

Test av ny mätmetod för att mäta personflöde genom öppningar

Viktor Fridholm

Kevin Rasmusson

Brandteknik
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet

Fire Safety Engineering
Lund University
Sweden

Rapport 5537, Lund 2017

Rapporten har finansierats av Brandteknik



LUNDS UNIVERSITET
Lunds Tekniska Högskola

Test av ny mätmetod för att mäta personflöde genom öppningar

Viktor Fridholm och Kevin Rasmusson

Lund 2017

Titel: Test av ny mätmetod för att mäta personflöde genom öppningar.

Title: Test of new method to measure personal flow through door openings.

Författare/Authors: Viktor Fridholm, Kevin Rasmusson

Rapport/Report: 5537

ISRN: LUTVDG/TVBB-5537-SE

Språk/Language: Svenska/Swedish

Antal sidor/Number of pages: 64

Illustrationer/Illustrations: 35

Keywords: Distance graph, laser scanner, LiDAR, personal flow, RPLIDAR, time diagram, Time-of-Flight, triangulation, video camera.

Sökord: Avståndsgraf, laserskanner, LiDAR, personflöde, RPLIDAR, tidsdiagram, Time-of-Flight, triangulering, videokamera.

Abstract: The purpose of this study is to evaluate a method of measuring personal flow through door openings using the laser scanner RPLIDAR. An experiment was carried out November 2nd 2016 in the fire laboratory at the Faculty of Engineering, Lund University. This report is limited to finding the potential for future applications based on the experimental data obtained.

During the experiment the laser scanners were placed above a constructed door opening continuously collecting data on passing participants. Collected data were then analyzed and compared with a film captured by video cameras, acting as a verifying method of measurement. The method of measurement showed potential, however, further development was considered to be required.

Disclaimer: Bilder som ej är tagna eller skapade av författarna har använts med tillstånd från ägaren eller i enlighet med Creative Commons Attribution 2.0 Generic samt Attribution 3.0 Unported. Författarna ansvarar för innehållet i rapporten.

© Copyright: Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund 2017

<p>Avdelningen för brandteknik Lunds universitet Box 118 221 00 LUND telefon: 046-222 73 60 e-post: brand@brand.lth.se http://www.brand.lth.se</p>	<p>Division of Fire Safety Engineering Lund University P.O. Box 118 SE-221 00 LUND SWEDEN telephone: +46-(0)46-222 73 60 e-mail: brand@brand.lth.se http://www.brand.lth.se</p>
---	--

Förord

Detta examensarbete innebär slutförandet av vår tid på Brandingenjörsprogrammet vid Lunds tekniska högskola. Arbetet har utförts under tidsperioden september 2016 och januari 2017.

Vi skulle vilja tacka alla som har hjälpt oss och varit ett stöd under detta examensarbete. Först och främst skulle vi vilja tacka vår handledare Daniel Nilsson som funnits för oss och delat med sig av sina kunskaper och erfarenheter som under arbetsgången varit ovärderliga. Ett stort tack riktas även till Jonathan Wahlqvist, som gjorde det möjligt för oss med mjukvaran för att samla in data under experimentet. David Nilsson, som hjälpte oss med videoredigering, är också värd ett tack.

Ytterligare ett tack skickar vi till Erik Holgersson och Emma Lindström för att vi på ett effektivt sätt kunnat utföra försöken till våra examensarbeten samtidigt. Vi vill även tacka de försökspersoner som ställt upp i experimentet, utan deras hjälp hade detta arbete inte kunnat utföras. Även våra klasskamrater och opponent(er) har varit en stor tillgång tack vare deras stöd och återkoppling under arbetsgången.

Sammanfattning

Syftet med denna rapport är att utvärdera en ny mätmetod för att mäta personflöde genom dörröppningar med hjälp av laserskannern RPLIDAR från RoboPeak. Studien utgör examensarbete på Brandingenjörsprogrammet vid Lunds tekniska högskola.

RPLIDAR är en laserskanner som använder sig av *LiDAR* för att mäta avstånd. LiDAR står för *Light Detection And Ranging* och är en typ av optiskt mätinstrument som använder sig av pulser från laserljus för att mäta avståndet mellan en sensor och reflektionspunkter. Metoden som RPLIDAR använder sig av vid avståndsmätning är triangulering. Räckvidden hos laserskannern är 0,2 – 6 meter och den roterar 360 grader.

I examensarbetet användes även en sedan tidigare etablerad metod, med hjälp av videokameror, att mäta personflöde för att verifiera laserskannerns resultat.

Rapporten avgränsas till att finna en potential för framtida användning av mätmetoden med laserskanner baserat på de experimentella resultaten. Därmed lämnas den eventuella vidareutvecklingen av mätmetoden över till framtida undersökningar. Endast system som utför avståndsmätningar inventeras. Därför tas inte övriga system som kan användas vid mätning av personflöde upp i studien.

För att avgöra om mätmetoden har potential utfördes experiment den 2 november 2016 i brandlaboratoriet på Lunds tekniska högskola. Under detta experiment fick tio försökspersoner, i olika kombinationer, passera en uppbyggd dörröppning där två laserskannrar placerats ovanför, en i främre delen av öppningen och en i bakre. Hela experimentet filmades av två videokameror placerade i lokalens undertak.

Då experimentet slutförts hanterades och filterades erhållen data för att kunna jämföra de uppmätta avstånden med det verkliga fallet som spelats in av videokamerorna. Jämförelserna gjordes med hjälp av avståndsgrafer som visade datapunkter där försökspersoner blivit träffade av laserskannrarnas laserpulser. Ett kartesiskt koordinatsystem användes för att visa deltagarnas position i dörröppningen. Även tidsdiagram användes för att undersöka hur flödet i dörröppningen såg ut under tiden försökspersoner i olika formationer passerade.

När resultaten analyserats kunde slutsatser dras kring mätmetodens potential och vilka eventuella förbättringar som kan göras inför framtida undersökningar med hjälp av metoden. Dessa var följande:

- Laserskannern har visat potential vid mätning av personflöde i dörröppningar.
- Mätmetoden har kunnat identifiera både en och flera försökspersoner i dörröppningen.
- För tillfället krävs en kompletterande mätmetod för att undvika felbedömningar.
- För att mätmetoden ej skall behöva en verifierande mätmetod krävs ökad frekvens hos laserskannern och en förbättrad mjukvara.

Mätmetoden anses därmed ha potential för framtida tillämpning om vidareutveckling kring ovanstående punkter utförs.

Executive summary

The purpose of this report is to evaluate a new method of measuring personal flow through door openings using the laser scanner RPLIDAR from RoboPeak. This study constitutes a thesis of the Fire Safety Engineering program at the Faculty of Engineering (LTH) of Lund University.

RPLIDAR is a laser scanner which uses *LiDAR* technology to measure distances. LiDAR is an acronym of *Light Detection And Ranging* and is a type of optical measuring instrument which uses pulses of laser light to measure the distance between a sensor and points of reflection. To measure distance RPLIDAR uses triangulation. RPLIDAR is a 360° laser scanner with a distance range of 0.2 – 6.0 meters.

Using video cameras is a previously established method of measuring personal flow and therefore was used to verify the laser scanners acquired data throughout this project.

This study is limited to finding the potential for future applications based on the experimental data obtained by the new method of measurement using laser scanners. Any further development of the measuring method is consequently reallocated to future studies. Inventoried systems will only consist of those based on distance measurement. Additional systems used to measure personal flow is consequently not part of this study.

To determine the potential an experiment was carried out on November 2nd 2016 using the fire laboratory at the Faculty of Engineering in Lund. During the experiment ten participants, in different combinations, was tasked with passing a door opening containing two laser scanners positioned at the top. One laser scanner was placed at the front of the opening while the other was placed at the back. The entire experiment was captured on film using two video cameras placed in the ceiling of the facility.

After the conclusion of the experiment acquired data was controlled and filtered to create the possibility of comparing the measured distances with what was the real life case which was captured on the video cameras. These comparisons were made using graphs showing the distance to the points where passing participants were hit by laser pulses. To display the data points and their location in the door opening a Cartesian coordinate system was used. The use of diagrams, showing elapsed time between individual scans and the associated data points of each scan, presented the personal flow from different formations through the door opening as a function of time.

When an analysis of the results was finalized a conclusion including the potential of the new measuring method and which future improvements are possible was made. The suggested improvements were:

- The laser scanner has shown potential while measuring personal flow through door openings.
- The measurement method has been able to identify single and multiple participants passing through the door opening.
- At this time an additional measurement method has to be used to avoid misconceptions.
- Improvements to make the method of measurement applicable without a verifying method requires an increased frequency of the laser scanner and an enhanced software.

The measurement method is deemed applicable in the future if further development according to the listed recommendations above are carried out.

Innehåll

1. Inledning	1
1.1 Syfte	1
1.2 Mål	1
1.3 Metod	2
1.4 Avgränsningar	2
2. Teori	3
2.1 LiDAR	3
2.2 Ultrasoniska sensorer	10
2.3 Verifierande mätmetod	11
2.4 Jämförelser mellan de olika laserskannrarna	13
3. Experimentfas	15
3.1 Försökspersoner	15
3.2 Utrustning	15
3.3 Uppställning och geometri	16
3.4 Förberedelser	18
3.5 Genomförande	19
3.6 Datainsamling	21
4. Datahantering	23
4.1 Filtreringsprocessen	23
4.2 Omvandling från polära till kartesiska koordinater	26
4.3 Framtagande av avståndsgrafer	27
4.4 Framtagande av tidsdiagram	28
4.5 Framtagande av gånghastigheter	30
5. Resultat	31
5.1 Avståndsgrafer	31
5.2 Tidsdiagram	41
6. Diskussion	45
6.1 Resultat	45
6.2 Experimentfas	48
6.3 Datahantering	51
7. Slutsats	53
Referenser	55
Bilaga A – Etiska aspekter	57
Bilaga B – Samtyckesblankett	59
Bilaga C – Beräkningar	61

1. Inledning

Idag finns det flera olika programvaror som används vid utrymningssimuleringar, bland annat *Pathfinder* och *Simulex*. Målet med dessa simuleringar är att förutse hur ett eventuellt utrymningsscenario kan komma att se ut för ett objekt av intresse. Simuleringarnas reliabilitet beror i stor utsträckning på användaren av programmet, samt indata som appliceras (Thunderhead Engineering, 2016; IES Virtual Environment, 2014). Dessa indata bygger i sin tur på tidigare experiment där människors beteende studerats. Flertalet av dessa experiment har undersökt hur individer beter sig i utrymningssituationer. Exempelvis rapporten av Frantzich (2001) där det undersöks vilka faktorer som påverkar utrymningsförloppet. En metod att studera beteenden är att identifiera individers rörelsemönster och val av utrymningsväg i utrymningssituationer. Rörelsemönster kan mätas med hjälp av olika instrument och mätmetoder.

Idag utförs flera studier för att utveckla tekniken som används vid mätning av personers rörelser vid utrymning för att ge mer detaljerade data om utrymningsförloppet. Ett exempel är Nilsson (2016) där olika mätmetoder som används för att identifiera personer i rörelse utvärderas. Den metod som används mest idag är analys med hjälp av videokameror. Även om mätmetoden är den mest tillämpade finns en del brister med tillvägagångssättet. Etiska frågor är inget främmande i dessa sammanhang eftersom människor filmas under försökens gång. Det kan därför förekomma problem med hur videofilmerna får användas efter försöken slutförts. Utöver de etiska aspekterna med denna mätmetod krävs dessutom en tidsödande arbetsinsats för att utföra en fullgod videoanalys med tillfredsställande resultat.

I detta arbete kommer en ej beprövad mätmetod att utvärderas och jämföras med en mer traditionell mätmetod i form av videokameror. Hur videokameror används i dessa sammanhang beskrivs i Nilsson (2016). Utrustningen som används för att genomföra den nya mätmetoden är billigare än de traditionella med videokameror och etablerade laserskannrar. Studier med laserskannrar där utrustningens ekonomiska betydelse analyserats har utförts tidigare av Walkow (2006). Mätmetoden anses därför kunna bidra till en ökad tillgänglighet samt öka möjligheterna för flera framtida experiment och studier.

1.1 Syfte

Syftet med arbetet är att studera möjligheten att mäta personflöden genom öppningar med hjälp av en ny typ av mätmetod, där laserskanner används för att identifiera utrymmande som passerar genom en öppning.

1.2 Mål

Målet är att ta fram rekommendationer till framtida utveckling av mätmetoder för identifiering av personflöde genom öppningar.

1.3 Metod

Arbetet påbörjades med litteraturstudier med fokus på olika metoder som används för att identifiera och mäta personers rörelser. I dessa studier uppmärksammades användningen av videokameror, som bland annat tillämpades i Nilsson (2016). Videokameror valdes därför att användas för att verifiera den nya mätmetoden med laserskannrar. Utifrån litteraturstudierna, framförallt Walkow (2006), planerades därefter ett laboratorieförsök som ägde rum i brandlaboratoriet på Lunds Tekniska Högskola, där en ny mätmetod undersöktes.

Först byggdes en dörröppning upp med hjälp av hyllor som fanns tillgängliga i brandlaboratoriet. Denna öppning placerades centralt i försöksutrymmet för att försöka skapa uppfattningen om en rak korridor. Korridoren saknade tak, vilket innebar att videokamerorna placerades på undersidan av laboratorietaket medan instrumenten för den nya mätmetoden fästes i en ram ovanför dörröppningen. Videokamerorna placerades i takhöjd ovanför dörröppningen för att minska vinkelfel i mätningarna. Därefter samlades deltagare till experimentet, vilka skulle gå från en given punkt i korridoren till andra sidan av öppningen i olika formationer. Dessa formationer varierade mellan att en person gick själv, till att flera personer gick i grupper i olika tätheter. Antalet personer i de olika grupperna varierade mellan tre, fem och tio försökspersoner. I samband med att personerna passerade dörröppningen startades instrumenten för att se om den nya mätmetoden främst kunde identifiera individer, men även mäta deras gånghastighet genom dörröppningen. Laserskannrarna som användes placerades ovanför försökspersonerna i dörröppningen. Positionering av laserskannrar inspirerades av de tillvägagångssätt som Walkow (2006) använde sig av i sina studier.

Under förberedelserna studerades egenskaperna hos den laserskanner som används vid den nya mätmetoden med hjälp av produktinformation hämtad från tillverkare. Likaså studerades lämplig programvara för att konvertera experimentell data till användbar information. Programvaran som slutligen användes var en omgjord version av produktens källkod. Då data konverterats kunde resultaten slutligen jämföras och den nya mätmetodens noggrannhet undersökas.

1.4 Avgränsningar

Projektet avgränsades till att finna en potential baserat på de experimentella resultaten. Därmed lämnades den eventuella vidareutvecklingen av mätmetoden över till framtida undersökningar. Endast system som utför avståndsmätningar har inventerats i kapitel 2. *Teori*. Därför togs inte övriga system som kan användas vid mätning av personflöde upp i studien.

2. Teori

I detta kapitel kommer två olika slags avståndssystem presenteras, ett som använder sig av ljusvågor och ett som använder sig av ljudvågor. Utöver dessa kommer den verifierande mätmetoden med hjälp av videokameror att beskrivas. Då instrument använder sig av ljusvågor för att mäta avstånd är dessa baserade på *LiDAR*, vilket står för *Light Detection And Ranging*. Mätinstrument som istället utnyttjar användandet av ljudvågor är grundade på *Sonar* som är en akronym för *Sound Navigation And Ranging*.

Mätmetoden som verifieras i denna rapport använder sig av det första alternativet, det vill säga *LiDAR*, och information kring detta system presenteras först i detta kapitel. Där kommer systemets funktioner och egenskaper förklaras varpå tre olika delkapitel med instrument som använder sig av *LiDAR* introduceras, inklusive laserskannern som skall verifieras i rapporten. För att sedan få en bredare förståelse för de olika avståndssystemen som används i dagsläget förklaras därefter Sonars funktion och användningsområden. Till detta presenteras även två olika exempel på instrument som använder sig av just *Sonar*.

Avslutningsvis presenteras den mätmetoden som användes som verifierande mätmetod, det vill säga videokameror.

2.1 LiDAR

LiDAR är en typ av optiskt mätinstrument. Metoden är lik den för *RADAR* (*Radio Detection And Ranging*), men använder sig av pulser från laserljus istället för radiovågor. *LiDAR* utvecklades i början av 1960-talet i samband med att lasern började användas. *LiDAR* är en typ av fjärranalys och när det används avges fokuserade ljusstrålar från en sensor som sedan träffar en yta eller en partikel för att sedan reflekteras tillbaka till sensorn. Informationen används därefter till att beräkna avståndet till dessa ytor och partiklar. Denna typ av beräkning är även känd som *Time-of-Flight* och är metoden som används av flertalet laserskannrar. (National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Coastal Services Center, 2012)

Då tiden för den reflekterade laserpulsen är känd kan sedan avståndet beräknas enligt följande samband:

$$d = \frac{ct}{2} \quad \text{där}$$

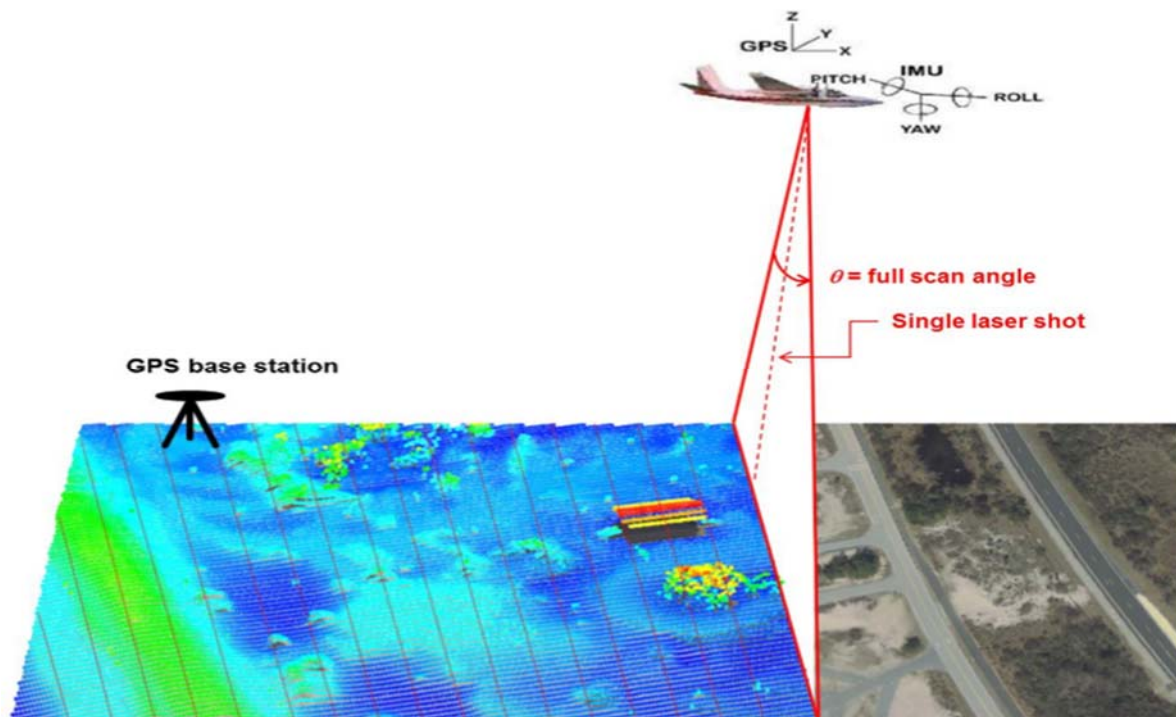
d	Avstånd till objekt	[m]
c	Ljushastigheten	[m/s]
t	Tiden från att laserpulsen skickas ut till att den återvänder till sensorn	[s]

När avståndet är känt registreras sedan laserpulsvinkeln samt positioneringen där sensorn var placerad då pulsen sköts ut. Med denna information är det sedan möjligt att bestämma var det reflekterande objektet befinner sig i x-, y-, och z-led (latitud, longitud och altitud).

En annan metod som används bland *LiDAR*-baserad utrustning är *triangulering*, vilket laserskannern som skall utvärderas i detta arbete använder sig av (National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Coastal Services Center, 2012). Information om triangulering och laserskannern som utvärderas finns tillgänglig i kapitel 2.1.1 *RPLIDAR*.

LiDAR kan användas i flera olika områden. Den ursprungliga användningen var att från en fast position på marknivå studera sammansättningar i atmosfären, men även moln och aerosoler. Än idag används tekniken i metrologiska sammanhang. Nuförtiden används LiDAR framförallt för att samla data över stora områden för att kunna skapa topografiska kartor, som beskriver områdets terräng, och anses vara en etablerad metod för detta ändamål. Tekniken används även över mindre områden så som projektområden där data på tidvattennivån, främst *lägre lågvattennivån* (MLLW), samlas in. Detta för att kunna kartlägga en högre kustlinje. Figur 1 nedan ger en typisk bild på hur det kan se ut då topografisk data samlas in. (National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Coastal Services Center, 2012)

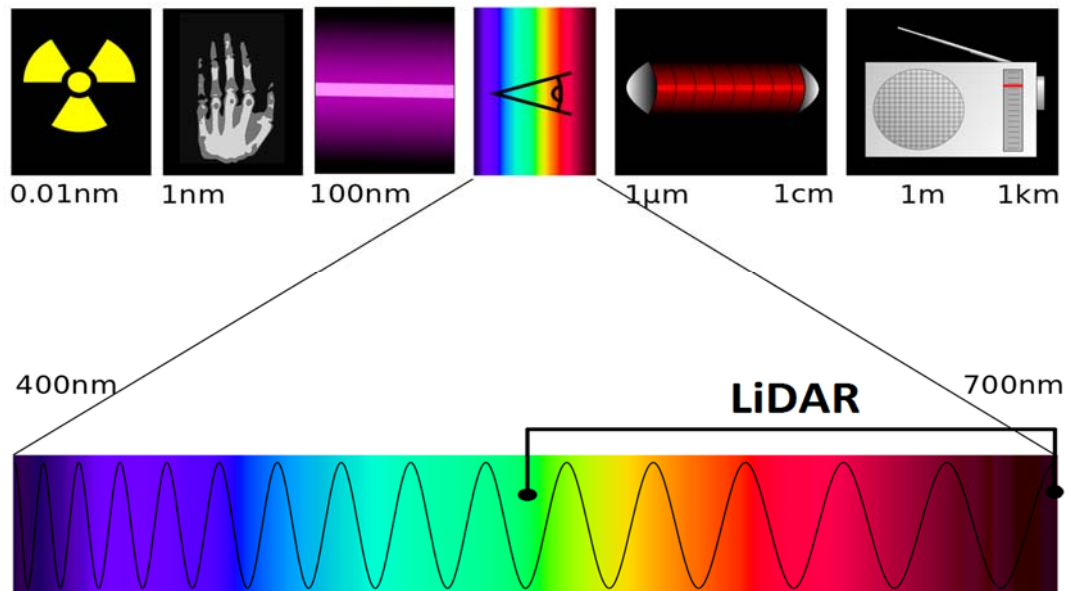
Eftersom LiDAR-baserade system är så kallade *aktiva system*, på grund av deras förmåga att avge laserpulser och att sedan upptäcka ljuset då det reflekterats, kan LiDAR data samlas in nattetid. Vanligtvis är luften då klarare samtidigt som flygtrafiken inte är lika aktiv som dagtid. En del sensorer påverkas negativt av solljus och därför är möjligheten att samla in data under nattetid en stor fördel. Till skillnad från radar är LiDAR även väderberoende i det avseende att förmågan att genomtränga moln, regn samt tät dimma/dis saknas. På grund av detta görs den huvudsakliga datainsamlingen på natten eller då vädret ej bidrar till svårigheter för utrustningen. (National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Coastal Services Center, 2012)



Figur 1. Då topografisk data samlas ihop sker det oftast med hjälp av flygplan med laserskanner och kan på så vis täcka stora områden snabbt (National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Coastal Services Center, 2012).

Utrustning som använder sig av LiDAR har förmågan att samla in data med en frekvens på över 150 kilohertz. Detta innebär att det skickas ut 150 000 laserpulser varje sekund. Data som erhålls baseras på nätverk av noggranna geografiska referenspunkter som sedan kan användas för att skapa tredimensionella framställningar av exempelvis olika objekt eller jordens yta. Denna typ av data kallas ofta för *point cloud* och kan behöva konverteras till användbar information med hjälp av olika datorprogram. (National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Coastal Services Center, 2012)

LiDAR-baserade system kan arbeta på olika våglängder i det elektromagnetiska spektrumet. De flesta håller sig nära den infraröda zonen medan en del sensorer fungerar i det gröna området. Dessa sensorer används framförallt för att kunna genomtränga vatten och för att på så vis kunna skanna terränger på havsbotten. Figur 2 nedan visar var i det elektromagnetiska spektrumet som LiDAR normalt verkar. (National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Coastal Services Center, 2012)



Figur 2. I det elektromagnetiska spektrumet arbetar sensorer som använder sig av LiDAR främst nära den infraröda zonen, men sensorer som arbetar i den gröna delen av spektrumet förekommer (Tatoute & Phrood, 2006). Jämfört med originalbilden har färgskalan i figuren flyttats ned och intervallet där LiDAR verkar lagts till.

