga felprocenten. Baserat på resultatet från experimentet skulle sensorerna vid 85 cm dörrbredd då kompenseras för 8 procents misslyckade registreringar. Fördelen med denna kompensering är att tillförlitligheten av personflödena ligger nära 100 procent så länge compensationen baseras på de genomsnittliga förhållandena som sensorerna används i. Det skulle betyda att sensorerna fungerar bättre att använda för att spåra personer även vid daglig verksamhet. Detta då sensorerna trots mindre avvikelser från verkligheten bör ge DCM-systemet tillräckligt bra underlag för att styra personflöden korrekt. Nackdelen är att det finns en risk för att det totalt blir en överregistrering vid utrymning. Om räddningspersonal får information med överregistrering av utrymmande kan personalen dra slutsatsen att det är utrymt även om det skulle finnas personer kvar i byggnaden. Även om räddningspersonalen vet att registreringarna är ett genomsnitt vet de inte om och i sådana fall, åt vilket håll sensorerna gett fel data. Spridningen på

antalet lyckade registreringar för dörrbredderna 85 och 100 cm var i experimentet mellan sju och nio procent. Beroende på hur förhållandena förändrats under en utrymning kan felregistreringen därför skilja sig ungefär fyra procent vid genomsnittskompensering enligt detta experiment. Eftersom de smalare dörrbredderna endast får användas som utrymningsvägar för utrymmen dimensionerade för mindre än 150 personer kan det tänkas att det blir upp till en handfull överregistreringar.

En lösning skulle kunna vara att kombinera dessa två sätt att kompensera. Om kunskap om personflödena vid daglig verksamhet är känd kan genomsnittlig kompensering användas. När en utrymningssignal aktiveras ändras genomsnittskompensering till konservativ kompensering. Med en sådan lösning kan det vara möjligt att spåra människor både innan och under en utrymning. För att få kompenseringen att fungera skulle det behövas en kartläggning över de transienta förhållanden som råder vid varje sensorplacering. Annars blir kompenseringen felaktig.

En riskfaktor är räddningsledarens tilltro för DCM-systemet. Om räddningstjänsten får information om utrymningen i realtid på vägen till byggnaden kan räddningsledaren tänkas utgå från ett scenario baserat på informationen hen fått. Det kan tänkas försvåra för räddningsledaren att ta emot ny konflikterande information på plats. Det skulle kunna innebära att det tar längre tid för räddningsledaren att få en bild över läget. Vid kompensering är det en fördel om räddningsledaren har information om hur kompenseringen går till. På så vis kan hen vara medveten om eventuell överregistrering och veta hur data från DCM-systemet ska tolkas. Det innebär dock att tilltron för DCM-systemet minskar eftersom räddningsledaren inte kan lita på det helt.

IR-sensorerna registrerar förbipasserande med hög procent vid boverkets minsta rekommenderade dörrbredder men inte på måtten för utrymningsdörrar som ska hantera minst 150 personer. Trots detta kan IR-sensorerna i dagsläget troligen fungera i DCM-system. Det aktuella användningsområdet gäller i sådana fall byggnader med långa eller komplexa utrymningsvägar. Ett annat alternativ är i de fall planlösningen är sådan att personerna går att räkna utan att sensorerna placeras vid utrymningsvägarna. Det skulle exempelvis kunna vara i kontorslokaler där personalen sitter i egna rum. Fördelen med detta är att räddningstjänsten förutom att veta vilken brandcell, även vet i vilken del av brandcellen personer kan finnas. Även om sensorerna endast finns eller fungerar i enskilda delar av en byggnad kan områdena som räddningstjänsten måste söka igenom minskas.

Eftersom sensorerna i dagsläget troligtvis endast klarar av att hantera utrymmen med maximalt 150 personer, är potentialen att rädda en större mängd personer i nuläget begränsad. Vid ett eventuellt implementerande av DCM-behövs i dagsläget en kostnad-nyttoanalys göras. Materialkostnaden för en uppsättning sensorer är i dagsläget på 200 kronor per utrymningsväg. Utöver detta tillkommer hårdvaran för att behandla data, samt styrfunktionerna i DCM-systemet. Rent tekniskt bör detta fungera på en vanlig PC, vilket skulle vara en relativt stor kostnad för potentialen personer som kan undsättas. Det är inte omöjligt att hårdvaran för styrsystemet kan behandla flera lokaler samtidigt. Då skulle även kostnaden hårdvaran spridas ut på flera lokaler och sammanlagt behandla fler än 150 personer. Om ett DCM-system övervägs bör därför en kostnad-nyttoanalys genomföras där kostnaden för hårdvaran huvudsakligen varierar beroende på antalet utrymningsvägar och hur styrsystemet utformas.

6.2 Riskhantering

Här skriver vi om riskhantering avseende dels resultaten från experimentet och sedan riskhantering i ett DCM-system

6.2.1 Risk ur ett DCM-perspektiv

Följande diskussion ur ett DCM-perspektiv baseras på ett antagande att sensorernas prestanda är konsekvent tillförlitligt precis som övriga delar av DCM-systemet. Diskussionen tar inte hänsyn till resultatet från de tidigare försöken. I diskussionen görs en jämförelse mellan två byggnader enligt nedan.

