

D 1471 Rekenen aan opvang- en doorstroomcapaciteit

Ir. M. Klein, DGMR

Artikel 2.173 van het bouwbesluit stelt dat ruimten waardoor een rookvrije vluchtroute voert voldoende opvang- en doorstroomcapaciteit bezitten. Verwezen wordt naar de Regeling Bouwbesluit 2003 die 'voldoende' verder uitlegt als 'zodanig dat bij brand snel en veilig kan worden gevlucht.' Er wordt dus alleen een functionele eis gegeven.

De reden hiervan staat in de nota van toelichting van de Regeling Bouwbesluit (artikel 3.1). De bepalingsmethode uit de Regeling Bouwbesluit Nieuwbouw 1998 bleek bij afstemming op het Bouwbesluit 2003 niet meer toereikend om als prestatie-eis over te nemen. De methode is in beginsel bedoeld voor kantoor- en logiesfuncties en een bezettingsgraad niet hoger dan B3 (rekenwaarde 5 m² per persoon). Voor andere gebruiksfuncties en bezettingsgraad B1 of B2 kan de bepalingsmethode als 'onredelijke eis ervaren worden'.

De methode gaat er vanuit dat in het gebouw aanwezige personen direct naar buiten zullen vluchten of via een 'tijdelijk als veilig ervaren plaats'. De criteria om een ruimte als veilig aan te duiden worden niet gegeven; wel wordt een vluchtrappenhuis als veilige plaats beschouwd vanwege de daaraan gestelde eisen. Dit kan vertaald worden als een eis dat alle aanwezigen gelijktijdig in de vluchtrappenhuisen moeten kunnen worden opgevangen. De bepalingsmethode richt zich in de verdere uitwerking ook uitsluitend op de opvang- en doorstroomcapaciteit van vluchtrappenhuisen.

Bij gebouwen met een hoge bezetting zal dit leiden tot zeer grote trappenhuisen, wat meteen de reden is dat de methode als onredelijk kan worden ervaren. Een enigszins verruimde toepassing van de methode, waarbij ook de tijdelijke opvang in naastgelegen rookcompartimenten wordt meegerekend is denkbaar. Hoe lang dan in een aangrenzend rookcompartiment verbleven mag worden en of eventueel extra eisen gesteld moeten worden aan de scheidingsconstructie blijft een punt van discussie.

Een ander punt waar verschillend mee om wordt gegaan betreft de doorstromingscapaciteit van vluchtroutes. De bepalingsmethode geeft voor een vluchtroute over een vloer een waarde van 90 personen per minuut per meter vrije doorgangsbreedte. In beginsel geen reden tot discussie dus, maar de verwarring ontstaat door de bepaling van het

aantal personen wat op de vluchtroute is aangewezen. In plaats van een werkelijk aantal personen worden de rekenwaarden van de aanwezige bezettingsgraad gehanteerd. Als daarmee is aangetoond is dat voldoende opvang- en doorstroomcapaciteit aanwezig is, is een bezetting in het gebouw toelaatbaar tot 1.5 x het aantal waarmee gerekend is. Dit is overeenkomstig andere onderdelen uit het Bouwbesluit zoals bepaling van de minimale uitgangsbreedte van verblijfsruimten en rookcompartimenten.

Betekent dit dat met 135 (90 x 1.5) personen per minuut gerekend mag worden of dat ontruiming van een rookcompartiment niet binnen 1 maar 1.5 minuut mag plaatsvinden? De interpretatie heeft op de toetsing van uitgangsbreedtes geen effect omdat daar de factor tijd geen rol speelt. Voor berekening van ontruimingstijden is het daarentegen essentieel met welke doorstroomcapaciteit per minuut wordt gerekend.

NEN 6089

De onlangs als 3e ontwerpnorm gepubliceerde NEN 6089 'Bepaling van de opvang en de doorstroomcapaciteit van een bouwwerk' bevat een nieuwe methode voor toetsing van de capaciteit van de trappenhuizen in een gebouw.

Het belangrijkste verschil met de rekenmethode uit de Regeling Bouwbesluit is dat de tijdelijke opvang van personen in zowel de trappenhuizen als in zogenaamde opvangruimten mag plaatsvinden. Een opvangruimte betreft het rookcompartiment waar mensen tijdelijk wachten alvorens het trappenhuis te betreden. Dit betekent dat de trappenhuizen niet meer zo groot uitgevoerd hoeven te worden dat alle erop aangewezen personen er tegelijkertijd in kunnen verblijven. Een groot aantal situaties dat niet past binnen de methode van de Regeling Bouwbesluit 2003 valt nu wel binnen het toepassingsgebied van deze norm.