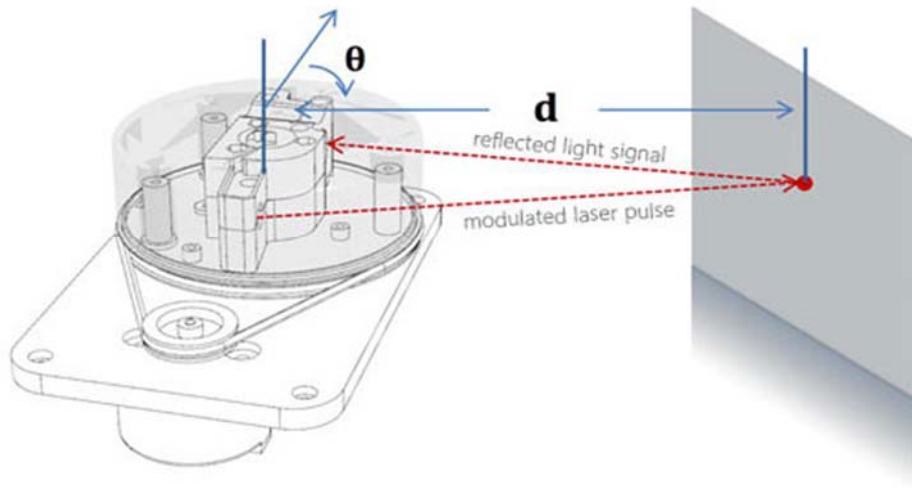
Ett företag som producerar mätutrustning som använder sig av LiDAR-teknik är SICK Sensor Intelligence. Avståndsmätarna utgörs av sensorer där både laserskannrar och ultrasoniska alternativ finns. Mätmetoderna som SICKs laserskannrar använder sig av är Time-of-Flight och triangulering medan ultrasoniska använder sig av ultraljud, vilket inte är LiDAR-baserat. De laserskannrar som använder sig av triangulering är bäst lämpade för kortare, mer precis avståndsmätning. De modeller som finns tillgängliga har en räckvidd på 50 till 50 000 millimeter. Denna typ av laserskanner används dagligen i robotikbranschen, där utrustningen nyttjas i olika robotapplikationer, och i mobil automation för att bland annat undvika kollisioner. De används även för att granska objekts tjocklek, form med mera. (SICK AG, 2016)

Då längre avståndsmätningar krävs övergår SICKs utrustning till mätmetoden Time-of-Flight. Dessa laserskannrar påverkas inte i lika hög grad av omgivande och reflekterande ljus och kan därför mäta avstånd från en halvmeter till över en kilometer. Denna typ av laserskanner används inom branschen för logistikautomation där de bland annat upprätthåller säkerheten hos portalkranar i olika industrier så som hamnar, terminaler och kraftverk. (SICK AG, 2016)

2.1.1 RPLIDAR

I experimentet studerades en laserskanner där målet var att se om denna kunde mäta personflöde genom en dörröppning. Laserskannern som utvärderades har produktnamnet RPLIDAR (A1M1-R1) och är tillverkad av företaget RoboPeak. Laserskannern RPLIDAR använder sig av LiDAR-teknik, vilket beskrevs i föregående kapitel 2.1 *LiDAR*. Dock mäter denna inte avstånd med hjälp av Time-of-Flight, utan använder sig istället av en annan metod, så kallad triangulering. (RoboPeak, 2014).

RPLIDAR sänder ut laserpulser nära den infraröda delen av det elektromagnetiska spektrumet, vilket i sin tur sedan reflekteras av intelligande objekt. Reflektionen tas sedan in av laserskannerns mottagare, placerad någon centimeter från utsändaren av laserpulser, där signalen därefter samplas. Genom ett inbyggt kommunikationssystem mellan utsändare och mottagare bildas en triangel varpå samplad data bearbetas av en signalprocessor. Bearbetad data ges sedan ut i vinkel, avstånd och felmarginal till närmaste objekt. Vinkeln som registreras är den vinkel laserskannern befinner sig vid under sin rotation då laserpulsen skickas från utsändaren. Avståndet som ges i utdatafilen är avståndet till laserpulsens reflektionspunkt från utsändaren vid den givna vinkeln. Hur RPLIDAR använder sig av triangulering tydliggörs nedan i figur 3. (RoboPeak, 2014)



Figur 3. Proceduren då RPLIDAR mäter avstånd med hjälp av triangulering (RoboPeak, 2014).

RPLIDAR kan identifiera sin omgivning i 360 grader, då utsändaren roterar med en frekvens mellan 1 – 10 Hertz, och upptäcka objekt cirka sex meter från sändaren (RoboPeak, 2014). Enligt användarmanualen behöver laserskannern värmas upp genom att få snurra fritt i cirka två minuter för att ge så bra mätresultat som möjligt. Laserskannern kan även vara känslig för temperaturer upp mot 40 °C, respektive låga ner mot -10 °C. Manualen påpekar även att starka ljuskällor så som starkströmlaser eller direkt solljus kan skada sensorn. Den teknik som laserskannern använder är sedan tidigare känd i andra användningsområden, exempelvis självgående robotdammsugare och robotgräsklippare. Laserskannern visas nedan i figur 4 från tre olika vinklar.



Figur 4. Laserskannern RPLIDAR sedd ovanifrån, framifrån och underifrån. Lasersändare samt mottagare kan ses i bilden till i mitten.

2.1.2 Laserskanner LMS500-2000 Pro

LMS500-20000 Pro är produktbenämningen för en typ av laserskanner som skulle kunna användas vid mätning av personflöde, men som ej använts i experimentet. Laserskannern säljs av företaget SICK vilka inriktar sig på tillverkning av sensorer och olika sensoriska lösningar i industri och logistik. Den här laserskannern är både dyrare och större än RPLIDAR, men utgår från liknande grundprinciper. Likt RPLIDAR skickar LMS500-20000 Pro ut infraröd laser i ett plan vilken reflekteras tillbaka av intilliggande objekt. Objektens placering ges ut i både avstånd och vinkel, men beräknas med hjälp av ToF-metoden istället för triangulering. (Sick Sensor Intelligence, 2016)

Enligt SICK rekommenderas laserskannern till flera olika användningsområden, allt från identifiering av objekt på pallställ till mätningar i gatubrunnar. Laserskannern kan identifiera objekt på ett avstånd upp till 80 meter och har ett synfält på 190°. Skanningsfrekvensen går att ställa in i olika steg från 25 Hz till 100 Hz, samt ett flertal andra egenskaper vilka går att läsa om på produktensida (Sick Sensor Intelligence, 2016). Denna större och dyrare laserskanner kan ses nedan i figur 5.



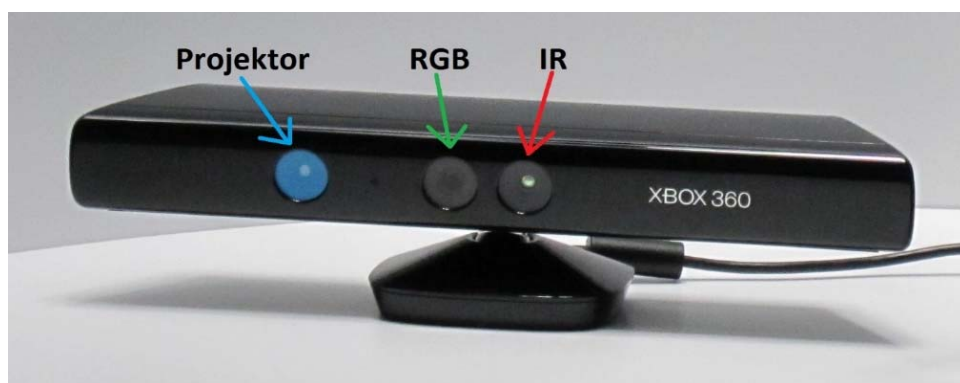
Figur 5. SICKs laserskanner LMS500-2000 Pro (Sick Sensor Intelligence, 2016).

En liknande laserskanner, LMS221, har tidigare använts vid mätning av personers förflyttning. I en studie av Walkow (2006) placerades två laserskannrar ovanför de deltagande individerna. Genom att använda två laserskannrar kunde Walkow, utöver att identifiera passerande individer, göra en uppskattning av personernas gånghastighet. Ytterligare en placeringsmöjlighet är att positionera laserskannern framför personer i höjd med deras torso och studera rörelsemönster då de rör sig mot laserskannern. (Nilsson, 2016; Walkow, 2006)

2.1.3 Time-of-Flight-kamera och Kinect

Det är inte enbart laserskannrar som använder sig av LiDAR eller Time-of-Flight och triangulering. Metoderna har även kunnat implementerats i olika typer av kameror som kan användas vid avståndsmätningar. Dessa kameror kallas generellt för *Time-of-Flight-kameror*. En annan kamera som även utnyttjar tekniken är Microsofts olika versioner av *Kinect*. Kamerorna utför inte mätningar på samma vis som laserskannrar då LiDAR-tekniken används på ett annorlunda sätt. Därför får kamerorna ett eget delkapitel där deras funktion och hur de används i dagsläget beskrivs.

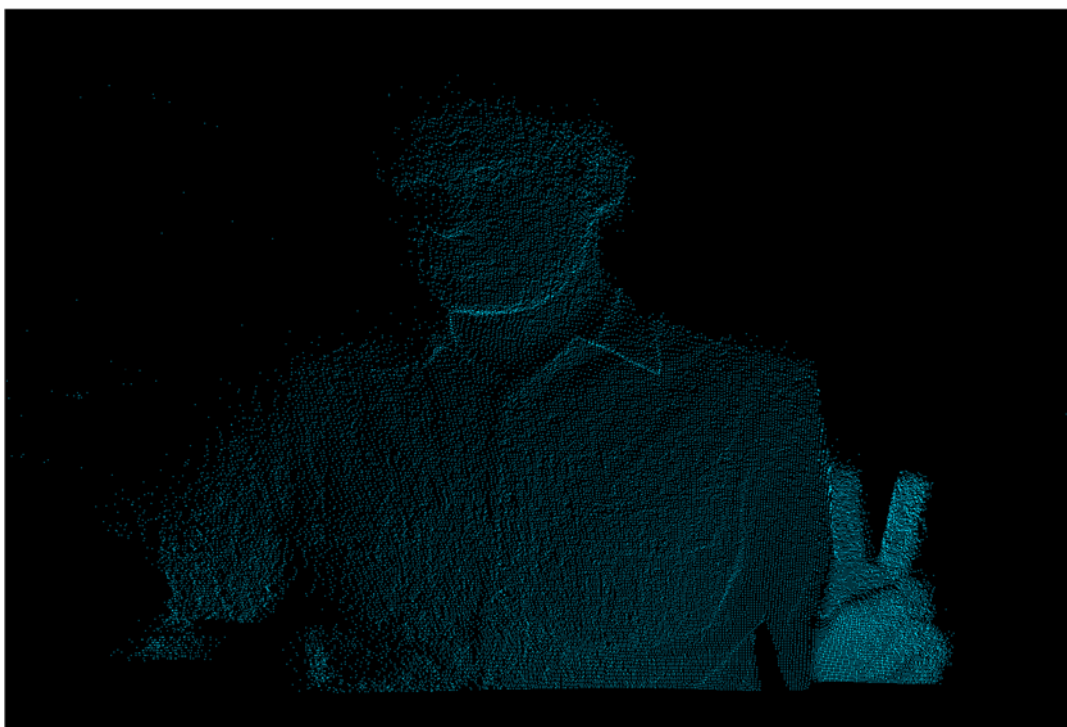
Syftet med kameror som använder sig av Time-of-Flight (ToF) är att skapa en *djupbild*. Detta skiljer sig från andra Time-of-Flight-baserade instrument som istället producerar ett point cloud, vilket nämntes tidigare i kapitel 2.1 *LiDAR*. I denna djupbild blir avståndet till en punkt av det som undersöks kodat i en motsvarande pixel i kameran. Djupbilden fås genom att kameran belyser området med en ljuskälla som sänder ut ljus nära den infraröda delen av det elektromagnetiska ljusspektrumet (som ej är synligt för det mänskliga ögat). Ljuskällan utgörs ofta av en solid-state laser eller en typ av LED-belysning. För att få fram ett avstånd mäter ToF-kameror det reflekterade infraröda ljusets färförskjutning. (Hansard, Lee, Choi, & Horaud, 2012; Li, 2014).



Figur 6. Microsofts Kinect (version 1) kan ses till höger i figuren (Pfaff, 2010). Jämfört med originalbilden har förklarande text och pilar som visar var viktiga komponenter sitter lagts till.

En annan metod för att mäta djup är att använda sig av *structured-light*. Metoden används av bland annat Microsofts Kinect (version 1) till Xbox 360, vilken inte är en ToF-kamera, som kan ses i figur 6 ovan. Kinect är sammansatt av en IR-kamera och en IR-projektor, som skapar ett mönster av infrarött ljus, samt en färgkamera (RGB). IR-kameran och IR-projektorn används sedan för triangulering av olika punkter i rummet. Kinect fungerar på så vis som en djupsensor och en färgkamera som kan användas för att identifiera strukturer som punkter i 3D. På grund av dessa egenskaper kan Kinect användas i liknande tillämpningar som ToF-kameror. Hur IR-kamera och RGB-kameran skapar 3D-punkter vid projektion går att läsa i Smisek (2011). (Smisek, Jancosek, & Pajdla, 2011)

ToF-kamerorna som är tillgängliga på marknaden har en förhållandevis låg upplösning i jämförelse med vanliga 2D-kameror. Majoriteten har en upplösning på 320×240 pixlar eller lägre, vilket även Microsofts Kinect (version 1) har. Kinect till Xbox One (version 2) har gått över till att använda sig av Time-of-Flight och dess kamera har en upplösning på 512×424 pixlar (Hansard, Lee, Choi, & Horaud, 2012; Microsoft, 2016). Ett exempel på en djupbild visas i figur 7 på nästa sida.



Figur 7. En djupbild (point cloud) från en ToF-kamera (Bernardi, 2014).

Den låga upplösningen leder till en sämre djupprecision samtidigt som en del fel uppstår på grund av variationer i geometri, radiometri samt belysningsförhållanden. Exempelvis försämras mätningens exakthet då kraften hos den utsända IR-signalen förorenas av solljus, vilket i sin tur påverkar reflektionen. Denna begränsning sker eftersom den utsända IR-signalens intensitet är låg relativt den för solljus. Reflektionen påverkas även av objekts färg och typ av material. (Hansard, Lee, Choi, & Horaud, 2012)

Ytterligare ett problem som kan uppstå vid användning av ToF-kameror är att djupbilden påverkas av att kameran eller objekten som undersöks befinner sig i rörelse. Problemet med djupbilden blir då att den påverkas negativt av *motion blur*. Detta sker främst då både bildfrekvens samt djupnoggrannhet är beroende av integrationstiden. Ju längre integrationstiden är desto högre noggrannhet brukar vanligtvis uppnås i djupmätningar. Därför kan det vara värt att överväga att sänka bildfrekvensen för att öka integrationstiden vid mätningar på statiska objekt. På objekt i rörelse leder istället en bestämd bildfrekvens till en begränsning på integrationstiden. Bildfrekvensen hos ToF-kameror kan nå upp till 160 bilder per sekund (FPS) och på grund av sin skannerlösa LiDAR-teknik, där hela området fångas med endast en puls, fungerar ToF-kameror relativt snabbt i jämförelse med LiDAR-baserade laserskannrar. (Hansard, Lee, Choi, & Horaud, 2012; Bluetech, 2016)

ToF-tekniken kan appliceras inom flera olika användningsområden. Idag förekommer användandet av ToF-kameror inom robotiken där de används för att robotar i rörelse ska kunna anpassa sig till sin omgivning och undvika eventuella hinder eller följa efter en person. Att robotar kan känna av och undvika hinder ökar även säkerheten inom dessa användningsområden. Tekniken används även för samspel mellan människa och maskin. Detta förekommer i tv-spelvärlden då spelaren kan använda sig av mjukvaran med hjälp av gester och dylikt. ToF-kameror används också vid datainsamling av jordens topografi. Detta användningsområde är dock dominerat av laserskannrar som har en betydligt längre räckvidd och som inte drabbas av motion blur i lika stor utsträckning. (Hansard, Lee, Choi, & Horaud, 2012; Li, 2014)

2.2 Ultrasoniska sensorer

Ultrasoniska sensorer använder sig av SONAR istället för LiDAR som de presenterade laserskannrarnas system är baserade på. SONAR står för *Sound Navigation And Ranging* och fungerar på ett liknande vis som LiDAR. Istället för att sända ut pulser av laserljus sänds istället pulser av ljudvågor i hög frekvens ut. Då dessa ljudvågor når ett objekt reflekteras ekot tillbaka till utsändaren och ett avstånd kan beräknas. (Rockwell Automation, 2016)

Avståndsberäkningen är likadan som den för Time-of-Flight, skillnaden är en variabel och ser ut enligt följande:

$$d = \frac{v_s \times t}{2} \quad \text{där}$$

v_s Ljudets hastighet [m/s]

Skillnaden mellan beräkningar för LiDAR och SONAR är alltså endast hastigheterna. Då sensorn upptäcker ljudet skapas en outputsignal som kan vara analog eller digital. Denna signal kan sedan tolkas av en dator för att få ut avstånden till de objekt som reflekterat ljudvågorna. (Rockwell Automation, 2016)

Ultrasoniska sensorer har förmågan att upptäcka de flesta typer av objekt så länge som deras akustiska reflektionsförmåga är tillräckligt hög. Därför kan klara, disiga, metaller och icke-metaller, samt flytande och fasta objekt upptäckas av denna typ av sensorer. Ultrasoniska sensorer påverkas inte heller i lika hög grad av kondenserande fukt som andra typer av sensorer. På grund av dessa egenskaper lämpar sig denna typ av sensorer väl vid avståndsmätningar för att upptäcka nivåskillnader i exempelvis tankar. Användningen av SONAR-baserade system är även vanligt förekommande på fartyg då de utsända ljudvågorna fungerar bra i vatten. Både militären och fiskare utnyttjar detta. En nackdel med ultrasoniska sensorer är att då ljudabsorberande material undersöks erhålls sämre resultat eftersom den akustiska reflektionen påverkas negativt. Dessa typer av material utgörs bland annat av tyger, mjöl och skum, samt mjukt gummi. (Rockwell Automation, 2016)

2.2.1 UM30

Tidigare nämndes det att SICK utöver laserskannrar även producerar ultrasoniska sensorer. En av de sensorer som säljs är den universella UM30. Produkter i UM30-familjen har en räckvidd till maximalt åtta meter och är oberoende av färger då den upptäcker objekt. Den kompenserar för temperaturer och kan användas i omgivningstemperaturer runt 70 °C. En sensor i UM30-familjen från SICK visas nedan i figur 8. (SICK Sensor Intelligence, 2016)



Figur 8. Ultrasonisk sensor som använder sig av ultraljud vid avståndsmätningar, tillverkad av SICK (SICK Sensor Intelligence, 2016).

2.2.2 UC30

UC30 är en annan modell av ultrasonisk sensor från SICK. Likt UM30-modellen har sensorn en räckvidd upp till åtta meter och är oberoende av både färger och materialglans när den upptäcker objekt. Även materials transparens eller ljus från omgivande källor påverkar ej mätningarnas tillförlitlighet. Både responstid och utmatningstid påverkas delvis av detta då den är aningen långsammare i jämförelse med ovanstående UM30-sensor. UC30 marknadsförs som en robust och stabil sensor då den är okänslig mot smuts, damm och fukt, samt kan kompensera temperatur för att optimera mätningar. Tillskillnad från den stavformade UM30-familjen är produkter under namnet UC30 kubformade. Detta tydliggörs nedan i figur 9.



Figur 9. Kubformad ultrasonisk sensor från produktfamiljen UC30 av tillverkaren SICK (SICK Sensor Intelligence).

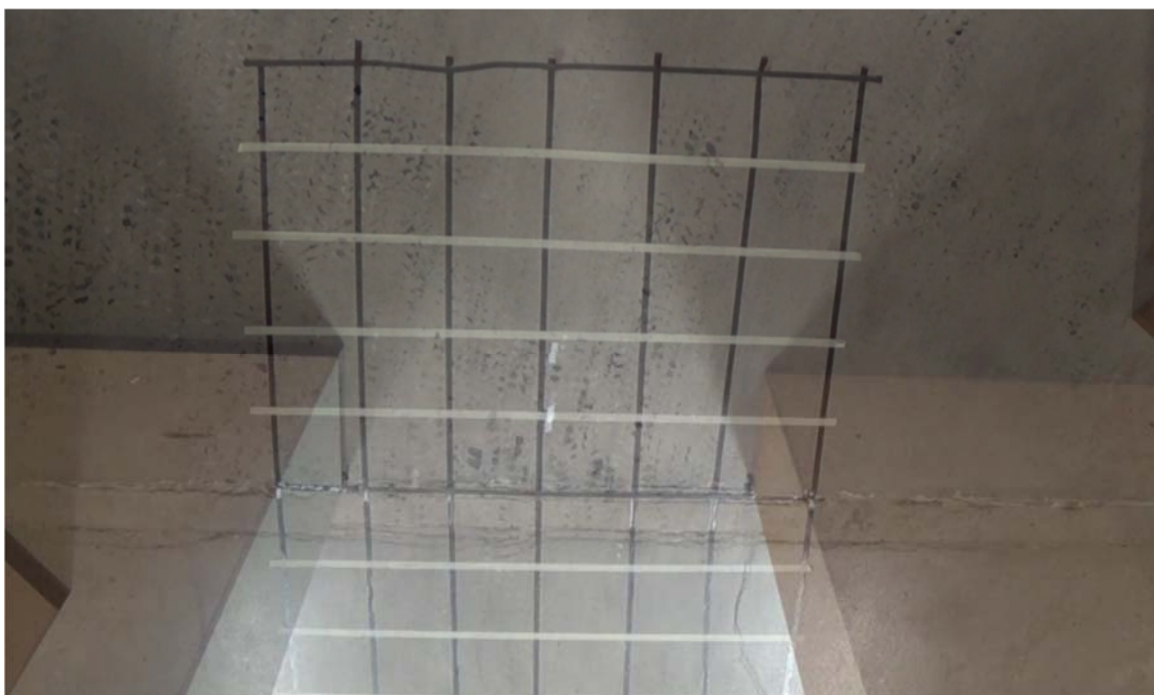
Utöver de två ultrasoniska sensorer som nämnts finns flera produktfamiljer med olika utseenden och egenskaper från tillverkaren SICK. Den universella UM30 samt den robusta UC30 valdes att tas upp för att tydliggöra att de brister med som finns då ultrasonisk avståndsmätning utförs går att kompensera. Nackdelen är att exempelvis responstid kan påverkas. Mer information om fler ultrasoniska sensorer går att hitta på SICKs hemsida.

2.3 Verifierande mätmetod

Syftet med detta arbete är att verifiera den nya mätmetoden med laserskannrar för att mäta personflöde genom öppningar. För att ha möjligheten att avgöra hur pass användbar den nya mätmetoden verkligen är till det beskrivna ändamålet måste dess mätresultat jämföras med en redan etablerad mätmetod. I denna rapport utgörs den etablerade mätmetoden av videofilm och en analys av det inspelade experimentet.

2.3.1 Videokamera

I experimentet kommer två videokameror att användas för att verifiera mätdata från laserskannrarna. Genom att forma ett rutnät på golvet och placera kamerorna ovanför går det att uppskatta personernas hastighet och rörelsemönster. Rutnätets funktion är att motsvara ett koordinatsystem. Mätmetoden går ut på att rutnätet ritas ut och filmas innan experimentet utförs. Rutnätet tas därefter bort och experimentet kan påbörjas. Efter filminspelningen kan rutnätet läggas in som bakgrund i videon och personernas placering går då att utläsa. Ett exempel på ett sådant rutnät visas i figur 10 på följande sida.



Figur 10. Exempel på ett inlagt rutnät i verifierande videofilm.

Med den beskrivna mätmetoden kan relativt noggranna uppskattningar på hastighet och rörelsemönster göras, men det finns ett flertal faktorer som kan påverka resultatet. För det första behövs någon form av referenspunkt, till exempel personernas fötter, nacke eller axlar. När det kommer till fötterna uppstår problem om vinkel eller om persontätheten är så hög att de inte går att se. Om axlar eller nacken används som referenspunkt kommer personernas skillnad i längd kunna leda till missbedömning av placering i rutnätet på grund av vinkelfel. För att minska vinkelfelet behöver kamerorna placeras högt ovanför marken, vilket kan vara ett problem om försöket utförs inomhus. (Nilsson, 2016)

I denna rapport har rutnätet enbart använts till att underlätta verifiering av de passerande försökspersonernas position samt att uppskatta deras gånghastighet. Rutnätet kommer ej att synas i kapitel 5. *Resultat* då det enbart använts under datahanteringsprocessen. Hur gånghastigheten uppskattades tas upp i *Bilaga C – Beräkningar*.

