LUND UNIVERSITY

Datorsimulering av utrymning vid brand – inventering av tre angreppssätt

Nilsson, Daniel

2007

Link to publication

Citation for published version (APA):
Nilsson, D. (2007). *Datorsimulering av utrymning vid brand – inventering av tre angreppssätt*. (LUTVDG/TVBB--3142--SE; Vol. 3142). Fire Safety Engineering and Systems Safety.

Total number of authors:
1

General rights
Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:
Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.
• Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
• You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
• You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

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

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

LUND UNIVERSITY

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

Download date: 15. Sep. 2026

Datorsimulering av utrymning vid brand
– inventering av tre angreppssätt

Daniel Nilsson

Department of Fire Safety Engineering
Lund University, Sweden

Brandteknik
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet

Report 3142, Lund 2007

Rapporten har finansierats av Brandforsk

Datorsimulering av utrymning vid brand – inventering av tre angreppssätt

Daniel Nilsson

Lund 2007

Datorsimulering av utrymning vid brand – inventering av tre angreppssätt

Computer simulation of fire evacuation – an inventory of three approaches

Daniel Nilsson

Report 3142
ISSN: 1402-3504
ISRN: LUTVDG/TVBB--3142--SE

Number of pages: 28
Illustrations: Daniel Nilsson

Keywords
Evacuation, computer models, ERM, EVACNET4, STEPS, SIMULEX.

Sökord
Utrymning, datormodeller, ERM, EVACNET4, STEPS, SIMULEX.

Abstract
Three approaches for modelling evacuation in the event of fire were studied based on existing computer programs. The programs included in the study were ERM, EVACNET4, STEPS, buildingEXODUS and SIMULEX. However, only some aspects of buildingEXODUS were examined. The three approaches, called network models (ERM and EVACNET4), gridmodels (STEPS and buildingEXOUDUS) and particle models (SIMULEX) differ in the way movement is modelled. In the study it was examined how movement of people in the building, through openings and in stairs can be modelled for the studied approaches. It was also investigated how high population densities can be taken into account and how a delay period before movement can be incorporated in the models. The pros and cons associated with the three approaches are highlighted in the present report. I addition, recommendations concerning the design of future computer programs for simulating evacuation are presented.

© Copyright: Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund 2006.

Brandteknik
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 Lund

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

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

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

brand@brand.lth.se
http://www.brand.lth.se/english

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

Förord

Följande rapport är en del av projektet *Datorsimulering av utrymning vid brand – Krav på datormodeller för simulering (204-051)* som finansierats av Brandforsk. Brandforsk stödjer forskning inom brandområdet och är ett gemensamt organ för staten, industrin och försäkringsbranschen. I projektet har tre olika angreppssätt för simulering av utrymning kartlagts och beskrivits utifrån befintliga datorprogram.

Flertalet personer har varit till stor hjälp under projektets gång. Jag skulle därför vilja ta tillfället i akt att tacka alla inblandade personer för deras bidrag. Ett stort tack riktas till Oskar Eriksson för alla intressanta diskussioner om STEPS och SIMULEX. I samband med genomgången av STEPS har Karl Harrysson på Brandskyddslaget och programutvecklare på Mott MacDonald varit till stor hjälp. Jag är mycket tacksam för att ni hade möjlighet att svara på alla mina frågor om programmet. Även Henrik Bygbjerg på DBI ska ha ett stort tack för att han försåg mig med utförliga instruktioner om hur buildingEXODUS fungerar. Avslutningsvis vill jag även tacka min handledare Håkan Frantzich för insiktsfulla synpunkter i samband med arbetet och för värdefulla kommentarer i anslutning till skrivandet av rapporten.

Lund, 22 juni 2007

Daniel Nilsson

Sammanfattning

Idag används ofta datorprogram för att uppskatta tidsåtgången vid utrymning. De flesta befintliga program kan delas in en av tre huvudtyper baserat på det angreppssätt som används för att modellera förflyttning. Dessa tre typer kallas nätverks-, rutnäts- och partikelmodeller i följande studie. Målet med studien var att med utgångspunkt från befintliga datorprogram kartlägga och beskriva hur de tre angreppssätten fungerar. De program som ingick i studien var ERM, EVACNET4, STEPS, buildingEXODUS och SIMULEX. Kartläggningen fokuserades främst på hur modellerna kan hantera förflyttning i byggnader, genom dörröppningar och i trappor. Dessutom studerades persontäthetens inverkan på förflyttning och hur hänsyn kan tas till att utrymningen inte inleds omedelbart. Målet var vidare att beskriva eventuella för- och nackdelar samt att föreslå hur ett framtida utrymningsprogram bör utformas.

Nätverksmodeller, vilka representeras av ERM och EVACNET4, innebär grova förenklingar av personers rörelsemönster vid förflyttning. I programmen sker förflyttning i ett nätverk, vilket ska representera möjliga vägar vid utrymning. På grund av den förenklade beskrivningen är det dock svårt att bestämma personernas inbördes avstånd med någon större noggrannhet. Detta medför i sin tur att persontätheten inte går att uppskatta, varför begränsad hänsyn kan tas till exempelvis täthetens inverkan på gånghastigheten. En fördel med nätverksmodeller är att det ofta går mycket snabbt att genomföre simuleringar.

Rutnätsmodeller, vilka representeras av STEPS och buildingEXODUS, innebär också att personers rörelsemönster förenklas i viss utsträckning. I modellerna representeras byggnaden av ett rutnät där varje ruta kan innehålla maximalt en person. Detta antagande innebär dock att den maximala persontätheten bestäms av rutornas storlek. Storleken på rutorna kan dessutom påverka både längden på köer. I vissa program, t ex i STEPS, baseras beräkningen av persontätheten på antalet rutor som är upptagna runtomkring en person, vilket leder till att tätheten inte kan uppskattas med stor noggrannhet.

Partikelmodeller, vilka representeras av SIMULEX, innebär den mest realistiska beskrivningen av personers förflyttning. I modellerna begränsas personers förflyttning varken av ett nätverk eller ett rutnät, utan personerna är istället försedda med koordinater som beskriver deras position i byggnaden. Denna exakta beskrivning innebär att avståndet mellan personer, vilket är en funktion av persontätheten, enkelt kan uppskattas. Utifrån det uppskattade avståndet kan sedan gånghastigheten reduceras med hjälp av ett empiriskt framtaget förhållande. Eftersom hastigheten reduceras som funktion av avståndet till andra behöver inte något personflöde definieras för dörröppningar, ty flödet bestäms automatiskt vid simulering.

Baserat på genomgången av de tre angreppssätten har ett förslag på utformning av ett framtida utrymningsprogram tagits fram. Förslaget bygger i stor utsträckning på partikelmodeller, eftersom dessa innebär den minst förenklade beskrivningen av förflyttning vid utrymning. I program bör dock hänsyn tas till anpassning av hastigheten när personer närmar sig olika typer av hinder, vilket inte förekommer i dagens partikelmodeller.

Summary

Computer programs are often used to estimate the time to evacuate. Most existing programs belong to one of three main categories based on the approach used for modelling movement of people. These three categories are called network models, grid models and particle models in the present study. The objective of the study was to examine and describe how the three approaches work based on an inventory of existing programs. The programs included in the study were ERM, EVACNET4, STEPS, buildingEXODUS and SIMULEX. It was examined how movement of people in the building, through openings and in stairs can be modelled for the three approaches. In addition, it was studied if and how population density can be taken into consideration and how a delay period before movement can be taken into account. The objective was also to highlight advantages and disadvantages associated with the three approaches and to suggest how a future computer program should be designed.

Network models, which are represented by ERM and EVACNET4, are associated with major simplifications of peoples' movement patterns. In the models movement is governed by a network, which represents possible routes through the building. Due to this simplified description it is difficult to determine the distance between persons with high accuracy. This means that the population density is not possible to estimate and can hence not be used to estimate the reduction of walking speed. A major benefit of network models is the short simulation times.

Grid models, which are represented by STEPS and buildingEXODUS, are also associated with simplifications of people's movement patterns. In the models the building is represented by a grid with cells that can contain only one person. This assumption means that the maximum population density is determined by the size of the cells. The size may also influence the length of queues. In some programs, e.g., STEPS, the calculation of population density is based on the number of occupied cells surrounding a person, which means that the density can not be estimated with a high degree of accuracy.

Particle models, which are represented by SIMULEX, offer the most realistic description of people's movement patterns. In the models people are limited neither by a network or a grid, but instead they are given coordinates that describe their position in the building. This exact description means that the distance between persons can be calculated easily. Based on the estimated distance the walking speed can be reduced based on an empiric function. No flow rate needs to be specified for door openings in particle models since the speed is reduced as a function of the distance. During simulation the flow through openings is hence simulated directly.

Based on the inventory of the three approaches a design for a new computer program was suggested. The design is based on particle models, since this approach offers the most realistic description of people's movement patterns. In a new program persons' adjustment of walking speed when they approach obstacles must be considered. This type of behaviour is not considered in existing particle models.

Innehållsförteckning

1. INLEDNING 1

1.1. MÅL OCH SYFTE 2
1.2. METOD 3
1.3. AVGRÄNSNINGAR 3

2. BESKRIVNING AV ANGREPPSSÄTT 5

2.1. NÄTVERKSMODELL – ERM OCH EVACNET4 5
2.2. RUTNÄTSMODELL – STEPS 10
2.3. PARTIKELMODELL – SIMULEX 15

3. SAMMANFATTANDE ANALYS OCH INTRODUKTIONEN AV ETT FRAMTIDA DATORPROGRAM 21

3.1. GENERELLT OM DE TRE ANGREPPSSÄTTEN 21
3.2. FÖRSLAG PÅ UTFORMNING AV ETT FRAMTIDA DATORPROGRAM 22
3.3. YTTERLIGARE ASPEKTER PÅ DET FRAMTIDA DATORPROGRAMMET 26

1. Inledning

Ett grundläggande krav enligt gällande svensk bygglagstiftning är att byggnader ska utformas så att *tillfredställande utrymning* kan äga rum i händelse av brand (Boverket, 2002). För att kontrollera att detta krav uppfylls kan uppskattad utrymningstid jämförs med uppskattad tillgänglig tid. Detta tillvägagångssätt används i många länder och beskrivs i en rad handböcker (Frantzich, 2005a; Buchanan, 1994; International Fire Engineering Guidelines, 2005). Tillvägagångssättet ovan medför att utrymningstiden måste uppskattas, vilket vanligtvis görs antingen med hjälp av handberäkningar eller datorprogram. Det finns många datorprogram för simulering av utrymning, men det exakta antalet är svårt att uppskatta. Internationella studier av datormodeller inom brandområdet har bland annat genomförts av Friedman (1992) samt Olenick och Carpenter (2003). Dessa arbeten har lett till att drygt ett tjugotal program för simulering av utrymning har identifierats (Combustion Science & Engineering Inc., 2007).

De flesta utrymningsprogram som finns idag kan endast användas för att simulera förflyttning vid utrymning. Däremot kan ofta användaren själv ange en fördröjningstid, vilket motsvarar tiden det tar innan personer målmedvetet börjar röra sig mot en utgång eller en annan säker plats. Denna tid innefattar varseblivning, reaktion och beslut (Frantzich, 2005a). I denna rapport används dock begreppen *datorprogram för simulering av utrymning* och *utrymningsprogram* även om inte hela förloppet, utan enbart förflyttningen simuleras i programmet.

I en studie om validering av brand- och utrymningsprogram genomfördes en enkätstudie i syfte att undersöka vilka program som används av svenska konsulter (Frantzich, 2005b). Enkäten skickades till 35 företag som sysslar med brandteknisk projektering och totalt svarade 23 av dessa. Enligt undersökningen använde majoriteten SIMULEX (Thompson, Wu & Marchant, 1997) för att simulera utrymning, men även STEPS (Mott MacDonald, 2006) och ERM (Alvord, 1985) användes av några.