1. En byggnad utan DCM-system
2. Motsvarande byggnad med DCM-system.

Riskperception

Kännedom om riskkällan förändras inte i de olika byggnaderna. Riskkällan bör därför inte ha någon påverkan på perceptionen. Inte heller graden av frivillighet påverkas, det vill säga personernas möjlighet att undvika vistelse i någon av byggnaderna. Syftet med att installera ett DCM-system är att förbättra utrymnings säkerheten. Det innebär att konsekvensen vid en olycka minskar. Om uppfattningen hos de som kan drabbas är att konsekvensen är mindre i byggnad 2 innebär det att riskperceptionen uppfattas som lägre än byggnad 1.

Tilltro

Två risker identifieras avseende tilltro hos utrymmande. Den första är en mycket hög tilltro samtidigt som DCM-systemet fungerar felaktigt. Ett exempel skulle kunna vara att DCM-systemet i byggnad 2 föreslår utrymning genom ett rökfyllt utrymme. Det kan i så fall finnas en risk att utrymmande litar på DCM-systemet och går genom röken. I byggnad 1 hade samma personer troligen litat på sina instinkter och letat efter en alternativ väg, eftersom det inte funnits något som uppmanat till att gå in i röken.

Den andra risken avseende tilltro hos de utrymmande är låg eller ingen tilltro för DCM-systemet. Om de utrymmande inte känner någon tilltro för DCM-systemet kommer de troligtvis vara svåra att styra mot bästa utrymningsväg. Det blir då svårt att optimera personflöden vilket exempelvis kan innebära risk för köbildning. Eftersom DCM-systemet främst används för att styra personflöden kan en låg tilltro till systemet hos de utrymmande helt motverka systemets utrymningsförbättrande funktion. Om byggnad 1 och 2 har samma utformning och DCM-systemet installeras som ett förhöjt skydd innebär det att byggnad 2 inte bör ha högre risker än byggnad 1. Om DCM-systemet i byggnad 2 används som kompenserande åtgärd för brister i brandskyddet i byggnad 1, finns en risk att DCM-systemet inte kompenserar överhuvudtaget.

Avseende tilltro hos räddningstjänsten kan även den vara för hög eller för låg vilket genererar olika risker.

Vid hög eller låg tilltro hos räddningstjänsten samtidigt som DCM-systemet felaktigt ger information att personer finns kvar eller alla har utrymt, finns risken att räddningstjänsten tar fel beslut. Det kan exempelvis vara att räddningstjänsten börjar begränsa brandspridning istället för att leta personer som finns kvar, alternativt att de letar efter personer som redan utrymt.

Om räddningstjänsten har låg tilltro på systemet uppstår samma typ av risker oavsett om DCM-systemet är tillförlitligt eller inte. Det kan därför antas att räddningstjänsten bör ta konservativa beslut och förutsätta att det kan finnas personer kvar i byggnaden.

Trots detta ger båda fallen en minskad risk jämfört med byggnad 1 då räddningstjänsten får någon form av underlag att basera beslut på. Förutom kvarvarande personer i byggnaden kan räddningstjänsten få underlag på var personer troligen befinner sig.

Nytta

Personsäkerheten hos de utrymmande påverkas i stor utsträckning av ett DCM-system.

Eftersom ett DCM-system styr och optimerar personflöden beroende på omständigheterna kan utrymningsvägarnas kapacitet utnyttjas på ett effektivare sätt. Det bör därför rimligtvis vara lägre risk för utrymmande i byggnad 2 jämfört med byggnad 1. Om byggnad 1 är byggd efter samhällets krav är risken avseende utrymning redan tillräckligt låg. Nyttan i byggnad 2 kan därför anses vara för ambitiös.

Om ett DCM-system istället används för att uppfylla samhällets krav avseende personsäkerhet finns potential till stor nytta då det kan vara skillnaden mellan att kunna bygga tillräckligt säkert eller inte bygga alls.

Personsäkerheten för räddningstjänstens personal påverkas främst i den mån att den minskar antalet rökdykningar.

Med hög tillförlitlighet på DCM-systemet bör därför risker avseende personsäkerhet minska i samtliga fall men i olika grad.

När det gäller egendomsskydd bedöms skillnaden i risker byggnad 1 och 2 bero på tiden till räddningstjänstens insats. Då ett fungerande DCM-system troligen förbättrar utrymningssäkerheten kan räddningstjänsten troligtvis påbörja egendomsskydd tidigare. Risker för egendomen bör därför vara lägre för byggnad 2.

Eftersom de flesta byggnader skiljer sig åt är det svårt att entydigt svara på om nyttan alltid överstiger kostnaden. I projekt där det är dyrt eller tekniskt svårt att bibehålla exempelvis tillräckligt korta gångavstånd, i exempelvis byggnader under mark, antas dessa sensorer vara betydligt billigare än att borra extra schakt för utrymning. I andra mer konventionella byggnader kan nyttan troligtvis vara försumbar jämfört med andra förbättrande åtgärder.

6.2.2 Riskhantering baserat på sensorprestanda från experiment

Nedan följer hur sensorprestandan från experimenten vid personräkning i ett DCM-system påverkar riskhanteringsprocessen.

Mål och avgränsningar

Användande av IR-sensorer i en byggnad kommer inte att påverka målen med riskhanteringen. Detta då oavsett hur stor sannolikheten eller konsekvensen av en olycka är, är alltid målet att skydda liv och egendom, det är istället andra delar i riskhanteringsprocessen som påverkas där förutsättningarna och förhållandena kan förändras utav användandet av IR-sensorer.

Riskinventering

IR-sensorer kan inte påverka sannolikheten för uppkomst av exempelvis brand.

