



LUND UNIVERSITY

Fysisk ansträngning vid utrymning uppför trappor – Kunskapsöversikt

Delin, Mattias; Norén, Johan

2014

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Delin, M., & Norén, J. (2014). *Fysisk ansträngning vid utrymning uppför trappor – Kunskapsöversikt*. Department of Fire Safety Engineering and Systems Safety, Lund University.

Total number of authors:

2

General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00

Fysisk ansträngning vid utrymning uppför trappor – Kunskapsöversikt

Mattias Delin & Johan Norén

Department of Fire Safety Engineering
Lund University, Sweden

Brandteknik
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet

Lund 2014

Fysisk ansträngning vid utrymning uppför trappor –
Kunskapsöversikt

Mattias Delin
Johan Norén

Lund 2014

Fysisk ansträngning vid utrymning uppför trappor – Kunskapsöversikt
Physical exhaustion during ascending evacuation – A literature review

Mattias Delin
Johan Norén

Report 3179
ISSN: 1402-3504
ISRN: LUTVDG/TVBB--3179--SE

Number of pages: 26

Keywords

Evacuation, egress, exodus, escape, stairs, upward movement, fatigue, design of stairs, ascending evacuation, physical exhaustion

Sökord

Utrymning, trappor, förflyttning uppför långa trappor, fysisk ansträngning, trappors design; uppåtgående utrymning

Abstract

This literature review is an initial part of a larger research project that deals with evacuation upwards long stairs and physical exertion. The literature review focused on identifying the current state of published knowledge regarding how physical exertion influence people when evacuating upward long stairs and if there are specific design requirements for stairs intended primarily for upward movement.

© Copyright: Department of Fire Safety Engineering, Lund University, Lund 2014.

Brandteknik
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 Lund

brand@brand.lth.se
<http://www.brand.lth.se>
Telefon: 046 - 222 73 60
Telefax: 046 - 222 46 12

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

brand@brand.lth.se
<http://www.brand.lth.se/english>
Telephone: +46 46 222 73 60
Fax: +46 46 222 46 12

Summary

This literature review is an initial part of a larger research project that deals with evacuation upwards long stairs and physical exertion. The literature review focused on identifying the current state of published knowledge regarding how physical exertion influence people when evacuating upwards long stairs and if there are specific design requirements for stairs primarily intended for upward movement.

When evacuating upwards in long stairs there is reason to believe that physical exertion, human behaviour and mental experience can influence the prospects for a satisfactory evacuation. It is also likely that human behaviour in a long stair upwards differs from the behaviour in a short stair when the physical effort is larger. As a result of this, two hypotheses has been the starting point for the literature review:

- a. Physical exertion is a descriptive parameter for the evacuation process (and affects the walking speed, flow and the human behaviour when evacuating upwards).
- b. The design of stairs affects the evacuation processes when evacuating upwards in long stairs.

To examine whether the hypotheses can be accepted or rejected, questions have been defined and answered. The questions examined are:

- Can physical exertion influence on the evacuation process?

If the answer is yes the following question needs an answer:

- What is the impact on walking speed, flow and human behaviour on the evacuation upwards long stairs?

In addition, the study also examine if there are any former results concerning mathematical modelling of evacuation in long stairs upwards, the design of such stairs and other aspects of interest for the project.

The results of the literature review are that there are strong arguments for the hypotheses that physical exertion may have influence on the evacuation process. However, few studies have explicitly studied and quantified the degree of influence the physical exertion has on the actual evacuation process. Effects of physical exertion gets observed for longer movements upwards, and earlier studies shows that it could affect the evacuation in terms of reduced walking speed. It has not been determined when the physical exertion begins to affect the walking speed or to what extent. According to the literature, there is also ambiguities about whether the movement of people upwards stairs is controlled by walking speed in combination with interpersonal distance, or not. One view is that the interpersonal distance is longer for people walking upwards stairs compared to people walking on a flat surface or downwards stairs.

Human behaviour when evacuating upwards long stairs has not been the subject of research so far in more than a very small extent. Based on the reviewed literature in-depth studies of behaviour and choice of walking path with respect to physical exertion is missing.

With regard to the few research results surrounding the subject, in-depth studies are also missing on the quantification of physical exertion for evacuation modelling and no mathematical relationship is published.

Based on presented research the design of the stair has impact on the safety when walking in a stair, which in many ways determines its design. Because of that the risk of accidents is higher in

downward movement than in upward movement today's design guides and building codes for stairs is primarily suited for downward movement. The movement of the body when walking upwards in a stair differs from the movement when walking down concerning the physiological movements of the legs and hips. However there has not been identified any studies that explicitly deals with the design of the stairs for evacuating upwards.

Based on the questions and the result from the literature reviewed, the study's hypotheses cannot be rejected, but they have been strengthened. However, the evaluated literature did not provide sufficient evidence to fully accept them or in-depth describe them. Therefore further studies are needed before a definitive answer can be given concerning the correlation between physical exertion and evacuation, and design criteria for stairs mainly designed for upward movement. Future studies are recommended to focus on:

- Walking speed and flow, including behaviour, and whether it should be proposed maximum heights for evacuation.
- Proper design criteria of long stairs intended primarily for upward evacuation for optimizing flow and safety.

In connection to the search for answers to the questions described other important aspects have been identified which may have impact on the project's future evacuation experiments. The correlation between person density and walking speed varies depending on the level of person density. At low densities, the correlation with walking speed is weak, but at higher density the degree of correlation increases. The value for when this occurs is not entirely clear, but 0.5 pers/m² is mentioned in the literature. There have also been different ways to measure and describe the movement in stairs over time. The results studied are therefore in some cases difficult to compare with each other.

Existing research and published literature on the topic of physical exertion and evacuation upwards is very limited. Several of the reviewed studies have also strong interrelationships and a majority of them refers to, and benchmarks from, the research conducted during late ' 60s and early ' 70s by Fruin and Pauls. With regard to that Fruin and Pauls announced a few years ago that they did not consider their research results to be valid anymore, previously drawn conclusions should be treated with caution.

Sammanfattning

Denna litteraturstudie utgör en inledande del av ett större forskningsprojekt som behandlar utrymning uppför långa trappor och fysisk ansträngning. Litteraturstudien har fokuserat på att kartlägga det nuvarande kunskapsläget kring hur fysisk ansträngning påverkar människor vid utrymning uppför långa trappor och om det finns specifika dimensioneringsförutsättningar för trappor främst avsedda för uppåtående förflyttning.

Vid längre utrymningsförlopp, uppför trappor, finns det skäl att tro att fysisk ansträngning, människors beteende och psykiska upplevelse kan påverka möjligheterna till en tillfredställande utrymning. Det är också sannolikt att beteendet vid förflyttning uppför långa trappor skiljer sig från beteendet vid förflyttning i en kort trappa då den fysiska ansträngningen ökar. Utifrån detta har följande två hypoteser varit utgångspunkten för litteraturstudien:

- a. Fysisk ansträngning är en beskrivande parameter för utrymningsförloppet (och påverkar gånghastighet, flöde och beteende vid utrymning uppåt).
- b. Trappors design påverkar utrymningsförloppet vid utrymning i långa trappor uppåt.

För att undersöka om hypoteserna kan accepteras eller förkastas har frågeställningar definierats och besvarats. De frågeställningar som undersökts är:

- Kan fysisk ansträngning ha påverkan på utrymningsförloppet?

Om svaret är ja har följande frågeställningar besvarats:

- Hur påverkas då gånghastighet och personflöde respektive beteende vid utrymning uppför långa trappor?

Dessutom har studien även undersökt om det finns presenterade resultat kring matematisk modellering av fysisk ansträngning och uppåtående utrymning via trappor, trappors utformning vid uppåtående utrymning och övriga för projektet intressanta aspekter.

Resultaten av litteraturgenomgången är att det finns starka argument för att fysisk ansträngning kan ha påverkan på utrymningsförloppet. Det är dock få studier som explicit studerat och kvantifierat vilken grad av påverkan den fysiska ansträngningen har på själva utrymningsförloppet. Slutsatser från genomgångna studier är att effekter av fysisk ansträngning visar sig vid längre uppåtående förflyttning och det kan påverka utrymningsförloppet i fråga om reducerad gånghastighet. Det har dock inte gått att fastställa när den fysiska ansträngningen börjar påverka gånghastigheten eller i vilken omfattning så sker. Enligt genomgången litteratur råder det även oklarheter kring om förflyttning uppför trappor styrs av gånghastigheten i kombination med hur långt avståndet är mellan olika personer. En uppfattning är att vid uppåtående förflyttning i trappor föredrar människor normalt att ha ett längre avstånd mellan sig än vid gång på plana ytor eller vid nedåtående förflyttning i trappor.

Människors beteende vid utrymning uppför långa trappor har inte varit föremål för tidigare forskning mer än i mycket ringa omfattning. Utifrån genomgången litteratur saknas djupgående studier av beteende och val av gångrinjer med hänsyn till fysisk ansträngning.

