

Dörrkonfigurationens påverkan på flödet genom öppningar

Annie Lennartsson och Matilda Weyler | Avdelningen för Brandteknik | LTH | LUNDS UNIVERSITET



Dörrkonfigurationens påverkan på flödet genom öppningar

Annie Lennartsson och Matilda Weyler

Lund 2018

Dörrkonfigurationens påverkan på flödet genom öppningar

The impact of door configuration on pedestrian flow

Författare/Author: Annie Lennartsson och Matilda Weyler

Disclaimer: Författarna ansvarar för innehållet i rapporten.

Report: 5556

ISRN: LUTVDG/TVBB—5556—SE

Antal sidor/Number of pages: 43

Illustrationer/Illustrations: Annie Lennartsson och Matilda Weyler

Sökord

Personflöde, utrymning, inåtgående dörrar, utåtgående dörrar, dörrstängare

Keywords

Pedestrian outflow, evacuation, inward doors, outgoing doors, free swinging door

Abstract

In most of the studies that are made for pedestrian flow through doors, researchers have just looked at the flow through openings without doors. This study aims to figure out how much impact the configuration of the door has on pedestrian flow. The configurations that have been examined are open doors, free swinging doors, doors that open inwards, doors that open outwards and the differences between right- or left swing doors. From the results from the experiment in this report and earlier studies it can be concluded that there is no impact if the door is right- or left swing doors, there is very low impact if the door is free swinging or not and the differences are there only seen if there is a big group of people at the same time. For the doors that open inwards or doors that open outwards the differences are small and only possible to observe at high densities.

© Copyright: Division of Fire Safety Engineering, Faculty of Engineering, Lund University, Lund 2018.

Avdelningen för Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund 2018.

Brandteknik
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 Lund

www.brand.lth.se
Telefon: 046 - 222 73 60

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

www.brand.lth.se
Telephone: +46 46 222 73 60

Förord

Denna rapport är ett examensarbete på Brandingenjörsprogrammet vid Lunds Universitet. Arbetet har pågått under den sista terminen och är ett avslutande moment på utbildningen. Under den tid skrivandet pågått har ett flertal personer stöttat och hjälpt oss på olika sätt. Utan er hade det inte blivit något examensarbete!

Speciellt tack till:

Daniel Nilsson, handledare, som hjälpt oss när vi kört fast och kommit med värdefulla idéer och synpunkter under arbetets gång.

Axel Mossberg, extern handledare, som hjälpt oss att hitta ämne när fantasin nådde botten och som under arbetets gång kommit med tankar och idéer.

Stefan Svensson, som hjälpt oss med mätutrustning och verktyg.

Per-Gunnar Alm, som hjälpt oss med lokaler under försökets gång.

Alla försökspersoner, som ställde upp och under 3 timmar gick cirka 3500 steg var utan några sura miner!

Familj och vänner, som peppat, hejat, läst igenom och stöttat både på plats och på distans samt bidragit med idéer och kunskap.

Annie Lennartsson och Matilda Weyler

Lund 2018

Sammanfattning

För att kunna begränsa brandspridningen och bidra till brandskyddet delas en byggnad oftast in i brandceller. För att vid utrymning kunna ta sig till en säker plats kommer personerna som försöker ta sig ut troligtvis passera genom en öppning i brandcellsgräns. För att kunna bibehålla brandcellsgränsen trots användande av dörrar, fönster och andra öppningar finns det vissa krav på utformning av dessa enligt Boverkets byggregler (BBR). Bland annat ska de dörrar som är placerade i en brandcellsgräns och som i normala fall inte kan förväntas vara stängda, utrustas med dörrstängare (Boverket, 2017).

Försök med 60 personer har genomförts för att se hur olika dörrkonfigurationer så som dörrstängare, dörrhängning och slagriktning påverkat personflödet genom en 90 cm bred dörröppning. Alla försök genomfördes med två olika persontätheter och 5 gånger för respektive dörrkonfiguration. De olika persontätheterna delades upp i en låg persontäthet (1,3 personer/m²) samt en hög persontäthet (2,5 personer/m²). Det gjordes även försök med samma grupp som fick passera genom en dörröppnings där dörren var uppställd. Dessa försök jämfördes sedan med varandra.

Resultaten visar på att användandet av dörrstängare eller dörrhängning inte ger någon märkbar skillnad i personflödet genom berörd öppning. Däremot är det totala flödet genom en inåtgående dörr inte så lågt som befarat, även en inåtgående dörr ger ungefär samma personflöde som en utåtgående. När det gäller låg persontäthet kommer inte dörrkonfigurationen att spela någon större roll och de olika flödena skiljer sig nästan inte åt. I de försök som gjorts med en hög persontäthet är det en större spridning mellan resultaten vilket framförallt beror på svårigheten att bibehålla samma gånghastighet och persontäthet för hela gruppen. Resultaten visar ändå på att 60 personer vid hög persontäthet kan utrymma genom en inåtgående dörr utan några problem.

Resultaten stämmer till hög grad överens med den befintliga forskning som finns inom området. Det finns dock många parametrar att studera vidare och ett flertal intressanta områden att genomföra nya studier inom.

Innehållsförteckning

1	Inledning.....	1
1.1	Syfte.....	2
1.2	Mål.....	2
1.3	Metod.....	2
1.4	Avgränsningar.....	2
2	Teori.....	3
2.1	Lagstiftning.....	3
2.2	Utrymningsfaser.....	6
2.2.1	Varseblivningstid.....	6
2.2.2	Förberedelsetid.....	7
2.2.3	Förflyttningstid.....	7
2.2.4	RSET och ASET.....	8
2.2.5	Hjälpbeteende.....	9
2.3	Gånghastigheter.....	10
2.4	Effektiv bredd.....	10
2.5	Flöden genom öppningar.....	11
2.5.1	Strukturerade flöden.....	11
2.5.2	Flödets utseende.....	13
2.5.3	Flödesberäkningar.....	13
2.6	Dörrstängares påverkan.....	16
3	Försök.....	17
3.1	Försöksdeltagare.....	17
3.2	Utrustning.....	17
3.3	Dörregenskaper.....	18
3.4	Försöksuppställning.....	19
3.5	Kameraplacering.....	20
3.6	Genomförande.....	21
3.7	Analys.....	22
4	Resultat.....	23
4.1	Flöden vid olika konfigurationer.....	23
4.2	Struktur och beteende.....	27
4.2.1	Gånghastighet.....	27
4.2.2	Flödets utseende.....	27

4.2.3	Upphållning av dörren	30
4.2.4	Strukturerat flöde	32
5	Diskussion.....	33
5.1	Flöde vid olika konfigurationer.....	33
5.2	Formering och beteende	34
5.2.1	Utrymningsfaser	34
5.2.2	Gånghastighet.....	34
5.2.3	Flödets utseende	35
5.2.4	Upphållning av dörr.....	35
5.2.5	Strukturerat flöde	36
5.3	Försöksuppställning	37
6	Slutsats	39
7	Framtida forskning.....	41
	Referenser.....	43
	Bilaga A: Data från försök.....	45
	Bilaga B: Försöksdörrens egenskaper	49
	Bilaga C: Samtyckesblankett	51
	Bilaga D: Signifikanstest.....	55

1 Inledning

Utrymningen är en viktig del för att kunna minska antalet skadade i en byggnad eller lokal om brand skulle utbryta. I utrymningsbegreppet ingår allt från den tid som det tar för personer i lokalen att reagera och förstå att en brand utbrutit till dess att de utrymt till en säker plats. En säker plats är en plats ute i det fria där de utrymmande inte ska påverkas av branden eller brandgaser. (Boverket, 2017)

Under denna utrymningsprocess finns ett flertal olika steg som påverkar hur lång tid den totala utrymningen till en säker plats tar. Dessa steg kan i korta drag förklaras med varseblivningstid, förberedelsestid och slutligen förflyttningstid. Under varje steg finns det olika faktorer som påverkar hur lång tid det totala utrymningsförloppet kommer att ta. För förflyttningstiden kommer bland annat gånghastigheten, avståndet till närmaste utrymningsväg och utrymningsvägens utseende vara faktorer som spelar roll. Det går att bryta ner de olika stegen i mindre bitar för att studera hur lång tid varje del tar. En av dessa delar är tiden det tar för personerna att gå genom en dörröppning. (Frantzich, 2000)

För att kunna begränsa brandspridningen och bidra till byggnadens brandskydd delas byggnaden oftast in i brandceller. För att vid utrymning ta sig till en säker plats kommer personerna troligtvis passera genom en dörröppning i en brandcellsgräns. För att kunna bibehålla brandcellsgränsen trots användande av dörrar, fönster och andra öppningar finns det vissa krav på utformning av dessa enligt Boverkets byggregler (BBR). Bland annat ska de dörrar som är placerade i en brandcellsgräns och som i normala fall inte kan förväntas vara stängda, utrustas med dörrstängare (Boverket, 2017).

I tidigare forskning har det bland annat undersökts om flera mindre dörrar i bredd ger samma utrymningskapacitet som en stor dörr med samma totala öppningsbredd. I dessa försök användes inte ett dörrblad utan försöken är enbart genomförda med öppningar (Holgersson & Lindström, 2017). Vissa försök har även gjorts för att undersöka om det är någon skillnad på dörrrens initiala läge när utrymningen startar. Det vill säga om dörren är stängd eller öppen. Försök vid utrymning via trapphus (Takeichi, et al., 2005) har då visat att utrymningshastigheten sänks med 30 % om dörren är stängd när de utrymmande kommer fram till den jämfört med om den skulle vara öppen. Däremot har det inte undersökts hur utrymningshastigheten skulle påverkas vid användande av flera olika parametrar samtidigt. Förändras personflödet och utrymningstiden genom en öppning där dörren är försedd med dörrstängare och samtidigt är inåtgående jämfört med en öppning med samma förutsättningar men där dörren är utåtgående? Det är även intressant att veta om dörrhängningen påverkar flödet genom dörröppningen. (Gwynne, et al., 2009)

Genom att utföra en litteraturstudie inom ämnet samt utföra olika försök på dörrar med och utan dörrstängare, olika upphängningar samt varierad slagriktning är tanken att se hur detta påverkar personflödet genom dörröppningar.

1.1 Syfte

Syftet med arbetet är att studera hur olika dörrkonfigurationer såsom dörrstängare, slagriktning samt upphängning, påverkar personflödet genom en öppning som används för utrymning.

1.2 Mål

Målet med arbetet är att med hjälp av försök och litteraturstudie påvisa eventuell påverkan av olika dörrkonfigurationer, såsom dörrstängare och slagriktning, på dörrar som används för utrymning.

1.3 Metod

Arbetet består av en litteraturstudie samt en försöksdel. Litteraturstudien syftar till att sammanfatta den kunskap som finns inom området i nuläget och bygger på de artiklar, böcker och rapporter som finns tillgängliga på svenska och engelska.

Försöken kommer att utföras på två likadana dörrar med enkla dörrstängare. Under försökens gång kommer dörrens slagriktning och hängning att varieras för att se hur stor påverkan på personflödet de olika kombinationerna har. Mer information om hur försöken genomförs återfinns i avsnitt 3.

1.4 Avgränsningar

Arbetet kommer att avgränsas till att undersöka hur passagen genom öppningen påverkar personflödet då dörren är försedd med dörrstängare. Försök kommer att genomföras på en typ av dörr där slagriktning och upphängning varieras. Dörrbredden kommer inte att varieras.

Försöken är enbart laboratorieförsök och kommer inte att genomföras under någon form av yttre påverkan för att likna en utrymningssituation. Försöken kommer att användas i en jämförande analys mellan de olika försök som kommer att genomföras.

2 Teori

I följande kapitel sammanställs de teorier och den kunskap som finns inom eller påverkar området idag.

2.1 Lagstiftning

Plan- och bygglagen (PBL) samt plan- och byggförordningen (PBF) är de huvudförfattningarna som Boverkets byggregler (BBR) grundar sig på. BBR används dagligen vid brandskyddsprojektering och beskriver allt från placering av byggnader till vilka beslag som ska användas på dörrar för att kunna säkerställa utrymningen.

BBR består av föreskrifter och allmänna råd om hur byggnader ska byggas. Föreskrifter ska följas, mindre avvikelser kan endast göras om särskilda skäl föreligger, men dessa måste godkännas av byggnadsnämnden. De allmänna råden är förslag på hur föreskriften kan uppfyllas, dessa behöver inte följas om alternativ lösning bevisas uppfylla föreskriften. Vid förenklad dimensionering uppfylls föreskrifterna genom att följa de allmänna råden. I detta kapitel kommer delar ur BBR tas upp, i rutorna återfinns de föreskrifter som anges i BBR. (Boverket, 2017)

Vid analytisk dimensionering uppfylls föreskrifterna på något annat sätt än genom de allmänna råden i BBR. Dess lösningar kan verifieras genom kvalitativ bedömning, scenarioanalys eller kvantitativ riskanalys. Boverkets allmänna råd om analytisk dimensionering, BBRAD, bör användas för dessa verifieringar där metoder och kriterier för analytisk dimensionering framgår. (Boverket, 2017)

De delar ur BBR som lyfts fram nedan är de som rör utformningen av dörrar och utrymning. Avsnitt 5:31 nedan är den allmänna föreskriften angående utrymning. För att kunna uppfylla denna ska personer som utrymmer inte utsättas för någon fara som kan hindra utrymning.

5:31 Allmänt

Byggnader ska utformas så att det ges möjlighet till tillfredsställande utrymning vid brand. Med tillfredsställande utrymning avses att personer som utrymmer, med tillräcklig säkerhet, inte utsätts för nedfallande byggnadsdelar, hög temperatur, hög värmestrålning, giftiga brandgaser eller dålig sikt som hindrar utrymning till en säker plats. (BFS 2011:26)

Föreskrift 5:31 beskriver det generella kravet som gäller vid utrymning, något som samtliga byggnader måste uppfylla. Utrymning ska ske till säker plats och sker oftast via utrymningsvägar. Föreskrift 5:247 med tillhörande allmänt råd nedan beskriver detta mer ingående

5:247 Utrymningsväg och säker plats

En utrymningsväg ska vara en utgång till en säker plats. En utrymningsväg får även vara ett utrymme i en byggnad som leder från en brandcell till en sådan utgång. (BFS 2011:26).

Allmänt råd

Med säker plats avses plats i det fria där brand och brandgaser inte kan påverka utrymmande personer. Säker plats kan exempelvis vara en gata i det fria eller terrass, gårdsplan eller liknande under förutsättning att man kan nå gata i det fria därifrån.

En utrymningsväg kan omfatta dörrar och förbindelsevägar såsom korridorer eller trappor inom egna brandceller, loftgångar eller liknande utrymmen utomhus. (BFS 2011:26).

Föreskrift 5:247 med tillhörande allmänt råd beskriver vad en utrymningsväg samt säker plats är.

I föreskrift 5:334 samt 5:352 med tillhörande allmänna råd förklaras vilka krav som gäller för dörrar som finns i anslutning till samlingslokaler avsedda för mer än 150 personer. Framförallt läggs vikten på hur hög persontäthet och långa kötider ska undvikas genom dimensionering av dörrbredd och utformning av trycke.

5:334 Utformning av utrymningsvägar

I lokaler för ett större antal personer ska åtgärder vidtas som innebär att hög persontäthet vid utgången och långa kötider undviks. (BFS 2011:26).

Allmänt råd

Utrymningsvägar som betjänar fler än 150 personer bör ha en fri bredd på minst 1,20 meter. På dörrbredden bör dörrblad inkräkta högst 0,050 meter. Den totala fria bredden av samtliga utrymningsvägar bör vara minst 1,00 meter per 150 personer. Om en av utrymningsvägarna blockeras bör de övriga ha sådan bredd att 1,00 meter motsvarar 300 personer.

Samlingslokaler i verksamhetsklasserna 2B och 2C bör ha minst tre utrymningsvägar, om de är avsedda för fler än 600 personer och minst fyra om de är avsedda för fler än 1 000 personer. (BFS 2011:26)

5:352 Verksamhetsklass 2B och 2C

(...)

Dörrar i eller till utrymningsväg ska kunna öppnas genom att trycka på dörren eller kunna öppnas med ett lättmanövrerat trycke. (BFS 2011:26).

Föreskrift 5:334 med tillhörande allmänt råd samt föreskrift 5:352 beskriver relativt detaljerat hur en dörr ska utformas. I föreskrift 5:335 nedan med tillhörande allmänt råd samt föreskrift 5:534 finns ytterligare detaljer kring hur en dörr ska utformas samt vad som gäller om en dörr är inåtgående och/eller placerad i brandcellsgräns.

5:335 Dörrar

Dörrar som ska användas för utrymning ska vara utåtgående i utrymningsriktningen och lätta att identifiera som utgångar. Inåtgående dörrar får endast användas om köbildning inte kan förväntas uppstå framför dörren. Andra varianter på dörrar får användas om de kan ge en motsvarande säkerhet som slagdörrar. (BFS 2011:26).

Allmänt råd

Dörrarna bör placeras så att de i öppet läge inte hindrar utrymning för andra personer.

Köbildning förväntas inte uppstå i

- bostäder i verksamhetsklass 3 och boenderum i verksamhetsklass 4,
- en lokal för maximalt 30 personer och där personerna har kännedom om miljön t.ex. klassrum i verksamhetsklass 2A, mindre kontor och verkstadsindustrier i verksamhetsklass 1 och entrédörr i bostadshus i verksamhetsklass 3,
- en lokal för maximalt 30 personer och där personerna inte kan förväntas ha kännedom om miljön och gångavståndet till utrymningsvägen högst är 15 meter t.ex. sammanträdesrum i verksamhetsklass 1 eller 2A, butik, banklokal och serveringslokal i verksamhetsklass 2A.