Voor toetsing volgens de NEN 6089 dienen twee wijzen van ontruiming beschouwd te worden:

- Scenario-onafhankelijk; hierbij wordt geen brand in het gebouw verondersteld, alle vluchtroutes zijn onverminderd beschikbaar. Er vindt alleen toetsing plaats van de totale ontruimingstijd van de trappenhuizen.
- Scenario-afhankelijk; hierbij wordt een brand verondersteld in één van de rookcompartimenten. Afhankelijk van de brandlocatie verandert de beschikbaarheid van vluchtroutes en daarmee de verdeling van personen over de trappenhuizen. Er vindt alleen toetsing plaats van de optredende wachttijd in de opvangruimten.

Scenario-onafhankelijk

De maximaal toelaatbare totale ontruimingstijd voor een trappenhuis stemt overeen met de criteria uit de Regeling Bouwbesluit. Deze bedraagt 20 minuten indien het trappenhuis uitsluitend bereikbaar is door een rooksluis (afstand tussen toe- en uitgang ten minste 2 meter), 30

minuten als het trappenhuis is uitgevoerd als veiligheidstrappenhuis en 15 minuten in elk ander geval.

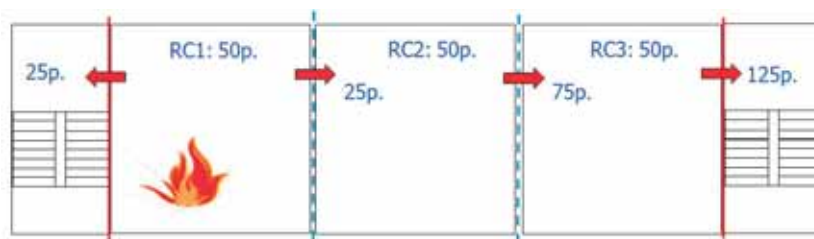
Bij de scenario-onafhankelijke ontruiming stelt NEN 6089 dat de aanwezigen zodanig over de trappenhuizen verdeeld mogen worden dat de meest gunstige ontruimingstijd ontstaat. De verdeling kan dus vrij worden gekozen, 'mits fysisch mogelijk en in overeenstemming met de inrichting van het bouwwerk'.

Het totaal aantal personen waarmee gerekend wordt is bij voorkeur gebaseerd op een werkelijk aantal personen. Verwarring als gevolg van de bandbreedte die elke bezettingsgraad vertegenwoordigt wordt daarmee voorkomen. Wordt toch met bezettingsgraden gewerkt (wanneer het exacte aantal personen nog niet bekend is bijvoorbeeld) dan wordt geadviseerd de extreme waarden aan te houden en dus niet de rekenwaarden.

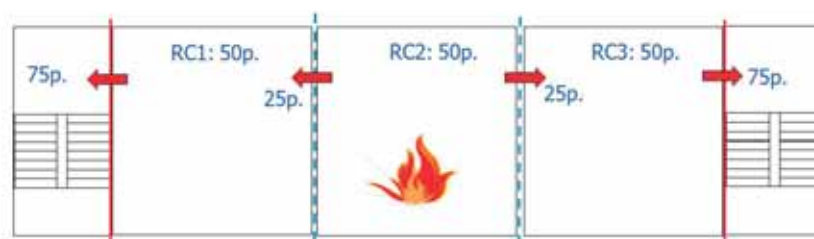
Scenario-afhankelijk

Vanzelfsprekend hoeven niet alle mogelijke brandscenario's te worden doorgerekend; het is aan degene die de berekening uitvoert om vast te stellen waar een brand de meest ongunstige invloed heeft op de wachttijden. In figuur 1 is een eenvoudig voorbeeld te zien van de verdeling van personen over twee trappenhuizen bij een verdieping met drie rookcompartimenten.

Figuur 1: Het effect van verschillende brandscenario's op de verdeling van personen over de trappenhuizen.



