

Människors förflyttning i trappor

Stephanie Axelsson | Brandteknik | LTH | LUNDS UNIVERSITET



Människors förflyttning i trappor

Stephanie Axelsson

Lund 2018

Titel/Title

Människors förflyttning i trappor/Peoples movement in stairs: An observation of crowd movement in stairs in normal situations

Författare/Author

Stephanie Axelsson

Report 5577

ISRN: LUTVDG/TVBB--5577--SE

Antal sidor/Number of pages: 43

Illustrationer/Illustrations: Där inget annat anges är bilderna tagna av författaren.

Författaren ansvarar för innehållet i rapporten.

Sökord/Keywords

Persontäthet, flöde, hastighet, trappor, arena, avstånd.

Person density, flow, speed, stairs, arena, inter-person distance.

Abstract

The aim of this thesis is to investigate person density in relation to flow and speed in stairs and also how the different configurations affect the inter-person distance. This is done by observing people's movement in real environments. These observations were made at a staircase at Lindab Arena in Ängelholm on several occasions in the event that visitors were about to leave the arena after a match was finished. The staircase was observed by means of a film camera where the recording was studied and subsequently analyzed.

The background of this thesis is that when dimensioning the fire protection of a building, different simulation programs are used for evacuation, where the simulations are based on inputs that the user intercepts in the program. When calculating evacuation through stairs, a flow is usually used as a product of velocity and density. The values used for simulations today were presented over 40 years ago and the population's demographics have changed a lot since then. It is therefore interesting to find out if the values recommended for density, flow and velocity differ from what it looks like today. The results indicate that values for density and flow are slightly higher than previous studies presented and the values for speed is lower. The results also indicate that how the evacuees walk in relation to each other seems to play a role in how close people walk in the stairs.

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

Sammanfattning

Vid dimensionering av brandskyddet för en byggnad är utrymning en viktig aspekt. För att få en bild av hur utrymning sker i byggnader finns det en del simuleringsprogram till förfogande. Simuleringarna bygger på indata som användaren stoppar in i programmet och beroende på vilka värden som används kan resultatet variera.

Thompson et al. (2015) förklarar att de värden på flöden som används idag samlades in mellan 1950-talet och 1970-talet. Problematiken är att befolkningens demografi har förändrats sedan dess, andelen överviktiga och äldre har under de senaste 40 åren ökat och förväntas fortsätta öka. Med detta i åtanke förväntas människor röra sig långsammare och med hänsyn till andelen överviktiga kommer persontätheten att minska. Detta leder till att de flöden som normalt används vid simuleringar kan ha minskats vilket då betyder att det idag tillåts en för hög persontäthet vilket leder till att det finns en risk att utrymningstiden blir för kort.

För att ta reda på om värdena på persontäthet, flöden och hastighet i trappor har förändrats med tiden och hur personerna går i förhållande till andra påverkar avståndet mellan dem har observationer utförts av en trappa på Lindab arena i Ängelholm. Observationerna utfördes vid flertal tillfällen i samband med att besökare skulle utrymma arenan efter avslutad match. Trappan observerades med hjälp av en filmkamera där inspelningen studerades och analyserades i efterhand. På grund av problem med tekniken blev de första filmningarna misslyckade och endast en filmning gick att använda sig av. Trappan som observerades delades av med ett mitträcke och med anledning av detta har var sida räcket analyserats enskilt.

De viktigaste resultaten i rapporten presenteras nedan:

- Persontätheten varierar beroende på vilken del av trappan som studeras vilket tyder på att det finns skillnader i hur många som går i trappan och hur de förhåller sig till andra. Maximala värden på persontätheten varierar mellan 2,87–3,27 person/m² vilket är en högre persontäthet än vad som tagits fram av tidigare forskare.
- Hastigheten verkar inte vara så beroende av persontätheten utan troligen har de utrymmandes egenskaper och relation till varandra större betydelse för hur tätt personerna går och vilken hastighet de håller i trappan. Maxhastigheten för trappan som observerats ligger mellan 0,41–0,49 m/s vilket är något lägre än vad tidigare studier visat.
- Vad gäller flödet så tyder resultaten på att flödet ökar när persontätheten ökar, värdena för flöde i förhållande till persontäthet är dock väldigt spridda. Maxvärde på flödet är 1,32 person/(ms) för höger sida mitträcket och 1,49 person/(ms) för vänster sida mitträcket. Dessa värden är högre än vad tidigare studier rekommenderat som maximalt flöde.
- Hur personerna står i förhållande till varandra verkar spela roll i hur tätt människor går i trappan. Generellt håller de ett närmre avstånd till framförvarande när de är placerade diagonalt i förhållande till varandra än när de går på ett rakt led. Hur förhållanden och avstånd mellan olika personer ser ut beror dock mycket på personens egenskaper och hur väl de känner personerna runt omkring.

Det finns en del osäkerheter kopplade till resultaten, bland annat på grund av att endast en film kunnat analyseras och att endast en trappa vid en typ av verksamhet har studerats.

Summary

When dimensioning the fire protection of a building, the aspect of evacuation is critical. To get an idea of how evacuation takes place in buildings, there are some simulation programs available. The simulations are based on inputs that the user intercepts in the program and depending on which values the user intercepts in the program, the result may vary.

Thompson et al. (2015) explains that the values of flows that are used today were collected between the 1950s and 1970s. A crucial consideration is that population demographics have changed since then. The proportion of overweight and elderly of the population has increased over the last 40 years and is expected to continue to increase. As a consequence, people are expected to move more slowly, and with the increased proportion of overweight (and generally larger bodies) in mind, the density of people per square meter will decrease. As a result, the flows normally used in simulations may have decreased, which means that today it is allowed to be too high density, which leads to a risk that evacuation times will be too short.

To find out if the values of density, flow rates and velocity in stairs have changed over time and how different configurations affect the distance between persons, observations have been done of a staircase at Lindab Arena in Ängelholm. Observations were performed on several occasions in the event that visitors were about to leave the arena after a match was finished. The staircase was observed by means of a film camera where the recording was studied and subsequently analyzed. Due to the technological malfunction, the first filming was unsuccessful and only one film session could be used. The staircase that was observed was divided by a center rail, because of this each side of the rail was analyzed individually.

The main findings are presented below:

- The spatial density of people varies depending on which part of the stairway is being studied, this indicates that there are differences in how many people who walks in the stair and how they relate to other. Maximum values of density varies between 2,87-3,27 person/m², which is a higher density than previous studies has presented.
- The speed seems to be independent of the density, the study indicates that the characteristics and relationship of the people are of greater importance to the density and the speed they hold in the stair. The maximum velocity of the staircase observed is between 0.41-0.49 m/s which is slightly lower than previous researchers has presented.
- As far as the flow is concerned, the results indicate that the flow increases when density increases, but the values of flow in relation to density are very scattered. The maximum of flow is 1,32 person/(ms) for the right side of the center line and 1,49 person/(ms) for the left side of the center line. These values are higher than previous studies has recommended as a maximum flow.
- How the evacuees walk in relation to each other seems to play a role in how close people walk in the stairs. Generally they keep a closer distance to the person in front of them when they move in a zigzag formation compared to when they walk in a straight line. However, defining how relationships and distances between different people look depends greatly on the person's characteristics and how well they know the people around them.

The results are affected by some uncertainties such as, only one stair was recorded and analyzed in only one type of environment.

Förord

Följande rapport är resultatet av ett examensarbete på Brandingenjörsprogrammet vid Lunds Tekniska Högskola. Examensarbetet har utförts på avdelningen för brandteknik i samarbete med Brandkonsulten AB.

Under skrivandets gång har jag fått värdefull vägledning och stöd av olika personer och utan dem hade arbetet aldrig blivit klart. De jag särskilt vill tacka är nedanstående personer.

Håkan Frantzich, handledare vid avdelning för Brandteknik på LTH, för god handledning och värdefulla synpunkter under arbetets gång.

Oscar Löfgren Ferraz, extern handledare på Brandkonsulten AB, för idén till examensarbetet och värdefulla synpunkter under arbetets gång.

Anders Grankvist, kontaktperson på Rögle BK, Lindab Arena, för möjligheten att vara på er arena och för att ni stått ut med mitt springande under flertal matcher. Även tack till övrig personal på arenan för viss assistans med diverse saker.

Patrick van Hees, examinator vid avdelningen för Brandteknik på LTH.

Sist men inte minst vill jag tacka Eric, min fantastiska pojkvän, som hjälpt till under observationer och med en del tekniska bitar men framförallt tack för att du alltid tror på mig och stöttar mig.

Stephanie Axelsson

Lund 2018

Innehållsförteckning

1 Inledning	1
1.1 Syfte.....	1
1.2 Mål.....	1
1.3 Frågeställningar	1
1.4 Metod	2
1.5 Avgränsning.....	3
2 Bakgrund	5
2.1 Tidigare studier	5
2.1.1 Fruin.....	5
2.1.2 Pauls	7
2.1.3 Khisty	9
2.1.4 Predtechenskii och Milinskii	11
2.1.5 Frantzich	12
2.1.6 Åhlgård.....	13
2.1.7 Gustafsson.....	13
2.1.8 Spearpoint och MacLennan.....	14
3 Fältstudie	15
3.1 Förberedelser	15
3.2 Objektbeskrivning	15
3.2.1 Trappans egenskaper.....	15
3.3 Utrustning.....	16
3.4 Observation	16
3.5 Analys	16
3.5.1 Analysarea.....	16
3.5.3 Beräkning av persontäthet.....	19
3.5.3 Flödesberäkningar.....	19
3.5.4 Hastighetsberäkningar.....	20
3.5.5 Människors placering i trappan	20
4 Resultat	23
4.1 Persontäthet.....	23
4.2 Flöde	24
4.3 Hastighet	25
4.4 Människors placering i trappan.....	29
5 Diskussion	33
5.1 Observationer.....	33
5.1.1 Trapputformning och människors placering i trappan	33
5.1.2 Urvalsgrupper.....	34
5.2 Persontäthet, flöde och hastighet	34
5.3 Resultat jämfört med tidigare studier.....	36
6 Slutsats	39
7 Förslag till fortsatt arbete	41
Litteraturförteckning	43

Bilaga A |

1 Inledning

Vid dimensionering av brandskyddet för en byggnad är utrymning en viktig aspekt. För att få en bild av hur utrymning sker i byggnader finns det en del simuleringsprogram till förfogande. Simuleringarna bygger på input som användaren stoppar in i programmet och kan varieras i mängder.

Vid beräkning av utrymning via trappor ansätts normalt ett flöde som är en produkt av hastighet och persontäthet. Ur ett beräkningsperspektiv räcker det ofta att ansätta flöden i enskilda passager för att få en korrekt total utrymningstid. Eftersom förflyttningstiden normalt räknar tiden från att människor börjar utrymma till dess att alla har nått en utrymningsväg så kan det vid simultan utrymning av flera våningsplan vara av vikt att beakta hur många personer som trappan rymmer.

Thompson et al. (2015) förklarar att de värden på flöden som används idag samlades in mellan 1950-talet och 1970-talet. Problematiken är att befolkningens demografi har förändrats sedan dess, andelen överviktiga och äldre har under de senaste 40 åren ökat och förväntas fortsätta öka. Med detta förväntas människor röra sig långsammare och med andelen överviktiga i åtanke kommer persontätheten att minska. Detta leder till att de flöden som normalt används vid simuleringar kan ha minskats vilket då betyder att det idag tillåts en för hög persontäthet vilket leder till att det finns en risk att utrymningstiden blir för kort.

De menar också på att det inte bara är för framtida byggnader detta har betydelse. För befintliga byggnader, som projekterats utifrån äldre data kan detta innebära problem då det idag kanske tar längre tid att evakuera dessa byggnader än vad som beräknats. Det finns därför ett behov av att studera hur nära människor faktiskt går och står. Det som är intressant är att ta reda på vad som händer vid höga personantal som kan leda till köbildning både i trappan och till trappan.

1.1 Syfte

Eftersom befolkningens demografi har förändrats med tiden och antas påverka evakueringstider för befintliga och framtida byggnader är syftet med denna rapport att undersöka om värdena för persontäthet, flöde och hastighet ändrats jämfört med vad som presenterats i tidigare studier.

1.2 Mål

Målet med rapporten är att genom observationer av en trappa i en sportarena undersöka hur människor rör sig i trappor. I rapporten undersöks persontäthet i förhållande till flöde och hastighet samt hur personerna förhåller sig till varandra i trappan och hur det kan påverka avståndet mellan dem och därmed rörelsen i trappan.

1.3 Frågeställningar

- Hur påverkar persontäthet hastighet och flöden i trappor?
- Hur har persontäthet, flöde och hastighet förändrats jämfört med värden som tagits fram i tidigare studier?
- Hur påverkas avståndet mellan personer av hur de förhåller sig till varandra i trappan?

1.4 Metod

Arbetet består av en litteraturstudie och en fältstudie.

Nedan visas en schematisk bild över hur arbetsgången har sett ut.



Figur 1 Schematisk bild över arbetsgången.

Litteraturstudie

Inför arbetet utfördes en litteraturstudie. Syftet med litteraturstudien är att sammanfatta vad som redan undersökts inom ämnet och grundar sig i de böcker, rapporter och artiklar som finns tillgängliga.

Fältstudie

Fältstudien innefattade att undersöka hur människor rör sig i trappor genom att observera verkliga miljöer. Den trappa som användes för observation är belägen i en stor idrottsarena. Utrymning av arenan efter avslutad match kan ge situationer som kan liknas vid en utrymningssituation eftersom personerna som vistas där har samma mål efter ett evenemang – att ta sig ut så snabbt som möjligt.

Fältstudien delades huvudsakligen upp i två delar, en förberedelsedel och en observationsdel.

Förberedelsedel

De förberedelser som krävdes för att utföra fältstudien var till att börja med att hitta olika objekt som skulle passa. Därefter kontaktades ansvarig för dessa objekt för tillåtelse att observera och om möjligt filma när människor ska ta sig ut vid avslutat event. Vidare förberedelser var att ta fram evenemang och datum där det förväntades vistas mycket människor i arenan för att få så mycket mätdata som möjligt till analysen. Ett möte genomfördes med ansvarig på arenan för att klargöra hur observationen skulle gå till.

Observationsdel

Observationsdelen började med att trappan mättes för att kunna beräkna vilken tillgänglig yta de utrymmande hade. Sedan placerades en kamera över trappan som sedan filmade när besökarna tog sig ner. Detta för att i efterhand enklare kunna analysera hur många människor som trappan rymmer per kvadratmeter och hur persontätheten påverkar flödet och hastigheten i trappan.

Analys av film

Agerandet hos de utrymmande från arenorna analyserades sedan med hjälp av inspelningen från filmkameran som placerats över trappan under observationerna.

