

Liften als vlucht- en aanvalsroute in hoogbouw

Jochem Wit

Deerns

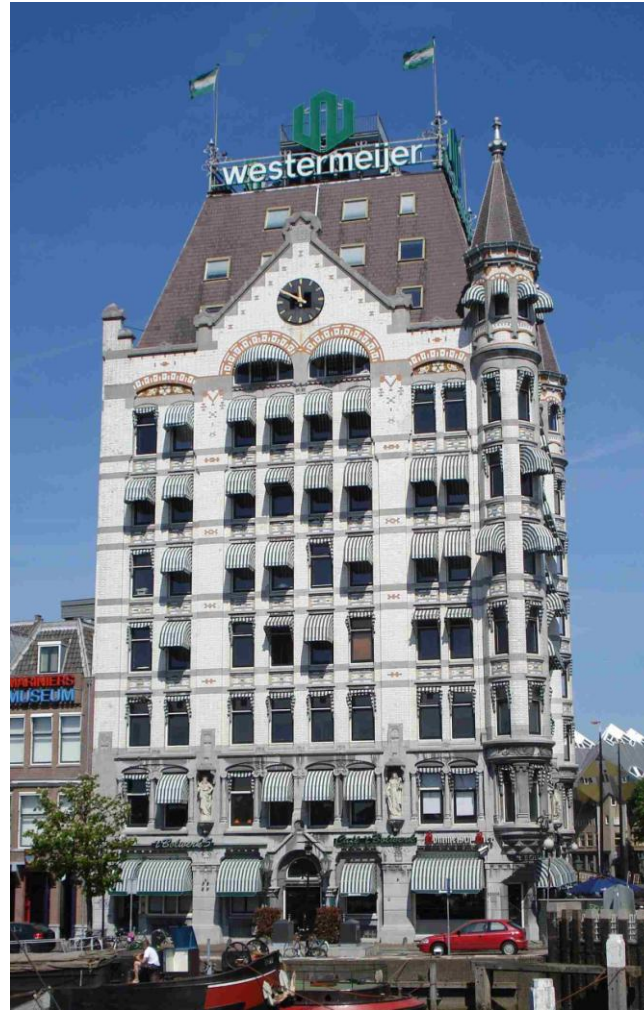
David den Boer

PEUTZ

Remco Noordermeer

TU Delft Delft
University of
Technology

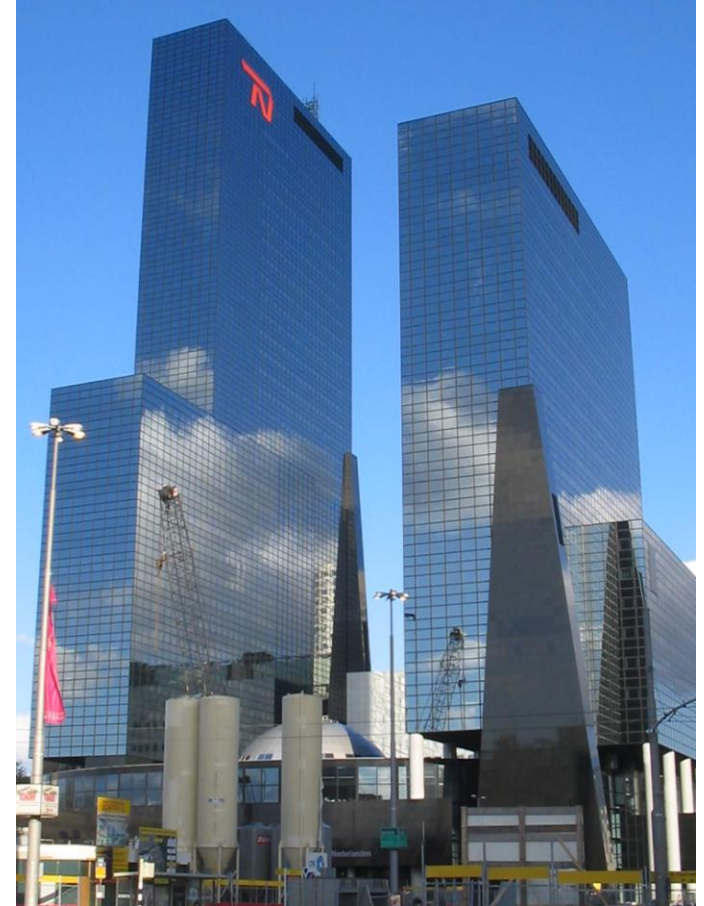
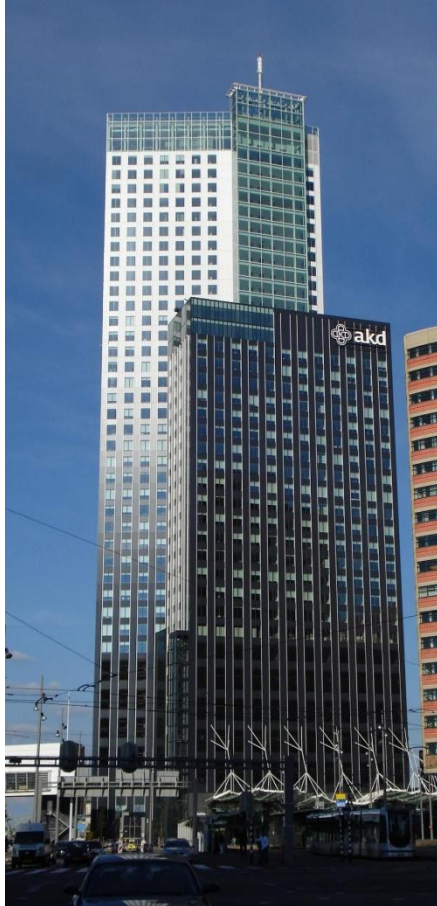
Hoogbouw



Het Witte Huis, Rotterdam (Bron: Wikipedia)

Hoogbouw

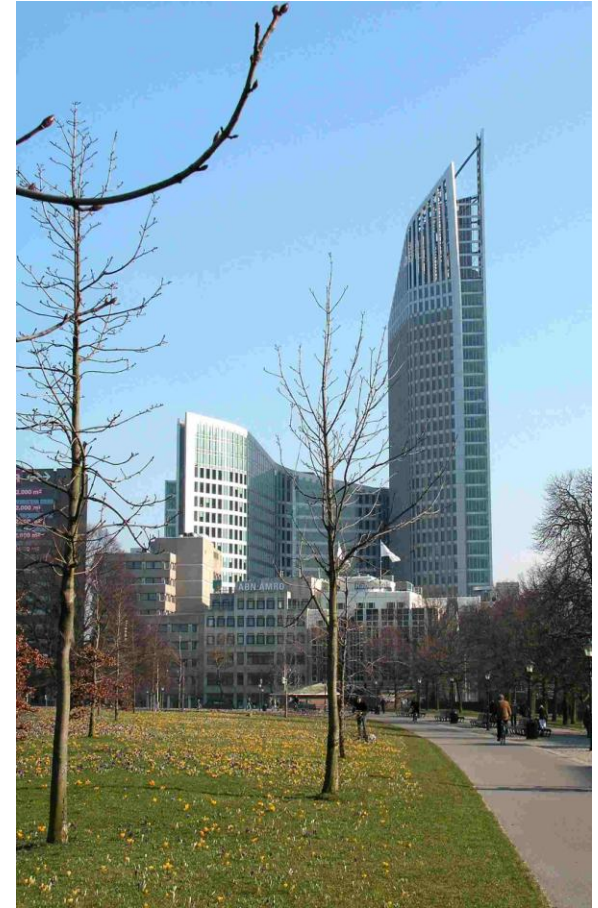
Vereniging Van BrandveiligheidsAdviseurs



(Diverse bronnen)

Hoogbouw

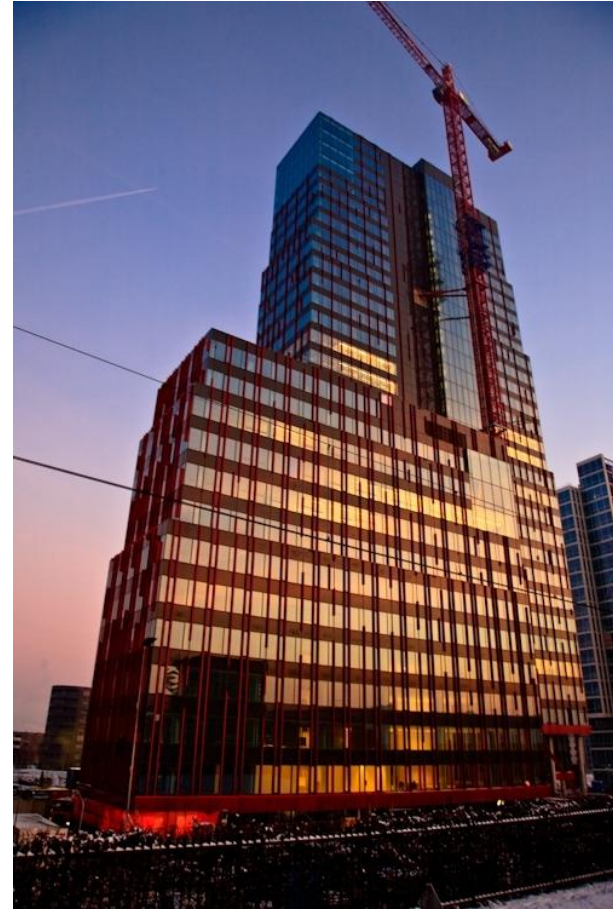
Vereniging Van BrandveiligheidsAdviseurs



(Diverse bronnen)

Hoogbouw

Vereniging Van BrandveiligheidsAdviseurs



(Diverse bronnen)

Hoogbouw



(Diverse bronnen)

Hoogbouw covenant

- Hoeveelheid en hoogte van hoogbouw neemt toe
- Ontwikkelaars en adviseurs rapporteren vertragingen en discussies in de bouwaanvraag- en realisatiefase

Hoogbouw covenant

- Hoogbouwconvenant over:
 - brandveiligheid, constructies, gevels, duurzaamheid, installaties en verticaal transport
- In de vorm van een NTA
- Ontwikkelen van richtlijnen voor gebouwen van 70 - 250 m