Automatiskt styrda horisontella eller vertikala skjutdörrar kan användas om de öppnar även vid strömavbrott eller om det går att öppna dem genom att trycka dörrbladen utåt.

En manuell horisontell skjutdörr kan användas i samma situationer som en inåtgående dörr. För de fall som dörren kräver någon form av mekanisk assistans för att kunna manövreras måste denna funktion också kunna fungera vid ett eventuellt strömavbrott.

5:534 Dörr, lucka och port

Dörrar, luckor och portar i en avskiljande konstruktion ska utformas så att brandcellsgränser upprätthålls. (BFS 2011:26).

Enligt Boverket är föreskrift 5:335 en sammanvägning av regelverk i andra länder och äldre praxis. Bakgrunden till de allmänna råden kan härledas till att det alltid varit tillåtet med utrymning från klassrum med en inåtgående dörr och vidare ut i korridorer. Detta för att utåtgående dörrar i ett sådant fall hade kunnat leda till större risker än inåtgående dörrar då de i många fall öppnas ut i korridor och i det fallet i öppet läge hindrar utrymning för andra personer (Johansson, 2017).

För att föreskrift 5:534 ska följas och en brandcellsgräns ska upprätthållas kan det innebära att dörrstängare krävs. Dörren hindrar branden från att sprida sig till andra brandceller och med dörrstängare går dörren igen även om den inte är stängd i initialskedet. Föreskrift 5:254 nedan beskriver hur dörrstängare ska användas.

5:254 Dörrstängare

Dörrstängare ska installeras när detta är en förutsättning för brandskyddets utformning. Systemet ska utformas så att det, med hög tillförlitlighet, säkerställer att brandcellsgränserna upprätthåller sin funktion. (BFS 2011:26).

Dörrstängare är en teknisk installation som enligt de allmänna råden till föreskrift 5:254 bör aktiveras automatiskt vid brand om dörren kan förväntas vara öppen i det normala fallet. Krav på dörrstängare finns i olika verksamheter.

2.2 Utrymningsfaser

Utrymning är ett begrepp som behandlar den tid det tar för personer som befinner sig i en byggnad att ta sig ut och sätta sig i säkerhet. Detta kan ske på olika sätt beroende på byggnadens utformning med avseende på bland annat höjd, placering och möjligheten att nå utrymningsvägar.

Den totala utrymningstiden delas ofta upp i olika faser för att lättare tydliggöra hur lång tid varje moment tar. De olika faserna brukar benämnas som varseblivningstid, förberedelsetid och förflyttningstid (Frantzich, et al., 2014). Förberedelsetid har även i tidigare forskning kallats för besluts- och reaktionstid (Frantzich, et al., 2012). För att kunna genomföra en säker utrymning ska den tillgängliga tiden innan kritiska förhållanden uppstår vara längre än den sammanlagda tiden för de olika utrymningsfaserna är (Frantzich, 2000), mer om detta i avsnitt 0.

2.2.1 Varseblivningstid

Varseblivningstiden beskriver den tid det tar för en person att upptäcka branden från det att den startar. Upptäckt kan ske genom att branden noteras i form av exempelvis flammor eller röklukt alternativt genom en teknisk lösning så som ett larm som ljuder och uppmärksammar om branden.

Finns det tekniska lösningar går det att beräkna en teoretisk tid utifrån en antagen brand vilken sedan kan användas som varseblivningstid. I de fall där det inte finns någon teknisk lösning blir det svårare att bestämma varseblivningstiden. Mycket beror på var branden börjar och om det finns någon i närheten som kan upptäcka branden snabbt. Startar branden exempelvis i ett dolt utrymme tar det längre tid att upptäcka den än om den startar synligt där det vistas personer ofta. Dessa olika förutsättningar gör att det inte finns någon generell varseblivningstid att använda. Varseblivningstiden är ofta mycket osäker. (Boverket, 2006)

2.2.2 Förberedelsetid

Förberedelsetiden är den tid det tar från det att de personer som vistas i lokalen/byggnaden får en första signal om att det brinner till dess att ett beslut om att börja utrymna tas. Inom detta tidsspann ingår även den tid som det tar att lyssna på ett eventuellt utrymningslarm, förbereda sig på utrymning och försöka släcka branden. För att korta ner denna tid så krävs det åtgärder som underlättar för personerna att fatta beslut. Bland annat är talade utrymningslarm, tydlig skyltning av utrymningsvägar och god belysning faktorer som gör att personerna i lokalen förstår vad som händer och att det är lätt att reagera på informationen. (Boverket, 2006)

Faktorer så som om personerna är sovande eller vakna, alkoholpåverkade eller nyktra samt utformningen av utrymningslarmet påverkar den totala förberedelsetiden. För en nattklubb där personer kan vara alkoholpåverkade kan förberedelsetiden vara uppemot 5 minuter. I en skola, i ett kontor eller i en offentlig lokal kan förberedelsetiden däremot sättas till 1 minut. Ett informativt talat utrymningslarm som informerar personerna om vad som hänt samt vad de ska göra kortar också ner förberedelsetiden jämfört med ett enkelt talat meddelande eller enbart ett larm i form av en ringklocka. Hur personer runt omkring reagerar kan påverka förberedelsetiden. Är det någon som tidigt tar ett beslut kan detta leda till att personer väljer att följa efter. Det kan också påverka negativt på så sätt att personer inte vill sticka ut och vara först med att göra något om omgivningen istället väljer att inte agera. Under förberedelsetiden bruka personer se sig omkring och observera andras beteende. (Frantzich, 2000)

2.2.3 Förflyttningstid

Förflyttningstiden är den sista fasen och är helt enkelt den tid det tar för personen att förflytta sig ut till en säker plats. Det finns olika parametrar som påverkar hur lång tid det tar att utrymna lokalen. Bland annat beror det på lokalens uppbyggnad och hur personerna är fördelade i lokalen. Även olika hjälpmedel som ska leda personerna rätt vid en utrymningssituation, så som utrymningsskyltar, kan komma att påverka förflyttningstiden. Olika personer med olika förutsättningar har också olika gånghastigheter vilket påverkar hur fort de rent fysiskt tar sig en viss sträcka. Det är bland annat ålder, kön samt eventuella rörelsehinder som påverkar gånghastigheten för olika personer. Gånghastigheten är inte konstant utan varierar under utrymningstiden. Hur gånghastigheten påverkas och varierar beroende på lokalens utseende presenteras tydligare i avsnitt 2.3.

Förflyttningstiden är den fas som i hög grad kommer att påverkas av flödet genom dörröppningen. En dörröppning som har ett för lågt flöde i förhållande till antalet personer som ska passera igenom kan leda till att det skapas köbildning vid dörröppningen eller andra trånga passager. En dimensionering av bredd på utrymningsvägar ska vara gjord efter det maximala antalet personer som kan förväntas vistas i lokalen. (Boverket, 2006)

2.2.4 RSET och ASET

Required Safe Egress Time, RSET, är tiden från brandens start till dess att de personer som befinner sig i byggnaden/lokalen lämnar den och når en säker plats. I RSET summeras den tid det tar från det att personerna i byggnaden blir medvetna om att det brinner, den tid det tar för dem att bestämma sig för att utrymma och slutligen den tid det tar för personerna att rent fysiskt förflytta ut från byggnaden. RSET är till stor del en sammanfattning av de olika utrymningsfaserna och ett mått på hur lång tid dessa tar tillsammans.

RSET beräknas genom ekvation 1:

$$RSET = t_d + t_a + t_0 + t_i + t_e \quad (1)$$

Där

t_d = tiden från antändning till detektion

t_a = tiden från detektion till dess att personerna i lokalen uppfattar att det brinner

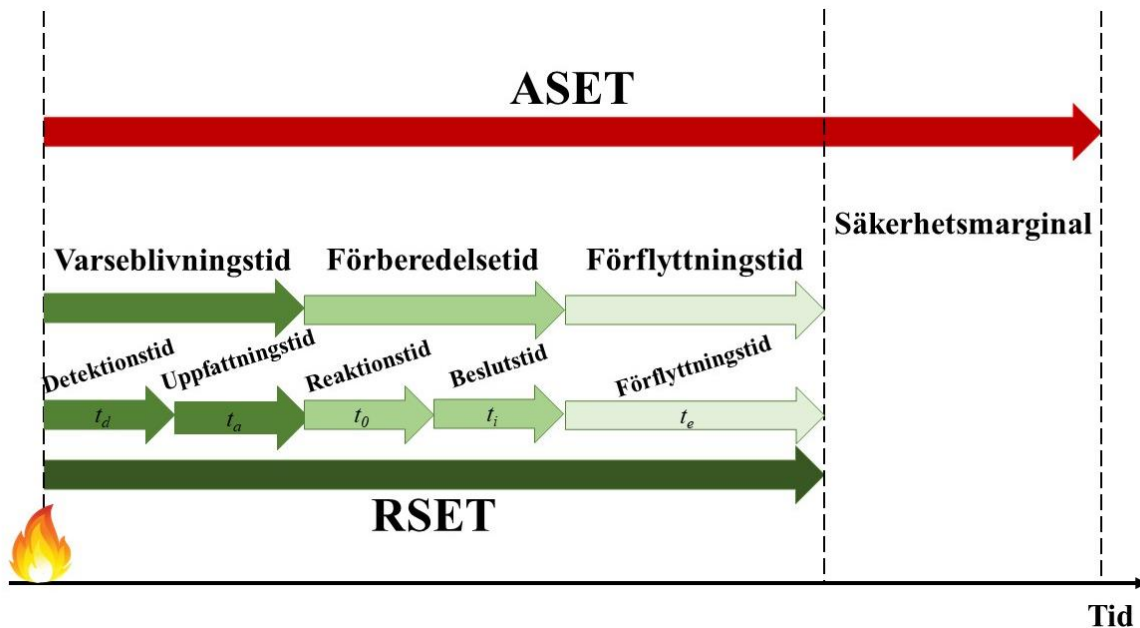
t_0 = tiden från uppfattning av brand till dess att personerna beslutar att agera

t_i = tiden från det att personerna agerat till dess att de börjar utrymma

t_e = tiden från det att utrymning har påbörjats till dess att utrymningen är fullföljd

Vissa tider i ekvationen, så som t_d och t_a , kan variera väldigt beroende på vilken form av system som används för detektering och larm av brand samt hur dessa uppfattas av berörda personer. Tidpunkterna vid t_0 och t_i beror mer på hur människors beteende vid utrymning och hur omgivningen kan påverka individen. Till vis del kan även utformningen av utrymningsvägarna komma att påverka denna tid då dess utseende kan ge en snabbare identifiering av var utrymningsvägarna är. Den sista tiden t_e är den tid som påverkas mest av utrymningsvägarna utformning då det till stor del påverkar bland annat flödet. Denna tid påverkas även av vilken grupp av människor som är berörda och dess fysiska förmåga att utrymma. En grupp med äldre kommer att ha en lägre gånghastighet än exempelvis en grupp med tonåringar. (Nelson & Mowrer, 2002)

För att kunna vara säker på att det finns tillräckligt med tid för utrymning krävs det att RSET är lägre än den tid det tar innan lokalen eller byggnaden blir så pass påverkad av brand att kritiska förhållanden uppnås. Denna tid kallas för ASET, Available Safe Egress Time. ASET uppskattas oftast genom handberäkningar eller simuleringar över brandförloppet som visar på hur lång tid det tar innan kritiska förhållanden uppstår. RSET kan även det uppskattas genom handberäkningar och simuleringar, men då utrymningssimuleringar som beräknar hur lång tid det tar att utrymma lokalerna. I figur 1 nedan visas en schematisk bild över förhållandet mellan ASET och RSET, samt de ingående utrymningsfaserna i RSET. (Nelson & Mowrer, 2002)



Figur 1: Förhållandet mellan ASET och RSET samt ingående utrymningsfaser.

Förhållandet mellan RSET och ASET används på olika sätt för att se om utrymningen hinner ske i tid. Genom att dividera ASET med RSET fås det som kallas för säkerhetsfaktor. Subtraheras istället ASET med RSET fås det som kallas för säkerhetsmarginal som figur 1 ovan visar. Dessa värden brukar vanligtvis användas för att hitta osäkerheter i den data som används och för de antagande som görs. Det finns idag inga krav i BBRAD på vilken säkerhetsfaktor som ska användas för att något ska räknas som säkert utan det ställs istället krav på konservativa antagande (Boverket, 2013). Oftast brukar värden som är större än 1 men mindre än 3 godkännas och i Sverige är 1 en vanlig säkerhetsfaktor. (Poon, 2014)

2.2.5 Hjälpbeteende

Efter terrorattentatet mot World Trade Center i New York 2001 gjordes en undersökning över hur utrymningen hade fungerat och vilka beteende som gick att urskilja. Här syns det bland annat att flertalet har hjälpt varandra under utrymningen och även fått hjälp av andra utrymmande. 20 personer har nämnt att de hjälpte personer med funktionshinder medan 14 personer hjälpte personer som var skadade under attacken. Totalt deltog 435 personer i undersökningen. (Fahy & Proulx, 2005)

2.3 Gånghastigheter

De gånghastigheter som används vid analytisk dimensionering enligt BBRAD är följande beroende på om det är en hög eller låg persontäthet (Boverket, 2013).

För låg persontäthet kan tabell 1 nedan användas. De gånghastigheter som presenteras där är samma som används enligt BBRAD 3. Observera dock att de utrymningsvägar som är till för mer än 150 personer bör ha en fri bredd om minst 1,2 meter istället för 0,9 m.

Tabell 1: Gånghastigheter vid en låg persontäthet enligt BBRAD 3

Förbindelse	Gånghastighet lutande planet	längs	Minsta bredd
Horisontell	1,5 m/s		0,9 m
Uppför trappa	0,6 m/s		0,9 m
Nedför trappa	0,75 m/s		0,9 m
Dörr	-		0,8 m

För gånghastigheter vid en hög persontäthet är det istället mer lämpligt att motsvarande gånghastigheter som återfinns i tabell 2 nedan. Även här bör det påpekas att utrymningsvägar för fler än 150 personer bör ha en minsta bredd om 1,2 m.

Tabell 2: Gånghastigheter vid en hög persontäthet enligt BBRAD 3

Förbindelse	Gånghastighet längs lutande planet	Minsta bredd	Personflöde
Horisontell	0,6 m/s	0,9 m	1,2 p/sm
Uppför trappa	0,5 m/s	0,9 m	
Nedför trappa	0,5 m/s	0,9 m	1 p/sm
Dörr	-	0,8 m	

Flera undersökningar har gjorts över olika gånghastigheter och hur gånghastigheten varierar beroende på persontätheten. Det är däremot svårt att i studier undersöka hur gånghastigheten påverkas av en nödsituation på ett etiskt korrekt sätt. I Frantzich (1992) sammanfattas försök gjorda av framförallt Fruin (1971), Predteschenski & Milinskii (1971) samt Togawa (1955). De har på olika sätt mätt gånghastigheter vid olika tillfällen. Gemensamt för Togawa och Fruin är att gånghastigheter har mätts på personer som befinner sig i bekanta miljöer. Togawa mätte gånghastigheter på pendlare i Japans tunnelbanesystem och Fruin mätte på buss-, färje- och tågstationer.

2.4 Effektiv bredd

Effektiv bredd är den faktiska bredden av en korridor eller dörr som används. När personer går gungar de en aning i sidled. Detta gör att en person behöver en något större bredd för att kunna röra sig framåt än personens faktiska bredd. Detta gör också att det bildas ett tomrum längst med en vägg eller liknande vertikal yta. (Nelson & Mowrer, 2002)

Fruin (1971) beskriver hur människor har en personlig sfär runt sig, eller som Fruin själv uttrycker det "The Body Buffert Zone". Inom denna sfär upplever personer det obekvämt att ha kontakt med andra människor. Då en person börjar att gå kommer den inte bara att

röra sig framåt utan även svänga i sidled. Detta måste tas hänsyn till vid utformning av korridorer och öppningar. Fruin skriver att det krävs en reducering av korridorsbredden med 45 centimeter (18 inches). Dessa värden gäller dock inte under trånga situationer med många personer och en mycket hög persontäthet eller exempelvis under en utrymningssituation. (Fruin, 1971)

2.5 Flöden genom öppningar

Flödet genom öppningar påverkas av många olika faktorer. Dels finns de fysiska parametrarna om hur dörren ser ut och fungerar och dels finns de faktorer som beror på gruppen människor som utgör flödet. Bland de fysiska parametrarna kan bland annat öppningens storlek och dörrens utformning vara parametrar som påverkar. För gruppen av människor som passerar kan däremot persontäthet, gånghastighet, lokalkännedom och tidigare erfarenheter av utrymning påverka flödet.

Att passera en öppning under en utrymningsväg innebär ofta en smalare passage än vad utrymningsvägen i sig är. Detta kan komma att begränsa flödet och det är därför en viktig parameter i utrymningsdimensioneringen. (Forell, et al., 2010)

2.5.1 Strukturerade flöden

Det har gjorts ett flertal studier på hur hinder i eller runt utrymningsvägar kan komma att påverka flödet genom utrymningsvägen. Framförallt har det visats på att hinder i närheten kan komma att strukturera upp flöden genom dörröppningen så att flödet blir mer effektivt.

