Utvärdering och validering av utrymningsprogram

Håkan Frantzich
Daniel Nilsson
Oskar Eriksson

Department of Fire Safety Engineering
Lund University, Sweden

Brandteknik
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet

Report 3143, Lund 2007

Rapporten har finansierats av Statens Räddningsverk

Utvärdering och validering av utrymningsprogram

Håkan Frantzich
Daniel Nilsson
Oskar Eriksson

Lund 2007

Rapporten har finansierats av Statens Räddningsverk

Utvärdering och validering av utrymningsprogram

Evaluation and validation of evacuation programs

Håkan Frantzich, Daniel Nilsson och Oskar Eriksson

Report 3143

ISSN: 1402-3504

ISRN: LUTVDG/TVBB--3143--SE

Number of pages: 70

Keywords

Evacuation, egress, human behaviour, fire, validation

Sökord

Utrymning, evakuering, människors beteende, brand, validering

Abstract

An evaluation and validation of the two egress models STEPS and Simulex has been performed. Both models are able to predict a likely movement situation during an evacuation with reasonable accuracy. Only the movement characteristics have been evaluated even if human behaviour to some degree can be handled by the models. Some anomalies have been identified for both models. The models' results have been compared to experiments, both controlled laboratory experiments and results from evacuations. The controlled experiments cover movement through door openings and movement in stairs, both up and down. In addition new experimental data have been obtained in the study to facilitate the evaluation of the models. The models behaviour was also tested against data from an unannounced evacuation from a cinema theatre.

© Copyright: Brandteknik och riskhantering, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund 2008.

Brandteknik och riskhantering
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 and Systems Safety
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

Förord

Rapporten utgör en delredovisning av forskningsprojektet 'Kvalitetssäkring av olycks- och skadeförebyggande arbete med brandskydd i byggnader'. Projektet syftar som helhet till att beskriva hur väl olika datorprogram för bl a brandgasspridning och utrymning modellerar en motsvarande verklig situation. Den föreliggande rapporten omfattar jämförelsen av två olika utrymningsprogram. I en annan rapport, Holmstedt m fl (2008), redovisas resultaten av övriga delar av projektet.

Forskningsprojektet, i rapporten kallat huvudprojektet, har finansierats av Statens Räddningsverk och har letts av Professor Göran Holmstedt från Brandteknik och Riskhantering vid Lunds Tekniska Högskola (LTH). Projektet har varit ett samarbetsprojekt mellan LTH, Brandskyddslaget och SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut vars deltagare utgjort arbetsgruppen. Arbetet startades under 2005 och slutredovisades i Karlstad i december 2007.

Denna rapport ges en beskrivning av vad som gjorts och vilka resultat som framkommit. Dock är stora delar av underlaget inte inkluderat utan finns istället tillgängligt i elektroniskt format på http://www.brand.lth.se.

Lund december 2007

Sammanfattning

I rapporten redovisas resultaten från en utvärdering av två utrymningsprogram, STEPS och Simulex. Dessa två program valdes efter en enkätundersökning som visade att de var de två vanligaste programmen som svenska brandskyddskonsulter använde för att simulera utrymningsförlopp. Begreppet utrymningsprogram är kanske missvisande eftersom både STEPS och Simulex i grunder enbart beräknar personers förflyttning och inte i någon större utsträckning tar hänsyn till hur människan agerar i den uppkomna situationen. Det är programmens förmåga att beräkna människors förflyttning vid utrymning som arbetet har varit inriktat mot.

Både STEPS och Simulex kan på ett tillfredsställande sätt beskriva de förflyttningar som en användare kan vilja beräkna för att få en uppfattning om utrymningstider. Detta innebär dock inte att de på ett realistiskt sätt beskriver hur ett utrymningsförlopp kan gå till eftersom detta förlopp även inkluderar aspekter som har att göra med människors beteenden.

Det finns vissa speciella egenheter med både STEPS och Simulex som gör att användaren bör vara medveten om. Vid användningen av STEPS är det väsentligt att känna till att gånghastigheter vid köbildningar beräknas utifrån den persontäthet som gäller. Det som påverkar den erhållna gånghastigheten styrs direkt av användaren som indirekt definierar den maximalt tillåtna persontätheten genom sin definition av beräkningsrutnätet. Om beräkningsrutnätet anges med en längre kantlängd leder det till att persontätheten inte kan bli för hög då endast en person kan uppehålla sig i en ruta. Detta leder till höga gånghastigheter.

För Simulex har det konstaterats att beräkningen av gånghastigheter i trappor uppvisar oväntade resultat. En rad olika simuleringar visar att antalet personer som per tidsenhet förflyttar sig uppför trappor gör detta snabbare än om förflyttningen sker nedåt. Detta stämmer inte så väl med vad som kan förväntas eller av de experiment som finns tillgängliga. Nu är skillnaden mycket liten men indikerar ändå att det finns antaganden i de ingående beräkningsalgoritmerna som kanske inte är helt korrekta. Beräkningen av gånghastighetens beroende på persontätheten i är avancerad i Simulex vilket kan vara en av orsakerna till anomalin.

För att kunna utvärdera de två utrymningsprogrammen har beräkningsresultat jämförts med experimentella resultat. Utvärderingen har genomförts på två nivåer. På den första nivån har programmens förmåga att hantera förflyttning för några typiska passager studerats. Det har varit passage uppför och nedför trappor av olika bredd samt passage genom dörröppningar och liknande förträngningar. På den andra nivån har programmens förmåga att efterlikna en verklig oannonserad utrymning från en biograf undersökts. Vid dessa experiment har det antagits att personerna agerade så som de förväntas göra vid en verklig utrymningssituation. De faktorer som primärt jämfördes mot experimenten var hur programmen bygger upp kösituationen vid trånga passager, d v s vid utgångsdörrarna från den aktuella biografsalongen. Inslag som är relaterade till människors beteenden t ex val av utrymningsväg lades in som indata i programmen för att i möjligaste mån isolera förflyttningsberäkningen i jämförelsen.

De största problemen med en validering av utrymningsprogram är bristen på väldokumenterade experiment. Visserligen finns många genomförda utrymningsförsök men dessa kan i många fall inte användas eftersom viktiga förutsättningar inte är tillräckligt utförligt dokumenterade. Några tidigare genomförda experiment fanns tillgängliga men som komplement till dessa genomfördes en stor förflyttningsundersökning som en del av projektet. Denna syftade i första hand till att öka kunskapen om hur förflyttning sker vid dörröppningar och liknande förträngningar. Försöken filmades med videokameror och finns dokumenterade för vidare analys. Dessa resultat kommer tillsammans med annat material att göras tillgängligt via Internet.

Projektet har genomförts inom ramen för ett av Räddningsverket finansierat forskningsprojekt; *Kvalitetssäkring av olycks- och skadeförebyggande arbete med brandskydd i byggnader* som genomfördes mellan 2005 och december 2007. I hela projektet ingår också validering av olika datorprogram för bl a brandgasspridning, främst CFD-program. Projektet har varit ett samarbetsprojekt mellan LTH, Brandskyddslaget och SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut.

Summary

Results from an evaluation of the two egress models STEPS and Simulex are presented in the following report. The two programs were selected based on a questionnaire study with Swedish consultants in Fire Safety Engineering, which showed that STEPS and Simulex were the most frequently used egress models. Both models simulate mainly movement of people and limited consideration is taken of human behaviour during the evacuation process. In the present study only the models' ability to simulate movement of people was therefore evaluated.

The study shows that both STEPS and Simulex are able to predict movement of people with reasonable accuracy. The two models can therefore be useful tools for estimating the egress time during evacuation. This is, however, not the same as saying that they can accurately predict a realistic evacuation situation as this also includes aspects related to human behaviour.

However, there are peculiarities in both STEPS and Simulex that the user should be aware of. For STEPS it is essential to know how the grid cell size influences the simulation results. In the program the walking speed is reduced as a function of occupant density. The maximum occupant density is defined by the user when the size of the grid cells is specified since a cell can only hold one person. If the grid cells are big the maximum occupant density becomes low, which may lead to higher walking speeds.

In Simulex calculations of flow in stairs resulted in unexpected results. A number of different simulations showed that more people per unit time were able to move up than down stairs. This does not concur with what is expected or with available experiments. The observed difference is very small, but indicates that the equations used in the program might not be sufficiently accurate. In Simulex the reduction of walking speed based on occupant density (distance to others) is complex and may be the cause of the observed anomaly.

In order to evaluate the two egress models simulation results were compared to results from experiments. The comparisons have been performed at two different levels. For the first level the programs' ability to accurately simulate movement through specific passages was studied. Included passages consisted of stairs, both up and down, and openings.

For the second level comparisons the ability of the programs to accurately simulate unannounced evacuations of a cinema theatre was examined. In the unannounced evacuations it is estimated that people acted similar to how they would initially have acted in the event of a fire emergency. The aspects that were analysed in the comparisons were manly queue situations that arose at the exits of the cinema theatre. Data concerning human behaviour, e.g., exit choice, was used as input in many of the simulations in order to focus the comparisons on movement of people.

The greatest difficulty during validation of egress models is to find well documented and relevant experiments. There are reported evacuation experiments, but many of them are not described sufficiently and are therefore impossible to use for validation. In the study some existing experiments were used, but new experiments that focused on movement through openings were also performed. The results from the experiments and all other parts of the study are available on the Internet to facilitate future validation activities.

The present study was performed as part of a project sponsored by the Swedish Rescue Services Agency. The project started in 2005 and finished in December 2007 and included validation of both egress and CFD models. Participants of the project were Lund University, Brandskyddslaget and SP.

Innehållsförteckning

1 INTRODUKTION ... 1

1.1 BAKGRUND ... 1
1.2 SYFTE ... 2
1.3 MÅL ... 2
1.4 METOD ... 3
1.5 AVGRÄNSNINGAR ... 3

2 UTRYMNINGSPROGRAM ... 5

2.1 NÄTVERKSMODELLER ... 5
2.2 RUTNÄTSMODELLER ... 5
2.3 PARTIKELMODELLER ... 6
2.4 BEFINTLIGA UTRYMNINGSPROGRAM ... 6

3 ANVÄNDNING AV BERÄKNINGSVERKTYG VID PROJEKTERING ... 7

3.1 ALLMÄNT ... 7
3.2 GENOMFÖRANDE ... 7
3.3 RESULTAT ... 7
3.3.1 Kompetens ... 7
3.3.2 Spridningsmodeller för brandgaser ... 8
3.3.3 Utrymningsprogram ... 8
3.3.4 Handberäkningar ... 8
3.3.5 Kvalitetssäkring ... 8

4 GÅNGFÖRSÖK I TRAPPA OCH GENOM DÖRRÖPPNING ... 9

4.1 ALLMÄNT ... 9
4.2 FÖRSÖK ... 9
4.2.1 A: LTH - trappa ... 9
4.2.2 B: Akademiska Föreningen - trappa ... 10
4.2.3 C: Akademiska Föreningen - dörr ... 10
4.3 BERÄKNINGAR MED STEPS ... 11
4.3.1 Personflöden i trappor (försök A och B) ... 11
4.3.2 Personflöde genom dörröppning (försök C) ... 14
4.4 BERÄKNINGAR MED SIMULEX ... 16
4.4.1 Personflöden i trappor (försök A och B) ... 16
4.4.2 Personflöde genom dörröppning (försök C) ... 17
4.5 SUMMERING ... 18

5 FÖRSÖK PÅ LTH ... 21

5.1 FÖRSÖK ... 21
5.1.1 Försöksuppställning ... 21
5.1.2 Deltagare ... 22
5.1.3 Genomförande ... 22
5.1.4 Analys ... 22
5.1.5 Resultat ... 24
5.2 BERÄKNINGAR I STEPS ... 26
5.2.1 Total tid ... 28
5.2.2 Flöde genom öppning ... 29
5.2.3 Persontäthet ... 30
5.3 BERÄKNINGAR I SIMULEX ... 31
5.3.1 Total tid ... 32
5.3.2 Flöde genom öppning ... 33

5.3.3 Persontäthet *34*
5.4 SUMMERING 35

6 FÖRSÖK I EN BIOGRAFSALONG 37

6.1 FÖRSÖK 37
6.2 BERÄKNINGAR I STEPS 41
6.3 BERÄKNINGAR I SIMULEX 44
6.4 SUMMERING 46

7 DISKUSSION OCH SLUTSATSER 49

1 Introduktion

1.1 Bakgrund

I samband med brandteknisk projektering och vid säkerhetsanalyser av existerande verksamheter används idag ofta olika former av datorbaserade utrymningsprogram. Dessa utrymningsprogram används för att beräkna hur lång tid det tar att utrymma en byggnad eller annan anläggning t ex tunnel, fartyg eller liknande. Den tid som programmen vanligen beräknar är den tid det tar för en eller flera personer att förflytta sig från en plats i byggnaden till en säker plats, vanligen utomhus. Det ska dock nämnas att det finns enkla beräkningsuttryck som gör det möjligt att beräkna förflyttningstiden enbart med hjälp av papper och penna, men för större byggnader som innehåller flera flödesbegränsande passager, t ex trappor och dörrar, är det lämpligare att använda ett datorbaserat program. I denna rapport behandlas enbart datorbaserade modeller, vilka fortsättningsvis kallas utrymningsprogram.

Vanligtvis används begreppet utrymningsprogram, trots att dessa egentligen inte analyserar hela utrymningsförloppet. I utrymningsförloppet ingår exempelvis skedet från antändning till upptäckt av branden samt aspekter som har att göra med människors beteenden och som också tar viss tid i anspråk. Den återstående fasen i utrymningsförloppet är alltså själva förflyttningstiden, vilket innebär att programmen egentligen borde kallas för förflyttningsprogram. Av olika skäl används inte detta begrepp utan de kallas vanligen för utrymningsprogram. Några av de existerande utrymningsprogrammen gör visserligen anspråk på att ha hänsyn till människors beteende i viss utsträckning, men ännu finns inga modeller som inkluderar hela utrymningsförloppet. På sikt kan dock modeller som hanterar hela förloppet och som dessutom är integrerade med program som beskriver brandens konsekvenser i byggnaden komma att utvecklas.

Utvecklingen av utrymningsmodeller påbörjades i mitten av 1980-talet då några av de första beräkningsprogrammen togs fram. Målsättningen var att ge den projekterande ingenjören ett kraftfullt verktyg för att kunna uppskatta tiden det tog att utrymma en byggnad som bestod av flera flödesbegränsande passager. Eftersom datorkapaciteten var låg (med dagens mått mätt) utformades dessa tidiga datorprogram som enkla flödesprogram som kan liknas med sådana som beräknar vätskeströmning i rör. Några av dessa kunde följa de enstaka personernas gång i byggnaden, men i dessa fall beräknades endast gångtider och hänsyn togs inte till flödesrestriktioner.

Allteftersom datorers kapacitet förbättrades ökade också möjligheten att beräkna personförflyttning i byggnader. Flera av dagens utrymningsprogram har avancerade grafisk möjligheter och kan visa utrymningsförlopp i en tredimensionell grafisk omgivning. I något fall kan även illusionen av brandrök läggas in för att ytterligare förstärka realismen. Den stora utvecklingen som skett har främst gynnat möjligheten att mer noga beskriva själva förflyttningsdelen av utrymningsförloppet. Vad personerna gör innan och under utrymningsförloppet behandlas fortfarande mycket förenklat. I flera fall ger datorprogrammen användaren möjlighet att lägga till fördröjningstider till förflyttningstiden för att på det viset simulera att personerna inte utrymmer direkt. I något fall har programmen integrerade beslutsregler som ger olika simulerade utfall beroende på omständigheter som kan ha att göra med byggnadens utformning eller branden utveckling. Underlaget till dessa regler kan dock till viss del ifrågasättas, men detta utvecklas inte vidare i rapporten.

Underlaget till utrymningsprogrammen är vanligen försök som genomförts för att bestämma hur fort personer förflyttar sig i olika situationer. En lång rad studier har genomförts, vilket gör att underlaget gånghastighet i genomsnitt är förhållandevis gediget. Däremot är kunskapen inte lika god vad gäller spridningen i förflyttningsförmåga eller vad det är som kontrollerar hastigheten för en enskild individ i t ex en grupp. Det finns mätningar som redogör för inverkan av persontäthet på gånghastigheten, men osäkerheten är ganska stor och persontätheten är inte nödvändigtvis den enda variabel som styr.

De flesta undersökningar om hur personer förflyttar sig är också utförda vid normala förhållanden t ex mätningar på personer som befinner sig i en järnvägsstation. Det gör att underlaget som används för att beräkna förväntade utrymningstider inte beaktar faktorer som är närvarande vid en brand. Detta är dock

en naturlig begränsning eftersom det svårligen går att göra försök där en realistisk brandmiljö kan återskapas. När det gäller personers gånghastighet i en utrymningssituation är det dock rimligt att anta att det går fortare än när personerna förflyttar sig vid normala förhållanden. Men skillnaden är kanske inte så stor vid jämförelsen mellan pendlare i en järnvägsstation, som normalt går fort, och personer som utrymmer. Omvänt kan också gälla att personer som befinner sig i en lugn miljö, under normala förhållanden, går långsammare än med sin normala genomsnittshastighet enbart på grund av att miljön de befinner sig i inte inbjuder till att förflytta sig snabbt. Ett exempel på dessa förhållanden kan vara personer som lämnar en biograf efter avslutad föreställning. Definitionen av vad som är normala förhållanden är därför inte entydig.

När ett utrymningsprogram ska användas för att uppskatta en realistisk utrymningstid genomförs beräkningar som bygger på en rad antaganden om hur personer förflyttar sig i olika situationer och beroende på de lokala omständigheterna runtomkring personen. Programmets giltighet uttryckt som validitet är därför betydelsefull då trovärdigheten i de beräknade resultaten ska bedömas. Med validitet avses i detta fall ett mått på hur väl utrymningsprogrammet förutspår det som det är avsett att modellera t ex att programmet är anpassat för utrymningsförhållanden. En förutsättning för validitet är reliabilitet, d v s programmets precision. Med detta menas att utrymningsprogrammet ska generera likartade resultat vid upprepade identiska beräkningar. För dagens, i huvudsak, deterministiska program är dock inte reliabiliteten ett problem, varför det enbart är relevant att diskutera validitet. Det finns ett mindre slumpmässigt inslag i flera utrymningsprogram men detta är vanligen litet. Ett exempel på tillfälle då slumpen kan inverka är vid utplacering av individer vid en simulering. Personernas placering genereras vanligen av programmet och användaren bestämmer i princip endast att ett visst antal personer ska placeras ut på ett våningsplan men inte exakt var dessa ska befinna sig.

Det som kan uppfattas som bekymmersamt är att det inte genomförts några mer omfattande studier i syfte att validera utrymningsprogram. Det finns genomförda experiment med t ex en utrymningsövning som observerats och som sedan analyserats med olika modeller. Det som är problemet är att det vanligen endast finns ett experiment som valideringen utförts mot. Det är heller inte så vanligt med mer detaljerade oberoende analyser av hur olika program uppför sig för olika beräkningssituationer. Det som förekommer är jämförande analyser där programmens utvecklare också redovisar en rad försök som visar hur väl det egna programmet beskriver ett verkligt försök. Det finns därför ett behov av att systematiskt undersöka hur väl utrymningsprogram beskriver situationer som en brandteknisk utredning syftar till att analysera. Hur vet en brandprojektör att det använda programmet ger en realistisk representation av det undersökta scenariot och hur bra är denna representation?

Ett av de mer påtagliga problemen i samband med att validering av utrymningsprogram ska göras är att det inte finns väldokumenterade försök att jämföra beräkningar med. De försök som finns publicerade i t ex olika tidskrifter är vanligen inte tillräckligt väl beskrivna för att kunna tjäna som underlag för validering. Det är alltså också väsentligt att finna metoder för att dokumentera försök som genomförs på ett välstrukturerat sätt så att möjligheten till jämförande beräkningar kan göras.

1.2 Syfte

Arbetet genomförs för att beskriva den skillnad som kan finnas mellan beräknade utrymningstider och uppmätta tider från en motsvarande verklig situation. Förenklat kan sägas att syftet är att försöka ge en bild av hur bra utrymningsprogrammen är att beskriva en given situation genom att jämföra beräkning med experiment. Ett annat syfte är att öka kunskapen om olika modellers begränsningar och orsaker till dessa för att på sikt bidra till att förbättrade utrymningsprogram ska kunna utvecklas.

1.3 Mål

Målet med studien är att ta fram kunskap om hur väl de vanligaste utrymningsprogrammen kan modellera förflyttning vid olika utrymningssituationer, d v s att validera programmen. Valideringen avgränsas således till att endast programmens förmåga att hantera människors förflyttning undersöks. Vidare är målet att

den nya kunskapen ska kunna höja medvetenheten bland programanvändare genom att dessa förses med information om typiska fel som kan förväntas vid utrymningsberäkningar.

1.4 Metod

Arbetet har inriktats mot att jämföra beräknade förflyttningstider med motsvarande tider från försök, för att på det viset få en uppfattning om programmens förmåga att beskriva försöksförhållandena. Jämförelserna görs främst för vanliga passager som förekommer vid en utrymning t ex personflöden och hastigheter i trappor och genom dörröppningar.

Väldokumenterade försök har också funnits tillgängliga som omfattar nästan ett fullständigt utrymningsförlopp vilket används för att jämföra programmens hantering av en verklig situation. Även i dessa fall studerades förmågan till förflyttning och de inledande delarna av det fullständiga utrymningsförloppet omfattas inte av jämförelsen. Personers beteendemönster och reaktionstider ansattes i dessa fall från observationerna.

Arbetet med att utvärdera utrymningsprogram ingår i ett större arbete vilket beskrivs i huvudprojektets rapport, Holmstedt m fl (2008).

Arbetet inleddes med att en enkätstudie genomfördes bland svenska brandkonsulter för att ta reda på vilka utrymningsprogram och andra beräkningsmetoder som valideringen skulle inriktas mot, d v s för att bestämma vilka program som används oftast vid brandteknisk projektering. Denna del redovisas i kapitel 3. Samtidigt genomfördes en litteraturgenomgång för att identifiera väldokumenterade utrymningsexperiment som kunde användas som underlag för valideringen. Dessutom utfördes en inventering av olika utrymningsprogram, vilken fokuserades på hur programmen var uppbyggda. Resultatet av denna inventering presenteras i kapitel 2.

Efter att utrymningsprogrammen som skulle ingå i analysen valts ut påbörjades arbetet med att undersöka hur programmen presterade i de olika situationerna som skulle undersökas. Denna analys genomfördes på två nivåer.

I den första nivån granskades programmens hantering av förflyttning förbi några typiska passager t ex genom dörröppningar och i trappor. Till denna del fanns ett visst underlag att jämföra programmens beräkningar mot, men dessa tidigare publicerade experimenten kompletterades med nya försök för att utöka underlaget. Förutsättningar och resultat från den första analysnivån presenteras i kapitel 4 och 5.

I den andra nivån av analys genomfördes beräkningar med programmen för oannonserade utrymningsförsök i en biograf, d v s för en större del av ett utrymningsförlopp. Analysen begränsades dock till att enbart undersöka förflyttningsfasen för personerna eftersom de använda programmen enbart kan hantera detta. Fördelen med det experimentella underlaget från biografförsöken är att det finns repeterade försök, d v s flera försök med i grunden samma förutsättningar. Det som skiljer är i praktiken endast de enskilda personerna som ingår eftersom försöken är utförda i samma salong. Resultaten från analysen på den andra nivån redovisas i kapitel 6. Slutligen sammanställdes erfarenheter och slutsatser av valideringsstudien, vilka återfinns i kapitel 7.

1.5 Avgränsningar

Den mest uppenbara avgränsningen i arbetet är att endast två utrymningsprogram ingått i analysen. Motivet till detta är dels resultaten från enkätstudien bland användare som pekade på att det i praktiken var två program som användes, nämligen STEPS (Mott MacDonald, 2006) och Simulex (Thompson och Marchant, 1995).

En annan avgränsning ligger i att endast programmens beräkning av personförflyttning undersöktes. Detta motiveras av att det i praktiken endast är just förflyttning som modelleras. I STEPS finns det inslag av handlande för de simulerade personerna som härrör från olika beteenden beroende på hur situationen ser

ut runt omkring. Dock är underlaget till dessa beslutsregler höljt i dunkel och programmets förvalda värden för inställningar för personbeteenden har använts.

En slutlig avgränsning ligger i att experiment och försök som utgör underlag till valideringen är begränsat tillgängliga. I några fall finns väldokumenterade oannonserade utrymningsförsök vilka använts. Men ofta finns endast förflyttningsundersökningar för delar av ett utrymningsförlopp. Då har dessa förhållanden undersökts. Det kan dock konstateras att tillgängligheten till ordentligt dokumenterade försök är en klart begränsande faktor.

2 Utrymningsprogram

Utifrån hur dagens utrymningsprogram är uppbyggda kan de struktureras i tre olika kategorier (Nilsson, 2007):

- nätverksmodeller
- rutnätsmodeller
- partikelmodeller.

2.1 Nätverksmodeller

Nätverksmodellen innebär att byggnaden beskrivs i form av platser eller noder och kopplingar mellan dessa noder. En nod kan exempelvis representera ett rum, en trappa eller en öppning mellan två rum. Det är i noderna som personer kan befinna sig.

Mellan noderna görs kopplingar vilka i princip beskriver vilka möjliga vägar som finns mellan olika noder. Kopplingarna kan beskrivas i form av tid som åtgår att förflytta sig mellan två noder och hur många personer som kan passera igenom kopplingen per tidsenhet. På det viset kan byggnadens förflyttningsstruktur byggas upp i form av ett nätverk av noder och kopplingar. Förflyttningstiden genom nätverket kan beräknas utifrån de olika kopplingarnas kapaciteter vilka styr hur lång tid det tar att förflytta ett antal personer genom nätverket.

Nätverksmodeller var den första typen av utrymningsprogram som utvecklades och de är därför ganska enkla i sin struktur. Vanligen innehåller de bara enklare möjligheter för en användare att påverka en simulering t ex genom att kunna lägga in fördröjningstider för att illustrera människors beteenden. Övriga typiska beteenden som användaren skulle vilja illustrera t ex vägval mellan olika utrymningsvägar är svårare att genomföra på ett realistiskt sätt även om det kan vara möjligt.

Resultaten från nätverksmodeller utgörs vanligen av en tid som anger den totala förflyttningstiden och i vissa fall tider när vissa noder innehåller personer. Idag används nätverksmodeller i mindre omfattning främst eftersom mer moderna program finns tillgängliga. För vissa specialtillämpningar används vissa nätverksmodeller även idag t ex Escape and Rescue Model (ERM) (Alvord, 1985) som är utvecklat att simulera utrymning från vårdanläggningar och liknande där personer behöver assistans för att utrymma.