2.4 Jämförelser mellan de olika laserskannrarna

Jämfört med LMS500-20000 Pro är RPLIDAR ett väldigt billigt mätinstrument. Utifrån offerter och olika försäljningssidor dras slutsatsen att LMS500-20000 Pro är cirka tio gånger dyrare än RPLIDAR. Produktinformationen visar även att de två andra laserskannrarna väger mer än tio gånger så mycket jämfört med RPLIDAR och är flera gånger större. Detta betyder att RPLIDAR är mycket mer lättillgänglig i både pris och praktisk uppsättning. (Sick Sensor Intelligence, 2016; RoboPeak, 2014)

Trots de goda förutsättningarna har RPLIDAR ett antal nackdelar jämfört med de andra laserskannrarna. RPLIDAR mäter enbart på ett avstånd upp till 6 meter och har en relativt låg skanningsfrekvens, vilket leder till att en begränsad mängd information kan tas in. Både LMS500-20000 Pro och LMS221 må vara både större och dyrare, men de kan även skanna längre sträckor, har en mycket högre skanningsfrekvens, samt kommer med ett flertal andra funktioner vilka saknas i RPLIDAR. Felmarginalerna varierar även mellan de olika mätinstrumenten, där LMS500-20000 Pro utgör högst trovärdighet i mätningarna. (RoboPeak, 2014; Sick Sensor Intelligence, 2016; SICK AG, 2016)

I tabell 1 nedan visas en del utvalda egenskaper hos laserskannrarna där skillnaden på varje egenskap visualiseras. Vid intresse av ytterligare egenskaper bör laserskannrarnas respektive produktsida besökas.

Tabell 1. Denna tabell tydliggör skillnaderna för utvalda egenskaper bland mätutrustningen som använts i experimentet (RoboPeak, 2014; Sick Sensor Intelligence, 2014; SICK AG, 2016).

	RPLIDAR	LMS500	LMS221
Avstånd [m]	0,2 – 6	0 – 80	0 – 80
Vinkel [°]	0 – 360	0 – 190	0 – 180
Skanningsfrekvens [Hz]	1 – 10	25/35/50/75/100	75 (max)
Datainsamling [kBaud]	< 2	9,6 – 500	9,6 – 500

3. Experimentfas

Det här kapitlet innefattar förklaring och utförande av experimentet vars mål är att testa en ny mätmetod för mätningar av personflöde genom en dörröppning. De deltagande försökspersonerna fick passera enskilt samt i grupper om tre, fem och tio individer genom dörröppningen. Experimentet ägde rum i brandlaboratoriet på avdelningen Brandteknik i Lunds tekniska högskola, onsdagen den 2 november 2016. Etiska infallsvinklar kring experimentets genomförande går att läsa i *Bilaga A – Etiska aspekter*.

3.1 Försökspersoner

För att experimentet skulle fungera och ge önskvärd data, samtidigt som försöken flöt på för försökspersonerna, var det önskvärda antalet deltagare tio personer. Personerna som deltog i experimentet rekryterades från Brandingenjörsprogrammet på Lunds Tekniska Högskola, men även utomstående personer deltog.

Rekrytering skedde via mailkontakt eller via Facebook. I det utsända mailet förklarades examensarbetets syfte och hur experimentet skulle utföras i en kort sammanfattning. En intresseanmälan skulle därefter göras via ett formulär på webben av de som ville delta i experimentet. I formuläret lämnades även kontaktuppgifter för att möjliggöra kontakt med de utvalda försökspersonerna via mail för bekräftelse av deltagande på bestämd tid och datum. Då intresseanmälan översteg det önskvärda antalet på tio försökspersoner meddelades övriga individer att de var reserver för deltagande i experimentet. Detta ifall återbud från utvalda eller bekräftade deltagare uppträdde. Försökspersonernas ersättning för deltagande i experimentet delades ut i form av en biobiljett per person efter experimentet slutförts.

3.2 Utrustning

Till detta experiment användes först och främst en lokal med utrymme för all utrustning och alla försökspersoner, samt en så pass stor marginal att dessa kunde röra sig fritt. I detta fall utgjorde brandlaboratoriets källare denna beskrivna lokal. Byggnadsmaterial så som brädor och bokhyllor användes också vid experimentet. Främst till ramar åt de konstgjorda dörröppningarna, men även för upphängning av mätinstrument. De mätinstrument som användes var två laserskannrar (RPLIDAR A1M1-R1) och två videokameror (Sony HDR-CX220E).

De två laserskannrarna behövde en dator som strömförsörjare och datainsamlare, samt två USB-förlängningssladdar mellan dator och varje laserskanner. Videokamerorna monterades i takhöjd med hjälp av de medföljda stativen. För att utföra en kalibrering mellan de två laserskannrarna användes en kartong.

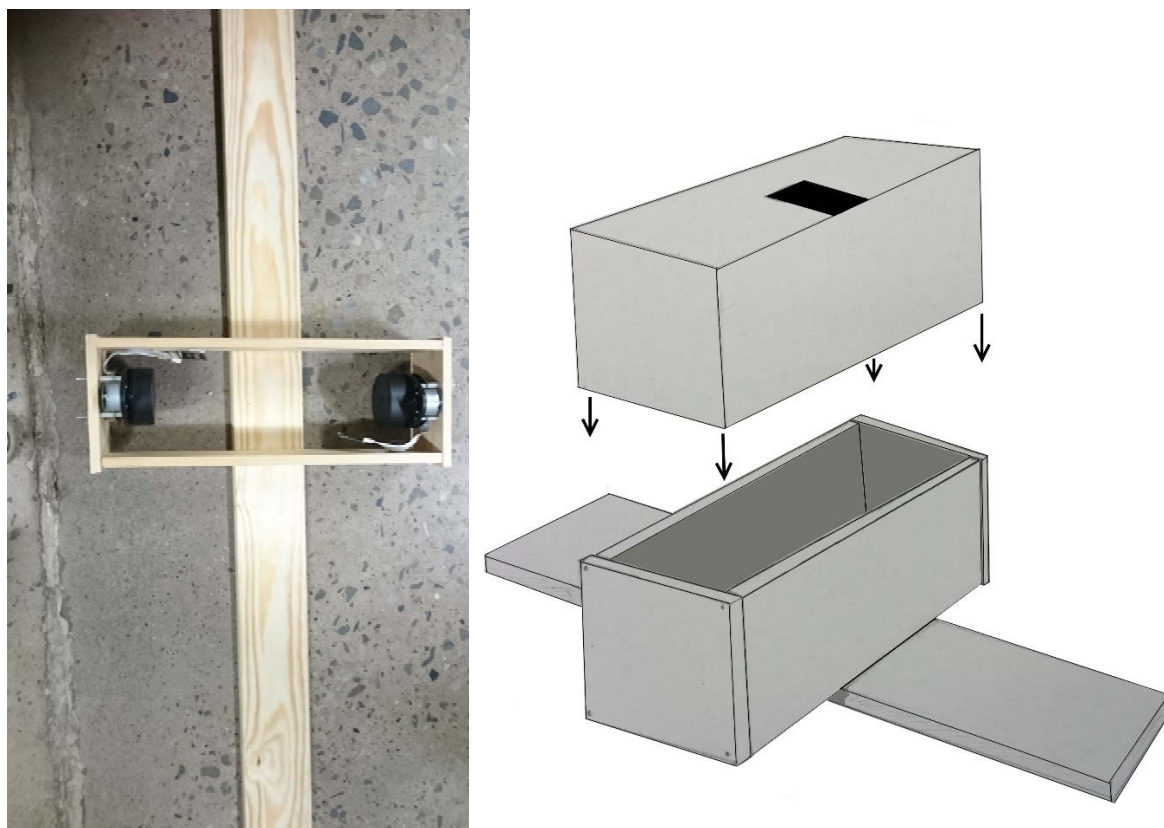
Utöver ovannämnd utrustning användes även hjälmar som ett hjälpmedel för att få en variation mellan samma typ av försök. Syftet var även undersöka om exempelvis hår gav missvisande resultat på grund av sin egenskap att inte reflektera ljus lika effektivt som andra material.

3.3 Uppställning och geometri

Experimentet utfördes den 2 november 2016 i brandlaboratoriet, vilket finns i V-husets källare på Lunds Tekniska Högskola. Den del av laboratoriet som användes till experimentet var avspärrad för obehöriga under experimentets gång

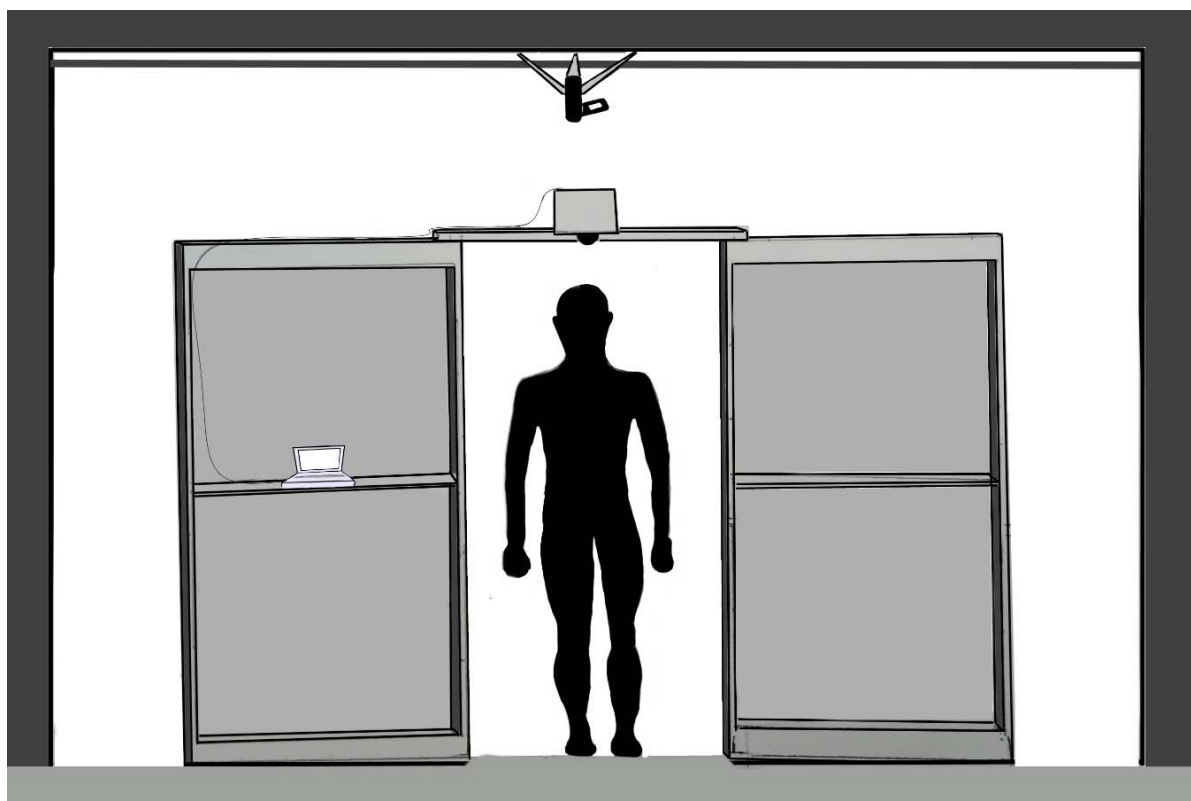
Experimentet bestod av ett test med en ny mätmetod för att mäta personflöde genom dörröppningar. Den nya mätmetoden bestod av två laserskannrar (RPLIDAR A1M1-R1), vilka placerades på vars en sida av en uppbyggd dörröppning bestående av hyllor. För att filtrera bort onödig information, exempelvis vad som hände ovanför laserskannrarna, byggdes en ställning. Denna ställning utgjordes av en planka som låg ovanpå hyllorna vid 2,2 meter över golvet. På denna planka fanns en fastspikad ram där laserskannrarna skruvades fast för att kunna mäta kontinuerligt under försökens gång. En kartong fördes över ramen för att enkelt kunna filtrera bort överflödiga data i efterhand.

Figur 11 nedan visar ställningen i sin helhet och laserskannrarnas placering, ungefär 25 centimeter från varandra, i denna. Mellan golvnivå och laserskannrarna var det en höjdskillnad på cirka 2,2 meter. Den svartmarkerade ytan i den högra delen av figur 11 representerar den öppning där USB-kablarna som anslöt laserskanner med dator passerade. Detta hål påverkade inte skanningsresultatet då det var beläget utanför laserskannrarnas respektive skanningsplan.



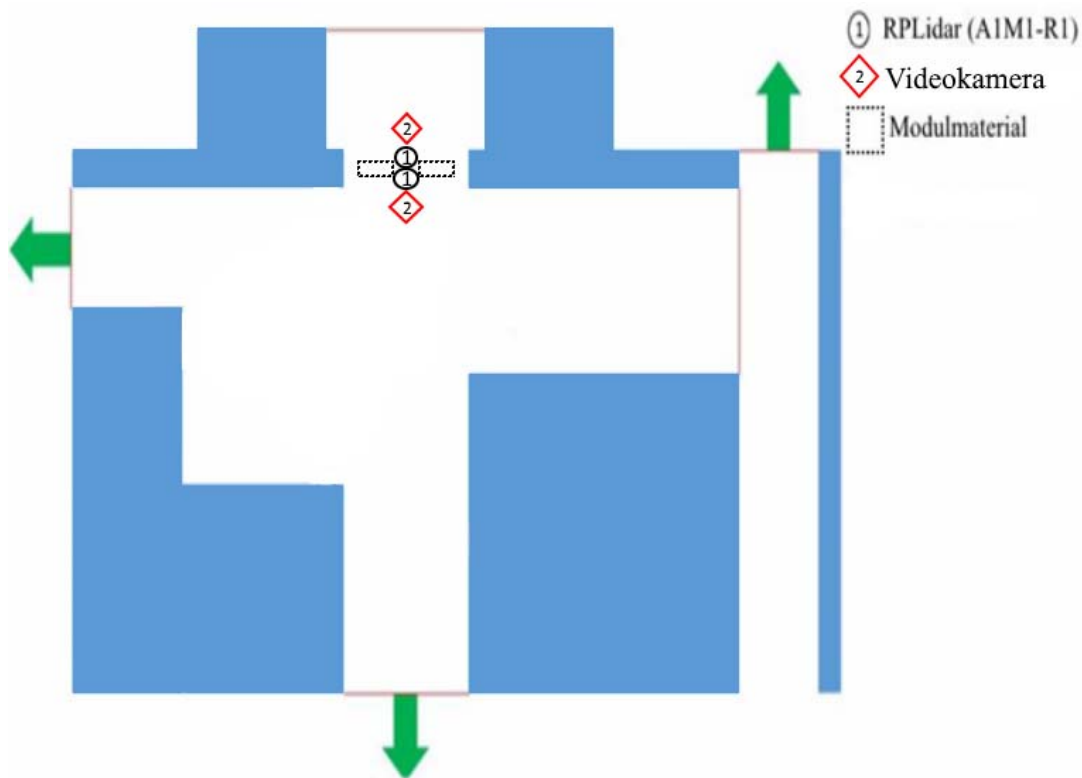
Figur 11. Denna ställning placerades på hyllorna som utgjorde dörröppning under experimentet. Den högra delen av figuren visar hur kartongen fördes över ramen.

Försökssupställningens uppbyggnad, placering av USB-kablar och dator, samt var personer passerade laserskannarna förtydligas nedan i figur 12. Två hyllor utgjorde dörröppning, med laserskannarnas ställning placerad ovanpå hyllorna. Öppningarna som kan ses längs hyllornas sidor fungerade som passager för deltagarna att ta sig tillbaka till experimentets utgångspunkt. Eftersom dessa öppningar var placerade längs med väggen, och inte under laserskannarna, påverkade detta inte resultatet. För att undvika onaturliga rörelser placerades en markering av tejp tre meter efter dörröppningen. Försökspersonerna var tvungna att passera denna markering innan de kunde återvända till utgångspunkten. Denna lösning valdes bland annat för att undvika att deltagarna svängde av direkt efter att ha passerat dörröppningen för att nå utgångspunkten snarast möjligt. Om de hade börjat vrida sig innan de passerat den andra laserskannern hade resultatet förvrängts.



Figur 12. Här visas försökssupställningen och samtliga inblandade komponenter. En av videokamerorna kan ses i taket. Den andra videokameran var placerad på liknande sätt som den i bilden, men i motsatt riktning vid hyllornas baksida.

Två videokameror placerades i brandlaboratoriet under genomförandet. En överblick av brandlaboratoriet samt placering av försökssupställning och respektive mätinstrument redovisas i figur 13 visas överst på följande sida. Blå färg utgör bärande struktur eller väggar medan blank yta utgör brandlaboratoriets tillgängliga golvyta. Endast en mindre del av den tillgängliga golvytan användes under experimentet, vilket är möjligt att observera i figur 13 samt har förklarats tidigare i detta kapitel.



Figur 13. Försöksuppställning av experiment, där placering av mätinstrument redovisas i form av siffror och symboler. De gröna pilarna representerar utrymningsvägar.

3.4 Förberedelser

För att bekräfta att utrustning fungerade tillfredsställande och att data erhöles önskvärt kontrollerades och kalibrerades samtlig utrustning (laserskannrar och videokameror) inför experimentet. Övriga förberedelser, så som uppbyggnad av laserskannrarnas ställning, utfördes under måndagen den 31 oktober samt tisdagen den 1 november, alltså dagarna innan experimentet den 2 november. Under dessa dagar säkerställdes det att eventuella hinder som kunde ha inverkan på experimentet undanröjts och att skyltar som tydliggör att experiment skulle utföras i lokalen under onsdagen sattes upp. Detta innebar även att objekt som befann sig i lokalen ej skulle flyttas omkring innan experimentet slutförts. Avspärningsband användes därefter för att markera försöksområdet. Även ställningen till laserskannrarna byggdes under dessa dagar.

Då övriga förberedelser färdigställdes tränades uppbyggnad av försöksuppställningen in för att skapa vana och under försökstillfället effektivisera monteringen. Avslutningsvis placerades mätutrustningen på lämpliga positioner för att utgöra referenspunkter för att underlätta datainsamlingen. Utrustningens funktion säkerställdes ytterligare en gång innan experimentet inleddes.

För att underlätta den följande dataanalysen då skannrarnas data skulle jämföras med videokamerornas, placerades ett rutnät ut på marken precis innan experimentet. Rutnätet bestod av kvadratiska rutor i storleken 20 x 20 centimeter, markerade med hjälp av tejp, och vars funktion var att underlätta uppskattning av försökspersonernas placering vid analys av videofilmerna. Rutnätet filmades under en minut och togs därefter bort igen, för att inte påverka utförandet av experimentet.

3.5 Genomförande

Den totala tiden för detta experiment uppgick till ungefär 30 minuters deltagande för försökspersonerna. Nedan beskrivs de moment som ägde rum under experimentet då laserskannrarna testades:

1. Försökspersonerna anlände till brandlaboratoriet, där de blev tilldelade samtyckesblanketter innehållande information om experimentet och säkerhet. I blanketterna fick de även skriva på att de godkänner att bli filmade, samt hur de skulle göra om de ville avbryta experimentet. Denna blankett kan ses i *Bilaga B – Samtyckesblankett*.
2. Därefter gick de ansvariga muntligt igenom blanketterna och förklarade experimentets tillvägagångssätt. Detta genom att bland annat demonstrera när de själva gick igenom öppningen samt vart deltagare skulle gå efter en mätning.
3. Laserskannrarna startades och en kort kalibrering där en kartong fördes genom dörröppningen för att identifiera skillnaden på starttid mellan de båda laserskannrarna samt för jämförelse med videokamerorna genomfördes.
4. Den första mätningen bestod av att en person i taget gick igenom en 0,9 meter bred öppning. Mätningarna för grupperna med tre, fem och tio personer fortsatte därefter utan något längre avbrott tills att alla planerade försök slutförts. Detta uppskattas ha tagit cirka 15 minuter.
5. Efter att samtliga försök på 0,9 meters dörröppning fullföljts utökades dörröppningen till 1,2 meter varpå tidigare tester och formationer repeterades enligt steg 3 och steg 4.

Deltagarna uppmuntrades att gå tätt då tester i grupp utfördes och att försöka hålla en normal gånghastighet. Då ej önskad densitet förekom uppmanades försökspersonerna att gå ännu tätare för att kunna utmana laserskannrarna. Denna styrning av densitet inträffade endast ett fåtal gånger då det ofta var svårt att urskilja hur fort och hur tätt deltagarna passerade mätinstrumenten.

Tio personer ingick i försöken, vilka hade i uppgift att gå igenom den uppbyggda dörröppningen i olika personantal och formationer medan laserskannrarna utförde mätningar. I experimentet varierade storleken på dörröppningen mellan två lägen, där i det ena fallet dörröppningen var 0,9 meter bred och 1,2 meter i det andra. Försök utfördes även där en del av försökspersonerna fick ha hjälm på huvudet. Av de tio deltagarna fick sex personer ha på sig hjälmar vid olika formationer och personantal. I figur 14 nedan visas de hjälmar som användes under experimentet, numrerade för att enklare dela ut rätt hjälm till rätt deltagare.



Figur 14. Hjälmar och individuella nummer som användes under experimentet.

Försöken då enbart en person passerade dörröppningen utfördes totalt tio gånger medan försöken med både tre och fem personer utfördes sex gånger vardera. Den sista formationen på tio personer utfördes fyra gånger. De beskrivna mätningarna utfördes för båda dörröppningsbredderna. Experimentet bestod av ungefär 30 minuters aktiv tid. Nedan i tabell 2 ges en fördjupad inblick på hur försöken utfördes.

Tabell 2. Presentation över hur många försök av varje typ som utfördes. Samtliga försök repeterades då dörröppningen ändrades från 0,9 meter till 1,2 meter.

Typ av försök	1 person	3 personer	5 personer	10 personer
Försök utan hjälm	5 försök, enskilt	4 försök, 3 grupper	4 försök, 2 grupper	2 försök, 1 grupp
Försök där några eller samtliga deltagare använde hjälm	5 försök, samtliga. De personer som deltog utan hjälm fick repetera försöket med hjälm.	2 försök, samtliga. Två av grupperna tilldelades hjälmar och fick repetera försöket en gång per grupp.	2 försök, samtliga. En av grupperna tilldelades hjälmar och repeterade försöket två gånger.	2 försök där sex av deltagare använde hjälm (under båda försöken).

I samband med att experimentet utfördes filmades genomförandet med hjälp av videokameror vars information sedan kunde användas för att verifiera experimentell data från laserskannarna. Nedan i figur 15 visas videokameramodellen som användes under experimentet.



Figur 15. Videokameran HDR-CX220E från Sony användes under experimentet (Chan, 2016).

3.6 Datainsamling

Under experimentets gång samlade laserskannrarna ständigt in data angående avståndsförändringar vid dörröppningen. Den nya mätmetoden, vilken utgjordes av två stycken RPLIDAR laserskannrar, samlade in data samtidigt som de verifierande videokamerorna filmade hela förloppet.

Då laserskannrarnas data inte kunde läsas av direkt användes ett datorprogram för att tolka och visualisera denna. Enligt RoboPeak var RPLIDAR kompatibel med både ROS på Linux och Arduino på Windows. Till laserskannrarna medföljde även program som redovisade mätdata i realtid, nämligen Frame Grabber, Simple Grabber och Ultra Simple. Den programvara som användes under experimentet var en omgjord version av Ultra Simple.

Målet med experimentet var att samla mätdata och analysera denna i efterhand, därför togs beslutet att omvandla Ultra Simple till att kunna utföra kontinuerliga mätningar. Programmet kunde ursprungligen endast redovisa en momentan skanning över rummet, både visuellt och med siffror, men ej spara dessa. Mätningar som gjordes i samband med ett pilotförsök visade sig dock vara relativt detaljerade. Källkoden till Ultra Simple kunde programmeras om, så att data kunde sparas kontinuerligt med tidssteg för varje uppmätt vinkel med tillhörande avstånd. Detta resulterade i den slutgiltiga programvaran, som sedermera användes till experimentet, innehållande storheterna tid, vinkel, avstånd, och mätningens kvalitet.

Experimentell data samlades in på bärbar dator för att överföras till externa hårddiskar. Data filtrerades och analyserades under de följande veckorna efter att experimentet genomförts. Hur data filtrerades och hanterades kan läsas steg för steg i nästa kapitel, 4. *Datahantering*.

4. Datahantering

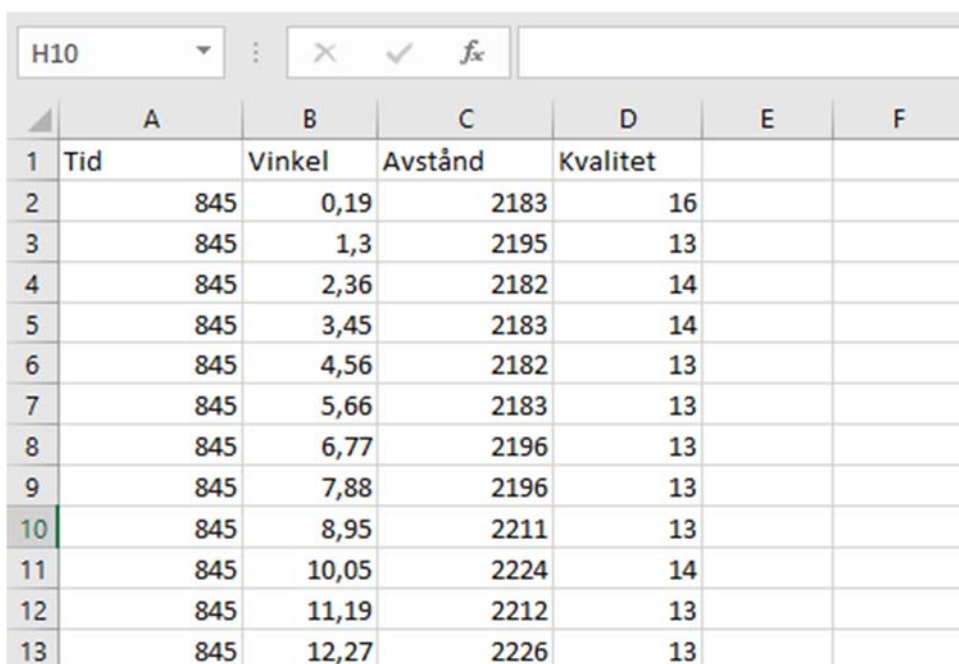
I detta kapitel beskrivs de processer i hantering av experimentell data som använts för att komma fram till resultaten. Kapitlets olika delar består av en genomgång av filtreringsprocessen för att endast bevara relevant data, och hur framtagande av avståndsgrafer, tidsdiagram samt gånghastigheter utförts. Även ett delkapitel om de trigonometriska samband som använts för att övergå från polära koordinater till kartesiska koordinater medföljer.

