



# LUND UNIVERSITY

## Utrymningsvägars fysiska kapacitet. Sammanställning och utvärdering av kunskapsläget

Frantzich, Håkan

1992

[Link to publication](#)

*Citation for published version (APA):*

Frantzich, H. (1992). *Utrymningsvägars fysiska kapacitet. Sammanställning och utvärdering av kunskapsläget.* (LUTVDG/TVBB--3069--SE; Vol. 3069). Department of Fire Safety Engineering and Systems Safety, Lund University.

*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

**Lund University · Sweden**  
**Institute of Technology**  
**Department of Fire Safety Engineering**  
ISSN 1102-8246  
ISRN LUTVDG/TVBB--3069--SE

Brandteknik  
Lunds Tekniska Högskola  
Biblioteket

**Håkan Frantzich**

## **Utrymningsvägars fysiska kapacitet**

**Sammanställning och utvärdering av kunskapsläget**

Utredningen finansierad av BRANDFORSK

**Lund, januari 1993**



# 1 Innehållsförteckning

Abstract	1
1 Innehållsförteckning	2
2 Sammanfattning	5
3 Bakgrund till rapporten	6
3.1 Utrymningsväg	6
3.2 Syfte	7
4 Gällande föreskrifter	8
4.1 Huvudkrav	8
4.2 Antal utrymningsvägar	8
4.3 Avstånd till och i utrymningsväg	8
4.4 Framkomlighet	9
4.5 Fönster som utrymningsväg	9
4.6 Dörrar	10
4.7 Vägledande markeringar	10
4.8 Belysning	10
4.9 Kommentarer till föreskrifterna	10
5 Dimensionering av utrymningsvägar	12
5.1 Utrymningsforskningen	12
5.2 Människors förflyttning	13
5.3 Flödesmodeller	13
5.4 Persontäthet	14
5.5 Gånghastighet och personflöde	14
6 Genomförda undersökningar	16
6.1 Togawa	16
6.1.1 Förutsättning	16
6.1.2 Hastighet och flöde	16
6.2 Predtetschenski och Milinski	21
6.2.1 Förutsättning	21
6.2.2 Gånghastighet	23
6.2.3 Dörröppningar	24

6.3	Fruin	25
6.3.1	Förutsättning	25
6.3.2	Servicenivåer	26
6.3.3	Trappor	27
6.3.4	Horisontella gångar	29
6.3.5	Dörröppningar	30
6.3.6	Fruins rekommendationer	31
6.4	Melinek och Booth	32
6.5	Dahlstedt	34
6.6	Pauls	35
6.6.1	Förutsättning	35
6.6.2	Effektiva bredden	35
6.6.3	Trappor	39
6.6.4	Fördröjningstid	40
6.6.5	Trappans utformning	41
6.6.6	Dörröppningar	42
6.7	Kvarnström och Eriksson	43
6.7.1	Kontrollerade försök	43
6.7.2	Handledare	45
6.7.3	Utrymningsövning	45
6.8	Khisty	46
6.8.1	Förutsättning	46
6.8.2	Resultat	46
6.9	Hallberg och Nyberg	48
6.10	Rök och mörker	50
7	Sammanställning och kommentarer	55
7.1	Inledning	55
7.2	Speciella iakttagelser	58
7.3	Nedför trappor	60
7.4	Horisontellt underlag	64
7.5	Uppför trappor	67
7.6	Dörröppningar	69
7.7	Påverkan av rök och mörker	71
7.8	Äldre personer	72

8 Fortsatta studier	73
9 Referenser	74
Bilagor	



## 2 Sammanfattning

De grunder på vilka utrymningsvägar traditionellt sett dimensioneras efter har inte förändrats i någon större utsträckning de senaste decennierna. Detta till trots att brandförloppen blivit snabbare i takt med att nya annorlunda material används vid ny- och ombyggnad. För att kunna dimensionera utrymningsvägar på ett relevant sätt krävs tillgång till bland annat information om hur fort människor går i olika situationer. Denna rapport redovisar den tillgängliga kunskapen inom området för personförflyttning i utrymningssituationer.

De främsta personerna som refereras är Togawa, Predtetschenski och Milinski, Fruin, Pauls och Khisty vilka gjort omfattande undersökningar för att studera hur fort människor går i givna situationer. Rapporten redovisar också på ett enkelt sätt hur gånghastigheter och personflöden beräknas för olika typer av förbindelser. Slutligen görs en sammanställning av undersökningarna där dessa jämförs inbördes för att på så sätt se vilka likheter och skillnader som finns. Gånghastigheter som kan användas vid dimensioneringen av utrymningsvägar, som inte är rökfyllda, är för horisontell förbindelse 0.8-1.2 m/s, för nedåtriktad trafik i trappa 0.5-0.8 m/s, för uppåtriktad trafik i trappa 0.4-0.6 m/s och för en dörröppning kan ett personflöde på ca 0.7-1 person per meter och sekund vara tillfredsställande. Stora skillnader observeras mellan enskilda individer samt om hänsyn tas till persontätheten och om individerna dessutom utsätts för brandrök.

För dörröppningar framkommer det belägg för att det är kapacitetsmässigt mer fördelaktigt att ha ett färre antal breda utrymningsvägar jämfört med ett större antal smalare, även om den sammanlagda bredden är densamma.

Denna rapport är utförd vid institutionen för brandteknik vid Lunds tekniska högskola och finansierad av Styrelsen för Svensk Brandforskning, Brandforsk som är statens, kommunernas och näringslivets gemensamma organ för att initiera, bekosta och följa upp olika slag av brandforskning. Projektets benämning är H 53d: Fysisk utrymningskapacitet i utrymningsvägars öppningar - Sammanställning och utvärdering av kunskapsläget.





### 3 Bakgrund till rapporten

En byggnad som idag uppförs skall enligt plan och bygglagen ge ett tillfredsställande skydd mot personskador vid brand. Att förse den med utrymningsvägar kan ses som ett sätt att uppfylla detta krav, vilket dessutom ett av de viktigare sätten enligt plan och bygglagens tillämpningsföreskrift NR /1/ för att personsäkerheten skall anses vara tillfredsställande.

För de flesta byggnader är det nödvändigt att redan i projekteringsstadiet ta hänsyn till var utrymningsvägarna ska ligga och hur de ska vara dimensionerade. Det är en mängd olika faktorer som påverkar en byggnads utrymningssäkerhet och i lagar och föreskrifter finns vissa regler angivna som för den specifika byggnaden måste uppfyllas. Ett exempel på detta kan vara att utrymningslarm skall vara installerat i vårdanläggningar. Andra faktorer som är avgörande för om en utrymning kan förväntas bli framgångsrik vid ett brandtillbud är om vägledande markeringar finns monterade, av vilken typ de är och i vilken omfattning de finns. Det som generellt gäller för alla typer av byggnader är att utrymningsvägar skall finnas i sådan omfattning att en utrymning kan ske på ett betryggande sätt.

För att kunna dimensionera utrymningsvägarna på ett för byggnadskategorin bra sätt krävs att man har tillgång till riktiga ingångsvärden. Det kan vara i form av acceptabla värden på strålning, rök- och gaspåverkan etc från den dimensionerande branden, förmåga att uppfatta information från utrymningslarm eller vägledande markeringar gällande för den aktuella personkategorin. Annan nödvändig information i utrymningssammanhang är att veta hur fort de som ska utrymma en byggnad kan förväntas gå och därmed vilka personflöden som uppnås i utrymningsvägarna. Det är om detta senare som föreliggande rapport ska försöka belysa.

Det är dock viktigt att som arkitekt, konstruktör, projektör eller slutanvändare av en byggnad, känna till att det är flera faktorer än bara gånghastighet, personflöde och brandförlopp som påverkar utrymningssäkerheten i en byggnad.

#### 3.1 Utrymningsväg

Det kan så här i början vara på sin plats att definiera vad som är utrymningsväg enligt svensk tolkning. Med utrymningsväg avses dels utgång direkt till gata eller motsvarande, eller utgång till terrass, gårdsplan e d varifrån gata eller motsvarande lätt kan nås, dels utrymme i byggnad som leder från brandcell till sådan utgång. Definitionen är enligt TNC 89 /2/. Utgången kan utgöras av dörr, port eller liknande och under vissa förutsättningar av fönster. Utrymningsväg i en byggnad är alltid

utformad som en egen brandcell och bör normalt inte vara plats för någon verksamhet.

Korridorer och andra förbindelser inom en brandcell är normalt inte utrymningsväg och styrs inte av föreskrifterna för utrymningsvägar på annat sätt än att lokalerna skall kunna utrymmas innan en brand fått för stor omfattning. Breddmått och liknande för dessa förbindelser styrs av kraven på tillgänglighet. Ett undantag är samlingslokaler där föreskrifter finns vad avser gångar inom den aktuella brandcellen vilka har utrymningssäkerhet som motiv. Dessa gångar kallas då utrymningsgångar för att skiljas från utrymningsvägar.

### 3.2 Syfte

Denna rapport har som huvudsyfte att redovisa olika forskningsresultat där personers gånghastighet och personflödet för olika förbindelser varit det primära intresset att studera. För att på ett rationellt sätt kunna dimensionera utrymningsvägars längd och bredder är det nödvändigt att veta hur fort olika typer av personer går och vilka förhållanden som påverkar denna gånghastighet.

Rapporten inleds med en beskrivning av vilka föreskrifter som gäller idag vid dimensionering av utrymningsvägar och en kortfattad beskrivning av de *grundläggande metoderna* för att beräkna personflöden på. Därefter följer en sammanställning av vad olika forskargrupper kommit fram till efter genomförda försök med kommentarer och inbördes jämförelser. Den tillgängliga informationen har mycket varierande kvalitet och är inte alltid helt fullständig. Slutligen görs en sammanfattning av de framkomna resultaten och jämförelser mellan dem samt rekommendationer om vilka värden som bör användas vid dimensionering av utrymningsvägar och begränsningar av dessa.

## 4 Gällande föreskrifter

### 4.1 Huvudkrav

De föreskrifter som gäller för utrymningsvägars fysiska kapacitet finns samlade i Boverkets författningssamling, Nybyggnadsregler NR /1/. Fn är aktuell utgåva NR 3. Här finns angivet vilka krav som ställs på en byggnad som ska nyuppföras eller byggas om bland annat vad avser behovet av utrymningsvägar och dess utförande.

I Plan och bygglagen /3/ anges som tidigare nämnts att det övergripande målet är att byggnader skall ge tillfredställande skydd mot personskador vid brand, men det är i NR som tillämpningsföreskrifterna finns samlade. Det finns föreskrifter som är av generell karaktär som därför samlats i ett kapitel. Dessutom finns speciella föreskrifter som enbart gäller för en viss byggnadstyp. Det är i de flesta fall frågan om skärpningar av de generella kraven men även motsatsen finns.

### 4.2 Antal utrymningsvägar

De generella krav som finns avseende tillgång till utrymningsvägar säger att

"Utrymningsvägar skall finnas i sådan omfattning och vara så utformade att tillfredsställande utrymning kan ske vid brand. Vid utformningen skall särskilt beaktas risken för att personer skadas genom fall eller trängsel eller blir instängda i nischer eller åter vändgångar. Hiss får inte användas som utrymningsväg." /1/

Detta innebär att det i princip alltid ska finnas minst två av varandra oberoende utrymningsvägar ifrån en brandcell. Undantag från denna regel, då endast en utrymningsväg accepteras, är i små lokaler eller i lokaler där endast ett fåtal personer vistas samt i höga bostads- eller kontorshus där då speciella krav ställs på trapphuset. För samlingslokaler ställs högre krav på utrymningsvägars anordnande än vad som sägs i den generella föreskriften. Från dessa lokaler skall det finnas minst två utgångar. Om lokalen är avsedd för fler än 600 personer men mindre än 1000 personer skall minst tre utgångar finnas och minst fyra om lokalen är avsedd för fler än 1000 personer.

### 4.3 Avstånd till och i utrymningsväg

I en brandcell skall avståndet till en utrymningsväg begränsas så att lokalen kan utrymmas innan kritiska förhållanden uppstår. Väl inne i utrymningsvägen skall gångavståndet begränsas så att utrymning kan ske snabbt. Råd finns för de båda fallen

som anger vad som är acceptabla avstånd.

#### **4.4 Framkomlighet**

I kapitlet om framkomlighet finns det detaljerade föreskrifter och råd om den fysiska kapaciteten i utrymningsvägarna. För utrymningsvägar från brandceller där mindre än 150 personer får vistas skall utrymningsvägarna vara minst 0.9 m breda och dörrar minst 0.8 m. De mått som avses är de fria bredderna. Ledstänger får på de angivna måtten inkräkta med högst 0.1 m på vardera sidan i en utrymningsväg. Detta gäller såväl raka trappor som spiraltrappor. Angivna mått är minimimått på utrymningsvägen såvida den inte samtidigt utgör huvudkommunikation i byggnaden. Då är måtten lite större med tanke på tillgängligheten av byggnaden.

För brandceller där fler än 150 personer får vistas skall den fria bredden på utrymningsvägarna vardera vara minst 1.20 m och den sammanlagda bredden skall vara minst 1 m per 150 personer. Om en av utrymningsvägarna spärras av branden skall de återstående ha en sammanlagd bredd av minst 1 m per 300 personer.

#### **4.5 Fönster som utrymningsväg**

Fönster får användas som en av flera tillgängliga utrymningsvägar i vissa specifikt angivna situationer. Man delar då upp dessa i två grupper beroende på om utrymningen förväntas ske med eller utan hjälp av räddningstjänstens utrustning. Varje fönster får vara utrymningsväg för maximalt 30 personer. De typer av lokaler som får ha utrymningsväg via fönster är sådana där personerna kan förväntas vara fullt rörliga och kapabla att ta sig ut genom ett fönster.

Om räddningstjänstens utrustning inte är tänkt att användas finns dessutom krav på att avståndet från fönstret ner till marken inte får vara för stort.

I de fall räddningstjänstens utrustning ska användas vid utrymningen förutsätts att denna är lämplig för ändamålet. För att fönster ska vara lämpliga att utrymma genom ställs det krav på att bredden och höjden inte får understiga 0.5 m respektive 0.6 m samt att summan av bredd och höjd skall vara mer än 1.5 m. Detta är den generella föreskriften för fönsterutrymning och undantag från denna finns.

Bland de lokaler som får ha utrymningsvägar via fönster återfinns bostäder, kontor, förskolor samt klassrum i skolor. Till den nuvarande byggnormen har det dessutom tillkommit en föreskrift som innebär att boende i gruppboende ej får ha fönster som utgång.

## 4.6 Dörrar

Vad avser dörrar föreskrivs att dessa i möjligaste mån ska vara utåtgående i utrymningsriktningen. Undantag från denna regel accepteras för mindre lokaler. Roterdörrar får användas under vissa förutsättningar som t ex att dörren vid strömavbrott fortfarande ska vara möjlig att passera och att en extra dörr monteras bredvid för att öka kapaciteten vid passage. Vidare anges ganska detaljerat hur dörrarna skall vara anordnade och i vilken omfattning låsta utrymningsvägar får förekomma.

## 4.7 Vägledande markeringar

Skyltar med vägledande markeringar skall finnas på sådana ställen där risk för misstag i valet av utrymningsvägar föreligger samt i lokaler där lokalkännedomen är låg. Det finns dock inga direkta anvisningar som anger var skyltarna skall vara placerade utan enbart för vilka lokaler det krävs. Skyltarna skall dock vara gröna med vita symboler och vara antingen belysta eller genomlysta.

## 4.8 Belysning

Regler för hur nöd- och allmänbelysning skall anordnas finns angivet. Nödbelysning skall finnas i utrymningsvägarna i byggnader som är högre än 16 våningar och i lägre byggnader som inrymmer antingen hotell eller vårdanläggning. Nödbelysning skall dessutom kunna fungera vid ett externt strömavbrott. Ytterligare krav på nödbelysning finns för samlingslokaler då det är en typ av lokal där personerna som vistas där ofta inte är bekanta med byggnadens utformning. I dagens NR får efterlysande färg ersätta nödbelysning. Detta kan göras utan några andra förändringar av utrymningsvägarna.

## 4.9 Kommentarer till föreskrifterna

Sammanfattningsvis kan man konstatera att de enda föreskrifter som anges vad avser utrymningsvägarnas fysiska kapacitet är minimimåten på utrymningsvägars bredd, de 150 respektive 300 personerna per meter fri utrymningsbredd samt närvaron av vägledande markeringar och belysning. Det är i princip samma sak som att ange en maximal utrymningstid för lokalen vilket medför att lokalens geometri, andra brandskyddsåtgärder eller de i lokalen vistande personernas förmåga inte påverkar vid dimensioneringen. Spiraltrappor får dessutom ersätta raka trappor med motsvarande bredd i en utrymningsväg trots att undersökningar visar att dessa är betydligt mindre effektiva.

Då roterdörrar eller skjutdörrar används i utrymningsvägar skall en extra dörr monteras bredvid för att öka framkomligheten vilket är nödvändigt då personflödet genom en roterdörr är ca hälften jämfört med en vanlig dörr. Finns dessutom risken att dörren går långsammare om strömavbrott sker minskar effektiviteten då ytterligare.

Närvaron av vägledande markeringar påverkar en byggnads utrymningseffektivitet på så vis att fördröjningar i form av obeslutsamhet av de som ska utrymma minskas. Utrymningsvägens kapacitet påverkas inte i sig själv under normala förhållanden men den totala utrymningen fungerar mer effektivt om en bra och välplacerad skyltning finns. Finns rök i utrymningsvägen eller om sikten av annan anledning är nedsatt påverkar både nödbelysning och effektiva vägledande markeringar personflödet i utrymningsvägen i positiv riktning då det också är fastställt att personers gånghastighet avsevärt sjunker om ljusförhållandena blir sämre eller om röktätheten ökar. Av de vägledande markeringarna har det konstaterats att typen som är försedd med en genomlyst skylt har den största effektiviteten.

Samma resonemang gällande för nödbelysning kan i princip även gälla för närvaron av allmänbelysning. Utrymningen blir betydligt mer effektiv om utrymningsvägarna är försedda med belysning som ger tillräcklig ljusnivå och har tillräcklig driftsäkerhet.

Det kan konstateras att många av de föreskrifter som reglerar dimensioneringen av utrymningsvägar är av detaljreglerande typ. Vissa kan ha en bakgrund som kan vara svår att utröna och som hämmar kreativt byggande och tänkande. Byggnadsnämnden får dock göra avsteg ifrån föreskrifterna och kan även godta alternativa lösningar så länge som godtagbar säkerhet ändå upprätthålls.

## 5 Dimensionering av utrymningsvägar

### 5.1 Utrymningsforskningen

Man delar traditionellt upp utrymningsforskningen i två områden som då enkelt uttryckt behandlar de två faserna i utrymningen,

- varseblivning och beslutsfattande och
- förflyttning.

Det första av dessa behandlar mänskliga beteenden under brand och utrymning och hur utrymningen påverkas av hur personer uppfattar sin situation och tolkar den. Det andra området behandlar hur fort människor rör sig i trappor, korridorer och liknande samt hur faktorer som bredd på utrymningsvägen, stegmåt i trappor påverkar personflödet.

Varseblivning och beslut är faktorer som beror på människan, byggnaden, branden och förekomsten av hjälpmedel i form av vägledande markeringar, utrymningslarm, sektionerande byggnadsdelar mm. Denna del av utrymningsförloppet brukar behandlas på ett mycket summariskt och enkelt sätt av de som arbetar med den fysiska förflyttningen genom att en reaktionstid adderas till den beräknade evakueringstiden för att erhålla den totala utrymningstiden av en byggnad.

Det är naturligtvis så att ett samband mellan de två områdena råder där beslutsfattande efter olika former av varseblivning sker under hela utrymningsförloppet allteftersom personen stöter på nya förändringar i situationen som måste klaras av. Men för att behandla detta finns idag ingen egentlig metod även om försök till att skapa sådana finns. Det är av denna anledning som man gör förenklingen med en reaktionstid.

Det måste tas fram bättre sätt att kvantifiera och beskriva beteendefaktorerna vid en utrymning. De metoder som finns, som i viss mån ta hänsyn till det faktum att människor agerar olika i olika situationer, anger regler som vid utrymnings-simuleringen beskriver vad en person företar sig om omgivningen ser ut på ett speciellt sätt. Ett exempel på detta är att ange en lägsta rök höjd då personen fortfarande kan gå med normal hastighet. Dessa regler baseras på antingen statistiskt material eller ifrån bedömningar av experter. Är dessa regler utformade som sannolikhetsfunktioner kan man dessutom utföra ett antal beräkningar och få ett statistiskt utfall på utrymningstider. Denna typ av beräkningsmetoder är fn under utveckling bl a vid NIST i USA /4/.



## 5.2 Människors förflyttning

För att kunna utföra beräkningar på utrymning och evakuering är det nödvändigt att förutom kännedom om det mänskliga beteendet, varseblivning mm ha goda kunskaper om hur fort människor går i olika situationer och vad som påverkar denna hastighet och därmed personflödet. Forskning i ämnet, som har skett under de senaste 40 åren, har givit en ganska omfattande information, tyvärr av varierande kvalitet, om hur fort vanliga människor går på horisontellt underlag, i trappor och genom dörröppningar. I vissa fall kommer informationen från försök gjorda vid utrymningsövningar men de flesta försök är utförda under normala miljöbetingelser, dvs utan rök, värme eller stress.

Försök finns också gjorda som anger gånghastigheter som funktion av olika grad av belysning och rök med varierande röktäthet. Dessa försök är i de flesta fall utförda med personer som är unga och i övrigt friska men tendenserna i resultaten kan även användas för äldre personers gånghastigheter.

För äldre handikappade är tillgång till information om gånghastigheter betydligt sämre även i normal miljö jämfört med om personerna inte är rörelsehindrade. Information finns för personer som bara kategoriseras som äldre men i övrigt är fullt friska och rörliga. Det finns undersökningar som anger gånghastigheter för boende i servicehus där hastigheterna delas in i kvalitativa grupper men där omvandlingen av dessa till hastigheter uttryckta i m/s dock är osäker.

## 5.3 Flödesmodeller

Den allmänna ekvation som i de flesta fall används vid beräkning av personflödet är

$$F = D * v * B \text{ [pers/s]}$$

där F står för flöde, D för persontäthet, v för hastighet och B för utrymningsvägens bredd. Normalt är dessutom hastigheten en funktion av persontätheten D. Ekvationen används även i andra sammanhang där flöde är en intressant parameter t ex trafikflöde på motorvägar, personflöde vid övergångsställen. Förutom de tidigare nämnda, hastighet, flöde och persontäthet används även specifikt flöde.

$$F_s = D * v \text{ [pers/m*s]}$$

$$F = F_s * B$$

Den bredd som avses är oftast den verkliga bredden på förflyttningsvägen dvs bredden

på trappan eller korridoren. Pauls /5/ bygger sin teori på att den bredd som används vid beräkningar ska vara den sk effektiva bredden. Med effektiv bredd menas den del av förbindelsen som faktiskt används. Pauls observationer av trappor visade att ett smalt gränsskikt närmast väggen inte utnyttjas och därför inte heller bör ingå vid beräkningen. Storleken på detta gränsskikt varierar mellan olika typer av förbindelser. Pauls kunde med utgångspunkt från den effektiva bredden sätt bättre förutsäga personflödet i trappor vid nödevakuering.

De beräkningsmodeller som använder uttrycken ovan brukar ofta kallas flödesmodeller eller hydrauliska modeller då de kan liknas vid t ex vätskeströmning i rör där samma typ av uttryck används. Utrymningsvägarnas personflöden kan enligt denna modell beräknas på två olika sätt där angivandet av persontätheten i stort är det som skiljer dem åt. Känner man detta flöde kan sedan en evakueringstid enkelt beräknas tillsammans med det totala antalet personer som ska utrymma.

## 5.4 Persontäthet

Det vanligaste sättet är att ange persontätheten på är som antal personer per ytenhet t ex personer per kvadratmeter eller som dess invers. Det gör det enkelt att föreställa sig persontätheten då den har samma struktur som densitet för material.

Det andra sättet att ange persontäthet på som i princip enbart används av de ryska forskarna Predtetschenski och Milinski /6/ samt av Kendik från Österrike /7, 8, 9, 10/. Denna metod bygger på att persontätheten anges som förhållandet mellan den horisontellt projicerade arean personerna upptar och den totala area som de vistas på. Det innebär att persontätheten är dimensionslös och varierar mellan 0 och 0.92 som är den högsta praktiskt tillämpbara tätheten. Persontätheten 1.0 innebär att ytan är helt täckt av människorna. Fördelen med denna metod är att man kan ta hänsyn till att personer upptar olika stor plats. Den största nackdelen är att alla beräkningar blir abstrakta då enheterna inte ger någon indikation på vad som beräknas. Enheten för personflöde blir t ex  $m^2/min$ . Ekvationerna ovan är giltiga för båda fallen att ange persontätheten på. Det första sättet att beskriva indata på ger den mer begripliga enheten personer/sekund som passerar en viss punkt. En omräkning mellan de två metoderna kan göras då man känner den horisontella ytan per person.