IR-sensorerna i ett DCM-system kan endast upptäcka när personer passerar och den data de ger behandlas i realtid för att bestämma var i byggnaden personerna finns. Nya risker kan då hittas om exempelvis vissa utrymmen har högre persontäthet än förväntat.

Skillnaden mellan vad sensorerna registrerar och verkligheten behöver behandlas på något sätt. Om maximalt tillåtna antal är 150 personer missar sensorerna att räkna ungefär 20 personer. Beroende på de aktuella lokalernas utformning bör detta vara tillräckligt för att producera tillräckligt med underlag att analysera.

Riskanalys

Med resultaten från experimentet kan tillförlitligheten med konservativ kompensering ökas till 92 procent. Med data från riskinventeringen missas i genomsnitt 12 registreringar i en lokal med 150 personer. Då 12 personer inte bedöms vara tillräckligt för att i normalfallet ge upphov till köbildning eller påverka utrymningsmöjligheten i stor omfattning.

IR-sensorerna med kompensering bör därför vara tillräckligt tillförlitliga för att inventera risker, under förutsättning att det kan verifieras med hjälp av exempelvis regelbundna kontroller.

För att ta fram individrisk och samhällsrisk behövs underlag på bland annat frekvensen för en händelse. Detta kan resultatet från experimentet inte bidra med.

Däremot kan IR-sensorerna förbättra individ- och samhällsrisken.

Exempelvis kan konsekvensen av en brand minskas om de utrymmen kan styras ut ur byggnaden. Detta innebär en minskning av individrisken för personerna i en byggnad. Individrisken minskar även genom att räddningstjänsten kan hitta eventuella kvarvarande personer snabbare om systemet indikerar på vart i byggnaden de kan tänkas vara. Individrisken för räddningspersonalen kan reduceras om färre rökdykningsinsatser behöver utföras.

Om personerna i byggnaden styrs via säkra vägar ut ur byggnaden kan det tänkas att färre personer exponeras för brand, och då minskar samhällsrisken. En snabbare insats skulle i helhet ge ett bättre samhällsskydd. Detta eftersom ju snabbare räddningstjänsten är klar med en insats kommer de snabbare att kunna vara redo för nästa.

Även om resultaten från experimentet endast ger användbar statistik för smalare dörrbredder, kan information från delar av byggnader tänkas vara tillräckligt för att göra en djupare analys av identifierade konsekvenser vid en olycka.

Riskvärdering

IR-sensorernas bidrar till indata som värderas, men utöver det påverkar inte IR-sensorerna riskvärderingen. Kostnaderna för implementering av ett DCM-system är idag oklar och kan därför inte värderas. Materialkostnaderna för sensorerna är dock små och de bör därmed vara en minimal del av den totala kostnaden för ett DCM-system. Övervägs ett implementering av ett DCM-system kan därför IR-sensorerna vara en bidragande faktor till att ett DCM-system installeras. Vid ett införande av ett DCM-system bör byggnadens verksamhet och samhällsvärde tas i beaktning. I en viktig byggnad kan ett extraskydd så som ett DCM-system vara värt den extra kostnaden.

Riskhantering

Utifrån sensorprestandan från experimentet är inte tillförlitligheten fullständig. Det är därför inte osannolikt att tillförlitligheten, beroende på objekt behöver hanteras. Detta är objektspecifikt och det är möjligt att det för vissa objekt inte behövs någon ytterligare åtgärd.

Vid en vidareutveckling av IR-sensorerna kan ett användande i ett DCM-system fungera som en riskreducerande åtgärd även i utrymmen dimensionerade för fler än 150 personer. Åtgärden kommer inte att påverka frekvensen av bränder, däremot kan konsekvensen av dem minskas.

6.3 Framtida forskning

Experimentets resultat visar på behovet av vidare forskning på sensorerna för att de ska fungera i ett DCM-system. Nedan följer en lista på vad som behöver utforskas. Listan är sorterad efter högst prioritet i fallande ordning.

- Möjligheten att använda flera uppsättningar IR-sensorer när den effektiva bredden blir för stor för en uppsättning. Detta behövs för att utöka användningsområdet till utrymmen dimensionerade för fler än 150 personer.
- Undersöka vid vilken dörrbredd den effektiva bredden blir så stor att en uppsättning IR-sensorer inte räcker till.
- Verifiera att den antagna avvikelsen för dörrbredden 100 cm stämmer.
- Fler studier för en större statistisk grund för tillförlitligheten. Detta behövs för eventuell kompensering.
- Det saknas kunskap om hur sensorerna påverkas vid andra förhållanden som exempelvis rökbildning.

7 Slutsats

IR-sensorn presterade bättre vid personräkandet i dörröppningar och är billigare än ultraljudsensorn EZ2. Därför anses att IR är den sensortyp som är lämpligast som komponent i ett DCM-system. Dess tekniska brister är tydliga då den effektiva bredden är så stor att personer kan gå förskjutet och inte rakt under IR-sensorerna. Vidare studier bör framför allt undersöka möjligheten att använda flera uppsättningar IR-sensorer vid bredare dörröppningar. Det behövs även ett större statistiskt underlag för att veta sensorernas tillförlitlighet.

IR-sensorerna bör kompletteras tillsammans med andra tekniska system, som med högre tillförlitlighet spårar antalet personer i byggnaden innan utrymning påbörjas. Exempel på detta kan vara befintliga passersystem som idag användas till de delar av byggnader som annars är låsta, eller genom kompensering av sensorernas felregistreringar. Det är även bra om IR-sensorernas prestanda testas i rökiga miljöer.