Med hänsyn till de få forskningsresultat som finns kring fysisk ansträngning och utrymning uppför långa trappor, saknas även fördjupade studier kring kvantifiering av fysisk ansträngning vid

utrymningsmodellering. Det finns således inga matematiska samband publicerade som beaktar fysisk ansträngning och dess eventuella inverkan på utrymningsförloppet.

Utifrån genomgåna forskningsresultat har trappans utformning påverkan på hur säkert man förflyttar sig i en trappa. Då risken för olyckor är större vid nedåtgående förflyttning än uppåtgående, är dagens dimensioneringsförutsättningar för trappor främst anpassade för nedåtgående förflyttning. Detta genererar att föreskrivna dimensioner på plansteg och sättsteg eller placering av handledare inte har optimala mått för uppåtgående förflyttning. Det kan således finnas behov av att använda andra dimensionerande värden för trappsteg och att placera handledare på en annan höjd än vad som Boverkets byggregler rekommenderar. Dock har det i genomgången litteratur inte presenterats några tydliga dimensioneringsförutsättningar för trappor primärt avsedda för uppåtgående förflyttning.

Utifrån frågeställningarna och genomgången litteratur kan studiens hypoteser inte förkastas med stöd av den genomförda litteraturstudien, utan de har stärkts. Dock har genomgåna studier inte kunnat erbjuda tillräckligt underlag för att till fullo acceptera dem. Behov av ytterligare studier föreligger således innan ett entydigt svar kan ges rörande korrelationen mellan fysisk ansträngning och utrymning samt designkriterier för trappor främst avsedda för uppåtgående förflyttning. Framtida studier bör således inrikta sig på:

1. Gånghastighet och flöde, inklusive beteende, samt om det bör föreslås maximala höjder för utrymning.
2. Lämplig utformning av långa trappor främst avsedda för uppåtgående förflyttning och utrymning för optimering av gånghastighet, personflöde och säkerhet. Aktuella aspekter att studera är placering av handledare och trappstegets utformning.

I anslutningen till att besvara litteraturstudiens frågeställningar har även viktiga aspekter identifierats som kan ha påverkan på projektets kommande utrymningsförsök. Korrelationen mellan persondensiteten och gånghastigheten varierar beroende på nivån av persondensiteten. Vid låg persondensitet är korrelationen med gånghastighet svag, men vid högre densitet ökar graden av korrelation. Gränsvärdet för när detta sker är inte helt tydlig, men 0,5 pers/m² förekommer i litteraturen. Det förekommer även olika sätt att mäta och beskriva förflyttning uppför trappor. De studerade resultaten är därför i vissa fall svåra att jämföra med varandra.

Befintlig forskning och publicerad litteratur kring ämnet fysisk ansträngning och utrymning uppåt är mycket begränsad. Flera av de genomgåna studierna har även starka inbördes samband och merparten hänvisar till, och tar utgångspunkt från, den forskning som Fruin och Pauls genomförde under slutet av 60- och början av 70-talet. Med hänsyn till att Fruin och Pauls lät meddela för några år sedan att de inte ansåg sina forskningsresultat vara valida längre, på grund av den utveckling som varit kring människors fysiska förmåga, bör tidigare dragna slutsatser behandlas med en viss försiktighet.

Preface

This work is a part of the Swedish research project *Utrymning i långa trappor uppåt: Utmattning, gånghastighet och beteende* (English translation: *Ascending evacuation in long stairways: Physical exhaustion, walking speed and behaviour*). The overall focus of the project is to study and to quantify the expected evacuation process in long, ascending stairways with the overall goal to increase the knowledge within the field and to reduce the uncertainties in future egress assessments.

The research project is a multidisciplinary project, in which researchers from different disciplines (fire safety engineering and physiology) cooperates with practitioners with the common goal increase the knowledge about ascending stair evacuation; an area that at the time of the project had received little attention. The following partners participated in the research project: Lund University, Briab – Brand & Riskingenjörerna AB, and DeBrand Sverige AB.

The project was initiated with an in-depth literature review, summarizing the (at the time) current knowledge on the topic of ascending stair evacuation. Following this, a number of evacuation experiments will be carried out: (1) individual and group evacuations in two different stairwells with varying height (12-30 floors), (2) individual and group evacuations in an escalator, and (3) individual evacuations in a step machine/stair stepper. Finally, the goal is to produce a simple model describing the walking speed during ascending stair evacuation, also incorporating the effects of, e.g., physical exhaustion.

The total budget of the research project is approximately 2.1 million SEK (about € 240 000), and the project runs over a period of two years (from October 2013 to September 2015). It is mainly funded by the Swedish Transport Administration (Trafikverket) and the Swedish Fire Research Board (Brandforsk), who jointly finances about 90% of the project. In addition, co-financing from Briab – Brand & Riskingenjörerna AB and DeBrand Sverige AB is received corresponding to about 10% of the total budget.



Karl Fridolf, project lead

Innehållsförteckning

1	Inledning.....	1
1.1	Bakgrund.....	1
1.2	Syfte.....	1
1.3	Mål.....	1
1.4	Omfattning och avgränsningar	2
1.5	Metodik	2
2	Fysisk ansträngning och påverkan på utrymningsförloppet	5
2.1	Litteraturgenomgång	5
2.2	Sammanfattning	6
3	Fysisk ansträngning, gånghastighet och personflöde.....	7
3.1	Litteraturgenomgång	7
3.2	Sammanfattning	10
4	Fysisk ansträngning och beteende	13
4.1	Litteraturgenomgång	13
4.2	Sammanfattning	13
5	Fysisk ansträngning och utrymningsmodellering.....	15
5.1	Litteraturgenomgång	15
5.2	Sammanfattning.....	15
6	Trappors utformning vid utrymning uppför	17
6.1	Litteraturgenomgång	17
6.2	Sammanfattning	19
7	Övriga intressanta aspekter	21
7.1	Litteraturgenomgång	21
7.2	Sammanfattning	22
8	Diskussion och slutsats	23
9	Referenser.....	25

1 Inledning

Under de senaste årens ökade grad av exploatering har undermarksanläggningar, så som masstransportsystem, ökat i antal och blivit mer komplexa för att klara samhällets förändrade förutsättningar. Den ökade komplexiteten ställer nya, och inte sällan större, krav på utrymningskonceptet, till exempel att människor ska kunna förflytta sig långa sträckor uppåt via trappor.

1.1 Bakgrund

Vid längre utrymningsförlopp, uppför trappor, finns det skäl att tro att fysisk ansträngning, människors beteende och psykiska upplevelse kan påverka möjligheterna till en tillfredställande utrymning. Det är också sannolikt att beteendet vid uppåtgående förflyttning i en lång trappa skiljer sig från beteendet i en kort trappa då den fysiska ansträngningen blir större. Detta är aspekter som är viktiga att undersöka för att öka förståelsen kring fenomenet utrymning, och för att säkerställa att god ingenjörsmässig dimensionering av trappor, främst avsedda för uppåtgående förflyttning, säkerställs. Idag sker sådan dimensionering utan beaktande av det speciella i situationen, och det finns ett befogat tvivel kring om befintliga modeller verkligen är applicerbara för utrymning uppåt i långa trappor.

Utrymning uppför trappor är ett ämne som är relativt outforskat jämfört med utrymning nedför trappor. Det finns få studier som betraktat utrymning som ett fysiskt arbete eller de effekter fysisk ansträngning eventuellt kan ha på gånghastighet och beteendeförändringar vid utrymning uppför långa trappor. Vidare har förutsättningarna för befolkningen ändrats. Andelen fysiskt inaktiva, överviktiga och andelen äldre personer ökar (Commission of the European Communities, 2008), något som kommer att påverka den fysiska förmågan negativt (Spearpoint & MacLennan, 2012).

Denna inledande litteraturstudie har studerat tidigare publicerade forskningsresultat rörande utrymning uppåt, fysisk ansträngning och beteende samt dimensioneringsförutsättningar för trappor främst avsedda för uppåtgående förflyttning.

1.2 Syfte

Litteraturstudien utgör en inledande studie till det övergripande projektet Utrymning i långa trappor uppåt: Fysisk ansträngning, gånghastighet och beteende vars primära syfte är att med en tvärvetenskaplig mångfald öka förståelsen kring utrymningsfenomenet genom att kartlägga och inkludera variablerna fysisk ansträngning och beteendeförändringar med hänsyn till trappors höjd vid utrymning i långa trappor uppåt.

Syftet med litteraturstudien är att studera tidigare publicerade forskningsresultat rörande utrymning uppåt, gånghastigheter, personflöden och effekter av fysisk ansträngning. Litteraturstudien syftar även till att dra lärdom av tidigare genomförda utrymningsförsök och dimensioneringsförutsättningar för trappor främst avsedda för uppåtgående förflyttning.

1.3 Mål

Målsättningen med litteraturstudien är att översiktligt redovisa tidigare forskningsresultat och dragna slutsatser kring utrymning uppåt, gånghastigheter, personflöden, fysisk ansträngning och beteende i trappor samt eventuella specifika dimensioneringsförutsättningar för trappor främst avsedda för uppåtgående förflyttning.