2.2 Rutnätsmodeller

I samband med att utvecklingen av datorers beräkningskapacitet förbättrades kunde nyare angreppssätt användas för att simulera utrymning. Möjligheten till en grafisk presentation av utrymningsförlopp förbättrade möjligheterna att illustrera vad som hände och detta kunde bara göras med kraftfullare datorer. Rutnätsmodeller bygger på att byggnaden representeras av ett rutnät där varje ruta kan innehålla maximalt en person. Rutnätets utseende och funktion kan dock variera mellan olika datorprogram. Rutorna kan antingen vara blockerade av t ex väggar eller tillgängliga för personer. Dessa modeller utgår ofta från en CAD-ritning för att beskriva hur beräkningsgeometrin ser ut.

Möjligheten att påverka förutsättningarna för simuleringen är också mycket större för de modernare rutnätsmodellerna. De innehåller också mer noggranna beräkningsalgoritmer för att beskriva hur personer förflyttar sig. Personernas egenskaper, gånghastigheter mm kan varieras utifrån de givna förutsättningarna. Beräkningsresultaten blir också mer noggranna jämfört med nätverksmodellerna.

I några program finns också inbyggda beslutsregler vilka gör att personer på egen hand kan ändra sin förflyttning baserat på hur omständigheterna i byggnaden förändras t ex om rök uppträder efter en viss tid i ett rum. Nackdelen med dessa beslutsregler är att de vanligen är klent validerade. Av de två utrymningsprogram som ingår i valideringen i denna rapport tillhör STEPS (Mott MacDonald, 2006) kategorin rutnätsmodeller.

2.3 Partikelmodeller

Den sista av kategorierna utrymningsprogram är de sk partikelmodellerna, vilka i studien representeras av Simulex (Thompson och Marchant, 1995). Dessa innebär den mest realistiska beskrivningen av personers förflyttning. I modellerna begränsas personers förflyttning varken av ett nätverk eller av ett rutnät, utan personerna är istället försedda med koordinater som beskriver deras position i byggnaden. Denna exakta beskrivning innebär att personernas förflyttning kan beskrivas på ett mycket noggrant sätt och det går också att modellera förflyttningen på ett verklighetsnära sätt. I partikelmodellerna kan relationerna mellan de simulerade individerna tydligare påverka förflyttningen. I fallet med Simulex används relationen *avstånd mellan personer* för att styra hur fort individer rör sig under utrymningen. Gånghastigheten styrs alltså inte av hur många personer som befinner sig i disktera rutor runt om utan snarare av avstånd mellan en aktuell individ och personerna närmast framför. Detta öppnar för möjligheten att låta modellen ta hänsyn till hur personflöden formas kring exempelvis en dörröppning.

I övrigt finns liknande funktioner för partikelmodellerna som för de modernare rutnätsmodellerna t ex grafisk presentation, möjlighet att utgå från CAD-underlag och att kontrollera personernas starttid.

2.4 Befintliga utrymningsprogram

I projektet har två utrymningsprogram ingått i utvärderingen, nämligen Simulex och STEPS. Givetvis finns flera andra program tillgängliga. Någon ytterligare värdering av beräkningskvalitet med dessa ges inte utan en mer komplett sammanställning av utrymningsprogram ges bl a av Friedman (1992) och Olenick och Carpenter (2003). I referenslistan ges också hänvisning till flera Internetsidor som är relaterade till utrymningsprogrammen.

3 Användning av beräkningsverktyg vid projektering

3.1 Allmänt

För att kartlägga i vilken omfattning olika former av beräkningsverktyg, datorprogram, handräkningsuttryck m fl, används i samband med brandteknisk projektering genomfördes en enkätstudie. Studiens syfte var att inventera vilka verktyg som används, hur ofta de används och om det finns erfarenheter av att använda verktygen som kunde spridas till andra användare.

Omfattningen av inventeringen täcker in större delen av de beräkningsverktyg som en brandprojektör kommer i kontakt med t ex modeller för att beräkna rökspridning i byggnad, utrymningssimulering och beräkningsuttryck för att dimensionera brandgasventilation. Urvalet är avgränsat till de datorprogram och beräkningsuttryck som omfattas av hela projektet (Holmstedt m fl, 2008). Det innebär t ex att datorprogram för att beräkna vattenflöden i sprinklersystem inte ingår i inventeringen.

Eftersom enkätundersökningen genomfördes i inledningen av huvudprojektet var det också av intresse att undersöka mer allmänna frågeställningar kring kvalitetssäkring av beräkningsarbeten som ingick i brandprojekteringar. Det finns således frågeställningar som omfattar även detta. Slutligen fanns frågor som syftade till att kartlägga hur vanligt det är med olika former av beräkningar i samband med projektering av brandskydd i byggnader.

3.2 Genomförande

Ett första förslag till frågeställningar togs fram baserat på en diskussion bland deltagarna i huvudprojektet. Denna preliminära enkät reviderades efter synpunkter från arbetsgruppen och deltagande projektdeltagare. Den slutliga utformningen av enkäten redovisas i bilaga A.

I maj 2005 genomfördes en sökning på Eniros Gula Sidorna på nätet med sökordet Brandskydd. På Gula Sidorna fanns vid söktillfället (maj 2005) 246 företag angivna under rubriken Brandskydd. Ytterligare ett antal hade angett Brandskydd som sökord men fanns inte under den aktuella rubriken.

Av de 246 företagen sorterades de bort som uppenbarligen inte arbetade med brandteknisk projektering. Det var exempelvis företag som enbart sålde sprinklersystem, släckanläggningar eller brandtätningar. Listan kompletterades dessutom manuellt med några utländska företag där det vid tillfället fanns anställda brandingenjörer från LTH. Efter denna process återstod 35 företag till vilka enkäten skickades i pappersform.

De inkomna enkäterna kodades i en databas och information som kunde härleda till identifiering av enskilt företag raderades. Informationen i enkäten om namn på svarande person och från vilket företag svaren kom från användes enbart till att identifiera vem som svarat för att kunna skicka ut en påminnelse om att besvara enkäten. En påminnelse skickades till företag som inte besvarat enkäten till angiven inlämningsdag.

3.3 Resultat

Av de 35 utskickade enkäterna kom svar från 23 företag. Av dessa var det två som meddelade att de inte arbetade med brandskyddsteknisk projektering eller med sådan projektering som innehöll beräkningar av något slag. Svarsfrekvensen kan då beräknas till 21/35 = 60 %.

I bilaga B redovisas en sammanställning av de svar som kom in. De kodade svaren redovisas dessutom elektroniskt på www.brand.lth.se.

3.3.1 Kompetens

Flertalet svar indikerar att det finns en bred kompetens bland företagen som arbetar med brandteknisk projektering, d v s konsulter. De anser att de har kompetens inom flera områden vilket är positivt. Det är

något färre som uppger att de har kompetens för att använda de mest avancerade rökspridningsmodellerna, CFD-modeller (Computational Fluid Dynamic). Detta är ganska naturligt eftersom dessa modeller inte blivit allmänt tillgängliga förrän på senare år och att det krävs en längre inlärningstid för dessa. Alla konsulter anger att de har kompetens att utföra utrymningssimuleringar, rökspridningsberäkningar med zon-modeller samt att de kan hantera en rad handberäkningsmodeller.

3.3.2 Spridningsmodeller för brandgaser

Det är i princip två datorbaserade spridningsmodeller för brandgaser mm som dominerar marknaden, båda är fritt tillgängliga från amerikanska National Institute of Standards and Technology (NIST). Den vanligaste zonmodellen är CFAST inkl tidigare version FAST (Peacock, Jones, Reneke och Forney, 2005) och bland CFD-modellerna är det Fire Dynamic Simulator (FDS) (McGrattan och Forney, 2005) som är den klart dominerande. Dominansen förklaras av att båda modellerna är gratis att ladda ner från Internet. Några får konsulter använder kommersiella CFD-modeller t ex CFX (Ansys: Computational Fluid Dynamics Solution, 2008) och Fluent (FLUENT: Flow Modelling Software, 2008).

Användningen av datorbaserade modeller för att beräkna spridningsförlopp för brandgaser är liten och sker vanligen i färre än 10 % av uppdragen. Några av konsulterna anger dock högre användningsgrad vilket torde peka på att utnyttjandet av sådana modeller kan förväntas öka i framtiden. Antalet beräkningar per uppdrag ligger kring tio men spridningen är stor, både uppåt och nedåt.

3.3.3 Utrymningsprogram

På samma sätt som för rökspridningsmodellerna är det två program som är vanligare än andra, Simulex och STEPS. Båda är kommersiella program och det saknas fritt tillgängliga utrymningsprogram. Simulex finns dock fritt tillgänglig men endast i en äldre version. De flesta som angett vilken version av dessa två som de använder genomför beräkningarna med den kommersiella versionen. Ett svar anger att programmet Escape and Rescue Model (ERM) används vilket är ett äldre specialprogram för utrymningsberäkningar för vårdanläggningar.

Användningsgraden för utrymningsprogram är liknande den för rökspridningsberäkningar d v s i storleksordningen 10 % av uppdragen. Antalet beräkningar per uppdrag ligger också ganska lika d v s kring tio stycken. Även spridningen i detta antal är liksom för tidigare modellgruppen stor.

3.3.4 Handberäkningar

Trots utvecklingen av datorbaserade modeller förekommer handberäkningar i stor utsträckning. Vanligen används enklare handberäkningar för kontroll av de datorbaserade simuleringarna men även andra tillämpningar förekommer. Bland vanliga tillämpningsfall kan nämnas strålningsberäkningar, utrymningsberäkningar och dimensionering av luckor för brandgasevakuering.

3.3.5 Kvalitetssäkring

En viktig aspekt vid användning av modeller för att beskriva någon form av verklighet är att säkerställa att de predikterade resultaten är rimliga. Alla konsulterna anger att de gör känslighetsanalyser för att säkerställa att inte tillfälligheter påverkar resultaten samt för att identifiera betydelsefulla variabler. I många fall anges också att beräkningar jämförs med experiment eller beräkningar utförda med andra liknande modeller, t ex en jämförelse mellan CFD-beräkningar och resultat från en zon-modell. Några anger att de använder sig av oberoende granskare i sin kvalitetssäkring men flertalet kontrollberäkningar sker inom företaget och i vissa fall av samma person som utfört ordinarie beräkningar.

När det gäller rutiner för hur kvalitetssäkringen ska gå till är svaren skiftande. Några företag har interna kvalitetsdokument med procedurer för intern kontroll. I många fall är det upp till den enskilde ingenjören, med eller utan inblandning av kollegor, att avgöra om och hur kvalitetssäkring ska genomföras. Det finns således en ganska stor spridning i vilken typ och form som kvalitetssäkringen sker beroende på vem som utför arbetet.

4 Gångförsök i trappa och genom dörröppning

4.1 Allmänt

Beräkningar med de två utrymningsprogrammen STEPS och Simulex har också jämförts med experimentella resultat från försök där personer går uppför och nedför trappor samt genom en dörröppning. Anledningen till dessa jämförelser är för att se hur programmen hanterar dessa förflyttningssituationer då de är vanligt förekommande samt också i många fall är styrande för den totala förflyttningstiden från en byggnad. Totalt har tre försöksserier använts som underlag.

Det första försöket (A) baseras på mätningar som är genomförda med studenter vid LTH som var medvetna om att de deltog i ett kontrollerat försök. I och med att studenterna rekryterats som försöksdeltagare och att de var i god kondition samt inte utsattes för någon rök eller värme kan dessa förväntas gå något snabbare än en genomsnittlig person vid en utrymning. Dessa försök ingår av den anledningen i utvärderingen.

Den andra försöksserien (B) baseras på observationer av förflyttning nedför en trappa i en teatermiljö efter avslutad föreställning. Teatern finns i Akademiska Föreningens (AF) lokaler i Lund och förutsättningarna för personerna som deltog var att de inte var utsatta för rök, värme eller annan stress. Förflyttningen kan snarast karakteriseras som förflyttning vid normala förhållanden. Dock har personerna en klar målsättning med sin förflyttning men de hade inte uppenbart bråttom. Anledningen till att dessa mätningar tagits med är att de utgör en uppskattning av förhållandena när förflyttning sker under gynnsamma villkor.

Det tredje försöket (C) innefattar förflyttning genom en dörröppning. Försöket är genomfört på samma plats som försöksserie B, d v s på AF i Lund. När det gäller passage genom en dörröppning finns dock flera försök tillgängliga men flera av dem baseras på kontrollerade experiment där informerade försökspersoner deltagit. Valet av försöket på AF motiveras i detta fall av att personerna i situationen bedöms motsvara en genomsnittlig population som ska passera genom en dörr under förhållandevis normala förhållanden. Eftersom försöket genomförs efter en avslutad teaterföreställning och dörröppningen är begränsad kommer det observerade personflödet att vara nära den maximala gränsen. Försökspersonernas sammansättning liknar den i försök B ovan men det är helt andra personer som deltar.

4.2 Försök

4.2.1 A: LTH - trappa

Det första försöket som användes för utvärderingen av utrymningsprogrammens förmåga att hantera flöden genom trappor och dörrar genomfördes år 1994 med rekryterade studenter som försökspersoner. Ett större antal försök genomfördes men det är endast sex försök som använts i denna jämförelse. De sex försöken, tre i vardera riktningen, karakteriseras av att det är en grupp personer som använder trappan. Totalt ingår 10 personer i gruppen och personernas ålder är strax över 20 år. Dessutom känner personerna varandra, vilket gör att de inte hindras av några sociala restriktioner. Exempel på detta kan vara att de inte hindras av att gå väldigt nära varandra.

Trappan är ca 7 m lång och mätningen genomfördes på en sträcka av 5,1 m. Trappans bredd är 1,36 m mellan insidan av handledarna. Längs trappans ena sida finns en vägg medan det endast finns ett räcke på trappans andra sida. Trappstegen har 28 cm plansteg och 17,5 cm sättsteg vilket ger en lutning på 32 grader.

Resultaten från försöken redovisas i tabell 1 och baseras på mätningen av den tid det tar för personerna att passera den nedre delen av trappan vid förflyttning nedför trappan. Vid förflyttning uppför trappan beräknas flödet vid den övre passagepunkten. Personflödet beräknas som antalet personer som per sekund, pers/s, passerar en passagepunkt.

Tabell 1. Mätning av personflöde i trappa på LTH

Försök	Gångriktning	Flöde (pers/s)
1	Nedåt	2,0
2	Nedåt	2,0
3	Nedåt	2,2
4	Uppåt	1,1
5	Uppåt	1,6
6	Uppåt	1,5

4.2.2 B: Akademiska Föreningen - trappa

I samband med en avslutad teaterföreställning i mars 1994 genomfördes mätning av gånghastighet nedför en trappa i Akademiska Föreningens lokaler i Lund. Sammansättningen av försökspersonerna är inte känd men det bedöms från videodokumentationen vara ungefär lika fördelning mellan män och kvinnor och med ett åldersintervall på ca 15 till 70 år men med en tyngdpunkt kring ca 30 år. Vid mätningen kommer det ett jämnt flöde med personer fram mot trappan och flödet styrs av förflyttningen i trappan.

Trappan är drygt 4 m lång och mätningen genomfördes på en sträcka av 2,1 m mätt längs trappans lutning. Det horisontella avståndet är alltså kortare. Bredden i trappan är 2,25 mellan handledarna. Trappstegen har 30 cm djupa plansteg och 15 cm höga sättsteg, vilket ger en lutning på 26 grader. Längs ena sidan i trappan finns en vägg medan det endast finns ett räcke på trappans andra sida vilket gjorde det möjligt att filma förflyttningen med hjälp av en videokamera. Två observationer finns tillgängliga enligt tabell 2 nedan.

Tabell 2. Mätning av personflöde i trappa i AF

Försök	Antal personer	Tid (min:s)	Flöde (pers/s)
1	91	1:23	1,11
2	61	0:52	1,17

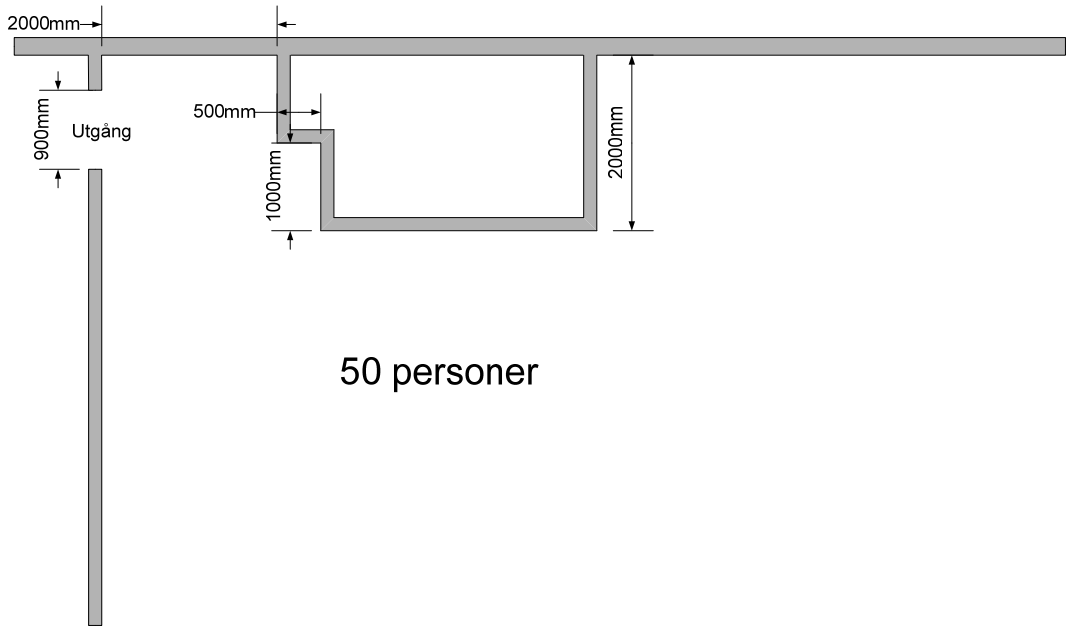
4.2.3 C: Akademiska Föreningen - dörr

Mätning av personflödet genom en dörröppning genomfördes efter en avslutad teaterföreställning i maj 1998 i Akademiska Föreningens lokaler i Lund. Öppningen var placerad i ett hörn av huvudfoajén och var inledningsvis ganska smal vid försöket. Det uppstod därför en kö framför dörren ganska tidigt i förloppet vilket gör att dörrens öppningsbredd styrde personflödet genom dörren. På andra sidan dörren fanns en trappa som ledde ner till markplan och mätningen av flödet genomfördes så länge som det var dörrens bredd som var kontrollerande för flödet. Efter ytterligare en tid minskades flödet till följd av att trappan begränsade förflyttningen. Denna del av förloppet ingår alltså inte i de redovisade personflödena för dörröppningen.

I samband med observationen av personflödet genom dörröppningen bedömdes persontätheten framför dörren som förhållandevis hög. Det var alltså trångt framför dörröppningen. Utformningen av dörröppningen och den närmaste omgivningen framgår av figur 1. Tyvärr kunde endast ett försök från serien användas vilket begränsar möjligheten till jämförelse. Dörröppningens fria bredd var 0,90 m och resultatet av mätningen redovisas i tabell 3 nedan.

Tabell 3. Mätning av personflöde genom dörröppning i AF.

Försök	Antal personer	Tid, (min:s)	Flöde (pers/s)
1	51	0:41	1,25



Figur 1. Försöksplatsens utformning vid mätning av personflöde genom dörröppning i AF i Lund

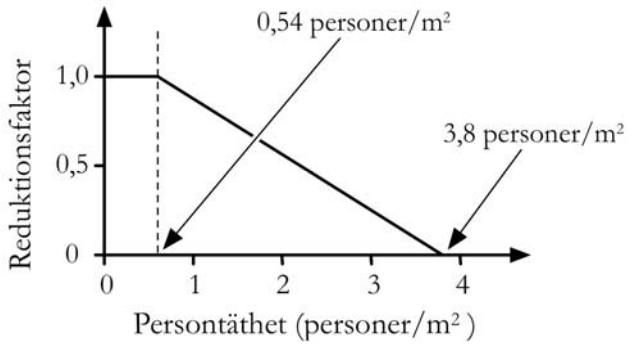
4.3 Beräkningar med STEPS

4.3.1 Personflöden i trappor (försök A och B)

För förflyttning i trappor finns två separata försök genomförda i AF och på LTH. Det är lämpligt att genomföra jämförelsen med simuleringen med STEPS för båda dessa försök samtidigt. En liknande beräkningsstruktur för dessa har därför använts, vilken bygger på att problemet simuleras med hjälp av två plan mellan vilka en trappa definieras i enlighet med förutsättningarna för försöken. Planen är definierade direkt i programmet och alltså inte importerade som CAD-ritningar. Denna möjlighet att rita simuleringsproblemet direkt i STEPS finns som alternativ till att lägga in ritningar från CAD.

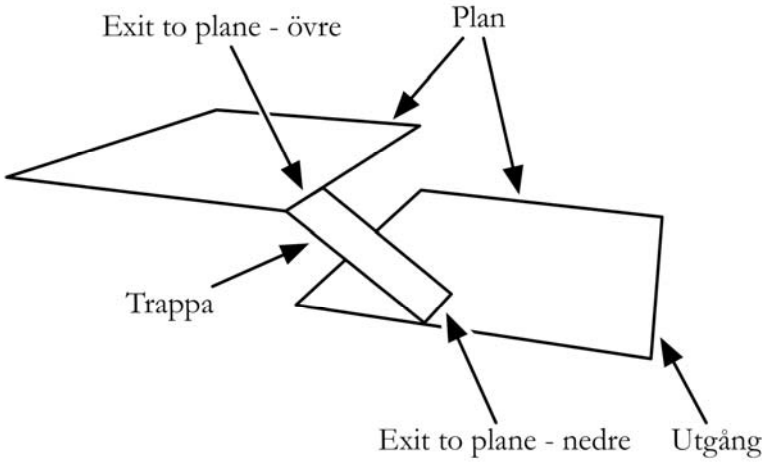
I simuleringarna var varje plan 10 x 10 m^2 stort och det löpte en trappa mellan planen som var 1,36 m bred för försöken från LTH (A) och 2,25 m bred för försöken från AF (B). Trappans längd angavs så att den överensstämmer med förutsättningarna från försöken. Trappan definierades i STEPS som ett våningsplan som lutar, vilket innebär att beräkningen genomfördes i trappan på samma sätt som på de två våningsplanen. Konkret betyder det exempelvis att personer som går långsammare kunde passeras och att gånghastigheten i trappan anpassades efter den rådande persontätheten.

Denna fördelning kallas Fruins fördelning (*en. Fruin distribution*) i STEPS. Vidare reducerades personernas gånghastighet enligt den funktion som kallas *SFPE handbook* i programmet. Reduktionen bygger på den relation som presenterats av Nelson och MacLennan (1995), se figur 2, och innebär att gånghastigheten minskas som funktion av persontätheten.



Figur 2. Relativ gånghastighet som funktion av persontätheten i STEPS

Beroende på om flödet uppför eller nedför skulle studeras placerades personerna ut på antingen det nedre eller det övre av de två våningsplanen, se figur 3. I STEPS kopplas det lutande trapplanet ihop med de horisontella våningsplanen med det som kallas för en utgång. I STEPS finns olika typer av utgångar och den som används mellan våningsplan och trappa är en utgång till plan (*en. exit to plane*). Ytterligare en utgångstyp används och det är utgången till vilken personerna är på väg. Denna kallas i STEPS för systemutgång (*en. system exit*). I simuleringarna har denna utgång alltid givits en överdrivet hög kapacitet så att inte problemen ska kontrolleras av utgångens utformning. Personer som simuleras rör sig alltid mot närmaste utgång.



Figur 3. Schematisk beskrivning av förutsättningarna i STEPS

Vid definitionen av de två utgångar till plan som användes angavs det högsta flöde som utgången kan tillåta. Olika inställningar för detta flöde har provats. I redovisningen anges vilket flöde som de olika inställningarna ger som högst, vilket beräknas av programmet. Underlaget för dessa beräkningar uppges vara NFPA 130 (2007) vilket är en amerikansk standard för brandsäkerhet i masstransportsystem som t ex tågstationer. Det finns också en möjlighet att användaren anger ett specificerat flöde som kan baseras på annat underlag.

STEPS är en sk rutnätsmodell (Nilsson, 2007) vilket innebär att personer förflyttar sig deterministiskt mellan kvadratiska rutor som beskriver byggnadens utseende. En ruta kan bara vara tom eller upptas av en enstaka person. Ett rutnät skapas i programmet och användaren anger hur stora rutorna ska vara. Grundinställningen för rutornas storlek har varit 0,5 m kantlängd vilket är det förvalda värdet i programmet. En anpassning av rutornas storlek gjordes av programmet för trappans plan eftersom storleken för detta inte var jämnt delbart med 0,5 m. Därför blev rutornas storlek vanligen något mindre, vilket i sin tur påverkar gånghastigheten i trappan då denna är en funktion av persontätheten i trappan d v s antalet personer per kvadratmeter. Storleken på rutorna bestämmer därför vilken persontäthet som kan råda på ett plan. I utvärderingen jämfördes resultat där storleken på rutorna varierats i några olika steg från grundinställningen med kantlängden 0,5 m.

För att kunna ange personflödet i trappan är det nödvändigt att antalet personer som förflyttar sig är tillräckligt stort. För förflyttning i den smala trappan (bredd 1,36 m) användes 25 personer medan det i den bredare trappan (bredd 2,25 m) användes 50 personer.

Beräkningarna av personflöden i trappor har repeterats ett antal gånger för att undersöka hur eventuell slumpmässighet i programmen påverkar resultaten, se tabell 4, 5 och 6. För varje ny beräkning placerades en ny grupp om 25 eller 50 personer ut på startplanet, vilket innebär att alla personer fick en ny startposition på planet och nya egenskaper. Efter varje beräkning noterades tiden det tog för gruppen att passera trappan vilken sedan räknades om till ett personflöde för trappan. Resultaten redovisas i form av ett medelvärde för dessa beräkningar samt standardavvikelsen, tabell 4. Antalet beräkningar för varje scenario redovisas också i tabellen.

I tabell 4 används en förkortad beteckning för att förklara typen av utgång till plan som användes i beräkningarna för respektive försök. Typen av utgång anges i kolumnerna *övre utgång* och *nedre utgång*. Det framräknade maximala flödet för respektive utgångstyp redovisas i anslutning till respektive beteckning. Flödet är enbart beroende av utgångens bredd. Ett specifikt flöde för utgång till plan används i vissa försök och då redovisas det använda flödet. I de fall då personflödet angetts till 12 pers/s är motivet att det inte är utgångens kapacitet som ska styra flödet utan gånghastigheten i trappan. Det angivna flödet är valt så att det ska vara högt över det som kan förväntas uppstå i trappan. En beräkning med rutstorleken 0,4 m gjordes också men denna gav inget resultat eftersom personerna inte kunde passera in i trappan.