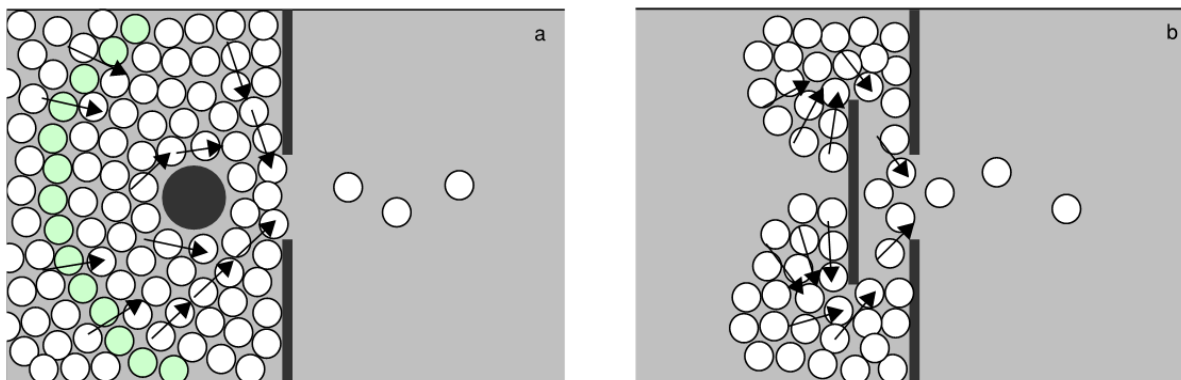
Framförallt är det Helbing et al (2005), Zhao et al (2016), Frank & Dorso (2011) samt Yanagisawa et al (2009) som har tittat på hur flöden kan struktureras och organiseras med hjälp av hinder i, eller i närheten av, utrymningsvägen. Hinder har i de olika studierna främst byggts upp med hjälp av pelare eller paneler. (Helbing, et al., 2005); (Zhao, et al., 2016); (Frank & Dorso, 2011); (Yanagisawa, et al., 2009).

Genom att placera en 45 cm bred skiva parallellt med en 82 cm bred dörröppning kan trycket som uppstår i en stressad situation sänkas. Skivan placeras på ett liknande sätt som pelaren i figur 2. Helbing et al (2005) visar på att ett sådant hinder ökar flödet med 30 %, från 2,7 personer/sekund till 3,5 personer/sekund.

Zhao et al (2016) testade olika hinder av pelar-/panelstruktur framför en utrymningsdörr om 1 meter genom olika simuleringar. I de fall där simuleringarna genomfördes under normala situationer så gavs bättre resultat medan de stressade situationerna fick gav sämre resultat med pelar-/panelstruktur. I de normala fallen visade det sig att bäst resultat återficks av pelarstrukturen.

Även Frank & Dorso (2011) har gjort studier genom simuleringar där både pelare och paneler använts men på en 120 cm dörr. Deras resultat blev att både en panel parallellt med dörren samt en pelare placerad mitt framför dörren gav kortare utrymningstider. Däremot gav det olika resultat beroende på hur långt från dörröppningen som hindret placerades. En panel var den struktur som förändrades mest beroende på avståndet till dörren.

Figur 2 nedan visar hur en ögonblicksbild från en simulering av Frank & Dorso (2011) har sett ut. Bild a visar en stolpe med en diameter på 120 cm medan bild b illustrerar en panel som är 480 cm bred och 12 cm tjock.



Figur 2: Bild från simuleringsuppställning med pelare och panel. Källa: Frank & Dorso (2011)

Användandet av stora pelare, paneler eller annan form av väggstruktur kan också påverka de utrymmandes uppfattning av risken och sikten ut. Detta är saker som i sin tur kan komma att påverka utrymningstiden negativt.

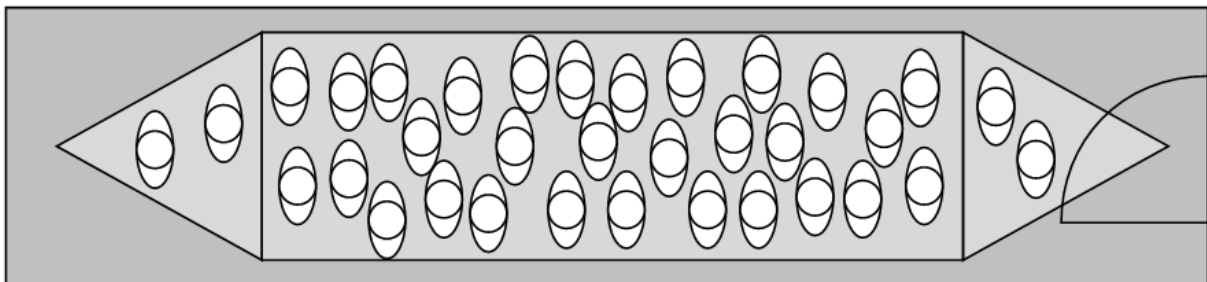
Slutligen har även Yanagisawa et al. (2009) genomfört försök där hindret bestod av en 20 cm i diameter stor pelare testades med olika placering i sidled framför en öppning om 50 cm. De drog slutsatsen att en pelare som placerade i mitten av dörröppningen gav högre flöde då människorna inte nådde dörren samtidigt. Då placeringen av pelaren flyttades lite i sidled återfanns än högre flöden jämfört med en placering mitt för.

För att inte påverka sikten så har Galea et al. (2015) gjort en undersökning om huruvida så kallade säkerhetsstolpar (pollare) kanske kan strukturera flödet på samma sätt som pelare eller panel. Säkerhetsstolparna är från början utformade för att fungera som skyddsbarriärer mot tätbefolkade ytor för att exempelvis bilar eller liknande inte ska kunna köra in i folksamlingarna. I denna studie har dock placeringen av stolparna skett efter utrymningsdörren och resultatet är att dessa stolpar inte ger någon märkbar positiv effekt på flödet men vid viss placering kan de påverka personflödet negativt. Säkerhetsstolparna som har testats i denna studie var 22,5 cm breda och 100 cm höga och dörrbredden var 240 cm. Totalt fördelades 6 stolpar jämnt över en bredd om cirka 400 cm.

En annan form av strukturerat flöde kan ses när personer passerar genom en dörröppning. Imanishi & Sano (2015) har gjort forskning som visar på hur de som passerar genom en öppning ofta vrider kroppen. Vridningen sker för att flera personer ska kunna passera dörröppningen samtidigt. (Imanishi & Sano, 2015)

2.5.2 Flödets utseende

Då en grupp av människor går åt samma håll genom en korridor formas gruppen på ett sätt som liknar det som visas figur 3. Denna formering har påvisats både vid utrymning och vid normala situationer. Formen av den största delen av gruppen, där flest personer är kan beskrivas som en rektangel. I denna är det hög persontäthet och jämn hastighet. I början är det några få personer som går med något högre hastighet, i utrymningssituationer kan denna del bli mer utdragen då tempot tenderar att vara något högre i dessa situationer. I slutet av gruppen finns det ofta en så kallad svans, några personer som går med lite lägre hastighet där persontätheten är lägre. Svansen av gruppen tenderar att bli kortare i utrymningssituationer då gånghastigheten även där tenderar att vara högre, vilket gör att dessa personer håller ett jämnare tempo med övriga gruppen. (Predtechenskii & Milinskii, 1969)



Figur 3: Gruppens formering vid rörelse genom en korridor.

2.5.3 Flödesberäkningar

Nelson och Mowrer (2002) har sammanfattat studier på personflöden gjorda av Predtechenskii och Milinskii (1978), Fruin (1971) och Pauls (1980). De tre olika metoderna är alla baserade på hur förhållandet mellan gånghastighet och persontäthet ser ut. Ett sådant sätt att se på flödet kan kallas för en hydraulisk modell och dessa tre studierna går alla att kombinera med varandra. Modellen kallas för hydraulisk då flödet av personer kan liknas vid strömning av väska.

De olika modellerna tar inte hänsyn till olika individers beslut utan ser personerna som en homogen grupp och antar att alla personer i gruppen påbörjar utrymningen samtidigt. Gruppen antas också ha ett konstant och jämnt flöde samt en jämn gånghastighet. Ingen hänsyn tas till eventuella funktionsnedsättningar eller liknande faktorer som kan påverka gånghastigheten till det lägre. (Nelson & Mowrer, 2002)

För att beräkna personflödet brukar följande ekvation 2 (Frantzich, 1992) oftast användas

$$F = D \cdot v \cdot B \quad (2)$$

vilken ger flödet F i [person/sekund].

D = persontäthet [personer/m²]

v = gånghastighet [m/s]

B = utrymningsvägens bredd [m]

Vid personflödesberäkningar kan även ett flöde som beskriver antalet personer som utrymmer per tidsenhet och effektiv dörrbredd i utrymningsvägen beräknas. Detta personflöde kallas då för ett specifikt flöde. Flödet kan beräknas med hjälp av ekvation nedan:

$$F_s = D \cdot v \quad (3)$$

F_s = specifikt flöde [personer/m · s]

D = persontäthet [personer/m²]

v = gånghastighet [m/s]

$$F = F_s \cdot B_{effektiv} \quad (4)$$

där $B_{effektiv}$ är den effektiva dörrbredden [m] (Nelson & Mowrer, 2002). Effektiv bredd presenteras mer i avsnitt 2.4.

Persontätheten kan definieras på olika sätt. I ekvation 2 ovan beskrivs persontätheten, D , som antal personer per ytenhet. Persontätheten kan också beskrivas som förhållandet mellan den yta som personer upptar och den totala ytan som de befinner sig på. I det senare fallet kommer persontätheten att få enheten [m²/m²] vilket även innebär att den blir dimensionslös. Här brukar det sägas att den maximala persontätheten är av 0,92 och att persontätheten kan variera mellan 0 - 0,92. Värdet anses inte kunna bli högre än 0,92 då personer sett ovanifrån ungefär är formade som elipser. Detta gör att det alltid bli hålrum mellan personerna. (Predtechenskii & Milinskii, 1969)

Den dimensionslösa persontätheten använder Predtechenskii & Milinskii. För att beräkna persontätheten används ekvation 5 nedan:

$$D = \frac{n \cdot f}{\delta \cdot l} \quad (5)$$

n = antal personer

f = ockuperar yta för en person [m^2]

δ = bredd på området där personerna befinner sig [m]

l = längd på området där personer befinner sig [m]

Enligt Predtechenskii & Milinskii är den occuperade ytan för en person som har på sig sommarkläder $0,1 \text{ m}^2$.

Även flödet går att definiera på olika sätt. I figur 4 är flödet, Q , definierat som flödeskapaciteten för dörröppningen. Q [m^2/min] beräknas med hjälp av ekvation 6 nedan:

$$Q = q \cdot \delta_{dörr} = D \cdot v \cdot \delta_{dörr} \quad (6)$$

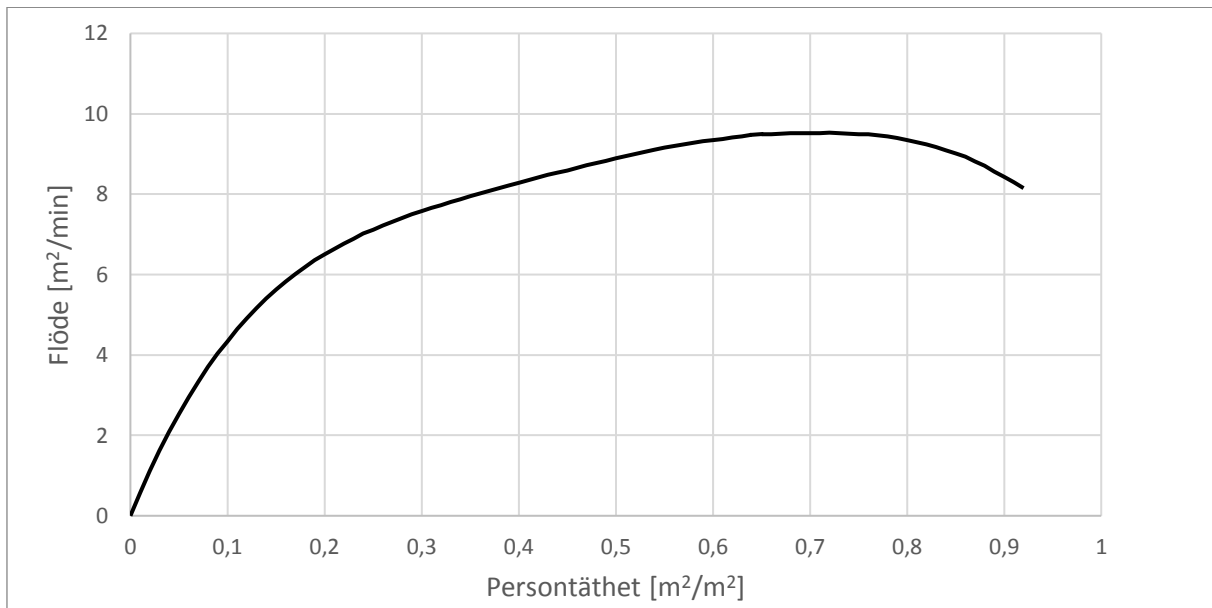
q = specifikt flöde [m/min]

$\delta_{dörr}$ = dörrbredd [m]

D = persontäthet [m^2/m^2]

v = gånghastighet [m/min]

I figur 4 nedan presenteras den flödeskurva som tagits fram för en dörrbredd på 0,9 meter. (Predtechenskii & Milinskii, 1969)



Figur 4: Flöde vid olika persontätheter, kurvorna representerar olika dörrbredder [m].

2.6 Dörrstängares påverkan

Gwynne et al skrev 2009 en rapport där de ifrågasatte det linjära sambandet mellan dörrbredd och möjligt flöde. I den rapporten tas bland annat de studier som Fruin (1971) gjorde. Fruin drog slutsatsen att dörrrens bredd var oviktigt i frågan och istället ansåg att sambandet återfanns i dörrrens konfiguration. Däremot testades inte de olika komponenterna i kombination med varandra utan de undersöktes var och en för sig. Fruin får bland annat fram att en "Free swinging door" (dörr med dörrstängare) ger ett flöde på 40 - 60 personer per minut.

Vidare diskussion leder fram till att Gwynne et al (2009) håller med Fruin (1971) om att det finns andra parametrar som påverkar flödet genom en öppning än just dörrbredden. Det krävs dock mer forskning på området och förhållandet mellan dörrbredd, öppningsmekanismer och flöden. (Gwynne, et al., 2009)

Under 2017 gjordes även ett examensarbete vilket tar upp inåtgående dörrars påverkan på personflödet (Babayan, 2017). I detta arbete dras slutsatsen att för drygt 50 personer kommer en inåtgående dörr vara minst lika bra som en utåtgående dörr. Här har inga andra parametrar så som olika hängningar tagits hänsyn till utan fokus ligger på hur flödet förändras.

3 Försök

För att ta fram resultat som går att koppla till den teori som finns i dagsläget behövde försök genomföras. Sambanden används sedan för att kunna ta fram tider samt skillnader och likheter mellan de olika scenarierna.

Försöken gjordes med en grupp bestående av ca 60 personer vid ett tillfälle. I försöken undersöktes flödet genom öppningar vid olika konfigurationer samt med olika persontätheter av gruppen. Försöken filmades för att kunna studeras i efterhand. Hur dessa försök ställdes upp, vilka förutsättningar som fanns för varje försök och liknande information presenteras i avsnittet nedan.

3.1 Försöksdeltagare

För att få ett tillförlitligt resultat vore det önskvärt att få ihop så pass många personer att personflödet skulle gå att mäta under minst en minut. Tidiga antagande om att en person skulle ta en sekund på sig genom att passera en dörröppning gjordes vilket gav att minst 60 personer krävdes för att försöken skulle kunna genomföras. Totalt rekryterades 61 personer vilka alla deltog i försöken. Vid hög persontäthet uppmättes ett personflöde under ca 35 sekunder, vilket alltså var lägre än antagen tid. Vid låg persontäthet uppmättes ett flöde under längre tid än 1 minut.

Rekrytering av försöksdeltagare gjordes framförallt på Lunds Tekniska Högskola. Denna rekryteringsprocess resulterade i att majoriteten av deltagarna var studenter från Brandingenjörsutbildningen. Då det är ett relativt litet program gav det en grupp där de flesta kände varandra sedan innan. Majoriteten av deltagarna var i samma ålder, medelåldern beräknades till 24 år, en relativt ung grupp. Alla deltagare hade uppgett innan att de kunde gå en längre sträcka utan problem. Av deltagarna var 54% män och 46% kvinnor.

3.2 Utrustning

Under försöken så filmades allt för att senare kunna observera dess filmer. Det användes 5 kameror för varje försök, 4 stycken äldre varianter av actionkamera samt en GoPro. Dessa fästes upp med hjälp av olika remmar och fästen på befintlig inredning samt på en stång som spändes upp mellan två balkar i taket. På denna stång fästes sedan 2 av kamerorna.

3.3 Dörregenskaper

Under försöken användes två dörrar. De båda dörrarna hade samma mått och utseende. Det som skiljde dem åt var vilken hängning de hade. Dörrarna var spegelvända och satt i två spegelvända korridorer. Den dörr som var högerhängd då den öppnades inåt presenteras i figur 5 nedan och den som var vänsterhängd då den öppnades inåt presenteras i figur 6.

Dörrarna var utrustade med dörrstängare av märket Dorma, modell TS83 (Dorma, 2017). Maximala öppningskraften på dörren uppmättes till 75 N, enligt beräkningar som återfinns i Bilaga B: Försöksdörrens egenskaper, vilket faller inom ramen för gällande lagstiftning.