## 5.5 Gånghastighet och personflöde

De försök som gjorts för att mäta gånghastigheter har i de flesta fall redovisats som funktion av persontätheten för den aktuella förflyttningvägen. Hastigheten är i de flesta fall ungefär konstant tills tätheten överstiger ca 0.5 pers/ $m^2$  och avtar därefter med ökande persontäthet. Det är en naturlig följd att personen får svårare att röra sig

obehindrat när förflyttningen övergår från att styras av den enskilda personen till att bli en grupp rörelse. Förändringar i flödet uppstår först när personerna som utrymmer har kommit en trappa eller dörr där kapaciteten normalt är lägre och trängseln därför ökar.

I de flesta undersökningar finns det någon form av matematiskt uttryck som beskriver gånghastigheten som funktion av tätheten och dessa kan vara mer eller mindre komplicerade. De speglar dock de aktuella försöken men är inbördes ganska olika. Det man med säkerhet kan fastställa är att de alla pekar åt samma håll, dvs lägre hastighet vid ökande persontäthet. Andra förekommande sätt att ange gånghastigheter på är hastighetens frekvensfördelning för den observerade populationen eller enbart angivande av medelhastigheter för en viss personkategori. Denna form av redovisning är vanligare vid mindre undersökningar.

De hastigheter som redovisas kan för trappor och andra lutande plan vara angivna antingen parallellt med planet eller som horisontell komponent av hastigheten längs lutningen. Normalt används den horisontella komponenten av hastigheten för flödesberäkning då persontätheten oftast är angiven per horisontell ytenhet. Det viktiga är dock att inte blanda storheter som baseras på lutande yta med sådana med horisontella ytor som utgångspunkt vid beräkningen.

För att kunna utnyttja det faktum att tätheten påverkar hastigheten fullt ut bör man ta hjälp av något datorprogram. Denna metodik används mer sällan utan man räknar ofta med medelvärden på tätheten och anger därefter en konstant hastighet för hela förflyttningsvägen. Detta sätt fungerar så länge som skillnaden mellan flödeskapaciteten mellan två angränsande förbindelser t ex en korridor och dörr inte är för stora så att omfattande köbildning och trängsel bildas.

## 6 Genomförda undersökningar

Detta kapitel redovisar några av de större undersökningar om gånghastigheter som genomförts. De figurer som anges kommer i de flesta fall att vara från originalpublikationerna vilket innebär att ovanliga enheter används samt att språket varierar. I kapitel 7 som sammanfattar de olika undersökningarna kommer figurerna att redovisas på ett sätt som gör det möjligt att jämföra olika undersökningar.

### 6.1 Togawa

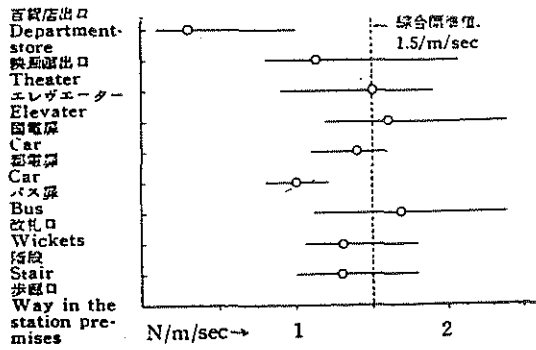
#### 6.1.1 Förutsättning

Kikuji Togawa redovisar 1955 /11/ en mycket omfattande undersökning på hur fort människor går i olika situationer och i olika miljöer. Togawas arbete är värdefullt då det som det första i sitt slag omfattar en mängd olika förbindelsetyper. Undersökningens största brist är, förutom att den är skriven på japanska, att de flesta människor som studerats är pendlare vid Shinjuku tunnelbanestation i Tokyo som är världens mest trafikerade (åtminstone idag). Pendlare har en tendens att gå fortare och med mindre avstånd till sina medmänniskor pga att de rör sig i kända miljöer. De går troligen samma väg varje dag och vid ungefär samma tidpunkt på dagen. Läger man därtill det faktum att människorna på väg till sina arbeten ofta är ute i sista minuten och därför har bråttom får detta till följd att hastigheterna på människorna inte direkt kan användas i utrymningssammanhang. Där är förutsättningarna ofta helt annorlunda med vanligtvis okända utrymningsmiljöer och med ett potentiellt hot hängande över de utrymmande i form av brand och rök.

#### 6.1.2 Hastighet och flöde

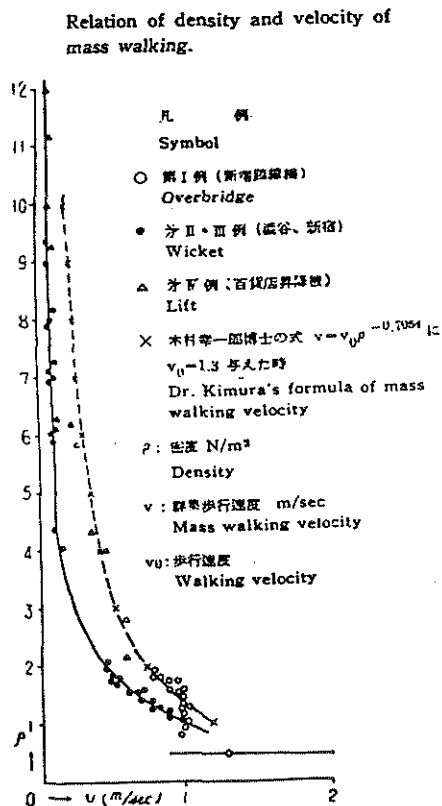
Togawa redovisar hastigheter och personflöden för trappor, både uppför och nedför, genom dörrar, i korridorer i varuhus, pendelstationer, teatrar, lägenheter och hotell. Figur 1 visar personflöden för olika situationer där medelvärdet för gruppen markeras med en cirkel och linjen markerar spridningen. Ett totalt medelvärde bör enligt Togawa ligga på 1.5 personer per meter och sekund. Man bör observera den avvikelse som gäller personflödet ut från ett varuhus. Den avvikelsen kan bero på att situationen inte är hotande för personerna men detta är bara spekulationer.

Table of out flow of mass from openings of every kind



Figur 1. Personflöde i olika situationer

Bredden som anges i flödet är den verkliga uppmätta bredden på förbindelsen. Togawa finner i sina resultat att personflödena och hastigheterna i de olika förflyttningvägarna beror på tätheten av människor, figur 2, vilken anges som personer per m<sup>2</sup> horisontell yta. Numera är det vanligt att använda persontätheten, angiven på detta sätt, som beroende variabel vid redovisningar.



Figur 2. Gånghastighetens variation med persontätheten. Denna figur baseras på Kimuras ekvation  $v = v_0 * \rho^{-0.8}$  som beskriver hastigheten som funktion av tätheten. Ekvationen refereras ofta till som Togawas ekvation.  $V_0 = 1.3$  m/s och  $\rho$  anger persontätheten.

Även en trappas lutning påverkar gånghastigheten i den vilket redovisas i tabell 1 och 2 med olika trappstegsdimensioner. Tabell 1 bör dock användas med försiktighet och bara som exempel på skillnader i flöde då inget är känt om under vilka förhållande dvs persontäthet och hastighet försöken genomförts.

Example VI Stairs in Station premises

駅名	幅員	路上×踏面			t/s	N/st	P/m.s	
東京	4320	147×330	25°	下行	max	78 430	1.28	Ner
				〃	m	420 2114	1.17	
池田	3800	137×360	21°	下行	max	77 360	1.30	N
				〃	m	134 337	1.10	
新宿1	2250	163×324	27°	下行	max	142 452	1.55	N
				〃	m	135 425	1.35	
〃 2	3650	154×297	27°	〃	max	60 272	1.24	N
				〃	m	75 323	1.18	
〃 3	3800	134×330	24°	上行	max	80 337	1.27	Upp
				〃	m	80 324	1.04	
〃 4	4150	136×320	25°	上行	max	83 460	1.31	U
				〃	m	60 274	1.10	
渋谷	2500	150×300	26°	上行	max	60 264	1.26	U
				〃	m	180 533	1.20	
下北沢	2460	121×650	15°	下行	max	24 89	1.51	N
				〃	m	20 65	1.32	
総合値				1.30	下行	max	1.55	N
					〃	m - medel	1.30	
					上行	max	1.36	U
					〃	m - medel	1.10	

Tabell 1. Personflöde i trappor med olika stegmått.

Trappbredden påverkar inte en enskild persons hastighet när han eller hon själv går i en trappa utan bredden påverkar bara när flera ska gå i bredd. Personflödena varierar kraftigt utifrån typen av byggnad medan tid på dygnet, ålder, kön, typ av skodon ej nämnvärt påverkar. Att ålder och kön påverkar flödena konstateras dock av andra författare men Togawa noterar inga sådana förhållanden. Detta kan bero på brister i val av försöksobjekt eller det faktum att en viss åldersklass eller ett visst kön dominerar i försöken.

Togawa redovisar också ett uttryck för evakueringstid som enkelt kan användas vid handberäkningar av utrymning. Det tar hänsyn till personflödet genom en förbindelse t ex en trappa eller dörr plus den tid som det tar att transportera sig från en punkt i lokalen till den aktuella förbindelsen. Denna formel förekommer ofta i litteraturen.

$$T = N / (B * F_s) + L / v$$

T = total utrymningstid

N = antal personer

B = bredd i utrymningsvägen

F<sub>s</sub> = specifikt flöde

L = avstånd till utgång

v = gånghastighet

Även andra uttryck redovisas för beräkning av utrymningstider vilka rapporteras av Stahl och Archea /12/ kunna användas vid beräkning av verklig utrymning trots att de har sitt ursprung i personflöden från en pendeltågstation i rusningstid. Detta förfarande är dock något tveksamt med anledning av vad som nämnts tidigare.

Tabell 2. Gånghastighet på horisontellt underlag

	Förhållande	Kön	Tempo	Hastighet, m/s	Medelvärde m/s
Individuellt	September klart väder	Man	Snabbt	1.75 +/-0.15	1.3
			Normal	1.40 +/-0.1	
			Långsam	1.10 +/-0.2	
	Kvinna	Snabb	1.50 +/-0.2		
		Normal	1.20 +/-0.1		
		Långsam	0.95 +/-0.15		
Ej individuellt	0.8-1.4 p/m <sup>2</sup>	Blandat		1.00 +/-0.1	1.0
	4 p/m <sup>2</sup>			0.11	
	6			0.10	
	7			0.097	
	8			0.093	0.1
	9			0.090	
	10.5			0.078	
	12.3			0.072	

## Gånghastighet i trappa

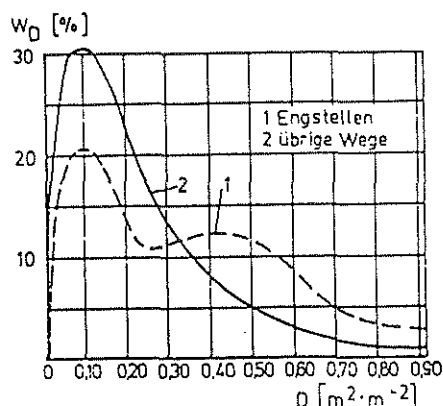
Trappa	Lutn °	Stegdjup mm	Steghöjd mm	Lut hast m/s	Horis hast m/s	Medelvärde m/s
Individuellt	34	300	200	0.72	0.6	0.65
	28	340	180	0.69	0.624	
	27	324	163	0.73	0.647	
	24	330	150	0.777	0.708	
	16	680	120	1.39	1.27	
Flera på en gång	34	300	200	0.60	0.5	0.5
	28	340	180	0.554	0.5	
	27	324	163	0.584	0.52	
	24	330	150	0.605	0.55	
	16	680	120	1.11	1.07	



## 6.2 Predtetschenski och Milinski

### 6.2.1 Förutsättning

I Sovjetunionen /6/ har det på 1960-talet utförts omfattande undersökningar av människors förflyttningshastigheter i olika situationer och för olika förbindelser. Dessa har lett fram till en mycket detaljerad informationsinsamling av gånghastigheter. Det som väsentligen skiljer den ryska metoden från övriga är hur man anger persontätheten. Predtetschenski och Milinski, PM anger persontätheten,  $D_{pm}$ , som förhållandet mellan den horisontellt projicerade arean,  $f$ , av de människor som finns i t ex en korridor och arean av denna korridor.



Figur 3. Horisontellt projicerad area. Figur 4. Frekvensfördelning av persontätheten

Persontätheten blir då dimensionslös och kan variera från 0 och uppåt. Maximalt användbar persontäthet anges till 0.92 även om de observerat värden över 1.0. Denna persontäthet används för att beskriva hur hastigheter och därmed flödena varierar med olika förhållanden i den aktuella förbindelsen.

$$D_{pm} = \frac{f \cdot n}{l \cdot b}$$

$f$ =horisontell area per person m<sup>2</sup>

$n$ =antal personer

$l \cdot b$ =mått på förbindelsen

Predtetschenski och Milinski har mätt den horisontella area människor upptar i olika situationer och delat upp detta på kön och ålder för människorna. Härigenom får man den information som behövs för att beräkna persontätheten. Ezel Kendik /7, 8, 9, 10/ från Österrike har studerat den metod som Predtetschenski och Milinski beskrivit och även gjort mätningar för att få fram information om den projicerade ytan på en österrikisk population. I sin avhandling visar hon jämförelser mellan beräkningar och genomförda evakueringar av högre kontorsbyggnader vilka har god överensstämmelse.

Alter, Bekleidung und Gepäck der Person	$\frac{f \cdot m}{2}$ (m <sup>2</sup> )
Kind	0,04 ... 0,06
Jugendlicher	0,06 ... 0,09
Erwachsener:	
in Sommerkleidung bzw. Hausbekleidung	0,100
in Übergangsstraßenkleidung	0,113
in Winterstraßenkleidung	0,125
Erwachsener in Übergangsstraßenkleidung:	
mit leichtem Gepäck (z. B. Aktentasche)	0,180
mit einem Koffer	0,240
mit Rucksack	0,260
mit schwerem Gepäck (z. B. zwei Koffer)	0,390
mit einem Kind an der Hand	0,200
mit einem Kind auf dem Arm	0,260
mit einem Kind an der Hand (einschl. Gepäck)	0,320

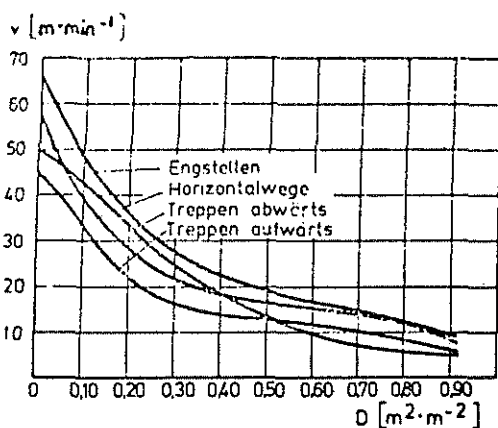
Age group Sex	5 yrs			10-15 yrs			15-30 yrs			>30 years
	w	m	all	w	m	all	w	m	all	all
A(Du);x	0.705	1.300	1.290	1.291	1.683	1.894	1.825	1.872		
Standard deviation	0.171	0.175	0.203	0.208	0.115	0.379	0.334	0.252		
f(N);x	0.0696	0.1092	0.1126	0.1113	0.1383	0.1484	0.1458	0.1740		
Standard deviation	0.0078	0.0202	0.0174	0.0187	0.0172	0.0171	0.0172	0.0315		
f(M);x	—	0.1453	0.1326	0.1386	0.1809	0.1892	0.1862	—		
Standard deviation	—	0.0178	0.0191	0.0186	0.0213	0.0296	0.0272	—		
f(S);x	—	0.1262	0.1221	0.1238	0.1508	0.1645	0.1600	0.1918		
Standard deviation	—	0.0198	0.0170	0.0180	0.0163	0.0191	0.0193	0.0356		
w	women			A(Du);x			DuBois-Area (mean value)			
m	men			f(N);x			mean projected area per person in m <sup>2</sup> standing and without coats			
f(S);x	mean projected area per person by walking in m <sup>2</sup>			f(M);x			mean projected area per person in m <sup>2</sup> standing and wearing coats			

Tabell 3 och 4. Projicerad area för ryska och österrikiska personer

De areor per person som Kendik redovisar avviker något från de som Predtetschenski och Milinski redovisat. Denna skillnad kan härröra ifrån fysiska och sociala skillnader mellan de båda populationerna och det faktum att det skiljer 20 år mellan undersökningarna.

### 6.2.2 Gånghastighet

Totalt har gånghastigheter mätts vid ungefär 3600 olika tillfällen och de har härigenom fått ett omfattande och brett informationsmaterial att bygga teorin på. Utifrån studierna har de gjort en statistisk bearbetning av materialet och härlett ett matematiskt uttryck som beskriver gånghastigheten på horisontellt underlag som funktion av persontätheten,  $D_{pm}$  från ekvation a. Denna grundformel kan sedan med hjälp av olika koefficienter enligt ekvationerna c, e, g och h modifieras så att de gäller för den specifika förbindelsen, dörröppning, nedför trappa samt uppför trappa, figur 5. Exempelvis beräknas gånghastigheten nedför trappor som hastigheten  $v$  enligt ekvation a multiplicerat med förbindelsekoefficienten  $m_{ner}$  enligt ekvation e som ekvation d visar.



Figur 5. Gånghastigheten som funktion av persontätheten

$$v = 112 D_{pm}^4 - 380 D_{pm}^3 + 434 D_{pm}^2 - 217 D_{pm} + 57 \text{ [m/min]} \quad (a)$$

$$v_{dörr} = v \cdot m_{dörr} \text{ [m/min]} \quad (b)$$

$$m_{dörr} = 1.17 + 0.13 \sin(6.03 D_{pm} - 0.12) \quad (c)$$

$$v_{ner} = v \cdot m_{ner} \text{ [m/min]} \quad (d)$$

$$m_{ner} = 0.775 + 0.44 e^{-0.39D_{pm}} \sin(5.61 D_{pm} + 0.224) \quad (e)$$

$$v_{upp} = v \cdot m_{upp} \text{ [m/min]} \quad (f)$$

$$m_{upp} = 0.785 + 0.09 e^{-3.45D_{pm}} \sin(15.7 D_{pm}) \quad 0 < D_{pm} < 0.60 \quad (g)$$

$$m_{upp} = 0.785 - 0.10 \sin(7.85 D_{pm} + 1.57) \quad 0.61 < D_{pm} < 0.92 \quad (h)$$

Ekvationer för beräkning av gånghastighet

De hastigheter som anges är alltid parallellt med gångbanan. Persontätheten anges dock med avseende på horisontell yta. Generellt gäller för Predtetschenski och Milinski att hastigheterna som redovisas är under normala förhållanden men att det finns möjligheter att räkna om värdena så att de gäller för nödsituationer med liknande koefficienter som tidigare. De har då antagit att för nödsituationer kan man välja hastigheter som motsvarar ett medelvärde av övre hälften av de observerade hastigheterna, gällande för normala förhållanden. Det finns dock inga redovisade försök i deras rapport som skulle styrka detta antagande utan det är mer teoretiska spekulationer. Hastigheten gällande för en utrymningssituation beräknas genom att den tidigare framräknade hastigheten multipliceras med en utrymningskoefficient,  $\mu$ , enligt nedan som gäller för den aktuella förbindelsen.

$$v_{\text{utr}} = v_{\text{akt}} \cdot \mu_{\text{utr,akt}}$$

$$\mu_{\text{utr,dörr}} = 1.49 - 0.36D_{\text{pm}}$$

$$\mu_{\text{utr,ner}} = 1.21$$

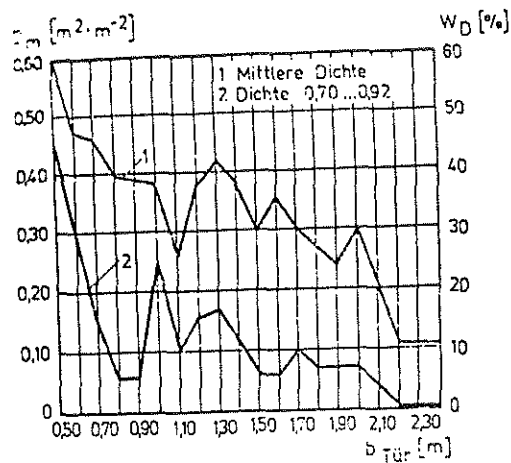
$$\mu_{\text{utr,upp}} = 1.26$$

Koefficienter för omräkning av hastigheterna så de gäller för en nödsituation

Huvuddelen av undersökningen ägnas åt att beskriva personers gånghastigheter vid olika persontätheter och hur fördelningen av hastigheten varierar. Flödet av personer beräknas sedan på normalt sätt som produkten mellan persontäthet, bredd och gånghastighet enligt ekvationen på sidan 13. Någon direkt mätning av personflödet har inte gjorts. Detta kan tyckas onödigt men som jämförelse mellan beräknade och experimentella värden fyller det en funktion då det skulle kunna verifiera gjorda antaganden vad avser förhållandet mellan flöde, persontäthet och hastighet.

### 6.2.3 Dörröppningar

I sin rapport redovisar också Predtetschenski och Milinski hur olika dörrbredder påverkar passageförhållandena. Enligt de ekvationer som tidigare redovisats ser man att personflödet är direkt proportionellt mot öppningens bredd. Detta är helt i överensstämmelse med författarnas tanke, men något som inte framkommer när man betraktar ekvationerna för personflöden genom dörröppningar är att förhållandena, dvs persontätheten varierar precis innan dörren på ett sätt som beror på dörrbredden. Enligt de resultat som Predtetschenski och Milinski redovisar framgår det att före en dörröppning ökar persontätheten med minskande bredd på öppningen, kurva 1 i figur 6.



Figur 6. Persontäthet och täthetsfrekvens före dörröppning i förhållande till öppningens bredd.

Den andra kurvan (2) i samma figur visar sannolikheten för att höga persontätheter ( $D_{pm} > 0.72$ ) ska uppstå, också detta som funktion av dörrbredden. Förutsättningen för detta diagram är att det hela tiden strömmar till människor som ställer sig i kö framför dörren. För personer som ska utrymma genom dörrar är det därför inte oväsentligt hur breda dessa enskilda dörrar är även om den totala dörrbredden är densamma då en ökad trängsel är mera trolig framför smala dörrar. Detta påverkar inte i egentlig mening personflödet genom förbindelsen men det ger en anvisning om vilken trängsel man kan förvänta sig vid öppningen. Det är alltså ur denna synpunkt mer fördelaktigt att ha färre breda dörrar än flera smalare om den totala bredden är densamma.

## 6.3 Fruin

### 6.3.1 Förutsättning

John Fruin, 1971 /13/ har liksom Togawa gjort en mycket omfattande undersökning för att se hur gånghastighet och personflöde varierar i trappor, korridorer och genom dörröppningar. Detta är nästa stora redovisning av personförflyttning efter Togawa som ger detaljerad information om hur persontätheten i de olika förbindelserna påverkar hastigheter och flöden. Dessutom studeras även konfliktlösning och köande dvs trafikbeteendet.

Fruin har främst studerat personer vid tåg och busstationer samt ute på gator. Detta innebär att personerna inte har varit utsatta för rök eller någon annan stressituation i

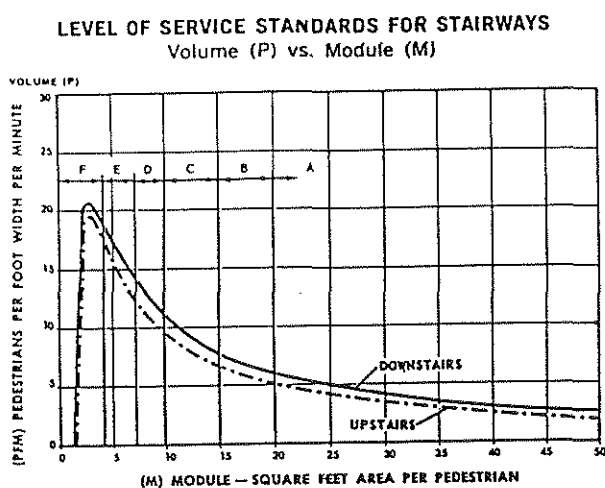
samband med brand. Det var inte heller Fruins syfte med arbetet utan det ska mer användas vid planering av utrymmen för gångtrafikanter i normala situationer även om resultaten ofta används till dimensionering och kontroll av utrymningsvägars kapacitet.

Fruin redovisar personflödena som person per meter och sekund ( $p/\text{fot} \cdot \text{min}$ ) där bredden är hela avståndet mellan väggarna i förbindelsen. Vid observationerna noterar Fruin att inte hela bredden av t ex en trappa används av de trafikerande personerna men detta bortser han ifrån när personflödena redovisas. Vid dimensionering anges dock att bredden ska ökas för att kompensera för detta.

De persontätheter som Fruin anger räknas per horisontell yta på samma sätt som Togawa gör. Han anger dock sina värden som den yta varje person har till sitt förfogande dvs antal  $\text{m}^2$  ( $\text{fot}^2$ ) per person. De resultat som Fruin redovisar är flöden och hastigheter i trappor, både upp och ner och genom korridorer som funktion av persontätheten. Dessutom finns kurvor som anger frekvensfördelningar av hastigheter i trappor och på horisontella ytor.