1.4 Omfattning och avgränsningar

Litteraturstudien är en inledande del i ett större forskningsprojekt och sammanfattar översiktligt det allmänna kunskapsläget rörande fysisk ansträngning vid utrymning och i synnerhet fysisk ansträngning som beskrivande parameter vid utrymning uppför långa trappor.

Studien omfattar inte explicit rulltrappor, men i det fall relevanta forskningsresultat och slutsatser presenteras i anslutning rulltrappor, så omnämns de i denna litteraturstudie.

Systemgränsen för studien är själva förflyttningen i trappor och de fysiologiska och psykologiska aspekterna som kan uppstå därav.

1.5 Metodik

Arbetet med litteraturstudien har strukturerats i en tydlig arbetsprocess och en metodik utarbetades i ett tidigt skede av studien. För att uppfylla studiens syfte och mål, och i förlängningen projektets syfte, har utgångspunkten varit att definiera tydligt avgränsade hypoteser. Utifrån dessa har sedan relevanta frågeställningar utarbetats och relevant litteratur studerats och analyserats för att söka svar på frågeställningarna. Om erhållet resultat erbjudit tillräckligt underlag har sedan definierade hypoteser accepterats eller förkastats.

För denna studie har hypoteserna varit:

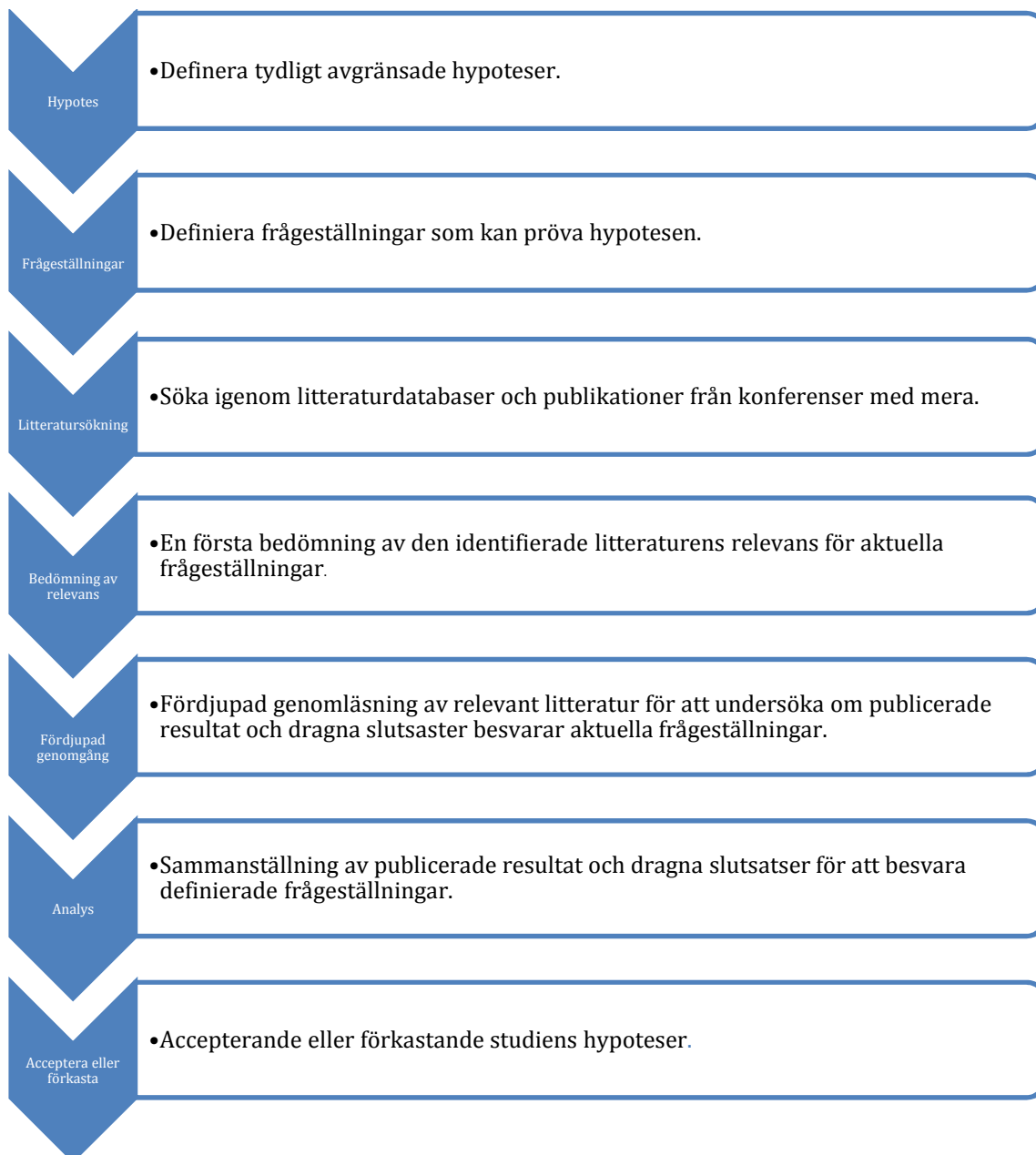
- a. Fysisk ansträngning är en beskrivande parameter för utrymningsförloppet (och påverkar gånghastighet, flöde och beteende vid utrymning uppåt)
- b. Trappors design påverkar utrymningsförloppet vid utrymning i långa trappor uppåt

Arbetet med att definiera relevanta och tydliga hypoteser har varit en iterativ process. Inledande diskussioner har förts inom projektgruppen, hypoteser formulerats, jämförts med projektets syfte, och omformulerats eller förkastats innan litteraturstudien påbörjats för att säkerställa att studien fokuserar på relevanta delar.

För att kunna besvara hypoteserna har följande frågeställningar definierats:

- Kan fysisk ansträngning ha påverkan på utrymningsförloppet?
- Om fysisk ansträngning påverkar utrymningsförloppet, hur påverkas då gånghastighet och flöde vid utrymning uppför långa trappor?
- Om fysisk ansträngning påverkar utrymningsförloppet, hur påverkas då beteendet vid utrymning uppför långa trappor?
- Om fysisk ansträngning påverkar utrymningsförloppet, finns det då någon matematisk modell som inkluderar fysisk ansträngning vid utrymningsmodellering?
- Finns det rekommendationer för trappors design vid dimensionering av utrymning uppför långa trappor?

Den arbetsprocess som använts för litteraturstudien presenteras schematiskt i figur 1.



Figur 1. Arbetsprocessen för litteraturstudien.

Rapportstrukturen utgår från att varje enskild frågeställning besvaras i separata avsnitt. Aktuella forskningsresultat och dragna slutsatser från tidigare forskning återges kortfattat för varje fråga och ett reflekterande sammanfattning ges. Utifrån hur frågorna besvarats förs sedan en diskussion om hypoteserna kan accepteras eller förkastas utifrån tidigare forskningsresultat.

2 Fysisk ansträngning och påverkan på utrymningsförloppet

”Kan fysisk ansträngning ha påverkan på utrymningsförloppet?”

Litteraturstudiens hypoteser är att fysisk ansträngning är en beskrivande parameter för utrymningsförloppet och att detta påverkar gånghastighet, flöde, och beteende vid utrymning uppåt. För att undersöka detta har litteraturstudien inledningsvis fokuserat på att undersöka om det finns forskning som indikerar huruvida fysisk ansträngning kan ha påverkan på utrymningsförloppet.

2.1 Litteraturgenomgång

Studier från slutet av 70-talet belyser att effekter av fysisk ansträngning kan förväntas visa sig om utrymningsförlopp är längre än 5 minuter (Egan, 1978). Dock presenteras inte i studien om det berör förflyttning i trappor eller om det är en generell en iakttagelse vid utrymning. Detta har enligt Khisty (1985) dock inte bekräftats via de analyserade utrymningsförsök som pågått under flera minuter.

Att fysisk ansträngning kan påverka utrymningsförloppet har även belysts av Hallberg & Nyberg (1987), som studerade hur äldre och personer med funktionsnedsättning boendes på servicehus klarade att utrymma vid brand. En av Hallbergs & Nybergs slutsatser var att utrymningsförloppet även påverkas av hur länge en utrymmande person orkar gå i en angiven hastighet.

I en studie av Peacock, Averill, & Kuligowski (2009) har kunskapsläget kring utrymning nedåt i höga hus med avseende på gånghastighet sammanställts och värderats. Författarna konstaterar att den genomsnittliga gånghastigheten är lägre ju högre en byggnad är. Denna förändring i gånghastighet kan enligt författarna eventuellt bero på fysisk ansträngning. Peacock, Averill, & Kuligowski påvisar även via en multipel linjär regression att de traditionella ingenjörsmässiga modellerna som förklarar utrymning som funktion av avstånd, personflöde, trappors utförande etc. endast beskriver en liten andel, dryg 13 %, av den varians som kan förväntas för gånghastigheter vid utrymning. Detta är enligt författarna en indikation att tidigare traditionella modeller är ofullständiga och ett nytt angreppssätt krävs där för att bättre förstå den fysiologiska och beteendemässiga påverkan på utrymningsförloppet.