IR-sensorerna kan bidra med statistik om personers placering i byggnaden och personflöden vilket påverkar de olika delarna i riskhanteringsprocessen. Vid en vidareutveckling kan IR-sensorerna i ett DCM-system medföra en riskreducerande åtgärd genom en minskning av individ-, samhälls- och egendomsrisk. En kostnad-nyttanalyt bör genomföras då användandet av IR-sensorerna i ett DCM-system övervägs.

8 Referenser

- Ahlfont, J. & Lundström, F. V., 2012. *Tunnelutrymning - Effekten av gångbanans bredd på förflyttningshastigheten vid utrymning i en spårtunnel*, Lund: Avdelningen för Brandteknik och Riskhantering.
- Ahmed, N. o.a., 2015. *SmartEvacTrak: A People Counting and Coarse-Level Localization Solution For Efficient Evacuation of Large Buildings*. St. Louis, IEEE, pp. 372-377.
- Arduino, 2016. *www.arduino.org*. [Online]
Available at: <http://www.arduino.org/learning/getting-started/what-is-arduino>
- Basalamah, A., 2016. Sensing the Crowds Using Bluetooth Low Energy Tags. *IEEE Access*, Volym 4, pp. 4225-4233.
- BBR 5:334, 2015. *Boverkets byggregler*, u.o.: Boverket.
- BBRAD:3.2.4, 2011. *Boverkets allmänna råd (2011:27) om analytisk dimensionering av byggnaders brandskydd*, BBRAD, u.o.: Boverket.
- Bu, F., Greene-Roesel, R., Diogenes, M. C. & Ragland, D. R., 2007. *Estimating Pedestrian Accident Exposure: Automated Pedestrian Counting Devices*, Berkeley: University of California.
- Cetinkaya, H. H. & Akcay, M., 2015. People Counting at Campuses. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Volym 182, pp. 732-736.
- Chan, C.-Y. & Bu, F., 2005. *Literature review of pedestrian detection technologies and sensor survey*, Berkeley: University of California.
- Dharmaraju, R., Lehman, J. D. & Noyce, D. A., 2001. *An evaluation of Technologies for automated detection and classification of pedestrians and bicycles*, Washington: Institute of Transportation Engineers.
- Do, D.-M., Hyun, M.-H. & Choi, Y.-B., 2013. *RFID-Based Indoor Location Recognition System for Emergency Rescue Evacuation Support*. Seoul, Springer, pp. 899-906.
- Elec Freaks, 2016. *Ultrasonic Ranging Module HC - SR04*. [Online]
Available at: <http://www.micropik.com/PDF/HCSR04.pdf>
- Frantzich, H., Nilsson, D. & Eriksson, O., 2007. *Utvärdering och validering av utrymningsprogram*. Lund: Avdelningen för brandteknik, Lunds universitet.
- Galea, E., Xie, H., Cooney, D. & Filippidis, L., 2015. *Active Dynamic Signage System: A Full-Scale Evacuation Trial*, London: Fire Safety Engineering Group, University of Greenwich.
- Garrick, J. B., 1998. Technological stigmatism, risk perception and truth. *Reliability Engineering and System Safety*, Volym 59, pp. 41-45.
- GraphPad Software Inc, 2016. *GraphPad Software*. [Online]
Available at: <https://www.graphpad.com/quickcalcs/contingency1/>
[Använd 02 11 2016].
- Gwynne, S., Kuligowski, E., Kratchman, J. & Milke, J., 2009. Questioning the linear relationship between doorway width and achievable flow rate. *Fire Safety Journal*, Volym 44, pp. 80-87.
- Hashimoto, K. o.a., 1997. Development of people-counting system with human-information sensor using multi-element pyroelectric infrared array detector. *Sensors and Actuators A*, pp. 165-171.

- Hassel, H., 2014. *Introduktion till riskanalysmetoder*. Lund: u.n.
- ISO 31000:2009, 2009. *Riskhantering - Principer och riktlinjer (ISO 31000:2009, IDT)*. Stockholm: SIS förlag AB.
- Kanji & Gopal, K., 2006. *100 statistical tests*. London: Sage publications.
- Kuuti, J., 2012. *A Test Setup for Comparison of People Flow Sensors*, Espoo: Aalto University.
- Körner, S. & Wahlgren, L., 2011. *Statistisk Dataanalys*. Lund: Studentlitteratur.
- Maxbotix, 2016. *Maxbotix*. [Online]
Available at: http://maxbotix.com/documents/LV-MaxSonar-EZ_Datasheet.pdf
- MSB, 2003. *Handbok för riskanalys*. u.o.:Räddningsverket.
- Myndigheten för delaktighet, 2015. *Riktlinjer för tillgänglighet - Riv hindren*, Sundbyberg: Myndigheten för delaktighet.
- Nelson, H. E. & Mowrer, F. W., 2002. Emergency Movement. i: *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. Quincy: National Fire Protection Association, pp. 3-367 - 3-380.
- Nilsson, D., 2009. *Exit choice in fire emergencies - Influencing choice of exit with flashing lights*, Lund: Lund university.
- Nilsson, D., 2013. *Smart Buildings: A way forward for evacuation safety?*. u.o., u.n.
- Renn, O., 1998. The role of risk perception for risk management. *Reliability Engineering and System Safety*, Volym 59, pp. 49-62.
- Robotshop, u.d. *Robotshop GP2Y0A02YK0F*. [Online]
Available at: <http://www.robotshop.com/en/sharp-gp2y0a02yk0f-ir-range-sensor.html>
[Använd 18 01 2017].
- Robotshop, u.d. *Robotshop HC-SR04*. [Online]
Available at: <http://www.robotshop.com/en/hc-sr04-ultrasonic-range-finder.html>
[Använd 21 11 2016].
- Robotshop, u.d. *Robotshop IR Range Finders*. [Online]
Available at:
http://www.robotshop.com/en/catalogsearch/result/index/?store=us_en&cat=528&dir=asc&order=price&q=distance+sensor&from_store=ca_en
[Använd 18 01 2017].
- Robotshop, u.d. *Robotshop Lidar*. [Online]
Available at: <http://www.robotshop.com/en/rplidar-a2-360-laser-scanner.html>
[Använd 17 01 2017].
- Robotshop, u.d. *Robotshop Maxsonar*. [Online]
Available at: <http://www.robotshop.com/en/maxbotix-ez2-ultrasonic-ranger.html>
[Använd 21 11 2016].
- Robotshop, u.d. *Robotshop Ultrasonic Range Finders*. [Online]
Available at:
http://www.robotshop.com/en/catalogsearch/result/index/?store=us_en&cat=192&dir=asc&order=price&q=distance+sensor&from_store=ca_en
[Använd 18 01 2017].
- Sharp, 2016. *Sharp*. [Online]
Available at: http://www.sharpsma.com/webfm_send/1487