### 6.3.2 Servicenivåer

Fruin redogör för sitt Level of Service-koncept där han delar in förhållandet i trappor, horisontella gångar och stillastående köer i sex grupper, servicenivåer, beroende på hur tätt personerna står eller går, bilaga A. För varje servicenivå A-F, anges intervall för persontäthet och personflöde tillsammans med en beskrivning av förhållandena i den aktuella nivån. Systemet med olika servicenivåer är sedan tänkt att användas vid dimensionering då projektören först väljer vilken servicenivå som byggnaden ska ha. En komfortabel nivå ligger mellan B och C. Servicenivå F bör enligt Fruin sällan användas då den innebär mycket hög persontäthet.



Figur 3. Indelning av personflödet upp och ner för trappor i servicenivåer

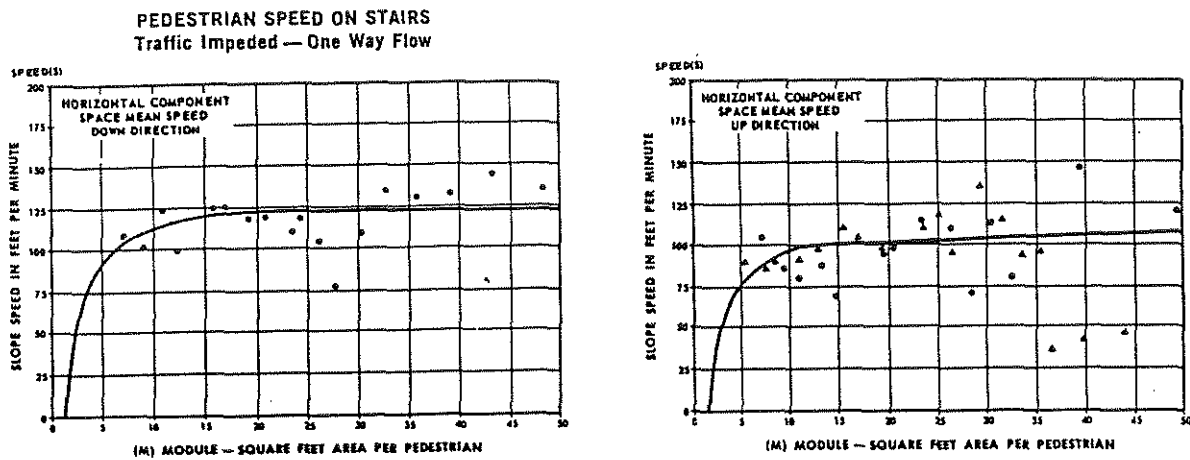
### 6.3.3 Trappor

För trappor kan man konstatera att flödena upp och ner är ungefär lika stora medan hastigheterna skiljer sig åt mer, figur 8 och 9. Detta beror troligen på att man tillåter sig ha mindre avstånd till andra personer vid gång uppför en trappa jämfört med nedför även om inte Fruin redovisar detta. Hastighetens maximala horisontella komponent ner resp upp är 0.63 m/s (125 ft/min) resp 0.51 m/s (100 ft/min).

För trappor skriver han att personflödet i stor utsträckning styrs av trappans utformning och måtten på trappstegen och i mindre grad av persontätheten, figur 7. Det skulle innebära att gång i trappor sker på ett mer ordnat sätt och att personer mer sällan passerar varandra pga skillnader i hastighet än jämfört med samma situation i en korridor. Personflödet i trappor styrs då av de långsammaste personerna speciellt då persontätheten överstiger ca 0.5 p/m<sup>2</sup> (20 sqft/p). Pauls /14/ noterar dock i sina försök att de långsammare blir passerade om så behövs men att flödet inte i övrigt störs. Detta kan vara ett fenomen som är vanligare vid nödutrymning än annars där skillnaderna i hastighet kan vara mindre pga att samtliga personer har ett gemensamt mål i att snabbt ta sig ut. Pauls försök utfördes under sådana förhållanden.

Fruin anger också för trappor medelvärden, tabell 5, på gånghastighetens horisontella komponent uppdelad på kön, ålder, trappstegsutformning och riktning. Man ser då klara skillnader i hastigheter beroende på ålder och kön för personerna i de båda trapporna. Man bör speciellt notera att skillnaderna mellan totala medelvärdet och medelvärdena för olika åldersgrupper varierar mer vid gång nedför trappor än uppför.

Köbildningar och andra flödesproblem kan för trappor uppstå om flödet uppför överstiger 0.66 p/m\*s (12 p/ft\*min). Maximalt flöde som ofta används i USA vid dimensionering, 1.03 p/m\*s (19 p/ft\*min), medför att personerna går så tätt att individen inte själv kan kontrollera sin hastighet utan den styrs av personen framför. Tillfälliga stopp och köbildning är mycket sannolikt vid denna nivå. Flödet 0.66 motsvarar servicenivå D medan flödet 1.03 motsvarar servicenivå F.



Figur 8 och 9. Hastighet nedför och uppför trappor

**PEDESTRIAN STAIR SPEEDS**Horizontal Time-Mean-Speeds  
(Feet Per Minute)

	DOWN DIRECTION		UP DIRECTION	
	(1)	(2)	(1)	(2)
<b>Age—29 or under</b>				
Males	163	183	110	120
Females	117	132	106	110
Group Average	149	160	108	115
<b>Age—30 to 50</b>				
Males	136	160	101	116
Females	100	128	94	107
Group Average	127	153	99	114
<b>Age—Over 50</b>				
Males	112	118	85	81
Females	93	111	77	89
Group Average	108	117	83	83
Average—all ages, sexes	132	152	100	113

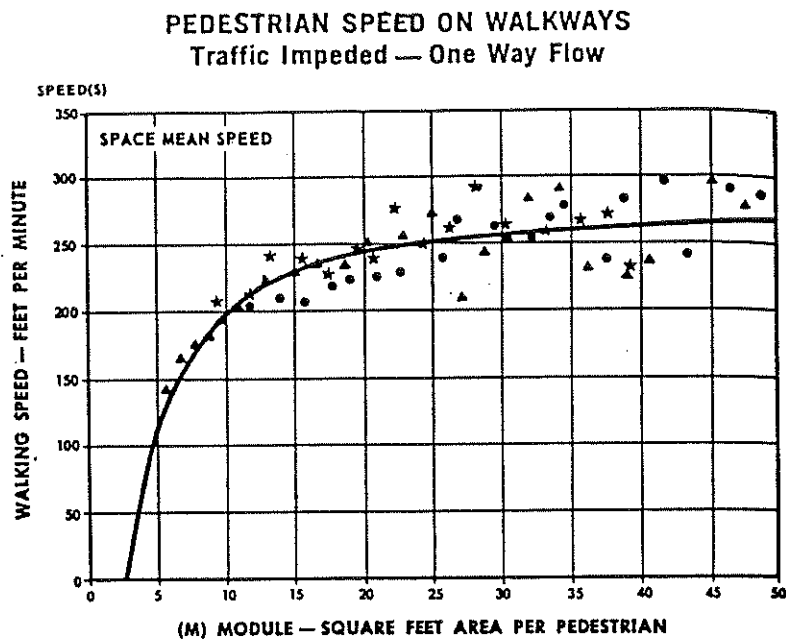
- (1) Indoor stair, 7-inch riser, 11.25-inch tread, 32-degree angle  
 (2) Outdoor stair, 6-inch riser, 12.0-inch tread, 27-degree angle

Tabell 5. Sammanfattning av hastigheter i trappor.



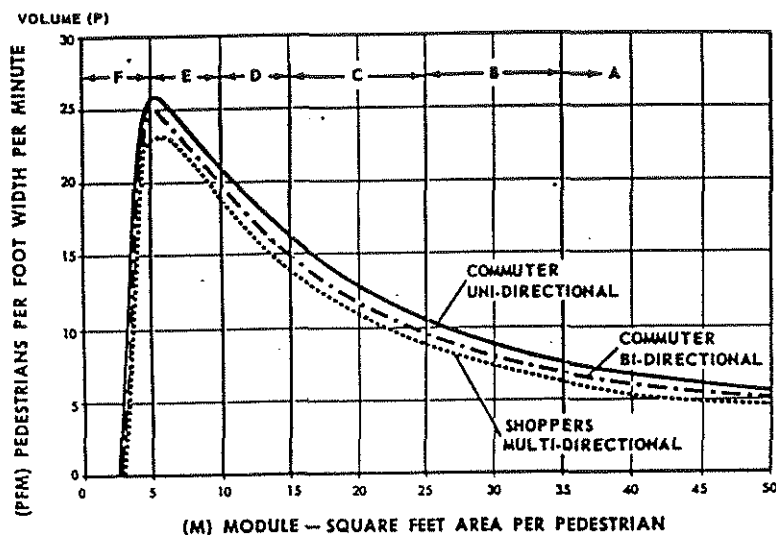
### 6.3.4 Horisontella gångar

För horisontella gångar finns det också redovisat hur flödena varierar med både persontäthet och det förhållandet att personer möter varandra. Det som är anmärkningsvärt i detta sista fall är att personflödet bara minskar marginellt jämfört med med enkelriktad gång, figur 11. Detta gäller inte i trappor där personflödet då kan minskas till hälften jämfört med om störningen inte fanns.



Figur 10. Gånghastighet på horisontellt underlag som funktion av persontätheten.

### LEVEL OF SERVICE STANDARDS FOR WALKWAYS Volume (P) vs. Module (M)



Figur 11. Gång i en och flera riktningar på horisontellt underlag

#### 6.3.5 Dörröppningar

För dörröppningar, som kan ses som ett specialfall av korridorer där personer kanaliseras genom öppningar, finns angivet intervall för flödena genom olika typer av öppningar. Är flödet genom dörren mindre än från korridoren som leder till dörren kommer en kö att bildas som i princip kommer att stå stilla. Det är ur utrymnings-synpunkt önskvärt att sådana köer inte uppstår där de personer som står och väntar på att få komma ut inte kan göra något åt sin situation. Denna oro som då kan uppstå är grogrunden för panikuppträdande även om panik trots allt är mycket sällsynt. Dörröppningar bör enligt Fruin vara minst så stora att det motsvarar normal skulderbredd plus rörelsemån pga gångrörelser vilket då skulle vara minst 70 cm fri bredd. I övrigt anges personflödet genom dörröppningar endast på ett mycket enkelt sätt utan hänsyn taget till öppningens bredd.

## OBSERVED ENTRANCE HEADWAYS

TYPE OF DEVICE	OBSERVED AVERAGE HEADWAY (Seconds)	EQUIVALENT PEDESTRIAN VOLUME (Persons per minute)
<b>Doors</b>		
Free-swinging	1.0 – 1.5	40 – 60
Revolving—one direction	1.7 – 2.4	25 – 35
<b>Registering Turnstiles</b>		
Free Admission	1.0 – 1.5	40 – 60
With Ticket Collector	1.7 – 2.4	25 – 35
<b>Coin-Operated (low)</b>		
Single slot	1.2 – 2.4	25 – 50
Double slot	2.5 – 4.0	15 – 25
<b>Boarding Buses</b>		
Single Coin Fare	2 – 3	20 – 30
Odd Cash Fares	3 – 4	15 – 20
Multi-Zone Fares	4 – 6	10 – 15

Tabell 6. Personflöde genom öppningar

**6.3.6 Fruins rekommendationer**

Förutom att enbart betrakta personflödet i trappor vid dimensioneringen bör man med hänsyn till att dessa utgör en större personrisk jämfört med horisontella ytor uppfylla nedanstående råd.

- Trappor skall vara placerade så att de är lätt synliga och lätt identifieras som möjliga vägar ut.
- Det skall finna tillräckliga ytor innan trappan som kan rymma köande personer.
- Trappor skall vara ordentligt belysta.
- Trappan skall vara konstruerad så att den är lätt att gå i. Steghöjden skall vara mindre än 18 cm (7").
- Om trappan är i direkt förbindelse med en korridor är trappan styrande vad avser flödet.
- Om motsatta flöden förväntas ska bredden ökas med minst en personbredd, 70 cm.

Fruin nämner också behovet av en eventuell maxbredd på korridorer. Detta pga att den visuella uppfattningen av korridoren försämras om den blir för bred. Han föreslår att maximal bredd bör vara mellan 9 - 12 m vilket dock kan verka mycket.

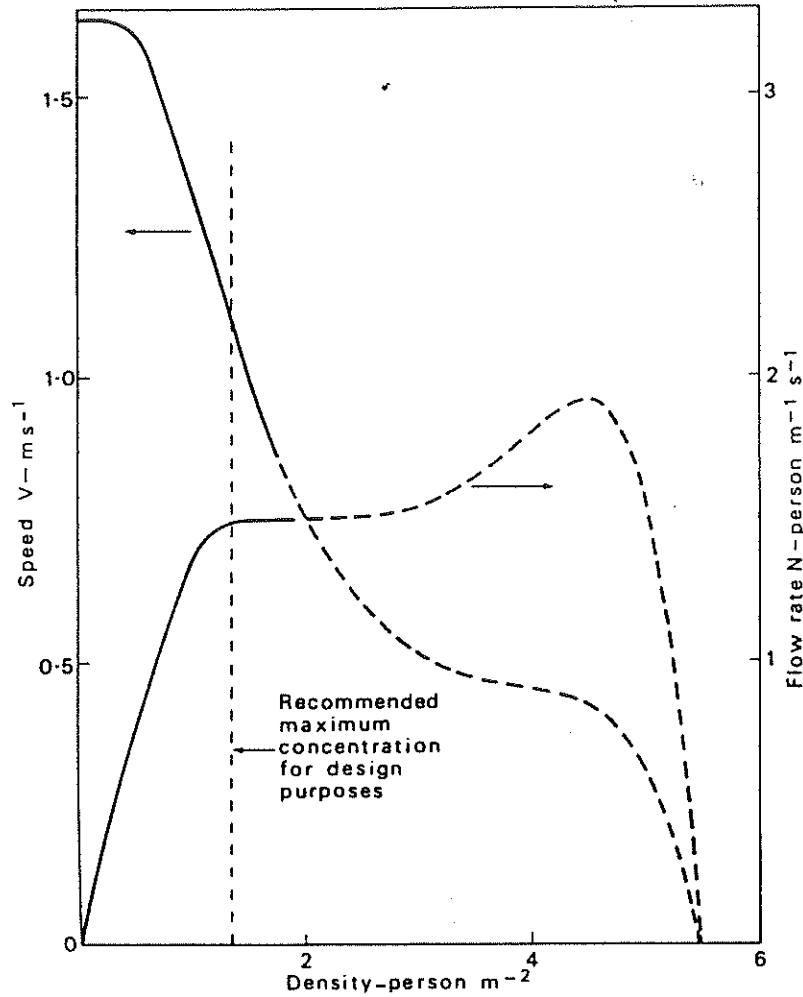
## 6.4 Melinek och Booth

Melinek och Booth /15/, MB gör inga egna undersökningar utan redovisar enbart försök gjorda av andra och drar, i något fall tyvärr felaktiga, slutsatser ifrån dessa. De undersökningar som redovisas är främst från Togawa, Fruin och en brittisk utförd av London Transport Board, LTB /16/. Den sista härrör ifrån studier gjorda i Londons tunnelbana och har därför likheter med bl a Togawa. De data som framkom efter försöken i London främst vad avser horisontell gång bearbetas ytterligare. Det som förs fram som resultat har samma brister som Togawa, dvs undersökningen är utförd på en population som inte kan jämföras direkt med en som ska utrymma ifrån en brinnande byggnad.

Detta är också kritik som framförs av några andra forskare bl a Pauls då hans försök i trappor ger lägre hastigheter och flöden. Skillnaderna mellan en tunnelbanepopulation och en som ska utrymma redovisas i avsnitt 6.1. Melinek och Booth påpekar också att panik är sällsynt vid utrymning men för att minska riskerna för att det ändå inträffar ger de exempel på åtgärder som man kan vidta.

- Anordnande av utrymningsvägar där personflödet flyter i en jämn ström.
- Höga hus förses med brandsäkra trapphus. Det är viktigt att alla i byggnaden kan lämna den snabbt eller komma i skydd inom byggnaden.
- Inrätta ett kommunikationssystem där talade meddelanden kan lämnas till de som utrymmer.
- Nödbelysning skall finnas i byggnaden.

De felaktigheter som finns i artikeln gäller gång i trappor där lutningen av trappan inte beaktas. En av de undersökningar som där refereras, utförd av Galbreath /17/, tas trots detta med i jämförelsen i slutet då den är en av de få som visar gånghastigheter upp för trappor. Den är då korrekt behandlad. De gånghastigheter som redovisas för horisontell gång har mätts i korridorer med en bredd varierande mellan 1.1 och 3 m. Hastigheterna uttrycks som funktion av persontätheten, figur 12.



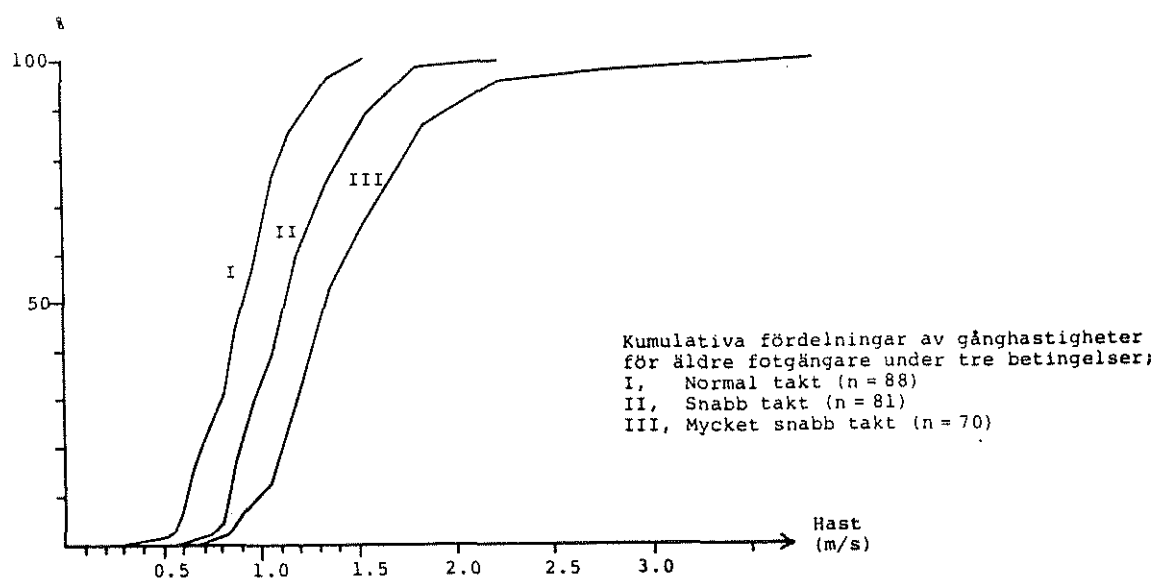
Figur 12. Gånghastighet och personflöde på plant underlag

Source	Rate of flow, persons per second per metre width		
	level passage	stairs up	stairs down
British data	0.8 - 1.4	1.0	0.9
French data	1.1 - 2.7	1.4	0.9 - 1.6
American data	1.4	0.9 - 1.7	1.0 - 1.5
Cinema construction	0.9 - 2.1	-	-
North American Transit Authorities	1.5	0.9	1.1
Paris metro	1.7	1.0	1.3
London Transport Board	1.5	1.0	1.1
Average	1.5	1.1	1.15

Tabell 7. Personflöden från olika undersökningar

## 6.5 Dahlstedt

I den undersökning avseende äldre personers gånghastigheter som Dahlstedt /18/ genomförde användes pensionärer i åldrarna 70 år och uppåt där gånghastigheten uppmättes ute på en gata. Personerna fick gå en sträcka på 10 m där tid togs och varje försök utfördes individuellt. Försökspersonerna blev ombudda att gå sträckan med tre olika förutsättningar a) normal bekväm takt b) som när man har bråttom och c) som när man försöker hinna ifatt bussen. I figur 13 redovisas den kumulativa hastighetsfördelningen.



Figur 13. Äldre personers gånghastighet på horisontellt underlag under tre betingelser.

Dahlstedt intervjuade också de deltagande och dessa intervjuer tyder på att deltagarna var mycket aktiva fotgängare med en medianpromenad på 35-40 minuter varje dag men inget sägs om hur länge de undersökta skulle kunna hålla den hastighet som det korta försöket resulterade i. Det bör också nämnas att av de som deltog i Dahlstedts undersökning utförde inte alla gånghastighetsförsöket utan intervjuades bara och i vissa fall valde personerna att inte gå i det snabbaste tempot av skäl som ålderssvaghet, att de inte vågade mm. Detta pekar på olämpligheten att använda 'mycket snabb takt' som referens vid utrymningar då man inte får med de allra långsammaste personerna i resultatet för förutsättningarna b och c. Vi vet därför inte om dessa personer skulle kunna prestera någon högre hastighet om det gällde en verklig utrymning eftersom det inte redovisas av Dahlstedt.

Av den totala slumpmässigt utvalda gruppen pensionärer visade det sig att endast 72 % kunde klassificeras som fotgängare som kunde klara sig själv i trafiken. Det är på dessa 72 % som undersökningen baseras. Övriga 28 % klassades som icke fotgängare och behandlades inte vidare.

## **6.6 Pauls**

### **6.6.1 Förutsättning**

Jake Pauls /5, 14, 19, 20, 21, 22, 23, 24/ är troligen den forskare som på senare tid utfört stora undersökningar med inriktning på persontransport och evakuering. Undersökningarna är gjorda från i första hand höga kontorshus där evakuering nedför trappor varit det intressanta att studera. Totalt genomfördes 58 försök i kontorshus där trappbredden varierade mellan 0.91m (36") och 1.52 m (60"). Pauls undersökningar har dock inte enbart varit inriktat på gånghastigheter utan täcker även in området som behandlar det mänskliga beteendet i utrymningssituationer. Det innebär att Pauls resultat sannolikt kan användas som bra underlag vid praktisk dimensionering av utrymningsvägar. Detta sker i USA genom att resultaten finns med i NFPA 101M Life Safety Code the Alternative Approach /25/. De människor som genomförde utrymningsövningarna kan antas vara sådana som normalt vistas i de testade byggnadstyperna dvs man utnyttjade inte några speciella försökspersoner. Det innebär att inte enbart människor med normal gånghastighet, utan även de med svårigheter att röra sig i trappor deltog.

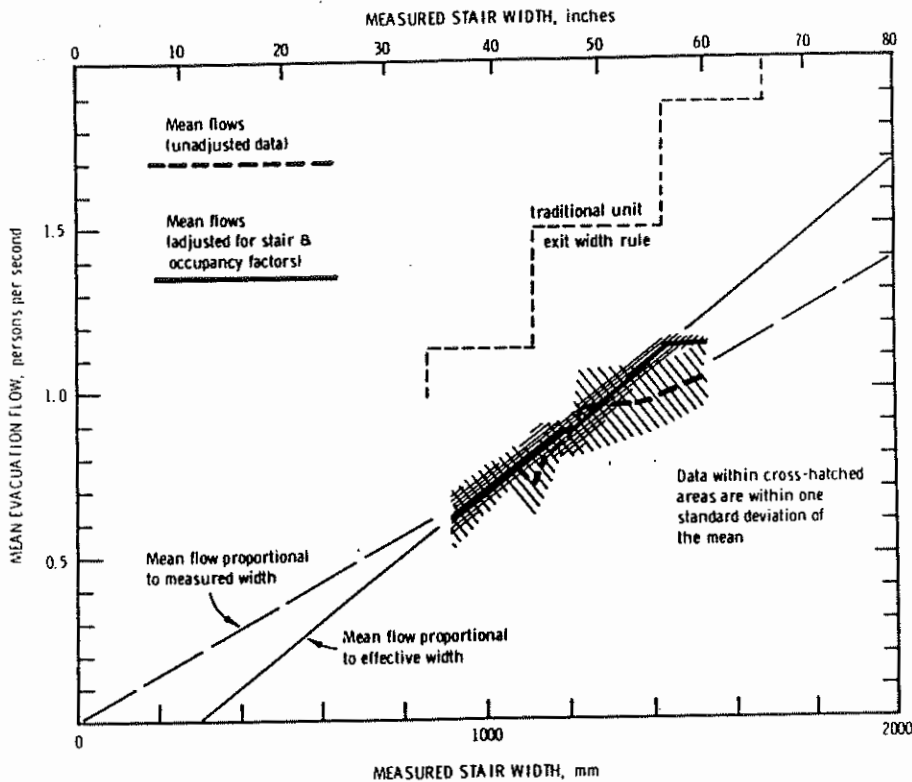
De förhållanden som gällde för personerna kan troligen ganska väl översättas till att gälla vid verkliga utrymningar. Personerna var i de flesta fallen medvetna om att en utrymning skulle komma att ske men inte när. De var därför inte utsatta för rök eller värme utan endast en stressituation vilken i många fall kan vara den mest sannolika. De viktiga antagandena i Pauls undersökning ligger i att det resultat man får från övningar och liknande försök kan användas som grund för att förutsäga hur fort en utrymning sker och att människor ska inte antas reagera fortare eller förflytta sig mer effektivt i en utrymningssituation än annars.