Tabell 4. Redovisning av beräkningar för förflyttning nedför trappa med bredden 1,36 m d v s motsvarande försöken från LTH (A)

Scenario	Angiven rutstorlek	Rutstorlek i trappa*	Utgång		Personflöde (pers/s)		Antal simuleringar
			övre	nedre	medel	std	
1	0,5 m	3 á 0,45 m	12 p/s	12 p/s	0,73	0,08	15
2	0,5 m	3 á 0,45 m	nfpa r/s	nfpa d/g	0,69	0,06	15
3	0,5 m	3 á 0,45 m	12 p/s	nfpa r/s	0,77	0,12	15
4	0,5 m	3 á 0,45 m	nfpa r/s	nfpa r/s	0,69	0,07	15
5	0,6 m	3 á 0,45 m	12 p/s	12 p/s	1,08	0,06	10
6	0,6 m	3 á 0,45 m	nfpa r/s	nfpa d/g	1,07	0,04	10
7	0,7 m	2 á 0,68 m	12 p/s	12 p/s	0,97	0,06	10
8	0,7 m	2 á 0,68 m	nfpa r/s	nfpa d/g	1,00	0,04	10
9	0,7 m	2 á 0,68 m	nfpa r/s	0,5 p/s	0,51	0,01	5

Kommentarer: * antal rutor och kantlängden på dessa som STEPS genererade
nfpa r/s: NFPA Ramp Slope > 4% Down; 1,62 pers/sek
nfpa d/g: NFPA Door/Gate; 2,03 pers/sek

Beräkningar genomfördes också för förflyttning uppför trappan. Dessa resultat redovisas i tabell 5. Förutsättningarna för detta fall är liknande dem som ovan men att valet av kapacitet för utgång till plan (*en. exit to plane*) istället gäller för fallet förflyttning uppför trappa.

Tabell 5. Redovisning av beräkningar för förflyttning uppför trappa med bredden 1,36 m d v s motsvarande försöken från LTH (A)

Scenario	Angiven rutstorlek	Rutstorlek i trappa*	Utgång		Personflöde (pers/s)		Antal simuleringar
			övre	nedre	medel	std	
1	0,5 m	3 á 0,45 m	12 p/s	12 p/s	0,68	0,09	10
2	0,5 m	3 á 0,45 m	nfpa d/g	nfpa r/s	0,60	0,09	10
3	0,5 m	3 á 0,45 m	nfpa r/s	12 p/s	0,65	0,07	10

Kommentarer: * antal rutor och kantlängden på dessa som STEPS genererade
nfpa r/s: NFPA Ramp Slope > 4% Up; 1,42 pers/s
nfpa d/g: NFPA Door/Gate; 2,03 pers/s

För fallet med den bredare trappan genomfördes liknande beräkningar som ovan. Den primära skillnaden, förutom att trappan var bredare, var att ett större antal personer simulerades. Resultaten från beräkningarna redovisas i tabell 6. I försök 5 och 6 användes en gånghastighetsrelation som baseras på försök av bl a Thompson (1994) och som används i utrymningsprogrammet Simulex. Dessa beräkningar bör dock inte användas för utvärdering av programmet eftersom de inte är fullt validerade i programmen och användaren avråds också från att använda relationen då den hindrar personer att passera varandra. I en kommande version av STEPS ska detta vara tillrättalagt. Resultaten redovisas dock men med reservation för giltigheten.

Tabell 6. Redovisning av beräkningar för förflyttning nedför trappa med bredden 2,25 m d v s motsvarande försöken från AF (B)

Scenario	Angiven rutstorlek	Rutstorlek i trappa*	Utgång		Personflöde (pers/s)		Antal simuleringar
			övre	nedre	medel	std	
1	0,5 m	5 á 0,45 m	12 p/s	12 p/s	1,10	0,10	15
2	0,5 m	5 á 0,45 m	nfpa r/s	nfpa d/g	1,04	0,07	15
3	0,7 m	4 á 0,56 m	nfpa r/s	nfpa d/g	1,78	0,06	15
4	0,8 m	3 á 0,75 m	nfpa r/s	nfpa d/g	1,54	0,03	10
5	0,5 m	5 á 0,45 m	12 p/s	12 p/s	1,97	0,08	10
6	0,5 m	5 á 0,45 m	nfpa r/s	nfpa d/g	1,92	0,06	10

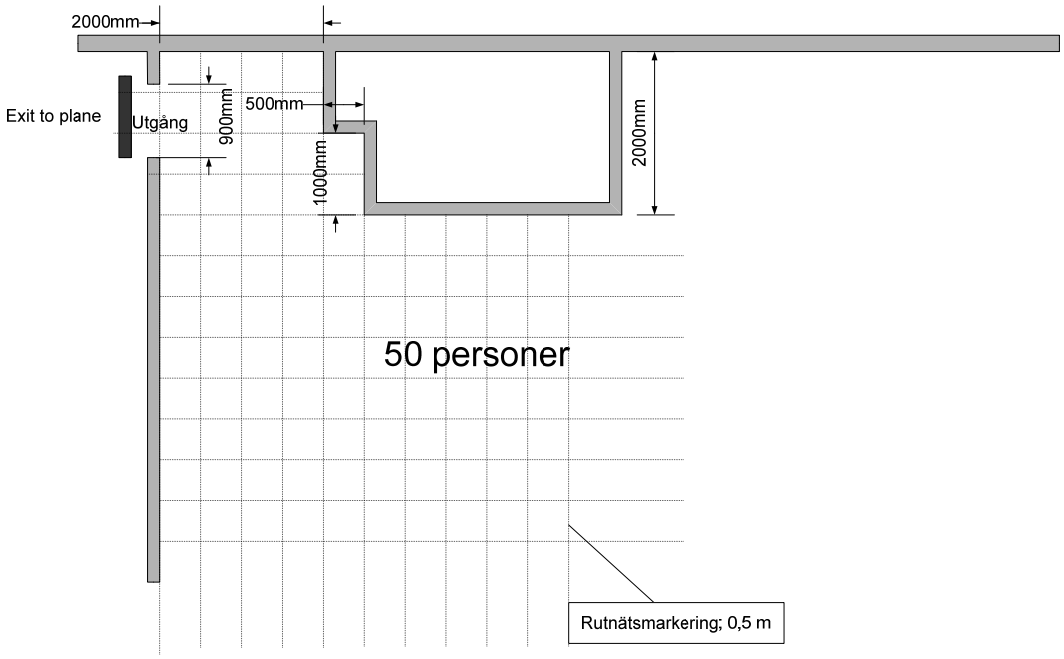
Kommentarer: * antal rutor och kantlängden på dessa som STEPS genererade
nfpa r/s: NFPA Ramp Slope > 4% Down; 2,67 pers/sek
nfpa d/g: NFPA Door/Gate; 3,34 pers/sek

Även gånghastigheten undersöktes för att jämföra om beräknad hastighet stämmer med angiven hastighet. I förutsättningarna för personegenskaperna anges att medelhastigheten för en grupp personer ska vara 1,35 m/s med en standardavvikelse på 0,5 m/s. Dessa hastigheter baseras på data från Fruin (1971). Den beräknade ohindrade gånghastigheten för en enstaka individ uppskattades till ca 1,5 m/s med en standaravvikelse på 0,25 m/s (n = 10). Vid simulering kunde det också konstateras att personerna som befann sig i trappan rörde sig likformigt efter varandra. Passage av långsammare personer förekom inte även om programmet ska kunna medge detta.

4.3.2 Personflöde genom dörröppning (försök C)

Endast ett dokumenterat försök har funnits tillgängligt för att undersöka personflöde genom en dörröppning. Förutsättningarna för denna jämförelse mellan beräkning med STEPS och försöket är liknande dem som anges för jämförelsen för trappor.

Försöksgeometrin har lagts in direkt i STEPS och baseras på skissen i figur 4. Trots den enkla geometrin genomfördes beräkningen med två horisontella plan vilket mest hade att göra med hur simuleringsresultaten skulle lagras. De hinder som definierade beräkningsområdet lades in som blockeringar (*en. blockage*) i programmet. Eftersom måtten på området bedömdes som viktiga innebar detta att STEPS införde begränsningar i den faktiska tillgängliga öppningsbredden orsakad av hur blockeringarna påverkar vilka rutor som är tillgängliga för förflyttningen. Olika situationer provades därför för att se hur dessa programinducerade restriktioner påverkade beräkningsresultatet.



Figur 4. Beräkningsgeometri med STEPS för personflöde genom dörröppning

I de inledande provsimuleringarna definierades blockeringarna för att efterlikna den verkliga geometrin vilket innebar att endast en ruta var tillgänglig i passageöppningen. Detta innebar att alla personer som ingick i beräkningen måste passera genom denna ruta för att nå utgången. Det resulterar i att flödet begränsas på ett oskäligt sätt enbart till följd av programmets konstruktion. Därför justerades blockeringarna så att den användbara bredden ökade, d v s fler rutor gjordes tillgängliga. Detta överensstämmer bättre med de verkliga förhållandena från det fysiska experimentet. Markeringen i STEPS som anger kopplingen till ett annat plan, utgång till plan (*en. exit to plane*), var i de inledande scenarierna 0,9 m bred vilket var öppningens bredd i de fysiska försöken.

I beräkningen placerades 50 personer ut på planet som skulle passera dörröppningen. Tiden mättes för dessa personers passage vilket ger ett beräknat värde för personflödet genom öppningen. För varje beräkningsfall genomfördes flera simuleringar för att, på samma sätt som för trappberäkningen, får en uppskattning på den inneboende osäkerheten i beräknade värden. Rutnätets storlek var i grundberäkningarna 0,5 m vilket är normalinställningen i programmet. Beräkningsresultaten summeras i tabell 7 samt i texten nedan.

Personflödet för grundscenariots tio beräkningar är 0,87 pers/sek i genomsnitt. Försök två är identiskt som det första försöken men med utgången till planets flöde begränsad till 0,5 pers/sek. Detta resulterar i ett beräknat flöde på 0,51 med i praktiken ingen standardavvikelse (<0,01 pers/sek).

En ökning av rutstorleken till 0,6 m innebär att programmet åter reducerar den tillgängliga bredden till en ruta. Trots detta ökar flödet genom öppningen till 1,12 pers/sek. I samtliga dessa fall var utgången till planet (*en. exit to plane*) 0,9 m bred d v s detsamma som den fysiska öppningens bredd.

En kompletterande beräkning gjordes där en blockering i STEPS begränsade öppningens bredd och där utgången till planet (*en. exit to plane*) gjordes lite bredare. Eftersom utgångsmarkeringen placerades efter blockeringen kom flödet att begränsas av öppningen i blockeringen. Trots detta ökade flöde något till 1,02 pers/sek i genomsnitt även om passagebredden skulle vara densamma.

Tabell 7. Sammanställning av beräkning av personflöde genom dörr med STEPS

Scenario	Angiven rutstorlek	Tillgängliga rutor innan dörr	Utgång		Personflöde (pers/s)		Antal simuleringar
			typ	bredd (m)	medel	std	
1	0,5 m	3	nfpa d/g	0,9	0,87	0,03	10
2	0,5 m	3	0,5 p/s	0,9	0,51	< 0,01	10
3	0,6 m	1	nfpa d/g	0,9	1,12	0,03	10
4	0,5 m	2	nfpa d/g	1,5	1,02	0,04	10

4.4 Beräkningar med Simulex

4.4.1 Personflöden i trappor (försök A och B)

Beräkningarna med Simulex för de tre redovisade försöksuppställningarna innebär betydligt färre valmöjligheter för användaren. Simulex kräver att våningsplanen ritas i ett CAD-program och dessa ritningar importeras sedan till programmet. Varje våningsplan var ca 15 m^2 stort vilket innebar att personerna vars utrymning skulle simuleras i praktiken redan format en kö framför ingången till trappan. Våningsplanen knöts ihop med en trappa som definieras direkt i programmet med längd och bredd. Trappan kopplades ihop med våningsplanen med en sk länk (*en. link*) som enbart består av en kopplingsfunktion utan möjlighet att ange passageflöde vilket är möjligt i STEPS. Länken består egentligen av två delar där en del placeras på våningsplanet och den andra delen i trappan.

Utrymning i Simulex sker mot utgångar (*en. exit*) som alltid är slutmålet. Personer som simuleras rör sig alltid mot närmaste utgång. Möjlighet finns dock att ange att enbart vissa utgångar är synliga för en del av populationen och det gör det möjligt att styra hur personerna ska röra sig i en byggnad.

Gånghastigheten i Simulex baseras på varje individs maximala ohindrade hastighet samt avståndet till personer framför. Simulex använder inte persontätheten kring individerna som underlag för hastighetsreduktionen vid köbildningar, dörröppningar och liknande. Istället utnyttjas det beräknade avståndet mellan den aktuella individen och dem som står närmast framför. Detta avstånd mellan individer används sedan för att ange hur mycket den ohindrade gånghastigheten ska minska. När avståndet är kring 0,3 m upphör hastigheten helt och personen står stilla men försöker hitta en möjlighet att ta sig vidare. Detta angreppssätt innebär att Simulex inte behöver använda några definierade personflöden vid dörrar eller i trappor för att kompensera hastigheten för ökad persontäthet eftersom detta sker automatiskt när avståndet till framförvarande minskar. Försök som genomförts vid utvecklingen av Simulex samt tidigare data bl a samma som används i STEPS ligger till grund för valet av hastighet.

Gånghastigheten i trappor är lägre än för horisontell förflyttning. Den ohindrade gånghastigheten i trappor reduceras därför i Simulex så att den är lägre än för förflyttning på horisontella ytor. Reduktionen i gånghastighet orsakad av närheten till framförvarande personer i trappor baseras sedan på denna lägre hastighet. I normalfall anges denna reduktion för hastighet i trappor till 0,6 gånger horisontella hastigheten om förflyttningen sker nedåt i trappan och 0,5 gånger vid förflyttning uppåt. Denna faktor kan ändras av användaren men är sedan konstant i en simulering och lika för alla trappor oavsett trappans lutning.

Personernas förflyttning på våningsplanen och i trapporna begränsas endast av våningens väggar. Det innebär att det inte finns någon restriktion i var en person kan befinna sig. Denna typ av program kallas för partikelmodell till skillnad från STEPS som tillhör kategorin rutnätsmodeller. Personerna rör sig alltså fritt på våningsplanen i sin strävan att nå till en utgång. För att personerna ska veta vart de ska gå finns en sk avståndskarta (*en. distance map*) som anger riktning och avstånd till närmaste utgång.

Det som användaren anger som indata är, förutom lokalens utformning, var personerna ska befinna sig i utgångsläget samt egenskaper för personerna. Till egenskaperna räknas deras reaktionstid innan förflyttningen börjar, deras maximala ohindrade gånghastighet samt storlek på kroppen (horisontellt projicerad). I simuleringarna som genomförts har programmets grundinställningar använts vilket innebär

att personkategorin valts till kontorsanställda (*en. office staff*). Detta innebär en blandning mellan män och kvinnor i relationen 60/40. Skillnaden mellan män och kvinnor är främst kropparna storlek där kvinnorna är någon mindre. Medelvärdet för den maximala gånghastigheten är också något lägre för kvinnor än för män, 1,35 m/s jämfört med 1,15 m/s. Vid utplacering av en person får personen slumpmässigt en maximal ohindrad hastighet mellan medelvärdet +/- 0,2 m/s.

Ovanstående variation och personens exakta placering vid utplaceringen gör att resultatet mellan två annars lika simuleringar kan variera. Därför gjordes flera simuleringar där en ny grupp från samma kategori, kontorspersonal, definieras på nytt varje gång. Det som i praktiken orsakar skillnaderna mellan de olika simuleringarna är i vilken ordning personer med olika gånghastighet hamnar dvs om någon långsammare kommer tidigt in i trappan kommer efterföljande personer att hindras i sina förflyttningsrörelser.

I simuleringarna användes normalt 25 personer för den smalare trappan från LTH-försöken (A) och 50 personer för den bredare trappan i AF-försöken (B). Personflödet beräknades från tiden det tog från det att första personen till dess att sista personen passerat förbi utgången i trappan. Resultat från beräkningarna med Simulex redovisas i tabell 8. För alla trappbredder gjordes dessutom simuleringar med något smalare trappor som istället definieras med den sk effektiva bredden (Pauls, 1980). Den effektiva bredden utgör den del av hela bredden som faktiskt används enligt undersökning av bl a Pauls. Den effektiva bredden beräknades i dessa fall som den verkliga bredden minskat med 0,18 m, d v s 9 cm från räckena på vardera sidan.

Tabell 8. Redovisning av beräkningar för förflyttning i trappa

Scenario	Bredd (m)	Gångriktning	Personflöde (pers/s)		Antal simuleringar
			medel	std	
1	1,36	ner	1,32	0,12	30
2	1,18	ner	1.38	0,10	30
3	1,36	upp	1,47	0,08	25
4	1,18	upp	1,30	0,08	15
5	2,25	ner	2,66	0,16	15
6	2,07	ner	2,33	0,08	15

Eftersom några av beräkningsresultaten kan uppfattas som märkliga, t ex flöden upp respektive ner i trappan med bredden 1,36 m, genomfördes ett flertal ytterligare beräkningar. Ett förväntat resultat borde vara att flödet nerför en trappa överstiger flödet uppför. I de extra beräkningarna varierades trappans bredd för att undersöka eventuella anomalier som kan härröras från olika trappbredder och som inte kan förklaras av att bredare trappor ger högre flöden. Dessa beräkningar redovisas i tabell 9 nedan och har i övrigt samma förutsättningar som beräkningarna som tidigare redovisats.

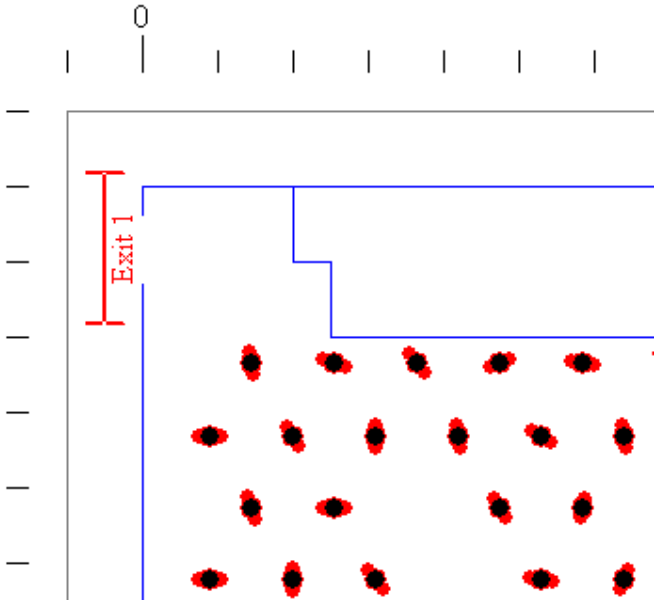
Tabell 9. Redovisning av beräkningar för förflyttning i trappa

Scenario	Bredd (m)	Gångriktning	Personflöde (pers/s)		Antal simuleringar
			medel	std	
7	1,00	ner	0,95	0,05	6
8	1,00	upp	0,98	0,03	6
9	1,50	ner	1,35	0,10	6
10	2,00	ner	1,87	0,07	6
11	2,00	upp	1,88	0,13	6

4.4.2 Personflöde genom dörröppning (försök C)

Scenario C har ganska få frihetsgrader i Simulex, vilket innebär att endast en scenariobeskrivning finns tillgänglig. Utformningen av försöksgeometrin definierades som en CAD-fil där 50 personer placeras ut på ett sätt som ska motsvara förhållandena under försöket på Akademiska Föreningen i Lund. Dörröppningens bredd angavs som en öppning i CAD-ritningen och utgångsmarkeringen i Simulex

placerades utanför denna öppning sett i utrymningsriktningen, se figur 5. Detta innebär att det är öppningens bredd i CAD-ritningen som kontrollerar vilket flöde av personer som passerar öppningen.



Figur 5. Beräkning av flöde genom dörröppning i Simulex

Persontypen som användes var samma som för beräkningarna i trapporna tidigare dvs det som i Simulex anges som *office staff*. Beräknat flöde genom dörröppningen redovisas i tabell 10.

Tabell 10. Sammanställning av beräkning av personflöde genom dörr med Simulex

Scenario	Bredd (m)	Personflöde (pers/s)		Antal simuleringar
		medel	std	
1	0,9	1,25	0,02	15

4.5 Summering

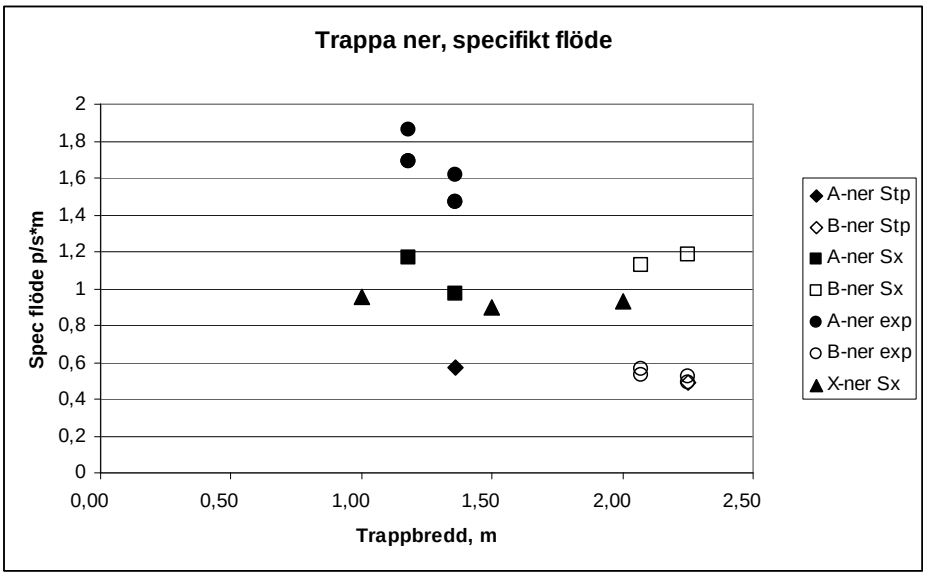
Något som framgår tydligt av redovisningen ovan är att det är ganska stora skillnader mellan de beräknade resultaten och de personflöden som uppmättes i försöken, i genomsnitt ca en faktor två mellan försök och beräkning. En sammanställning av personflödena för scenarierna där passagernas verkliga bredder användes i beräkningarna redovisas i tabell 11. En av förklaringarna till de noterade avvikelserna är att det finns en ganska stor spridning i personers förmåga att förflytta sig längs olika förbindelser i experimenten. Det innebär att de program som ska användas för att prediktera personflöden och gånghastigheter åtminstone bör ge värden som faller inom detta spridningsintervall.

Tabell 11. Sammanställning av personflöden för olika situationer, försök (A - C) och beräkningar (STEPS och Simulex)

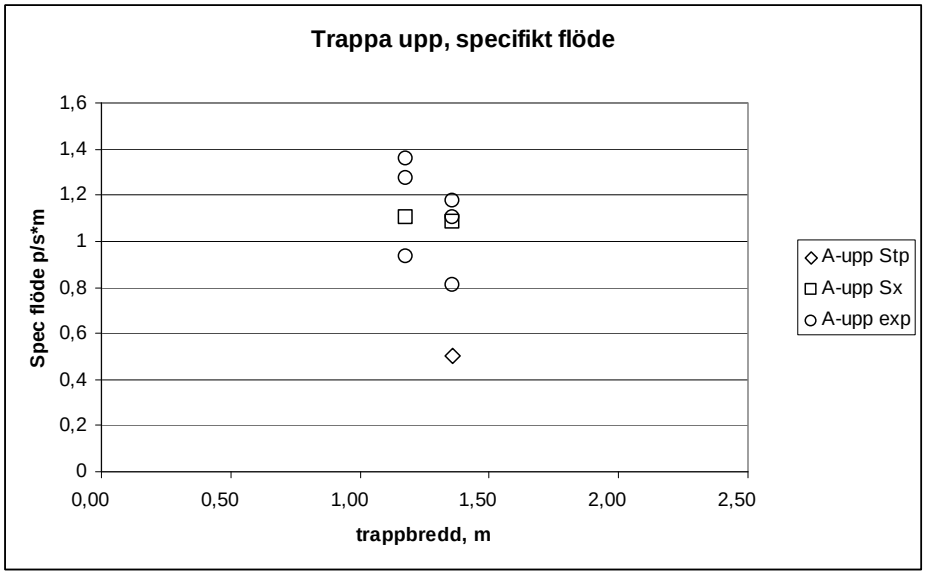
Typ av förbindelse	Bredd (m)	Riktning	Personflöde (pers/s)		
			Experiment	STEPS	Simulex
Trappa (A)	1,36 m	Ner	2,0 - 2,2	ca 0,7	1,3
Trappa (A)	1,36 m	Upp	1,1 - 1,6	0,7	1,5
Trappa (B)	2,25 m	Ner	1,1 - 1,2	1,1	2,7
Dörr (C)	0,9	-	1,25	ca 0,9	1,25

Det som förvånar mest är att personflödet i trappa beräknat med Simulex är högre när personerna går uppför trappan jämfört med nedför. För att undersöka detta gjordes några kompletterande beräkningar

med olika trappbredder och tendensen är tydlig även om det inte är någon signifikant skillnad. I figur 6 redovisas det specifika flödet för förflyttning nedför en trappa för de två programmen tillsammans med de experimentella värdena. Figur 7 redovisar motsvarande resultat för förflyttning uppför en trappa. Det specifika flödet är personflödet normerat med avseende på bredden i trappan. Enheten för det specifika flödet är alltså personer per sekund och meter trappbredd [pers/(s·m)]. Vanligtvis antas att det specifika flödet ska vara konstant för olika förbindelser men det finns uppenbarligen en variation. En förklaring till det högre flödet uppför trappor i Simulex är att personerna kan förflytta sig med en högre persontäthet (större antal personer per ytenhet) i och med att hastigheten är lägre. Detta gör att fler personer kan passera en tänkt linje i trappan per tidsenhet. En annan, kanske mer trolig, är att reduktionsfaktorn som används är densamma för gång i trappor som på en horisontell yta vilket kanske inte är ett rimligt antagande. Hypotesen skulle i så fall vara att personer som förflyttar sig i trappor inte går så nära varandra som de skulle göra på en horisontell yta och att det är en skillnad på om förflyttningen sker uppåt eller nedåt.



Figur 6. Specifikt flöde nedför trappa (Stp = STEPS, Sx = Simulex, X-ner SX = kompletterande beräkningar med Simulex).



Figur 7. Specifikt flöde uppför trappa (Stp = STEPS, Sx = Simulex).

Det visar sig att det specifika flödet som erhålls med beräkning med Simulex är ganska konstant men med en viss variation. Även flödet med beräkning med STEPS uppvisar ett närmast konstant specifikt flöde även om nivån i genomsnitt är lägre jämfört med beräknade värden med Simulex. Variationen i specifikt flöde för olika bredder är också mindre med STEPS jämfört med Simulex.

