

Kwantificering van gewonden ten gevolge van transportongevallen met gevaarlijke stoffen

*Inge Trijssenaar-Buhre, TNO, e-mail inge.trijssenaar-buhre@tno.nl
Dr.ir. Nils Rosmuller*

Samenvatting

In het kader van veiligheid adviseert de brandweer over risico's bij rampen met gevaarlijke stoffen en hoe deze risico's te verkleinen. Bij een ramp speelt de zelfredzaamheid van burgers, de mate waarin burgers zichzelf in veiligheid kunnen brengen uit een rampgebied, een belangrijke rol. Voor de hulpverleningsdiensten is dit relevante informatie, omdat de benodigde hulpverleningscapaciteit sterk beïnvloed wordt door het aantal gewonden en niet-zelfredzame personen die zo snel mogelijk uit het gevaarlijke gebied geëvacueerd dienen te worden. Tot nu toe was het alleen mogelijk om in een risicoanalyse het aantal doden in te schatten en niet het aantal gewonden.

TNO heeft een methode ontwikkeld voor het bepalen van gewonden bij toxische ongevalsscenario's. Daarnaast heeft TNO diverse methoden voor slachtofferberekeningen voor branden, explosies en toxische stoffen vergeleken.

Keywords

Slachtofferberekeningen, gewonden, risicoanalyse, hulpverlening.

Inleiding

In het Nederlandse beleid voor externe veiligheid wordt een risicobenadering gehanteerd, waarbij getoetst wordt aan het plaatsgebonden risico (PR) en het groepsrisico (GR). Via het groepsrisico wordt een koppeling gelegd met de rampenbestrijding, door in de vorm van een verantwoordingsplicht advies te vragen aan de brandweer. De brandweer adviseert over maatregelen ter verbetering van de zelfredzaamheid van de aanwezigen in het invloedsgebied van het object met gevaarlijke stoffen. Ook kunnen maatregelen worden geadviseerd die het optreden van de hulpverleningsdiensten in geval van een ramp verbeteren. Slachtofferberekeningen zijn noodzakelijk voor een goede brandweeradvisering voor de verantwoording van het groepsrisico en voor het bepalen van de benodigde capaciteit van de hulpdiensten. Hiertoe zijn voornamelijk de aantallen gewonde slachtoffers van belang, niet het aantal doden.

De behoefte aan goede modellen voor het bepalen van het aantal gewonden is groot, dat blijkt uit diverse bijeenkomsten en rapporten over verantwoording van het groepsrisico. In het Kabinetstandpunt met betrekking tot de adviezen van de Adviesraad Gevaarlijke Stoffen [2], geeft het kabinet onder meer aan dat het zinvol is meer inzicht te verwerven in maatregelen ter beperking van (de kans op) (sub)letaal letsel. Inmiddels zijn we in Nederland een stap verder met evaluatie en verbetering van de verantwoording van het groepsrisico met de Handreiking verantwoorde brandweeradvisering externe veiligheid [1] en met de tool Mal Groepsrisico [3]. Tijdens de presentatie van Handreiking en Mal in het Minisymposium groepsrisico op 24 juni 2010 werd opnieuw de behoefte aan een verbeterde methode voor slachtofferberekeningen aangegeven.

Methoden en technieken/materialen en methoden

Methode voor slachtofferberekeningen

De risicoanalyse voor externe veiligheid omvat toxische, brand- en explosiescenario's. Voor ieder type scenario is een methode nodig om het aantal slachtoffers te kunnen berekenen. Voor brand en explosie zijn reeds verschillende methoden beschikbaar, deze zijn door TNO vergeleken [4]:

- Leidraad maatramp [9]
- Methodes gebruikt door de GHOR voor slachtofferbepalingen voor brand/BLEVE en voor explosies [12], [1]
- Groene boek (PGS1) schademodels voor warmtestraling en overdruk [10]
- Casuïstiek m.b.v. de FACTS ongevallendatabase [11].