De tre programmen ERM, STEPS och SIMULEX bygger på tre olika angreppssätt, d v s utrymning modelleras på tre principiellt olika sätt. ERM bygger på att byggnaden representeras av ett nätverk, vilket består av noder och kopplingar. Vid simulering av utrymning placeras först personer ut i nätverket och förflyttar sig därefter längs kopplingar till den eller de noder som definierats som säker plats. Flera personer kan samtidigt befinna sig i en specifik nod eller längs någon av förbindelserna. De modeller som, likt ERM, bygger på att byggnaden representeras av ett nätverk kallas *nätverksmodeller* i denna rapport. Ytterligare ett exempel på en nätverksmodell är EVACNET4 (Kisko, Francis & Nobel, 1998).

Datorprogrammet STEPS bygger på att byggnaden representeras av ett rutnät. I programmet kan personer röra sig mellan rutor och varje ruta kan innehålla maximalt en person. Vidare kan en ruta antingen vara fri eller blockerad. En blockerad ruta motsvarar någon form av hinder, t ex en vägg, och kan inte innehålla någon person. De modeller som, likt STEPS, bygger på att byggnaden representeras av ett rutnät där varje ruta kan innehålla en person kallas *rutnätsmodeller* i denna rapport. I vissa rutnätsmodeller, t ex buildingEXODUS (Galea, Gwynne, Lawrence, Filippidis, Blackshields & Cooney, 2004), används ett rutnät som kan formas för att passa byggnaden. I detta fall finns endast fria rutor och hinder motsvaras av avsaknad av rutor.

Datorprogrammet SIMULEX bygger på att utrymmande personer varken förflyttar sig i ett nätverk eller ett rutnät. Personerna har istället en x- och en y-koordinat som beskriver deras placering i byggnaden samt en vinkel som beskriver deras riktning, d v s åt vilket håll de förflyttar sig. Förflyttningen bestäms visserligen utifrån ett rutnät som täcker byggnaden, men personernas förflyttning begränsas inte av detta nät. De modeller som, likt SIMULEX, bygger på att personer är försedda med koordinater, d v s att förflyttning sker varken i ett nätverk eller ett rutnät, kallas *partikelmodeller* i denna rapport. Benämningen partikelmodell har valts för att belysa att personerna förflyttar sig fritt inom t ex en byggnad, d v s att deras placering inte är begränsad till ett nätverk eller rutorna i ett rutnät. Namnvalet bygger på att ovanstående beskrivna utrymningsmodeller har likheter med den konceptuella partikelmodell som ibland används inom kemi för att förklara gasers uppförande (Krigsman, Nilsson & Wahlström, 2002).

Skillnaderna mellan existerande datorprogram är förhållandevis stora. De mest basala utgörs av enkla och överskådliga nätverksmodeller, medan de mer komplexa ofta är svåröverblickbara rutnäts- och partikelmodeller med ett stort antal finesser. Många av de mer komplexa datorprogrammen bygger från början på enkla antaganden, men allt eftersom fler funktioner och undermodeller har lagts till har överblickbarheten minskat. I många fall är det dessutom svårt för användaren att genomskåda hur programmen fungerar, eftersom informationen i manualer och tekniska specifikationer är bristfällig. I grunden bygger dock de flesta program på något av de tidigare beskrivna angreppssätten, d v s de är antingen nätverks-, rutnäts- eller partikelmodeller. Dessa angreppssätt är förknippade med olika grundläggande antaganden, vilka medför konsekvenser för simuleringsresultatens giltighet i olika situationer.

Valet av angreppssätt i existerande datorprogram har ofta historisk bakgrund. Exempelvis användes ofta nätverkmodeller på åttiotalet på grund av begränsad datorkapacitet. Allt eftersom utvecklingen av ett program går framåt läggs fler funktioner och undermodeller till i syftar till att förbättra t ex användarvänlighet eller överensstämmelse med försök. Programutvecklarna lägger alltså ner stora resurser på att förbättra programmet och är därför sannolikt inte intresserade av att ändra angreppssätt. Ett byte av angreppssätt, t ex från nätverks- till rutnätsmodell, innebär nämligen att stora delar av programkoden måste skrivas om. På detta sätt kan utvecklare låsa sig vid ett visst program, trots att de grundläggande antagandena är förenklade och i vissa fall högst olämpliga med tanke på användningen.

I egenskap av användare av utrymningsprogram är det viktigt att känna till de tre angreppssätten. Framför allt bör man vara medveten om begränsningarna, så att man använder programmen korrekt och är medveten simuleringsresultatens giltighet. Kunskapen om de tre angreppssätten är även värdefull vid utveckling av nya datormodeller för simulering av utrymning.

1.1. Mål och syfte

Målet med studien var att med utgångspunkt från befintliga datorprogram kartlägga och beskriva hur nätverks-, rutnäts och partikelmodeller fungerar. Kartläggningen skulle fokuseras främst på hur förflyttning i byggnader, genom dörröppningar och i trappor kan hanteras i modellerna. Dessutom studerades hur persontäthetens inverkan på förflyttningen samt fördröjningstiden kan beaktas vid simulering. Målet var vidare att beskriva eventuella för- och nackdelar med de tre angreppssätten. Baserat på kartläggningen skulle ett förslag på utformning av ett framtida datorprogram för simulering av utrymning tas fram. Syftet var dels att bidra till att öka

kunskapen om nätverks-, rutnäts och partikelmodeller bland användare, men även att studien ska kunna användas vid utveckling av framtida utrymningsprogram.

1.2. Metod

I studiens inledningsskede genomfördes en inventering av befintliga datorprogram utifrån den sammanställning som presenteras av Combustion Science & Engineering Inc. (2007). Utifrån inventeringen valdes fyra program ut för en närmre genomgång, nämligen ERM, EVACNET4, STEPS och SIMULEX. Urvalet baserades främst på att datorprogrammen tillsammans anses vara representativa för nätverks-, rutnäts- och partikelmodeller. Dessutom påverkades urvalet av att ERM, STEPS och SIMULEX enligt en enkätundersökning används av svenska brandkonsulter (Frantzich, 2005a). I studien genomfördes även en översiktlig genomgång av buildingEXODUS och vissa aspekter av programmet har beskrivits i denna rapport. Programmet har dock bara inkluderats i den utsträckning som behövts för att illustrera alternativa utformningar av rutnätsmodeller.

När urvalet var klart genomfördes en genomgång av manualer, tekniska vägledningsdokument och vetenskapliga artiklar om de utvalda datorprogrammen. Dessutom studerades programkod för ERM och SIMULEX i den mån detta behövdes för att klargöra programmens funktion. Eftersom författaren inte hade tillgång till koden för EVACNET4, STEPS eller buildingEXODUS genomfördes inte motsvarande studier för dessa program. I samband med genomgången av STEPS kontaktades även programutvecklare på företaget Mott MacDonald.

I studiens följande del författades en beskrivning av hur nätverks-, rutnäts och partikelmodeller fungerar utifrån de i syftet beskrivna aspekterna. Vid beskrivningen var utgångspunkten de studerade datorprogrammen, vilka används för att exemplifiera angreppssätten. Avslutningsvis belystes för- och nackdelar med de tre angreppssätten och dessutom utarbetades ett förslag på hur ett framtida datorprogram bör utformas.

1.3. Avgränsningar

En viktig avgränsning är att endast befintliga datorprogram har studerats, d v s inget arbete har lagts ner på att utveckla nya angreppssätt. Dessutom har arbetet främst fokuserats på att kartlägga hur nätverks-, rutnäts- och partikelmodeller löser olika aspekter av förflyttning vid simulering av utrymning. Anledningen till denna avgränsning är i huvudsak att befintliga program endast kan modellera förflyttning och att eventuell fördröjningstid, d v s tiden innan förflyttningen påbörjas, vanligtvis anges av användaren innan en simulering genomförs. Dock studeras hur fördröjningstiden kan beaktas vid simulering.

Ytterligare en avgränsning är att få programmeringstekniska aspekter har behandlats, d v s det har inte undersökts ingående hur de studerade angreppssätten implementeras i datorprogram. Dock har programkod för ERM och SIMULEX studerats i den utsträckning det behövts för att klargöra hur programmen fungerar. Det har heller inte undersökts hur bra olika datorprogram är på att förutspå utrymningstiden, d v s ingen validering har genomförts. Det anses dock viktigt att utrymningsprogram valideras i tillräcklig omfattning innan de görs allmänt tillgängliga för att garantera att simuleringsresultaten är rimliga.

2. Beskrivning av angreppssätt

I följande avsnitt beskrivs nätverks-, rutnäts- och partikelmodeller utifrån de fyra datorprogrammen ERM, EVACNET4, STEPS och SIMULEX. Dessa program anses tillsammans utgöra ett representativt urval av de tre ovan angivna angreppssätten. I avsnittet om rutnätsmodeller har dock vissa delar av buildingEXODUS beskrivits i den utsträckning det behövts för att illustrera alternativa utformningar.

Beskrivningen nedan bygger på information från manualer, tekniska specifikationer och vetenskapliga artiklar. För ERM och SIMULEX har även programkod studerats i den mån detta krävts för att klargöra hur programmen fungerar. I samband med genomgången av STEPS kontaktades dessutom programutvecklare på företaget Mott MacDonald.

2.1. Nätverksmodell – ERM och EVACNET4

ERM och EVACNET4 utgör två exempel på nätverkmodeller för simulering av utrymning. Trots att programmen bygger på samma grundläggande princip så skiljer de sig åt i vissa viktiga avseenden. Dessa skillnader bidrar till att ERM och EVACNET4 tillsammans tydligt illustrera hur nätverkmodeller kan utformas.

Beteckningen ERM är en förkortning av Escape and Rescue Model. Datorprogrammet, vilket beskrivs av Alvord (1985), används främst för att simulera utrymning från vårdanläggningar, men kan även användas för andra typer av byggnader. I ERM kan utrymmande personer vara antingen vårdpersonal (*en. staff*) eller vårdtagare (*en. resident*). Totalt finns 15 typer av vårdtagare, vilka kräver olika mycket hjälp från personalen vid utrymning. Den mest mobila typen, kallad typ 0 (*en. type 0*), kan inleda och genomföra utrymningen helt på egen hand, medan den minst mobila typen måste assisteras av två personer från vårdpersonalen under hela utrymningsförloppet. Förutom att vårdpersonalen hjälper vårdtagarna att utrymma, så stannar de i byggnaden tills alla andra har utrymt. ERM är även lämpligt att använda vid simulering av utrymning från fängelser och häkten, där personerna inte alltid får utrymma på egen hand.

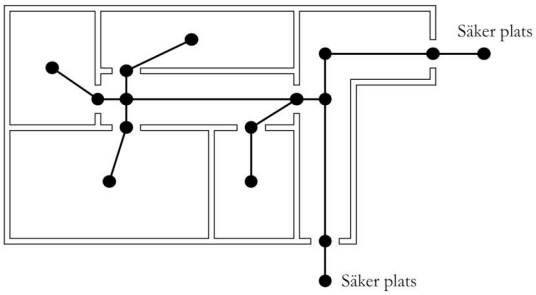
ERM kan användas för att simulera utrymning från andra typer av byggnader än vårdanläggningar, fängelser och häkten. I denna rapport behandlas endast utrymning från vanliga byggnader, d v s det förutsätts att utrymmande personer kan ta sig ut på egen hand och inte behöver assistans av vårdpersonal. För denna typ av byggnad används vårdtagare av typen 0 eftersom dessa kan utrymma på egen hand och dessutom kan förflytta sig med full hastighet.

EVACNET4, vilket är en vidareutveckling av EVACNET+, beskrivs av Kisko, Francis och Nobel (1998). Programmet är utvecklat för simulering av utrymning från vanliga byggnader, t ex bostäder och kontor, och innehåller inte ERMs funktioner för vårdanläggningar. Däremot är EVACNET4 mer sofistikerat än ERM i vissa avseenden, t ex hanteringen av personflöde i nätverket.