Utifrån en litteratursammanställning, gjord av Frantzich (1993), är slutsatserna att det endast finns en mindre mängd data tillgänglig för utrymning uppåt och att gånghastigheten med stor sannolikhet kommer att avta ju högre trappan är med hänsyn till det merarbete som krävs för att gå uppåt.

Under senare tid är det framför allt en studie av Choi, Galea, & Hong (2013) som studerat fysisk ansträngning och utmattningseffektens påverkan på utrymningsförloppet. Studien bygger på individuella försök där gånghastigheten mätts vid förflyttning i trappor uppåt respektive nedåt i ett 50 våningar högt hus. Försöken genomfördes med 60 yngre försökspersoner (30 män och 30 kvinnor) i åldrarna 20-28. Utifrån studien och genomförd analys är Choi, Galea, & Hong (2013) slutsatser att effekten av fysisk ansträngning varierar från individ till individ beroende på typ av ansträngning som utförs och av personliga faktorer såsom hälsotillstånd, kondition samt grad av tidigare fysiskt ansträngning under försöket. Vidare drar författarna slutsatsen att reduceringen i gånghastighet vid förflyttning uppåt sannolikt beror på den ökade fysiska ansträngningen. De fysiologiska fenomenen som styr den fysiska ansträngningen och genererar en sänkt gånghastighet, är dock inte tydliggjorda. Men, författarna spekulerar att reduceringen i gånghastighet beror på att den inledande fysiska ansträngningen vid förflyttning i trappa genererar anaerob metabolism som

inte kan upprätthållas under en längre tid. Gånghastigheten kommer att reduceras som följd av detta för att minska energibehovet tills energiförbrukningen når en nivå som kroppen kan upprätthålla under en längre tid.

Den upplevda känslan av fysisk ansträngning och utmattning belyses även i studien av Kholshchevnikov et al (2008) där författarna drar slutsatsen att känsla av trötthet ökar energiåtgången per utfört arbete, det vill säga att ansträngningen för att utföra samma arbete är högre om man känner sig trött än om man känner sig utvilad.

2.2 Sammanfattning

Litteraturstudiens hypoteser; att fysisk ansträngning är en beskrivande parameter för utrymningsförloppet och att nivå av fysisk ansträngning påverkar gånghastighet, flöde, och beteende negativt vid utrymning uppåt, har belysts i diskussioner och slutsatser från olika studier som genomförts under de senaste 40 åren.

Resultatet av litteraturgenomgången är att det finns starka argument för att fysisk ansträngning kan ha påverkan på utrymningsförloppet. Dock är det få studier som explicit studerat och kvantifierat vilken grad av påverkan den fysiska ansträngningen har på själva utrymningsförloppet. De studier som finns kring ämnet visar på en reducerad gånghastighet vid ökad fysisk aktivitet och studierna drar slutsatsen att detta kan bero på ökad fysisk ansträngning och utmattning. Dock är de presenterade försöken endast genomförda för en begränsad del av populationen och inga generella slutsatser har presenterats. I publicerade rapporter påtalas även behovet av liknande studier i andra länder och för andra demografiska populationer.

3 Fysisk ansträngning, gånghastighet och personflöde

”Om fysisk ansträngning påverkar utrymningsförloppet, hur påverkas då gånghastighet och flöde vid utrymning uppför långa trappor?”

Då det finns argument för att fysisk ansträngning kan ha påverkan på utrymningsförloppet har litteraturstudien även fokuserat på att undersöka i vilken omfattning fysisk ansträngning påverkar gånghastighet och personflöde. Detta med hänsyn till parametrarnas centrala roll vid utrymningsanalyser av teknisk karaktär.

3.1 Litteraturgenomgång

3.1.1 Traditionella trappor

Enligt Peacock, Averill, & Kuligowskis (2009) där studier av utrymning nedåt i höga hus ingår med avseende på gånghastighet är den genomsnittliga gånghastigheten lägre ju högre husen är. I studien var husen 6 våningar, 11 våningar och 18 våningar höga.

Enligt Kholshvnikov et al (2008) har trängsel stor effekt på gånghastighet oavsett om det är på en horisontell yta, nedför en trappa eller uppför en trappa som personer rör sig. Förflyttning nedför trappor är det som påverkas minst vid ökad trängsel. Flöde beroende på densitet begränsas för alla de tre fallen men mest för gång uppför trappor.

Enligt Choi, Galea & Hong (2013) sjunker gånghastigheten på väg upp i byggnaden (50 våningar hög). Vidare anges att variationen i gånghastighet var större vid gång uppför än nedför (Gånghastigheten varierade 50 % vid gång uppför). I försöken är den genomsnittliga tiden för hela sträckan 34 % längre uppför än nedför för männen respektive 64 % längre uppför än nedför för kvinnorna. Detta bedömer författarna beror på att kvinnorna påverkas mer av fysisk ansträngning än männen. Gånghastigheten för både män och kvinnor sjönk på väg upp (den genomsnittliga hastigheten var då ännu lägre än den som användes vid jämförelsen mellan tider för hela trapphuset uppför respektive nerför) vilket innebär att deras gånghastighet en bit upp i byggnaden hade större skillnader mellan förflyttning uppför respektive nerför än de procentsatser som angavs för hela sträckan. I studien avfärdar författarna vidare korrelation mellan gånghastighet på plan yta respektive uppför trappor och understryker att extrapolering av gånghastighet uppför baserat på gånghastigheter på plana ytor och korta trappor inte bör göras.

Studien från Choi, Galea & Hong (2013) ger även högre gånghastigheter i början av trappan än vad tidigare forskning, exempelvis Fruin (1971), visat för korta trappor. Högre upp i trappan, när hastigheten sjunkit något, så erhåller man ungefär samma gånghastigheter som i de äldre studierna. Dock går det inte att säkerställa att resultatet enbart beror på fysisk ansträngning då försöksupställningarna, så som trappornas utformning och försökspopulationen för olika studier skiljer sig åt.

I Kretz et al (2006) studeras gång uppför en lång respektive kort trappa. I den långa trappan är gånghastigheten omkring hälften så hög som i den korta.

I Københavns brandvæsen (2000) jämförs gånghastigheten uppför trappor kopplat till avståndet mellan personer i gångriktningen. Resultaten påvisar positiv korrelation mellan gånghastighet och avstånd både vid förflyttning uppför respektive nedför trappor. Vid gång uppför trappor är avståndet längre, vid samma hastighet, än vid gång nedför. I samma studie jämförs också flöde som

funktion av avståndet mellan personerna. Där är korrelationen positiv när avståndet understiger cirka 0,5-0,7 m, för att sedan bli negativ när avståndet mellan personerna ökar.

I Fruin (1971) studeras främst gånghastigheter och personflöden och hur dessa varierar i bland annat trappor. För trappor visade Fruins studier att flöden upp och ner i trappor är ungefär lika stora medan gånghastigheterna skiljer sig åt. Detta menar Frantzich (1993) beror på att man tillåter sig att ha mindre avstånd till andra personer vid gång uppför en trappa jämfört med nedför. Enligt Fruin (1971) påvisas även att gånghastigheten beror av kön, ålder, trappstegsutförning och riktning. Större variation föreligger enligt studien vid neråtgående förflyttning än uppåtgående förflyttning.

Enligt Frantzich (1993) har de flesta försök (som finns publicerade till och med 1993) som gjorts för att mäta gånghastighet redovisat resultaten som en funktion av persontätheten för den aktuella förflyttningsvägen. Hastigheten är i de flesta fall relativt konstant tills persontätheten överstiger 0,5 personer/m² och avtar därefter med ökad persontäthet. Utifrån litteraturstudien drar Frantzich slutsatserna att det endast finns en mindre mängd data tillgänglig för utrymning uppåt. Den data som finns publicerad visar på en varierande bild av gånghastigheten uppför trappor vilket kan förklaras med de skilda förutsättningarna för undersökningarna. Spridningen i gånghastighet kan enligt Frantzich även delvis bero på felaktiga antagen kring förhållandet mellan gånghastighet och persontäthet som Predtetschenski och Milinski presenterade 1971. Vidare är Frantzich (1993) slutsats att Fruins studier (1971) visar på att trappans lutning påverkar gånghastigheten vid förflyttning uppåt då gånghastigheten ligger inom intervallet 0,4 – 0,7 m/s. Men att påvisa att det finns ett samband mellan gånghastighet uppför och persontäthet är inte möjligt utifrån befintlig data.

I tabell 1 presenteras en sammanställning över olika medelgånghastigheter vid förflyttning uppför trappor. Vid litteraturgenomgången är det endast Kretz et al (2006) och Choi, Galea & Hong (2013) som har gjort studier och presenterat data för gånghastighet vid förflyttning i långa trappor.

Tabell 1. Sammanställning av gånghastighet uppför trappa längs med gånglinjen (om inte annat anges). (Se figur 2 avseende gånglinje). Endast Kretz et al (2006) och Choi, Galea & Hong (2013) omfattade långa trappor.