Scenario 1

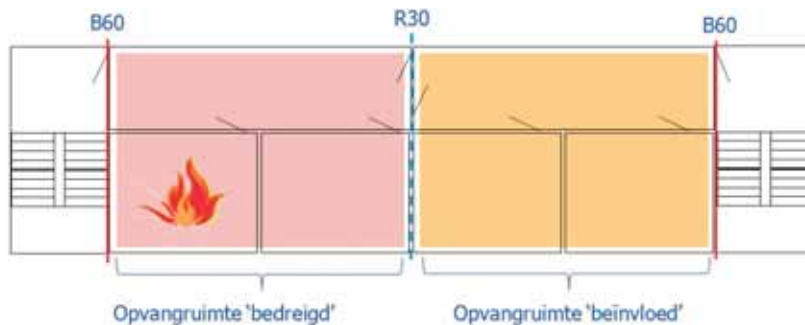


Scenario 2

Duidelijk is dat het aangenomen brandscenario van grote invloed kan zijn op de verdeling. Daarnaast zal een gebouwbezetting die afhankelijk is van het gebruik of van het tijdstip meegenomen moeten worden bij het opstellen van de scenario's.

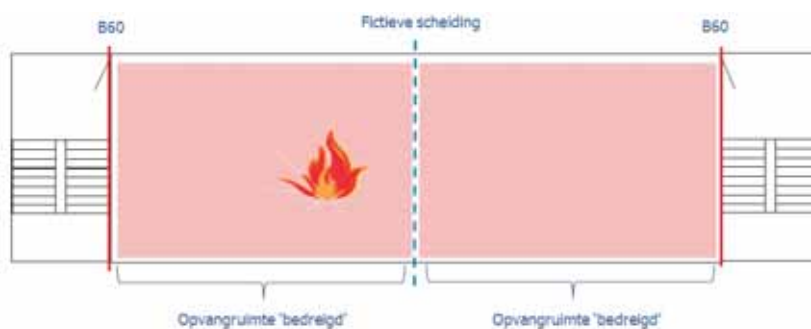
Opvang buiten het trappenhuis is dus toegestaan, echter niet voor onbepaalde tijd. De maximale wachttijd bij de scenario-afhankelijke ontruiming hangt af van het rookcompartiment waar de opvang plaatsvindt:

- Opvang vindt plaats in het direct door brand bedreigde rookcompartiment; de maximale wachttijd bedraagt 1.5 minuut.
- Opvang vindt plaats in een zogenaamd 'beïnvloed' rookcompartiment. In de praktijk zijn dit de compartimenten op dezelfde bouwlaag als het bedreigde compartiment; de maximale wachttijd hierin is afhankelijk van de bouwkundige scheiding rondom de opvangruimte:
 - indien ten minste 30 minuten rookwerend: maximaal 3.5 minuten;
 - indien ten minste 30 minuten brandwerend: maximaal 6 minuten.



Figuur 2: Status opvangruimten; voor de rechter opvangruimte geldt een maximale wachttijd van 3.5 minuten vanwege de 30 minuten rookwerende scheiding.

Er zijn scenario's denkbaar waarbij alleen bedreigde opvangruimten aanwezig zijn. Een voorbeeld is een bijeenkomstruimte van waaruit één of meerdere trappenhuisen rechtstreeks toegankelijk zijn, zie figuur 3.



Figuur 3: Status opvangruimten; omdat in werkelijkheid geen (brand- of rookwerende) scheiding aanwezig is tussen de opvangruimten dienen beiden als bedreigd aangemerkt te worden.

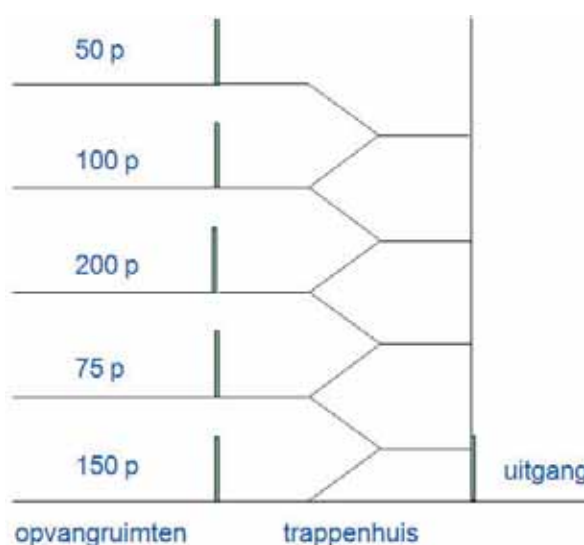
Vindt er opvang plaats in een rookcompartiment dat niet als bedreigd of beïnvloed aangemerkt hoeft te worden, dan wordt *geen* eis gesteld aan de maximale wachttijd.