2.1.1. Byggnaden

Samtliga datorprogram som bygger på nätverksmodeller förutsätter att byggnaden representeras av ett nätverk. Detta nätverk består av noder, vilka kopplas samman med kopplingar, se figur 1. En nod representerar ett utrymme, t ex ett rum eller en korridor, eller ibland en förbindelse, t ex en dörröppning eller en trappa. I vissa fall kan flera noder behövas för ett och samma utrymme, t ex för ett stort rum.

Dessutom definieras vissa noder som *säker plats* och vid simulering av utrymning sker förflyttning längs kopplingarna till dessa noder.



Figur 1. Ett nätverk och den byggnad som nätverket representerar

I ERM skapas ett nätverk genom att användaren anger noder. Varje nod ges ett nummer och en beteckning. Beteckningen kan antingen vara en valfri kombination av maximalt fyra tecken eller någon av de två orden *safe* och *str*. *Safe* betyder att noden utgör en säker plats, d v s personerna förflyttar sig dit vid utrymning, och *str* innebär att noden utgör en trappa. Dessutom anges koordinaterna, d v s placeringen i x-, y- och z-riktning, i enheten fot för varje nod. För att programmet ska kunna skapa kopplingarna i nätverket anges även hur många noder den aktuella noden ska förbindas med, samt numrena på dessa noder. De kopplingar som skapas utgör räta linjer från den ena till den andra nodens koordinater.

För att det ska vara möjligt att simulera utrymning krävs även att personer placeras ut i nätverket. I ERM kan personer endast placeras ut i någon av noderna. Enligt tidigare används lämpligen vårdtagare av typen 0 för byggnader som inte utgör vårdanläggningar, eftersom dessa personer utrymmer själva och dessutom rör sig med ohindrad gånghastighet. Gånghastigheten är definierade på förhand i fot per minut, men går att ändra vid behov.

Vid simulering i ERM sker förflyttning längs kopplingarna i nätverket. Personerna väljer alltid närmaste vägen till en säker plats, d v s till en nod med beteckningen *safe*, och det finns ingen begränsning av antalet personer som får vistas i noderna eller längs kopplingarna.

I EVACNET4 skapas först noder, för vilka användaren anger rumstyp, våningsplan och rumsnummer. Rumstypen består av en valfri kombination av två bokstäver eller någon av de två beteckningarna *DS* och *EL*. *DS* innebär att noden är en säker plats, d v s personerna förflyttar sig dit vid utrymning, och *EL* innebär att noden utgör en hiss. När samtliga noder är angivna skapas kopplingarna genom att ange ursprungsnod och destinationsnod. I EVACNET4 är det bara möjligt med förflyttning i en riktning längs en koppling, men två noder kan kopplas samman med två motriktade kopplingar.

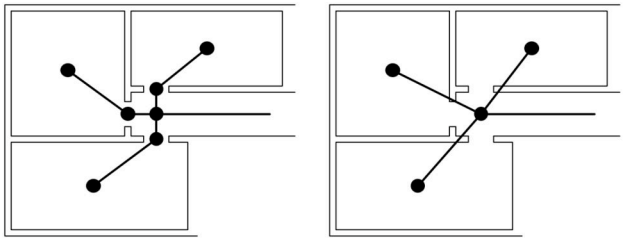
När nätverket är skapat i EVACNET4 kan egenskaper för både noder och kopplingar anges. För noderna är det möjligt att ange kapacitet (*en. node capacity*), d v s maximala antalet personer som samtidigt kan vistas i noden, samt antalet personer som befinner sig i noden initialt, d v s innan simuleringen inleds. Kapaciteten för de noder som utgör säker plats motsvarar det maximala antalet personer som kan utrymma dit vid simulering. För kopplingarna är det möjligt att ange maximal dynamisk kapacitet (*en. dynamic capacity*), d v s maximala antalet personer som kan börja använda kopplingen per tidssteg, och transporttid (*en. traversal time*), d v s antal tidssteg det tar att via kopplingen komma från den ena till den andra noden. Ett

tidssteg utgör ett tidsintervall som används vid beräkningarna i EVACNET4. Normalt är längden på ett tidssteg fem sekunder, men värdet kan ändras vid behov. Generellt innebär ett kortare tidssteg noggrannare beräkningar.

Vid simulering i EVACNET4 sker förflyttning längs kopplingarna i nätverket. Programmet beräknar den optimala fördelningen av personer vid utrymning. Detta innebär att personerna väljer utgångar så att den totala utrymningstiden blir så kort som möjligt. En viss styrning av utrymningsförloppet är dock möjlig så att realistiska resultat kan erhållas även om programmet optimerar beräkningen. Exempel på sådan styrning kan vara att ange en lägre nodkapacitet för den primära DS-noden (normat en byggnads huvudingång) än det maximala antalet personer i byggnaden vilket gör att mindre optimala DS-noder (exempelvis nödutgångar) måste användas.

2.1.2. Dörröppningar

I nätverksmodeller kan dörröppningar representeras av antingen noder eller kopplingar. Om det eftersträvas att representera den faktiska gångvägen noggrant är det ofta att föredra att dörröppningarna utgör noder, se figur 2. I exempelvis ERM bör en noggrann representation eftersträvas eftersom programmet endast tar hänsyn till gånghastighet vid simulering av utrymning.



Figur 2. Två alternativa utformningar av ett nätverk där den ena utformningen (tv) medför att de faktiska gångvägarna representeras mer noggrant.

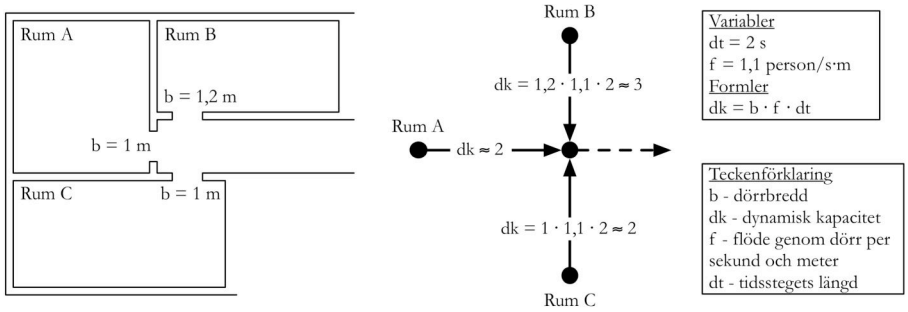
I EVACNET4 kan den maximala dynamiska kapaciteten för kopplingar anges. Detta innebär i sin tur att dörröppningar lämpligen representeras av kopplingar istället för noder. I detta fall motsvarar noderna de utrymmen som förbinds med dörröppningarna. För dörrar antas ofta ett flöde uttryckt i antal personer per sekund och meter dörrbredd (Frantzich, 2005a). Om dörrbredden och längden på tidssteget i EVACNET4 är känt kan flödet översättas till dynamisk kapacitet, vilket uttrycks som antal personer som kan börja använda kopplingen per tidssteg. I programmet anges även transporttiden för kopplingen, vilket motsvarar antalet tidssteg det tar att förflytta sig från den ena till den andra noden. Avståndet mellan noder motsvarar avståndet mellan mittpunkterna på de utrymmen som noderna representerar. I figur 3 visas hur en del av en byggnad kan representeras av ett nätverk i EVACNET4 och dessutom anges den framräknade dynamiska kapaciteten för kopplingarna.

2.1.3. Trappor

Trappor hanteras på olika sätt i programmen ERM och EVACNET4. I ERM kan användaren enligt tidigare definiera noder som trappor genom att ge dem beteckningen *str*. I programmet ska en trappa representeras av minst en str-nod på varje våningsplan. Dessa noder kan ligga rakt ovanför varandra, d v s endast ha olika z-koordinater, eller vara förskjutna relativt varandra. Om det finns avsatser eller halvtrappor i byggnaden måste ibland flera str-noder användas för att förbinda två våningsplan i ERM. Vid simulering förflyttar sig personer längs kopplingen mellan

noderna med halva den ursprungliga gånghastigheten. Denna hastighetsreducering är den enda anpassning som görs för trappor i byggnader som inte utgör vård-anläggningar.

I EVACNET4 finns inga fördefinierade noder för trappor, utan användaren får själv uppskatta värden på kapacitet, dynamisk kapacitet och transporttid utifrån egna antaganden. I programmet representeras en trappa av en nod och en koppling. För noden anges enligt tidigare en kapacitet, vilket motsvarar antalet personer som ryms i trappan. Användaren måste även ange dynamiska kapaciteten och transporttiden för kopplingen. Dessa värden beräknas innan simulering och i manualen beskrivs hur detta kan göras (Kisko, Francis & Nobel, 1998). Ett av de föreslagna sätten bygger på att användaren själv uppskattar persontätheten i trappan vid utrymning innan simuleringen. Utifrån denna persontäthet uppskattas sedan dynamiska kapaciteten och transporttiden för kopplingen, d v s trappan. I EVACNET4 genomförs inte automatiskt någon anpassning av förflyttningen för trappor, t ex hastighetsreducering, utan alla variabler definieras av användaren före simulering och bygger på egna antaganden.



Figur 3. En bit av en byggnad och motsvarande nätverk i EVACNET4. Den dynamiska kapaciteten (dk) för kopplingarna har beräknats utifrån flödet för dörren (f), dörrbredden (b) och tidsstegets längd (dt)

2.1.4. Persontäthet och förflyttning

I vissa datorprogram tas hänsyn till persontäthetens inverkan på förflyttningen. Denna typ av funktion saknas helt i ERM. I programmet ERM finns det ingen begränsning av antalet personer som får befinna sig i noder eller längs kopplingar. Detta gör att programmet lämpar sig bäst för byggnader där endast låga persontätheter kan förväntas vilket kan vara fallet för vårdanläggningar. För denna typ av byggnad är det främst gånghastigheten som är avgörande för den totala utrymningstiden, eftersom inga köer bildas.

I EVACNET4 kan viss hänsyn tas till persontätheten, men detta bygger på att användaren själv anger lämpliga värden. Exempelvis kan den dynamiska kapaciteten för kopplingar anges. Uppskattningen av dynamisk kapacitet sker på förhand och bygger i vissa fall på förväntad persontäthet, t ex för trappor. Eftersom ett värde uppskattas på förhand måste användaren kontrollera sin simulering och vid behov ändra det ursprungliga antagandet. Det kan dock vara svårt att utifrån simuleringsresultaten avgöra om den använda dynamiska kapaciteten är korrekt. Även kapaciteten för noder kan anges i EVACNET4. Denna kapacitet motsvarar enligt tidigare maximala antalet personer som kan vistas i det utrymme som noden representerar. Detta antal bygger dock på användarens antagande om hur hög persontätheten som mest kommer att vara i det aktuella utrymmet.

Den dynamiska kapaciteten för kopplingar och kapaciteten för noder bidrar tillsammans till att det kan bildas köer vid simulering i EVACNET4. Detta medför att programmet även kan användas för byggnader där höga persontätheter kan förväntas. Dock kommer köernas längd att bero på användarens antaganden, varför en kontroll av simuleringsresultaten alltid är nödvändig.

2.1.5. Fördöjningstid

I ERM kan en fördröjningstid (*en. delay factor*) anges när en person skapas. Denna tid anges som ett heltal i programmet och motsvarar tiden det tar för personen att förbereda sig. För vårdtagare av typen 0, vilka inte behöver någon assistans från personal, inleds förflyttningen när den angivna tiden löpt ut. I EVACNET4 går det inte att ange någon fördröjningstid, utan alla antas påbörja utrymning när simuleringen startar.