Resultat

Med hjälp av analysen av filmen beräknades hastighet och flöde för att sedan kunna sätta dessa i relation till persontäthet för att svara på frågorna i frågeställningen.

Diskussion och slutsats

Diskussion fördes kring resultatet som jämfördes med de tidigare studier som gjorts inom området för att nå slutsatsen med arbetet.

1.5 Avgränsning

Arbetet avgränsas till att endast studera en trapputförning med utrymning från ett plan. Arbetet avgränsas även till att endast undersöka persontäthet, personflöde och hastighet samt avstånd mellan personerna i trappan, det kommer inte tas hänsyn till olika urvalsgrupper.

2 Bakgrund

Hur människor rör sig i olika miljöer är ett område som studerats av många olika forskare. Persontäthet, flöde och hastighet i trappor är därför inte helt obekant, tidigare forskare har studerat och jämfört både ”normala” situationer och utrymningsituationer och kommit fram till olika resultat och teorier kring detta. I avsnittet nedan presenterar några av de tidigare studierna som gjorts inom detta ämne.

Utöver vad tidigare forskare studerat vad gäller persontäthet, flöde och hastighet så finns de för olika idrottsanläggningar dessutom en design guide som heter *Guide to Safety at Sports Grounds, The green guide* (1997). Guiden gäller bland annat anläggningar för fotboll, friidrott, hästtävlingar, hockey m.m. Syftet är bland annat att ge en vägledning i hur många åskådare som, utifrån säkerheten, får plats inom en idrottsplats. I guiden finns även vägledning i vilka åtgärder som kan appliceras för att förbättra säkerheten på befintliga anläggningar men även hur utformning och hantering av nybyggda anläggningar bör ske.

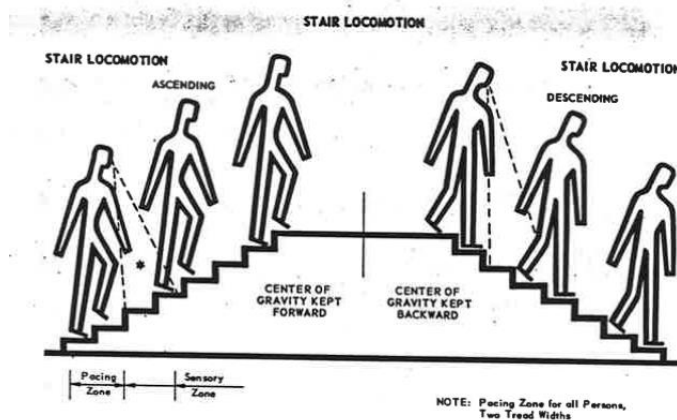
Resultat från de tidigare studierna kommer senare att jämföras med resultaten i den här rapporten.

2.1 Tidigare studier

2.1.1 Fruin

Fruin (1971) konstaterar att det tydligt skiljer sig mellan personers sätt att röra sig i trappor jämfört med horisontellt underlag. Han menar på att det i trappor finns faktorer som begränsar rörelsen vilket gör att de som ska förflytta sig i trappan accepterar ett närmre avstånd till andra än vad de normalt hade gjort på en horisontell yta.

Avståndet mellan personer beror på olika parametrar, dels det område som krävs för att placera fötterna framför sig utan att gå in i eller trampa på någon annan, ”pacing-zone”, men även ålder, kön och fysiskt tillstånd spelar roll, ”sensory-zone”.



Figur 2 Pacing-zone och sensory-zone, Fruin (1971)

Enligt Fruin (1971) bör man vid konstruktion av trappor, överväga den mänskliga karaktärens roll. Det vill säga vilken typ av människor som förväntas vistas i byggnaden, vilket leder till att utrymmen i olika miljöer kräver olika utformning. På grund av detta har Fruin tagit fram ett Level of service-koncept med servicenivå från A-F. De olika nivåerna beror på hur tätt

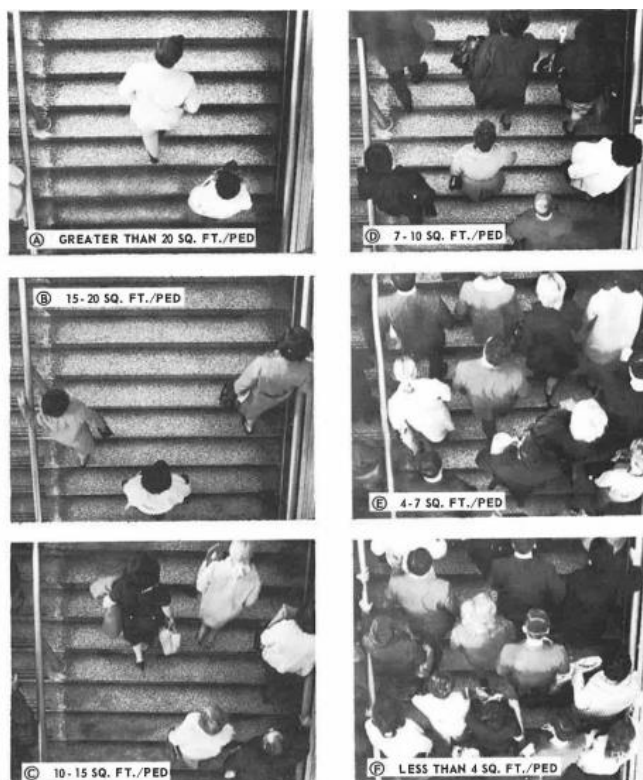
människor står eller går i olika miljöer. Det är dock inte rekommenderat att designa efter nivå F.

Tabellen nedan visar den genomsnittliga arean per person vid de olika nivåerna för gång uppför en trappa, men enligt Figur 4 bör värdena endast ligga något högre för gång nedför en trappa.

Tabell 1 Genomsnittlig area per person för de olika servicenivåerna, Fruin (1971).

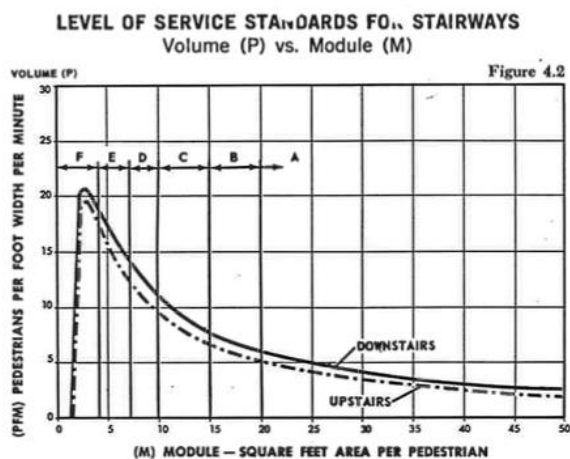
Nivå	Persontäthet [square feet per person]	Persontäthet [m ² /person]
A	20	1,85
B	15-20	1,39-1,85
C	10-15	0,93-1,39
D	7-10	0,65-0,93
E	4-7	0,37-0,65
F	4	0,37

Bilden nedan visar tätheter för de olika nivåerna i level of service-konceptet.



Figur 3 Bild över hur de olika nivåerna ser ut i en trappa, Fruin (1971).

I figuren nedan visas flöde som funktion av persontäthet för de olika nivåerna i Fruins level of service-koncept för gång i trappor. Den heldragna linjen visar gång nedför en trappa och den streckade linjen visar gång uppför en trappa där gång nedför en trappa har något högre värden på flöde än uppför.



Figur 4 Level of service standard för trappor, John J. Fruin (1971).

Forskare, bland annat Fruin (1971), har också konstaterat att människor upptar mer plats än vid rörelse än när de står still. Det diskuteras då om något som kallas *body sway* vilket betyder att när vikten förflyttas från fot till fot så upptar en person drygt 10 cm mer plats i sidled än när de står still.

De undersökningar Fruin (1971) gjort visar att personflödet i trappor styrs av de långsammast framförvarande personerna vid en persontäthet större än $0,5 \text{ p/m}^2$. Personflöde högre än $0,66 \text{ p/(ms)}$ motsvarar service-nivå D och det finns risk för köbildning. Vid ett flöde på mer än $1,00 \text{ p/(ms)}$ är sannolikheten för köbildning mycket stor.

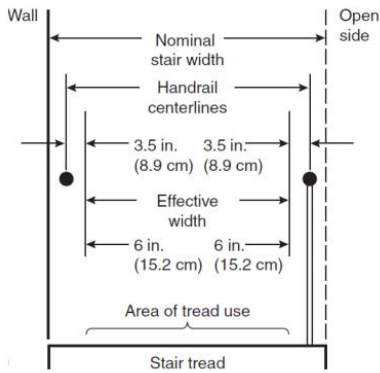
2.1.2 Pauls

Pauls forskning bygger på utrymningsövningar i höga kontorsbyggnader. Genom att studera och analysera övningarna utvecklade han relationer som beskriver vad som observerats (SFPE 1995).

De förhållande som rådde vid Pauls undersökningar var relativt lika de förhållande som kan tänkas gälla vid verkliga utrymningar. En del försök gjordes även på stora sportarenor vilket enligt Frantzich (1993) uppskattningsvis också ger en god jämförelse med verkliga utrymningar och det ger även resultaten en bra grund.

Pauls nämner även att rörelsen hos personer som observeras vid normal byggnadsanvändning och vid utrymningsövningar ger en bra grund för att utveckla riktlinjer för design och användning av nödutgångar. Han menar då på att personer inte bör antas reagera eller förflytta sig snabbare vid en nödsituation än vid en normal situation (SFPE, 1995).

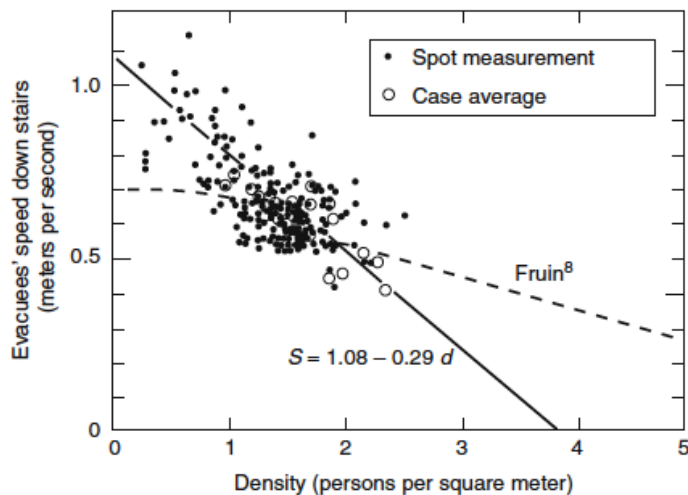
Pauls observerade från en del undersökningar att förhållandet mellan trappans bredd och flödet stämde bättre när inte hela trappans bredd användes, det fanns ett smalt gränsskikt närmast kanterna som inte utnyttjades vilket har lett till att Pauls tagit fram en Effective-width-modell där han även anger hur stort gränsskiktet bör vara för olika typer av förbindelser. De persontätheter som Pauls redovisar sina resultat mot är dock inte beräknade med avseende på den effektiva bredden utan med verkliga mått på bredden och på trappans horisontellt projicerade yta (Frantzich, 1993).



Figur 5 Mått för Effective-width i en trappa, anpassad efter SFPE (1995).

Vid trängsel specificeras rörelsen kvantitativt med hjälp av tre grundläggande egenskaper, persontäthet som uttrycks i person/m² eller m² per person, hastighet m/s och flöde som är det specifika antalet personer som passerar en referenspunkt under en viss tid, personer/sekund. Hastigheten minskar med ökad persontäthet och går från att varje individ kan röra sig fritt till att rörelsen blir enhetlig. Rörelsen blir i princip stillastående när persontätheten når ca 4–5 personer/m² vilket kan jämföras med en ganska trång hiss situation eller med nivå F i Fruins (1971) level of service-koncept.

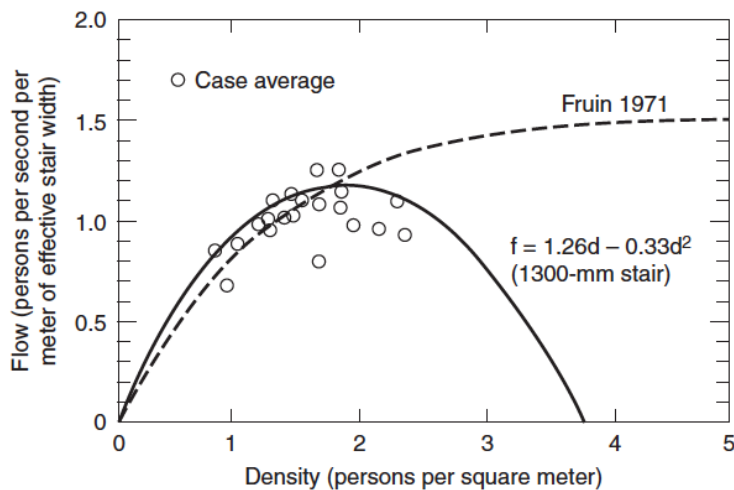
Figuren visar gånghastigheter i förhållande till persontäthet från en av Pauls studier från evakuering nerför en trappa i höga kontorsbyggnader. I figuren visas även en kurva som rapporterats av Fruin samt en regressionskvation för Pauls data (SFPE, 1995).



Figur 6 Gånghastighet i förhållande till persontäthet nedför en trappa, anpassad efter SFPE (1995).

I SFPE (1995) beskrivs även flödet vara beroende av persontätheten där de högsta värdena på flöde är vid en persontäthet på omkring 2,0 person/m². För lägre respektive högre persontäthet än 2,0 person/m² blir värdena på flöde lägre.

Figuren nedan visar flödet i förhållande till persontätheten för utrymning via trappor.



Figur 7 Flöde i förhållande till persontäthet, anpassad efter SFPE (1995).

I SFPE (1995) beskrivs även optimala förhållande för evakuering nerför en trappa. Dessa förhållande är:

- En persontäthet på 2,0 personer/m²
- En hastighet på 0,5 m/s.
- Ett flöde av 1,18 personer/(m*s) med effektiv bredd.

Tabellen nedan visar rörelseparametrar för olika förhållande och anläggningar. Medelvärdena i tabellen för persontäthet, hastighet och flöde är rimliga approximationer att använda vid beräkningar av minsta utrymningstid för många olika situationer.

Tabell 2 Rörelseparametrar för olika förhållanden och anläggningar SFPE (1995).