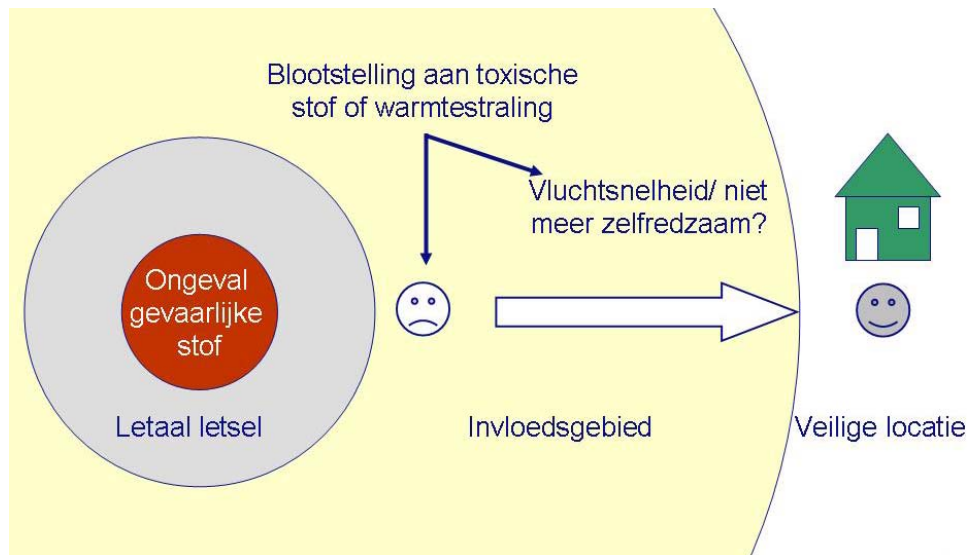
De PGS1 schademodels worden vooralsnog aanbevolen voor warmtestraling en overdruk. De Leidraad Maatramp gaat uit van een vaste verhouding tussen het aantal doden dat valt en het aantal gewonden. Uit de vergelijking van de methodes blijkt dat er geen vaste verhouding is te vinden voor toxische stoffen en dat voor brand en explosie er alleen een vaste verhouding bestaat als de mensen zich 'netjes' over het gebied verspreiden (uniform aantal personen per m² over het hele effectgebied).

Ook voor de toxische scenario's zijn verschillende methodes (leidraad maatramp, GHOR-methode en casuïstiek) vergeleken in [4]. Op basis van literatuur heeft TNO een model ontwikkeld voor slachtofferberekeningen van toxische stoffen [5],[6], [7]. Dit model wordt in deze bijdrage beschreven. Allereerst wordt de achtergrond van het model geïntroduceerd en vervolgens wordt een voorbeeld uitgewerkt met de toxische vloeistof acrylonitril.

Modelintroductie

De methode voor slachtofferberekeningen van toxische stoffen werkt op basis van zelfredzaamheid in de risicoanalyse. In de huidige risicoanalyse methodes [8] wordt aangenomen dat een persoon, die wordt blootgesteld aan een toxische stof, gedurende maximaal 30 minuten wordt blootgesteld aan de concentratie op de plaats waar de persoon zich op dat moment bevindt. Er wordt geen rekening gehouden met zelfredzaamheid, personen vluchten in een risicoanalyse dus niet naar een veilige locatie. In werkelijkheid zal een persoon die een blootstelling als alarmerend ervaart, wel actie ondernemen, tenzij de persoon daar niet meer toe in staat is. Een van de problemen van de huidige risicoanalyse is dat het effect van maatregelen voor de zelfredzaamheid niet berekend kan worden. Met de hieronder gepresenteerde methode kan dit wel.

In de methode wordt allereerst bepaald of een blootgestelde persoon de stof kan waarnemen: als de stof niet te zien, te ruiken of te voelen is, wordt aangenomen dat een persoon blijft staan (als vanouds –zoals in de huidige risicoanalyse).