Motivatie onderzoek

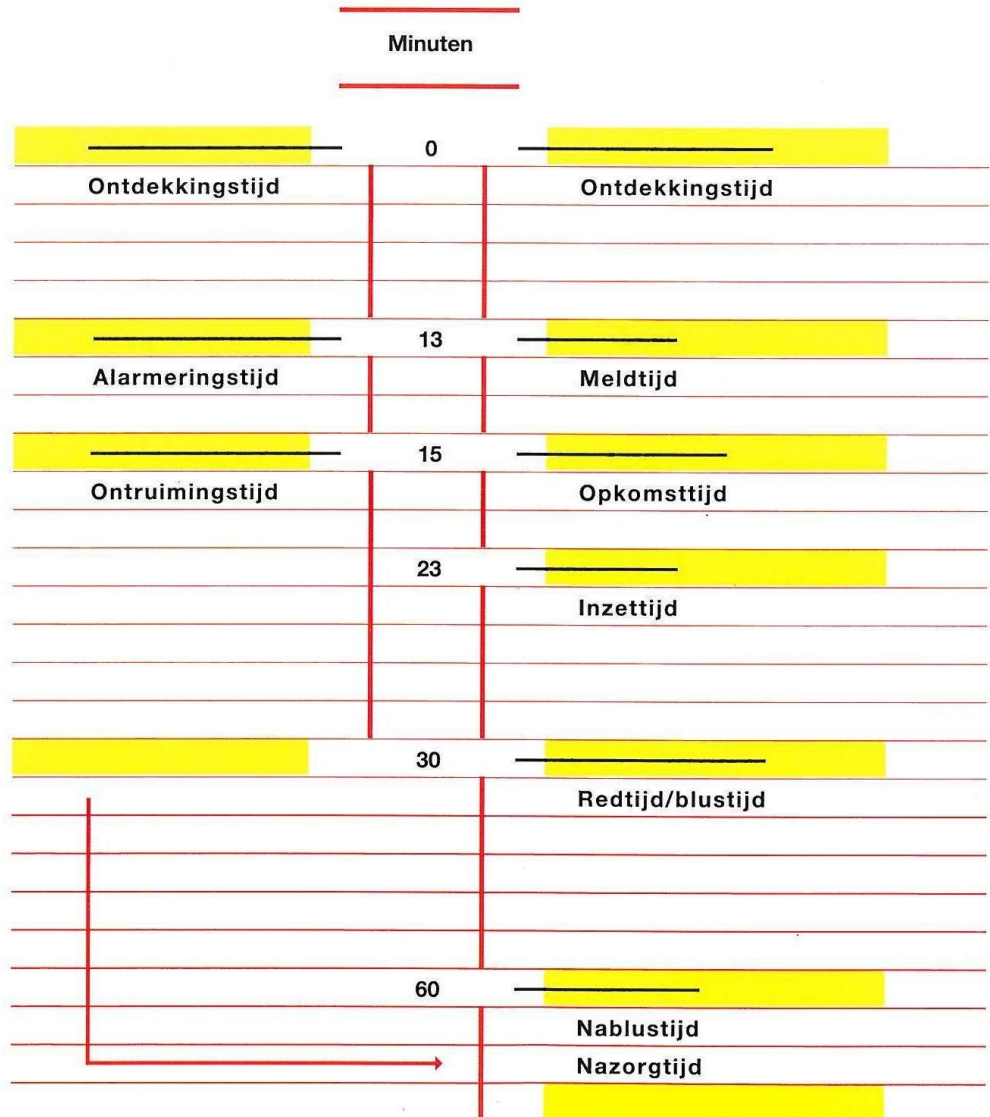
- Boven de 70 m steeds meer mensen die niet meer in staat zijn te vluchten
- Meer aandacht voor de risico's van hoogbouw als gevolg van incidenten



Motivatie onderzoek

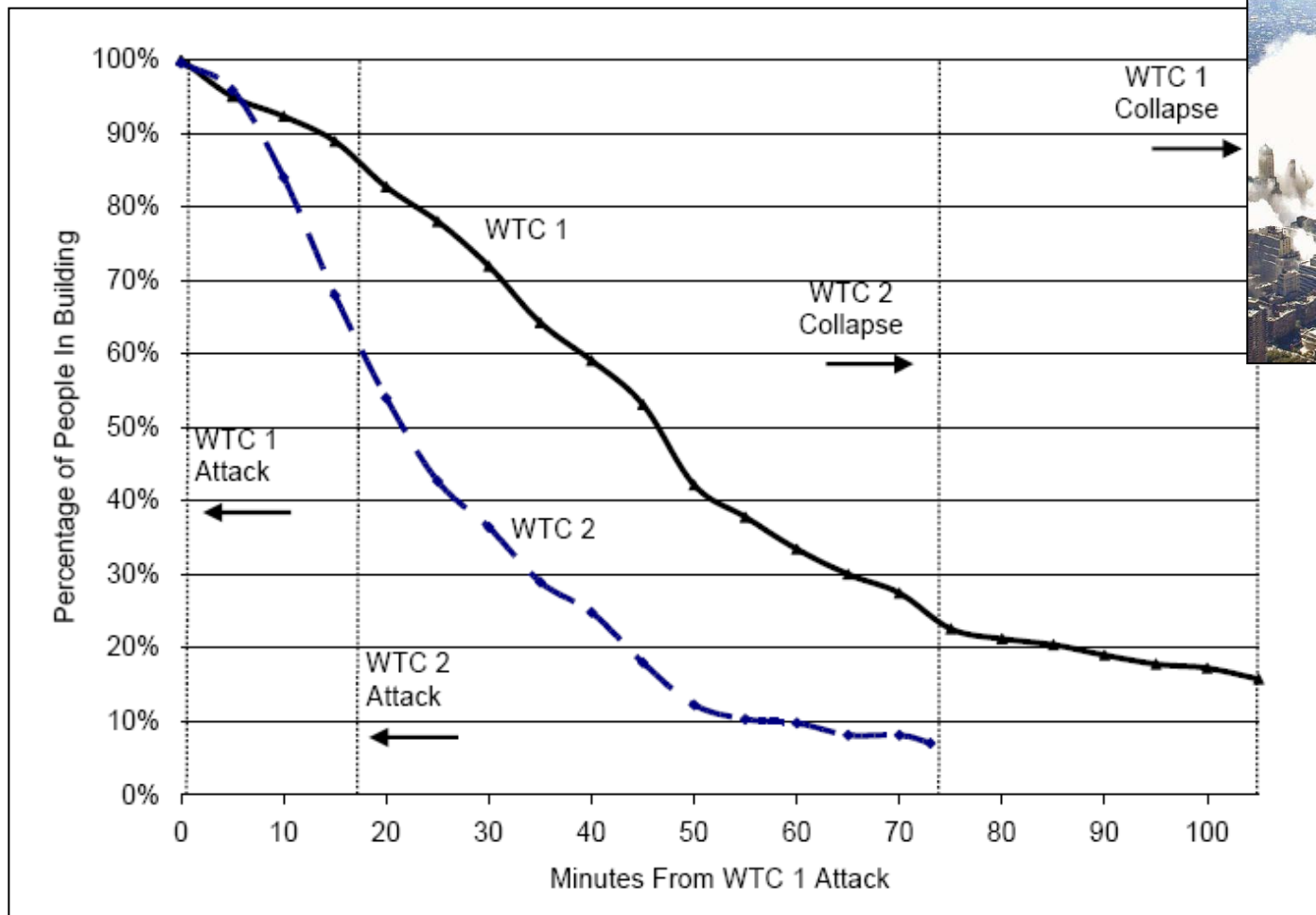
- Voor de brandweer ligt de focus op het beheersen van de brandweer. Hoe wordt de laatste 2-20% van de populatie gered?
- Evacuatie tijden uit conventionele trapmodellen zijn niet betrouwbaar in verband met opstoppingen en vermoeidheid van evacués
- Evacuatie tijden bij gebruik van liften zijn onbekend

Motivatie onderzoek



WTC New York (2001)

Uitstroomprofielen van 11-09-2001:



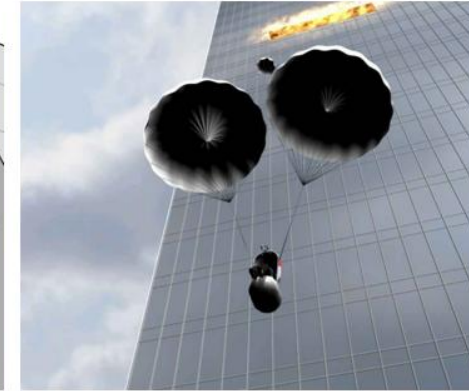
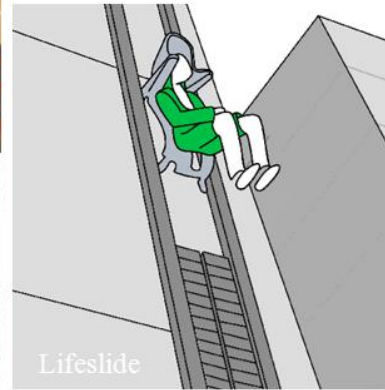
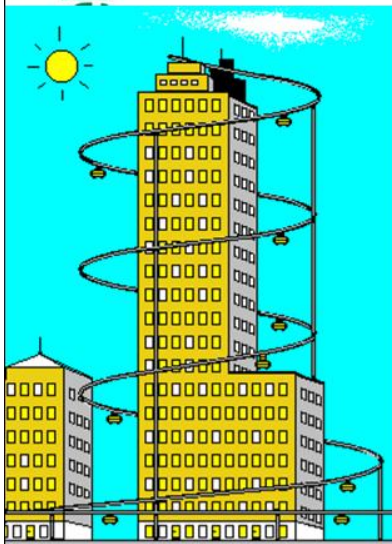
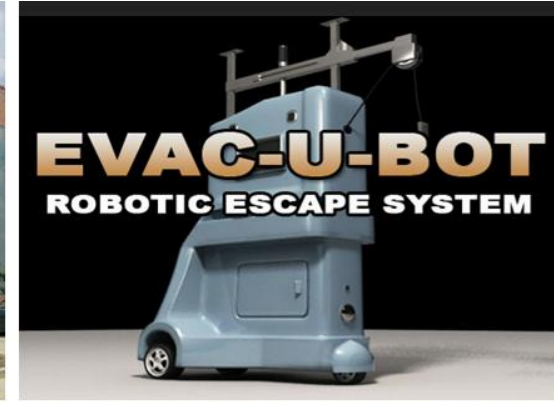
Gered boven inslag:

WTC 1: 0%

WTC 2: 44%

Evacuatiemiddelen

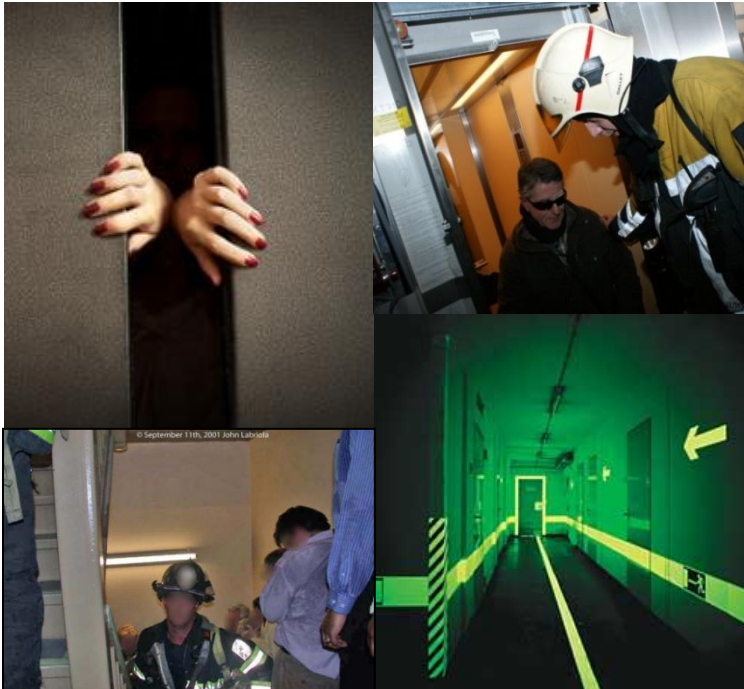
Vereniging Van BrandveiligheidsAdviseurs



Escape Rescue Systems

Het onderzoeksproject “Evacuëren met liften” heeft de volgende doelen:

- De optimale evacuatie **strategie** bepalen, afhankelijk van de gebouwhoogte en gebouwfunctie
- Het kunnen vaststellen van de **evacuatie**tijd T_{evac} per strategie
- **Capaciteit**: Welke bijdrage kunnen liften leveren aan een lagere T_{evac} en hoe kan het gebruik van liften en trappen het beste worden gecombineerd?