4.1 Filtreringsprocessen

Då experimentet avslutats var nästa steg i arbetet att hantera experimentell data som erhöles under försöken. Tack vare den modifierade källkoden till programmet Ultra Simple, som medföljde RPLIDAR, blev all data i utdatafilen kommaseparatorerad. Utdatafilen sparades som en textfil för enkelhetens skull. För att sedan överföra data till Excel kopierades innehållet i textfilen för att sedan sorteras i Excel med hjälp av den ovan nämnda kommaseparationen mellan de olika storheterna. Storheterna från utdatafilen från experimentet var:

- Tidssteg [ms]
- Vinkel [deg]
- Avstånd [mm]
- Kvalitet [-]

Efter kommaseparation i Excel fick Excelarket ett utseende enligt figur 16 nedan. Kolumn A visar tiden i millisekunder, i kolumn B återfinns vinklar uttryckt i grader och i kolumn C hittas avståndet till då laserpulsen reflekterades. I den sista kolumnen, kolumn D, visas kvaliteten på avståndsmätningen.



	A	B	C	D	E	F
1	Tid	Vinkel	Avstånd	Kvalitet		
2	845	0,19	2183	16		
3	845	1,3	2195	13		
4	845	2,36	2182	14		
5	845	3,45	2183	14		
6	845	4,56	2182	13		
7	845	5,66	2183	13		
8	845	6,77	2196	13		
9	845	7,88	2196	13		
10	845	8,95	2211	13		
11	845	10,05	2224	14		
12	845	11,19	2212	13		
13	845	12,27	2226	13		

Figur 16. I figuren ovan visas Excelarkets utseende efter att all data förts in och redigerats med hjälp av kommandot "text till kolumner" samt kommaseparation. Figuren illustrerar ej samtliga rader i Excelarket.

När all data lagts in i Excelarket påbörjades filtreringen. Inför varje nytt steg i filtreringsprocessen skapades en ny flik i Excelarket. Fyra utdatafiler skulle filtreras, två från varje laserskanner där laserskannrarna hade en utdatafil var per bredd på dörröppningen. Varje utdatafil hade approximativt en miljon rader i Excel, men eftersom ställningen till laserskannrarna konstruerats för att lätt kunna identifiera överflödiga data kunde cirka 75 % av dessa rader tas bort omedelbart. Detta då ramen samt kartongen som fördes över ramen var placerade mindre än 0,2 meter från laserskannrarnas utsändare. Det innebar att samtliga avståndsmätningar riktade åt sidorna och uppåt, alltså in i ramen och kartongen, fick värdet noll på grund av laserskannrarnas räckvidd på 0,2 – 6 meter. Därför lades ett filter in där enbart rader som visade ett avstånd mindre än 200 millimeter syntes i Excelarket. Dessa rader raderades, filtret togs bort, och de nu tomma raderna som dök upp mellan övriga rader med intressant data markerades och raderades. Ett betydligt mindre Excelark på ungefär 250 000 rader blev följden av den ovan nämnda filtreringen.

Trots att 75 % av de ursprungliga raderna tagits bort behövdes ytterligare filtrering. För att radera den data som skannades mellan de olika försöken, under tiden som gick efter att personer/grupper passerat dörröppningen och då personer/grupper var på väg mot dörröppningen, användes videofilmerna. Videokamerorna filmade hela experimentet och för att hitta tiden då laserskannern först gav utslag letades kalibreringsmomentet upp. Under kalibreringsmomentet fördes en kartong in i dörröppningen, från den ena sidan till den andra, under cirka en sekunds tid. Kalibreringen skedde ganska snart efter att laserskannrarna startats, det varierade mellan en sekund till tretton sekunder in på mätningarna. Tidsskillnaden berodde på att inför första dörrbredden på 0,9 meter startades laserskannrarna tidigare än inför 1,2 meter. Detta berodde med största sannolikhet på att kommandon slogs in snabbare på datorn andra gången än första. Tidsskillnaden har ingen påtaglig betydelse förutom att i fallet med 0,9 meters dörrbredd skapa fler rader i Excel.

Då kalibreringsmoment funnits både på film och i Excelarket kunde tiden till då experimentet inleddes uppskattas. Denna uppskattning möjliggjordes genom att observera den gångna tiden mellan kalibreringsmomentet och då första deltagare passerade dörröppningen på videofilmen. I ett av fallen var denna tid fem sekunder och då söktes motsvarande tid upp i Excelarket, där laserskannrarna sedermera gav resultat av en passerande deltagare. För att fortsätta filtreringen skrevs tiden då individer först upptäcktes upp, med några skanningar både före och efter genomfart som marginal. Denna process repeterades för samtliga försök.

När det sista försöket i Excelarket identifierats fortsatte filtreringsprocessen. I detta steg valdes kolumnen med tiden att filtreras. Ett filter där rader som låg mellan två olika tider, exempelvis mellan kalibreringsmomentets avslutande på 11,7 sekunder och inledandet av första försöket med en person på 16,4 sekunder, lades in. Dessa rader, liksom de tidigare raderna innehållande nollor, raderades helt. När raderna sedan komprimerats hade de tidigare filtrerade 250 000 raderna minskat till ungefär 20 000 rader.

Föregående steg följdes upp med en färgkodning. Varje typ av försök (en person, tre personer, etcetera) tilldelades en individuell färg och cellerna markerades. Trots att det ursprungliga arkets minskats från ungefär en miljon rader till 20 000 fanns det fortfarande svårigheter att koordinera sig mellan de olika skanningarna. Raderna med skanningar före och efter försökspersoner passerade dörröppning förblev oförändrade (vita). Figur 17 på följande sida visar ett exempel på den förenklade koordineringen i Excelarket som följd av färgkodningen. Den rödmarkerade raden innebär att tidigare försök avslutats och är återkommande mellan varje försök, även mellan försök av samma typ.

390	9	930	13	
391	-4,19	1868	10	
392	-3,12	1868	12	
393	-2,09	1921	9	
394	-14,83	443	9	G1
395	-7,8	402	9	
396	-6,61	390	14	
397	-5,66	389	16	
398	-4,7	388	16	
399	-3,45	389	12	
400	-2,03	378	10	
401	-1,34	402	9	
402	-0,72	2032	13	

Figur 17. Exempel för övergång från försök till en person till försök i grupper om tre personer.

Ovanstående steg förenklade möjligheterna att analysera experimentell data, men kvarvarande data var i detta stadi ej tillräckligt bra, detta på grund av att en del vinklar i en skanning missade eller helt enkelt inte hade med någon passerande deltagare. Graferna i Excel blev då både missvisande och inte särskilt tydliga. Denna typ av missvisande mätpunkter kan ses ovan i de två nedersta raderna av figur 17 där en vinkelskillnad på 0,62 grader resulterar i en avståndskillnad på nästan 1,6 meter trots att de tillhör samma skanning. Därför krävdes ytterligare en filtrering.

I det sista steget av filtreringsprocessen användes en IF-funktion i Excel. IF-funktionen tilldelades en egen kolumn i Excelarket. Funktionens syfte var att identifiera de rader där avståndet ej förändrats, det vill säga då ingen deltagare passerade dörröppningen eller de vinklar som ej registrerat en försöksperson. Vinklar på dessa rader varierade mellan -45 till 45 grader och delades in i vinkelintervall som var mellan 1 – 1,5 grader breda. Rader innehållande dessa vinklar då inga försök utfördes, det vill säga då dörröppningen stod tom, kopierades och placerades i separata kolumner där de fördelades i storleksordning. Därefter studerades avståndsförändringar hos respektive vinkelintervall genom filtrering. Då filtreringen utförts och endast vinklarna i det filtrerade intervallet visades började IF-funktion att användas. Villkoren för IF-funktionen visas nedan i figur 18. Det logiska testet i IF-funktionen gick ut på att se om värdet i en cell (till exempel C38) hade förändrats mer än 50 millimeter jämfört med värdet då ingen deltagare passerade den givna vinkeln (cell F1).

Function Arguments ? X

IF

Logical_test	\$F\$1-C38>50	=	FALSE
Value_if_true	C38	=	944
Value_if_false	0	=	0

= 0

Checks whether a condition is met, and returns one value if TRUE, and another value if FALSE.

Logical_test is any value or expression that can be evaluated to TRUE or FALSE.

Figur 18. Om det logiska testet ovan visade sig vara sant fick cellen behålla sitt värde, men uppfylldes inte villkoret tilldelades cellen värdet noll.

IF-funktionen testades på samtliga vinkelintervall. Argumenten förändrades inte mer än att cellen som subtraherades i det logiska testet var den aktuella cellen som undersöktes. Dollartecknen (\$) i figur 18 ovan bredvid kolumn (F) och rad (1) tydliggör detta. Efter samtliga filtrerade rader kontrollerats med IF-funktionen togs filtret bort och ett nytt filter anpassades. Detta filter skiljde sig från det tidigare filtret med ett nytt vinkelintervall för att möjliggöra nya logiska tester. Kravet att differensen mellan standardvärdet och cellernas aktuella värde skulle överstiga 50 millimeter valdes eftersom de större förändringar i avstånd som inträffade då personer passerade dörröppning var av högsta intresse. Enligt tidigare observationer gav värden som ej uppfyllde detta krav endast missvisande eller ointressanta grafer.

Den ovan beskrivna filtreringsprocessen i steget med IF-funktionen repeterades för samtliga vinklar och deras standardvärden. Då processen slutfördes bestod än en gång Excelarket av tusentals rader med nollor i avståndskolumnen. Dessa rader hade inte uppfyllt kraven i det logiska testet och därmed kunde tidigare metod för identifiering och radering av rader innehållande nollor att genomföras. När dessa rader tagits bort hade antalet rader minskat från 20 000 till ungefär 4 000. Då dessa 4 000 rader kvarhållit färgkodningen sedan tidigare innehöll Excelarket nu enbart relevant data och var lättöversiktligt.

Efter en utdatafil filtrerats enligt ovanstående process repeterades samtliga steg för de övriga utdatafilerna. När samtliga utdatafiler filtrerats och komprimerats hade de ursprungliga fyra miljoner raderna, varje utdatafil inräknad, minskat i den grad att det totala antalet rader ej översteg 20 000.

4.2 Omvandling från polära till kartesiska koordinater

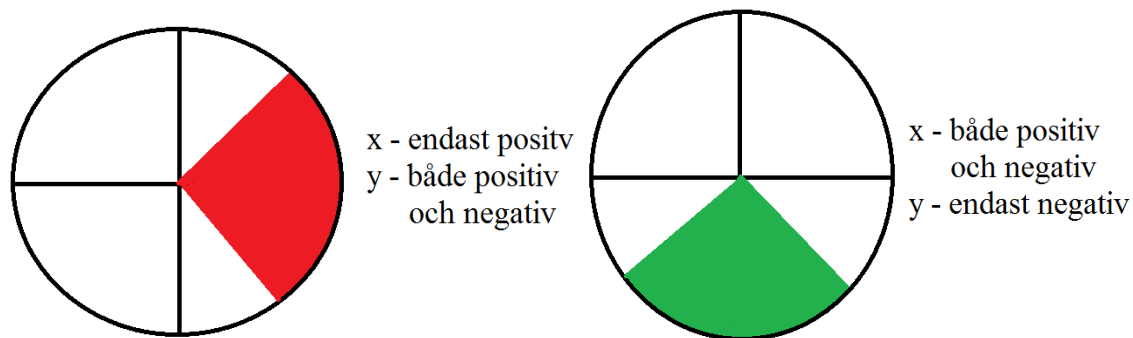
Då den modifierade versionen av källkoden i Ultra simple gav mätdata för avståndet mellan ett objekt och laserskannerns utsändare för en specifik vinkel vid en given tidpunkt innebar det att polära koordinater erhöles. Eftersom laserskannrarna utför mätningar i två dimensioner skapades på så vis ett plan i dörröppningen där avståndsmätningar vid olika vinklar skedde kontinuerligt. Avstånden i utdatafilen representerade därför endast det kortaste avståndet från reflektionspunkten till laserskannerns utsändare och inte den verkliga höjden från varken golv eller ställning. Detsamma kan sägas om reflektionspunkternas placering i sidled i dörröppningen.

För att få polära koordinater uttryckta i kartesiska koordinater krävs en *koordinattransformation*, alltså då avstånd och vinkel omvandlas till x- och y-koordinater. Koordinattransformationen utfördes efter både experiment samt filtreringsprocess och följande samband användes:

$x = r \times \cos(\varphi)$		och
$y = r \times \sin(\varphi)$		där
x	Avståndet i positiv och negativ riktning från origo	[mm]
y	Avståndet i höjdlid från origo	[mm]
r	Registrerat avstånd från utdatafil	[mm]
φ	Registrerad vinkel från utdatafil	[deg]

En ny flik skapades i Excel där ovanstående samband användes för att finna försökspersoners placering i det kartesiska koordinatsystemet, vilket utgjordes av dörröppningen i experimentet. De ingående vinklarna varierade mellan -45 och 45 grader vilket ledde till att datapunkter hamnade i antingen den första eller fjärde kvadranten i enhetscirkeln. Detta skapade problem, bland annat på grund av att koordinaterna på både den horisontella och vertikala axeln gav värden som enligt experiments utförande inte skulle kunna erhållas.

Lösningen till ovanstående problem var att förskjuta samtliga vinklar 90 grader medurs. Datapunkterna hamnade då antingen i enhetscirkelns tredje eller fjärde kvadrant jämfört med den ursprungliga placeringen i fjärde eller första kvadranten. Hur koordinaternas värden påverkades av denna förskjutning illustreras nedan i figur 19.



Figur 19. Illustration över hur de ursprungliga datapunkterna (röd) försköts för att få ut korrekta värden (grön). Det nya vinkelintervallet som användes var nu -225 till -315.

Nästa steg var att utföra koordinattransformationen. För att skapa tydligare resultat togs beslutet att justera det ovan uttryckta sambandet för koordinattransformation enligt följande:

$$x = r \times (\pm \cos(\theta)) \quad \text{och}$$

$$y = r \times (-\sin(\theta)) \quad \text{där}$$

θ Vinkel omvandlad till radianer [rad]

Cosinus justerades med ett minustecken för den *främre* laserskannern för att få ett resultat som var direkt visuellt jämförbart med filmen från den *främre* videokameran. Minustecknet framför sinusfunktionen lades till för att ha origo vid laserskannrarnas utsändare då denna befann sig vid vinkeln 0 grader, vilket innebar att positiv riktning var nedåt mot golvet.

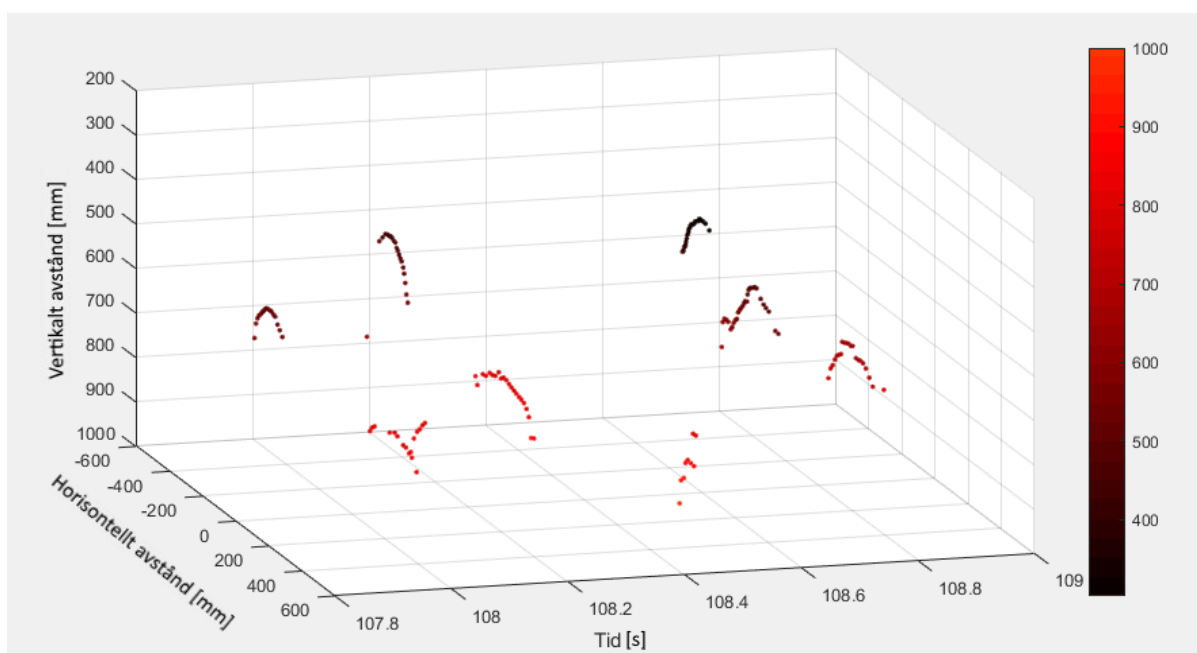
4.3 Framtagande av avståndsgrafer

För att ha möjligheten att utvärdera laserskannrarna behövdes grafer som redovisade både horisontella och vertikala avstånd tas fram. Detta utfördes efter att filtrering enligt kapitel 4.1 *Filtreringsprocessen* samt koordinattransformationen i kapitel 4.2 *Omvandling från polära till kartesiska koordinater* avslutats. Dessa grafer skapades med de relevanta koordinater som passerat filtrering och de logiska testen. En tydlig graf utformades med vertikala avstånd till reflektionspunkt på y-axeln och där det horisontella avståndet till reflektionspunkten utgjorde x-axel. Vinklarna redovisades inte i graferna, utan de tillhörande koordinaterna ansågs visualisera resultatet bättre. När detta slutförts kunde bland annat de passerande försökspersonernas huvud, axlar och armar visualiseras. Grafer av denna art redovisas nedan i kapitel 5.1 *Avståndsgrafer*.

4.4 Framtagande av tidsdiagram

För att bättre kunna uppskatta laserskannerns skanningskvalitet lades ännu en dimension till i avståndsgraferna, nämligen *tid*. Genom att studera tiden i samband med efterföljande avståndsgrafer under ett helt scenario undersöktes förmågan att uppskatta antal personer.

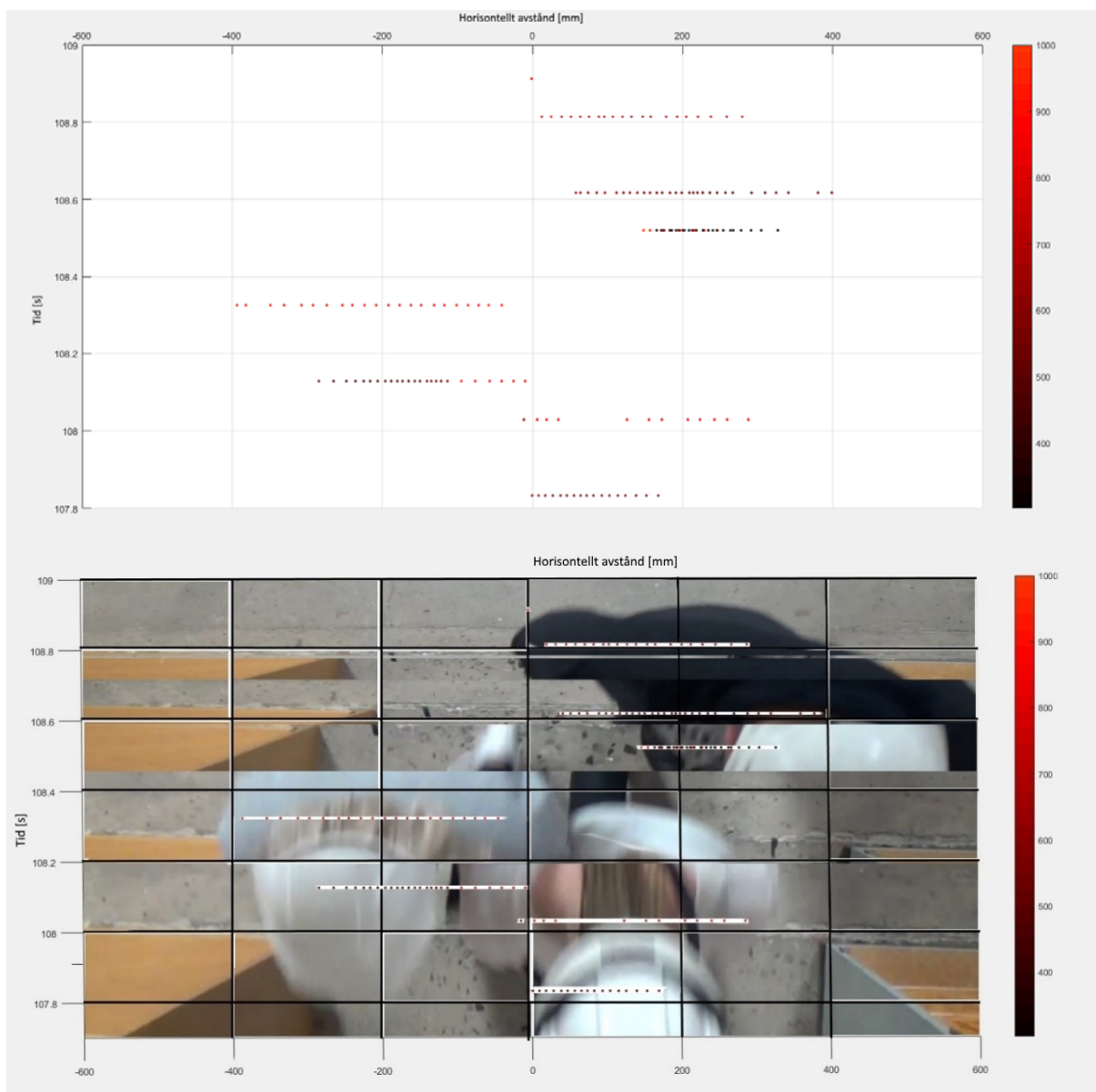
Till denna undersökning valdes tre olika scenarier ut, vilka togs fram genom att studera samtliga skanningars grafer från tidigare avsnitt. De scenarier med grafer som visade tydligast resultat valdes ut för vidare undersökning. Det första scenariot som valdes motsvarade en person som passerade båda laserskannarna, det andra motsvarade tre personer och det tredje tio personer. För att lägga in tidsaxeln i de redan befintliga avståndsdiagrammen användes programmet *Matlab*. Genom att importera kolumnerna som angav tid, bredd och avstånd direkt från Excel till Matlab kunde diagram visualiseras utan någon förändring i data. Ett exempel på ett sådant diagram i tre dimensioner redovisas nedan i figur 20.



Figur 20. Experimentell data från en laserskanner redovisas i tre dimensioner med hjälp av Matlab. Färgkodning tydliggör det vertikala avståndet från laserskannern.

I figur 20 på föregående sida redovisades ett exempel på ett framtaget tidsdiagram. Tidsdiagrammet består av ett koordinatsystem där axlarna utgörs av tid mellan skanningar (x-axeln), dörröppningens bredd (y-axeln), och avståndet till översta delen av dörröppningen (z-axeln). Dörröppningsbredden redovisas i form av koordinater i intervallet -600 till 600 millimeter medan avståndet till översta delen kodades efter färg för att kunna avläsa grafen lättare. Z-axeln filtrerades så att värden över en meter från laserskannern inte togs med i graferna. Detta för att undvika missvisande data i form av armar och ben samt för att visa tydligare profiler från huvud och axlar.

Då laserskannern enbart framförde en tid för en hel skanning redovisades därför mätresultaten som flera avståndsgrafer inklustrade efter varandra. Mellan skanningstiderna fanns ingen mätdata varpå det blev helt tomt mellan de efterföljande graferna. Detta illustreras tydligare i den övre delen av figur 21 nedan. Den nedre delen av figur 21 visar punkterna från den övre bilden inklippt i representativa skärmsklipp från videofilmen. Punkterna utgör reflektionspunkter hos personer som passerar laserskannern. För att uppskatta personantalet var det tillräckligt att använda resultatet från en laserskanner och jämföra detta med en videofilm över experimentet.



Figur 21. Här illustreras hur resultaten från Matlab ser ut då de läggs in i videofilmen. Figurens syfte är att visa vad punkterna står för

Båda delarna av figur 21 på föregående sida redovisar hur mätdata kan tolkas. Genom att avläsa de låga värdena (mörkröda/svarta) på höjdaxeln kunde personantalet identifieras. Figurens syfte är att visa vad punkternas färg innebär, hur det ser ut i verkligheten (skärmklippen), och framförallt att underlätta för läsaren att tyda grafer som dyker upp senare i rapporten. Dessa grafer kommer att presenteras i 5.2 *Tidsdiagram*.