Medelhastighet	Kommentar	Källa	År	Land
0,67 0,64 0,63 0,59 0,51 0,49	Män under 30 år Kvinnor under 30 år Män mellan 30 och 50 år Kvinnor mellan 30 och 50 år Män över 50 år Kvinnor över 50 år	Fruin	1971	USA
0,52 ^a 0,47 ^a 0,44 ^a	Ensam person som ej påverkas av andra Grupp med låg densitet och liten inbördes påverkan på varandra Grupp med hög densitet och tydlig påverkan på varandra	Kretz et al	2006	Tyskland
0,27 ^b 0,28 ^b 0,29 ^b 0,29 ^b 0,30 ^b 0,31 ^b 0,32 ^b	Äldre kvinnor (> 65 år) Äldre (> 65 år) Äldre män (> 65 år) Barn (< 13 år) Vuxna kvinnor Vuxna Vuxna män	Yeo, S.K., He, Y.	2009	Singapore
0,75 ^c 0,55 ^c 0,53 ^d 0,42 ^d	Män våning 1-25 (medelvärde) Män våning 26-50 (medelvärde) Kvinnor våning 1-25 (medelvärde) Kvinnor våning 26-50 (medelvärde) Byggnaden var 50 våningar hög	Choi, Galea & Hong	2013	Korea
0,5 0,6 ^e	Hög persontäthet, dock högst 2 personer per kvadratmeter Låg persontäthet, så låg att personerna rör sig helt oberoende av varandra Värdena utgör av Boverket angivna designvärden	Boverket	1994- 2013	Sverige

^a Trappan hade en lutning på 35,1° och var 35,8 meter hög. Mätning skedde efter 25 meter.

^b Vertikal hastighet. Flera korta trappor vid olika tunnelbanestationer studerades. 643 tunnelbaneresenärer ingick i studien. Trappornas lutning är inte känd.

^c Studien omfattade 30 män i åldern 20 – 28 år (medel 24,6 år)

^d Studien omfattade 30 kvinnor i åldern 20 – 28 år (medel 22,2 år)

^e Värdet uppges vara baserat på ett fåtal observationer.

3.1.2 Rulltrappor

Kadokura, Sekizawa & Takahashi (2009) studerade personer som gick uppför en rulltrappa. I studien var samtliga försökspersoner unga studenter och rulltrappan hade en stighöjd på 13,2 meter. Resultatet gav att den genomsnittliga gånghastigheten var lägre i rulltrappan när den användes av många personer jämfört med när personerna gick ensamma i den. Vidare var det ingen av försökspersonerna som uppgav att de kände påverkan av utmattning. I studien presenteras även att gånghastigheten uppför rulltrappor är 90 % av gånghastigheten i trappor. Dock ska sägas att försöken i trappor hade mycket liten omfattning.

Liknande resultat presenterar Okada, Hasemi & Moriyama (2009). I studien är skillnaden mellan gånghastighet i trappa respektive rulltrappa större för grupp än för ensam person. En grupp sänker i deras försök sin gånghastighet mer från trappa till rulltrappa än vad en person som går ensam gör.

Enligt Kinsey et al (2008) har gående i rulltrappor ett relativt stort avstånd emellan sig (i gångriktningen), (cirka två trappsteg), vilket påverkar flödet i trappan.

I tabell 2 presenteras en sammanställning över olika medelgånghastigheter vid förflyttning uppför rulltrappor.

Tabell 2. Sammanställning av gånghastighet uppför rulltrappa längs med gånglinjen. (Se figur 2 avseende gånglinje).

Medelhastighet	Kommentar	Källa	År	Land
0,8 ^a 0,7 ^a	Ensam person Grupp personer Rulltrappan hade en höjd av 13,2 meter.	Kadokura et al	9	Japan
0,77 ^b 0,49 ^b 0,54 ^b 0,47 ^b	Ensam person Ensam person med hindrande utrustning ^c Grupp personer utan hindrande utrustning Grupp personer varav en del ^d utrustade med hindrande utrustning ^c Rulltrappan hade en höjd av 22 meter.	Okada et al	2009	Japan

^a 79 universitetsstudenter ingick i studien.

^b Försöksgruppen bestod av 35 manliga och 15 kvinnliga studenter med medelåldern 21 år.

^c "Instant senior" innebar i försöken att försökspersonerna försågs med utrustning som försvårade rörelse för att efterlikna äldre personer.

^d Individerna "instant senior" påverkade hela gruppen.

3.2 Sammanfattning

Utifrån genomgången litteratur finns det indikationer som pekar på att både gånghastighet och flöde påverkas vid utrymning uppför långa trappor. Gånghastigheten sjunker vid utrymning uppför långa trappor, jämfört med utrymning uppför korta trappor (exempelvis 21-27 % skillnad mellan plan 1-25 till plan 26-50 i Choi, Galea & Hong (2013) studie). Dock presenteras inte explicit att denna skillnad beror på ökad fysisk ansträngning.

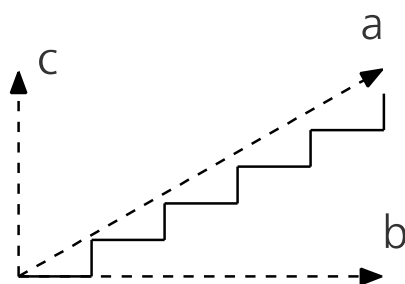
Skillnaderna är stora mellan olika personers gånghastighet vid förflyttning uppåt via långa trappor. Överlag är skillnaden större än vad skillnaderna är vid gång på plana ytor eller vid gång nedför trappor (exempelvis anges en variation om cirka 50 %). Denna stora spridning kan ge stor påverkan

på hur fort en grupp kan utrymma uppför eftersom de som går långsamt kan få stort genomslag när det kan vara svårt för andra personer att passera dem. Vid de studerade försöken har försökspersonerna varit unga människor med god fysisk förmåga. Med en population som bättre återspeglar verkligheten kan spridningen förväntas bli ännu större.

Gånghastighet i trappor kan uttryckas på flera olika sätt:

- a) Längs med gånglinjen
- b) Den horisontella komponenten av förflyttningen
- c) Den vertikala komponenten av förflyttningen

I figur 2 presenteras en schematisk bild över de olika mätmetoderna.



Figur 2. Olika sätt att uttrycka gånghastigheten i en trappa. a) längs med trappan, b) den horisontella komponenten, c) den vertikala komponenten.

Enligt den genomgånga litteraturen är det vanligaste sättet att ange gånghastigheten enligt perspektiv a. Dock förekommer det studier där mätvärdena presenteras som den vertikala eller horisontala komponenten.

Persondensiteten avfärdas av merparten av de undersökta studierna som korrelerande mot gånghastigheten vid låga persondensiteter. Viss korrelation finns dock, främst beroende på om personerna kan gå oberoende av varandra eller om de måste anpassa sina rörelser av hänsyn till andra personers rörelser. I det senare fallet ökar korrelationen, vilket också antas vara situationen med hög persondensitet.

Personflödet vid förflyttning uppför trappor styrs av hur fort människor går i kombination med hur långt avstånd de har mellan sig. Det verkar finnas olika uppfattning om hur avståndet mellan personer varierar i olika situationer. En uppfattning är att vid förflyttning uppför trappor föredrar människor normalt att ha ett längre avstånd mellan sig än vid gång på plana ytor och vid gång nedför trappor. Vid gång uppför rulltrappor är avståndet vanligtvis ännu större mellan personer än vid gång uppför traditionella trappor. Detta beror antagligen på att rulltrappor har högre trappsteg, vilket ger en större benrörelse hos de gående. Vid gång uppför rulltrappor uppges det vara vanligt med två tomma trappsteg mellan varje person. Några referenser är dock av annan uppfattning.

4 Fysisk ansträngning och beteende

”Om fysisk ansträngning påverkar utrymningsförloppet, hur påverkas då beteendet vid utrymning uppför långa trappor?”

Då det finns starka argument för att fysisk ansträngning kan ha påverkan på utrymningsförloppet har litteraturstudien även fokuserat på att undersöka om detta kan påverka beteendet vid utrymning uppför långa trappor.

4.1 Litteraturgenomgång

I Choi, Galea & Hong (2013) studie går försökspersonerna ensamma. Alla väljer att följa det inre spåret intill den inre handledaren.

Okada, Hasemi & Moriyama (2009) lyfter fram svårigheterna i att passera personer som går långsammare i rulltrappor.

4.2 Sammanfattning

Det är mycket begränsad mängd studier som hjälper till att besvara frågan om fysisk ansträngning och ändrat beteende vid utrymning. De studerade artiklarna saknar djupgående studier av beteende vid förflyttning i trappa så som t.ex. val av gånglinje. Detta kan bero på svårigheterna att studera beteendeförändringar eftersom det kräver placeringar av kameror som kan vara svåra att åstadkomma och det kan vara svårt att kvantifiera en eventuell beteendeförändring.

Det som i vissa fall berörs är svårigheten att passera en långsammare person i en trappa som inte har god bredd, t.ex. en rulltrappa. I Sverige är det vanligt i masstransportanläggningar med trappor som har 1000 mm breda steg och 1200 mm mellan handledarna.

5 Fysisk ansträngning och utrymningsmodellering

”Om fysisk ansträngning påverkar utrymningsförloppet, finns det då någon matematisk modell som inkluderar fysisk ansträngning vid utrymningsmodellering?”