Figur 5: Högerhängd dörr



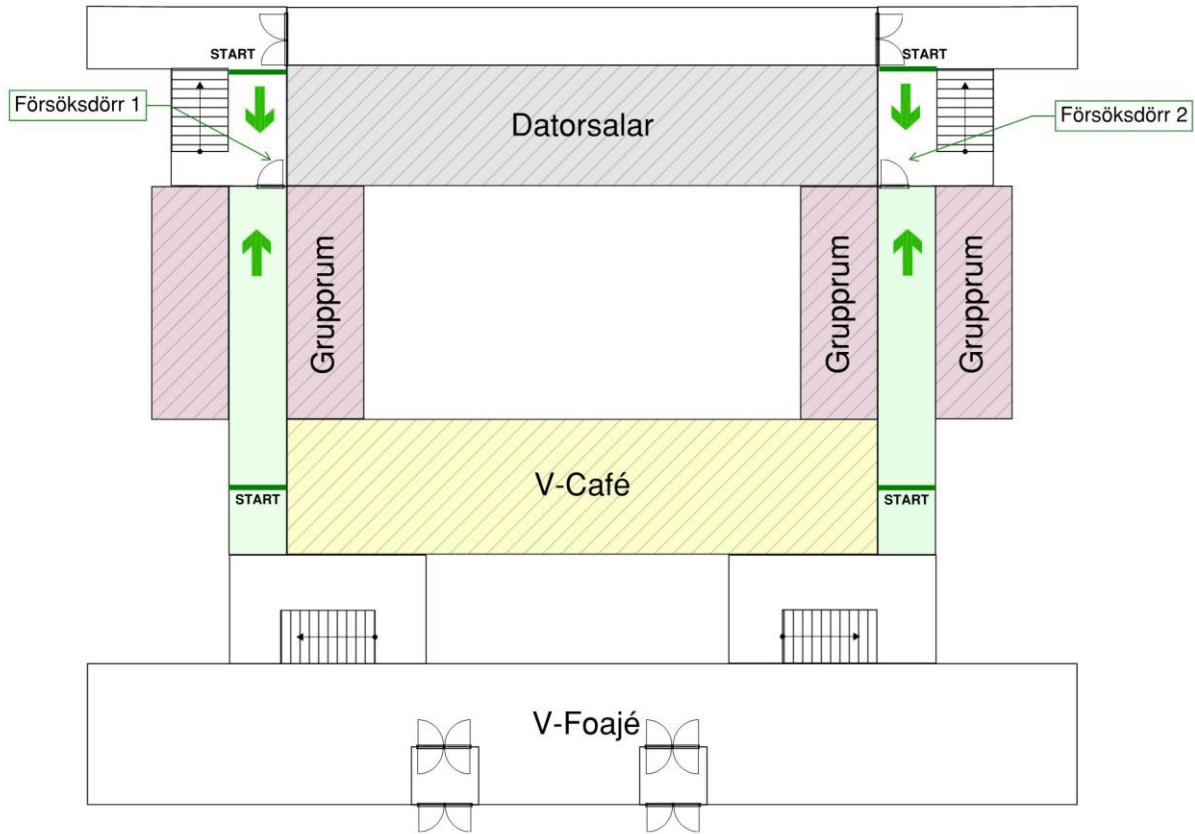
Figur 6: Vänsterhängd dörr

Genom att testa dörrarna med samma förutsättningar kunde de olika dörrhängningarna jämföras. De uppställningar som gjorts är:

- Med dörrstängare
- Utan dörrstängare
- Inåtgående
- Utåtgående

3.4 Försöksuppställning

Försöken genomfördes i befintliga korridorer i V-huset. I figur 7 nedan visas en skiss över V-huset där de dörrar som användes är utmärkta. Notera att varje dörr användes i båda riktningarna. Korridorerna är likadant utformade men spegelvända mot varandra.

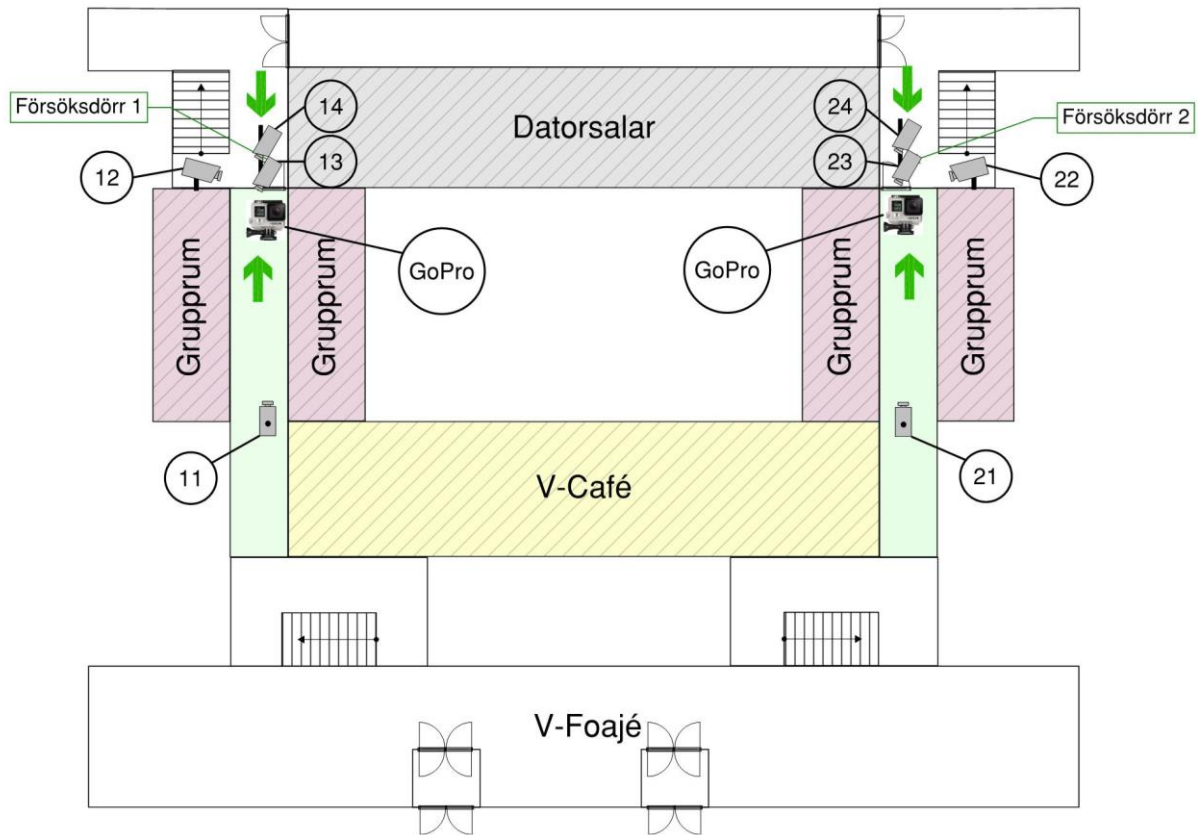


Figur 7: Skiss över V-huset

I figur 7 kan man se att gångavståndet innan personerna nådde dörren var längre då personerna ska gick genom en dörröppning med utåtgående dörr än då personerna börjar i trapphuset och gick genom en dörröppning med inåtgående dörr.

3.5 Kameraplacering

I figur 8 nedan visas en bild av kamerornas placering.



Figur 8: Placering av kameror

GoPro-kameran samt kamera 14 och 24 används för att framförallt kunna studera persontätheten. Kamera 11 och 21 används för att få en överblick över försöken. Kamera 12, 13, 22 och 23 används för att studera öppningsmomentet samt överlämning av dörr.

3.6 Genomförande

Först undersöktes försöksdörr 1 med olika persontäthet, hög och låg, samt tidigare nämnda dörrkonfigurationer. Dörröppningen passerades fram och tillbaka i en tidigare bestämd ordning vilken presenteras i Bilaga A. Persontäthet och dörrkonfiguration varierades för att skapa en randomiserad ordning av försöken. Försökspersonerna uppmanades även mellan försöken att blanda sig för att formateringen av gruppen skulle variera.

Då en hög persontäthet skulle undersökas var instruktionen till deltagarna att samtliga skulle gå mot dörren samtidigt. För att få en låg persontäthet skapades istället en spridning i gruppen genom att säga åt några få personer åt gången att gå mot dörren. Den låga persontätheten skapades genom att deltagarna blev ivägskickade i mindre grupper om 1 - 5 personer med cirka 3 sekunders mellanrum.

Flödet genom dörröppningen observerades och dokumenterades med hjälp av filmkameror. Tidtagning skedde under försöken 2 meter innan dörren, vid dörren och 2 meter efter dörren för första och sista personen. Detta för att kunna räkna ut ett personflöde genom öppningen.

Då dörren testades utan dörrstängare var den uppställd från början och ses då enbart som en öppning. Slagriktningen på dörren i det uppställda läget antogs inte påverka flödet något utan visar endast på vilket håll personerna passerade dörren. Varje dörrkonfiguration undersöktes 5 - 10 gånger för hög samt låg persontäthet. I tabell 3 nedan visas de olika typer av försök som genomfördes och antalet gånger varje konfiguration undersöktes. I Bilaga A: Data från försök framgår vilken ordning de olika försöken gjordes samt uppmätta flöden.

Tabell 3: Försökuppställning

Typ	Hängning	Slagriktning	Dörrstängare	Persontäthet	Antal försök
1	Höger	Utåt	Med	Hög	5
2	Höger	Utåt	Med	Låg	5
3	Höger	Utåt	Utan	Hög	1
4	Höger	Utåt	Utan	Låg	1
5	Höger	Inåt	Med	Hög	5
6	Höger	Inåt	Med	Låg	5
7	Höger	Inåt	Utan	Hög	2
8	Höger	Inåt	Utan	Låg	2
9	Vänster	Utåt	Med	Hög	5
10	Vänster	Utåt	Med	Låg	5
11	Vänster	Utåt	Utan	Hög	2
12	Vänster	Utåt	Utan	Låg	2
13	Vänster	Inåt	Med	Hög	5
14	Vänster	Inåt	Med	Låg	5
15	Vänster	Inåt	Utan	Hög	1
16	Vänster	Inåt	Utan	Låg	1

Efter försöken analyserades filmerna samt de observationer som gjorts under försöket.

3.7 Analys

De olika persontätheterna togs fram genom att studera det inspelade videomaterialet. Persontätheten varierade under varje försök då personerna ständigt rörde sig och persontätheten studerades över en fast area framför dörren. För att få fram en persontäthet har därför ett snitt på antalet personer som befunnit sig på en yta om 3 m^2 beräknats. I de fall med hög persontäthet uppskattades snittantalet personer i den observerade ytan för varje försök. Enligt tidigare presenterad teori i avsnitt 2.5.2 får början och slutet av kön något lägre persontäthet än resterande delar av gruppen. På grund av detta ingår inte dessa delar av gruppen i den beräknade persontätheten. Vid låg persontätheter räknades antal mindre grupper som gick genom dörröppningen under ett försök och utifrån det togs snittantal i de mindre grupperna fram. I det observerade området innan dörren befann sig ungefär en liten grupp åt gången.

Utifrån de persontätheter som togs fram kunde även den dimensionslösa persontätheten beräknas med ekvation 5. Då personer gick utan jackor eller väskor uppskattade deras klädsel vara jämförbar med sommarkläder och den ockuperade ytan sattes därför till $0,1 \text{ m}^2$ per person (Predtechenskii & Milinskii, 1969).

4 Resultat

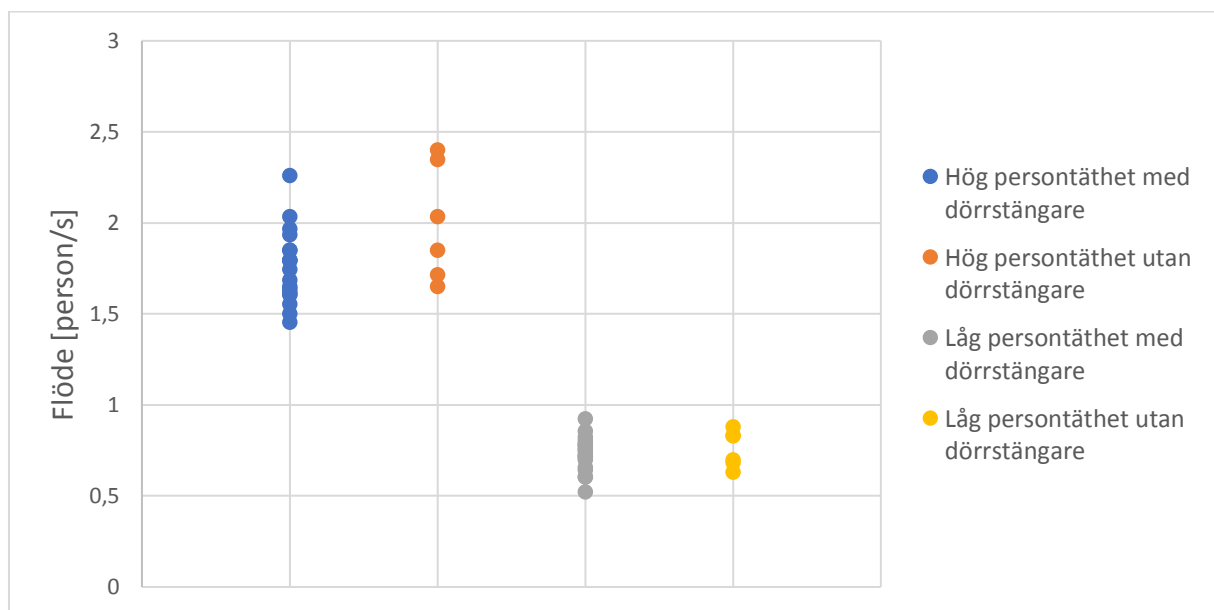
I följande avsnitt kommer resultat från försöken att presenteras.

4.1 Flöden vid olika konfigurationer

I de fall där en hög persontäthet önskades gick samtliga deltagare mot dörren samtidigt, då uppnåddes en persontäthet på ca 2,5 personer/m², se Bilaga A: Data från försök. Motsvarande värde för låg persontäthet uppmättes till maximalt 1,33 personer/m², i de fallen gick deltagarna utspridda i mindre grupper om 1 – 5 personer. För de fallen med låg persontäthet hann dörren gå igen enstaka gånger. Den höga persontätheten motsvarar den dimensionerande persontätheten för en danslokal enligt BBR 25 och den låga ligger strax över den dimensionerande persontätheten för en restaurang (Boverket, 2017). I alla försök uppstod någon form av köbildning.

De flödesresultat som presenteras i avsnittet skiljer sig åt så pass lite att det ej går att säkerställa någon statistisk skillnad mellan dem.

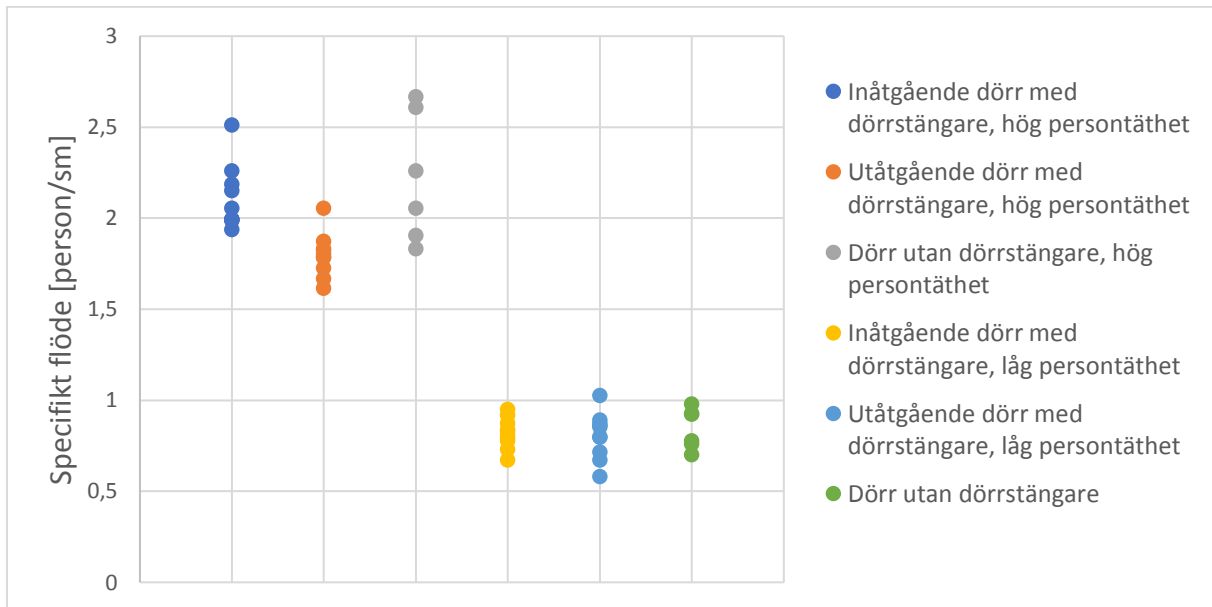
I figur 9 nedan visas resultatet på flödet genom dörröppning med hög och låg persontäthet samt med eller utan dörrstängare i respektive fall. Totalt sett gjordes fler försök på dörrar med dörrstängare än utan dörrstängare.



Figur 9: Flöde genom dörr vid olika persontäthet med dörrstängare på respektive av.

Det som går att utläsa från figur 9 är att dörrstängare inte har någon direkt betydelse vid låg persontäthet, flödet var ungefär samma både med och utan dörrstängare. Medelvärdet för flödet vid låg persontäthet med dörrstängare var 0,73 pers/s och utan dörrstängare 0,76 pers/s. Vid hög persontäthet var medelvärdet för flödet med dörrstängare 1,76 pers/s. Det finns en stor spridning i resultaten utan dörrstängare med hög persontäthet, medelvärdet var 2,0 pers/s.