Slovic, P., 2001. The risk game. *Journal of Hazardous Materials*, Volym 86, pp. 17-24.

Smith, A. G., 2011. *Intro to Arduino*. [Online]

Available at: <http://www.introtoarduino.com/downloads/IntroArduinoBook.pdf>

[Använd 02 06 2016].

Socialstyrelsen, u.d. *Termbanken*. [Online]

Available at:

<http://termbank.socialstyrelsen.se/showterm.php?fTerm=c3RvciBvbHlja2E=&fsrcLang=sv&trgLang=en&fSubject=>

[Använd 24 11 2016].

Statistiska Centralbyrån, 2011. [Online]

Available at: <http://www.scb.se/Statistik/LE/LE0101/1980I11/Percentiler-av-langd,-vikt,-BMI.xls>

[Använd 15 09 2016].

Vicente, A. G., Muñoz, I. B., Molina, P. J. & Galilea, J. L. L., 2009. Embedded Vision Modules for Tracking and Counting People. *IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT*, September, 58(9).

Bilaga A - Etiska riktlinjer för försökspersonerna

Baserad på Nurembergkoden används nedanstående fem riktlinjer för att experimenten ska vara etiskt korrekta (Nilsson, 2009).

Begränsning av skada och lidande

Potentiella risker som identifierats i detta experiment är fallande föremål såsom förskösuppställningens väggar och mätutrustning. För att minimera dessa risker överdimensioneras konstruktionen vid förskösuppbyggnaden. Som ytterligare åtgärd finns sjukvårdsmaterial på plats om något oförutsett skulle inträffa. Försöken anses inte orsaka något psykiskt lidande men för att minimera risken kommer uppmärksamhet under försöken att finnas ifall någon av försöksdeltagarna mår dåligt eller ser ut att ha några andra problem.

Nyttan ska överskrida riskerna

I dessa experiment bedöms de fysiska riskerna för försöksdeltagarna som ringa. Smarta utrymningssystem bedöms vara till stor samhällsnytta då det finns potential att minska konsekvenser vid bränder. Det anses därför att den potentiella nyttan överstiger riskerna för försökspersonerna.

Informerat medgivande

Alla försöksdeltagare ska vara tillräckligt informerade om experimentet så de kan ta ett beslut om de vill eller inte vill delta. I vissa fall kan förhandsinformation om ett givet experiment leda till att experimentet inte går att genomföra. Detta kan vara fallet om experimentet syftar till att studera beteendet hos försökspersonen vid ett experiment. Om försökspersonen vet vad experimentet går ut på kan beteendet förändras och påverka resultatet. I dessa experiment bedöms det inte finnas någon anledning att undanhålla information om uppbyggnad eller syfte.

Rätten att avsluta experimentet

Försöksdeltagarna har när som helst rätt att avsluta experimentet utan att förlora i förhand utbetald, eller utlovad ersättning för att delta i experimentet. Detta informeras försöksdeltagarna om klart och tydligt före experimentet påbörjas.

Skydd av integritet

Om inte experimentet kräver det, sparas ingen data som kan leda till att deltagarnas integritet kränks. I det fall känslig data behövs för experimentet, kommer informationen endast vara tillgänglig för de som anordnar experimentet. Data som sparas kan vara en videoinspelning under försöket där försöksdeltagarnas ansikten syns, påskrift som intygar på deltagandet i experimentet samt uthämtandet av biobiljett efter experimentet. Dessa data är endast till förfogande för författarna och handledaren och efter examensarbetets genomförande förstörs det så spridning inte är möjligt.

Bilaga B - Samtycke till experiment

Nedan följer dokumentet som försöksdeltagarna skrev på före sitt deltagande.

Samtycke till experiment

Avdelningen Brandteknik skulle vilja att du lämnar vissa uppgifter om dig själv till avdelningen. Vi skulle vilja behandla personuppgifter om dig för att administrera vem som tagit emot ersättning för deltagande i experimentet. Utöver detta kommer experimentet filmas och videon användas för att analysera experimentets resultat.

De personuppgifter vi avser att samla in och behandla är namn.