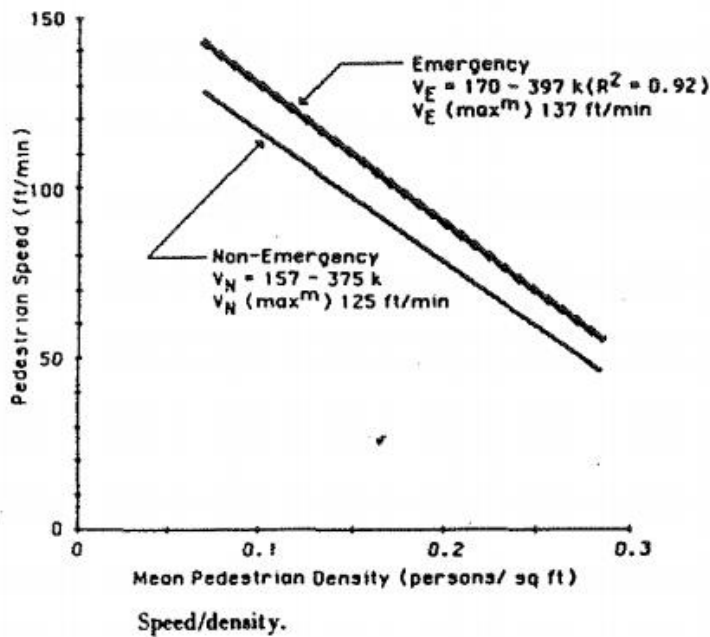
Anläggning	Folkmassa	Persontäthet [person/m ²]	Hastighet [m/s]	Flöde [person/m*s]
Trappa	Minimalt	<0,54	0,76	0,27
Trappa	Medel	1,09	0,61	0,66
Trappa	Optimalt	2,06	0,48	0,97
Trappa	Tätt	3,26	<0,20	<0,66
Korridor	Minimalt	<0,54	1,27	<0,66
Korridor	Medel	1,09	1,01	1,10
Korridor	Optimalt	2,17	0,61	1,32
Korridor	Tätt	3,26	<0,30	0,97
Dörröppning	Medel	1,09	0,86	0,93
Dörröppning	Optimalt	2,39	0,61	1,43
Dörröppning	Tätt	3,26	<0,25	<0,82

2.1.3 Khisty

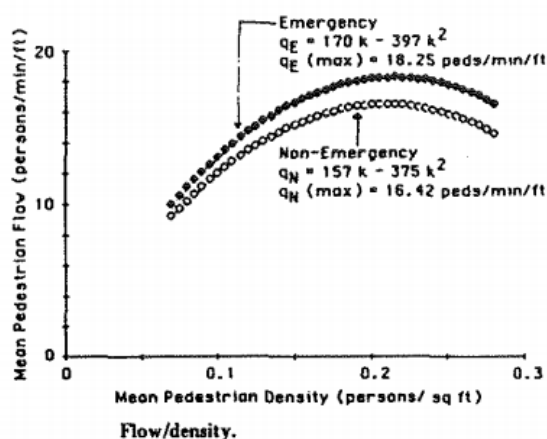
Likt Pauls utförde Khisty utrymningsövningar för att undersöka personflöden och hastigheter nedför trappor. I Khistys undersökningar visste personerna inte om att det skulle ske en utrymningsövning vilket gör att förhållandena kan jämföras med de förhållande som råder vid en utrymning (Frantzich, 1993).

Trappornas bredd varierade mellan 1220–2130 mm och trappstegens djup och höjd varierade mellan 279–305 mm respektive 165–190 mm. Under nödutrymning varierade persontätheten mellan 1,96 personer/m² och 1,40 personer/m² jämfört med normala situationer där det varierade mellan 1,66 personer/m² och 1,38 personer/m². De högsta observerade hastigheterna var 0,64 m/s för normala situationer och 0,70 m/s för nödutrymning. Även flöden noterades öka under nödutrymningarna då det specifika flödet ökade från 0,90 personer/(ms) till 1,00 personer/ms (Kuligowski et al. 2015).

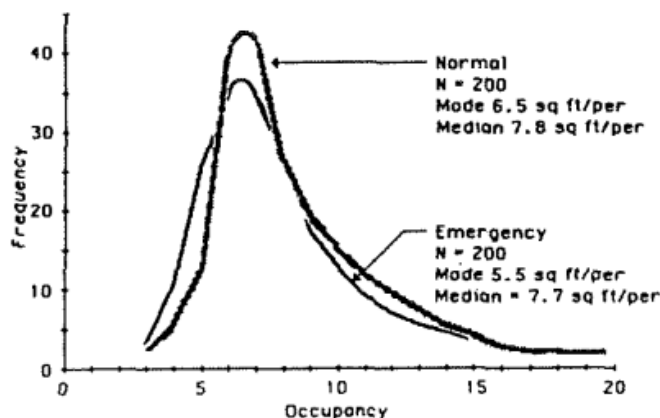
Khisty redovisar sina resultat som flöden och hastigheter som funktion av persontätheten vilken anges med avseende på trappornas horisontellt projicerade yta.



Figur 8 Gånghastighet i förhållande till persontäthet vid utrymning och vid normala förhållanden, Frantzich, (1993).



Figur 9 Personflöde i förhållande till persontäthet vid utrymning och vid normala förhållanden, Frantzich (1993).



Figur 10 Persontäthet [$m^2/person$] vid nödsituation och vid normala förhållande nedför trappor, Frantzich (1993).

Tabell 3 Diagrammet ovan i tabellform, Frantzich (1993).

Persontäthet [$m^2/person$]	Persontäthet vid...	
	Nödsituation	Normala förhållanden
0,32	5	1
0,41	22	6
0,51	23	20
0,60	36	42
0,69	33	40
0,78	20	22
0,87	10	20
0,97	10	17
1,06	6	12
1,15	6	5
1,24	7	6
1,33	7	2
1,43	3	2
1,52	4	2
1,61	3	1
1,70	3	1
1,79	2	1
Total	200	200

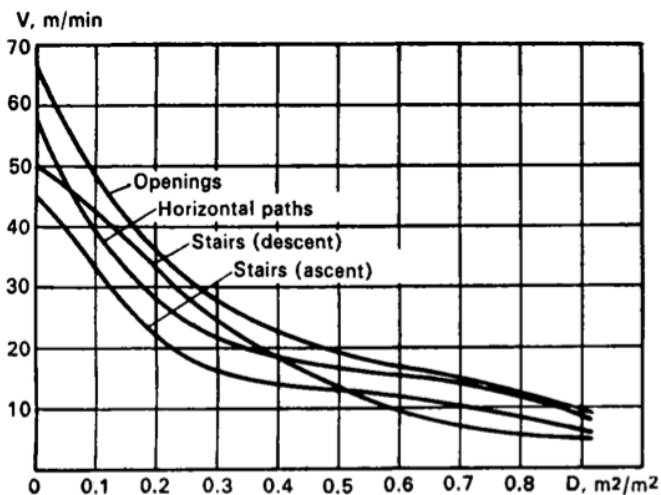
Med stöd från sin undersökning rekommenderar Khisty för trappor en maximal persontäthet på 1,43 person/ m^2 och ett flöde på 0,98 person/(ms), (Frantzich 1993, 48)

2.1.4 Predtechenskii och Milinskii

Predtechenskii och Milinskii (1978) redogör för olika sätt att röra sig på i förhållande till ett antal olika indikatorer. Dessa är bland annat om rörelsen är individuell, vilket sker vid relativt litet antal personer, eller om det är en massrörelse, vid stort antal personer. Förflyttningen kan även vara ordnad eller oordnad beroende på om människor är på väg åt olika håll som till exempel i en park eller om alla är på väg i samma riktning exempelvis som i en arena efter ett avslutat evenemang. I normala fall är massrörelsen osynkroniserad och med tillgång till fri rörelse vilket betyder att alla rör sig i olika tempo med olika steglängd, frekvens osv. samt att

varje enskild individ närsomhelst kan ändra riktning eller hastighet. Vid avslutat evenemang i till exempel stora sportstadier är rörelsen däremot oftast synkroniserad och personerna har inte längre lika stort utrymme att ändra riktning eller hastighet utan tvingas följa strömmen. De här rörelserna är oftast kortvariga precis som vid en nödutrymning.

Figuren nedan visar gånghastigheten som funktion av persontätheten framtaget av Predtechenskii och Milinskii.



Figur 11 Gånghastighet som funktion av persontätheten, anpassad efter Predtechenskii och Milinskii (1978)

2.1.5 Frantzich

Frantzich (1996) beskriver att persontäthet är den parameter som ofta används som den varierande parametern i olika handböcker. Anledningen till detta är troligtvis för att det är en parameter som är ganska enkel att ta fram genom tex filmsekvenser där antalet personer räknas inom en viss analysarea. Problemet med detta är att när denna typen av persontäthet används i olika simuleringsprogram så förutsätter det att människorna i en byggnad kan behandlas homogent och användaren av simuleringsprogrammet måste därför göra antaganden om persontätheten genom hela byggnaden för varje tidpunkt, detta gör att flödesberäkningarna kan bli ganska grova.

Det kan därför vara bättre att vid beräkning av persontäthet att studera avståndet mellan personer i en kö eller utrymningsväg, s.k. *inter-person distance*. Avståndet mellan personer är en mer realistisk parameter då varje person hanteras enskilt. Avståndet (*interperson distance*) kan beräknas med ekvationen nedan, antagande som gjorts för ekvationen är att avståndet runt personen är lika stort i alla riktningar.

$$Avstånd = \frac{1}{\sqrt{Persontäthet}}$$

Vidare kan ekvationen skrivas om för att beräkna persontätheten med hjälp av avståndet.

$$Persontäthet = \left(\frac{1}{Avståndet}\right)^2$$

Frantzich (1993) konstaterar i sin rapport med tidigare studier att den vanligaste metoden för att beräkna persontäthet är att beräkna antal personer per kvadratmeter, person/m². En annan metod som använts av ett par forskare är att persontätheten anges som förhållandet mellan den horisontellt projicerade arean personerna upptar och den totala arean som de vistas på.

2.1.6 Åhlgård

Åhlgård (2017) studerade i sitt examensarbete persontäthet, flöde och hastighet i breda trappor. Tre olika trappor studerades experimentellt med trappbredder mellan 2,12–4,6 m. En bred trappa definierades i rapporten som en trappa där två personer komfortabelt kan gå ned för trappan vid sidan om varandra. Utöver persontäthet, flöde och hastighet studerade Martha även användning av räcke, placering i trappan, olika distraktioner m.m. Persontätheten beräknades utifrån ”inter-person distance” med hjälp av ekvationen som presenterats av Frantzich (1996).

Resultaten från arbetet visar att persontätheten i de olika trapporna varierade mellan 0,1–0,6 person/m². Martha uppmärksammade att ju högre persontäthet desto mer övergick personerna i trappan från att gå på ett rakt led till att gå diagonalt i förhållande till varandra, eller som det beskrivs i rapporten ”zigzag”.

Den trappa med lägst trappsteg ger den högsta persontätheten på 0,5–1,0 person/m² och den trappa med högst trappsteg ger den lägsta persontätheten på 0,3–0,8 person/m².

Resultaten visar även att hastigheten verkar vara oberoende av persontätheten och varierar, i alla trappor, mellan 0,4–0,9 m/s. Olika distraktioner, tex som att titta på mobiltelefonen eller klä på sig ytterkläder, kunde påverka hastigheten i trappan oavsett om personerna gick individuellt eller i grupp.

I rapporten beskrivs även att flödet verkar oberoende av trappans bredd men ökar när persontätheten ökar.

2.1.7 Gustafsson

Gustafsson (2016) skrev ett examensarbete om människors förflyttning i spiraltrappor där fyra olika spiraltrappor observerades. I rapporten presenteras en del tidigare studier som gjorts för spiraltrappor men även för raka trapplopp.

I rapporten beskriver Gustafsson att ekvationerna som används för spiraltrappor vad avser flöde och hastighet liknar de ekvationer som används vid raka trappor, skillnaden är att värdena blir något högre för spiraltrappor än raka, vilket är förvånansvärt då det kan förväntas vara tvärtom.

Hastigheterna i de fyra olika trapporna varierade mellan 0,49–0,97 m/s där gång i ytterkant och mitten av trappan höll de högre hastigheterna och den högsta hastigheten presenterad för gång i innerkant av trappan var 0,77 m/s. Flödet varierade mellan 0,63–1,85 person/s.

För att beräkna persontätheten i de olika trapporna användes två olika metoder, dels genom att beräkna antal personer dividerat med arean och även genom att mäta avståndet mellan personerna, ”inter-person distance”.

2.1.8 Spearpoint och MacLennan

Spearpoint och MacLennan (2012) har skrivit en rapport där de med hjälp av en evakueringsmodell undersöker hur en förändring i befolkningens demografi kan påverka utfallet av en evakuering. Genom att jämföra ett framtida scenario för år 2031 med tidigare framtagna data från Kanada 1971 tyder resultaten på att tiden för evakuering kan förväntas öka med 20% med ökad andel överviktiga och befolkningens ålder i åtanke.

Modellen som använts är dock begränsad och tar inte hänsyn till hur hastigheten påverkas av att människor stannar upp för att tex vila eller på grund av rädsla för att trilla, detta är parametrar som kan bidra till ytterligare längre evakueringstid.

Likt Thompson et al. (2015) menar de på att evakueringsstrategierna för befintliga byggnader bör överväga förändringen i befolkningens demografi och även ta hänsyn till den nuvarande och förväntade framtida förändringen för dimensionering av nya byggnader.

3 Fältstudie

För att ta fram värden på persontäthet, flöden och hastighet i trappor att jämföra med tidigare studier gjordes observationer i en trappa på Lindab arena i Ängelholm.

Observationerna utfördes i samband med att besökare skulle utrymma arenan efter avslutad match. Trappan observerades med hjälp av en filmkamera där inspelningen studerades och analyserades i efterhand. På grund av problem med tekniken blev de första filmningarna misslyckade och endast en filmning gick att använda för analysering. Objektbeskrivning och hur observationerna gick till presenteras i avsnitten nedan.

3.1 Förberedelser

Innan observationerna gjordes ett platsbesök under matchtid på arenan för att få en bild av hur arenan såg ut, vilken trappa som hade högst belastning efter avslutad match, hur många kameror som skulle behövas och hur de skulle placeras.

Trappan som valdes var en av trapporna som besökarna på kortsidan måste passera på väg ut från avslutad match, se inringad trappa i Bilaga A.

Trappans bredd och horisontella längd mättes för att kunna räkna ut den horisontellt projicerade arean. Även trappstegens höjd och djup och placering av räcken mättes.

3.2 Objektbeskrivning

Arenan är formad som en oval med ishallen i mitten och gångstråk runt om. Från långsidan och ena kortsidan utrymmer besökarna via en liten trappa från sittplatserna direkt ut i gångstråket och från två sidor av den andra kortsidan utrymmer de via en längre trappa vidare ut i ett vilplan och sedan via en bredare trappa ner i gångstråket, se Bilaga A.

3.2.1 Trappans egenskaper

Bilden nedan visar trappan som användes vid observationerna.