Figuur 1: Schematische weergave van het letselmodel

Figuur 1 laat een schematische weergave van het letselmodel zien. Aan de hand van de blootstelling van een persoon wordt bepaald of de persoon nog zelfredzaam is of niet. Als de persoon zelfredzaam is, dan wordt bepaald wat zijn vluchtsnelheid is, totdat de persoon alsnog stopt met vluchten door de toxische blootstelling of totdat de persoon een veilige locatie heeft bereikt. De veilige locatie kan een locatie zijn waar de concentratie voldoende laag is (buiten het invloedsgebied voor subleetaal letsel) of het kan een schuilplaats zijn: de persoon is naar binnen gegaan en kan eventueel ook nog ramen en deuren sluiten.

Zelfredzaam of niet?

Voor het bepalen of een persoon nog zelfredzaam is wordt gebruik gemaakt van de Acute Exposure Guideline Level (AEGL-2) grenswaarde. De AEGL-2 geeft de concentratie van een stof weer, waarbij een algemene populatie, inclusief gevoelige individuen, irreversibele of andere ernstige, langdurige gezondheidsproblemen kunnen ondervinden of waarbij de zelfredzaamheid verslechtert. Van alle onderzochte grenswaarden sluit de definitie van de AEGL-2 het beste aan bij de zelfredzaamheidsvraagstelling [7], aangezien de AEGL-2 uitspraak doet over het wel of niet zelfredzaam zijn. Bovendien is de AEGL ook bepaald voor relatief korte blootstelduren van 10 en 30 minuten, die het meest relevant zijn in geval van ongevallen met gevaarlijke stoffen. De AEGL-2 waarden zijn -volgens de definitie- niet voor iedere stof gerelateerd aan de zelfredzaamheid, maar zijn in ieder geval een conservatief uitgangspunt. Bij overschrijden van de AEGL-2 wordt aangenomen dat een persoon gewond is.

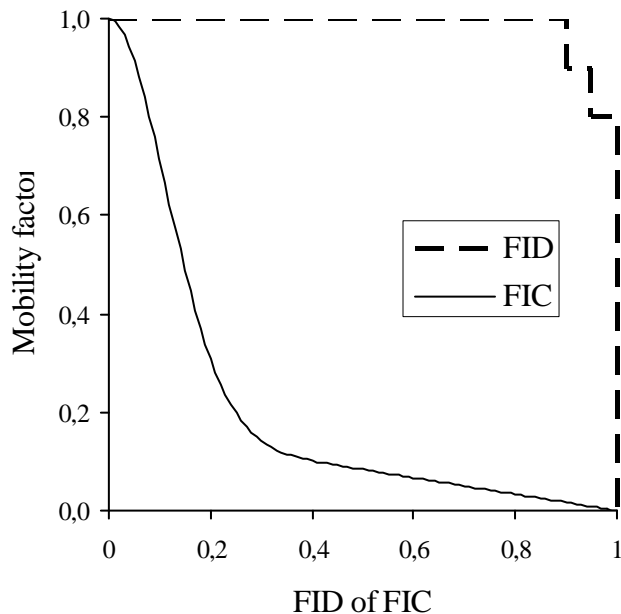
Vluchtsnelheid

Voor het bepalen van de vluchtsnelheid van een persoon wordt onderscheid gemaakt tussen twee typen toxische stoffen: stoffen met concentratie-gerelateerd subleetaal letsel en stoffen met dosis-gerelateerd subleetaal letsel. Voor concentratie-gerelateerde stoffen wordt de Fractional Irritant Concentration (FIC) bepaald met vergelijking 1. Hierin is C de concentratie toxische stof in ppm en $CAEGL2$ de AEGL-2 waarde in ppm van de toxische stof. Voor dosis-gerelateerde stoffen wordt de Fractional Incapacitation Dose (FID) bepaald met vergelijking 2. Hierin is n een dimensieloze constante, die ofwel afgeleid wordt van de AEGL2 waarden van de toxische stof ofwel gelijk is aan de n waarde uit de probit relatie voor leetaal letsel [8].