Aanvullend:

- Menselijk gedrag en paniekpreventie zijn ook geanalyseerd
- De randvoorwaarden zijn geïnventariseerd (bouwkundig, liftuitvoering, constructief, brandveiligheid, voeding, organisatie, communicatie, handhaving).

Menselijk gedrag

Evacuatiegedrag:

- Mensen reageren opmerkelijk kalm en rationeel op alarmsignalen
- Mensen helpen elkaar en zijn solidair
- Mensen reageren met vertraging op alarmsignalen: ze wachten de ontwikkelingen af, ronden hun werk af, verzamelen hun spullen en wachten op collega's/familie
- Een deel van de populatie reageert helemaal niet: mensen worden niet wakker of weigeren hun appartement of hotelkamer te verlaten
- Mensen hebben geleerd om liften **NIET** te gebruiken bij brand



Paniekgedrag

Paniekgedrag:

- Zelfs in geval van brand ontstaat zelden paniek, hooguit kortstondig
- Mensen reageren opmerkelijk kalm en rationeel op alarmsignalen
- Paniek reacties blijven uit vanwege ongeloof en onderschatting

Paniek zal niet optreden als:

- Mensen goed geïnformeerd en begeleid worden
- Mensen bereid en gewend zijn om (met liften) te evacueren
- Mensen niet direct met rook en vuur worden geconfronteerd
- De evacuatie route niet geblokkeerd (b)lijkt te zijn
- Het gebruik van de trappen altijd mogelijk blijft (vrije keus)



In Case of Fire
Do Not Use Elevator
Use Water

IN CASE OF FIRE
DO NOT USE ELEVATOR
USE STAIRS

BIJ BRAND LIFT
NIET
GEBRUIKEN

In case of fire
do not use elevators

Use stairways

IN CASE OF FIRE

DO NOT USE
ELEVATOR

USE STAIRS

In Case of Fire Do
Not Use Elevator
Use Stairwell

BIJ BRAND
~~LIFT~~
GEEN LIFT!
LIFTINSTITUUT

NON USARE
IN CASO
DI INCENDIO

en cas
d'incendie
ou
d'événement
grave,
n'utilisez pas
l'ascenseur

Vid brandfara
eller nödläge
In case of fire

In case of fire

DO NOT
use elevators

Use the
stairs

In case of fire
do not use elevator.
Use exit stairs.

Aufzug im Brandfall
nicht benutzen

In Case Of Fire
Elevators Are Out Of Service

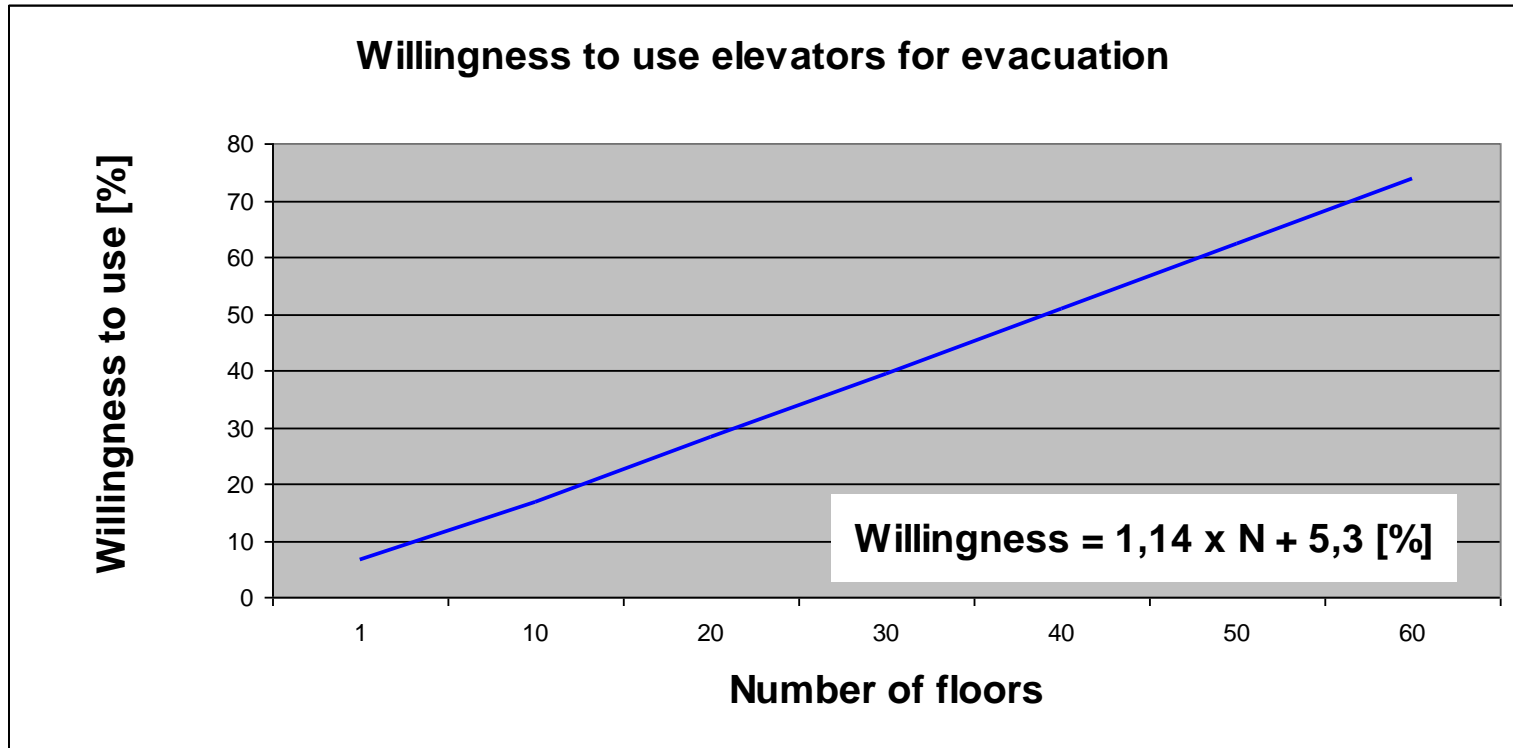
Use Exit

Använd ej
hissen
Do not use
the elevator

Använd
trappan
Use the stairs

Is men bereid om een lift te gebruiken?

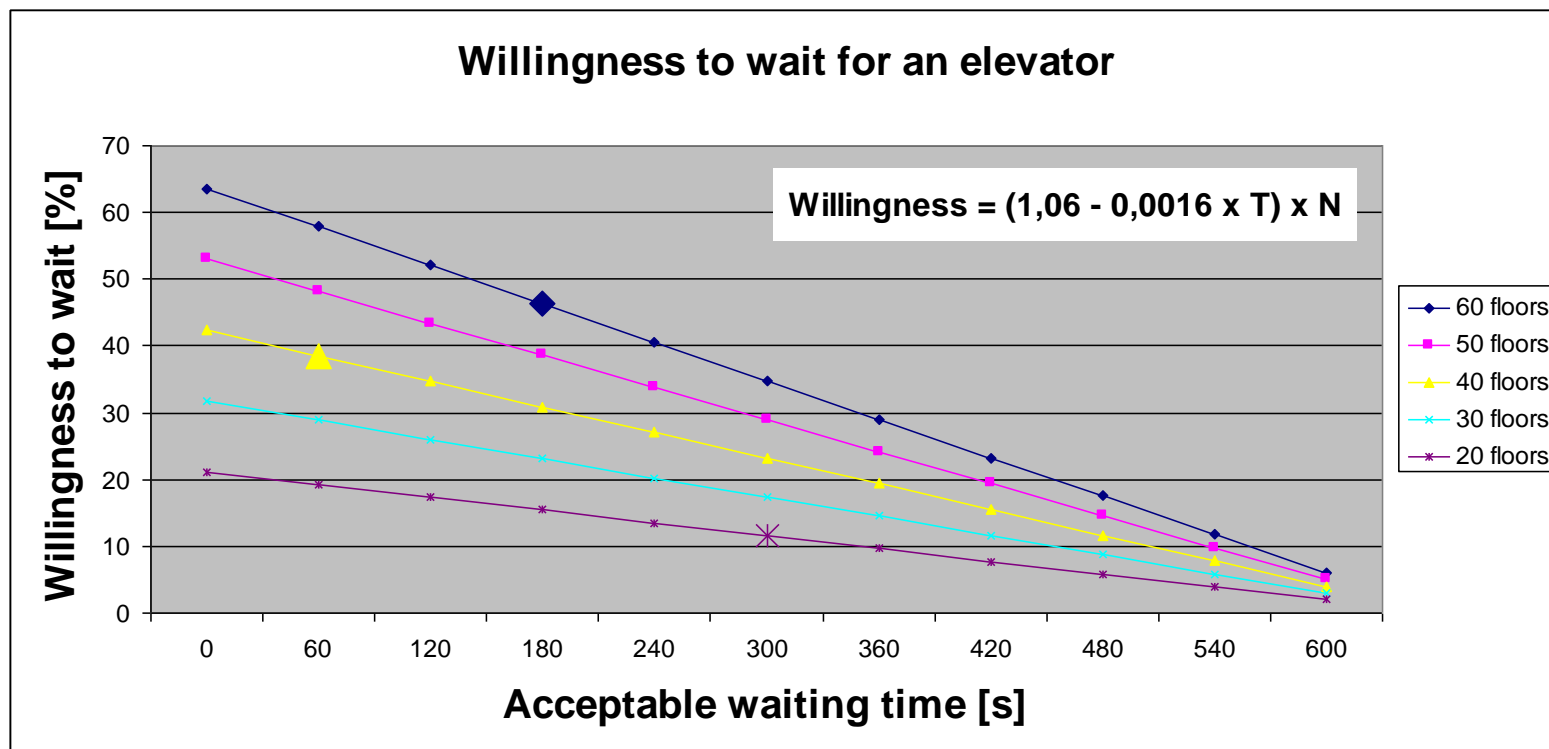
- De meeste mensen vertrouwen liften niet voor evacuatie doeleinden;
- Onderzoek wijst uit dat **zonder evacuatie training** slechts 50% bereid is om een lift te gebruiken;
- Onderzoek wijst uit dat de bereidheid om liften te gebruik voor evacuatie **toeneemt** met de hoogte [Heyes 2009]:



Hoe lang is men bereid op een lift te wachten?