Trappan har en total bredd på 2420 mm och en horisontell längd på 6000 mm. Längden på trappan med hänsyn till lutning är 7070 mm och trappstegens djup respektive höjd är 280 mm respektive 170 mm. Trappan har en lutning på 32°.



Figur 12 Trappan som användes vid observationerna.

3.3 Utrustning

Under observationen användes två kameror varav en action kamera och en analog kamera med tillhörande fjärrkontroll. Till action kameran användes även en bärbar laddningsstation för att förlänga batteritiden på kameran. Kamerorna och laddningsstationen monterades med hjälp av tejp och remmar på en planka. Plankan fästes sedan i en kabelstege i anslutning till trappan så att kamerorna var placerades rakt ovanför trappan.



Figur 13 Montering av kameror.

3.4 Observation

Kamerorna monterades precis innan insläpp inför matchstart och startades i tredje perioden av matchen. Den analoga kameran styrdes med hjälp av tillhörande fjärrkontroll och action kameran styrdes från en mobiltelefon. När alla besökarna utrymt kortsidan stängdes kamerorna av och togs ned igen.

3.5 Analys

Som tidigare nämnt i rapporten kunde endast en film användas på grund av problem med tekniken vid observationerna. Under sekvensen som analyserades utrymmer totalt 388 personer via den observerade trappan.

3.5.1 Analysarea

Inspelningen från observationen analyserades med hjälp av ett program som heter Kinovea, Softonic (2018). I programmet ritades en analysarea upp över en del av trappan och persontäthet, flöden och hastigheter inom arean kunde beräknas. Analysarean är placerad längs trappans golvyta. Anledningen till att inte hela trappan användes vid analysen är på grund av att det endast är de närmst framförvarande som förväntas påverka flödet in i trappan.

Om förhållandena är lika vad avser persontätheten i trappan och över arean bör inte persontätheten förändras oavsett var i trappan analysarean placeras. Är det däremot stora variationer i hur många personer som går i trappan och hur jämnt dessa fördelar sig kan det ge

förändringar i värdet. Oavsett hur stor analysarean är över trappan så kommer flödet in vara densamma, däremot kan hastigheten mellan två referenslinjer variera för olika areor. För att undersöka om och hur persontätheten och hastigheten förändras i trappan kommer tre olika stora analysareor studeras.

Bilderna nedan visar hur variationen av hur många som går i trappan och hur jämnt de fördelar sig påverkar persontätheten över areorna. Bilderna visar de tre olika analysareorna vid samma tidpunkt, flödet in är samma men persontätheten varierar.

Figuren nedan visar persontätheten i analysarea 1 och hur arean är placerad i trappan.



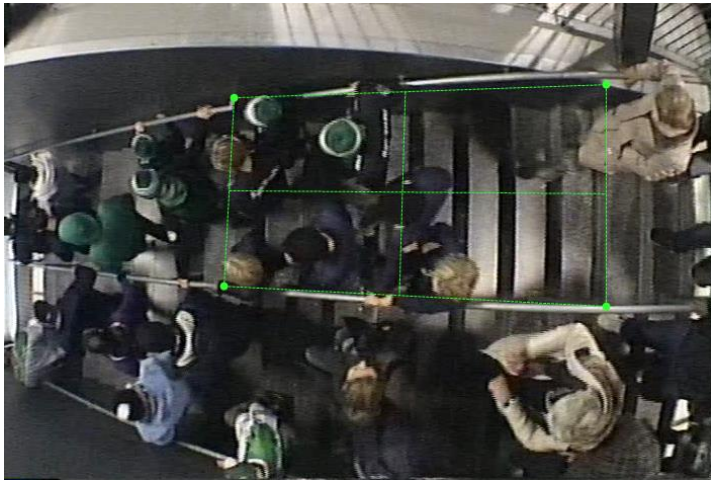
Figur 14 Flöde och persontäthet, analysareaarea 1, $1,02m^2$.

Figuren nedan visar persontätheten i analysarea 2 och hur arean är placerad i trappan.



Figur 15 Flöde och persontäthet, analysarea 2, $2,03m^2$.

Figuren nedan visar persontätheten i analysarea 3 och hur arean är placerad i trappan.



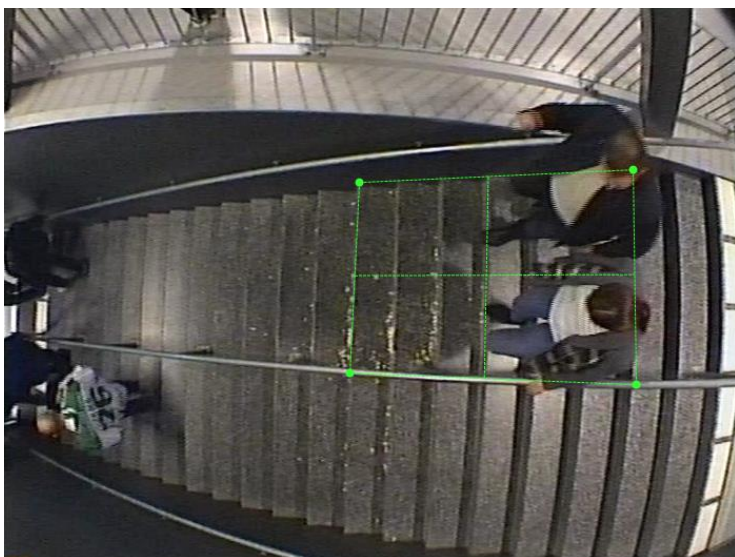
Figur 16 Flöde och persontäthet, analysarea 3, 3,05m².

För att göra mätningarna så exakta som möjligt placerades analysarean två trappsteg ned från planet innan trappan. Anledningen till detta var för att personerna skulle ha kommit in i rörelsen och därmed röra sig genom hela arean utan att stanna upp eller tveka vilket somliga gjorde precis innan trappan i väntan på större avstånd till framförvarande. Eftersom trappan delas av med ett mitträcke så analyserades de båda sidorna om mitträcket enskilt och vidare i rapporten kommer därför sidorna att beskrivas enskilt.

I analysen så har den verkliga bredden på trappan används, det har alltså inte tagits hänsyn till ”effective-width”. Anledningen till detta är för att inte grunda analysen för mycket på andras studier utan skapa en egen bild av huruvida den totala bredden används eller inte.

För att få mer exakta värden har de som är på väg in respektive ut ur arean räknats som en halv person medan de som står med båda fötterna på någon av trappstegen inom arean räknats som en hel person.

Figuren nedan visar definitionen av en hel person inom arean.



Figur 17 Definition av hel person inom arean.

Figuren nedan visar definitionen av en halv person inom arean.



Figur 18 Person på väg in i arean, definition av halv person inom arean.

3.5.3 Beräkning av persontäthet

Från filmen framgår det att det skiljer sig i hur många personer som befinner sig i trappan och hur de förhåller sig till varandra, detta gör att persontätheten över en area varierar ganska mycket vid olika tidpunkter. På grund av detta har persontätheten beräknats vid tre tidpunkter inom en tidssekvens på fem sekunder per analystillfälle, vid tiden 0 s, 2,5 s och 5 s. Efter det togs antalet personer inom analysarean vid varje tidpunkt dividerat med arean. Sedan användes ett medelvärde av persontätheten för de olika tidpunkterna inom tidssekvensen, detta gjordes på grund av att flödet vid vissa tillfällen varierade en del vilket ledde till att även tätheten i arean kunde variera under ett fem sekunders intervall.

För att enklare kunna jämföra med tidigare forskning har den horisontellt projicerade arean använts för beräkning av persontäthet och flöde, dvs den horisontella längden av trappan.

$$\rho = \frac{n_{personer}}{A}$$

Där

ρ = persontäthet [person/m²]

$n_{personer}$ = antal personer

A = area (horisontellt projicerad) [m²]

3.5.3 Flödesberäkningar

Beräkning av specifikt personflöde (vid samma tidpunkt som persontätheten):

$$F = \frac{n_{personer}}{(b * t)}$$

Där

F = flöde [person/(ms)]

$n_{personer}$ = antal personer som passerar en punkt i trappan

b = verklig bredd [m]

t = tiden det tar för personerna att passera punkten [s]

3.5.4 Hastighetsberäkningar

För att beräkna hastigheten har tiden tagits från att en person går över den första referenslinjen i analysarean till att den passerar den andra referenslinjen sedan har antal meter mellan referenslinjerna dividerats med tiden. Hastigheten har beräknats med hänsyn till lutningen på trappan med hjälp av den trigonometriska formeln nedan.

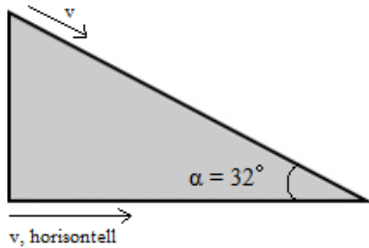
$$v_h = v \cos(\alpha)$$

Där

v_h = horisontell hastighet [m/s]

v = lutande hastighet [m/s]

α = trappans lutning (grader)



Figur 19 Förtydligande bild till den trigonometriska formeln.

Det har antagits att de personer som rör sig i grupp eller begränsas av personer har samma hastighet som personen innan. I de fall där de rör sig enskilt har varje enskild individs hastighet analyserats. Hastigheten beräknades även inom samma tidsintervall som persontätheten och flödet för att få hastigheten vid olika persontäthet.

3.5.5 Människors placering i trappan

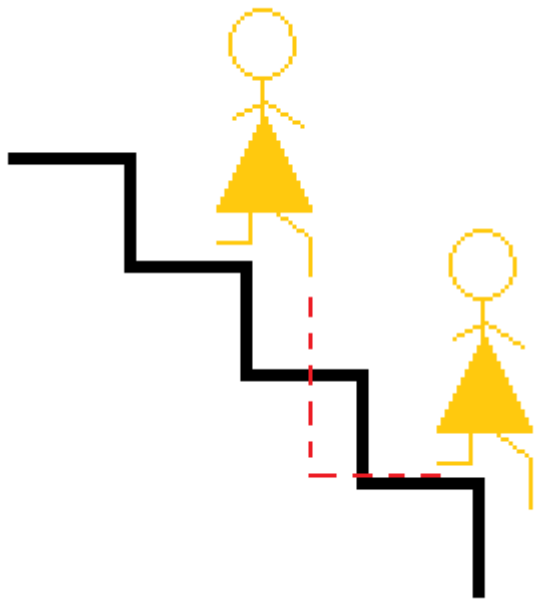
Från filmningen har även människors placering i trappan analyserats, alltså hur de utrymmande går i trappan i förhållande till varandra. Då har även avståndet mellan personer för olika konfigurationer i trappan beräknats, så kallat "inter-person distance". Avståndet mellan personer mäts ofta vid midjan på personerna men eftersom kamerornas placering inte tillät sidoperspektiv, då de var placerade ovanför trappan, så har beräkningarna i den här rapporten gjorts genom att ta djupet på trappsteget multiplicerat med antal trappsteg mellan två personer. Det har antagits att en person står med kroppens centrum mitt över det ben som personen har vikten över vilket då blir ungefär i mitten av ett trappsteg. Avståndet mellan två personer blir då antal trappsteg mellan dem där trappsteget de står på räknas som ett halvt.

$$\text{Avstånd} = d_{\text{steg}} n_{\text{steg}}$$

Där

d_{steg} = djupet på ett trappsteg [m]

n_{steg} = antal trappsteg



Figur 20 Inter-person distance, anpassad efter Åhlgård (2017).

Figuren ovan beskriver hur avståndet mellan två personer har beräknats. Exempel, ett trappsteg är 0,28 m, mellan de båda personernas fotplacering blir avståndet således:

$$0,28 * 2 = 0,56 \text{ m}$$

Med hjälp av medelvärdet på avståndet mellan personerna i arean så kan persontätheten med hänsyn till varje enskild person beräknas enligt ekvationen nedan.

$$\text{Densitet} = \left(\frac{1}{\text{Avståndet}}\right)^2$$

Ekvationen ovan är en omskrivning av den ursprungliga ekvation som Frantzich (1996) presenterar, se avsnitt 2.1.5 Frantzich.

4 Resultat

I det här avsnittet presenteras resultaten från observationerna.

4.1 Persontäthet

Tabellen nedan presenterar resultaten för persontäthet där minimum-, och maximumvärde tagits fram för de tre olika analysareorna, höger sida om mitträcket.

Tabell 4 Resultat för beräkning av persontäthet [person/m²], höger sida om mitträcket.

Persontäthet [person/m ²]	Minimum	Maximum
Area 1: 1,02 m ²	0,49	3,10
Area 2: 2,03 m ²	0,49	2,87
Area 3: 3,05 m ²	0,66	2,95

Tabellen nedan presenterar resultaten för persontäthet där minimum-, och maximumvärde tagits fram för de tre olika analysareorna, vänster sida om mitträcket.

Tabell 5 Resultat för beräkning av persontäthet [person/m²], vänster sida om mitträcket.

Persontäthet [person/m ²]	Minimum	Maximum
Area 1: 1,02 m ²	0,49	3,27
Area 2: 2,03 m ²	0,57	3,12
Area 3: 3,05 m ²	0,38	2,90

Ur analysen uppfattades att det var en relativt stor variation i hur många personer som gick i trappan och hur jämt dessa fördelade sig, vilket även går att se i tabellerna ovan. Värdena varierar ganska mycket i de olika stora areorna vilket tyder på att fördelningen av människor varierar över trappan.

Tabellerna nedan presenterar ovanstående resultat men i m²/person istället, detta för att senare enklare kunna jämföra med tidigare studier som presenterats i m²/person.

Tabell 6 Resultat för beräkning av persontäthet [m²/person], höger sida om mitträcket.

Persontäthet [m ² /person]	Minimum	Maximum
Area 1: 1,02 m ²	0,32	1,36
Area 2: 2,03 m ²	0,36	1,47
Area 3: 3,05 m ²	0,34	1,10

Tabell 7 Resultat för beräkning av persontäthet [m²/person], vänster sida om mitträcket.