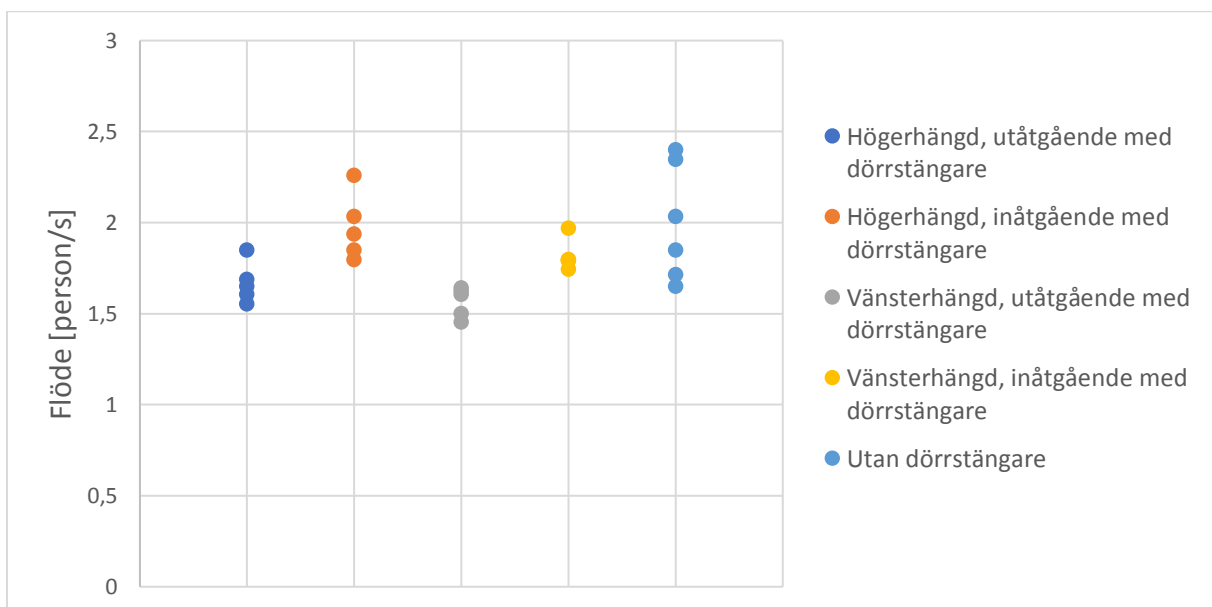
I figur 10 nedan visas det specifika personflödet per sekund och dörrbredd.



Figur 10: Specifikt flöde per sekund och dörrbredd för alla försöksupställningar

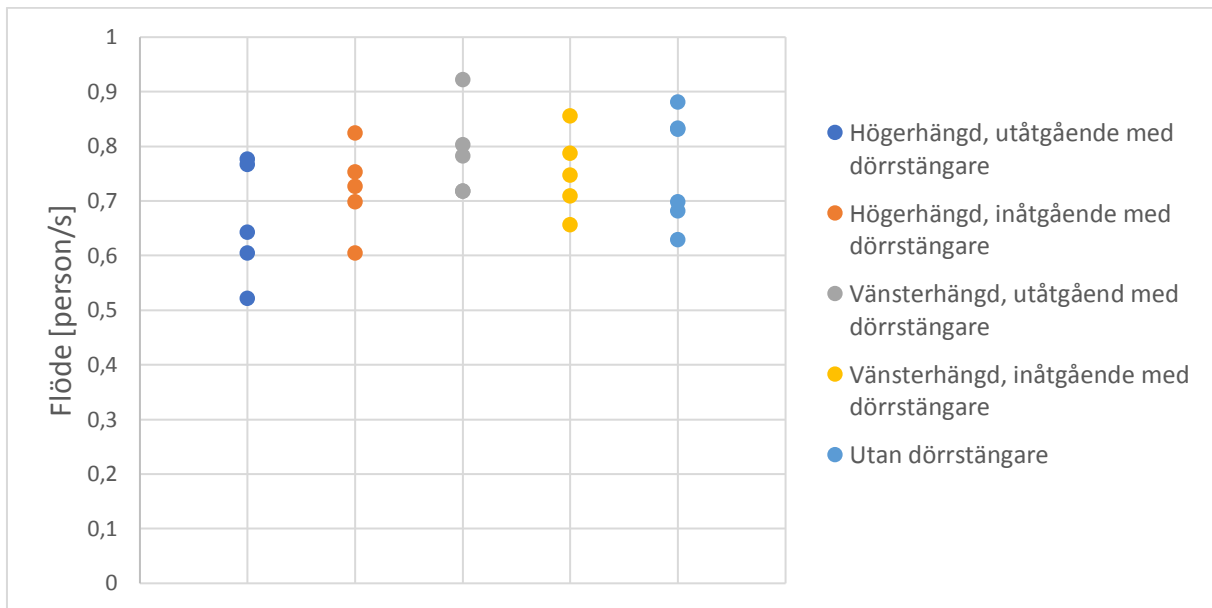
Vid låg persontäthet var det ingen större skillnad i det specifika flödet mellan de olika konfigurationerna. Vid hög persontäthet var det specifika flödet strax över 2 pers/sm då dörren var inåtgående och strax under 2 pers/sm då dörren var utåtgående. Det är däremot stor spridning i resultatet för de dörrar som var utan dörrstängare.

I figur 11 nedan presenteras det uppmätta flödet vid hög persontäthet med olika dörrkonfigurationer, inåtgående, utåtgående samt höger- och vänsterhängd dörr.



Figur 11: Flöden genom dörr med olika konfiguration vid hög persontäthet.

I figur 11 ovan går det att se hur flödet vid de olika konfigurationerna varierar vid en hög persontäthet. I figur 12 nedan presenteras det uppmätta flödet vid låg persontäthet med olika dörrkonfigurationer, inåtgående, utåtgående samt höger- och vänsterhängd dörr.



Figur 12: Flöden genom dörr med olika konfiguration vid låg persontäthet.

För den låga persontätheten som presenteras i figur 12 var skillnaderna inte lika stora som i fallen med hög persontäthet, figur 11.

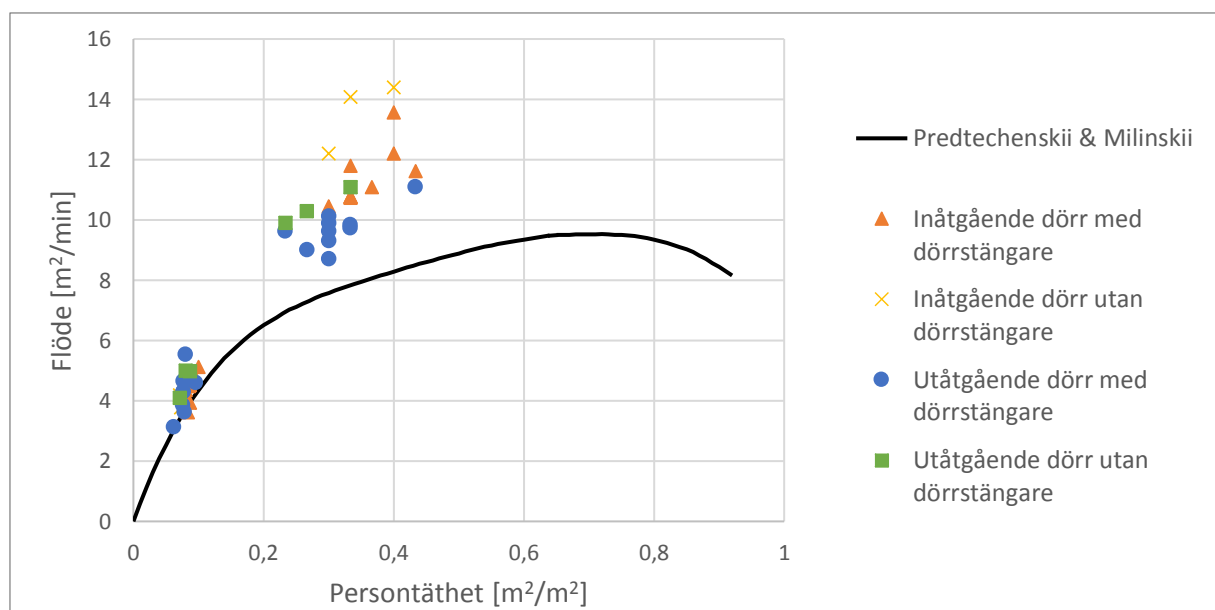
Tabell 4: Medelvärde för flödet vid de olika konfigurationerna.

Persontäthet	Dörrstängare	Hängning	Slagriktning	Medelvärde för flödet [person/s]
Hög	Med	Höger	Utåt	1,67
Hög	Med	Höger	Inåt	1,97
Hög	Med	Vänster	Utåt	1,56
Hög	Med	Vänster	Inåt	1,82
Hög	Utan	-	-	2,0
Låg	Med	Höger	Utåt	0,66
Låg	Med	Höger	Inåt	0,72
Låg	Med	Vänster	Utåt	0,79
Låg	Med	Vänster	Inåt	0,75
Låg	Utan	-	-	0,76

Ur tabell 4 går det att utläsa att flödets medelvärde vid hög persontäthet för högerhängd, inåtgående dörr med dörrstängare var nästan lika högt som medelvärdet på flödet utan dörrstängare. Även en inåtgående, vänsterhängd dörr har märkbart högre medelvärde än de båda utåtgående dörrarna. Överlag har de utåtgående dörrarna lägre personflöde än både de inåtgående och den uppställda dörren vid en hög persontäthet. Vid låg persontäthet fanns det en svag trend att de försök som genomfördes med en högerhängd dörr hade ett något lägre flöde. Däremot är en vänsterhängd dörr likvärdig en dörr som är uppställd. För dessa försök syns inte heller den tydliga skillnaden mellan inåt- och utåtgående dörrar som observeras för den höga persontätheten. I de fall dörren var högerhängd blev flödet högre med inåtgående dörr medan i de fall dörren var vänsterhängd blev flödet högre med utåtgående dörr.

I samtliga fall utan dörrstängare var dörren uppställd från början. Då dörren benämns som inåtgående gick försökspersonerna från trapphus, genom dörröppningen och vidare i korridoren. Medelvärdet på flödet blev då vid hög persontäthet 2,3 pers/s och vid låg 0,66 pers/s. Då dörren benämns som utåtgående gick personerna från korridoren, genom dörröppningen och sen vidare till trapphuset, se skiss i figur 7 i avsnitt 3.4. Medelvärdet på flödet blev då 1,7 pers/s vid hög persontäthet och 0,78 pers/s vid låg persontäthet. Flödet blir högre då personerna går med hög persontäthet och börjar i trapphuset. Då personerna istället går med låg persontäthet är det något högre flöde då personerna går från korridoren. Det är inte lika stor skillnad i flöde vid den lägre persontätheten.

Utifrån videomaterialet togs den dimensionslösa persontätheten fram med hjälp av ekvation 5, se avsnitt 2.5.3. Dörröppningens flödeskapacitet beräknades också med hjälp av ekvation 6, se avsnitt 2.5.3. Resultatet av detta presenteras i figur 13 nedan. I figur 13 finns även Predtechenskii & Milinskiis (1969) flödeskurva från figur 4 för dörrbredden 0,9 meter vilken används som referensvärden. Denna kurva har valts då det representera samma dörrbredd som användes vid försöken.



Figur 13: Flödet vid olika persontätheter och dörrkonfigurationer med 0,9 m fri dörrbredd.

I figur 13 går det att se att försöken som gjordes med låg persontäthet blev jämna vilket även tidigare figurer visat. Dessa värden för låg persontäthet stämmer överens med referenskurvan. Generellt har utåtgående dörr med dörrstängare något lägre flöde vid en persontäthet mellan 0,2 och 0,5. Högst flöde inom samma spann har konfiguration inåtgående dörr utan dörrstängare. Något högre persontäthet uppnåddes då dörren var inåtgående än utåtgående. Det är större spridning i resultaten från försöken med hög persontäthet, både i just persontäthet men också i flöde.

I tabell 5 nedan visas den procentuella avvikelsen från Predtechenskii och Milinskiis referenskurvan i figur 13.

Tabell 5: Procentuell avvikelse från Predtechenskii och Milinskii

Persontäthet	Slagriktning	Dörrstängare	Procentuell avvikelse från P&M
Hög	Inåt	Med	43 %
Hög	Inåt	Utan	72 %
Hög	Utåt	Med	27 %
Hög	Utåt	Utan	42 %
Låg	Inåt	Med	14 %
Låg	Inåt	Utan	19 %
Låg	Utåt	Med	18 %
Låg	Utåt	Utan	27 %

Tabellen visar precis som figur 13 ett högre flödesresultat än referenskurvan.

4.2 Struktur och beteende

Nedan presenteras de gruppformeringar och beteende som observerades under försöken.

4.2.1 Gånghastighet

Under försöken observerade höga gånghastigheter. Försökspersonerna gick alla snabbt, ingen drog ner tempot. Exakta gånghastigheter kan inte redovisas på grund av korta avstånd för tidtagning.

4.2.2 Flödets utseende

Gruppen formade sig med en tydlig huvuddel som kan ses som en rektangel där persontätheten var relativt hög och gånghastigheten jämn, med en ledande del med lägre persontäthet och högre gånghastighet samt en så kallad svans med lägre gånghastighet och lägre persontäthet visades då personerna var instruerade att gå med en hög persontäthet, samtliga mot dörren samtidigt. När personerna var mer utspridda blev dessa delar inte tydliga.

I figur 14 nedan ser man tydligt den ledande delen som närmar sig dörren med en lite lägre persontäthet och något högre hastighet.



Figur 14: Ledande del av gruppen vid försök då samtliga går mot dörren samtidigt.

Den huvudsakliga delen av gruppen där flest personer återfanns, mittendelen, hade en hög persontäthet med en jämn gånghastighet. Detta då samtliga personer i gruppen gick mot dörren samtidigt. I figur 15 nedan visas en bild på hur denna del av gruppen såg ut.



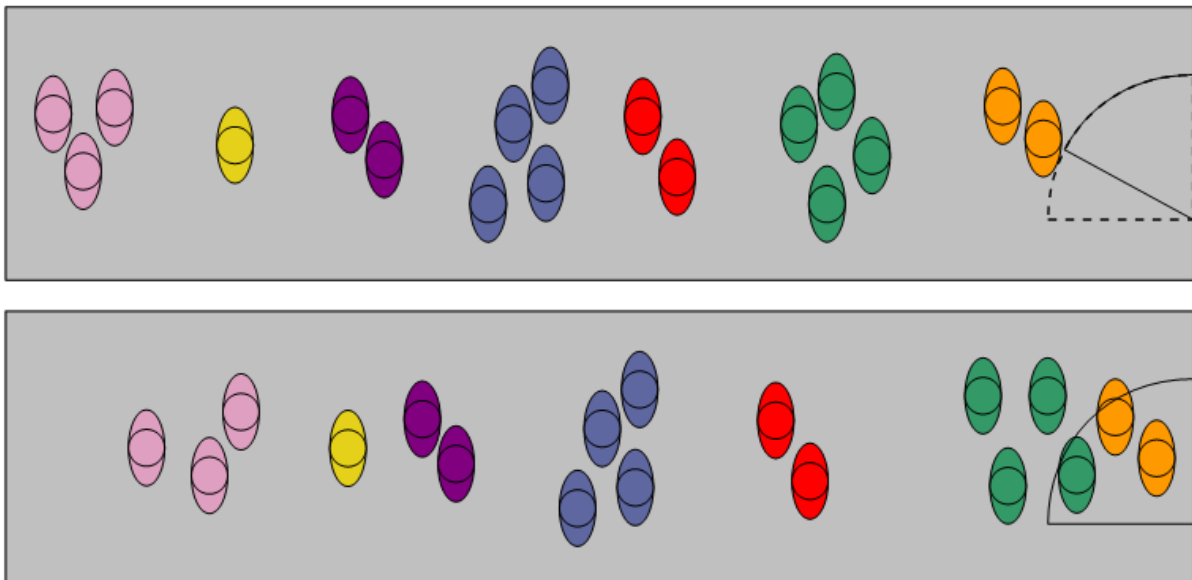
Figur 15: Huvuddelen av gruppen vid hög persontäthet.

Svansen på gruppen med något lägre gånghastighet och lägre persontäthet bestod endast av några få personer. Denna del var formad ungefär som figur 16 visar.



Figur 16: Svansen av gruppen vid hög persontäthet.

Vid låga persontätheter gick personerna i mindre utspridda grupper. I figur 17 nedan visas en schematisk bild över flödets utseende.