För att återkoppla till ett av projektets delmål, ”utveckla en matematisk modell, som beskriver gånghastigheten vid utrymning långa sträckor uppåt, som inkluderar fysisk ansträngning och som beaktar förändrat beteendemönster med hänsyn till trappors höjd, för att verka som underlag för utrymningsdimensionering” har litteraturstudien även inriktats på att undersöka om tidigare studier belyst matematisk modellering av fysisk ansträngning vid utrymningsmodellering.

5.1 Litteraturgenomgång

Befintlig litteratur som berör fysisk ansträngning, utrymning och matematiska modeller är väldigt begränsad. Av den litteratur som studerats är det främst Choi, Galea, & Hong (2013) som behandlar frågeställningen översiktligt utifrån resultatet från sina studier. De slutsatser som dras är att deras resultat kan vara användbara för att inkorporera i en modell av fysisk ansträngning vid utrymningsmodellering. Dock presenteras inga matematiska samband utan det diskuteras endast översiktligt att det i agentbaserade utredningsmodeller, det vill säga där varje agent hanteras som en individuell individ, kan en individuell reduktion i gånghastighet inkluderas. Att reduktionen sker på individuell basis kommer påverka den totala utrymningstiden. Författarna drar även slutsatsen att effekterna av fysisk ansträngning vid utrymningsmodellering främst kommer ha inverkan på resultatet vid analyser av t.ex. djupa undermarksanläggningar, utan mötande eller sammanfallande personflöden. Detta med hänsyn till att de utrymmande då har möjlighet att välja sin egen gånghastighet utan påverkan från andra personer.

5.2 Sammanfattning

Med hänsyn till att litteraturgenomgången påvisar att det finns starka argument för att fysisk ansträngning kan ha påverkan på utrymningsförloppet är det väldigt få studier som försökt att kvantifiera fenomenet vid utrymningsmodellering. Det är endast en artikel, av det studerade, som belyser en möjlighet att kvantifiera fysisk ansträngning vid utrymningsmodellering, men inga matematiska samband presenteras. Bristen på underlag kan bero på svårigheterna att mäta fysisk ansträngning och korrelera mätningarna mot eventuell reducerad gånghastighet.

6 Trappors utformning vid utrymning uppför

”Finns det rekommendationer för trappors design vid dimensionering av utrymning uppför långa trappor?”

Utifrån hypotesen att fysisk ansträngning kan påverka utrymningsförloppet har även forskning rörande trappors utformning vid utrymning och förflyttning uppåt studerats.

6.1 Litteraturgenomgång

Resultatet från en djupgående forskningsserie utförd av Kvarnström (1977) och Kvarnström & Ericson, (1980) är den litteratur som främst beskriver utformning av trappor. Rapporterna ger dels en historisk tillbakablick kring trappan som kommunikationssmedel, men presenterar även en sammanfattning av forskningsläget i slutet av 70-talet rörande trappors utföranden. De aspekter som studeras är bland annat stegmåtts utformning, gånglinjer och effekten av handledare. I rapportserien görs även fördjupade studier rörande spiraltrappor. Genomförda studier och litteratursammanställning i rapporterna är främst utifrån normal användning av trappor, men även utrymning och snabb förflyttning i trappor behandlas översiktligt.

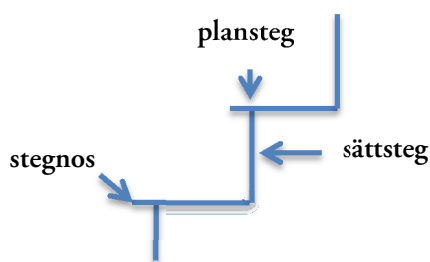
Studier kring stegmått påbörjades redan på 1700-talet genom att addera måtten på plansteg och sättsteg till en konstant summa, vilket ansågs motsvara människors steglängd på horisontell mark. År 1789 presenterade italienaren Branca, efter studier på vuxna män, den första kända trappformeln: (Kvarnström & Ericson, 1980)

$$2H+B = 60 - 63 \text{ cm.}$$

H = sättstegets höjd, och

B = planstegets längd.

I Figur 3 presenteras schematiskt sättsteg, plansteg och stegnos för ett trappsteg.



Figur 3. Schematisk uppbyggnad av ett trappsteg där sättsteg, plansteg och stegnos presenteras.

Dock menar Lichtneckert (1973) som studerade förflyttning utifrån ett fysiologiskt perspektiv, att det inte finns en universal trappdimension, som ur fysiologisk synpunkt, kan passa för alla människor och det finns således inte en generell matematisk formel för trappans alla funktioner och rörelser. Lichtneckerts (1973) undersökning fokuserade på hur mycket den fysiska ansträngningen och trappors bekvämlighet varierade i olika trappkonfigurationer. Vid försöken fick försökspersoner i åldrarna 20-60 år vandra upp och ned i olika utformningar av trappor medan den fysiska ansträngningen mättes (i form av puls och analys av utandningsluften). Totalt genomfördes 161 försök. Mätresultaten visade dock små skillnader mellan olika trappors design, men däremot kunde man finna skillnader mellan försökspersonernas resultat.

Utifrån andra studier från slutet av 70-talet ändrades grunden för dimensionering; från att tidigare främst dimensionera trappor för uppåtgående, började förflyttning neråt vara styrande för dimensionering (Kvarnström & Ericson, 1980). Utifrån detta blev planstegets dimensioner viktigare än sättstegets dimensioner, i motsats till den första trappformeln från 1700-talet. Det blev således viktigt att säkerställa att foten, vid nedåtgående förflyttning får tillräckligt plats att stå på. Rekommenderade dimensioner på stegdjup är utifrån dessa studier minst 25 cm och maximalt 30 cm för att inte tvinga användaren av trappan att ta för långa kliv vid nedåtgående förflyttning. Studien presenterade även slutsatsen att vid uppåtgående förflyttning finns det risk för att tåhättan fastnar under plansteget om det finns en stegnos (se figur 3 för schematisk visualisering av stegnos) på trappsteget, (Kvarnström & Ericson, 1980).

Kvarnström (1977) och Kvarnström & Ericson, (1980) presenterar även studier kring hur fysiologisk påverkan sker vid rörelse uppåt respektive nedåt. Uppåtgående rörelse sker främst i höftleder och knän, varje fot förs nästan parallellt in över trappsteget. Vid nedåtgående förflyttning böjer man framför allt knä och fotleder och inte alls så mycket i höftlederna. Varje fot förs mer eller mindre vinkelrätt ned mot nästa trappsteg. Med hänsyn till detta så kan det vid uppåtgående förflyttning vara mindre stegdjup än vid nedåtgående förflyttning. För steghöjden är det tvärt om. Med hänsyn till detta rekommenderar Selvik & Sonesson (1974) att steghöjden (det vill säga sättsteget enligt Figur 3) inte överstiger 20 cm. Höjder över detta mått blir muskel- och skelettrörelsen allt för komplexa. För att reducera olycksrisken belyser Selvik & Sonesson (1974) även att variationer i steghöjd, stegdjup och stegbredd bör undvikas inom trappan.

Utifrån Fruins (1971) studier under 60- och 70-talet rekommenderar han att trappor bör ha en steghöjd som är mindre än 18 cm. I anslutning till stegmåttdimensioner har Fruin (1971), Fujiyama & Tyler, (2010A & 2010B), US Department of Housing and Urban Development, (1992) med flera även undersökts hur trappans lutning påverkar förflyttning uppåt. Dock dras inga generella slutsatser kring utformning av trappor främst avsedda för uppåtgående förflyttning.

Kvarnström & Ericson, (1980) belyser även vikten av gånglinjer, (vilka ska ses som en konstruktionslinje utefter vilken man dimensionerar trappans stegförhållande). Valda gånglinjer varierar mellan olika personer (beroende på ålder, kön, gånghastighet med mera), men även trappans utformning (trapptyp, trappbredd, handledarens placering etcetera) spelar roll. Vid raka trapplopp är bredden på gånglinjen ca 70 cm. Enligt Kvarnström & Ericson, (1980) är det ledstången och inte angränsande väggar som styr var man går och gånglinjen bör beräknas 30 cm från den yttre handledarens insida.

Pauls (1988) har bland annat dragit liknade slutsatser utifrån hans utarbetade *effective width-modell* som utgår ifrån att vid transport i trappor så används inte hela den tillgängliga bredden. Enligt Pauls försök är personflödet i trappor (vid nedåtgående förflyttning) linjärt mot den effektiva bredden och denna bör nyttjas istället för verklig bredd. Gränsskiktet mellan verklig bredd och effektiv bredd i en trappa bör vara 150 mm per sida då trappan har en vägg respektive 90 mm per sida från mitten på handledaren.