De bereidheid om te wachten op een lift **neemt af** met de waarschijnlijke wachttijd en **neemt toe** met de hoogte [Heyes 2009]

- Slechts 50% is bereid om langer dan 3 minuten te wachten op 250 meter hoogte
- Slechts 15% is bereid om langer dan 5 minuten te wachten op 70 meter hoogte

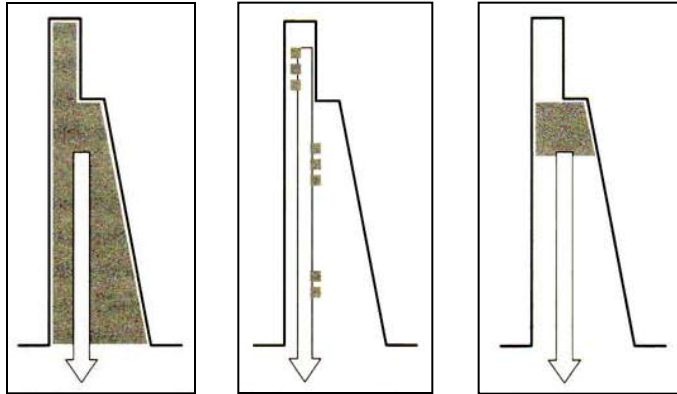


Evacuatiestrategieën CTBUH

Totaal

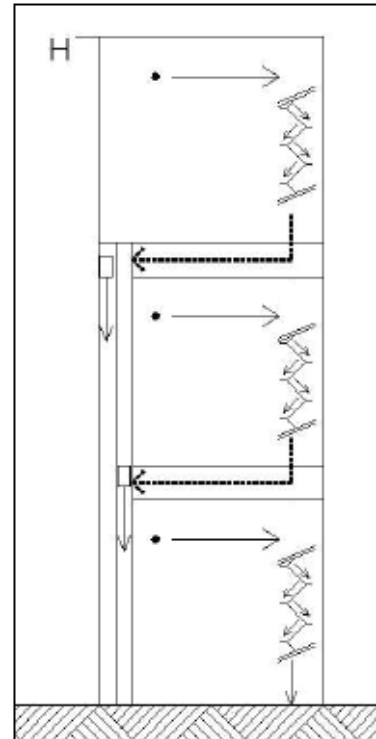
Fractioneel

Gezoneerd



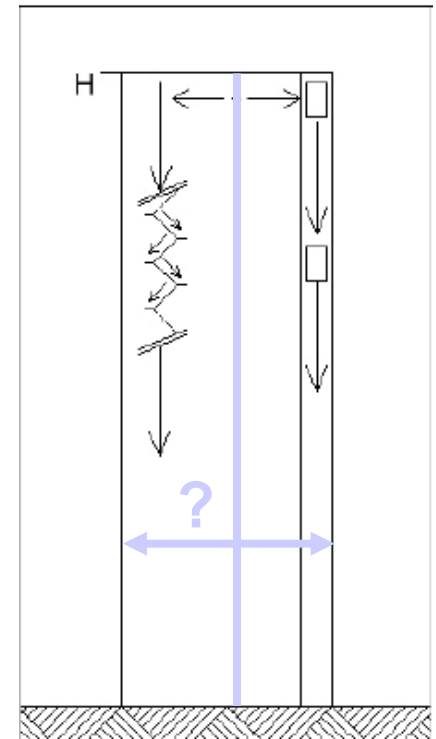
Originele CTBUH scenario's

Verzamellagen



- Combinatie met fractionele evacuatie is wenselijk

Vrije keus



- Voorspellen van verdeling over de hoogte?
- Mogelijkheid om de minimale T_{evac} te vinden

Evacuatiestrategieën NTA

0: Alleen trappen

Huidige situatie (minder zelfredzamen worden niet gered)

1: Alleen liften

2: Fractioneel met liften

3: Verzamellagen

4: Vrije keus

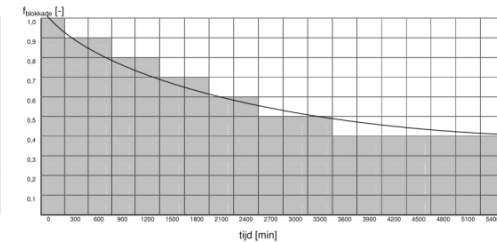
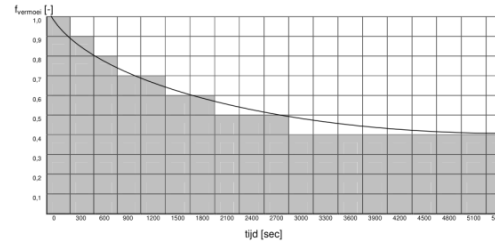
- Combinaties van scenario's per zone zijn mogelijk
- Gezoneerde ontruiming is een verbijzondering van de bovenstaande basis strategieën



Het verbeterde trapmodel

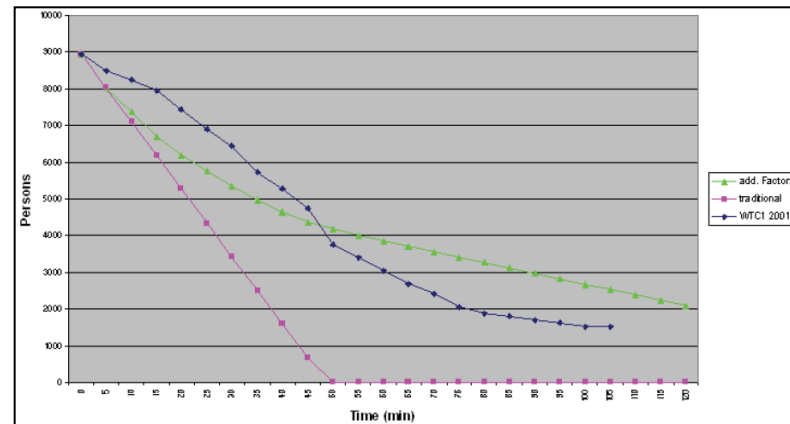
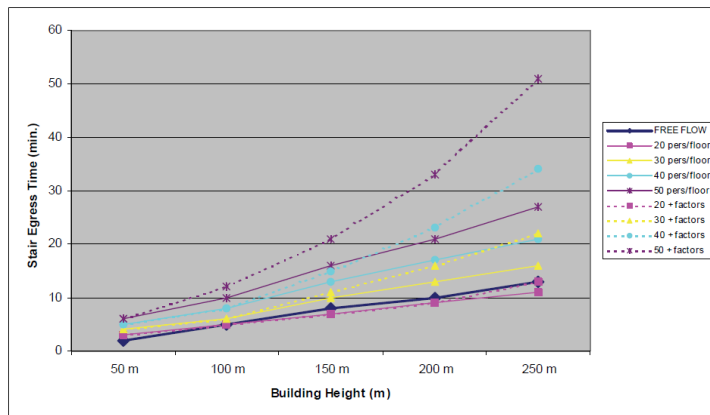
Huidige trapmodellen gaan uit van vaste loopsnelheden. De afdaalsnelheid is echter niet lineair, maar wordt beïnvloed door:

- Dichtheid / congestie
- Vermoeiing / tijd
- Demografie (bijv. senioren)



In het verbeterde trapmodel worden deze effecten meegenomen bij het bepalen van T_{evac} :

- *Full flow versus Free flow* (de relatie van Fruin tussen dichtheid en snelheid)
- Blokkade factor (door vermoeiing, blessures en tegengestelde bewegingen van hulpdiensten)



Hoogbouw ontvluchting: Verzadiging door congestie in trappenhuizen

Op basis van de CTBUH benadering (2004):

De inschatting van T_{evac} is gebaseerd op het vullen van het gebouw in opgaande ochtendpiek.

Hierbij geldt een efficiency winst vanwege shuttle operatie in plaats van “stoptrein” verkeersafhandeling.

$$T_{Up-peak} = \frac{500}{HC5_{Peak}} \quad [\text{min}]$$

$$T_{Evac} = \frac{T_{Up-peak}}{F_{Efficiency}} = \frac{T_{Up-peak}}{1.6} \quad [\text{min}]$$

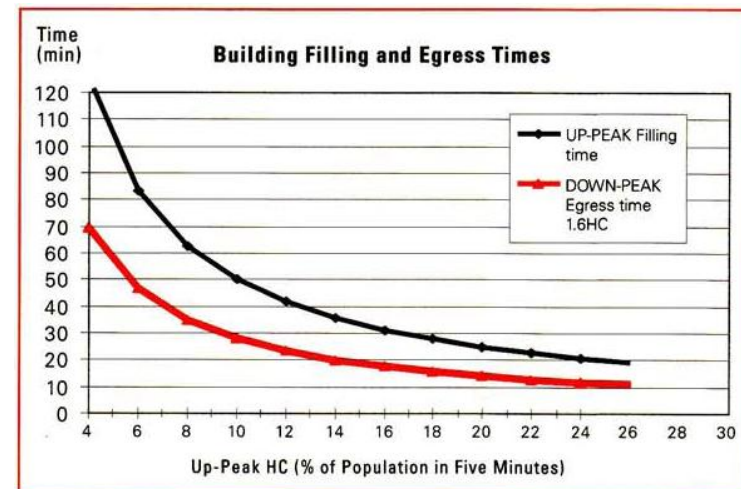
Voorbeeld:

Piekcapaciteit $HC5_{Peak} = 12,5\%$ v.d. populatie / 5 min

Vultijd $T_{Up-peak} = (100/12,5) \times 300 = 2.400 \text{ sec}$

$F_{Efficiency} = 1,6$ voor kantoren

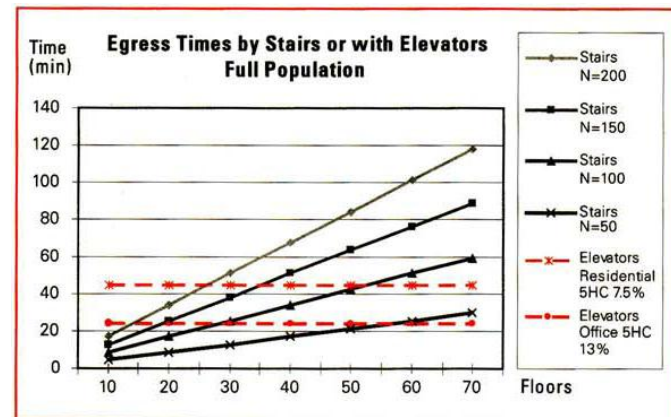
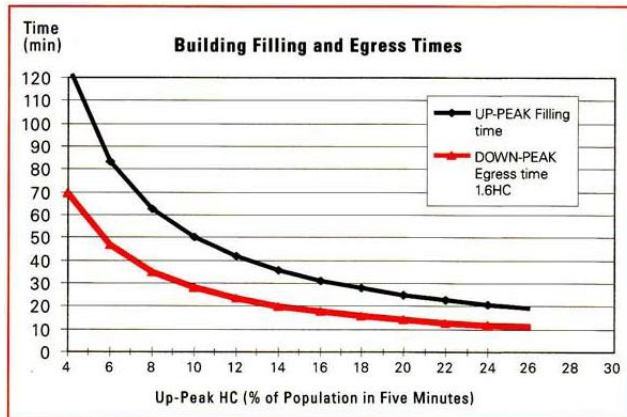
$T_{evac} = 2.400 / 1,6 = 1.500 \text{ sec}$