Du avgör själv om du vill lämna några uppgifter till oss. Uppgifterna kommer att behandlas av Gustav Wallgren, Emanuel Johansson och Daniel Nilsson. Uppgifterna kommer inte lämnas ut till tredje part. I de fall video eller bilder publiceras i rapporter kommer ansikte och annat som kan identifiera dig att anonymiseras. Namn och identitet kommer givetvis inte att avslöjas i rapporten eller kopplas till någon video eller bild.

Experimentet är frivilligt och du har rätt att när som helst avbryta experimentet utan att förlora utlovad ersättning.

Jag samtycker till att avdelningen brandteknik behandlar personuppgifter om mig i enlighet med det ovanstående.

.....
Ort och datum

.....
Namn

Bilaga C - Beräkningar

Nedan presenteras de beräkningar som använts i rapporten.

Beräkning av dörrkarmsstörning

För ultraljudsensorerna som har stor spridningsvinkel är det viktigt att kontrollera så att de inte träffar dörrkarmarna inom mätområdet och därmed störs ut. För att beräkna avståndet används sinussatsen. HCSR04 har 15° spridningsvinkel vilket är störst av sensorerna. Motstående sida det vill säga avståndet från sensorn till dörrkarmen för en 85 cm dörr är 40 cm. Längsta avståndet från sensorn h innan mätområdet går in i dörrkarmen beräknas nedan

$$\frac{\sin(15)}{40\text{cm}} = \frac{\sin(75)}{h}$$

Vilket ger att $h = 149$ cm

Eftersom HCSR04 sensorn har störst spridningsvinkel kommer h vara större för de övriga sensorerna och dessa behöver inte beräknas då så stora avstånd inte används.

Sensoravstånd

Författarna vill att sensorerna ska hinna med att läsa av sitt mätområde två gånger per steg enligt Figur 11 för att få stabilare registreringar. Därför multipliceras tiden det tar för en sensor att läsa av sitt område med fyra. I praktiken innebär det att avståndet mellan sensorerna är $2 * X_{min}$ så länge det inte blir mer än X_{max} .

Tabell 14. Värdena som använts för att räkna fram avstånd mellan sensorerna.

Sensormodell	Gånghastighet [m/s]	Tid för mätning per sensor [s]	Antal mätningar per steg	Total tid för avläsningar [s]	Avstånd mellan sensorerna [cm]
2Y0A02YK0F	1,5	0,029	4	0,116	17,4
Maxsonar EZ2	1,5	0,049	4	0,196	29,4
HC-SR04	1,5	0,050	4	0,200	30

Minsta avstånd mellan deltagarna

Med hjälp av $\sigma = r_A + r_B + X$ Ekvation 3 beräknas det teoretiskt minsta avstånden som krävs mellan varje objekt som passerar för att sensortypen ska göra en lyckad registrering. Radien för upptäcktsområdet multipliceras med två och avstånd mellan sensorerna från Tabell 14

Tabell 15. Värden för beräkning av minsta teoretiska avstånd mellan objekt.

Sensormodell	Spridningsvinkel [grader]	Höjd till sensor [cm]	Radie upptäcktsområde [cm]	Minsta avstånd mellan objekt [cm]
2Y0A02YK0F	2	60	2,3	22
Maxsonar EZ2	10	60	10,9	51
HC-SR04	15	60	15,9	62

Tid mellan startande deltagare

Tiden mellan varje startande deltagare är inversen av personflödet. Personflödet är det specifika personflödet multiplicerat med dörrbredden.

Tabell 16. Beräkningar för tid mellan varje startande deltagare.

Specifikt personflöde [p/ms]	Dörrbredd [m]	Personflöde [p/s]	Tid mellan deltagare [s]
1,2	0,85	1,02	1
1,2	1	1,2	0,8
1,2	1,2	1,44	0,7
1,6	0,85	1,36	0,7
1,6	1	1,6	0,6
1,6	1,2	1,92	0,5

Fishers exakta test

Med Fishers exakta test görs en beräkning av p-värdet vid en hypotesprövning. Det innebär att sannolikheten för att få minst en så stor skillnad som vi fått mellan nollhypotesens värde och stickprovets värde beräknas. Detta görs under förutsättningen att nollhypotesen är korrekt. Nollhypotesen förkastas då p-värdet är litet och ju mindre det är desto större stöd för mothypotesen finns. Om inte det finns skäl för något annat används gränsen 5 procent för p-värdet. Om nollhypotesen förkastas kan det göras det med olika signifikanser.

Är p-värdet 1 till 5 procent kallas det för enstjärnig signifikans.

Är p-värdet 0,1 till 1 procent kallas det för tvåstjärnig signifikans.

Är p-värdet mindre än 0,1 procent kallas det för trestjärnig signifikans (Körner & Wahlgren, 2011, p. 207).

När sedan Fishers exakta test används bestäms först sannolikheten för att få det utfallet som undersökningen genererat. Detta görs under förutsättningen att marginalfrekvenserna är de som har erhållits och att nollhypotesen är sann (Körner & Wahlgren, 2011, p. 254). Då beräkningarna av Fishers exakta test kan bli omfattande har ett beräkningsverktyg använts för att ta fram p-värden i denna studie (GraphPad Software Inc, 2016). Beräkningsverktyget använder sig av följande frekvenstabell där indata matas in.

Tabell 17. Frekvenstabell över hur inmatning av värden till uträkningen av Fishers exakta test ser ut.