De relatie tussen de FIC en FID en de vluchtsnelheid is weergegeven in figuur 2.

$$FIC = \frac{C}{C_{AEGL2}} \quad \text{Vergelijking 1}$$

$$FID = \int_0^t \frac{C^n(t)}{C_{AEGL2_30min}^n} dt \quad \text{Vergelijking 2}$$



Figuur 2: Mobiliteitsfactor als functie van FID en FIC, de mobiliteitsfactor is de fractie van de onbeperkte vluchtsnelheid van een persoon

Figuur 2 laat zien dat dosis-gerelateerde (FID) stoffen doorgaans een vrij harde overgang laten zien tussen al dan niet zelfredzaam zijn. De concentratie-gerelateerde stoffen (FIC) vertonen een veel geleidelijker verloop. Met deze relaties kan nu –afhankelijk van de stof, concentratie en blootstellingsduur- bepaald worden of een persoon nog zelfredzaam is en zo ja wat zijn vluchtsnelheid is. De FIC en FID definities en de relaties tussen de FIC en FID en de vluchtsnelheid zijn gebaseerd op het werk van de toxicoloog David Purser ([9],[10]).

Resultaten

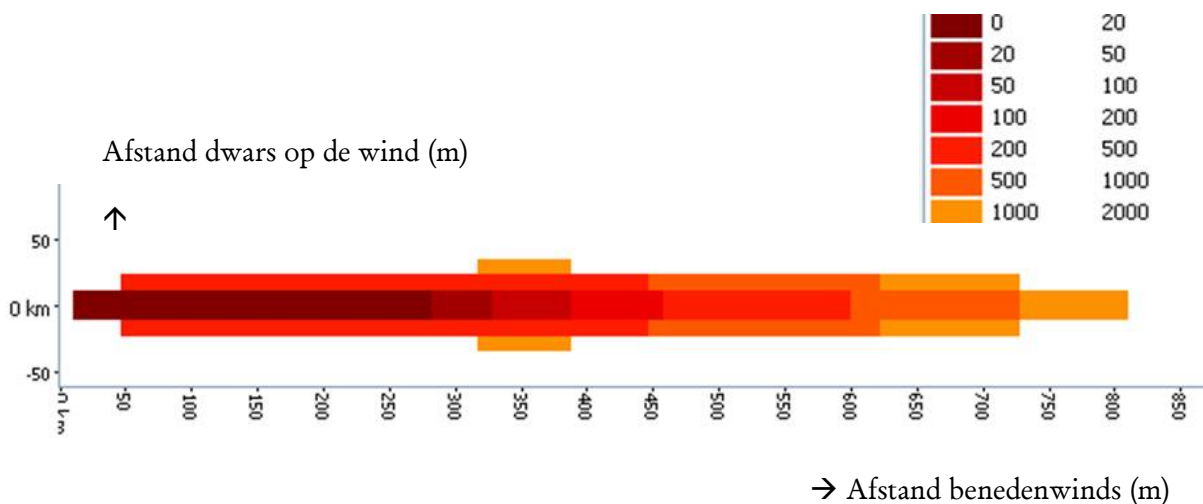
Voorbeeld: vrijkomen acrylonitril tijdens railtransport

Om de methode te illustreren bekijken we een voorbeeld van het vrijkomen van een toxische vloeistof tijdens railtransport. Het scenario is het instantaan vrijkomen van de inhoud van een wagon met acrylonitril, dit is een standaard ongeval binnen de risicoanalyse voor railtransport [8]. De acrylonitril vormt een plas van 600 vierkante meter, waaruit toxische dampen verdampen. De toxische dampen vormen een wolk. Voor de weerscondities is aangenomen dat er weinig verticale menging optreedt (stabiel weer) en de windsnelheid is laag: 1,5 m/s. Acrylonitril is een waarneembare stof: het heeft een kenmerkende geur en werkt prikkelend op ogen en luchtwegen. Het subleetaal letsel is dosisafhankelijk, we gebruiken dus de FID formule voor het bepalen van de vluchtsnelheid.