Beperkingen van de CTBUH benadering

Toevoegingen aan het CTBUH model voor evacuatie met liften:

- $F_{\text{efficiency}}$ is geschikt gemaakt voor hotels en woontorens
- Ook geschikt voor de evacuatie van een deel van de populatie:
 - De invloed van de fractie op T_{evac} is toegevoegd
 - De invloed van de zone op T_{evac} is toegevoegd
 - De invloed van de hoogte van de zone op T_{evac} is toegevoegd
- De invloed van het beschikbare aantal liften is toegevoegd
- De invloed van de kooibelading is toegevoegd
- Formules voor de verzamellagen en shuttle liften zijn toegevoegd



Liftmodel formules

Formules voor T_{evac} bij de inzet van liften:

Vultijd van het gebouw (gebaseerd op CTBUH 2004 en de NTA 4614-4 voor verkeersafhandeling):

$$T_{\text{Up-peak}} = \frac{500}{HC5_{\text{Peak}}} \quad [\text{min}]$$

T_{evac} (gebaseerd op CTBUH 2004):

$$T_{\text{Evac}} = \frac{T_{\text{Up-peak}}}{F_{\text{Efficiency}}} = \frac{T_{\text{Up-peak}}}{1.6} \quad [\text{min}]$$

T_{evac} (gebaseerd op NTA 4614):

$$T_{\text{Evac}} = T_{\text{Up-peak}} \cdot \left(\frac{F_{\text{Fraction}} \cdot F_{\text{Staged}} \cdot F_{\text{Height}}}{F_{\text{Efficiency}} \cdot F_{\text{Load}} \cdot F_{\text{Elevators}}} \right) \quad [\text{min}]$$

Liftsimulaties

Gebouwconfiguraties:

- Kantoor, hotel, woontoren
- Hoogtes van 70, 100, 150 en 250 meter

Nr	Functie	Hoogte	Lagen	Gebouwozones	Bezetting/Aantal lagen	Bezetting H(b/g)	H(plint)	H(lagen)	H(totaal)		
3a	Woonfunctie	100	30	1	14	3	399	5	5	3,0	100
3b	Woonfunctie	100	30	1	14	3	399	5	5	3,0	100
4a	Woonfunctie	100	30	1	20	3	570	5	5	3,0	100
4b										3,0	100
5a										3,0	150
5b										3,0	150
6a										3,0	150
6b										3,0	150
7a LR										3,0	150
7a HR										3,0	150
7b LR										3,0	150
7b HR										3,0	150
8a LR										3,0	150
8a HR										3,0	150
8b LR										3,0	150
8b HR										3,0	150
11a LR										3,0	250
11a HR										3,0	250
11b LR										3,0	250
11b HR										3,0	250
12a LR										3,0	250
12a HR										3,0	250
12b LR	Logiefunctie	250	75	2	24	6	912	5	20	3,0	250
12b HR	Logiefunctie	250	75	2	24	6	916	5	20	3,0	250
2	Logiefunctie 34F	100	24	1	20	3	480	5	15,8	3,3	100
3	Logiefunctie 34F	150	39	1	24	4	888	5	16,3	3,3	150
4 LR	Logiefunctie 34F	150	39	2	24	4	504	5	16,3	3,3	150
4 HR	Logiefunctie 34F	150	39	2	24	4	504	5	16,3	3,3	150
4 Z2 C.G.		100	39	2	24	4	312	5	16,3	3,3	150
6 Z1 C.G.	Logiefunctie 34F	150	39	2	24	4	312	5	16,3	3,3	150
6 LR	Logiefunctie 34F	250	68	2	30	6	930	5	20,6	3,3	250
6 HR	Logiefunctie 34F	250	68	2	30	6	510	5	20,6	3,3	250
6 Z1 HR	Logiefunctie 34F	250	68	2	30	6	420	5	20,6	3,3	250
6 Z2 C.G.	Logiefunctie 34F	250	68	2	30	6	490	5	20,6	3,3	250
6 Z2 LR	Logiefunctie 34F	250	68	2	30	6	330	5	20,6	3,3	250
6 Z2 HR	Logiefunctie 34F	250	68	2	30	6	790	5	20,6	3,3	250
4a C.G.	Kantoorfunctie	100	24	1	30	3	675	5	8,6	3,6	100
4b LR,HR DC	Kantoorfunctie	100	24	1	30	3	675	5	8,6	3,6	100
5a C.G.	Kantoorfunctie	100	24	1	36	3	787,5	5	8,6	3,6	100
5b LR,HR DC	Kantoorfunctie	100	24	1	36	3	787,5	5	8,6	3,6	100
6a C.G.	Kantoorfunctie	100	24	1	40	3	900	5	8,6	3,6	100
6b LR,HR DC	Kantoorfunctie	100	24	1	40	3	900	5	8,6	3,6	100
7a C.G.	Kantoorfunctie	150	37	1	32	4	1120	5	11,8	3,6	150
7b LR,HR DC	Kantoorfunctie	150	37	1	32	4	1120	5	11,8	3,6	150
8a C.G.	Kantoorfunctie	150	37	1	40	4	1400	5	11,8	3,6	150
8b LR,HR DC	Kantoorfunctie	150	37	1	40	4	1400	5	11,8	3,6	150
9a C.G.	Kantoorfunctie	150	37	1	48	4	1680	5	11,8	3,6	150
9b LR,HR DC	Kantoorfunctie	150	37	1	48	4	1680	5	11,8	3,6	150
10 Z1	Kantoorfunctie	150	37	2	32	4	576	5	11,8	3,6	150
10 Z2	Kantoorfunctie	150	37	2	32	4	512	5	11,8	3,6	150
10 Z2 lokaal	Kantoorfunctie	150	37	2	32	4	480	5	11,8	3,6	150
10 Z2 shuttle	Kantoorfunctie	150	37	2	32	4	448	5	11,8	3,6	150
11 Z1	Kantoorfunctie	150	37	2	40	4	720	5	11,8	3,6	150
11 Z2	Kantoorfunctie	150	37	2	40	4	640	5	11,8	3,6	150
11 Z2 lokaal	Kantoorfunctie	150	37	2	40	4	600	5	11,8	3,6	150
11 Z2 shuttle	Kantoorfunctie	150	37	2	40	4	560	5	11,8	3,6	150
12 Z1	Kantoorfunctie	150	37	2	48	4	864	5	11,8	3,6	150
12 Z2	Kantoorfunctie	150	37	2	48	4	768	5	11,8	3,6	150
12 Z2 lokaal	Kantoorfunctie	150	37	2	48	4	720	5	11,8	3,6	150
12 Z2 shuttle	Kantoorfunctie	150	37	2	48	4	672	5	11,8	3,6	150
16 Z1 C.G.	Kantoorfunctie	250	64	2	60	6	1650	5	14,6	3,6	250
16 Z1 LR,HR DC	Kantoorfunctie	250	64	2	60	6	1650	5	14,6	3,6	250
16 Z2 lokaal C.G.	Kantoorfunctie	250	64	2	60	6	1350	5	14,6	3,6	250

Berek stopplaatsen	Aantal liften	Hefvermogen [kg]	Hefsneld [m/s]	Versnell [m/s²]	HC5piek	AW/T [s]	ADT [s]	Beoordeling
C.G. 1-30	2	1000	2,5	0,9	5%	40	88	Normaal
C.G. 1-30	2	1275	3,5	0,9	5%	36	77	Goed
C.G. 1-30	2	1000	2,5	0,9	5%	57	114	Sober
C.G. 1-30	3	1275	3,0	0,9	5%	29	69	Luce
C.G. 1-44	3	1000	3,0	0,9	5%	49	112	Sober
C.G. 1-44	3	1275	5,0	0,9	5%	38	91	Goed
C.G. 1-44	3	1275	4,0	0,9	5%	57	129	Sober
C.G. 1-44	4	1275	5,0	0,9	5%	35	91	Luce
LR: 1-22	2	1000	2,5	0,9	5%	41	95	Normaal
HR: 23-44	2	1000	5,0	0,9	5%	43	103	Normaal
LR: 1-22	2	1275	3,0	0,9	5%	38	90	Goed
HR: 23-44	2	1275	6,0	0,9	5%	39	95	Goed
LR: 1-22	2	1000	2,5	0,9	5%	54	115	Sober
HR: 23-44	2	1000	5,0	0,9	5%	47	113	Sober
LR: 1-22	3	1275	2,0	0,9	5%	35	85	Luce
HR: 23-44	3	1275	4,0	0,9	5%	38	95	Goed
LR: 1-38	3	1000	3,5	0,9	5%	50	120	Sober
HR: 39-75	4	1000	4,5	0,9	5%	50	136	Sober
LR: 1-38	4	1275	3,5	0,9	5%	37	99	Goed
HR: 39-75	4	1275	6,0	0,9	5%	43	119	Goed
LR: 1-38	3	1275	4,0	0,9	5%	57	133	Sober
HR: 39-75	4	1000	6,0	0,9	5%	55	141	Sober
LR: 1-38	4	1275	4,0	0,9	5%	38	104	Goed
HR: 39-75	4	1275	7,0	0,9	5%	42	118	Normaal
C.G. 1-24	4	1275	3,5	1,1	14%	24	76	Luce
C.G. 1-39	7	1275	4,5	1,1	14%	27	72	Luce
LR: 1-21	4	1275	3,0	1,1	14%	32	89	Goed
HR: 22-39	4	1275	4,0	1,1	14%	29	89	Luce
C.G. 23-39	3	1275	2,0	1,1	14%	24	76	Luce
Shuttle naar 23	2	1275	3,0	1,1	10%	16	66	Luce
C.G. 1-24	7	1275	4,5	1,1	14%	30	100	Luce
LR: 1-17	4	1275	2,5	1,1	14%	30	91	Goed
HR: 18-34	4	1275	4,5	1,1	14%	34	105	Luce
LR: 37-54	3	1275	2,5	1,1	14%	34	105	Goed
HR: 55-66	3	1275	4,0	1,1	14%	29	82	Luce
Shuttle naar 37	2	1600	5	1,1	10%	28	82	Luce
LR: 1-31	4	1275	6,0	1,1	12%	33	99	Goed
C.G. 35-64	6	1600	4,0	1,1	12%	31	103	Goed