2.1.6. För- och nackdelar

Gemensamt för alla nätverksmodeller är att bygganden representeras av ett nätverk i vilket personer kan förflytta sig. Denna beskrivning av byggnaden är mycket förenklad och kan således påverka simuleringsresultatens giltighet. Det är därför viktigt att nätverket återspeglad de vägar som används vid utrymning och att alla utgångar representeras korrekt. Felaktig representation av bygganden kommer oundvikligen att leda till missvisande simuleringsresultat. Nätverksmodellers enkelhet utgör i vissa fall även en fördel, eftersom simulering vanligtvis går fort. Detta medför att flera olika scenarier enkelt och snabbt kan simuleras, vilket gör att känslighetsanalyser lätt kan genomföras.

Eftersom byggnaden representeras av ett nätverk är det inte möjligt att uppskatta utrymmande personers position med någon större noggrannhet. Visserligen kan information om i vilken nod eller längs vilken koppling en person befinner sig erhållas, men personens exakta placering i byggnaden kan inte bestämmas. Det blir således svårt att uppskatta persontätheten, vilket medför att persontäthetens inverkan på förflyttningen inte direkt kan noteras vid simulering. I vissa befintliga dator-program, t ex EVACNET4, går det dock att ange kapaciteter för noder och kopplingar, vilket gör det möjligt att erhålla köbildning. Dock bygger dessa kapaciteter ofta på användarens egna antaganden.

En av de stora nackdelarna med befintliga datorprogram, t ex ERM och EVACNET4, är de ofta kräver att användaren gör många antaganden innan simulering. Exempelvis måste byggnaden representeras av ett nätverk, vilket användaren själv utformar. För stora byggnader kan nätverket bli mycket komplicerat och svårt att överblicka. Detta kan i sin tur medföra att utgångar glöms bort eller förbises. Samtidigt innebär den stora arbetsinsatsen att användaren måste göra aktiva val och inte kan förlita sig på att datorprogrammet löser problemet. Det är därför troligt att användaren är medveten om vilka antaganden som ligger till grund för simuleringsresultatet.

Ytterligare en begränsning med existerande datorprogram är att de bygger på antagandet att personerna antingen väljer närmaste väg, t ex i ERM, eller att vägvalet sker optimalt, t ex i EVACNET4. Dessa antaganden har visat sig vara orealistiska, eftersom personer ofta väljer att utrymma via kända utgångar (Sime, 1985). Trots att befintliga program ofta bygger på dessa felaktiga antaganden, så är det inget krav för nätverksmodeller generellt. Det är tänkbart att framtida nätverksmodeller kan utformas så att personerna väljer utgångar utifrån andra urvalskriterier, t ex hur väl de känner till utgångarna.

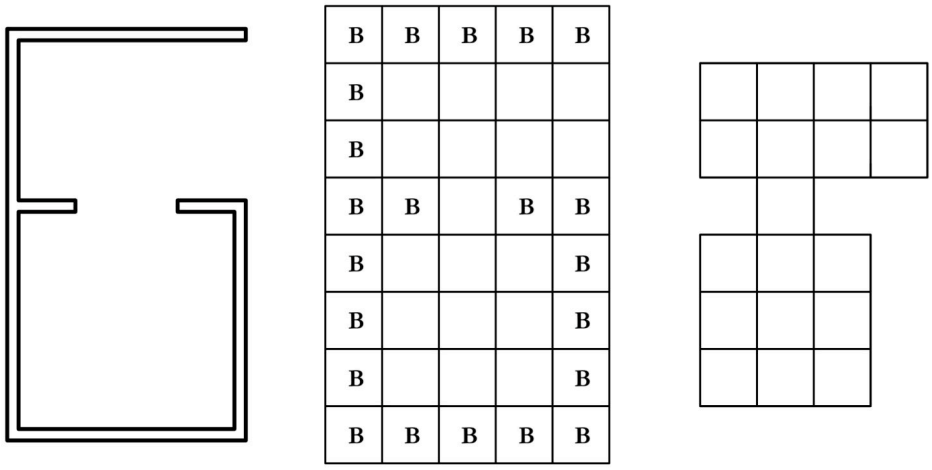
2.2. Rutnätsmodell – STEPS

STEPS, vilket beskrivs av Mott MacDonald (2006), är ett exempel på en rutnätsmodell för simulering av utrymning. Programmet kan användas för byggnader och konstruktioner i flera plan. Våningsplanen skapas antingen direkt i programmet av användaren eller genom att ritningar, t ex CAD-ritningar i formatet DXF, importeras. Dessa våningsplan kan sedan förbindas med hissar, förbindelser eller öppningar. Förutom att programmet kan användas för simulering, så kan det även användas för att visualisera resultaten i tre dimensioner. Det går även att lägga till visuella effekter som inte är kopplade till simuleringen, t ex tåg som rör på sig.

Ytterligare ett exempel på en rutnätsmodell är buildingEXODUS, vilken beskrivs av Galea, Gwynne, Lawrence, Filippidis, Blackshields & Cooney (2004). Detta program har inte behandlats ingående i nedanstående avsnitt, utan har endast beskrivits i den utsträckning som ansetts nödvändigt för att åskådliggöra alternativa utformningar av rutnätsmodeller. BuildingEXODUS är ett förhållandevis komplext program med många avancerade funktioner. Exempelvis är det möjligt att i programmet genomföra toxicitetsberäkningar utifrån data från CFD-simuleringar rörande brandförlopp.

2.2.1. Byggnaden

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. I STEPS täcks hela byggnaden av rutor som kan vara antingen fria, d v s kan innehålla maximalt en person, eller blockerade. I blockerade rutor, vilka vanligtvis motsvarar väggar, kan det inte finnas någon person. Ett annat alternativ är att alla rutor är fria och att väggar representeras av avsaknad av rutor, vilket är det tillvägagångssätt som utnyttjas i buildingEXODUS. Skillnaderna mellan de två typerna av rutnät illustreras av figur 4.



Figur 4. Ett rum och två olika sätt att utforma rutnätet för rummet i rutnätsmodeller, d v s med blockerade celler (B) och utan.

Innan en simulering inleds i STEPS definieras de persontyper som ska användas. När en persontyp skapas kan användaren ange ett antal variabler som används vid simulering, t ex maximala gånghastighen, men även andra parametrar som enbart utnyttjas vid visualiseringen av resultaten, t ex hur personerna ska visas. Den maximala gånghastigheten (v_{max}) kan anges antingen som ett konstant värde eller som en slumpfördelning. Om en fördelning används väljs gånghastigheten utifrån denna för varje person av den aktuella persontypen. Användaren kan använda

fördefinierade slumpfördelningar eller själv skapa en lämplig fördelning. För varje persontyp går det även att ange om hastigheten ska reduceras på grund av lutning ($\alpha_{lutning}$), avstånd till framförvarande ($\alpha_{avstånd}$), persontäthet ($\alpha_{persontäthet}$) eller rök. Dessutom kan lokala variationer av gånghastigheten specificeras genom att ange en lokal hastighet (v_{lokal}) och en lokal faktor (α_{lokal}). Om röktäthet inte påverkar ges gånghastigheten av uttrycket

$$gånghastighet = v_{\max} \cdot \alpha_{lutning} \cdot \alpha_{avstånd} \cdot \alpha_{persontäthet} \cdot \alpha_{lokal} + v_{lokal} \qquad \text{ekvation 1}$$

Reduceringen av hastigheten för lutningar anges som två olika värden, nämligen en för förflyttning uppför (β_{up}) och en för förflyttning nerför (β_{ner}). Utifrån dessa värden beräknas reduceringen på grund av lutning enligt uttrycket

$$\alpha_{lutning} = \frac{\beta_{up}}{\sin\theta} \quad eller \quad \frac{\beta_{ner}}{\sin\theta} \qquad \text{ekvation 2}$$

där θ är lutningsvinkeln mot horisontalplanet i grader. Reduktionen av hastigheten på grund av avståndet till framförvarande och persontätheten beskrivs i senare avsnitt, se avsnitt 2.2.4.

I STEPS representeras byggnaden vanligtvis av flera mindre rutnät, kallade plan (*en. plane*), som kopplas ihop med förbindelser (*en. paths*) och öppningar (*en. exits*). Plan skapas antingen automatisk då en ritning importeras eller manuellt av användaren i programmet. Följande beskrivning bygger på att hela geometrin skapas manuellt i STEPS. När plan skapas anges de koordinater där planet ska placeras, nämligen x-, y- och z-koordinat. Dessutom specificeras bredden, längden och vinkeln relativt xy-planet. Eftersom även vinkeln anges kan lutande plan skapas. Alla plan utgör enligt tidigare rutnät och storleken på rutorna kan anges av användaren. Den fördefinierade storleken är 0,5 gånger 0,5 meter, d v s 4 rutor per kvadratmeter. Storleken på rutorna är konstant inom varje plan, men olika stora storlek kan användas i olika plan. För plan går det även att ange vilken gånghastigheter som ska användas genom att specificera ett så kallat hastighetstal (*en. speed number*). Detta tal anger vilka värden för lokal hastighet som ska användas vid förflyttning, d v s v_{lokal} och α_{lokal} i ekvation 1.

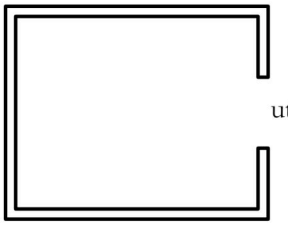
När ett plan har skapats kan blockeringar anges för rutorna i rutnätet. En blockering innebär att den aktuella rutan inte kan användas vid utrymning, d v s att inga personer kan befinna sig i rutan. I programmet kan blockeringar anges som exempelvis punkter, linjer och rektanglar, men dessa geometriska former översätts alltid till blockerade respektive fria rutor i rutnätet.

Plan kan kopplas samman med öppningar och förbindelser i STEPS. I programmet finns det fyra olika typer av öppningar, nämligen utgång till säker plats (*en. system exit*), utgång till förbindelse (*en. exit to path*), utgång till plan (*en. exit to plane*) och utgång mellan plan (*en. link between planes*). För de tre första typerna är det bara möjligt att passera i en riktning, men för utgångar mellan plan kan passage ske åt båda hållen. Gemensamt för alla öppningar är att de måste starta i ett plan och att det går att ange ett personflöde, se avsnitt 2.2.2. Vid simulering sker förflyttning mot de öppningar som leder till en säker plats.

En förbindelse utgörs av en linje längs vilken personer kan förflytta sig, men däremot inte passera varandra. I likhet med plan kan ett hastighetstal anges och dessutom kan det minimala avståndet mellan personer längs linjen specificeras. Vid simulering kan

förflyttning längs förbindelser endast ske i en riktning, men förbindelser med olika riktning kan skapas mellan två plan. För att förflyttning längs en förbindelse ska vara möjlig måste en öppning, d v s en utgång till förbindelse, leda från ett plan till förbindelsen.

Innan simulering ska inledas beräknar programmet ett värde för varje ruta i de ingående planen. Detta värde sätts till 0 vid alla öppningar och ökar med avståndet från öppningarna, figur 5. Dessutom tilldelas blockerade rutor värdet -1. Vid förflyttning strävar personerna främst efter att gå mot den öppning som är närmast, men viss hänsyn tas till ändring av vägvalet enligt beskrivningen i nedanstående stycken.



-1	-1	-1	-1	-1	-1
-1	4,41	3,41	2,41	1,41	-1
-1	4	3	2	1	0
-1	4,41	3,41	2,41	1,41	-1
-1	-1	-1	-1	-1	-1

utgång

Figur 5. En schematisk bild av ett plan (tv) och värdet för rutorna i planet (th). I figuren är sidan på rutorna 1,0 meter.

Simuleringen i STEPS delas in i tidssteg som är en tiondels sekund långa. Dessutom kan enligt tidigare varje cell innehålla maximalt en person. Vid simuleringen kan personer förflytta sig till angränsande rutor som är tomma och som leder dem mot en öppning. När en lämplig ruta identifierats inleder de sin förflyttning och i samma ögonblick blir destinationsrutan upptagen samt ursprungsrutan ledig. Den tid som åtgår till förflyttningen beräknas utifrån avståndet mellan de två rutorna och den reducerade gånghastigheten som ges av ekvation 1. När en person nått destinations-rutan kan omedelbart förflyttning till nästa ruta inledas.