De specifika flödena är också ganska lika oavsett om förflyttningen sker uppför eller nedför. Det skulle kunna förväntas att denna skillnad skulle vara mer påtaglig men så är inte fallet. I en jämförelse med de experimentella resultaten uppvisar dessa en betydligt större skillnad mellan förflyttning uppför jämfört med nedför en trappa. Denna skillnad kan dock vara orsakad av de speciella förutsättningarna för gruppen av försökspersoner och en generalisering mot en mer genomsnittlig population är därför tveksam.

De höga personflödena för försök A kan förklaras med att personerna i de försöken gick närmare varandra än motsvarande personer i de två simuleringarna. Försökspersonerna i dessa experiment kände varandra sedan tidigare vilket kan förklara skillnaden. Det är därför tveksamt om dessa experiment kan användas som underlag för validitetskontroll av ett utrymningsprogram.

Förhållandena i försök B är å andra sidan lugnare jämfört med vad som kan förmodas vara fallet vid en utrymningssituation. Personflödena vid utrymning kan därför förmodas vara högre i genomsnitt vid utrymning. De två försöken kan därför sägas representera någon form av ytterlighetsvärden vilka båda kan anses vara möjliga men inte speciellt representativa.

Totalt sett är variationen i flöde större i beräkningarna med STEPS jämfört motsvarande resultat i Simulex. Det kan ses genom att variationskoefficienten är högre för resultaten från STEPS. Anledningen till detta kan vara att det finns fler slumpmässiga variabler i en definition i STEPS vilket gör att det skiljer mer mellan två på varandra följande beräkningar med det programmet.

En märklighet med resultaten från STEPS är att personflödet i så stor utsträckning påverkas av vilken kantstorlek användaren väljer för rutorna. En ökning av kantlängden med en decimeter ökar personflödet med ca 50%. Ökningen beror på att ett färre antal personer kan få plats på en given yta då varje ruta bara kan innehålla en person. Denna lägre persontäthet ger då en mindre hastighetsreduktion vilket gör att personerna kan gå snabbare och flödet ökar därför. Med stora rutor kan inte höga persontätheter uppstå. På det viset kan användaren beräkna ett önskat personflöde genom att manipulera rutornas storlek.

I samband med flödesberäkningarna med STEPS genom dörröppningen genererade de definierade blockeringarna en begränsning i den tillgängliga förflyttningsytan. En blockering som gränsar till en ruta blockerar rutan även om blockeringen inte når in i rutan. Beräkningen blir då onödigt inskränkt och flödet genom öppningen blir mindre än det skulle vara genom en verklig dörr. Det är därför viktigt att en användare kontrollerar så att inte införda blockeringar i onödan begränsar möjligheterna till förflyttning.

5 Försök på LTH

Eftersom det experimentella underlaget för validering av utrymningsprogram är begränsat genomfördes försök på LTH våren 2006. Vid försöken gick deltagare genom en korridor samtidigt som de filmades med tre kameror. Korridoren var i några fall helt öppen i båda ändar, men i de flesta fall fanns en smalare öppning i slutet. Bredden på öppningen varierades för att erhålla olika försöksscenarier.

Vid beräkningarna i STEPS och Simulex användes två olika populationer, d v s två olika typer av personer. För den ena populationen utnyttjades programmens förvalda värden och för den andra användes uppmätta gånghastigheter från försöken.

5.1 Försök

Försöken genomfördes i stora laborationshallen i V-huset, LTH, den 22 mars 2006. Vid försöken gick deltagarna genom en korridor samtidigt som deras förflyttning filmandes med videokameror. Totalt genomfördes försök för sju olika scenarier, vilka beskrivs i tabell 12. I tabellen anges även hur många försök som genomfördes för respektive scenario. Vid försöksscenario A deltog personerna en åt gången, men för övriga scenarier deltog alla personer samtidigt, d v s de gick tillsammans i grupp. Syftet med scenario A var att mäta den ohindrade gånghastigheten, vilken senare användes vid simuleringarna i STEPS och Simulex.

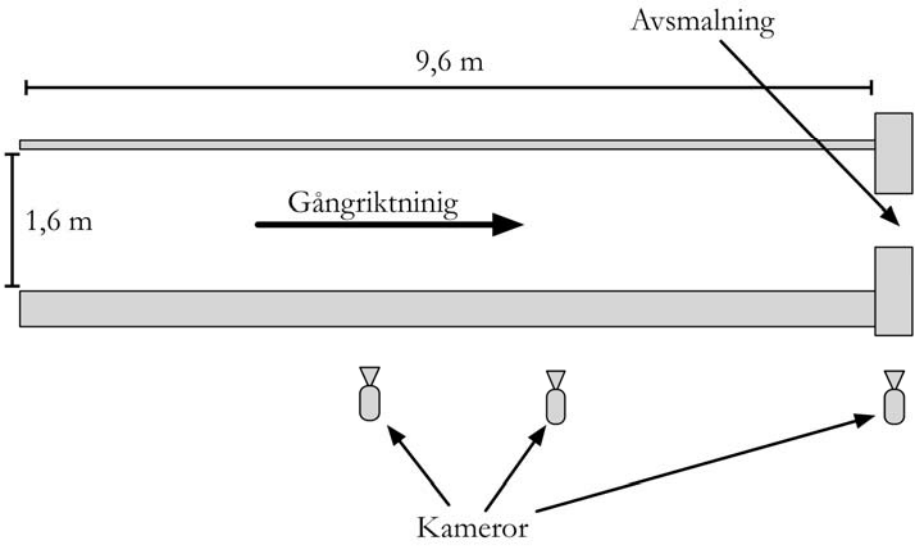
Tabell 12. Försöksscenarier vid försöken på LTH den 22 mars 2006

Scenario	Antal försök	Försöksuppställning	Grupp/enskilt
A	83	Helt öppen korridor	Enskilt
B	6	Korridor med en 60 cm bred öppning i slutet	Grupp
C	6	Korridor med en 75 cm bred öppning i slutet	Grupp
D	6	Korridor med en 90 cm bred öppning i slutet	Grupp
E	5	Korridor med två 75 cm breda öppning i slutet	Grupp

5.1.1 Försöksuppställning

Den korridor som användes i försöken var 1,6 meter bred, 9,6 meter lång och byggdes upp med skåp samt flyttbara skärmar, vilka var gjorda av spånskivor och reglar. De skåp som användes var 2 meter höga och skärmarna var 2,4 meter höga. Hela korridoren var öppen upptill, d v s var inte täckt med något tak, för att underlätta filmning ovanifrån. Referenspunkter var markerade med tejp på både skärmarna och skåpen för att underlätta efterföljande analys av videofilmerna. I slutet av korridoren placerades två skåp med kortsidorna mot varandra. Genom att skjuta ihop eller dra isär dessa skåp skapades öppningar med olika bredd i änden av korridoren. I figur 8 visas bilder av korridoren och öppningen och i figur 9 ges en schematisk ritning.

Figur 8. Korridoren (vänster) och öppningen i slutet (höger)



Figur 9. Schematisk ritning av korridoren

I syfte att dokumentera försöken och underlätta den efterföljande analysen monterades tre videokameror ovanför korridoren. Kamerorna placerades på en balkong snett ovanför försöksuppställningen. Placeringen medförde att kamerorna filmade försöken snett uppifrån, se figur 10.

5.1.2 Deltagare

Deltagarna i försöken bestod av studenter från brandingenjörsutbildningen och civilingenjörsutbildningen i riskhantering på LTH. Totalt deltog 42 personer, nämligen 7 kvinnor och 35 män. Antalet deltagare varierade dock i viss utsträckning mellan försöken eftersom vissa personer kom sent eller gick tidigt. Deltagarnas ålder uppskattas till mellan 20 och 30 år, d v s personerna var genomgående unga. Vid försöket bar ca 60 procent jacka, medan övriga endast var klädda för inomhusklimat. Samtliga deltagare rekryterades genom förfrågan via e-post och information i samband med föreläsningar. Efter försöken erhöll personerna ersättning i form av en värdecheck som kunde användas i caféet i V-huset, LTH.

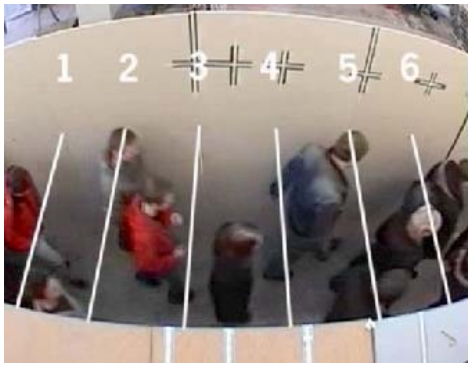
5.1.3 Genomförande

Innan försöken inleddes samlades deltagarna och informerades om studien. Därefter ställdes de upp i en ca 2 meter bred kö framför försöksuppställningen och kamerorna sattes igång. Kamerorna filmade sedan tills alla försök var genomförda.

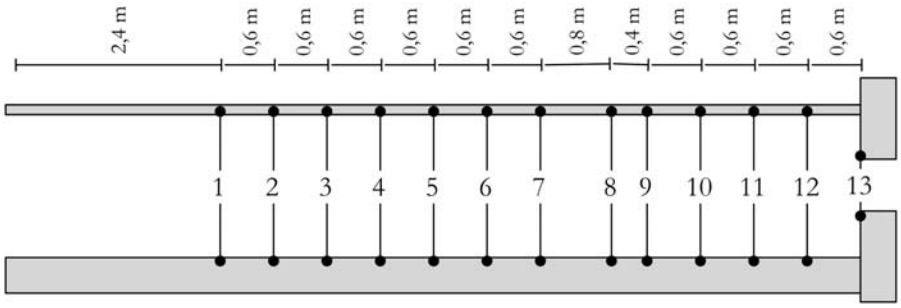
Försöksscenarierna genomfördes i bokstavsordning enligt de beteckningar som används i tabell 12. För scenario A gick personerna en i taget genom korridoren. När en deltagare hade nått slutet av korridoren tilläts nästa person att börja gå. Totalt gick varje deltagare ungefär två gånger själv genom korridoren. För scenarierna B till E gick alla deltagarna istället tillsammans i grupp. När gruppen hade gått genom korridoren samlades de på nytt i en kö framför försöksuppställningen. Först när alla personer hade intagit en plats i kön tilläts de att åter gå igenom korridoren. Personernas plats i kön framför korridoren varierade, vilket innebar att de inte gick genom korridoren i exakt samma ordning vid försöken. Mellan de olika försöksscenarierna gjordes kortare uppehåll då bredden på öppningen varierades.

5.1.4 Analys

Efter försöken analyserades videofilmerna i syfte att kartlägga deltagarnas förflyttning. Innan analysen inleddes lades videofilmerna in på dator och synkroniserades med avseende på tiden. Vid redigeringen lades även markeringar till i filmerna för att underlätta analysarbetet, se figur 10. Markeringarna utgjordes av numrerade linjer från ena till andra sidan av korridoren. Linjerna var placerade på höjden 1,6 meter över golvet, d v s i höjd med axlarna på de flesta deltagarna. Markeringarnas placering i försöksuppställningen visas i figur 11.



Figur 10. En bild från en av de kameror som användes vid försöken och markeringarna som lades till för att underlätta analysarbetet



Figur 11. De markeringar som användes i filmerna för att analysera deltagarnas förflyttning

Markeringarna i filmerna användes för att bestämma var deltagarna befann sig i försöken. En person antogs passera en markering när hans eller hennes axlar passerade linjen i videofilmerna. De parametrar som mättes vid analysen av videofilmerna var

1. Gånghastighet
2. Total tid (för hela gruppen att gå genom korridoren)
3. Flöde genom öppning
4. Persontäthet

Samtliga parametrar uppmättes dock inte för alla scenarier. I tabell 13 återges vilka parametrar som mättes för respektive scenario. I nedanstående avsnitt återges dessutom hur parametrarna uppmättes samt de beräkningar som genomfördes vid analysen.

Tabell 13. De parametrar som mättes för respektive försöksscenario

Scenario	1. Gånghastighet	2. Total tid	3. Flöde genom öppning	4. Persontäthet
A	X			
B		X	X	X
C		X	X	X
D		X	X	X
E		X	X	X

5.1.4.1 Gånghastighet

Gånghastigheten bestämdes endast för scenario A, d v s de försök där deltagarna gick genom korridoren en åt gången. Hastigheten beräknades genom att dividera avståndet mellan linje 1 och 13, d v s 7,6 meter, med tiden det tog för den aktuella personen att passera mellan dessa linjer.

5.1.4.2 Total tid

Den totala tiden det tog för hela gruppen att passera genom korridoren definierades som den tid det tog från det att första personen passerat linje 1 tills sista personen passerat linje 13. Den totala tiden uppmättes för alla scenarier utom scenario A.

5.1.4.3 Flöde genom öppning

Flödet genom öppningar beräknades genom att dividera antalet personer som passerat genom öppningen med tiden. Vid analysen användes ett tidsintervall på fem sekunder, d v s det observerades hur många personer som passerade genom öppningen varje femsekundersintervall. Dock blev det sista tidsintervallet vi vissa fall kortare eftersom den totala tiden inte var jämnt delbar med fem. I de fall sista tidsintervallet skulle ha blivit endast en sekund användes istället en tid på sex sekunder för sista intervallet.

För att underlätta jämförelser mellan försöken beräknades även flödet per meter, d v s det specifika flödet. Detta värde erhölls genom at dividera det tidigare nämnda flödet med öppningens bredd, d v s 0,60, 0,75 eller 0,90 meter. Baserat på de framräknade värdena för femsekundersintervallerna beräknades sedan medelvärden för de olika försöken. Vid beräkning av medelvärden inkluderades endast de värden då flödet genom öppningen ansågs vara stabilt, d v s avvikande start- och slutvärden togs inte med.

5.1.4.4 Persontäthet

Persontätheten bestämdes i två zoner i anslutningen till slutet av korridoren. Zon 1 var belägen mellan linje 10 och 13 och var 2,88 m^2 stort. Zon 2 var också 2,88 m^2, men var belägen mellan linje 7 och 10. Persontätheten bestämdes varje sekund genom att dividera antalet personer som befann sig i zonerna med arean 2,88 m^2. Baserat på de framräknade värdena för varje sekund beräknades sedan medelvärden för persontätheten i zonerna för de olika försöken. Vid beräkning av medelvärden inkluderades endast de värden som observerats vid de femsekundersintervall då flödet genom öppningen ansågs vara stabilt, d v s avvikande start- och slutvärden togs inte med.

5.1.5 Resultat

5.1.5.1 Gånghastighet

I de 83 försöken som genomfördes för scenario A mättes personernas gånghastighet då de gick själva genom korridoren. Resultaten från dessa mätningar redovisas i tabell 14. Det kan ses i tabellen att majoriteten gick genom korridoren med en hastighet på mellan 1,5 och 1,8 m/s. Både medianen och medelvärdet i försöken uppgick till 1,7 m/s.

Tabell 14. Gånghastigheten uppmätt för scenario A

Gånghastighet (m/s)	Antal observationer	Andel
<1,0	0	0 %
1,0-1,1	1	1 %
1,1-1,2	0	0 %
1,2-1,3	0	0 %
1,3-1,4	7	8 %
1,4-1,5	6	7 %
1,5-1,6	18	22 %
1,6-1,7	19	23 %
1,7-1,8	19	23 %
1,8-1,9	10	12 %
1,9-2,0	2	2 %
2,0-2,1	1	1 %
>2,1	0	0 %
Summa:	83	100 %

5.1.5.2 Total tid

I samtliga försök som genomfördes för scenario B till E mättes den tid det totalt tog för deltagarna att passera genom korridoren. För de olika scenarierna genomfördes fem eller sex försök vardera och i tabell 15 redovisas medelvärdet och standardavvikelsen för den uppmätta totala tiden. I tabellen anges även antalet försök per scenario. Det kan ses i tabellen att den totala tiden minskar med ökande bredd på öppningen, vilket stämmer med var som kan förväntas.

Tabell 15. Total tid i försöken för scenario B till E

Scenario	Total tid (s)		Antal försök
	Medel	Std	
B	43	1,5	6
C	37	1,4	6
D	31	1,4	6
E	28	1,3	5

5.1.5.3 Flöde genom öppning

I de försök som genomfördes för scenario B till E mättes flödet genom öppningen. I tabell 16 redovisas medelvärdet och standardavvikelsen för de uppmätta flödena. Dessutom anges även antalet försök per scenario. Det kan ses i tabellen att flödet ökar med ökande bredd på öppningen. För scenario B, C och D var det specifika flödet likartat och varierade mellan 1,7 och 1,8 pers/s·m. Det specifika flödet var dock enbart 1,2 pers/s·m för scenario E.

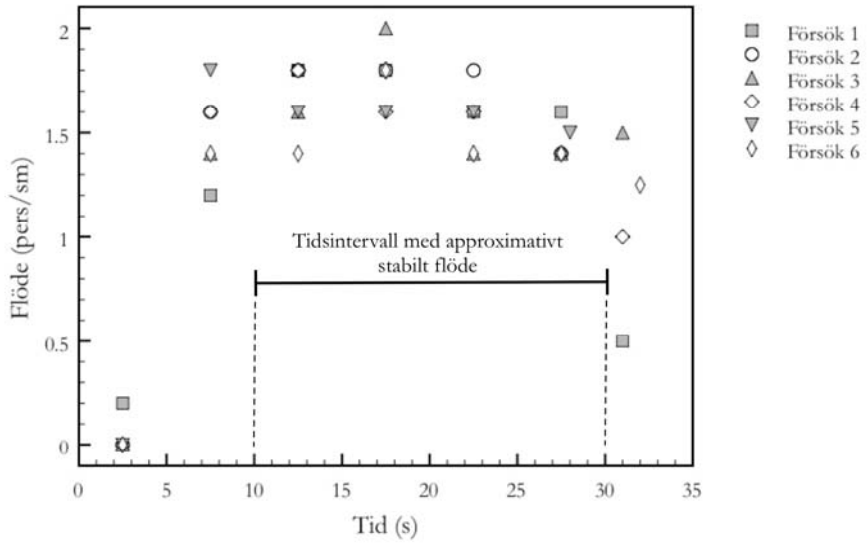
Tabell 16. Flöde genom öppning i försöken för scenario B till E

Scenario	Flöde genom öppning (pers/s·m)		Antal försök
	Medel	Std	
B	1,1	0,03	6
C	1,3	0,05	6
D	1,6	0,07	6
E	1,8	0,08	5

I samband med beräkningen av flödet inkluderades endast värden för de femsekundsintervaller då flödet ansågs vara stabilt. Figur 12 redovisar typiska värden på flödet för ett scenario, nämligen scenario D. I figuren har de tidpunkter då flödet ansågs vara stabilt markerats. En sammanfattning av de tider då flödet ansågs vara stabilt för de olika scenarierna ges i tabell 17.

Tabell 17. Tider då flödet ansågs vara stabilt för scenario B till E

Scenario	Tid för stabilt flöde (s)	
	Start	Slut
B	10	40
C	10	35
D	10	30
E	10	30



Figur 12. Flödet varje femsekundsintervall för de 6 försöken för scenario D

5.1.5.4 Persontäthet

Persontätheten i zon 1 och 2 mättes bara för scenario B till E. I tabell 18 redovisas medelvärdet och standardavvikelsen för de uppmätta persontätheterna. Dessutom anges antalet försök per scenario i tabellen. Det kan ses i tabellen att persontätheten skiljde sig mycket lite mellan zonerna för de olika scenarierna. För scenario B, C och D var den uppmätta tätheten likartad och varierade mellan 1,7 och 2,0 pers/m^2. Tätheten var däremot betydligt lägre för försök E.

Tabell 18. Flöde genom öppning i försöken för scenario B till E.

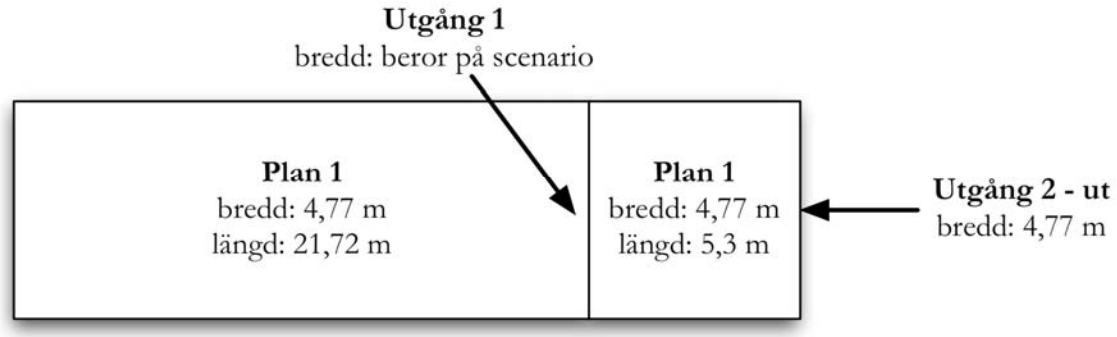
Scenario	Persontäthet zon 1 (pers/m^2)		Persontäthet zon 2 (pers/m^2)		Antal försök
	Medel	Std	Medel	Std	
B	1,8	0,16	1,8	0,14	6
C	2,0	0,12	1,8	0,17	6
D	1,9	0,29	1,7	0,19	6
E	1,1	0,07	1,1	0,08	5

5.2 Beräkningar i STEPS

Korridoren konstruerades i programmet STEPS genom att skapa två plan, nämligen ett som utgjorde korridoren (plan 1) och ett som utgjorde utrymmet på andra sidan öppningen (plan 2), se figur 13. Plan 1 gjordes 5,83 meter bred och 21,73 meter lång och storleken på rutorna sattes till 0,53 gånger 0,53 meter. Denna storlek på rutorna valdes för att efterlikna det förvalda formatet 0,5 gånger 0,5 meter samtidigt som korridorbredden skulle uppgå till ungefär 1,6 meter. I plan 1 konstruerades även blockeringar som utgjorde väggarna på korridoren, se figur 14. Eftersom endast hela rutor kan blockeras i STEPS utgjordes korridoren av tre rutor i bredd, d v s den totala bredden var 1,59 meter. När blockeringarna skapades

kontrollerades även att korridoren faktiskt blev exakt tre rutor bred. Plan 2 gjordes 4,77 meter bred och 5,3 meter lång. Rutorna på detta plan gjordes lika stora som för plan 1, d v s sidan på rutorna var 0,53 meter långa.

De två planen förbands med en utgång (utgång 1). Bredden och på denna utgång varierades beroende på vilket scenario som skulle simuleras. På plan 2 skapades en utgång som ledde direkt ut till det fria (utgång 2), d v s en systemutgång (*en. system exit*). Denna utgång var lika bred som plan 2, d v s 4,77 meter. Utgångarnas ungefärliga placering visas i figur 13. När utgångar skapades i programmet användes förvalda värden, vilket innebar att det maximala flödet bestämdes med hjälp av den definierade bredden och kapacitetsfunktionen *NFPA Door/Gate*. Maximala flödet genom utgång 2 blev 7,1 personer per sekund och maximala flödet på utgång 1 varierade beroende på det scenario som simulerades.

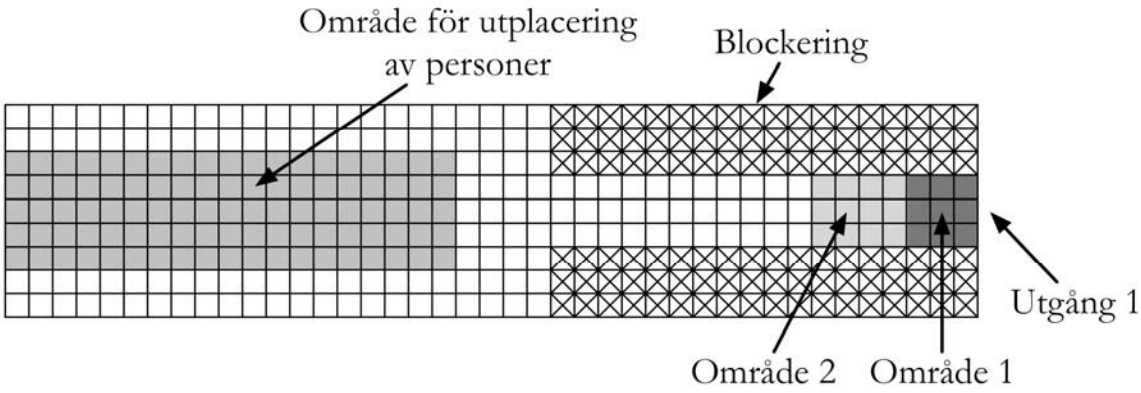


Figur 13. De plan och utgångar som användes i STEPS

Två olika persontyper användes vid simuleringarna i STEPS. När den första typen (standardpopulation) skapades användes förvalda värden, vilket innebar att personernas ohindrade gånghastighet valdes slumpmässigt från den tidigare nämnda trunkerade normalfördelning som kallas *Fruins* fördelning (*en. Fruin distibution*) i programmet, se kapitel 4.3.1. Dessutom reducerades hastigheten som funktion av persontätheten enligt den relation som kallas *SFPE handbook* i STEPS, se kapitel 4.3.1 och figur 2.

För den andra persontypen (LTH-population) användes de hastigheter som observerats i de 83 försöken för scenario A, men i övrigt användes förvalda värden. Den fördelning för gånghastighet som användes för LTH-populationen framgår i tabell 14. Det faktum att förvalda värden användes i övrigt innebar att samma relation för reducering av hastigheten användes för både standard- och LTH-populationen. Samtliga försök simulerades med båda populationerna, vilket resulterade i två olika typer av simuleringar. Simuleringarna med standardpopulationen kallas typ 1 och med LTH-populationen typ 2.

När persontyperna hade definierats skapades en persongrupp bestående av 42 personer. Denna grupp användes när personerna placerades ut i salongen, d v s i plan 1. Eftersom personerna skulle placeras ut framför korridoren skapades ett område fyra rutor framför mynningen till korridoren, se figur 14. Området var 19 gånger 5 rutor, d v s sidorna var 10,07 och 2,65 meter. Vid starten av simuleringen placerades persongruppen ut i detta område och utplaceringen skedde vid tiden 0 sekunder. I STEPS angavs att personerna skulle börja förflytta sig direkt när de placerats ut.



Figur 14. Blockerade och fria rutor i plan 1 samt området
för utplacering av personer och mätning av persontäthet

I syfte att mäta persontätheten i de två zonerna närmast öppningen skapades två områden (Område 1 och 2), se figur 14. På grund av programmets uppbyggnad, d v s att varje person upptar en ruta, så kan områden bara innefatta hela rutor. Av denna anledning gjordes område 1, vilken representerade zon 1, tre gånger tre rutor. Område 2 som representerade zon 2 gjordes tre gånger fyra rutor stor. Denna indelning medförse att område 1 var lite mindre och område 2 lite större än de zoner i försöken som de skulle motsvara. Mätningen av den totala tiden i simuleringarna byggde på att utdata granskades i syfte att bestämma differensen mellan tiden då första personen passerade linje 13 och tiden då sista personen gick ut genom utgång 1.

Totalt genomfördes sex simuleringar per försöksscenario och simuleringstyp i STEPS, vilket resulterade i totalt 48 simuleringar. De scenarier som simulerade var B till E, medan scenario A endast utnyttjades för att erhålla indata till simuleringstyp 2.