	Population 1	Population 2	Summa
Kategori 1	A	B	A + B
Kategori 2	C	D	C + D
Summa	A + C	B + D	N = A + B + C + D

P-värdet räknas därefter fram med $\sum p = \frac{(A+B)!(C+D)!(A+C)!(B+D)!}{N!} \sum_i \frac{1}{A_i!B_i!C_i!D_i!}$

Ekvation 4 nedan (Kanji & Gopal, 2006).

$$\sum p = \frac{(A+B)!(C+D)!(A+C)!(B+D)!}{N!} \sum_i \frac{1}{A_i!B_i!C_i!D_i!} \quad \text{Ekvation 4}$$

Bilaga D – Arduinokod HC-SR04

I denna bilaga finns Arduinokoden som användes till sensorn HC-SR04.

```
// Input pins
int inputPin1=2; //ECHO pin
int outputPin1=4; //TRIG pin
int outputPin2=12; //Second sensor TRIG pin
int inputPin2=13; //Second sensor ECHO pin

// Input states sensors
int state1 = 0; // status sensor1 = 0
int state2 = 0; // status sensor2 = 0

// Input states cycle
int phase1 = 0; // First part of the cycle
int phase2 = 0; // Second part of the cycle
int phase3 = 0; // Third part of the cycle
bool in = false;
int count = 0;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  pinMode(inputPin1, INPUT);
  pinMode(outputPin1, OUTPUT);
  pinMode(inputPin2, INPUT);
  pinMode(outputPin2, OUTPUT);
}

void resetAllPhase()
{
  phase1 = 0;
  phase2 = 0;
  phase3 = 0;
}

void loop()
{
  // sensor 1 starts
  digitalWrite(outputPin1, HIGH); //Trigger ultrasonic detection
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(outputPin1, LOW);
  int distance1 = pulseIn(inputPin1, HIGH); //Read ultrasonic reflection
  distance1 = distance1 / 58; //Calculate distance1

  if (distance1 >= 70 || distance1 <= 0) //Sets max/min distance1 reported
  throughserial for first sensor
  {
    state1 = 0;
  }
}
```

```

else
{
state1 = 1;
}

delay(50);

//sensor 2 starts
digitalWrite(outputPin2, HIGH); //Trigger ultrasonic detection
delayMicroseconds(10);
digitalWrite(outputPin2, LOW);
int distance2 = pulseIn(inputPin2, HIGH); //Read ultrasonic reflection
distance2= distance2/58; //Calculate distance2

if (distance2 >= 70 || distance2 <= 0) //Sets max/min distance2 reported
through serial for first sensor
{
state2 = 0;
}
else
{
state2 = 1;
}

delay(50);

//-----

if(state1 == 1 && state2 == 0)
{
if(phase3 == 0)
{
in = true;
}

phase1 = 1;
}
else if(state1 == 1 && state2 == 1)
{
phase2 = 1;

if(in)
{
phase1 = 1;
phase3 = 0;
}
else
{
phase3 = 1;
}
}

```

```

    phase1 = 0;
  }
}
else if(state1 == 0 && state2 == 1)
{
  if(phase1 == 0)
  {
    in = false;
  }

  phase3 = 1;
}
else if(state1 == 0 && state2 == 0)
{
  if(phase1 == 1 && phase2 == 1 && phase3 == 1)
  {
    if(in)
    {
      count = count + 1;
    }
    else
    {
      count = count - 1;
    }

    Serial.println(count);
    in = false;
  }
  resetAllPhase();
}
}
}

```

Bilaga E – Arduinokod 2Y0A02YK0F

I denna bilaga finns Arduinokoden som användes till sensorn 2Y0A02YK0F (IR).

```
// Input pins
int IRpin1 = A0; //Analog pin sensor 1
int IRpin2 = A1; //Analog pin sensor 2

// Input states sensors
int state1 = 0; // status sensor1 = 0
int state2 = 0; // status sensor2 = 0

// Input states cycle
int phase1 = 0; // First part of the cycle
int phase2 = 0; // Second part of the cycle
int phase3 = 0; // Third part of the cycle
bool in = false;
int count = 0;

void setup()
{
  Serial.begin(9600); //Start serial port
}

void resetAllPhase()
{
  phase1 = 0;
  phase2 = 0;
  phase3 = 0;
}

void loop() {

  //Sensor 1 begins
  int sens1 = analogRead(IRpin1); //Read value from sensor 1
  if (sens1 >= 210 || sens1 <= 0) //Sets min value used for first sensor
  {
    state1 = 1;
  }
  else
  {
    state1 = 0;
  }

  //Sensor 2 begins
  int sens2 = analogRead(IRpin2); //Read value from sensor 2
  if (sens2 >= 210 || sens1 <= 0) //Sets min value used for second sensor
  {
    state2 = 1;
  }
  else
  {
```



```

state2 = 0;
}

//----
if(state1 == 1 && state2 == 0)
{
  if(phase3 == 0)
  {
    in = true;
  }

  phase1 = 1;
}
else if(state1 == 1 && state2 == 1)
{
  phase2 = 1;

  if(in)
  {
    phase1 = 1;
    phase3 = 0;
  }
  else
  {
    phase3 = 1;
    phase1 = 0;
  }
}
else if(state1 == 0 && state2 == 1)
{
  if(phase1 == 0)
  {
    in = false;
  }

  phase3 = 1;
}
else if(state1 == 0 && state2 == 0)
{
  if(phase1 == 1 && phase2 == 1 && phase3 == 1)
  {
    if(in)
    {
      count = count + 1;
    }
    else
    {
      count = count - 1;
    }
  }
  Serial.print("IR ");
}