4.5 Framtagande av gånghastigheter

Största anledningen till att två laserskannrar användes till experimentet var för att kunna jämföra tiden mellan dessa då de registrerade samma försöksperson. Eftersom laserskannrarna var placerade 25 centimeter från varandra antogs det att en viss tidsskillnad skulle uppstå mellan respektive skanning som registrerade samma deltagare. Tidsskillnaden och avståndet skulle sedan användas till beräkning av försökspersonens gånghastighet.

Det uppstod dock problem då laserskannrarna inte kunde aktiveras samtidigt utan var tvungna att startas enskilt. Detta ledde i sin tur till att tidsstegen mellan dessa ej stämde överens. För att försöka göra det möjligt att jämföra laserskannrarnas data med varandra utfördes en kalibrering som beskrevs i kapitel 3.5 *Genomförande*. Kalibreringens mål var att båda laserskannrarna skulle skanna ett föremål samtidigt och därefter hitta mätpunkter som motsvarade varandra. Det visade sig dock vara svårare att hitta motsvarande mätpunkter än vad som tidigare uppskattats. Dessa mätpunkter från respektive laserskanner skiljde sig olika mycket, varpå ett medelvärde användes för att skapa en gemensam tidsaxel. Genom att subtrahera medelvärdet för tidsskillnaden mellan laserskannrarnas starttid med den laserskannern som startades först antogs båda vara anpassade efter en och samma tidsaxel. Tyvärr visade det sig att den gemensamma tidsaxeln gav väldigt missvisande värde för experimentet. Det uppstod flera fall då registreringarna påstod att försökspersonerna passerade den bakre laserskannern före den främre, vilket skulle vara omöjligt.

Nya medelvärden mellan tidsstegen togs fram för att få mer rimliga resultat mellan laserskannrarnas tidsuppskattning. Alla redovisade dock stora variationer mellan försöken, varpå även ett flertal resulterade i fall som ej var möjliga.

För att förstå mätvärdenas stora variation undersöktes all data noggrant, varpå ett flertal möjliga felkällor identifierades. En av de främsta faktorerna var att laserskannrarna inte gick att aktivera samtidigt, vilket ledde till att tidsaxlarna skilde sig åt från början. En annan möjlig faktor som identifierades var att det emellanåt skedde rotationer där laserskannern ej registrerade data. Dessa sekvenser skedde inte heller samtidigt för laserskannrarna. Det fanns även flera fall där antalet skanningar skiljde sig mellan respektive laserskanner i samma försök. Detta tros bero på rotationsfelet, men även av laserskannrarnas frekvens. I de flesta försöken registrerades ett huvud enbart en till två gånger, vilket ledde till att det aldrig gick att vara riktigt säker på om samma del av huvudet visades hos respektive laserskanner. Med tanke på det korta avståndet mellan laserskannrarna gjorde det stor skillnad om den främre laserskannern registrerade framsidan av huvudet medan den bakre upptäckte bakhuvudet.

Efter att ha identifierat ovanstående problem togs beslutet att inte utföra någon beräkning för gånghastighet. Däremot gjordes en noggrann analys på eventuella hård- och mjukvarufel och hur dessa borde förbättras, dessa beräkningar visas i *Bilaga C – Beräkningar*.

5. Resultat

Nedan presenteras resultaten från experimentet då den nya mätmetoden testades. Avsnittet är indelat i två delkapitel där det första delkapitlet redovisar avståndsgrafer medan det andra redovisar tidsdiagram. En viktig kommentar inför följande kapitel är att variationen av dörrbredderna inte anses ha påverkat resultaten och tas därför ej hänsyn till vid presentation av dessa. Detta förklarar även varför respektive diagrams horisontella axel redovisas med intervallet -600 till 600 millimeter.

Resultatet av den analys som utfördes då personernas gånghastighet inte gick att uppskatta med hjälp av laserskannrarna presenteras inte i detta avsnitt. Däremot redovisas hela analysen, med ingående utförande, resultat och diskussion i *Bilaga C – Beräkningar*.

5.1 Avståndsgrafer

I denna del av resultatet presenteras de avståndsmätningarna och de koordinater där de utsända laserpulserna reflekterats tillbaka till mottagaren från. Detta redovisas i grafer med tillhörande skärmlipp från videofilmerna. Nedan presenteras resultaten uppdelat efter typen av försök, det vill säga då en enskild försöksperson passerar dörröppningen och när en grupp passerar. Skillnaden som uppstår då deltagare bär hjälm i jämförelse med när hjälmar ej inkluderades i experimentet kommer även att presenteras.

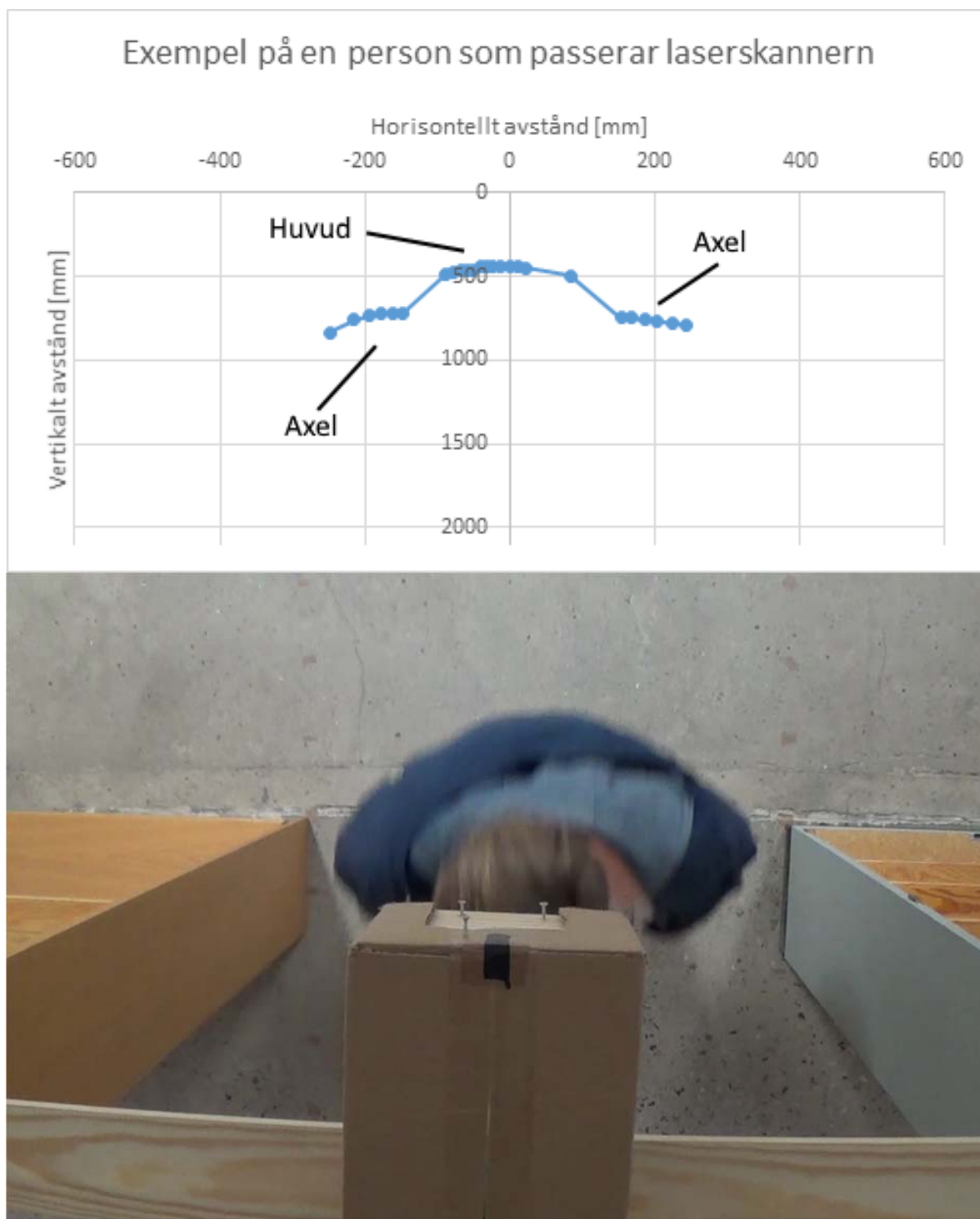
5.1.1 Enskild försöksperson

Nedanstående figurer redovisar fyra olika mätresultat från laserskannrarnas datainsamling under experimentet. Syftet med dessa figurer är att redovisa fyra olika kategorier av avståndsgrafer som framkommit under datahanteringen. De olika kategorierna motsvarar följande:

- Tydligt läsbar graf med person utan hjälm,
- Tydligt läsbar graf med person som bär hjälm
- Svårläst graf
- Graf som redovisar en missvisande mätning på grund av att personen som passerat varit för lång

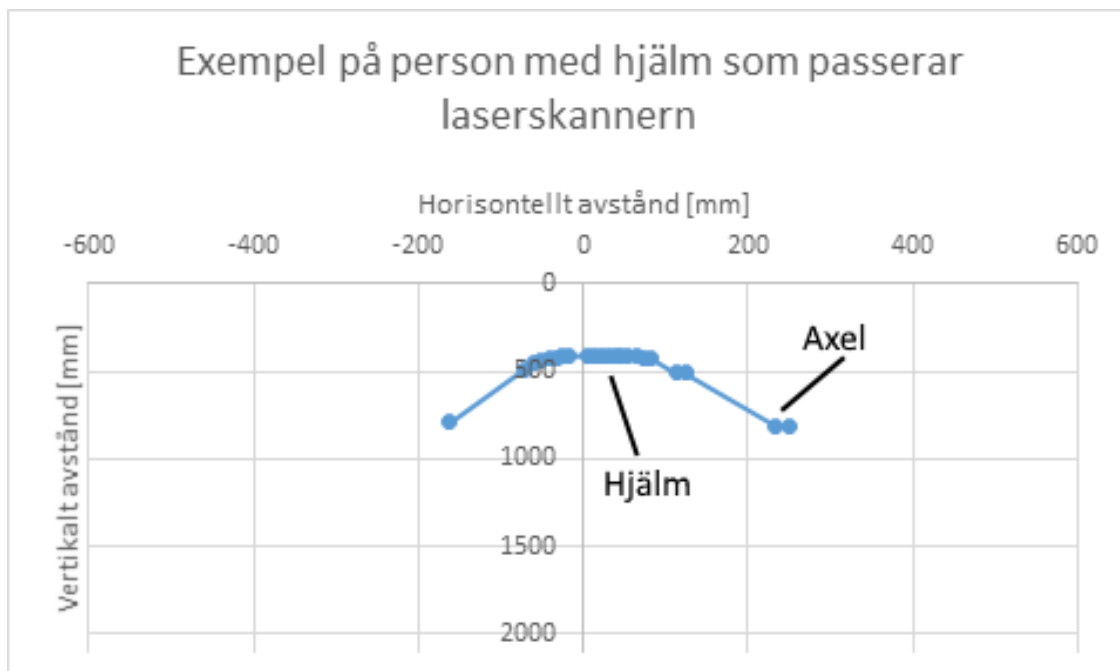
Resterande grafer som studerats under de enskilda försöken går att dela in i någon av de ovan nämnda kategorierna, varpå alla grafer inte kommer redovisas. Samtliga grafer i detta kapitel redovisas med inverterade vertikala koordinataxlar. Detta görs enbart för att underlätta avläsningen av dessa då inverteringen får dem att visuellt efterlikna det som syns i videofilmerna.

Figur 22 nedan visar hur laserskannern i de mest tydliga fallen redovisar en person som passerar utan hjälm. De låga värdena runt 450 millimeter vertikalt från laserskannerns utsändare förmodas motsvara huvudet och de högre värdena åt sidorna av grafen representerar försökspersonens axlar.



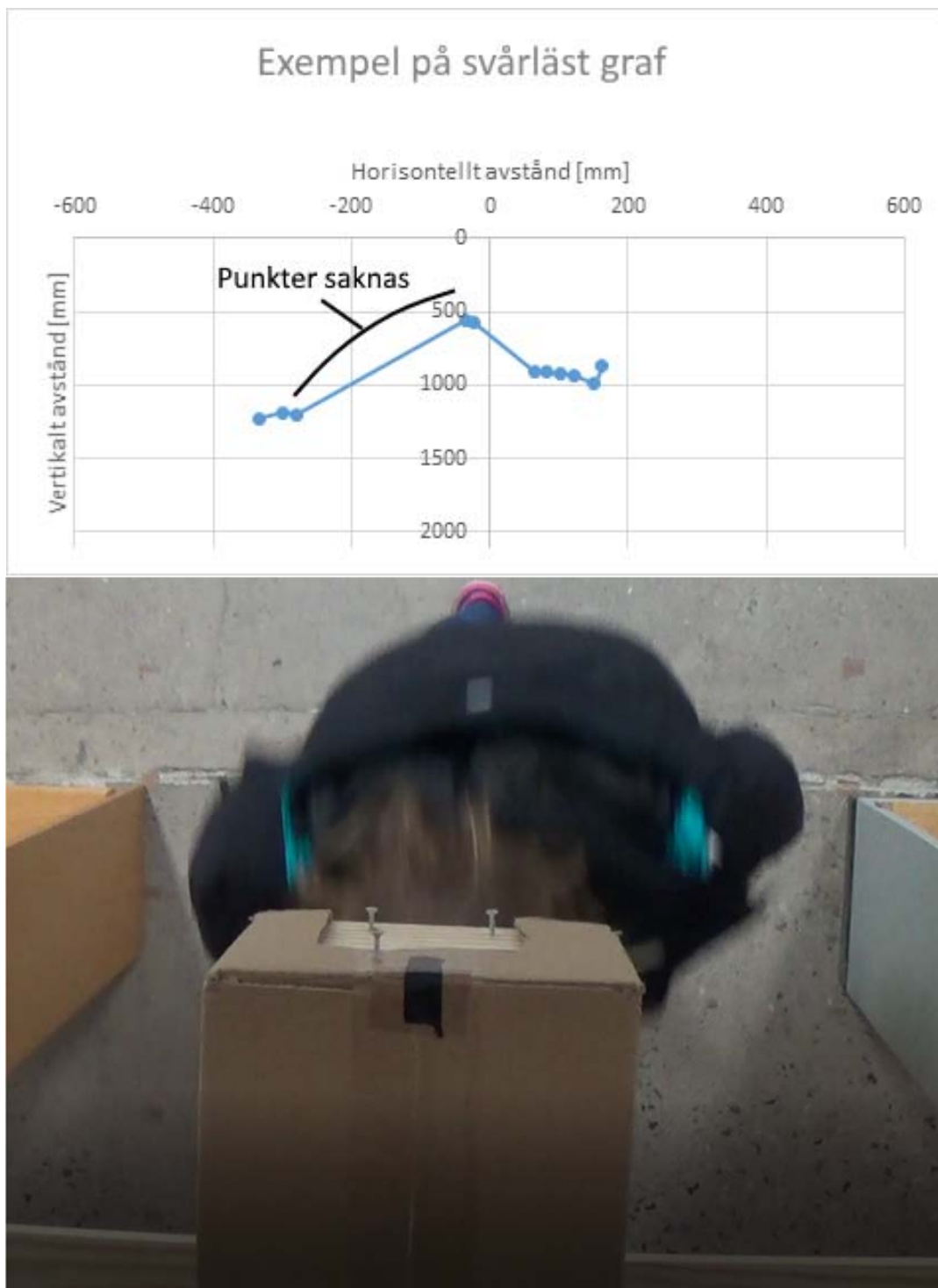
Figur 22. Kategori 1 – Tydligt läsbar graf med person utan hjälm.

Följande figur 23 redovisar en tydlig graf när en person passerar laserskannern med hjälm på huvudet. I detta fall är minimivärdena lägre än i figur 22 samt att dessa sträcker sig över en bredare horisontell sträcka. De högre vertikala värdena som ligger runt 800 millimeter, vilka troligtvis redovisar axlarna i föregående graf, fångas inte upp på samma sätt och består i detta fall av enbart några få punkter. Resultatet blir därför inte lika tydligt som i föregående fall där både huvud och axlar enkelt kunde urskiljas.



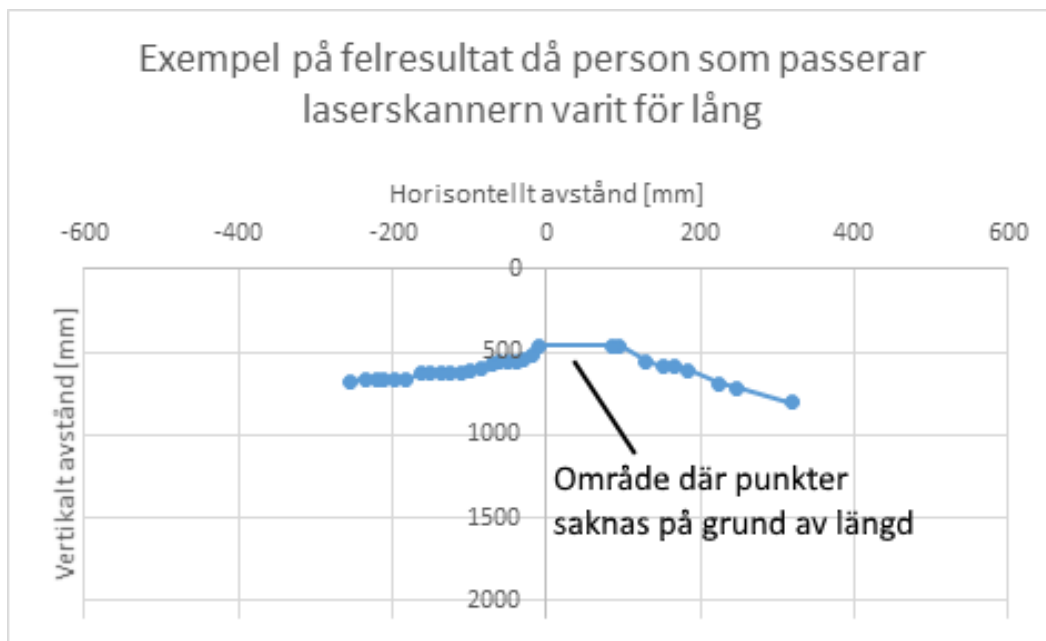
Figur 23. Kategori 2 – Tydligt läsbar graf med person som bär hjälm.

Nedanstående figur 24 motsvarar den kategori som redovisar en svårläst graf. Det finns inget tydligt samband mellan laserskannerns mätdata och det verkliga fallet som presenteras i skärmdumpen från videofilmen.



Figur 24. Kategori 3 – Svårläst graf

Den sista kategorin ska redovisa de fall då personen som passerat laserskannern varit för lång. Om personen befinner sig närmare än 200 millimeter från laserskannern klarar denna inte att mäta avståndet, varpå mätdata försvinner. Detta tydliggörs i figur 25 nedan där det uttryckligen går att se hur mätpunkter plötsligt försvinner där försökspersonens huvud egentligen bör befinna sig.



Figur 25. Kategori 4 – Graf som redovisar en missvisande mätning på grund av att personen som passerat varit för lång.

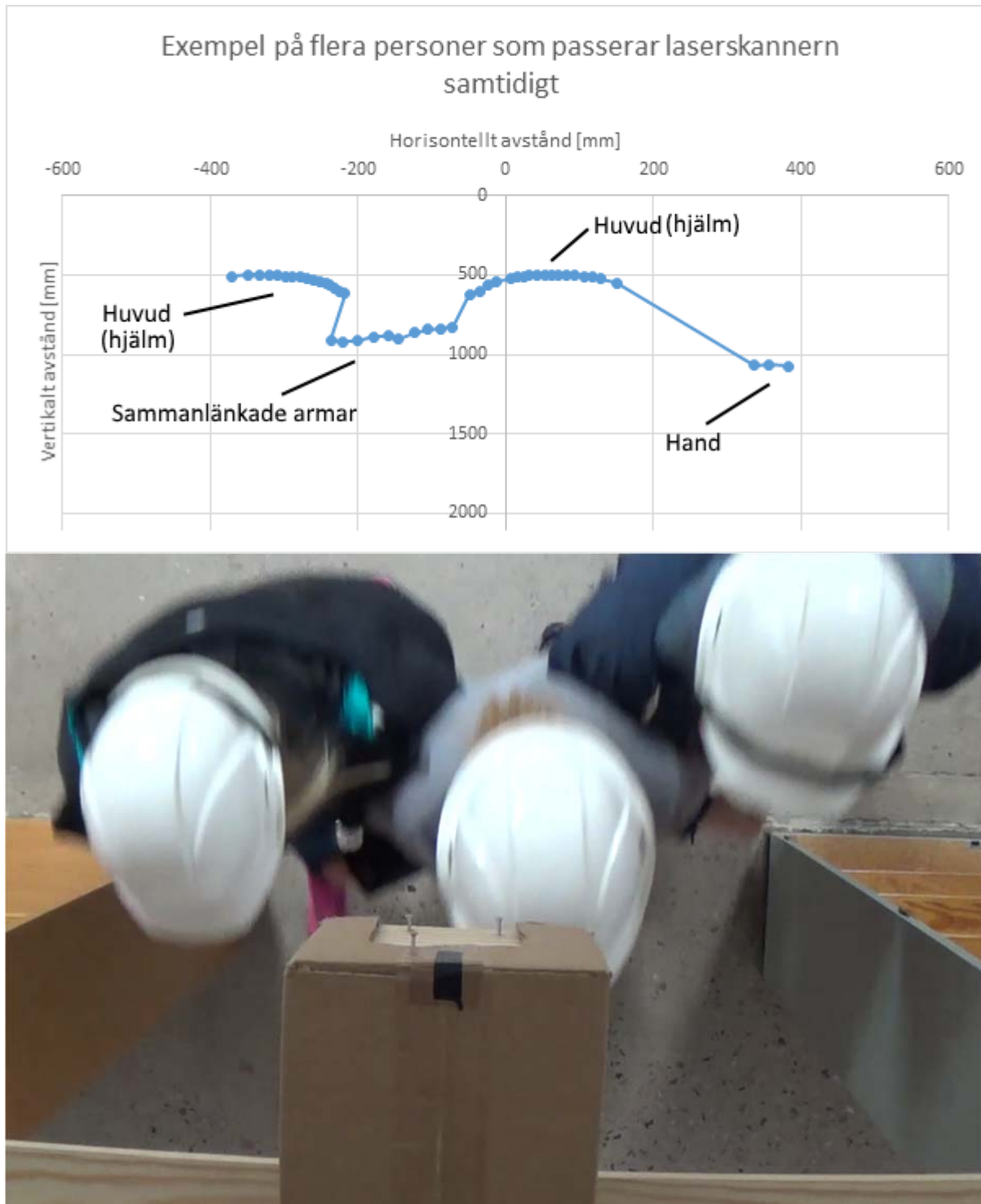
5.1.2 Flera eller grupperade försökspersoner

I detta kapitel redovisas olika mätdata som tagits fram utifrån de försök när flera eller grupperade försökspersoner passerade laserskannrarna på samma gång. Likt föregående kapitel 5.1.1 *Enskild försöksperson* har nedanstående grafer delats in i olika kategorier, vilka är följande:

- Tydlig graf när fler personer passerar laserskannern samtidigt
- Graf som redovisar andra kroppsdelar än huvud och axlar
- Svårläst graf
- Graf som redovisar en missvisande mätning på grund av att en av personerna som passerat varit för lång

Även i detta fall anses resterande grafer kunna kategoriseras i någon av de nämnda kategorierna, varpå alla inte kommer att redovisas. Grafernas vertikala koordinataxel i detta kapitel är inverterade likt axlarna i föregående kapitel för att underlätta jämförelse mellan mätdata och videofilm. På följande sidor presenteras grafer från varje kategori.

Nedan i figur 26 visas hur det med hjälp av laserskanner går att urskilja två, delvis tre, personer. I detta fall antas det gå att urskilja försökspersonen till vänsters huvud samt de sammanlänkade armarna med den mittersta försökspersonen, vilket tydliggörs på bilden. Deltagaren i mittens huvud förmodas även visas kring den vertikala axeln i figur 26. Datapunkterna belägna längst till höger, på ett avstånd på ungefär 1070 millimeter från laserskannern, tros utgöra handen som kan ses i bilden ovan. Handen befinner sig framför skärmen på försökspersonens hjälm och antas därför utgöra dessa tre datapunkter.