Kvarnström (1977) och Kvarnström & Ericson, (1980) har även studerat inverkan av handledare i trappor. Enligt författarna är syftet med handledare att underlätta nyttjandet av en trappa och det rekommenderas att en handledare alltid placeras på en höjd av 90 cm över stegnos för att ge bäst nytta vid gång i båda riktningarna. Handledaren verkar även som avgränsning av gångfiler i trappan. Vid en effektiv bredd (mättet mellan handledare) på 1 meter uppstår två gångfält och man når endast ena handledaren, (Kvarnström & Ericson, 1980). Författarna rekommenderar även att bredden på en trappa inte bör vara bredare än att den rymmer mer än två gångfält. Bredare trappor

bör delas upp så att alla gående har möjlighet att nå minst en handledare. Utifrån presenterade studier tycks trapptyp, trappbredd och utrymningstakt (gånghastighet i trappan) påverka om man använder ledstången. Steghöjden däremot tycks inte inverka på användandet av handledaren, (Kvarnström & Ericson, 1980).

I andra studier för förflyttning i långa trappor av Choi, Galea & Hong (2013) varierar trappornas utförande, men det har inte analyserats hur trappans utformning eventuellt påverkar den fysiska ansträngningen, gånghastigheten eller utrymningsförloppet i övrigt.

6.2 Sammanfattning

Slutsatsen från studerad litteratur är att underlag för dimensionering av trappor är relativt begränsad och att dagens dimensioneringsförutsättningar i Sverige och internationellt till stor del utgår forskning kring trappor som genomfördes under 70-talet.

Förflyttning uppåt i en trappa skiljer sig från förflyttning neråt med hänsyn till de fysiologiska rörelserna. Utifrån att risken för olyckor är större vid nedåtgående förflyttning är dagens dimensioneringsförutsättningar för trappor anpassade för neråtgående förflyttning. Enligt dagens Byggregler, BBR 20 (BFS 2011:6 med ändringar t.o.m. 2013:14) (Boverket, 2013) är det allmänna rådet för utformning av trappor (avsnitt 8:232 – Trappor, ramper och balkonger) att *hänsyn bör tas till trappans lutning och längd samt måttförhållandet mellan trappstegens höjd och djup. Lutningen i gånglinjen bör inte ändras inom samma trapplopp och enstaka trappsteg med avvikande höjd bör inte förekomma. Boverket definierar även att stegdjupet i trappor bör vara minst 0,25 meter, mätt i gånglinjen.* Detta är riktlinjer som strikt hänför sig till de studier som genomfördes under 70-talet av Kvarnström och Ericson och som utgår från nedåtgående förflyttning. Detta behöver särskilt beaktas vid dimensionering av en trappa som primärt endast kommer nyttjas för uppåtgående förflyttning. Det finns således behov av att använda andra dimensionerande stegmått och att placera handledare på en annan höjd än vad som Boverkets byggregler rekommenderar. Det har dock inte presenterats några tydliga rekommenderade dimensioneringsförutsättningar för trappor som primärt är avsedda för förflyttning uppåt i genomgången litteratur. Det har inte heller identifierats några studier som explicit behandlar utformning av långa trappor vid utrymning uppåt.

7 Övriga intressanta aspekter

Vid litteraturgenomgången i sökandet på svar på definierade frågeställningar uppmärksammades ett antal relevanta aspekter. Några vitala aspekter som belysts i den genomgångna litteraturen och som kan ha inverkan på de utrymningsförsök som kommer genomföras i projektet presenteras nedan.

7.1 Litteraturgenomgång

Enligt Peacock, Averill & Kuligowski (2009) har gångsträckan för utrymning stark påverkan på gånghastigheten. Där uppskattas sträckan ha ungefär dubbelt så stor påverkan på gånghastigheten som trappans bredd eller om det förekommer motgående flöde (vilket även det påverkar trappans fria bredd).

Kholshevnikov et al (2008) lyfter fram att stora variationer förekommer avseende avstånd mellan individer, gånghastighet och persondensiteten i en grupp utrymmande människor. De menar också att korrelationen mellan persondensitet och gånghastighet i allmänhet är svag så länge densiteten är lägre än 0,5 personer/m². Arbetet inriktar sig på att känslor styr gånghastigheten mer än persondensiteten för dessa låga densiteter. Man lyfter fram samband avseende att stress ökar gånghastigheten och att känsla av trötthet ökar energiåtgången per utfört arbete (dvs att ansträngningen för att utföra samma arbete är högre om man känner sig trött än om man känner sig utvilad). Så länge de utrymmande personerna kan kontrollera sin gånghastighet gynnas deras känsla av att de kan kontrollera den situation de befinner sig i, och omvänt. Därför ser författarna en positiv korrelation mellan upplevd stress, behovet av att kontrollera sin situation, och därmed öka sin gånghastighet.

I studien av Choi, Galea, & Hong (2013) görs en jämförelse mellan tre olika sätt att mäta gånghastigheten. Det man finner vara den bästa metoden (av de tre) är att mäta passeringarna av varje våningsplan, med registrering av tiden varje gång försökspersonen placerar sin första fot på det våningsplanet. Gånghastigheten beräknas sedan genom att dividera den antagna gånglinjens sträcka med tiden. Författarna rekommenderar den metoden före andra studier av gång i trappor. Notera dock att en del av den gångsträckan är på plant underlag på vilplanen.

Pauls (1998) identifierade att vid utrymning neråt kommer passage av långsammare personer att ske. Detta skiljer sig dock åt från de resultat som Fruin drog från sina försök vid normal förflyttning i trappor neråt. Pauls studier visade även att yttre faktorer har påverkan på personsflöden i trappor. De parametrar som identifierats och som Pauls kvantifierat är trappors utformning, väggars ytråhet i anslutning till trappan samt om personerna bär ytterkläder.

I studien (Frantzich, 1996) undersöktes om det fanns ett samband mellan det interpersonella avståndet (avståndet mellan personer mätt från deras centrum sett uppifrån) i en trappa och gånghastigheten. Resultatet från studien indikerar en konstant gånghastighet, oberoende av det interpersonella avståndet då avståndet översteg ca 0,4 m. Under detta värde sjönk gånghastigheten snabbt mot stillastående. Vidare drar Frantzich slutsatsen från sina studier att trappbredden inte är en parameter som påverkar gånghastigheten i trappor, men att personflödet i trappan är beroende av trappans bredd.

7.2 Sammanfattning

En av de studerade rapporterna finner starkare korrelation mellan känslor och gånghastighet än mellan persondensitet och gånghastighet.

Det förekommer olika värden på när persondensiteten är så hög att den påverkar de gående. Värdet 0,5 personer/m² förekommer i litteraturen. Värdet avser global densitet. Den lokala densiteten kan vara betydligt högre vilket ger att osäkerheten i persondensitetens betydelse blir svår att förutsäga. Att notera är att mätningarna har skett i olika delar av världen med olika medianvärden på människors storlek och vid tidpunkter som skiljer sig mer än 40 år i tid. Med hänsyn till den utveckling som ägt rum avseende kroppsstorleken och fysisk förmåga, främst i västvärlden, under de senaste decennierna finns det anledning att betrakta dessa värden som mycket osäkra. Nämnas kan att Fruin och Pauls lät meddela för några år sedan att de inte ansåg sina forskningsresultat vara valida längre på grund av den utveckling som varit.

Det finns olika sätt att mäta och betrakta utrymning uppför trappor, något som behandlats i några av de studerade rapporterna.

8 Diskussion och slutsats

Utifrån genomgången litteratur, som behandlar fysisk ansträngning och utrymning uppför via trappor samt utrymningsvägars utformning och förflyttning i trappor, har studiens frågeställningar besvarats för att i förlängningen kunna acceptera eller förkasta studiens hypoteser. Litteraturgenomgången har gett följande svar på definierade frågeställningar:

Kan fysisk ansträngning ha påverkan på utrymningsförloppet?

- Det finns starka argument för att fysisk ansträngning kan ha påverkan på utrymningsförloppet.
- Det är få studier som explicit studerat och kvantifierat vilken grad av påverkan den fysiska ansträngningen har på själva utrymningsförloppet. En rekommendation är därför att framtida forskning undersöker denna eventuella koppling.

Om fysisk ansträngning påverkar utrymningsförloppet, hur påverkas då gånghastighet och flöde vid utrymning uppför långa trappor?

- Den studerade litteraturen och publicerade resultat visar på en reducerad gånghastighet och påverkan på personflöde vid ökad fysisk aktivitet och genomförda studier drar slutsatsen att detta kan bero på ökad fysisk ansträngning.
- Det råder oklarheter kring om förflyttning i trappor uppför styrs av gånghastigheten i kombination med hur långt avståndet är mellan olika personer. En uppfattning är att vid förflyttning uppför trappor föredrar människor normalt att ha ett längre avstånd mellan sig än vid gång på plana ytor och vid gång nedför trappor. Inga exakta värden presenteras.
- Vid gång uppför rulltrappor är avståndet vanligtvis ännu längre mellan personer än vid gång uppför traditionella trappor. Inga exakta värden presenteras.
- Genomförda försök är oftast genomförda för en begränsad del av populationen och inga generella slutsatser för en större population har presenterats.

Om fysisk ansträngning påverkar utrymningsförloppet, hur påverkas då beteendet vid utrymning uppför långa trappor?

- Den studerade litteraturen saknar djupgående studier av beteende och fysisk ansträngning vid utrymning uppför långa trappor.