Persontäthet [m ² /person]	Minimum	Maximum
Area 1: 1,02 m ²	0,31	1,36
Area 2: 2,03 m ²	0,32	1,35
Area 3: 3,05 m ²	0,35	2,37

4.2 Flöde

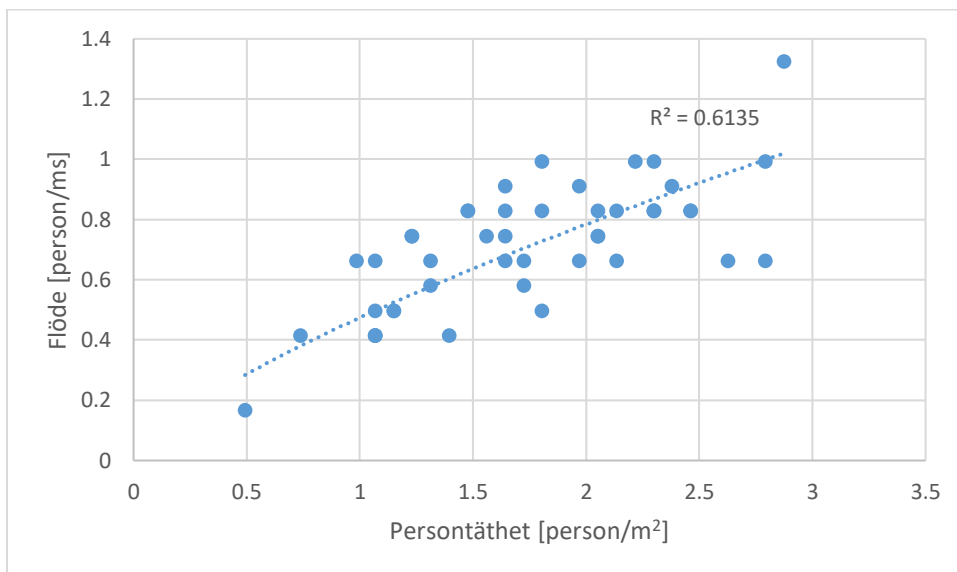
Resultatet för flödet är oberoende av analysareans storlek eftersom den översta referenslinjen ligger över samma trappsteg för alla tre areorna. Eftersom persontätheten varierar mellan analysareorna så har flödet valt att presenteras som förhållande till persontätheten för analysarea två.

Tabellen nedan presenterar minimum-, och maximumvärde för flödesberäkningar över referenslinje 1.

Tabell 8 Resultat för flödesberäkningar.

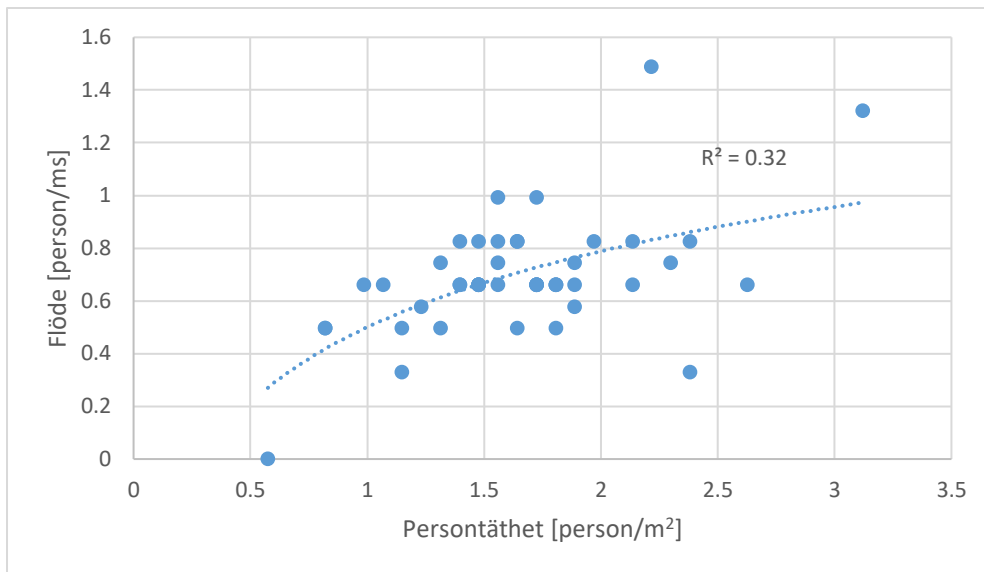
Flöde [person/(ms)]	Minimum	Maximum
Höger sida	0,17	1,32
Vänster sida	0,33	1,49

I figuren nedan presenteras flödet i förhållande till persontätheten för höger sida om mitträcket.



Figur 21 Flöde i förhållande till persontäthet, höger sida om mitträcket.

I figuren nedan presenteras flödet i förhållande till persontätheten för vänster sida om mitträcket.



Figur 22 Flöde i förhållande till persontäthet, vänster sida om mitträcket.

Ur figurerna nedan syns en spridning i värdena, det är dock ganska tydligt att flödet tenderar att öka när persontätheten ökar, både för höger och vänster sida om mitträcket.

Utifrån analysen verkar det inte som att de olika sidorna om mitträcket påverkar varandra vad avser flödet. Det kan vid vissa tidpunkter vara ett högt flöde på ena sidan mitträcket medan flödet är lågt på andra sidan mitträcket.

Trendlinjen har utifrån R^2 värdet valts till en potens för högersida mitträcket och logaritmisk trendlinje vänster sida om mitträcket. Att det är olika för de båda sidorna beror på att R^2 värdet stämde bättre överens med en potens för höger sida och en logaritm för vänstersida. Trendlinjen för flödet borde för båda sidor mitträcket egentligen vara en andra grads potens men de värden som presenteras i rapporten passade inte för den typen av trendlinje.

4.3 Hastighet

Hastigheten som presenteras i detta avsnitt är beräknad som den horisontella hastigheten enligt ekvationen i avsnitt 3.5.4 Hastighetsberäkningar.

I tabellen nedan presenteras minimum-, och maximumvärde för hastigheten höger sida om mitträcket. Tiden mellan de två referenslinjerna tagits för samma person över alla tre analysareor.

Tabell 9 Resultat för hastighetsberäkningar, höger sida om mitträcket.

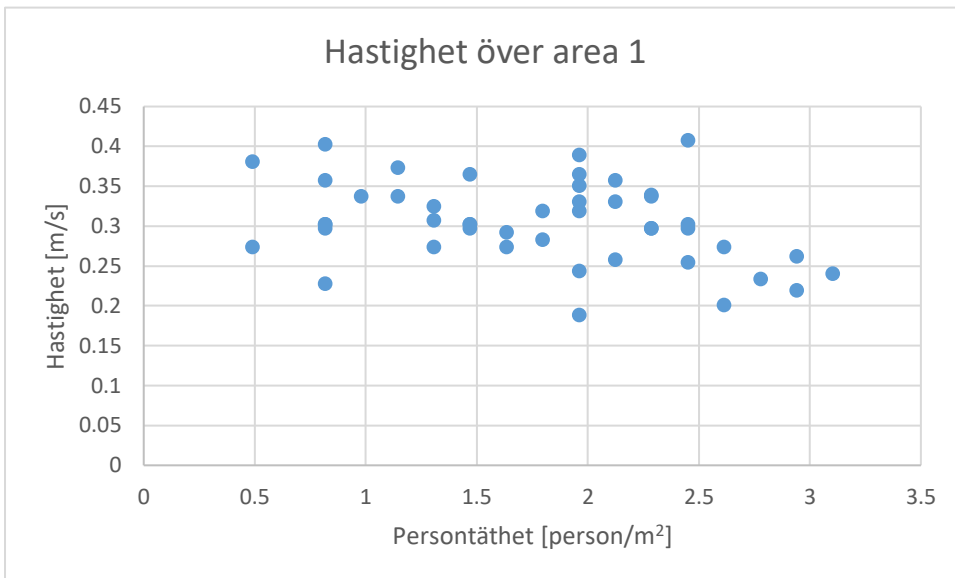
Hastighet [m/s]	Min	Max
Avstånd 1: 0,84 m	0,19	0,41
Avstånd 2: 1,68 m	0,22	0,43
Avstånd 3: 2,52 m	0,23	0,47

Ur tabellen går det att avläsa en variation mellan värdena för de olika stora areorna. Resultatet tyder på att personen inte bibehåller samma hastighet över arean, så beroende på var

referenslinje två placeras så kan värdet på hastigheten variera. Utifrån resultaten verkar det som att hastigheten ökar något längs trappan.

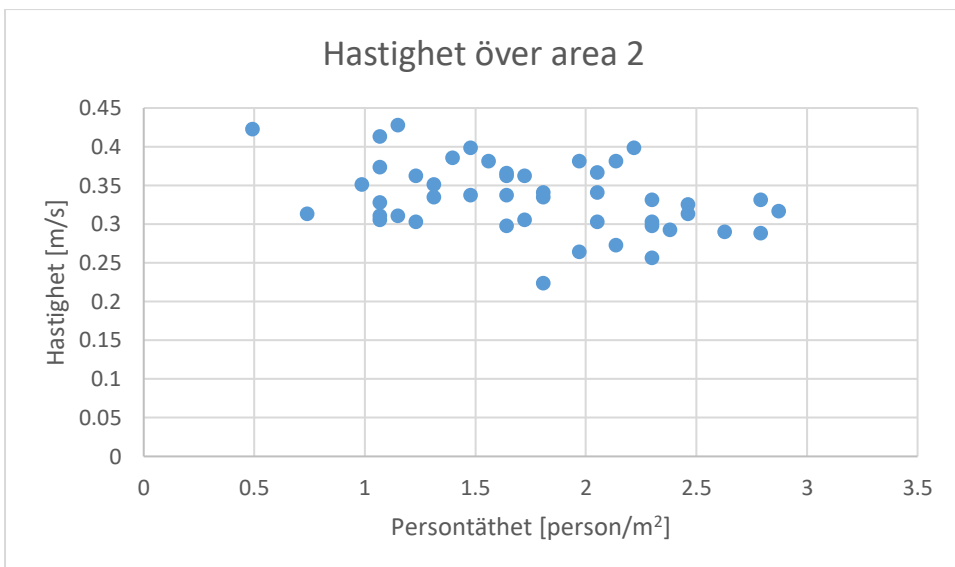
Diagrammen nedan presenterar hastigheten i förhållande till persontätheten över de olika areorna, höger sida om mitträcket. Genom att studera diagrammen tycks hastigheten vara oberoende av persontätheten.

Figuren nedan visar hastigheten i förhållande till persontätheten över analysarea 1, höger sida om mitträcket.



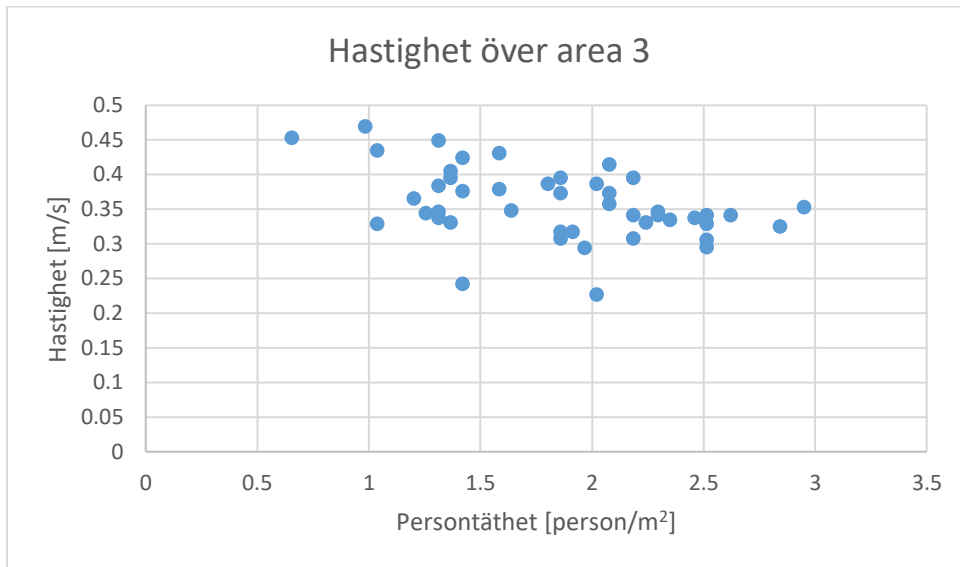
Figur 23 Hastighet i förhållande till persontäthet över area 1, höger sida om mitträcket.

Figuren nedan visar hastigheten i förhållande till persontätheten över analysarea 2, höger sida om mitträcket.



Figur 24 Hastighet i förhållande till persontäthet över area 2, höger sida om mitträcket.

Figuren nedan visar hastigheten i förhållande till persontätheten över analysarea 3, höger sida om mitträcket.



Figur 25 Hastighet i förhållande till persontäthet över area 3, höger sida om mitträcket.

I tabellen nedan presenteras minimum-, och maximumvärde för hastigheten vänster sida om mitträcket. Tiden mellan de två referenslinjerna har tagits för samma person över alla tre analysareor.

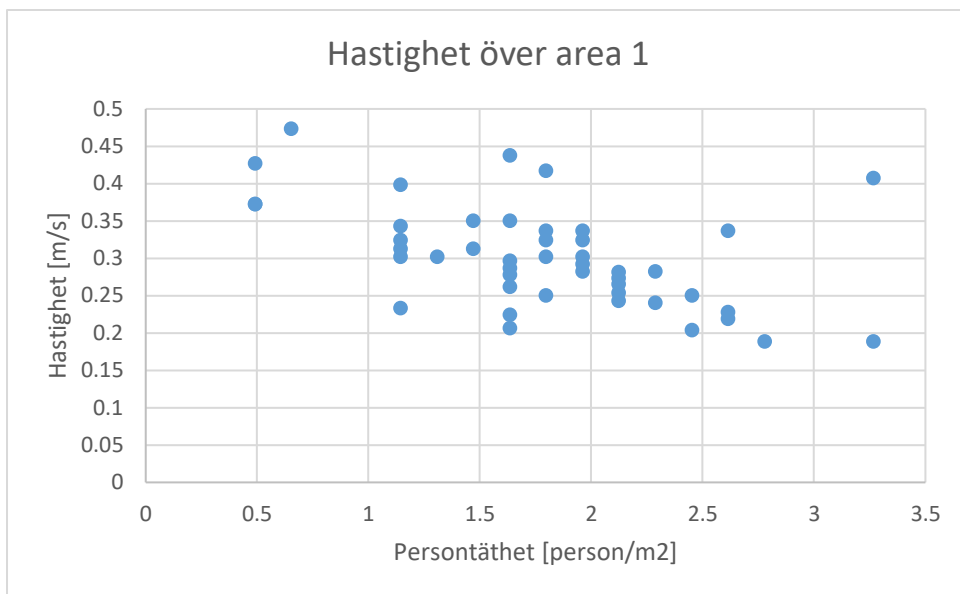
Tabell 10 Resultat för hastighetsberäkningar, vänster sida om mitträcket.

Hastighet [m/s]	Min	Max
Avstånd 1: 0,84 m	0,19	0,47
Avstånd 2: 1,68 m	0,20	0,48
Avstånd 3: 2,52 m	0,23	0,49

Även här går det att avläsa en variation mellan värdena för de olika stora areorna där det verkar som att hastigheten ökar något längs trappan.