Vissa av de försök som gjordes var ifrån andra byggnadstyper än höga hus vilket gör att resultaten får en bred förankring. Bland dessa andra kan nämnas att stora sportarenor under OS i Montreal studerades.

### **6.6.2 Effektiva bredden**

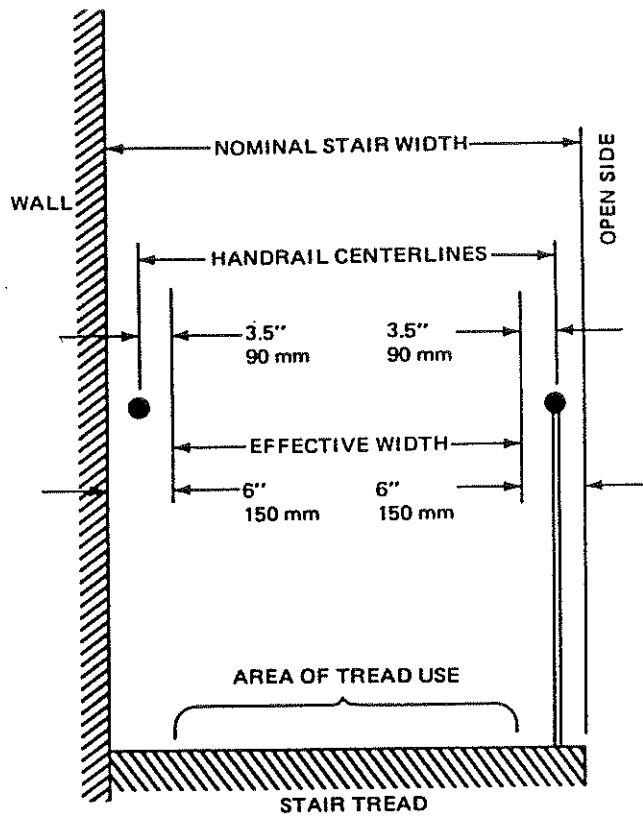
Observationer från undersökningarna, där vissa dock är opublicerade, har gett Pauls en grund att bygga sin Effective-width-modell på. Vid dessa senare försök utnyttjades

även bredare trappor. Den effektiva bredd-metoden bygger på att personer som går i t ex en trappa ej utnyttjar hela den tillgängliga bredden. Det uppstår ett gränsskikt närmast kanterna och om detta skikt mellan de utrymmande och kanten räknas bort erhålls den effektiva bredden. Figur 15 visar i en principskiss hur den effektiva bredden förhåller sig till den verkliga bredden och figur 16 visar frekvensfördelningen av hur bredden utnyttjas av de som passerar en trappa vilket visar på metodens riktighet. Pauls har genom sina försök och även från andras resultat kunnat visa att personflödet i trappor är linjär mot denna effektiva bredd. Data på flödet korrelerar betydligt bättre mot den effektiva bredden än mot den verkliga bredden och utrymningstider kan med denna metod därför på ett bättre sätt kan förutsägas, figur 14.

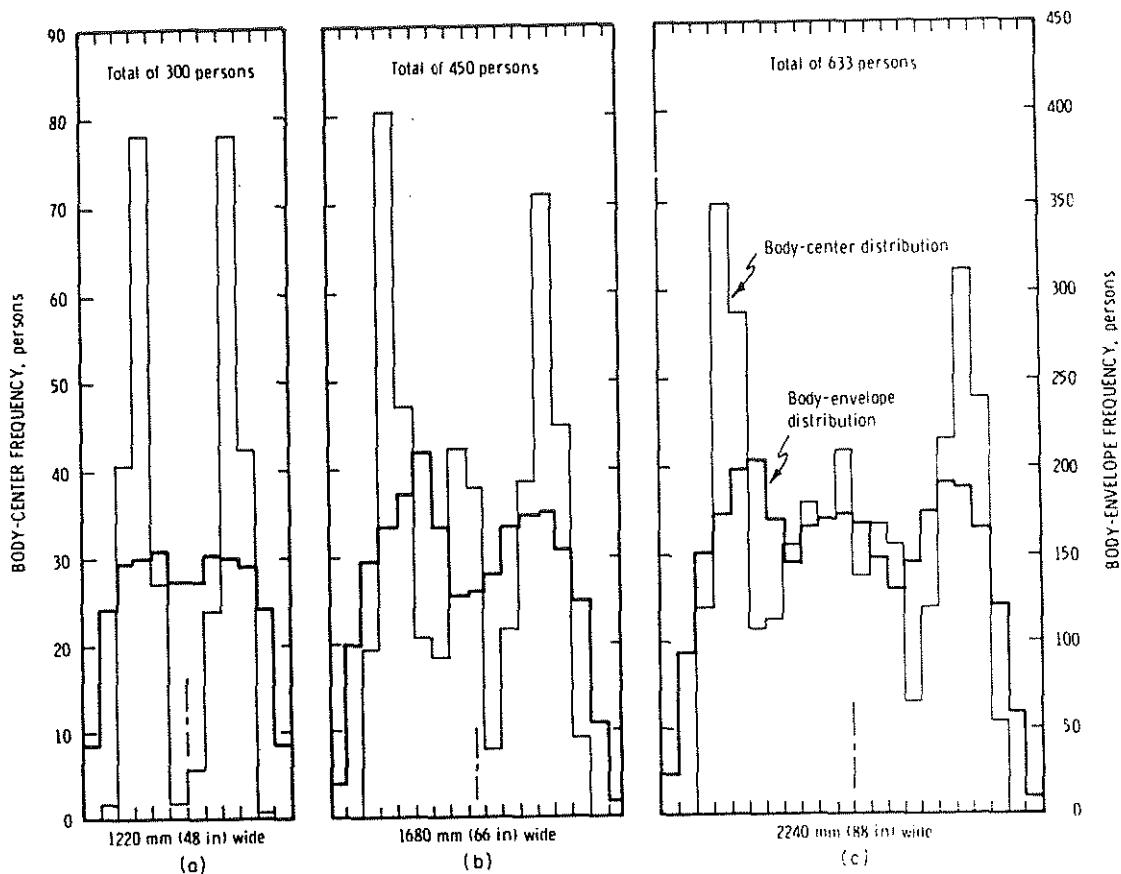


Figur 14. Förhållande mellan medelflöde och trappbredd från 58 evakueringsförsök





Figur 15. Effektiva bredden



Figur 16. Fördelning av människor i intensivt använda trappor.

Fruin rapporterar också om detta gränsskikt som ej utnyttjas av de utrymmande men redovisar ändå sina personflöden som funktion av den totala bredden även om användandet av den effektiva bredden borde ge en bättre linjäritet. Detta kommer inte förrän med Pauls resultat. Både Pauls och Fruin anger att storleken på detta gränsskikt ska adderas till den beräknade bredden för att erhålla den verkliga bredden. Pauls anger också hur stort detta gränsskikt bör vara för olika typer av förbindelser. Den effektiva bredden som visas i figur 15 ska börja mätas

- 150 mm från väggen (mer om väggen har en rå yta) dvs
- 90 mm från mitten av handledaren eller
- från den yttersta delen av en stolsrad i en gång

I tabell 8 /26/ anges fler mått på gränsskiktet för olika förbindelser och dessa kommer från observationer gjorda av bl a Pauls och Fruin.

Exit route element	Boundary layer	
	(in.)	(cm)
Stairways—wall or side of tread	6	15
Railings, handrails*	3.5	9
Theater chairs, stadium benches	0	0
Corridor, ramp walls	8	20
Obstacles	4	10
Wide concourses, passageways	up to 18	46
Door, archways	6	15

\* Where handrails are present use the value if it results in a lesser effective width.

Tabell 8. Gränsskiktets storlek för några olika förbindelser

De persontätheter som Pauls redovisar sina resultat mot är beräknade med avseende på trappans horisontellt projicerade yta och med verkligt mått på bredden, inte den effektiva.

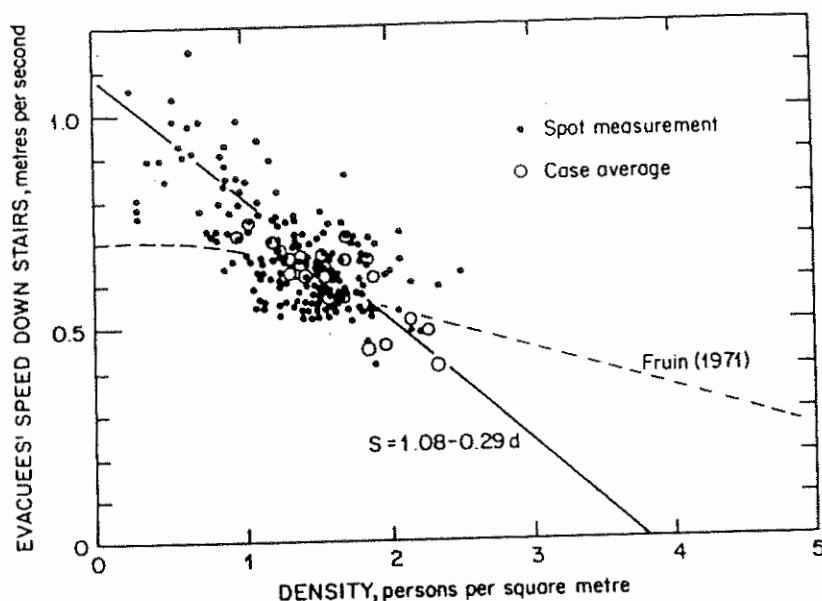
### 6.6.3 Trappor

I de fall då personer med något nedsatt rörelseförmåga deltog kunde inte någon tydlig minskning i det totala flödet observeras utan flödet sjönk lokalt kring de långsammare men ökade igen efter dessa passerats. Detta visar att passage kan ske i trappor vid utrymning. Fruin konstaterade att så inte var fallet vid normala förhållanden. För att effektivisera evakueringen ytterligare kan man låta de som går långsammare ta en separat trappa eller gå efter de övriga. Det ska dock påpekas att de långsamma har samma rätt till en säker och trygg utrymningsväg som de övriga i byggnaden.

Pauls uppskattar att de som går långsammare än merparten utgör ca 3% av den totala populationen i kontorshus. Fruin anger att ca 6 % av hela befolkningen i USA lider av allvarliga rörelsevårigheter. För Sverige anger Kvarnström /27/ att 17 % av befolkningen är rörelsehindrad. Det är stora skillnader i dessa siffror och variationerna beror troligen på hur man definierar gångsvårigheter. Problemen kan bestå av olika orsaker och vara mer eller mindre påtagliga som t ex psykiska besvär såsom fobier, cellskräck och liknande men.

De flöden som anges måste i vissa fall justeras med hänsyn till trappors utformning, väggarna ytråhet eller om personerna bär ytterkläder eller ej. Pauls anger att flödet sjunker med ca 6-10% om personerna bär med sig ytterkläder eller har dem på sig. Om väggarna är grova kan man förvänta sig en minskning i flödet och Pauls anger att denna är i storleksordningen 4 %. Om personerna är vana vid utrymningsövningar kan flödet öka med ca 2 %. Hur väl dessa siffror stämmer med generella fall kan vara svårt

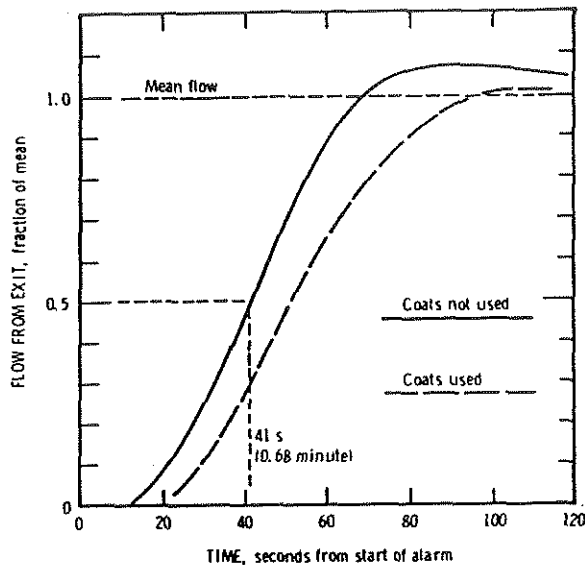
att förutsäga och samtidigt kan skillnaderna falla inom felmarginalen för resultaten. Det är mycket ovanligt att felmarginaler eller konfidensintervall redovisas i samband med denna typ av försök.



Figur 17. Gånghastighet nedför trappa

#### 6.6.4 Fördröjningstid

Pauls är en av de få som anger hur lång tid man kan förvänta sig det dröjer innan utrymningen kommit igång ordentligt efter ett larm. Han antar att fördröjningstiden motsvarar den tid det tar tills flödet i förbindelsen kommit upp till hälften av det beräknade eller uppmätta normalflödet, figur 18. För kontorshus är denna tid i genomsnitt 41 sek vilken innefattar gångtid plus andra eventuella fördröjningar. Denna tid kan dock inte ses som någon dimensionerande tid utan bör endast visa på hur man kan göra denna uppskattning av fördröjningen. För de byggnade som Pauls studerade stämmer dock tiden. Det ligger dessutom lite utanför detta projekt att studera hur olika människor reagerar i en utrymningssituation och hur lång tid det tar.



Figur 19. Personflödet som funktion av tid efter larm

### 6.6.5 Trappans utformning

Pauls har också studerat hur trappans utformning påverkar flödet och säkerheten vid gång nedför. Som största säkerhetsrisk vid gång i trappor anges falloolyckor vara. Dessa påpekas ofta vara orsakade av felaktigt formgivna trappor där trappstegens mått i för hög grad styrts av att trappan ska vara utrymmessnål och därmed billig. För att minska riskerna med olyckor vid utrymningar bör trapporna

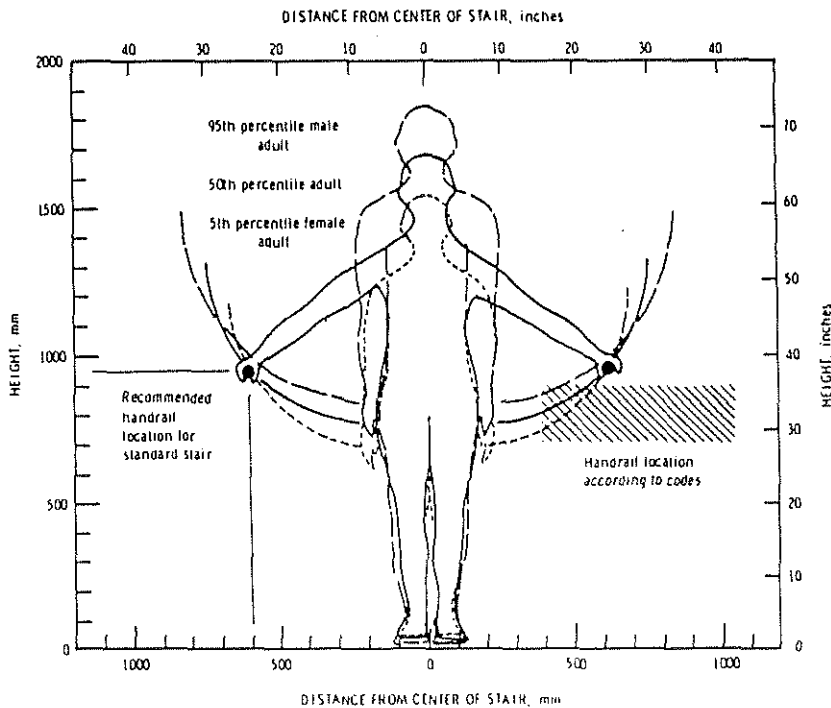
- vara ordentligt belysta,
- ha ett stegdjup som är tillräckligt stort för att ge stadga vid fotisättandet och
- ha lätt tillgängliga handledare.

Trappsteget bör vara lägre än 18 cm (7") och ha ett stegdjup som är längre än 28 cm (11") för att ge en bra gång. Dessa värden är de som numera gäller som dimensioneringsvärden för mått på trappsteg i den amerikanska säkerhetsnormen NFPA 101 Life Safety Code /28/ för nya byggnader. Här anges också att lägsta steghöjden får vara minst 10 cm. Handledare i trappor bör vara placerad ca 95 cm över trappsteget för att det ska kunna nås av en stor del av befolkningen. Som jämförelse kan nämnas att i NR anges att handledaren bör placeras 90 cm över trappsteget. Handledarna bör enligt Pauls vara cirkulära med diametern 45 mm och med ett fritt avstånd till väggen av 55 mm eller mer om väggytan är ojämn. Avståndet mellan två handledare bör inte överstiga 1575 mm. Detta mått är baserat på att handledaren monteras minst 91 cm ovanför trappsteget. Är handledaren placerad lägre bör den maximala trappbredden minskas, figur 19.

Även minsta bredd på trappor diskuteras av Pauls. Enligt försök som han gjort bör en trappa inte vara smalare än 690 mm mätt mellan centrum av handledarna. Om trappan

på ena sidan gränsar till en vägg bör avståndet mellan vägg och centrum av handledaren inte överstiga 755 mm. I trappor med dessa mått kan två personer möts även om de då blir tvungna att vrida sig lite. Andra motsvarande undersökningar ger ungefär liknande siffror på minsta trappbredd. I USA har man traditionellt ansett att en gångbana i trappa bör vara 30" (762 mm) vilket stämmer ganska bra med Pauls mätningar.

Den gånghastighet nedför en trappa som anges i figur 17 är enligt /26/ baserad på stegmått 18/28 cm. I de fall som stegmått avviker från dessa beskriver Pauls i /21/ hur hastigheten bör korrigeras. Denna korrigering är dock "...based on opinion..." /21/ och ska inte betraktas som absolut. Nelson och MacLennan /26/ anger en beräkningsmetod, baserad på Pauls arbete, som tar hänsyn till hur olika stegmått inverkar på gånghastigheten.



Figur 19. Möjlighet att nå en handledare för olika personer.

### 6.6.6 Dörröppningar

Pauls har som tidigare nämnts inte speciellt studerat personflöden genom dörröppningar men ger ändå sin syn på saken i bl a referens /21/. De råd som anges baseras på Fruins iakttagelser om flöden i dörrar där en normal dörr med bredden 910 mm och med fri bredd på 864 mm kan betjäna ca 60 personer per minut. Detta

förutsätter att personer står framför dörröppningen och väntar på att få komma igenom och att dessa har normal rörlighet och är bekanta med utgångarna i byggnaden. I annat fall rekommenderar han att man kan använda en kapacitet på ca 40 personer per minut. Till skillnad från trappor bör man inte använda den effektiva bredden vid kapacitetsberäkningar för dörrar då människor i denna situation tillfälligt går närmare varandra och dörrkarmarna när de passerar genom öppningen för att direkt efter densamma återigen öka avståndet. För dörrar som är bredare än det fria avståndet 864 mm anger han att kapaciteten konservativt räknat kan antas öka proportionellt med den ökade bredden.

## **6.7 Kvarnström och Eriksson**

### **6.7.1 Kontrollerade försök**







Kvarnström och Eriksson /27, 29/ vid sektionen för arkitektur på LTH har under 1970- och början av 1980-talet studerat hur trappor används i byggnader. Även utrymning via trappor har studerats och många erfarenheter har härigenom erhållits. Med tanke på att de flesta olyckor som sker i hemmiljö inträffar i trappor är det logiskt att anta att de spelar en stor roll även vid utrymning.

Vid gång i trappor registrerar hjärnan redan efter några få steg en gångrytm och därför är det viktigt att behålla samma mått på sätt och planstegen utefter hela trappans längd för att inte öka riskerna för olycksfall speciellt för de som har gångsvårigheter. I /27/ rapporterar Kvarnström om en undersökning som visar att 24 % av personer med nedsatt rörelseförmåga föll i trappa om stegdjupet varierade med 6 cm. Motsvarande siffra för personer utan rörelsesvårigheter var 10 %. Nedåtgående riktning bör vara dimensionerande för en trappas utformning vad avser mått på trappstegen eftersom riskerna då är störst. Av inträffade olyckor i trappor rapporteras 76 % av dessa ske vid gång nedåt.

Stegdjupet i en trappa bör vara mellan 25-30 cm och steghöjden mellan 15-20 cm. Enligt de rekommendationer som Nelson och MacLennan anger i /26/ ger en steghöjd på 16,5 cm (6,5") det största flödet. Kvarnström säger att 17-18 cm är den mest ideala höjden för att ta hänsyn till fotens rörelser men att steghöjden utan problem kan ökas till 20 cm för fullt friska människor. I smala spialtrappor kan ett stegdjup på 23 cm godtas då man vanligen går närmare ytterkanten i dessa än då spiraltrappan är bredare, ca 10-30 cm från ytterkanten jämfört med 20-40 cm för den bredare. Det är dessutom viktigt att plansteget är just plant och har en lagom sträv yta.

Den vanliga tvåloppstrappan med vilplan mittpå är den säkraste trapptypen enligt Kvarnströms undersökning om hänsyn också tas till skadetyper som vanligen inträffar vid fall i trappan. Olycksfrekvensen är dock lägre i en spiraltrappa jämfört med en rak

trappa och anledningen till detta antas vara att det tar ca 1.5 - 2 gånger längre tid att passera en våning om man använder spiraltrappa jämfört med rak trappa, tabell 9. I tabellen redovisas den tid det tar för 45 personer att förflytta sig ett våningsplan i olika trapp typer. Trappornas mått varierades också liksom förhållandena som skulle simuleras.

Trapp typ	Steghöjd:			Första man uppe: Sista man nere:	
	Stegdjup:	Stegdjup:	Antal stegdjup:	Snabb utrymning:	Normal utrymning:
	15	18	18	70	88
	19,3	18	14	64	86
	15	25	18	54	66
	19,3	25	14	46	66
	15	25	18	49	66
	19,3	25	14	51	71
	15	25	18	31	44
	19,3	25	14	33	46
	15	25	18	51	69
	19,3	25	14	69	54
	15	25	18	29,5	41
	19,3	25	14	26,5	37

\*. Stegdjup 30 cm från trappans yttre kant.

Tabell 9. Redovisning av gångtider i sekunder för olika trapp typer.

Spiraltrappans utformning med det djupa stupet nära spindelcentrum samt att trappans utformning gör att man hela tiden strävar utåt mot kanten och närheten till räcket medför att olycksfrekvensen är lägre i spiraltrappor. Konsekvensen av fall i spiraltrappor är dock värre än för raka trappor. Om hänsyn också tas till skadetyper resulterar detta i att den vanliga tvåloppstrappan är det bästa alternativet för utrymning.



### 6.7.2 Handledare

Kvarnström redovisar också studier som anger hur handledarna i en trappa används.

	Snabb utrymning	Normal utrymning
Rak trappa	5%	17%
U-trappa	17%	36%
Spiraltrappa	11%	23.5%

Tabell 10. Andel som använder handledaren vid gång nedför trappa

I de flesta fall användes dock inte handledaren som extra stöd utan handen gled ovanpå som säkerhet om ett fall skulle inträffa. En rekommenderad höjd som passar flera skulle enligt Kvarnström vara 90 cm över trappan och för barn kan en extra handledare monteras på 70 cm höjd. Pauls anger att handledarens placering är beroende inte bara av personens storlek men även trappans bredd, figur 19 (s 42).

### 6.7.3 Utrymningsövning

Utrymningsövningar från televerkshuset i Göteborg /29/ utfördes vid några olika tillfällen 1981 under Erikssons ledning. De utrymmande kände till att en övning skulle ske men tidpunkten var för de flesta okänd. Att övningen var känd ledde till att tiden till start av utrymning i princip var lika med noll (98% startade inom 10 sek från larm).

Dörrar och trappor ansågs vara svårast att passera. Eftersom separata angreppstrappor fanns för brandkåren som också deltog, medförde detta att störningar av flödet i trapporna inte förekom. Angreppstrapporna användes ej av de utrymmande. Personflödet varierade mellan 0.55 - 0.95 p/m\*s i trapporna som var 1.2 m breda med 1.0 m mellan handledarna. Flödet nådde toppar på 1.2 p/m\*s men hade ett medelvärde på 0.8 p/m\*s. På horisontellt underlag var flödet i genomsnitt 1.35 p/m\*s och i topparna 2 p/m\*s. Dessa värden stämmer enligt Eriksson bra överens med Pauls resultat även om Eriksson räknar med verkliga bredden på trapporna och inte den effektiva bredden.

Dörrarna till trapphusen från respektive plan var glasade vilket var fördelaktigt då passage in i trapphuset kunde ske på ett smidigt sätt. Konflikter kunde på detta sätt undvikas. Eriksson konstaterar att största problemen vid övningen uppstod i trapporna och att smala trappor är att föredra så att man kan nå handledaren.