NEN 6089 schrijft voor te rekenen met een doorstroomcapaciteit van 90 personen per minuut per meter vrije doorgang. Hierbij sluit de norm aan bij diverse buitenlandse regelgeving, zoals de Life Safety Code NFPA 101 en de Britse Fire Safety Approved Document B. Berekening van de wacht- en ontruimingstijden gebeurt in tijdstappen van 30 seconden. In elke tijdstap stroomt op maaiveldniveau een aantal personen het trappenhuis uit. De vrijkomende ruimte wordt vervolgens opgevuld door personen vanuit de opvangruimten en vanaf de bovenliggende verdieping. Dit principe zet zich voort tot de bovenste verdieping, waarna een tijdstap is afgerond. Binnen een tijdstap kan men maximaal één bouwlaag afdalen. Het aantal tijdstappen dat verstrijkt totdat de laatste persoon het trappenhuis heeft verlaten, bepaalt de ontruimings-

tijd van het trappenhuis. Op dezelfde manier wordt voor elke verdieping van een trappenhuis de wachttijd vastgesteld.

Deze methode is wezenlijk anders dan de rekenmethode uit de Regeling Bouwbesluit. Laatstgenoemde beschouwt elk niveau in een trappenhuis als mogelijk maatgevend obstakel. Op basis van de doorstroomcapaciteit op dat niveau en het aantal personen wat het obstakel moet passeren wordt een passagetijd berekend. Vermeerderd met één minuut per resterende bouwlaag ontstaat een ontruimingstijd. Het niveau met de grootste ontruimingstijd bepaalt uiteindelijk de maatgevende ontruimingstijd voor het hele trappenhuis. Als dezelfde situatie met beide methoden wordt getoetst kunnen de verschillen in de rekenmethode leiden tot enigszins verschillende ontruimingstijden, zie het voorbeeld in figuur 4.

Figuur 4: Verschillende ontruimingstijden als gevolg van verschillen in de rekenmethode



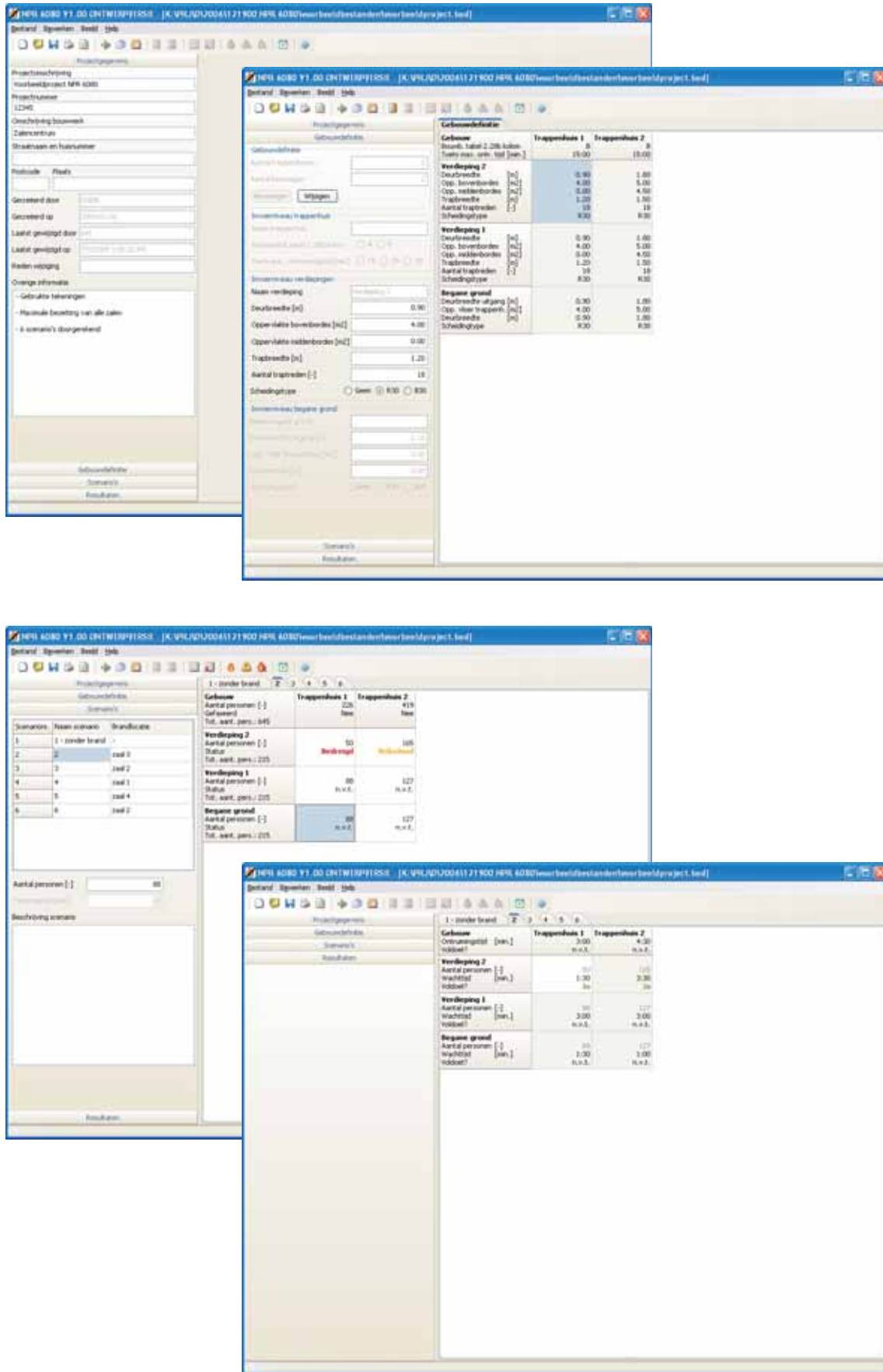
Geometrie trappenhuis:

- bovenbordessen: 5 m²
- middenbordessen: 3 m²
- trap: 4 x 18 treden à 1.2 m breed
- vloer trappenhuis BG: 6 m²
- toegangsdeuren en uitgang trappenhuis: 81 personen/minuut

Ontruimingstijd volgens NEN 6089: 9:30

Ontruimingstijd volgens Regeling Bouwbesluit: 8:30

In samenwerking met het NEN heeft DGMR een computerprogramma ontwikkeld waarmee de complexe berekening van de norm eenvoudig kan worden uitgevoerd. Het programma wordt door NEN uitgegeven als de NPR 6080 (figuur 5). De gebruiker voert de benodigde variabelen in (breedte van deuren en trappen, opvangcapaciteit op de bordessen, aantal personen, status van de ruimte waar gewacht wordt enzovoort), vervolgens berekent het programma de optredende wachttijden en de totale ontruimingstijd per trappenhuis. Er vindt automatisch een toetsing plaats aan de criteria uit NEN 6089. Als niet aan alle geldende eisen wordt voldaan zal de gebruiker wijzigingen in het aantal personen moeten aanbrengen ofwel in de geometrie van de trappenhuisen.



Figuur 5: Screenshots NPR 6080

Hoewel het toepassingsgebied van NEN 6089 veel ruimer is dan de methode uit de Regeling Bouwbesluit zijn er een aantal situaties waarvoor de norm in beginsel niet geschikt is:

- gebouwen hoger dan 70 m of lager dan 8 m onder het meetniveau (deze beperking volgt uit het Bouwbesluit, niet uit de methode);
- controle van (horizontale) ontruiming van de rookcompartimenten zelf conform de eisen uit het Bouwbesluit;
- rookcompartimenten waarvan een veilige ontruiming is aangetoond d.m.v. gelijkwaardigheid (rook- en warmteafvoer, vultijdenmodel enz.);
- ontruiming van ondergrondse perrons en/of tunnels;
- celfunctie en aan bed gebonden patiënten (vanwege de afwijkende manier van ontruimen);
- niet-besloten opvangruimten, zoals terrassen en galerijen.

De NEN 6089 en bijbehorende NPR 6080 kunnen op dit moment als mogelijk gelijkwaardige methode voor bepaling van de opvang- en doorstroomcapaciteit gehanteerd worden. Als de rekenmethode door het ministerie van VROM wordt meegenomen in de wijzigingen 3e tranche Bouwbesluit zal deze juridisch gezien een betere basis krijgen.

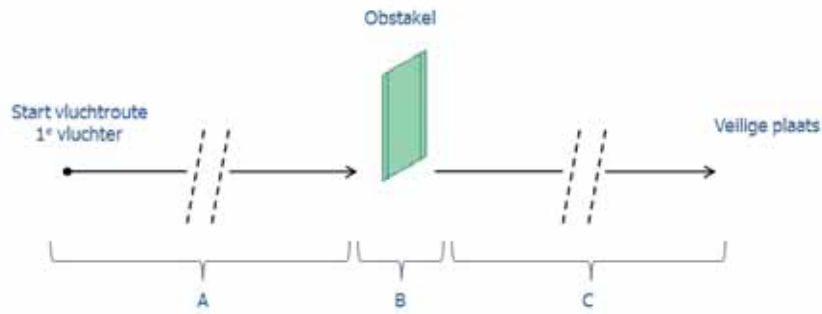
Opvang- en doorstroomcapaciteit buiten trappenhuizen