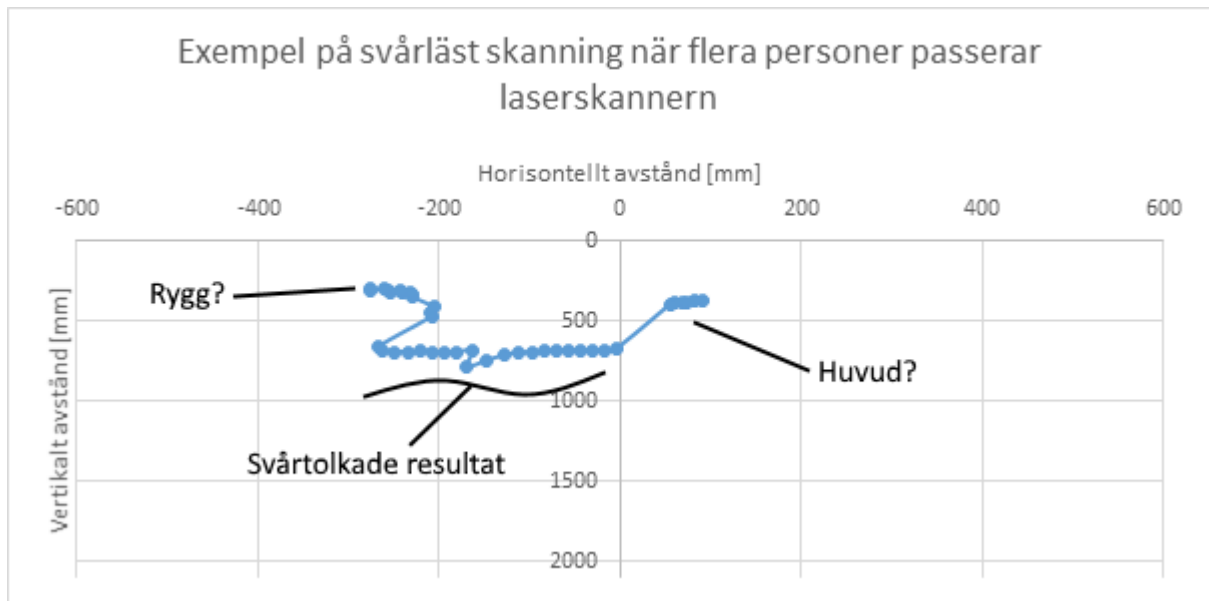
Figur 26. Kategori A – Graf som tydligt visar när flera personer passerar laserskannern samtidigt.

Grafen i figur 27 visar inga tydliga former i sig själv, men om den studeras i samband med motsvarande bild från videofilmen går det att uppskatta vad mätpunkterna troligtvis motsvarar. Förmodligen är de mätpunkter belägna mellan de horisontella avstånden -315 till -230 ett resultat av handen som syns längst till vänster på bilden. Likaså bör punkten som ligger närmst den vertikala axeln motsvara en försökspersons fot eller ben. Mätpunkterna mellan 175 till 240 redovisar personen till högers bakhuvud eller axelparti. Under mätningarna med flera försökspersoner som passerade mätinstrumenten samtidigt förekom ett flertal liknande grafer där märkliga utseenden på graferna har kunnat förklaras utifrån att olika kroppsdelar registrerats av laserskannarna.



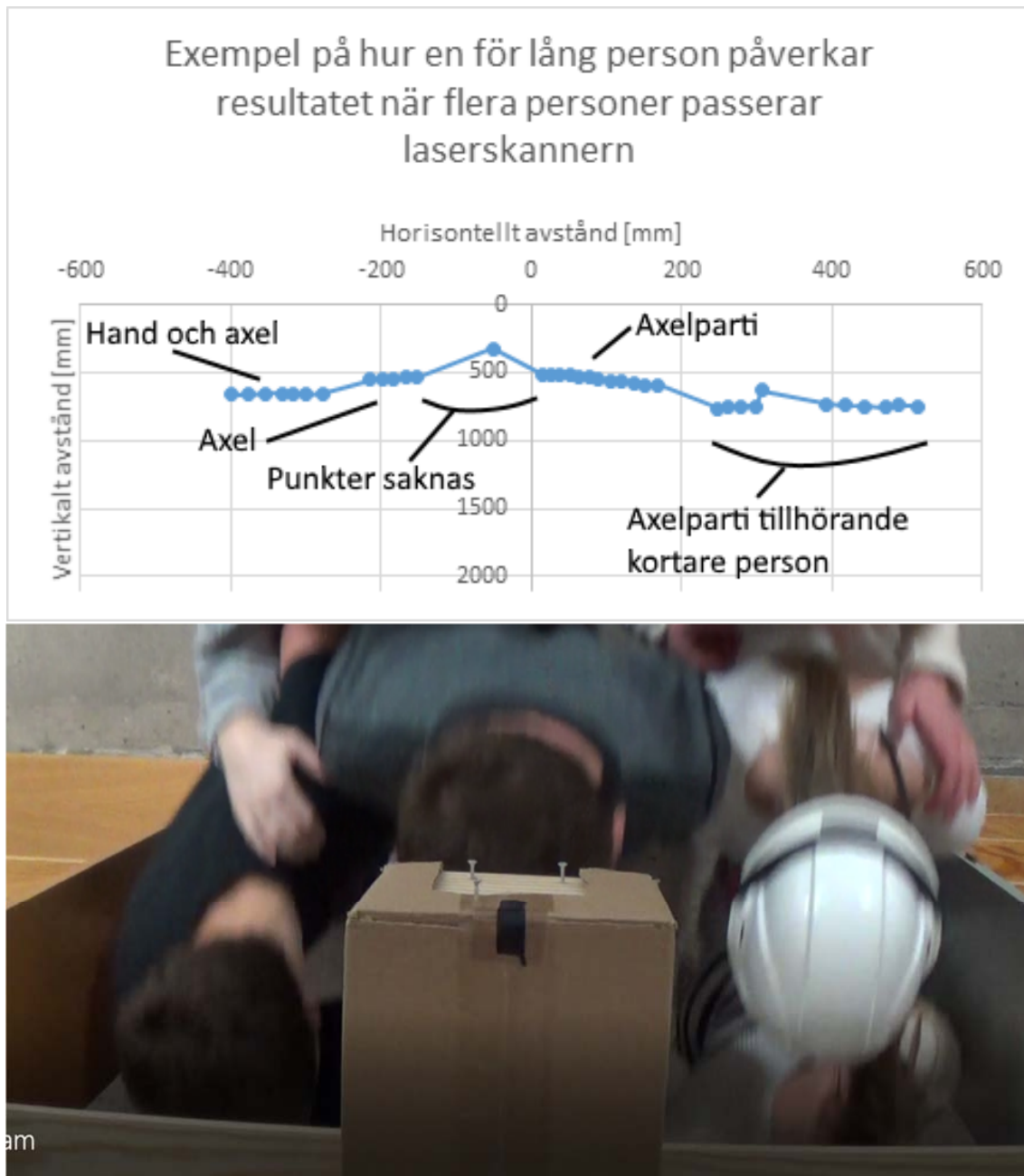
Figur 27. Kategori B – Graf som visar andra kroppsdelar än huvud och axlar.

Kategori C ska motsvara de grafer som är svåra att koppla till det verkliga fallet som redovisas på videofilmerna. I figur 28 ovan går det till viss del att uppskatta vad somliga punkter troligtvis redovisar, men ett flertal är dock svårtolkade.



Figur 28. Kategori C – Svårläst graf.

Likt föregående kapitel redovisar den sista kategorin de fall då en försöksperson som passerar laserskannarna är för lång, och på så sätt påverkar mätresultaten negativt. I grafen ovanför skärmdumpen i figur 29 är det möjligt att urskilja flertalet mätpunkter som saknas där försökspersonen som passerar laserskannarna centralt bör ha haft sitt huvud.



Figur 29. Kategori D- Graf som redovisar felmätning på grund av att en av personerna som passerar är för lång.

5.2 Tidsdiagram

I detta kapitel redovisas flera avståndsgrafer i följd, med hjälp av en tidsaxel. Detta resultat är till för att ge en tydligare bild av hur en laserskanners utdata kan avläsas för att visualisera verkligheten. Grafernas uppbyggnad och hur dessa togs fram redovisades i kapitel 4.4 *Tidsdiagram*.

Tre olika scenarier kommer att redovisas enligt följande:

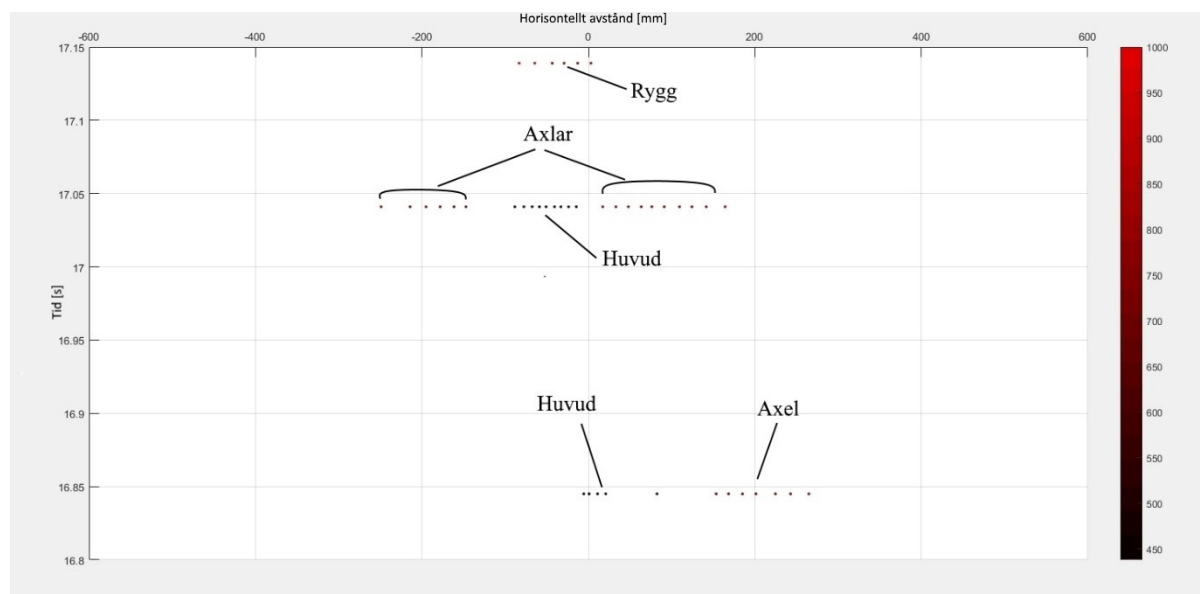
- En försöksperson som passerar dörröppningen
- Tre försökspersoner som passerar dörröppningen
- Tio försökspersoner som passerar dörröppningen

Som tidigare nämnt lyckades inte försökspersonernas gånghastighet beräknas med hjälp av de två laserskannrarna. Då detta inte gick att genomföra anses redovisning av båda laserskannrarnas mätdata enbart bidra till att förvirra läsaren eftersom de inte var synkroniserade. Beräkningar och analys av gånghastighet kan ses i *Bilaga C – Beräkningar*. Vad som dock måste påpekas är att laserskannrarna visade snarlika grafer för samma scenario, vilket även är ett argument till att inte visa resultat från båda laserskannrarna.

5.2.1 Scenario 1 – En försöksperson

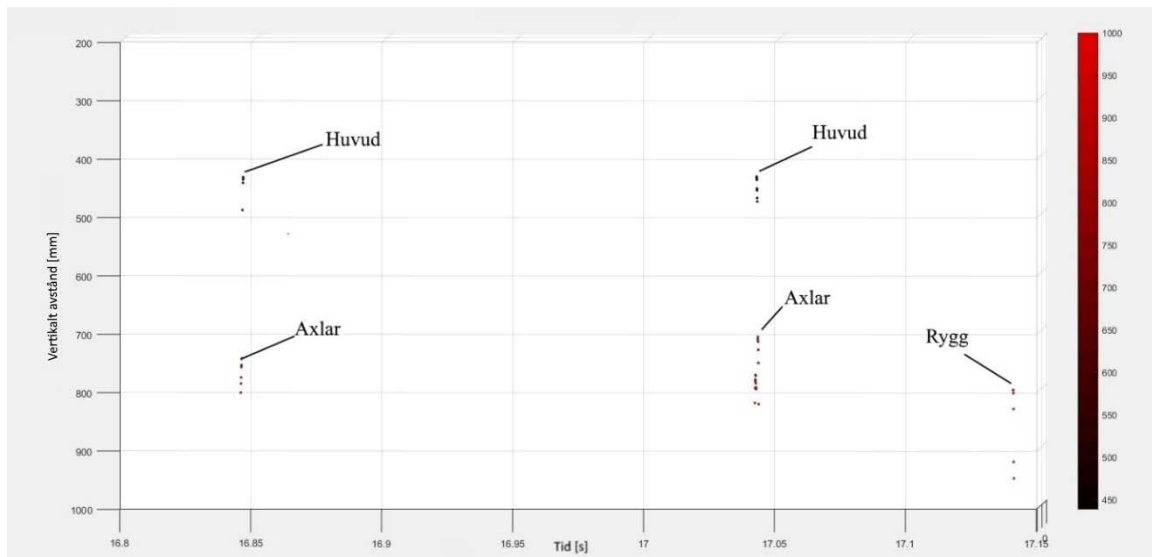
Den första delen av resultaten med tidsdiagrammen kommer att behandla när endast en försöksperson enskilt passerar laserskannern. I de figurer som används kommer vägledande text och markeringar att finnas till hands för att enklare förstå figurerna. Detta är återkommande för samtliga tre scenarier.

I figur 30 nedan redovisas då enbart en person passerar laserskannern och samtliga skanningar som registrerar försökspersonen i tidsföljd. Deltagarna passerar laserskannern med gångriktning nedåt enligt figur 30 och som följd av detta kommer exempelvis personers högerarm till vänster i grafen. På den understa delen av grafen går det tydligt att se hur laserskannern upptäcker personens huvud och vänstra axel runt tiden 16,80 sekunder. Som färgskalan visar motsvarar de nästan svarta värdena delar av kroppen som är närmast den övre delen av dörröppningen medan de rödmarkerade punkterna befinner sig längre ner. Nästa skanning som personen registreras på är ännu tydligare. Då går det att urskilja båda axlarna och huvudet. Den sista skanningen har enbart röda punkter, runt axelhöjd, vilket betyder att antingen bakre delen av axlarna eller ryggen registreras på grund av att personen nästan helt passerat laserskannerns skanningsplan.



Figur 30. Scenario 1 – En person som passerar dörröppningen. X-axeln utgör koordinater inom dörrbredden och y-axeln visar tiden då respektive skanning gjordes.

Nedanstående figur 31 motsvarar samma skanningar och värden som de i figur 30, men istället för att redovisa horisontellt avstånd från den vertikala axeln visas nu vertikalt avstånd från laserskannern. Utifrån informationen från tidigare figur går det tydligare att se vilka kroppsdelar som registrerats. Som tidigare nämnt är de röda värdena axlar och cirka 300 millimeter ovan registreras huvudet. Den sista skanningen som tidigare antogs vara rygg alternativt axlar utgörs nu troligare av rygg då majoriteten av punkternas placering är lägre än punkterna som visar axlar.

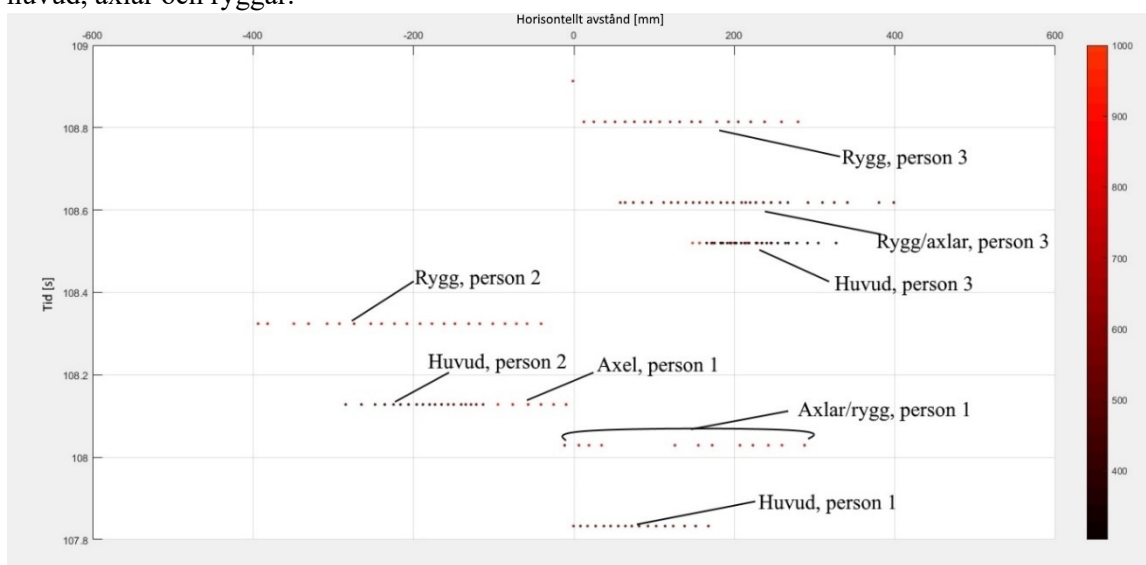


Figur 31. Scenario 1 – En person som passerar dörröppningen. X-axeln visar tiden då respektive skanning gjordes och y-axeln visar vertikala avståndet till laserskannern.

5.2.2 Scenario 2 – Tre försökspersoner

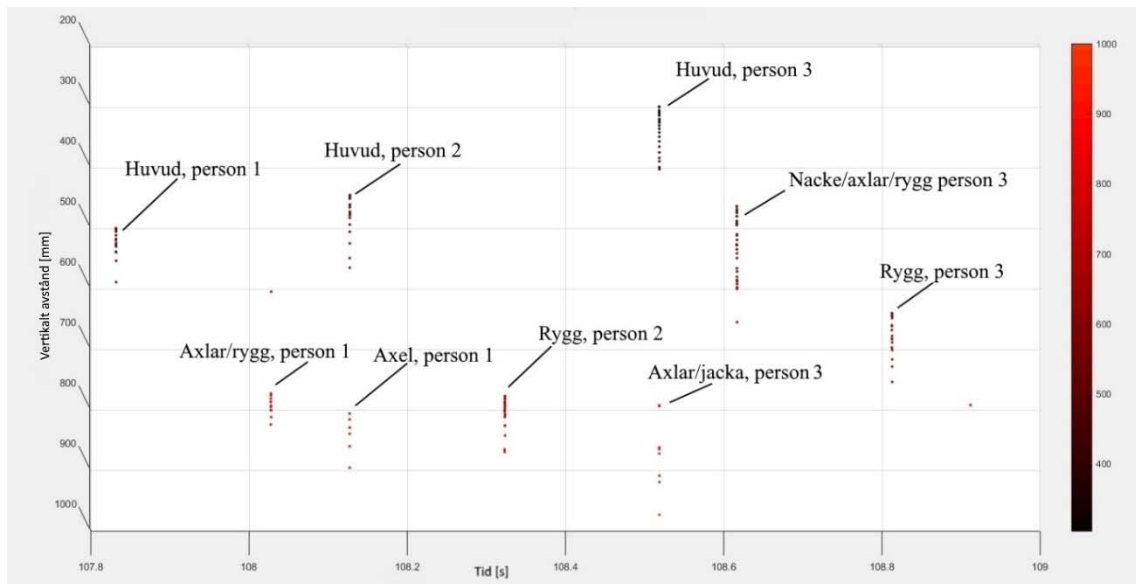
Tidsdiagrammen i detta avsnitt redovisar resultat då tre försökspersoner passerade laserskannern. Förtydligande om vilken deltagare punkterna i graferna utgör beskrivs i respektive graf.

Resultatet från Scenario 2 visas i figur 32. Här går det att se mätvärden som registrerats under tiden som tre personer passerat laserskannern. Redovisade värden utgör samma scenario som det tidigare exemplet från kapitel 4.4 *Framtagande av tidsdiagram*. Likt figur 30 går det här att urskilja personers huvud, axlar och ryggar.



Figur 32. Scenario 2 – Tre personer som passerar dörröppningen. X-axeln utgör koordinater inom dörrbredden och y-axeln visar tiden då respektive skanning gjordes.

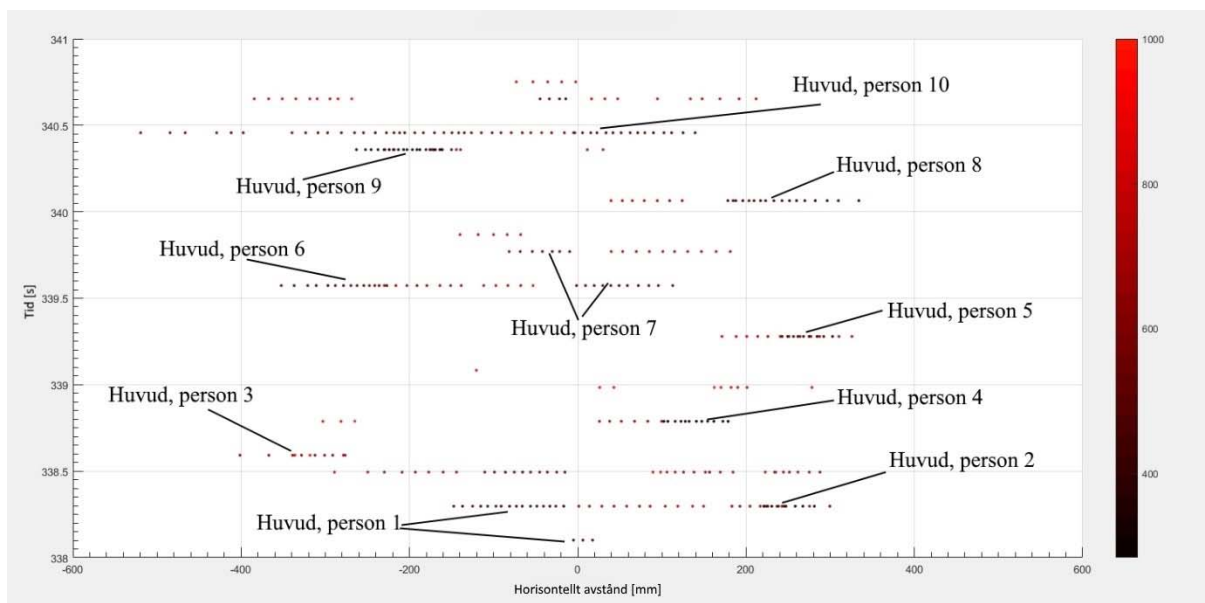
Figur 33 visar både samma skanningar och värden som i figur 32. Figur 32 är återigen utbytt mot en axel med vertikalt avstånd till laserskannern. Syftet med denna graf är att enklare urskilja skillnad i höjdläda hos de olika försökspersonerna.



Figur 33. Scenario 2 – Tre personer som passerar dörröppningen. X-axeln visar tiden då respektive skanning gjordes och y-axeln visar det vertikala avståndet till laserskannern.

5.2.3 Scenario 3 – 10 försökspersoner

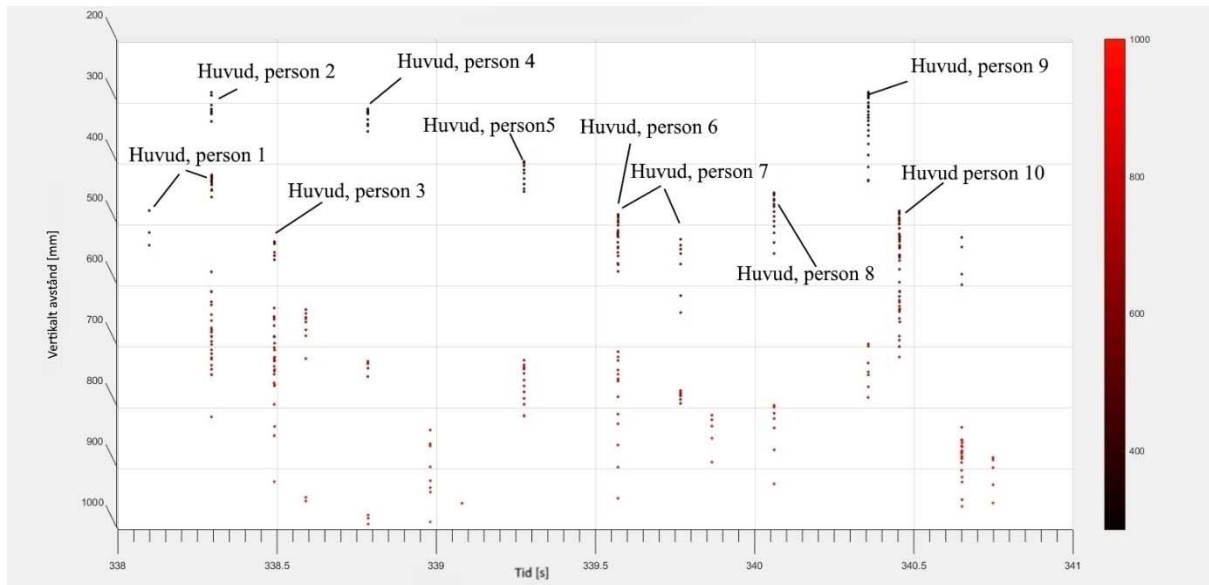
Det sista scenariot som presenteras med hjälp av tredimensionella diagram utgörs av tio försökspersoner. Då dessa försök tog längre tid på grund av personantalet gavs även mer data. Detta kan uppmärksammas i avsnittets figurer. Eftersom mängden data överstiger de första två scenarierna tillsammans kommer inte samtliga punktgrupperingar att förklaras tydligare. Förhoppningsvis underlättar de tidigare förklaringarna samt de förtydligande som finns tillgängliga förståelsen för de kommande graferna i avsnittet. En graf som redovisar ett av försöken med tio deltagare kan ses nedan i figur 34.



Figur 34. Scenario 3 – Tio personer som passerar dörröppningen. X-axeln utgör koordinater inom dörrbredden och y-axeln visar tiden då respektive skanning gjordes.

Enligt figur 34 på föregående sida visar går det att utskilja samtliga försökspersoners huvud och på så vis även uppskatta personantalet. Dock finns det flera skanningar som tar upp delar av samma huvud, vilket kan bli missvisande om man tolkar dessa som separata personer.