Utrymningsövningar för med sig inte bara en ökad medvetenhet om brandsäkerheten och utrymningsvägarna utan kan också peka på brister i den tekniska planeringen som i sin tur påverkar utrymningen exempelvis

- felaktigt placerade skyltar
- felaktiga eller trasiga skyltar
- felaktiga dörrslagningar
- låsning av dörrar

## **6.8 Khisty**

### **6.8.1 Förutsättning**

Khisty /30/ redovisar personflöden och hastigheter nedför trappor under förhållanden som kan betecknas som nödutrymning. Personerna som deltog i övningen kände inte i förväg till att utrymningen skulle ske. Försöken utfördes vid olika tider på dygnet och vid olika årstider med i huvudsak amerikanska universitetsstudenter i åldern 19 - 30 år. Byggnaderna de utrymde varierade i höjd mellan 3-12 våningar och totalt genomfördes 21 nödutrymningar.

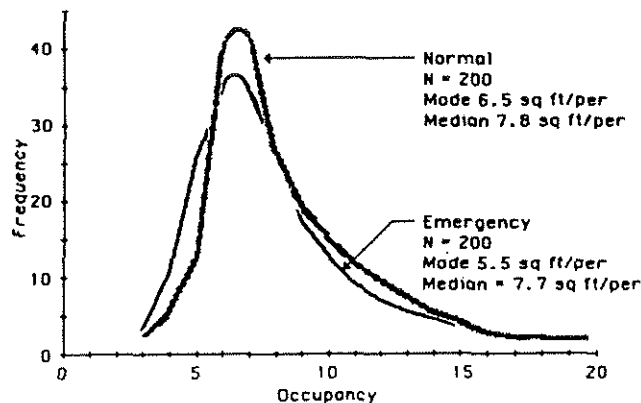
De trappor som studerades var vanliga raka tvåloppstrappor med räcken på båda sidorna och med trappbredden varierande mellan 1.22-2.13 m fri bredd. Inga avdrag är gjorda för att inte hela trappbredden används. En viktig iakttagelse som gjordes vid de nattliga utrymningarna var att köbildningar inträffade i trapporna trots god belysning, vilket då persontätheten översteg ca 3 p/m<sup>2</sup> medförde att farliga incidenter såsom snubblande och fall observerades. Nattetid var det också vanligt att det bildades en mindre folksamling precis utanför utgångarna till det fria. Detta påverkade flödet längre upp i trapporna.

I de få fall då personer snubblade till skedde detta vanligtvis där steghöjden var mellan 19-20 cm (7,5-8"). Inga fall av utmattning kunde observeras bland de utrymmande även om försöken höll på flera minuter. Detta rapporteras i /31/ kunna inträffa om utrymningen varar mer än ca 5 minuter. Av efterföljande intervjuer med de som deltagit (10% intervjuade av det totala antalet) framkom det att de flesta, 80 % trodde att det rörde sig om en allvarlig situation. Detta gör att man kan sätta ganska stor tilltro till resultaten.

### **6.8.2 Resultat**

Khisty redovisar både försök gjorda under utrymningsförhållanden liksom sådana

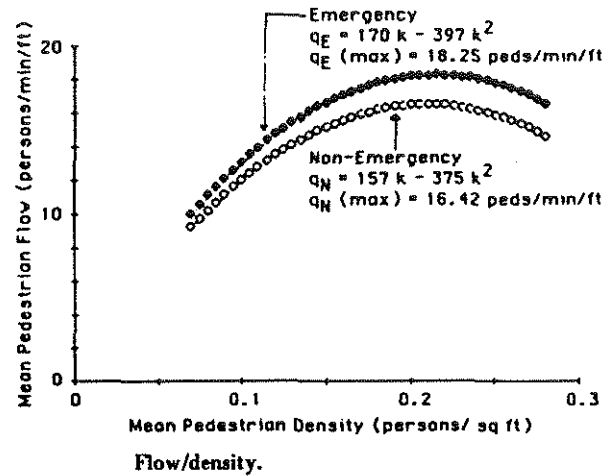
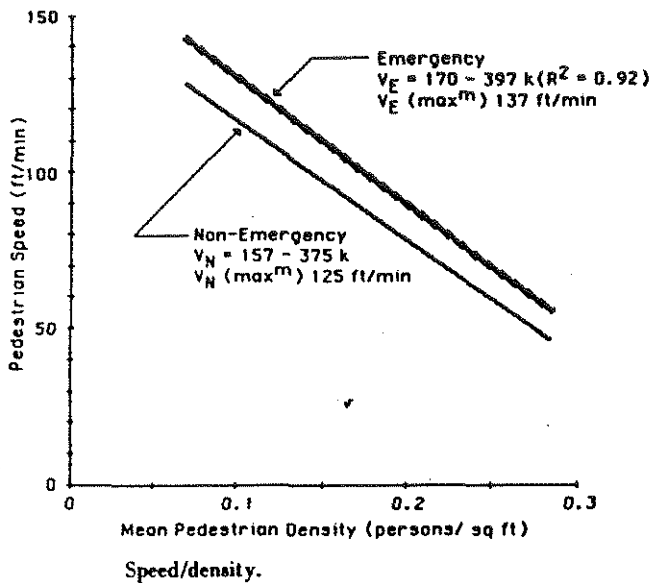
gjorda under normala förhållande vilka används som jämförelse. Flöden och hastigheter vid de olika förhållandena redovisas i diagramform som funktion av persontätheten i figurerna 21 och 22. Persontätheten anges med avseende på trappornas horisontellt projicerade yta. Frekvensfördelningen, figur 20, av persontätheten visar att för nödutrymning är kurvan mer dragen åt högre täthet jämfört med normala förhållanden. Förklaringen till detta kan vara att personerna känner en viss oro pga att de inte vet vad som har hänt och av den anledningen försöker ta sig ut fortare än man annars skulle ha gjort.



Figur 20. Persontäthet i trappor under utrymning och vid normala förhållanden

Pedestrian Occupancy (ft <sup>2</sup> /person)	Frequency Under	
	Emergency Conditions	Normal Conditions
3.5	5	1
4.5	22	6
5.5	23	20
6.5	36	42
7.5	33	40
8.5	20	22
9.5	10	20
10.5	10	17
11.5	6	12
12.5	6	5
13.5	7	6
14.5	7	2
15.5	3	2
16.5	4	2
17.5	3	1
18.5	3	1
19.5	2	1
Total	200	200

Tabell 11. Figuren ovan i tabellform



Figur 21 och 22. Gånghastighet och personflöde vid utrymning och vid normala förhållanden

De hastigheter som anges som resultat är horisontell komponent av gånghastigheten utför trappan. Khisty ger med stöd av sin undersökning några rekommendationer för dimensionering av utrymningstrappor.

- Maximalt flöde i trappor bör vara  $0.98 \text{ p/m} \cdot \text{s}$  ( $18 \text{ p/ft} \cdot \text{min}$ ) och med en persontäthet av  $1.43 \text{ p/m}^2$  ( $7.5 \text{ ft}^2/\text{p}$ ).
- Trappor bör vara så breda att två personer kan gå i bredd vilket innebär  $1.52 \text{ m}$  ( $60''$ ).
- Trappstegen bör ha samma mått utefter hela trappans längd, med största steghöjd  $18 \text{ cm}$  och minsta stegdjup  $28 \text{ cm}$ .

Kommunikation mellan de som leder utrymningen och de utrymmande är mycket viktigt. En lyckad utrymning är beroende av tydliga talade utrymningsmeddelanden. Inverkan av vägledande markeringar studerades dock inte av Khisty trots att utrymning under simulerade brandförhållanden gjordes.

## 6.9 Hallberg och Nyberg

Gun Hallberg är nog den i Sverige som tillsammans med Marianne Nyberg /32/ mest aktivt studerat hur äldre och handikappade klarar av att utrymma vid ett brandtillbud. Förmågan att utrymma varierar avsevärt mellan olika kategorier av handikappade och äldre. Hallberg och Nyberg anger exempelvis att ca hälften,  $44\%$  av de som bor i servicehus behöver hjälp av två personal för att ta sig utför en trappa. För

utrymningsberäkningar är det inte bara nödvändigt att veta hur fort en åldring eller handikappad går utan även hur länge denna person orkar gå i den angivna hastigheten.

Hallberg och Nyberg har bland annat studerat rörelseförmågan hos boende i servicehus. Sammanlagt undersöktes 476 personer på så sätt att personalen beskrev några personer som i det servicehuset var representativa för alla boende i huset. De utvalda servicehusen var lokaliserade i olika delar av landet och kan därför antas vara representativa för hela landets bestånd av servicehus. Personalen fick bland annat kategorisera de boendes gånghastigheter i fyra tempoklasser; mycket långsam, långsam, ganska rask och rask. Resultater finns i tabell 12.

Mycket långsam	31%
Långsam	36%
Ganska rask	24%
Rask	9%

Tabell 12. Fördelning av gånghastighet för boende i servicehus

Gånghastighet och hjälpbehov i trappor är dock inte de enda parametrar som påverkar utrymningssituationen i servicehus. I undersökningen studerades även personers väckningssvårigheter, risk för motstånd och orienteringssvårigheter vilka i varierande grad påverkar gånghastigheterna.

Utifrån erfarenheter från andra försök med gånghastigheter som gjorts, främst Dahlstedt /18/, har Hallberg och Nyberg översatt de fyra tempoklasserna till hastigheter gällande vid utrymning, tabell 13.

Mycket långsam	0.7 m/s	31 %
Långsam	1.2 m/s	36 %
Ganska rask	1.5 m/s	24 %
Rask	2.0 m/s	9 %

Tabell 13. Gånghastighet för boende i servicehus

Siffrorna som de har använt kommer från Dahlstedts kumulativa fördelning av hastigheten för förhållandet 'Mycket snabb takt' i figur 13 (s 34). Ingångsvärderna i kurvan är de som erhållits genom undersökningen av boende i servicehus. Hänsyn har enligt Hallberg och Nyberg därmed tagits till det faktum att de utrymmande förväntas gå snabbare än normalt. De allra långsammaste i denna undersökning gick i 0.3 m/s i normaltakt.

Mycket långsam	0.3-0.8 m/s
Långsam	0.8-1.1 m/s
Ganska rask	1.1-1.3 m/s
Rask	1.3- m/s

Tabell 14. Fördelning av gånghastigheter hos äldre gående i normal takt

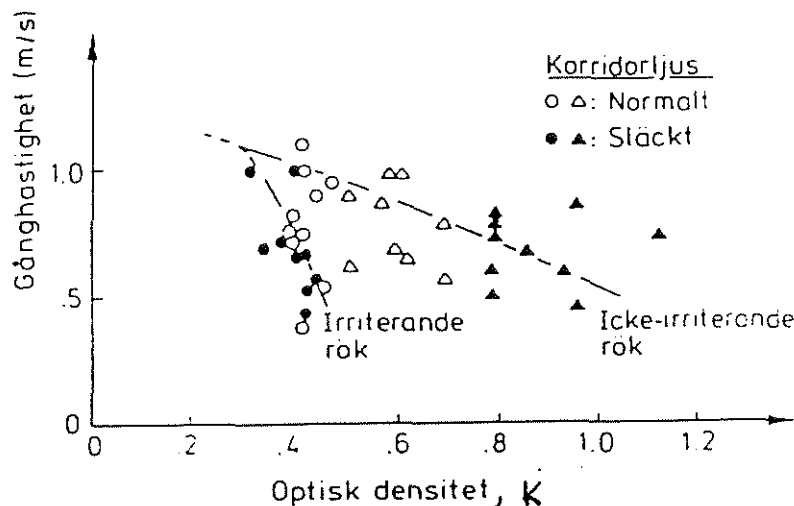
Hallberg gör en jämförelse mellan några andra undersökningar och konstaterar att hastigheten 1 m/s är rimlig för personer boende i servicehus vid en nödutrymning. Dessa andra undersökningar, en från England och den andra från Sverige utfördes med äldre personer i stadsmiljö vid övergångsställen och inomhus i korridorer. Dessa personer kan knappast alla kategoriseras som personer boende i servicehus. Det är dock tveksamt om Dahlstedts resultat är tillämpbara på personer boende i servicehus då dessa i hög grad är beroende av hjälp. Problemet med jämförelsen mellan Hallberg och Dahlstedt är att personer med olika förutsättningar använts. Dahlstedts personer är i stor grad vana gångtrafikanter som ofta är ute och går, må vara med olika hastigheter, vilket innebär att Hallbergs personer inte kan jämföras med dessa. Om undersökningarna ska användas tillsammans så bör man i alla fall välja normal hastighet vid översättningen av tempoklasserna till hastighet, tabell 14.

## 6.10 Rök och mörker

Vid de flesta mätningar som gjorts av utrymningshastighet har varken rök eller mörker varit påverkande faktorer. Stress har ingått som en del, åtminstone i de fall nödutrymning simulerats. Det är ganska väldokumenterat att gånghastigheten är beroende av rök och ljusförhållandena i utrymningsvägarna. Det har visat sig inte minst i de undersökningar /33/ som följt vissa stora bränder i t ex hotell. Det är dock inte bara gånghastigheten som påverkas utan också det personliga beteendet i situationen påverkas så att individerna exempelvis väljer att överhuvudtaget inte gå in i ett utrymme som är rökfyllt med rök över en viss täthet.

Enligt de regler och normer vi har idag som reglerar byggandet skall rök inte spridas utanför den brandcell där branden utbrutit, åtminstone så länge som utrymningen varar. Det är dock inte ovanligt att rök sprider sig utanför denna brandcell och därför påverkar de utrymmande där de enligt byggnormen skulle vara säkra och under en längre tid. Av den anledningen är det viktigt att känna till hur röken påverkar gånghastigheten på de utrymmande även längre bort i utrymningsvägarna.

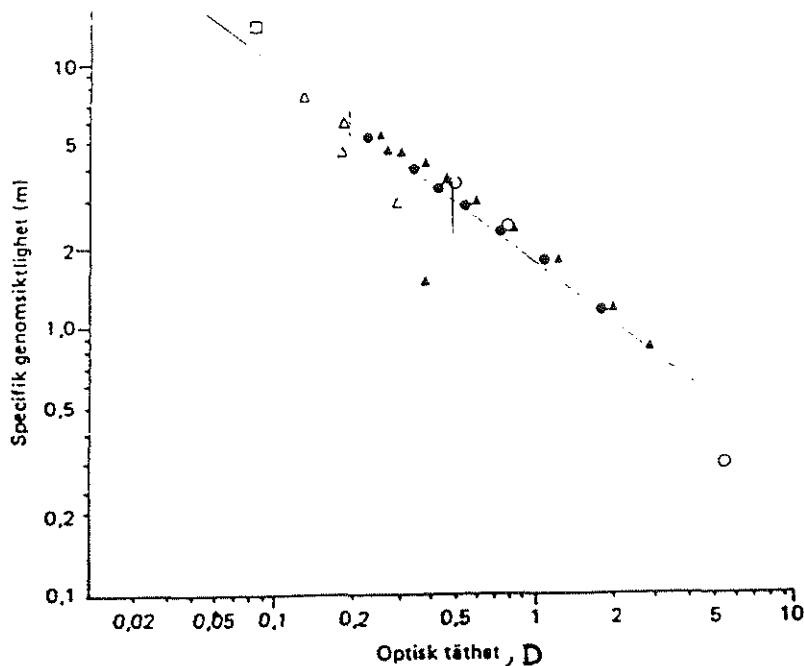
I detta projekt begränsas dock påverkan på människan från röken till att enbart betrakta gånghastighetens förändring med ökande röktäthet. Röken kommer givetvis att även fysiologiskt påverka människan genom att giftiga gaser upptas i kroppen och påverkar kroppen negativt ur utrymningssynpunkt vilket förvisso medför att gånghastigheten minskar men här begränsas rökpåverkan till att gälla enbart hastighetsminskning till följd av minskad sikt och ökad oro. Projektet kommer inte att ta upp hur denna oro påverkar gånghastigheten utan enbart konstatera att det sker.



Figur 23. Gånghastighet i rök mot optisk densitet K efter /34/. Bilden är publicerad i SOU /35/. Den optiska densiteten är definierad som,  $K=1/L*\ln(I_0/I)$ .

Man kan ofta jämföra gång i mörker med gång i rökiga lokaler. Det är samma typ av hinder för de utrymmande personerna i båda fallen och det är därför lämpligt att behandla båda fallen samtidigt. Den rök som då avses är den ickeirriterande röken. Om röken är irriterande för ögon och andningsapparat kommer påverkan på människorna snabbare och gånghastigheten minskar mer än för motsvarande röktäthet för ickeirriterande rök.

I Japan har Jin /34, 36/ gjort många olika undersökningar som bl a visar hur gånghastigheten minskar med ökande röktäthet, figur 23. I försöken varierades också ljusförhållandena i den korridor där försöken genomfördes men det visade sig att detta inte påverkade utrymningshastigheten utan den stora skillnaden ligger i om röken är irriterande eller ej. Plaster är numera ganska vanliga som inredningsmaterial och dessa producerar en mängd irriterande och mörk rök. Därför är genomlysta utrymningsskyltar att föredra då de ger en större sannolikhet för en lyckad utrymning om röken är irriterade. Skillnaden i siktlängd mellan belysta resp genomlysta skyltar är enligt Jin ca 2 gånger till fördel för den genomlysta.



Figur 24. Siktsträcka jämfört med röktäthet /35/. Optisk täthet är här definierad som  $D=1/L*\log(I_0/I)$

I diagrammet, figur 24, som visar siktsträckan som funktion av röktätheten, redovisad i SOU /35/ efter försök av Quintiere /37/, konstateras att siktsträckan minskar med ökande röktäthet. Jins försök visar att röktätheten då hastigheten går mot noll motsvaras av en siktsträcka på 2 m. Detta är den kortaste siktsträckan där personerna fortfarande rör sig framåt. Denna sträcka gäller dock för Jins försökspersoner som var friska och i åldern 19-30 och därför kanske inte riktigt representativa för övrig befolkning. Siffran 2 m ska därför ses som ett absolut minimum. Jin föreslår att den kortaste siktsträckan bör vara 3-5 m alternativt 15-20 m beroende på om personerna är bekanta med den aktuella byggnaden eller ej medan Rasbash föreslår att siktsträckan ej bör understiga 10 m oberoende av vilken lokal det gäller.

Hur gånghastigheten på horisontellt underlag varierar med ljusnivån på golvet redovisas av Webber och Hallman /38/. Deras försök gjordes med varierande belysningsintensitet på nödbelysningen och även efterlysande markeringar användes i separata försök vilka hade god inverkan på gånghastigheten. Dock är vanlig belysning eller nödbelysning bättre än efterlysande markeringar, då gånghastigheten inte börjar avta förrän ljusnivån närmar sig 1 lux på golvet, vilket är mycket svagt ljus. Dessutom syns hinder och liknande bättre i vanligt ljus jämfört med om efterlysande färg används som ljuskälla.

Anmärkningsvärt är att gånghastigheterna i trappor är högre för uppåtgång jämfört med

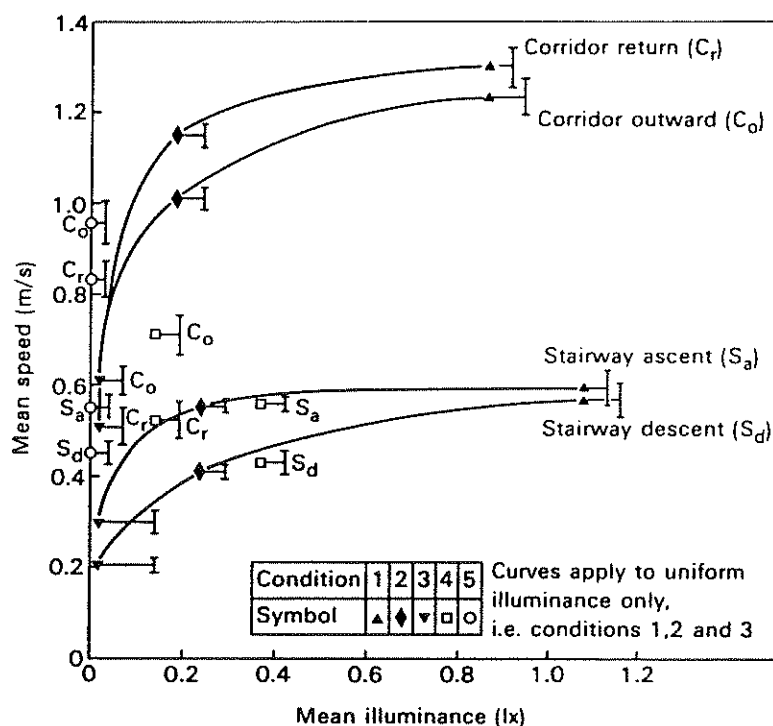


gång nedför. Detta förklarar författarna med att försökspersonerna pga mörkret ville känna sig för med fötterna vid gång nedåt och att de därför gick mer försiktigt. Vidare kan det noteras att för vissa belysningsfall är gånghastigheten högre då personen går en sträcka första gången jämfört med på tillbakavägen. Detta förklarar man med att personen i det fallet tagit sikte på någon belysningspunkt längre bort och därför går mot ljusare förhållanden. I Webbers och Hallmans försök fanns det normalt en skylt eller nödljusarmatur i borte änden av försökskorridoren där personerna vände för att gå samma väg tillbaka.

Emergency visual conditions.

Condition	Corridor		Stairway	
	Mean (lx)	Range (lx)	Mean (lx)	Range (lx)
1	0.85	0.44-1.15	1.07	0.64-1.40
2	0.18	0.09-0.24	0.24	0.14-0.32
3	0.019	0.01-0.025	0.019	0.01-0.026
4	0.14	0.004-0.93	0.37	0.066-0.95
5	Photoluminescent		Photoluminescent	

Tabell 15. Ljusförhållande i försöken av Webber och Hallman /38/.



Figur 25. Gånghastigheten jämfört med ljusnivån på golvet.

Med tanke på att de största olycksriskerna i bostadsmiljö uppstår vid gång i trappa kan man minska dessa risker genom att ha ordentlig belysning i dessa. Detta faktum gäller självfallet även för andra byggnader. Hur efterlysande markeringar fungerar då det inte är totalt mörkt har inte framkommit vid några undersökningar ännu. Detta är dock den situation som är vanligast. Inte heller är det för närvarande känt hur kombinationer av nödbelysning eller efterlysande markeringar fungerar tillsammans med närvaron av rök. I Norge har man ett påbörjat ett projekt, "Eksperimentell utprøving av evakueringsystemer", som syftar till att se hur olika typer av nödbelysning och efterlysande markeringar påverkar utrymningsförmågan. Detta projekt ingår som en del i en större satsning, "Totalplaner for rømming av komplekse bygg". Projektet, som ännu inte publicerats, kommer förhoppningsvis att ge svar på frågan om hur väl olika utrymningsmarkeringar fungerar under rökförhållanden. En viss förhandsinformation tyder på att om utrymningsvägen är rökfylld så fungerar vanlig belysning bäst jämfört med efterlysande markeringar medan om det enbart är mörkt så är skillnaderna mindre.

För personer som befinner sig i invanda miljöer har Houruchi visat att gånghastigheten är högre om belysningen är god. I sämre belysning går de flesta ungefär lika långsamt /34/.



## 7 Sammanställning och kommentarer

### 7.1 Inledning

De resultat som tidigare redovisats från genomförda försök av gånghastigheter har varit med författarens egna beteckningar. Det kan då vara svårt att göra en korrekt jämförelse mellan de olika resultaten för att identifiera likheter. För att underlätta denna jämförelse redovisas respektive författares resultat utifrån samma utgångspunkt. I de fall jämförelserna avser en parameter som funktion av persontätheten för den aktuella förbindelsen är denna alltid angiven som personer per m<sup>2</sup> horisontell yta.

Den bredd som används för att beräkna persontätheten är den verkliga bredden. Detsamma gäller för hur personflödet i t ex en trappa anges. Enheten i detta fall är personer per meter och sekund, där bredden är verklig bredd på trappan. Pauls har som tidigare angetts kommit fram till att det bästa sättet att ange personflödet nedåt i trappor på är med den sk effektiva bredden som breddmått. Detta är förvisso korrekt men för att kunna jämföra olika resultat med varandra har enheten valts att baseras på den verkliga bredden. En omräkning till flöde per effektiv bredd kan lätt göras genom att multiplicera med en faktor 1.3, då gällande för trappa med verklig bredd 1.3 m.

Det kan också konstateras att då skillnaderna mellan olika undersökningar inte är helt försumbara kan man inte därför säga att användandet av effektiv bredd som utgångspunkt är bäst. Pauls konstaterade att det stämde med hans data. Det är dock logiskt att anta att effektiva bredden torde spegla verkligheten bättre då det ju trots allt ofta konstaterats att inte hela bredden utnyttjas. Detta konstaterande kan dock inte göras utifrån de data som här presenterats då dessa är för knapphändiga.

Den sparsamma mängden data vad avser gång uppför trappor gör att det inte är möjligt att dra några definitiva slutsatser av hur dessa kan användas vid utrymning. Det kan dock klart konstateras att hastigheten uppför klart understiger den nedför men med hur mycket kan vara svårt att fastslå. Vissa rekommendationer kommer trots detta ändå att anges.