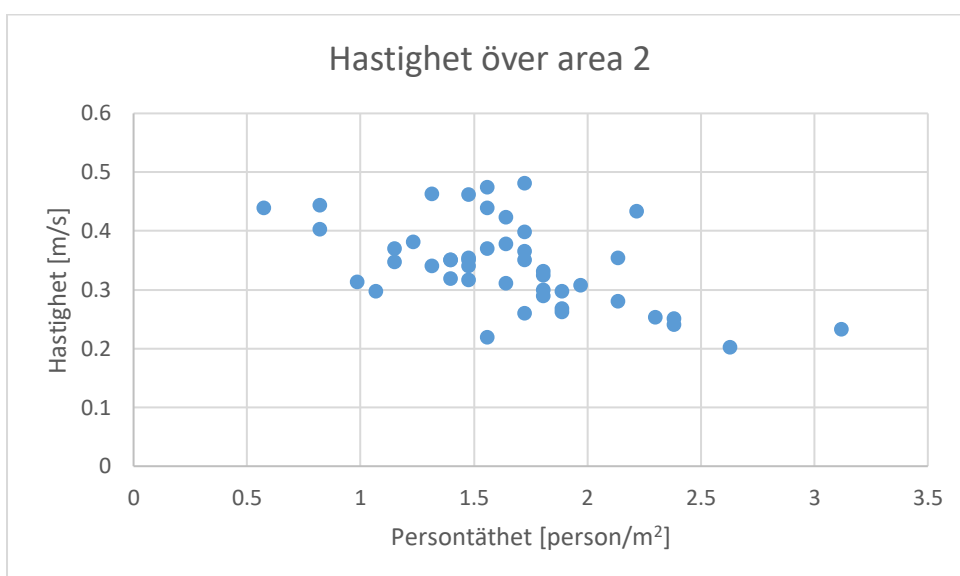
Diagrammen nedan presenterar hastigheten i förhållande till persontätheten över de olika areorna, vänster sida om mitträcket. Genom att studera diagrammen tycks hastigheten även här vara oberoende av persontätheten.

Figuren nedan visar hastigheten i förhållande till persontätheten över analysarea 1, vänster sida om mitträcket.



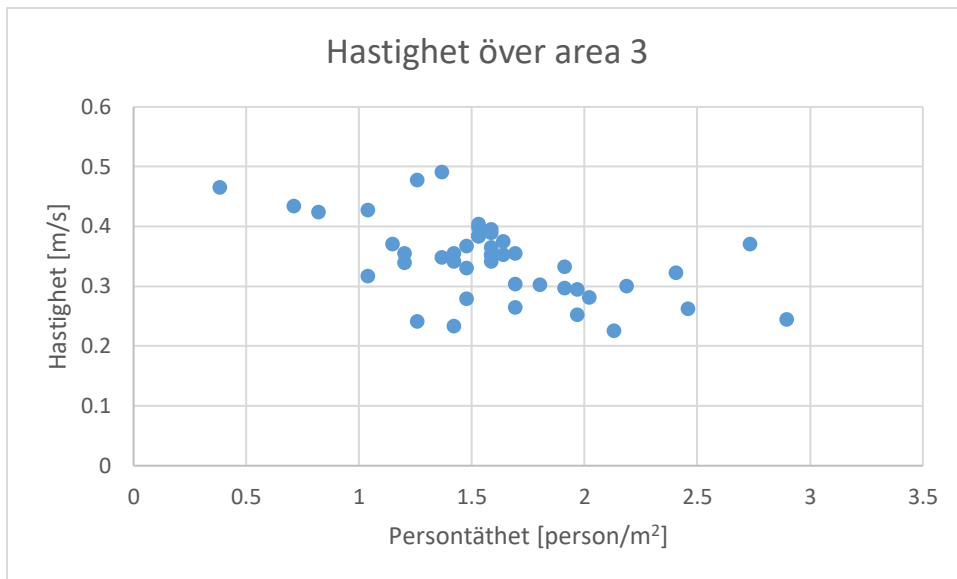
Figur 26 Hastighet i förhållande till persontäthet över area 1, vänster sida om mitträcket.

Figuren nedan visar hastigheten i förhållande till persontätheten över analysarea 2, vänster sida om mitträcket.



Figur 27 Hastighet i förhållande till persontäthet över area 2, vänster sida om mitträcket.

Figuren nedan visar hastigheten i förhållande till persontätheten över analysarea 3, vänster sida om mitträcket.

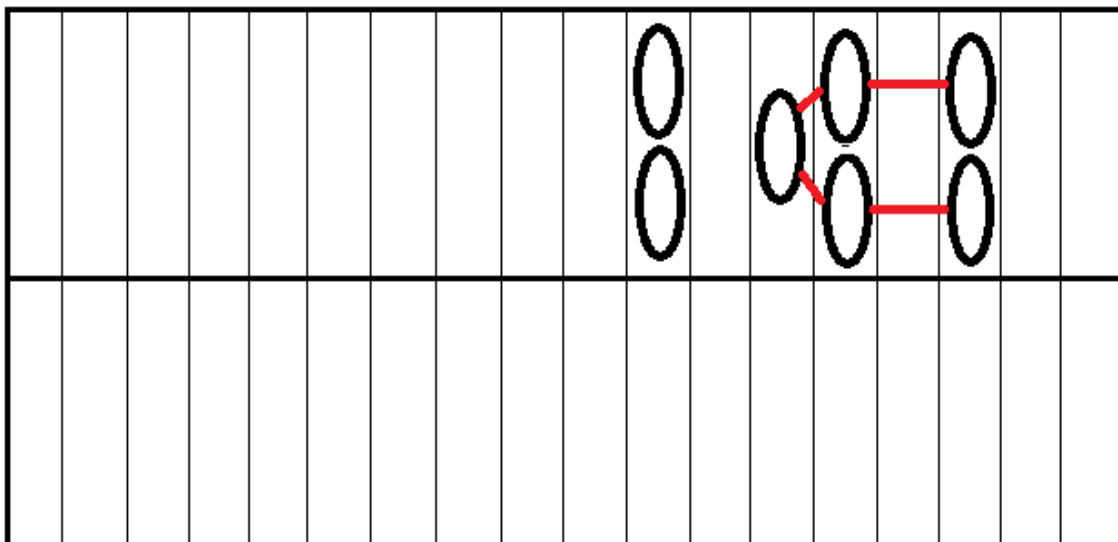


Figur 28 Hastighet i förhållande till persontäthet över area 3, vänster sida om mitträcket.

Vad gäller hastigheten för de olika sidorna mitträcket så verkar det som att hastigheten på den ena sidan vid vissa fall påverkar hastigheten på det andra sidan. Detta sker till exempel vid tillfällen där två som, visuellt uppfattas, känner varandra placerar sig på var sida mitträcket där de håller gemensam hastighet nerför trappan.

4.4 Människors placering i trappan

Olika konfigurationer som observerades vid analys av filmen presenteras i skissen nedan, det tjocka sträcket i mitten motsvarar mitträcket som delar trappan och de röda linjerna mellan "personerna" beskriver avståndet mellan dem, det vill säga "inter-person distance".



Figur 29 Skiss över olika konfigurationer i trappan.

Varje sida av räcket rymmer ungefär två vuxna personer i bredd. De flesta som går i trappan håller sig till ena sidan av den uppdelade sidan medan vissa går i mitten av trappan. Detta

skapar två olika uppställningar, en där de går i två led ner för trappan och en där de går diagonalt i förhållande till varandra. Beroende på hur de går i förhållande till personen framför bildas olika stort avstånd mellan personerna. Från filmen går det att se att vad gällande avståndet mellan de så påverkas inte personerna av de bredvid sig utan endast av de som går rakt framför eller snett framför, detta leder till att en person kan passera vid sidan om en annan utan att påverka dennes rörelse, under förutsättning att personen inte sedan placerar sig framför den som passerats.

Avståndet mellan personerna ser väldigt olika ut både beroende på formationen men även beroende av vilka personer avståndet mäts mellan. I vissa fall blir det enligt avståndsformeln lika stort avstånd till framförvarande oberoende av om de går på led eller diagonalt i förhållande till varandra, förutsatt att avståndet mäts från fotplaceringen mellan personerna som antas placeras mitt på trappsteget.

Det framgår dock att de generellt håller ett längre avstånd till framförvarande med minst ett trappsteg mellan sig vid de tillfällen där de går på led än när de går diagonalt i förhållande till varandra.

Minsta avståndet som uppstår mellan två personer oavsett formation i trappan blir således:

$$0,28 * 1 = 0,28 \text{ m}$$

Detta värdet gäller främst för de situationer där de går diagonalt i förhållande till varandra.

Det vanligaste (minsta) värdet på avstånd för de som går på led blir:

$$0,28 * 2 = 0,56 \text{ m}$$

Vid hög persontäthet så håller de överlag ett avstånd med ett trappsteg mellan sig alltså 0,56 m och vid lägre persontäthet kan avståndet öka.

Persontätheten med hänsyn till avståndet beskrivs som tidigare nämnt av ekvationen nedan.

$$Densitet = \left(\frac{1}{Avståndet}\right)^2$$

De två ovanstående värdena för avstånd mellan två personer ger då för varje enskild person persontätheten nedan:

$$\left(\frac{1}{0,28}\right)^2 = 12,76 \text{ personer}/m^2$$

Respektive

$$\left(\frac{1}{0,56}\right)^2 = 3,2 \text{ personer}/m^2$$

Vid de tillfällen där de går väldigt tätt, utan något trappsteg mellan varandra, så blir persontätheten enligt formeln ovan drygt 12 personer/m² vilket är ett orimligt högt värde.

För att få någorlunda rimliga värden på persontäthet togs då istället ett medelvärde av avstånden mellan personerna inom arean. De tillfällen där två personer står utan något trappsteg mellan varandra gäller oftast endast för de två personerna inom arean medan resterande håller ett längre avstånd, på grund av det kommer persontätheten annars bli för hög om endast avståndet mellan de som står närmast andra används eftersom det avståndet inte gäller för alla inom arean.

Beräkning av medelvärdet av avståndet mellan personer vid de högst observerade tätheterna ger således avstånden respektive densiteten nedan.

$$\frac{(0,28 * 2) + (0,28 * 3) + (0,28 * 2)}{3} = 0,65 \text{ m}$$

respektive

$$\left(\frac{1}{0,65}\right)^2 = 2,34 \text{ personer}/m^2$$

Generellt gäller då enligt denna formeln en persontäthet på 2,34 personer/m².

5 Diskussion

I avsnitten nedan diskuteras väsentliga delar i rapporten. Först diskuteras generella punkter angående observationerna och analysen av filmen sedan diskuteras resultaten jämfört med tidigare studier.

5.1 Observationer

I det här avsnittet presenteras generella punkter angående observationerna som gjorts.

Eftersom de första filmningarna blev misslyckade på grund av problem med tekniken och brist på tid så har endast en film kunnat användas för analysering, optimalt för resultatet hade varit att få till fler inspelningar. Dock är filmen som analyserats i rapporten relativt representativ utifrån de observationer som gjorts på arenan. Även om endast en film gick att analysera så har ett flertal matcher besökts och trappan har vid varje tillfälle studerats vid utrymning efter avslutad match och antalet utrymmande och fördelningen av dessa har vid alla tillfällen varit liknande det tillfälle som även observerades med hjälp av filmkameran.

Vårt att nämna är även att analysen endast grundar sig på visuella observationer från filmningen, vilket självklart kan påverka resultaten. Osäkerheter med att endast visuellt observera filmer är att bedömningar av olika parametrar kan variera beroende på vem det är som studerar filmen vilket gör att resultaten kan variera.

5.1.1 Trapputformning och människors placering i trappan

Rapporten bygger på endast en trapputformning vid en verksamhet. Genom att studera olika verksamheter och olika trapputformningar hade resultatet kanske blivit annorlunda. Någoting som kan påverka hur människor rör sig är hur väl de känner personerna runtomkring sig. Vid utrymning av tex ett kontor hade avståndet mellan personerna kanske varit närmre då det antas att de flesta känner varandra och vid andra verksamheter hade avståndet kanske blivit större. Från analysen uppfattas det dock inget obehag av att befinna sig nära andra personer. Detta kan ha att göra med någon form av sammanhållning mellan personerna på arenan dvs med tanke på det gemensamma intresset för sporten men även med tanke på att de flesta som går på ishockeyn är trogna besökare och vana vid den typen av interaktion med andra människor och trängsel, det är av de flesta ganska förväntat innan de besöker arenan för en match.

Ett rakt trapplopp som används i den här rapporten kan ge annorlunda resultat än om en trappa med vilplan hade studerats, som i exempelvis ett trapphus. Vid utrymning via trappor är det ofta just trapphus som används, i en trappa med sådan utformning kan det förväntas ett annat resultat då de utrymmande kan bromsas upp av att trappan byter riktning efter varje vilplan och personerna måste vrida sig 90 eller 180 grader beroende på trappans utformning för att fortsätta ner, det kan också ge skillnad på hur nära personer står i trappan respektive vilplanet.

Trappan som använts vid observationerna ansluter endast två plan där det på så sätt endast bildades en kö till trappan från ett plan. Utrymning av fler plan leder troligtvis till kö från fler än ett plan och systemet som uppstår för huruvida man släpper in nya personer från de olika planen in i trappan kan påverka rörelsen i trappan och därmed värdena på persontäthet, flöde och hastighet.

Trappan delades som nämnt upp av ett mitträcke där de båda sidorna om räcket studerades enskilt. På grund av detta ser den analyserade arean olika ut för den sidan trappan begränsas av en vägg och den sidan där mitträcket sitter. Fruin (1971) beskriver ett moment i rörelsen som kallas *body-sway* vilket gör att människor upptar en större yta vid rörelse än när de står still. Den sidan som inte begränsas av en vägg ger personerna mer utrymme att röra sig på i sidled vilket gör att det är möjligt att röra sig något närmre mitträcket än det räcket som sitter vid väggen. Att personerna skulle gå närmre mitträcket än väggen på grund av att det finns plats att "gunga över" räcket en bit med överkroppen är dock inget som noteras i filmen, det verkar alltså som att personerna går ungefär lika nära väggen som mitträcket om avståndet mellan fotplaceringen och väggen/mitträcket studeras.

5.1.2 Urvalsgrupper

I rapporten har det inte tagits någon hänsyn till olika urvalsgrupper vilket också kan påverka resultatet av utrymning via en trappa. På arenan som använts för observation är dock åldersgrupperna väldigt varierande, allt från små barn till äldre och personer med rörelsevårighet och därmed är rörelsen i trappan varierad. Med tanke på den stora variationen av människor ger resultaten troligtvis en rimlig jämförelse med ett utrymningsscenario.

5.2 Persontäthet, flöde och hastighet

Det går ur resultaten generellt inte att avläsa exakta värden på persontäthet, flöde och hastighet även om entydiga resultat från mätningarna hade varit önskvärt. Men rapporten bygger inte på en exakt vetenskap utan det intressanta är att studera tendenser. Det kan till och med vara en fördel eftersom utrymningsdimensionering är behäftad med stora osäkerheter, som alltid när människor är inblandade. Det kan därför vara farligt att tro att resultaten är exakta.