5.2.1 Total tid

I samtliga simuleringar mättes den tid det totalt tog för deltagarna att passera genom korridoren. Medelvärdet (Medel) och standardavvikelserna (Std) för den totala tiden redovisas i tabell 19 och 20 för de två typerna av simuleringar. Det kan ses i tabellerna att den totala tiden minskar med ökande bredd på öppningen, vilket stämmer med var som kan förväntas. Värdena i tabellerna antyder vidare att skillnaden mellan de två typerna av simulering är liten.

Tabell 19. Total tid för scenario B till E och simuleringstyp 1 – standardpopulation

Scenario	Total tid (s)	
	Medel	Std
B	51	0,4
C	42	0,4
D	36	0,6
E	28	1,2

Tabell 20. Total tid för scenario B till E och simuleringstyp 2 – LTH-population

Scenario	Total tid (s)	
	Medel	Std
B	50	0,4
C	41	0,3
D	35	0,2
E	24	0,6

5.2.2 Flöde genom öppning

I simuleringarna för scenario B till E mättes flödet genom öppningen. Tabell 21 och 22 redovisar medelvärdet (Medel) och standardavvikelsen (Std) för de uppmätta flödena i STEPS. Det kan ses i tabellen att flödet ökar med ökande bredd på öppningen. För scenario B, C och D var flödet likartat och det specifika flödet varierade mellan 1,4 och 1,6 pers/s·m för båda simuleringstyperna.

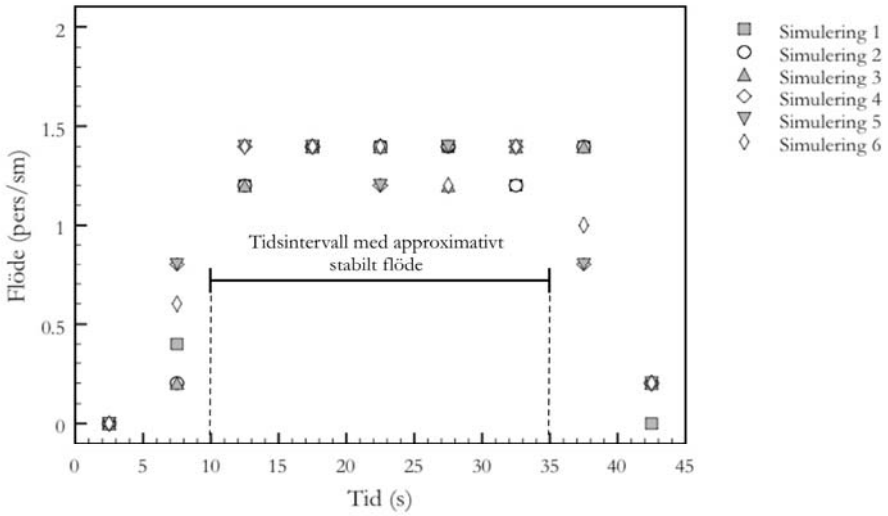
Tabell 21. Flöde genom öppning för scenario B till E och simuleringstyp 1 – standardpopulation

Scenario	Flöde genom öppning (pers/s·m)	
	Medel	Std
B	0,9	0,01
C	1,1	0,01
D	1,3	0,02
E	1,8	0,07

Tabell 22. Flöde genom öppning för scenario B till E och simuleringstyp 2 – LTH-population

Scenario	Flöde genom öppning (pers/s·m)	
	Medel	Std
B	0,9	0,01
C	1,1	0,02
D	1,4	0,02
E	2,1	0,1

I samband med beräkningen av flödet inkluderades endast värden för de femsekundsintervaller då flödet ansågs vara stabilt. Figur 15 redovisar typiska värden på flödet för en simuleringstyp, nämligen typ 1 – standardpopulation, för scenario D. I figuren har de tidpunkter då flödet ansågs vara stabilt markerats. En sammanfattning av de tider då flödet ansågs vara stabilt för de olika simuleringarna ges i tabell 23 och 24.



Figur 15. Flödet varje femsekundsintervall för de sex simuleringarna i STEPS för scenario D och simuleringstyp 1 - standardpopulation

Tabell 23. Tider då flödet ansågs vara stabilt för scenario B till E och simuleringstyp 1 – standardpopulation

Scenario	Tid för stabilt flöde (s)	
	Start	Slut
B	10	50
C	10	40
D	10	35
E	10	30

Tabell 24. Tider då flödet ansågs vara stabilt för scenario B till E och simuleringstyp 2 – LTH-population

Scenario	Tid för stabilt flöde (s)	
	Start	Slut
B	10	50
C	10	40
D	10	35
E	10	25

5.2.3 Persontäthet

Persontätheten mättes i de två områdena kallade område 1 och 2. I tabell 25 och 26 redovisas medelvärdet (Medel) och standardavvikelsen (Std) för de uppmätta persontätheterna. Det kan ses i tabellen att den genomsnittliga persontätheten skiljde sig mycket lite mellan olika simuleringar av samma scenario samt mellan scenario B till D. Simuleringarna för scenario E resulterade dock i lägre persontätheter.

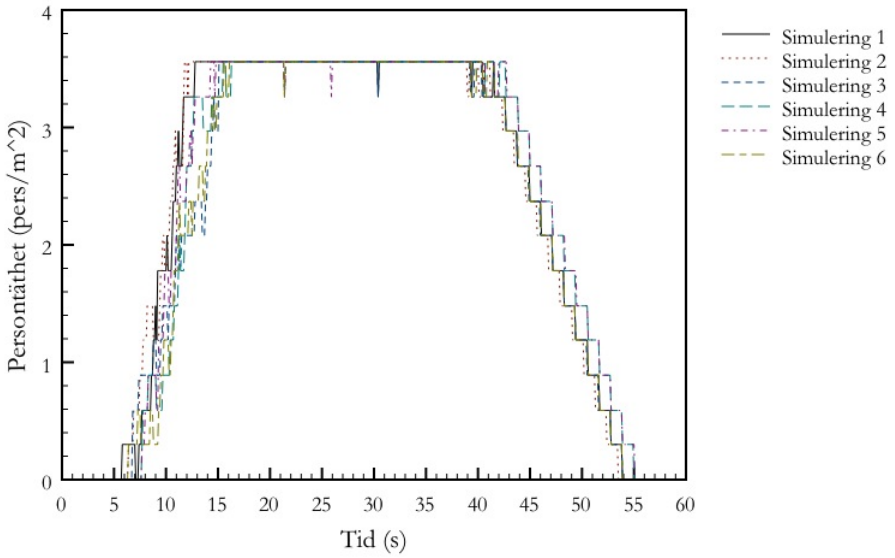
Tabell 25. Persontäthet för scenario B till E och simuleringstyp 1 – standardpopulation

Scenario	Persontäthet område 1 (pers/m^2)		Persontäthet område 2 (pers/m^2)	
	Medel	Std	Medel	Std
B	3,2	0,06	2,2	0,10
C	3,2	0,06	2,2	0,07
D	3,2	0,09	2,2	0,27
E	2,0	0,29	1,2	0,17

Tabell 26. Persontäthet för scenario B till E och simuleringstyp 2 – LTH-population

Scenario	Persontäthet område 1 (pers/m^2)		Persontäthet område 2 (pers/m^2)	
	Medel	Std	Medel	Std
B	3,2	0,04	2,3	0,05
C	3,3	0,03	2,3	0,06
D	3,2	0,04	2,3	0,05
E	2,8	0,2	1,6	0,2

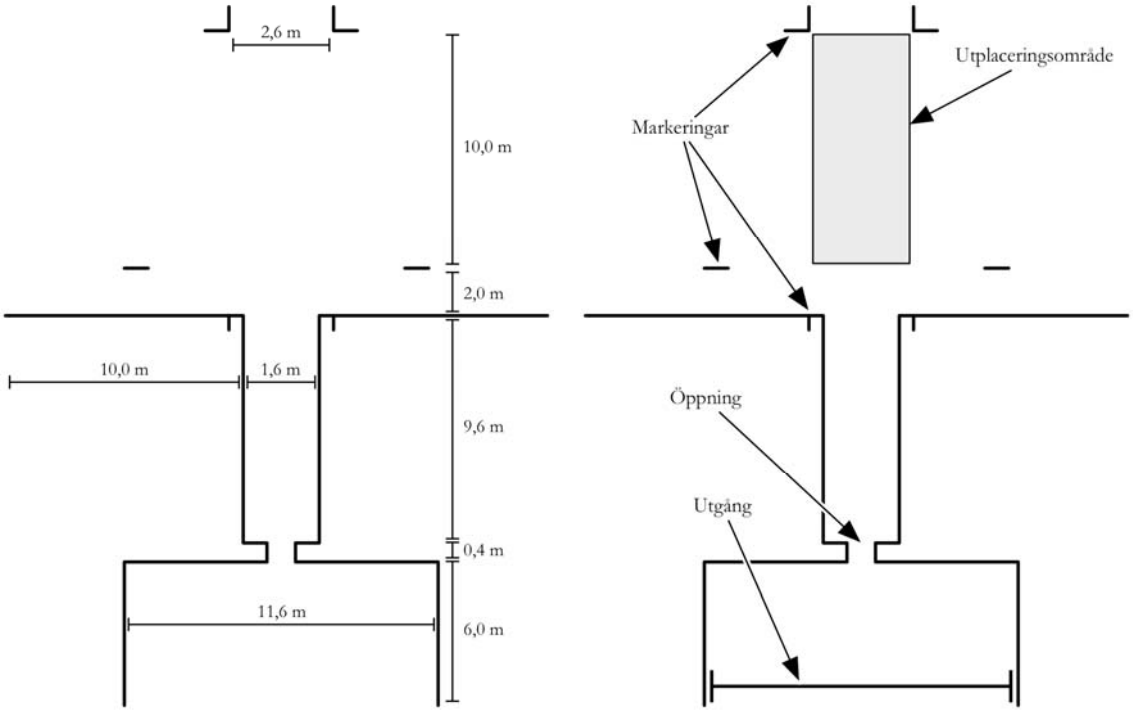
I samband med simuleringarna i STEPS observerades att personerna packades maximalt framför öppningen trots att hastigheten reducerades av programmet. Eftersom varje person kunde uppta en ruta och rutorna var 0,53 gånger 0,53 meter så uppgick den maximala persontätheten till ungefär 3,6 personer per m^2. Denna persontäthet uppnåddes i område 1 och 2 vid simuleringarna, vilket åskådliggörs av figur 16.



Figur 16. Persontätheten i område 1 som funktion av tiden för sex simuleringarna i STEPS för scenario B och simuleringstyp 1 – standardpopulation

5.3 Beräkningar i Simulex

I Simulex konstruerades korridoren genom att CAD-ritningar importerades. Ett exempel på en ritning som användes visas i figur 17. De kan ses i figuren att korridoren mynnade ut i ett större utrymme som gjordes 11,6 meter bred. I änden av utrymmet placerades utgången som gjordes lika bred som utrymmet, d v s 11,6 meter. Öppningens bredd i de importerade ritningarna varierades beroende på det scenario som skulle simuleras, se tabell 12.



Figur 17. Exempel på en CAD-ritning som användes vid simuleringarna i Simulex med mått (väster) och med förklaringar (höger)

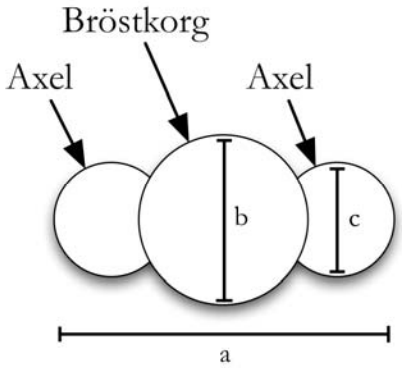
För att underlätta utplaceringen av personer i Simulex fanns markeringar i CAD-ritningarna, se figur 17. Dessa markeringar visade gränserna på det område där personerna skulle placeras ut, se figur 17. Området som var 2,6 meter brett och 10 meter långt. Avståndet mellan mynningen till korridoren och utplaceringsområdet var 2,0 meter. Innan en simulering genomfördes markerades området, varefter det angavs att 42 personer skulle placeras ut inom markeringen.

I simuleringarna användes två olika populationer, nämligen den förvalda populationen *office staff* och en egendefinierad population som byggde på resultaten från scenario A. I Simulex består populationer av en sammansättning av olika persontyper, t ex vuxna män (en. *adult male*) eller vuxna kvinnor (en. *adult female*). Populationen *office staff* består av 60 procent *adult male* och 40 procent *adult female*. Egenskaper för dessa två persontyper och typen *median* återges i tabell 27. De mått som finns med i tabellen, d v s a, b och c, åskådliggörs i figur 18.

För att skapa den egendefinierade populationen, kallad LTH-population, definierades 11 persontyper i Simulex. Dessa persontyper motsvarade de 11 intervallen mellan 1,0 och 2,1 m/s i tabell 14. För varje typ sattes den ohindrade gånghastigheten till värdet i mitten av respektive intervall ±0,05 m/s. Gånghastigheten för den första persontypen blev således 1,05±0,05 m/s. För samtliga av de 11 persontyperna användes kroppsmåtten för *median* i tabell 27. I följande text kallas simuleringarna med standardpopulationen *office staff* för typ 1 och med LTH-populationen för typ 2.

Tabell 27. Egenskaper för persontyperna *adult male*, *adult female* och *median* i Simulex

Persontyp	Ohindrad gånghastighet (m/s)	Mått (m)		
		a	b	C
adult male	1,35±0,20	0,27	0,16	0,10
adult female	1,15±0,20	0,24	0,14	0,09
median	1,30	0,25	0,15	0,10



Figur 18. En person i Simulex inklusive måtten a, b och c

Totalt genomfördes sex simuleringar per försöksscenario och simuleringstyp i Simulex, vilket resulterade i totalt 48 simuleringar. De scenarier som simulerade var B till E och scenario A utnyttjades endast för att få indata till simuleringstyp 2. För att erhålla utdata som enkelt kunde analyseras definierades en ny miljövariabel i operativsystemet, nämligen SIMULEX=TEXTDUMP. Denna miljövariabel medförde att resultat från Simulex sparades i en textfil, vilken innehöll personernas placering som funktion av tiden. Genom att bearbeta filen i Matlab kunde antalet personer som befann sig i zon 1 och 2 bestämmas, se avsnitt 5.1.4.

5.3.1 Total tid

I alla simuleringar mättes den tid det tog för samtliga personer att passera genom korridoren. Det kan ses i tabell 28 och 29 att medelvärdet (Medel) och standardavvikelsen (Std) för den totala tiden minskade med ökande bredd på öppningen. Dessutom kan det ses att tiden genomgående var längre för simuleringstyp 1 än simuleringstyp 2. I Simulex genomfördes enligt tidigare sex simuleringar för alla kombinationer av

försöksscenario och simuleringstyp. Generellt var skillnaden mellan dessa sex simuleringar liten, med undantag för simuleringarna av försök A. Anledningen till den något större skillnaden mellan simuleringarna av försök A var att personerna ibland fastnade tillfälligt i varandra och väggarna i den 0,6 meter smala öppningen. Detta medförde att det tog mycket längre tid för personerna att passera genom öppningen i en del av simuleringarna med den smalaste öppningen. Motsvarande fenomen uppträdde dock inte i simuleringarna av de övriga försöken.

Tabell 28. Total tid för scenario B till E och simuleringstyp 1 – standardpopulation

Scenario	Total tid (s)	
	Medel	Std
B	47	3,6
C	43	0,9
D	40	0,6
E	29	1,1

Tabell 29. Total tid i försöken för scenario B till E och simuleringstyp 2 – LTH-population

Scenario	Total tid (s)	
	Medel	Std
B	39	3,6
C	33	1,2
D	30	1,5
E	22	0,9

5.3.2 Flöde genom öppning

Flödet genom öppningen mättes för simuleringarna av scenario B till E. I tabell 30 och 31 redovisas medelvärdet (medel) och standardavvikelsen (Std) för de uppmätta flödena i Simulex. Tabellerna visar att flödet ökade med ökande bredd på öppningen och att flödet var betydligt större för simuleringstyp 2, d v s för LTH-populationen. För scenario B, C och D varierade det specifika flödet mellan 1,3 och 1,6 pers/s·m för simuleringstyp 1 och mellan 1,8 och 2,0 för simuleringstyp 2. I båda fallen minskade det specifika flödet med ökande bredd på öppningen.

Tabell 30. Flöde genom öppning för scenario B till E och simuleringstyp 1 – standardpopulation

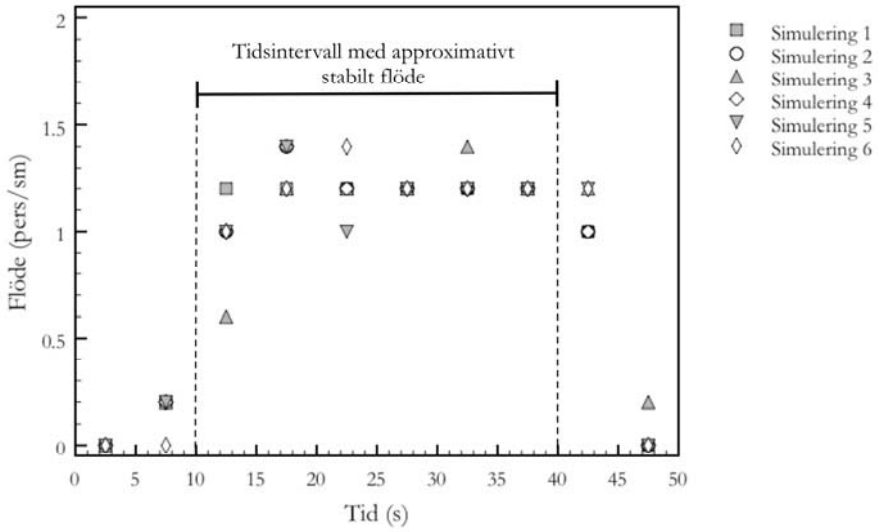
Scenario	Flöde genom öppning (pers/s·m)	
	Medel	Std
B	1,0	0,1
C	1,1	0,03
D	1,2	0,03
E	1,6	0,1

Tabell 31. Flöde genom öppning för scenario B till E och simuleringstyp 2 – LTH-population

Scenario	Flöde genom öppning (pers/s·m)	
	Medel	Std
B	1,2	0,2
C	1,4	0,1
D	1,6	0,1
E	2,2	0,2

Vid beräkning av flödet inkluderades bara värden för de femsekundersintervall då flödet ansågs vara stabilt. I figur 19 visar typiska värden på flödet i Simulex, nämligen från simuleringarna av typ 1 för scenario D.

Det tidsintervall då flödet ansågs vara stabilt har markerats i figuren. I tabell 32 och 33 återges de tider då flödet ansågs vara stabilt i simuleringarna.



Figur 19. Flödet varje femsekundsintervall för de sex simuleringarna i Simulex för scenario D och simuleringstyp 1

Tabell 32. Tider då flödet ansågs vara stabilt för scenario B till E och simuleringstyp 1 – standardpopulation

Scenario	Tid för stabilt flöde (s)	
	Start	Slut
B	10	45
C	10	40
D	10	40
E	10	30

Tabell 33. Tider då flödet ansågs vara stabilt för scenario B till E och simuleringstyp 2 – LTH-population

Scenario	Tid för stabilt flöde (s)	
	Start	Slut
B	10	40
C	10	35
D	10	30
E	10	25

5.3.3 Persontäthet

Medelvärdet och standardavvikelsen för persontätheten i zon 1 och 2 vid simuleringarna återges i tabell 34 och 35. Det kan ses i tabellerna att den genomsnittliga persontätheten vara snarlik för samtliga simuleringar av scenario B till D. Dock var tätheten genomgående lite lägre för simuleringstyp 2 än 1. För simuleringarna av scenario E var tätheten betydligt lägre och uppgick till 1,1 pers/m^2.

Tabell 34. Persontäthet för scenario B till E och simuleringstyp 1 - standardpopulation

Scenario	Persontäthet zon 1 (pers/m^2)		Persontäthet zon 2 (pers/m^2)	
	Medel	Std	Medel	Std
B	2,0	0,2	1,9	0,3
C	1,8	0,1	1,8	0,1
D	1,9	0,1	1,6	0,1
E	1,1	0,04	1,1	0,2

Tabell 35. Persontäthet för scenario B till E och simuleringstyp 2 – LTH-population

Scenario	Persontäthet zon 1 (pers/m^2)		Persontäthet zon 2 (pers/m^2)	
	Medel	Std	Medel	Std
B	2,1	0,3	1,8	0,4
C	2,0	0,1	1,7	0,1
D	2,0	0,1	1,6	0,1
E	1,1	0,1	1,1	0,1

5.4 Summering

En jämförelse mellan försöken och simuleringarna visar att den totala tiden i de flesta fall var längre i simuleringarna, d v s det tog längre tid för personerna att ta sig ut genom öppningen. Det enda undantaget var simuleringarna av typ 2 i Simulex, vilka resulterade i kortare tider än uppmätt.

I STEPS bestämdes den totala tiden i stor utsträckning av det flöde som angavs för öppningarna för scenario B, C och D. Eftersom flödet definierades på samma sätt för både simuleringstyp 1 och 2 i programmet erhölls nästan identiska tider i de två typerna av simuleringar. Dessutom stämde flödet överens med det maximala flöde som indirekt definierades när öppningarna skapades, d v s när bredden på öppningarna angavs i STEPS. Detta innebär att gånghastigheten och hastighetsreduceringen hade begränsad inverkan på resultaten för scenario B, C och D. För simuleringarna av scenario E, d v s med två öppningar som var 0,75 meter breda, uppnåddes dock inte det maximala flödet genom öppningarna. I dessa fall var det istället gånghastigheten som bestämde den totala tiden, vilket förklarar skillnaden mellan tiden för typ 1 och 2. I simuleringstyp 2 var hastigheten högre, vilket resulterade i större flöde genom öppningar och längre tid för scenario E.

Persontätheten i STEPS var genomgående mycket högre än i försöken och låg relativt nära det i simuleringarna teoretiskt maximala värdet 3,6 pers/m^2. Det teoretiska värdet bygger på att varje ruta kan innehålla maximalt en person. Eftersom rutorna var 0,53 meter breda fanns det ungefär 3,6 rutor per kvadratmeter, vilket också bestämde den maximala tätheten. Den höga persontätheten i STEPS resulterade i att kön i korridoren blev betydligt kortare i simuleringarna än i försöken.

I Simulex-simuleringarna bestämdes den totala tiden och flödet genom öppningarna av den population som användes, d v s av personernas gånghastighet. För simuleringstyp 1, d v s med standardpopulationen *office staff*, var tiden genomgående längre och flödet genom öppningarna lägre än i försöken. Det omvända förhållandet gällde för simuleringstyp 2, d v s med LTH-populationen. I samtliga simuleringar i Simulex stämde persontätheten väl överens med den täthet som uppmättes i försöken, vilket betyder att köerna i programmet påminner om de köer som observerades vid försöken.

Vid simuleringarna i Simulex observerades att personer ibland fastnade tillfälligt i varandra och väggarna när öppningen var smal, d v s för scenario B. Detta fenomen anses orealistiskt och kan resultera i att den simulerade utrymningstiden blir alldeles för lång. Användare av programmet bör därför alltid vara uppmärksamma på att stopp kan uppstå vid smala passager.

I försöken mättes den ohindrade gånghastigheten när deltagarna gick genom korridoren en i taget. Försöksuppställningen och genomförandet kan dock ha bidragit till att personerna gick snabbare än de hade gjort i normalfallet eftersom de var fokuserade på en uppgift, nämligen att gå. Ett bättre sätt att mäta

den ohindrade gånghastigheten är att utföra mätningar under normala förhållanden och utan att personerna är medvetna om att mätningar genomförs. Den typen av mätningar var dock inte möjliga att genomföra inom ramen av denna studie.

6 Försök i en biografsalong

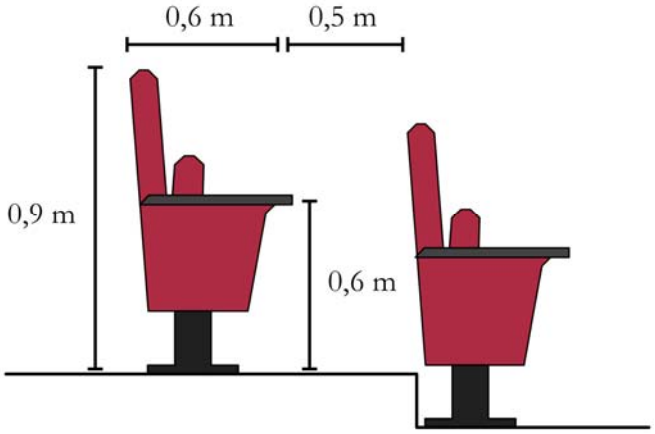
I syfte att validera programmen Simulex och STEPS för verklighetstrogna utrymningssituationer utfördes simuleringar av två utrymningsförsök i en biografsalong. De utrymningsförsök som användes genomfördes av Bayer och Rejnö (1999). I deras studie undersöktes olika typer av utrymningslarm. Totalt genomfördes 18 försök, men endast två av dessa har simulerats i denna studie. De försök som valdes ut kallas försök 17 och 18 i Bayer och Rejnös rapport. I denna studie har dock försök 18 betecknats med bokstaven A och försök 17 med bokstaven B.

I både försök A och B användes ett talat meddelande, vilket föregicks av en pulserande tonsignal. Det talade meddelandet upprepades tills försöket avbröts efter en minut. Försöken videofilmades och dessa filmer ligger till grund för observationer som använts vid jämförelser med simuleringsresultat i denna studie. Anledningen till att just försök A och B valdes ut var att de var mycket lika och därför representerar två möjliga utfall för ett givet utrymningsscenario. Likheterna bestod av att antalet biobesökare var identiskt, att samma typ av utrymningslarm användes och att försöken avbröts efter en minut.