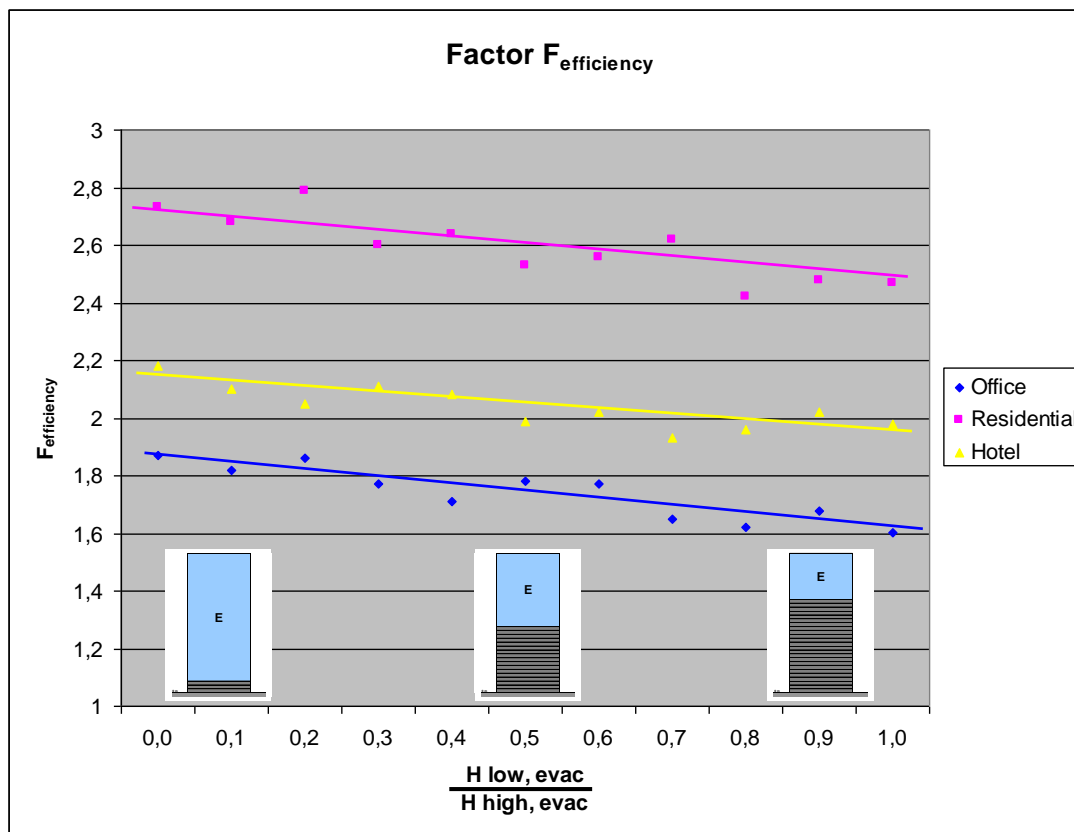
Benodigde liftgroep:

- Centrale liftgroepen en highrise-midrise-lowrise configuraties
- Conventionele besturing en bestemmingsbesturing
- Bandbreedte van "excellente", "goede" en "voldoende" verkeersafhandeling

LR: 1-31	4	1275	6,0	1,1	12%	33	99	Goed
C.G. 35-64	6	1600	4,0	1,1	12%	31	103	Goed

Liftmodel formules

De invloed van efficiëntere verkeersafhandeling:
(Vergeleken bij verkeer in normaal bedrijf)

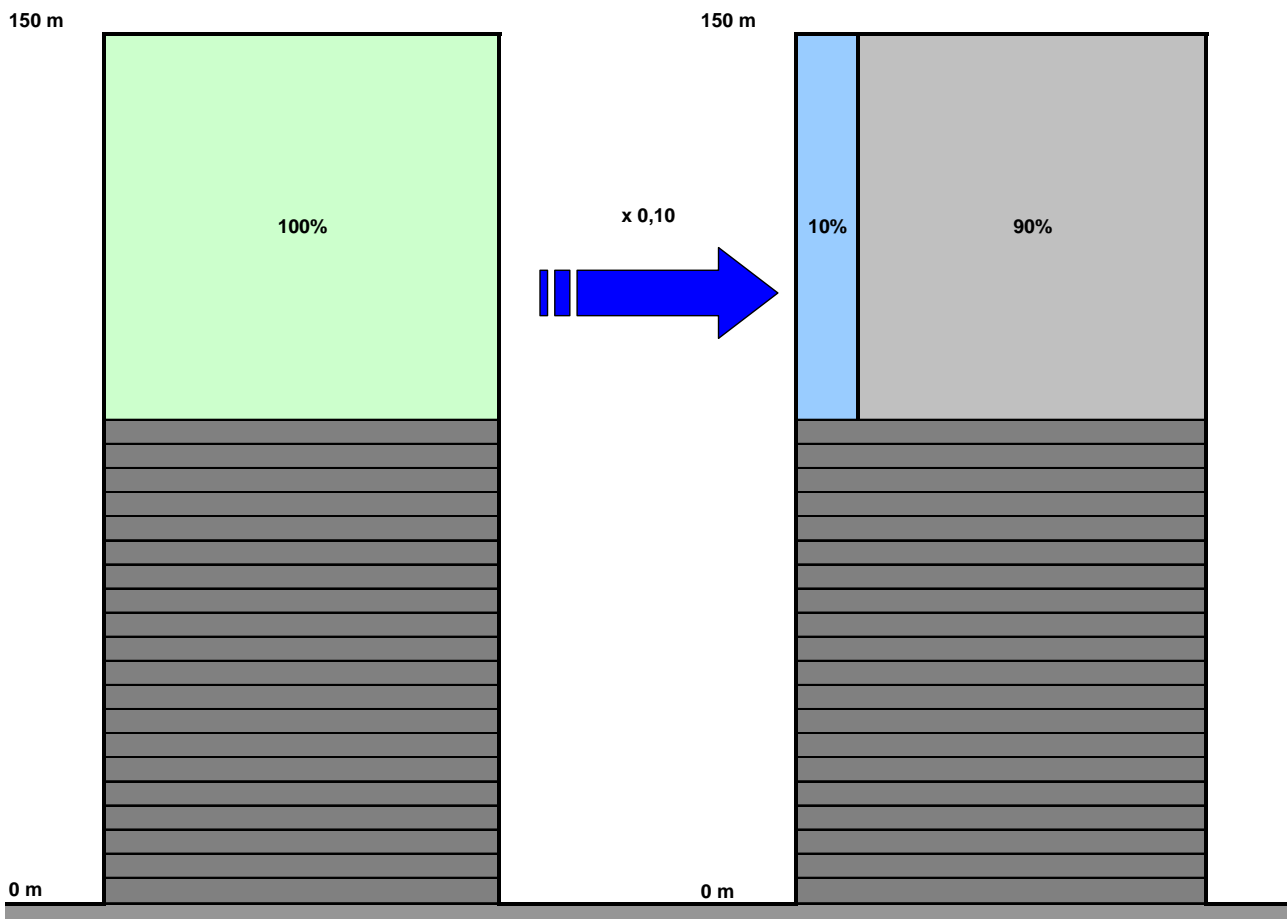


	Office	Hotel	Residential
$F_{\text{efficiency}}$ result range	1.6-1.9	1.9-2.2	2.4-2.8
Recommended $F_{\text{efficiency}}$	1.6	1.9	2.4

Liftmodel formules

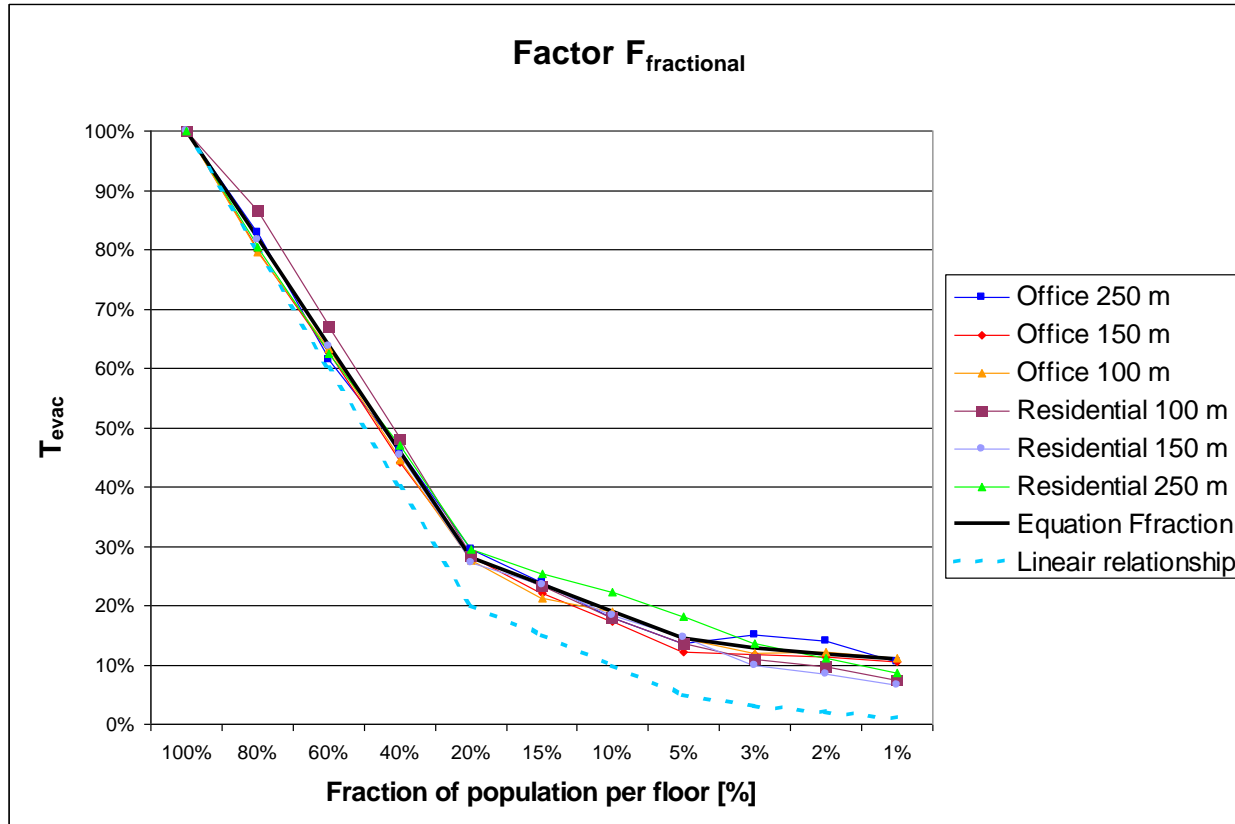
De invloed van de fractie van de populatie die wordt geëvacueerd:
(Vergeleken bij verkeer in normaal bedrijf)

Analysis of F_{fraction}



Liftmodel formules

De invloed van de fractie van de populatie die wordt geëvacueerd:
(Vergeleken bij verkeer in normaal bedrijf)