```

```
    Serial.println(count);  
    in = false;  
  }  
  
  resetAllPhase();  
}  
}
```

Bilaga F – Arduinokod Maxbotix LV-EZ2

I denna bilaga finns Arduinokoden som användes till sensorn Maxbotix LV- EZ2

```
const int pwPin1 = 3;
const int pwPin2 = 5;
const int triggerPin = 13;
long pulse1, pulse2, sensor1, sensor2, inches;
```

```
// Input states sensors
```

```
int state1 = 0; // status sensor1 = 0
int state2 = 0; // status sensor2 = 0
```

```
// Input states cycle
```

```
int phase1 = 0; // First part of the cycle
int phase2 = 0; // Second part of the cycle
int phase3 = 0; // Third part of the cycle
bool in = false;
int count = 0;
```

```
void setup () {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(pwPin1, INPUT);
  pinMode(pwPin2, INPUT);
  pinMode(triggerPin,OUTPUT);
}
```

```
void start_sensor(){
  digitalWrite(triggerPin,HIGH);
  delay(1);
  digitalWrite(triggerPin,LOW);
}
```

```
void read_sensor(){
  pulse1 = pulseIn(pwPin1, HIGH);
  pulse2 = pulseIn(pwPin2, HIGH);
  sensor1 = pulse1/147;
  sensor2 = pulse2/147;
}
```

```
void resetAllPhase(){
  phase1 = 0;
  phase2 = 0;
  phase3 = 0;
}
```

```
void loop () {
  start_sensor();
  read_sensor();
```

```
//sensor1
```

```

if (sensor1 >= 23 || sensor1 <= 0) //Sets max/min distance reported through
serial for first sensor
{
    state1 = 0;
}
else
{
    state1 = 1;
}

//sensor2
if (sensor2 >= 23 || sensor2 <= 0) //Sets max/min distance reported through
serial for second sensor
{
    state2 = 0;
}
else
{
    state2 = 1;
}
//-----

if(state1 == 1 && state2 == 0)
{
    if(phase3 == 0)
    {
        in = true;
    }

    phase1 = 1;
}
else if(state1 == 1 && state2 == 1)
{
    phase2 = 1;

    if(in)
    {
        phase1 = 1;
        phase3 = 0;
    }
    else
    {
        phase3 = 1;
        phase1 = 0;
    }
}
else if(state1 == 0 && state2 == 1)
{
    if(phase1 == 0)
    {

```

```

    in = false;
  }

  phase3 = 1;
}
else if(state1 == 0 && state2 == 0)
{
  if(phase1 == 1 && phase2 == 1 && phase3 == 1)
  {
    if(in)
    {
      count = count + 1;
    }
    else
    {
      count = count - 1;
    }
    Serial.print("EZ ");
    Serial.println(count);
    in = false;
  }

  resetAllPhase();
}
delay(100); // This delay time changes by 50 for every sensor in the chain.
For 5 sensors this will be 250
}

```

Bilaga I - Resultatsammanställning

I Tabell 18, Tabell 19 och Tabell 20 presenteras detaljerade resultat för de olika delexperimenten. Passeringar är hur många deltagare som gick det varvet. Övriga värden är skillnaden mot vad respektive sensor registrerat. Eftersom ingen sensor registrerat fler än vad som passerat är de värdena noll eller mindre. Nedersta raden i varje tabell är summan.

Tabell 18. Sammanställning av resultat för 85 cm dörrbredd.

Passeringar	1,2 m/s				1,5 ms/			
	1 s		0,7 s		1 s		0,7 s	
	IR	EZ	IR	EZ	IR	EZ	IR	EZ
7	0	-2	0	-3	0	-3	-1	-4
7	0	-2	0	-5	0	-5	-1	-6
7	0	-2	0	-3	-1	-6	-2	-5
7	0	-2	-1	-3	-1	-6	0	-4
7	-1	-2	-2	-2	0	-3	-1	-3
7	-1	-1	-1	-2	0	-5	0	-5
42	-2	-11	-4	-18	-2	-28	-5	-27

Tabell 19. Sammanställning av resultat för 100 cm dörrbredd.

Passeringar	1,2 m/s				1,5 ms/			
	0,8 s		0,6 s		0,8 s		0,6 s	
	IR	EZ	IR	EZ	IR	EZ	IR	EZ
7	-1	-3	-1	-2	-1	-4	-2	-4
7	-1	-3	-1	-3	-1	-5	-1	-3
7	0	-2	-1	-3	0	-4	-1	-4
7	-2	-4	-2	-5	0	-1	-2	-2
7	-1	-1	0	-3	0	-4	0	-3
7	-3	-3	-2	-3	-2	-4	0	-5
42	-8	-16	-7	-19	-4	-22	-6	-21

Tabell 20. Sammanställning av resultat för 120 cm dörrbredd.

Passeringar	1,2 m/s				1,5 ms/			
	0,7 s		0,5 s		0,7 s		0,5 s	
	IR	EZ	IR	EZ	IR	EZ	IR	EZ
6	-1	-1	-2	-2	-2	-4	-2	-5
6	-3	-2	-4	-3	-3	-4	-3	-4
6	-4	-5	-4	-3	-1	-5	-2	-3
6	-4	-2	-5	-6	-3	-3	-5	-5
6	-2	-3	-1	0	-3	-6	-3	-2
6	-1	-2	-3	-3	-2	-2	-4	-4
6	-2	-2	-5	-3	-1	-4	-5	-5
42	-17	-17	-24	-22	-27	-28	-24	-28