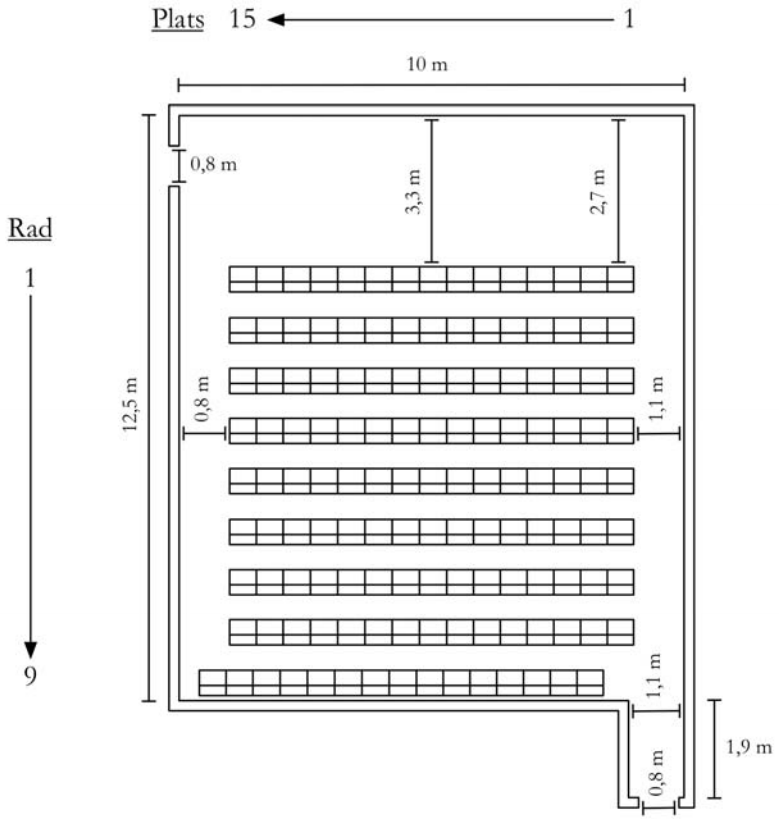
Biobesökarna var inte informerade om att de skulle utrymma innan försöken, d v s utrymningen var oannonserad. Av denna anledning anses scenariot vara representativt för inledningsfasen av en verklig brand. I händelse av brand kommer nämligen många personer till en början endast att informeras om branden via utrymningslarm, vilket var fallet i biografförsöken. För en mer utförlig beskrivning av försöken hänvisas till Bayer och Rejnö (1999).

6.1 Försök

Försök A och B genomfördes i samma biografsalong på SF Filmstaden i Malmö. Salongen är 10 meter bred och 12,5 meter lång. Totalt finns 135 sittplatser fördelade på 9 rader med 15 platser per rad. Salongen är utformad med gradäng där varje stolsrad upptar en nivå. Ungefärliga mått på stolarna och avstånd mellan rader visas i figur 20. På varje sida om raderna finns en trappa med handledare på en sida. Handledarna är fästa mot salongens väggar och når ungefär 15 centimeter ut från väggen. En översiktlig bild av salongen med angivna mått återfinns i figur 21. I figuren har raderna för enkelhets skull ritats raka, men i verkigheten är de välvda. Avståndet mellan främre delen av sätet till bioduken skiljer sig ungefär 0,6 meter mellan ett säte i mitten och i änden av en rad.

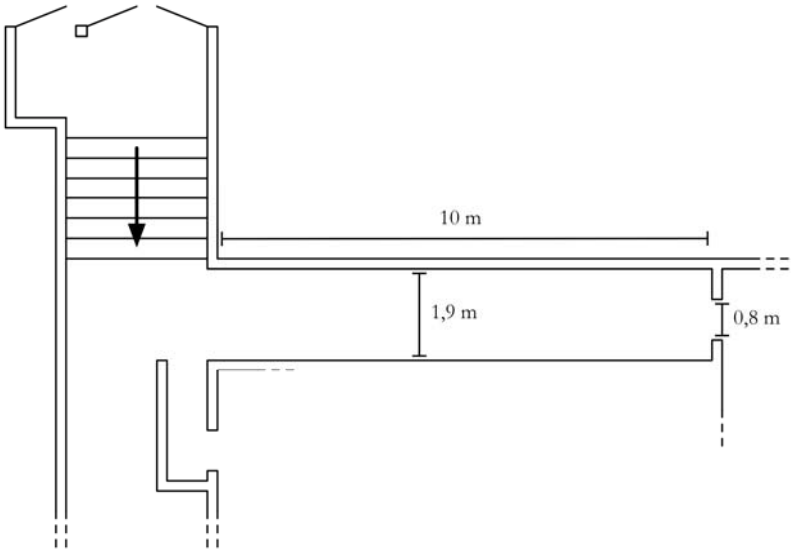


Figur 20. Mått på stolar och avstånd mellan rader



Figur 21. Den salong där försök A och B genomfördes

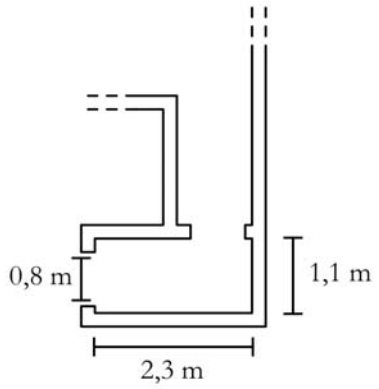
Totalt två utgångar leder ut från biosalongen. Den ena är placerad i främre vänstra delen av salongen. Utgången är 0,8 meter bred och 2,1 meter hög. Tröskeln ligger under salongens golvnivå och ett trappsteg förbinder salongen med dörren. Utanför salongen finns en 10 meter lång korridor som ledet till en trappa och vidare ut till det fria. En översiktlig bild av utrymmet utanför främre utgången ges i figur 22.



Figur 22. Utrymmet utanför främre utgången

Den andra utgången finns i biosalongens bakre högra hörn. Denna utgång är placerad i en 1,9 meter lång och 1,1 meter bred avsmalning i salongens bakre del. Själva dörröppningen är 0,8 meter bred och 2,0

meter hög. Utgången mynnar i ett mindre utrymme med en dörr som leder till biografens foajé. En översiktlig bild av utrymmet utanför bakre utgången ges i figur 23.



Figur 23. Utrymmet utanför bakre utgången

Videofilmerna från försöken studerades i syfte att bestämma när personerna började förflytta sig, var de befann sig vid olika tidpunkter och vilken utgång de valde. Alla tider mättes relativt tidpunkten då utrymningslarmet sattes igång, d v s tiden noll var när den pulserande tonsignalen innan meddelandet startade. Personerna antogs påbörja sin förflyttning när de rest sig upp från sin stol, vilket definierades som den tidpunkt då de hade ställt sig upp med ryggen utsträckt (rak i ryggen). Detta beteende stämde väl överens med att personerna inledde sin förflyttning. I några enstaka fall påbörjades dock förflyttning varefter personen stannade upp en kort stund och inväntade andra biobesökare. Tiden till personerna inledde sin förflyttning i de två försöken redovisas i tabell 36 och 37. I tabellerna är rad 1 närmast bioduken och plats 1 i högerkanten av salongen, se figur 21.

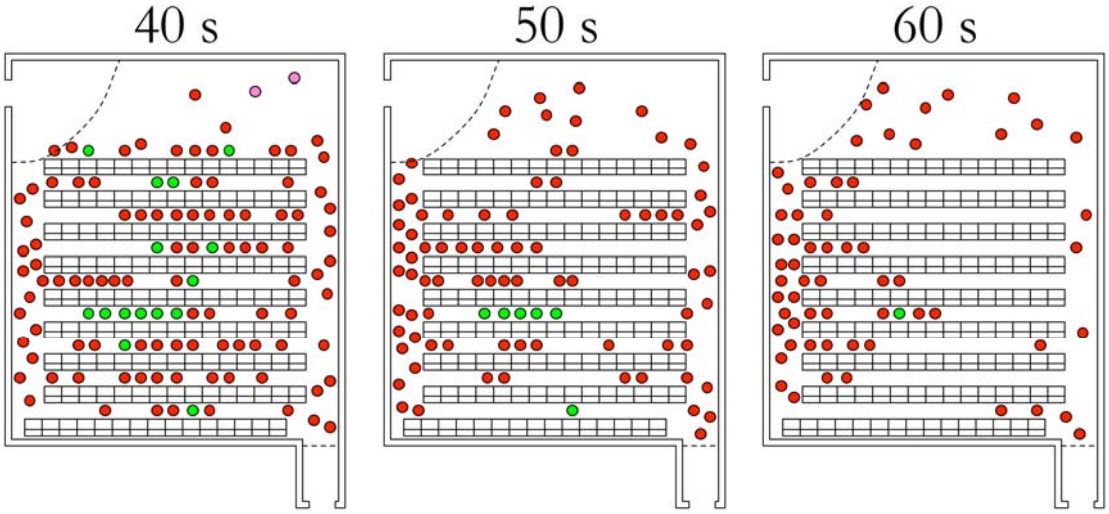
Tabell 36. Tiden i sekunder då biobesökarna började förflytta sig i försök A fördelat på rad och plats i salongen

Rad	Plats														
	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
1	35	39	42	28	28	39	38	36	37	38	40	28	32	29	28
2	32	29	31	35	30	27	41	44	39	30	33	33	33	29	27
3	26	25	28	29	35	37	37	38	34	31	36	30	30	30	32
4	26	28	30	25	25	23	41	38	36	40	39	37	39	39	26
5	32	32	34	25	35	30	32	40	46	28	29	28	27	30	30
6	24	34	42	53	56	61	59	58	32	34	37	29	28	28	28
7	30	27	36	38	49	36	37	30	25	28	28	30	33	32	27
8	29	29	28	36	36	35	35	35	28	25	28	25	28	29	32
9	20	27	29	29	32	35	33	28	28	51	35	32	30	28	25

Tabell 37. Tiden i sekunder då biobesökarna började förflytta sig i försök B fördelat på rad och plats i salongen

Rad	Plats														
	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
1	40	34	35	36	28	32	28	28	26	35	27	35	37	35	41
2	30	32	34	29	31	36	36	27	32	28	28	32	38	35	36
3	45	49	40	32	26	29	28	25	25	30	30	28	25	26	27
4	26	32	31	24	28	34	33	33	27	28	39	33	42	38	28
5	30	30	27	27	25	26	28	28	27	26	28	29	27	29	28
6	21	25	27	30	32	28	23	25	26	30	32	34	36	32	30
7	23	20	39	42	30	30	40	28	41	42	31	31	30	32	35
8	28	29	36	35	28	26	27	32	29	30	34	34	34	31	35
9	37	21	30	32	26	28	29	28	31	32	30	32	27	33	32

Baserat på videofilmerna från försöken bestämdes var personerna befann sig vid tre olika tidpunkter, nämligen efter 40, 50 och 60 sekunder, för försök A. Översiktliga bilder av personernas placering i salongen ges i figur 24. I figurerna markeras personer som påbörjat sin förflyttning med röda punkter och övriga med gröna punkter. Personer som befann sig i salongens främre högra hörn var i vissa fall svåra att urskilja och deras placering har därför uppskattats. Dessa personer är därför markerade med rosa punkter i figur 24. Eftersom kameran inte täckte det främre vänstra hörnet av salongen och avsmalningen i bakre högra hörnet har personer som befann sig i dessa delar inte tagits med i analysen av videofilmerna. Dessa delar är markerade med streckade linjer i figur 24.

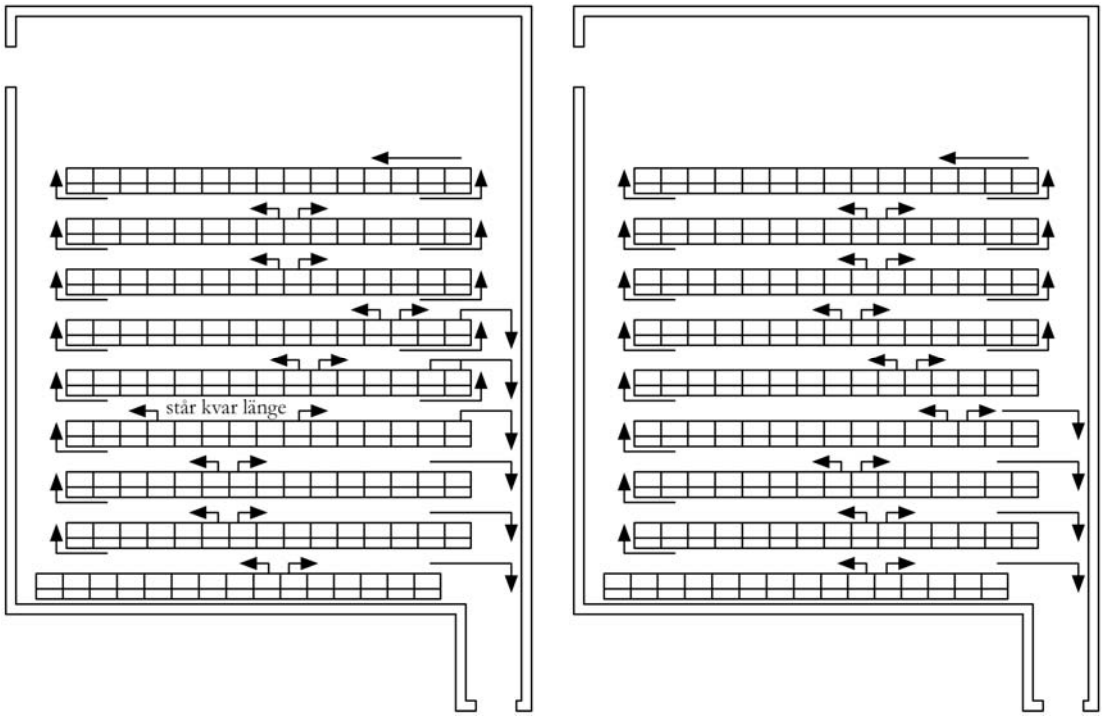


Figur 24. Personernas placering i salongen i försök A efter 40, 50 och 60 sekunder

Baserat på videofilmerna bestämdes även hur många som befann sig i raderna 2 till 8 vid de olika tidpunkterna i både försök A och B, se tabell 38. Personerna antogs befinna sig i raderna om de ännu inte hade gått ut i någon av trapporna. Anledningen till att inte rad 1 inkluderats är för att det var att det inte gick att med någon större noggrannhet bestämma när personerna hade lämnat raden. Vid analysen av videofilmerna bestämdes även åt vilket håll, d v s mot vilken av utgångarna personerna förflyttade sig, se figur 25. I några enstaka fall började personerna förflytta sig mycket sent och deras vägval gick därför inte att bestämma. Dessutom ändrade ett fåtal personer i bakre delen av salongen sitt vägval strax innan tidpunkten 60 sekunder i försök B, men i figur 25 anges det ursprungliga vägvalet. Vid simuleringarna har personernas ursprungliga vägval använts eftersom de ändrade sig mycket sent, nämligen enstaka sekunder innan försöket avbröts.

Tabell 38. Antalet personer som befann sig i raderna 2 till 9 vid tiden 40, 50 och 60 sekunder

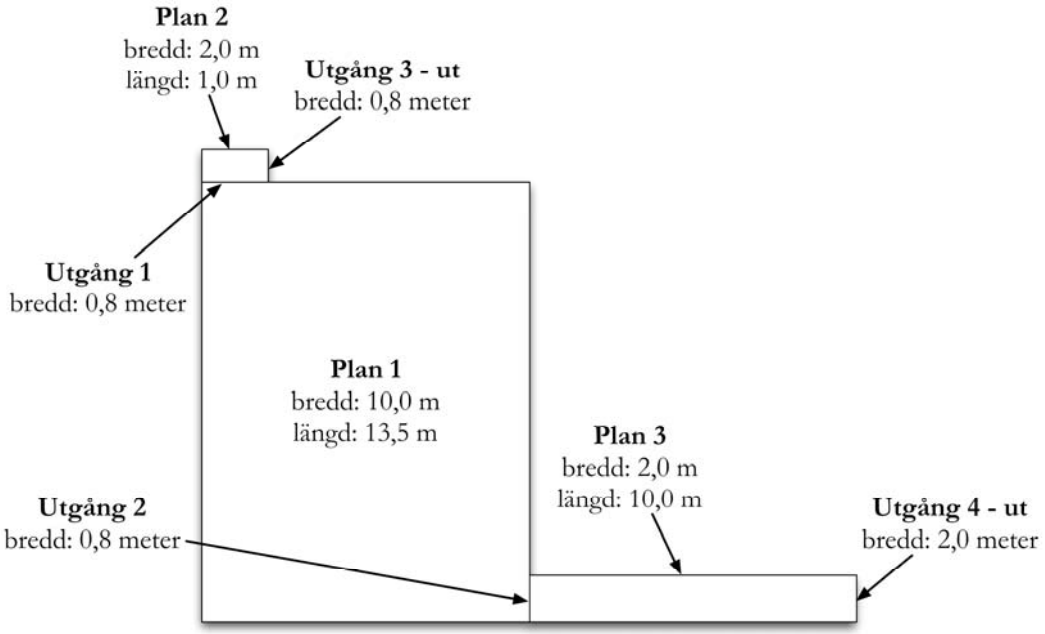
Försök	Tidpunkt		
	40 s	50 s	60 s
A	70	42	27
B	74	45	25



Figur 25. Personers vägval vid försök A (vänster) och försök B (höger)

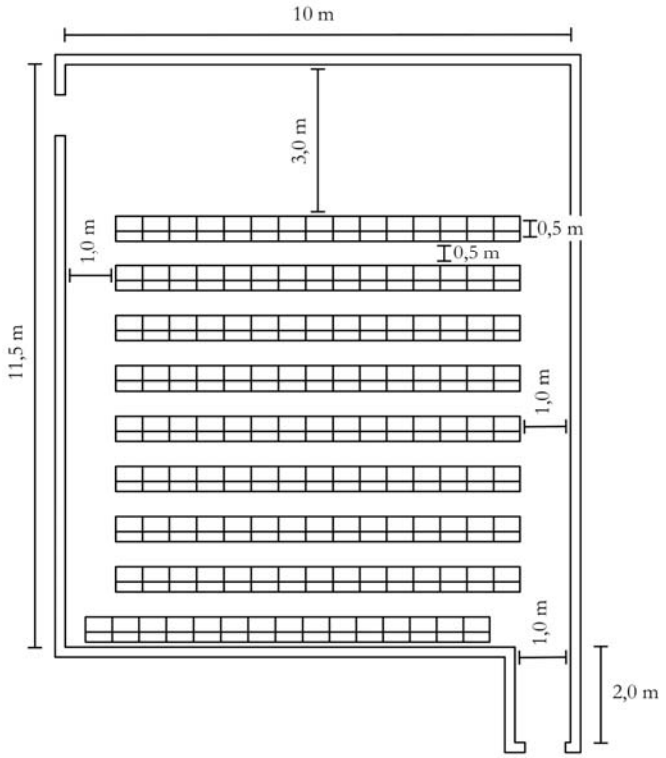
6.2 Beräkningar i STEPS

Biografsalongen konstruerades i programmet STEPS genom att skapa plan och blockeringar. Totalt användes tre plan, nämligen ett för biosalongen (plan 1), ett för korridoren vid bakre utgången (plan 2) och ett för korridoren vid främre utgången (plan 3), se figur 26. Plan 1 kopplades samman med övriga två plan med utgångar som var 0,8 meter breda (utgång 1 och 2). Dessutom skapades utgångar som ledde ut till det fria, d v s systemutgångar, för plan 2 och 3 (utgång 3 och 4). Utgången från plan 2 gjordes 0,8 meter bred och den för plan 3 gjordes 2,0 meter bred. När utgångar skapades i programmet användes förvalda värden, vilket innebar att flödet bestämdes med hjälp av den definierade dörrbredden och kapacitetsfunktionen *NFPA Door/Gate*. Detta resulterade i ett flöde på 1,19 respektive 2,98 personer per sekund för de utgångar som var 0,8 respektive 2,0 meter breda. I plan 1 konstruerades blockeringar för att motsvara väggar och rader, d v s hinder som personerna inte kunde passera.



Figur 26. De plan som användes vid simulering i STEPS

Eftersom programmet bygger på att byggnaden delas i rutor som kan vara antingen blockerade eller fria anpassades geometrin för att passa det rutnät som användas. Vid simuleringarna användes ett rutnät bestående av rutor med måtten 0,5 gånger 0,5 meter. Detta innebar att använda mått inte helt överensstämde med salongens verkliga mått. Figur 27 visar de mått på salongen som användes vid simuleringarna. De trappor som fanns på båda sidor om raderna i salongen beaktades inte utan salongen antogs ligga i ett plan vid simuleringarna i STEPS.



Figur 27. Den salong som användes vid simuleringarna i STEPS

När persontyper skapades i STEPS användes förvalda värden. Detta innebar att personernas ohindrade hastighet valdes slumpmässing utifrån den tidigare nämnda trunkerade normalfördelningen, se kapitel 4.3.1. Dessutom reducerades personernas hastighet vid simuleringarna enligt den relation som presenteras i figur 2, se kapitel 4.3.1. Därefter skapades en persongrupp bestående av endast en person. Denna grupp användes när personerna placerades ut i salongen, d v s i plan 1. Eftersom personerna skulle placeras ut på specifika platser i salongen skapades 135 områden (*en. locations*), vilka motsvarade de 135 stolarna i salongen. Områdena gjordes mindre än 0,5 gånger 0,5 meter och placerades så att de garanterat täckte endast en ruta i rutnätet. Endast en person placerades ut i varje område och utplaceringen skedde vid tiden 0,0 sekunder. I samband med utplaceringen av personerna definierades även den tid på varje person skulle påbörja sin förflyttning. De värden som användes framgår i tabell 36 och 37.

I STEPS genomfördes två olika typer av simuleringar, nämligen en där personernas vägval styrdes av användaren och en där vägvalet bestämdes av programmets inbyggda funktion för beslutsprocessen. Den simulering som byggde på att programmets funktion för beslutsprocessen användes genomfördes i utrymningsläge i STEPS (*en. evacuation*) och kallas typ 1. Vid dessa simuleringar kunde personerna välja både utgång 1 och 2 för att lämna salongen och de baserade sitt val på en utvärdering av tid till förflyttning och kötid. Den andra typen av simulering kallas typ 2 och genomfördes i normalt läge (*en. normal conditions*). Vid dessa simuleringar användes markeringar (*en. tags*) för att styra personernas vägval enligt figur 25. De personer som reagerade sent i försök A antogs gå till främre högra utgången. Dessutom antogs hälften gå åt höger och resten åt vänster. Vid utplaceringen av personerna angavs för simuleringarna av typ 2 vilka utgångar personerna skulle använda. Personerna gick antingen till utgång 1 och därefter till utgång 3 eller till utgång 2 och därefter till utgång 4. För att personerna skulle välja att gå åt rätt håll i simuleringarna placerades blockeringar i raderna mellan de som skulle gå till höger och de som skulle gå till vänster. Dessa blockeringar användes inte i simuleringar av typ 1, men däremot fanns ett mellanrum på en ruta mellan de som gick till höger respektive vänster i försöken.

I syfte att ta reda på hur många personer som befann sig i raderna 2 till 9 skapades ett område som täckte dessa rader. För detta område kunde antalet personer visas vid olika tidpunkter. Utdata från simuleringarna sparades i en fil. Denna fil innehöll antalet personer i rad 2 till 9 vid tiderna 40, 50 och 60 sekunder samt antalet personer som utnyttjat utgång 1 och 2 som funktion av tiden. Det antal simuleringar som genomfördes i STEPS för de olika uppställningarna visas i tabell 39.

Tabell 39. Antalet simuleringar i STEPS

Försök	Simulering av typ	
	1 (Evacuation)	2 (Normal Conditions)
A	10	10
B	3	3

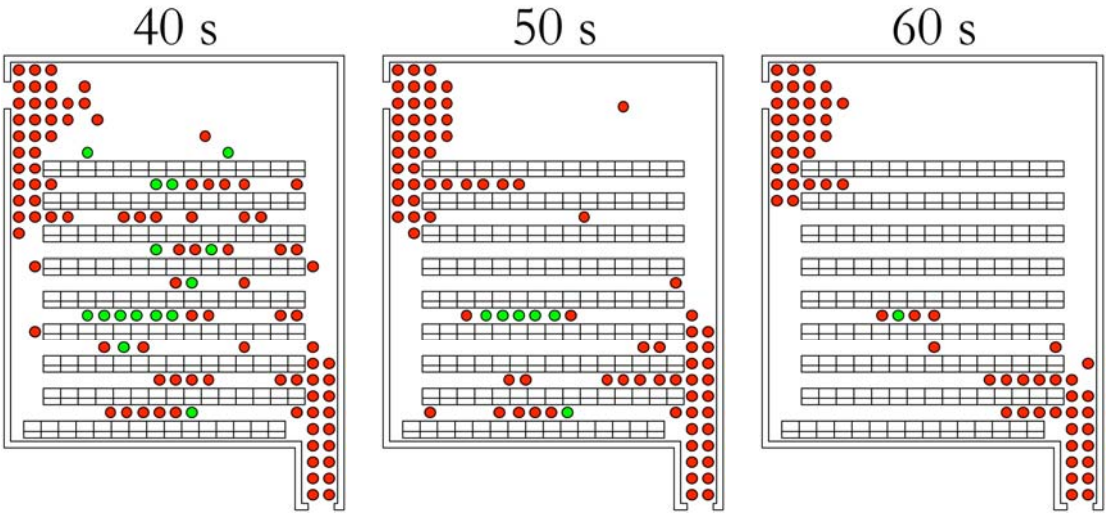
Tabell 40 och 41 visar antalet personer som i medeltal befann sig i raderna 2 till 9 vid olika tidpunkter i simuleringarna. I figur 28 och 29 ses tre bilder som visat personernas placering i biografsalongen vid tiderna 40, 50 och 60 sekunder vid en simulering av typ 1 och en av typ 2 för försök A. Figurerna representerar kvalitativa bilder av simuleringsresultaten och har skapats genom att studera bilder av simuleringen som skapats av programmet. Det kan ses i figurerna att personerna packade sig tätt framför främre utgången. Dessutom kan det ses att det uppstår en längre kö vid bakre vänstra utgången för simuleringen av typ 1, eftersom fler väljer denna utgång i detta fall.