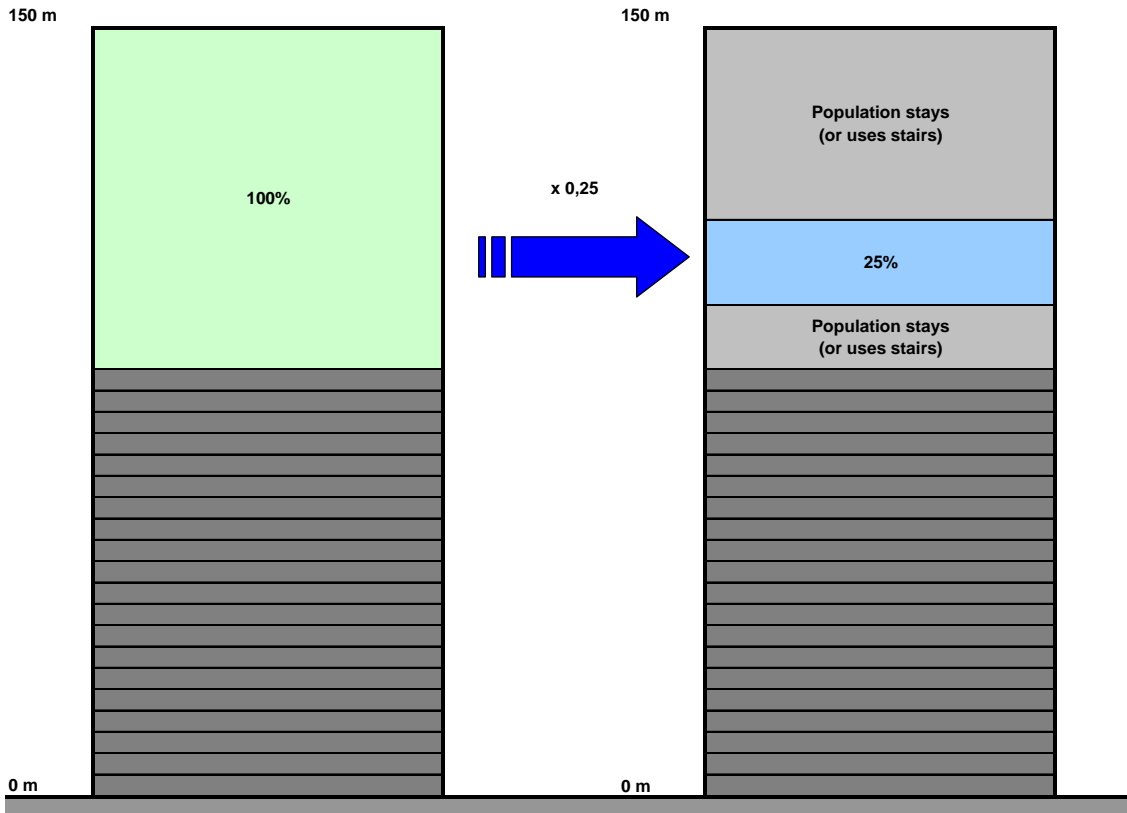


$$F_{Fractional} = 0.1 + 0.9 \cdot \left(\frac{P_{Evac}}{P_{Peak}} \right)$$

Liftmodel formules

De invloed van de zone (aantal verdiepingen) die wordt geëvacueerd:
(Vergeleken bij verkeer in normaal bedrijf)

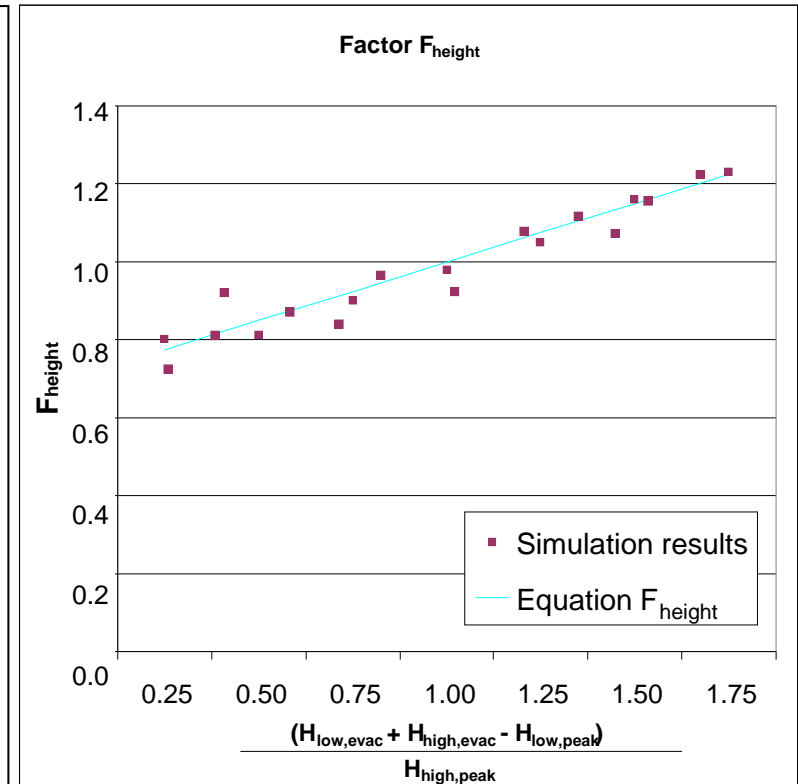
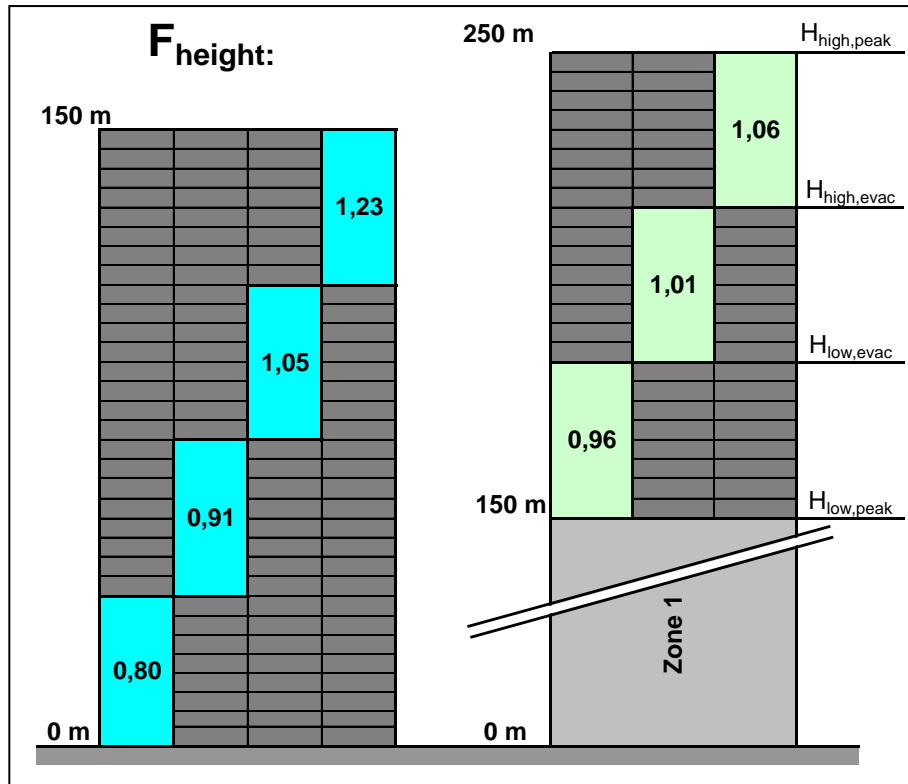
Analysis F_{staged}



$$F_{Staged} = \frac{N_{Evac}}{N_{Peak}}$$

Liftmodel formules

De invloed van de hoogte van de zone die wordt geëvacueerd:
(Vergeleken bij verkeer in normaal bedrijf)

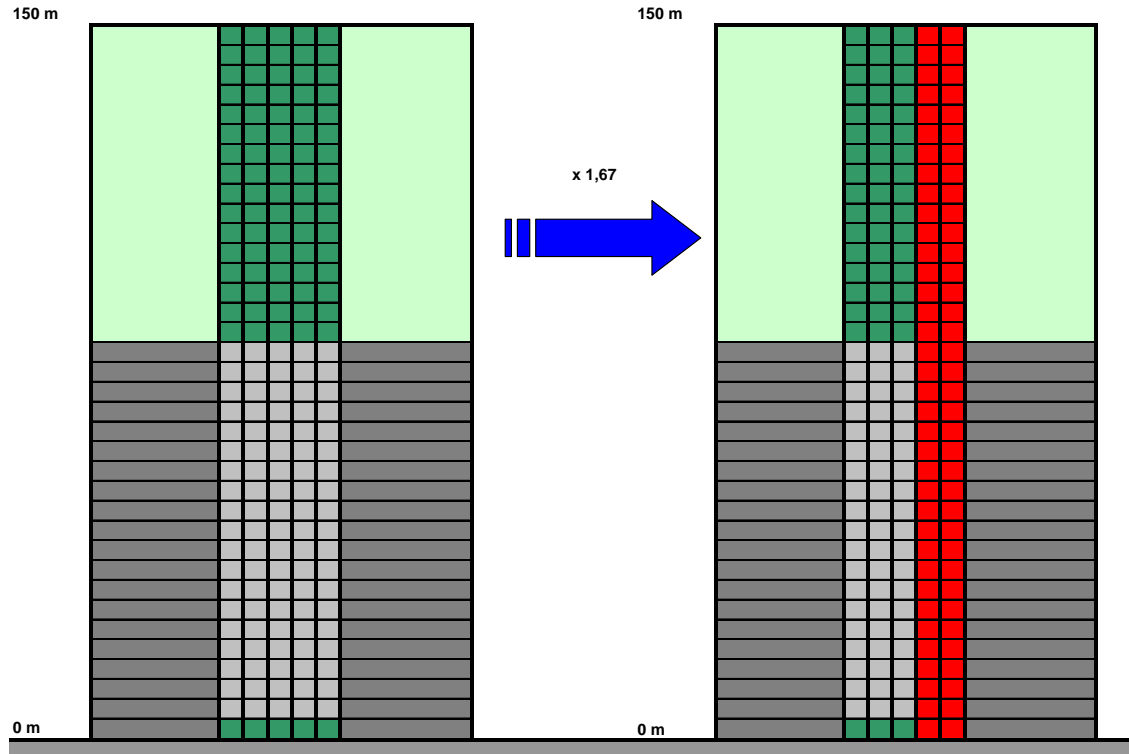


$$F_{Height} = 0.7 + 0.3 \cdot \left(\frac{H_{High,Evac} + H_{Low,Evac} - H_{Low,Peak}}{H_{High,Peak}} \right)$$

Liftmodel formules

De invloed van het aantal liften dat beschikbaar is voor evacuatie:
(Vergeleken bij verkeer in normaal bedrijf)

Analysis $F_{\text{elevators}}$



$$F_{\text{Elevators}} = \frac{E_{\text{Evac}}}{E_{\text{Peak}}}$$

Liftmodel formules

De invloed van de kooibelading:
(Vergeleken met verkeer in normaal bedrijf)



Een hogere kooibelading tijdens evacuatie wordt acceptabel en realistisch verondersteld, bijvoorbeeld tot comfort niveau E van Fruin.