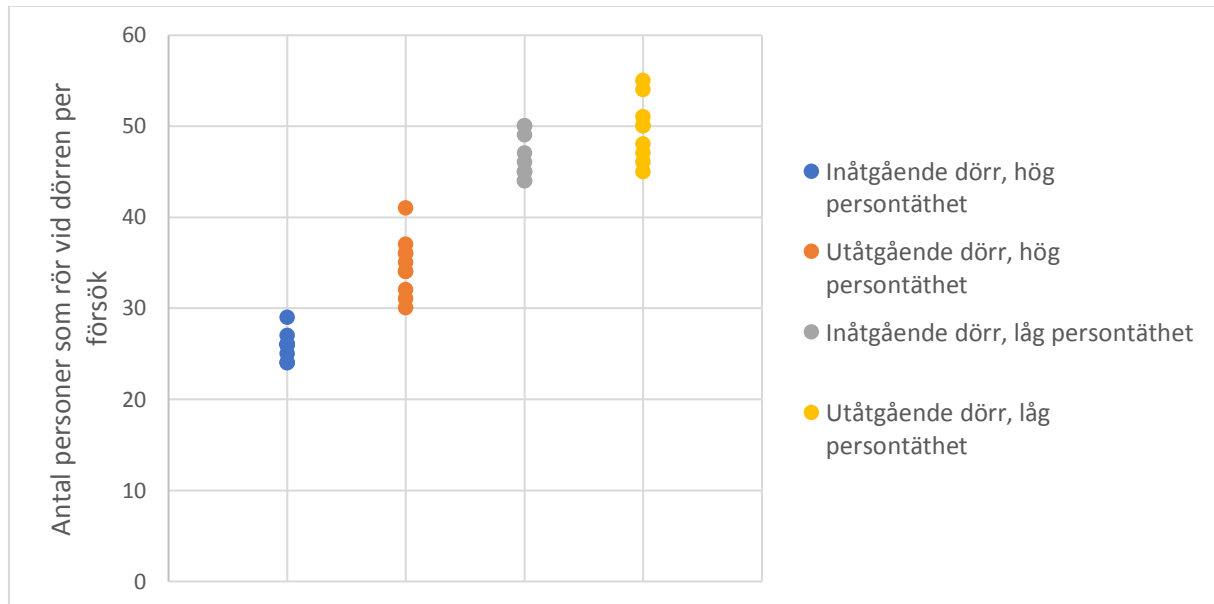


Figur 17: Flödets utseende vid låg persontäthet.

Då dörren började gå igen eller var stängd hann ofta gruppen bakom ifatt den grupp som behövde stanna upp lite för att öppna dörren vilket den undre bilden i figur 17 visar. Den totala tiden för samtliga försökspersoner att passera dörröppningen förändrades dock inte.

4.2.3 Upphållning av dörren

Under försöken kan man se att personerna hjälper varandra, eller samarbetar på ett sådant sätt att de håller upp dörren åt varandra. Alla håller inte bara upp dörren till sig själva utan i flera fall är det en person som håller upp dörren till några andra. Detta sker samtidigt som personen själv också passerar öppningen. Det är alltså inte en person som står still och bara håller i dörren utan detta görs samtidigt som personen går. I figur 18 nedan visas antalet personer som rörde vid dörren under försöken med dörrstängare.

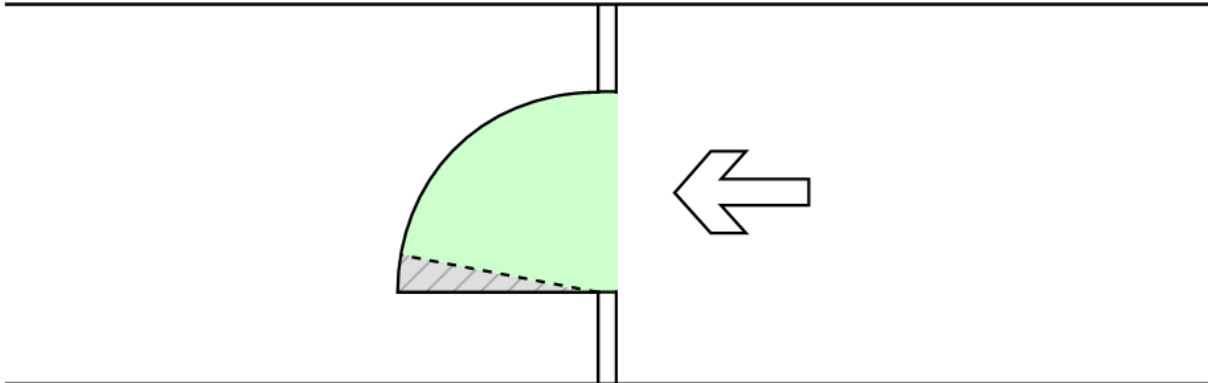


Figur 18: Antal personer som rör vid dörren då dörrstängare används.

I figur 18 ovan går det se att de flesta personerna rörde vid dörren då de gick med låg persontäthet. Vid hög persontäthet kan man se att fler personer rörde dörren då den öppnades utåt än då den öppnades inåt. Enligt beräkningar i Bilaga D är dessa skillnader statistiskt säkerställda.

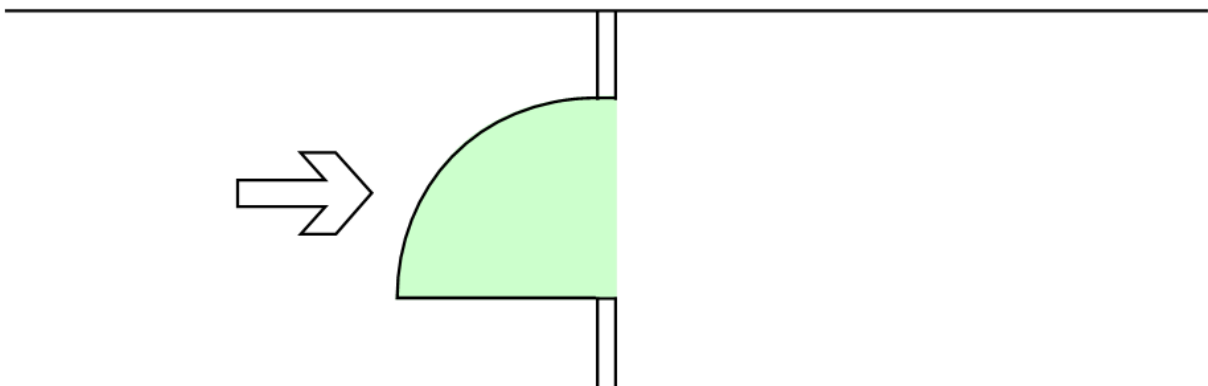
Med hjälp av videomaterialet studerades också de första personerna i gruppen och deras hjälpbeteende gentemot varandra. Då dörren öppnades utåtgående var det i samtliga fall personen som öppnade dörren som också passerade genom öppningen först. När dörren istället var inåtgående hände det i flera situationer att när de första personerna nådde dörren var det en som öppnade men någon annan som gick före genom öppningen.

Persontätheten minskar då gruppen passerar dörröppningen eftersom öppningen begränsar flödet. Då dörren är utåtgående leder detta till en lägre persontäthet nära dörrbladet vilket gör att den emellanåt börjar gå igen vilket illustreras nedan i figur 19. Då dörren börjar gå igen påverkar det personernas gånghastighet vilket påverkar flödet genom dörröppningen.



Figur 19: Utåtgående dörr

Då dörren är inåtgående är det en hög persontäthet precis vid dörrbladet. Detta gör att dörren inte kan gå igen på samma sätt som då den är utåtgående. Dörrbladet begränsar därför inte flödet utan endast dörröppningen. I figur 20 nedan illustreras detta.



Figur 20: Inåtgående dörr

4.2.4 Strukturerat flöde

I figur 21 visas en typisk bild på hur personer vrid på kroppen för att kunna passera dörröppningen två i bredd. Detta observerade vid princip samtliga försök med hög persontäthet.



Figur 21: Vrider på kroppen för att kunna gå genom öppningen två personer i bredd.

5 Diskussion

Nedan följer en diskussion som kopplar samman de försök som genomförts med den teori som återfunnits vid litteraturstudier.

5.1 Flöde vid olika konfigurationer

Låg persontäthet ger relativt jämna personflöden oavsett slagriktning. Det är först vid en högre persontäthet som flödet förändras och blir mer spritt. En förklaring till detta kan vara att det är svårare att hålla ihop gruppen och få samma persontäthet och samma gånghastighet varje gång. Vid den lägre persontätheten blir personerna uppdelade i mindre grupper vilka är lättare att få iväg med jämna mellanrum och på så sätt se till att persontätheten blir samma varje gång. Det finns stora osäkerheter i mätningen av persontätheten då detta togs fram med hjälp av videomaterialet på så sätt som beskrivs i avsnitt 3.7.

Det specifika flödet är ungefär 2 pers/sm vid hög persontäthet, ca 2,5 pers/m². Enligt BBRAD kan det specifika personflödet sättas till 1,2 pers/sm då persontätheten är 2 pers/m², se tabell 2. I försöken blev det alltså ett högre specifikt personflöde än det som ska ansättas enligt BBRAD. Detta antyder att personflödet enligt BBRAD är konservativt.

I de resultat som fås från försök med en hög persontäthet märks det tydligt hur en hög persontäthet även ger ett högre flöde. BBR 5:335 säger att *"Inåtgående dörrar får endast användas om köbildning inte kan förväntas uppstå framför dörren"*. Till detta läggs ett allmänt råd om att ingen köbildning förväntas uppstå om det maximalt vistas 30 personer i en lokal som är välkänd eller lätt överblickbar. Denna föreskrift finns för att det inte ska finnas någon risk att det bildas en kö framför dörren som omöjliggör öppning inåt. I de försök som har gjorts med en hög persontäthet i detta arbete låg persontätheten på ungefär 2,5 personer/m². Det blev köbildning vid hög persontäthet, men detta skedde efter det att dörren hade öppnats. Det var därför inga problem att öppna dörren inåt.

I resultatet från försöken syns det en skillnad i flöde genom öppning med inåtgående dörrar och utåtgående dörrar vid hög persontäthet. Resultatet visar att det blir ett högre flöde vid inåtgående dörrar. Detta kan bero på flera olika saker, vilket diskuteras vidare i avsnitt 5.3.

Vid en jämförelse med de flödesdiagram som tagits fram av Predtechenskii & Milinskii (1969), se figur 13 och tabell 5, syns det hur de resultat som framkommit under dessa försök konsekvent ligger något högre än referenskurvan. Det bör dock tänkas på att den försökspopulation som använts inte speglar något genomsnitt av samhället utan är en homogen grupp där majoriteten känner varandra. Resultaten följer kurvan genom att flödet ökar med en ökad persontäthet. Dock avviker resultatet generellt procentuellt mycket från Predtechenskii & Milinskiis flödeskurva vilket tabell 5 tydliggör. Det flödesdiagram som tagits fram av Predtechenskii & Milinskii (1969) visar på hur flödet kommer att öka i takt med en ökad persontäthet fram till dess att en persontäthet på 0,72 m²/m² uppnås. Då kommer kurvan för en motsvarande dörr att sjunka på grund av en för hög persontäthet. Vid de försök som genomfördes i detta arbete har det inte uppnåtts några persontätheter över 0,43 m²/m² vilket gör att det inte går att dra några

slutsatser angående det resultatet. Som tidigare nämnt säger lagstiftningen att gränsen för 30 personer ligger i att det inte ska bildas någon kö vid en inåtgående dörr. I alla dessa fall sker en köbildning direkt och den hade troligtvis skett även vid 30 personer. Däremot begränsas inte flödet utan höjs då det inte når upp till gränsen på $0,72 \text{ m}^2/\text{m}^2$. Försöksresultaten tyder på att antalet personer inte är det som hindrar utrymningen genom en inåtgående dörr utan det är snarare persontätheten.

5.2 Formering och beteende

Nedan diskuteras de teorier och resultat vilka kan kopplas till formering av gruppen och hur beteendet såg ut vid olika situationer.

5.2.1 Utrymningsfaser

I teorin beskrivs de olika utrymningsfaserna, varseblivningstid, förberedelsetid och förflyttningstid. I försöket undersöktes endast förflyttningstiden. Varseblivningstiden och förberedelsetiden kan komma att påverka formeringen och persontätheten i gruppen. Som tidigare nämnts får enligt BBR inåtgående dörr endast användas för utrymning om köbildning inte förväntas uppstå. För att det ska bildas så pass hög persontäthet att köbildning kan uppstå behöver personerna i lokalen röra sig mot dörren samtidigt. Detta innebär också att varseblivningstiden och förberedelsetiden måste vara den samma för alla personer, vilket anses orimligt.

5.2.2 Gånghastighet

Under försöken observerades höga gånghastigheter. Inga exakta gånghastigheter har tagits fram då de blir väldigt osäkra. Tidtagning togs 2 meter innan dörren, vid dörren och 2 meter efter dörren för första och sista personen. Med detta skulle gånghastigheten för första och sista personen kunna tas fram men i och med de korta avstånden bedöms detta inte vara tillförlitligt. Med hjälp av videomaterialet skulle gånghastigheten för andra personer kunna tas fram men även i detta fall skulle sträckan bli väldigt kort. Svårigheten med framtagning av gånghastighet med hjälp av videomaterialet är också antalet personer som rör sig, och vem i gruppen som representerar den gemensamma gånghastigheten.

5.2.3 Flödets utseende

En anledning till att flödet genom inåtgående dörrar fungerar lika bra som genom utåtgående dörrar kan återkopplas till flödets utseende. Flödets form är en spets med låg persontäthet i början vilket gör att dörrar kan öppnas inåt även vid relativt höga persontätheter då dessa uppstår i resten av gruppen efter att de första personerna passerat dörren. I teorin presenteras en modell över hur gruppen formade sig vilket även återspeglas i resultatet, se figur 3. Befarade problem, såsom att kön ska blockera och omöjliggöra öppning av dörren, är inget som har observerats under försöken. Framförallt är det som tidigare nämnt uppstruktureringen av de som närmar sig dörren först som gör att en köbildning som blockerar dörren undviks. Under de låga persontätheterna sker inte denna formering på samma sätt som vid de höga persontätheterna, vilket gör att teorin lättast går att koppla till utseendet av ett flöde vid en hög persontäthet.

För att dörren ska blockeras krävs det att det finns en köbildning framför dörren redan innan den öppnas. Alternativet kan också vara att utrymningsvägen är feldimensionerad. I ett sådant fall spelar det inte någon roll om dörren är inåt eller utåtgående eftersom det är dimensioneringen av dörren som ställer till problem i de fallen och inte dörrens slagriktning.

Vid en låg persontäthet är skillnaden i flöde beroende på olika konfigurationer väldigt liten. En förklaring till detta observerades i det inspelade materialet. Där syns det hur personerna ur en grupp ofta kommer ikapp personerna i gruppen före när de stannar upp för att öppna dörren. Det bildas dock ingen kö utan de personer som befinner sig i den senare gruppen ansluter till den första gruppen och de skapar en gemensam grupp. Detta gör att den andra gruppen inte behöver stanna upp och öppna dörren utan tar bara emot den från deltagarna i gruppen före. I många fall hinner dörren inte heller att gå igen innan personer ur en grupp än längre bak når fram till den. Vid en sådan procedur kommer en dörr med dörrstängare inte att göra någon skillnad gentemot de fall där dörrstängare inte används eftersom dörren enbart öppnas en gång och sen hålls upp eller tas emot av resterande. Figur 17 i avsnitt 4.2.2 tydliggör gruppfordelningen vid ett lågt flöde.

5.2.4 Upphållning av dörr

Under försöken går det att se hur personerna håller upp dörrarna åt varandra och hjälps åt att komma igenom. Detta beteende går att jämföra med de hjälpbeteende som återfunnits under utrymningen av World Trade Center 2001 (Fahy & Proulx, 2005). Trots att detta försök inte utformats som en utrymningsituation går det att se samma beteende som i ett utrymningsförsök. Detta gör att det går att säga att hjälpbeteendet som uppmärksammas i försöket troligtvis även hade återfunnits i motsvarande situation vid ett nödläge som kräver utrymning. På så sätt stärks försökets trovärdighet och de slutsatser som dras behöver inte förkastas på grund av att beteendet är annorlunda i en nödsituation.

Då dörren öppnades inåtgående observerades det ett par gånger att det inte var samma person som öppnade dörren som var först att gå igenom öppningen. Även detta är ett hjälpbeteende som gjorde flödet genom dörröppningen mer smidigt.

Då persontätheten minskar i och med att dörren passeras blir det en lägre persontäthet nära dörren då den är utåtgående än inåtgående. Detta ledde till att dörren började gå igen så som figur 19 visar. Vid lägre persontäthet går det att se att fler personer behöver röra vid dörren för att den ska hållas upp då den är utåtgående, se figur 18.

5.2.5 Strukturerat flöde

Under försöken syns det att personerna som passerar dörröppningen anpassar sig efter de runt omkring sig. Detta sker genom varierad gånghastighet, vridning av kroppen och andra sätt för att så många som möjligt ska komma igenom öppningen på så kort tid som möjligt.

Gruppens strukturering kommer även att påverka hur flödet genom dörröppningen ser ut. Resultat visar dock på att en varierad dörrhängning inte påverkar eller strukturerar gruppen på något sätt. Oavsett vilken hand dörren öppnas med passerar personerna genom dörröppningen på samma sätt. Dörrhängningen påverkar inte heller hur personen bakom tar emot dörren.

Mellan dörrar med och utan dörrstängare syns de största skillnaderna i hur gruppen strukturerar sig i öppnings- och överlämningskedet. Utan dörröppnare finns det inte någon dörr att lämna över då den är uppställd med magnet i dessa försök. Skulle dörren vara utförd utan dörrstängare skulle den förbli uppställd efter det att första personen öppnat den. I de försök som börjar i trapphus, se figur 7, är korridorbredden lika stor som på andra sidan men istället för en vägg är det en öppen trappa som begränsar bredden. Som kan ses i figur 13 blir flödet högre när gruppen går från trapphuset. Strax innan dörren finns trappavsatsen vilket gör att bredden där är större. Alla personer går på samma bredd som i korridoren men istället för att ha en vägg vid sidan är det 170 centimeter till väggen vilket kan göra att personerna går närmare motsvarande yttermått för korridoren. Fruin (1971) har förklarat hur den personliga sfären fungerar och inom den sfären undviks kontakt med andra om möjligt. Detta kan då även förklara varför personerna går närmare yttermåtten där det saknas vägg även om det är strax innan de ska passera dörröppningen. Det finns flera parametrar som påverkar flödet, i avsnitt 5.3 diskuteras även om variationen på sträckan gruppen måste gå innan de når dörröppningen kan påverka.