Tabell 40. Antalet personer (medel och standardavvikelse) som befann sig i stolsraderna 2 till 9 vid 40, 50 och 60 sekunder i STEPS vid simulering av typ 1 (*Evacuation*)

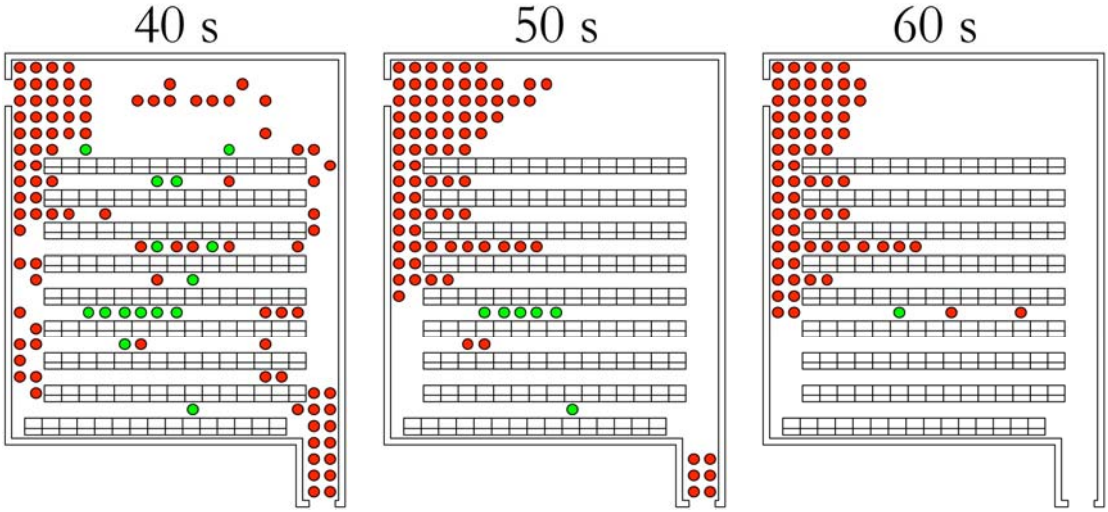
Försök	Tidpunkt					
	40 s		50 s		60 s	
	medel	std	medel	std	medel	std
A	57	2,8	37	2,8	18	2,5
B	59	2,1	35	2,6	15	1,0

Tabell 41. Antalet personer (medel och standardavvikelse) som befann sig i stolsraderna 2 till 9 vid 40, 50 och 60 sekunder i STEPS vid simulering av typ 2 (*Normal Conditions*)

Försök	Tidpunkt					
	40 s		50 s		60 s	
	medel	std	medel	std	medel	std
A	34	1,9	23	1,2	19	1,8
B	47	2,0	28	1,0	20	1,7



Figur 28. Personernas placering i biografen vid en simulering av typ 1 för försök A

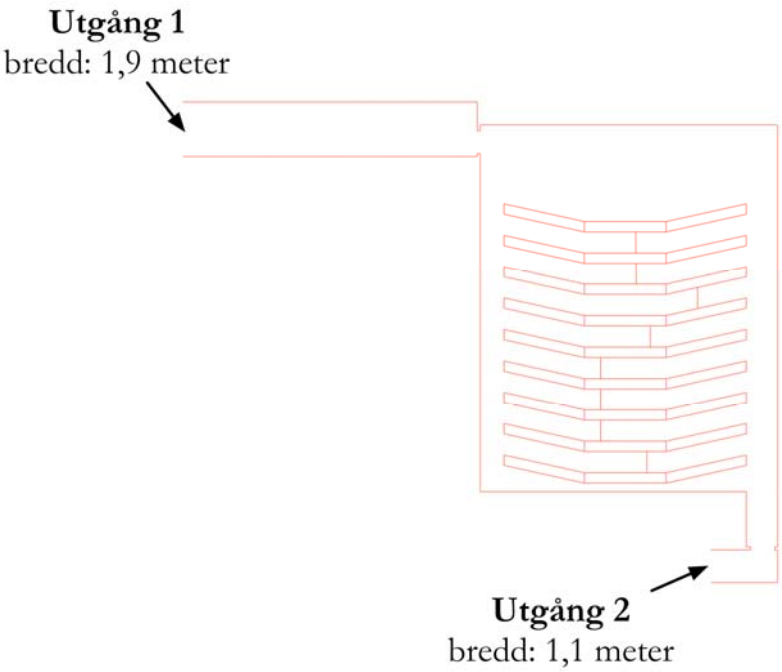


Figur 29. Personernas placering i biografen vid en simulering av typ 2 för försök A

6.3 Beräkningar i Simulex

Innan försöken simulerades i Simulex ritades biografsalongen i CAD. I ritningen gjordes bänkraderna välvda för att bättre efterlikna den verkliga salongen. Den ritning som användes för försök A visas i figur 30. Avstånden i ritningen överensstämmer med salongens verkliga mått. Dock har avståndet mellan rader gjorts något bredare för att personerna i programmet skulle få plats. Avståndet mellan två rader stolar

i ritningen var 0,7 meter. För att personerna i Simulex skulle välja att gå ut åt rätt håll, d v s till trappan åt höger respektive vänster, har avdelare ritats in på lämpliga platser i varje rad. Två utgångar definierades i Simulex och deras läge framgår av figur 30. Den bredare utgången gjordes 1,9 och den smalare 1,1 meter. De trappor som fanns på båda sidor om raderna i salongen togs inte med i simuleringarna utan salongen antogs ligga i ett plan vid simuleringarna i Simulex.



Figur 30. Den ritning som användes vid simuleringarna i Simulex

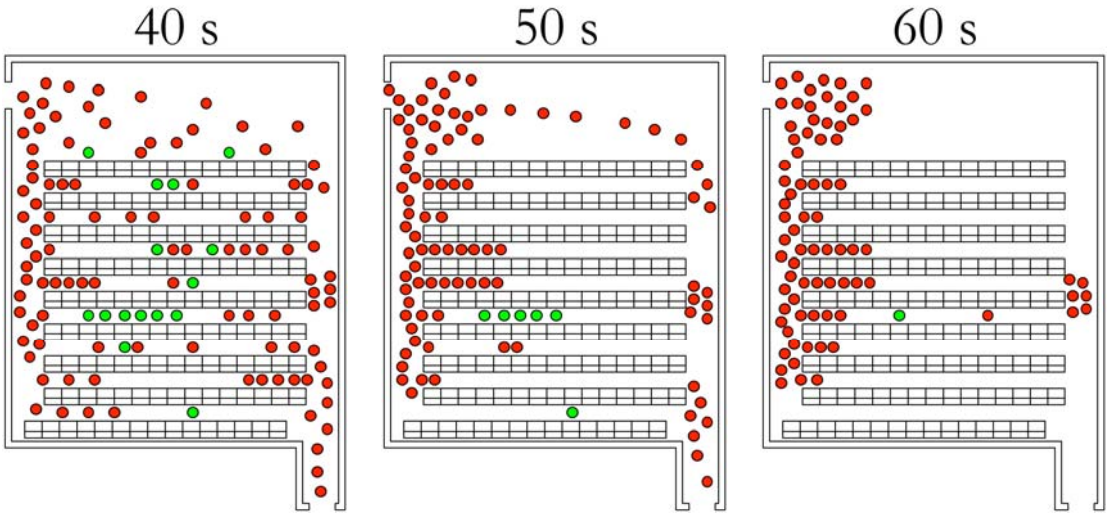
Innan simuleringen inleddes placerades personer ut i ritningen i Simulex. Samtliga personer sattes till den förvalda persontypen *office staff* i programmet. Dessutom angavs den utgång de skulle välja utifrån figur 25. I samband med utplaceringen definierades även den tid då varje person skulle påbörja sin förflyttning. Tiden definierades som en likformig fördelning med ett medelvärde men ingen spridning. De tider som användes återfinns i tabell 36 och 37.

Totalt genomfördes 13 simuleringar i Simulex, nämligen tio för försök A och tre för försök B. Inför varje ny simulering placerades personerna ut på nytt, men ritningen av biografsalongen bibehölls. I syfte att få utdata som enkelt kunde analyseras i efterhand definierades en ny miljövariabel i operativsystemet, nämligen SIMULEX=TEXTDUMP. Denna förändring medförde att utdata från Simulex sparades i en textfil. Denna fil innehöll personernas placering i biografen som funktion av tiden. Genom att analysera filen med hjälp av datorprogrammet Matlab kunde antalet personer som lämnat biografen som funktion av tiden och antalet personer som befann sig i rad 2 till 9 vid 40, 50 och 60 sekunder bestämmas.

Tabell 42 visar antalet personer som befann sig i rad 2 till 9 vid olika tidpunkter. I figur 31 visas bilder av personernas placering i biografen vid tiderna 40, 50 och 60 sekunder vid en simulering av försök A. Figuren representerar kvalitativa bilder av simuleringsresultaten och har skapats genom att studera bilder av simuleringen i programmet. Det kan ses i figuren att personerna inte packade sig så tätt framför främre utgången och att det därför uppstår en kö som sträcker sig in i raderna. Det bör även tilläggas att det uppstod ett stopp på högra sidan av stolsraderna eftersom personer som gick mot främre utgången stötte ihop med personer som gick mot bakre utgången. Detta stopp, vilket löstes upp efter ett tag i simuleringarna, kan ses i figur 31.

Tabell 42. Antalet personer (medel och standardavvikelse) som befann sig i stolsraderna 2 till 9 vid 40, 50 och 60 sekunder vid simuleringar i Simulex

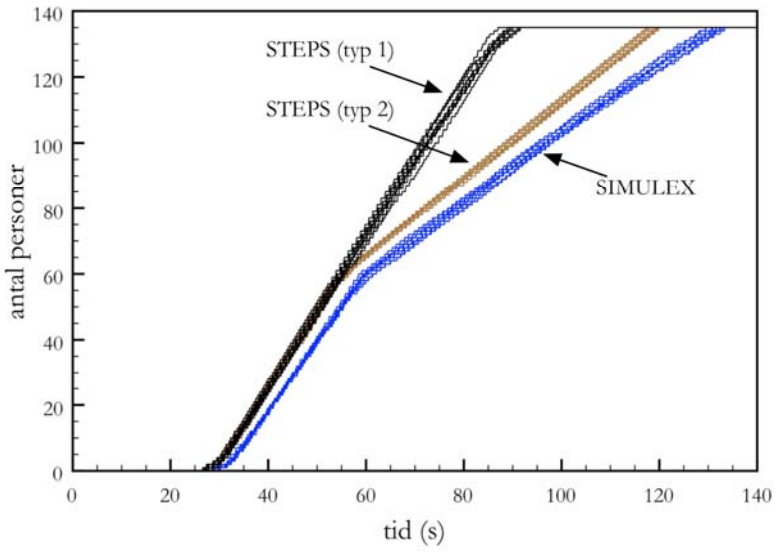
Försök	Tidpunkt					
	40 s		50 s		60 s	
	medel	std	medel	std	medel	std
A	58	2,3	32	1,9	26	1,8
B	69	1,7	39	0,6	30	0,6



Figur 31. Personernas placering i biografen vid simulering i Simulex

6.4 Summering

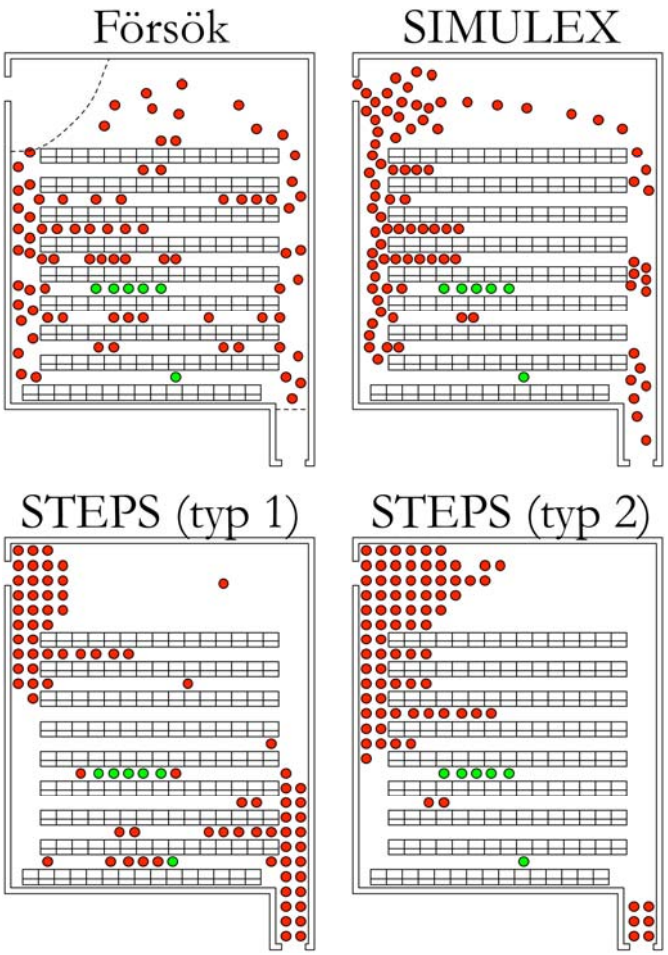
En intressant fråga är i vilken utsträckning resultaten i STEPS och Simulex varierar inom simuleringar, d v s hur stor variation som kan förväntas givet att samma indata och program används. I syfte att utvärdera detta genomfördes för försök A enligt tidigare tio simuleringar av typ 1 i STEPS, tio simuleringar av typ 2 i STEPS och tio simuleringar i Simulex. Figur 32 visar antalet personer som lämnat salongen i dessa simuleringar, d v s antalet personer som gått ut genom främre eller bakre utgången, som funktion av tiden. Det kan ses i figuren att resultaten inom de tio simuleringarna skiljer sig mycket lite. För simuleringarna av typ 1 i STEPS var sista personen ute ur salongen tidigast efter 87 och senast efter 92 sekunder. För simuleringarna av typ 2 i STEPS var motsvarande siffror 117 och 120 sekunder och för Simulex 130 och 133 sekunder. Eftersom skillnaderna är mycket små kan resultaten från simuleringarna av försök B anses representativa trots att färre simuleringar har genomförts per fall.



Figur 32. Antalet personer som lämnat salongen i simuleringarna i STEPS och Simulex

I figur 32 kan det ses kurvorna för Simulex och simuleringarna av typ 2 i STEPS böjs av efter ungefär 50 sekunder. Detta motsvarar tidpunkten då alla personer utrymt genom bakre utgången och det endast finns en kö vid den främre. För simuleringarna av typ 1 i STEPS fördelade programmet personerna mellan utgångarna, vilket medförde att det hela tiden var kö vid båda utgångarna. Detta medförde vidare att salongen utrymdes mycket fortare för detta fall.

Jämförelse mellan de bilder som visar personernas placering i salongen åskådliggör att personerna packas ihop olika tätt. I figur 33 visas bilder av personers placering i försök A och simuleringar av detta försök. Det kan ses i figuren att personerna packas tätare vid simulering än i verkligheten. Speciellt tätt verkar personerna packas i STEPS där köns längd i stor utsträckning bestäms av det använda rutnätet, d v s storleken på rutorna. I programmet kan varje ruta innehålla maximalt en person och i simuleringarna komprimerades köerna så mycket som möjligt. Eftersom rutstorleken 0,5 gånger 0,5 meter användes blev persontätheten i köerna vid utgångarna 4 personer/m^2 i simuleringarna. I Simulex packades personerna ihop tätare än i verkligheten, men packningsgraden var mindre än i STEPS. Skillnaden i packningsgrad framgår även vid jämförelse mellan antalet personer i rad två till nio, se tabell 38, 40, 41 och 42. Det kan ses i tabellerna att antalet personer i raderna var högre i försöken än i simuleringarna.



Figur 33. Personernas placering i biografen vid tiden 50 sekunder
i försök A och simuleringar av detta försök

Det vore önskvärt att kunna utvärdera programmens möjlighet att beskriva personflöde genom utgångarna från biografen på samma sätt som för de kontrollerade försöken som redovisas i kapitel 4 och 5. Dokumentationen av utrymningsförsöken redovisar dock inte vad som sker vid utgångarna och utrymningen avbryts ganska snart efter det att förflyttningen inletts. Orsaken till detta är att försöken i huvudsak syftade till att undersöka personernas beteende i inledningen av utrymningsförloppet. Då var det inte intressant att låta hela utrymningsförloppet passera utan det avbröts. Det gör då att förflyttningsinformationen från försöken är begränsad. Därför görs främst en kvalitativ jämförelse mellan försök och beräkningar i form av personernas placering vid tre tidpunkter. Det skulle gå att kvantifiera denna variation men det är inte så meningsfullt eftersom personernas förflyttning inte sker renodlat från inflytande av beteendet mellan individerna.

En annan reflektion som kan göras är att programmen inte beskriver en verklig utrymning speciellt realistiskt. Detta beror på att programmen förutsätter att personerna går direkt till utgången och ställer sig i kö för att komma ut, jämför exempelvis antalet personer som står kvar i stolsraderna de olika bilderna i figur 33 ovan. I den verkliga utrymningen är personerna mer avvaktande och dröjer kvar i stolsraderna. En möjlig orsak kan vara att de inser att de inte vinner något på att först gå till utgången och köa jämfört med att vänta tills kön upplösts för att då gå till utgången. Sådana aspekter ingår inte i utvärderingen men måste beaktas om en realistisk utrymning ska modelleras. Detta har dock inte varit målet med projektet men visar på möjligheterna till förbättrad modelleringsteknik.

7 Diskussion och slutsatser

I inledningen till rapporten berördes begreppet validering av modeller som företeelse. En av de viktigare frågeställningarna som då togs upp var hur en utrymningsprogram egentligen ska valideras, d v s vad är det som ska utvärderas? I projektet gjordes avgränsningen att det endast var programmens beräkningar av personers förflyttning vid utrymning som skulle undersökas. Anledningen till detta var dels att det saknas program som behandlar andra aspekter och dels att det enbart finns tillförlitlig data om förflyttning som kan användas för validering. Forskning pekar på att även andra delar av utrymningsförloppet, t ex människors beteende före och under förflyttning, har stor inverkan på utfallet av en brand. Dagens utrymningsprogram kan dock främst användas till att simulera personers förflyttning och tar sällan hänsyn till andra faktorer.

De program som utvärderats i arbetet är enligt tidigare de som är vanligast förekommande på svenska konsultföretag. Det som undersöktes för dessa program var hur de klarar av att förutsäga personflöden genom olika passager som t ex genom dörröppningar, uppför och nedför trappor samt gånghastigheter längs t ex en plan yta. De i med programmen beräknade värdena har sedan jämförts med motsvarande experimentella resultat. Ytterligare några egenheter med programmen har noterats och påpekats, men tyngdpunkten har legat på att visa hur väl beräknade värden stämmer med värden från försök.

Det kan tyckas att en validering bör genomföras som så kallade blinda simuleringar. Detta innebär att beräkningarna genomförs utan att de experimentella resultaten är kända för dem som genomför simuleringarna med programmen. Denna metodik har dock inte använts i arbetet. Istället har förvalda värden i programmen använts i stor utsträckning. Vid beräkningarna har alltså främst standard-inställningarna för personegenskaper, hastigheter och liknande använts. I detta fall är det av mindre betydelse om de experimentella resultaten är kända på förhand. Den information som användaren då lägger in är den som skulle ha varit given vid en blind simulering och någon ytterligare information som endast varit känd från de experimentella resultaten ingår inte i dessa simuleringar. I ett senare skede i simuleringarna har de i förväg angivna standardinställningarna justerats för att dels efterlikna de experimentella resultaten. Detta har gjorts för att kunna avgöra vad som krävs för att nå samma resultat som i försöken, men också för att se hur programmen reagerar på dessa justeringar i allmänhet. Denna skillnad poängteras i de tidigare kapitlen i rapporten. Det som kan konstateras är att det kan krävas mindre justeringar av programmens standardinställningar för att få samma resultat som vid försök.

En av de mer påtagliga svårigheterna vid validering av utrymningsprogram är att det saknas gediget och väldokumenterat underlag. I många fall finns bara ett genomfört försök för vilket förutsättningarna många gånger dessutom är bristfälligt dokumenterade. Om endast ett försök genomförts finns ingen information om repeterbarheten och den dokumenterade utrymningen kan i värsta fall utgöra ett icke typiskt extremfall. Enstaka försök är därför svåra att använda vid validering.

I syfte att utöka det experimentella underlaget utfördes försök med studenter på LTH. Ett flertal försök genomfördes för inkluderade scenarier och resultaten visar att repeterbarheten var förhållandevis god. Dock är försöken förknippade med begränsningar eftersom de inte fullt ut liknar en verklig utrymningssituation. Deltagarna var nämligen medvetna om att de deltog i ett försök, vilket sannolikt påverkade deras agerande. Om syftet är att validera utrymningsprogram med avseende på personers förflyttning genom öppningar anses dock försöken på LTH utgöra ett fullgott underlag. Fördelen med försöken är att de är väldokumenterade och samansättningen av deltagare är homogen och känd.

För att möjliggöra framtida validering av utrymningsprogram krävs att det befintliga experimentella underlaget utökas ytterligare. Det som främst hade behövts är en serie väldokumenterade oannonserade utrymningsförsök med likartade förutsättningar. Exempelvis hade ett tjugotal utrymningar i en biografsalong kunnat genomföras. Försöken måste kompletteras med mätningar av typiska egenskaper för biobesökare, t ex gånghastigheter och kroppsstorlek. Dessa kompletterande mätningar behövs för att välja lämplig indata till de validerade programmen. En försöksserie av ovanstående typ hade bidragit till att skapa ett gediget experimentellt underlag och på så sätt minskat osäkerheten i experimentella resultat. Ett problem i sammanhanget är att försök som omfattar personer är kostsamma och förknippade med

administrativa svårigheter orsakade av t ex krav på skydd av individernas personliga integritet och etikprövning av forskning som omfattar personer.

De resultat som framkommit visar på en viss variation mellan de utrymningsprogram som använts i studien, d v s STEPS och Simulex. Generellt sett så beskriver båda de undersökta programmen förflyttningsförloppet på ett fullt tillfredsställande sätt även om det finns vissa märkliga egenheter. Med tillfredsställande menas att de flöden som programmen beräknar ganska väl överensstämmer med försöksresultaten. Det finns avvikelser men dessa kan i några fall förklaras med att förutsättningarna i försöken inte speglar en utrymningssituation så väl.

När det gäller programmens förmåga att på ett realistiskt sätt beskriva en utrymning från en lokal är det sämre ställt. Programmen är helt inriktade på at beskriva förflyttning vilket gör att hela utrymningsförloppet inte blir väl beskrivet. Under en utrymning fattar personerna kontinuerligt beslut om olika aktiviteter t ex att vänta eftersom det redan står många personer i kö längre fram. Personerna kan då resonera att det inte spelar någon roll om de förblir stående ett tag för att sedan gå till utgången jämfört med att direkt gå till utgången för att där stå i kö och vänta. Programmen förutsätter att personerna väljer denna senare taktik vilket försöken i biografen visar inte stämmer så bra. Därför blir omdömet att programmen inte kan modellera en utrymningssituation på ett realistiskt sätt. Detta var dock inte målsättningen att undersöka i projektet men det kan vara värt att nämna denna skillnad.

Det är önskvärt att framtida utrymningsmodeller på ett bättre sätt tar hänsyn till även beteendeaspekter av utrymningsförloppet för att ge en mer rättvisande bild av hur en utrymningssituation ser ut. Detta blir allt viktigare när utrymningsprogram ska integreras med andra program som anger rökspridning. Då är det viktigt att kunna bestämma var personerna befinner sig vid olika tidpunkter för att kunna ange exponeringen för varje individ. Det finns därför skäl till att i framtiden skilja på förmågan att beskriva förflyttningsförlopp och att beskriva utrymningsförlopp.

Enlig vad som nämndes ovan uppvisar utrymningsprogrammen, förutom oförmågan att realistiskt beskriva utrymningsförloppet, några egenheter som kan baseras på brister i programmens uppbyggnad. Troligen är det så att beräkningsrutiner inte på ett tillräckligt bra sätt beskriver hur en förflyttning sker. Ett exempel kan nämnas är att Simulex predikterar ett något högre personflöde när förflyttningen sker uppför en trappa jämfört med nedför. Från försök finns data som indikerar att flödet nedför borde vara högre, vilket också intuitivt är rimligt. Orsaken kan vara att en och samma beräkningsteknik används i trappor som på horisontella ytor men då hastigheten i denna teknik reduceras mer vid förflyttningen uppför kan detta leda till en effektivare förflyttning totalt sett. Personerna går närmare varandra enligt beräkningen. I en verklig situation är det kanske så att inte bara hastigheten är lägre utan även andra faktorer påverkar förflyttningen när den sker i trappor. Dessa andra faktorer skulle då skilja sig mellan horisontell gång och i trappor. En sådan faktor kan vara att personer väljer att inte gå så nära varandra i trappor som man kanske kan acceptera på en motsvarande horisontell yta.

Ett exempel på märkliga beräkningsresultat med programmet STEPS är att erhållna flöden i trappor är klart beroende på hur användaren väljer att definiera byggnadens beräkningsrutnät. Om kantlängden på rutorna som bygger upp rutnätet ökas så kommer personflödet att öka, i vissa fall med upp emot 50 %. Orsaken till denna skillnad består i hur programmet reducerar gånghastighet med avseende på persontätheten. När kantlängden är 0,6 m kan persontätheten maximalt uppgå till 2,8 personer per kvadratmeter. Denna persontäthet ligger strax över den nivå som leder till ett maximalt flöde vilket uppstår kring två personer per kvadratmeter (Nelson & MacLennan, 1995). Med programmets standardinställning av kantlängden för rutorna kan den maximala persontätheten uppgå till fyra personer per kvadratmeter, vilket ger ett lågt personflöde. Problemet uppstår eftersom STEPS hela tiden försöker placera en person per ruta oavsett om rutans storlek. Detta medför i sin tur att användaren själv bestämmer hur hög persontätheten som mest kan bli när denne skapar sitt rutnät. Det innebär att en användare av STEPS kan råka ut för stora skillnader i beräkningsresultat beroende på hur en till synes harmlös indatavariabel definieras. Eftersom möjligheterna att påverka beräkningsresultaten, då många beräkningsparametrar ska väljas av användaren, är större i STEPS än i Simulex är det väsentligt att STEPS-användaren besitter sådana kunskaper att underliga resultat kan upptäckas. Detta är annars en generell slutsats från all validering av datorprogram att de resultat som programmen levererar är direkt beroende på

kvaliteten av den indata som ges. Ett bra resultat kräver både bra indata samt kompetens att hantera denna indata.

Sammanfattningsvis kan följande slutsatser dras utifrån studien:

- De utvärderade programmen STEPS och Simulex beräknar förflyttning på ett fullt acceptabelt sätt och med genomgående god överensstämmelse med studerade försök.
- Underlaget som beräkningarna jämför mot är begränsat. För att kunna göra en mer noggrann bedömning av programmens kapacitet måste därför tillgången till experimentella resultat förbättras.
- Utveckling av framtida utrymningsmodeller bör inriktas mot att även beskriva hela utrymningsförloppet på ett realistiskt sätt, d v s genom att inkludera aspekter som är knutna till människors beteenden. Utvärderingen av sådana program måste då också göras mot försök som beskriver just detta.

Referenser

Alvord, D.A. Status Report on the Escape and Rescue Model and the Fire Emergency Evacuation Simulation for Multifamily Buildings. The American Institute of Architects Foundation, Washington, 1985.

Ansys: Computational Fluid Dynamics Solution. Hämtad den 27 January 2008 från Ansys hemsida: www.ansys.com/assets/brochures/cfd-11.pdf

Bayer K., Rejnö T. Utrymningslarm, optimering genom fullskaleförsök. Rapport 5053, Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund, 1999.

FLUENT: Flow Modelling Software. Hämtad den 27 January 2008 från Fluents hemsida: www.fluent.com/solutions/brochures/fluent.pdf

Friedman, R. An International Survey of Computer Models for Fire and Smoke. SFPE Journal of Fire Protection Engineering, 4 (3), 1992, p. 81-92.

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

Mott MacDonald (2006) *STEPS – Simulation of Transient Evacuation and Pedestrian movementS: User Manual*, Croydon: STEPS – Simulation Group – Transportation, Mott MacDonald

Holmstedt, G, van Hees, P, Yan, Z, Blomqvist, P, Tuovinen, H, Bengtson, S, Dittmer, T, Hägglund, B. Kvalitetssäkring av olycks- och skadeförebyggande arbete med brandskydd i byggnader. Report 3144, Brandteknik och riskhantering, Lunds universitet, Lund, 2008.