Värdena mellan höger och vänster sida om mitträcket skiljer sig något, höger sida är den sidan som är närmst läktarna som människorna kommer från när de ska ut och det hade därför kunnat förväntas att det är den sidan som flest kommer att utrymma från. Flödet är dock högre på vänster sida än höger vilket tyder på att det inte finns någon direkt struktur i hur de väljer vilken sida de går på. Utifrån observationerna verkar detta bero mer på var i klungan ovanför trappan de hamnar. Det enda som observeras påverka mellan de båda sidorna är hastigheten vid vissa tillfällen. Hastigheten på ena sidan trappan kan påverka hastigheten på andra sidan trappan. Detta verkar dock endast ske när två personer som känner varandra utrymmer vid var sida mitträcket och går med gemensam hastighet nerför trappan på grund av ett pågående samtal eller liknande.

För att beräkna persontätheten som antal personer dividerat med arean så har alla personer oavsett storlek räknats som en person, detta betyder att det vid vissa tillfällen blir en ganska hög persontäthet eftersom tex barn som upptar mindre plats än en vuxen fortfarande räknas som en person. Eftersom barnen är mindre till storlek så kan ytan rymma fler personer än om det endast hade varit vuxna personer i trappan.

Persontätheten varierar dessutom beroende på vilken del av trappan som studeras.

Anledningen till detta beror förmodligen till största del på hur många som går i trappan, flödet in, och hur personerna förhåller sig till varandra. Det är också därför som persontätheten har beräknats genom att ta medelvärdet för persontätheten vid tre olika tidpunkter inom ett fem sekunders intervall. Persontätheten hade troligtvis inte varierat lika mycket om det hade varit ett jämnt flöde och en jämn hastighet genom hela utrymningen. På grund av detta kan det då

gå att resonera kring huruvida det är persontätheten som påverkas av flöde och hastighet och inte tvärtom.

I analysen har den verkliga bredden använts dividerad på två, eftersom sidorna av mitträcket analyserats enskilt. Dock uppmärksammas det från filmningen att inte hela bredden använts. Precis som Pauls nämner i sin teori om effektiv bredd så uppstår det ett smalt gränsskikt närmast kanterna som inte utnyttjas, gränsskiktet uppfattas vara ungefär lika stort vid mitträcket som vid väggen. På grund av detta blir värdena på persontätheten något lägre än om den effektiva bredden hade använts.

Det märks även tydligt från filmen att konfigurationen spelar stor roll när det kommer till persontätheten. De som går i led håller generellt ett längre avstånd till framförvarande än om de går diagonalt i förhållande till varandra vilket gör att persontätheten påverkas av hur de står i förhållande till de runt omkring sig. De personer som går väldigt nära varandra, vilket i det här fallet definieras som en person placerad på var trappsteg, är ofta de där det tydligt framgår att de känner varandra väl. Generellt håller de minst ett trappsteg till framförvarande person då de går på led. Rörelsen hos personerna när de går diagonalt i förhållande till varandra gör att de kan gå närmre varandra utan att riskera att trampa varandra på fötterna, de går då i jämn takt ned ett steg med motsatt ben som den framförvarande går ned med.

De tre analysareorna placerade över trappan bygger på att endast referenslinje två flyttas för att öka arean medan referenslinje ett är placerad över samma trappsteg hela tiden. På grund av detta är flödet in lika stort oavsett vilken analysarea som studeras. I resultatet presenteras flödet som förhållande till persontäthet endast för en analysarea vilket gör att det inte går att avläsa några exakta värden på flödet vid en persontäthet då det vid en annan area hade blivit samma flöde men en annan persontäthet. Det som dock går att ta med sig från resultatet för flöde är att flödet ökar när persontätheten ökar, vilket stämmer oavsett vilken area som hade använts till diagrammet.

Vad gäller hastigheten så verkar den vara mindre beroende av persontätheten och mer beroende av människorna i trappans egenskaper, är det en klunga med yngre människor så kan de hålla en relativt hög hastighet trots hög persontäthet, är det däremot en äldre person som begränsar hastigheten för bakomvarande så kan hastigheten vara låg även om persontätheten är låg. Generellt hade det kanske kunnat förväntas vara tvärtom, att hastigheten minskar med ökad persontäthet, att det inte gör det tyder än en gång på att personernas karaktär och egenskaper spelar stor roll för utrymningen.

Trappan är tillräckligt bred för två personer att gå i bredd på var sida om mitträcket. Vid vissa tillfällen uppfattas då en formation av två led där det ena ledet håller en något högre hastighet än det andra vilket leder till att värdena på hastigheten kan variera beroende på vilken person som antas begränsa hastigheten. Det hade då, så här i efterhand, kanske varit bättre att dessutom studera de olika placeringarna i trappan enskilt avseende hastigheten.

I vissa fall stannar de utrymmande, av olika anledningar, upp i rörelsen tex för att vänta in någon. Detta påverkar resultatet på hastigheten eftersom rörelsen inte blir jämn. I vissa fall tittar de utrymmande även på mobilen vilket kan påverka vilken hastigheten de väljer att hålla i trappan, i ett utrymningsscenario är det troligtvis ingen som tittar på mobilen under tiden de utrymmer.

Avståndet mellan personer i olika konfigurationer kan variera. Minsta värdet som uppfattas oavsett konfiguration i trappan är 0,28 m vilket uppstår när det inte finns ett helt trappsteg mellan två personer, detta avstånd är dock vanligare när de går diagonalt i förhållande till varandra. Generellt uppfattas det vanligaste avståndet oavsett konfiguration som 0,56 m, alltså ett trappsteg mellan personerna. Avståndet mättes som tidigare nämnt mellan två personers fotplacering, osäkerheten med att mäta på det viset istället för avståndet mellan personer i midjehöjd är att det inte tas hänsyn till personens kroppsbyggnad och hur stor yta de tar upp.

Vid beräkning av ”*inter-person distance*” antas ett lika stort avstånd mellan personerna i alla riktningar vilket inte riktigt stämmer. Genom att då räkna ut persontätheten för varje enskild individ så kan det bli ganska höga värden på persontäthet, värden som kanske inte känns helt rimliga. Står det endast två personer i hela trappan med ett visst antal trappsteg mellan sig så följer det då att avståndet är lika stort i sidled vilket inte stämmer då bredden på trappan endast är 1,21 m på var sida mitträcket, hur som helst så är detta en inbyggd osäkerhet i att använda sig av den formeln för persontäthet. Det finns olika sätt att transformera mellan persontäthet och avstånd men det bygger på förenklade antagande som tex att personerna står symmetriskt och med lika täthet. Det verkar utifrån detta kanske bättre att beskriva persontätheten utifrån antal personer dividerat med arean och sedan beskriva avståndet mellan personer enskilt. Hur tätt personerna väljer att gå verkar dessutom vara mer beroende av hur väl de känner varandra eller är bekväma med att gå nära en annan person än hur mycket människor det är som ska utrymma.

De första beräkningarna som gjordes på persontäthet med hjälp av formeln för *inter-person distance* tog bara hänsyn till de två personerna inom analysarean som höll närmast avstånd till varandra. Detta gav således en väldigt hög persontäthet vilket inte riktigt stämde eftersom inte alla personer inom arean gick så nära. Därför beräknades sedan persontätheten med hjälp av medelvärdet för avstånden mellan personerna i arean vilket gav ett mycket bättre resultat. På grund av tidsbrist gjordes denna senare beräkning endast för ett tillfälle där en av de högre tätheterna visuellt uppfattades från filmen. Önskvärt hade varit att beräkna densiteten på det här viset för alla tidsintervall som densiteten antal personer/area beräknades för att sedan kunna jämföra dessa värden med varandra och i slutändan få fram tydligare bild av huruvida de olika beräkningssätten skiljer sig åt resultatmässigt.

Hursomhelst, utifrån det värde på persontäthet som framkom genom att ta medelvärdet för avstånden mellan personerna inom arean så ligger resultaten relativt nära de värden som framkom genom att ta antal personer/area.

5.3 Resultat jämfört med tidigare studier

Fruin (1971) beskriver sitt level of service-koncept där man vid konstruktion av trappor bör överväga den mänskliga karaktärens roll, det vill säga vilken typ av människor som förväntas vistas i byggnaden, vilket leder till att utrymmen i olika miljöer kräver olika utformning. Nivåerna ligger mellan A-F och beror på hur tätt människor står eller går i olika miljöer. Genom att studera resultaten för värden på persontäthet som uppnås i trappan ligger de generellt, utifrån medelvärdet på persontäthet, inom nivå D i konceptet. Detta gäller både för höger och vänster sida. Studeras lägsta och högsta värden så varierar dessa dock från A som lägsta nivå vid maximal persontätheten på vänster sida till F som högsta nivå för den lägsta persontätheten på båda sidor.

Utifrån level of service-konceptet nämner Fruin även att vid ett personflöde på högre än 0,66 personer/(ms) finns det risk för köbildning och vid ett flöde på mer än 1,00 personer/(ms) så

är sannolikheten för köbildning mycket stor. När filmen studeras så uppfattas aldrig någon direkt köbildning då det hela tiden finns en rörelse i trappan, trots höga värden på flöde. Anledningen till det kan bero på en del olika faktorer men förmodligen framförallt eftersom fördelningen av människor och förhållandet i trappan ser väldigt olika ut beroende på vilken del av trappan som studeras men det kan även bero på att vid trappans slut anländer de utrymmande till ett ganska stort utrymme vilket gör att persontätheten efter trappan genast blir mycket lägre och det går på grund av detta att ha en konstant rörelse i trappan.

Det enda som uppfattas vad gällande köbildning är vid de tillfällen en person med högre hastighet kommer ifatt en med lägre hastighet. När detta sker blir personen med den högre hastigheten tvungen att stanna upp i sin rörelse för att sedan kunna fortsätta med samma hastighet som framförvarande.

Pauls nämner att vid 4–5 personer/m², vilket motsvarar nivå F i Fruins level of service-koncept, blir rörelsen i princip stillastående och resultaten som Pauls presenterar i Figur 6 visar att hastigheten minskar med ökad persontäthet. Även Khisty respektive Predtechenskii och Milinskii presenterar i Figur 7 respektive Figur 10 resultat som visar att hastigheten minskar med ökad persontäthet. Som nämnt tidigare i diskussionen så kan persontätheten påverka hastigheten men det går inte att säga någonting om att det alltid är så. Vid de tillfälle där det är uppenbart att personerna inom arean känner varandra så kan persontätheten vara hög men beroende på ålder och fysisk kapacitet så kan de trots den höga persontätheten hålla en hög hastighet i trappan, på samma sätt som att hastigheten kan vara låg då persontätheten är låg. Andra rapporter som tex Åhlgårds (2017), *Building occupant movement in wide descending stairs*, landar dock i samma resultat som i denna rapporten, att hastigheten verkar vara oberoende av persontätheten.

Khisty presenterar i Figur 8 förhållandet mellan personflöde och persontäthet, diagrammet visar att flödet förväntas öka med ökad persontäthet upp till ungefär 2,2 personer/m² för att sedan minska med ytterligare ökad persontäthet. Pauls noterar likt Khisty att flödet ökar fram till omkring 2,0 personer/m² för att sedan minska. Resultatet för flöde i förhållande till persontäthet i denna rapporten tyder på att flödet tenderar att öka med ökad persontäthet och det går att tyda en viss pik i diagrammen men det är en ganska stor spridning i värdena, det är därför svårt att se hur väl detta stämmer överens med Khisty och Pauls resultat. Rent teoretiskt skulle det kanske gå att beskriva det som att persontätheten ökar med ökat flöde istället för tvärtom, det gör det dessutom rimligt att värdet på flöde minskar igen vid en hög persontäthet.

Flödet i förhållande till persontätheten har som nämnts tidigare i rapporten valts att presenteras för analysarea två, hade en av de andra analysareorna valts istället hade förhållandet kunnat se annorlunda ut. Flödet in är hursomhelst, som även beskrivits tidigare i diskussionsdelen, lika stort oavsett vilken area i trappan som studeras eftersom referenslinjen som flödet räknas över är placerad över samma trappsteg för alla areor. Eftersom persontätheten varierar så mycket över trappan är det därför svårt att göra en jämförelse mellan flöde och persontäthet.

Pauls nämner att rörelsen hos personer som observeras vid normal byggnadsanvändning och vid utrymningsövningar ger en bra grund för att utveckla riktlinjer för design och användning av nödutgångar. Han menar då på att personer inte bör antas reagera eller förflytta sig snabbare vid en nödsituation än vid en normal situation. Khisty däremot har tagit fram resultat som skiljer sig mellan en normal situation och en utrymningsituation, där värdena för

utrymningssituationen utgår ifrån en övning där personerna inte visste om att det skulle ske en utrymningsövning. Enligt Frantzich och Pauls kan de förhållande som råder vid en övning jämföras med de som råder vid en riktigt utrymningssituation. Vid nödsituation varierade persontätheten mellan 1,40–1,96 person/m² jämfört med normala situationer där persontätheten varierade mellan 1,38–1,66 person/m². Jämförelse med resultaten för maxvärdet på persontäthet i den här rapporten, för både höger och vänster sida om mitträcket, visar att persontätheten ligger över de resultat som Khisty redovisar, persontätheten i trappan som observerades är alltså högre än Khistys värden vid både nödsituation och vid normala förhållande.

Khisty redovisar även från sina försök en maxhastighet och flöde för nödsituation respektive normala förhållande. Resultaten visar en maxhastighet på 0,7 m/s respektive 0,56 m/s och ett flöde på 0,9 person/ms respektive 1,00 person/ms. Resultaten givna i denna rapporten visar en maxhastighet som är lägre än de som Khisty tagit fram för nödsituation och det högsta flödet över referenslinje ett, för både höger och vänster sida, är högre än de Khisty angivit.

Med stöd från sin undersökning rekommenderar Khisty för trappor en maximal persontäthet på 1,42 person/m² och ett flöde på 0,98 person/ms. Resultaten i rapporten visar en maximal persontäthet på 3,10 person/m² respektive 3,27 person/m² och ett maximalt flöde på 1,32 person/(ms) respektive 1,49 person/(ms) för höger respektive vänster sida om mitträcket. Dessa värden ligger högre för både persontätheten och flödet än de värden som Khisty rekommenderar.

I SFPE (1995) beskrivs optimala förhållande för evakuering nerför en trappa som en persontäthet på 2,0 person/m², en hastighet på 0,5 m/s och ett flöde på 1,18 person/(ms). Studeras de maximala värden på persontäthet, flöde och hastighet i denna rapport så är värdena för persontäthet och flöde högre än det som SFPE (1995) beskriver som optimalt och värdena för hastighet är lägre.