Om det existerar två eller fler öppningar per plan beräknas varje tidssteg den tid det tar för varje person att nå respektive öppning, varpå den öppning som nås fortast väljs av den aktuella personen. Beräkningarna av tidsåtgången baseras dels på avståndet, men även på uppskattad kötid. Dessutom kan användaren ange variabler som, enligt manualen (Mott MacDonald, 2006), beskriver hur accepterat det är att köa och hur tålmodiga personerna är. När en öppning valts kan personen inleda sin förflyttning mot den valda öppningen. Förflyttning kan endast ske till rutor som leder närmre öppningen och beror delvis på den så kallade slumpnivån (*en. random level*) som användaren anger. Slumpnivån är ett tal mellan 0 och 1 som anger i vilken utsträckning personen väljer närmaste vägen. Om värdet 0 väljs kommer personerna endast att gå till den ruta som leder dem närmaste vägen ut, men om värdet 1 används väljs alla rutor som leder närmre öppningen med samma sannolikhet.

2.2.2. Dörröppningar

I STEPS representeras dörröppningar vanligtvis av någon av de fyra typerna av öppningar, se avsnitt 2.2.1. Dessa måste placeras i ett plan och men kan leda till förbindelser, plan eller säker plats. Dessutom kan öppningar skapas inom ett plan, d v s de kan mynna i samma plan som de placeras i. När en öppning skapas anger användaren ett personflöde. I STEPS finns det många fördefinierade flöden att välja mellan, men användaren kan även ange ett eget flöde uttryckt i antingen personer per sekund eller personer per sekund och meter dörrbredd.

För rutnätsmodeller är det vanligt att personflödet anges för öppningar. Exempelvis kan flödet för så kallade interna öppningar (*en. internal exits*), d v s dörröppningar som inte leder till säker plats, anges i buildingEXODUS. I programmet utgörs interna öppningar av rutor i rutnät för vilka personflödet kan specificeras.

2.2.3. Trappor

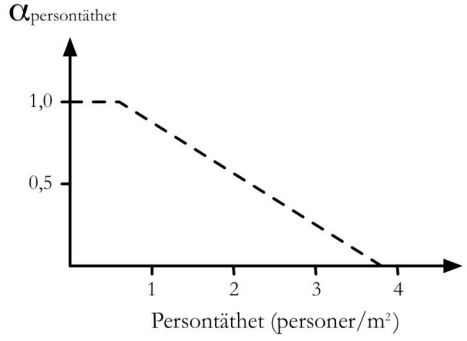
Trappor representeras av antingen förbindelser eller lutande plan i STEPS. Om förbindelser används måste ett lämpligt personflöde specificeras för den öppning som leder från planet till förbindelsen. Enligt tidigare går det även att för förbindelser ange ett hastighetstal, vilket bestämmer vilka värden på v_{lokal} och α_{lokal} som ska användas i ekvation 1. Genom att ange lämpliga värden på v_{lokal} och α_{lokal} kan en gånghastighet som är representativ för trappor erhållas. Om förbindelser används kommer personer enligt tidigare inte att kunna passera varandra i trappan.

I de fall lutande plan används för att representera trappor är det viktigt att lämpliga värden på β_{up} och β_{ner} anges, se avsnitt 2.2.1. För lutande plan reduceras gånghastigheten automatiskt utifrån dessa värden och planets lutningsvinkel enligt ekvation 1 och 2. En fördel med att använda plan för att representera trappor är att personer kan passera varandra i trapporna vid simulering.

2.2.4. Persontäthet och förflyttning

I STEPS kan gånghastigheten reduceras som funktion av antingen avståndet till andra personer eller persontätheten. När persontyper skapas i programmet väljer användaren om och hur gånghastighet ska reduceras. Enligt tidigare beskrivs gånghastigheten av ekvation 1, där $\alpha_{avstånd}$ är reduktionen på grund av avståndet till framförvarande och $\alpha_{persontäthet}$ är reduktionen på grund av persontätheten. Vid beräkning av avståndet till framförvarande undersöks först vilka rutor som leder den aktuella personen närmare öppningen. Om andra person befinner sig i någon av dessa rutor och dessutom är på väg till samma öppning beräknas avståndet till den person som befinner sig närmast. Detta avstånd används sedan för att beräkna faktorn $\alpha_{avstånd}$. I STEPS används vanligtvis ett fördefinierat förhållande mellan avståndet och $\alpha_{avstånd}$, men användaren kan även definiera egna funktioner. Det fördefinierade förhållandet bygger på det förhållande mellan avstånd och gånghastighet som används i programmet SIMULEX, se avsnitt 2.3.

Vid beräkning av persontätheten undersöks samtliga 8 rutor runt den aktuella personen. Baserat på antalet upptagna rutor beräknas persontätheten, vilken används för att uppskatta ett värde på $\alpha_{persontäthet}$. I STEPS används vanligtvis det förhållande mellan tätheten och $\alpha_{persontäthet}$ som ges av figur 6. Det är dock möjligt att ange andra förhållanden i programmet.



Figur 6. Faktorn $\alpha_{persontäthet}$ som funktion av persontätheten i STEPS

2.2.5. Fördröjningstid

I samband med att personer placeras ut i byggnaden kan användaren ange fördröjningstiden (*en. delay*). Denna tid kan anges antingen som ett konstant värde eller som en sannolikhetsfördelning, vilken definieras av användaren. Om en fördelning används tilldelas varje person en fördröjningstid utifrån denna då han eller hon placeras ut innan simulering. Vid simulering börjar personerna förflytta sig mot öppningarna först efter att fördröjningstiden löpt ut.

2.2.6. För- och nackdelar

Rutnätsmodeller bygger enligt tidigare på att byggnaden representeras av ett rutnät där varje ruta kan innehålla maximalt en person. Detta antagande medför att modellerna i många avseenden är lättare att programmera än exempelvis partikelmodeller. Eftersom personerna befinner sig i ett rutnät kan konflikter vid förflyttning, d v s problem som uppstår när två eller flera personer rör sig mot samma öppning, förhållandevis enkelt undvikas. För en rutnätsmodell är därför risken att det uppstår stopp betydligt mindre än för motsvarande partikelmodell. Med ett stopp avses i detta fall att förflyttningen hindras på grund av att en eller flera personer fastnar i varandra vid simulering.

En nackdel med ett rutnät där varje ruta kan innehålla maximalt en person är att programmet eller användaren själv implicit definierar den maximal persontätheten genom att ange storleken på rutorna. Eftersom rutorna har en storlek kommer det maximalt att kunna finnas ett visst antal personer per kvadratmeter. I STEPS är den fördefinierade sidlängden på rutorna 0,5 meter, vilket innebär att det finns fyra rutor på en kvadratmeter. Persontätheten kan således maximalt uppgå till fyra personer per kvadratmeter om den fördefinierade storleken väljs. Eftersom tätheten definieras innan simulering finns det risk att reduceringen av gånghastigheten på grund av persontätheten eller avståndet till framförvarande blir missvisande. Vad händer exempelvis om maximala antalet rutor per kvadratmeter sätts till nio istället för fyra? I detta fall kommer personerna sannolikt att packas hårdare eftersom den maximala persontätheten är nio personer per kvadratmeter, vilket i sin tur kommer att påverka gånghastigheten. Det bör dock tilläggas att reduceringen av hastigheten i viss utsträckning kommer att motverka att höga persontätheter uppstår, eftersom personerna anpassar sin hastighet när de närmar sig områden med mycket folk. Om flödet är begränsat, t ex vid en öppning, finns det dock risk att personerna trots reduceringen packas hårt, vilket kan leda till orealistiskt låga gånghastigheter.

Vid simulering i STEPS studeras om rutorna runtomkring varje person är upptagna eller inte. Baserat på antalet upptagna rutor beräknas sedan persontätheten. Eftersom rutorna endast kan vara antingen upptagna eller lediga kommer tätheten endast att kunna anta vissa bestämda värden. Beräkningen av persontätheten enligt denna metod blir förhållandevis enkel att genomföra, men innebär samtidigt att tätheten vid simulering inte kan bestämmas med stor noggrannhet.

I många rutnätsmodeller, t ex STEPS, är det även möjligt att simulera utrymning utan att hänsyn tas till persontäthetens inverkan på förflyttningen. I detta fall packas personerna optimalt, eftersom de alltid rör sig med sin maximala gånghastighet. Detta kommer i sin tur medföra att köer som uppstår vid öppningar kommer att bestämmas av storleken på rutorna. Detta leder till att körena bli för korta om sidlängden på rutorna satts för lågt i förhållande till den persontäthet som kan förväntas.

2.3. Partikelmodell – SIMULEX

SIMULEX är ett exempel på en partikelmodell för simulering av utrymning. Datorprogrammet och dess funktioner beskrivs i en avhandling av Thompson (1994) och dessutom i en rad vetenskapliga artiklar (Thompson & Marchant, 1995a; Thompson & Marchant, 1995b; Thompson, Wu & Marchant, 1997). En mer populärvetenskaplig beskrivning ges av IES (2006).

Datorprogrammet SIMULEX kan användas för att simulera utrymning för byggnader och konstruktioner i flera plan. Våningsplanen skapas genom att användaren importerar tvådimensionella CAD-ritningar i formatet DXF. Dessa ritningar kan sedan förbindas med trappor och länkar i programmet.

2.3.1. Byggnaden

Partikelmodeller kännetecknas av att utrymmande personer varken förflyttar sig i ett nätverk eller ett rutnät. Personerna är istället försedda med någon typ av koordinater som beskriver deras placering i byggnaden. I SIMULEX är personerna försedda med två koordinater, kallade x- och en y-koordinat, och en riktningsvinkel, kallad θ. Koordinaterna beskriver personernas position i byggnaden och vinkeln deras riktning.

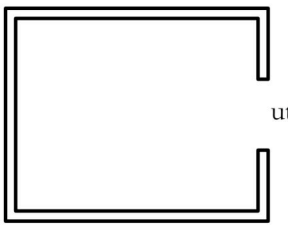
Innan en simulering inleds importeras ritningar av den aktuella byggnaden i SIMULEX. Varje våningsplan importeras var för sig och förbinds med trappor i programmet. När en trappa definieras anges dess längd och bredd. Därefter skapas länkar (*en. links*) mellan trappan och de våningsplan som den ska ansluta till. Flera våningsplan kan kopplas till samma trappa. Länkarna skapas genom att ange de våningsplan eller trappor som ska anslutas och hur bred länken ska vara. Avslutningsvis skapas utgångar, vilka personerna kommer att förflyttar sig mot vid simulering. När utgångar skapas anges bredden och det våningsplan där utgången ska finnas. Den exakta placeringen av både länkar och utgångar kan justeras i programmet.

När geometrin är definierad genererar användaren avståndskartor, vilka beskriver avstånden till närmaste utgång från samtliga positioner i byggnaden. Flera avståndskartor kan skapas i SIMULEX genom att variera de utgångar och länkar som ska vara tillgängliga vid utrymning.

En avståndskarta består av ett rutnät per våningsplan eller trappa, vilka förbinds med tidigare beskrivna länkar. Rutorna är kvadratiska med sidan 0,2 meter och innehåller ett värde. Detta värde sätts till 0 vid utgångar och ökar med avståndet från utgångarna, se figur 7. Dessutom sätts värdet till -2 för de rutor som motsvarar hinder, t ex väggar. Utifrån värdena i avståndskartan beräknas sedan den optimala vinkeln vid utrymning, kallad θ_0. I SIMULEX åskådliggörs avståndskartorna med linjer som representerar identiskt avstånd till närmaste utgång, se figur 8. Vinkeln θ_0 utgör normalen till dessa linjer och är alltså den riktning som ska följas om närmaste vägen till en utgång ska väljas. Avståndskartorna i SIMULEX används endast för att bestämma den optimala riktningsvinkeln θ_0.