Om fysisk ansträngning påverkar utrymningsförloppet, finns det då någon matematisk modell som inkluderar fysisk ansträngning vid utrymningsmodellering?

- Den studerade litteraturen presenterar inga djupgående studier kring kvantifiering av fysisk ansträngning vid utrymningsmodellering.
- Det har inte publicerats några matematiska samband som beaktar fysisk ansträngning och dess eventuella inverkan på utrymningsförloppet.
- Bristen på underlag kan bero på svårigheterna att mäta fysisk ansträngning och korrelera mätningarna mot eventuell reducerad gånghastighet.

Finns det rekommendationer för trappors design vid dimensionering av utrymning uppför långa trappor?

- Trappans utformning påverkar på hur säkert man förflyttar sig i en trappa.
- Då risken för olyckor är större vid nedåtgående förflyttning än uppåtgående, är dagens dimensioneringsförutsättningar för trappor främst anpassade för nedåtgående förflyttning.
- Boverkets rekommendationer kring plansteg och sättsteg samt placering av handledare är inte optimala mått för uppåtgående förflyttning. Det finns således behov av att använda andra dimensionerande värden för trappsteg och att placera handledare på en annan höjd än vad som Boverkets byggregler rekommenderar om trappor endast avses nyttjas för uppåtgående förflyttning.
- Det har inte presenterats några tydliga dimensioneringsförutsättningar för trappor primärt avsedda för uppåtgående förflyttning eller för trappor enbart avsedda för utrymning.

Utifrån studiens hypoteser;

- a. Fysisk ansträngning är en beskrivande parameter för utrymningsförloppet (och påverkar gånghastighet, personflöde och beteende vid utrymning uppåt);
- b. Trappors design påverkar utrymningsförloppet vid utrymning i långa trappor uppåt,

och de svar på de definierade frågeställningar, kan inte hypoteserna förkastas med stöd av den genomförda litteraturstudien. Dock har genomgånga studier inte kunnat erbjuda tillräckligt underlag för att till fullo acceptera dem. Behov av ytterligare studier föreligger således innan ett entydigt svar kan ges rörande korrelationen mellan fysisk ansträngning och utrymning samt designkriterier för trappor främst avsedda för uppåtgående förflyttning. Framtida studier bör inrikta sig på:

1. Gånghastighet och flöde, inklusive beteende, samt om det bör föreslås maximala höjder för utrymning.
2. Lämplig utformning av långa trappor främst avsedda för uppåtgående förflyttning och utrymning för optimering av gånghastighet, personflöde och säkerhet. Aktuella aspekter att studera är placering av handledare och trappstegets utformning.

I anslutningen till att besvara litteraturstudiens frågeställningar har även viktiga aspekter identifierats som kan ha påverkan på projektets kommande utrymningsförsök. Korrelationen mellan persondensiteten och gånghastigheten varierar beroende på nivån av persondensiteten. Vid låg persondensitet är korrelationen med gånghastighet svag, men vid högre densitet ökar graden av korrelation. Gränsvärdet för när detta sker är inte helt tydlig, men 0,5 pers/m² förekommer i litteraturen. Det förekommer även olika sätt att mäta och beskriva förflyttning uppför trappor. De studerade resultaten är därför i vissa fall svåra att jämföra med varandra.

Befintlig forskning och publicerad litteratur kring ämnet fysisk ansträngning och utrymning uppåt är mycket begränsad. Flera av de genomgånga studierna har även starka inbördes samband och merparten hänvisar till, och tar utgångspunkt från, den forskning som Fruin och Pauls genomförde under slutet av 60- och början av 70-talet. Med hänsyn till att Fruin och Pauls lät meddela för några år sedan att de inte ansåg sina forskningsresultat vara valida längre, på grund av den utveckling som varit kring människors fysiska förmåga, bör tidigare dragna slutsatser behandlas med en viss försiktighet.

9 Referenser

Boverket, (2013), Boverkets byggregler, BBR 20 (BFS 2011:06 med ändringar t.o.m. BFS 2013:14), Boverket, Karlskrona

Boverket. (1994), Utrymningsdimensionering, Rapport 1994:10, Boverket, Karlskrona

Commission of the European Communities, (2008), Regions 2020: Demographic challenges for European Regions. Brussels, Commission of the European Communities.

Choi, J-H., Galea, E.R., Hong, W-H., (2013), Individual Stair Ascent and Descent Walk Speeds Measured in a Korean High-rise building, Journal: Fire Technology, December 2013. Online ISSN: 1572-8099, Publisher: Springer US

Egan , M. D., (1978), Concepts in building fire safety, John Wiley and sons Inc., New York

Frantzich H., (1993), Utrymningsvägars fysiska kapacitet, sammanställning och utvärdering av kunskapsläget, Lunds University, Institute of Technology Department of Fire Safety Engineering, Lund

Frantzich, H., (1996), Study of Movement on Stairs During Evacuation Using Video Analysing Techniques, Institute of Technology Department of Fire Safety Engineering, Lund

Fruin, J., (1971), Pedestrian planning and design, Metropolitan association of urban designers and environmental planners, New York, USA

Fujiyama, T., Tyler N., (2010A), An Explicit Study on Walking Speeds of Pedestrians on Stairs, Centre for Transport Studies, University College London, UK

Fujiyama T., Tyler, N., (2010B), Prediction the walking speed of pedestrians on stairs, Centre for transport Studies, Department of Civil environmental and Geomatic Engineering, University College London, Transportation Planning and Technology, vol. 33, No. 2, pp. 177-202, 2010

Hallberg, G. & Nyberg, M., (1987), Utrymnings säkerheten i servicehus, Rapport R3:1987, byggnadsfunktionslära KTH, Stockholm

Kadokura, H., Sekizawa, A., Takahashi, W., (2009), Study on availability and issues of evacuation using stopped escalators in a subway station, Human Behaviour in Fire Symposium 2009

Khisty, J., (1985), Pedestrian flow characteristics on stairways during disaster evacuation. Transport Research Record 1047 pp 97-102

Kinsey, M.J., Galea, E.R., Lawrence, P.J., Blackshields, L.H., Day, R., Sharp, G., Modelling Pedestrian Escalator Behaviour. Pedestrian and Evacuation Dynamics 2008

Kholshevnikov, V.V., Shields, T.J., Boyce, K.E., Samoshin, D.A., (2008), Recent developments in pedestrian flow theory and research in Russia. Fire Safety Journal 43 pp. 108-118

Kretz, T., Grünebohm, A., Kessel, A., Klüpfel, H., Meyer-König, T., Schreckenberger, M., (2006), Upstairs Walking Speed Distribution on a Long Stairway, Physik von Transport und Verkehr, Universität Duisburg-Essen, Duisburg, Germany

Kvarnström, L., (1977), Trappor, en sammanställning av delrapporter rörande trappor och trappgåendet, Arkitektur 1 B, Lunds tekniska högskola, Lund

Kvarnström, L., Ericson, L. (1980), Spiraltrappan, en diskussion om risker och rörelser, Arkitektur 1 B, Lunds tekniska högskola, Lund

Københavns brandvæsen og Tryk i Danmark, (2000), Brand og brandsikkerhet i forsamlingslokaler – et fælles ansvar. Köpenhamn, Danmark

Lichtneckert, S., (1973) Arbetsfysiologisk undersökning, Fysiologiska institutionen, Lunds universitet, Lund

Okada, N., Hasemi, Y., Moriyama, S., Feasibility of upward evacuation by escalator – An experimental study. Human Behaviour in Fire Symposium 2009

Pauls, J.,(1988), Movement of people, SFPE handbook of fire protection engineering, Boston 1988,

Peacock, Averill, J., & Kuligowski. (2009). Stairwell Evacuation from Buildings: What We Know We Don't Know, NIST Technical Note 1624, Gaithersburg, USA, National Institute of Standards and Technology.

Predtetschenski V. M. & Milinski A. I., (1971), Personenströme in bebäuden – Berechnunmethoden für dei projektierung, Staatsverlag der Deutsche Demokratischen Republik, Berlin, Deutsche Demokratischen Republik

Spearpoint, M., & MacLennan, H. A., (2012), The Effect of an Ageing and Less Fit Population on the Ability of People to Egress Buildings. Safety Science, 50(8), PP. 1675-1684, doi:10.1016/j.ssci.2011.12.019

Selvik, G. & Sonesson, B (1974) Rörelsemönster vid gång i trappor. En funktionell-anatomisk studie, Byggforskningens rapportseri

U.S. Department of Housing and Urban Development, (1992), Stair Safety, A Review of the Literature and Data Concerning Stair Geometry and Other Characteristics, U.S. Department of Housing and Urban Development, Office of Policy Development and Research, Washington, USA

Yeo, S.K., He, Y., (2009), Commuter characteristics in mass rapid transit stations in Singapore, Fire Safety Journal 44 (2009), pp. 183-191

Brandteknik
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 Lund

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

Telefon: 046 - 222 73 60
Telefax: 046 – 222 46 12

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

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

Telephone: +46 46 222 73 60
Fax: +46 46 222 46 12