McGrattan K., Forney, G. *Fire Dynamic Simulator (Version 4): User´s Guide*, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, 2005.

Nelson, H.,E., MacLennan, H.,A. Emergency movement. In The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 2nd ed. Ed. DiNenno, P.,J. National Fire Protection Association, Quincy, 1995.

NFPA 130, Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems 2007 Edition. National Fire Protection Association, Quincy, 2007.

Nilsson, D. Datorsimulering av utrymning vid brand - inventering av tre angreppssätt, Rapport 3142, Brandteknik och riskhantering, Lunds universitet, Lund, 2007.

Olenick, S.,M., Carpenter, D.,J. An Updated International Survey of Computer Models for Fire and Smoke. SFPE Journal of Fire Protection Engineering, 13 (2), 2003, p. 87-110.

Pauls, J.L. Building evacuation: Research findings and recommendations. In Fires and human behaviour. Ed. Canter D. J Wiley & Sons, Chichester, 1980.

Peacock, R.D., Jones, W.W., Reneke, P.A., Forney, G.P. *CFAST – Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport (Version 6): User's Guide*. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, 2005.

Thompson, P.A. Developing new techniques for modelling crowd movement. The university of Edinburgh, Edinburgh, 1994.

Thompson, P.A., Marchant, E.W. A Computer Model for the Evacuation of Large Building Populations. Fire Safety J. Vol. 24, 1995, pp 131-148

Internetlänkar

Beskrivning av olika utrymningsprogram:

buildingEXODUS: http://fseg.gre.ac.uk/exodus/

FDS+EVAC: http://www.vtt.fi/proj/fdsevac/index.jsp?lang=en

Simulex: http://www.ies4d.com

STEPS: http://www.mottmac.com/skillsandservices/software/stepssoftware/

ASERI: http://www.ist-net.de/

EVACNET4: http://www.ise.ufl.edu/kisko/files/evacnet/

ERM: http://adsabs.harvard.edu/abs/1982bri..meet..323A

Wayout: http://members.optusnet.com.au/~firecomp/

Bilaga A – Enkät om beräkningsverktyg vid projektering

I följande figurer redovisas den enkät som användes i studien och som beskrivs i kapitel 2, se figur A1 till A7. Svaren på enkätfrågorna sammanfattas i bilaga B.

2005-06-14

Användning av modeller för projektering av brandsäkerhet.

Anonymitet

De svar som du anger i denna enkät kommer endast att presenteras i en sammanställd form. Det kommer inte att finnas några möjligheter att spåra dig eller ditt företag till de svar som redovisas. Svaren kommer också enbart att hanteras av två personer nämligen Håkan Frantzich och Daniel Nilsson vid avdelningen för Brandteknik LTH. Dessa två sammanställer och avidentifierar svar. Ingen annan får ta del av enskilda svar. Anledningen till att du anger ditt namn är att det ska finnas en möjlighet till kompletteringar av svar som vi inte riktigt förstår. Svaren raderas efter det att sammanställningen skett.

Information

Behöver du mer utrymme än vad som det finns plats för så skriv på en baksida. Ange hänvisning till vilken fråga texten härrör.

En sammanställning av de avidentifierade enkätsvaren kommer att finnas tillgänglig på http://www.brand.lth.se/forskn/srv_kval.htm

Allmänna frågor

1. Namn på företaget_____

2. Namn på svarande_____

_____

3. Totalt antal anställda som arbetar med brandskyddsteknisk projektering av något slag (dvs ej inkluderande administrativ personal):_____

4. Antal anställda som har kompetens att hantera simulering av

- utrymning: _____
- CFD-modeller: _____
- zonmodeller: _____
- handräkningsekvationer:_____

Sista inlämningsdag är onsdagen den 31 augusti 2005

- 1 -

Figur A1. Sida 1 av enkäten

2005-06-14

Simulering av brandgasspridning mm med datormodeller

5. Vilka programtyper använder ni på företaget för att simulera spridning av brandgas i byggnad? För datorprogram ange namn och version på programmen

- ❑ CFD:_____
- ❑ Zon-modell:_____
- ❑ Vi använder inte datorprogram för detta. Fortsätt till fråga 12.

CFD

6. Vilken kapacitet har hårdvaran för CFD-simuleringar? Ange antal processorer, processorhastighet och typ av processor samt mängden internminne mm.

7. Hur ofta används CFD-modeller i samband med projektering?

- ❑ <10 % av uppdragen/år
- ❑ 10-20 % uppdragen/år
- ❑ 20-40 % av uppdragen/år
- ❑ 40-60 % av uppdragen/år
- ❑ 60-80 % av uppdragen/år
- ❑ >80 % av uppdragen/år

8. Hur många simuleringar görs i genomsnitt för varje uppdrag? (För att kontrollera olika scenarier, kontroll av gridoberoende, genomförande av känslighetsanalys mm)

- 2 -

Figur A2. Sida 2 av enkäten

2005-06-14

Zonmodell

9. Hur ofta används zon-modeller i samband med projektering?

- ❑ <10 % av uppdragen/år
- ❑ 10-20 % uppdragen/år
- ❑ 20-40 % av uppdragen/år
- ❑ 40-60 % av uppdragen/år
- ❑ 60-80 % av uppdragen/år
- ❑ >80 % av uppdragen/år

10. Hur många simuleringar görs i genomsnitt för varje uppdrag? (För att kontrollera olika scenarier, genomförande av känslighetsanalys mm)

11. Fritext för allmänna kommentarer om CFD- och zonmodellering.

- 3 -

Figur A3. Sida 3 av enkäten

2005-06-14

Simulering av utrymningsförlopp mm med datormodeller

12. Vilka programtyper använder ni på företaget för att simulera utrymningsförlopp i byggnad? För datorprogram ange namn och version på programmen

- ❑ CAD-baserad programvara_____
- ❑ Nod-baserad programvara_____
- ❑ Vi använder inte datorprogram för detta. Fortsätt till fråga 17.

13. Hur ofta används utrymningsprogram i samband med projektering?

- ❑ <10 % av uppdragen/år
- ❑ 10-20 % uppdragen/år
- ❑ 20-40 % av uppdragen/år
- ❑ 40-60 % av uppdragen/år
- ❑ 60-80 % av uppdragen/år
- ❑ >80 % av uppdragen/år

14. Hur är fördelningen mellan hur ofta nodbaserade program och CAD-baserade program används?

- ❑ Beräkningarna utförs nästan uteslutande med nodbaserade program
- ❑ Beräkningarna utförs oftast med nodbaserade program
- ❑ Beräkningarna utförs oftast med CAD-baserade program
- ❑ Beräkningarna utförs nästan uteslutande med CAD-baserade program

15. Hur många simuleringar görs i genomsnitt för varje uppdrag? (För att kontrollera olika scenarier, genomförande av känslighetsanalys mm)

16. Fritext för allmänna kommentarer om utrymningsmodellering.

- 4 -

Figur A4. Sida 4 av enkäten

2005-06-14

Handräkningsmetoder

17. Hur ofta används handräkningsmetoder i samband med projektering?

- ❑ <10 % av uppdragen/år
- ❑ 10-20 % uppdragen/år
- ❑ 20-40 % av uppdragen/år
- ❑ 40-60 % av uppdragen/år
- ❑ 60-80 % av uppdragen/år
- ❑ >80 % av uppdragen/år

18. För vilka ändamål används handberäkningar?

- ❑ För utrymningsberäkning
- ❑ För spridning av brandgas (inkl dimensionering av rökluckor)
- ❑ För strålningsberäkningar (inkl för antändning)
- ❑ För dimensionering av skydd av bärande och avskiljande konstruktioner
- ❑ Som kontroll för beräkning med datormodell
- ❑ Annat, nämligen

19. Försök att beskriva hur handberäkningar används i projektering t ex i form av ekvationer, typ av problem, när i projektet de utförs, i vilken utsträckning de används som slutliga svar på uppdrag etc.

20. Hur många beräkningar görs för varje uppdrag. (För att kontrollera olika scenarier, genomförande av känslighetsanalys mm)

- 5 -

Figur A5. Sida 5 av enkäten

2005-06-14

21. Fritext för allmänna kommentarer om handberäkningsmetoder.

Generellt

22. På vilket sätt verifierar ni på företaget att beräkningar med datormodeller är realistiska?

a) för CFD-simuleringar

- ❑ Genom att utföra känslighetsanalys
- ❑ Genom att jämföra med testfall med kända förutsättningar
- ❑ Genom att låta en oberoende part (annat företag) granska våra analyser
- ❑ Annat, nämligen:

b) för zonmodell-simuleringar

- ❑ Genom att utföra känslighetsanalys
- ❑ Genom att jämföra med testfall med kända förutsättningar
- ❑ Genom att låta en oberoende part (annat företag) granska våra analyser
- ❑ Annat, nämligen:

c) för utrymnings-simuleringar

- ❑ Genom att utföra känslighetsanalys
- ❑ Genom att jämföra med testfall med kända förutsättningar
- ❑ Genom att låta en oberoende part (annat företag) granska våra analyser
- ❑ Annat, nämligen:

23. Vem avgör hur kvalitetssäkring av beräkningsresultat ska göras?

- ❑ Den enskilde ingenjören avgör detta från fall till fall
- ❑ Ingenjören och hans/hennes kollegor avgör detta i gruppen
- ❑ En överordnad/chef avgör hur kvalitetssäkring ska göras
- ❑ Det finns fastställda rutiner inom företaget som reglerar hur kvalitetssäkring ska göras
- ❑ Beställaren av arbetet anger krav på kvalitetssäkring
- ❑ En myndighet anger krav på kvalitetssäkring

- 6 -

Figur A6. Sida 6 av enkäten

2005-06-14

24. Fritext för allmänna kommentarer om i stort sett vad som helst.

Tack för dina kommentarer!

- 7 -

Figur A7. Sida 7 av enkäten

Bilaga B – Sammanställning av enkätsvar.

Utformningen av enkäten redovisas i bilaga A. Totalt svarade 23 företag på enkäten varav två svar gallrades bort då de svarande uppgett att de inte arbetade med brandteknisk projektering. Enkäten skickades ut till 35 företag vilket ger en svarsfrekvens på 60 %. I sammanställningen nedan har språkliga ändringar gjorts.

Allmänt om kompetens

3. Totalt antal anställda som arbetar med brandskyddsteknisk projektering av något slag (dvs ej inkluderande administrativ personal):

Antal svar	Variationsområde	Medelvärde
21	2-40 personer	9,7 personer

4. Antal anställda som har kompetens att hantera simulering av

Antal svar per kategori	Variationsområde	Medelvärde
utrymning (21 svar)	2-10 personer	4,5 personer
CFD-modeller (17 svar)	0-7 personer	2,9 personer
Zon-modeller (21 svar)	2-10 personer	5,0 personer
Handräkningsekvationer (21 svar)	2-20 personer	6,5 personer

Simulering av brandgasspridning mm med datormodeller

5. Vilka programtyper använder ni på företaget för att simulera spridning av brandgas i byggnad? För datorprogram ange namn och version på programmen

Svarsalternativ	Angivet datorprogram	Antal svar
CFD (14 svar)	FDS	12
	STAR CD	1
	Fluent	1
	Sofie	1
	CFX4 och CFX 5	1
Zon-modell (17 svar)	FAST/CFAST) v 3.1.6, 3.1.7, 4 och 5	15
	Argos	1
	DSLAYV	2
	Branzfire	
	egen utvecklad programvara	2
Inga datorprogram används för detta		2

<u>CFD</u>

6. Vilken kapacitet har hårdvaran för CFD-simuleringar? Ange antal processorer, processorhastighet och typ av processor samt mängden internminne mm. (12 svar)

- Intel P4, 1 proc: 1,6-2,5 GHz, minst 1 Gb RAM
- CFX: Dual Intel Xeon: 3 GHz, 1Gb RAM + Intel P4: 3,4 GHz, 1 Gb RAM, FDS+Simulex: AMD Athlon64 4000+, 4Gb RAM
- Intel P4, 1 proc: 3,2 GHz, 2 Gb RAM
- Intel P4: 4 GHz, 2Gb RAM
- 1 proc per dator, hast varierar mellan 2,66-2,8 GHz och 512 Mb-2 Gb RAM
- Intel Xeon 2 parallellproc á 3 GHz, 2 Gb RAM, 3x 400 Gb HD
- 3,4 GHz, 1 Gb RAM
- Intel P4: 1 proc á 3,2 GHz, 1 Gb RAM
- Intel P4: 3 sammankopplade á 3,2 GHz, 2 Gb RAM
- 4 st 3,2 GHz med 1 Gb RAM, bärbara datorer, vi arbetar med att sätta upp ett beräkningskluster
- 2 st Pentium 3,6 GHz med 4 Gb RAM
- Intel P4: 1 proc 2,6 GHz

7. Hur ofta används CFD-modeller i samband med projektering? (14 svar*)

Alternativ	Antal svar
<10 % av uppdragen/år	10
10-20 % uppdragen/år	3
20-40 % av uppdragen/år	1
40-60 % av uppdragen/år	1
60-80 % av uppdragen/år	0
>80 % av uppdragen/år	0

* En svarande har angett både 20-40 och 40-60.

8. Hur många simuleringar görs i genomsnitt för varje uppdrag? (För att kontrollera olika scenarier, kontroll av gridoberoende, genomförande av känslighetsanalys mm)

Från ”minst 3 per scenario” till ”ca 10-20”. Flertalet ligger kring 10 eller strax därunder. Kommentaren är att gridoberoende ska undersökas och känslighetsanalys genomföras. (12 svar)

Zonmodell

9. Hur ofta används zon-modeller i samband med projektering? (20 svar)

Alternativ	Antal svar
<10 % av uppdragen/år	14
10-20 % uppdragen/år	4
20-40 % av uppdragen/år	1
40-60 % av uppdragen/år	0
60-80 % av uppdragen/år	1
>80 % av uppdragen/år	0

10. Hur många simuleringar görs i genomsnitt för varje uppdrag? (För att kontrollera olika scenarier, genomförande av känslighetsanalys mm)

Från ”minst 3 per scenario” till ”ca 20”. Merparten ligger kring 10. Ganska stor variation. (15 svar)

11. Fritext för allmänna kommentarer om CFD- och zonmodellering. (11 svar)

- Vi har övergått till att i större utsträckning använda CFD före zon. I vissa projekt t ex mindre butiker används båda o jämför
- CFD för beräkning avseende personsäkerhet för komplicerade geometrier. Zon-modeller för "egendomsskydd" t ex rökluckor samt som för beräkning innan CFD. Vår erfarenhet är att Argos snabbt ger ett tillräckligt bra utfall för stationära förlopp men att CFD ger mer info vid transient
- Zon-modeller används mer sällan i vissa fall parallellt med CFD där det är möjligt att kontrollera rimligheten i CFD-beräkningen.
- Vi har sällan uppdrag som kräver datormodellering. Merparten är schablondimensionering kompletterade med ingenjörsmässiga bedömningar
- Otydliga riktlinjer för dimkontroll BBR 5:14. Svårt att visa när det uppstår kritiska förhållanden.
- Zon-modeller används ofta för projektering av ’smoke management’. CFD mycket mer sällan och då oftast för att verifiera eller illustrera.
- Stor vikt på känslighetsanalyser och gridoberoende vid CFD. KA utförs för gridoberoende (minst 3 fall av halvering för felbedömning), effektutveckling, brandens placering, randvillkor, multiprocessing.
- Alla som arbetar med CFD-modellering kar gått LTHs kurs. I allmänhet rör uppdragen verifiering av trygg utrymning men ofta förekommer även dimensionering av brandgasventilation. Använder ej CFD för analyser av t ex flamspridning.
- På vårt kontor utförs inga CFD-beräkningar. Dessa görs av andra kontor inom koncernen och då av personal som gör detta på heltid. Företaget har utvecklat ett eget zon-modellprogram. Kunskap om branddynamik är nödvändig för att kunna använda programmet. Programmet använder olika rökplymer.
- Utveckling kommer att ske under hösten mot CFD-modellering
- Ingen av personalen är idag utbildad på CFD-modellering varför svaren är osäkra.

Simulering av utrymningsförlopp mm med datormodeller

12. Vilka programtyper använder ni på företaget för att simulera utrymningsförlopp i byggnad? För datorprogram ange namn och version på programmen

Svarsalternativ	Angivet datorprogram	Antal svar
CAD-baserade program (17 svar)	Simulex	14
	Steps	5
Nodbaserade program	ERM	1
Inga datorprogram används för detta		3

13. Hur ofta används utrymningsprogram i samband med projektering? (21 svar)

Alternativ	Antal svar
<10 % av uppdragen/år	15
10-20 % uppdragen/år	3
20-40 % av uppdragen/år	3
40-60 % av uppdragen/år	1
60-80 % av uppdragen/år	0
>80 % av uppdragen/år	0

14. Hur är fördelningen mellan hur ofta nodbaserade program och CAD-baserade program används? (20 svar)

Alternativ	Antal svar
Enbart nodbaserade program används	0
Beräkningarna utförs nästan uteslutande med nodbaserade program	0
Beräkningarna utförs oftast med nodbaserade program	0
Beräkningarna utförs oftast med CAD-baserade program	1
Beräkningarna utförs nästan uteslutande med CAD-baserade program	16
Enbart CAD-baserade program används	2

15. Hur många simuleringar görs i genomsnitt för varje uppdrag? (För att kontrollera olika scenarier, genomförande av känslighetsanalys mm)

Från 2-4 per lokal till 10-15 per projekt. Ett svar 20-30. Merparten ligger kring 5-10 per projekt. (19 svar)

16. Fritext för allmänna kommentarer om utrymningsmodellering. (8 svar)

- 95% Simulex och resten Steps
- Steps är ett bra ingenjörsverktyg med stor potential för komplicerade projekt

- Simulex främst för att fånga upp flaskhalsar och kö-zoner. I mindre komplexa byggnader kan handberäkning ge lika bra bild av utrymningstider.
- Vi har sällan uppdrag som kräver datormodellering. Merparten är schablondimensionering kompletterade med ingenjörsmässiga bedömningar
- Oftast baseras utrymning på handberäkning, svårt att veta när brytpunkt är nödvändig för simulering
- Eftersom så få deterministiska analyser utförs används det mest missgynnande resultatet.
- Steps används relativt sällan, tidskrävande och dyrt. I vissa fall görs egna modeller i t ex Excel men då oftast för enklare geometrier.
- Anpassning av simulex har skett tillsammans med utvecklaren för att motsvara krav enligt t ex SOLAS.

Handräkningsmetoder

17. Hur ofta används handräkningsmetoder i samband med projektering? (21 svar)

Alternativ	Antal svar
<10 % av uppdragen/år	6
10-20 % uppdragen/år	10
20-40 % av uppdragen/år	1
40-60 % av uppdragen/år	3
60-80 % av uppdragen/år	0
>80 % av uppdragen/år	1

18. För vilka ändamål används handberäkningar? (21 svar)

Alternativ	Antal svar
För utrymningsberäkningar	20
För spridning av brandgas (inkl dimensionering av rökluckor)	15
För strålningsberäkningar (inkl för antändning)	18
För dimensionering av skydd av bärande och avskiljande konstruktioner	9
Som kontroll för beräkning med datormodell	13
Annat, nämligen	5: ventilationsberäkningar ofta PFS brandbelastning, flamhöjder, MaxQ, toxicitet, additionsmetoden, ventilationsberäkningar fläktar i lager för brandfarlig vara, tryckavlastning bärande konstruktioner

19. Försök att beskriva hur handberäkningar används i projektering t ex i form av ekvationer, typ av problem, när i projektet de utförs, i vilken utsträckning de används som slutliga svar på uppdrag etc. (17 svar)

- Enklare utrymning, t ex få personer o långa gångavstånd (ej samlingslokaler), gånghast och flöden. Spridning brandgas och siktberäkning. Strålning i alla dess former.
- Utrymningsberäkning enligt Boverkets rapport. Strålning från E-klassade partier och i detaljplanearbete. Ofta med ekvationer som Heskestad flamhöjd för strålningsberäkning
- Rökgas, brandbelastning, öppningsfaktor för rökventilation, utrymning, värmestrålning enligt ekvation i Brandskyddshandboken, ca 20-30% av uppdragen
- handberäkningar används ofta vid verifiering av avvikelser från BBR t ex ersättning av EI-glas med E-glas.
- Huvudsakligen formler från Brandskyddshandboken + Brandsäkra trähus + Brandteknisk dimensionering av stålkonstruktioner. Enkla beräkningar med strålning för E-klassade fönster
- Oftast i enklare uppdrag eller för verifiering av simuleringar, sällan endast handberäkningar
- Vi har sällan uppdrag som kräver datormodellering. Merparten är schablondimensionering kompletterade med ingenjörsmässiga bedömningar
- NFPA, CIBSE, Enclosure Fire Dynamics etc. Ofta tidigt i projekteringen
- Strålningsberäkning vid förtätad bebyggelse (synfaktor mm), för att slippa brandklassade fönster. Plymekvation för temperatur i tak och bärande konstruktioner. utrymningsberäkning vid enklare problem eller vid kontroll, KA
- strålningsberäkningar används ibland för att ersätta EI-glas med E-glas.
- Vid risk för brandspridning mellan byggnader används handberäkningar enligt Brandskyddshandboken. Dessa beräkningar görs med konservativa antaganden och kan därför användas som svar på uppdrag.
- I allmänhet när handberäkningar används är de inlagda i Excel. Därför görs många beräkningar inkl känslighetsanalyser snabbt. Vi använder ofta handberäkningar för att skaffa indata till CFD-beräkningar t ex fläktkapacitet.
- Används inom vissa projekt för att beräkna utrymningstid (ASET>RSET). Oftast för att visa att avstånden/tiden vid evakuering kan vara längre än det "normala". Används nästan uteslutande för att kontrollera vissa av svaren från datormodellerna (främst då för brandgasberäkningar).
- Använd främst för analytisk dimensionering för att säkerställa personsäkerheten. När i projektet varierar men ju förr desto bättre. Utrymningsberäkning sker för sikt och toxicitet = kritiska förhållanden.
- Utrymningsberäkningar: i det tidiga skedet för att kontrollera???. I senare skeden som kontroll mot simulex. Strålningsberäkningar: mellan byggnadsdelar, strålning mot utrymmande, glasbyte EI mot E. Bärande och avskiljande: t ex ekvivalent brandvaraktighet, brandbelastning
- Schablondimensionering av utrymning, kontroll av öppningsareor för brandventilation, kontroll av enkla konstruktioner t ex balkar och pelare. Resultaten används för kontroll av rimlighet
- Enklare brandgasventilationsproblem för inledande bedömningar, ej slutgiltiga svar generellt. Strålning genom fönster & lanterniner. Utrymning enklare lokaler utan sammanfallande utrymningsvägar. Kapacitetskontroll utrymning av undermarksstationer

20. Hur många beräkningar görs för varje uppdrag. (För att kontrollera olika scenarier, genomförande av känslighetsanalys mm)

Från 2-20. Merparten ligger kring 4. Stor variation. Variation även mellan olika tillämpningar. Ett svar följer: ”Mkt varierande. Utrymning: ca 4-8, brandgas: 6, strålning: 2-20, bärande konstruktioner: 2-4, ventilation: 2-3 per system”. (19 svar)

21. Fritext för allmänna kommentarer om handberäkningsmetoder. (4 svar)

- Används även i mer komplicerade projekt för att "gaffla" rätt. Vi har Excelmodeller för flertalet beräkningsfall vilket gör det enkelt o snabbt.
- Vi har sällan uppdrag som kräver datormodellering. Merparten är schablondimensionering kompletterade med ingenjörsmässiga bedömningar
- Vanligt med mallar i Excel. Ibland känslighetsanalys med MonteCarlo.
- handräkningar sker ofta i Excel, Matlab och @risk.
- Används generellt för att få en snabb uppskattning och rama in ett område för mer detaljerade simuleringar.

Generellt

22. På vilket sätt verifierar ni på företaget att beräkningar med datormodeller är realistiska?

a) för CFD-simuleringar (12 svar)

Samtliga anger att de utför känslighetsanalyser. Ett fåtal jämför med experiment med kända förutsättningar eller med beräkningar med zonmodeller. Sju svar anger att de har en oberoende organisation (t ex SP) som granskare. Fåtal svar som anger att de har intern granskning inom företaget.

b) för zonmodell-simuleringar (17 svar)

Samtliga anger att de utför känslighetsanalyser. I övrigt liknande svar som för a-frågan men beräkningsjämförelsen sker med CFD istället.

c) för utrymnings-simuleringar (21 svar)

Flertal svar (19 st) anger att de utför känslighetsanalyser. Andra exempel på svar är oberoende eller interna granskare (6 svar), besök vid liknande objekt, kontrollberäkning med handberäkningar och erfarenhet och praxis. Sällsynta fall även jämförelse mot test eller övning.

23. Vem avgör hur kvalitetssäkring av beräkningsresultat ska göras? (21 svar)

Alternativ	Antal svar
Den enskilde ingenjören avgör detta från fall till fall	2
Ingenjören och hans/hennes kollegor avgör detta i gruppen	11
En överordnad/chef avgör hur kvalitetssäkring ska göras	2
Det finns fastställda rutiner inom företaget som reglerar hur kvalitetssäkring ska göras	14 (ett svar poängterar att rutinen anger när kvalitetssäkring ska tillämpas men inte hur den ska genomföras)
Beställaren av arbetet anger krav på kvalitetssäkring	0
En myndighet anger krav på kvalitetssäkring	4 (sällsynta fall)

24. Fritext för allmänna kommentarer om i stort sett vad som helst. (3 svar)

- Jag ser kvalitetssäkring som en väldigt viktig del av ingenjörens arbete. Har sett alltför många fall där det "letats" formler som passar till det "resultat" som man vill uppnå. Tycker att man bör införa en kurs eller ett avsnitt inom olika kurser (t ex branddynamiken) som trycker på hur viktigt det är och att etik/moral är något som alla brandingenjörer måste ha "gott om". Johan Lundin gav en presentation om detta (kvalitetssäkring) under hösten -04. Detta borde ingå som en del i undervisningen för brand- riskhanteringsingenjörer. Mycket givande presentation!
- Ett svar omfattar en A4 vilket gör att denna synpunkt ej kan ingå helt komplett. Kommentaren handlar om problemet med att en lokal som är utförd enligt förenklad dimensionering inte kan visas vara säker med hjälp av analytiska metoder. Problemet är då antingen att vi räknar med för allvarliga förhållanden i analytisk dimensionering eller så är lokalen inte tillräckligt säker när den projekterats med hjälp av traditionella metoder. Kommentaren innehåller en uppmaning till konsultbranschen m fl att ta upp denna fråga till diskussion.
- Vi har sällan uppdrag som kräver datormodellering. Merparten är schablondimensionering kompletterade med ingenjörsmässiga bedömningar. Det finns tankar om CFD hos oss men än så länge finns inte behovet eller det tidsmässiga utrymmet att skaffa oss den kompetensen.