Figur 35 nedan redovisar både samma skanningar och mätdata som figur 34, men istället för dörrbredd visas vertikalt avstånd till laserskannern på y-axeln. Vid denna vinkel behövs information från grafen där dörrbredden redovisades för att uppskatta antalet försökspersoner. Inte nog med att en person kan vara med på flera olika skanningar och därför ge missvisande värden, här sker även skanningar där två personer redovisas på samma på grund av vyn från sidan. I denna vinkel blir det således svårt att skilja personer åt som hamnar med i samma skanning, varpå antalet personer kan underskattas.



Figur 35. Scenario 3 – Tio personer som passerar dörröppningen. X-axeln visar tiden då respektive skanning gjordes och y-axeln visar det vertikala avståndet till laserskannern.

6. Diskussion

I detta kapitel kommer resultaten från 5. *Resultat* att diskuteras och analyseras utifrån rimlighet samt felkällor. Även arbetsgången för att få fram dessa resultat kommer att diskuteras, varpå kapitel 3. *Experimentfas* och kapitel 4. *Datahantering* analyseras. Där kommer fokus istället att ligga på utförande, felkällor och eventuella förbättringar.

6.1 Resultat

I nedanstående kapitel kommer de framtagna avståndsgraferna från kapitel 5.1 *Avståndsgrafer* att diskuteras och analyseras. Fokus kommer att ligga på att förklara hur dessa grafer valts att redovisas samt vad de redovisar utifrån analysen.

6.1.1 Avståndsgrafer

Den första delen som redovisades i resultatet behandlade avståndsgrafer. Dessa avståndsgrafer visade individuella skanningar vid en given tidpunkt. Syftet med denna redovisningsform var att tydliggöra för läsaren hur typiska skanningar kunde se ut, men även fel som kunde uppstå. Därför inleddes avsnittet med att endast behandla en försöksperson som passerade laserskannern. Målet var att läsaren skulle känna igen mönster och dylikt samt ges en djupare förståelse kring resultaten inför avsnittet med grupperade försökspersoner.

Det förekom ett flertal mätresultat från skanningarna vilka resulterade i tydliga grafer, där till och med kroppsdelar på försökspersonerna gick att urskilja. Ett exempel på detta var figur 22, då enbart en person passerade dörröppningen. Där gick det tydligt att se höjdskillnader som var väldigt lika verkliga avståndsförhållandena mellan huvud och axlar. Själva grafen var även visuellt lik en grov siluett av en persons huvud och axlar. Det förekom även ett antal grafer som redovisade mätvärden där det gick att urskilja flera individer. Figur 26 var ett exempel på en sådan, i vilken det bland annat tydligt var möjligt att urskilja två deltagares huvuden.

De olika försöken som genomfördes under experimentet resulterade även i att ett flertal andra scenarier kunnat kartläggas med hjälp av jämförelser mellan grafer och videofilmen. Ett exempel på detta var skillnaden som uppstod i mätresultatet då den förbipasserade deltagaren bar hjälm. De två första figurerna i kapitel 5.1 *Avståndsgrafer*, figur 22 och figur 23, illustrerade skillnaden på resultatet då samma försöksperson passerade laserskannern både med och utan hjälm. Försöket med hjälm gav ett grövre resultat då hjälmen tydligt definieras medan axlarna inte blev lika tydliga som i fallet utan hjälm. Detta kan förklaras eftersom hjälmen gjorde försökspersonens huvud både bredare och högre. Höjdskillnaden var enkel att urskilja då det tydligt visas på den vertikala axeln. Anledningen till att deltagarens axlar inte visades lika tydligt i fallet med hjälm beror troligen på att laserpulsen från ett större antal vinklar reflekterats av just hjälmen. Därför nådde inte laserpulsen axlarna, för att nya reflektionspunkter som tidigare ej existerat fanns tillgängliga som följd av hjälmens dimensioner. Detta gav således sämre resultat i fallen då försökspersonerna bar hjälm. Denna skillnad hade kunnat förminska om laserskannrarna placerats högre upp, vilket innebär att laserpulsen ej reflekterats i ett lika tidigt skede.

Ytterligare ett exempel på ett identifierat scenario var skanningar som registrerade kroppsdelar utöver axlar och huvuden. De kroppsdelar som identifierades, exklusive axlar och huvud, var armar, ben, fötter, samt ryggar. Registrering av armar, ben och fötter var inte lika förekommande som huvud, axlar och ryggar. Det var inträffade mest i de försök då flera försökspersoner passerade dörröppning, och då främst när deltagarnas gruppering ej var som tätast. När utrymmen uppstod mellan deltagarna blev inte exempelvis ben blockerade av övriga högre belägna kroppsdelar och laserpulserna nådde därmed ner närmre golvnivån. I figur 27 exemplifierades ett fall där persontätheten inte var som högst och förtydligade dessa situationer. I avståndsgrafan kunde både en hand och ett ben identifieras, vilket medföljande skärmlipp bekräftade.

Slutligen upptäcktes även ett antal scenarier då deltagare som passerat laserskannern förmodligen varit för lång. När försökspersoner med en längd på ungefär 1,9 meter deltog och passerade genom den vertikala axeln i skanningsplanet befann de sig så pass nära laserskannern att den ej registrerade avståndet. Detta visades tydligt i figur 25 där avsaknaden av datapunkter kring den vertikala axeln ej representerade en jämförbar bild med verkligheten. Missvisande resultat på grund av längd var mer förekommande än förväntat. Då orsaken till detta undersöktes visades det i Excelarken att det lägsta registrerade avståndet, som inte var nollor, var strax över 300 millimeter från laserskannern. Detta stämde inte överens med RPLIDARs tekniska specifikation då den skall kunna mäta avstånd på 200 millimeter. Om detta varit känt på förhand hade experimentets uppställning fått ses över och laserskannrarna hade placerats på en högre höjd för att undvika liknande utfall.

Utöver de scenarier ovan som kunnat identifieras utifrån analyser har det även förekommit grafer som inte kunnat läsas av, även med hjälp av videofilm. I fallet då den svårästa grafen, figur 24, redovisades kunde inte skanningen kopplas ihop med något som videofilmerna visade. Det var den enda tillgängliga skanningen över försöket och den visade alldeles för få datapunkter för att stämma överens med vad som hände i verkligheten. Vad detta beror på förblir ovisst, men det kan sannolikt ha en koppling till hårdvaran. En alternativ förklaring kan vara att försökspersonens hår ej reflekterat laserpulsen som vid fallen med hjälm. Liknande utseenden på graferna har nämligen inte observerats i försök då deltagare bar hjälm. Denna typ av skanningar är dock ej vanligt förekommande och kan därför även vara tillfälligheter.

Begränsningar och felkällor

Efter att ha analyserat ovanstående scenarier och identifierat samband mellan dessa kunde begränsningar och felkällor diskuteras.

När flera försökspersoner passerade skanningsplanet var det viktigt att få framgångsrika avståndsregistreringar för att få kunskap kring var en individ började och var en annan slutade. Frekvensen var inte alltid hög nog för att förse den data som önskats, men i somliga försök var det tillräckligt för att med hjälp av videofilm urskilja vad som inträffade.

Problem som uppstod då avståndsgraferna studerades berodde främst på laserskannrarnas placering. Om de placerats högre upp från början hade samtliga av de missvisande graferna relaterat till längd på försökspersoner förbättras. Kännedomen att 300 millimeter utgjorde det lägsta möjliga avståndet att mäta istället för 200 millimeter hade en del med det att göra, men med noggrannare pilotförsök hade det kunnat undvikas. Placeringen i höjded påverkade även den generella kvaliteten och kvantiteten på mätningarna. Fler datapunkter hade kunnat erhållas om laserskannrarna haft en högre position eftersom laserpulser inte blivit blockerade vid lika många vinklar. Om fler datapunkter erhållits hade dessutom kvaliteten på varje graf, gällande både avstånd och tid, förbättrats. Detta hade lett till enklare jämförelser med det verkliga fallet som filmats av videokamerorna medan antalet svårästa grafer förhoppningsvis minskats.

Den främsta orsaken till att kvaliteten och kvantiteten inte blev högre är dock inte placering av laserskannrarna, utan deras frekvens. I flera situationer träffades försökspersoner endast en gång av laserpulserna då de passerade dörröppningen. Detta ansågs inte bidra med tillräcklig information för att kunna analysera händelseförloppet. De tydligaste resultaten gavs då deltagare registrerades under minst tre rotationer. För att uppnå detta i samtliga fall utfördes beräkningar där hänsyn togs till både frekvens och gånghastighet. Dessa beräkningar kan ses i *Bilaga C – Beräkningar*.

6.1.2 Tidsdiagram

Målet med tidsdiagrammen var att ge en tydligare bild av laserskannrarnas resultat som en funktion över tid. Nedan kommer varje scenario att gås igenom noggrant där detaljerade analyser utförs för tidsdiagram, vilka samtliga är hämtade från resultatdelen, tillhörande de tre scenarier som redovisats i kapitel 5.2 *Tidsdiagram*.

Med hjälp av tidsdiagrammen kunde graferna för ett helt scenario studeras tillsammans. Ett scenario utgjordes i detta fall av alla grafer över ett visst försök. Det visade sig att i flera av de framtagna graferna fanns potential att räkna det antal försökspersoner som passerade dörröppningen. Exempel på detta gavs av både figur 32 och figur 33 i fallet då tre deltagare passerade skanningsplanet. Genom att använda sig av färgskalan och jämföra de två graferna med varandra gick det att uppskatta tre huvuden samt punkter som redovisade andra kroppsdelar. Försökspersonernas ungefärliga längd och placering kunde uppskattas, vilket även verifierades med videofilm i efterhand.

Likt avståndsgraferna kunde flera egenskaper respektive begränsningar identifieras med hjälp av mängden utförda försök samt videofilm. En upptäckt var att tidstegen mellan somliga skanningar varierade. I figur 30 gick det bland annat att observera tiden från första till andra skanningen, samt andra till tredje, var cirka 0,2 respektive 0,1 sekunder. Det första tidsintervallet redovisade en sekvens då laserskannern genomförde en rotation utan att samla in data. Dessa sekvenser behandlas främst i *Bilaga C – Beräkningar*. Tidsintervallet mellan skanning två och tre motsvarade ett fall då laserskannern fungerade felfritt. Anledningen till rotationen utan insamlad data har inte lyckats förklaras, men tros bero på mjukvaran eller hårdvaran som användes under experimentet. Det enda som kan konstateras i skrivande stund är att dessa sekvenser förekommer i ojämna mellanrum, med en uppskattning på var tredje eller var fjärde skanning.

Övriga egenskaper som identifierats utgjordes av misstolkningar som en följd av laserskannerns begränsningar. En av dessa egenskaper var att en och samma persons huvud kan tas upp i två skanningar. Detta var fallet i bland annat figur 34. Om enbart de första två skanningarna i figuren studerades kunde resultaten misstolkas som två olika individer, varav den ena deltagaren gick precis bakom den andra. Genom jämförelser med videofilm kunde slutsatsen dock dras att det inte gick någon försöksperson bakom den första, utan att samma deltagare mätts två gånger. Det är därför viktigt att ta hänsyn till både placering och tidssteg mellan skanningar. Om detta inte görs kan personantalet feluppskattas, vilket i sin tur ger felaktiga resultat då personflöde skall undersökas.

Tidigare angavs figur 32 som ett bra exempel då antalet personer och deras placering gick att uppskatta. Det upptäcktes dock en tydlig misstolkning av figuren när denna verifierades med videofilmen. Misstolkningen identifierades på skanning nummer tre. På denna skanning presenterades huvudet på försöksperson två, men axeln för försöksperson ett. Om grafen inte jämförts med film hade antagandet gjorts att axeln tillhörde person två. Anledningen till detta utseende illustrerades i figur 21 i kapitel 4.4 *Framtagande av tidsdiagram* där både försöksperson ett och två gick med huvudet framskjutet. Detta resulterade i att den första deltagarens axel hann vara med i samma skanning som huvudet på person två. Detta utgör i sig själv inget allvarligt problem i detta fall, men det kan förekomma scenarier där denna misstolkade axel egentligen utgörs av en kortare individs huvud. Detta skulle leda till att antalet personer som passerat missuppskattas och leder till felaktiga slutsatser.

Det fanns även somliga grafer som enbart redovisade en halv försökspersons huvud trots positionering precis under laserskannern. Första skanningen i figur 30 var ett tydligt exempel på detta. Enligt grafen redovisades enbart mätvärden som tyder på ett halvt huvud och en vänsteraxel. Mätpunkterna på den vänstra delen av koordinatsystemet, som borde redovisat andra halvan av huvudet, samt personens högeraxel saknades. En trolig orsak till detta är att personen kommit inom räckhåll då laserskannern precis påbörjat en ny rotation och skanning. Detta kan förklaras utifrån att laserskannern roterar moturs, varpå mätpunkter enbart tas med från ungefär 0 till 300 millimeter. Mellanrummet som förekom vid de nästan svarta punkterna och de röda är ett tecken på delar av kroppen som laserskannern inte lyckades registrera. Den mest sannolika orsaken till detta är att högre belägna kroppsdelar blockerat laserpulser som sänts ut i de vinklar där tomrummen befinner sig.

Slutligen visade sig även personernas längd ha stor påverkan på mätresultaten. Likt det som diskuterades i kapitel 6.1.1 *Avståndsgrafer* förekom det mätningar där värden för långa deltagares huvud saknades. Det upptäcktes även ett fall där en kortare persons huvud missuppfattades vara en axel, se figur 34 och figur 35. I detta fall var det inte lika tydligt att mätpunkterna för försöksperson tre utgjordes av huvudet, då det låg på samma höjd som axlarna för personen framför. Om mätresultaten inte jämförts med videofilm hade personantalet kunnat missuppskattas.

Felkällor och eventuella förbättringar

Likt de tidigare scenarierna registrerades emellanåt ryggar och lägre belägna kroppsdelar i skanningarna. I de fall då flera skanningar redovisades i samma graf förekom ett antal sådana mätpunkter. På grund av dessa ansågs grafen bli mer svårtolkad, då denna såg mer rörig ut och betraktaren utsattes för fler datapunkter att inspektera. För att undvika detta hade en grövre filtrering kunnat utföras där enbart punkter över en viss höjd redovisats. Risken finns dock kroppsdelar tillhörande kortare individer tas bort i en sådan filtrering.

För att undvika misstolkningar av mätresultaten kan respektive scenario jämföras med flera olika grafer som visar likadana fall. Exempelvis genom att studera grafer med tid och horisontellt avstånd, samt grafer med vertikalt avstånd och tid. På så sätt kan respektive grafs brister reduceras då fördelarna kompenserar för varandra. I grafer som redovisar tid och horisontellt avstånd går det att urskilja flera personer som går i bredd, men är svårare att använda när höjd skall uppskattas. Den andra typen av grafen, tid och vertikalt avstånd, är däremot väldigt bra när höjd ska uppskattas, men det går enbart att urskilja en person per skanning.

6.2 Experimentfas

Experimentfasen är grunden till hela arbetet och utgör därför en av de viktigaste beståndsdelarna. Om detta hade utförts felaktigt skulle all data blivit påverkad och därav även resultatet. Inför experimentfasen lades därför mycket tid ner på enbart planering och informationssökning. För att uppfylla arbetets mål, *testa en ny mätmetod för mätningar av personflöde genom öppningar*, var experimentfasen strukturerad efter att undersöka detta.

6.2.1 Utrustning

Till att börja med studerades all utrustning noga så att denna användes på ett korrekt sätt. Överlag anses all utrustning ha uppfyllt sitt syfte under experimentet.

Lokalen som användes i försöket var tillräckligt stor för att utan problem få plats med både byggmaterial och försökspersoner. Försökspersonerna hade god marginal att röra sig fritt medan byggmaterialet kunde flyttas och ställas upp på de önskvärda placeringarna. Det fanns ingen speciell önskan om egenskaper hos försökspersonerna förutom att dessa skulle kunna ta sig fram genom dörröppningen självmant, vilket de kunde göra utan svårigheter. Antalet försökspersoner räckte med tio stycken eftersom det var det högsta personantal som krävdes till de beskrivna scenarierna i kapitel 5. *Resultat*. Fler än tio försökspersoner hade ställt högre krav på fria ytor i lokalen. Dessutom hade mängden datapunkter som erhållits om exempelvis 20 försökspersoner passerat laserskannrarna under samma försök blivit för tidskrävande samt svårt att hantera. Med tanke på försökspersonstälningens utformning och syftet med undersökningen ansågs därför antalet deltagare vara tillfredsställande.

Även allt byggnadsmaterial, videokamerorna och laserskannrarna anses ha uppfyllt sitt syfte under experimentets utförande. Byggnadsmaterialet i form av hyllorna och ställningen till laserskannrarna hade anpassade mått och kunde enkelt placeras som önskat under experimentet. Videokamerornas uppgift var att filma hela experimentet vilket utfördes utan problem, lika så uppfyllde laserskannrarna sitt syfte att mäta avstånd från närmaste objekt till sig själva.

Datorn som användes vid försöket verkade under experimentet fungera felfritt. Den försedde båda laserskannrarna med ström och lagrade data i form av txt-filer. Efteråt visade det sig att några mätvärden ”saknades”, om orsaken till detta var datorn, laserskannrarnas eller mjukvaran som användes kommer att diskuteras nedan i 6.3 *Datahantering*.

Den utrustning som hade kunnat förbättras mest var mjukvaran Ultra Simple. Ultra Simple var tillräckligt bra för att utföra sitt syfte, starta och stoppa skanningarna, samt lagra data. Största problemet med programmet var att det enbart kunde styras från kommandotolken. I kommandotolken gick det enbart att aktivera en laserskanner åt gången, och på så vis saknades förmågan att synkronisera laserskannrarnas rotation samt skapa en gemensam tidsaxel.

6.2.2 Geometri och uppställning

Trots att utrustningen hade efterfrågade egenskaper kunde den ha använts på ett felaktigt sätt. Därför diskuteras geometrin och uppställningen nedan. Experimentets uppställning och geometri beskrevs utförligt i kapitel 3.3 *Uppställning och geometri*.

Bokhyllorna tillsammans med ställningen uppfyllde sin funktion att motsvara en dörröppning. Höjden på hyllorna ansågs under experimentets gång vara tillräcklig eftersom samtliga försökspersoner kunde passera utan att komma i kontakt med ställningen ovanför. Angående bredden mellan bokhyllorna upptäcktes det att 120 centimeter förenklade passage för fler personer samtidigt då de utan problem kunde passera dörröppningen utan att slå i dess kanter. Tre individer kunde passera dörröppningen precis bredvid varandra, vilket ej var fallet då bredden var 90 centimeter. Därför ansågs resultaten som erhöles från 120 centimeters bredd vara av störst intresse. Identifiering av tre försökspersoner under samma skanning ansågs ge mer relevant information utifrån rapportens syfte att utvärdera den nya mätmetoden och därför presenterades dessa resultat.

Ställningen som byggdes till laserskannrarna var skapad för att kunna appliceras ovanför båda konfigurationerna av bokhyllornas öppningsbredd. Avståndet mellan laserskannrarna var också uppmätt i förebyggande syfte för att kunna mäta gånghastighet om tillräckligt noggrann data angavs. Lådan som placerades ovanför ramen fyllde sin funktion då samtliga mätningar som skedde innanför lådan visade värdet noll, vilket sparade tid under datahanteringen. Dock uppmärksammades det att laserskannrarnas placering i ramen inte stämde överens med varandra helt och hållet då den ena laserskannern var placerad någon enstaka centimeter högre upp. Placeringen bedöms nu i efterhand ha kunnat preciseras bättre om andra verktyg och mer noggranna mätinstrument använts. Likaså finns risken att någon laserskanner varit mer vinklad åt ett håll till skillnad från den andra, vilket kan ha orsakat annorlunda mätresultat. Överlag anses inte placering ha haft en betydande inverkan på resultatet eftersom snarlika grafer kunde skapas.

Beträffande videokamerorna ansågs det svårt att hitta något att fästa dem i ovanför bokhyllorna. Målet var att placera dessa precis ovanför respektive laserskanner för att kunna jämföra mätdata så precist som möjligt. Tyvärr fanns inte den möjligheten i lokalen där experimentet utfördes. Istället fästes videokamerorna några decimeter från laserskannrarnas placering med hjälp av att sticka in deras tillhörande stativ i en kabelstege. Förskjutningen ledde till ett vinkelfel mellan försökspersonernas placering i förhållande till laserskannrarna, vilket försvårade den senare verifieringen. Det finns flera sätt att hantera detta problem för att förbättra framtida försök. Antingen väljs lokalen utifrån förmågan att positionera videokameror, alternativt anpassas dessa utifrån lokalen. Dock uppfyllde de använda videokamerorna sitt syfte, men om en förbättring kunde ha gjorts hade det varit att använda en videokamera med lättare placeringsmöjligheter. Om denna korrigerings utförs är det dock viktigt att videokvaliteten ej påverkas så att det blir svårare att urskilja personer.

6.2.3 Genomförande

Genomförandet anses överlag ha utförts korrekt då det utan tvekan anpassats och hanterats för att uppnå arbetets mål. Det finns trots det en del förbättringar som kan tas i beaktning till framtida försök vilka främst består av noggrannare förberedelser och mer detaljerade anvisningar till försökspersonerna. Med noggrannare förberedelser menas främst videokamerornas placering, vilket diskuterades i föregående kapitel. Om detta problem upptäckts tidigare, genom att bland annat pilotförsök genomförts noggrannare, kunde en annan alternativ lösning till upphängning ha funnits.

När det kommer till mer detaljerade anvisningar till försökspersonerna menas främst deras sätt att gå. Eftersom personerna var tvungna att utföra liknande aktiviteter flera gånger om, i form av att passera dörröppningen, vände de sig och ökade hastigheten succesivt under experimentets gång. Ju snabbare försökspersonerna gick desto färre skanningar hann laserskannern registrera dem på, vilket i sin tur försämrade resultatens kvalitet. Likaså påverkade detta de scenarier då målet var att mäta flera personer bredvid varandra. När försökspersonerna blev mer vana började avstånden mellan dem att öka varpå det skedde färre fall då tre personer passerade dörröppningen samtidigt. För att undvika detta borde striktare instruktioner getts ut till deltagarna innan försöket påbörjats, samt fler förekommande påminnelser under experimentets gång.

Utöver ovannämnda faktorer anses utförandet skett tillfredställande. Det rutnät som nämns i kapitel 2.3.1 *Videokamera* och som placerades framför, bakom, och under bokhyllorna anses ha uppfyllt sitt syfte. Tack vare dessa kunde uppskattning av personernas placering i förhållande till laserskannrarna i videofilmerna förenklas. Storleken på rutnätet, 20 x 20 centimeter, anses ha varit väl anpassat till experimentet. Större rutor uppskattas kunnat försämra noggrannheten, samtidigt som mindre rutor leda till mer förvirring än precision. Rutnätet hjälpte även vid beräkning av försökspersonernas uppskattade gånghastighet i *Bilaga C – Beräkningar*.

De olika scenarierna, vilka var utformade för att testa laserskannrarnas förmåga att upptäcka personer i olika formationer och följder, anses ha utförts väl avseende målet. Det ansågs viktigt att först och främst samla in mycket data på hur laserskannern uppfattade enbart en deltagare, så att denna information kunde underlätta avläsningar för försöken med flera försökspersoner. Antalet repetitioner deltagare passerade dörröppningen utan hjälm respektive med hjälm anses också ha utförts tillräckligt många gånger och resulterat i en lämplig mängd data för att kunna dra slutsatser. Samma argument går också att använda till de övriga scenarierna innehållande flera försökspersoner.

De genomförda scenarierna med varierande personantal har varit givande att undersöka. Vad som dock kunde gjorts för att effektivisera experimentet var att ta bort scenariot då fem personer passerade dörröppningen. Anledningen till detta var inte på grund av att mätresultaten från dessa var dåliga, utan för den enkla orsaken att resultatet inte skiljde sig från scenariot med tio personer (exklusive antalet skanningar). Det maximala antalet som kunde passera dörröppningen samtidigt var fortfarande tre personer, och på så sätt blev formationerna med fem respektive tio personer väldigt lika. Då tio personer gav mer mätdata anses denna vara värd att behålla till framtida studier.

Denna typ av experimentet kunde ha utformats på oändligt många sätt, men på grund av brist på både tid och resurser togs beslutet att endast använda en utformning. Den raka "korridoren" med dörröppning i slutet som byggdes upp anses ha uppfyllt syftet med arbetet, att utvärdera mätmetoden och laserskannrarna. Alternativa utformningar hade därför endast varit tid- och resurskrävande samt ej signifikant förändrat mätmetodens potential.

6.3 Datahantering

I denna del av arbetet behandlades all insamlad data och analyserades med hjälp av filtreringsprocesser samt grafer för visualisering. Likt experimentfasen har utförandet av datahanteringen förmågan att påverka slutresultatet. Därför var det viktigt med en genomtänkt metod som kunde ge så relevanta resultat som möjligt.

6.3.1 Filtreringsprocess och koordinattransformation

Det största problemet med insamlad data var mängden. För att överhuvudtaget göra det möjligt att hantera all data och hinna analysera mätresultaten för personer som passerat dörröppningen krävdes en effektiv filtrering. Utan denna hade arbetet inte hunnit bli klart innan kravet på inlämning. Som tur var visade det sig att lådan som beskrevs i kapitel 3.3 *Uppställning och geometri* uppfyllde sitt syfte då antalet rader med mätpunkter i Excel omedelbart kunde reduceras med 75 procent. Hela filtreringsprocessen, steg för steg, redovisades i kapitel 4.1 *Filtreringsprocessen*.