När samtliga avståndskartor är beräknade placeras personer ut i byggnaden antingen en i taget eller i grupp. Vid utplaceringen tilldelas personerna automatiskt x- och y-koordinater samt en slumpmässigt utvald riktningsvinkel θ. Personerna kan förflytta sig med en viss maximal gånghastighet, vilken beror på den persontyp som valts, och dessutom är maximal rotationshastigheten, d v s ändringen av θ, definierad till 10

grader per tiondels sekund. Vid simulering kommer personerna att välja den närmaste utgången baserat på den avståndskarta de ska följa.



-2	-2	-2	-2	-2	-2
-2	4,41	3,41	2,41	1,41	-2
-2	4	3	2	1	0
-2	4,41	3,41	2,41	1,41	-2
-2	-2	-2	-2	-2	-2

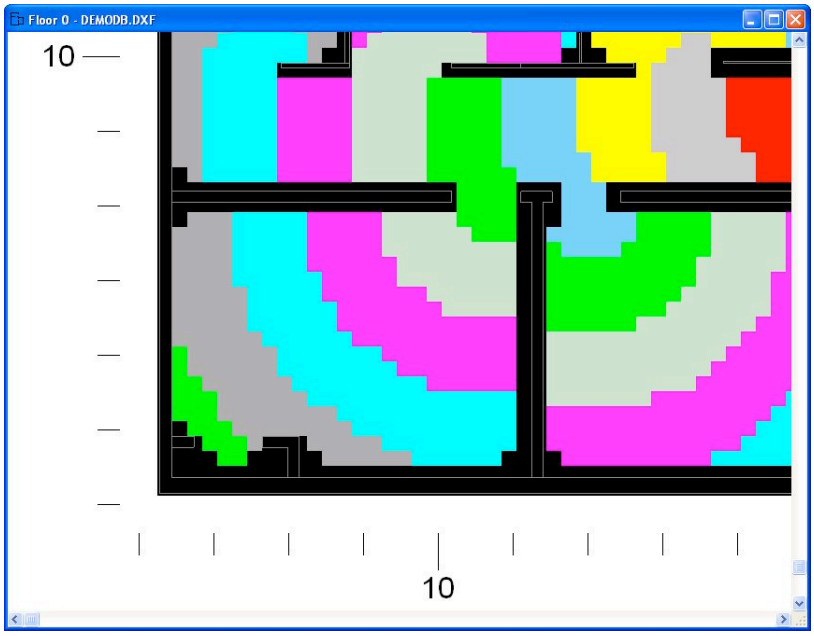
utgång

Figur 7. En schematisk bild av ett rum (tv) och avståndskartan för rummet med markerade värden i rutorna (th). I figuren är sidan på rutorna 1,0 istället för 0,2 meter.

I SIMULEX används ett tidssteg med längden en tiondels sekund. En översiktlig beskrivning av simuleringsförloppet ges av nedanstående 5 punkter:

1. De personer som ännu inte utrymt rangordnas efter avståndet till utgång.
2. Förflyttningen beräknas enligt punkt a till e för alla rangordnade personer ovan. Beräkningarna genomförs först för den person som befinner sig närmast och sist för den person som befinner sig längst ifrån en utgång.
    a. Utifrån personens placering, d v s x- och y-koordinat, och avståndskartan bestäms den optimala vinkeln θ_0. Denna vinkel motsvarar den riktning som personen eftersträvar att följa vid förflyttning.
    b. Personens hastighet anpassas för att ta hänsyn till avståndet till framförvarande personer, se avsnitt 2.3.4.
    c. Vid behov beräknas en ny önskvärd riktning för att ta hänsyn till passering av långsamma personer, se avsnitt 2.3.4.
    d. Personen förflyttar sig med sin maximala gånghastighet eller den anpassade hastigheten enligt punkt b. Vid förflyttning eftersträvas den optimala vinkeln θ_0, med hänsyn tagen till att personens riktningsvinkel θ maximalt kan ändras 10 grader per tidssteg och passering av andra personer. Om personen stöter på ett hinder anpassas förflyttningen så att avståndet till hindret alltid är minst 50 millimeter.
    e. Avslutningsvis beräknas personens nya placering, d v s x- och y-koordinat, samt nya riktningsvinkeln θ.
3. Avståndet till utgång beräknas för samtliga personer och det noteras vilka som nått en utgång, d v s befinner sig vid en ruta på avståndskartan med värdet 0.
4. Simuleringstiden uppdateras.
5. Punkt 1 till 4 upprepas tills samtliga personer har nått en utgång.

Genom ovanstående fem punkter förflyttas slutligen alla personer till någon utgång. Enligt ovan anpassas hastigheten med avseende på avståndet till andra personer, d v s till persontätheten, se avsnitt 2.3.4.



Figur 8. En avståndskarta i SIMULEX, vilken illustreras av linjer som representerar identiskt avstånd till närmaste utgång.

2.3.2. Dörröppningar

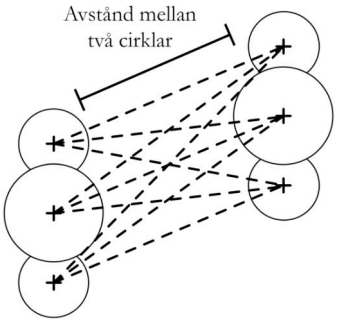
I SIMULEX förbinds enligt tidigare våningsplan och trappor med länkar. Dessa länkar utgör endast kopplingar och det går inte att definiera exempelvis ett maximalt personflöde. Dörrar inom ett våningsplan representeras av de öppningar som är inritade i de importerade CAD-ritningarna. En dörröppning utgörs endast av en lucka mellan två väggar och det går således inte att ange något flöde. Personflödet genom dörröppningar bestäms istället av personernas gånghastighet och person-tätheten vid öppningen. I programmet reduceras dessutom hastigheten som funktion av tätheten, se avsnitt 2.3.4.

2.3.3. Trappor

Enligt tidigare kan trappor användas för att koppla samman våningsplan i SIMULEX. Trappor representeras av plana långsmala korridorer där personernas förflyttar sig med långsammare hastighet. När personer går nerför trappor minskas deras maximala gånghastighet tillfälligt till 50 procent av ursprungsvärdet. På motsvarande sätt minskas hastigheten till 35 procent av ursprungsvärdet vid förflyttning uppför trappor. Dessa värden kan dock modifieras av användaren vid behov. När trapporna skapas anges bredden och längden på den korridor som ska motsvara trappan.

2.3.4. Persontäthet och förflyttning

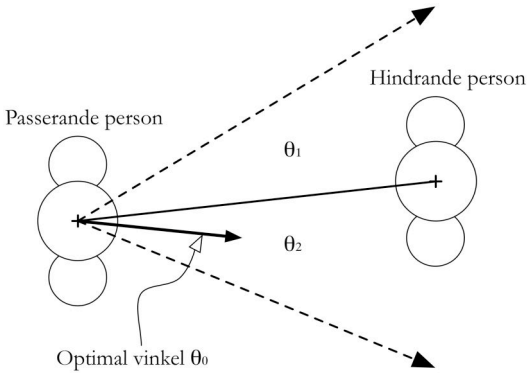
I SIMULEX reduceras gånghastigheten som funktion av avståndet till fram-förvarande personer, vilket är en funktion av persontätheten. Personerna representeras av tre cirklar som motsvarar bålen och två axlar, se figur 9. Storleken på dessa cirklar beror på personens kroppsstorlek, vilket i sin tur definieras av den persontyp som valts. Vid beräkning av avståndet mellan två personer beräknas först de nio avstånden mellan personernas tre cirklar, se figur 9. Det minsta av dessa nio avstånd representerar avståndet mellan personerna.



Figur 9. Två personer och de nio beräknade avstånden mellan cirklarna.

Enligt tidigare beräknas förflyttningen för en person i taget vid simulering, se avsnitt 2.3.1. Innan en person förflyttar sig kontrolleras det om det finns andra personer framför. Om någon person befinner sig mindre än 1,6 meter framför reduceras gånghastigheten. Reduceringen bestäms utifrån ett empiriskt framtaget förhållande mellan gånghastigheten och avståndet mellan personer.

I SIMULEX kan personer även gå förbi andra som förflyttar sig långsammare. Passering är dock endast möjlig om persontätheten är lägre än 2 personer per kvadratmeter. Innan en passering genomförs beräknas två riktningsvinklar, kallade θ_1 och θ_2, vilka innebär att den hindrande personen passeras med en marginal på 50 millimeter, se figur 10. Om personen kan förflytta sig med högre hastighet genom att gå om den hindrande personen passeras denne. I det fall både θ_1 och θ_2 leder till högre gånghastighet väljs den vinkel som medför minst avvikelse från den optimala vinkeln θ_0.



Figur 10. Passering av person i SIMULEX

2.3.5. Fördröjningstid

Fördröjningstiden kan definieras på tre olika sätt när personer skapas i SIMULEX. Tiden definieras antingen som en likformig fördelning, en triangelformad fördelning eller en normalfördelning. När en person placeras ut väljs tiden slumpmässigt utifrån den fördelning som definierats.

2.3.6. För- och nackdelar

Den absolut största fördelen med partikelmodeller är att personerna inte begränsas av något nätverk eller rutnät, utan att de kan förflytta sig fritt i byggnaden. Detta innebär i sin tur att beskrivning av personers förflyttning blir mer realistisk, vilket i förlängningen potentiellt kan leda till mer tillförlitliga simuleringar. Eftersom personerna är försedda med koordinater som beskriver deras position är det

dessutom möjligt att med stor noggrannhet beräkna avståndet mellan personer och mellan en person och ett hinder. Denna information är värdefull eftersom funktioner kan kopplas till de framräknade avstånden. Exempelvis kan avståndet mellan personer användas för att reducera gånghastigheten.

En fördel med befintliga partikelmodeller, t ex SIMULEX, är att användaren behöver lägga ner förhållandevis lite arbete på att definiera geometrin. I SIMULEX skapas bygganden genom att våningsplan importeras från CAD-ritningar och förbinds med trappor och länkar. Inga interna dörrar behöver definieras för våningsplanen, vilket innebär att användaren inte själv behöver uppskatta personflödet genom öppningar. Personflödet bestäms istället av gånghastigheten och persontätheten. Hastigheten beror dessutom av persontätheten i programmet. Eftersom användaren förlitar sig på simuleringsprogrammet är det dock viktigt att programmet bygger på giltiga antaganden och dessutom är ordentligt validerat.

I partikelmodeller kan personerna röra sig förhållandevis fritt i byggnaden eftersom de är försedda med koordinater som beskriver deras position. Detta innebär dock att det kan uppstå konflikter vid förflyttning när två eller flera personer möts. Om två personer exempelvis kommer till en trång passage samtidigt finns det risk att de blockerar varandras förflyttning. Orsaken till detta fenomen är de restriktioner om minimiavstånd mellan personer samt mellan personer och hinder som finns i partikelmodeller. Detta problem har bland annat påpekats av Thompson, Wu och Marchant (1997) som föreslår en lösning som innebär att personerna vrider på kroppen och förflytta sig i sidled när ett stopp uppstår vid simulering. Ovanstående konflikter uppstår inte i rutnätsmodeller eftersom förflyttning endast kan ske mellan väldefinierade rutor och dessutom bara till rutor som är tomma, d v s inte innehåller någon annan person.