Zoals hiervoor genoemd kan met NEN 6089 alleen iets gezegd worden over de ontruiming van de trappenhuizen en aangrenzende opvangruimten. Het verloop van de ontruiming die hier aan voorafgaat kan niet getoetst worden. Eventuele bottlenecks in een ontwerp, afgezien van de trappenhuizen, worden dus ook niet inzichtelijk middels een berekening conform NEN 6089. Is hier wel meer inzicht in gewenst, dan zal een methode gebruikt moeten worden die het volledige verloop van de ontruiming beschouwt.

De publicatie van het Ministerie van Binnenlandse Zaken 'Brandbeveiligingsconcept voor publieksgebouwen' bevat in bijlage G een rekenmethode waarmee de totale ontruimingstijd vanuit een punt in het gebouw berekend kan worden, inclusief de horizontale verplaatsingen. De methode wordt kortweg 'bijlage G' genoemd.

Bijlage G beschouwt elk obstakel op de route naar een uitgang als mogelijk maatgevend voor de totale ontruimingstijd. Een obstakel kan een deur zijn, een smalle gang, een trap enzovoort. Vervolgens wordt de route feitelijk opgesplitst in drie delen (figuur 6):

- A. De af te leggen afstand (horizontaal en verticaal) tot het beschouwde obstakel van diegene die als eerste het obstakel zal bereiken;
- B. Het passeren van het obstakel door alle personen die hierop zijn aangewezen;
- C. De af te leggen afstand vanaf het obstakel tot aan een veilige plaats.



Figuur 6: Schematisering vluchtroute in bijlage G

Deze onderdelen resulteren elk in een tijd die gezamenlijk de ontruimingstijd vormen in het geval dat het beschouwde obstakel maatgevend is. Een vergelijking van meerdere berekeningen (één voor elk obstakel) leidt tot het daadwerkelijk maatgevende obstakel en de daarbij behorende ontruimingstijd.

De loopsnelheid voor het berekenen van onderdeel A en C wordt in de 'bijlage G' gerelateerd aan de dichtheid van personen. Doorgaans wordt voor onderdeel A een ongehinderde loopsnelheid aangehouden van 1.6 m/s en voor onderdeel C een gehinderde loopsnelheid van 0.37 m/s. Wanneer men de berekende ontruimingstijden vergelijkt met de tijd die iemand nodig zou hebben als de gehele route met gehinderde loopsnelheid (maar zonder opstoppingen) wordt afgelegd, dan ontstaat een beeld van de optredende wachttijden. Erg nauwkeurig is deze benadering echter niet, als gevolg van de vereenvoudiging van de hele vluchtroute tot drie onderdelen.

'Bijlage G' is geschikt voor situaties waarin de horizontale verplaatsing een grote bijdrage heeft aan de totale ontruimingstijd en wanneer maatgevende obstakels gevormd worden door gangen, tribunetrappen e.d. en niet door de trappenhuisen. Toetsing van de opvang- en doorstroomcapaciteit van een trappenhuis met behulp van 'bijlage G' is in principe mogelijk, maar daarvoor is de berekening volgens NEN 6089 of de Regeling Bouwbesluit meer geschikt.

Ontruimingssimulaties

De ontruiming van een gebouw bij de hiervoor omschreven bepalingsmethoden zou vergeleken kunnen worden met een zandloper. Het gebouw stroomt leeg op basis van de doorstroomcapaciteit van bottlenecks en de populatie wordt uniform verondersteld.

Behalve de gebouwconfiguratie kunnen nog een groot aantal andere aspecten van invloed zijn op de ontruiming van een gebouw, bijvoorbeeld dynamisch (groeps)gedrag van personen, geldende procedures en omstandigheden in het gebouw. Naarmate gebouwen en het gebruik ervan complexer worden zal het steeds belangrijker worden om een aantal van deze aspecten mee te nemen in de beoordeling van de opvang- en doorstroomcapaciteit. Een vereenvoudiging volgens bijlage G komt dan niet meer voldoende overeen met de werkelijkheid.