Det har för en del tidigare studier varit svårt att veta vilken typ av verksamhet resultaten är framtagna för då tidigare studier har gjorts för både utrymning av kontorsbyggnader men även för sportarenor. Det är därför svårt att säkerställa huruvida jämförelser mellan resultaten i den här rapporten och tidigare studier ger en bra bild över skillnaderna i persontäthet, flöde och hastighet.

6 Slutsats

Syfte och mål med den här rapporten var att studera om de värden på persontäthet och flöde som används idag stämmer eller om de har ändrats med tiden och befolkningens geografi och undersöka hur persontätheten ser ut i relation till flöde och hastighet i trappor genom att observera människors förflyttning i verkliga miljöer.

Rapporten ger en fingervisning på hur människor rör sig i verkliga miljöer, eftersom de första filmningarna blev misslyckade på grund av problem med tekniken och brist på tid så har endast en film kunnat användas för analysering, optimalt för resultatet hade varit att få till fler inspelningar. Analysen grundar sig endast i visuella observationer från filmningen, vilket kan påverka resultatet.

Frågeställningen för rapporten var följande:

- Hur påverkar persontätheten hastighet och flöden i trappor?
- Hur har persontäthet, flöde och hastighet förändrats sedan de värden som används som rekommendation av tidigare forskare togs fram?
- Hur påverkas avståndet mellan personer vid olika konfigurationer i trappan?

De viktigaste resultaten presenteras nedan:

- Persontätheten varierar beroende på vilken del av trappan som studeras, maximala värden på persontätheten över de olika areorna varierar mellan 2,87–3,27 person/m² vilket är en högre persontäthet än vad som tagits fram av tidigare forskare.
- Utifrån resultat och tidigare diskussionsdel så verkar hastigheten inte vara så beroende av persontätheten utan studien indikerar i att de utrymmandes egenskaper och relation till varandra verkar ha större betydelse för hur tätt personerna går och vilken hastighet de håller i trappan. För att ta reda på hur persontätheten påverkar hastigheten hade det därför kanske varit en fördel att studera olika typer av urvalsgrupper än som i det här fallet varierade åldrar. Maxhastigheten för trappan som observerats ligger mellan 0,41–0,49 m/s vilket är något lägre än vad tidigare studier visat.
- Vad gäller flödet så tyder resultaten på att flödet ökar när persontätheten ökar, värdena för flöde i förhållande till persontäthet är dock väldigt spridda. Maxvärde på flödet över referenslinje 1 är 1,32 person/(ms) för höger sida mitträcket och 1,49 person/(ms) för vänster sida mitträcket. Dessa värden är högre än vad tidigare studier rekommenderat som maximalt flöde.
- Människornas placering i trappan verkar spela roll i hur tätt personerna går i förhållande till varandra, generellt håller de ett närmre avstånd till framförvarande när de går diagonalt i förhållande till varandra än när de går på ett rakt led. Hur förhållanden och avstånd mellan olika personer ser ut beror dock mycket på personens egenskaper och hur väl de känner personerna runt omkring.

7 Förslag till fortsatt arbete

De resultat som framkommit ur denna rapport tyder på att värden på persontäthet, flöden och hastigheter som tagits fram genom observationerna skiljer sig något mot de värden som tagits fram i tidigare studier, åtminstone för den här typen av verksamhet.

Rapporten bygger endast på en trapputförning vid en arena, därför skulle fortsatt arbete, av liknande karaktär, men med större omfattning eller med olika infallsvinklar vara intressant.

Nedan presenteras några förslag på vidare studier i punktform.

- Studera och jämföra flöden och gånghastigheter i trappor i olika miljöer, till exempel arenor, kontor, skolor, handelslokaler och i transportsystem.
- En del forskare påstår att det inte borde antas att människor förflyttar sig eller reagerar snabbare vid en utrymningssituation än vid normala förhållande medan andra forskare har tagit fram värden som signifikant skiljer sig mellan de olika situationerna. På grund av detta hade det därför varit intressant att göra en studie liknande denna rapport samt jämföra med en utrymningssituation, där larmet aktiveras, för samma byggnad, till exempel med en utrymningsövning som grund.
- Som nämnt så är denna rapport även avgränsad till att endast studera utrymning från ett plan. Det hade varit intressant i en vidare studie att undersöka olika kösituationer vid till exempel utrymning från fler plan. En frågeställning kan således vara att studera var köer uppstår, sker det i trappan eller i de olika planen till trappan?

Litteraturförteckning

Frantzich, H., (1996). *Study of movement on stairs during evacuation using video analyzing techniques*. Rapport 3079. Lund: Lunds Universitet (s.16–18).

Frantzich, H., (1992). *Utrymningsvägars fysiska kapacitet*. Sammanställning och utvärdering av kunskapsläget, Lund: Lunds Universitet.

Fruin, J. J., (1971). *Pedestrian Planning and Design*. New York: Metropolitan Association of Urban Designers and Environmental Planners, INC.

Gustafsson, P., (2016). *A Study on Movement Down Spiral Staircases*. Rapport 5533. Lund: Lunds Universitet.

Kuligowski, E. D., Peacock, R. D., Reneke, P. A., Wiess, E., Hagwood, C. R., Overholt, K. J., Elkin, R. P., Averill, J. D., Ronchi, E., Hoskins, B. L., Spearpoint, M., (2015). *Movement on Stairs During Building Evacuations*. National Institute of Standards and Technology, Technical Note 1839.

Pauls, J., (1995). *Movement of people*. DiNunno, P. J., Beyler, C. L., Custer, R. L. P., Walton, W. D., Watts, Jr, J. M., Drysdale, D., Hall, J. R., (red.). *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. 2. Uppl. Quincy: National Fire Protection Association, (3-263 – 3-285).

Predtechenskii, V. M., Milinskii, A. I., (1969). *Planning for Foot Traffic Flow in Buildings*. Moskva: Stroiizdat Publisher.

Softonic,. <https://kinovea.en.softonic.com/> (2018).

Spearpoint, M., MacLennan, H., (2012). *The effect of an ageing and less fit population on the ability of people to egress buildings*. Safety Science, 1675–1684.

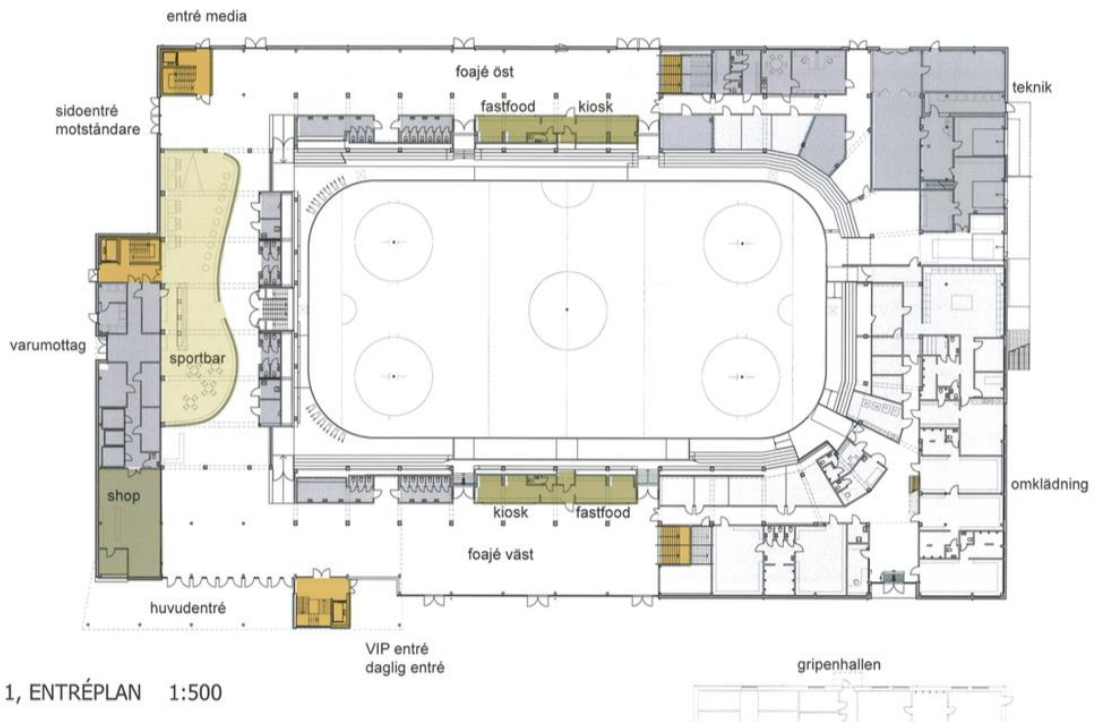
The green guide., (1997). *Guide to Safety at Sports Grounds*. 4. Uppl. Stationery Office, London.

Thompson, P., Nilsson, D., Boyce, K., McGrath, D., (2015). *Evacuation models are running out of time*. Fire Safety Journal, Dec 2014-Sept 2015 (s. 251-261).

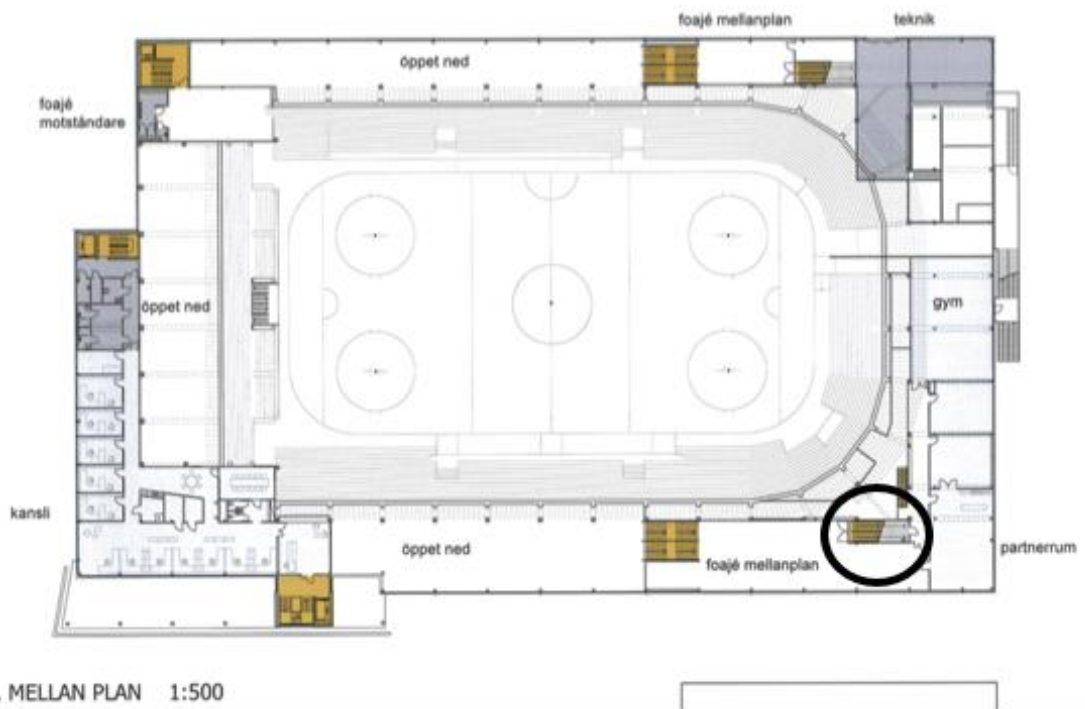
Åhlgård, M., (2017). *Building occupant movement in wide descending stairs*. Rapport 5549. Lund: Lunds Universitet.

Bilaga A

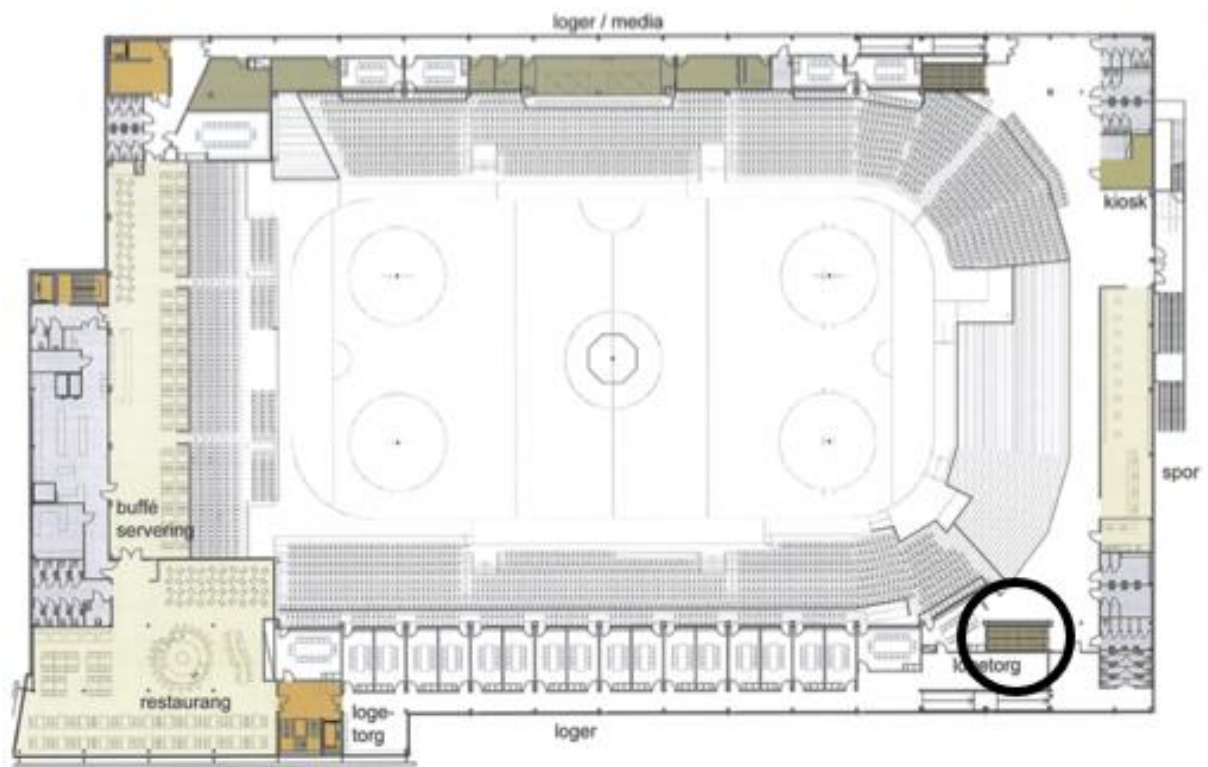
Planskisser för arenan presenteras av figurerna nedan där den inringade trappan är den som använts vid observationerna.



Figur 30 Planskiss Lindab arena, entréplan.



Figur 31 Planskiss Lindab arena, mellanplan.



PLAN 3, ÖVRE PLAN 1:500

Figur 32 Planskiss Lindab arena, övre plan.