De volgende uitgangspunten zijn gehanteerd voor het menselijk gedrag in relatie tot de zelfredzaamheid:

- nadat een persoon de stof waarneemt, blijft de persoon nog 100 seconden op dezelfde locatie (zie [13])
- de persoon loopt van de bron af in de richting van de wind (benedenwindse richting): dit is een relatief conservatieve aanname. Dwars op de wind levert doorgaans de laagste blootstelling
- de blootstelling wordt dynamisch bepaald: met tijdstappen wordt de volgende locatie van de persoon bepaald en met de concentratie op die tijd en plaats wordt de volgende dosis berekend.

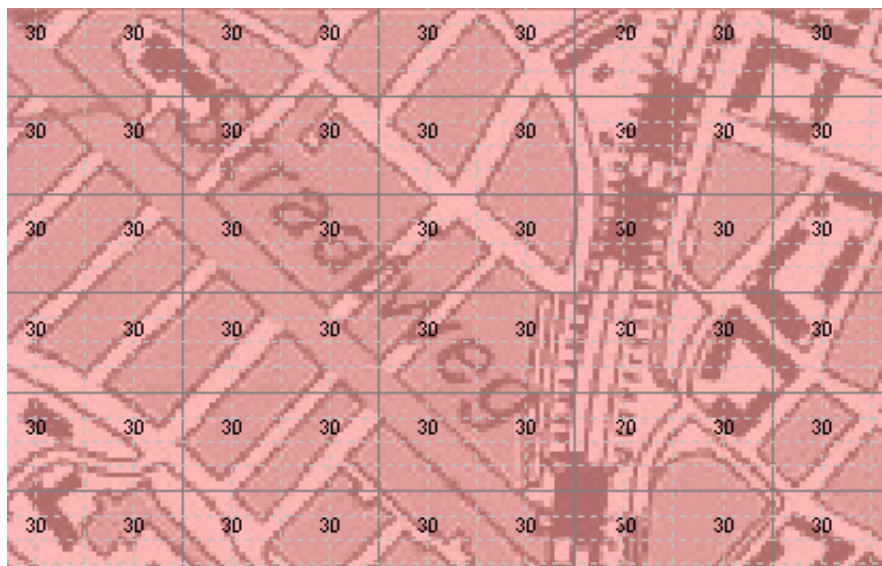
Voor de berekeningen is gebruik gemaakt van een prototype van het model binnen het TNO softwarepakket EFFECTS [14]. EFFECTS is een softwarepakket om effecten en schade mee te schatten voor ongevallen met gevaarlijke stoffen en wordt door brandweer in Nederland hiertoe gebruikt. Maar het model kan ook –in vereenvoudigde vorm- worden toegepast in een spreadsheetmodel op basis van de maximale concentratie als functie van de afstand uit EFFECTS. De resultaten zijn onder meer de zelfredzaamheidsafstand, dat is de afstand die een persoon heeft kunnen afleggen, tot het moment dat de persoon niet meer zelfredzaam is.



Figuur 3: de contour van de zelfredzaamheidsafstand in een bovenaanzicht van een ongeval met acrylonitril

Figuur 3 toont in een bovenaanzicht van het ongeval een contour van de zelfredzaamheidsafstand. Met de gekleurde vlakken worden de startposities weergegeven waar personen zich bevonden aan het begin van het ongeval en die eerder of later niet meer zelfredzaam zijn. Hoe lichter de kleur hoe verder de personen zijn gekomen alvorens gewond (niet zelfredzaam) te raken. De personen die zich buiten de gekleurde vlakken zijn en blijven zelfredzaam.

Door de zelfredzaamheidscontour te projecteren op een kaart met bevolkingsgegevens wordt het totaal aantal personen verkregen dat niet-zelfredzaam is.



Figuur 4: voorbeeldkaart met bevolkingsgegevens van 120 personen per hectare buiten.