	Office	Hotel	Residential
F_{load}	1.1	1.2	1.1
Maximum car load in normal operation	80%	70%	80%

Formules voor verzamellagen en shuttlebedrijf

Een basisset formules voor verzamellagen en shuttlebedrijf is beschikbaar.

T_{evac} is gebaseerd op een rondritanalyse, inclusief cyclustijd, populatie, aantal liften en gemiddelde reishoogte.

$$T_{\text{evac}} = C_{\text{elevator},l} \cdot T_{\text{cycle}} + T_{\text{additional}}$$

$$C_{\text{elevator},l} = \frac{C_{\text{elevators,total}}}{E_{\text{evac}}}$$

$$T_{\text{cycle}} = 2 \cdot T_{\text{trip}} + T_{\text{process}}$$

$$H_{\text{average}} = \frac{\sum_{i=1}^N H_i \cdot P_i}{\sum_{i=1}^N P_i}$$

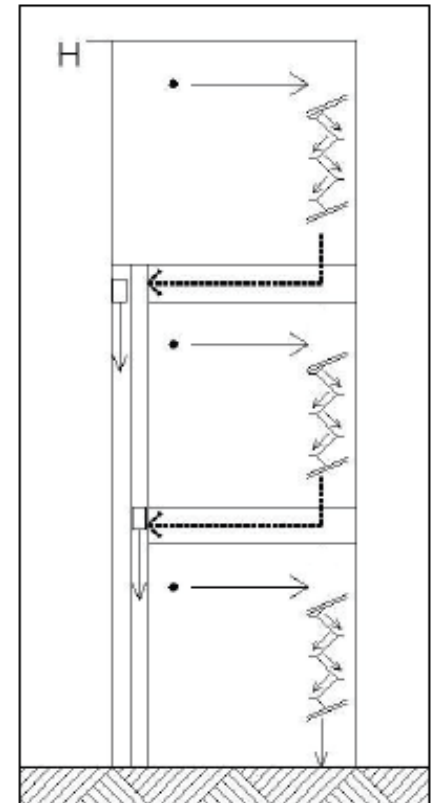
$$T_{\text{trip}} = \frac{\frac{H_{\text{average}}}{V} + \frac{V}{A}}{60}$$

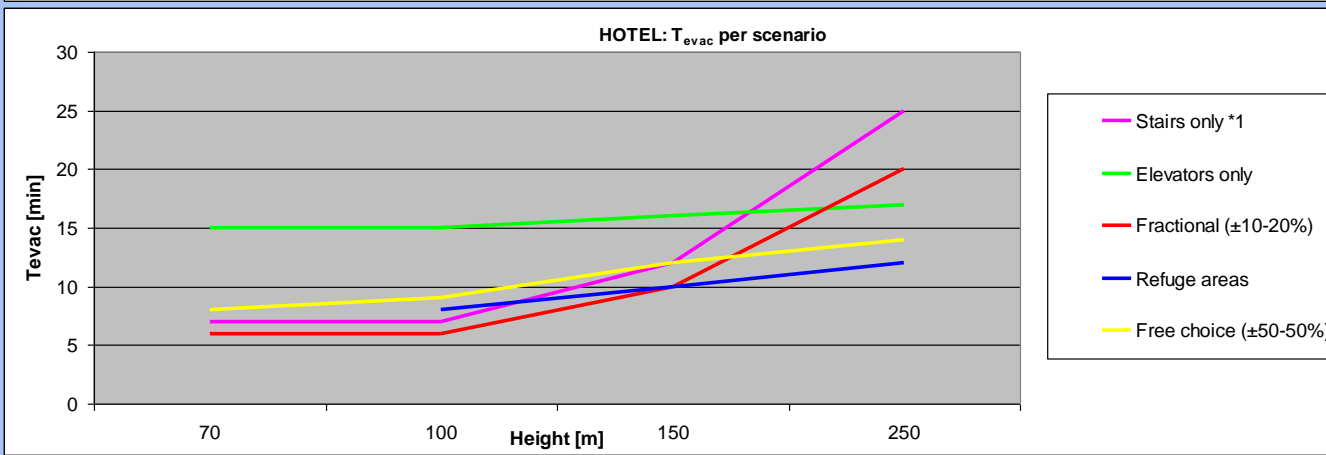
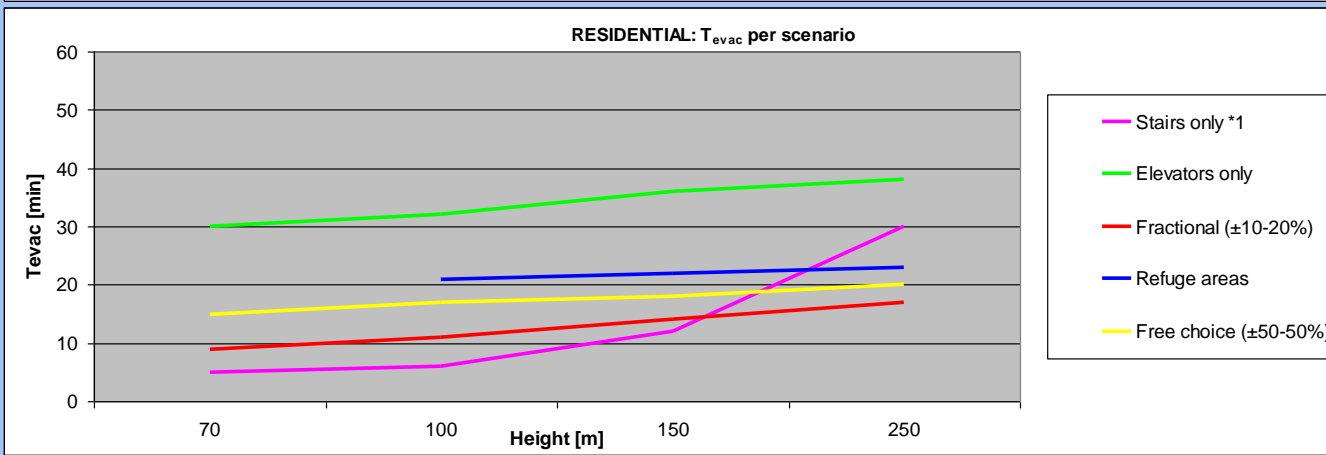
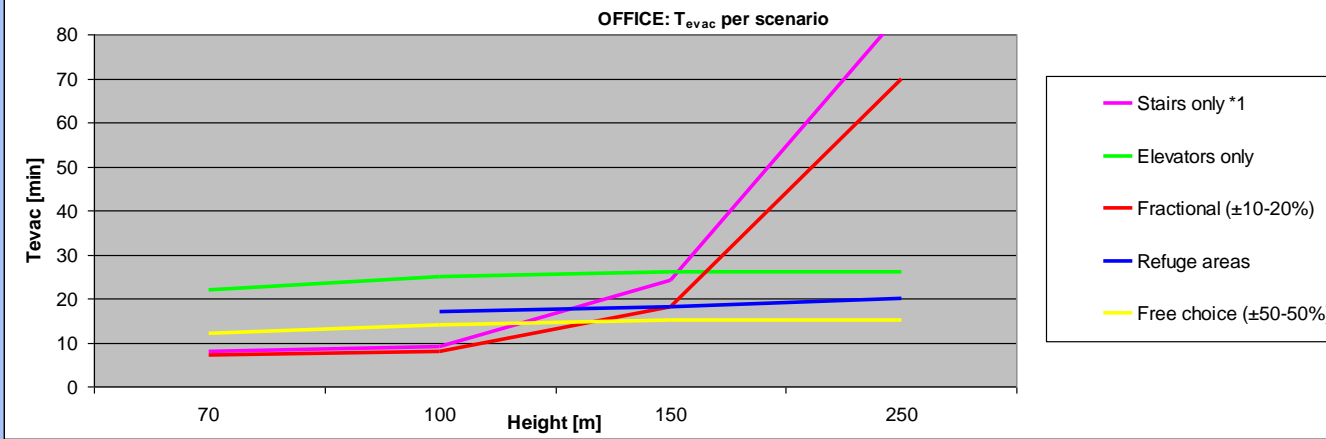
$$C_{\text{elevators,total}} = \frac{P_{\text{total}}}{CL_{\text{evac}}}$$

$$T_{\text{process}} = \frac{2 \cdot T_{\text{doors}} + CL_{\text{evac}} \cdot T_{\text{in}} + CL_{\text{evac}} \cdot T_{\text{out}}}{60}$$

$$T_{\text{additional}} = 2 \cdot \left(\frac{V}{A} + T_{\text{doors}} \right) / 60$$

$$P_{\text{total}} = \sum_{i=1}^N P_i$$





KANTOOR:

- Congestie trappen is dominant
 - Focus op **FRACTIONELE** evacuatie tot ±100 meter
 - Focus op **VERZAMELLAGEN** en **VRIJE KEUS** evacuatie boven 150 meter
- Alternatief: alleen liften

WOONTOREN:

- Bepaalde liftcapaciteit voor evacuatie met alleen liften
- Congestie trappen beperkt
- Focus op **FRACTIONELE** evacuatie

HOTEL:

- Overcapaciteit in liftgroep
 - Congestie trappen beperkt
 - Focus op **FRACTIONELE** evacuatie tot 150 meter
 - Focus op **VERZAMELLAGEN** en **VRIJE KEUS** evacuatie boven 150 meter
- Alternatief: alleen liften

Waarschuwing voor shuttleverkeer bij skylobbies: T_{evac} kan 10-20 minuten hoger zijn

Conclusies

- Liften zijn onmisbaar voor het evacueren van minder zelfredzame personen uit hoogbouw;
- In hoogbouw kunnen liften een grote bijdrage leveren aan de reductie van T_{evac} ;
- Evacuatie met trappen is in hoogbouw geen lineair proces, maar vertraagt sterk door congestie, vermoeiing en blokkades;
- Het is mogelijk om paniek te voorkomen in de meeste evacuatie situaties, zeker als er regelmatig wordt geoefend en er begeleiding is;
- Evacuatie uit hoogbouw moet op regelmatige basis worden geoefend om de evacuatiebereidheid te verbeteren, zeker als liften worden ingezet;
- Het geïntegreerde trap- en liftmodel biedt de mogelijkheid om T_{evac} per gebouwfunctie nauwkeuriger te bepalen en evacuatiestrategieën te vergelijken;
- Fractionele evacuatie is optimaal tot circa 100-150 meter hoogte, daarboven resulteren verzamellagen evacuatie en vrije keus evacuatie in de laagste T_{evac} .

Aanbevelingen

Aanbevelingen en vervolgonderzoek:

- Een praktijkoefening inclusief liften organiseren en registreren
- Het model uitbreiden naar hogere gebouwen (internationaal)
- De achtergrondrapportage en de NTA's in het Engels vertalen
- Optimalisatie van het vrije keus scenario
- Een softwaretool ontwikkelen