I passeringsögonblicket försöker flera personer passera öppningen samtidigt. För att kunna göra detta utan att någon slår i dörrkarmen måste personerna vrida på sina kroppar. I vissa fall är det så många som 3 personers som passerar genom öppningen samtidigt. Beteendet som personerna visar på i öppningen har även uppmärksammats i den forskning som Imanishi & Sano (2015) gjort. För inåtgående dörrar strukturerar den som öppnar dörren automatiskt flödet. Detta gör att andra personer kan smita in genom dörröppningen under tiden hen öppnar dörren.

Strukturering av flödet på detta sätt gör också att det kan passera väldigt många genom dörröppningen vilket leder till att ett högre flöde kan bibehållas vid höga persontätheter. Att det är ett mycket lägre flöde för låga persontätheter beror framförallt på att det är lägre persontätheter och har inte så mycket med hur flödet struktureras upp att göra.

5.3 Försöksuppställning

Målet med försöken har varit att göra så lika försöksuppställningar som möjligt för att minska på parametrar som kunnat påverka resultatet. Med hänsyn till detta har inte alla försöks som genomförts på exempelvis högerhängda och inåtgående dörrar med dörrstängare gjorts efter varandra. Istället har försöken slumpmässigt valts ut så att det inte ska gå att se något mönster och att deltagarna skulle strukturera sig och påverka flödet på så sätt. Däremot har korridorernas utseende och dörrarnas placering gått att påverka. Som syns i figur 7 är de båda dörrarna belägna i två likadana men spegelvända korridorer. För att få olika hängningar samt kunna variera inåt och utåtgående passerades dörröppningen från båda hållen.

Då dörrarna inte är placerade i mitten av korridoren kommer sträckan personerna går innan de når dörren att variera för de olika försöken. I resultaten kan ses hur det fås ett högre flöde vid inåtgående dörrar vid hög persontäthet. Alla försök som görs med inåtgående dörrar startar också nere vid trapphusen vilket gör att alla dessa har en kortare väg att bibehålla en hög persontäthet på innan de når dörren. Vid dörren finns även en tom yta som i vanliga fall används för att kunna gå upp och ner från trappan. Denna yta användes inte av någon att stå på men bristen på vägg kan ha påverkat känslan och gjort att personerna känt att de haft en större bredd att stå på än vad de hade gjort om det fanns en vägg där. Resultaten från de försök som gjordes med uppställda dörrar (utan dörrstängare) kan delas upp i två resultat beroende på vilket håll de passerade genom dörröppningarna. Dessa resultat visar på att de försök som startade vid datorsalarna, se figur 7, överlag hade något högre flöde än de som startat vid V-café. För denna utformning har dock enbart 3 försök genomförts till skillnad från de 5 försök som genomförts med dörrstängare. Det går inte att säga att denna faktor inte påverkar flödet även i de fall där dörrarna är stängda.

För att kunna jämföra de olika flödena har de inspelade filmerna analyserats i efterhand. Då det har varit olika kameror som har filmat från de olika vinklarna har det också resulterat i att filmerna har varit av varierande kvalitet. I alla försök har den kamera som observerat personflödet för de inåtgående dörrarna gett filmer av sämre kvalitet än motsvarande för utåtgående dörrar. Detta gör att det finns vissa osäkerheter i resultatet som beror på dåligt material.

Försöksgruppen består av personer som alla känner eller känner till varandra. Detta i samband med att de befinner sig i en känd och trygg miljö gör att persontätheten kan tendera bli något högre än vad den uppmätts till i andra undersökningar. I kombination med att gruppen är en relativt homogen grupp med majoriteten yngre människor som inte har några problem med att gå relativt fort under en längre period är även gånghastigheten något högre. Kombinationen av både en högre gånghastighet och persontäthet gör att det blir ett högre personflöde också. Eftersom resultaten enbart jämförs med andra resultat från denna studie kommer detta inte att påverka det slutgiltiga resultatet i någon större utsträckning. Däremot kan det vara svårare att jämföra resultaten med andra studier som har andra förutsättningar.

6 Slutsats

Utifrån teori och resultat från försöken har en diskussion förts som kopplar samman dessa punkter. Med detta som underlag kan det dras vissa slutsatser från detta arbetet. Slutsatserna sammanfattas i punktform nedan:

- Dörrstängare påverkar inte flödet genom en öppning vid en låg persontäthet.

Då en dörr är försedd med en dörrstängare har detta arbete visat på att flödet inte kommer att påverkas av en dörrstängare vid en låg persontäthet. Vid en hög persontäthet syns det tendenser till att en dörrstängare möjligtvis skulle kunna påverka flödet genom en dörröppning negativt. Det krävs dock fler försök för att kunna dra en sådan slutsats då resultatet är spritt.

- Dörrhängningen kommer inte att påverka flödet genom dörröppningen.

I de fall där två dörrar har likadana egenskaper så kommer dörrens hängning inte att påverka flödet ut genom dörren.

- Inåtgående dörrar ger motsvarande flöde som utåtgående. I vissa fall är flödet högre då dörren är inåtgående.

Resultaten från detta arbete tyder på att inåtgående dörrar ibland även kan vara bättre än utåtgående. Däremot är inte korridorerna i detta försöket exakt likadana från båda håll vilket gör att det finns parametrar som kan påverka så att en inåtgående dörr kan verka bättre.

- 60 personer kan passera genom en dörröppning med inåtgående dörr trots hög persontäthet.

Vid passage genom en öppning med inåtgående dörr med en hög persontäthet uppstår en viss köbildning. Detta sker dock efter det att dörren har öppnats och är likvärdig mot den köbildning som sker vid en uppställd dörr. Att det inåtgående dörrbladet inte bidrar till någon ökad köbildning beror på att gruppen formar sig med en spets med låg persontäthet längst fram och kan öppna dörren. Är scenariot ett annat än det som testats i denna uppställning med exempelvis många personen tätt framför dörren redan från början kan resultaten dock bli annorlunda. Sedan hålls dörren upp av resterande personer i gruppen och tack vare den höga persontätheten hinner dörren inte gå igen. Detta scenario går dock inte att tillämpa om det är en köbildning eller en väldigt hög persontäthet framför dörren redan innan utrymning påbörjas.

- Personerna strukturerar sig annorlunda då dörren är inåtgående.

På grund av dörrens slagriktning kommer gruppen att formas annorlunda beroende på vilket scenario som uppstår. Detta sker eftersom dörrbladet antingen går mot eller från gruppen och tvingar personerna till att strukturera sig för att så smidigt som möjligt kunna komma igenom. Detta beteende återfinns till största del i de fall med en hög persontäthet eftersom det är då det är så många personer framför dörren att det behövs. För de fall med en lägre persontäthet så befinner det sig inte lika många personer framför dörren vilket gör att behovet av att strukturera sig inte finns på samma sätt.

7 Framtida forskning

Genom de resultat och slutsatser som framkommit av detta arbete har det även uppmärksammas områden som skulle kunna undersökas vidare. Dessa redovisas i punktform nedan:

- Hur vida inåtgående dörrar påverkar personflödet vid utrymning och bör godkännas i lokaler mer fler än 30 personer eller ej.

De resultat som framkommit i denna rapporten tyder på att inåtgående dörrar inte har någon större påverkan på personflödet genom dörröppningen. Däremot finns det många parametrar runtomkring som har påverkat detta resultatet. För att kunna svara på detta bör det även undersökas vilken persontäthet eller vid vilket personantal flödet blir begränsat. Försök bör genomföras på fler olika grupper med varierande personantal och persontäthet.

Det hade även varit intressant att se hur inåtgående dörrar hade fungerat där persontätheten ligger i ett område mellan 0,6 till 0,8 m²/m² för en 90 cm bred dörr. Detta för att se hur slagriktningen påverkas när det blir så pass höga persontätheter att flödet genom dörröppningen minskar igen.

- Dörrstängare på stora portar.

Det finns vissa större portar som också har dörrstängare. Dessa portar är större och kommer kanske inte att kunna hållas upp på samma sätt som den dörr som har använts i försöket. Studier inom detta område hade kunnat användas för att se om det är bättre med flera mindre dörrar istället för en stor port för att då kunna öppna dörrarna fullt ut och få en större effektiv dörrbredd.

Referenser

- Babayan, L., 2017. *Utrymning genom inåtgående dörrar*, Lund: Lunds Tekniska Högskola.
- Boverket, 2006. *Utrymningsdimensionering*, u.o.: Boverket.
- Boverket, 2013. *BBRAD 3*, u.o.: Boverket.
- Boverket, 2017. *Boverkets byggregler, BBR 25*, u.o.: Boverket.
- Dorma, 2017. *Dorma*. [Online]
Available at: <http://www.dorma.com>
- Fahy, R. F. & Proulx, G., 2005. *Analysis of Published Accounts of the World Trade Center Evacuation*, u.o.: National Institute of Standards and Technology.
- Forell, B., Seidenspinner, R. & Hosser, D., 2010. *Quantitative Comparison of International Design Standards of Escape Routes in Assembly Buildings*, Berlin: Springer.
- Frank, G. & Dorso, C., 2011. *Room evacuation in the presence of an obstacle*, u.o.: Elsevier B.V.
- Frantzich, H., 1992. *Utrymningsvägars fysiska kapacitet. Sammanställning och utvärdering av kunskapsläget*, Lund: Lunds Universitet.
- Frantzich, H., 1994. *En modell för dimensionering av förbindelser för utrymnings utifrån funktionsbaserade krav.*, Lunds Tekniska Högskola: Brandteknik.
- Frantzich, H., 2000. *Tid för utrymning vid brand*, u.o.: Räddningsverket.
- Frantzich, H., Korostenski, T. d. & Marberg, P.-A., 2012. *Brandskyddshandboken*. 4 red. Lund: Lunds Tekniska Högskola.
- Frantzich, H., Korostenski, T. d. & Marberg, P.-A., 2014. *Brandskyddshandboken*. 5 red. Lund: Lunds Tekniska Högskola.
- Fruin, J. J., 1971. *Pedestrian Planning and Design*. New York: Metropolitan Association of Urban Designers and Environmental Planners, INC.
- Gwynne, S., Kuliigowski, E., Kratchman, J. & Milke, J., 2009. Questioning the linear relationship between doorway width and achievable flow rate. *Fire Safety Journal*.
- Helbing, D., Buzna, L., Johansson, A. & Werner, T., 2005. *Self-Organized Pedestrian Crowd Dynamics: Experiments, Simulations and Design Solutions*, u.o.: Transportation Science Section of the Operations Research Society of America, 2005..
- Holgersson, E. & Lindström, E., 2017. *Olika utrymningsvägars påverkan på personflöde och riskbild*, Lund: Lunds Tekniska Högskola.
- Imanishi, M. & Sano, T., 2015. *Effects of Human Body on Pedestrian Flow Characteristics at Openings*. Cambridge, 6th International Symposium on Human Behaviour in Fire.
- Johansson, A., 2017. [Intervju] (1 November 2017).

- Nelson, H. E. & Mowrer, F. W., 2002. Emergency Movement. i: *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. u.o.:National Fire Protection Association, pp. 3-367.
- Poon, S., 2014. A Dynamic Approach to ASET/RSET Assessment in Performance Based Design. *Procedia Engineering* 71, pp. 173-181.
- Predtechenskii, V. & Milinskii, A., 1969. *Planning for Foot Traffic Flow in Buildings*. Moskva: Stroizdat.
- Society of Fire Protection Engineers, 2002. *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. u.o.:National Fire Protection Association.
- Takeichi, N. o.a., 2005. *Characteristics of merging occupants in a staircase*, China: IAFSS.
- The Ministry of Business, Innovation and Employment, 2014. *Verification Method: Framework for Fire Safety Design*, Wellington: New Zealand Government.
- Wood, P. G., 1972. *The Behaviour of People in Fires*, u.o.: Loughborough University of Technology.
- Yanagisawa, D. o.a., 2009. *Introduction of Frictional and Turning Function for Pedestrian Outflow with an Obstacle*, u.o.: Physics - Physics and Society.
- Zhao, Y. o.a., 2016. *Optimal layout design of obstacles for panic evacuation using differential evolution*, u.o.: Physica A.

Bilaga A: Data från försök

I denna bilaga presenteras data från försöken. Nedan visas de typer av försök som gjordes samt de tider som togs under försökens gång.

	Typ	Hängning	Slagriktning	Dörrstängare	Persontäthet
	1	Höger	Utåt	Med	Hög
	2	Höger	Utåt	Med	Låg
Tid 0 = första personen når 2 meter innan dörren	3	Höger	Utåt	Utan	Hög
	4	Höger	Utåt	Utan	Låg
Tid 1 = första person når dörren	5	Höger	Inåt	Med	Hög
	6	Höger	Inåt	Med	Låg
Tid 2 = första person når 2 meter efter dörren	7	Höger	Inåt	Utan	Hög
	8	Höger	Inåt	Utan	Låg
Tid 3 = sista person når 2 meter innan dörren	9	Vänster	Utåt	Med	Hög
	10	Vänster	Utåt	Med	Låg
Tid 4 = sista person når dörren	11	Vänster	Utåt	Utan	Hög
	12	Vänster	Utåt	Utan	Låg
Tid 5 = sista person når 2 meter efter dörren	13	Vänster	Inåt	Med	Hög
	14	Vänster	Inåt	Med	Låg
	15	Vänster	Inåt	Utan	Hög
	16	Vänster	Inåt	Utan	Låg

Försöken med dörrstängare gjordes fler gånger än de utan dörrstängare. På nästa sida framgår i vilken ordning försöken gjordes. Där går det också att se att ingen konfiguration testades två gånger i rad. En randomisering skapades för att få så tillförlitliga resultat som möjligt. Nedan går det se de olika tiderna som uppmättes samt olika flöden genom dörröppningen. Antal försökspersoner och antal personer som rör vid dörren vid varje försök framgår också.

Typ	Dörrstängare/ Persontäthet	Personantal	Tid 0 [s]	Tid 1 [s]	Tid 2 [s]	Tid 3 [s]	Tid 4 [s]	Tid 5	Rör vid dörren	Flöde [pers/s]	Flöde vid 2,5 pers/m2 [pers/s]	Specifikt flöde [pers/sm]	
1	1	Med/Hög	61	0	2	?	26	33	35	30	1,848	2	2,054
2	16	Utan/Låg	61	0	1	4	95	97	99	-	0,629		0,699
3	2	Med/Låg	61	0	1	?	115	117	119	-	0,521		0,579
4	15	Utan/Hög	61	0	2	?	22	26	28	-	2,346	2,095	2,607
5	1	Med/Hög	61	0	1	4	32	37	40	41	1,649	1,8	1,832
6	14	Med/Låg	61	0	2	6	91	93	94	44	0,656		0,729
7	2	Med/Låg	61	0	1	4	97	101	104	51	0,604		0,671
8	13	Med/Hög	61	0	2	6	32	35	36	27	1,743	1,96	1,937
9	2	Med/Låg	61	0	1	4	92	95	98	54	0,642		0,713
10	14	Med/Låg	61	0	2	5	83	86	87	45	0,709		0,788
11	3	Utan/Hög	61	0	1	3	29	33	34	-	1,848	2,095	2,054
12	13	Med/Hög	61	0	2	5	30	34	36	26	1,794	2,095	1,993
13	1	Med/Hög	61	0	2	5	34	38	41	34	1,605	1,88	1,784
14	13	Med/Hög	61	0	3	6	30	34	35	24	1,794	2,037	1,993
15	1	Med/Hög	59	0	1	4	34	38	40	35	1,553	1,4	1,725
16	14	Med/Låg	59	0	2	5	76	79	81	45	0,747		0,830
17	2	Med/Låg	59	0	1	5	74	76	78	47	0,776		0,863
18	13	Med/Hög	59	0	2	5	26	30	34	26	1,967	2,185	2,185
19	2	Med/Låg	59	0	2	5	76	77	80	46	0,766		0,851
20	14	Med/Låg	59	0	2	5	66	69	70	46	0,855		0,950
21	1	Med/Hög	59	0	2	4	33	35	39	32	1,686		1,873
22	13	Med/Hög	59	0	2	5	28	33	35	29	1,788	2,043	1,987
23	4	Utan/Låg	59	0	2	4	69	71	74	-	0,831		0,923
24	14	Med/Låg	59	0	2	5	72	75	77	44	0,787		0,874
Typ	Dörrstängare/ Persontäthet	Personantal	Tid 0 [s]	Tid 1 [s]	Tid 2 [s]	Tid 3 [s]	Tid 4 [s]	Tid 5	Rör vid dörren	Flöde [pers/s]	Flöde vid 2,5 pers/m2 [pers/s]	Specifikt flöde [pers/sm]	
25	9	Med/Hög	59	0	1	3	32	36	38	36	1,639	1,67	1,821
26	8	Utan/Låg	59	0	2	3	65	67	69		0,881		0,978
27	10	Med/Låg	59	0	1	4	62	64	67	45	0,922		1,024
28	7	Utan/Hög	61	0	1	3	26	30	31		2,033	2,21	2,259
29	9	Med/Hög	61	0	2	5	39	42	44	37	1,452	1,6	1,614
30	6	Med/Låg	61	0	2	5	71	74	75	47	0,824		0,916
31	10	Med/Låg	61	0	1	3	82	85	89	50	0,718		0,797
32	5	Med/Hög	61	0	2	5	30	34	36	26	1,794	2,33	1,993
33	10	Med/Låg	61	0	2	5	81	85	86	55	0,718		0,797
34	6	Med/Låg	61	0	2	6	97	101	102	50	0,604		0,671
35	11	Utan/Hög	61	0	2	3	33	37	39		1,649	1,8	1,832
36	5	Med/Hög	61	0	2	5	29	33	35	26	1,848	2,5	2,054
37	9	Med/Hög	60	0	1	4	35	40	42	36	1,500	1,6	1,667
38	5	Med/Hög	61	0	2	5	22	27	29	26	2,259		2,510
39	9	Med/Hög	61	0	3	5	35	38	39	34	1,605	1,88	1,784
40	6	Med/Låg	61	0	2	5	77	81	83	49	0,753		0,837
41	10	Med/Låg	61	0	2	5	75	78	80	48	0,782		0,869
42	5	Med/Hög	61	0	2	4	27	30	32	24	2,033	2,19	2,259
43	10	Med/Låg	61	0	2	4	74	76	80	50	0,803		0,892
44	6	Med/Låg	61	0	2	5	81	84	85	50	0,726		0,807
45	9	Med/Hög	60	0	2	5	32	37	40	31	1,622	1,714	1,802
46	5	Med/Hög	60	0	2	5	26	31	33	25	1,935	2,33	2,151
47	12	Utan/Låg	60	0	2	4	71	72	74	45	0,833		0,926
48	6	Med/Låg	60	0	1	4	85	86	88		0,698		0,775
49	11	Utan/Hög	60	0	2	5	33	35	38		1,714	1,85	1,905
50	8	Utan/Låg	60	0	1	3	84	86	88		0,698		0,775
51	12	Utan/Låg	60	0	3	4	86	88	90		0,682		0,758
52	7	Utan/Hög	60	0	2	3	21	25	27		2,400	2,5	2,667

På nästa sida framgår försökspersonernas ålder vikt och längd.