In figuur 4 is een voorbeeldkaart met bevolkingsgegevens weergegeven. Voor het gemak nemen we een uniforme bevolkingsdichtheid van 120 personen per hectare. De gridcellen van figuur 4 hebben een grootte van 50*50 m, dus per gridcel vinden we 30 personen terug. Projecteren we nu de zelfredzaamheidsafstanden van figuur 3 op de kaart met bevolkingsgegevens van figuur 4, dan vinden we 435 gewonden in deze berekening.

In het voorbeeld hebben we tot nu toe gekeken naar de personen die zich buiten bevinden. Voor personen die zich tijdens het ongeval binnen bevinden, nemen we aan dat ze binnen blijven, maar geen ramen en deuren sluiten. Op basis van het ventilatievoud (gemiddeld 1 luchtverversing per uur) kan de concentratie binnen worden bepaald [10], [14]. Of een persoon gewond is of niet, wordt berekend met de zelfde FIC en FID formules (uit de paragraaf over vluchtsnelheid). Met behulp van bevolkingsgegevens en de fractie van het aantal personen dat zich binnen bevindt kan op dezelfde wijze als voor de slachtoffers buiten worden berekend hoeveel slachtoffers er binnen vallen. De brandweer heeft nu inzicht in het aantal gewonden dat kan vallen, zowel buiten als binnen. Met de zelfredzaamheidscontour en afstanden uit figuur 3 kan men globaal inschatten waar de gewonden zich kunnen bevinden. Doet men dit voor meerdere scenario's uit de risicoanalyse dan kan men een inschatting maken van de benodigde hulpverleningscapaciteit en/of beoordelen voor welke scenario's voldoende capaciteit beschikbaar is en voor welke niet. In een vervolgartikel wordt de toepassing van deze methode voor stationsgebied Utrecht gepresenteerd. Indien de brandweer maatregelen adviseert ter bevordering van de zelfredzaamheid van mensen buiten en/ of binnen, dan biedt de methode mogelijkheden om het effect van deze maatregelen te analyseren.

Conclusies

Verantwoording groepsrisico vraagt om inzicht in zelfredzaamheid en gewonden kwantificering. Er zijn modellen die gewonden kwantificeren. Dit zijn vuistregels die ver van de werkelijkheid staan of statische modellen.

In dit artikel hebben we een dynamisch model gepresenteerd voor toxische stoffen waarbij rekening wordt gehouden met vluchtgedrag/loopsnelheid, blootstellingsduur, op basis van een breed geaccepteerd concentratieniveau: de AEGL-2

Discussies

Tijdens en na de ontwikkeling van de methode voor slachtofferberekeningen van toxische stoffen is de methode besproken met verschillende partijen: experts, hulpverlening, bestuurders, etc. Het doel van de besprekingen was het toetsen van de van de methode op correctheid en bruikbaarheid. Veel reacties betreffen het menselijk gedrag, dat lastig in getallen is te vatten. Niet iedereen gaat bijvoorbeeld vluchten, sommige mensen zullen blijven waar ze zijn, anderen lopen naar de bron toe, weer anderen lopen (gelukkig maar) haaks op de heersende windrichting. Door het toepassen van gevoeligheidsanalyses en het kunnen doorrekenen van verschillende menselijke reacties, kan een goed beeld gekregen worden van het effect van menselijk gedrag op de uitkomsten.

De risicoanalysemethoden en methoden voor slachtofferberekeningen hebben beperkingen: we kunnen niet verwachten dat een ongeluk met een gevaarlijke stof precies het aantal doden en gewonden zal geven als we vooraf berekend hadden. De methoden maken het mogelijk om een ordegrootte te bepalen. Dit betekent niet dat het resultaat daarom onbruikbaar is. De kansen van de risicoanalyse voorkomen dat we ons blindstaren op dat ene worst case scenario en dat we alleen maatregelen nemen die de gevolgen van dat scenario beperken. De ordegrootte van het aantal doden en gewonden en het effect van maatregelen op die ordegrootte (in feite dus de kosteneffectiviteit) geeft ons een beeld van het (rest-)risico voor de bevolking en de benodigde hulpverleningscapaciteit.