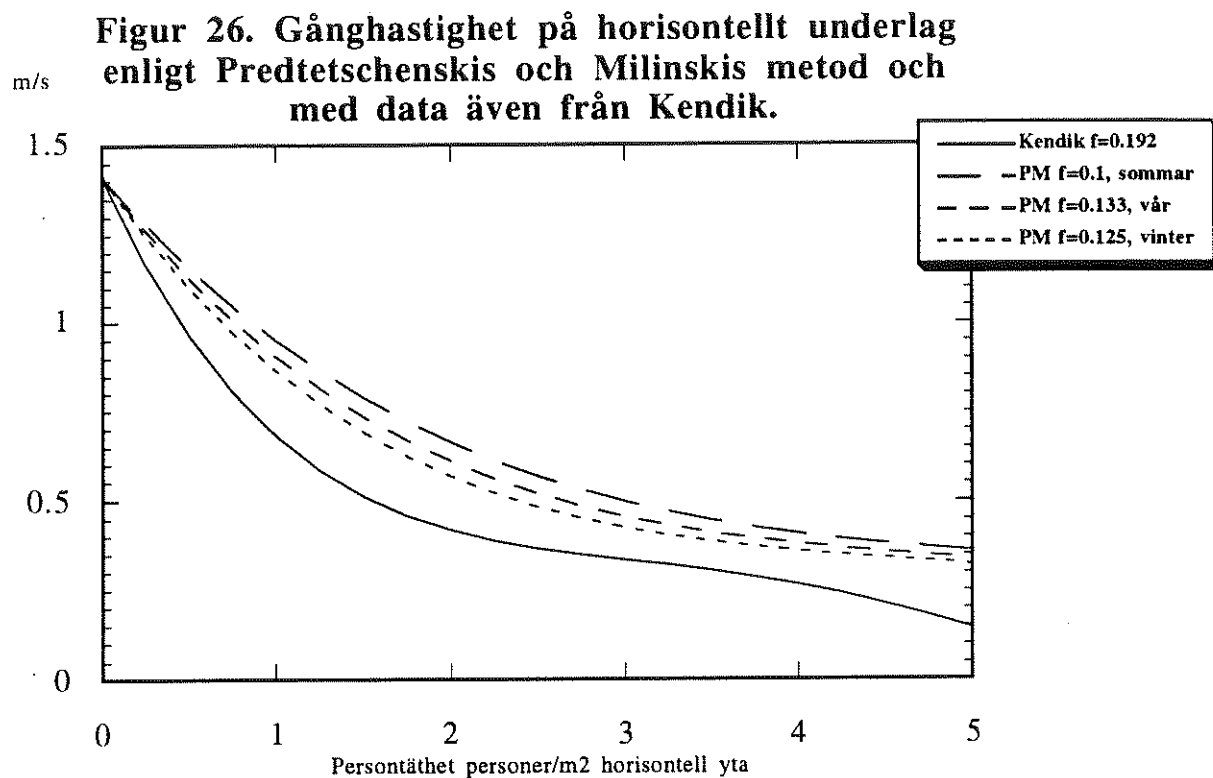
Gånghastigheten på plant underlag är också den mindre väl undersökt för utrymningsförhållanden. Vissa av kurvorna används dock i amerikanska rekommendationer som underlag för beräkning av utrymningshastighet. I några undersökningar redovisas diagram som anger relativa frekvenser på gånghastigheter och persontätheter. Dessa är intressanta så till vida att de utgör en grund till hur rekommenderade hastigheter och flöden ska väljas. Det är nog de som bäst visar vilka förhållanden som rådde vid undersökningen och ger en bättre bild av hastigheterna än de ofta angivna empiriska ekvationerna. Tillsammans bör de kunna användas till att ge rekommenderade värden för dimensionering.

I diagrammen nedan är inte alla kurvor representativa för utrymningsförhållanden utan de är då från försök där personer studerats under mera normala förhållanden. De har dock tagits med som jämförelse för att se om gånghastigheten varierar mellan utrymning och normala förhållanden. Hastigheterna är högre vid utrymning än annars vilket faller sig naturligt. Skillnaderna är dock inte så stora om man jämför skillnaderna mellan de olika försöken vilka är väl så stora.

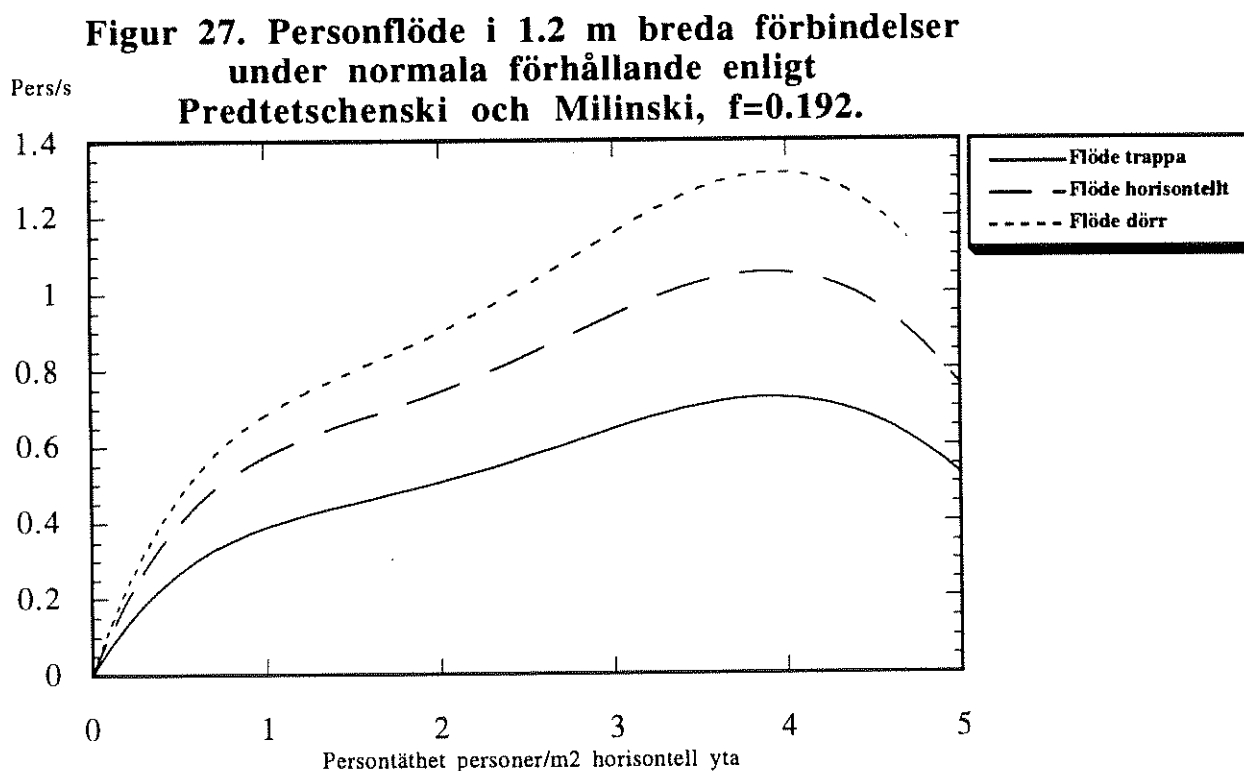
I de fall då redovisade gånghastigheter är i form av ekvationer som beskriver resultaten har dessa använts till diagrammen nedan. Finns då de, från en given undersökning, enskilda försökens resultat angivna i samma diagram som den enskilda undersökningens ekvation redovisas i, finns detta diagram presenterat tidigare i rapporten. Man kan genom att studera detta diagram skaffa sig en uppfattning om spridningen i undersökningen. I de undersökningar som inte redovisar några regressionslikvationer har data tagits direkt från de ursprungliga diagrammen och därefter omräknats.

De data som redovisas i avsnitten 7.3 - 7.7 gäller för personer med normala gångkaraktistika dvs de har inga gångsvårigheter och är i arbetsför ålder. Khistys undersökning avser endast studenter i åldern 19-30 år. Den metod att beräkna gånghastigheter på som Predtetschenski och Milinski presenterade bygger som tidigare nämnts på persontätheter som är variabler av personens horisontella area. För att se hur olika personareor påverkar gånghastigheterna görs en sådan jämförelse för gång på horisontellt underlag. De personareor som används representerar personer i olika åldrar och personer som både går och står stilla, figur 26. Predtetschenskis och Milinskis data jämförs nedan med Kendiks, tabell 3 och 4 (s 22), för att se på de skillnader de olika populationerna uppvisar. I alla övriga diagram där kurvor enligt den metod som Predtetschenski och Milinski anger är dessa beräknade med data på personarea från Kendik gällande för en vuxen person. Dessa kurvor är märkta Kendik.

I figur 27 visas hur personflödet i olika typer av förbindelser förhåller sig till varandra. Som framgår av figuren är personflödet normalt sett störst genom dörröppningar vilket beror på skäl som diskuteras i kapitel 7.6. Denna jämförelse bygger på den metod som presenteras av Predtetschenski och Milinski och med data på persontätheten från Kendik.



Figur 26. Gånghastighet på plant underlag med data på persontäthet efter Predtetschenski och Milinski respektive Kendik. Kurvorna gäller för en gående vuxen person. Klädseln varierar med årstiden.



Figur 27. Personflöde i olika förbindelser efter Predtetschenski och Milinski.

## 7.2 Speciella iakttagelser

Från vissa undersökningar har det framkommit resultat som inte tidigare verifierats och som heller inte kommenterats i någon större utsträckning. Det är dock viktigt att inte helt bortse från dessa och de samlas därför här för en bättre överskådlighet.

Togawas undersökning är speciell då den behandlar utrymning från en mängd olika byggnadstyper och visar också att skillnader föreligger. Det är tydligt att för att få bättre precision i förutsägelseerna om utrymningstider måste utgångsmaterialet också vara mer detaljerat med bl a uppdelning i byggnadstyp. Övriga undersökningar studerar i de flesta fall någon specifik byggnadstyp med en viss personkategori eller beräknar medelvärden för allt.

Fruin har förutom gånghastigheter även studerat konfliktsituationer då personer möter eller korsar varandras gångriktningar. Sannolikheten för konflikter är beroende av persontätheten, hög persontäthet medför stor sannolikhet för konflikt. Han redovisar även i diagramform hur personflödet på horisontellt underlag varierar om personer går i mötande riktningar och där skillnaderna är små i förhållande till om personerna endast går i en riktning. Detta verkar lite tveksamt men inga andra undersökningar finns som kan verifiera eller förkasta hans teori. Vidare finns det vissa tveksamheter om vad som händer i trappor om personer med olika förmåga att gå nedför trappan befinner sig nära varandra. Passeras långsammare eller kommer flödet att stoppas upp så att det styrs av dessa? Kan detta bero på hur persontätheten är i trappan och finns det andra faktorer som påverkar? Fruin och Pauls redovisar olika resultat i denna fråga.

Khisty påpekar att vid utrymningar nattetid bildas ofta en mindre folksamling utomhus precis utanför utgångarna som i sin tur hindrar flödet högre upp i byggnaden. Detta visar på behovet av information till de berörda så att denna typ av små men störande hinder undviks. Khisty anger också en största bredd på trapporna till 1.5 m. Bredare trappor bör delas upp i smalare gångar så att de som passerar åtminstone kan ha ena handen vilande på handledaren som säkerhet mot eventuella fall.

Predtetschenski och Milinski har ett något annorlunda sätt att ange hur tätt människorna befinner sig. Fördelen med denna metod är att man lättare kan ta hänsyn till att olika typer av människor använder förbindelsen. Det kan vara så att detta sätt att ange persontätheten på är bättre. Kendiks resultat ligger dock långt ifrån de övrigas. Detta kan i sin tur bero på att Predtetschenskis och Milinskis matematiska uttryck ej är tillförlitliga.

Pauls stora nyhet är att den effektiva bredden skall användas som referens i stället för den verkliga vid beräkningar. Det verkar logiskt och även Fruin rapporterar om en

effektiv bredd. Vidare undersökningar bör ske i denna riktning.

Kvarnströms undersökning av trappor behandlar bl a spiraltrappor. Kunskapen om gång i dessa är betydligt mindre än för raka trappor trots att de är vanliga som utrymningstrappor i Sverige. Övriga undersökningar nämner inget om dessa.

Hallberg och Nyberg studerar äldre handikappades rörelsemönster och behandlar bl a deras utrymningsförmåga där hjälpbehovet för dessa personer belyses. En annan viktig detalj i deras rapport är att äldre personer kanske kan hålla en ganska hög hastighet under en viss tid men att orken fort kan ta slut. Detta behöver inte enbart gälla för äldre personer utan är aktuellt även för fullt rörliga personer som exempelvis måste utrymma uppför trappor.



### 7.3 Nedför trappor

Persontransport nedför trappor är som tidigare nämnts det område som undersökts mest noggrant. Det finns därför ett stort antal data att jämföra. Figur 28 visar hur gånghastigheten nedåt längs en trappa varierar med hur många personer som befinner sig i den per ytenhet. Av de kurvor som redovisats är det endast Fruins och Khistys ena kurva som gäller för normala förhållanden och de övriga vid utrymning. Tendensen mellan försöken är i stort de samma även om Kendik avviker något.

Skillnaderna mellan utrymning och normala förhållanden är dessutom mindre än skillnaderna mellan olika undersökningar. Det kan bero på vilken typ av personer som genomfört försöken. Sammantaget kan man dock se att gånghastigheten vid låg persontäthet ligger kring 0.9 m/s för att sedan sjunka till 0.5 m/s vid 2 pers/m<sup>2</sup>.

Användningsgraden av trappor vid utrymning är enligt Khisty, figur 31, sådan att en persontäthet på ca 1.5-2 pers/m<sup>2</sup> är den som vanligast inställer sig. Det är denna persontäthet som de utrymmande tycker är tillfredsställande. I figur 17 (s 40) visar Pauls hur utfallet av gånghastigheter varierade i försöken och man kan också där konstatera att merparten av observationerna ligger inom intervallet 1-2 pers/m<sup>2</sup> med någon förskjutning åt 2 pers/m<sup>2</sup>. Högre persontäthet är mindre vanlig då det blir svårare att gå obehindrat och fall och snubblande är vanligare. Det kan därför vara lämpligt att anta en maximalt godtagen persontäthet för trappor till 2 pers/m<sup>2</sup>. Det är dessutom vid denna täthet som flödet nedför trapporna har sitt teoretiska maximum, figur 29. Flödet kan då beräknas vara ca 0.85-0.95 pers/m\*s beroende på trappans lutning. Det högre flödet erhålls i mindre lutande trappor.

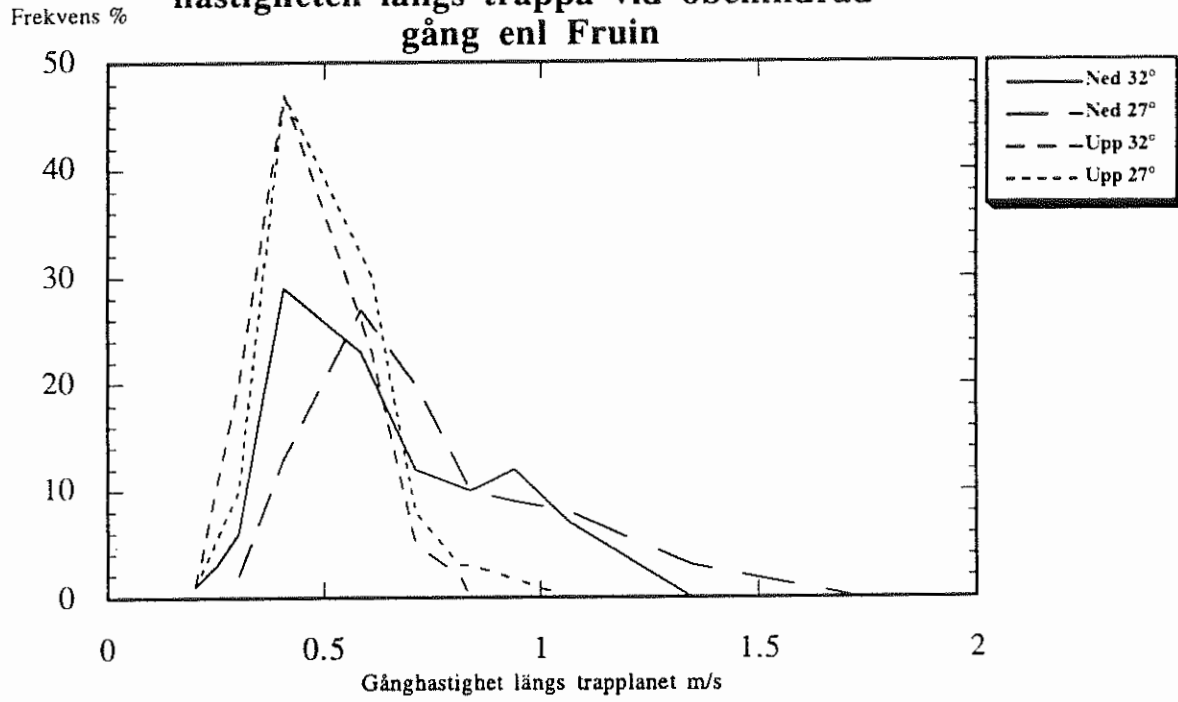
I figur 30 visar Fruin frekvenser för gånghastigheter upp och ned i trappor med olika lutning och för nedåtgång är frekvenskurvan förskjuten ca 0.2 m/s åt högre hastigheter om trappan lutar 27° istället för 32°. För trappor bör därför lutningen helst vara under ca 30°. Kvarnström anger att måtten på stegdjup och steghöjd bör vara 25-30 cm resp 15-20 cm, helst 30 respektive 18 cm, för att ge en bra gångrytm. Stegen bör dessutom vara likformiga utefter hela trappans längd.

Det som hittills sagts om trappor gäller om de är raka. I många sammanhang förekommer spiraltrappor och enligt gällande normer i Sverige får dessa ersätta raka trappor utan ytterligare åtgärder. Kapaciteten för de båda antas vara densamma. Så är det nu inte, en spiraltrappa är betydligt långsammare och upplevs som mer obehaglig att använda. Som kuriositet kan nämnas att enligt amerikanska Life Safety Code NFPA 101 /28/ får man använda en spiraltrappa som utrymningsväg för maximalt 5 personer. Till fördelarna med spiraltrappor hör dock att de tar liten plats och är ofta enkla och billiga att uppföra speciellt om det sker efter byggnadens färdigställande men de är långsammare att använda. Kvarnström visar i tabell 9 (s 44) att det tar ca

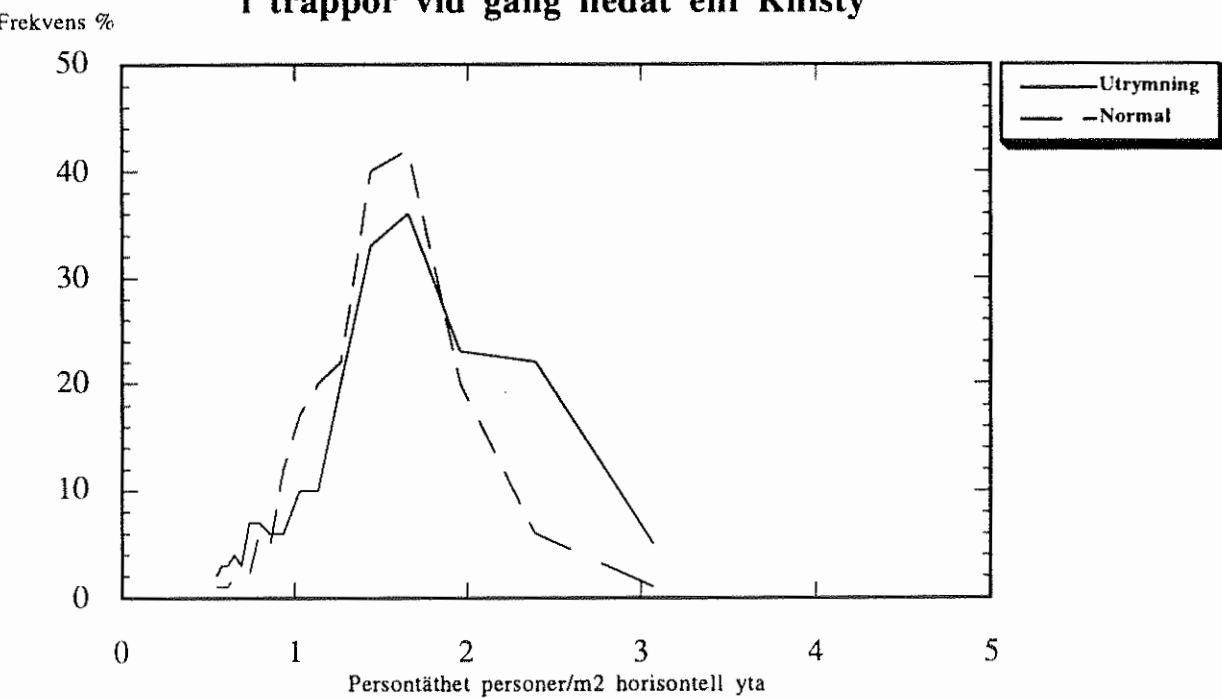
1,5-2 gånger längre tid att förflytta sig en våning om man använder spiraltrappa jämfört med en rak trappa. Eftersom trapporna i denna undersökning hade likvärdiga mått på bredd, stegdjup och steghöjd kan man anta att hastigheterna och flödena reduceras i motsvarande grad.



**Figur 30. Frekvensfördelning av hastigheten längs trappa vid obehindrad gång enl Fruin**



**Figur 31. Frekvensfördelning av persontätheten i trappor vid gång nedåt enl Khisty**



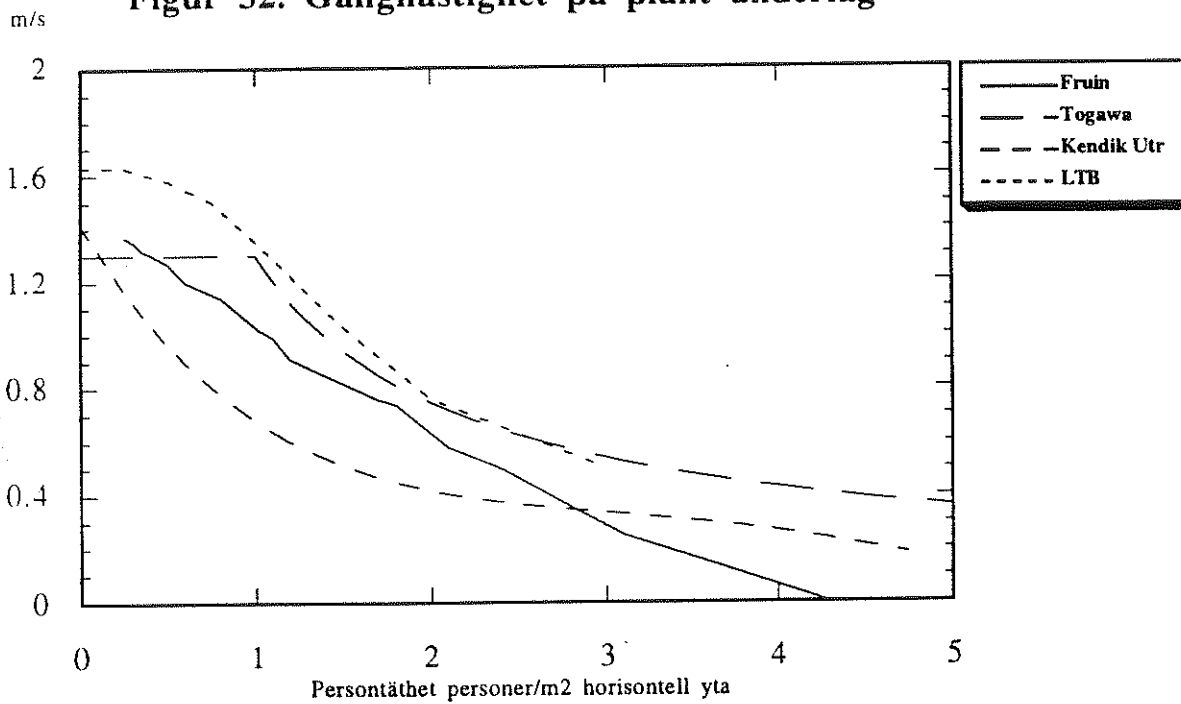
## 7.4 Horisontellt underlag

På horisontellt underlag går man betydligt snabbare, figur 32, än i trappor pga de mindre riskerna som det är förenat med. Hastigheten kan dessutom hållas högre under betydligt större persontäthet. Den kan sägas vara ca 1.4 m/s under obehindrade former dvs låg persontäthet för att sjunka nästan linjärt mot noll vid 4 pers/m<sup>2</sup>.