Er bestaande diverse softwarepakketten waarmee de ontruiming van een gebouw volledig gesimuleerd kan worden. De modellen hanteren een zogenaamde microscopische benadering, wat wil zeggen:

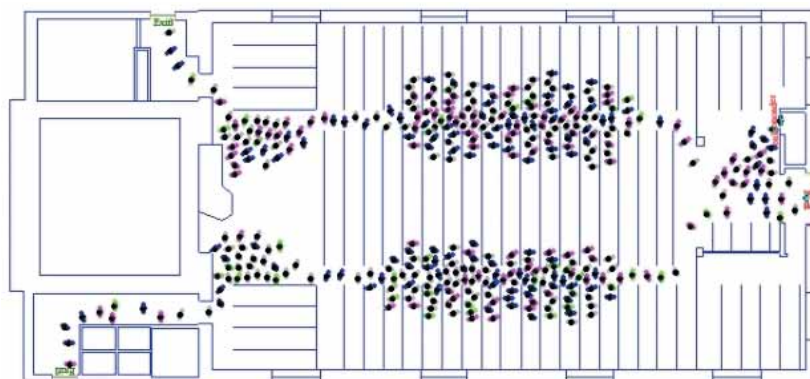
- De bouwlagen worden gedetailleerd gemodelleerd, door middel van een grid of een continue ruimte waarin personen zich vrij kunnen bewegen;
- De populatie bestaat uit individuen met verschillende eigenschappen en er vindt een bepaalde mate van interactie plaats tussen deze individuen;
- Zowel interne (psychologische) als externe (ruimtelijke) factoren worden zo goed als mogelijk gesimuleerd.

Door deze benadering is het mogelijk om knelpunten in beeld te brengen die bijvoorbeeld veroorzaakt worden door het samenkomen van vluchtstromen, scherpe bochten in een vluchtroute, het niet gebruiken van de kortste route, zogenaamde achterwaartse opstuwing enzovoort. Deze aspecten zijn vrijwel niet mee te rekenen bij gebruik van een stromingsmodel.

Omdat een simulatie de volledige ontruiming van een gebouw omvat kan deze als een complete toetsing van het aspect veilig vluchten gezien worden; een vorm van gelijkwaardigheid dus t.o.v. de prestatie-eisen uit het Bouwbesluit. M.b.v. een simulatie kunnen de totale ontruimingstijd, wachttijden en ontruimingstijden van verblijfsruimten en/of rookcompartimenten nauwkeurig vastgesteld worden.

Een veel gebruikt model is het door de Universiteit van Edinburgh ontwikkelde Simulex. Het programma laat het evacuatieproces grafisch op het scherm zien met behulp van bovenaanzichten van vloeren en trappenhuisen, die in gescheiden vensters worden afgebeeld (zie figuur 7). De trappen en plattegronden zijn aan elkaar gekoppeld met behulp van zogenaamde 'links'. De personen bewegen zich naar van tevoren gedefinieerde uitgangen, met individuele loopsnelheden die afhankelijk zijn van persoonlijke karakteristieken en de nabijheid van anderen personen. Het was in 1995 het eerste computermodel dat met dit gegeven (beperkte loopsnelheid bij hoge persoonsdichtheid) rekening hield.

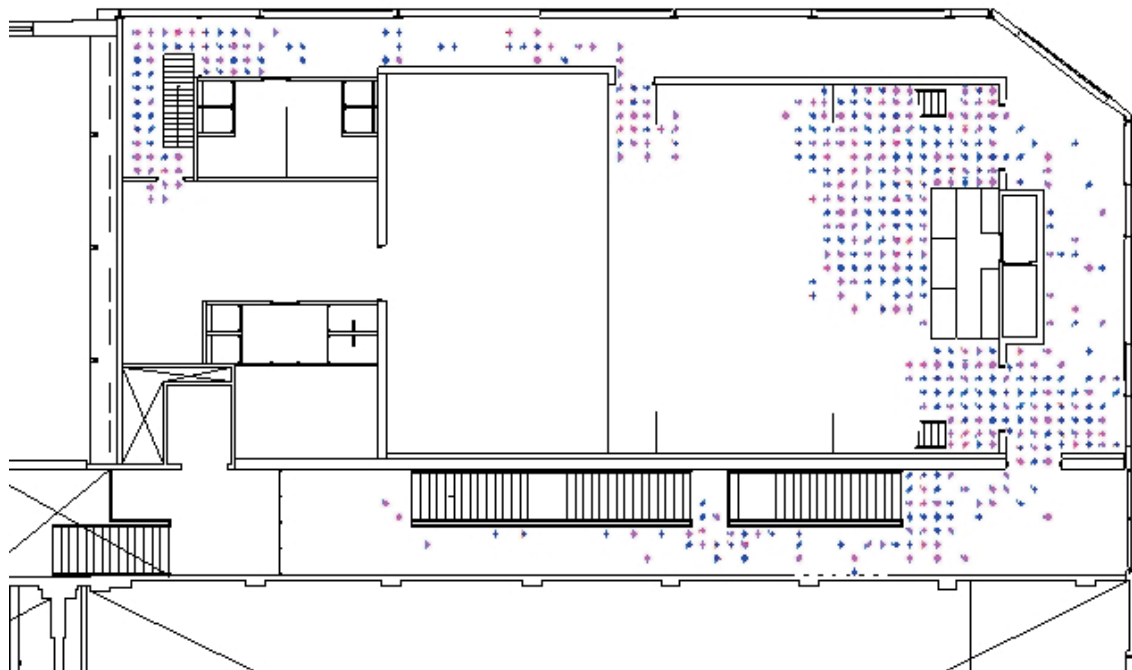
Figuur 7: Een model van een kerk in Simulex