3. Sammanfattande analys och introduktionen av ett framtida datorprogram

3.1. Generellt om de tre angreppssätten

Den genomgång av nätverks-, rutnäts- och partikelmodeller som genomförts i denna studie visar tydligt att samtliga angreppssätt har både för- och nackdelar. Samtliga studerade angreppssätt innebär en förenklad beskrivning av förflyttning vid utrymning. Störst förenklingar genomförs för nätverksmodeller, där personernas rörelsemönster bestäms av det nätverk som konstrueras i datorprogrammet. Detta ställer krav på att möjliga vägar som kan väljas vid utrymning representeras korrekt. För stora byggnader med många utgångar och öppen planlösning kan det dock vara svårt att skapa ett representativt nätverk. Däremot är nätverkmodeller sannolikt mer lämpliga för komplexa utrymningsmiljöer med få möjliga utgångar. Begreppet komplex innebär i detta sammanhang att utrymmet är svårorienterbart och innehåller många hinder och svåra passager, t ex stegar och slussar. Ett exempel på en sådan miljö är reaktorinneslutningen i ett kärnkraftverk där personer vistas i samband med underhållsarbete (Frantzich och Nilsson, 2004). Reaktorinneslutningar kännetecknas av att antalet möjliga gångvägar inne i och ut ur utrymmet är begränsat, vilket medför att ett nätverk utgör en rimlig representation. Vid utrymning från komplexa utrymningsmiljöer måste personer ofta ta sig förbi svåra passager. Några vanliga exempel är slussar, trappor och kryphål. Denna typ av passager kan sannolikt representeras förhållandevis enkelt av noder och kopplingar i ett nätverk, vilket ytterligare talar för användningen av nätverksmodeller för komplexa utrymnings-miljöer.

Eftersom nätverksmodeller innebär stora förenklingar är det ofta svårt att ta hänsyn till persontäthetens inverkan på gånghastigheten. Detta beror främst på att personers exakta position i byggnaden inte modelleras korrekt. Av denna anledning anses det mest lämpligt att enbart använda nätverkmodeller när låga persontätheter kan förväntas eller då tätheten är av underordnad betydelse för utrymningsförloppet. Ett exempel på det senare fallet är när utrymningen främst bestäms av begränsande passager, t ex slussar eller stegar, där personer tvingas vänta i kö.

Rutnätsmodeller innebär också en relativt förenklad beskrivning av förflyttning. I modellerna representeras byggnaden av rutnät där varje ruta kan innehålla maximalt en person. Detta antagande innebär i sin tur att antalet möjliga positioner är begränsat. I många situationer är denna representation av byggnaden fullt tillräcklig, men i vissa fall utgör den en inskränkning. Den tydligaste begränsningen är att rutnätet bestämmer den maximala persontätheten vid utrymning. Om varje ruta är 0,5 gånger 0,5 meter, så kommer persontätheten maximalt att uppgå till fyra personer per kvadratmeter. Denna persontäthet kommer i sin tur att påverka sådana faktorer som längden på köer.

Eftersom personerna befinner sig i ett rutnät i rutnätsmodeller är det ofta svårt att skatta persontätheten. I många program, t ex STEPS, baseras uppskattningen av tätheten på antalet angränsande rutor som innehåller personer. Eftersom denna uppskattning är förknippad med osäkerheter kan det vara riskabelt att reducera gånghastigheten som funktion av persontätheten. Det är därför sannolikt bättre att endast definiera utgångar med ett maximalt personflöde och ignorera inverkan av tätheten. Om ett lämpligt flöde anges kommer den totala utrymningstiden att bli rimlig även om längden på köer vid utgångar kan bli missvisande.

Partikelmodellen är den mest sofistikerade typen av modell eftersom den innebär den minst förenklade beskrivningen av förflyttning vid utrymning. I modellerna begränsas personerna varken av ett nätverk eller ett rutnät, utan de kan röra sig fritt i byggnaden. Detta innebär i sin tur att avståndet mellan personer, vilket är relaterat till persontätheten, kan uppskattas med stor noggrannhet. Detta avstånd kan sedan användas för att uppskatta reduceringen av gånghastigheten vid förflyttning. I programmet SIMULEX används exempelvis ett empiriskt framtaget förhållande mellan gånghastigheten och avståndet till personer framför.

I partikelmodeller behöver oftast inget personflöde definieras för dörröppningar eftersom hastigheten kan reduceras som funktion av persontätheten eller avståndet till andra personer. Flödet genom öppningar bestäms istället av personernas hastighet och tätheten. Om persontätheten är hög kommer personerna att röra sig långsamt samtidigt som många kommer att kunna passera genom den aktuella dörröppningen. Omvänt gäller att om persontätheten är låg så kommer personerna att förflytta sig fort samtidigt som få kommer att kunna passera. I slutändan innebär detta att det maximala flödet genom öppningen förblir relativt konstant oberoende av hur hårt personerna packas, vilket är det antagande som görs när ett personflöde definieras i nätverks- och rutnätsmodeller. Hanteringen av dörröppningar är således mer realistisk i partikelmodeller, eftersom det i verkligheten kan förväntas att flödet genom öppningar bestäms av just gånghastigheten och persontätheten. I vissa specifika fall kan det dock vara nödvändigt att ange ett personflöde genom öppningar i partikelmodeller. Exempelvis kan det vara svårt att direkt simulera utrymning genom fönsteröppningar och i detta fall är det därför önskvärt att istället ange ett flöde. Även om persontätheten eller avståndet till andra oftast kan användas för att bestämma personflödet, så finns det alltså specialfall då det är önskvärt att användaren själv anger flödet för öppningar.

3.2. Förslag på utformning av ett framtida datorprogram

Baserat på genomgången av de tre angreppssätten rekommenderas att framtida utrymningsprogram utformas som partikelmodeller. Anledningen till denna rekommendation är att partikelmodellerna innebär den minst förenklade beskrivningen av förflyttning vid utrymning. Personernas förflyttning begränsas varken av ett nätverk eller ett rutnät, utan de är istället försedda med koordinater som beskriver deras position. Denna precisa beskrivning av placeringen i byggnaden innebär att avståndet mellan personer och hinder samt mellan personer kan bestämmas med stor noggrannhet. Dessa framräknade avstånd kan användas för att modellera personers inverkan på varandra, men även potentiellt hinders påverkan på förflyttningen.

I nedanstående avsnitt ges ett förslag på hur ett framtida utrymningsprogram kan utformas. Förslaget baseras på genomgången av de tre angreppssätten samt de för- och nackdelar som identifierats i studien. Avsnitten nedan utgör inte någon komplett beskrivning av ett utrymningsprogram, utan endast vissa aspekter har behandlats. Målet är dock att beskrivningen ska kunna användas som utgångspunkt vid utveckling av ett framtida program.

3.2.1. Byggnaden

Ett framtida utrymningsprogram bör enligt tidigare utformas som en partikelmodell, vilket innebär att personerna är försedda med koordinater som beskriver deras position. I likhet med programmet SIMULEX förses lämpligen personerna med en x- och y-koordinat samt en riktningsvinkel θ, se avsnitt 2.3.1, men även andra typer av koordinatbeskrivningar är möjliga, t ex polära koordinater. Dessutom måste varje

person förses med en maximal ohindrad gånghastighet. När personer skapas är det lämpligt att maximihastigheten antingen sätts konstant eller väljs utifrån en sannolikhetsfördelning som anges av användaren. Varje person bör dessutom förses med en kroppsstorlek, som beskriver hur stora de är. I programmet kan personerna exempelvis representeras cirklar på samma sätt som i SIMULEX, d v s en cirkel som motsvarar bålen och två som motsvarar axlarna. Denna representation är förhållandevis realistisk och medför samtidigt att avståndet mellan personer är lätt att beräkna, se avsnitt 2.3.4. För att utöka användbarheten av programmet bör även andra kroppsformer vara möjliga att använda. Exempel på persontyper som kan ingå är rullstolsburna personer, personer med rollator och personer med ryggsäck.

För att ett framtida program ska bli användarvänligt bör ritningar av våningsplan kunna importeras. Flera format på ritningar är tänkbara, men lämpligen ska CAD-ritningar vara möjliga att använda. Vid import av ritningar bör hinder, t ex väggar, sparas i programmet. Dessa hinder ska förses med koordinater som beskriver deras position i byggnaden. Exempelvis kan en vägg representeras av en linje med x- och y-koordinater för startpunkt och slutpunkt. Fördelen med att hindrena sparas på ovanstående sätt är att det blir lätt att beräkna avstånden mellan personer och hinder. Dessa avstånd kan sedan användas för att anpassa personers förflyttning vid simulering, d v s för att undvika att personerna går för nära hinder.

I programmet måste det vara möjligt att koppla ihop våningsplan med dörröppningar och trappor, se avsnitt 3.2.2 och 3.2.3. Dessutom måste användaren kunna skapa utgångar som leder till säker plats, d v s utgångar som personerna rör sig mot vid utrymning. För att styra förflyttning kan exempelvis vektorfält i planet användas. Ett vektorfält i planet kan sägas utgöras av ett rutnät där varje ruta innehåller en vektor, vilken har en viss riktning och längd. Vektorerna ska peka i den riktning som medför kortast väg till en utgång och har således stora likheter med den optimala riktningsvinkel θ_0 som beräknas i SIMULEX, se avsnitt 2.3.1. Vid simulering undersöks först den aktuella personens koordinater, vilka används för att identifiera var i vektorfältet han eller hon befinner sig. Därefter beräknas den vinkel som personen ska eftersträva att följa vid förflyttning utifrån vektorns riktning på den aktuella positionen, d v s för de rutor där personen befinner sig. Olika storlekar på rutorna i vektorfältet måste undersökas för att finna en lämplig storlek och dessutom måste en metod för beräkning av vektorfält i planet tas fram.

Enligt tidigare har varje vektor en vinkel och en längd. Längden på vektorn kan potentiellt användas för att modifiera personernas gånghastighet. Detta gör det möjligt att anpassa hastigheten beroende på lokala förhållanden där personen befinner sig. Exempelvis hade hastigheten kunnat reduceras i vissa delar av en byggnad, t ex för lutande plan. Vid simulering undersöks först den aktuella personens koordinater, vilka används för att identifiera var i vektorfältet han eller hon befinner sig. Därefter ökas eller minskas personens gånghastighet med hänsyn tagen till längden på vektorerna vid de aktuella koordinaterna.

Vid simulering i programmet genomförs lämpligen beräkningar av förflyttningen för en person i taget varje tidssteg. Längden på tidssteget anges inte denna rapport, utan bestäms istället i samband med utvecklingen av programmet. I likhet med SIMULEX kan beräkningarna genomföras enligt ett väldefinierat förlopp, se punkt 2a till 2e i avsnitt 2.3.1. Vid beräkningarna måste hänsyn tas till avståndet till andra, se avsnitt 3.2.4, och avståndet till hinder. Ett problem som kan uppstå vid simulering med partikelmodeller är att det uppstår konflikter vid förflyttning, se avsnitt 2.3.6. Dessa konflikter är orealistiska och kan bidra till att personernas förflyttning hindras. Av

denna anledning bör en konfliktmodell införas i programmet. Modellen bör se till att en av personerna får företräde när två personer möts eller är på väg åt samma håll.

En svaghet med SIMULEX är att personerna alltid rör sig med maximal gånghastighet om detta är möjligt, d v s ingen anpassning av hastigheten sker när personer närmar sig hinder. I en verklig situation är det istället troligt att personer planerar sin förflyttning i viss utsträckning. Om man närmar sig en skarp böj, och dessutom ser denna böj, är det troligt att hastigheten anpassas för att göra det lättare att svänga. På samma sätt är det möjligt att personer som ser en lång kö vid en utgång anpassar sin hastighet långt innan han eller hon nått fram till kön. Denna typ av beteenden bör modelleras i ett framtida utrymningsprogram. Vid beräkning av förflyttning i programmet bör därför hänsyn tas till att hastigheten anpassas till både hinder och andra. Personerna i programmet måste alltså förses med någon typ av fjärrseende eller syn, så att de tidigt kan identifiera t ex skarpa riktningsändringar, trappor och köbildningar. Idag är dock kunskapen om anpassningen av gånghastigheten vid utrymning begränsad, varför framtida forskning bör inriktas på att studera detta fenomen. Lämpligen genomförs försök i syfte att mer ingående studera personers rörelsemönster i anslutning till olika typer av hinder. Resultaten från sådana försök kan sedan användas i ett framtida utrymningsprogram.