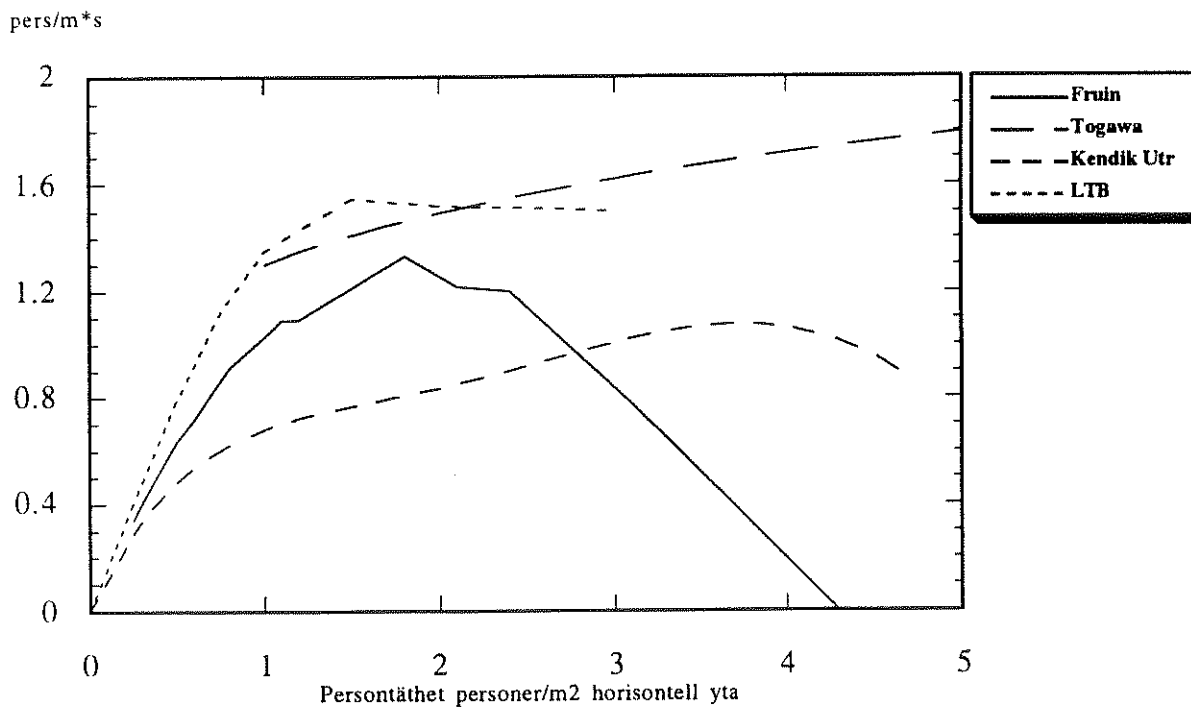
Togawas redovisade hastigheter är kanske lite missvisande då de gäller för mycket höga persontätheter där överensstämmelsen till utfallen är bra men då tätheten sjunker mot 2 pers/m<sup>2</sup> är spridningen större vilket också är naturligt då hastigheten övergår från att vara kollektivt styrd till att bero på de individuella personernas förutsättningar. För gånghastighet under obehindrade förhållanden anger Togawa i tabell 2 (s 20) hur hastigheten varierar med kön och personens grad av brådska. Ett medelvärde på 1.3 m/s anges som generellt gällande.

Fruins frekvensdiagram figur 34 anger att de flesta, när de inte störs av andra, går med hastigheten 0.9-1.5 m/s med max vid ca 1.25 m/s. Data i detta diagram kommer från undersökningar gjorda i två stationsbyggnader i New York. Fruins data används som rekommendation vid val av dimensionerande hastighet för horisontella utrymningsvägar av Nelson och MacLennan /26/. Det gör att antagandena ligger på säkra sidan då data gäller för normala förhållanden.

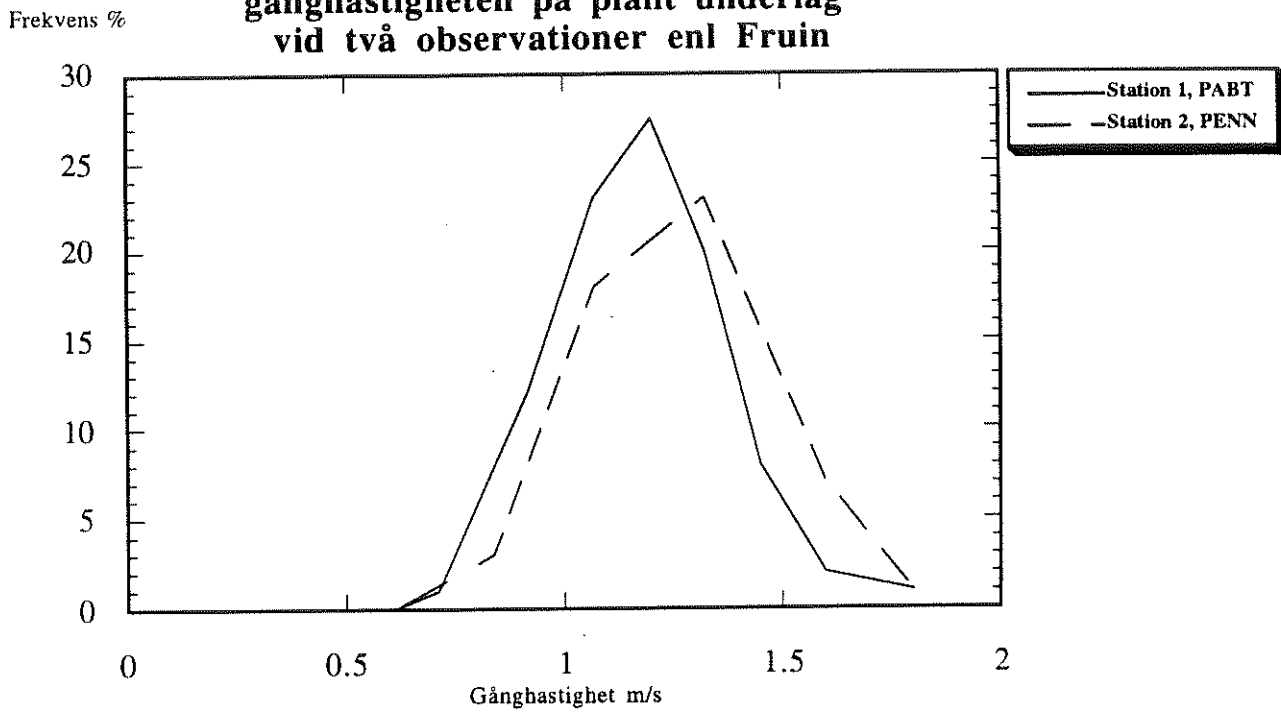
Figur 32. Gånghastighet på plant underlag



Figur 33. Personflöde på horisontellt underlag

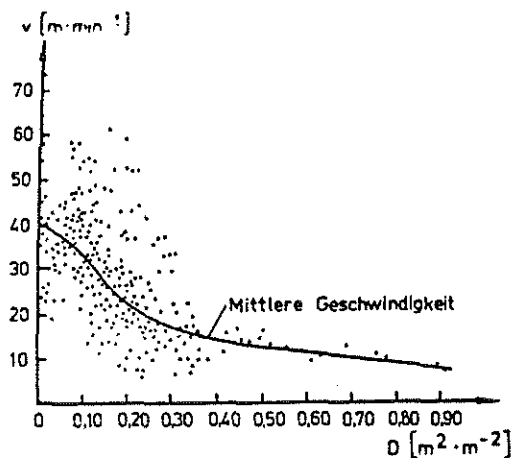


**Figur 34. Frekvensfördelning av  
gånghastigheten på plant underlag  
vid två observationer enl Fruin**



## 7.5 Uppför trappor

För användande av trappor till utrymning uppåt finns det enbart en mindre mängd data tillgänglig. De data som finns ger en varierande bild av hastigheten, figur 36, troligen mest pga att förutsättningarna varit olika vid de skilda undersökningarna. Galbreaths undersökning som redovisats av Melinek och Booth ligger klart högt medan Kendik liksom tidigare ligger lågt i hastighet. Detta kan bero på felaktiga antaganden av Predtetschenski och Milinski om förhållandet mellan hastighet och persontäthet. Spridningen i deras försök är så stor att andra sätt att beskriva hastigheten som funktion av tätheten på borde kunna förekomma, se figur 35.

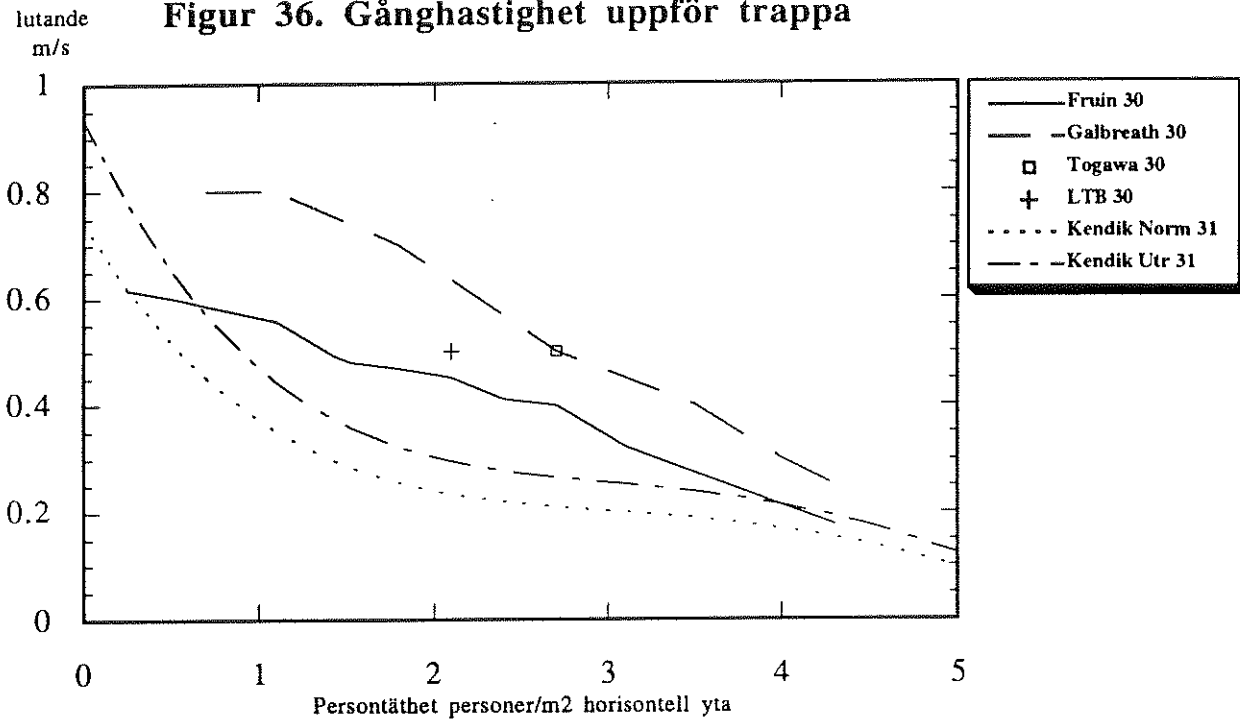


Figur 35. Gånghastighet uppför trappor enligt Predtetschenski och Milinski

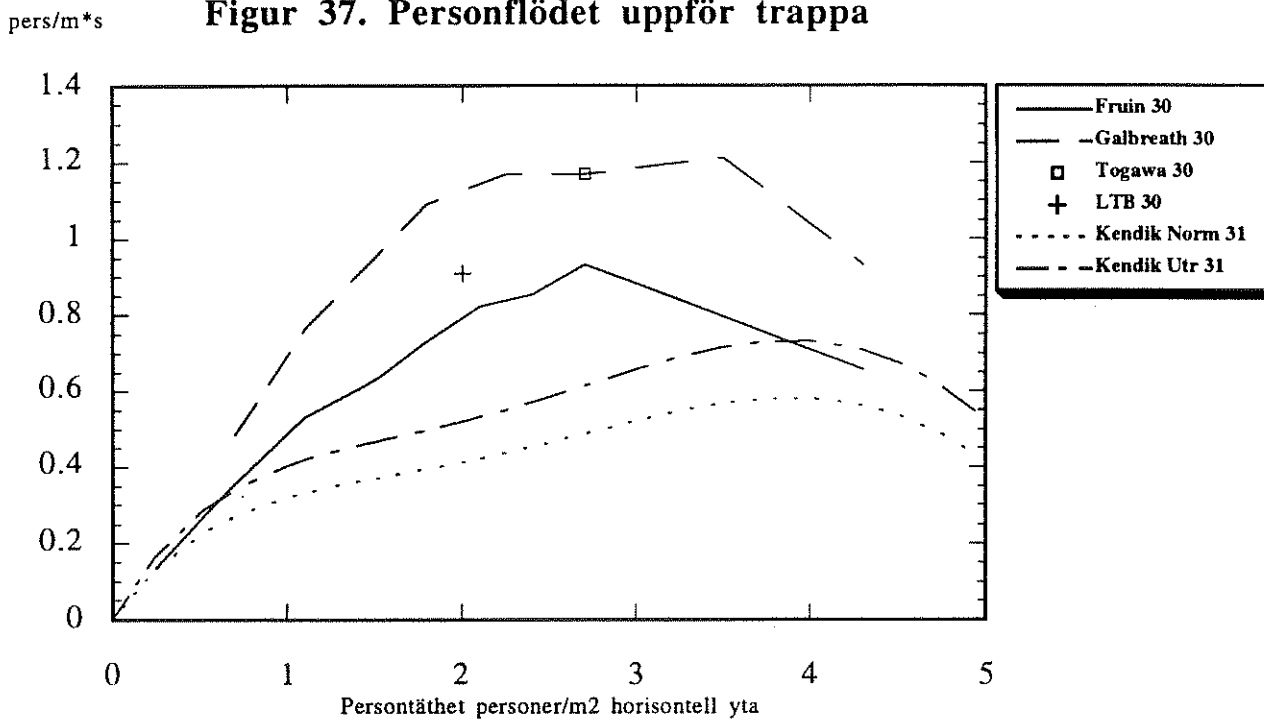
Fruins frekvensdiagram i figur 30 visar att trappans lutning påverkar hastigheten mindre vid gång uppför där de vanligaste hastigheterna ligger mellan 0.4-0.7 m/s längs trappan. Men att utifrån givna data kunna ange hur hastigheten påverkas av persontätheten är inte möjligt. Man kan möjligen påstå att den sjunker med ökande täthet. Detta är ett område där fortsatt forskning borde utföras då utrymning från bl a undermarksanläggningar sker via trappor uppåt. Vad som inte heller framgår av redovisade data är att hastigheten med stor sannolikhet kommer att avta ju högre upp man kommer i trappan pga det merarbete som krävs för att gå uppför. Detta kanske påverkar mer än persontäthetens inverkan.



Figur 36. Gånghastighet uppför trappa



Figur 37. Personflödet uppför trappa



## 7.6 Dörröppningar

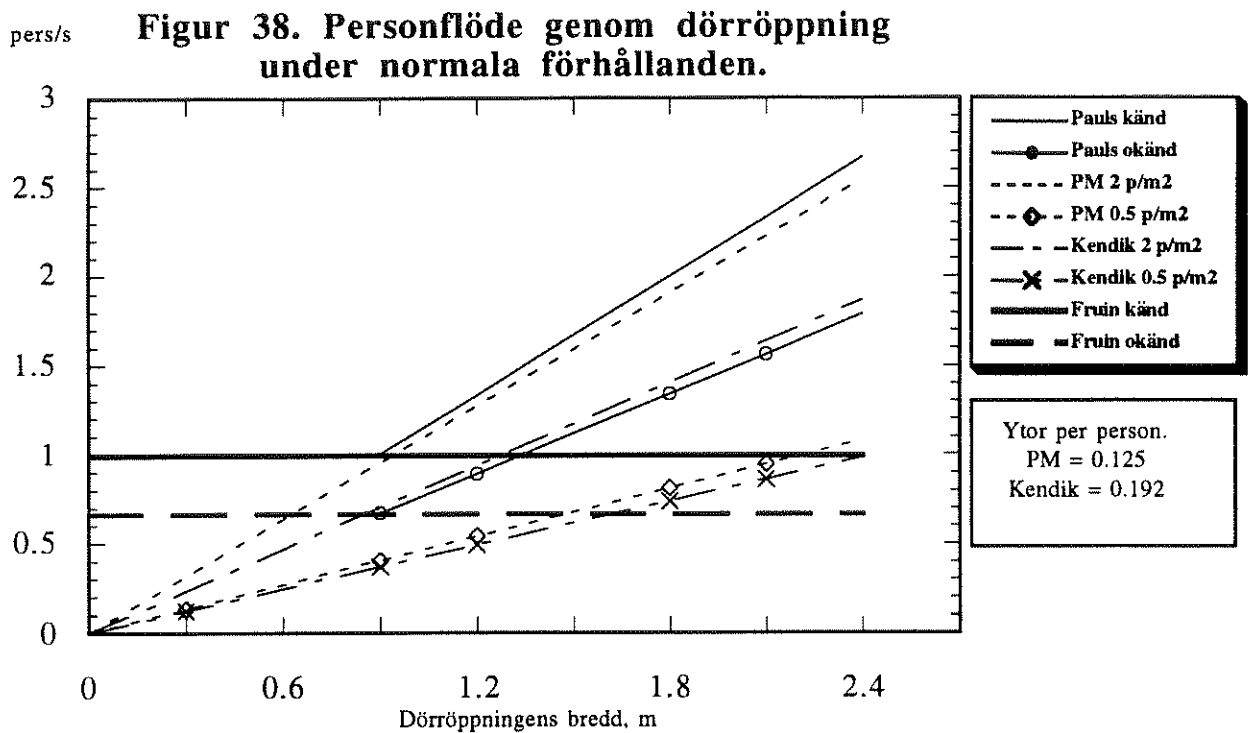
I detta fall är inte hastigheten av så stor betydelse som personflödet då en dörr är längdmässigt begränsad. Togawa anger ett medelvärde på personflödet till 1.5 pers/m\*s ut från diverse byggnadstyper, figur 1 (s 17). Fruin har också redovisat flöden genom dörrar, tabell 6 (equivalent pedestrian volume) (s 31), och kommit fram till att vanliga dörrar klarar av mellan 0.67-1 person per sekund och roterdörrar mellan 0.41-0.58 pers/s. Detta skulle gälla för dörrar med normal bredd. Fruin behandlar inte breddens inverkan vidare utan konstaterar att det viktiga är tidsavståndet mellan personer i dörrar och att det inte strömmar till fler personer än vad dörren kan klara av att hantera. De tider mellan personerna som observerats finns i tabell 6 (observed average headway).

Nelson och MacLennan redovisar i /26/ att för dörrar ska samma flöden gälla som för horisontella förbindelser. De använder i det fallet data som härrör från Fruins observationer. Detta är ett ganska konservativt antagande då personflödet genom dörrar normalt är högre jämfört med motsvarande i t ex en korridor som figur 27 (s 57) visar. I denna figur jämförs personflödet i olika förbindelser efter Predtetschenskis och Milinskis observationer.

Nelson och MacLennan anger dessutom att även för dörrar skall den av Pauls föreslagna effektiva bredden användas vid beräkningarna fastän Pauls själv är tveksam till om detta är den bästa lösningen /21/. När man går genom dörrar och andra öppningar accepterar man att tillfälligt gå närmare andra personer för att efter genomgången återta de avstånd till andra personer som man hade innan passagen. I själva dörröppningen utnyttjar man då hela bredden bättre enligt Pauls. Personflödet genom dörröppningar anger han på ett till skillnad från Predtetschenski och Milinski ganska enkelt sätt. Kapaciteten för öppningen kan enligt honom sättas till 0.67-1 person per sekund för en 0.9 m bred dörr. Den högre kapaciteten gäller för normalt rörliga personer som är bekanta med byggnaden. För bredare dörrar kan kapaciteten ökas linjärt med den fria bredden från detta startvärde.

I figur 38 visas hur personflödet genom en dörröppning varierar med öppningens bredd. Förutsättningarna är att normala förhållanden råder vilket skulle motsvara vanligt användande av dörren. Eftersom Predtetschenskis och Milinskis metod ger resultat som är beroende av persontätheten,  $D_{pm}$ , vid förbindelsen redovisas dessa personflöden vid två olika tätheter, 0.5 pers/m<sup>2</sup> och 2 pers/m<sup>2</sup>. För att beräkna denna utnyttjas data på personernas horisontella yta,  $f$ , från både Predtetschenski och Milinski samt Kendik. Dessa har valts ur tabell 3 och 4 (s 22) till 0.125 m<sup>2</sup>/pers respektive 0.192 m<sup>2</sup>/pers. Som framgår är spridningen i resultaten ganska stora men de värden från Predtetschenski och Milinski och Kendik som beräknats för  $D=0.5$  pers/m<sup>2</sup> kan ses som mindre intressanta då normalt maximivärde för personflöde

uppkommer vid ca 2 pers/m<sup>2</sup>. Dessutom är som tidigare nämnts persontätheten högre vid just dörröppningar än annars.



Figur 38. Personflöde genom en dörröppning.

Fruins värden bör endast användas vid dörrbredder kring 1 m då värdet är oberoende av bredden. Flödet genom öppningen ökar med all sannolikhet med bredden vilket också indikeras av att tiden mellan två personer som passerar genom öppningen anges. Pauls har tydligen utnyttjat detta för sina råd och värden i denna region är troligen de som bäst lämpar sig för dimensionering.

I lokaler där ett större antal personer förväntas befinna sig samtidigt är det förutom tillräcklig total dörrbredd också viktigt att de enskilda dörröppningarna är tillräckligt breda för att undvika alltför stor trängsel och obehag för de som står och väntar på att få komma ut. Som Predtetschenski och Milinski redovisar i sitt arbete är det mer fördelaktigt att ha färre breda dörrar än flera smalare.

## 7.7 Påverkan av rök och mörker

De gånghastigheter som redovisats ovan gäller om de undersökta personerna befinner sig i rökfria och välbelysta lokaler och utrymmen. En utrymning pga brand sker troligen inte under dessa förhållanden. Gånghastigheterna kommer att sjunka till följd av att sikten minskar och mest påtagligt kommer det att vara i den brandcell där branden utbrutit.

I utrymningsvägarna ska det förhoppningsvis vara tämligen rökfritt och belyst speciellt i de fall nödbelysning kompletterar den vanliga belysningen. Syftet med föreskrifterna i NR är just att utrymningsvägarna skall vara fria från rök men så är ändå inte alltid fallet. Om de utrymmande personerna blir utsatta för rök bör man förutsätta att denna pga brandkällan är mycket irriterande för ögon och andningsvägar, vilket medför att gånghastigheten ganska snabbt kommer att sjunka. Det bästa är om installationer finns så att röken inte kommer i kontakt med de utrymmande och att dessa tidigt får besked om att utrymma. Deras möjligheter att ta sig ut levande ökar därmed.

Jins resultat visar att gånghastigheten minskar kraftigt då röktätheten närmar sig  $0.4 \text{ m}^{-1}$  för den irriterande röken, figur 23 (s 51). Det kan därför vara befogat att använda lägre gånghastigheter i den dimensionerande brandcellen och normala hastigheter i resten av utrymningsvägarna. De försök som gjorts med nedsatt belysning pekar på att lägsta ljusnivå bör vara 1 lux på golvnivå för att inte hastigheten ska sjunka mer än marginellt, figur 25 (s 53). För trappor bör ljusnivån vara högre med tanke på den förhöjda sannolikheten att snubbla. Generellt sett bör nödbelysning eller allmänbelysning som skyddas extra mot brand medföra att högre personflöde kan accepteras även om rök kan tänkas tränga ut i utrymningsvägen. För att ytterligare kunna erhålla ett effektivt personflöde bör de vägledande markeringar som används vara av genomlysande typ då dessa har bättre genomslagskraft i rök än belysta skyltar. Hur bra olika typer av nödbelysning, efterlysande skyltar och liknande är vid rökfyllda och eller mörka utrymningsvägar kommer förhoppningsvis att belysas efter redovisning av de norska försöken i projektet eksperimentell utprøving av evakueringssystemer.

## 7.8 Äldre personer

De resultat som Hallberg, Dahlstedt m fl redovisar angående äldres gånghastigheter visar att dessa varierar mycket inom gruppen. Gånghastigheter från ca 0.3 m/s och uppåt är det intervall som bör användas vid dimensionering av utrymningsvägar där äldre vistas. De hastigheter som Hallberg redovisar gällande personer boende i servicehus är troligen något höga då jämförelsen baseras på visserligen äldre personer men sådana med stor gångvana vilket inte boende i servicehus kan anses ha. För denna kategori bör lägre gånghastigheter användas vid beräkning. Hallberg rapporterar bl a att av de boende i svenska servicehus kan 44% inte gå i trappor och endast 16 % kan klara en utrymning på egen hand. Resten är i behov av hjälp från vårdpersonalen.

Dimensionerande värden på gånghastigheter och personflöden för äldre bör vara lägre än de värden som redovisats i tidigare kapitel och för personer som har svårt att själva utrymma bör andra möjligheter till säkerhet vid brandfara beaktas.

## 8 Fortsatta studier

För att i en framtid kunna utnyttja de möjligheter till utrymningsberäkningar som funktionsanpassade byggföreskrifter ger måste det finnas tillräckligt god information om hur fort man kan anta att en person går i en given situation. I denna rapport ges en sammanställning av den nu tillgängliga kunskapen i ämnet och det framstår ganska klart att den inte är heltäckande.