Een simulatie in Simulex resulteert in een doorstromingscapaciteit tot circa 1.5 personen per meter uitgangsbreedte per seconde (onder meer afhankelijk van de eigenschappen van de populatie), overeenkomend met de 90 personen per meter per minuut uit de regeling Bouwbesluit.

In een tekstfile wordt geregistreerd hoeveel mensen per tijdstap gebruikmaken van een bepaalde trap of uitgang. Hiermee is naderhand vast te stellen binnen hoeveel tijd een bepaalde ruimte, verdieping, of trappenhuis is ontruimd. Daarnaast wordt door de visualisatie van het evacuatieproces snel inzicht verkregen in eventuele bottlenecks van het bouwplan die zich vertalen tot een wachttijd voor een bepaalde doorgang.

BuildingExodus is een model waarmee de gebruiker nog meer invloed kan uitoefenen op het verloop van de evacuatie. Zo is het mogelijk om tijdens de simulatie personen een ander doel te geven, deuren te openen of te sluiten, personen toe te voegen, het vluchtgedrag te veranderen enzovoort. Ook kan de invloed van een brand op de aanwezigen (fysieke beperkingen, vermijden van ruimten e.d.) worden gesimuleerd en achteraf worden gemeten. Hiervoor zal naast een ontruimings-simulatie gerekend moeten worden aan de verspreiding van rook door het gebouw, waar eveneens een grote hoeveelheid rekensoftware voor bestaat.



Figuur 8: Een fragment van een model in BuildingExodus

In vergelijking met de 'basis' rekenmethodiek uit regeling Bouwbesluit, Bijlage G en/of de NEN 6089 zijn ontruimings-simulaties breder inzetbaar, omdat ze zich niet alleen concentreren op trappenhuis en omdat het te toetsen gebouw en (het gedrag van) de populatie in mindere mate wordt vereenvoudigd. Een simulatie biedt dan ook uitkomst wanneer een algehele beoordeling van de opvang- en

doorstroomcapaciteit noodzakelijk is of als een vereenvoudiging van gebouw en bezetting sterk afdoet aan de betrouwbaarheid van de resultaten. Wanneer van beiden geen sprake is en men beschouwt de extra benodigde inspanningen om een simulatiemodel op te bouwen, is de meerwaarde van simulaties beperkt.

Onafhankelijk van welke methode gebruikt wordt geldt dat de berekende ontruimings- en wachttijden gepaard moeten gaan met een geschikt toetscriterium. De komst van NEN 6089 geeft een aanzet hiervoor als het gaat om wachttijden, iets waar voorheen nog geen criteria voor werden gegeven. Hierbij wordt opgemerkt dat op het moment van schrijven de norm de ontwerpstatus heeft en dat met name de toegestane wachttijden nog ter discussie staan.

Een simulatie zal, indien voorzien van de juiste parameters, een realistischer beeld kunnen geven van een ontruiming in vergelijking met een methode als bijlage G. Dit kan zowel een kortere als langere ontruimingstijd betekenen. Het pleit er in ieder geval voor om, bij gebruik van simulaties, de functionele eis te hanteren, m.a.w. ook de beschikbare ontruimingstijd kritisch te analyseren en per scenario vast te stellen. Het hanteren van de bestaande prestatie-eisen die zijn afgestemd op bijbehorende grove (en conservatieve) bepalingmethoden zal in veel gevallen een onzuivere vergelijking opleveren.