Försöksperson	Ålder [år]	Vikt [kg]	Längd [cm]
1	27	85	192
2	29	76	178
3	27	86	172
4	23	77	180
5	22	70	179
6	21	65	170
7	22	75	180
8	25	89	185
9	25	75	183
10	22	79	175
11	21	75	172
12	24	75	190
13	19	65	178
14	23	66	173
15	26	70	179
16	19	80	183
17	24	70	173
18	22	82	185
19	23	80	192
20	22	63	170
21	23	54	162
22	26	83	190
23	24	82	190
24	54	71	176
25	59	83	183
26	27	87	183
27	22	77	185
28	26	96	190
29	21	73	181
30	20	68	175
31	22	90	190
32	23	80	172
33	24	75	172
34	26	65	175
35	22	75	182
36	29	80	177
37	19	74	190
38	23	60	168
39	27	70	176
40	21	90	173
41	23	63	163
42	21	71	172
43	21	70	173
44	20	70	179
45	23	64	170
46	23	70	160
47	24	68	170
48	24	62	168
49	22	60	160
50	24	60	165
51	23	60	163
52	21	70	174
53	23	80	182
54	23	87	181
55	23	63	170
56	22	65	168
57	22	70	180
58	22	63	168
59	22	74	178
60	21	85	189
61	21	68	169

Bilaga B: Försöksdörrens egenskaper

I denna bilaga beskrivs försöksdörrarnas egenskaper. Vid försöken användes två likadana dörrar där enda skillnaden var dörrens hängning.

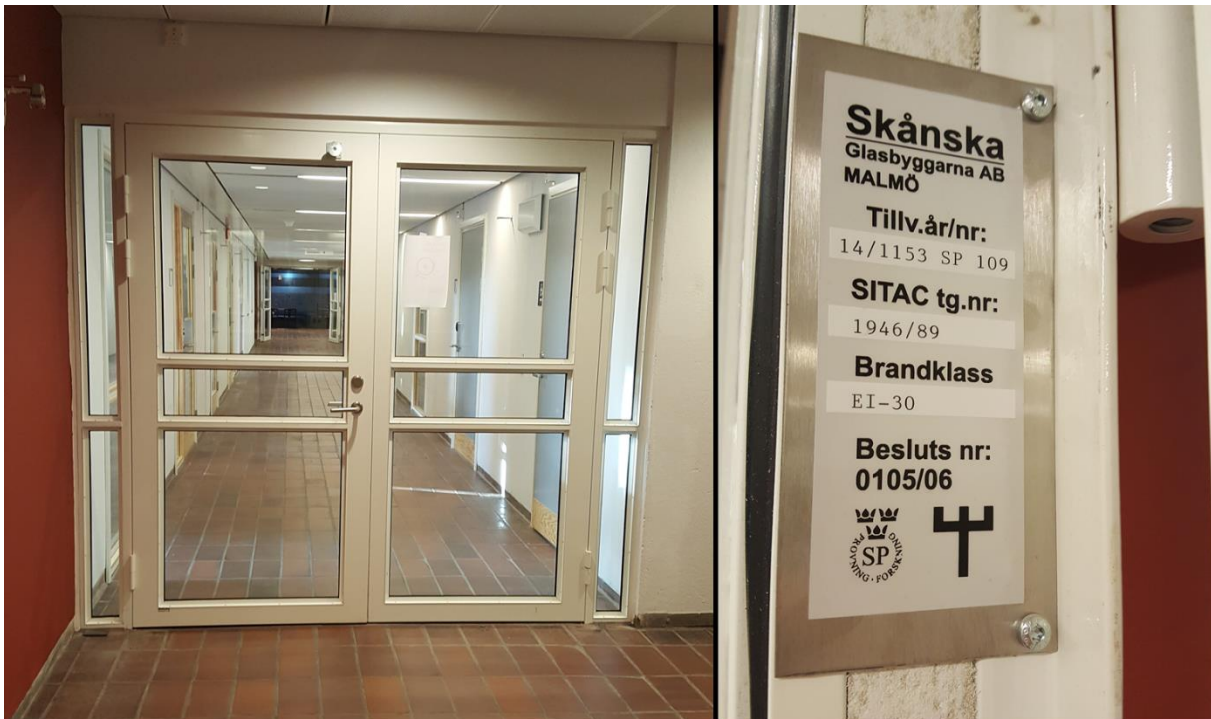
Dörrbredd: 1 m

Fri öppningsbredd: 0,9 m

Dörrhöjd: 2,1 m

Handtag inkräktar 5 cm

Dörrstängare: Dorma, modell TS83 (Dorma, 2017).



Figur 22: Försöksdörr

Data logger DT 85 användes för att mäta den öppningskraft som behövdes för att öppna dörren. Data loggern mätte hur spänningen förändrades vid drag med hjälp av ett dragelement som kopplades till denna. Ett linjärt samband för vikt i förhållande till spänning togs fram med hjälp av att mäta skillnaden i spänning vid fasta vikter.

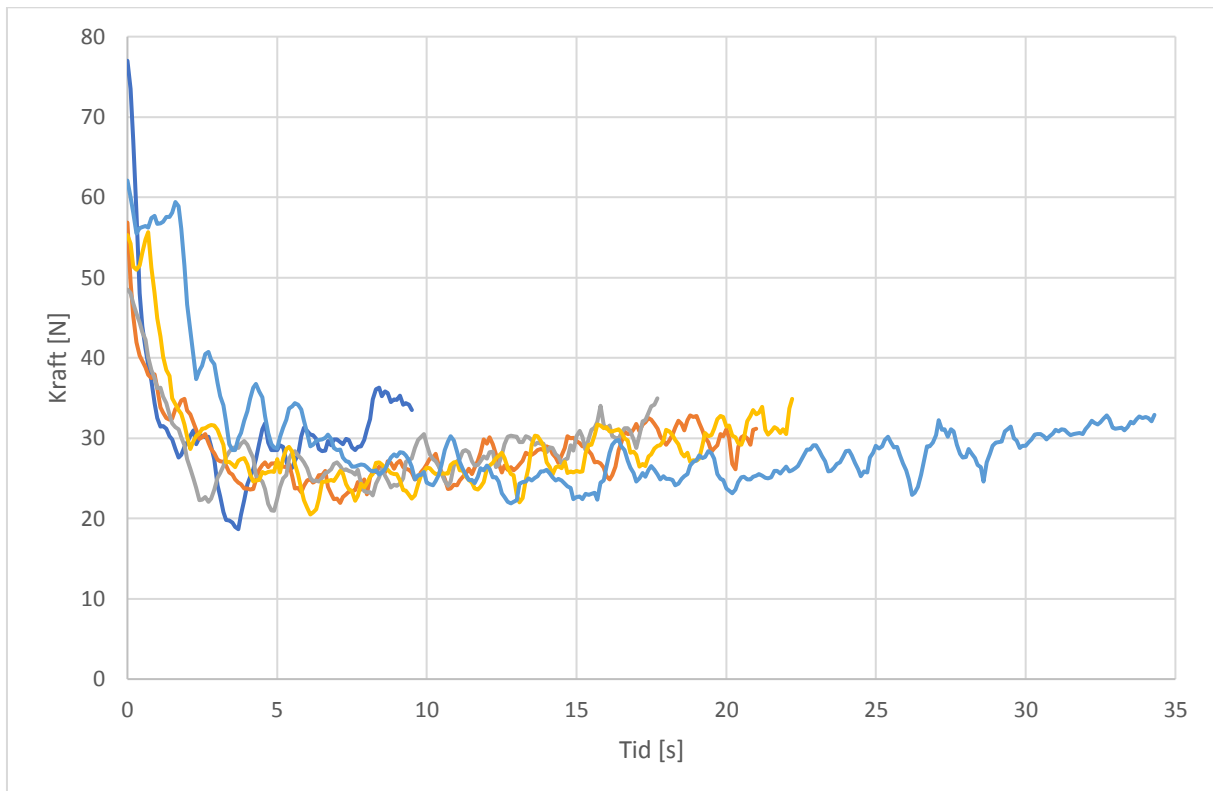
Det linjära sambandet blev:

$$m = (2987,4 \cdot U + 255,25) \cdot 1000 \text{ [kg]}$$

Kraften beräknades sedan med hjälp av följande ekvation:

$$F = m \cdot 9,81 \text{ [N]}$$

Dörren öppnades ett antal gånger vilka visas i figur 23. Den maximala kraften som behövs är precis när man öppnar dörren.



Figur 23: Öppningskraft för dörren

Från figur 23 ovan kan man se att den maximala kraften är mellan 50 och 75 N. Sedan ligger kraften på ungefär 25 N.

Bilaga C: Samtyckesblankett

I samband med försöken delades en samtyckesblankett ut. Samtyckesblanketten är till för att säkerställa att deltagarna vet vad som ska hända och informera samt få samtycke till att filma under försökens gång. Blanketten som delades ut finns på nästa sida.

Samtyckesblankett

Detta försök är en del av examensarbetet *Dörrkonfigurationers påverkan på flödet genom öppningar*. Syftet med försöket är att undersöka hur olika dörrhängningar samt dörrstängare påverkar personflödet genom dörröppningar.

Information om försökens genomförande

Totalt beräknas försöken ta ungefär 3 h. Efter halva tiden kommer det att bli en paus för kaffe och fika.

Två olika dörrar i olika korridorer kommer att testas. Dessa kommer sedan att testas med och utan dörrstängare, som inåt eller utåtgående dörr samt som höger eller vänsterhängd för att undersöka hur personflödet förändras. Varje försök kommer att upprepas minst två gånger och det totala antalet försök kommer att vara cirka 45 stycken.

Efter försöken har vi en kort muntlig diskussion där ni gärna får ge oss feedback på hur försöken har fungerat och hur ni upplevt de olika försöken.

Under försöken

Under försökens gång ser vi helst att ni inte bär på några otympliga väskor eller liknande. Dessa kommer att kunna förvaras på hänvisad plats. Utrymmet är låst och endast behöriga har tillträde men vi tar inget ansvar för värdesaker så som väskor eller kläder som förvaras på avsedd plats.

Om något oförutsett inträffar under försöken så vänd dig till försöksansvariga. Utrymningsvägar från lokalen kommer gås igenom innan försöken påbörjas. Det finns även förstahjälpen-kit och utbildade personer på plats om en olycka skulle ske.

Om du upplever obehag under ett försök så går det bra att avbryta försöket utan anledning, vi önskar dock att du meddelar försöksansvariga att du avbryter.

Efter försöken

Dessa försök kommer att filmas för att förenkla analysen av resultaten. Materialet kommer inte att finnas tillgängligt för allmänheten, endast för examensarbetarna. Om något av materialet skulle komma att användas i rapporten kommer detta att anonymiseras. När arbetet är färdigt kommer materialet antingen att förstöras eller så kommer institutionen för Brandteknik att ta över ansvaret för det i syfte att återanvända det för andra studier. Inga personuppgifter kommer länkas till examensarbetet eller filmmaterialet.

I och med underskrift så samtycker du till att frivilligt delta i utrymningsförsöket som beskrivits ovan. Du accepterar således att bli filmad under försöket och att genomföra en kort diskussion efteråt.

Deltagares underskrift

Namnförtydligande

För att kunna beräkna persontätheter på gruppen i sig skulle vi behöva din ålder, vikt och längd. Uppgifterna är anonyma och kommer inte att användas i annat syfte än för att få fram gruppens persontäthet.

Ålder:

Vikt:

Längd:

Bilaga D: Signifikanstest

I denna bilaga redovisas signifikantest för antal personer som rör vid dörren. För att undersöka om det finns en statistiskt säkerställd skillnad mellan antalet personer som rör vid dörren då den är utåtgående jämfört med inåtgående och då det är hög persontäthet jämfört med låg utförs en hypotesprövning. Ekvationen nedan används för att beräkna standardavvikelsen:

$$s = \sqrt{\left(\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n - 1}\right)}$$

Där x är antal personer som rör vid dörren vid varje försök, \bar{x} är medelvärdet och n är antalet försök. Sedan beräknas t -värdet med hjälp av ekvationen nedan:

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{s\sqrt{n}}$$

Där \bar{x} är medelvärdet, μ är väntevärdet, s är standardavvikelsen och n antalet försök. I detta signifikantest kommer ett 95% konfidensintervall undersökas.

Hög persontäthet

Här undersöks skillnaden mellan inåtgående dörr och utåtgående dörr vid en hög persontäthet.

H_0 =lika många personer rör vid dörren då den är inåtgående som då den är utåtgående.

H_1 =färre personer rör vid dörren då den är inåtgående.

	Antal personer som rör vid dörren	
Försök nr	Inåtgående dörr	Utåtgående dörr
1	26	36
2	26	37
3	26	36
4	24	34
5	25	31
6	27	30
7	26	41
8	24	34
9	26	35
10	29	32
Medel:	25,9	34,6

95% konfidensintervall, $n - 1 = 9 \rightarrow t_{0,05} = 1,83$

$$s = 1,45$$

$$t = \frac{25,9 - 34,6}{1,45\sqrt{10}} = -19$$

$t < t_{0,05} \rightarrow$ nollhypotesen förkastas

Skillnaden är statistiskt säkerställd, färre personer rör vid dörren då dörren öppnas inåtgående.

Låg persontäthet

Här undersöks skillnaden mellan inåtgående dörr och utåtgående dörr vid en låg persontäthet.

H_0 =lika många personer rör vid dörren då den är inåtgående som då den är utåtgående.

H_1 =färre personer rör vid dörren då den är inåtgående.

	Antal personer som rör vid dörren	
Försök nr	Inåtgående dörr	Utåtgående dörr
1	47	45
2	50	50
3	49	55
4	50	48
5	45	50
6	44	51
7	45	54
8	45	47
9	46	46
10	44	*
Medel:	46,5	49,6

* ofullständigt videomaterial, ej möjligt att bedöma antalet personer som rörde vid dörren.

95% konfidensintervall, $n - 1 = 9 \rightarrow t_{0,05} = 1,83$

$$s = 2,37$$

$$t = \frac{46,5 - 49,6}{2,37\sqrt{10}} = -4,1$$

$t < t_{0,05} \rightarrow$ nollhypotesen förkastas

Skillnaden är statistiskt säkerställd, färre personer rör vid dörren då dörren öppnas inåtgående.

Skillnad mellan hög och låg persontäthet

Här undersöks skillnaden mellan antal personer som rör vid dörren då persontätheten är hög jämfört med låg. Här tas ingen hänsyn till dörrens slagriktning.

H_0 =lika många personer rör vid dörren då det är hög persontäthet som då det är låg.

H_1 =färre personer rör vid dörren då det är hög persontäthet.

Försök nr	Antal personer som rör vid dörren	
	Hög persontäthet	Låg persontäthet
1	26	47
2	26	50
3	26	49
4	24	50
5	25	45
6	27	44
7	26	45
8	24	45
9	26	46
10	29	44
11	36	45
12	37	50
13	36	55
14	34	48
15	31	50
16	30	51
17	41	54
18	34	47
19	35	46
20	32	*
Medel:	30,3	47,9

* ofullständigt videomaterial, ej möjligt att bedöma antalet personer som rörde vid dörren.

95% konfidensintervall, $n - 1 = 19 \rightarrow t_{0,05} = 1,73$

$s = 4,83$

$$t = \frac{30,3 - 47,9}{4,83\sqrt{20}} = -16$$

$t < t_{0,05} \rightarrow$ nollhypotesen förkastas

Skillnaden är statistiskt säkerställd, färre personer rör vid dörren då personerna går med hög persontäthet jämfört med låg.