Vidare studier bör därför göras för att kartlägga ingångsparametrar för dimensionering vid utrymning uppför trappor, genom dörrar, användandet av hissar, samt hur personflödet påverkas av att personer möter varandra i en utrymningsväg. Dessutom bör ingående faktorer på något sätt delas upp på olika personkategorier för att kunna förutsäga en händelse med större säkerhet. Det är dessutom viktigt att undersöka om den information som finns är tillämpbar för en svensk population eller om nationella skillnader finns. Det kan vidare vara av vikt att känna till gånghastigheter för några specialfall av förbindelser t ex för stillastående rulltrappor, lejdare och spiraltrappor. Dessa finns inte behandlade i någon litteratur och speciellt spiraltrappor är viktigt att studera närmare då det är mer regel än undantag att denna typ av trappa används när nya utrymningsvägar i befintliga byggnader ska anläggas.

Hur installationer i form av vägledande markeringar, informativa utrymningslarm påverkar utrymningssituationen bör också undersökas. Kostnadsaspekten bör här också ingå för att erhålla en både säkerhetsmässig som kostnadsmässig optimering.



## 9 Referenser

1. Plan- och bostadsverket. Nybyggnadsregler NR 3, Boverkets författningssamling BFS 1991:38. Karlskrona 1991.
2. Tekniska nomenklaturcentralen. Plan och byggtermer 1989 TNC 89. Stockholm 1988.
3. Plan och bygglagen. Svensk författningssamling SFS 1987:246. Stockholm 1987.
4. National Fire Protection Research Foundation. The national fire risk assesment research project, Final report. Quincy 1990.
5. Pauls Jake. Effective-width model for evacuation flow in buildings. SFPE engineering application workshop pp 215-232. Boston 1980.
6. Predtetschenski V M, & Milinski A I. Personenströme in gebäuden - Berechnungsmethoden für dei projektierung. Staatsverlag der Deutschen Demokratischen Republik. Berlin 1971.
7. Kendik E. *Determination of the evacuation time pertinent to the projected area factor in the event of total evacuation of high-rise office buildings via staircases.* Fire Safety Journal Vol 5 No 3&4 pp 223-232, 1983.
8. Kendik E. Die berechnung der personenströme für dei bemessung von gehwegen in gebäuden und um gebäude. Technical university of Vienna 1984.
9. Kendik E. Means of escape-How close are we to modelling egress from buildings in fire? Interflam '88 Workbook. John Wiley & Sons Ltd Chichester, 1988.
10. Kendik E. Designing escape routes in buildings. Fire Technology Vol 22 No 4 pp 272-294, 1986.
11. Togawa Kikuji. Study on fire escapes on the observation of multitude currents. Building Research Institute, Ministry of Construction. Tokyo 1955.



12. Stahl F, & Archea J. An assesment of the technical litterature on emergency egress from buildings. NBSIR 77-1313 National Bureau of Standards. Washington 1977.
13. Fruin John J. Pedestrian planning and design. Metropolitan association of urban designers and environmental planners inc. New York 1971.
14. Pauls J. Movement of people. SFPE Handbook of fire protection engineering. Boston 1988.
15. Melinek S J, & Booth S. An analysis of evacuation times and the movement of crowds in buildings. BRE Current paper CP 96/75 FRS. Borehamwood 1975.
16. London Transport Board. Second report of the operational research team on the capacity of footways. Report 95. London 1958.
17. Galbreath M. Time of evacuation by stairs in high rise buildings. National Research Council of Canada. Fire research note No 8. Ottawa 1969.
18. Dahlstedt Sven. Långsamma fotgängare-pensionärers gånghastighet och promenadvanor. Rapport R2, 1978. Stockholm 1978.
19. Pauls J. Movement of people in building evacuation. Canadian Architect May pp 281-292, 1978.
20. Pauls J. International life safety and egress seminar, Maryland. November 1981: summary of presentations and discussion. Fire Safety Journal Vol 5 No 3&4 pp 213-222, 1983.
21. Pauls J. The movement of people in buildings and design solutions for means of egress. Fire Technology Vol 20 No 1 pp 27-47, Feb 1984.
22. Pauls J. Calculating evacuation times for tall buildings. Fire Safety Journal Vol 12 No 3 pp 213-236, 1987.
23. Pauls J. Building evacuation: Research findings and recommendations. Fires and Human Behaviour Ed David Canter, John Wiley & sons New York 1980.
24. Pauls Jake. Developement of knowledge about means of egress. Fire

Technology Vol 20 No 2 pp 28-40, 1984.

25. National Fire Protection Association, NFPA. NFPA 101M, Alternative approaches to fire safety 1988. Quincy MA 1988.
26. Nelson Harold E, & MacLennan Hamish A. Emergency movement. SFPE Handbook of fire protection engineering. Boston 1988.
27. Kvarnström Lennart. Trappor. Rapport T3 1977. Statens råd för byggnadsforskning. Stockholm 1977.
28. National Fire Protection Association, NFPA. NFPA 101, Code for Safety to Life from Fire in Buildings and Structures 1991. Quincy MA 1991.
29. Eriksson Lars. Rapport från utrymningsövningar i televerkshuset i Göteborg. Inst rapport nr 28 Arkitektur I, LTH. Lund 1982.
30. Khisty C J. Pedestrian flow characteristics on stairways during disaster evacuation. Transport Research Record 1047 pp 97-102, 1985.
31. Egan M D. Concepts in building fire safety. John Wiley and sons inc, New York 1978.
32. Hallberg Gun, & Nyberg Marianne. Utrymningssäkerheten i servicehus. Rapport R3:1987, Byggnadsfunktionslära KTH. Stockholm 1987.
33. Bryan J L. Smoke as a determinant of human behavior in fire situations (Project people) NBS-GCR-77-94, University of Maryland. Washington 1977.
34. Jin T. Visibility through fire smoke part 5. Report of Fire Research Institute of Japan. Tokyo 1976.
35. Bostadsdepartementet. Statens offentliga utredningar SOU 1978:30, brand inomhus. Stockholm 1978.
36. Jin T, & Yamada, T. Irritating effects of fire smoke on visibility. Fire Science and technology Vol 5 No 1 pp 79-90, 1985.
37. Quintiere J. An assesment of correlations between laboratory and full-scale experiment for the FAA aircraft fire safety program, part 1: smoke. NBSIR 82-2508. Washington 1982.

38. Webber G, & Hallman P. Movement under various escape route lighting conditions. Safety in the built environment Ed J Sime. E & F N Spon. London 1988.

## LEVEL-OF-SERVICE DESCRIPTIONS FOR WALKWAYS

### Level of Service A

Average Pedestrian Area Occupancy: 35 square feet per person, or greater.

Average Flow Volume: 7 PFM, or less. \*

At walkway level-of-service A, sufficient area is provided for pedestrians to freely select their own walking speed, to bypass slower pedestrians, and to avoid crossing conflicts with others. Designs consistent with this level-of-service would include public buildings or plazas without severe peaking characteristics or space restrictions.

### Level of Service B

Average Pedestrian Area Occupancy: 25-35 square feet per person.

Average Flow Volume: 7-10 PFM.

At walkway level-of-service B, sufficient space is available to select normal walking speed, and to bypass other pedestrians in primarily one-directional flows. Where reverse-direction or pedestrian crossing movements exist, minor conflicts will occur, slightly lowering mean pedestrian speeds and potential volumes. Designs consistent with this level-of-service would be of reasonably high type, for transportation terminals and buildings in which recurrent, but not severe, peaks are likely to occur.

### Level of Service C

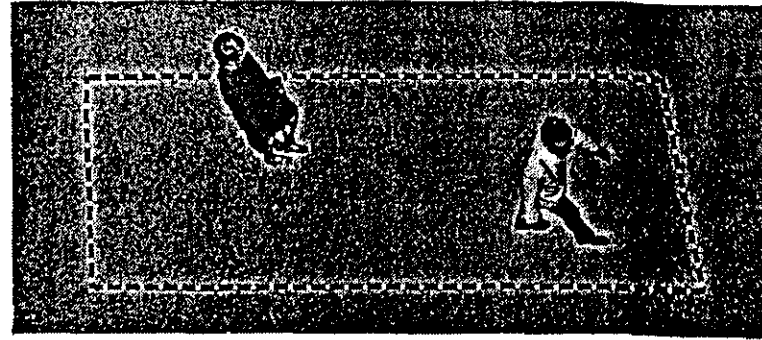
Average Pedestrian Area Occupancy: 15-25 square feet per person.

Average Flow Volume: 10-15 PFM.

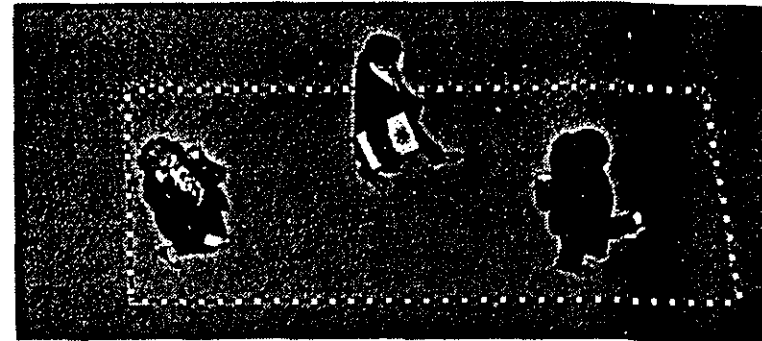
At walkway level-of-service C, freedom to select individual walking speed and freely pass other pedestrians is restricted. Where pedestrian cross movements and reverse flows exist, there is a high probability of conflict requiring frequent adjustment of speed and direction to avoid contact. Designs consistent with this level-of-service would represent reasonably fluid flow; however, considerable friction and interaction between pedestrians is likely to occur, particularly in multi-directional flow situations. Examples of this type of design would be heavily used transportation terminals, public buildings, or open spaces where severe peaking, combined with space restrictions, limit design flexibility.

\*PFM = Pedestrians per foot width of walkway, per minute.

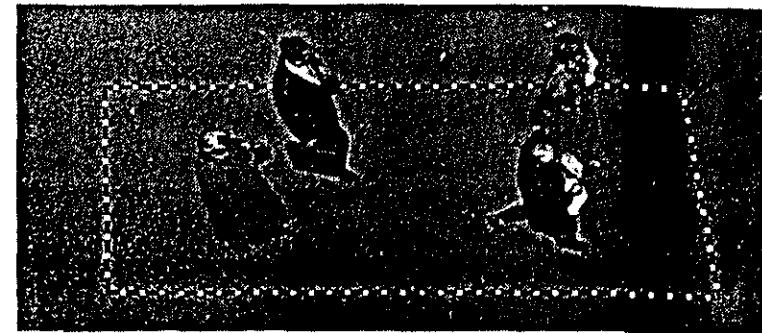
## LEVEL OF SERVICE ILLUSTRATIONS FOR WALKWAYS



Level of Service A



Level of Service B



Level of Service C

Beskrivning av förhållanden och angivande av beräkningsparametrar för Fruins koncept,  
Level of Service.

### Level of Service D

**Average Pedestrian Area Occupancy:** 10-15 square feet per person.

**Average Flow Volume:** 15-20 PFM.

At walkway level-of-service D, the majority of persons would have their normal walking speeds restricted and reduced, due to difficulties in bypassing slower-moving pedestrians and avoiding conflicts. Pedestrians involved in reverse-flow and crossing movements would be severely restricted, with the occurrence of multiple conflicts with others. Designs at this level-of-service would be representative of the most crowded public areas, where it is necessary to continually alter walking stride and direction to maintain reasonable forward progress. At this level-of-service there is some probability of intermittently reaching critical density, causing momentary stoppages of flow. Designs consistent with this level-of-service would represent only the most crowded public areas.

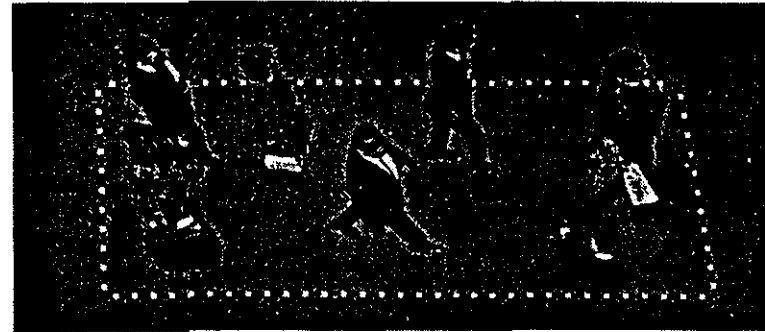
### Level of Service E

**Average Pedestrian Area Occupancy:** 5-10 square feet per person.

**Average Flow Volume:** 20-25 PFM.

At walkway level-of-service E, virtually all pedestrians would have their normal walking speeds restricted, requiring frequent adjustments of gait. At the lower end of the range, forward progress would only be made by shuffling. Insufficient area would be available to bypass slower-moving pedestrians. Extreme difficulties would be experienced by pedestrians attempting reverse-flow and cross-flow movements. The design volume approaches the maximum attainable capacity of the walkway, with resulting frequent stoppages and interruptions of flow. This design range should only be employed for short peaks in the most crowded areas. This design level would occur naturally with a bulk arrival traffic pattern that immediately exceeds available capacity, and this is the only design situation for which it would be recommended. Examples would include sports-stadium design, or rail transit facilities where there may be a large but short-term exiting of passengers from a train. When this level-of-service is assumed for these design conditions, the adequacy of pedestrian holding areas at critical design sections, and all supplementary pedestrian facilities, must be carefully evaluated.

## LEVEL OF SERVICE ILLUSTRATIONS FOR WALKWAYS



Level of Service D



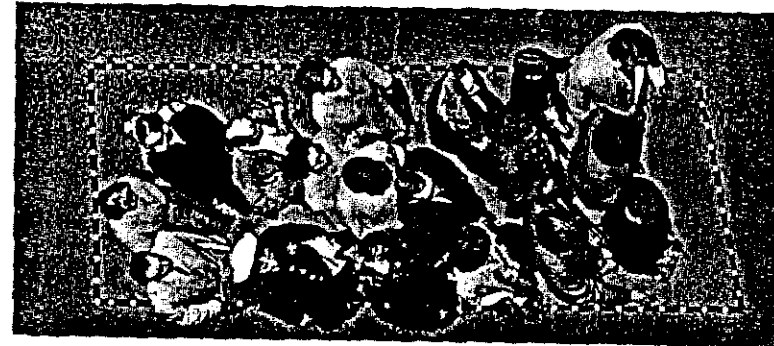
Level of Service E

### Level of Service F

**Average Pedestrian Area Occupancy:** 5 square feet per person, or less.

**Average Flow Volume:** Variable, up to 25 PFM.

At walkway level-of-service F, all pedestrian walking speeds are extremely restricted, and forward progress can only be made by shuffling. There would be frequent, unavoidable contact with other pedestrians, and reverse or crossing movements would be virtually impossible. Traffic flow would be sporadic, with forward progress based on the movement of those in front. This level-of-service is representative of a loss of control, and a complete breakdown in traffic flow. Pedestrian areas below 5 square feet are more representative of a queuing, rather than a traffic-flow situation, and this level-of-service is not recommended for walkway design.



Level of Service F

## LEVEL OF SERVICE DESCRIPTIONS FOR STAIRWAYS

### Level of Service A

Average Pedestrian Area Occupancy: 20 square feet per person, or greater.

Average Flow Volume: 5 PFM, or less.\*

At stairway level-of-service A, sufficient area is provided to freely select locomotion speed, and to bypass other slower-moving pedestrians. No serious difficulties would be experienced with reverse traffic flows. Designs at this level-of-service would be consistent with public buildings or plazas that have no severe traffic peaks or space limitations.

### Level of Service B

Average Pedestrian Area Occupancy: 15-20 square feet per person.

Average Flow Volume: 5-7 PFM.

At stairway level-of-service B, representing a space approximately 5 treads long and 3 to 4 feet wide, virtually all persons may freely select locomotion speeds. However, in the lower range of area occupancy, some difficulties would be experienced in passing slower-moving pedestrians. Reverse flows would cause minor traffic conflicts. Designs at this level-of-service would be consistent with transportation terminals, and public buildings that have recurrent peak demands and no serious space limitations.

### Level of Service C

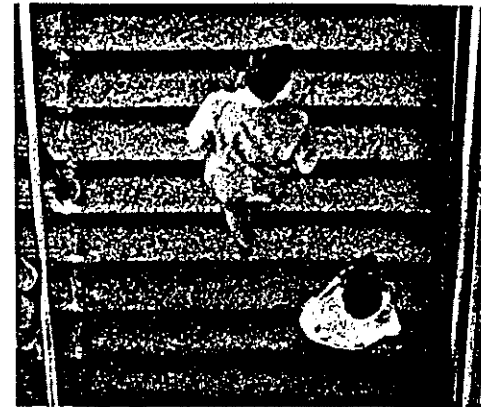
Average Pedestrian Area Occupancy: 10-15 square feet per person.

Average Flow Volume: 7-10 PFM.

At stairway level-of-service C, representing a space approximately 4 to 5 treads long and about 3 feet wide, locomotion speeds would be restricted slightly, due to an inability to pass slower-moving pedestrians. Minor reverse-traffic flows would encounter some difficulties. Design at this level-of-service would be consistent with transportation terminals, and public buildings with recurrent peak demands and some space restrictions.

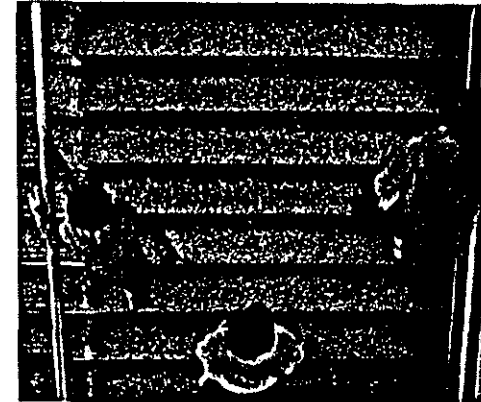
\*PFM = Pedestrians per foot width of stairway, per minute.

## LEVEL OF SERVICE ILLUSTRATIONS FOR STAIRWAYS

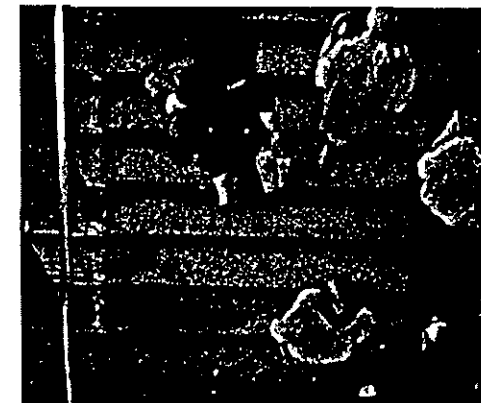


Level  
of  
Service

A



B



C

## LEVEL OF SERVICE DESCRIPTIONS FOR STAIRWAYS

### Level of Service D

**Average Pedestrian Area Occupancy:** 7-10 square feet per person.  
**Average Flow Volume:** 10-13 PFM.

At stairway level-of-service D, representing a space approximately 3 to 4 treads long and 2 to 3 feet wide, locomotion speeds are restricted for the majority of persons, due to the limited open tread space and an inability to bypass slower-moving pedestrians. Reverse flows would encounter significant difficulties and traffic conflicts. Designs at this level-of-service would be consistent with the more crowded public buildings and transportation terminals, subjected to relatively severe peak demands.

### Level of Service E

**Average Pedestrian Area Occupancy:** 4-7 square feet per person.  
**Average Flow Volume:** 13-17 PFM.

At stairway level-of-service E, representing a space approximately 2 to 4 tread lengths long and 2 feet wide, the minimum possible area for locomotion on stairs, virtually all persons would have their normal locomotion speeds reduced, because of the minimum tread length space and inability to bypass others. Intermittent stoppages are likely to occur, as the critical pedestrian density is exceeded. Reverse-traffic flows would experience serious conflicts. This level-of-service would only occur naturally with a bulk arrival traffic pattern that immediately exceeds available capacity, and this is the only design situation for which it would be recommended. Examples would include sports stadiums, or transit facilities where there is a large uncontrolled, short-term exodus of pedestrians.

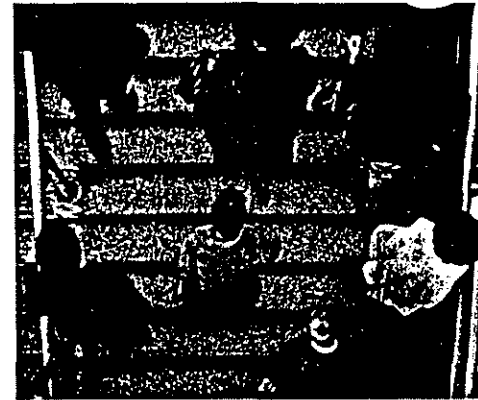
### Level of Service F

**Average Pedestrian Area Occupancy:** 4 square feet per person, or less.

**Average Flow Volume:** Variable to 17 PFM.

At stairway level-of-service F, representing a space approximately 1 to 2 tread lengths long and 2 feet wide, there is a complete breakdown in traffic flow, with many stoppages. Forward progress would depend on movement of those in front. This level of service is not recommended for design.

## LEVEL OF SERVICE ILLUSTRATIONS FOR STAIRWAYS



Level  
of  
Service

D



E



F



## LEVEL OF SERVICE DESCRIPTIONS FOR QUEUING

### Level of Service A

#### FREE CIRCULATION ZONE

**Average Pedestrian Area Occupancy:** 13 square feet per person, or more.

**Average Inter-person spacing:** 4 feet, or more.

At queuing level-of-service A, space is provided for standing and free circulation through the queuing area without disturbing others. Applications would include better-designed passenger concourse areas, and baggage claim areas.

### Level of Service B

#### RESTRICTED CIRCULATION ZONE

**Average Pedestrian Area Occupancy:** 10-13 square feet per person.

**Average Inter-person spacing:** 3½-4 feet.

At queuing level-of-service B, space is provided for standing and restricted circulation through the queue without disturbing others. Applications would include railroad platforms, and passenger concourse areas.

#### PEDESTRIAN QUEUE IN THE A TO B RANGE



### **Level of Service C**

#### **PERSONAL COMFORT ZONE**

**Average Pedestrian Area Occupancy:** 7-10 square feet per person.

**Average Inter-person spacing:** 3-3½ feet.

At queuing level-of-service C, space is provided for standing and restricted circulation through the queuing area by disturbing others. It is within the range of the personal comfort body buffer zone established by psychological experiments. Applications would include ordered-queue ticket-selling areas, and elevator lobbies.

### **Level of Service D**

#### **NO-TOUCH ZONE**

**Average Pedestrian Area Occupancy:** 3-7 square feet per person.

**Average Inter-person spacing:** 2-3 feet.

At queuing level-of-service D, space is provided for standing without personal contact with others, but circulation through the queuing area is severely restricted, and forward movement is only possible as a group. Applications would include motorstair queuing areas, pedestrian safety islands, or holding areas at crosswalks. Based on psychological experiments, this level of area occupancy is not recommended for long-term periods of waiting.

#### **PEDESTRIAN QUEUE IN THE C TO D RANGE**



### Level of Service E

#### TOUCH ZONE

Average Pedestrian Area Occupancy: 2-3 square feet per person.  
Average Inter-person spacing: 2 feet or less.

At queuing level-of-service E, space is provided for standing, but personal contact with others is unavoidable. Circulation within the queuing area is not possible. This level of area occupancy can only be sustained for short periods of time without physical and psychological discomfort. The only recommended application would be for elevator occupancy.

### Level of Service F

#### THE BODY ELLIPSE

Average Pedestrian Area Occupancy: 2 square feet per person, or less.

Average Inter-person spacing: Close contact with surrounding persons.

At queuing level-of-service F, space is approximately equivalent to the area of the human body. Standing is possible, but close unavoidable contact with surrounding standees causes physical and psychological discomfort. No movement is possible, and in large crowds the potential for panic exists.

#### PEDESTRIAN QUEUE IN THE F RANGE



			Servicenivå					
Figur	Parameter	Enhet	A	B	C	D	E	F
B1	Snittarea per person	m <sup>2</sup> /pers	>1,2	1,2>0,9	0,9>0,65	0,65>0,3	0,3>0,2	<0,2
	Snittavstånd mellan personer	m	>1,2	1,2>1,05	1,05>0,9	0,9>0,6	<0,6	kontakt
B2	Snitt volymflöde	pers/m min	<23	23<33	33<49	49<66	66<82	>82
	Snitthastighet	m/min	>79	79>76	76>70	70>61	61>34	<34
	Snittarea per person	m <sup>2</sup> /pers	>3,25	3,25>2,3	2,3>1,4	1,4>0,9	0,9>0,5	<0,5
B3	Snitt volymflöde	pers/m min	<16,4	16,4<23	23<32,8	32,8<42,7	42,7<55,8	>55,8
	Snitthastighet	m/min	>38,1	38,1>36,6	36,6>35	35>32	32>23,6	<23,6
	Snittarea per person	m <sup>2</sup> /pers	>1,9	1,9>1,4	1,4>0,9	0,9>0,65	0,65>0,4	<0,4

B1 syftar på stillastående kö

B2 syftar på horisontell gång

B3 syftar på gång i trappa