Trots att datahantering har varit den process som tagit flest arbetstimmar anses den använda metoden varit effektiv, men framförallt betydelsefull för goda resultat. Om något hade kunnat genomföras bättre under datahantering är det att momentet med IF-funktionen kunde ha implementerats i ett tidigare skede. Om IF-funktionen använts direkt efter att nollorna raderats hade samma slutresultat utfänts. Det var dock svårt att förutse hur mycket data som skulle vara kvar efter de två första filtreringarna, och idén att använda en IF-funktion uppkom inte förrän efter den andra filtreringen i processen genomförts.

Något som lades märke till under filtreringsprocessen var att cirka tre sekunder från försöken med en dörrbredd på 90 centimeter saknades i utdatafilen. Under dessa tre sekunder passerade en av försökspersonerna, men eftersom nio liknande försök utförts hade detta ingen effekt på slutresultatet. Vad detta kan ha berott på är fortfarande ovisst, men eftersom det hände för båda laserskannrarna samtidigt bildades misstankar kring att datorn hade någonting med det att göra. Om dessa tre sekunder sedan kompensades i utdatafilen gick det återigen att jämföra experimentell data med videofilm.

Efter att filtreringsprocessen avslutats återstod endast approximativt 4 000 rader med data. Att endast den mängden rader skulle vara intressant av den tillgängliga miljonen datapunkter var inte heller en tanke på förhand. Endast 0,4 % av experimentell data har alltså använts till resultatet. Om RPLIDAR ska användas till detta ändamål i framtiden bör därför mjukvaran få en signifikant förbättring. Valmöjligheter kring vilka vinklar som vill undersökas och att kunna synkronisera rotation samt aktivera två laserskannrar samtidigt är exempel på förbättringar som underlättar datahantering.

I utdatafilerna levererades datapunkter i polära koordinater, det vill säga i vinkel och tillhörande avstånd. För att få en verkligare uppfattning hur det såg ut i dörröppningen gjordes en koordinattransformation som omvandlade de polära koordinaterna till kartesiska koordinater. Detta steg kändes mer eller mindre självklart för att redovisa en tydligare bild av laserskannrarnas skanningsplan. Det är nämligen betydligt enklare att få en uppfattning var personer befinner sig i ett kartesiskt koordinatsystem än i ett polärt, främst eftersom både x- och y-axeln i detta fall uttrycktes i längdenheter. Om mjukvaran varit mer justerbar och valet att få ut kartesiska koordinater från början varit tillgängligt hade datahanteringsprocessen minskat ytterligare.

6.3.2 Framtagande av avståndsgrafer

Då både filtrering och koordinattransformation hade slutförts började resultat i form av avståndsgrafer att tas fram. Grafer tillgängliga i Excel valdes eftersom de ansågs uppfylla de redovisningskrav som hade satts. Framtagandet av graferna var beroende av filtrering och koordinattransformation, och med tanke på att avståndsgraferna endast skulle visas i 2D anses detta ha varit det mest lämpliga redovisningssättet som fanns tillgängligt i Excel. Avståndsgraferna gav ett tydligt resultat, och med hjälp av koordinataxlarna var de enkla att förstå.

6.3.3 Framtagande av tidsdiagram

Tidsdiagrammen gjordes för att ge en tydligare bild av hur laserskannern fungerade över tid. Den nya tidsaxeln öppnade upp en helhetsbild över hur laserskannern fungerade över ett helt scenario, vilket ansågs positivt. Två olika typer av grafer togs fram för att underlätta identifiering av försökspersoner. Användning av dessa grafer anses ha utgjort ett mer lättförståeligt redovisningssätt innehållande tydliga axlar.

Programmet som användes för att visualisera graferna var Matlab, vilket ansågs både simpelt och användarvänligt. Data kunde importeras direkt från Excel och visualiseras i redigeringsbara grafer i programmet. Matlab anses ha utfört exakt det som önskades för att visualisera avståndsgraferna tillsammans med en tidsaxel. För tillfället kan ett mer lämpligt program ej rekommenderas.

Enbart tre scenarier redovisades som tidsdiagram, vilka samtliga var tagna från experimentet med en öppningsbredd på 120 centimeter. Anledningen till detta grundar sig i samma argument som tas upp i kapitel 6.2 *Experimentfas*. När det kommer till valet av scenarier användes en person, tre personer och tio personer. Det ansågs viktigt att redovisa en variation av personantal och persontäthet, vilket gjordes i de beskrivna scenarierna.

6.3.4 Gånghastigheter

Försökspersonernas gånghastighet lyckades ej beräknas. Det kan inte påstås att utförandet vid beräkning av gånghastigheten varit lyckat då felaktiga resultat erhöles. Vad som lett till dessa resultat är dock inte säkerställt, men utifrån analys verkar det inte vara metoden som fallerar, utan istället laserskannerns hård- och mjukvara. De mest troliga faktorerna tas upp i kapitel 4.5 *Framtagande av gånghastigheter* vilka utgörs av sekvenserna utan registrerad data, skanningsfrekvens, samt att båda laserskannrarna ej kunde aktiveras samtidigt. För tillfället antas dessa tre orsaker påverka tidsuppskattningen stort, mer om dessa går att läsa i *Bilaga C – Beräkningar* där hur resultatet påverkas har analyserats. Om mjukvaran förändras så att båda laserskannrarna kan starta samtidigt, samt skanningsfrekvensen öka borde en uppskattad gånghastighet kunna beräknas.

7. Slutsats

Efter att ha analyserat resultaten från kapitel 5. *Resultat* har följande slutsatser dragits angående den nya mätmetoden med hjälp av laserskannern RPLIDAR:

Laserskannern har visat sig kunna uppfatta personer som passerar dess skanningsplan. I de fall där förutsättningarna varit optimala har även passerandes längd och position kunnat identifieras.

Laserskannern har även visat sig kunna registrera flera personer som passerar skanningsplanet samtidigt.

Laserskannern ger dock mätningar som är svårtolkade och för tillfället behövs ytterligare en mätmetod som komplement för att undvika misstolkning av resultaten. För att göra den undersökta mätmetoden mer självständig behöver laserskannerns frekvens utökas från dess nuvarande 10 Hertz, samt problemet med de rotationer som inte samlar in data lösas.

I experimentet lyckades försökspersonernas gånghastighet ej uppskattas med hjälp av två laserskannrar. Detta tros dock kunna göras i framtiden om tidigare nämnda förbättringar, framförallt en utvecklad mjukvara som kan styra båda laserskannrarna samtidigt, kan utvecklas.

Laserskannern anses ha uppfyllt målet med arbetet då den visat potential för att mäta personflöde. I dagsläget rekommenderas dock mätmetoden ej att användas för praktiskt bruk. Däremot anses det, baserat på de experimentella resultaten, högst aktuellt att utveckla både mjukvara och hårdvara.

Referenser

- Bernardi, A. (7. Juli 2014). *Point cloud person acquired with time of flight camera*. Von Wikimedia Commons:
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Point_cloud_person_acquired_with_time_of_flight_camera.png abgerufen
- Bluetechnix. (29. September 2016). Von Bluetechnix Products:
<http://ww2.bluetechnix.com/en/products/depthsensing/product/argos3d-p320/> abgerufen
- Chan, K. (05. December 2016). *Sony HDR-CX220E*. Von Wikimedia Commons:
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sony_HDR-CX220E.jpg abgerufen
- Creative Commons. (22. 03 2017). *Attribution 2.0 Generic*. Von creativecommons.org:
<https://creativecommons.org/licenses/by/2.0/deed.en> abgerufen
- Creative Commons. (22. 03 2017). *Attribution-ShareAlike 3.0 Unported*. Von creativecommons.org:
<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed.en> abgerufen
- Frantzych, H. (2001). *Tid för utrymning vid brand*. Lund: Räddningsverket.
- Hansard, M., Lee, S., Choi, O., & Horaud, R. (2012). *Time-of-Flight Cameras: Principles, Methods and Applications*. Springer.
- IES Virtual Environment . (2014). *Egress: Simulex User Guide*. Ontario: IES.
- Li, L. (2014). *Time-of-Flight Camera - An Introduction*. Dallas: Texas Instruments.
- Microsoft. (21. Oktober 2016). *Kinect Hardware*. Von Microsoft developer:
<https://developer.microsoft.com/en-us/windows/kinect/hardware> abgerufen
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Coastal Services Center. (2012). *Lidar 101: An Introduction To Lidar Technology, Data, and Applications*. Charleston, South Carolina: NOAA Coastal Services Center.
- Nilsson, D. (2016). *Förflyttning vid utrymning: en utvärdering av mätmetoder* . Lund: Brandteknik, LTH.
- Pfaff, J. (14. Juni 2010). *Kinect Sensor at E3 2010 (front)*. Von Wikimedia Commons:
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kinect_Sensor_at_E3_2010_\(front\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kinect_Sensor_at_E3_2010_(front).jpg) abgerufen
- RoboPeak. (2014). *RPLIDAR Low Cost 360 degree 2D Laser Scanner (Lidar) System*. Hangzhou: RoboPeak.
- robopeak. (29. 09 2016). *RPLIDAR 360 degree Laser Scanner Development Kit*. Von seedstudio.com:
<https://www.seedstudio.com/RPLIDAR-360-degree-Laser-Scanner-Development-Kit-p-1823.html> abgerufen
- Rockwell Automation. (21. Decmeber 2016). *Ultrasonic Sensing*. Von ab.com:
<http://www.ab.com/en/epub/catalogs/12772/6543185/12041221/12041229/print.html#> abgerufen
- SICK AG. (01. December 2016). *Product portfolio*. Von sick.com:
https://www.sick.com/de/en/product-portfolio/c/PRODUCT_ROOT#g132151 abgerufen
- SICK AG. (21. December 2016). *SICK-LMS Techincal Description*. Von Technische Universität Dresden: <http://www.wv.inf.tu-dresden.de/~wiki/Robotics/TechDocs/SICK-LMS-TechDoc.pdf> abgerufen

- Sick Sensor Intelligence. (07. Oktober 2016). *2D laser scanners LMS5XX/LMS500/Indoor*. Von SICK Sensor Intelligence:
https://www.sick.com/media/dox/4/14/514/Operating_instructions_Laser_Measurement_Sensors_of_the_LMS5xx_Product_Family_en_IM0037514.PDF abgerufen
- SICK Sensor Intelligence. (21. December 2016). *Ultraljudssensorer/UM30*. Von sick.com:
<https://www.sick.com/se/sv/produktportfoelj/avstandssensorer/ultraljudssensorer/um30/c/g185672> abgerufen
- Smisek, J., Jancosek, M., & Pajdla, T. (2011). *3D with Kinect*. Prag, Tjeckien.
- Tatoute, & Phrood. (21. Januari 2006). *Indelning av det elektromagnetiska spektrumet*. Von Wikimedia Commons: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Spectre.svg> abgerufen
- Thunderhead Engineering. (2016). *Pathfinder User Manual*. New York: Thunderhead.
- Walkow, K. F. (2. Juni 2006). *Empirische Querschnittsdaten von Fußgängerströmen: Erfassung und Analyse, Verwendung in der Verkehrsmodellierung und ökonomische Bedeutung*. Dresden, Sachsen, Tyskland.

Bilaga A – Etiska aspekter

Under experimentet spelades hela förloppet in med hjälp av videokameror. Detta gjordes för att senare kunna stämna av laserskannrarnas data med hur det såg ut i verkligheten. Då experimentet filmades är det möjligt att identifiera de deltagande. Därför kommer materialet ej att publiceras. All data och material som samlades in under experimentet kommer att lagras på en extern hårddisk, men även backupkopior kommer att förvaras. Förvaring av data lagras på ytterligare en extern hårddisk, alternativt USB-minne eller molnet. Avdelningen för brandtekniks rutiner gäller vid förvaringen av materialet. Materialet skall förvaras säkert och på så vis stoppa eventuell spridning.

I samband med att examensarbetets fullbordande kommer insamlad experimentell data att förvaras av avdelningen för brandteknik på Lunds Tekniska Högskola ifall erhållen data skulle vara av användning under de närmaste tre åren. Avdelningen för brandteknik får i detta fall bedöma eventuell hantering samt användning av materialet. Alternativt raderas all experimentell data om den ej anses vara av framtida användning.

Innan experimentet inleddes fick samtliga försökspersoner en samtyckesblankett utdelad. I denna samtyckesblankett beskrevs experimentets utförande samt hur datahantering skedde då arbetet fortlöpte samt då det avslutats. Då blanketten signerats av försökspersonerna godtogs de eventuella risker de kan komma att utsättas för samt hantering av data. Då arbetet färdigställts förstördes denna blankett. Samtyckesblanketten visas i *Bilaga B – Samtyckesblankett*.

Bilaga B – Samtyckesblankett

Experimentet som Ni nu skall delta i utgör en del av examensarbetet *Test av ny mätmetod för att mäta personflöde genom öppningar*. Syftet med dagens experiment är att undersöka om en typ av laserskanner ger jämförliga resultat på personflöde genom en öppning med en verifierande mätmetod.

I försöket kommer personflödet genom två olika bredder på dörröppningar att mätas;

- Dörröppning på 0,9 meter
- Dörröppning på 1,2 meter

På varje dörrbredd kommer 32 oberoende mätningar av personflöde att utföras. I försöken kommer 10-20 försökspersoner att delta och delas in i olika formationer under experimentets gång. Försöken kopplat till detta examensarbete förväntas ta cirka 30 minuter.

De försöksansvariga hade uppskattat att större väskor och dylikt ej används under försöken. Hänvisning var dessa objekt kan placeras visas av ansvariga. Tjockare kläder så som jackor är frivilligt att ha på sig under experimenten. Tillträde i laborationssalen, som för övrigt hålls låst, gäller endast behöriga. Ansvar för värdesaker som placeras på lämplig plats under genomförande av försöken läggs dock på Er.

Ersättning i form av biobiljett som tack för deltagande kvitteras ut med Er signatur. Biobiljetten delas ut först efter deltagande i *båda examensarbetena* genomförts. Information om det andra examensarbetet har delats ut separat.

Ifall något skulle hända under experimenten så vänd Er till försöksansvariga. Samtliga av lokalens utrymningsvägar visas i en genomgången innan experimenten initieras. Utbildade personer medföljda av förstahjälpen-kit finns tillgängliga på plats ifall en olycka skulle inträffa. Om eventuella besvär uppkommer under försöken kan deltagande avbrytas utan några skäl, men underrätta de ansvariga om att Ni vill avbryta.

Det verifierande mätinstrumentet som används i dessa försök är videokameror. Materialet de producerar kommer därför kunna identifiera de deltagande i experimentet. Detta material kommer endast att användas i examensarbete och ej publiceras. När examensarbetet är slutfört kommer antingen materialet att raderas alternativt upptas ansvaret för materialet av avdelningen för brandteknik. I detta fall är den planerade användningen endast för framtida arbeten. Värt att notera är att personuppgifter helt kommer uteslutas i all insamlad data samt i examensarbetet.

Er underskrift på denna samtyckesblankett medger att Ni frivilligt medverkar i det beskrivna experimentet samt godkänner framtida datahantering och ansvarsfördelning. En biobiljett till varje försöksperson ges som ersättning och tack för aktivt deltagande.

Deltagares underskrift

Namnförtydligande

Bilaga C – Beräkningar

Vid undersökning av laserskannrarnas utdatafiler kunde det normala tidssteget mellan varje mätning observeras ligga på 98 millisekunder, nästan en tiondels sekund. I somliga fall uppgick tidsteget dock till cirka 200 millisekunder. På grund av att dessa varierande tidssteg inte skedde samtidigt för båda laserskannrarna ledde det till ojämna tidssteg laserskannrarna emellan. En tid som fanns i utdatafilen hos den främre laserskannern kunde saknas hos den bakre. Effekten av detta blev större då laserskannrarnas rotation samt starttid ej var synkroniserade. Därför utfördes beräkningarna nedan för att avgöra om en person kunde passera åtminstone en laserskanner utan att bli träffad. Även beräkningar angående önskvärd gånghastighet samt förbättrad skanningsfrekvens beräknades.

För att avgöra om en person kunde passera en laserskanner utan att vara med i en skanning behövdes den tid det tar att passera det så kallade skanningsplanet. Passagetiden gavs enligt följande samband

Ekvation 1

$$t_{pass} = \frac{a}{v_{gång}}$$

där

$$t_{pass} \quad \text{Tiden det tar att passera skanningsplanet} \quad [\text{s}]$$

$$a \quad \text{En människas djup/tvärsnitt} \quad [\text{m}]$$

$$v_{gång} \quad \text{Gånghastigheten} \quad [\text{m/s}]$$

Efter att ha studerat videofilmerna med tillhörande rutnät från experimentet kunde en genomsnittlig gånghastighet hos deltagarna uppskattas. Det visade sig att de förflyttade sig 1,8 meter på ungefär 1,5 sekunder. På så vis beräknades gånghastigheten till

Ekvation 2

$$v_{gång} = \frac{s}{t} = \frac{1,8 \text{ m}}{1,5 \text{ s}} = 1,2 \text{ m/s}$$

där

$$s \quad \text{Rutnätets sträcka} \quad [\text{m}]$$

$$t \quad \text{Tiden det tog att passera rutnätet} \quad [\text{s}]$$

Värdet för en människas djup/tvärsnitt antogs vara $a = 0,3 \text{ m}$ efter att ha uppskattat djupet på undertecknade vid gångposition. Det ursprungliga värdet som uppskattades minskades dock med ungefär 15 % för att få 0,3 meter, vilket gav ett mer konservativt resultat. Ett lägre värde blev konservativt eftersom tiden att passera skanningsplanet minskade ju mindre djup/tvärsnitt en individ hade, givet att gånghastigheten förblev den samma. Insättning av värden framtagna med hjälp av Ekvation 2 samt antaganden gav följande

Ekvation 1

$$t_{pass} = \frac{a}{v_{gång}} = \frac{0,3 \text{ m}}{1,2 \text{ m/s}} = 0,25 \text{ s}$$

Med en frekvens på RPLIDARs maximala 10 Hertz kunde därefter tiden då en laserskanner ej ger någon data beräknas. Om tiden för passage är mindre än tiden då laserskannern ej är vänd mot dörröppningen kan en person passera skanningsplanet oupptäckt. Då det var känt att en laserskanner endast hämtade data från 90 av de tillgängliga 360 graderna kunde följande samband användas för att beräkna den maximala tiden då data ej hämtades.

Ekvation 3

$$t_1 = \left(1 - \frac{\alpha}{\beta}\right) \times \frac{1}{f}$$

där

t_1	Tiden då laserskannern är vänd från dörröppningen	[s]
α	Antalet vinklar som ej filtrerats bort från en skanning	[deg]
β	Antalet vinklar för en cirkelrotation	[deg]
f	Laserskannerns frekvens	[Hz]

Då samtliga parametrar var kända gav Ekvation 3 efter insättning

Ekvation 3

$$t_1 = \left(1 - \frac{\alpha}{\beta}\right) \times \frac{1}{f} = \left(1 - \frac{90^\circ}{360^\circ}\right) \times \frac{1}{10 \text{ Hz}} = 0,075 \text{ s}$$

Eftersom $t_1 < t_{pass} \leftrightarrow 0,075 \text{ s} < 0,25 \text{ s}$ innebar det att vid normala omständigheter skulle en person ej kunna passera dörröppningen utan att tas med i en skanning. Dock inträffade flera sekvenser då laserskannarna roterade ett varv utan att registrera några avstånd. Tiden till nästa mätning gick då från 0,1 sekund till 0,2 sekunder. Om en person skulle passera skanningsplanet då en sådan sekvens inträffade skulle även tiden då laserskannern ej registrerar data att bli större än den beräknad i Ekvation 3. En modifierad version av Ekvation 3 användes för att beräkna denna tid.

Ekvation 4

$$t_2 = \left(1 + \frac{\gamma}{\beta}\right) \times \frac{1}{f}$$

där

t_2	Längsta observerade tid då laserskannern ej registrerade data	[s]
γ	Antalet vinklar på ett varv som <i>filtrerats</i> bort från en skanning	[deg]

Då γ var känd kunde Ekvation 4 beräknas efter insättning av γ

$$t_2 = \left(1 + \frac{\gamma}{\beta}\right) \times \frac{1}{f} = \left(1 + \frac{270^\circ}{360^\circ}\right) \times \frac{1}{10 \text{ Hz}} = 0,175 \text{ s}$$

Då även $t_2 < t_{pass} \leftrightarrow 0,175 \text{ s} < 0,25 \text{ s}$ gick det att bekräfta att en person med ett djup/tvårsnitt på 0,3 meter och som har en gånghastighet på 1,2 m/s vid passage ej ska kunna undvika att bli upptäckt på åtminstone *en* skanning. Det har dock observerats att tidsstegen mellan tre mätpunkter i utdatafilen har varit 0,4 sekunder. Detta innebär att en laserskanner kan utföra en skanning, utföra en rotation utan att registrera data, följt av ytterligare en skanning, och för att därefter under följande rotation återigen inte ge några resultat. Följden av denna förmåga blev att vid flera tillfällen endast en skanning, med varierande kvalitet, fanns tillgänglig per passerande försöksperson. Därför utfördes beräkningarna angående en önskvärd gånghastighet, vid personidentifiering med hjälp av RPLIDAR, samt vad en förbättrad frekvens kunde erbjuda på nästa sida.

Datahanteringen tydliggjorde att vid en del försök erhöles endast en skanning på en passerande försöksperson. Därför kunde det underlätta för framtida användning av utrustningen ifall en gånghastighet eller en förbättrad frekvens föreslagits. De skanningar som presenterades som exempel i 5. *Resultat* hade en gemensam nämnare till varför de blev tydliga. De var hämtade från försök där inblandade försökspersoner upptäcktes på tre eller fler separata skanningar. Om en försöksperson skulle garanteras att upptäckas tre gånger med nuvarande frekvens på 10 Hertz behövde gånghastigheten förändras. Med hänsyn tagen till RPLIDARs sekvenser utan att registrera data, och antagandet att den endast utför avståndsmätningar var annan rotation, kunde denna hastighet beräknas. Detta genom att först hitta den nya tiden för att passera skanningsplanet.

Ekvation 5

$$t_{pass} = x_{scan} \times t_2$$

där

x_{scan} Det önskvärda antalet skanningar

[-]

Då x_{scan} valdes till tre skanningar och t_2 känd sedan tidigare gavs t_{pass} efter insättning i Ekvation 5.

$$t_{pass} = x_{scan} \times t_2 = 3 \times 0,175 \text{ s} = 0,525 \text{ s}$$

För att sedermera beräkna den önskvärda gånghastigheten kunde Ekvation 1 ändras om och ge nedanstående ekvation.

Ekvation 6

$$v_{gång} = \frac{a}{t_{pass}} = \frac{0,3 \text{ m}}{0,525 \text{ s}} = 0,5714... \approx 0,57 \text{ m/s}$$

Därmed kunde tre skanningar garanteras då passerande personer höll gånghastigheten 0,57 m/s. Beräkningen var dock beroende av att laserskannern skiftade mellan att utföra avståndsmätningar och att sedan göra en rotation utan datainsamling. Om endast en sekvens utan datainsamling hade skett under tre följande skanningar hade gånghastigheten kunnat istället kunna uppgå till ungefär 0,92 m/s. Den högre hastigheten beräknades med hjälp av att skapa ett medelvärde av två rotationer med datainsamling ($2 \times t_1$) samt en sekvens där det uteblir under en rotation (t_2). Om dessa sekvenser aldrig hade inträffat hade den maximala gånghastigheten för att erhålla tre skanningar kunnat uppgå till 1,33 m/s.

Om laserskannerns frekvens hade förbättrats istället för att justera gånghastigheten hade experimentet som beskrevs i 3. *Experimentfas* kunnat följas. En frekvens som uppfyllde det ovan nämnda kravet på tre skanningar per passerande person kunde beräknas genom att först använda en förändrad version av Ekvation 5. Då de ingående parametrarna var kända sedan tidigare gavs följande resultat

Ekvation 7

$$t_2 = \frac{t_{pass}}{x_{scan}} = \frac{0,25 \text{ s}}{3} = 0,0833... \text{ s}$$

Om tre skanningar per passerande person skulle garanteras fick därför tiden då laserskannern ej registrerade data överstiga 0,0833 sekunder. Då denna tid var känd kunde den förbättrade frekvensen beräknas med hjälp av en omvandling av Ekvation 4 enligt

Ekvation 8

$$f_+ = \left(1 + \frac{\gamma}{\beta}\right) \times \frac{1}{t_2}$$

där

f_+ Laserskannerns förbättrade frekvens

[Hz]

Värdena på γ och β var kända sedan tidigare, och efter insättning erhöles då

Ekvation 8

$$f_+ = \left(1 + \frac{\gamma}{\beta}\right) \times \frac{1}{t_2} = \left(1 + \frac{270^\circ}{360^\circ}\right) \times \frac{1}{0,0833..s} = 21,00 \text{ Hz}$$

Om frekvensen hade ökat från 10 Hertz till 21 Hertz hade tre skanningar per passerande person kunnat garanteras om gånghastigheten ej överstigit 1,2 m/s. Om försökspersoner hade uppmanats att hålla en långsammare hastighet under ett framtida experiment hade frekvensen inte behövt dubbleras, som resultatet i Ekvation 8 visar, utan en ökning på 50 % hade möjligen varit tillräcklig. Det önskvärda målet att uppnå tre skanningar hade alltså kunnat nås genom att kombinera resultaten på gånghastighet och förbättrad frekvens.