Het gewondenmodel en de maatregel “alarmeren” zijn reeds geïntegreerd in een prototype van EFFECTS, een softwarepakket om effecten en schade mee te schatten voor ongevallen met gevaarlijke stoffen. Een belangrijk onderdeel als vervolg is het verbeteren van gewondenmodellen voor brand, explosie en toxische stoffen door het onderzoeken van een onderverdeling naar triageklassen.

Referenties

[1] Handreiking “Verantwoorde brandweer advisering externe veiligheid, een samenspel tussen veiligheid, ruimtelijke ordening en milieu”, NVBR, VNG en IPO, Eerste uitgave maart 2010.

[2] Tweede Kamer, vergaderjaar 2008-2009, 29 517, nr. 35, brief van de minister van volkshuisvesting, ruimtelijke ordening en milieubeheer m.b.t. Advies “risicobeleid en rampenbestrijding, op weg naar meer samenhang” en Advies “Brandweeradviesing, in het kader van verantwoordingsplicht groepsrisico: stand van zaken”.

[3] <http://www.malgroepsrisico.nl>.

[4] Kamperveen J.P., I.J.M. Trijssenaar-Buhre, S.J. Elbers, “Kwantificering van het aantal gewonden op basis van vuistregels, schademodelen en casuïstiek”, TNO report, TNO-034-UT-2009-01610_RPT-ML, 2009.

[5] Trijssenaar-Buhre, I.J.M. and R.P. Sterkenburg, “Self-rescue and safety measures in quantitative risk analysis, modeling and case studies for accidental toxic releases”, in Reliability, Risk and Safety: Theory and Applications – Briš, Guedes Soares & Martorell (eds), pp1163-1169, Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-0-415-55509-8, 2009.

[6] Trijssenaar, I.J.M. and N. Rosmuller, “Kwantificering van zelfredzaamheid in externe veiligheid”, Tijdschrift voor Veiligheid, 2008 (7) 2.

[7] Raben, I., I.J.M. Trijssenaar, and S.I. Wijnant, Kwantificering zelfredzaamheid, TNO-Rapport 2008-U-R0487/B, december 2007.

- [8] Handleiding Risicoberekeningen Bevi, versie 3.2 RIVM, Juli 2009.
- [9] Purser, P.A., Toxicity assessment of combustion products, In: The SFPE handbook of fire protection engineering. Quincy, Massachusetts: NFPA, 2002.
- [10] Purser, D.A., the application of exposure concentration and dose to evaluation of effects of irritants as components of fire hazard, Interflam 2007 conference proceedings.
- [11] Leidraad Maatrap versie 1.3, Adviesbureau SAVE & Adviesbureau Van Dijke.
- [12] Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen 1 (PGS1), Methoden voor het bepalen van mogelijke schade aan mensen en goederen door het vrijkomen van gevaarlijke stoffen, groene boek, december 2003.
- [13] Ongevallendatabank FACTS, TNO, versie 2005.
- [14] Slachtofferberekeningen, December 2007, conceptversie 1.5, opgesteld door de werkgroep slachtofferberekeningen bestaande uit: Hans Lemmens en Dina Rezvanova van DCMR, Leon Anink, VRR SRC, Arie van den Berg, VRR regionale brandweer, Rita Slob GGD Rotterdam en omstreken, Monique Scheunemann, VRR-GHOR.
- [15] Effecten van maatregelen t.b.v. zelfredzaamheid, een onderzoek naar de kwantificeerbaarheid van zelfredzaamheid bevorderende maatregelen, D. Oude Spraaksté, I.J.M. Trijssenaar, TNO-rapport TNO-034-UT-2009-00317_RPT-ML, april 2009.
- [16] EFFECTS 8.1, softwarepakket,
TNO.http://www.tno.nl/content.cfm?context=markten&content=product&laag1=186&laag2=267&item_id=739.