3.2.2. Dörröppningar

I partikelmodeller utgörs dörröppningar av luckor mellan väggar, vilket innebär att inget personflöde definieras, se avsnitt 2.3.2. Vid simulering bestäms istället flödet av personernas gånghastighet och persontätheten vid öppningen. Hastigheten kan i sin tur bestämmas utifrån avståndet till framförvarande personer, vilket är en funktion av tätheten. För de flesta normala dörröppningar är detta antagande lämpligt och medför att flödet uppskattas automatiskt vid simulering. Av denna anledning bör ovanstående angreppssätt användas i ett framtida utrymningsprogram.

I vissa fall kan det dock vara svårt att direkt simulera förflyttning genom en öppning, t ex vid utrymning genom en fönsteröppning. I detta fall bestäms sannolikt inte personflödet av gånghastigheten och tätheten vid fönstret. För denna typ av öppning kan det istället vara lämpligt att ange ett flöde uttryckt i personer per tidsenhet. I programmet måste det därför även vara möjligt att skapa öppningar för vilka ett personflöde kan anges. Om denna typ av utgångar används är det dock viktigt att säkerställa att reduceringen av hastigheten på grund av persontätheten inte medför att det angivna flödet reduceras.

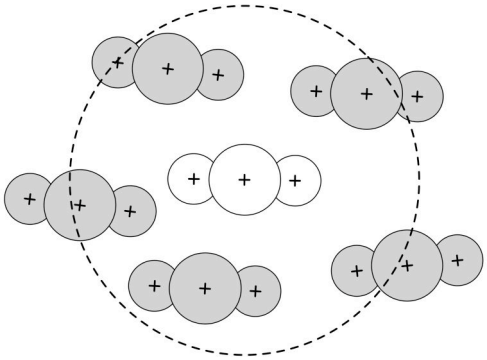
3.2.3. Trappor

I ett framtida program måste det även vara möjligt att koppla samman våningsplan med trappor. För dessa trappor kan hasigheten reduceras för att ta hänsyn till om personer går uppför eller nerför. Denna reducering måste bygga på försök där flödet i trappor har undersökts. I denna rapport anges inga värden på reduceringen, utan dessa måste uppskattas i samband med utveckling av programmet. I trappor bör även hänsyn tas till att hastigheten reduceras som funktion av persontätheten eller avståndet till framförvarande personer.

3.2.4. Persontäthet och förflyttning

En stor fördel med partikelmodeller är att avståndet mellan personer kan bestämmas med stor noggrannhet vid simulering. Detta avstånd, vilket är en funktion av persontätheten, kan enligt tidigare användas för att reducera gånghastigheten vid förflyttning. I ett framtida utrymningsprogram bör hastigheten reduceras som

funktion av antingen avståndet till andra eller persontätheten. Däremot är det inte nödvändigt att använda den metod som utnyttjas i SIMULEX, d v s att enbart ta hänsyn till avståndet till närmaste person framför. I programmet kan hänsyn istället tas både till andra som är framför, sidan om och bakom. Alternativt kan tätheten uppskattas genom att antalet personer som befinner sig inom ett område runt den aktuella personen beräknas, se figur 11. Ett annat mått på persontätheten är andel av områdets area som utnyttjas. I figur 11 motsvarar andelen den del av arean inom den streckade cirkeln som upptas av personer. Denna andel motsvarar ett mått på persontätheten som i viss utsträckning tar hänsyn till att personerna kan vara olika stora. Oavsett vilket mått på avståndet eller persontätheten som används är det viktigt att ett lämpligt förhållande till gånghastigheten används. Av denna anledning rekommenderas att fler experiment genomförs i syfte att undersöka hur hastigheten reduceras när persontätheten ökar. Dessa experiment bör genomföras både för passage genom dörröppningar samt uppför och nerför trappor.



Figur 11. Persontätheten kan uppskattas genom att beräkna antalet andra personer (grå) som befinner sig inom ett visst område runt den aktuella personen (vit).

3.2.5. Fördröjningstid

I ett framtida utrymningsprogram bör fördröjningstiden vara möjlig att ange. Lämpligen ska det gå att ange tiden som en konstant eller en sannolikhetsfördelning. I de fall en fördelning används väljs den aktuella personens fördröjningstid utifrån fördelningen innan simulering inleds.

Tidigare studier har visat att personer påverkas av andra när de ska fatta beslut om att utrymma (Latané och Darley, 1970). Denna påverkan, vilken kallas social påverkan, är i många fall mycket betydelsefull, men beaktas sällan i utrymnings-program (Nilsson, 2006). Nilsson (2006) har föreslagit en metod för uppskattning av den så kallade besluts- och reaktionstiden med hjälp av social påverkan. Metoden bygger på att personer representeras av interagerande agenter i ett datorprogram. Interaktionen består av att agenterna studerar vad andra runtomkring dem gör. Beteckningen agent används i vissa sammanhang för att exempelvis representera en person som har vissa specifika egenskaper, ofta kopplade till andra agenters egenskaper eller omgivningen.

Om en agent börjar utrymma kommer dennes grannar att påverkas med en viss sannolikhet. När dessa grannar reagerar påverkar de i sin tur sina grannar och det uppstår en kedjereaktion som slutligen leder till att alla utrymmer. I dagsläget saknas experimentell data för att utveckla metoden, men i framtiden bör det eftersträvas att även simulera fördröjningstiden. Vid simulering bör hänsyn bland annat tas till social påverkan.

3.2.6. Förflyttning i grupper

Tidigare utrymningförsök har visat att det i vissa fall uppstår grupper vid utrymning trots att personerna inte känner varandra på förhand (Frantzich, 2001). Vid utrymning tvekar personer inledningsvis, varefter de samlas i mindre grupper. I dessa grupper förankras beslut om lämpligt agerande och personerna utrymmer därefter tillsammans. Dessutom kan det i vissa utrymningssituationer finnas grupper som redan från början utrymmer tillsammans och som ogärna vill skiljas från varandra, t ex familjer. Gruppbeteende anses betydelsefullt för utrymningsförloppet och bör därför beaktas i ett framtida utrymningsprogram. Idag är dock kunskapen om när och varför dessa grupper bildas otillräcklig. Gruppbildningsbeteendet borde därför undersökas närmre genom att studera människors beteende vid oannonserade utrymningsförsök. I dessa försök bör det även studeras hur stora grupperna blir och om grupperna kan slås ihop till större enheter under utrymningsförloppet.

3.3. Ytterligare aspekter på det framtida datorprogrammet

Beskrivningen i föregående avsnitt anger hur ett framtida datorprogram skulle kunna byggas upp. Beskrivningen innehåller dock endast de beståndsdelar som anses nödvändiga för att erhålla en fungerande grundmodell. I många fall kan det dock vara intressant att simulera utrymning från speciella miljöer, t ex höga byggnader (med utrymning via hiss) eller tunnlar. I dessa fall krävs att grundmodellen utvecklas för att ta hänsyn till speciella utrymningssituationer. Exempelvis kan det ursprungliga programmet på sikt utvecklas så att hänsyn kan tas till

1. Utrymning i tunnelmiljöer, d v s förflyttning från tåg till perrong, förflyttning från tåg till rälsnivå, förflyttning från rälsnivå till perrong, utrymning från perrong med tåg etc
2. Utrymning via hissar
3. Rörliga hinder, t ex kundvagnar och stolar, som kan förflyttas med strömmen av människor och försvåra utrymning
4. Personer med olika funktionshinder

Förutom ovanstående utvecklingar bör även toxicitetsberäkningar på sikt inkluderas i programmet. Dessa beräkningar ska lämpligen baseras på utdata från CFD-modeller.

För att ett utrymningsprogram ska användas krävs att det är användarvänligt och att simuleringsresultaten kan visualiseras. När en fungerande grundmodell har tagits fram bör därför en pre- och en post-processor utvecklas. I pre-processorn ska indata läggas in, vilket sedan används av simuleringsprogrammet. Exempelvis bör användaren kunna lägga in våningsplanen genom att importera ritningar, t ex CAD-ritningar, och enkelt kunna placera ut personer med hjälp av pre-processorn. Simuleringsresultaten ska kunna visualiseras i post-processorn, vilket lämpligen görs med videosekvenser som visar utrymningsförloppet. Dessutom bör post-processorn även kunna skapa detaljerade grafer och tabeller som beskriver personernas placering i byggnaden som funktion av tiden. Denna typ av detaljerad information underlättar analysarbetet när programmet valideras.

Referenser

Alvord, D.M. (1985) *Status report on the Escape and Rescue Model and the Fire Emergency Evacuation Simulation for Multifamily Buildings*, Washington: the American Institute of Architects Foundation

Boverket (2002) *BBR, Boverkets byggregler, BFS 1993:57 med ändringar tom BFS 2002:19*, Karlskrona: Boverket

Buchanan, A. (1994) *Fire Engineering Design Guide*. Christchurch: University of Canterbury

Combustion Science & Engineering Inc. (2007, 23 maj) International Survey of Computer Models for Fire and Smoke – Egress Models, hämtad 23 maj 2007 kl. 22.19 från http://www.firemodelsurvey.com/EgressModels.html

Epstein, J. M. & Axtell, R. (2000) Artificiella samhällen – Samhällsvetenskap nerifrån och upp. Stockholm: SNS Förlag

Frantzich H. (2001) *Tid för utrymning vid brand*, P21-365/01, Karlstad: Räddningsverket

Frantzich, H. (2005a). Utrymningsförlopp och mänskligt beteende vid brand. i Jönsson, R., Bengtsson, S. & Frantzich, H. (Eds.) *Brandskyddshandboken,* Rapport 3134, Lund: Brandteknik, Lunds tekniska högskola.

Frantzich, H. (2005b) *Användning av modeller för projektering av brandsäkerhet - Sammanställning av enkätsvar*, Arbetsdokument, Lund: Brandteknik, Lunds tekniska högskola

Frantzich, H. & Nilsson, D. (2004) Utrymningsförsök i reaktorinneslutningen i Ringhals 2. Rapport 7020, Lund: Brandteknik, Lunds tekniska högskola

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

Galea, E.R., Gwynne, S., Lawrence, P.J., Filippidis, L., Blackshields, D. & Cooney, D. (2004) *buildingEXODUS V4.0 – Users guide and technical manual*. London: Fire Safety Engineering Group, University of Greenwich

IES (2006) *Simulex – simulation of occupant evacuation*, Glasgow: Integrated Environmental Solutions Ltd.

International Fire Engineering Guidelines (2005) Australian Government, State and Territories of Australia

Kisko, T.M., Francis, R.L., & Nobel, C.R. (1998) Evacnet4 User's guide, Gainesville: University of Florida

Krigsman, Nilsson & Wahlström (2002) *Kemiskafferiet modul 1, kemiteori - Luft och andra gaser,* (hämtat från http://www.skolutveckling.se den 2 oktober 2007 kl. 12.24), Skolverket

Latané B. & Darley L. (1970) *The unresponsive bystander: Why doesn't he help?* New York: Meredith Corporation

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

Nilsson, D. (2006) *En modell av det inledande utrymningsförloppet*, Rapport 3138, Lund: Brandteknik, Lunds tekniska högskola

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

Sime, J. (1985) Movement towards the familiar - person and place affiliation in a fire entrapment setting. *Environment and Behaviour*, 17(6), pp. 697-724.

Thompson, P.A. (1994) *Developing new techniques for modelleing crowd movement*, Edinburgh: University of Edinburgh

Thompson, P.A. & Marchant, E.W. (1995a) Computer and fluid modelling och evacuation, *Safety Science*, 18(4), 277-289

Thompson, P.A. & Marchant, E.W. (1995b) A Computer Model for the Evacuation of Large Building Populations, *Fire Safety Journal*, 24(2), 131-148

Thompson, P., Wu, J. & Marchant, E. (1997) Simulex 3.0: Modelling Evacuation in Multi-Storey Buildings, *Fire Safety Science – Proceedings of the Fifth International Symposium*, 725-7